

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique**
جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان –
Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE
Département d'HYDRAULIQUE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En: **Hydraulique**

Option: **Hydraulique urbaine**

Présenté par :

Sabeur Kawther

Thème

**Etude statistique de la pluviométrie et caractérisation du climat
Application sur un bassin versant d'oued Sebdou (Nord-ouest
Algérien).**

Soutenu le : 29 / 09/ 2022, devant le jury composé de :

Mme. BENSAOULA.F.	Professeur	Université de Tlemcen	Présidente
Mme. BABA HAMED K.	Professeur	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mme. ADJIM. H.	MCB	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

Au terme de ce projet, je tiens à remercier tout d'abord ALLAH pour la volonté, la santé et le courage qu'il m'a donné durant toutes ces années d'études afin de venir à terme de mes études et d'achever ce mémoire de fin d'études.

*Mes vifs remerciements à mon encadreur, madame **ADJIM hayat**, pour avoir accepté de m'encadrer, pour ses directives et sa disponibilité durant l'élaboration de ce mémoire de master.*

*Je tiens à remercier également les membres du jury, Professeur **BABA Hamed kamila** et professeur **BENSAOULA Fouzia** de l'université de Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

Mes gratitude vont aussi à tous mes enseignants et enseignantes qui m'ont fidèlement transmis le savoir pendant tout mon cursus d'études, pour leur disponibilité et leur patience.

*Je remercie également madame **Belkenadil Nacéra**, doctorante au département d'Hydraulique de Tlemcen, pour son aide et son encouragement*

Dédicaces

Je dédie ce travail :

*À mes **chers parents**, qui m'ont donné la vie et qui se sont sacrifiés pour mon bonheur et ma réussite. Tous les mots et les langues du monde ne sont pas suffisants pour vous exprimer mon amour et ma reconnaissance, que Dieu vous comble de santé et de bonheur*

*À mes frères : **Ismail, & Hamza.***

*À ma sœur : **Fatima zohra.***

*Je tiens énormément à remercier ma très chère sœur **Tahir chahrazed** qui était toujours à mes coté dans tous les moments.*

À toute ma famille petite et grande et à toutes les personnes proches de mon cœur que je n'ai pas cité.

kawther

Résumé

Une étude statistique et la caractérisation du climat du bassin versant de l'oued de Sebdou (situé à l'ouest Algérien), à travers les deux paramètres du climat : précipitations et température, a été établie sur une période de quarante-six ans (1975-1976/2020-2021).

L'application des tests statistiques (par l'utilisation du logiciel khronostat) à différents échelles de temps a mis en évidence un changement au niveau des précipitations au cours de l'année 2017/2018, et des fortes ruptures sont remarquables au cours des périodes 1979/1980-2012/2013 et 2014/2015-2018/2019.

L'application des indices climatiques à l'aide du logiciel MDM à la série de précipitation faite aux échelles de temps annuel et saisonnier a mis en évidence une sécheresse au cours des décennies 90 et quelques années en 2000.

La région est caractérisée par un climat irrégulier, avec des sécheresses occasionnelles.

Notre travail permis de :

- Caractériser le climat de la région.
- Evaluer la sécheresse par l'utilisation des divers indices (cette utilisation est nécessaire pour prendre des décisions à long terme contre la sécheresse).
- l'identification des variations climatiques.

Mots clés : climat, précipitations, température, sécheresse, étude statistique, Sebdou.

Abstract

A statistical study and characterization of the climate of the Sebdou wadi watershed (located in the west of Algeria), through the two climate parameters: precipitation and temperature, was established over a period of forty-six years (1975-1976/2020-2021).

Applying statistical tests (through the use of the khronostat software) at different time scales has shown a change in the level of precipitation during the year 2017/2018, and strong ruptures are noticeable during the periods 1979/1980-2012/2013et 2014/2015-2018/2019.

The treatment of drought characteristics in the study area by applying different indices (by using MDM software) to annual time-scale rainfall data highlights the drought over the 1990s and early 2000s.

The region is characterized by an irregular climate, with occasional droughts obviously, this can have an impact on flows.

Our work allows us to:

- Characterize the climate of the region..
- Assess drought through the use of slope indices (this is necessary to make long-term decisions against drought).
- identification of climatic variations.

Keywords:, climate, precipitation, temperature, drought, statistics. sebdou

الملخص

دراسة إحصائية وتوصيف مناخ مستجمعات مياه وادي سبدو (الواقعة في غرب الجزائر) ، من خلال معيارين مناخيين: هطول الأمطار ودرجة الحرارة ، على مدى ستة وأربعين عامًا (1975-1976 / 2019-2020 كشف تطبيق الاختبارات الإحصائية (باستخدام برنامج كرونوستات) على مقاييس زمنية مختلفة عن حدوث تغير في مستوى هطول الأمطار خلال عام 2018/2017 ، وفواصل قوية ملحوظة خلال الفترات 1979 / 1980- 2012 / 2013 و 2014 / 2015-2018 / 2019

إن معالجة خصائص الجفاف في منطقة الدراسة من خلال تطبيق مؤشرات مختلفة (باستخدام برنامج

(MDM

على بيانات هطول الأمطار على نطاق زمني سنوي يسلط الضوء على الجفاف خلال التسعينيات وبعض السنوات في عام 2000

تتميز المنطقة بمناخ غير منتظم ، مع حالات جفاف عرضية بالطبع ، وهذا يمكن أن يكون له تأثير على التدفقات يسمح عملنا بـ:

- تميز مناخ المنطقة.
- إدارة أفضل للموارد المائية.
- تقييم الجفاف باستخدام منحدرات المؤشر { هذا الاستخدام ضروري لاتخاذ قرارات طويلة الأجل ضد الجفاف } .
- تحديد التغيرات المناخية.

الكلمات المفتاحية: سبدو ، المناخ ، التساقط ، الحرارة ، الجفاف ، الإحصاء.

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Table des matières	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	01
Chapitre I :Etude bibliographique	03-10
I.1.Introduction.....	03
I.2.Climat	03
I.2.1. Définition du climat	03
I.2.2 Les types de climat dans le monde.....	03
I.2.3. Le climat en Algérie.....	04
I.2.4. Le changement climatique	05
I.2.5. Conséquence du changement climatique	06
I.2.6. Le changement climatique et l'eau.....	07
I.2.7. Le changement climatique en Algérie.....	07
I.3.pluviométrie et température.....	07
I.3.1. Définition des précipitations.....	07
I.3.2. Mécanismes de formation des précipitations.....	08
I.3.3. Les principaux systèmes précipitants	09
I.3.4. Mesures de précipitation.....	09
I.3.5. Définition de la température.....	09
I.5. la sécheresse	10
I.5.1. La sécheresse en Algérie	10
I.5.2. La sécheresse en Nord-Ouest Algérie	10
Conclusion.....	10
Chapitre II : présentation de la zone d'étude	11-27
II.1. Introduction.....	11
II.2.présentation du secteur d'étude (bassin versant d'oued sebdou)	12
II.3.Morphométrie du bassin versant d'oued sebdou	12
II.3.1.caractéristique de forme	13
1/la surface	13
2/périmètre	13
3/ Indice de compacité de Gravelius.....	13
4/Rectangle équivalent	14
II.3.2.Réseau hydrographique	14
II.3.2.1.Etude du chevelu hydrographique	15
1/Densité de drainage	15
2/Rapport de confluence.....	15

3/Rapport des longueurs	16
II.3.3.Etude du relief.....	16
II.3.3.1.Répartition altémétrique	17
a/courbe hypsométrique.....	17
II.3.3.2.indices de pente de relief	19
a/Indice de pente de Roche Ip	19
b/ Indices de pente global.....	19
II.3.4. Dénivelée spécifique	20
II.3.5. Coefficient de torrentialité.....	20
II.3.6.Temps de concentration	21
II.3.7.vitesse de concentration.....	21
II.4. Contexte géologique et hydrogéologique	21
II.4.1. Géologie d'Oued Sebdou	21
II.4.2. Analyse litho stratigraphique	22
1/ Jurassique.....	22
2/ Crétacé.....	23
3/Plio-Quaternaire.....	23
II.4.3. Reconstitution du Log Litho-stratigraphique	23
II.4.4.hydrogeologie	24
II.4.4.1. Formations à fort potentiel aquifère	24
II.4.4.2.Formations à faible potentiel aquifère	25
II.2.5.sol et végétation	26
Conclusion.....	27
Chapitre III :Etude climatique.....	28-47
II.1.Introduction.....	28
III.2.Traitement des données pluviométrique.....	28
III.2.1.Estimation des données manquantes et correction des précipitations.....	28
III.2.2La méthode des rapports	29
III.3.Etude des précipitations	29
III.3.1.variation annuelle des précipitations	30
III.3.1.a. Coefficient d'immodération (CI)	31
III.3.1.b. Répartition des variations des précipitations annuelles	31
III.3.2. Variation des précipitations moyennes mensuelles	31
III.3.3. Variation des précipitations saisonnières	32
III.4. Etude des températures.....	33
III.4.1. Température moyenne annuelle.....	33
III.4.2.Température moyenne mensuelle	34
III.4.3.Température moyenne saisonnière.....	35
III.5.Etude du climat.....	36
III.5.1. Diagramme pluviothermique de Gaussen et Bagnouls (1953).....	36
III.5.2. Indice climatique : Indice d'aridité de De Martonne (1926).....	37
III.5.2.1. Indice d'aridité annuel de De Martonne.....	37
III.5.2.2.Indice d'aridité mensuel de De Martonne.....	37

III.5.3. Indice de Moral.....	39
III.6.Bilan hydrologique.....	39
III.6.1. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	40
III.6.2. Estimation du ruissellement (R).....	40
III.6.3.Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	41
III.6.4.Estimation de la réserve utile (RU).....	41
III.6.5. Bilan simplifié selon Thornthwaite.....	41
III.6.6. Estimation de l'infiltration (I).....	42
III.6.7.Estimation de l'écoulement (Q).....	42
III.7.Etude statistique des précipitations.....	43
III.7.1.Ajustement a loi normale.....	44
➤ Test graphique.....	44
➤ Test numérique.....	45
III.7.2.Ajustement a loi log normale.....	45
➤ Test graphique.....	45
➤ Test numérique.....	46
III.7.3.Le résultats de l'ajustement	46
III.7.4. Calcul des Précipitations pour une période de récurrence donnée.....	47
Conclusion	47

Chapitre IV : Détection des ruptures et tendance.....49-108

IV.1. Introduction	49
IV.2.Définition d'une rupture	49
IV.3.présentation du logiciel.....	49
IV.4. Méthodes basées sur les tests statistiques	49
IV.4.1.Autocorrélogramme et intervalle de confiance	49
IV.4.2.Test de corrélation sur le rang	50
IV.4.3.Test de Buishand et ellipse de Bois	50
IV.4.4.Test de Pettitt	51
IV.4.5.Méthode bayésienne de Lee et Heghinian	51
IV.4.6.Segmentation d'Hubert	51
IV.5.Résultats et discussions.....	52
IV.5.1.Analyse des précipitations annuelles.....	52
IV.5.1.1.Tests de vérification du caractère aléatoire.....	52
IV.5.1.1.A. Calcul de l'autocorrélogramme et son intervalle de confiance.....	52
IV.5.1.1.B.Test de corrélation sur lerang.....	54
IV.5.1.2. Tests de détection de rupture.....	54
IV.5.1.2.a. Test de Buishand et ellipse de Bois.....	54
IV.5.1.1.b. Méthode non paramétrique de Pettitt.....	55
IV.5.1.1.C. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian.....	55
IV.5.1.1.d.Segmentation d'Hubert.....	56
IV.5.2. Analyse des précipitations mensuelles.....	56
IV.5.2.1. Tests de vérification du caractère aléatoire.....	56

IV.5.2.1.A. Calcul de l'autocorrélogramme et de son intervalle de confiance.....	56
IV.5.2.1.b. Test de corrélation sur le rang.....	62
IV.5.2.2. Tests de détection de rupture.....	64
IV.5.2.2.A. Test de Buishand et ellipse de Bois.....	64
IV.5.2.2.B. Méthode non paramétrique de Pettitt.....	68
IV.5.2.2.C. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian.....	71
IV.5.2.2.D. Segmentation d'Hubert.....	73
IV.5.3. Analyse des précipitations saisonnières.....	75
IV.5.3.1. Tests de vérification du caractère aléatoire.....	75
IV.5.3.1.a. Calcul de l'autocorrélogramme et son intervalle de confiance..	75
IV.5.3.1.b. Test de corrélation sur le rang.....	77
IV.5.3.2. Tests de détection de rupture.....	78
IV.5.3.2.a. Test de Buishand et ellipse de Bois.....	78
IV.5.3.2.b. Méthode non paramétrique de Pettitt.....	79
IV.5.3.2.C. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian.....	80
IV.5.3.2.d. Segmentation d'Hubert.....	81
IV.5.4. Analyse des températures moyennes annuelles.....	82
IV.5.4.1. Tests de vérification du caractère aléatoire.....	82
IV.5.4.1.A. Calcul de l'autocorrélogramme et son intervalle de confiance.....	82
IV.5.4.1.B. Test de corrélation sur le rang.....	83
IV.5.4.2. Tests de détection de rupture.....	83
IV.5.4.2.A. Test de Buishand et ellipse de Bois.....	83
IV.5.4.2.B. Méthode non paramétrique de Pettitt.....	83
IV.5.4.2.C. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian.....	84
IV.5.4.2.D. Segmentation d'Hubert.....	84
IV.5.5. Analyse des températures moyennes mensuelles.....	84
IV.5.5.1. Tests de vérification du caractère aléatoire.....	84
IV.5.5.1.A. Calcul de l'autocorrélogramme et de son intervalle de confiance...	85
IV.5.5.1.B. Test de corrélation sur le rang.....	89
IV.5.5.2. Tests de détection de rupture.....	91
IV.5.5.2.A. Test de Buishand et ellipse de Bois	91
IV.5.5.2.B. Méthode non paramétrique de Pettitt.....	94
IV.5.5.2.C. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian.....	97
IV.5.5.2.D. Segmentation d'Hubert.....	99
IV.5.6. Analyse des températures moyennes saisonnières.....	101
IV.5.6.1. Tests de vérification du caractère aléatoire.....	101
IV.5.6.1.A. Calcul de l'autocorrélogramme et de son intervalle de confiance.	101
IV.5.6.1.B. Test de corrélation sur le rang.....	102
IV.5.6.2. Tests de détection de rupture.....	102
IV.5.6.2.A. Test de Buishand et ellipse de Bois.....	103
IV.5.6.2.B. Méthode non paramétrique de Pettitt.....	105
IV.5.6.2.C. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian.....	106
IV.5.6.2.D. Segmentation d'Hubert.....	107

Conclusion.....	108
Chapitre V : Indices climatiques et caractérisation de la sécheresse	109-127
V.1.Introduction	109
V.2. Logiciel MDM.....	109
V.3. Indice standardisé des précipitations (SPI).....	109
V.3.1. Avantages de méthode SPI.....	110
V.3.2. Inconvénients de méthode SPI.....	110
V.4. Rapport à la normal (PN).....	110
V.5. Décile index (DI).....	111
V.6. China-Z Index (CZI) et Modified China-Z Index (MCZI).....	112
V.7. Z-Score Index (ZSI).....	113
V.8. Rainfall Anomaly Index (RAI).....	113
V.9.Résultats et discussions	114
V.9.1. Application des indices à l'échelle annuelle.....	114
V.9.1.A. Calcul du SPI.....	114
V.9.1.B. Calcul du PN (Indice du pourcentage des précipitations normale).....	116
V.9.1.C.Calcul du DI (Indice décile).....	118
V.9.1.D.Calcul Z-score.....	119
V.9.2. l'échelle saisonnière	120
V.9.2.A. Calcul du PN (Indice du pourcentage des précipitations normale).....	120
V.9.2.B.Calcul du DI (Indice décile).....	123
conclusion.....	126
Conclusion générale.....	128
Références bibliographique	129

Liste des abréviations

A : Aire.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

BSh : Climat semi-aride chaud.

BSk : Climat semi-aride froid .

BWh : Climat désertique chaud.

CCNUCC : Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.

CI : Coefficient d'immodération.

Csa : Climat méditerranéen chaud.

CT : Coefficient de torrencialité .

Cv : Coefficient de variation.

CZI : Indice Z chinois.

Da : Déficit agricole.

Dd : Densité de drainage.

DI : Indice décile.

EDI : Indice de sécheresse effectif.

ETP : Évapotranspiration potentielle.

ETR : Évapotranspiration réelle.

Fs : Fréquence des cours d'eau.

I : Indice d'aridité de De Martonne.

Ig : Indice de pente global.

Im : Indice de pente moyen.

Ip : Indice de pente de roche.

IRD : Institut de Recherche pour le Développement.

Kc : Coefficient de Gravelius .

Lt : Longueur du thalweg.

MCZI : Indice Z chinois modifié.

MDM : Surveillance météorologique de la sécheresse.

MSE : Maison des Sciences de l'Eau.

OMM : Organisation Météorologique Mondiale.

O.R.S.T.O.M : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer.

\bar{p} : Moyenne des précipitations annuelles.

PN : Indice du pourcentage des précipitations normales.

R2 : Coefficient de détermination.

RAI : Indice d'anomalie de pluviosité.

Rc : Rapport de confluence.

Rf : Facteur de forme.

RFU : Réserve utile.

RL : Rapport des longueurs.

SPI : Indice standardisé des précipitations.

TC : Temps de concentration.

V : Variance.

ZSI : Indice Z-Score.

ΔR : Variation de réserves.

χ^2 : Khi carré.

μ : Variable réduite de Gauss.

σ : Écart type.

Liste des figures

Figure I.1 : Différents types de climat dans le monde.....	04
Figure.1.2 : Carte du climat en Algérie selon la classification de Köppen	05
Figure I.3 : Comparaison entre les variations de températures en Afrique et la tendance de réchauffement mondial.....	06
Figure I.5 : Formation des gouttes de pluie et des gouttes de nuage.....	08
Figure II.1 : situation géographique du bassin versant Tafna.....	11
Figure II.2 : sous bassin de la Tafna.....	12
Figure II.3 : situation du bassin versant d'oued sebdou.....	13
Figure II.4 : Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Sebdu.....	17
Figure II.5 : Répartition altimétrique du bassin d'oued Sebdu.....	18
Figure II.6 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued Sebdu.....	18
Figure II.7 : Histogramme des fréquences altimétriques du bassin versant de l'oued Sebdu.....	18
Figure II.8 : Carte structurale de l'Oranie nord occidentale.....	22
Figure II.9 : Log stratigraphique du fossé de Sebdu.....	24
Figure III.1 : Présentation des stations de mesure de la région d'étude.....	28
Figure III.2 : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station de Sebdu (1975/1976-2020/2021).....	30
Figure III.3 :Pourcentage de répartition des pluies par rapport à la moyenne.....	33
Figure III.4 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sebdu (1975/1976-2020/2021).....	33
Figure III.5 : Variation saisonnière des précipitations (1975/1976-2020/2021).....	34
Figure III.6 : Variation des températures moyennes annuelles à la station de Beni Bahdel (1975/1976-2020/2021).....	35
Figure III.7 :Variation moyenne mensuelle de la température de la station Beni Bahdel (1979/1980-2020/2021).....	36
Figure III.8 : Variation des températures moyennes saisonnières de la station de Béni-bahdel (1979-1980/2020-2021).....	36
Figure III.9 : Diagramme pluviothermique de Gaussen et Bagnouls de la station de sebdou (1975-1976/2020-2021).....	37
Figure III.10 :Abaque de Martonne.....	38
Figure III.11 : Courbe d'ajustement des précipitations à la loi normale.....	44
Figure III.12 :Courbe d'ajustement des précipitations a la loi log normale.....	46
Figure IV.1 : Calcul de l'autocorrélogramme et son intervalle de confiance pour les variations annuelles des précipitations de Sebdu (1977/1978-2020/2021).....	53
Figure IV.2 : Autocorrélogramme pour les variations annuelles des précipitations de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).....	53
Figure IV.3 : Résultats du test de corrélation sur le rang pour les variations annuelles des précipitations de la station de Sebdu (1975/1976-2020/2021).....	54
Figure IV.4 :test de bushand pour les Précipitations anuelles pour la station de Sebdu (1975/1976-2020/2021)	55
Figure IV.5 :Ellipse de bois pour la variation annuelle des précipitations de la statin de sebdou (1975/1976-2020/2021).....	55

Figure IV.6 :teste de petite pour les précipitations annuelles pour station de sebdou (1975/1976-2020/2021)	55
FigureIV.7 :Evoolution du variable U du test de petit	55
Figure IV.8 :résultats de la méthode Lee Et Hegghinian pour les précipitations annuelles de station de sebdou (1975/1976-2020/2021).....	56
Figure IV.9 : Densité de probabilité a posteriori la position d'un changement de précipitations de station sebdou (1975/1976-2020/2021).....	56
Figure IV.10 : Segmentation d'Hubert pour les variations annuelles des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	56
Figure IV.11 : Calcul de l'autocorrélogramme et son intervalle de confiance pour les variations mensuelles des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	59
Figure IV.12 : Autocorrélogrammes des variations mensuelles des précipitations de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).....	61
Figure IV.13 : Résultats du test de corrélation sur le rang pour les variations mensuelles des précipitations de la station sebdou (1975/1976-2020/2021).....	64
Figure IV.14 : Résultats du test de Buishand sur les variations mensuelles des précipitations de la station de sebdou (1975/1976-2020 /2021).....	66
Figure IV.15 : Ellipses de Bois pour les variations mensuelles des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	68
Figure IV.16 : Résultats du test de Pettit sur les variations mensuelles des précipitations de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).....	70
Figure IV.17 : Densité de probabilité a posteriori de la position d'un changement des précipitations mensuelles de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	72
Figure IV.18 : Segmentation d'Hubert sur les variations mensuelles des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	75
Figure IV.19 : Calcul de l'autocorrélogramme et son intervalle de confiance pour les variations saisonnières des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	76
Figure IV.20 : Autocorrélogrammes des variations saisonnières des précipitations de la station de Sebdou(1975/1976-2020/2021).....	76
Figure IV.21 : Résultats du test de corrélation sur le rang pour les variations saisonnières des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	78
Figure IV.22 : Résultats du test de Buishand pour les variations saisonnières des précipitations de station de sebdou (19975/19776-2020/2021).....	79
Figure IV.23 : Ellipses de Bois pour les variations saisonnières des précipitations de la station de Sbdou (1975/1976-2020/2021).....	79
Figure IV.24 : Résultats du test de Pettitt pour les variations saisonnières des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	80
Figure IV.25 : Densité de probabilité à posteriori de la position d'un changement de précipitations saisonnières de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	81
Figure IV.26 : Segmentation d'Hubert pour les variations saisonnières des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	82
Figure IV.27 : Calcul de l'autocorrélogramme et de son intervalle de confiance pour les variations moyennes annuelles des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	82

Figure IV.28 : Autocorrélogramme des variations moyennes annuelles des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	83
Figure IV.29 : Résultats du test de corrélation sur le rang pour les variations moyennes annuelles des températures de la station de Béni-bahdel(1979/1980-2020/2021).....	83
Figure IV.30 : Résultats du test de Pettitt sur les variations moyennes annuelles des températures de la station de Béni-bahdel(1979/1980-2020/2021).....	84
Figure IV.31 : Segmentation d’Hubert pour les variations moyennes annuelles des températures de la station de Béni-bahdel(1979/1980-2020/2021).....	84
Figure IV.32 : Calcul de l’autocorrélogramme et de son intervalle de confiance pour les variations moyennes mensuelles des températures de la station de Béni- bahdel (1979/1980-2020/2021).....	87
Figure IV.33: Autocorrélogrammes des variations moyennes mensuelles des températures de la station de Béni-bahde (1979/1980-2020/2021).....	88
Figure IV.34 : Résultats du test de corrélation sur le rang pour les variations moyennes mensuelles des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	91
Figure IV.35 : Résultats du test de Buishand sur les variations moyennes mensuelles des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	93
Figure IV.36 : Ellipses de Bois pour les variations moyennes mensuelles des températures à la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	94
Figure IV.37: Résultats du test de Pettitt pour les variations moyennes mensuelles des températures de la station Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	97
Figure IV.38 : Densité de probabilité à posteriori de la position d’un changement de températures moyennes mensuelles de la station de Béni-bahdel(1979/1980-2020/2021)....	99
Figure IV.39 : Segmentation d’Hubert sur les variations mensuelles des précipitations de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	101
Figure IV.40 : Calcul de l’autocorrélogramme et des intervalles de confiance pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	102
Figure IV.41 : Autocorrélogrammes pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	102
Figure IV.42 : Résultats du test de corrélation sur le rang pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	103
Figure IV.43 : Résultats du test de Buishand pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	104
Figure IV.44 : Ellipses de Bois pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	105
Figure IV.45 : Résultats du test de Pettitt pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	106
Figure IV.46 : Densité de probabilité a posteriori de la position d’un changement de températures moyennes saisonnières de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).	107
Figure V.1 : Évolution du SPI pour la série des précipitations annuelles de la station de Sebdu (1975/1976-2020/2021).....	116
Figure .V.2 : Répartition du SPI pour la série des précipitations annuelles de la station de sebdu (1975/1960-2020/2021).....	116

Figure V.3 : Évolution du PN pour la série des précipitations annuelles de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	117
Figure .V.4 : Répartition du PN pour la série des précipitations annuelles de la station de sebdou (1975/1960-2020/2021).....	118
FigureV.5 : Évolution du DI pour la série de précipitations annuelles de la station de sebdou(1975/1976-2020/2021).....	119
Figure V.6 : Répartition du DI pour la série des précipitations annuelles de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).....	119
Figure V.7 : Évolution du Z-Score pour la série de précipitations annuelles de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).....	120
Figure V.8 : Répartition du Z-score pour la série des précipitations annuelles de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).....	121
Figure V.9 : Évolution du PN pour la série des précipitations saisonnière de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	122
Figure V.10 : Répartition du PN pour la série des précipitations Saisonnière de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).....	123
Figure V.11 : Évolution du DI pour la série des précipitations saisonnière de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	125
Figure V.12 : Répartition du DI pour la série des précipitations Saisonnière de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).....	126

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Classes de formes de cuvette suivant les valeurs de l'indice de Gravelius...	14
Tableau II.2 : Rapport de confluence.....	16
Tableau II.3 : Rapport des longueurs.....	16
Tableau II.4 : Répartition hypsométrique du sous bassin d'oued Sebdou.....	17
Tableau II.5 : Classification du relief selon Ig par l'ORSTOM.....	19
Tableau II.6 : Classification du relief selon Ds par l'ORSTOM.....	20
Tableau II.7 : Distribution du couvert végétal dans le bassin versant d'oued Sebdou.....	20
Tableau II.8 : caractéristiques physiques du bassin versant d'oued sebdou.....	26
Tableau III.1 : caractéristiques des stations de mesure.....	27
Tableau III.2 : Précipitations annuelles moyennes à la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	30
Tableau III.3 : Données pluviométriques mensuelles de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	31
Tableau III.4 : Répartition des précipitations saisonnières.....	32
Tableau III.5 : Températures moyennes annuelles à la station de Béni Bahdel (1979/1980_2020/2021).....	33
Tableau III.6 :Variation moyenne mensuelle de la température de la station Beni Bahdel (1979/1980-2020/2021).....	34
Tableau III.7 : Variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni- bahdel(1979-1980/2020-2021).....	35
Tableau III.8 : Tableau de la classification du climat de De Martonne.....	37
Tableau III.9 : Classification du climat mensuel selon De Martonne de la station de sebdou (1975-1976/2020-2021).....	38
Tableau III.10 : Valeurs mensuelles de l'indice de Moral.....	39
Tableau III.11 : Estimation de l'ETP mensuelle à la station de Sebdou (1975-1976/ 2020-2021).....	40
Tableau III.12 : Estimation du ruissellement annuel à la station de Sebdou (1975-1976/ 2020-2021).....	41
Tableau III.13 : Estimation de l'ETR annuelle à la station de Sebdou (1975-1976/ 2020-2021).....	41
Tableau III.14 : Bilan de Thornthwaite à la station de Sebdou (1975-1976/2020-2021).....	41
Tableau III.15 : Estimation de l'infiltration annuelle à la station DE Sebdou (1975-1976/ 2020/2021).....	42
Tableau III.16 : Estimation de Q annuel à la station de Sebdou (1975-1976/2020-2021)....	42
Tableau III.17 :Distribution des précipitations moyenne annuelles des valeurs croissants de la station de Sebdou sur la période de (1975-1976/2020-2021).....	43
Tableau III.18 : Paramètres de position et de dispersion des précipitations de la station de Sebdou (Loi normale).....	43
Tableau III.19 : Calcul du χ^2 pour la station de Sebdou pour une loi normale.....	45
Tableau III.20 : Paramètres de position et de dispersion des précipitations de la station de Sebdou (Loi log normale).....	46
Tableau III.21 : Calcul du χ^2 pour la station de Sebdou pour une loi log normale.....	46

Tableau III.22 : Résultats du test de Pearson.....	47
Tableau III.23 : Calcul des précipitations pour différentes périodes de retour avec la loi log normale.....	47
Tableau IV.1 :Ruptures détectées par la méthode bayésienne de Lee et Heghinian pour les variations moyennes des précipitations mensuelles de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	71
Tableau IV.2 : Ruptures détectées par la méthode bayésienne de Lee et Heghinian pour les variations moyennes saisonnières des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	80
Tableau IV.3 : Ruptures détectées par les ellipses de Bois sur les variations moyennes mensuelles des températures de la station de Béni-bahdel(1979/1980-2020/2021).....	94
Tableau IV.4 : Ruptures détectées par la méthode bayésienne de Lee et Heghinian pour les variations moyennes mensuelles des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	97
Tableau IV.5 : Ruptures détectées par la méthode bayésienne de Lee et Heghinian pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	106
Tableau IV.6 : Ruptures détectées et ses segments d'Hubert pour les variations moyennes saisonnières des températures Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).....	107
Tableau V.1 : Classification des sécheresses selon les valeurs du SPI.....	110
Tableau V.2 : Classification des sécheresses selon les valeurs du PN.....	111
Tableau V.3 : Classification des sécheresses selon les valeurs du DI.....	112
Tableau V.4 : Classification des sécheresses selon les valeurs de CZI et MCZI.....	113
Tableau V.5 : Classification des sécheresses selon les valeurs du ZSI.....	113
Tableau V.6 : Classification des sécheresses selon les valeurs du RAI.....	114
Tableau V.7 : Résultats de calcul du SPI annuel pour la série des précipitations annuelles de la station de sebdou(1975/1976-2020/2021).....	117
Tableau V.8 :L'évolution de l'indice PI pour la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).	117
Tableau V.9 : Résultats de calcul du DI annuel pour la série des précipitations annuelles de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	118
Tableau V.10 : Résultats de calcul du Z-Score annuel pour la série des précipitations annuelles de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	120
Tableau V.11 : Résultats de calcul du PN saisonnière pour la série des précipitations saisonnière de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	122
Tableau V.12 : Résultats de calcul du DI saisonnière pour la série des précipitations saisonnière de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).....	124

Introduction

Générale

Introduction générale

Introduction générale

Durant ce dernier siècle, la communauté internationale est de plus en plus préoccupée par l'évolution du climat et ses conséquences socio-économiques et environnementales. L'analyse des précipitations et des températures sur de longues séries est devenue une occupation de plusieurs chercheurs et scientifiques.

En Algérie les travaux réalisés s'intéressent le plus souvent au suivi des précipitations annuelles, surtout dans la partie Nord-ouest du pays. Différentes travaux ont été entamés sur ce sujet (Amraoui L,2009 ; Taibi S,2011 ;Ghenim A et Megnounif A,2013 ;B Habibi et al,2018 ;Belarbi F,2010 ;Adjim H 2018....etc.).

La climatologie est la science du climat, mais son champ d'application n'est pas restreint au climat. Il s'agit d'une discipline plus large. Elle emprunte à d'autres sciences des notions ou des résultats dont elle a besoin en faisant appel à des moyens techniques de plus en plus sophistiqués, on peut en nommer quelques-unes : toutes les sciences liées à l'atmosphère, telles que la physique, la chimie et la biologie, Agronomie, Hydrologie et surtout les statistiques pour le traitement et l'utilisation rationnelle des données. La climatologie a pour objectif de décrire, d'analyser et d'expliquer les climats dans leur répartition spatiale.

La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes établies à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales : température, pression atmosphérique, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. Sont également pris en compte leur récurrence ainsi que les phénomènes exceptionnels.

Les précipitations constituent la variable climatique la plus anciennement et la plus couramment enregistrée. Pour ces raisons, elles sont un précieux indicateur pour étudier l'évolution du climat. Mais derrière l'attrait des longues séries pluviométriques parfois disponibles, les limites dans l'interprétation de ces valeurs sont comme suit : données manquantes, changement de matériel, déplacements et fermetures de postes occasionnent de nombreuses ruptures de continuité dans les séries, ce qui ne facilite pas le travail du climatologue.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour la caractérisation du climat. Les tests statistiques sont une des méthodes pour démontrer la stationnarité d'une série des données chronologique (pluie, température).

L'objectif de notre travail et la caractérisation du climat dans le bassin versant d'oued Sebdou en se basant sur les données des précipitations mensuelles de la station de Sebdou et les température de la station de Béni Bahdel., nous procéderons aussi à la détection des ruptures en utilisant les tests statistiques à l'aide du logiciel **khronostate** et à la caractérisation de sécheresse dans le bassin avec les indices climatiques à l'aide du logiciel **MDM**.

Notre projet est divisé en cinq chapitres :

Le premier chapitre : consacré aux généralités sur le climat.

Le deuxième chapitre : à travers ce chapitre nous avons fait une présentation de la zone d'étude (bassin versant d'oued Sebdou), il englobe la situation géographique, la morphométrie, la géologie et l'hydrogéologie de la région d'étude.

Introduction générale

Le troisième chapitre : consacré à l'étude climatique de la région ayant pour but de mieux comprendre les caractéristiques climatiques et d'établir le bilan hydrologique

Le quatrième chapitre : consacré à l'analyse de la variabilité climatique particulièrement pluviométrique par les techniques de détection des ruptures et des tendances dans les séries pluviométriques.

Le cinquième chapitre : consacré à la détermination des indices de sécheresse. Après un exposé des différents indices et leur application sur la série de précipitation, les résultats obtenus sont analysés pour la caractérisation de la sécheresse.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion dans laquelle nous synthétisons les résultats trouvés lors de notre étude et nous essayons aussi de proposer des recommandations.

Chapitre I

Etude

Bibliographique

I.1.Introduction

Le changement climatique est un sujet d'actualité qui est débattu par les politiciens et les scientifiques. La communauté scientifique est d'accord pour affirmer que la terre se réchauffe d'environ $0,8 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ (Banque mondiale, 2010). Ce réchauffement est pointé du doigt pour être à l'origine de multiples catastrophes auxquelles est confrontée l'humanité toute entière.

Dans ce chapitre nous essayons de rassembler les définitions relatives aux termes utilisés dans ce mémoire, à savoir le climat et la pluviométrie, température, ainsi qu'un bref aperçu sur le climat et le changement climatique dans monde et en Algérie

I.2.Climat**I.2.1 Définition du climat**

Le climat est défini comme étant « la synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère » [OMM, 2011]. Le climat est une ressource naturelle qui affecte la plupart part des activités humaines telles que la production agricole, la consommation d'énergie et l'utilisation de certaines ressources telle que l'eau (OKM,1992) .

Le climat est influencé par une série de paramètres, dont la circulation atmosphérique, la circulation océanique, le relief et l'énergie solaire reçue par la surface terrestre.

La détermination du climat est réalisée à partir de mesures annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales : température, pression atmosphérique, précipitations, ensoleillement, vitesse du vent. Selon le phénomène dominant, on dit que le climat est chaud, froid ou tempéré, sec ou humide, calme ou venteux .On considère toutefois que c'est la chaleur qui exerce la plus grande influence, viennent ensuite les quantités d'eau tombée dans les diverses saisons de l'année, l'humidité ou la sécheresse de l'air, les vents dominants, le nombre et la répartition des orages au cours de l'année, la nébulosité de l'air, la nature du sol et celle de la végétation qui le recouvre . (Donald A. Wilhite,2005in Daif, M 2017).

I.2.2 Les types de climat dans le monde

Dans le monde existe cinq grands types de climat (figure 1.1) : le climat froid, le climat tempéré, le climat continental, le climat tropical et le climat désertique.

- Climat froid : Se produit dans les régions les plus éloignées de l'équateur c'est-à-dire dans les régions polaires, à savoir l'Antarctique (Pôle Sud) et l'arctique (Pôle Nord). Il se caractérise par des températures froides toute l'année sans chaleur estivale (jusqu'à 10°C) et des hivers froids (généralement -60°C).
- Climat tempéré : Il est généralement situés au bord de l'océan, entre les tropiques et le cercle polaire. Les hivers sont doux et les étés sont chauds.
- Climat continental : Il existe dans l'hémisphère nord, entre les tropiques et les cercles polaires, dans les régions à l'écart de la mer sur les continents. Les hivers sont rigoureux et les étés sont chauds
- Climat tropical ; Se situe entre les tropiques, près de l'équateur. Il se caractérise par une température ne descendant jamais en dessous de 18°C . Dans certaines régions, les précipitations sont abondantes tout au long de l'année. La végétation y est très développée, formant des jungles. Dans d'autres zones plus sèches, il y a moins de végétation : c'est la savane.

- Climat désertique : Il existe dans les régions tropicales. Ces zones sont caractérisées par la sécheresse car il y a peu de pluie et d'humidité. La végétation est très rare voire inexistante.

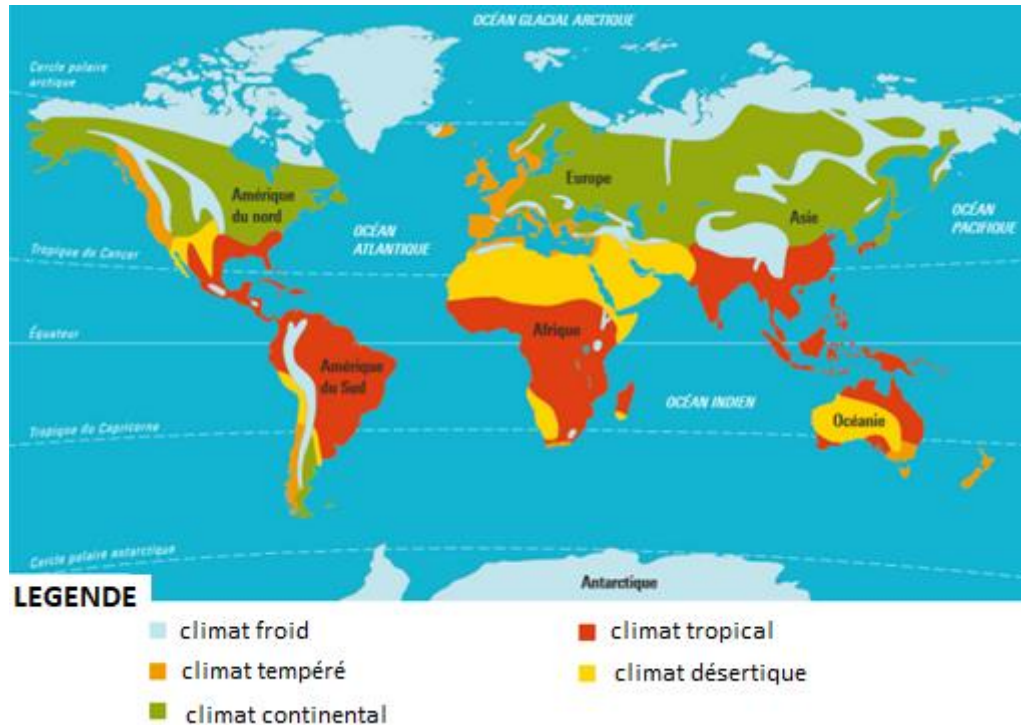


Figure1.1 : Différents types de climats dans le monde [2].

I.2.3. Le climat en Algérie

L'Algérie est un pays subtropical de l'Afrique du Nord, le climat y est très varié d'une région à l'autre (Nord Sud, Est Ouest). Il est de type méditerranéen sur toute la bordure nord, y compris la côte et l'Atlas Tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), les semi-aride sur les hauts plateaux centraux du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'Atlas saharien dans le désert (Medejerab, A., & Henia, L. 2011). La figure 1.2 illustre le climat de l'Algérie d'après la classification de Koppen.

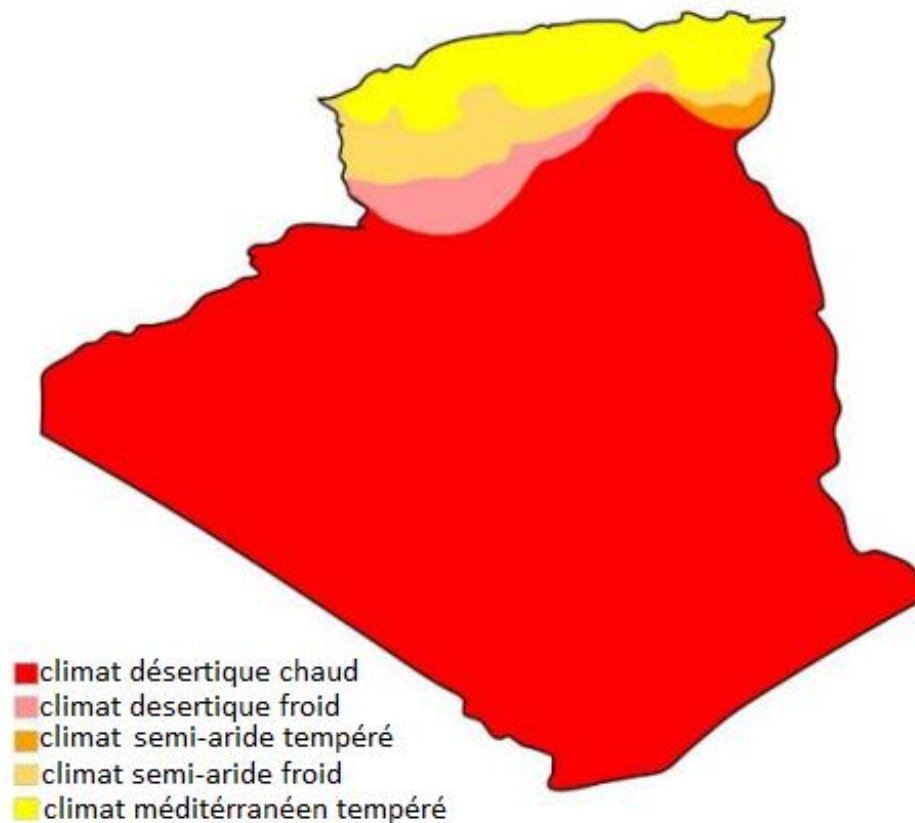
Carte de classification des climats de l'Algérie selon Köppen

Figure.I.2 : Carte du climat en Algérie selon la classification de Köppen [2]

I.2.4. Le changement climatique

Le changement climatique est défini comme étant la variation du climat par des modifications de la moyenne et /ou de la variabilité de ses propriétés qui persiste pendant une longue période, généralement des décennies ou plus (Adjim H, 2018).

Le changement est mesuré par les écarts des statistiques (appelées anomalies) des variables du climat sur une période de temps donnée par rapport au long terme. Les évolutions possibles de ces variables climatiques peuvent être ramenées à deux types de modifications à analyser :

- Le changement de la moyenne.
- Le changement de la variance.

Le changement peut être causé par des processus internes naturels au sein du système climatique, naturels ou anthropiques, qui contribuent à la variation. (Mesli et azzouz 2020).

D'après la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), dans son article 1, le Changement climatique est directement ou indirectement attribuable à l'activité humaine, en effet certaines activités augmentent les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, tels que le CO₂ et le méthane, ces gaz agissent comme une couverture autour de la terre et retiennent la chaleur du soleil. Ce phénomène entraîne un réchauffement de la planète ainsi que des changements climatiques. Aujourd'hui, la terre se réchauffe plus vite que jamais. Des études publiées (Daif.M 2017) ont montrés que les dernières années sont parmi les plus chaudes depuis 1850, lorsque des enregistrements spécifiques de la température de surface de la terre ont été enregistrés. Les températures ont augmentés presque partout dans le monde, bien que de manière plus sensible aux latitudes élevées de l'hémisphère

Nord. De plus, la surface terrestre s'est réchauffée plus que les océans. Cette évolution est hétérogène et tend à varier d'une région l'autre, par exemple, le réchauffement en Afrique est légèrement plus élevé par rapport à la tendance mondiale (figure1.3)

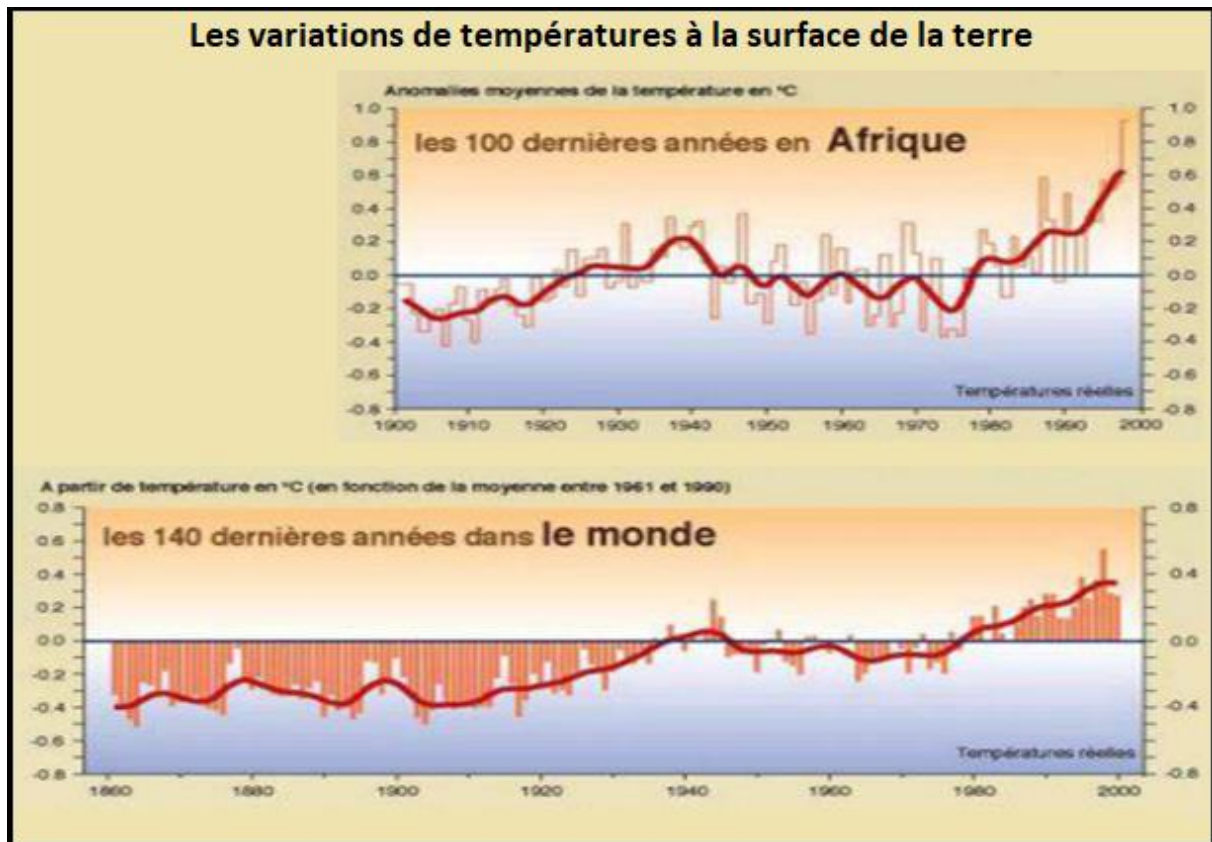


Figure I.3 : Comparaison entre les variations de températures en Afrique et la tendance de réchauffement mondial (<http://www.grida.no/publications>).

Les sécheresses mondiales pourraient avoir augmenté depuis les années 1970. Il est probable que les journées froides, les nuits froides et les gelées ont été réduites, alors que les journées chaudes et les nuits chaudes ont plutôt augmentés. De plus, il a été mentionné une fréquence d'augmentation des vagues de chaleur et des fortes précipitations depuis 1975 et des élévations extrêmes du niveau de la mer dans le monde entier. (Abdelhafid karim.F 2014).

I.2.5. Conséquence du changement climatique

Comme déjà cité le changement climatique se traduit par un réchauffement de la planète. Ce réchauffement a pour conséquence, la diminution des précipitations et la fréquence des périodes sèches et leur prolongation (Fallot et Bertini-Morini, 2012), (pantou 2013). Les inondations urbaines sont aussi souvent citée comme conséquence du changement climatiques [Sene et Ozer, 2002 ; Hangnon, 2015 ; Adjim et al.,2018]. Pour les feux de forêts, il semble qu'ils sont surtout corrélés aux périodes sèches dans les régions à climat semi-aride où ces périodes sont de longues durées. La sécheresse et les fortes chaleurs dessèchent la végétation et favorisent le déclenchement et la propagation des feux. Ainsi, les feux les plus spectaculaires

qui ont eu lieu durant le passé récent ont eu lieu spécialement dans le pourtour méditerranéen de l'Europe et du Moyen Orient ainsi qu'en Californie.(Adjim.H, 2018).

I.2.6. Le changement climatique et l'eau

Le changement climatique devrait accentuer l'état de stress hydrique déjà existante dans certains pays. Les variations des précipitations et de la température entraînent une modification du ruissellement et des disponibilités en eau. La diminution des précipitations affecte directement les ressources en eau et la production agricole. [seguin et soussana 2008].

Certaines études prédisent que, d'ici au milieu du siècle, le ruissellement augmentera de 10 à 40 % aux latitudes élevées et dans certaines régions tropicales humides, y compris des zones peuplées de l'Asie de l'Est et du Sud Est, et diminuera de 10 à 30 % dans certaines régions sèches des latitudes moyennes et des zones tropicales sèches, du fait de la diminution des précipitations et des taux accrus d'évapotranspiration. De nombreuses zones semi-arides (le bassin méditerranéen, l'ouest des États-Unis, l'Afrique australe et le nord-est du Brésil) subiront les effets d'un appauvrissement de leurs ressources en eau du fait du changement climatique.

Les épisodes de fortes pluies devraient grandement augmenter dans de nombreuses régions, y compris celles dans lesquelles on anticipe une diminution de la moyenne des précipitations. Le risque accru d'inondation qui s'y associe ne sera pas sans conséquence pour la société, les infrastructures physiques et la qualité de l'eau. Il est probable que jusqu'à 20 % de la population mondiale vivra dans des zones où le risque de crue des cours d'eau pourrait augmenter d'ici aux années 2080. Selon les projections, la multiplication et l'aggravation des inondations et des sécheresses nuiront au développement durable. Dans les zones côtières, l'élévation du niveau de la mer favorisera les facteurs de stress hydrique du fait de la salinisation accrue des eaux souterraines.[4]

I.2.7. Le changement climatique en Algérie

En Algérie, le changement climatique est une très grande préoccupation. En effet, du fait de sa situation géographique, l'Algérie subit les effets négatifs du changement climatique et des émissions de gaz à effet de serre, notamment les inondations et les températures élevées.

Selon les études réalisées par l'ONM sur l'évolution des températures, elles ont révélé que celles-ci sont en hausse depuis 1990, date du début des émissions à effet de serre. En ce qui concerne la pluviométrie, il a été constaté un recul de 12% pour la période 1990-2005 en comparaison avec 1961-1990, causant une sécheresse à grande échelle au moment même où d'autres régions enregistrent des inondations dont celle de Bab El Oued en 2001 et dans la ville d'El Taref en 2012. (M.E.A.T, 2003 in Abdelhafid krim F,2014).

I.3. pluviométrie et température

I.3.1. Définition des précipitations

Les précipitations sont définies comme étant toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la Terre, qu'elles soient liquides (bruine, pluie, averse), solides (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou cachées (rosée, givre, givre, etc.). Ils sont causés par des changements de température ou de pression. Les précipitations sont la seule "entrée" dans les principaux systèmes hydrologiques continentaux (c'est-à-dire les bassins versants).[5].

I.3.2. Mécanismes de formation des précipitations

La pluie est un phénomène lié aux systèmes nuageux, qui dépend de la microphysique des nuages et aussi de mouvements à plus grande échelle.

Les petites gouttelettes d'eau en suspension dans l'atmosphère forment des nuages et sont appelées gouttelettes de nuages. Les gouttes d'eau suffisamment grosses chutent et forment les gouttes de pluie. La formation de gouttelettes d'eau dépend du changement d'état de l'eau présente dans l'atmosphère. La quantité d'eau présente et ses changements d'état sont liés aux mouvements verticaux au sein de l'atmosphère. Lorsqu'une particule d'air relativement chaude et humide s'élève, les changements thermodynamiques (dépression, refroidissement) qu'elle subit peuvent conduire à la saturation de l'air et une condensation de vapeur, cela se manifeste par l'apparition de gouttelettes d'eau produites par le dépôt de vapeur d'eau au premier temps autour des micros particules appelées noyau de condensation, puis sur les gouttelettes déjà formées. Le grossissement de ces gouttelettes se fait par deux mécanismes à savoir :

1- A haute altitude les gouttelettes liquides cohabitent avec des cristaux, ceux-ci ont une vapeur saturante plus faible et un transfert d'eau s'opère entre les gouttelettes liquides et les cristaux de glace.

2- Le mécanisme de coalescence : c'est le grossissement des gouttelettes par collision c'est-à-dire ; deux gouttelettes s'entre choc pour ne former qu'une seule plus grosse. Ensuite, il y a le phénomène de collection c'est-à-dire : les plus grosses gouttelettes absorbent les plus petites l'ensemble ainsi formé compose le nuage. Lorsque les gouttelettes deviennent trop volumineuses pour être maintenues sur les courants d'air, elles tombent sous forme de pluie (figure 1.5).

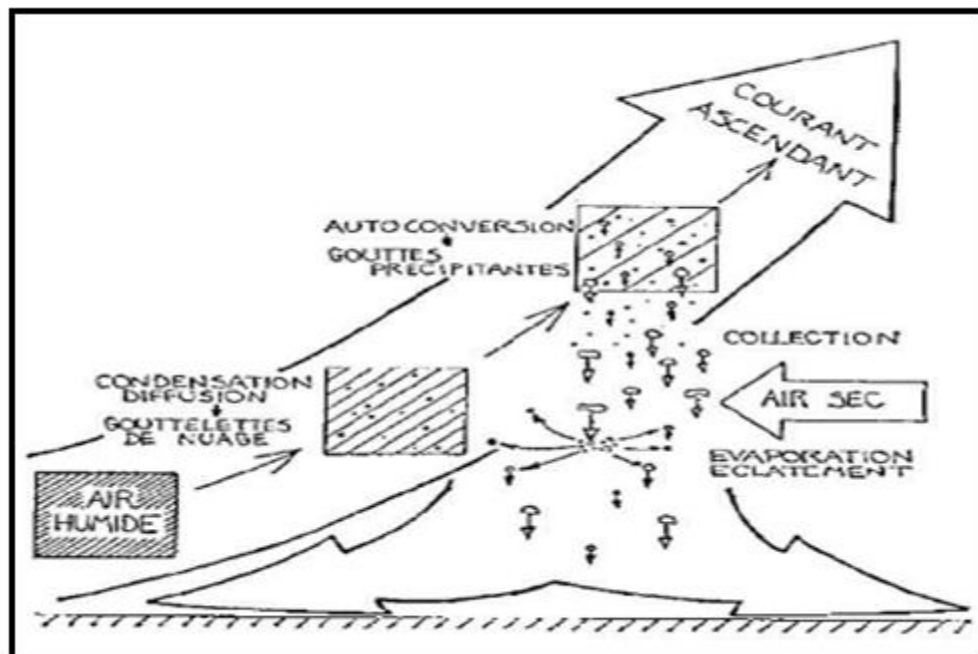


Figure I.5 : Formation des gouttes de pluie.[6]

I.3.3. Les principaux systèmes précipitants

Il existe trois types de précipitations :

-
- **Les précipitations convectives** : résultent d'une montée rapide dans l'atmosphère de masses chaudes au contact du sol. Cette convection thermique peut commencer dès que la température de l'air près du sol est supérieure de 10 % à la température des couches situées au-dessus. Les précipitations qui en résultent, sont orageuses, de courte durée mais de forte intensité. Elles surviennent principalement pendant la période estivale et sont responsables des principaux dégâts locaux liés directement aux précipitations.
 - **Les précipitations orographiques** : s'expliquent par la présence d'une barrière topographique, d'où leur caractère très localisé ; Lorsqu'une masse d'air en mouvement bute sur un relief, il se produit une compression et une ascendance dans la zone au vent et une détente dans la zone sous le vent (effet de foëhn). L'ascendance orographique force la condensation à cause du processus de refroidissement et en conséquence, il y a la naissance des nuages et des précipitations (Vetter, J. 2004). On assiste alors à la naissance de nuages orographiques. L'angle de la pente, en affectant la vitesse d'ascendance des molécules de vapeur d'eau, détermine en partie l'intensité des précipitations. En général, ces dernières présentent des intensités et des fréquences assez régulières.
 - **Les précipitations frontales (ou cyclonique)** : Elles sont associées aux surfaces de contact entre deux masses d'airs ayant des températures, gradients thermiques vertical, humidité et vitesses de déplacement différents « les fronts ». C'est autour de ces discontinuités météorologiques liées à la dépression que l'on observe des précipitations (Billaut, M. et al, 1956). Les nuages et les zones de précipitations sont généralement situés entre les fronts chauds et à l'arrière des fronts froids. Ce dernier produit des événements de précipitations plus courts, moins étendus et plus intenses. Les fronts chauds produisent des séquences pluviométriques plus longues et couvrant des zones plus vastes, mais avec une intensité moindre. Dans le cas d'un front chaud actif, les précipitations peuvent couvrir une zone de 300 kilomètres alors que la taille dépasse rarement 100 à 200 kilomètres lors d'un front froid.

I.3.4. Mesures de précipitation

Les mesures des précipitations et d'autres paramètres atmosphériques sont généralement effectuées dans une station pluviométrique également appelée station météorologique.

Pour un évènement de précipitation on peut mesurer

- la quantité d'eau précipitée, elle s'exprime en hauteur d'eau ou bien lame d'eau par unité de surface horizontale.
- l'intensité des précipitations, c'est-à-dire la quantité d'eau en fonction du temps.
Ces mesures se font à l'aide de pluviomètres et de pluviographes.

I.3.5. Définition de la température

La température de l'air est définie comme étant "la température indiquée par un thermomètre exposé à l'air en un lieu à l'abri du rayonnement solaire direct" (OMM, 2008).

I.4. La sécheresse

La sécheresse est définie par l'absence de précipitations pendant une période prolongée. Chaque pays déclare l'état de sécheresse sur son territoire à la manière qui convient à ses besoins de gestion, par exemple en France, on parlera de "sécheresse absolue" lorsqu'il n'y aura

pas eu de pluie, pendant 15 jours consécutifs au minimum, alors qu'en Australie, la sécheresse est déclarée quand un terrain reçoit moins de 10% de précipitations par rapport à la moyenne annuelle. En revanche, les Etats-Unis, déclare la sécheresse si une zone étendue reçoit 30% de précipitations de moins que d'habitude pendant au moins 21 jours. En Inde, elle n'est déclarée que si les précipitations annuelles sont inférieures à 75% des normales saisonnières.[7]

I.4.1. La sécheresse en Algérie

L'Algérie dans sa totalité et plus précisément le Sahara subit en période estivale des vagues de chaleur et canicules importantes en intensité et en durée. L'été 2018 a été l'année des records de températures élevées dans le Monde. En Algérie, des pics de chaleur avoisinant les 60 degrés Celsius ont été observées à In Salah et Adrar.(Safar zitoun.M,2019)

I.4.2. La sécheresse en Nord-Ouest Algérie

Le Nord-ouest de l'Algérie a connu de nombreuses sécheresses au cours de son histoire, de tailles différentes. Certaines ont parfois un impact significatif sur les conditions, la vie de la population, mais les plus graves et durables sont ces deux dernières décennies. Les précipitations au cours des dernières décennies ont été inférieures à environ 12% dans la région centrale, 13% dans la région orientale et 20% dans la région occidentale (plan national de sécheresse, 2019) Ces valeurs montrent que l'Ouest de l'Algérie est la zone la plus gravement touchée. Cette sécheresse a eu un impact négatif sur le débit du lit des oueds, le niveau des eaux souterraines et le volume d'eau au niveau des barrages.

Conclusion

Ce chapitre a regroupé quelques définitions des termes utilisés et une présentation très succincte des climats dans le monde et en Algérie. Les types de climat dans le monde varient selon la position géographique et la proximité de l'équateur ou des pôles L'étude climatique permet une caractérisation de certains phénomènes tels la sécheresse et la variabilité climatique. Les principaux éléments sur lesquels se basent les études sont la pluviométrie mesurée et la température.

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction

Le bassin versant de l'Oued Tafna couvre une grande partie de l'ouest de l'Algérie (figure II.1). Il draine une superficie de l'ordre de 7200 Km². L'oued Tafna, long de 170 km, prend naissance au niveau de Ghar Boumaaza en Algérie à 1100 m d'altitude, et termine son parcours dans la mer Méditerranée au niveau de la plage de Rachgoune en Algérie, il est limité par le 34°11' en latitude Nord et par 0° 50' W 2° 20'W. L'altitude dans le bassin varie entre 0 et 1800m. Parmi les 17 bassins de l'Algérie, le bassin versant de la Tafna porte le code 16 et appartient à la région hydrographique Oranie Chott Chergui.

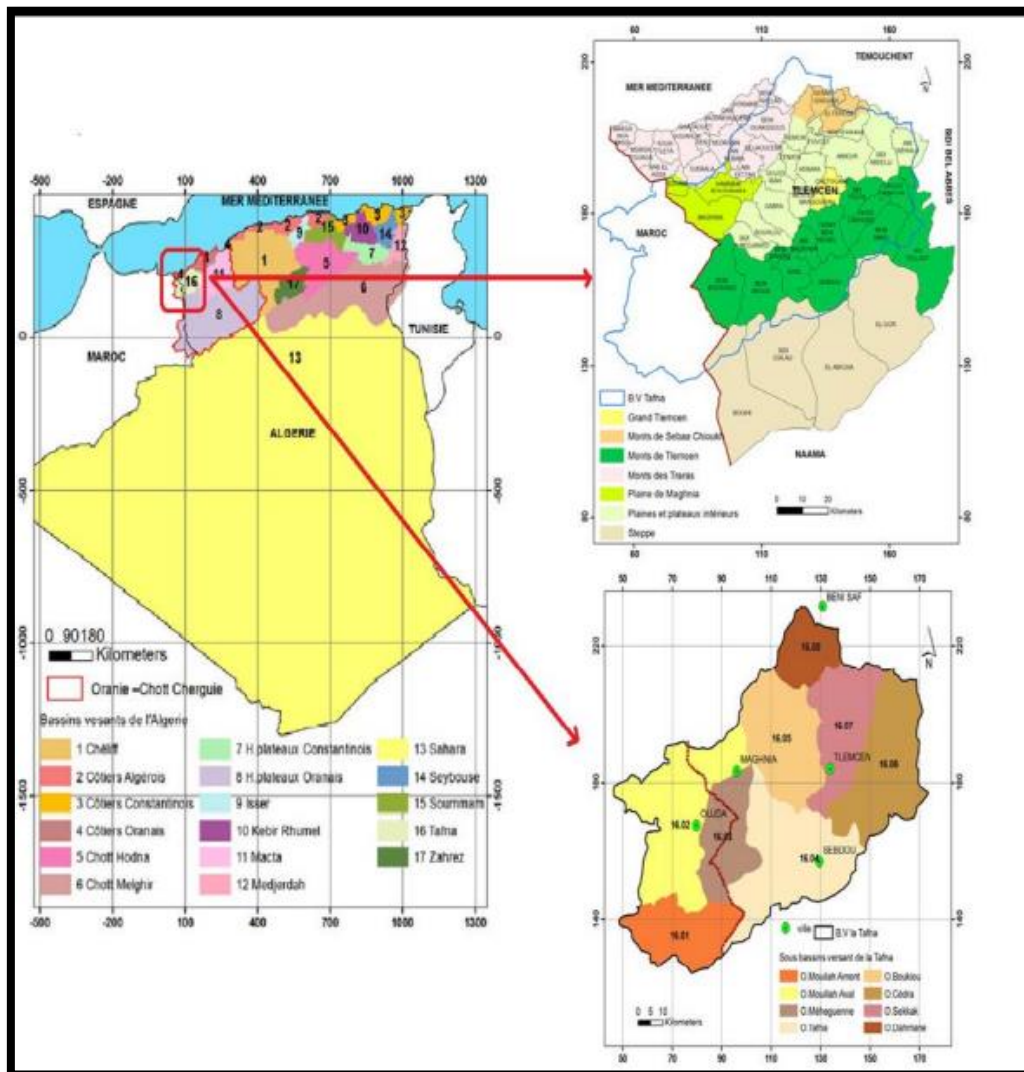


Figure II.1 : situation géographique du bassin versant Tafna.

Globalement, le bassin versant peut être subdivisé en trois grandes parties :

- **partie orientale** : avec comme principaux affluents l'oued Isser et l'oued Sekkak,
- **partie occidentale** : comprenant la Haute Tafna (oued Sebdou et oued Khemis) et l'oued Mouilah.

- **partie septentrionale** : qui débute pratiquement du village Tafna et s'étend jusqu'à la plage de Rechgoun, embouchure de la Tafna sur la mer. Les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun sont les principaux affluents de cette partie. (Bouanani, 2004).

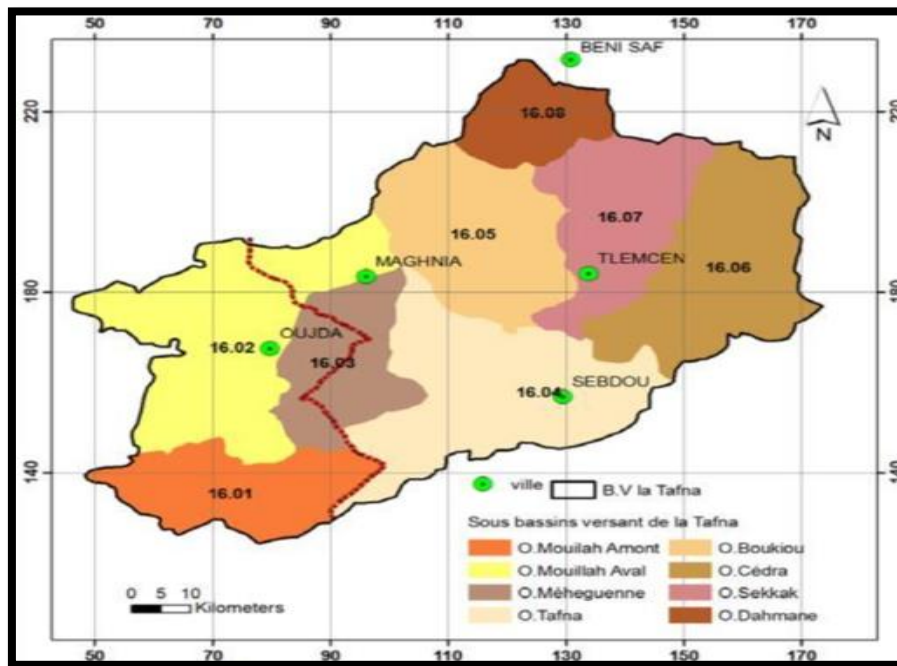


Figure II.2: sous bassin de la Tafna

II.2.présentation du secteur d'étude (bassin versant d'oued sebdou)

Le bassin versant d'oued Sebdoou faisant partie du bassin versant de la haute de Tafna en amont du barrage de Béni Bahdel (Fig.II.3), est limité par

- au Nord, par le plateau de Titmokhen,
- au Sud, par Djebel Lato, Si Abdellah, Maiter, Zninia, Toumiet et Koudiat el Harcha,
- à l'Est, par Djebel Mazoudjène, Djebel El Ahmer, et Djebel el Arbi,
- à l'Ouest par le plateau des Azaïls. Le Nord et le Nord - Est du bassin versant correspondent à un horst jurassique principalement carbonaté. Au Sud et à l'Est, on trouve un graben rempli de sédiments plioquaternaires représentant le Fossé de Sebdoou. (Baba-Hamed K. & Kerzabi R., 1991).

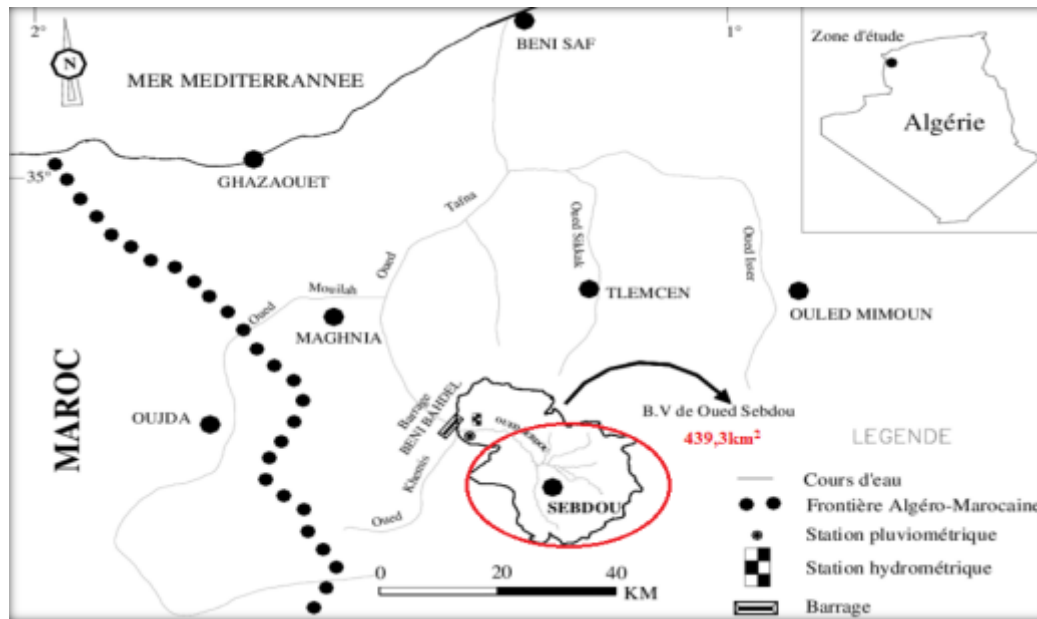


Figure II.3 : situation du bassin versant d'oued sebdou (Ghenim, 2013).

II.3.Morphométrie du bassin versant d'oued sebdou

L'écoulement naturel des eaux dans un bassin versant est commandé à la fois par les conditions climatiques et par les caractéristiques physiques du bassin. La forme, le relief et le réseau hydrographique sont les éléments physiques les plus importants qui jouent un rôle dans le processus de l'écoulement et qui font l'objet de l'analyse morphométrique. Il existe un certain nombre de caractéristiques qui sauront compléter l'analyse morphométrique tels que la densité de drainage, la fréquence des cours d'eau, l'allongement et le profil du cours d'eau. Les résultats de cette étude sont celles relatives aux travaux de Baba-Hamed & Kerzabi, 1991 et Bougara H, 2021. (in Abdelmoumène H, 2021).

II.3.1.caractéristique de forme

1/la surface : Dans le cas du bassin versant d'oued Sebdou : $A=439,3 \text{ km}^2$

2/périmètre : c'est la longueur de la ligne de contour du bassin, pour le bassin versant d'oued Sebdou à Sebdou : $P = 153,88 \text{ km}$.

3/ **Indice de compacité de Gravelius** : Le "coefficient K_c de Gravelius" se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant même surface (appelée aussi coefficient de compacité) :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 2.07 \quad (\text{Eq II.1})$$

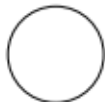


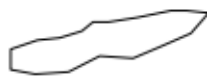

Avec :

P : Périmètre (km)

A : Surface (km^2).

Dans notre cas, $K_c = 2,07$ D'après l'indice de compacité, le bassin versant en question appartient à la classe des bassins versants allongés, très étirés à tendance amiboïde selon les formes indiquées par Karimou Barké et al. 2017. (Karimou Barké et al. 2017 in Dib F, 2021).

Tableau II.1 : Classes de formes de cuvette suivant les valeurs de l'indice de Gravelius. (Karimou Barké et al. 2017in Dib F,2021).

Forme	Valeurs de l'indice	Définition	Schéma stylisé
Circulaire	1 à 1.03	Cuvettes ayant la forme de cercle	
Ovoïde	1.03 à 1.3	Cuvettes ovoïdes	
Amiboïde	1.3 à 1.4	Cuvettes caractérisées par une association de plages irrégulières, lobées, d'aspect amiboïde, à contours nets, très contrastés	
Étirée	1.4 à 1.7	Cuvettes allongées	
Très étirée à tendance amiboïde	>1.7	Cuvettes plus étirées que les précédentes. Elles présentent souvent des fragments amiboïdes c'est-à-dire des contours lobés	

4/Rectangle équivalent :

C'est une notion introduite pour pouvoir comparer les bassins eux du point de vu influence de la forme sur l'écoulement.

On détermine la longueur et la largeur du rectangle qui aurait la même superficie, le même indice, la même courbe de fréquence altimétrique et les mêmes conditions d'écoulement que ceux du bassin versant considéré.

- **Longueur :** $L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right]$

- **Largeur :** $l = \frac{Kc}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right]$

Avec :

- Kc : Coefficient de compacité.
- A : Surface (km²).
- L :longeur du rectangle (km)
- l : largeur du rectangle (km).

Dans le cas d'oued de Sebdou, l = 6.2 km.et L=70.92km

II.3.2.Réseau hydrographique

Un réseau hydrographique est représenté par l'ensemble des chenaux de drainage naturels où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines soit sous forme de sources, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau (Roche, 1963). La figure II.4 représente le réseau de l'oued Sebdou (contrôlé par la station hydrométrique de Sebdou) :

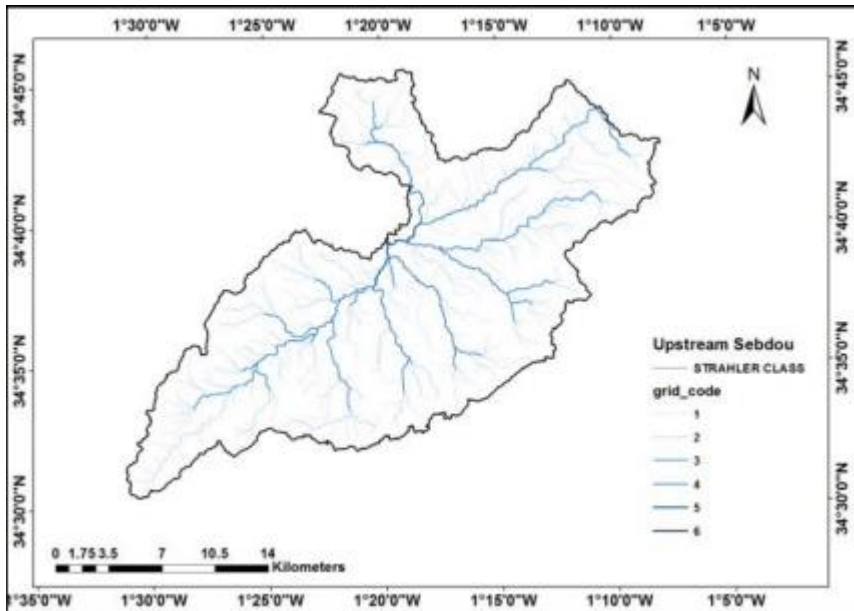


Figure II.4 : Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Sebdou (Bougara H, 2021).

II.3.2.1.Etude du chevelu hydrographique

1/Densité de drainage : C'est un paramètre qui permet de caractériser l'organisation du chevelu hydrographique et le degré de drainage du bassin versant donnée par la relation :

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \text{ (km/km}^2\text{)} \tag{Eq II.4}$$

Avec :

Dd : Densité de drainage (km/km²).

L : longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin (Km).

A : aire du bassin (Km²)

Dd= 1,33 km/km².

2/Rapport de confluence : C'est le quotient du nombre de thalwegs d'ordre (n) par celui des thalwegs d'ordre supérieur (n+1) donnée par la relation :

$$Rc = \frac{Nn}{Nn+1} \tag{Eq II.5}$$

Avec :

n : Ordre du thalweg.

N : Nombre des thalwegs

Tableau II.2 : Rapport de confluence.

ordre	Rc	Nombre (ni)
1	2.74	589
2	1.89	215
3	1.01	114
4	3.77	113
5	30	30
6	/	1

Rc=7.88.

3/ Rapport des longueurs : C'est le quotient de la longueur moyenne des thalwegs d'ordre (n+1) par celles des thalwegs d'ordre (n) :

$$R_L = \frac{L(n+1)}{L_n} \quad \text{EqII.6}$$

Avec :

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

L_(n+1) : Longueur du cours d'eau d'ordre n+1.

Tableau II.3 : Rapport des longueurs.

Ordre	R _L	Nombre (ni)
1	/	0.5
2	0.49	0.66
3	0.51	0.64
4	0.78	0.5
5	0.13	0.24
6	0.4	0.26

R_L=0.39.

II.3.3. Etude du relief

La zone étudiée est caractérisée par deux ensembles distincts :

- Au Nord et au Nord-Ouest, un horst.
- Au Sud et à l'Est, un graben rempli de sédiments plio-quadernaires correspondant au fossé de Sebdu.

La zone montagneuse comprend au Nord, le Djebel Bou-chouk culminant à 1382 m, au Sud le Djebel El Hamar (1314 m) et le Djebel Nouffai (1185 m) à l'Ouest et le Djebel El Guern (1307 m) à l'Est. Aux limites du fossé s'observent quatre massifs : Djebel Maiter (1217 m), Djebel Lato (1371m), Djebel El Arbi (1239 m) et Djebel Si Abdallah (1368m) (Baba Hamed & Kerzabi,1991 in Abdelmoumen H ,2021).

II.3.3.1.Répartition altimétrique

a/courbe hypsométrique

le relief est un élément capitale dans le comportement hydrologique d'un bassin,il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation.

La courbe hypsométrique est un facteur important pour déterminer l'état du bassin par rapport à son potentiel érosif. Elle est obtenue en portant la surface cumulée (%) en abscisse et la hauteur correspondante en ordonnée.

Nous avons essayé de tracer la courbe hypsométrique (fig.II.5) et l'histogramme des fréquences altimétriques (fig. II.6) à partir des résultats des travaux de Bougara (2021).

Tableau II.4 : Répartition hypsométrique du sous bassin d'oued Sebdu.

Tranches d'altitudes (m)	Surfaces partielles (km2)	Surfaces partielles cumulées (km2)	Surfaces partielles (%)	Surfaces partielles cumulées (%)
1616-1600	0.01	0.01	0.002	0.002
1600-1500	1.11	1.12	0.25	0.25
1500-1400	8.32	9.44	1.89	2.15
1400-1300	39.64	49.08	9.02	11.17
1300-1200	67.59	116.67	15.39	26.56
1200-1100	124.23	240.9	28.28	54.83
1100-1000	127.38	368.28	28.99	83.83
1000-900	67.8	436.08	15.43	99.26
900-852	3.24	439.32	0.74	100

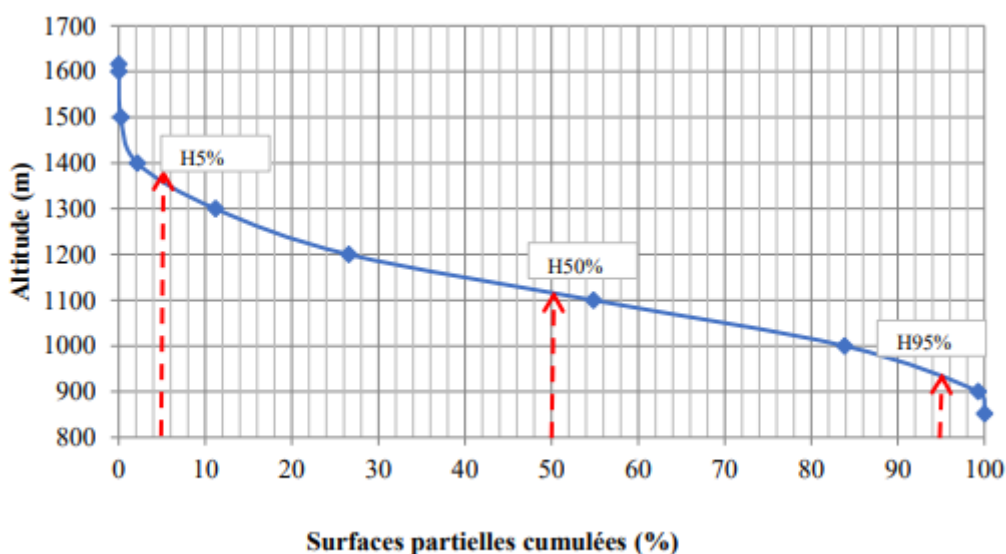


Figure II.6 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued Sebdu.(Dib F,2021).

La courbe hypsométrique (Fig.II.6), indique une concavité vers le bas, avec une pente importante vers les hautes altitudes indiquant la présence d'un plateau. La faible pente de la courbe aux basses altitudes indiquant la présence d'une vallée encaissée représentant le lit d'oued Sebdu. La forme de la courbe est caractéristique d'un bassin à l'état d'équilibre, d'où un potentiel érosif assez important.

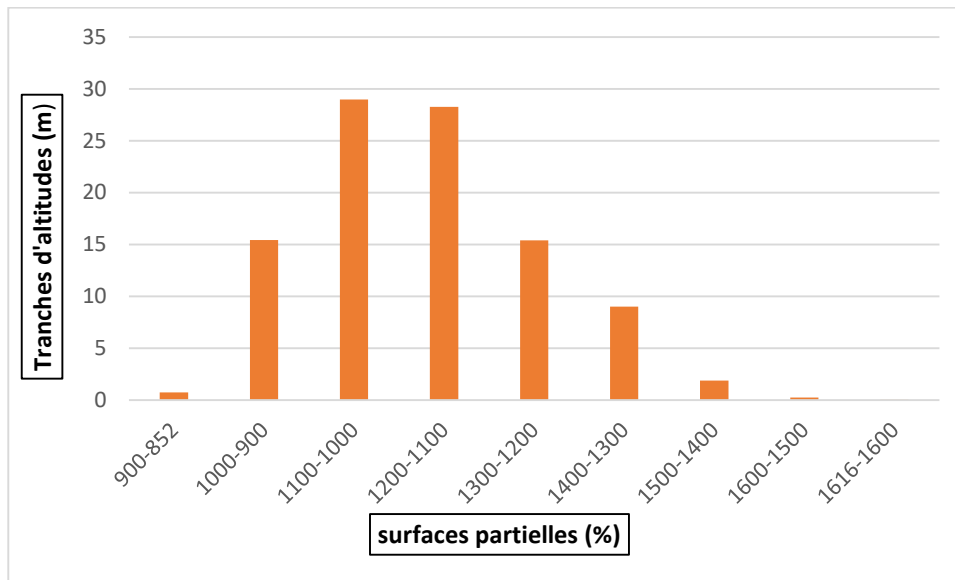


Figure II.7: Histogramme des fréquences altimétriques du bassin versant de l'oued Sebdu.

A partir de l'histogramme, l'altitude la plus fréquente se situe dans la gamme d'altitude de 1100-1000m, elle représente le maximum du diagramme des fréquences altimétriques égal 28,99%, et correspond à la plaine de Sebdu, on remarque aussi que l'altitude la moins fréquente est celle située entre 1616-1600 et 1600-1500m au niveau des Monts de Merchiche et les cascades d'Ain Taga au Nord.(figure II.5).

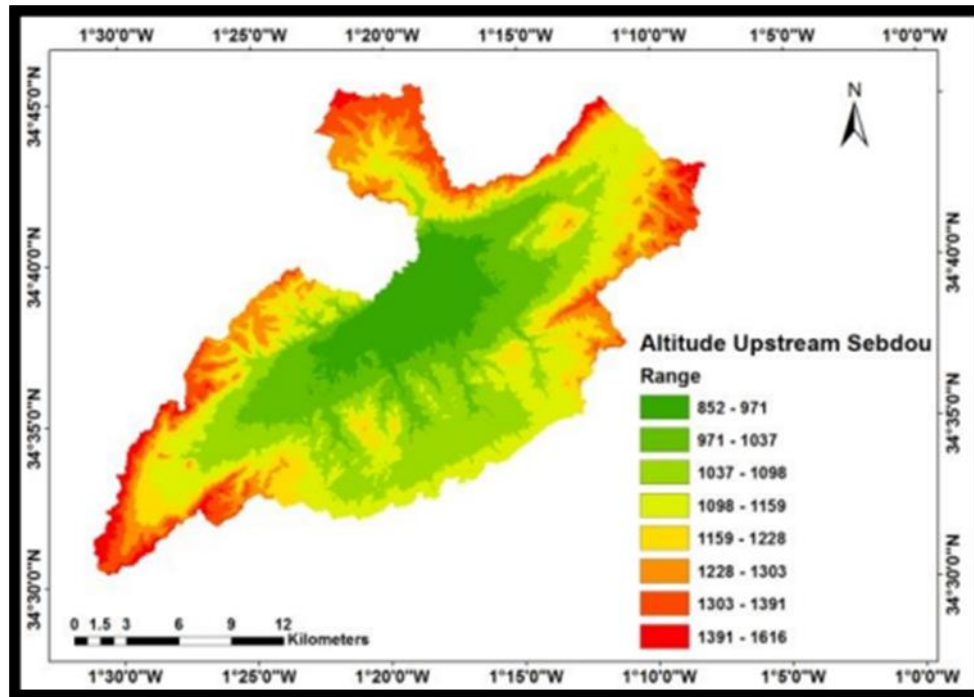


Figure II.5 Répartition altimétrique du bassin d'oued Sebdoou (Bougara H, 2021).

II.3.3.2. indices de pente de relief

a/Indice de pente de Roche Ip : L'indice de pente Ip est défini par Roche à partir du rectangle équivalent, C'est la somme de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent et pondérée par les surfaces. S'exprime en pourcentage :

$$I_p = \frac{1}{L} \sum \left(x_i \sqrt{\frac{d}{x_i}} \right) \quad \text{EqII.7}$$

Avec :

xi : distance séparant deux courbes de niveau sur le rectangle équivalent (m)

L : longueur du rectangle équivalent (m)

d : pente partielle (%).

Dans l'oued Sebdoou, Ip = 0,9 m/km.

b/ Indices de pente global

le relief joue un rôle important car il contrôle largement l'aptitude de ruissellement et érosion des terrains. Il peut être compris à l'aide de l'indice de pente globale Ig est donnée par la relation :

$$I_g = D/L \quad \text{EqII.8}$$

Avec :

Ig : Indice de pente global

D : Dénivelée (m) ,D = H5% - H95%.

L : Longueur du rectangle équivalent (km).

Sur la courbe hypsométrique déjà tracée, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface totale. H5% et H95% sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin. Dans notre cas de l'oued Sebdu, $I_g = 0,016$ m/km.

Tableau II.5 : Classification du relief selon I_g par l'ORSTOM.

Type de relief	I_g
Relief très faible	$I_g < 0.002$ m/km
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$
Relief très fort	0.5 m/km $< I_g$

Après la classification de l'ORSRTOM (tableau II.5) le bassin de Sebdu a un relief modéré.

II.3.4. Dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique permet d'utiliser la classification de l'O.R.S.T.O.M qui permet définir les différents types de relief des bassins versants quelque soient leurs superficies. Elle se définit comme suit :

$$D_s = I_g \sqrt{S} \quad \text{EqII.9}$$

Avec :

D_s : dénivelée spécifique.

I_g : indice de pente.

S : superficie du bassin versant.

Dans notre cas , $D_s = 130,16$ m.

Tableau II.6 : Classification du relief selon D_s par l'ORSTOM.

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

Les résultats du tableau II.6 montrent d'après la classification de l'Orstom que le bassin de sebdu a un relief assez fort.

Bassin de sebdou	Ip(km/m)	Ig(km/m)	Relief selon Ig	Ds(m)	Relief selon Ds
	0.9	0.016	Modéré	130.16	Assez fort

II.3.5. Coefficient de torrentialité

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

$$CT = Dd \cdot F1 \quad \text{Eq. II.10}$$

Avec :

Dd : Densité de drainage (km/km²).

F1 : Fréquence des thalwegs élémentaires d'ordre 1.

Dans le cas d'oued Sebdou, CT = 1,74.

Le coefficient de torrentialité est dû à plusieurs paramètres en particulier la pente et le chevelu hydrographique. Au niveau du bassin versant de Sebdou, la valeur élevée du CT (1,74) est expliquée par son caractère montagneux et sa densité de drainage élevée (Dib.F.2021)

II.3.6. Temps de concentration

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

$$Tc = \frac{4\sqrt{A+1.5L}}{0.8\sqrt{Hmoy-Hmin}} \quad \text{EqII.11}$$

Avec :

L : Longueur du cours d'eau principal (km).

A : Surface du bassin versant (km²).

Hmoy : Altitude moyenne (m).

Hmin : Altitude minimale (m).

Dans notre cas Tc = 7.03h.

II.3.7. vitesse de concentration

C'est la vitesse de ruissellement on la calcule par l'équation suivante :

$$Vc = \frac{L}{Tc} \quad \text{EqII.12}$$

Avec :

Vc : Vitesse de concentration (km/h).

L : Longueur du thalweg principal (Km).

Tc : Temps de concentration (h).

Dans notre cas v_c=3.53(km/h).

II.4. Contexte géologique et hydrogéologique

II.4.1. Géologie d'Oued Sebdou

Les Monts de Tlemcen constituent un édifice régulier comportant essentiellement des terrains mésozoïques et cénozoïques. Les assises sédimentaires attribuées au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur sont principalement formées de carbonates. Cet ensemble constitue la bordure méridionale des Monts de Tlemcen, situé dans le couloir délimité à l'Ouest par l'accident de la Tafna et à l'Est par celui d'Oued Chouly (Baba-Hamed & Kerzabi, 1991 in Dib.F, 2021).

Le Nord et le Nord-Est du bassin versant correspondent à un horst jurassique principalement carbonaté. Au Sud et à l'Est, s'y trouve un graben rempli de sédiments plio-quaternaires représentant le fossé de Sebdou (Baba-Hamed et Kerzabi 1991, Megnounif et al. 2004 in Dib F, 2021)

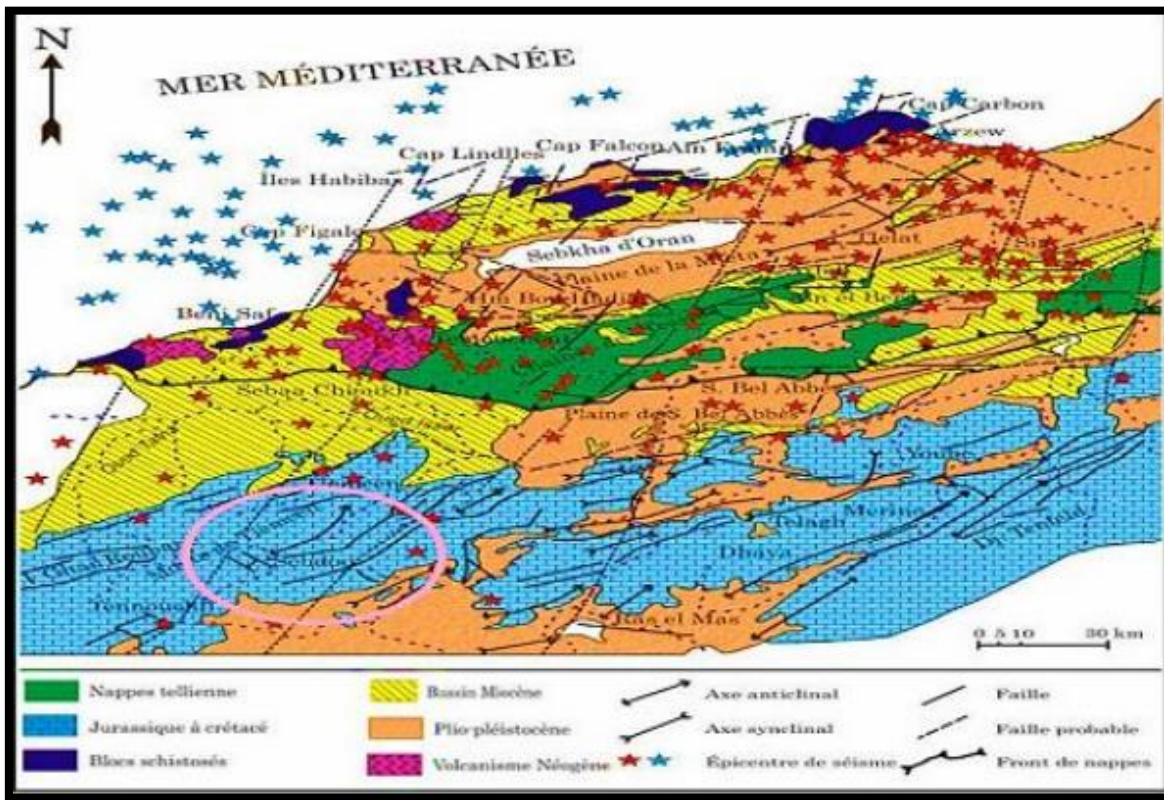


Figure II.8 : Carte structurale de l'Oranie nord occidentale (Thomas, 1985).

II.4.2. Analyse litho stratigraphique

Le grand bassin de la Tafna est caractérisé par une géologie très complexe et qualifiée de grande tectonique. Sachant que l'évolution des terrains rencontrés dans le bassin de l'oued Sebdou va du Jurassique moyen jusqu' au Plio-Quaternaire (fig.II.9). Cette étude est tiré des travaux de (Baba Hamed et Kerzabi 1991 in Ouici F, 2018) :

1/ Jurassique

a) Les marno-calcaires de Raourai : Ce sont des marnes grises, blanchâtres en surface, intercalées de nombreux lits et bancs de calcaires marneux durs, cette formation est limitée à sa base par les lits calcaires de Stah et au sommet par les calcaires de Lato, ou les premières assises des dolomies de Terny.

b) Les calcaires de Lato : Ce sont des calcaires massifs en bancs épais, leur épaisseur est d'environ 50 m au djebel Lato.

c) Dolomies de Terny : Elles correspondent à des dolomies parfois vacuolaires avec de nombreuses stratifications obliques et un aspect très massif, qui permet de bien les distinguer des dolomies de Tlemcen, leur épaisseur est de l'ordre de 100 m dans le plateau de Terny. Ces trois formations précédentes sont attribuées au Tithonique inférieur.

d) Marno-calcaires de Hariga : D'âge Tithonique moyen, il s'agit d'une alternance de marnes et de Calcaires. Elles sont bien exposées au djebel Hariga avec une épaisseur de 165 m dans le bassin du Sebdu, ainsi qu'au Bled El Gliia à 270m.

e) Marno-calcaires d'Ouled Mimoun : d'âge Tithonique supérieur, cette formation renferme les couches de passage du Jurassique au Crétacé, elle est limitée à sa base par les "grès de Merchich", dans le secteur de Merchich, sur le rebord sud du plateau de Terny. Elle affleure nettement dans le secteur d'Ouled Mimoun, ainsi qu'au niveau de la bordure nord du fossé de Sebdu.

2/ Crétacé

a) Grès de Berthelot (Hauterivien) : La base est riche en stratifications obliques, marquée par des bancs de dolomies pulvérulentes, ils sont bien représentés au Sud-ouest du fossé de Sebdu.

3) Plio-Quaternaire : Représenté par des sédiments continentaux d'âges comparables, bien que de natures variables. Il s'agit d'une série complexe de dépôts discontinus formés d'éléments hétérométriques et hétérogènes. On y rencontre les faciès suivants :

- Le complexe de sédiments plio-villafrachiens : la bordure des massifs secondaires est soulignée par des éboulis de piémont plus ou moins encroûtés et remaniés, d'épaisseur très variable mais toujours assez faible.

- Des anciennes alluvions allant des marnes alluvionnaires verdâtres aux galets en passant par les limons et les graviers.

Ces formations occupent principalement la plaine du fossé de Sebdu ainsi que le lit des oueds.(Dib.F,2021).

II.4.3. Reconstitution du Log Litho-stratigraphique

Pour la reconstitution du log litho-stratigraphique Baba Hamed & Kerzabi (Baba Hamed & Kerzabi, 1991) se sont basés sur la description apportée par les sondages, forages et les travaux de M. Benest en 1985 (Fig. II.9) :

Age	Colonne lithologique	Formations rencontrées	Description
Quaternaire		Formation conglomératique	Alluvions, croûte calcaires et dépôts continentaux avec au sommet des couches marseuses
Plio-Quaternaire		Formation de Sebdu	Dépôts de conglomérats redressés Calcaires lacustres vacuolaires
Barremien		Grès de Berthelot	Grès avec de la chlorite
Berriasien supérieur		Argiles de Lamoricrière	Argiles avec des passées gréseuses
Berriasien inférieur	Titonique supérieur	Marno-calcaires d'Ouled Mimoun	Grès, calcaires et marnes souvent biodétritiques
		Grès de Merchiche	
Kimmeridgien	Titonique inférieur	Marno-calcaires de Hariga	Alternance de marnes et calcaires
		Dolomies de Terny	Dolomies vacuolaires à patine rousse avec des stratifications obliques
		Calcaire de Lato	
		Marno-calcaires de Raourai	Micrite et pelmicrite, alternance de marnes grises verdâtres et de calcaires
		Calcaires de Staâ	
Oxfordien supérieur	Kimmeridgien inférieur	Dolomies de Tlemoen	Dolomies cristallines grises à patine rousse, dans les dolomies on observe des lentilles stromatolitiques
		Calcaires de Zarifet	Calcaires bleux
		Grès de Boumédine	Grès bruns en gros bancs séparés par des interlits argileux Au sommet, on trouve quelques passées marseuses et calcaires

Figure II.9 : Log stratigraphique du fossé de Sebdu (Baba Hamed & Kerzabi, 1991 in Ouici F.2018).

II.4.4.hydrogeologie

On va regrouper les couches lithologiques en deux catégories hydrogéologiques en fonction de leur perméabilité d'interstices et des fissures ou chenaux présents sur les formations :

II.4.4.1. Formations à fort potentiel aquifère

Ce sont les formations calcaréo-dolomitiques (dolomie de Tlemcen et de Terny), les formations gréseuses (grès de Merchiche) et les formations du Plio-Quaternaire. Il s'agit là d'ensembles lithologiques forts tant en ce qui concerne leur structure physique, que leur composition chimique, mais ils ont pour caractère commun une capacité d'accumulation en eau élevée, surtout en ce qui concerne les massifs dolomitiques qui donnent naissance à de nombreuses émergences karstiques.

- **Dolomie de Tlemcen** : Avec à leur base les calcaires de Zarifet, elles affleurent en grande partie vers le Nord-Ouest et le Nord-Est du Bassin
- **Alluvions plio-quaternaires** : Nous considérons ici, aussi bien les alluvions récentes formés le long des Oueds que les terrasses, croûtes calcaires du Quaternaire ancien et les conglomérats qui comblent le fossé de Sebdu. Bien que leur épaisseur soit généralement faible, ces formations ont une extension spatiale considérable, ce qui favorise l'extension d'une nappe phréatique plus ou moins continue et facilement exploitable.

Parmi les sources qui drainent ces formations, nous citons : Ain Soltane, Deillen, Sidi Aissa, Berdil, Hadjar.

II.4.4.2. Formations à faible potentiel aquifère

Cet ensemble regroupe un ensemble de formations de nature lithologique très variée, mais où les séries à dominance argileuse ou marneuse occupent une place prépondérante. L'ensemble des formations concernées présente une faible perméabilité d'interstices ou de fissures, il n'y existe donc pas d'aquifères notables.

1/Grès de Bou-Médine : Ces grès présentent une perméabilité généralement faible ou nulle, sauf cependant pour les bancs de grès puissants qui s'intercalent dans les marnes, montrant une augmentation de perméabilité grâce aux diaclases qu'ils présentent et au rôle aquifère des lentilles calcaires qui y sont incluses. Le rôle principal de ces grès est de maintenir, grâce aux formations marneuses intercalées le niveau aquifère des dolomies de Tlemcen.

2/Marno-calcaires de Raourai, Hariga et d'Ouled Mimoun : Même si les niveaux calcaires présentent une certaine perméabilité, ils sont imperméables dans le sens vertical.

3/Argiles de Lamoricière : Ne recèlent aucune réserve aquifère.

L'étude des propriétés hydrogéologiques des différentes formations montre trois grands types d'aquifères (fig. II.11):

- les aquifères perchés, entièrement limités par les terrains imperméables.
- les aquifères à plongement nord, sous les terrains miocènes.
- les aquifères à plongement sud, sous les conglomérats des hauts plateaux.

II.2.5. Sol et végétation

Les sols dans cette zone peuvent être subdivisés en trois classes :

- les sols calcaires couvrant une grande partie du bassin, où se développent une arboriculture non irriguée et un élevage de montagne.
- les sols alluvionnaires constituant la cuvette de Sebdoù où, émergent de nombreuses sources.
- Les sols constitués par des croûtes calcaréo-gréseuses ou marno-gréseuses ainsi que des argiles de calcification, où l'on retrouve un couvert forestier bien développé. Le couvert végétal influe beaucoup sur les quantités d'eau disponibles pour l'écoulement de surface. En effet, l'évapotranspiration par les végétaux est très importante et elle varie selon la nature des végétaux (forêts, cultures, prairies, etc.). Par ailleurs, la végétation joue également un rôle atténuateur important en période de crue: en effet, lorsque la végétation est développée, le ruissellement est retardé et la pointe de crue est atténuée. Par ailleurs, l'écoulement étant plus long, la part d'eau reprise par l'évapotranspiration augmente et le volume de la crue diminue. (Laborde, 2009)

La végétation est étroitement liée à la distribution des précipitations dans la région, à la nature, à la texture du sol et aux activités anthropiques. Presque 33,9% de la surface du bassin versant est d'un couvert végétal agricole et 6,33% d'un couvert forestier. Il résulte que 0,53% du bassin versant est improductif. Les terres alfa occupent une aire de 5,47% et les maquis arboriculture sont pratiqués dans 18,74% de la superficie. La partie restante du bassin versant est occupée dans sa grande partie par un maquis (20,83). L'urbain occupe 0,78% de la superficie totale.

Tableau II.7 : Distribution du couvert végétal dans le bassin versant d'oued Sebdoù (D.F.S)

Type d'occupation	Surface (km ²)	Surface(%)
Agricole	235,53	33,9
Alfa	38	5,47
Forets	44	6,33
Improductif	3,67	0,53
Maquis	144,74	20,83
Maquis arboriculture	130,23	18,74
Parcours	85,32	12,28
Parcours steppique	0,17	0,02
Plan d'eau	1,63	0,23
Reboisement	8,47	1,22
Urbain	5,44	0,78

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le Bassin d'étude, Nous avons calculé caractéristiques morphométriques qui caractérisent le bassin (le tableau II.8 regroupe les caractéristiques les plus importantes du bassin versant d'oued sebdoù).

Tableau II.8 : caractéristiques physiques du bassin versant d'oued sebdou.

Paramètre	Bassin d'oued sebdou
Surface A(km ²)	439.3
Périmètre p(km)	153.88
Indice de compacité kc	2.07
Longueur L(km)	71.38
Largeur l(km)	6.15
Densité de drainage Dd(km/km ²)	1.3
Rapport de confluence Rc	7.88
Rapport de longueur Rl	0.39
Altitude maximale Hmax(m)	1616
Altitude minimale Hmin(m)	852
Altitude moyenne Hmoy(m)	1128
Indice de pente Ip(m/km)	0.9
Indice de pente globale Ig(m/km)	0.016
Dénivelé spécifique Ds(m)	130.16
Coefficient de torrencialité Ct	1.74
Temps de concentration Tc	7.03
Vitesse de concentration (km/h).	3.53

Chapitre III

Etude

Climatique

III.1.Introduction

Les caractéristiques climatiques sont déterminées à partir des observations fournies par les réseaux de mesures pluviométriques et climatiques installés dans le bassin.

L’objectif de ce chapitre est de faire une analyse des précipitations et des températures enregistrés dans le Bassin de Oued Sebdo, et de faire une classification afin de déterminer le type de climat qui règne dans la région. Pour le faire nous avons considéré les données pluviométriques enregistrées au niveau de la station de Sebdo dont le code attribué par l’ANRH (Agence nationale des ressources hydriques) est 160401 et pour les températures celles enregistrées de la station de Béni Bahdel ayant le code 160403.

Ces deux stations sont considérés représenter le bassin versant.

Tableau III.1 : Caractéristiques des stations de mesure.

Station	Code	coordonnées			paramètre	Période d’observation
		X	Y	Z		
Sebdo	160401	131.25	185.55	875	P(mm)	1975-1976/2020-2021
Béni Bahdel	160403	115.00	164.6	666	P(mm)	1975-1976/1998-1999
Béni Bhdel	160403	115.00	164.6	666	T(°C)	1979-1980/2020-2021



Figure III.1 : Situation des stations de mesure.

(Extraite de la carte au 1/500 000 établie par l’A.N.R.H., 2005)

III.2.Traitement des données pluviométrique

Les données pluviométriques sont celles fournies par l’agence nationale des ressources hydriques. Cette série c’est celles des valeurs mensuelles de pluie. Dans la série d’observations, peu de lacunes de lacunes d’ordre mensuelles sont présentes. Ces lacunes peuvent avoir des causes diverses. Pour l’étude, nous avons choisi de faire un comblement de ces quelques valeurs manquantes à partir de méthodes adéquates.

III.2.1.Estimation des données manquantes des précipitations

L'estimation des données manquantes est faite à partir des valeurs provenant d'une station voisines soumises aux mêmes conditions climatiques et situées dans la même zone géographique que la station déficitaire en données. C'est la station de Béni Bahdel.

La méthode retenue pour la correction de la pluviométrie mensuelle est la méthode des rapports.

III.2.2. La méthode des rapports

C'est le rapport entre deux séries pluviométriques ; La station Y ayant un manque dans les relevés mensuelles et la série complète de la seconde station X à valeur complète. Son application se fait selon l'équation suivante :

$$Y = ax \quad \text{EqIII.1.}$$

Avec :

Y : la valeur pluviométrique mensuelle inconnue à la station lacunaire.

X : valeur correspondante observée pendant le même mois à la station de référence A.

a : constante d'ajustement égale au rapport de la somme des précipitations observées pendant une même série commune aux deux stations soit :

$$a = \frac{p(mm)B}{p(mm)A} \quad \text{EqIII.2.}$$

Pour les stations concernées par notre étude, nous avons tenu compte en plus des conditions précitées (climatiques et géographiques), du degré de corrélation statistique entre les séries déterminant l'efficacité de l'ajustement.

Pour illustrer cette méthode nous allons donner l'exemple d'ajustement des données de la station de Sebdu (B) à partir de celles de la station de Béni Bahdel (A) pour le mois de décembre 1991. Ces deux stations se trouvent dans un même contexte climatique et géographique.

Pour Décembre 1991 :

Le total des précipitations du mois considéré pendant la même série est égal à :

$$P(mm) A = 1195.$$

$$P(mm) B = 1035,4.$$

$$\text{Donc } a = 0,86.$$

La hauteur des précipitations observées au mois de Décembre 1991 à la station de Béni-Bahdel est de 15,9 mm ;

La valeur correspondante à la station de Sebdu serait donc de

$$Y = 0,86 * 15,9 = 13,67 \text{ mm.}$$

III.3. Etude des précipitations

L'étude des précipitations, donne une idée sur l'activité météorologique dans le bassin versant, en général, les précipitations déterminent la variabilité, ou mieux encore l'irrégularité mensuelle, inter-saisonnières et interannuelle.

Dans ce qui suit, nous allons observer la variation des précipitations entre 1975/1976 et 2020/2021 à la station de sebdou à l'échelle annuelle, ensuite mensuelle et saisonnière.

III.3.1. variation annuelle des précipitations

Les données utilisées au niveau de la station de Sebdou s'étendent sur une période de 46 ans allant de 1975/1976 jusqu'au 2020/2021. Les précipitations annuelles moyennes sont représentées sur le tableau III.2. Et la figure III.2.

Chaque précipitation annuelle est obtenue en faisant la somme des précipitations mensuelles :

$$P_{an}(i) = \sum_{k=1}^{12} P(i) \quad \text{EqIII.3.}$$

Tableau III.2 : Précipitations annuelles moyennes à la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).

Années	Précipitations (mm)	Années	Précipitations (mm)	Années	Précipitations (mm)
1975-1976	497,7	1991-1992	483,7	2007-2008	272,4
1976-1977	418,7	1992-1993	237,4	2008-2009	668,9
1977-1978	389,4	1993-1994	290,4	2009-2010	389,2
1978-1979	316,5	1994-1995	351,1	2010-2011	360,9
1979-1980	475,2	1995-1996	694,0	2011-2012	293,7
1980-1981	497,5	1996-1997	223,09	2012-2013	548,3
1981-1982	339,9	1997-1998	296,7	2013-2014	331,4
1982-1983	279,4	1998-1999	251,9	2014-2015	306,2
1983-1984	247,6	1999-2000	198,4	2015-2016	274,4
1984-1985	329,1	2000-2001	411,4	2016-2017	388,9
1985-1986	390,6	2001-2002	433,3	2017-2018	248,4
1986-1987	430,7	2002-2003	363,1	2018-2019	329,4
1987-1988	231,5	2003-2004	351,1	2019-2020	197,5
1988-1989	337,8	2004-2005	217,0	2020-2021	184,9
1989-1990	272,2	2005-2006	394,5	P moyenne	351,91mm
1990-1991	468,77	2006-2007	327,0		

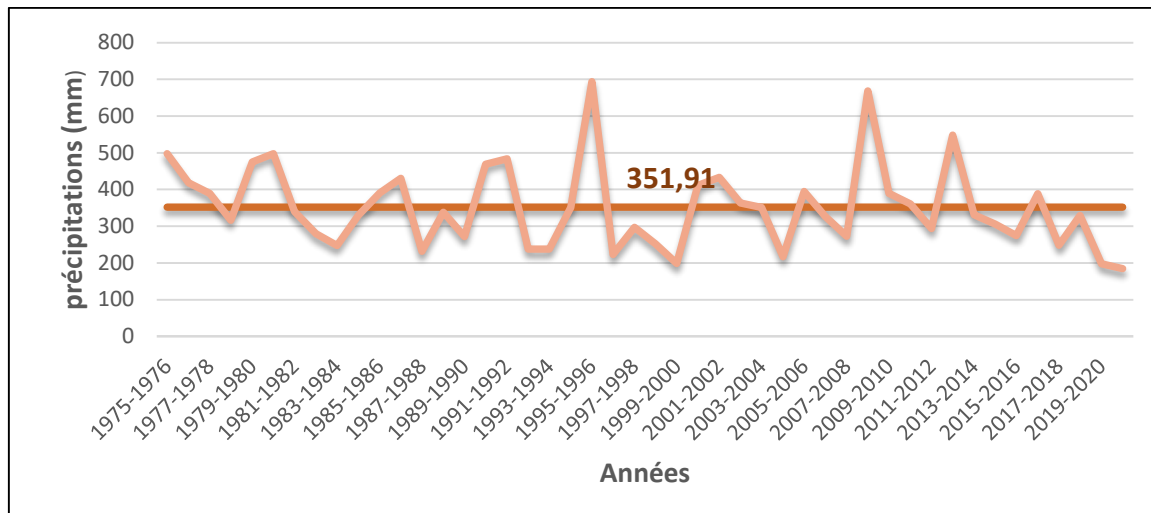


Figure III.2 : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station de Sebdu (1975/1976-2020/2021).

L'analyse des valeurs de pluie enregistrées laisse paraître les points suivants :

- La valeur minimale des précipitations moyennes annuelles a été enregistrée en 2019/2020 et a pour valeur 197.5 mm.
- La valeur maximale des précipitations moyennes annuelles a été enregistrée en 1995/1996. et a pour valeur 694 mm.
- La moyenne de la pluie calculée sur la période de 46 ans est 351,91 mm.

III.3.1.a. Coefficient d'immodération (CI)

Le coefficient d'immodération CI est le rapport entre les précipitations annuelles les plus élevées (le maximum) et les précipitations annuelles les plus faibles (le minimum) enregistrées durant la série d'observation. Cet indice mesure l'amplitude maximale des fluctuations des précipitations à l'échelle annuelle. En d'autres mots, plus la valeur de CI est élevée, plus l'écart entre les précipitations maximales et les précipitations minimales est grand (Assani et al., 2015).in (Dib F 2021).

Dans notre cas, CI est égal à 3,51.

III.3.1.b. Répartition des variations des précipitations annuelles

La figure III.2 précédente montre une fluctuation de la pluie autour de la moyenne. La proportion des valeurs de pluies supérieures à la moyenne est 41.30%, alors que celle des années inférieures à la moyenne est 58.7% (figure III.3)

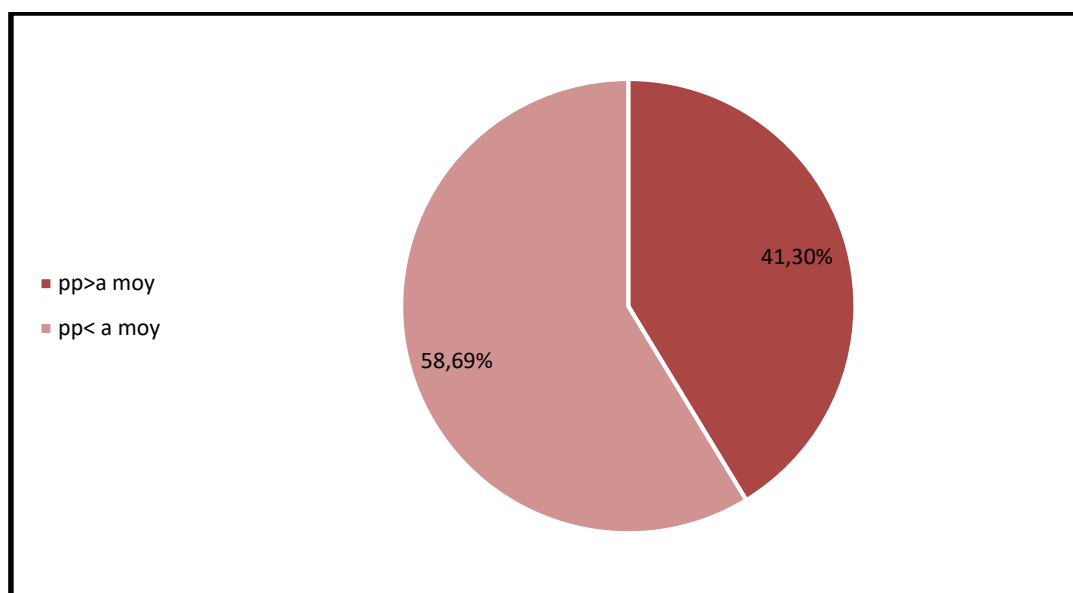


Figure III.3 : Pourcentage de répartition des pluies par rapport à la moyenne

III.3.2. Variation des précipitations moyennes mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles sont calculées dans le tableau (III.3)

Tableau III.3 : Données pluviométriques mensuelles de la station de Seb dou

(1975/1976- 2020/2021).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	JT	Aout
P(mm)	18 ,78	28,38	41,71	43,66	46,13	43,59	41 ,12	33,59	31,38	10,38	5,32	7,41

L'analyse de la répartition des précipitations moyennes mensuelles (fig.III.4), montre une variation de manière croissante de Septembre à Janvier, pour atteindre un maximum de 46,13mm au mois de janvier faisant de lui le mois le plus pluvieux , ensuite une décroissance le reste de l'année faisant du mois de juillet, le mois le moins arrosé avec un minimum de 5,32mm.

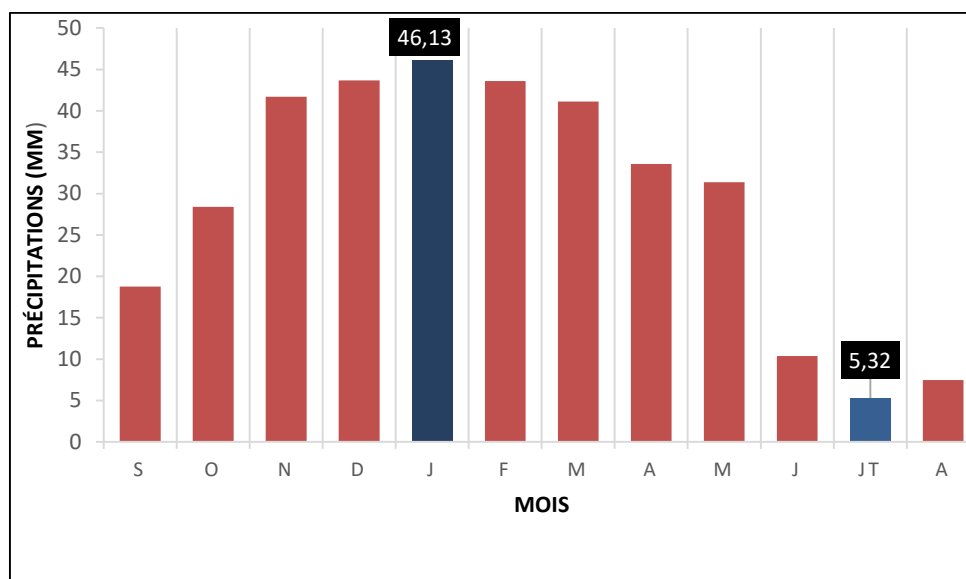


Figure III.4 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sebdoou (1975/1976-2020/2021).

III.3.3. Variation des précipitations saisonnières

Les précipitations saisonnières sont calculées dans le tableau III.4 et présentées par les histogrammes de la figure III.5.

Tableau III.4 : Répartition des précipitations saisonnières.

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
P(mm)	88,88	133,89	106,10	23,12
Pourcentage %	25	38	30	7

Il est clair que la plus grande tranche de précipitations a lieu pendant l’hiver, avec une valeur de 133,89 suivi par le printemps (109.1), ensuite l’Automne et en dernière position l’été qui enregistre 7 mm seulement. Le calcul des pourcentages montre que les saisons les plus pluvieuses sont l’hiver et le printemps.

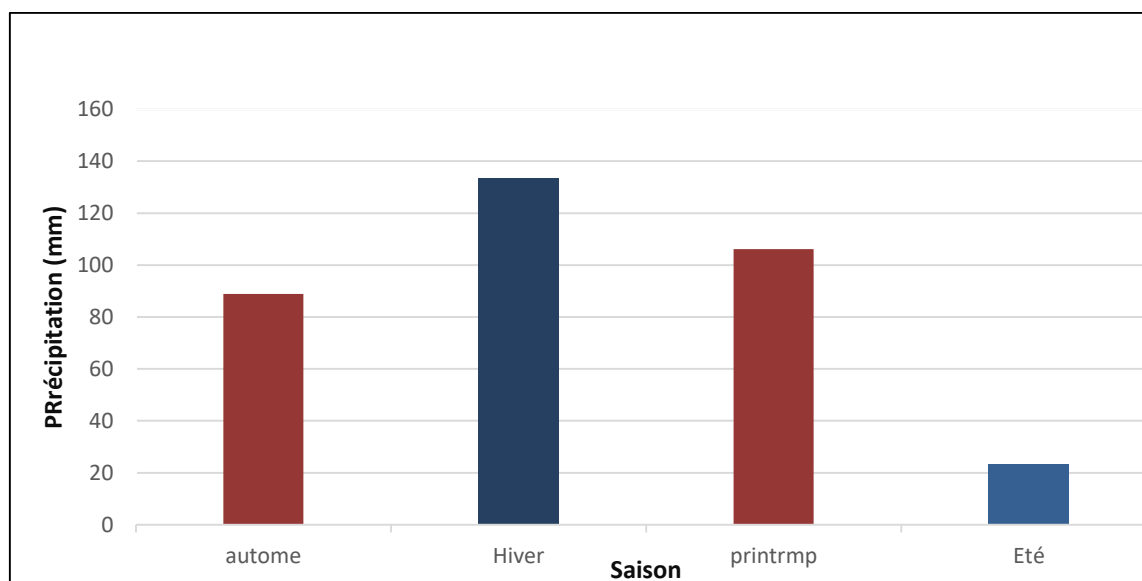


Figure III.5 : Variation saisonnière des précipitations (1975/1976-2020/2021).

III.4. Etude des températures

Pour la réalisation de cette étude, nous disposons des relevés de températures de la station de Béni Bahdel période 1979/1980 à 2020/2021.

Au même titre que pour les précipitations, nous allons observer les variations annuelles, mensuelles et saisonnières.

III.4.1. Température moyenne annuelle

Tableau III.5. Températures moyennes annuelles à la station de Béni Bahdel (1979/1980-2020/2021).

Années	T(°C)	Années	T(°C)	Années	T(°C)
1979-1980	16,2	1994-1995	16,0	2009-2010	17,2
1980-1981	17,1	1995-1996	21,5	2010-2011	17,4
1981-1982	19,5	1996-1997	16,1	2011-2012	17,1
1982-1983	18	1997-1998	17,0	2012-2013	16,9
1983-1984	18,6	1998-1999	16,0	2013-2014	17,7
1984-1985	18,8	1999-2000	16,5	2014-2015	20,0
1985-1986	19,1	2000-2001	16,6	2015-2016	19,8
1986-1987	17,0	2001-2002	22,3	2016-2017	20,2
1987-1988	16,8	2002-2003	16,8	2017-2018	19,0
1988-1989	16,6	2003-2004	16,4	2018-2019	19,5
1989-1990	20,6	2004-2005	16,2	2019-2020	20,1
1990-1991	19,9	2005-2006	16,5	2020-2021	17,46
1991-1992	20,8	2006-2007	16,3	Tmoyenne	17.81°c
1992-1993	15,6	2007-2008	16,5		
1993-1994	16,1	2008-2009	16,0		

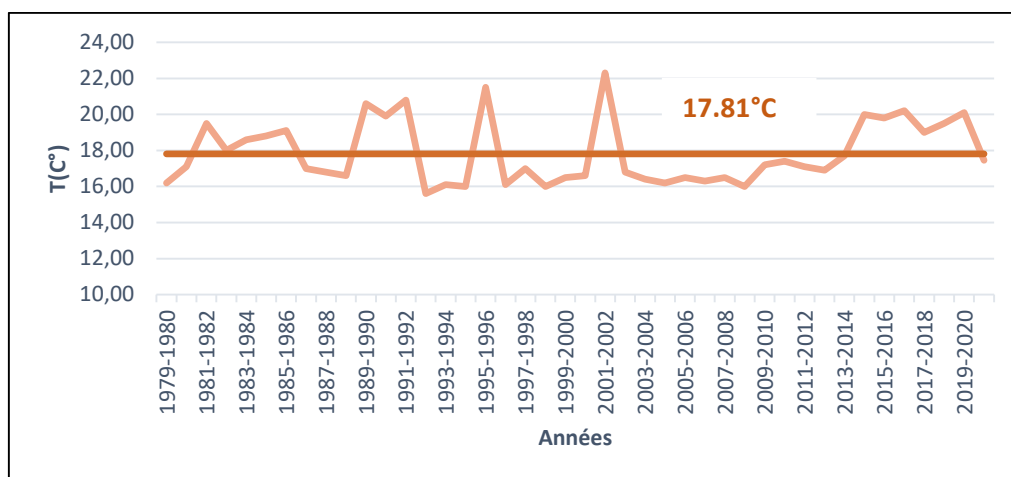


Figure III.6. Variation des températures moyennes annuelles à la station de Beni Bahdel (1975/1976-2020/2021).

L’analyse de la variation des températures annuelles permet de faire les remarques :

- La valeur maximale enregistrée dans cette période est de 22.3°C en 2001/2002.
- La valeur minimale de 15,6°C enregistrée en 1992/1993.
- Ensuite on a une diminution entre 2002/2003 et 2013/2014.
- Une stabilisation vers les 20°C durant la période 2019/2014 et 2019/2020 (légèrement plus haute que la période entre 1979/1980 et 1978/1988).

III.4.2. Température moyenne mensuelle

Le tableau III.6 représente la série des données des températures moyennes mensuelles d’une période de 41 ans (1979/1980-2020/2021).

Tableau III.6. Variation moyenne mensuelle de la température de la station Beni Bahdel (1979/1980-2020/2021).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	JT	Aout
T°c	23,42	18,9	13,89	10,77	9,65	10,7	13,13	15,1	18,72	23,41	28,01	28,6
Différence des temp	-5,18	-4,52	-5,01	-3,12	-1,12	1,05	2,43	1,97	3,62	4,69	4,6	0,59

L’analyse des températures moyennes mensuelles à la station de Béni Bahdel (1979/1980-2020/2021) montre que :

- Janvier est le mois le plus frais avec une température de 9,65°C, et le mois d’Août, le plus chaud avec une température 28,6°C. La différence est de près de 19°C
- La représentation graphique des températures (figure III.7) laisse paraître une variation très marquée des températures d’un mois à l’autre. Une diminution d’environ 5°C par mois à partir de septembre jusqu’au mois de novembre et une augmentation de plus de 4,6°C par mois en juin et juillet. La chute moins marquée entre novembre et décembre, de même la hausse entre avril et mai, les autres variation sont moins importantes.

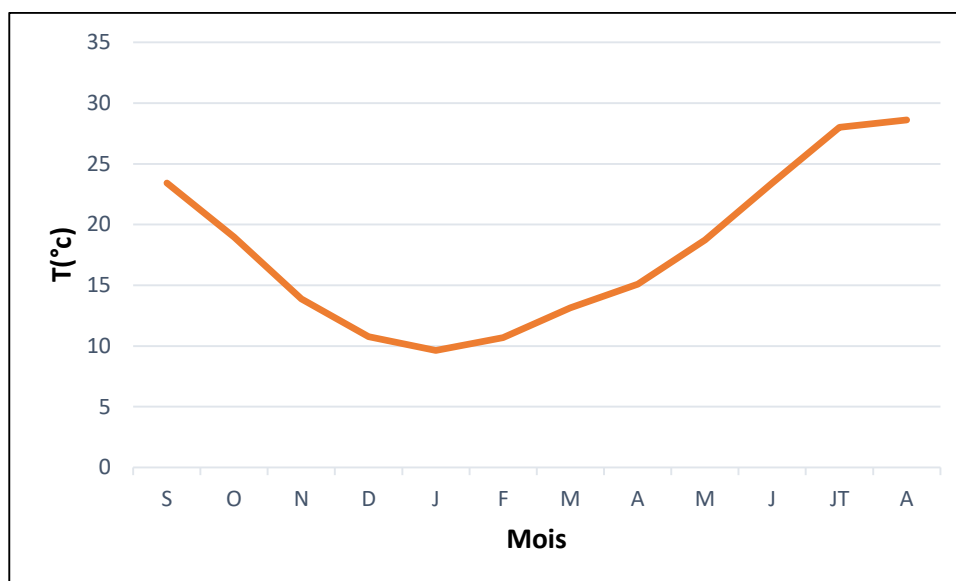


Figure III.7. Variation moyenne mensuelle de la température de la station Beni Bahdel (1979/1980-2020/2021).

III.4.3. Température moyenne saisonnière

Le tableau III.7 représente la série des données des températures moyennes mensuelles d'une période de 41 ans (1979/1980-2020/2021).

Le tableau III.7. Variations moyennes saisonnières des températures de la station de béni-bahdel(1979-1980/2020-2021).

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
T(°C)	18,76	10,37	15,65	26,67

D'après le tableau III.7 et la figure III.8, nous remarquons que :

- L'Hiver est la saison la plus froide, où, il a été enregistré une température de 10,37°C durant la période (1979-1980/2020-2021).
- L'Été est la saison la plus chaude, il a été enregistré une température de 26,67°C.

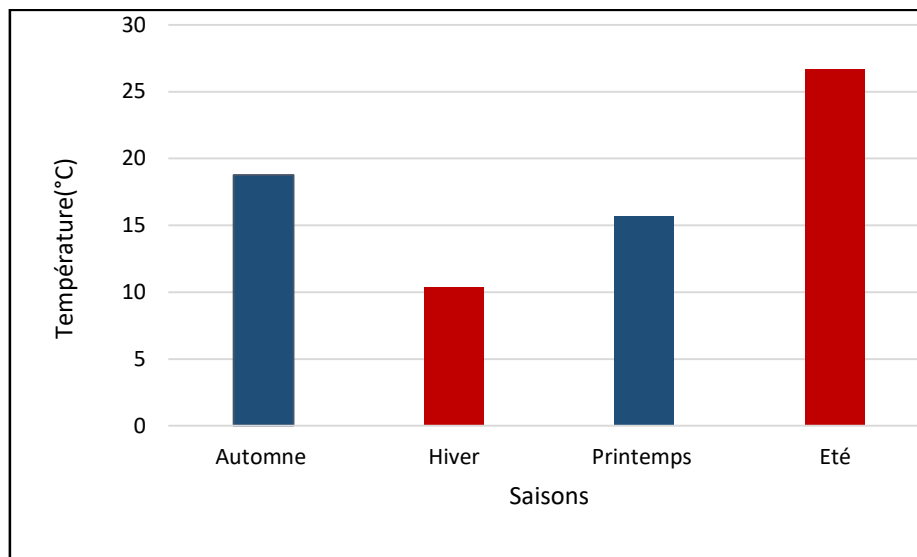


Figure III.8 : Variation des températures moyennes saisonnières de la station de Béni-bahdel (1979-1980/2020-2021).

III.5. Etude du climat

Pour identifier le type du climat du bassin versant d'oued sebdou, nous avons utilisé le diagramme pluviothermique de Gaussen et Bagnouls, l'indice d'aridité de De Martonne, et l'indice de morale.

III.5.1. Diagramme pluviothermique de Gaussen et Bagnouls (1953)

Le diagramme pluviothermique a été établi par les botanistes Gaussen et Bagnouls en 1953. L'équation de ce diagramme est de la forme $P \geq 2T$, en effet, les précipitations et les températures moyennes mensuelles sont reportées sur l'axe des ordonnées, et les mois sur l'axe des abscisses, telles que, P est les précipitations moyennes mensuelles en millimètre (mm), et T les températures moyennes mensuelles en degrés Celsius (°C).

Ce diagramme permet de distinguer les mois secs quand $P < 2T$, et les mois humides quand $P > 2T$.

D'après la figure III.9 nous remarquons :

- Une période humide qui s'étend de Novembre jusqu'au Mai.
- période sèche qui couvre les autres mois de l'année.

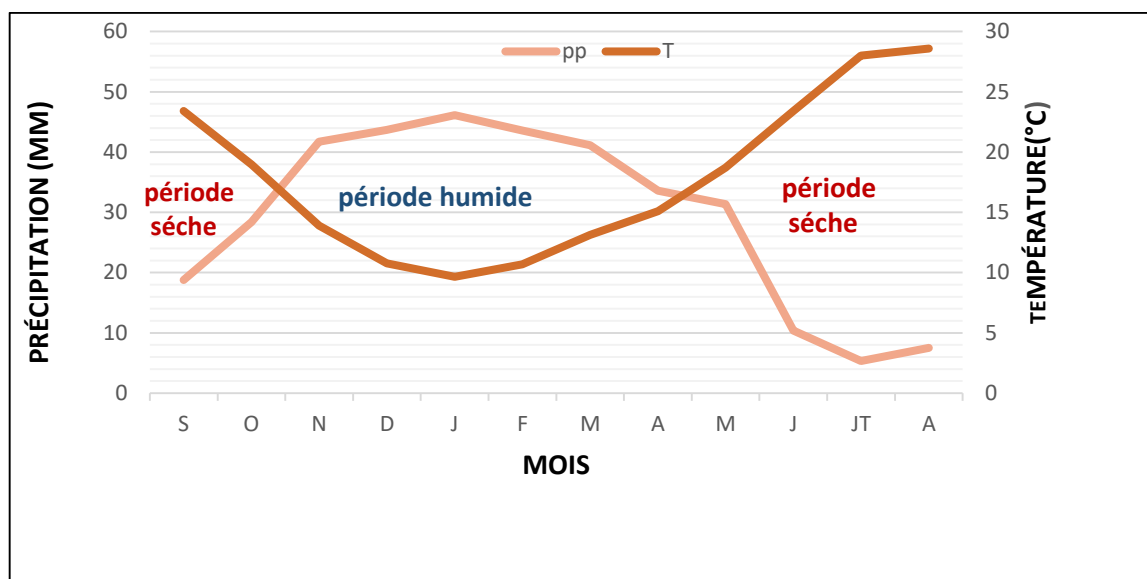


Figure III.9 : Diagramme pluviothermique de Gaussen et Bagnouls de la station de Sebdo (1979-1980/2020-2021).

III.5.2. Indice climatique : Indice d'aridité de De Martonne (1926)

C'est un indice climatique, qui a été établi par le géographe E. De Martonne en 1926. Cet indice permet de connaître le type du climat de la région étudiée.

III.5.2.1. Indice d'aridité annuel de De Martonne

L'indice d'aridité annuel de De Martonne se calcule à partir du rapport de la hauteur moyenne des précipitations par la somme de 10 et la moyenne des températures. Le calcul de cet indice est fait par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T+10} \quad \text{EqIII.4.}$$

Avec :

I : Indice d'aridité annuel.

T : Température moyenne annuelle (°C) = 17,87°C.

Donc dans notre étude, nous avons : **I = 12.62**

Tableau III.8 : Tableau de la classification du climat de De Martonne.

Valeurs de I	I < 5	5 < I < 7.5	7.5 < I < 10	10 < I < 20	20 < I < 30	I > 30
Type de climat	Hyperaride	Désertique	Steppique	Semi-aride	Tempéré	Humide

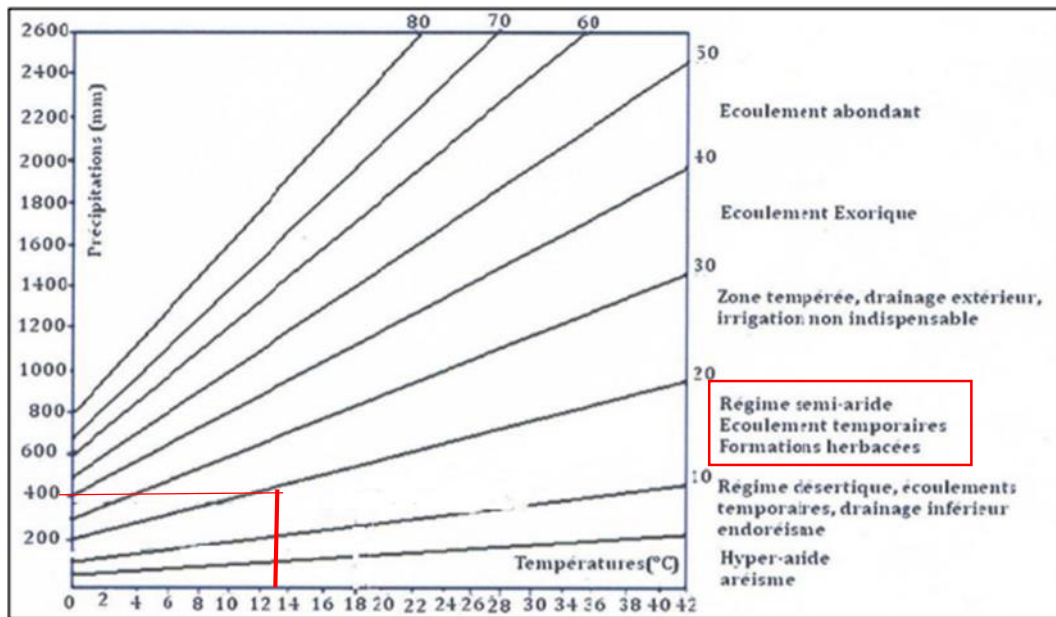


Figure III.10.Abaque de Martonne.

III.5.2.2.Indice d'aridité mensuel de De Martonne

Caractériser le climat d’une région donne une idée générale sur les conditions météorologiques et climatiques qui y règnent. Certains auteurs ont dressé des formules, tableaux ou abaques pour qualifier globalement un climat, L’indice d'aridité mensuel de De Martonne est donné par la formule suivante :

$$i = \frac{12P}{T+10} \quad \text{EqIII.5.}$$

Avec :

p : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

T : températures moyennes mensuelles (°C).

i : Indice mensuel de De Martonne.

Tableau III.9 représente la classification du climat mensuel selon l’indice mensuel de De Martonne pour la période 1975/1976-2020/2021. Selon cette classification, on peut voir que la période humide s’étale de Novembre à Mars, limité par deux mois semi-arides d’Octobre et Avril. Dans le reste de l’année s’installe un climat chaud et sec.

Tableau III.9: Classification du climat mensuel selon De Martonne de la station de sebdu (1979-1980/2020-2021).

Mois	Précipitation (mm)	Température (°c)	Indices mensuels	Type de climat
Septembre	18,79	23,42	6,75	Désertique
Octobre	28,39	18,97	11,76	Semi-aride
Novembre	41,71	13,89	20,95	Tempéré
Décembre	43,67	10,77	25,23	Tempéré
Janvier	46,13	9,65	28,17	Tempéré
Février	43,60	10,70	25,27	Tempéré
Mars	41,13	13,13	21,34	Tempéré
Avril	33,59	15,10	16,06	Semi-aride
Mai	31,39	18,72	13,11	Semi-aride

Juin	10,38	23,41	3,73	Hyperaride
Juillet	5,33	28,01	1,68	Hyperaride
Août	7,42	28,60	2,31	Hyperaride

III.5.3. Indice de Moral

Cet indice se calcule comme suit :

$$I_m = \frac{P}{0.1T^2 - T + 20} \quad \text{EqIII.6.}$$

Les résultats sont dressés dans le tableau suivant :

Tableau III.10 . Valeurs mensuelles de l'indice de Moral.

Mois	Précipitation (mm)	Température(°c)	Im	Type de climat
Septembre	18,79	23,42	0,365	Sec
Octobre	28,39	18,97	0,766	Sec
Novembre	41,71	13,89	1,641	Pluvieux
Décembre	43,67	10,77	2,096	Pluvieux
Janvier	46,13	9,65	2,346	Pluvieux
Février	43,60	10,70	2,101	Pluvieux
Mars	41,13	13,13	1,705	Humide
Avril	33,59	15,10	1,212	Sec
Mai	31,39	18,72	0,864	Sec
Juin	10,38	23,41	0,201	Aride
Juillet	5,33	28,01	0,075	Aride
Août	7,42	28,60	0,101	Aride

III.6. Bilan hydrologique

Le Glossaire International d'Hydrologie (GIH) donne pour le terme "bilan hydrologique" la définition suivante : " Bilan d'eau fondé sur le principe que, pendant un certain intervalle de temps, le total des apports à un bassin versant ou à une formation aquatique, doit être égal au total des sorties plus la variation, positive ou négative, du volume d'eau stocké dans le bassin ou la formation». "L'équation de stockage", proposée comme synonyme, elle est définie comme "équation exprimant le bilan de stockage, qui met en jeu les entrées, les sorties et les variations de la réserve, dans une entité hydrologique quelconque pendant une certaine période".(Azzouz et Mesli ,2020)

- la formule du bilan hydrologique généralement s'écrit sous la forme suivante :

$$P = ETR + R + I \pm \Delta R \quad \text{Eq.III.7.}$$

Avec :

P : Hauteur des précipitations annuelles (mm).

R : Ruissellement de surface annuel (mm).

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle (mm).

I : Infiltration annuelle (mm).

ΔR : Variation de la réserve (mm).

III.6.1. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité d'eau évaporée par une surface aquatique libre (un lac, une rivière, ...), ou transpirée par un couvert végétal. On peut l'estimer soit par un évaporomètre, soit par des formules empiriques comme la formule de Turc (1960) ou Thornthwaite (1946).

$$ETP = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot T}{I} \right)^a \cdot K \quad \text{EqIII.8.}$$

Avec :

ETP : Évapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

I : Indice thermique annuel, calculé par la somme des indices thermiques mensuels (i) s'écrit par la formule suivante : $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.541}$.

Les résultats sont résumés dans le tableau III.11

Tableau III.11 . Estimation de l'ETP mensuelle à la station de Seb dou
(1975-1976/2020-2021).

Mois	K(Lat 35°N)	T (°C)	i	ETP corrigée(mm)
Septembre	1,03	23,42	10,36	107,70
Octobre	0,97	18,97	7,53	68,16
Novembre	0,86	13,89	4,70	33,57
Décembre	0,85	10,77	3,20	20,54
Janvier	0,87	9,65	2,71	17,09
Février	0,85	10,7	3,16	20,29
Mars	1,03	13,13	4,31	36,16
Avril	1,09	15,1	5,33	49,81
Mai	1,21	18,72	7,38	82,93
Juin	1,21	23,41	10,35	126,42
Juillet	1,23	28,01	13,58	180,25
Août	1,16	28,6	14,02	176,81

Donc, l'indice thermique annuel (I) vaut 86,63, la constante (a) vaut 1,88.

La valeur de l'évapotranspiration potentielle mensuelle (ETP) est de 919.72 mm.

III.6.2. Estimation du ruissellement (R)

C'est l'écoulement des eaux à la surface d'un bassin versant. Généralement, il est estimé par la formule de Tixeront-Berkaloff (1958) tel que :

$$R = \frac{p^3}{3 \cdot ETP^2} \quad \text{EqIII.9.}$$

Avec :

R : Ruissellement de surface annuel (mm).

P : Hauteur des précipitations annuelles (mm).

ETP: Évapotranspiration potentielle annuelle (mm).

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.12. Estimation du ruissellement annuel à la station de Sebdou (1975-1976/2020-2021).

P(mm)	ETP corrigée	R(mm)
351.91	919.72	17.17

III.6.3. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

C'est la quantité d'eau réelle évaporée par le sol et les surfaces libres d'un bassin versant, et transpirée par le couvert végétal. Elle est généralement exprimée en millimètre (mm).

Parmi les formules de calcul de l'ETR, la formule de Turc (1954) est la plus utilisée, et elle est définie par :

$$ETR = \frac{p}{\sqrt{0.9 + \frac{p^2}{L^2}}} \tag{EqIII.10.}$$

Avec:

$$L = 200 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^3$$

ETP : Évapotranspiration réelle annuelle (mm).

P : Hauteur des précipitations annuelles (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.13. Estimation de l'ETR annuelle à la station de Sebdou (1979-1980/2020-2021).

P(mm)	T(°C)	L	ETR
351.91	17.81	7806.81	370.52

III.6.4. Estimation de la réserve utile (RU)

La RFU est la quantité d'eau stockée par le sol qui peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes.

Dans notre cas RU=83.63 mm par an.

III.6.5. Bilan simplifié selon Thornthwaite

Thornthwaite a proposé un bilan simplifié pour déterminer l'ETR, le déficit agricole et l'excédent en se basant sur la notion de la RU.

Alors :

- ✓ Si P > ETP, nous avons ETR = ETP, et il reste un excédent (P – ETP).
- ✓ Si P < ETP, nous avons ETR = P + min (RFU, ETP-P) et RFU = 0 dans ce cas, il reste un déficit agricole (Da = ETP – ETR).

Le tableau III.14 regroupe les paramètres de ce bilan.

Tableau III.14 :Bilan de Thornthwaite à la station de Sebdou (1975-1976/2020-2021).

Mois	P (mm)	ETP corrigée (mm)	ΔR=P-ETP (mm)	RU (mm)	ETR (mm)	Exc=P-ETP (mm)	Da=ETP-ETR (mm)
------	--------	-------------------	---------------	---------	----------	----------------	-----------------

Septembre	18,79	107,70	-88,91	0	18,799	0,00	88,91
Octobre	28,39	68,16	-39,78	0	28,39	0,00	39,78
Novembre	41,71	33,57	8,14	8,14	33,57	0,00	00
Décembre	43,67	20,54	23,13	31,27	12,39	0,00	8,14
janvier	46,13	17,09	29,05	60,32	17,09	9,7	0,00
Février	43,60	20,29	23,31	83,63	20,29	23,31	0,00
Mars	41,13	36,16	4,97	88,60	36,16	4,97	0,00
Avril	33,59	49,81	-16,22	72,38	49,81	0,00	0,00
Mai	31,39	82,93	-51,54	20,84	10,55	0,00	72,38
Juin	10,38	126,42	-116,04	0,00	10,38	0,00	116,04
Juillet	5,33	180,25	-174,92	0,00	5,33	0,00	174,92
Août	7,42	176,81	-169,39	0,00	7,42	0,00	196,39
Annuel	351,91	919,72	-	-	250,164	37,98	669,56

P : Précipitations (mm), ETP : Évapotranspiration potentielle (mm), ΔR : Variation de la réserve (mm), RU : Réserve utile (mm), ETR : Évapotranspiration réelle (mm), Exc : Excédent (mm), Da : le déficit agricole (mm).

D'après le bilan de Thornthwaite, nous constatons que la RU se forme de Novembre jusqu'à Mai avec un maximum de 88,60 mm de Janvier à Mars, et l'excédent annuel est de 37,98 mm atteint son maximum de 23,31 en Janvier, de plus, le déficit agricole annuel qui est de 669,56 mm apparait en Septembre et Octobre et Décembre et de Mai jusqu'à Août avec un maximum de 196,39 mm en Aout, enfin l'ETR annuelle obtenue par Thornthwaite est 250,164 mm et son maximum est de 49,81 mm atteint en Avril.

III.6.6. Estimation de l'infiltration (I)

L'infiltration est l'opération par laquelle la quantité d'eau pénètre le sol. Elle est exprimée en millimètre (mm). Nous avons déterminé I à partir du bilan hydrologique.

$$I = P - (ETR + Q) \pm \Delta R \quad \text{EqIII.11.}$$

Dans le cas du calcul de Thornthwaite, le Q est défini comme étant un excédent annuel indiqué dans le tableau III.14 qui est de 37,98mm.

Tableau III.15 : Estimation de l'infiltration annuelle à la station DE Sebdu (1975-1976/2020-2021).

p (mm)	R (mm)	ETR(mm)		ΔR (mm)	I (mm)	
		Thornthwaite	Turc		Thornthwaite	Turc
351,91	8,58	250,146	370,52	0	63,78	0

III.6.7. Estimation de l'écoulement (Q)

L'écoulement est toute eau qui ruisselle et s'infiltré. Il est exprimé en lame d'eau écoulée (en mm).

$$Q = R + I \quad \text{EqIII.12.}$$

Les résultats sont résumés dans le tableau III.16.

Tableau III.16 : Estimation de Q annuel à la station de Sebdu (1975-1976/2020-2021).

I (mm)	I (mm)
--------	--------

R(mm)	Thornthwaite	Turc	Thornthwaite	Turc
8,58	63,78	0	72,63	8,58

III.7. Etude statistique des précipitations

Les précipitations sont des phénomènes aléatoires difficiles de cerner, les outils de la statistique permettent de valoriser l'information recueillie en tirant le maximum de renseignements possibles notamment sur les valeurs caractéristiques, les valeurs extrêmes, etc. Dans ce qui suit, il sera question de l'étude statistique des précipitations. Les valeurs caractéristiques des séries seront déterminées, l'ajustement à une loi de distribution, la loi normale et log normale seront testés. On procèdera par l'étude statistique des précipitations sur une période de 46 ans (1975-1976/2020-2021). Le tableau suivant résume les données de l'ajustement des précipitations :

Tableau III.17. Distribution des précipitations moyenne annuelle de valeurs croissantes de la station de Sebdou sur la période de (1975-1976/2020-2021).

rang	Années	p	F	Log p	Rang	Années	P	f	Log p
1	2020/2021	184,9	0,021	5,219	24	1988/1989	337,8	0,510	5,822
2	2019/2020	197,5	0,042	5,285	25	1981/1982	339,9	0,531	5,828
3	1999/2000	198,4	0,063	5,290	26	1994/1995	351,1	0,553	5,861
4	2004/2005	217	0,085	5,379	27	2003/2004	351,1	0,574	5,861
5	1996/1997	223,09	0,106	5,407	28	2010/2011	360,9	0,595	5,888
6	1987/1988	231,5	0,127	5,444	29	2002/2003	363,1	0,617	5,894
7	1992/1993	237,4	0,148	5,469	30	2016/2017	388,9	0,638	5,963
8	1993/1994	237,4	0,170	5,469	31	2009/2010	389,2	0,659	5,964
9	1983/1984	247,6	0,191	5,511	32	1977/1978	389,4	0,680	5,964
10	2017/2018	248,4	0,212	5,515	33	1985/1986	390,6	0,702	5,967
11	1998/1999	251,9	0,234	5,529	34	2005/2006	394,5	0,723	5,977
12	1989/1990	272,2	0,255	5,606	35	2000/2001	411,4	0,744	6,019
13	2007/2008	272,4	0,276	5,607	36	1976/1977	418,7	0,765	6,037
14	2015/2016	274,4	0,297	5,614	37	1986/1987	430,7	0,787	6,065
15	1982/1983	279,4	0,319	5,632	38	2001/2002	433,3	0,808	6,071
16	2011/2012	293,7	0,340	5,682	39	1990/1991	468,77	0,829	6,150
17	1997/1998	296,7	0,361	5,692	340	1979/1980	475,2	0,851	6,163
18	2014/2015	306,2	0,382	5,724	41	1991/1992	483,7	0,872	6,181
19	1978/1979	316,5	0,404	5,757	42	1980/1981	497,5	0,893	6,209
20	2006/2007	327	0,425	5,789	43	1975/1976	497,7	0,914	6,209
21	1984/1985	329,1	0,446	5,796	44	2012/2013	548,3	0,936	6,306
22	2018/2019	329,4	0,4681	5,797	45	2008/2009	668,9	0,957	6,505
23	2013/2014	331,4	0,489	5,803	46	1995/1996	694	0,978	6,542

Les résultats de calcul des paramètres de position et de dispersion sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.18: Paramètres de position et de dispersion des précipitations de la station de Sebdou (Loi normale).

	Paramètres	formules	Valeurs a la station sebdou	Unité
Paramètres de position	Moyenne	$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$	351,91	mm
Paramètres de dispersion	Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{p})^2$	13322,6	----

	Ecart-type	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	114,67	----
	Coefficient de variation	$Cv = \frac{\sigma}{\bar{P}}$	0,32	----

D'après le résultat du coefficient de variation de la station de Sebdou ($Cv < 0,5$), on peut prétendre à un ajustement suivant une loi symétrique dont la loi normale, le test χ^2 permettra de vérifier cette adéquation.

III.7.1. Ajustement a loi normale

➤ Test graphique

Pour représenter la fonction $P = f(Fi)$ pour la loi normale. L'axe des X porte les fréquences en échelle gaussienne et l'axe des Y la variable statistique (précipitations) en échelle arithmétique. Le résultat est une droite appelée droite d'Henry qui donne la distribution des précipitations de la station de Sebdou représenté par l'équation.

$$P = \bar{P} + \sigma u \quad \text{EqIII.13.}$$

Avec :

\bar{P} : Moyenne des précipitations=351,91mm.

σ : Ecart-type=114,67.

U : variable réduite de Gauss.

Pour cette étude nous avons utilisé le code de calcul HYFRAN version 1.1

✓ Présentation du logiciel :

Le logiciel HYFRAN est Conçu pour l'analyse fréquentielle en hydrologie. Cependant il peut être utilisé pour n'importe quelle série des valeurs extrêmes dans d'autres domaines avec différents pas de temps, à condition que les observations soient Indépendantes et Identiquement distribuées (El Adlouni et al, 2006).

Le logiciel HYFRAN permet d'ajuster un nombre important de distributions statistiques à une série de données qui vérifient les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité.

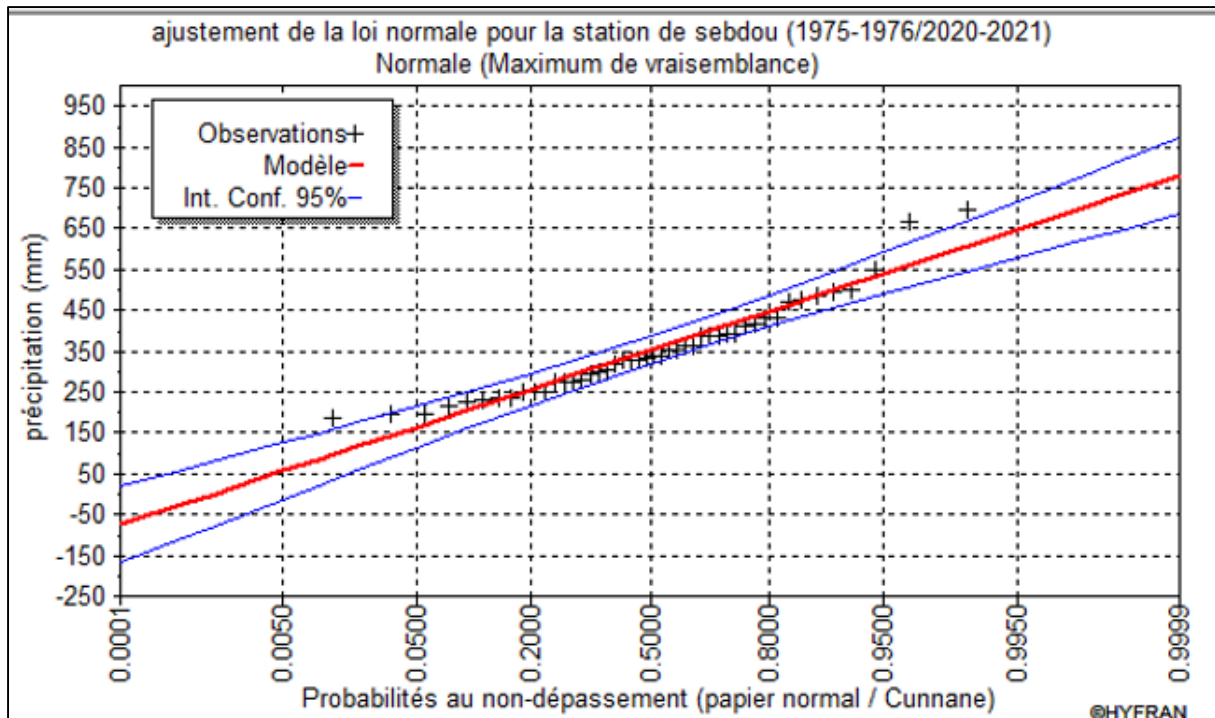


Figure III.11 : Courbe d’ajustement des précipitations à la loi normale.

➤ Test numérique (Test du χ^2 de PEARSON)

Pour déterminer la valeur du χ^2 , nous avons repris les séries des pluies observées et nous avons reparti ces valeurs en 6 classes, les résultats obtenus sont donnés au tableau ci-dessous :

$$K = \sqrt{N} = \sqrt{46} \approx 6$$

Avec :

K : Nombre de classes.

N : effectif totale.

Tableau III.19. Calcul du χ^2 pour la station de Sebdoou pour une loi normale

K	Limite de classes	Effectifs observé (ni)	Fréquence de la classe	Effectifs théorique (npi)	(ni - npi) ² /npi
1	[184,9 ; 269,75[	11	0,2389	10,9894	0,0122
2	[269,75 ; 354,6[	16	0,2691	12,3786	1,05945
3	[354,6 ; 439,45[	11	0,2684	12,3464	0,1468
4	[439,45 ; 524,2[	5	0,1606	7,3876	0,7716
5	[524,3 ; 609,15[	1	0,0505	2,323	0,7534
6	[609,15 ; 694]	2	0,0111	0,5106	4.3445
					$\chi^2_{calculé} = 7.071$

Pour un seuil de probabilité de 5% (0,05), le degré de liberté est :

$$ddl = k - p - 1$$

Avec :

K : Nombre de classe.

P : Nombre de paramètres=2.

ddl=6-2-1=3. Donc χ^2 tabulé= 7,815

Le χ^2 tabulé étant supérieur à χ^2 calculé (χ^2 tabulé > χ^2 calculé) \longrightarrow l'ajustement par loi normale est acceptable.

III.7.2.Ajustement a loi log normale

➤ **Test graphique**

Pour cette étude nous avons utilisé Le logiciel HYFRAN 1.1 pour représenter la formule $\log P = \bar{p} \log u + \delta \log u$ de l'ajustement de la série pluviométrique étudiée. Donc pour cela, on transfère les données logarithmiques des précipitations pour représenter l'axe des ordonnées (Y), puis sur l'axe des abscisses (X) on reporte « u » une variable réduite de Gauss.

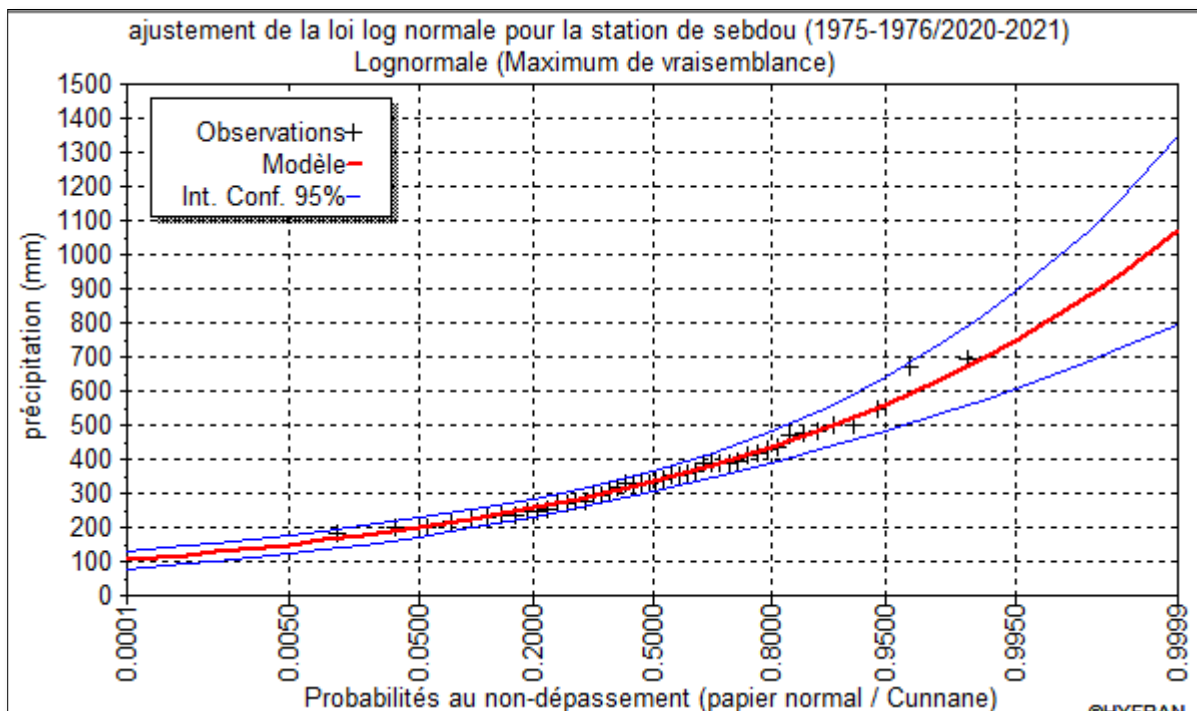


Figure III.12. courbe d'ajustement des précipitations a la loi log normale.

➤ **Test numérique (Test du χ^2 de PEARSON)**

Les paramètres de position et de distribution de la série qu'on doit ajuster par la loi log normale sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.20: Paramètres de position et de dispersion des précipitations de la station de Sebdo (Loi log normale).

	paramètres	formules	Valeurs a la station sebdo	Unité
Paramètres de position	Moyenne	$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$	5,814	mm
Paramètres de dispersion	Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{p})^2$	0,126	----
	Ecart-type	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	0,312	----

	Coefficient de variation	$Cv = \frac{\sigma}{\bar{P}}$	0,053	----
--	--------------------------	-------------------------------	-------	------

Tableau III.21. Calcul du χ^2 pour la station de Sebdou pour une loi log normale.

K	Limite de classes	Effectifs observé (ni)	Fréquence de la classe	Effectifs théoriques (npi)	$(ni - npi)^2/npi$
1	[5,21 ; 5,43[	5	0,9808	4,904	0,001879
2	[5,43 ; 5,65[	10	0,9177	9,177	0,07380
3	[5,65 ; 5,88[	12	0,6179	7,4148	2,8354
4	[5,88 ; 6,10[	11	0,8365	9,2015	0,354
5	[6,10 ; 6,32[	6	0,9525	5,715	0,0142
6	[6,32 ; 6,54]	2	0,9909	1,9818	0,00016
					$\chi^2_{calculé}=3,277$

Pour un seuil de probabilité de 5% (0,05), le degré de liberté est :

$ddl = k - p - 1$

Avec :

K : Nombre de classe.

P: Nombre de paramètres=2.

$ddl = 6 - 2 - 1 = 3$. Donc $\chi^2_{tabulé} = 7,815$

Le $\chi^2_{tabulé}$ étant supérieur à $\chi^2_{calculé}$ ($\chi^2_{tabulé} > \chi^2_{calculé}$) \longrightarrow l'ajustement par loi log normale est acceptable.

III.7.3. Le résultats de l'ajustement

A partir du tableau III.20 on peut comparer les résultats de l'ajustement :

Tableau III.22. Résultats du test de Pearson.

	$\chi^2_{calculé}$	$\chi^2_{tabulé}$	Comparaison	Résultat
Loi normale	7,07	7,81	$\chi^2_{tab} > \chi^2_{cal}$	Acceptable
Loi log normale	3,27	7,81	$\chi^2_{tab} > \chi^2_{cal}$	Acceptable

On constate que la loi log normale est plus adéquate pour l'ajustement car elle a un $\chi^2_{calculé}$ inférieur par rapport à celle de la loi normale.

III.7.4. Calcul des Précipitations pour une période de récurrence donnée

Pour calculer les précipitations, on utilise l'équation de la loi log normale :

$$\text{Log}P = \overline{P \log} + \delta \log.u \quad \text{EqIII.9.}$$

Tableau III.23. Calcul des précipitations pour différentes périodes de retour avec la loi log normale.

période	Précipitations	Log p	P (mm)
Humide	Décennale (u=1,28)	6,2068	496,11
	50 ans (u=2,05)	6,4455	629,86
	Centenaire (u= 2,33)	6,5323	686,98
	Millénaire (u= 3,29)	6,8299	925,10
sèche	Décennale (u= -1,28)	5,4132	224,35
	50 ans (u= -2,05)	5,1744	176,69
	Centenaire (u=-2,33)	5,0877	162,02

	Millénaire (u= -3,29)	4,7901	120,31
--	-----------------------	--------	--------

Conclusion

Notre zone d'étude est caractérisé par :

- un climat méditerranéen avec une température moyenne annuelle 17,81 °C.
- pendant les 46 ans (1975-1976/2020-2021) l'hiver est la saison la plus froide, où, il a été enregistré une température de 10,37°C. et l'été est la saison chaude
- Le régime général des pluies est celui des zones semi-arides méditerranéennes de l'Afrique du Nord.
- les précipitations d'hiver représentent 38% des précipitations annuelles, celles du printemps 30%, le printemps 25% alors que l'été ne reçoit que 7%.
- Le maximum des précipitations mensuelles interannuelles est 46,13 mm, enregistré au mois de Janvier et le minimum 5,32mm en juillet.

Les températures moyennes annuelles ont révélées que :

- La moyenne maximale enregistrée dans cette période est de 22.3°C en 2001/2002.
- La moyenne minimale de l'année est 15,6°C enregistrée en 1992/1993.

Chapitre IV

Détection des ruptures

Et

Tendance

IV.1. Introduction

L'Algérie est un pays marqué par le "stress hydrique" parmi 17 pays africains, elle clôt la liste des 30 premiers pays au monde qui auront à affronter de graves pénuries en eau, les précipitations restent le premier gisement du quel est mobilisée la ressource en eau. C'est pourquoi ce chapitre sera réservé aux méthodes et techniques de détection et de caractérisation des sécheresses.

IV.2. Définition d'une rupture

Une rupture peut être définie en définissant des changements dans les lois de probabilité des variables aléatoires dans les réalisations successives des séries temporelles à l'étude (Lubes et al, 1994 in Paturol et al, 1996).

IV.3. présentation du logiciel

Le logiciel KHRONOSTAT comprend divers tests statistiques. Ces tests sont spécifiques aux changements de comportement des variables dans une série temporelle. Les tests les plus couramment utilisés ont été sélectionnés, les meilleurs débattus dans la littérature, et surtout, les tests les plus puissants ont été sélectionnés. Le premier type de test implique le caractère aléatoire de la séquence (tests de corrélation de rang et tracés d'autocorrélation). Ils sont liés à la cohérence de la moyenne des séries sur toute la période d'observation. Si la séquence est déclarée non aléatoire, des tests sont proposés (test de Pettitt, statistique de Buishand et ellipse de contrôle, procédure bayésienne et procédure de segmentation de Hubert) pour tenter de caractériser le caractère « non aléatoire » présent dans la série. Ils sont plus particulièrement adaptés à la détection de ruptures de séries temporelles.

IV.4. Méthodes basées sur les tests statistiques

IV.4.1. Autocorrélogramme et intervalle de confiance

La première étape de l'analyse statistique des séries chronologique est l'estimation de l'autocorrélogramme.

Le coefficient d'autocorrélation quantifie cette connexion est donné comme suit :

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (X_i - \bar{X}_1^k)(X_{i+k} - \bar{X}_2^k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-k} (X_i - \bar{X}_1^k)^2 \sum_{t=1}^{N-k} (X_{i+k} - \bar{X}_2^k)^2}} \tag{Eq.IV.1}$$

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} X_i$$

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{N-k} \sum_{i=k+1}^{N-k} X_i$$

l'autocorrélogramme est représentée par le graphe $r_k=f(k)$. la série est aléatoire si le coefficient d'autocorrélation r_k est proche de la valeur zéro (0) pour toutes les valeurs de k non nulles. On peut alors déterminer l'intervalle de confiance des tracés d'autocorrélation sont inclus dans le cas de séquences aléatoires. L'hypothèse nulle est "En supposant que les éléments de l'échantillon sont indépendants des éléments de la série H0" sont indépendants". Pour un niveau de confiance α donné, on donne un intervalle de confiance Le diagramme d'autocorrélation est le suivant :

$$-\frac{U(1-\frac{\alpha}{2})}{\sqrt{N}} < r_k < \frac{U(1-\frac{\alpha}{2})}{\sqrt{N}} \tag{Eq.IV.2}$$

U est une variable normale standard obtenue à partir de la table de student , en degrés Liberté N-2. Si toutes ou la plupart des valeurs de rk correspondent, la série est considérée comme aléatoire se situe dans l'intervalle de confiance du diagramme d'autocorrélation

IV.4.2. Test de corrélation sur le rang

Le test de corrélation sur le rang consiste à déterminer le nombres de paires X_i et X_j , pour lequel $X_i > X_j$ pour $j > i$, sous l'hypothèse nulle (H_0). Le score standard U est donné par l'équation :

$$U = \frac{r^*}{\sqrt{\text{var}(r^*)}} \tag{Eq.IV.3.}$$

la variable r^* est défini par l'équation suivante :

$$r^* = \frac{4Np}{N(N-1)} - 1$$

Np représente le nombre de paires d'observations consécutives (X_i, X_j) comme $X_j > X_i ; j > i$; avec ($i = 1, j = 2, N, \dots, (i = N - 1, j = N)$).

La variance $\text{var}(r^*)$ est défini par la relation suivante :

$$\text{var}(r^*) = \frac{2(2N+5)}{9N(N-1)} \tag{Eq.IV.4.}$$

"la série est aléatoire" pour un niveau de signification donné $\alpha = 5\%$. lorsque N augmente la variable centrée réduite U tend à suivre une distribution normale. L'acceptation de l'hypothèse nulle est défini par l'appartenance de U à l'intervalle : $U_{\alpha/2} < U < U_{1-\alpha/2}$.

Si l'hypothèse nulle (H_0) est acceptée, la série est aléatoire. L'hypothèse alternative peut admettre une tendance ou une période.

IV.4.3. Test de Buishand et ellipse de Bois

La méthode de Buishand fait référence au même modèle et aux mêmes hypothèses que l'approche de Lee et Heghinian. En supposant une distribution uniforme à la position du point de rupture t, La statistique de Buishand est basée sur le cumul de l'écart par rapport à la moyenne [Buishand, 1982]. En effet, cette dernière est définie par l'équation suivante :

$$U = \frac{\sum_{k=1}^{N-1} (s_k / \sigma_x)^2}{N(N+1)} \tag{Eq.IV.5.}$$

S_k et σ_x sont respectivement la somme partielle et l'écart-type donnés respectivement par les équations :

$$S_k = \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})$$

La première version des valeurs critiques statistiques basée sur la méthode de Monte Carlo, et une meilleure estimation est apparue plus tard [Buishand, 1984].

En règle générale, cette méthode est associée à la méthode Wood Ellipse. Le dernier est l'extension de la méthode des résidus cumulatifs de régression linéaire pour les tests Homogénéité d'une série par rapport à une autre.

Dans ce cas, l'accumulation des résidus représente la stationnarité de la série. Si la série est stationnaire et la somme cumulée des résidus k a l'intervalle de confiance :

$$[-U_{1-\alpha/2} \cdot \sigma \sqrt{\frac{k(n-k)}{n-1}} ; +U_{1-\alpha/2} \cdot \sigma \sqrt{\frac{k(n-k)}{n-1}} ;]$$

C'est l'équation d'une ellipse de bois.

IV.4.4. Test de Pettitt

Le test de Pettitt est non-paramétrique et est dérivée du test de Mann-Whitney. Il consiste à diviser la série principale de N éléments en deux sous-sections, une série à chaque instant t entre 1 et $N-1$. On dit que si deux sous-séries ont une rupture au temps t la série principale a des répartitions différentes. Si l'hypothèse nulle H_0 de non rupture n'est rejetée, estimer la date de rupture donnée pour le temps t , représentant la valeur maximale de la valeur absolue des variables U_t, N .

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{i,j} \tag{Eq.IV.6}$$

$D_{i,j} = \text{sgn}(x_j - x_i) = \text{sgn}(x_j - x_i)$; avec $\text{sgn}(x) = 1$ si $x > 0$, 0 si $x = 0$ et -1 si $x < 0$

Si k est la valeur de K_N prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, alors la probabilité de dépassement de la valeur k est donnée approximativement par l'équation

$$\text{Prob}(K_N > k) \approx 2 \exp\left(-\frac{6k^2}{N^3 + N^2}\right) \tag{Eq.IV.7}$$

Si $\text{Prob}(K > k) < \alpha$, pour le niveau de signification α , l'hypothèse nulle est rejetée, alors Une estimation de la date de rupture est fournie par le temps t définissant le maximum Le terme absolu de la variable $U_{t,N}$.

IV.4.5. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian

Les tests de Lee et Heghinian sont des procédures bayésiennes appliquées en supposant que la série étudiée est normalement distribuée. Les tests sont basés sur le modèle suivant, qui suppose un changement de la moyenne de la série donnée par l'équation :

$$X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i ; i = 1, \dots, \tau \\ \mu + \sigma + \varepsilon_i ; i = \tau + 1, \dots, N \end{cases}$$

ε_i sont indépendants et normalement distribués, avec une moyenne égale à zéro. τ et σ représentent respectivement la position dans le temps et l'ampleur du changement possible de la moyenne.

Ce procédé détermine la fonction de distribution de probabilité a posteriori avec les paramètres μ et δ , en tenant compte de leurs distributions précédentes et en supposant que le temps de rupture suit une distribution uniforme. Si la distribution est monomodale, le mode estime les données de fracture avec plus de précision car la variation de la distribution est faible (Sari A, 2002).

IV.4.6. Segmentation d'Hubert

La technique de segmentation d'Hubert découvre les multiples ruptures dans les séries temporelles. Elle consiste à diviser la série en m segments ($m > 1$) de telle sorte que les moyennes calculées des sous-séries voisines diffèrent sensiblement. Pour limiter la

segmentation, les moyennes de deux segments contigus doivent être différentes au point de satisfaire Le test de Scheffe (est utilisée pour tester la significativité de la différence entre les écarts quadratiques successifs). La technique donnant une segmentation d'ordre m de la série temporelle, ik k = 1... m, le rang dans la série initiale de l'extrémité du k^{ème} segment (avec i0= 0), les suivants sont définis par l'équation :

$$\overline{X}_K = \frac{\sum_{ik-1+1}^{ik} X_i}{n_k} \quad \text{Eq.IV.8}$$

$$D_m = \sum_{k=1}^m \sum_{ik-1+1}^{ik} (X_i - \overline{X}_k)^2 \quad \text{Eq.IV.9.}$$

Dm est l'écart quadratique entre la série et la segmentation.

Pour une séquence de segmentation donnée, l'algorithme détermine la segmentation optimale pour la série afin que l'écart Dm soit minimisé. Cette procédure peut également être interprétée comme un test de routine. L'hypothèse nulle est que la séquence étudiée n'est pas stationnaire. L'hypothèse nulle est acceptée si la procédure ne produit pas une segmentation acceptable de deux ordres ou plus (Sari A 2002).

IV.5. Résultats et discussions

IV.5.1. Analyse des précipitations annuelles

IV.5.1.1. Tests de vérification du caractère aléatoire

IV.5.1.1.A. Calcul de l'autocorrélogramme et son intervalle de confiance

Les résultats de calcul à l'aide du Khronostat des coefficients d'autocorrélation aux intervalles de confiance à 99%, 95% et 90% sur la série des précipitations annuelles sont représentés par la figure IV.1.

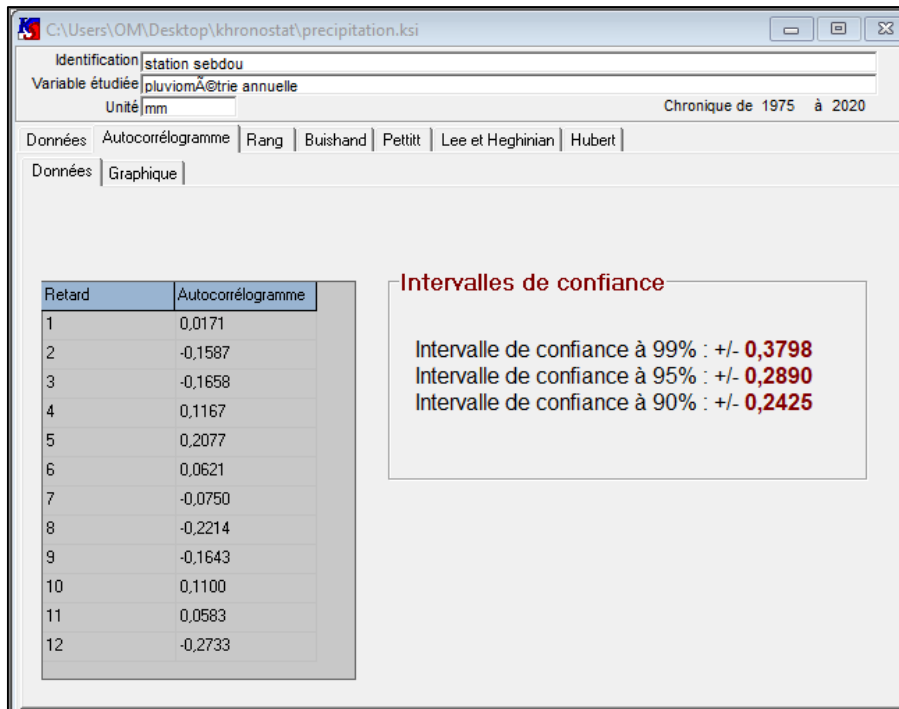


Figure IV.1 : Calcul de l'autocorrélogramme et son intervalle de confiance pour les variations annuelles des précipitations de Sebdou (1977/1978-2020/2021).

L'autocorrélogramme réalisé sur la série de pluie (fig.IV.2) montre qu'elle est aléatoire, et que la succession des précipitations ne suit aucune organisation précise dans le temps, car les coefficients d'autocorrélation sont compris entre l'intervalle de confiance à 90% pour le coefficient maximum de 0.2077 qui correspond au retard de 5, et l'intervalle de confiance à 90% pour le coefficient minimum de -0.0750 qui correspond au retard de 7. Ainsi, nous pouvons dire que l'hypothèse nulle est acceptée au seuil de confiance de 99%, et rejetée au seuil de confiance de 90% et 95%.

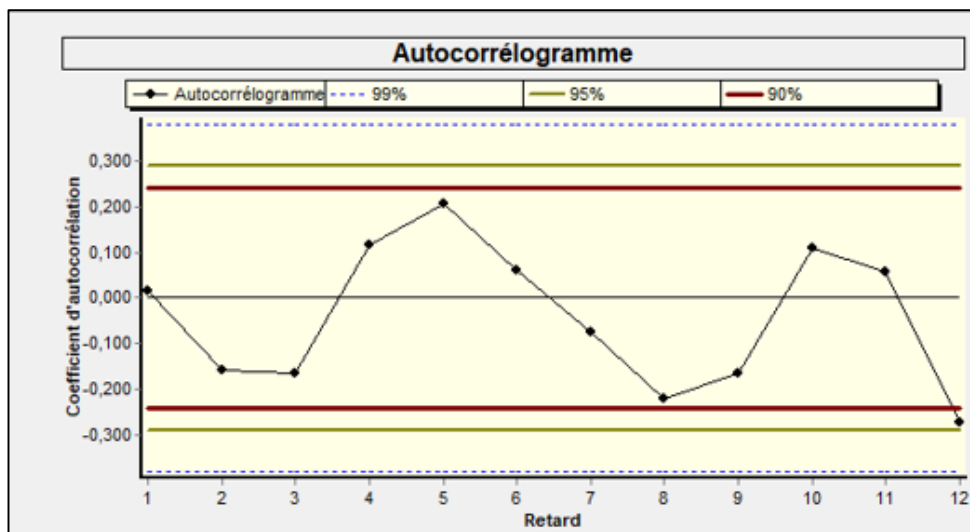


Figure IV.2 : Autocorrélogramme pour les variations annuelles des précipitations de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).

IV.5.1.B. Test de corrélation sur le rang

Les résultats du test de corrélation sur le rang (fig.IV.3), désignent que la série des précipitations annuelles enregistrées au niveau de la station de Sebdu pendant la période 1975/1976-2020/2021, est aléatoire au seuil de confiance de 99%,et 95% et non aléatoire au seuil de confiance de 90%.



Figure IV.3 : Résultats du test de corrélation sur le rang pour les variations annuelles des précipitations de la station de Sebdu (1975/1976-2020/2021).

IV.5.1.2. Tests de détection de rupture

IV.5.1.2.A. Test de Buishand et ellipse de Bois

Les résultats du test de Buishand sur la série des précipitations annuelles enregistrées au niveau de la station de Sebdu (fig.IV.4), montrent que l'hypothèse d'absence de rupture est acceptée au seuil de confiance de 99%, et 95% ,et 90%.

D'après l'ellipse de Bois (fig.IV.5),on n'a pas de rupture.

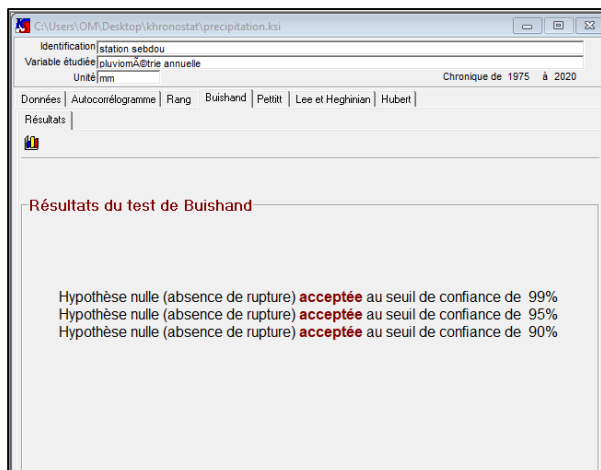


figure IV.4.test de bushand pour les Précipitations anuelles pour la station de Sebdoou (1975/1976-2020/2021).

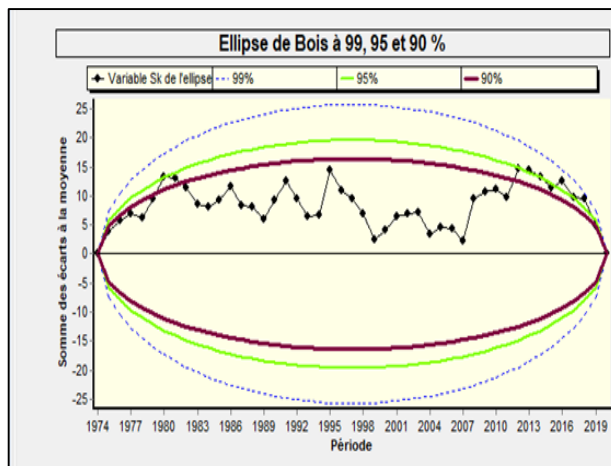


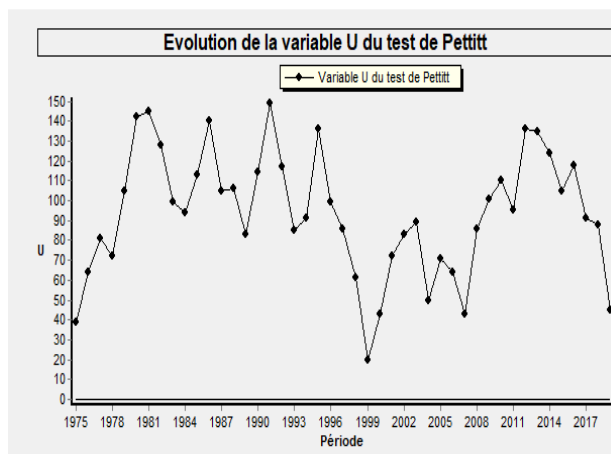
figure IV.5.Ellipse de bois pour la variation annuelle des précipitations de la statin de sebdoou (1975/1976 2020/2021).

IV.5.1.1.B. Méthode non paramétrique de Pettitt

D’après les figures IV.6 et IV.7, nous remarquons que les résultats du test de Pettitt obtenus pour la série de précipitations annuelles enregistrées au niveau de la station de Sebdoou pendant la période d’étude, sont identiques aux résultats du test de Buishand s’agissant de l’hypothèse d’absence de rupture.



Figure IV.6.test de petit pour les précipitations Annuelles



figureIV.7.Evoolution du variable U

IV.5.1.1.C. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian

Le résultat de la méthode bayésienne de Lee et Heghinian pour la série de précipitations annuelles a détecté une rupture en 2017/2018 confirmée par l’ellipse de Bois, qui concorde avec la densité de probabilité à posteriori de 0,1688. Cette rupture indique une diminution des précipitations annuelles.

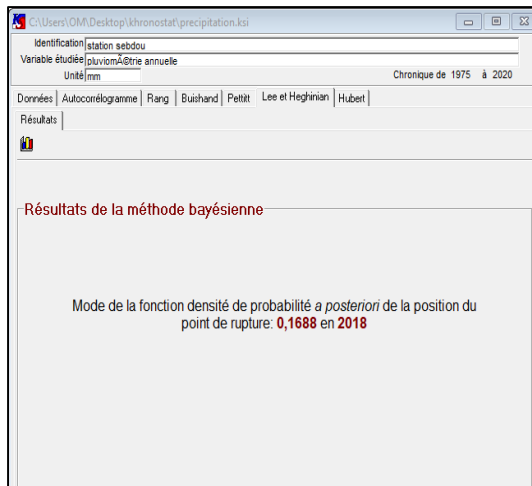


Figure IV.8. résultats de la méthode Lee d’Et Heghinian pour les précipitations annuelles De station de sebdu (1975/1976-2020/2021)

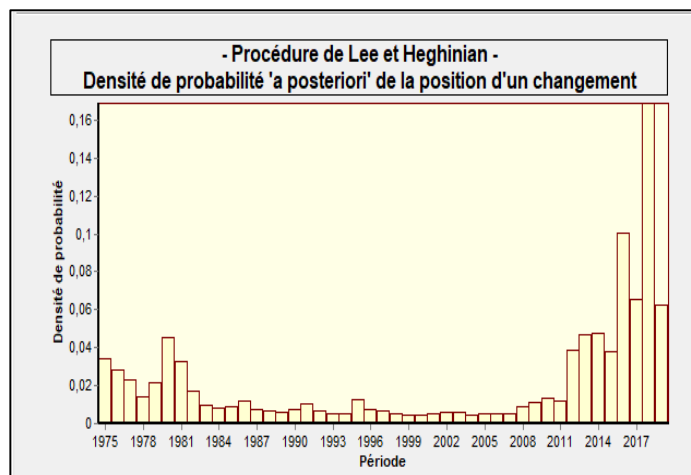


Figure IV.9. Densité de probabilité a posteriori de la position d’un changement de précipitations de station sebdu (1975/1976-2020/2021).

IV.5.1.1.D.Segmentation d’Hubert

D’après la figure IV.10, la segmentation d’Hubert a montré qu’on a pas un découpage pour la série des précipitations annuelles enregistrées au niveau de la station de Sebdu.,

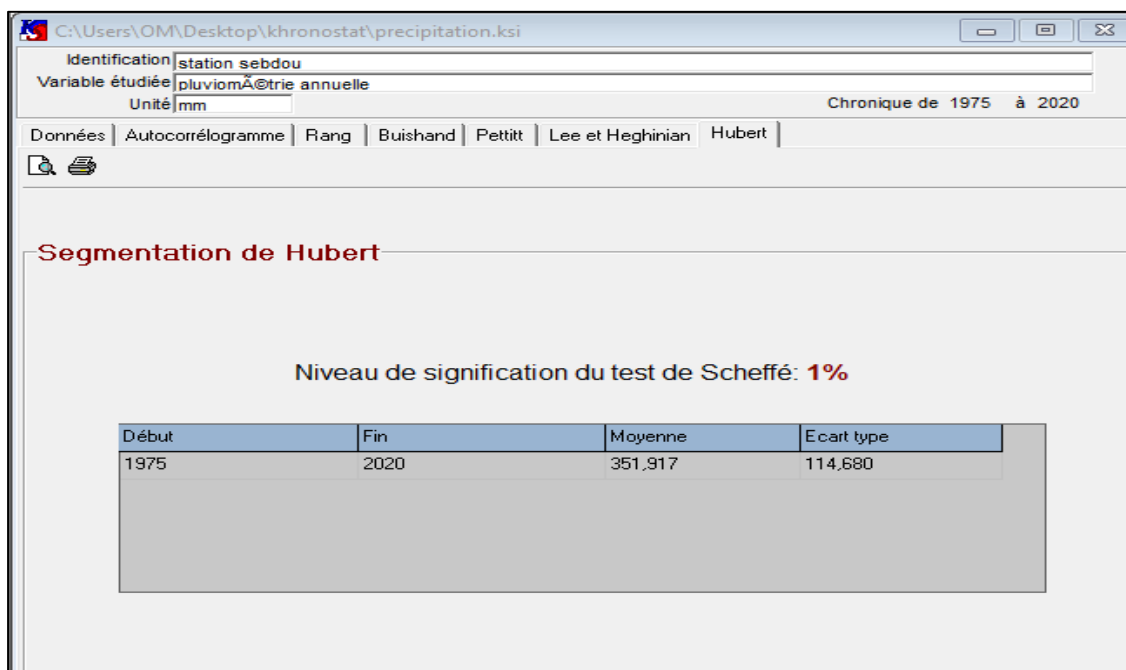


Figure IV.10. Segmentation d’Hubert pour les variations annuelles des précipitations

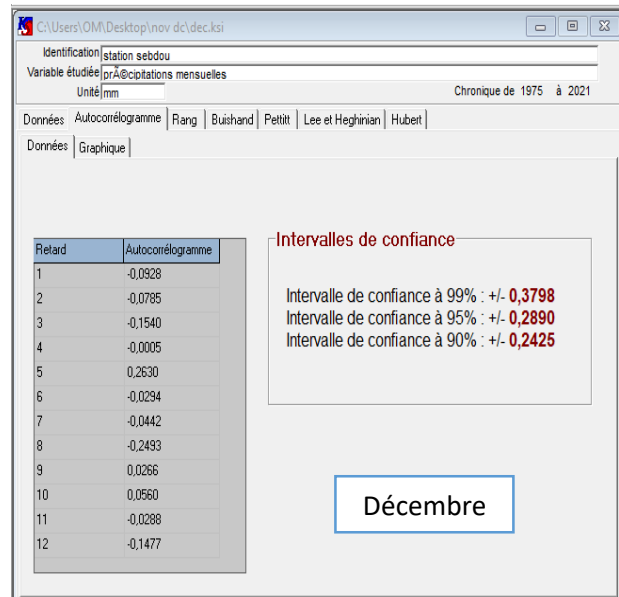
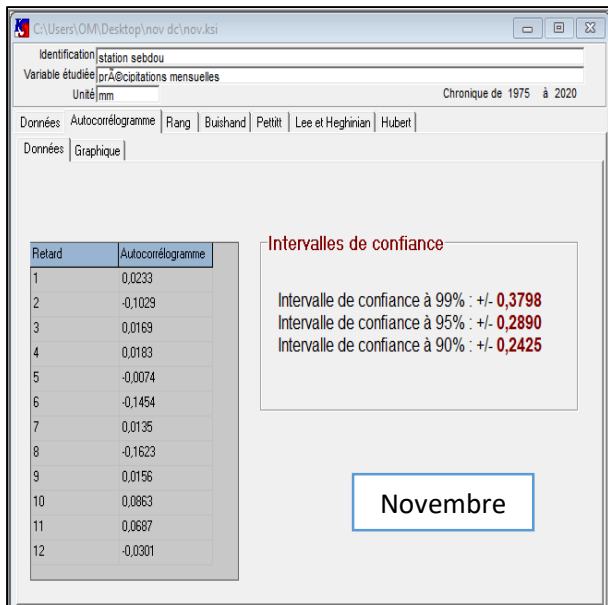
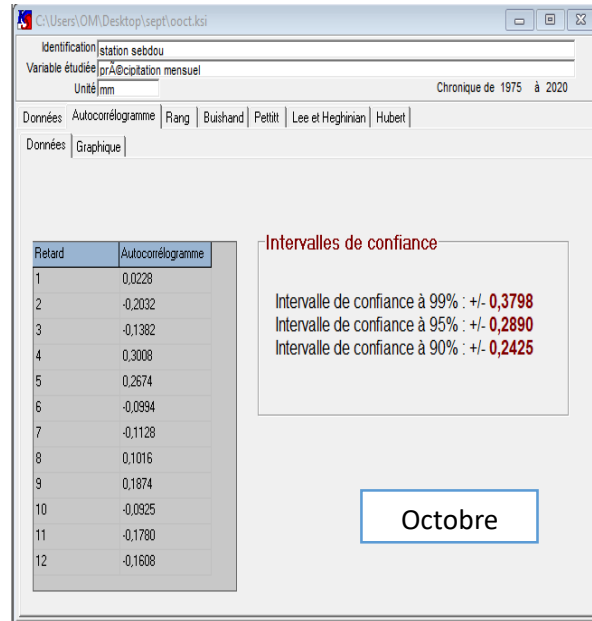
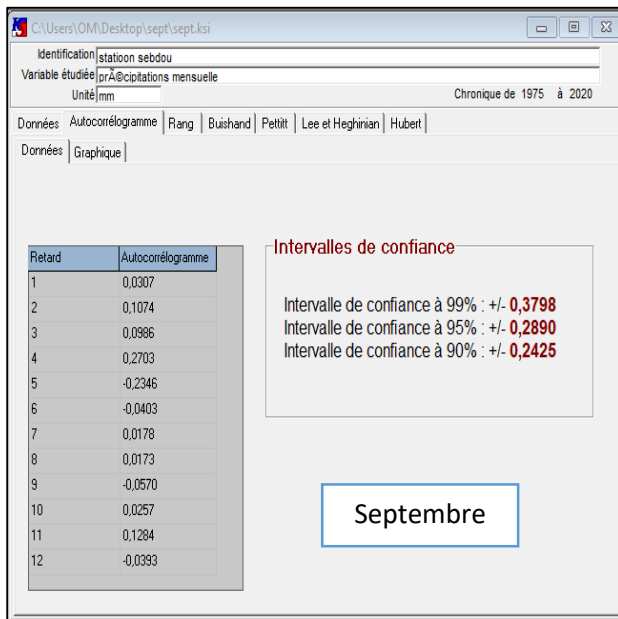
IV.5.2. Analyse des précipitations mensuelles

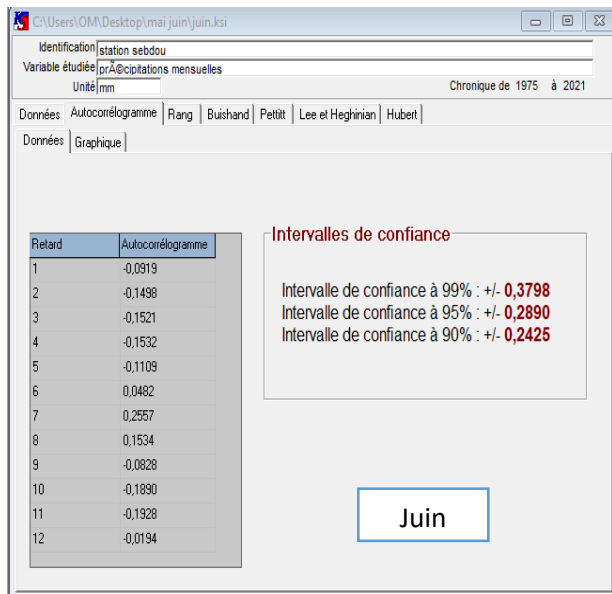
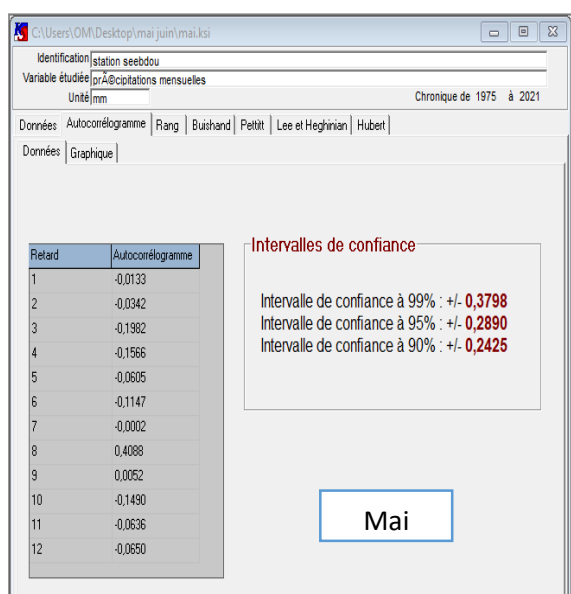
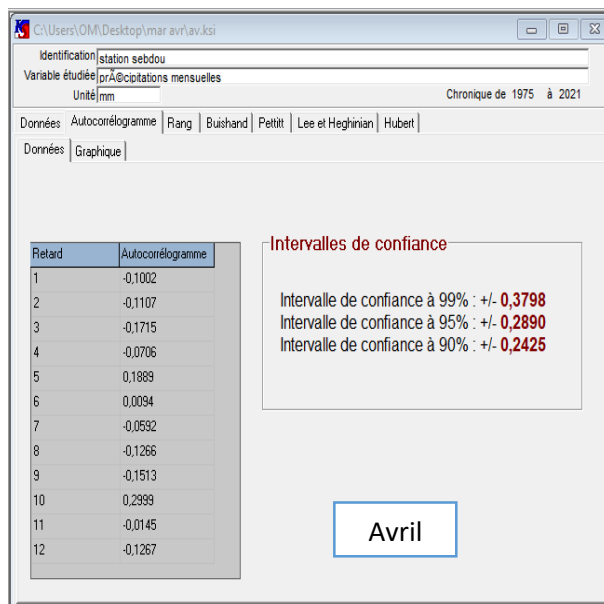
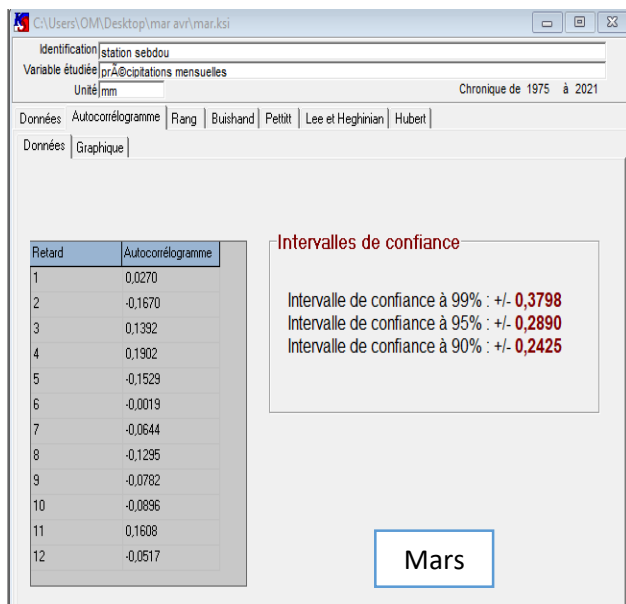
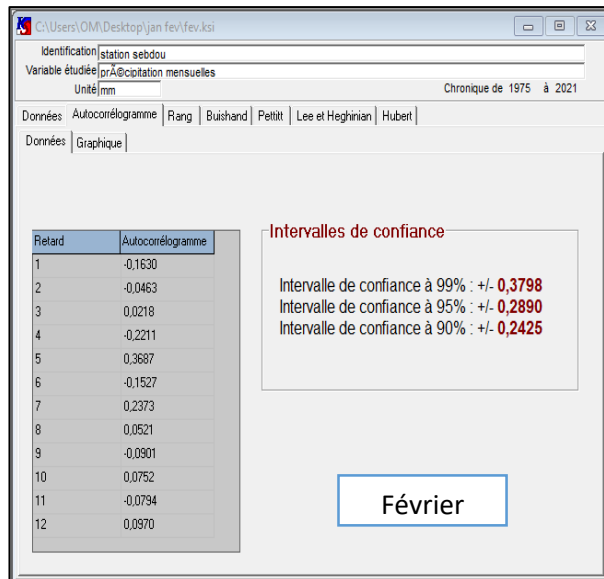
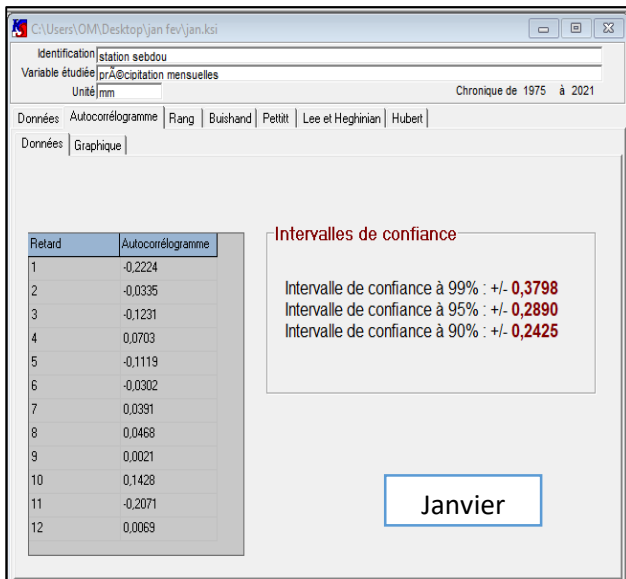
IV.5.2.1. Tests de vérification du caractère aléatoire

IV.5.2.1.A. Calcul de l’autocorrélogramme et de son intervalle de confiance

Les résultats du calcul des coefficients d’autocorrélation et de ses intervalles de confiance à 99%, 95% et 90% réalisé par le code Khronostat sur les séries des précipitations mensuelles à

la station de Sebdoou pendant la période 1975/1976-2020/2021, sont représentés dans la figure IV.11.





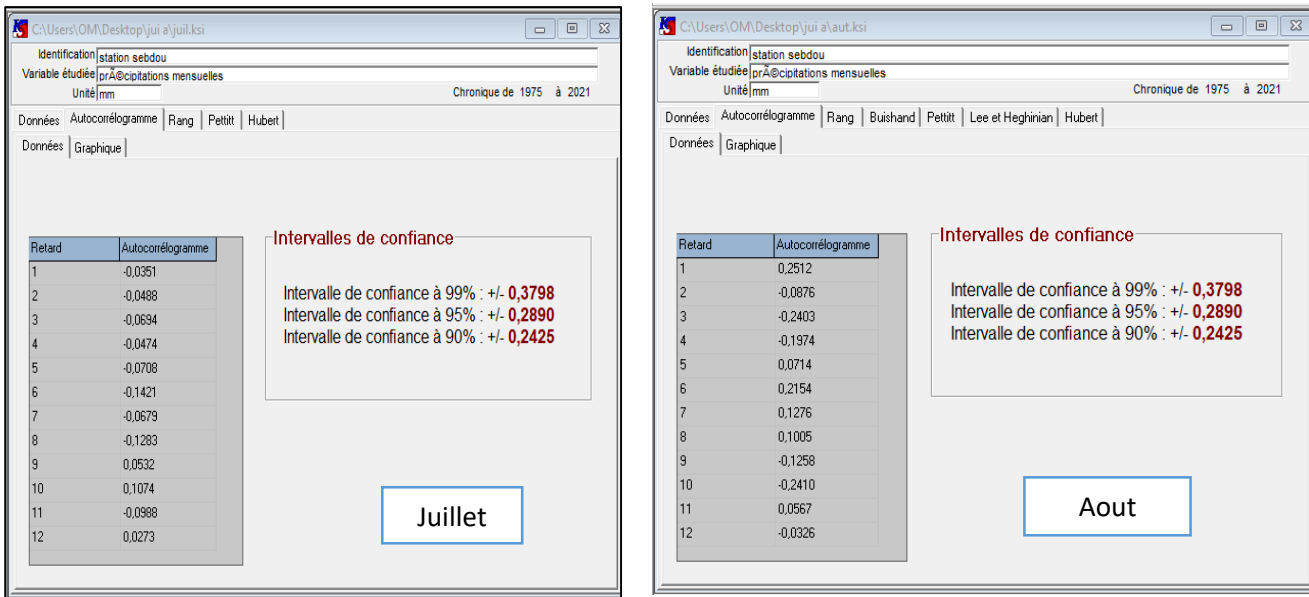
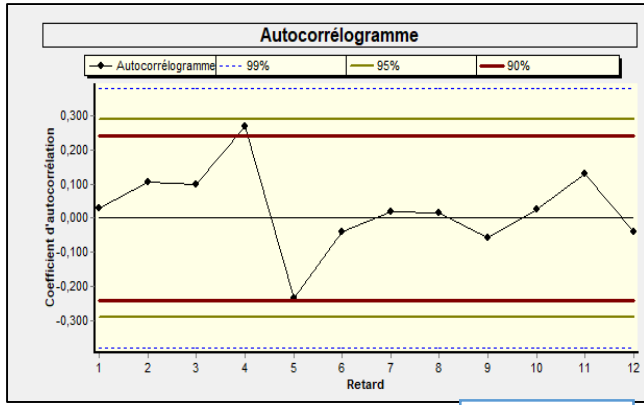
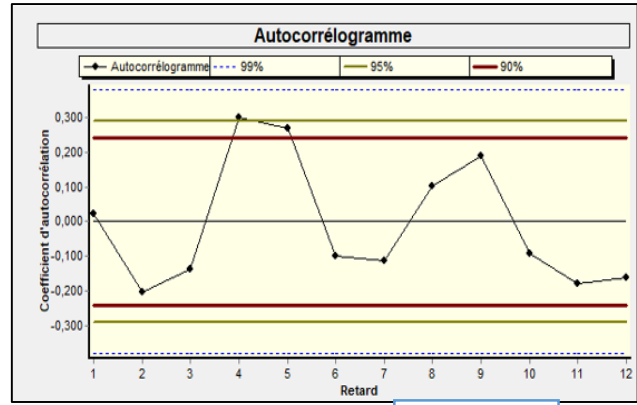


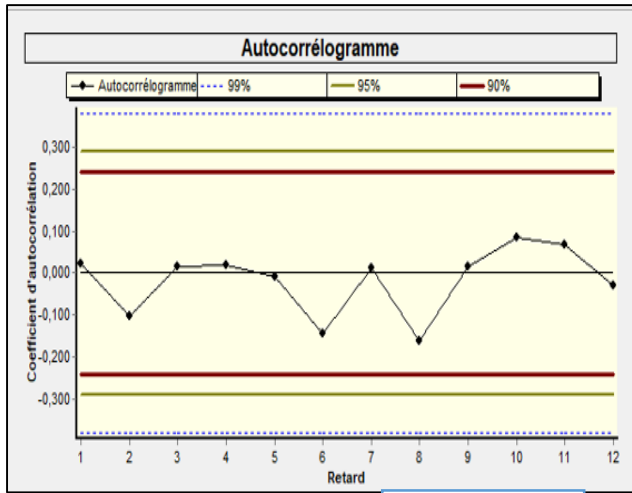
Figure IV.11 : Calcul de l'autocorrélogramme et son intervalle de confiance pour les variations mensuelles des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).



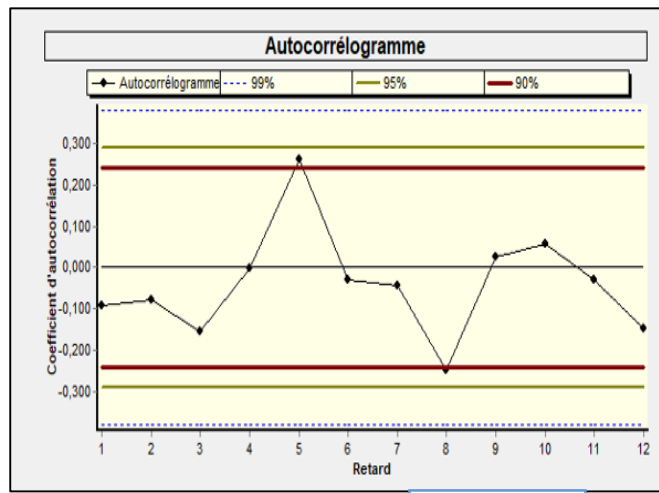
Septembre



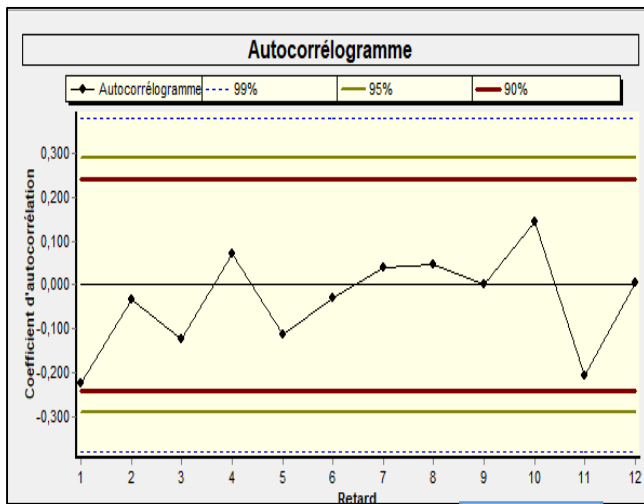
Octobre



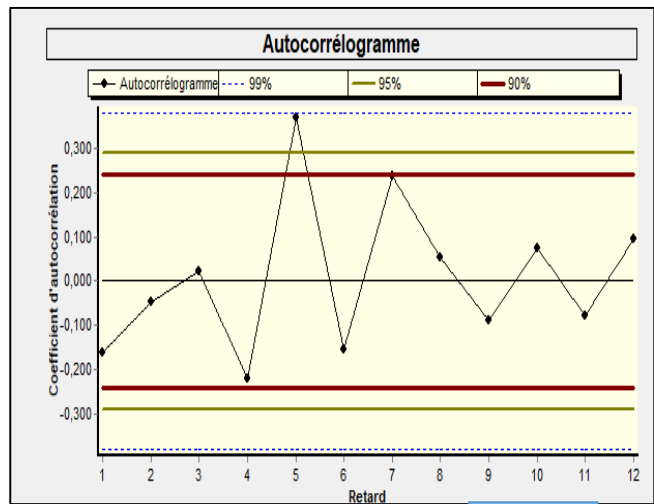
Novembre



Décembre



Janvier



Février

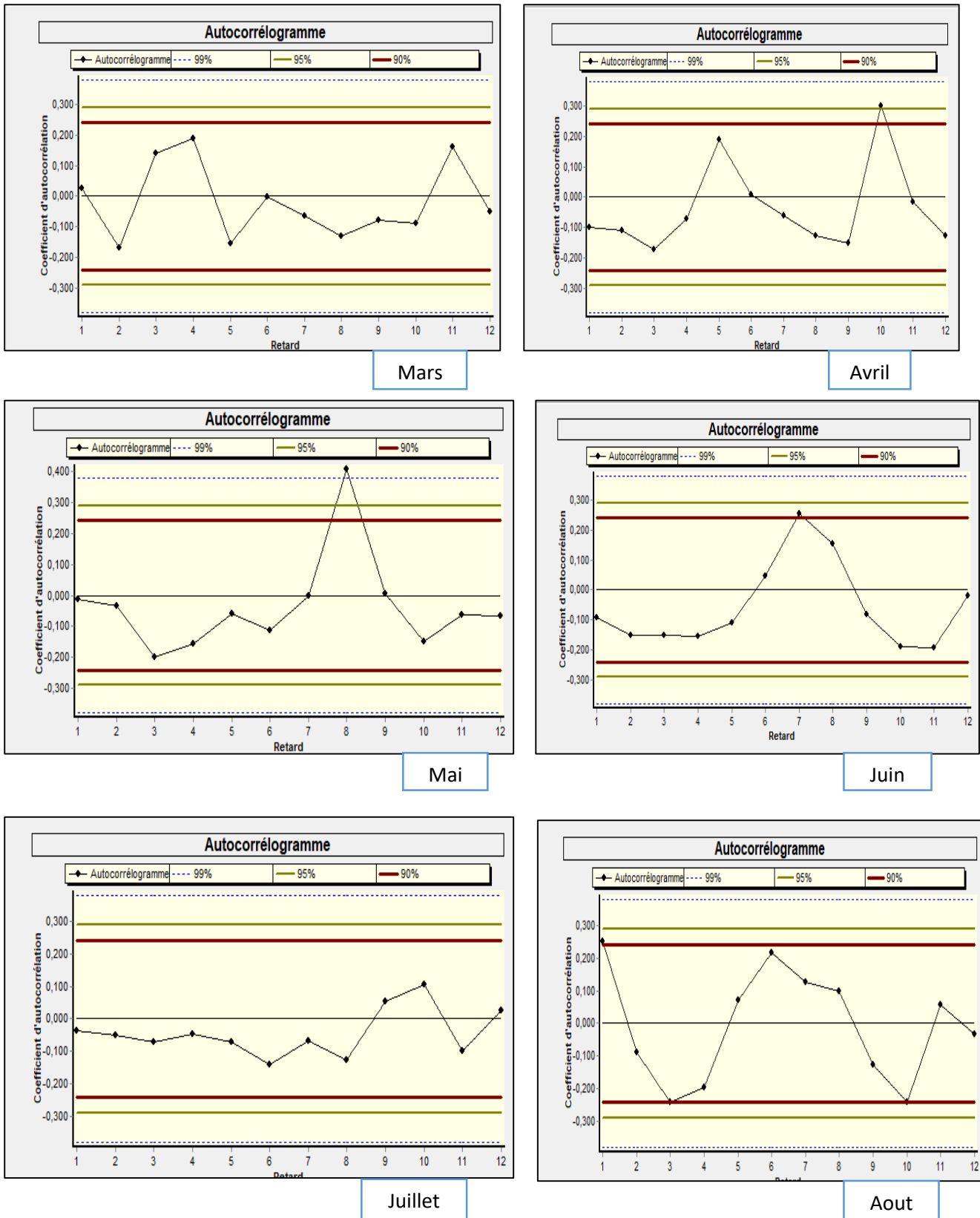


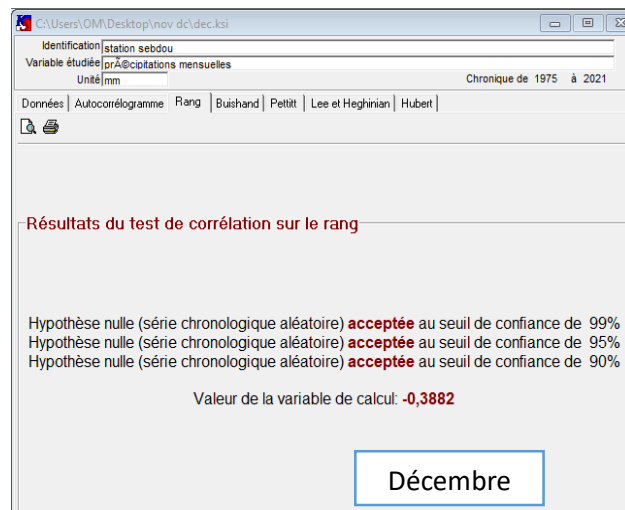
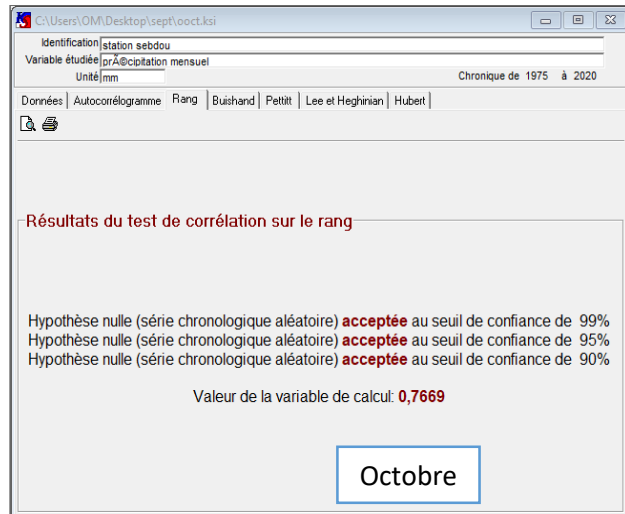
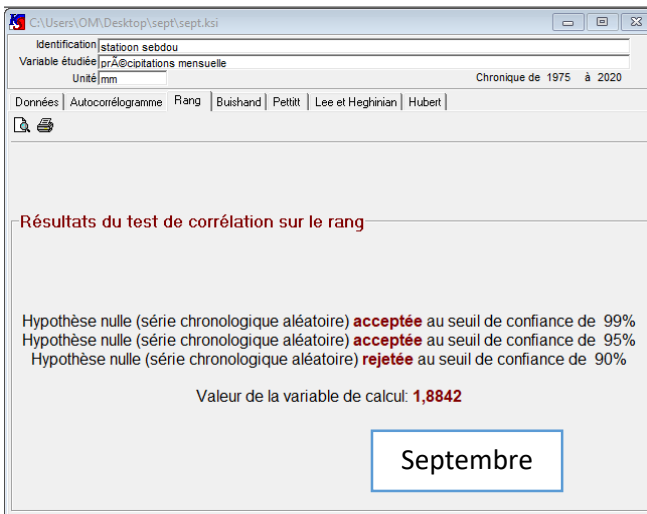
Figure IV.12 : Autocorrélogrammes des variations mensuelles des précipitations de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).

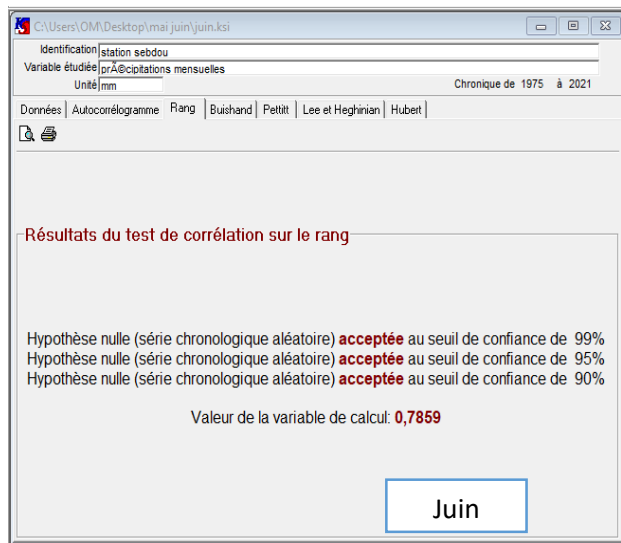
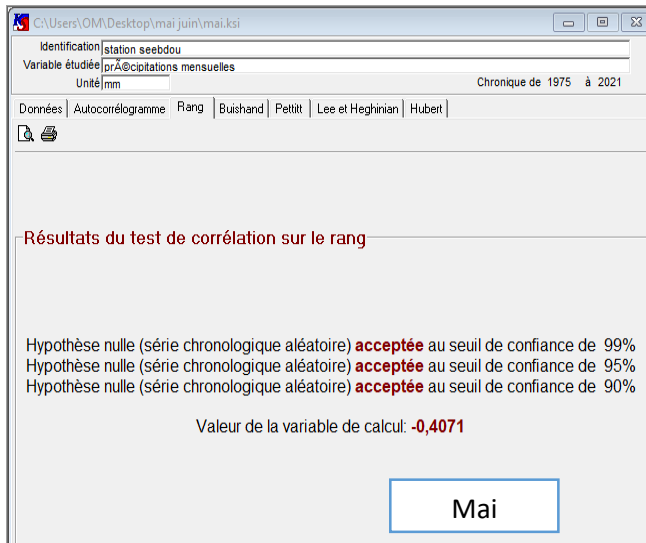
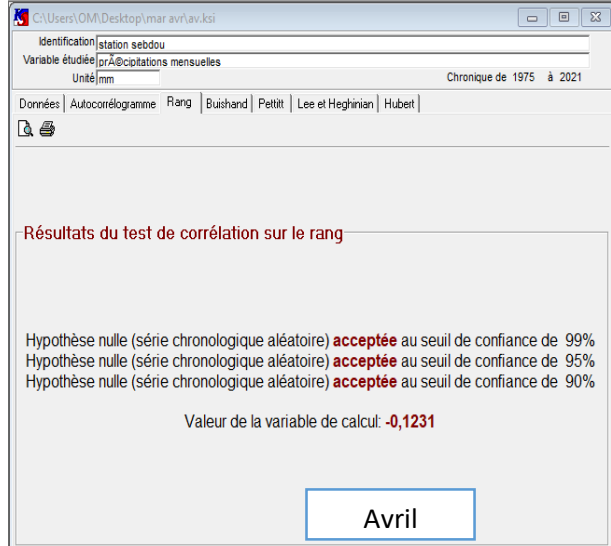
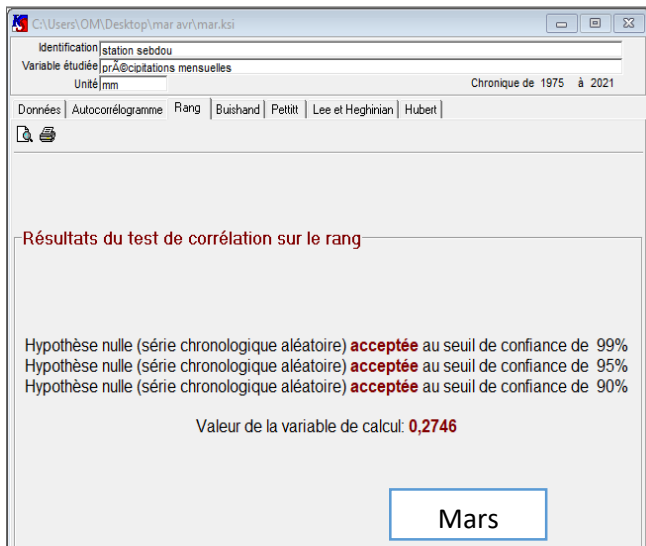
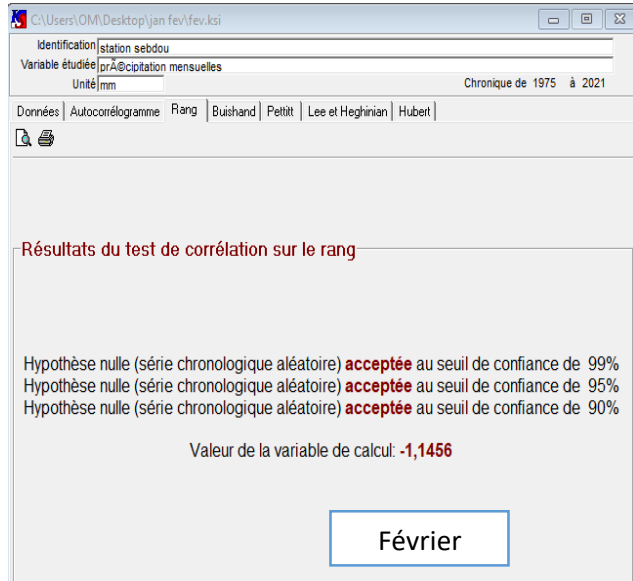
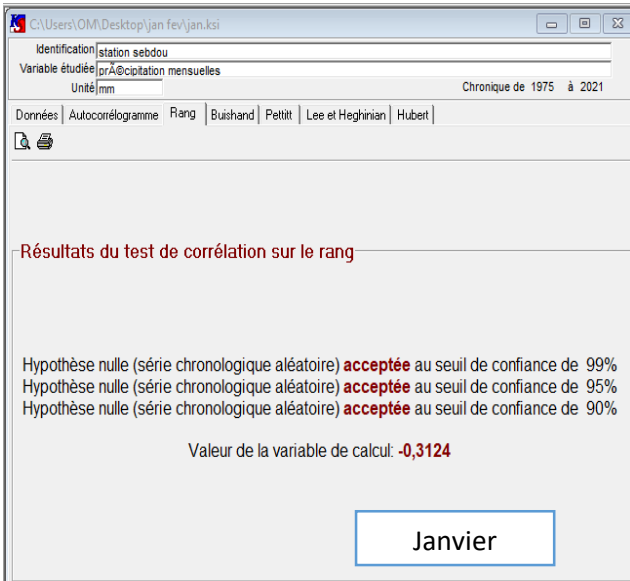
IV.5.2.1.B. Test de corrélation sur le rang

Les résultats du test de corrélation sur le rang appliqué aux séries des précipitations mensuelles enregistrées à la station de seabdou (1975/1976-2020/2021), montrent que l’hypothèse nulle est rejetée au seuil de confiance de :

- ✓ 90% au mois de Septembre,
- ✓ 90% au mois de juillet,

Cette hypothèse est acceptée aux trois seuils de confiance pour le reste des mois. Toutes les sous-séries étudiées sont de caractère aléatoire exception faite pour le mois de Juillet, et septembre (pour seuil de confiance de 90%).





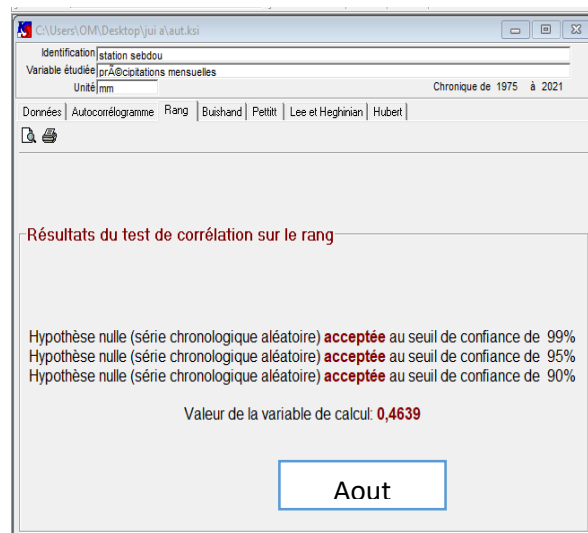
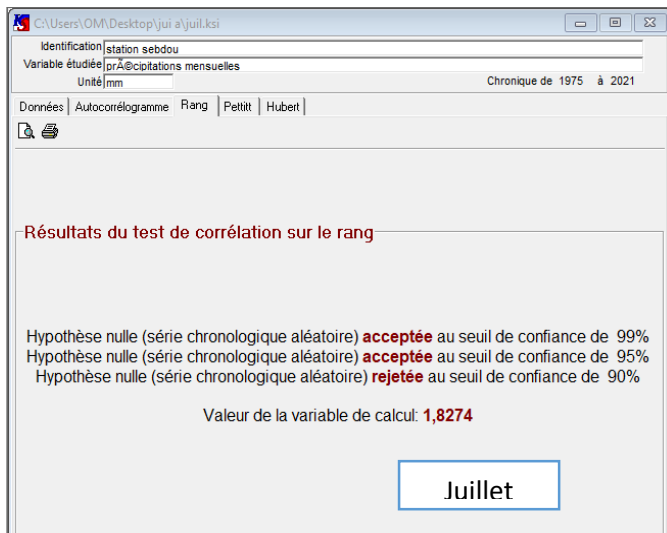
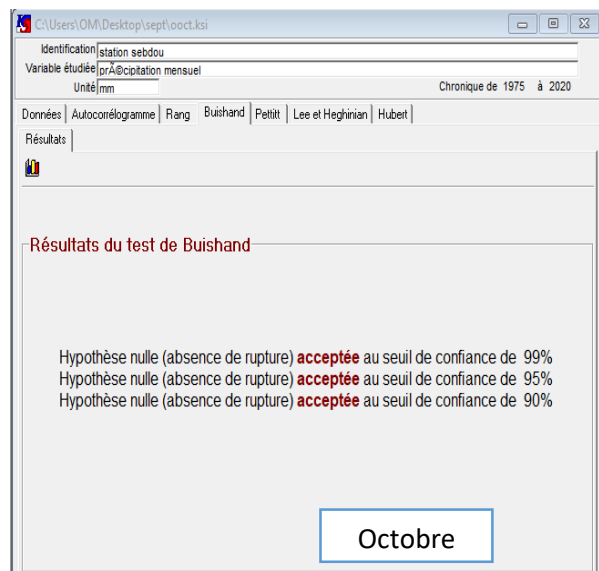
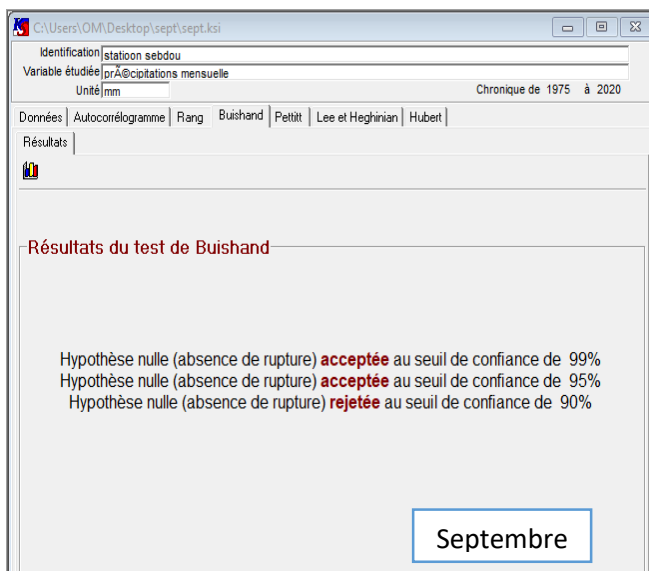


Figure IV.13 : Résultats du test de corrélation sur le rang pour les variations mensuelles des précipitations de la station sebdou (1975/1976-2020/2021).

IV.5.2.2. Tests de détection de rupture

IV.5.2.2.A. Test de Buishand et ellipse de Bois

Le test de Buishand n’a pas été appliqué aux mois de Juillet car cette série ne suit pas la loi normale. Les résultats du test de Buishand représentés dans la figure IV.14 montrent que l’hypothèse nulle est rejetée au mois de septembre pour un seuil de confiance de 90%, par contre cette hypothèse est acceptée pour le reste des mois aux trois seuils de confiance. Les ellipses de Bois représentées dans la figure IV.15 laissent apparaître des ruptures au mois de septembre de l’année 1989/1990, Cette rupture défini un changement du régime dans la pluviométrie il est traduit par une augmentation. et une rupture au mois de mai 1976/1977.



Identification station sebdou
Variable étudiée pr@cipitations mensuelles
Unité/mm Chronique de 1975 à 2020

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Novembre

Identification station sebdou
Variable étudiée pr@cipitations mensuelles
Unité/mm Chronique de 1975 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Décembre

Identification station sebdou
Variable étudiée pr@cipitation mensuelles
Unité/mm Chronique de 1975 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Janvier

Identification station sebdou
Variable étudiée pr@cipitation mensuelles
Unité/mm Chronique de 1975 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

février

Identification station sebdou
Variable étudiée pr@cipitations mensuelles
Unité/mm Chronique de 1975 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

mars

Identification station sebdou
Variable étudiée pr@cipitations mensuelles
Unité/mm Chronique de 1975 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Avril

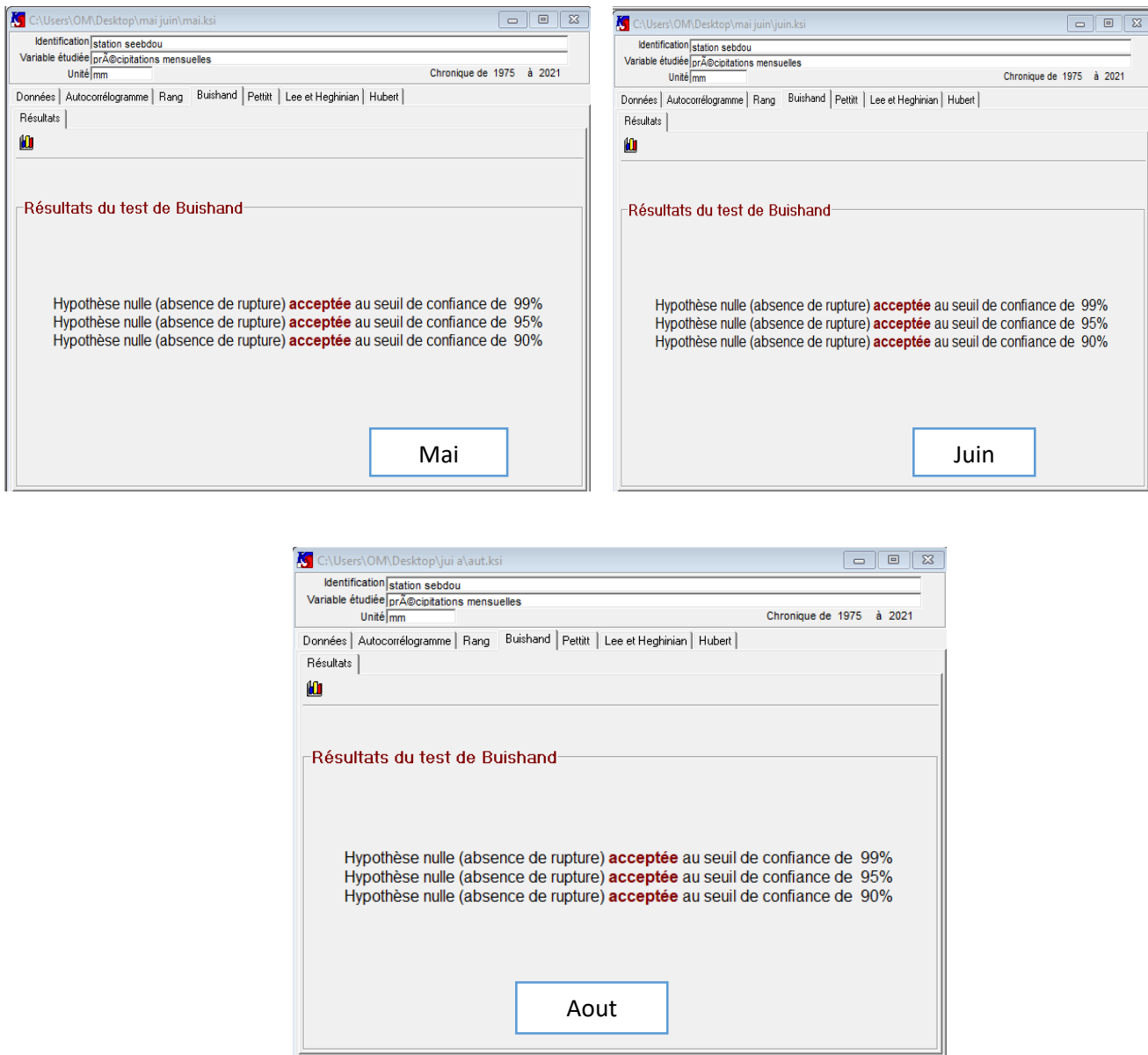
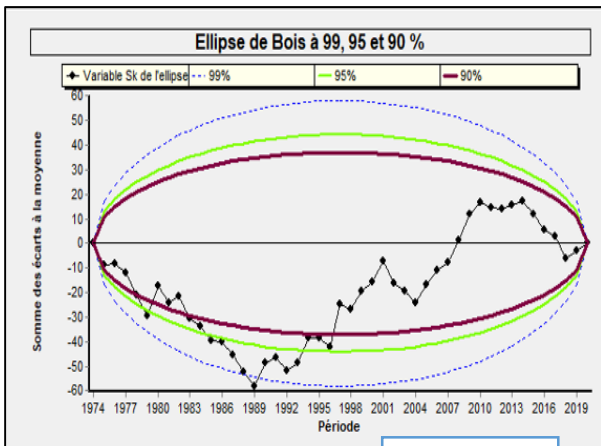
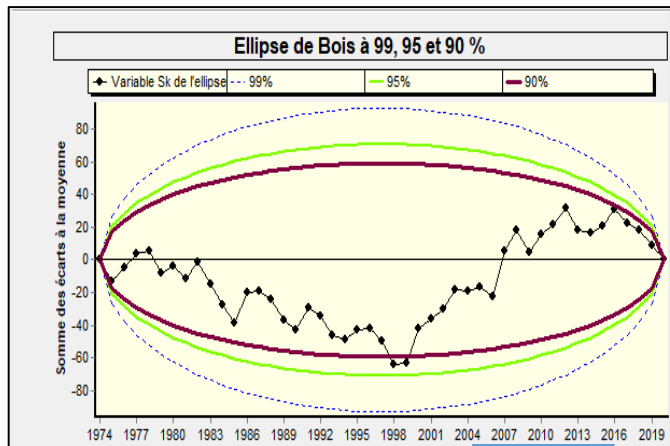


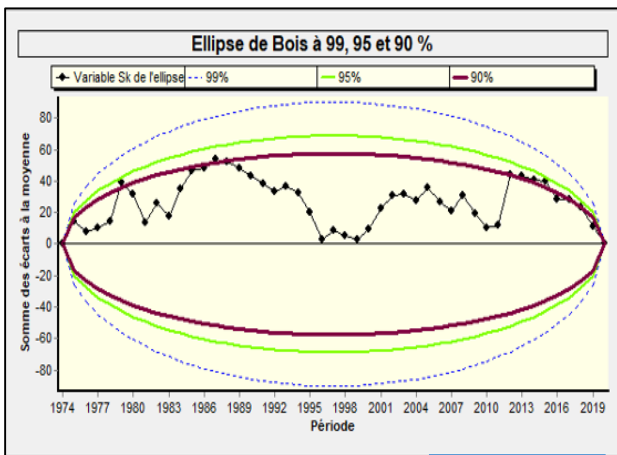
Figure IV.14 : Résultats du test de Buishand sur les variations mensuelles des précipitations de la station de sebdou (1975/1976-2020 /2021).



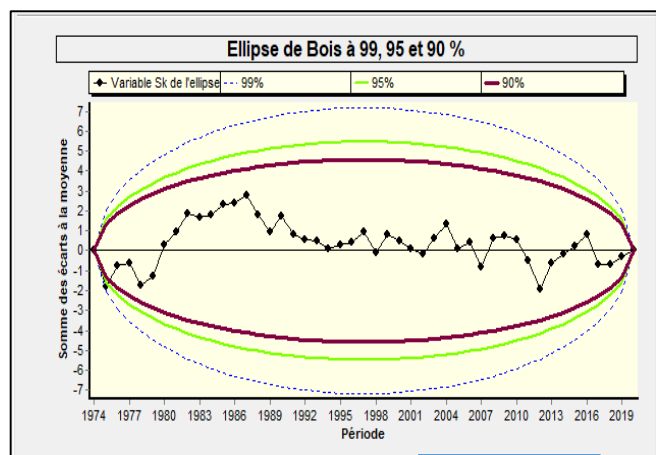
Septembre



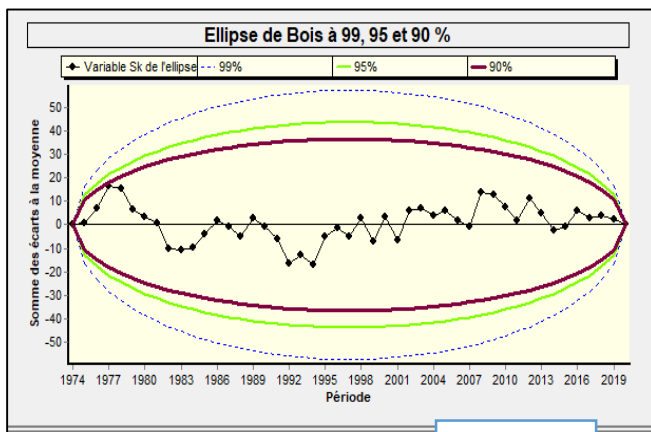
octobre



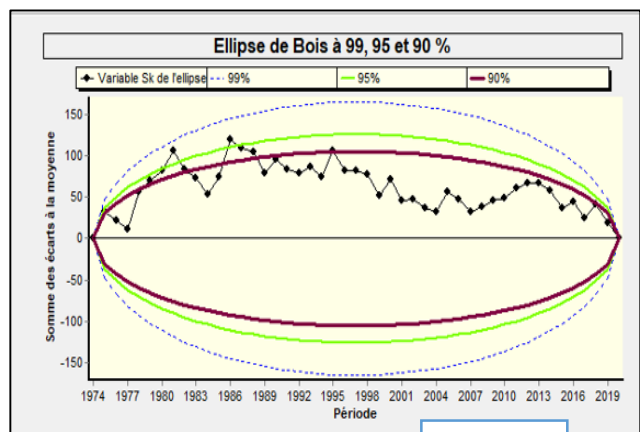
novembre



Décembre



Janvier



Février

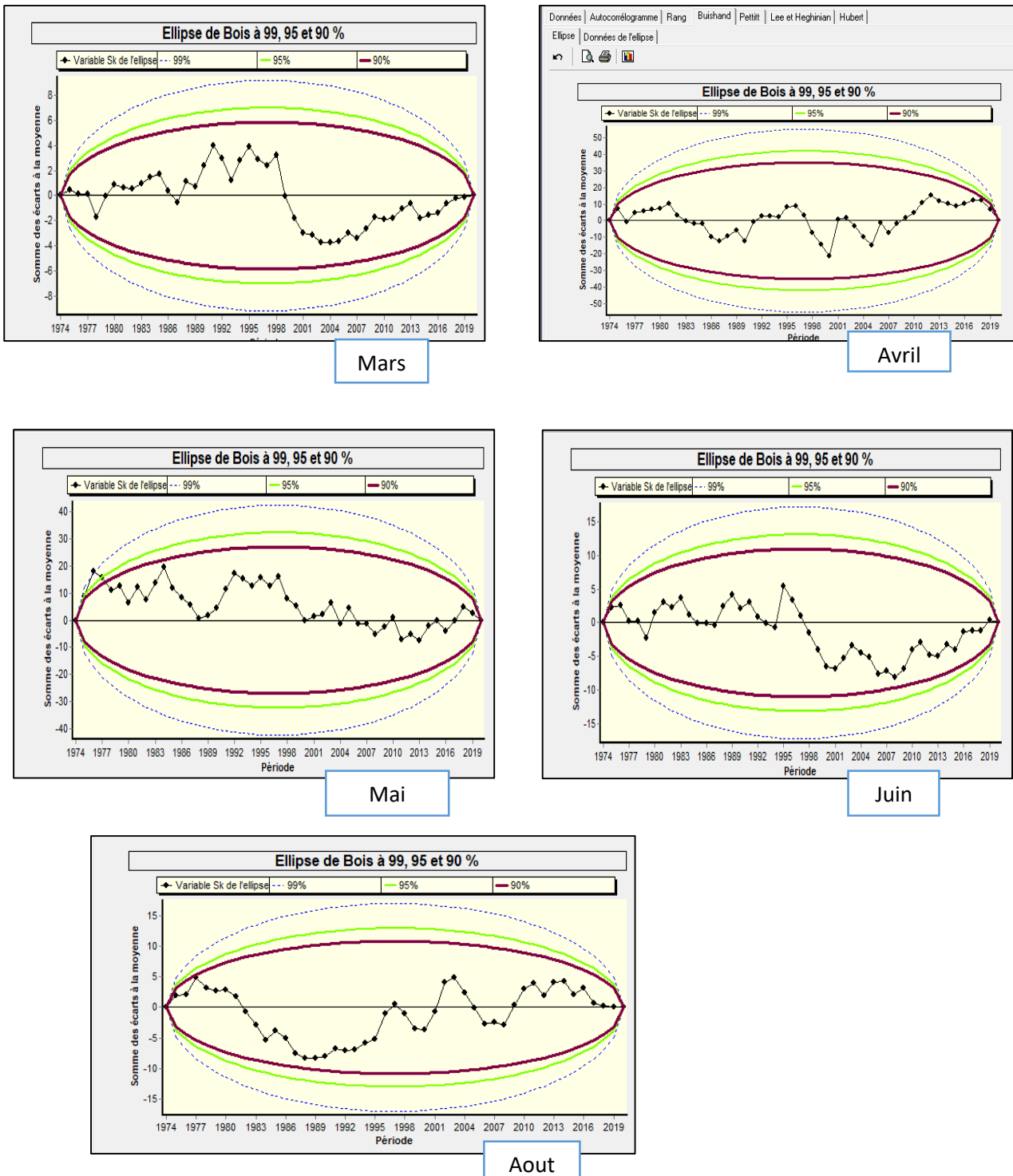


Figure IV.15 : Ellipses de Bois pour les variations mensuelles des précipitations de la station de Sebdu (1975/1976-2020/2021).

IV.5.2.2.B. Méthode non paramétrique de Pettitt

Les résultats de la figure IV.16 du test de Pettitt sur les séries des précipitations mensuelles de station de sebdu (1975/1975-2020/2021), montrent que l’hypothèse nulle est rejetée au seuil de confiance de 95% et 90%, en observant une rupture avec une probabilité de dépassement $3.18 \cdot 10^{-2}$ en septembre (1989/1990) .

C:\Users\OMI\Desktop\sept\sept.ksi

Identification: station sebdou
 Variable étudiée: prA@cipitations mensuelle
 Unité: mm
 Chronique de 1975 à 2020

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

Probabilité de dépassement de la valeur critique du test: **3,18E-02 en 1989**

Septembre

C:\Users\OMI\Desktop\sept\ooc.t.ksi

Identification: station sebdou
 Variable étudiée: prA@cipitation mensuel
 Unité: mm
 Chronique de 1975 à 2020

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Octobre

C:\Users\OMI\Desktop\nov\dc\nov.ksi

Identification: station sebdou
 Variable étudiée: prA@cipitations mensuelles
 Unité: mm
 Chronique de 1975 à 2020

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Novembre

C:\Users\OMI\Desktop\nov\dc\dec.ksi

Identification: station sebdou
 Variable étudiée: prA@cipitations mensuelles
 Unité: mm
 Chronique de 1975 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Décembre

C:\Users\OMI\Desktop\jan\fev\jan.ksi

Identification: station sebdou
 Variable étudiée: prA@cipitation mensuelles
 Unité: mm
 Chronique de 1975 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Janvier

C:\Users\OMI\Desktop\jan\fev\fev.ksi

Identification: station sebdou
 Variable étudiée: prA@cipitation mensuelles
 Unité: mm
 Chronique de 1975 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Février

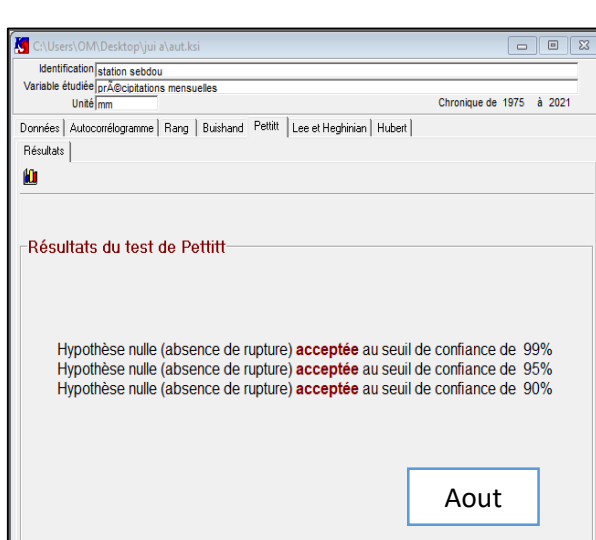
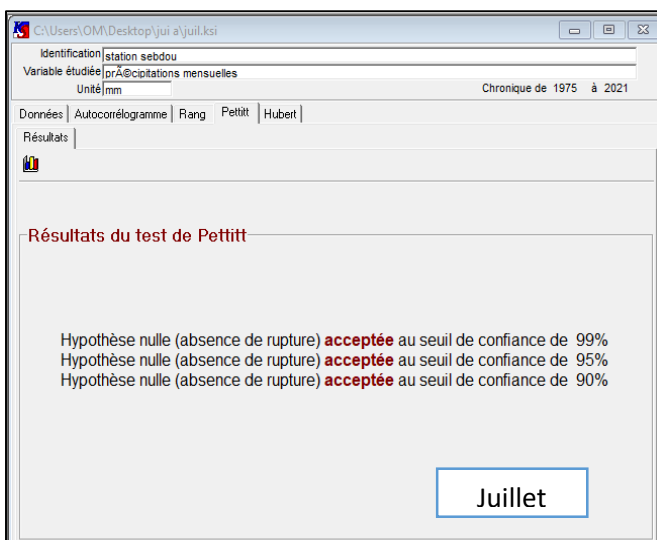
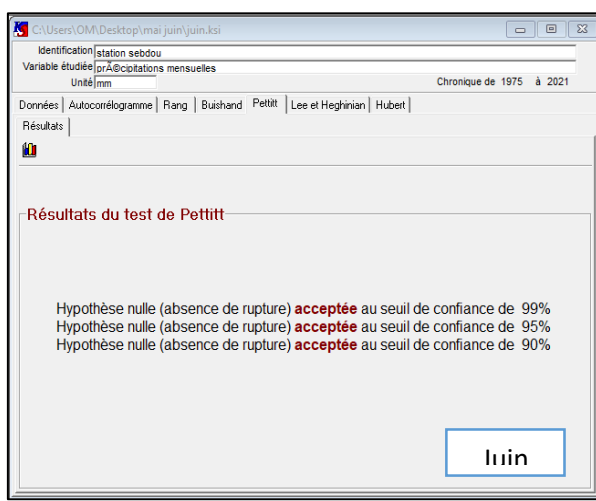
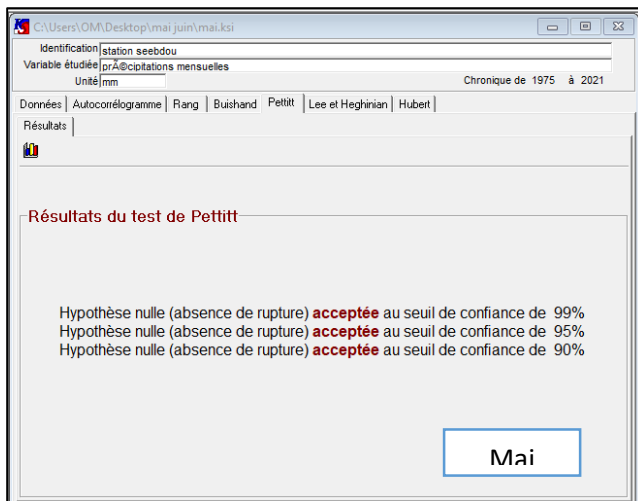
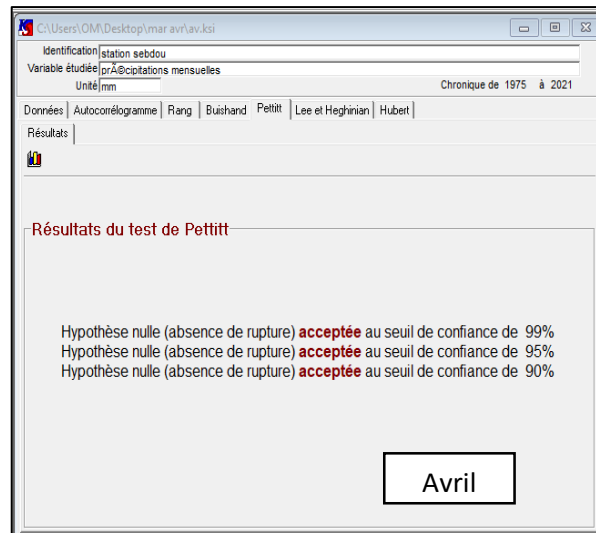
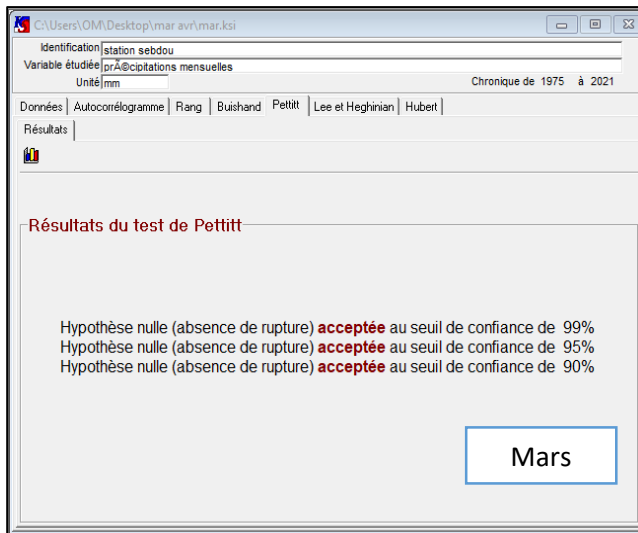


Figure IV.16 : Résultats du test de Pettitt sur les variations mensuelles des précipitations de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).

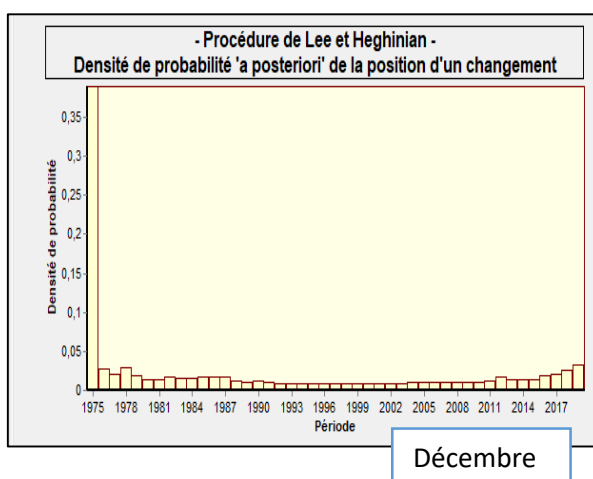
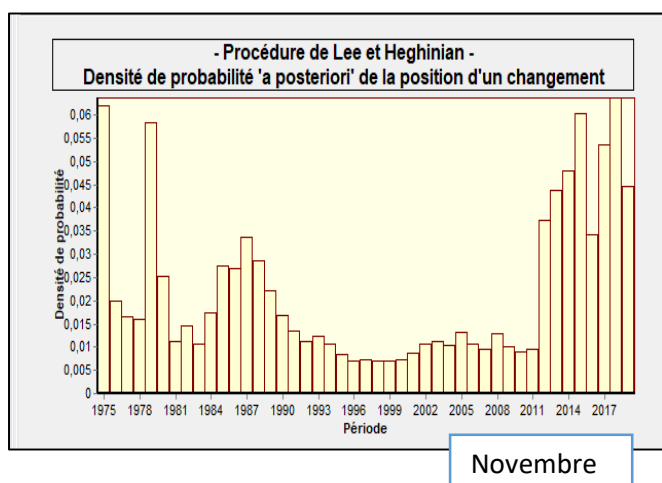
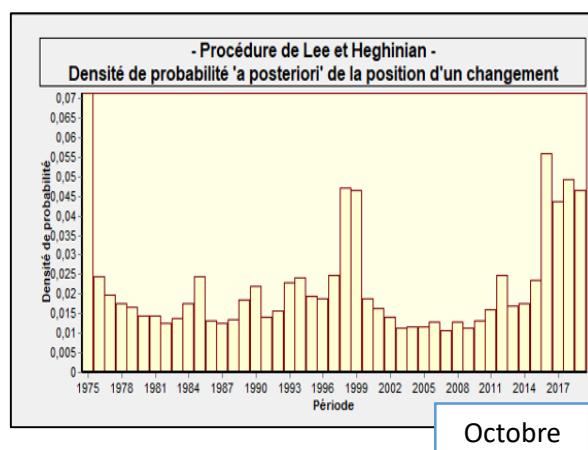
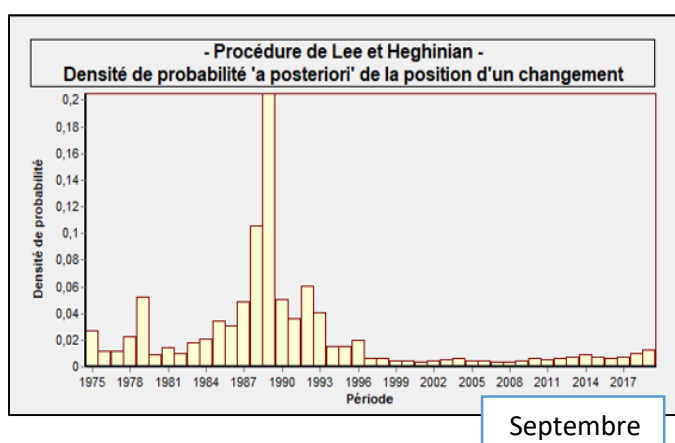
IV.5.2.2.C. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian

Le test de Lee et Heghinian n'a pas été appliqué aux précipitations du mois de Juillet puisque les valeurs ne suivent pas la loi normale.

Nous résumons les dates de ruptures dans les séries mensuelles des précipitations dans le tableau IV.1, qui sont matérialisées par les densités de probabilité a posteriori, représentées dans la figure IV.17.

Tableau IV.1. Ruptures détectées par la méthode bayésienne de Lee et Heghinian pour les variations moyennes des précipitations mensuelles

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Aout
Date de rupture	89/90	74/75	18/19	74/75	77/78	81/82	74/75	74/75	74/75	74/75	77/78



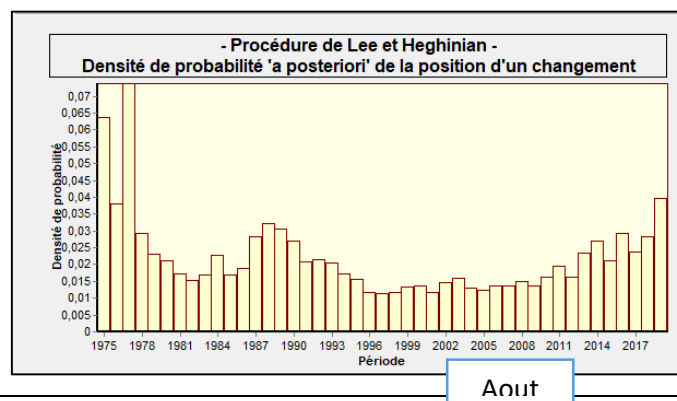
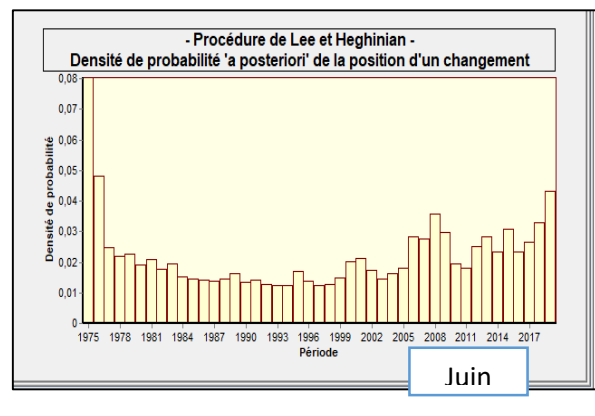
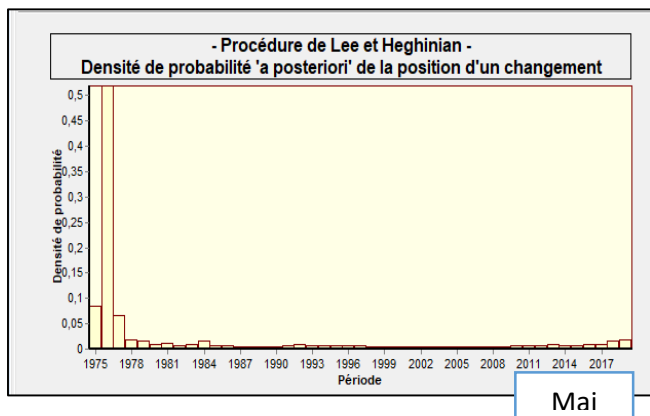
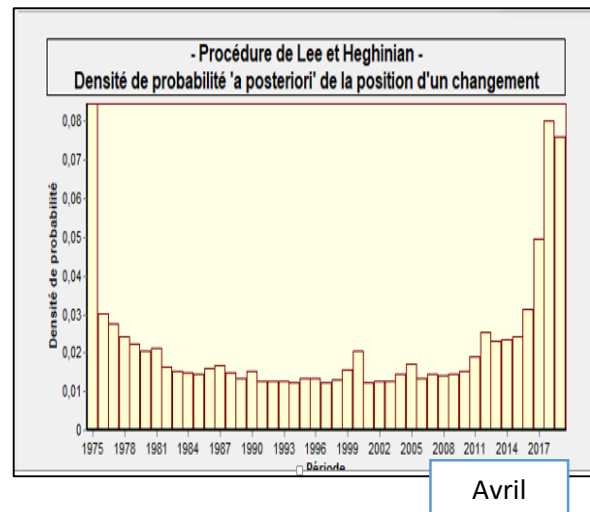
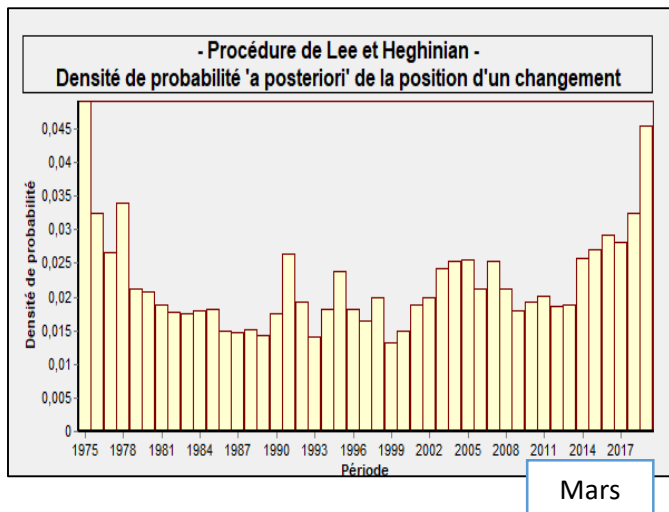
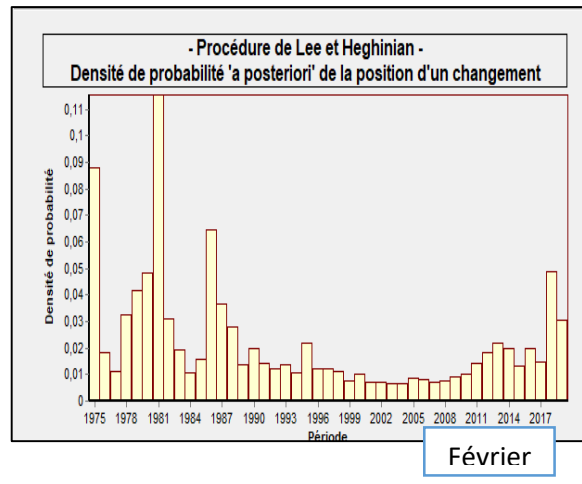
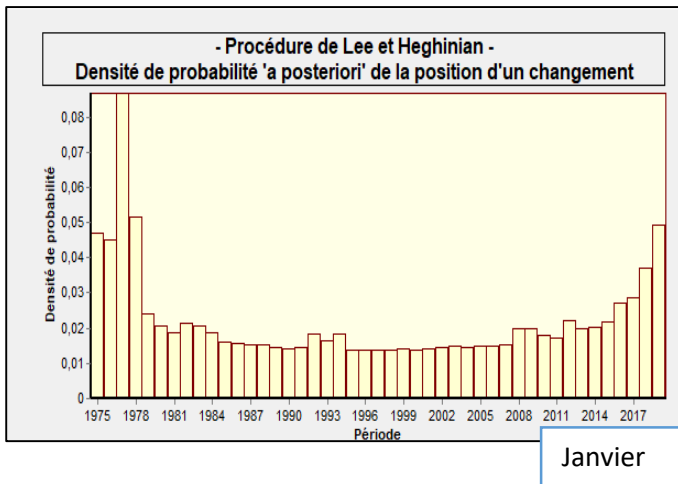
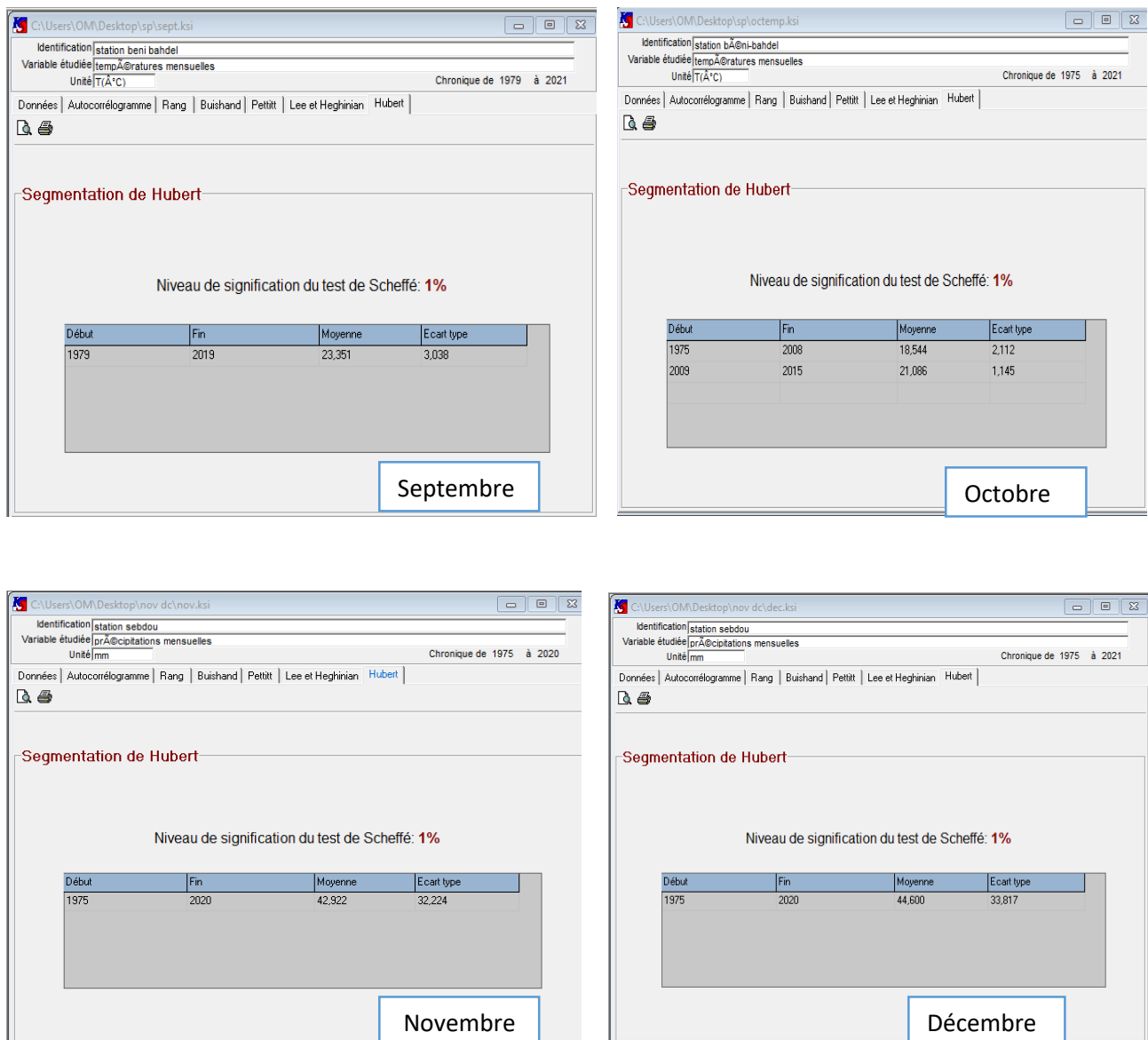
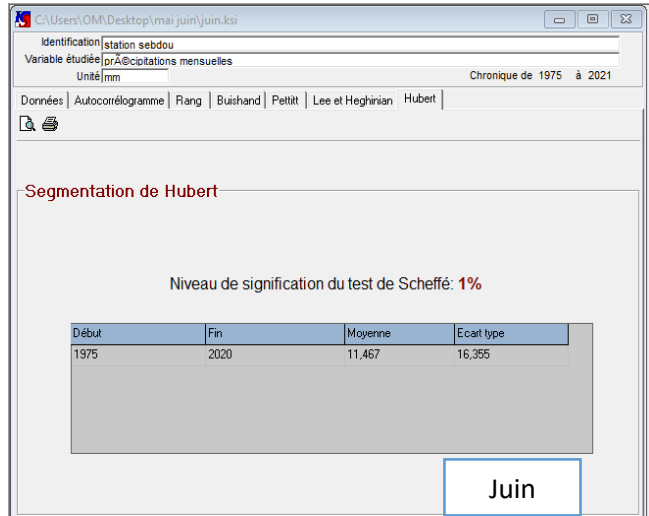
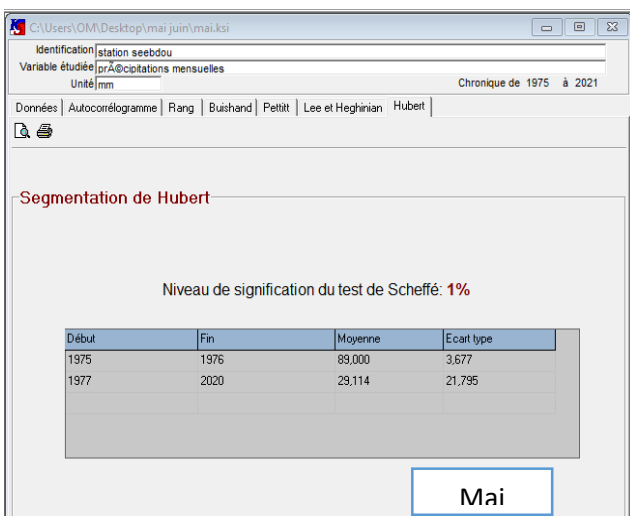
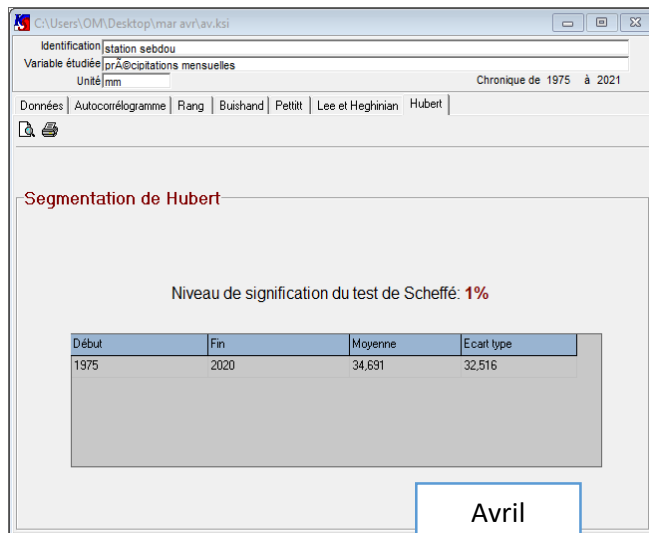
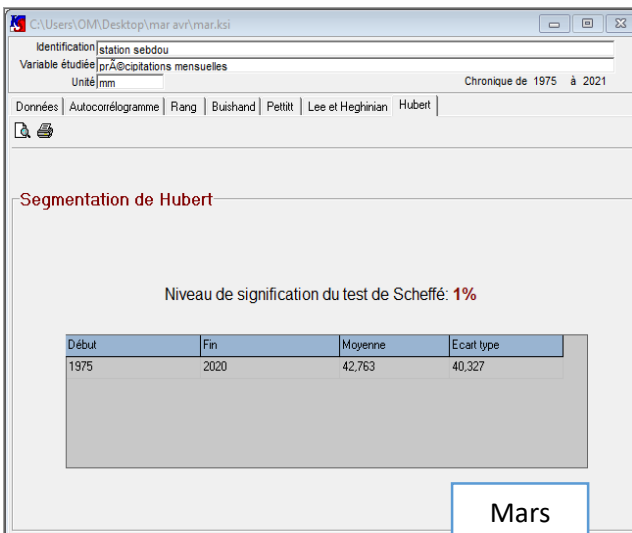
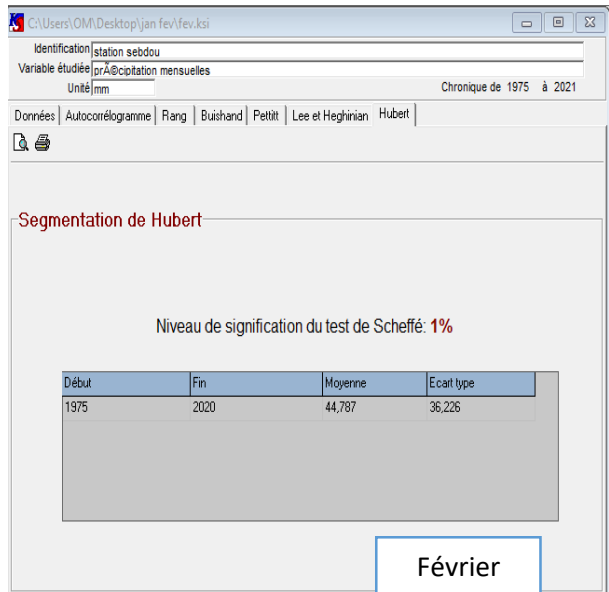
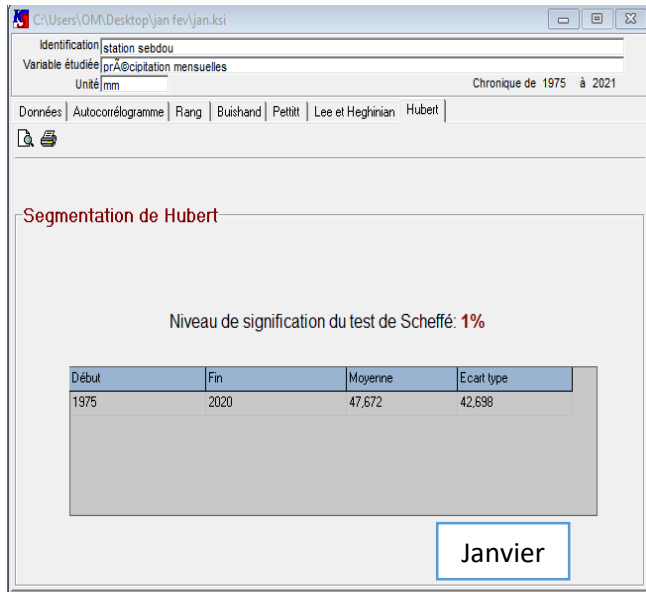


Figure IV.17 : Densité de probabilité a posteriori de la position d'un changement des précipitations mensuelles de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).

IV.5.2.2.D. Segmentation d'Hubert

La méthode d'Hubert appliquée aux séries des précipitations mensuelles enregistrées au niveau de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021) (fig.IV.18), indique que seul les séries des mois d'octobre et de mai présentent deux segments de 1975/1976-2008/2009 et de 2009/2010-2015/2016 pour le mois d'octobre et de 1975/1976-1976/1977 et de 1997/1998-2019/2020 pour le mois de mai.





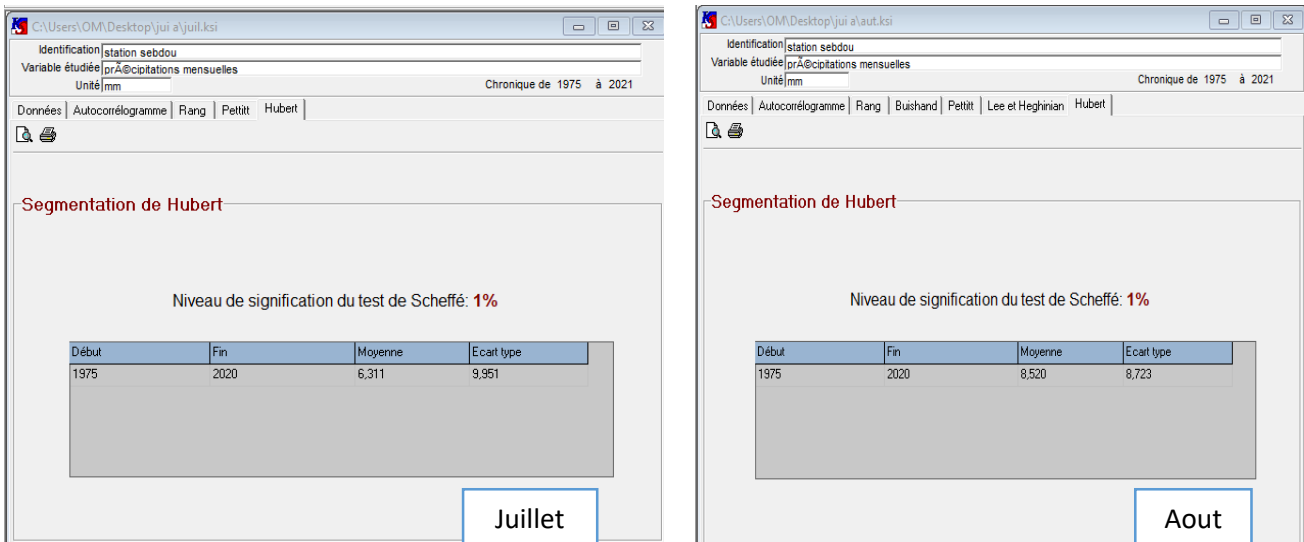


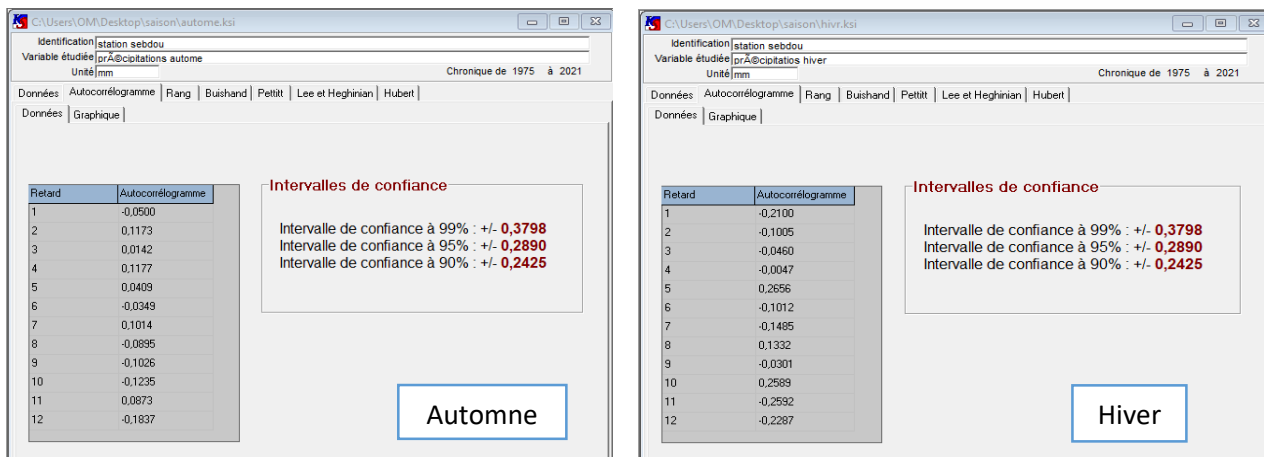
Figure IV.18 : Segmentation d’Hubert sur les variations mensuelles des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).

IV.5.3. Analyse des précipitations saisonnières

IV.5.3.1. Tests de vérification du caractère aléatoire

IV.5.3.1.a. Calcul de l’autocorrélogramme et son intervalle de confiance

Les résultats du calcul des coefficients d’autocorrélation aux intervalles de confiance à 99%, 95% et 90% sur les séries des précipitations saisonnières enregistrées au niveau de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021), à l’aide du code Khronostat sont représentés par la figure IV.19.



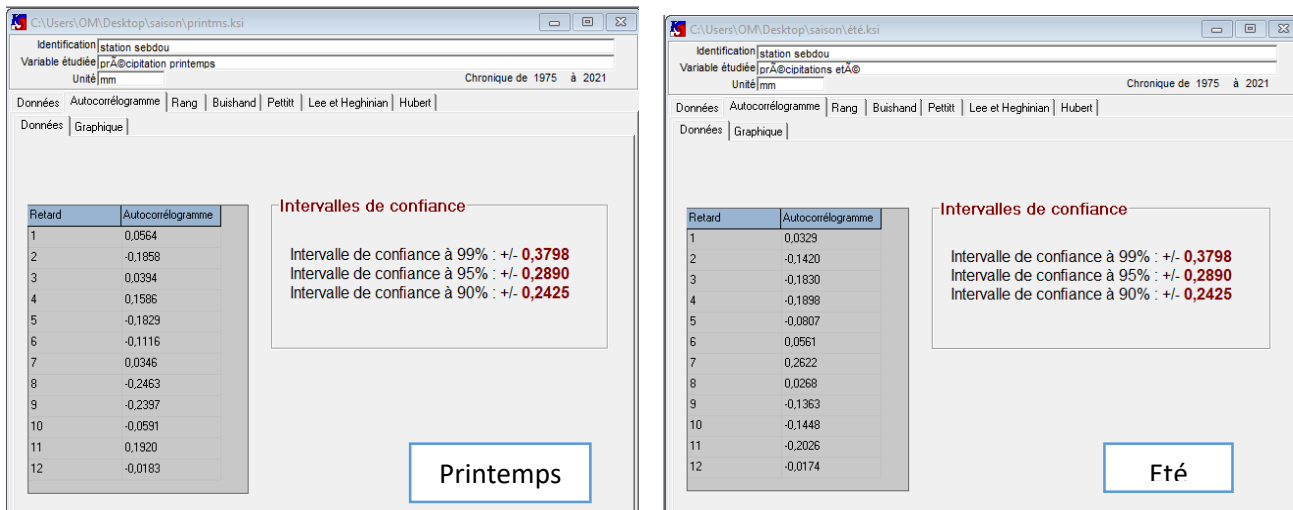
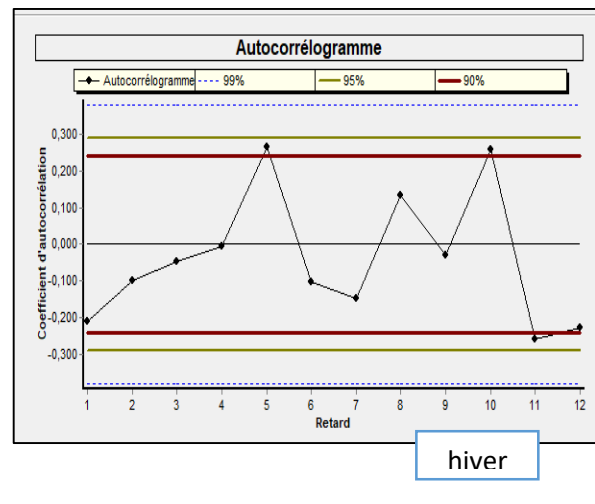
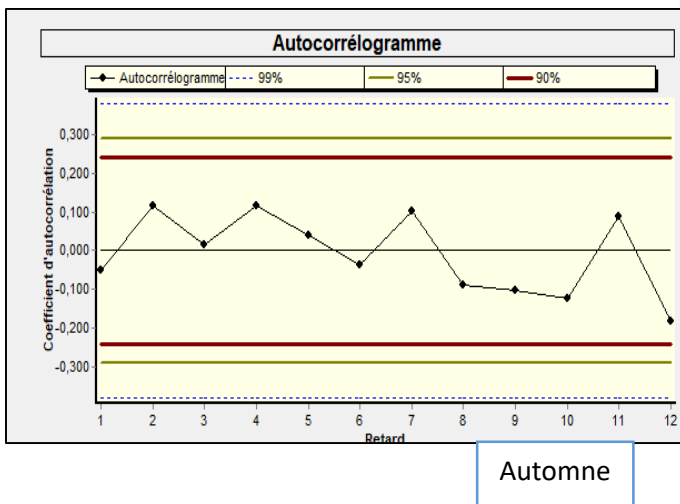


Figure IV.19 : Calcul de l'autocorrélogramme et son intervalle de confiance pour les variations saisonnières des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).

Les autocorrélogrammes (fig.IV.20) des séries des précipitations saisonnières à la station de Sebdou pour la période 1975/1976-2020/2021, indiquent que l'hypothèse nulle est rejetée au seuil de confiance de 90% pour le Printemps et l'hiver, par contre elle est acceptée aux trois seuils de confiance pour le reste des saisons. Nous pouvons considérer que les séries des précipitations saisonnières sont aléatoires.



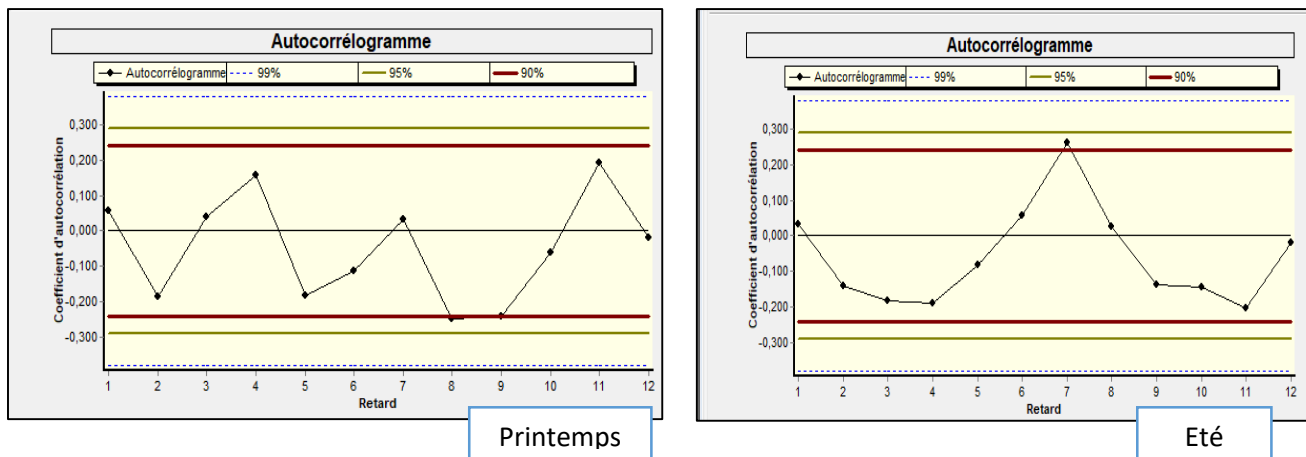
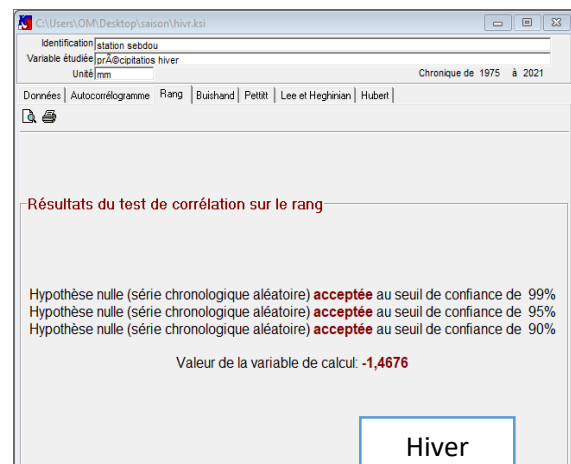
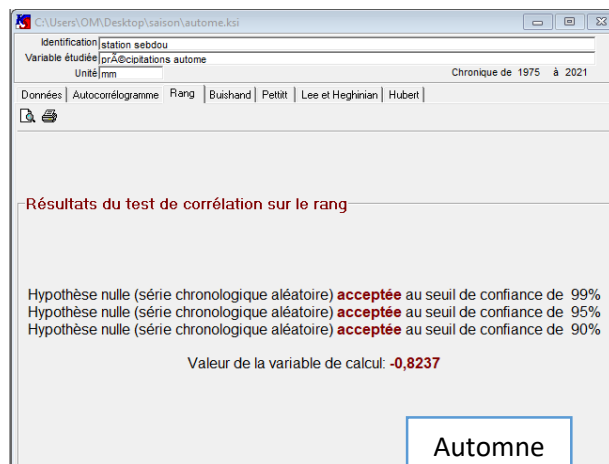


Figure IV.20 : Autocorrélogrammes des variations saisonnières des précipitations de la station de Sebdou(1975/1976-2020/2021).

IV.5.3.1.b. Test de corrélation sur le rang

Conformément aux résultats du test de corrélation sur le rang représentés dans la figure IV.21 pour les séries des précipitations saisonnières à la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021), l’hypothèse nulle est acceptée aux trois seuils de confiance pour les quatre saisons. Ces résultats permettent de confirmer le caractère aléatoire de nos séries.



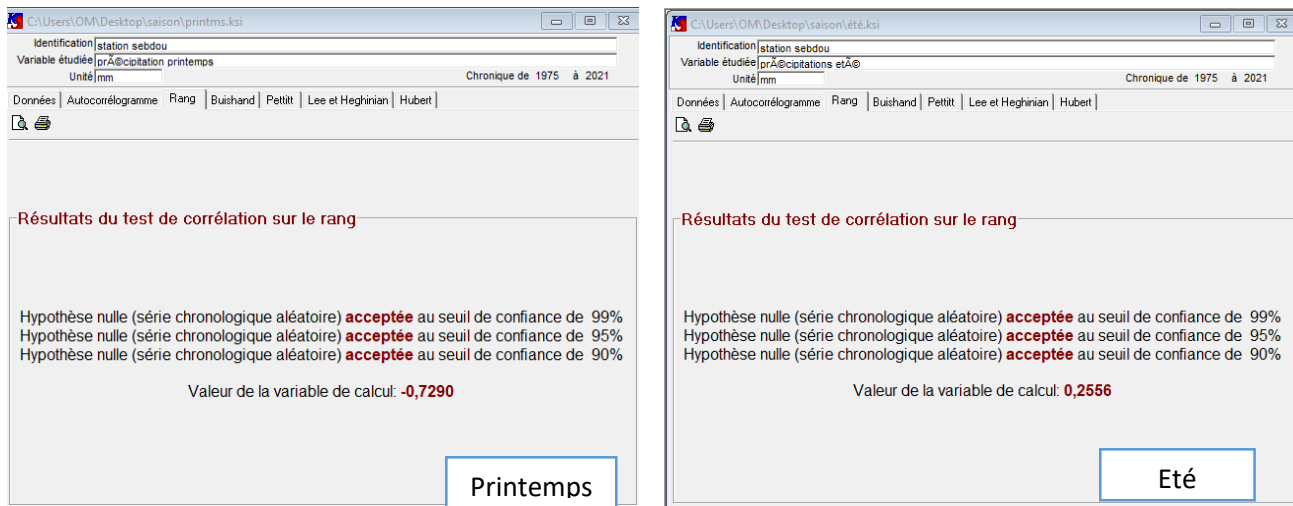
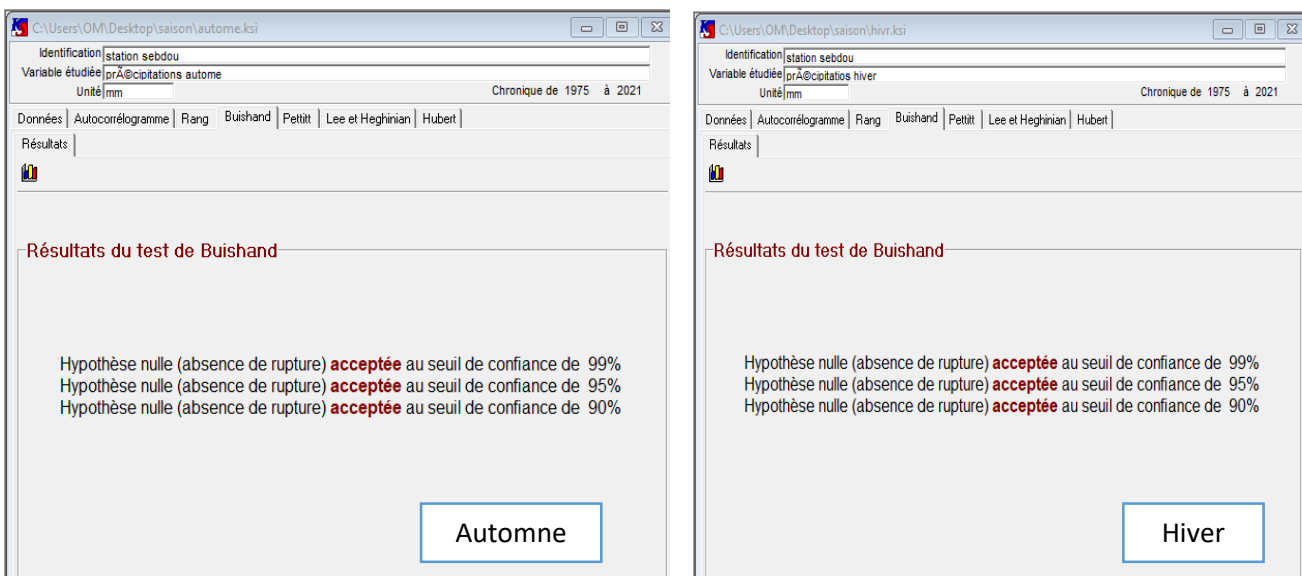


Figure IV.21 : Résultats du test de corrélation sur le rang pour les variations saisonnières des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).

IV.5.3.2. Tests de détection de rupture

IV.5.3.2.A. Test de Buishand et ellipse de Bois

Selon les résultats du test de Buishand appliqué aux séries des précipitations saisonnières de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021) (fig.IV.22), l’hypothèse nulle est acceptée aux trois seuils de confiance pour les quatre saisons. D’après les ellipses de Bois (fig.IV.23), nous observons une absence de rupture pour les quatre saisons.



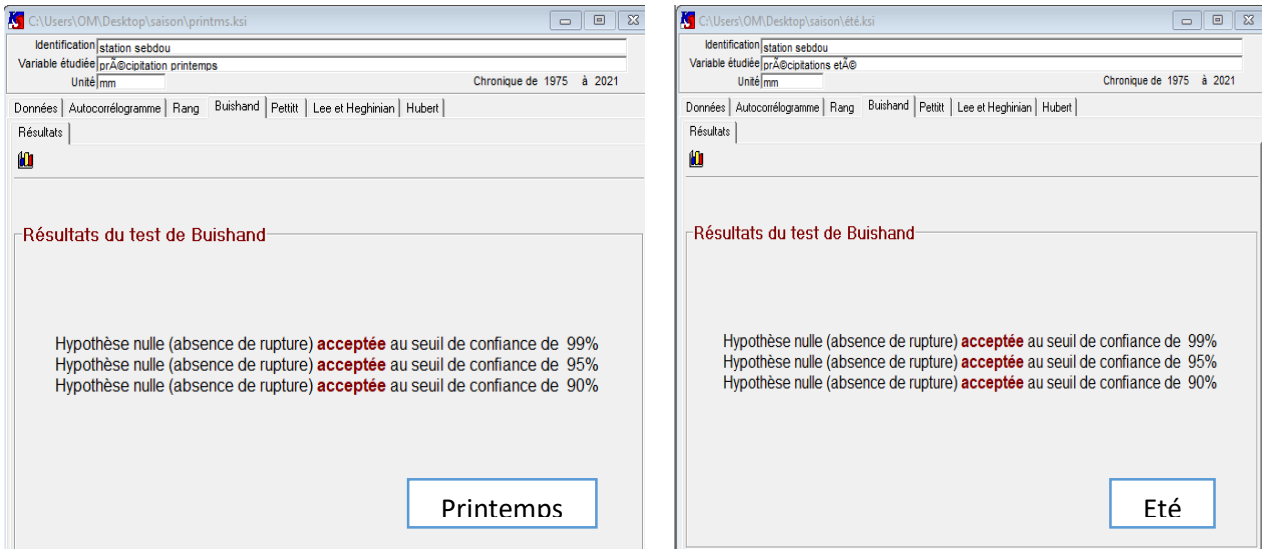


Figure IV.22 : Résultats du test de Buishand pour les variations saisonnières des précipitations de station de Sebdou (1975/19776-2020/2021).

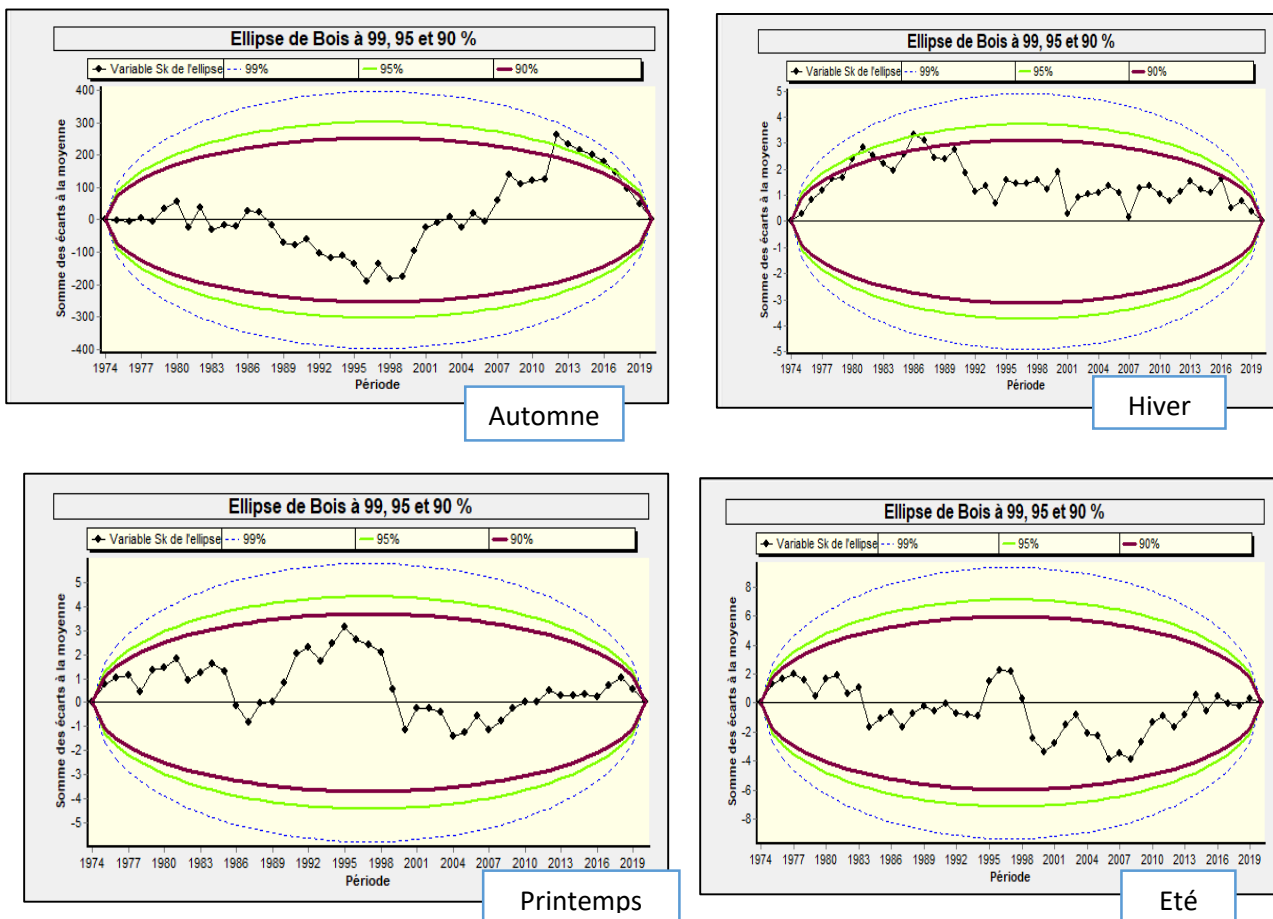


Figure IV.23 : Ellipses de Bois pour les variations saisonnières des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).

IV.4.3.2.B Méthode non paramétrique de Pettitt

Les résultats du test de Pettitt (fig.IV.24) montrent l'absence de rupture pour les quatre saisons. En effet, l'hypothèse nulle est acceptée aux trois seuils de confiance pour les séries des précipitations saisonnières de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).

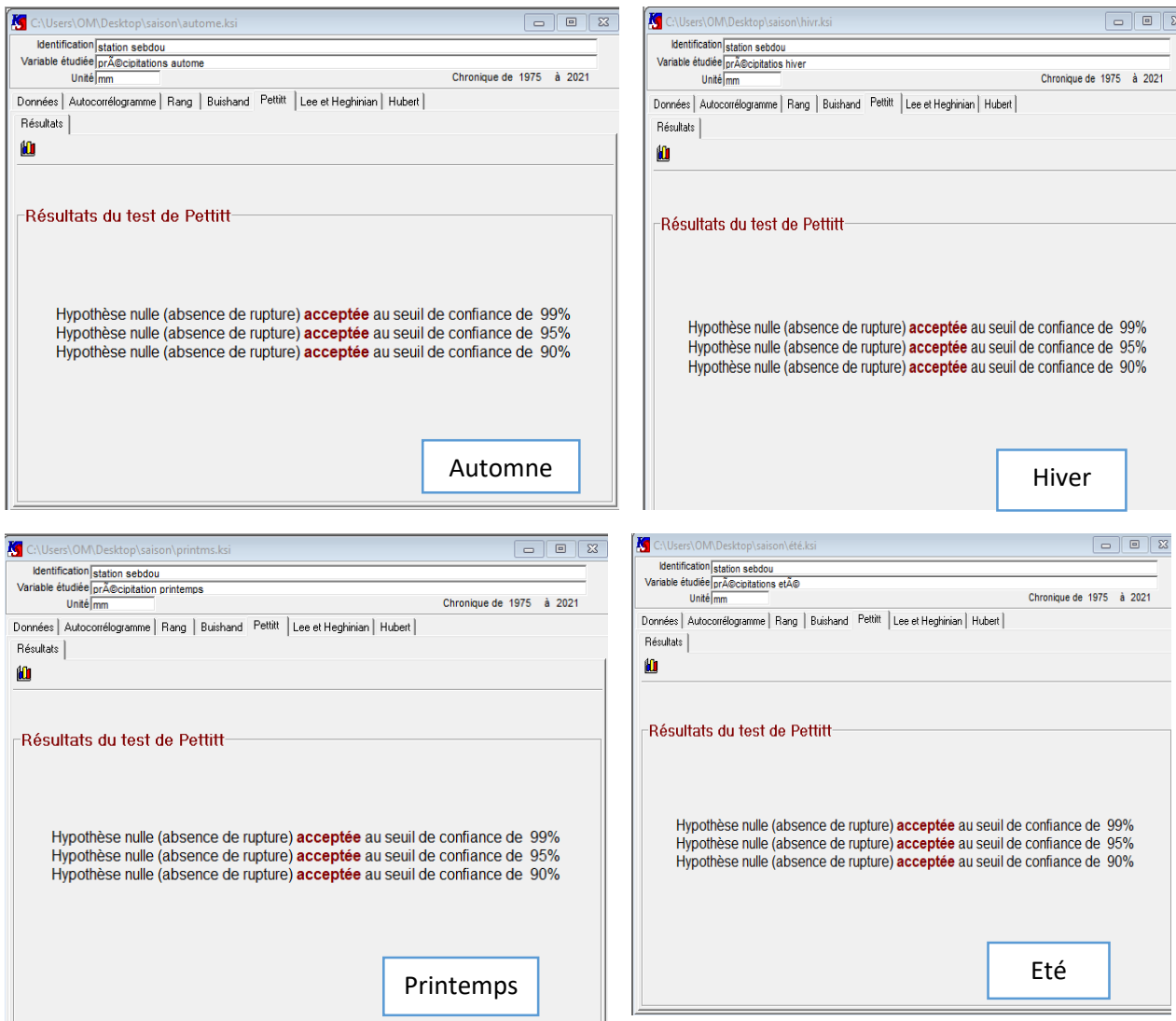


Figure IV.24 : Résultats du test de Pettitt pour les variations saisonnières des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).

IV.5.3.2.C. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian

La méthode bayésienne appliquée aux séries des précipitations saisonnières de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021), dont les résultats sont présentés en figure IV.25, indiquent l'existence d'au moins une rupture pour chaque saison (tab.IV.2).

Tableau IV.2. Ruptures détectées par la méthode bayésienne de Lee et Heghinian pour les variations moyennes saisonnières des précipitations

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été
Date de rupture	2011/2012	1980/1981	1974/1975	1974/1975

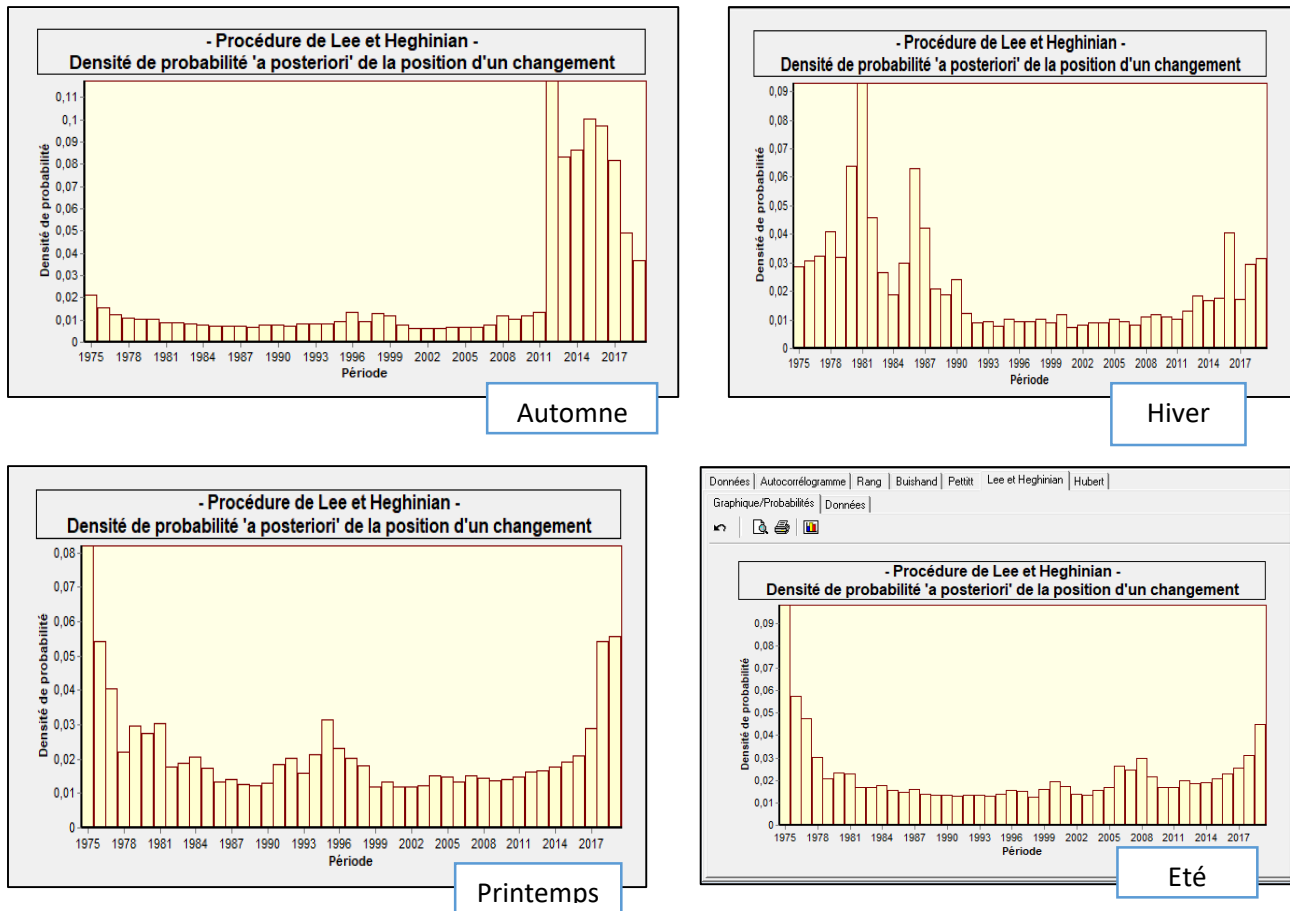
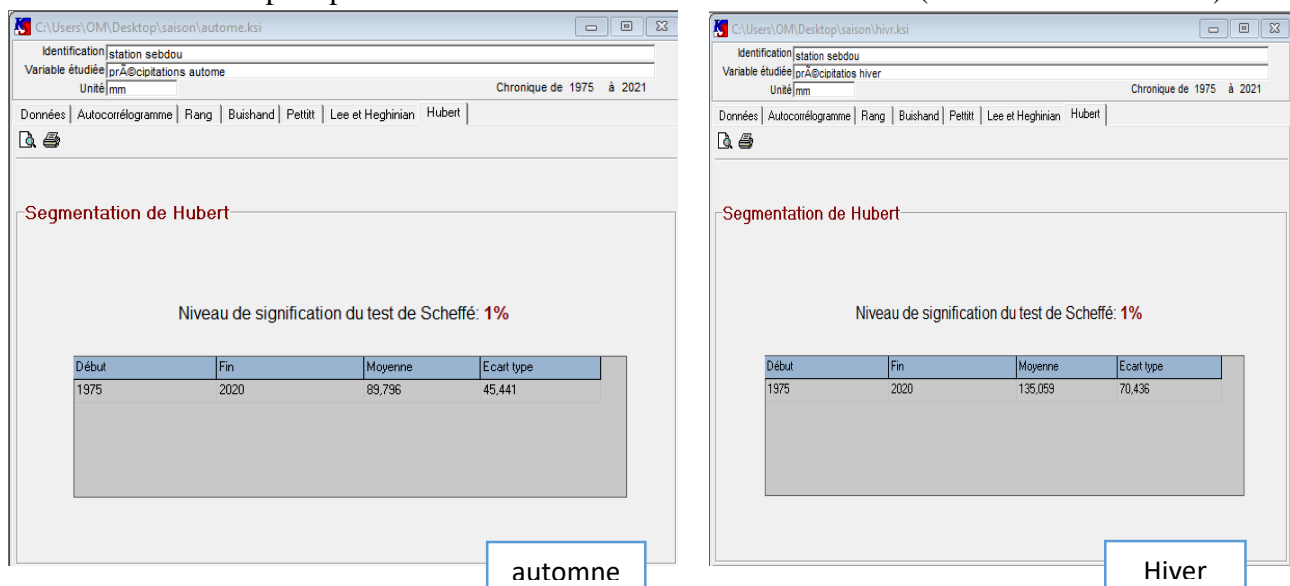


Figure IV.25 : Densité de probabilité à posteriori de la position d'un changement de précipitations saisonnières de la station de Sebdu (1975/1976-2020/2021).

IV.5.3.2.D. Segmentation d'Hubert

Selon les résultats de la figure IV.26, la segmentation d'Hubert n'a proposé aucun découpage des séries des précipitations saisonnières de la station de Sebdu (1975/1976-2020/2021).



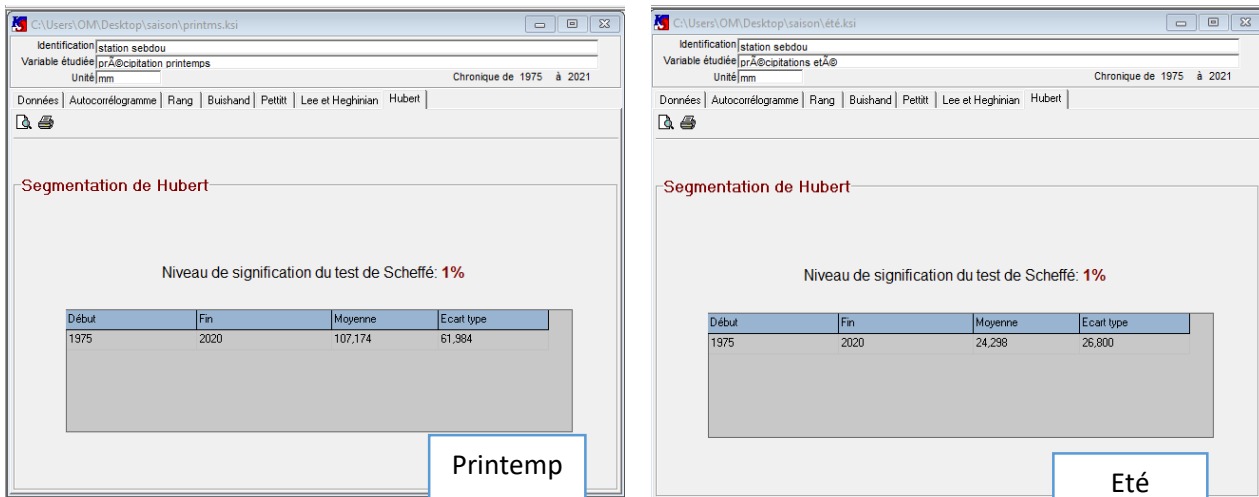


Figure IV.26 : Segmentation d’Hubert pour les variations saisonnières des précipitations de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).

IV.5.4. Analyse des températures moyennes annuelles

IV.5.4.1. Tests de vérification du caractère aléatoire

IV.5.4.1.A. Calcul de l’autocorrélogramme et son intervalle de confiance

Les résultats du calcul des coefficients d’autocorrélation et de ses intervalles de confiance à 99%, 95% et 90% à l’aide de Khronostat pour la série de températures moyennes annuelles de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021) sont consignés dans la figure IV.27.

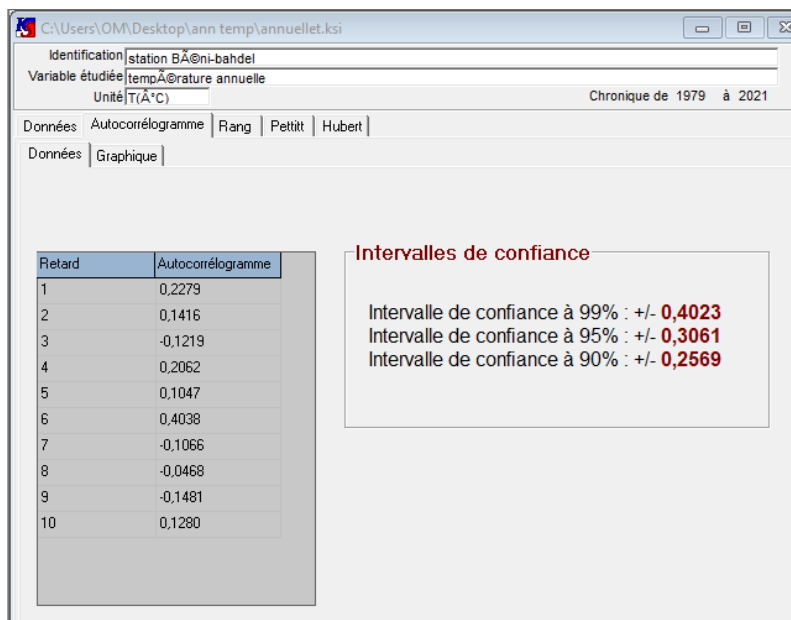


Figure IV.27 : Calcul de l’autocorrélogramme et de son intervalle de confiance pour les variations des températures moyennes annuelles (station de Béni-bahdel (79/80-20/21))

D’après l’autocorrélogramme (fig.IV.28), nous observons que les coefficients d’autocorrélation ne sont inclus dans aucun intervalle de confiance. Notre série étudiée est à caractère aléatoire.

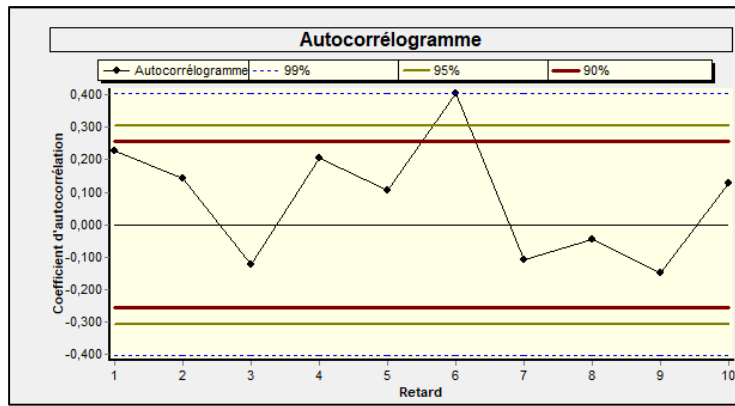


Figure IV.28 : Autocorrélogramme des variations moyennes annuelles des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

IV.5.4.1.B. Test de corrélation sur le rang

Les résultats du test de corrélation sur le rang (fig.IV.29) définissent que la série de températures moyennes annuelles est à caractère aléatoire, l’hypothèse nulle est acceptable aux trois seuils de confiance.

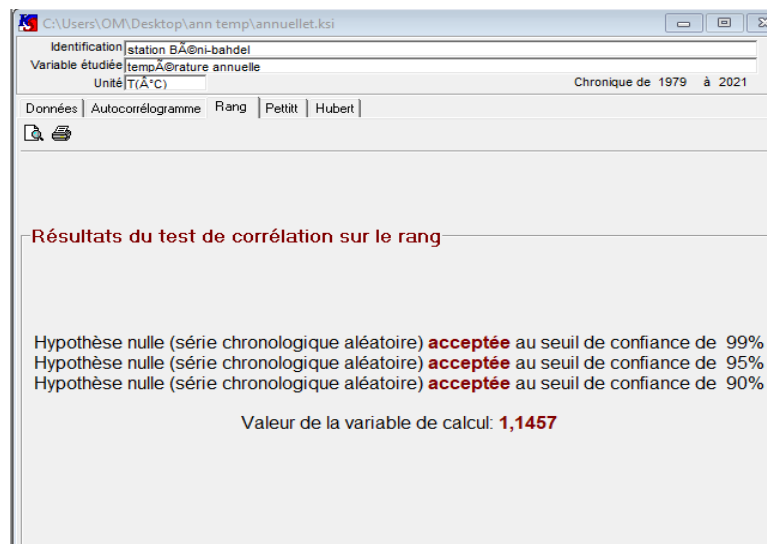


Figure IV.29 : Test de corrélation sur le rang pour les variations moyennes annuelles des températures de la station de Béni-bahdel(1979/1980-2020/2021).

IV.5.4.2. Tests de détection de rupture

IV.5.4.2.A. Test de Buishand et ellipse de Bois

La série des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021) n’est pas à la normalité donc on ne peut pas exécuter ce test.

IV.5.4.2.B. Méthode non paramétrique de Pettitt

D’après les figures IV.30, les résultats du test de Pettitt obtenus pour la série de températures moyennes annuelles de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021), indiquent que l’hypothèse nulle est acceptée aux trois seuils de confiance.

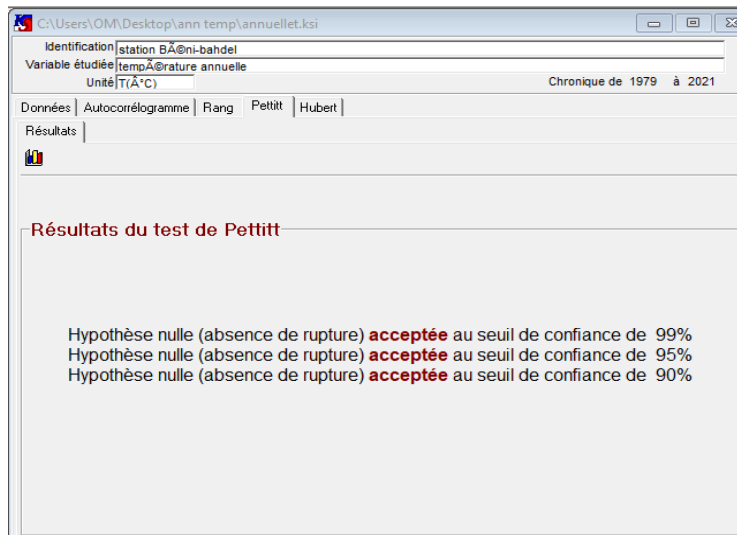


Figure IV.30 : Résultats du test de Pettitt sur les variations moyennes annuelles des températures de la station de Béni-bahdel(1979/1980-2020/2021).

IV.5.4.2.C. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian

La série des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021) n’est pas à la normalité donc on ne peut pas exécuter ce test.

IV.5.4.2.D. Segmentation d’Hubert

D’après la figure IV.31, la segmentation d’Hubert a proposé un découpage de 1978/1979-2012/2013, de 2013/2014–2018/2019 pour la série de températures moyennes annuelles de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021), ce qui nous permet de dire que la rupture a été aperçue en 2013/2014 et en 2018/2019.

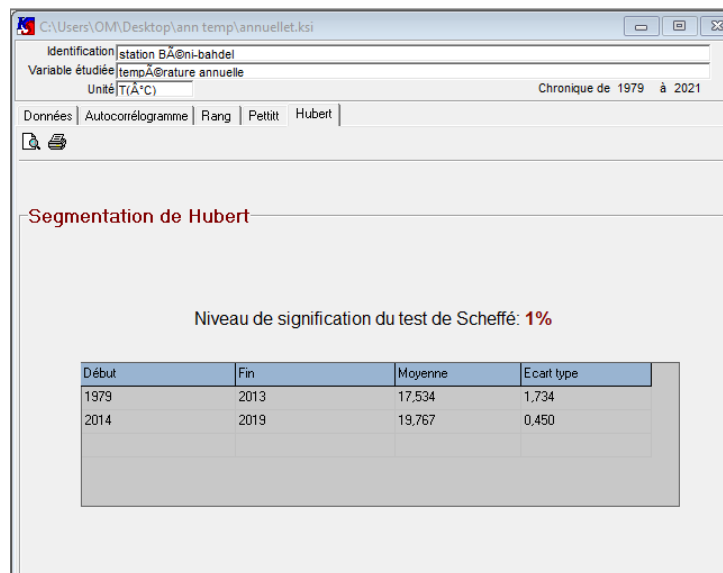


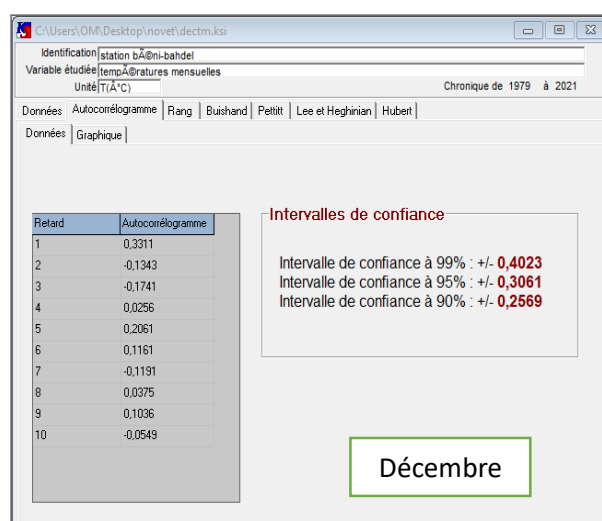
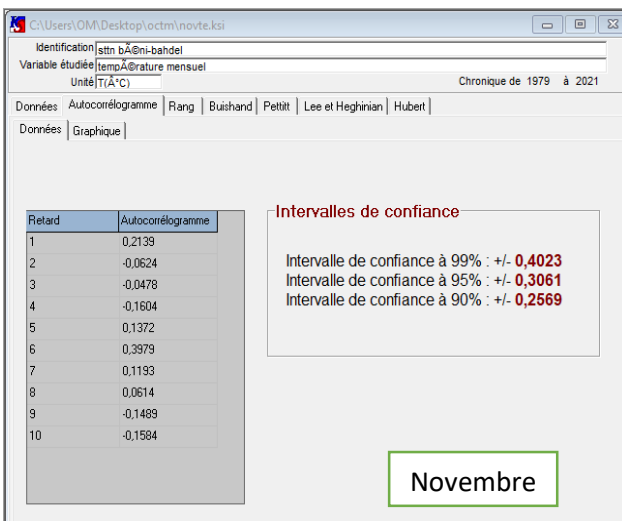
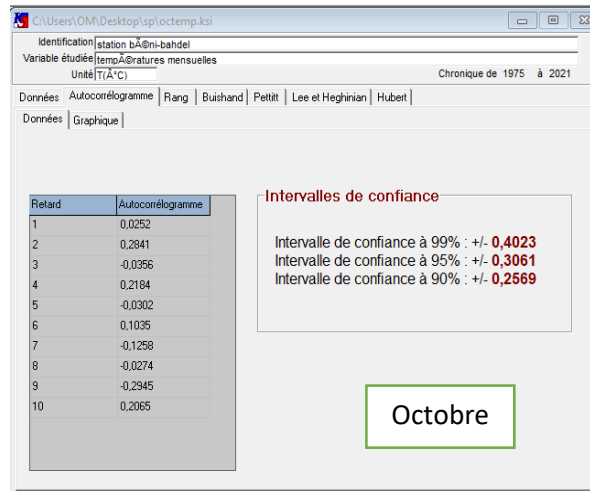
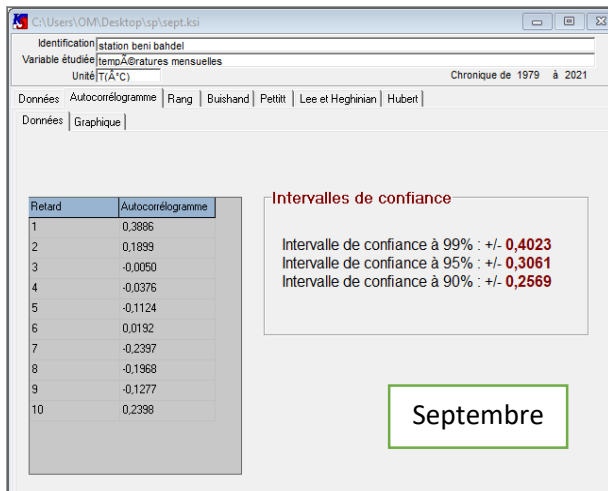
Figure IV.31 : Segmentation d’Hubert pour les variations moyennes annuelles des températures de la station de Béni-bahdel(1979/1980-2020/2021).

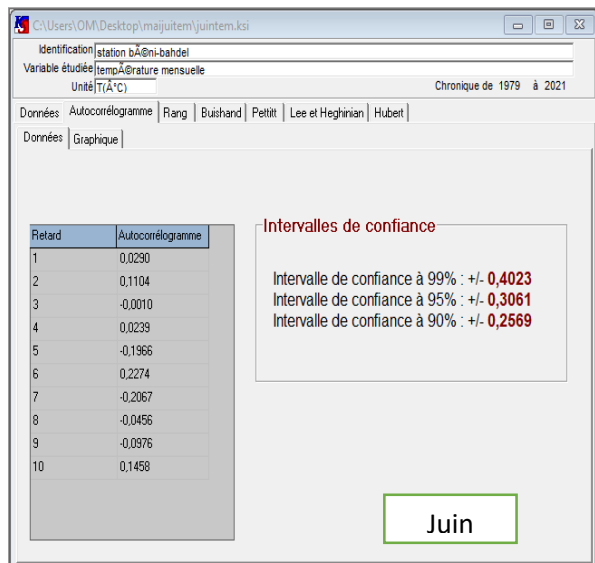
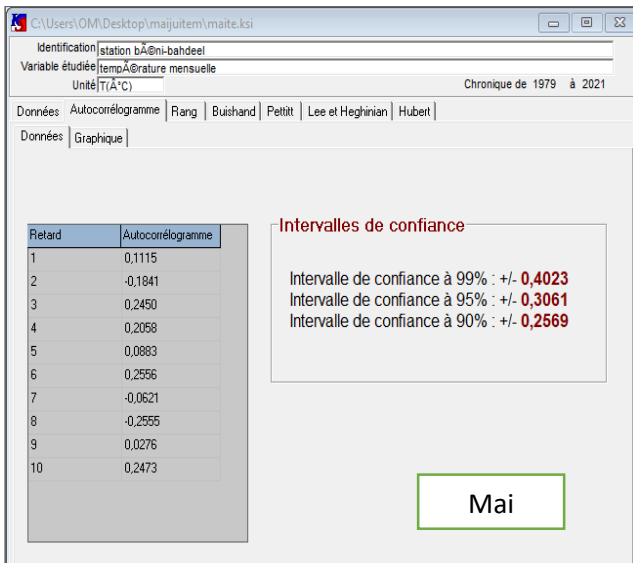
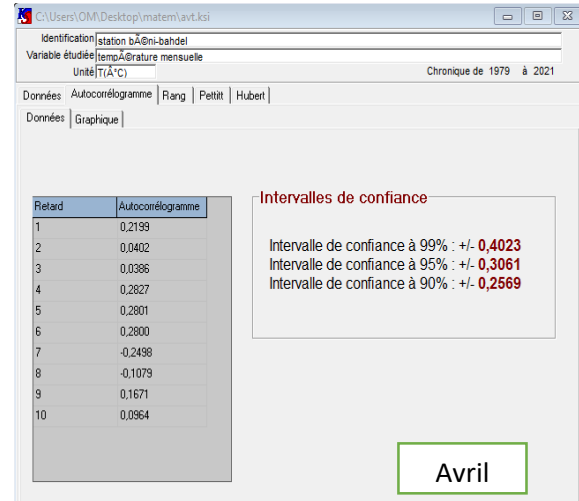
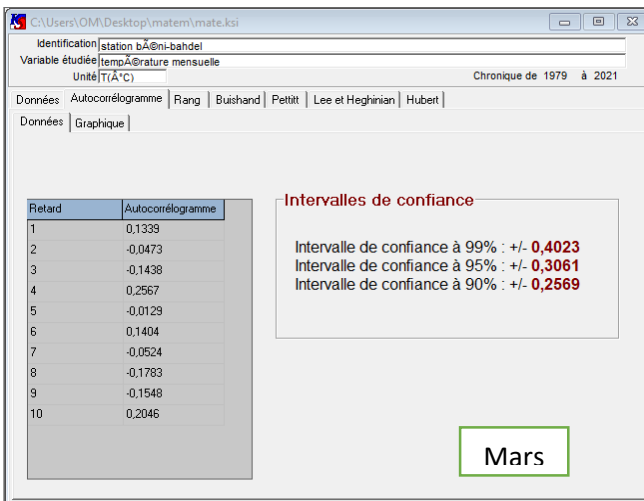
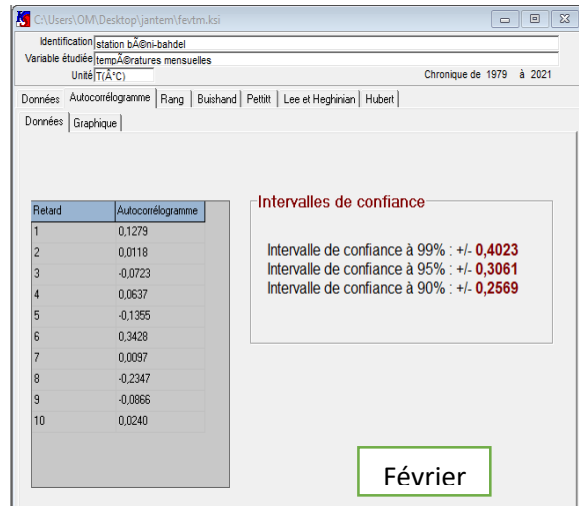
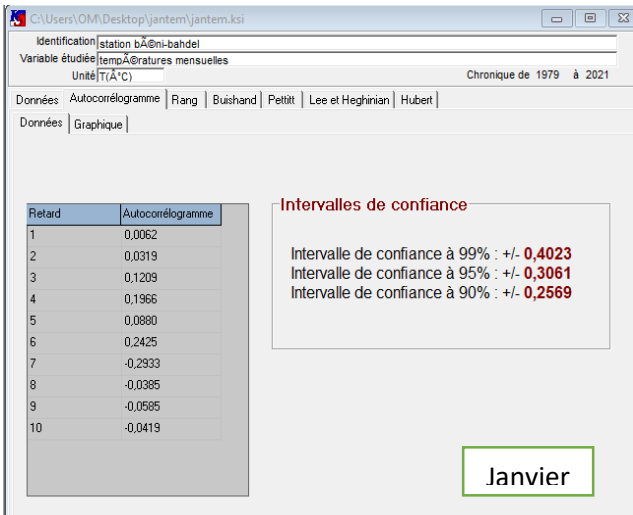
IV.5.5. Analyse des températures moyennes mensuelles

IV.5.5.1. Tests de vérification du caractère aléatoire

IV.5.5.1.A. Calcul de l'autocorrélogramme et de son intervalle de confiance

Les résultats du calcul des coefficients d'autocorrélation et des intervalles de confiance à 99%, 95% et 90% pour les séries de températures moyennes mensuelles de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021), à l'aide du logiciel Khronostat sont représentés par la figure suivante :





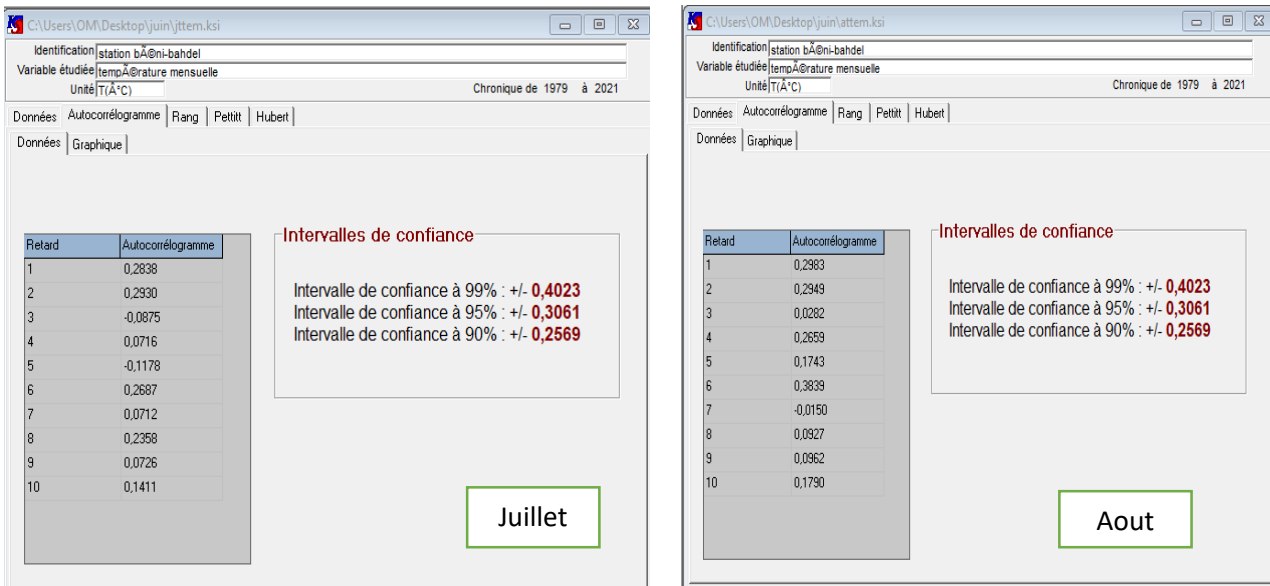
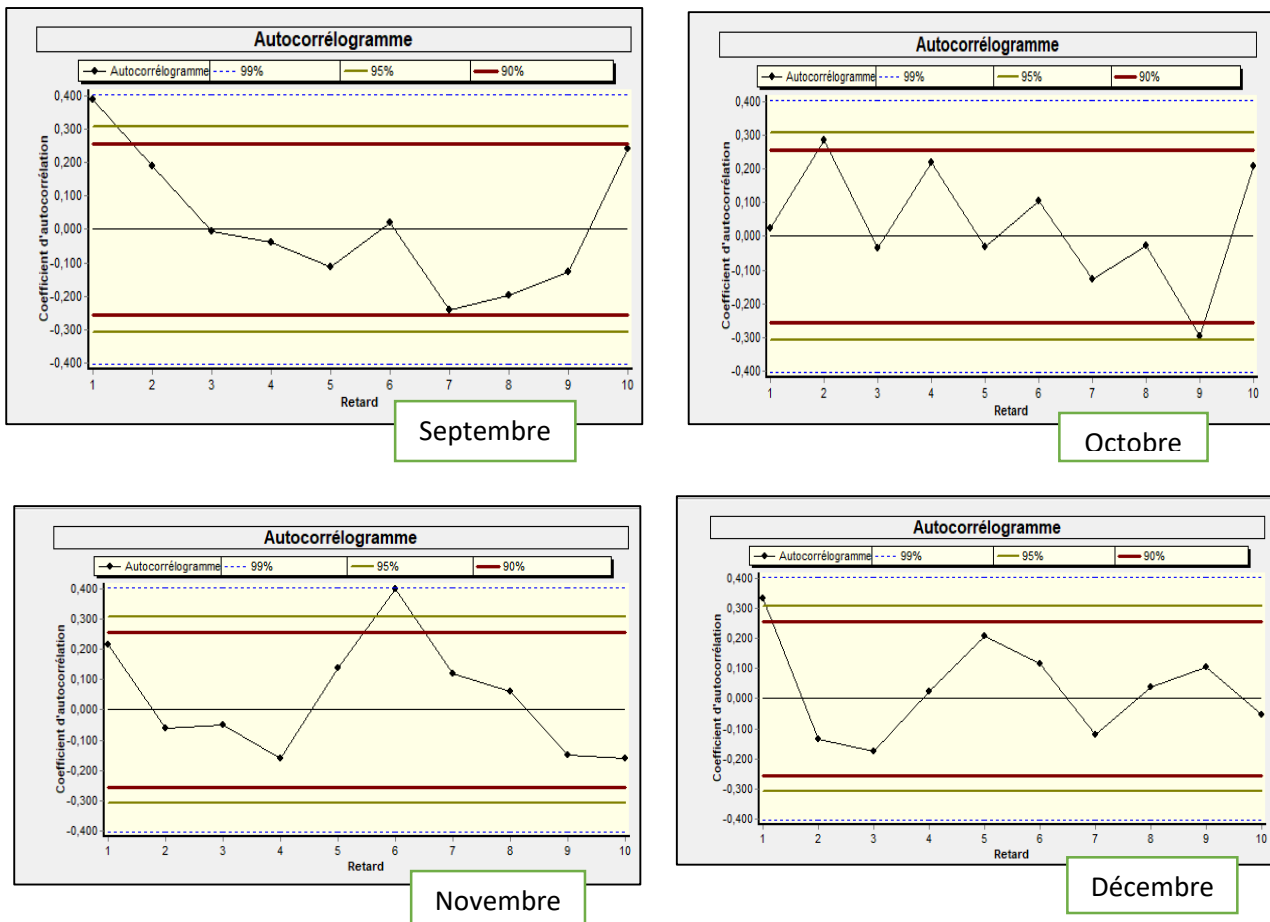


Figure IV.32 : Calcul de l'autocorrélogramme et de son intervalle de confiance pour les variations moyennes mensuelles des températures de la station de Béni- bahdel (79/80-20/21).

Les autocorrélogrammes des séries de températures moyennes mensuelles de la station de Béni bahdel (fig.IV.33), montrent que pour les mois de novembre et aout, la majorité des valeurs du coefficient d'autocorrélation ne se trouvent pas dans les intervalles de confiance à 95% . Pour les autres mois les sous-séries sont à caractère aléatoire.



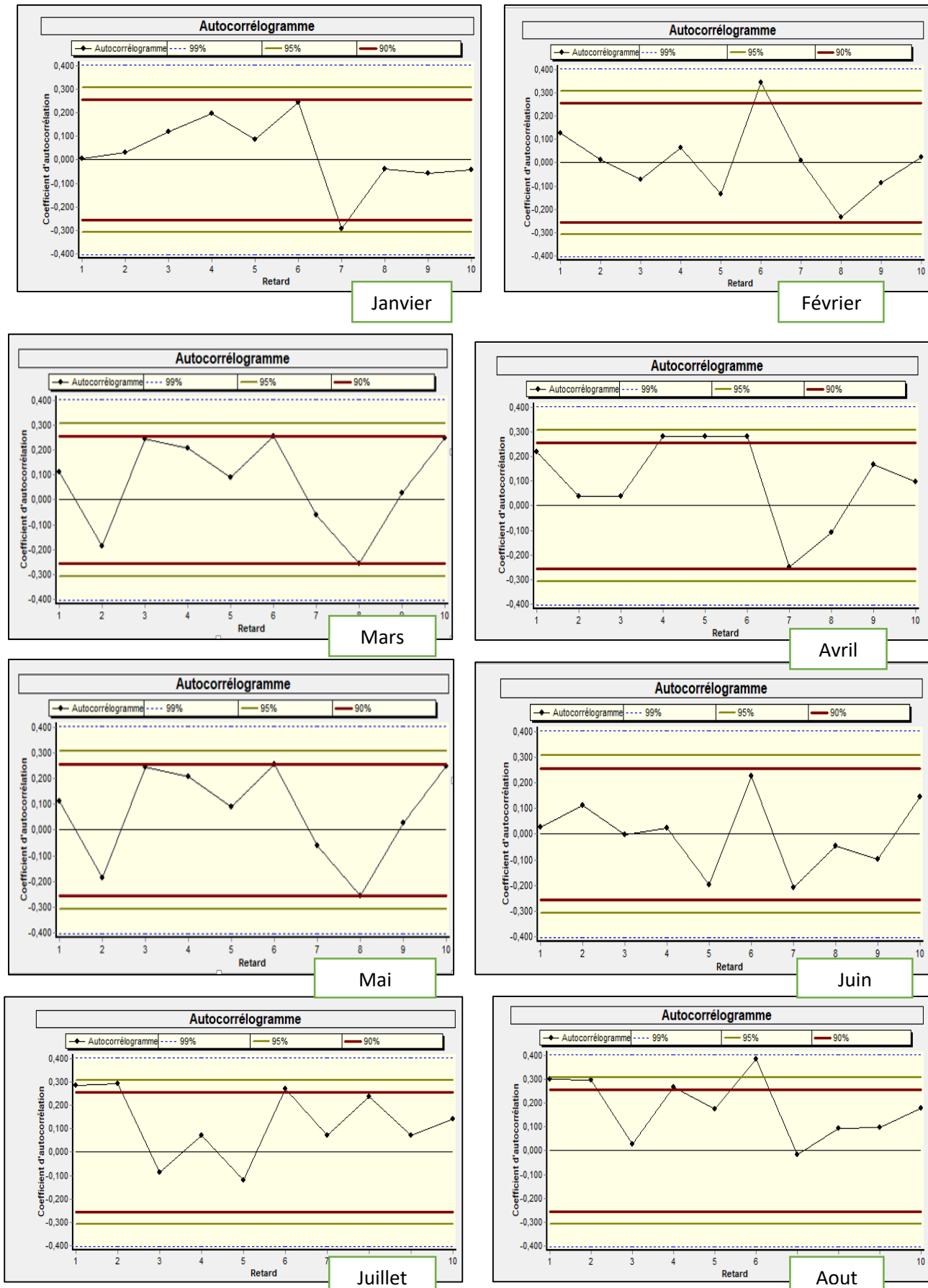
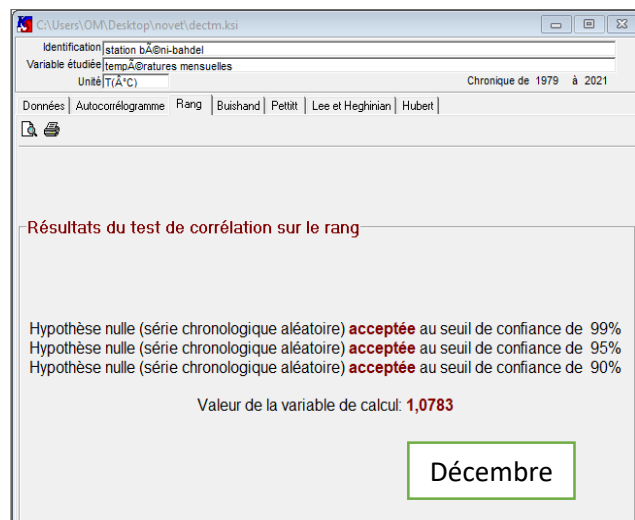
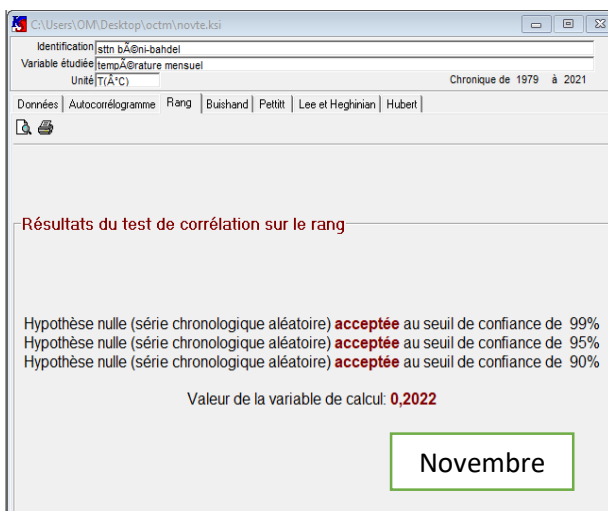
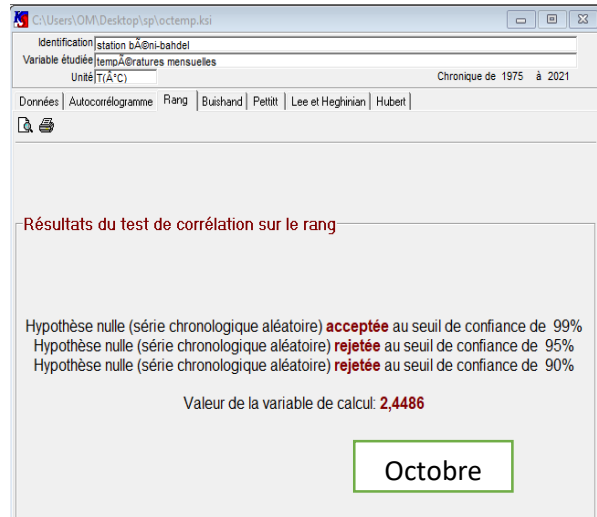
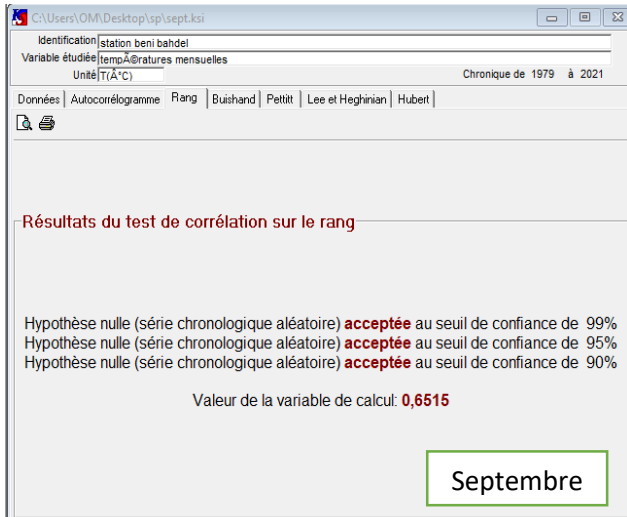


Figure IV.33: Autocorrélogrammes des variations moyennes mensuelles des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

IV.5.5.1.B. Test de corrélation sur le rang

Les résultats du test de corrélation sur le rang appliqué aux séries de températures moyennes mensuelles de la station de Béni-bahdel(1979/1980-2020/2021), montrent qu'il y a juste trois sous-séries qui sont à caractère aléatoire pour que l'hypothèse nulle soit acceptée au seuil de confiance de 99% pour tous les mois, et aux seuils de 95% et 99% est rejetée pour le mois d'octobre, mars , avril et mai.



Identification | station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée | tempA@ratures mensuelles
 Unité | T(°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettit | Lee et Heghinian | Hubert

Résultats du test de corrélation sur le rang

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Valeur de la variable de calcul: **1,4826**

Janvier

Identification | station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée | tempA@ratures mensuelles
 Unité | T(°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettit | Lee et Heghinian | Hubert

Résultats du test de corrélation sur le rang

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

Valeur de la variable de calcul: **1,6623**

Février

Identification | station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée | tempA@rature mensuelle
 Unité | T(°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettit | Lee et Heghinian | Hubert

Résultats du test de corrélation sur le rang

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

Valeur de la variable de calcul: **1,7746**

Mars

Identification | station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée | tempA@rature mensuelle
 Unité | T(°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Pettit | Hubert

Résultats du test de corrélation sur le rang

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **rejetée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

Valeur de la variable de calcul: **2,4710**

Avril

Identification | station bA@ni-bahdeet
 Variable étudiée | tempA@rature mensuelle
 Unité | T(°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettit | Lee et Heghinian | Hubert

Résultats du test de corrélation sur le rang

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **rejetée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

Valeur de la variable de calcul: **2,4486**

Mai

Identification | station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée | tempA@rature mensuelle
 Unité | T(°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettit | Lee et Heghinian | Hubert

Résultats du test de corrélation sur le rang

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Valeur de la variable de calcul: **0,8312**

Juin

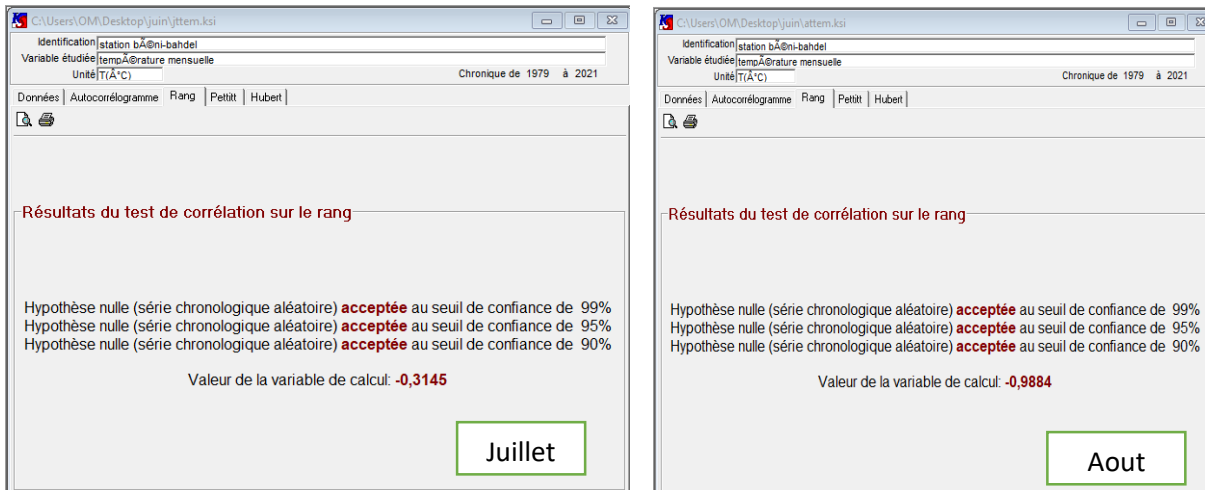


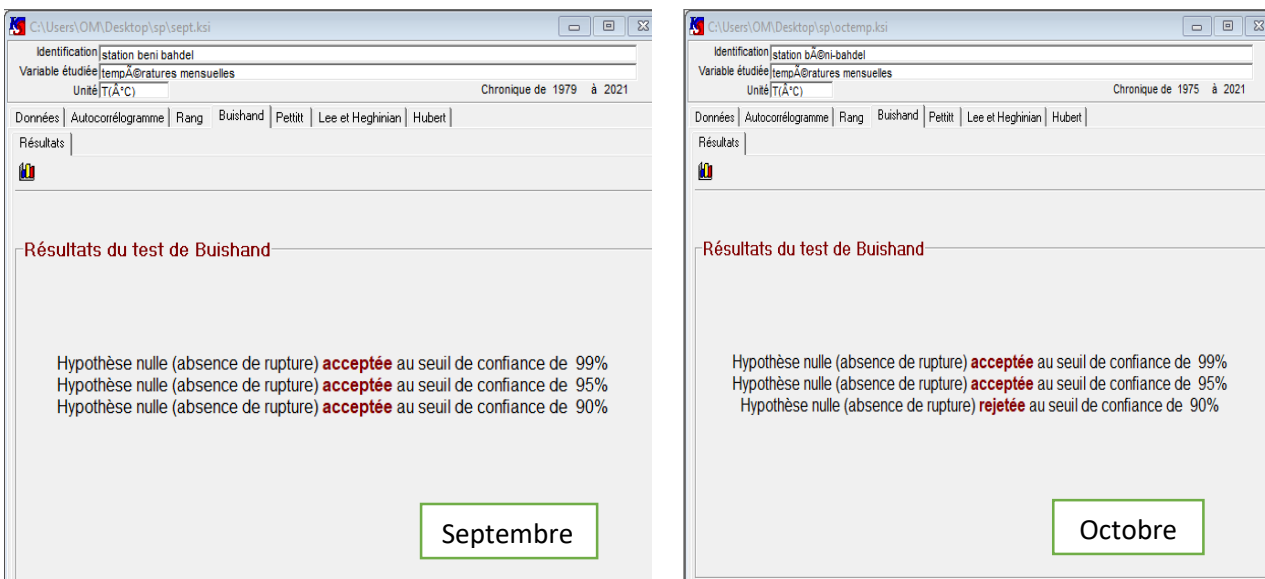
Figure IV.34 : Résultats du test de corrélation sur le rang pour les températures moyennes mensuelles (station de Béni-bahdel 79/80-20/21).

IV.5.5.2. Tests de détection de rupture

IV.5.5.2.A. Test de Buishand et ellipse de Bois

Les résultats du test de Buishand (fig.IV.35), montrent une acceptation de l’hypothèse nulle au seuil de confiance à 99% pour tous les mois. Et elle rejetée au seuil de confiance 90% pour le mois d’octobre et mai .pour le mois juillet et aout la normalité n’est pas vérifier donc on ne peut pas faire ce test.

Les ellipses de Bois représentées dans la figure IV.41, nous permettent de détecter des ruptures dans les séries des températures moyennes mensuelles, que nous mentionnons dans le tableau IV.



Identification station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée tempA@rature mensuel
 Unité T(A°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert

Résultats

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Novembre

Identification station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée tempA@ratures mensuelles
 Unité T(A°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert

Résultats

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Décembre

Identification station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée tempA@ratures mensuelles
 Unité T(A°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert

Résultats

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Janvier

Identification station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée tempA@ratures mensuelles
 Unité T(A°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert

Résultats

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Février

Identification station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée tempA@rature mensuelle
 Unité T(A°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert

Résultats

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Mars

Identification station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée tempA@rature mensuelle
 Unité T(A°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert

Résultats

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

Mai

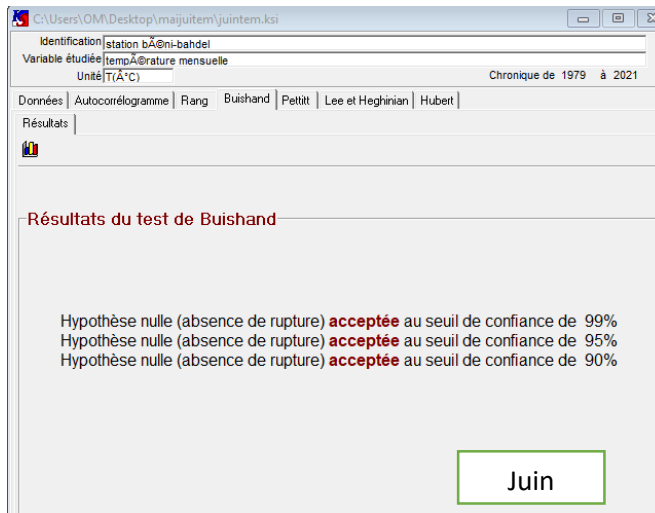
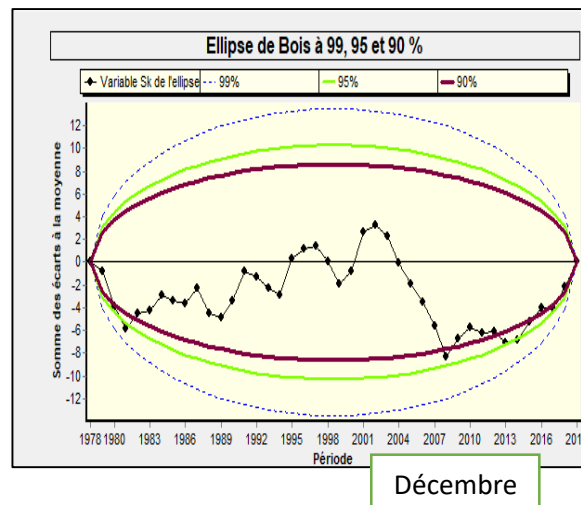
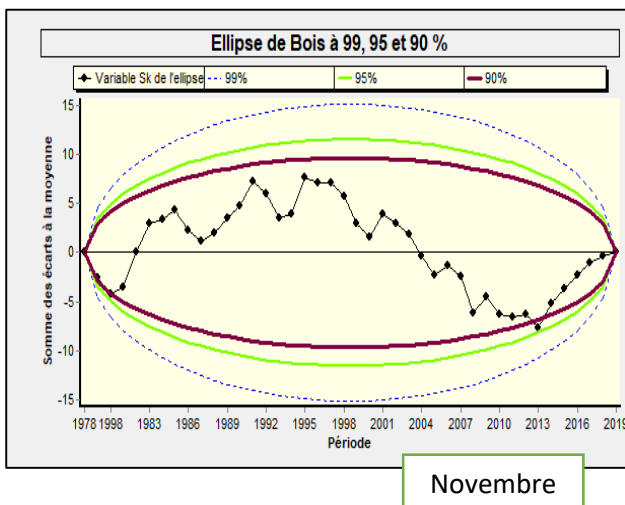
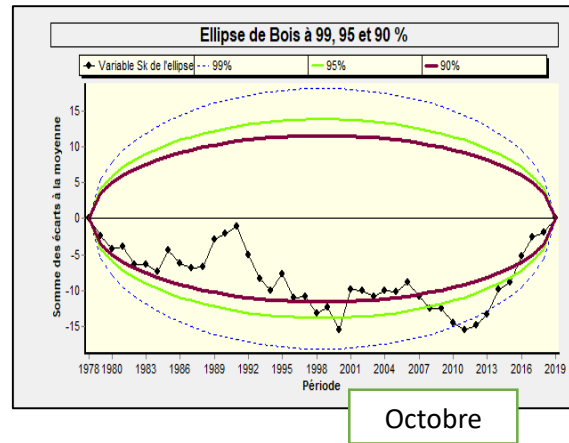
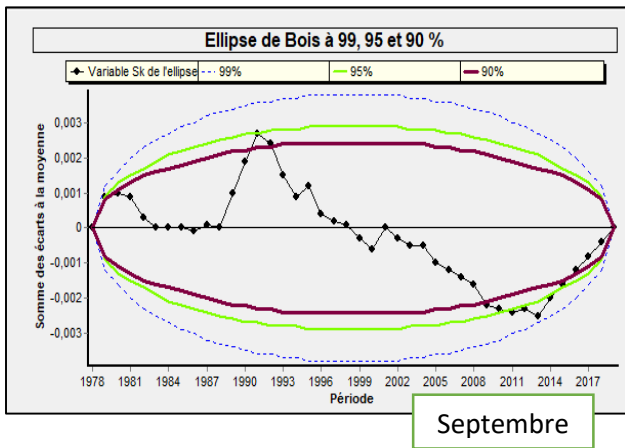


Figure IV.35 : Résultats du test de Buishand sur les températures moyennes mensuelles (Station Béni-bahdel 79/80-20/21).



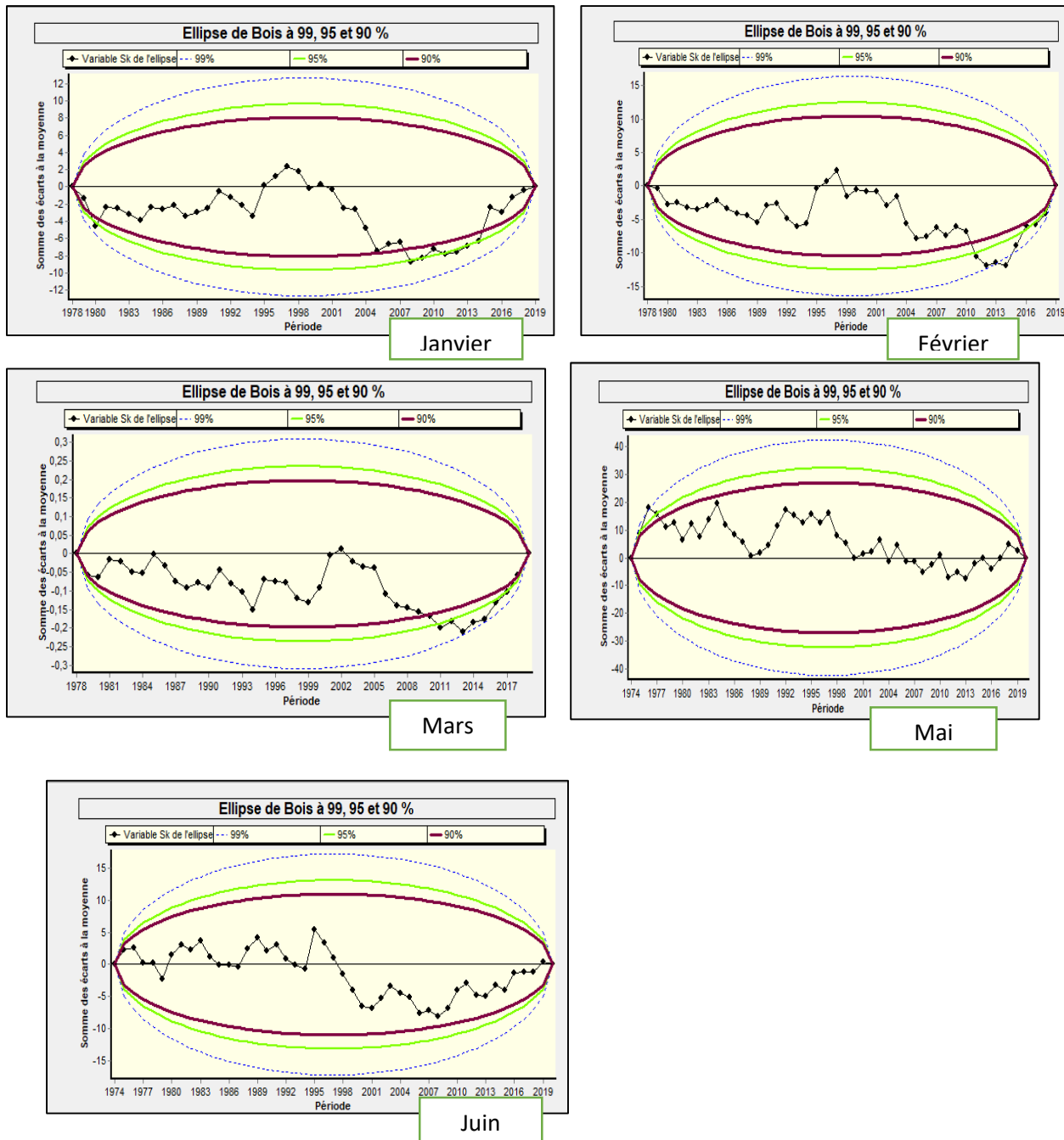


Figure IV.36. Ellipses de Bois pour les variations moyennes mensuelles des températures à la Station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

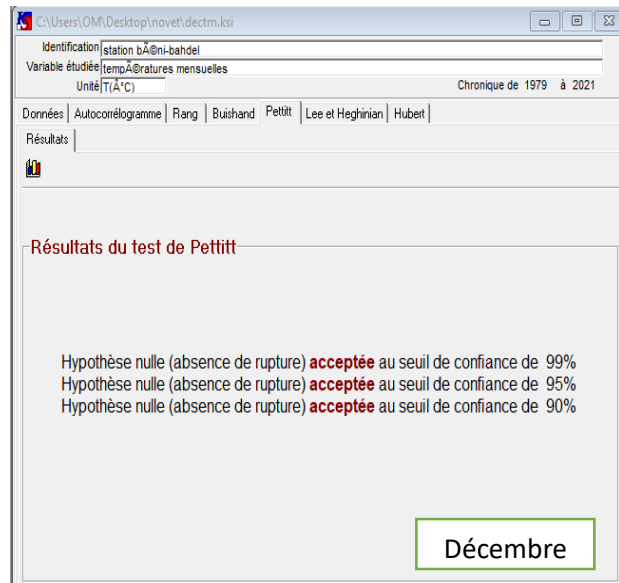
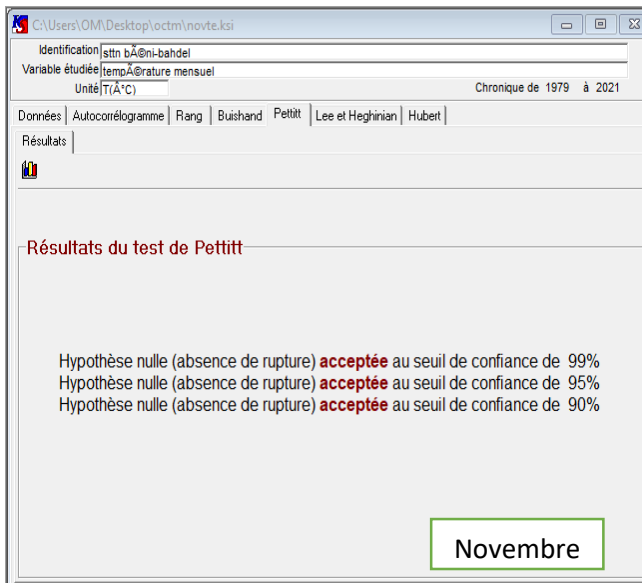
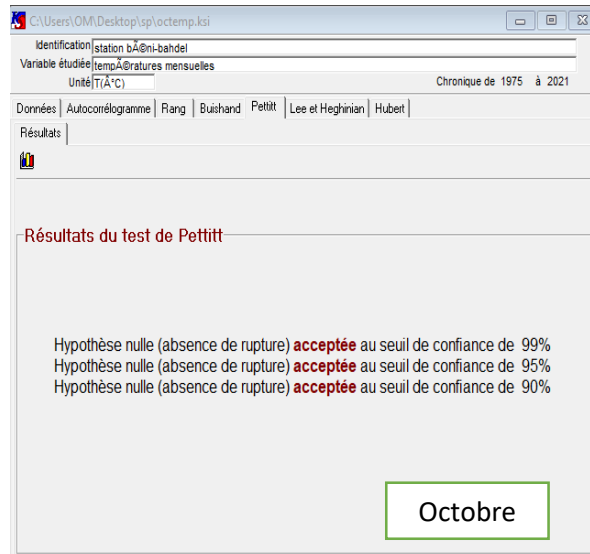
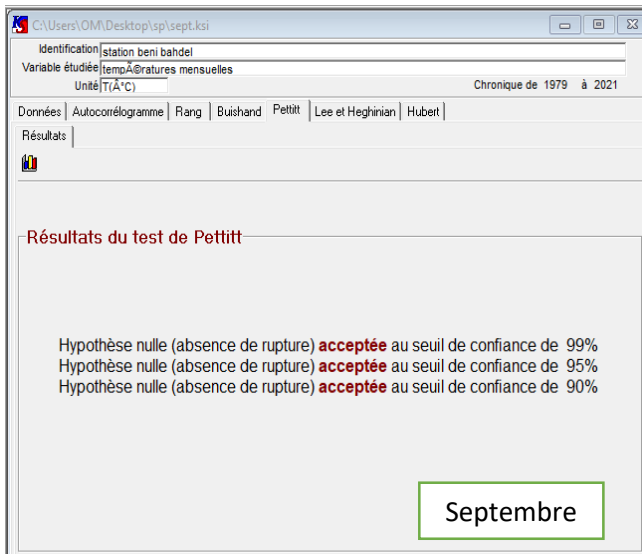
Tableau IV.3 : Ruptures détectées par les ellipses de Bois sur les variations moyennes mensuelles des températures de la station de Béni-bahdel(1979/1980-2020/2021).

Mois	Octobre	Février	Mars	Mai
Date de rupture	2011/2012	2014/2015	2013/2014	1975/1976

IV.5.5.2.B. Méthode non paramétrique de Pettit

Le test de Pettitt appliqué sur les séries des températures mensuelles de la station de Béni bahdel (1979/1980-2020/2021), nous remarquons que l’hypothèse nulle est acceptée au seuil

de confiance de 99% pour tous les mois et elle est rejetée au seuil de confiance 95%,90% pour le mois d'avril et aout, avec probabilité au déplacement de $3.66 \cdot 10^{-2}$ en 2008 et de $1.12 \cdot 10^{-2}$ en 1991.



Identification | station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée | tempA@ratures mensuelles
 Unité | T(°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Janvier

Identification | station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée | tempA@ratures mensuelles
 Unité | T(°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Février

Identification | station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée | tempA@rature mensuelle
 Unité | T(°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Mars

Identification | station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée | tempA@rature mensuelle
 Unité | T(°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Pettitt | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

Probabilité de dépassement de la valeur critique du test: **3,66E-02** en 2008

Avril

Identification | station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée | tempA@rature mensuelle
 Unité | T(°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Mai

Identification | station bA@ni-bahdel
 Variable étudiée | tempA@rature mensuelle
 Unité | T(°C) Chronique de 1979 à 2021

Données | Autocorrélogramme | Rang | Buishand | Pettitt | Lee et Heghinian | Hubert |

Résultats

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 90%

Juin

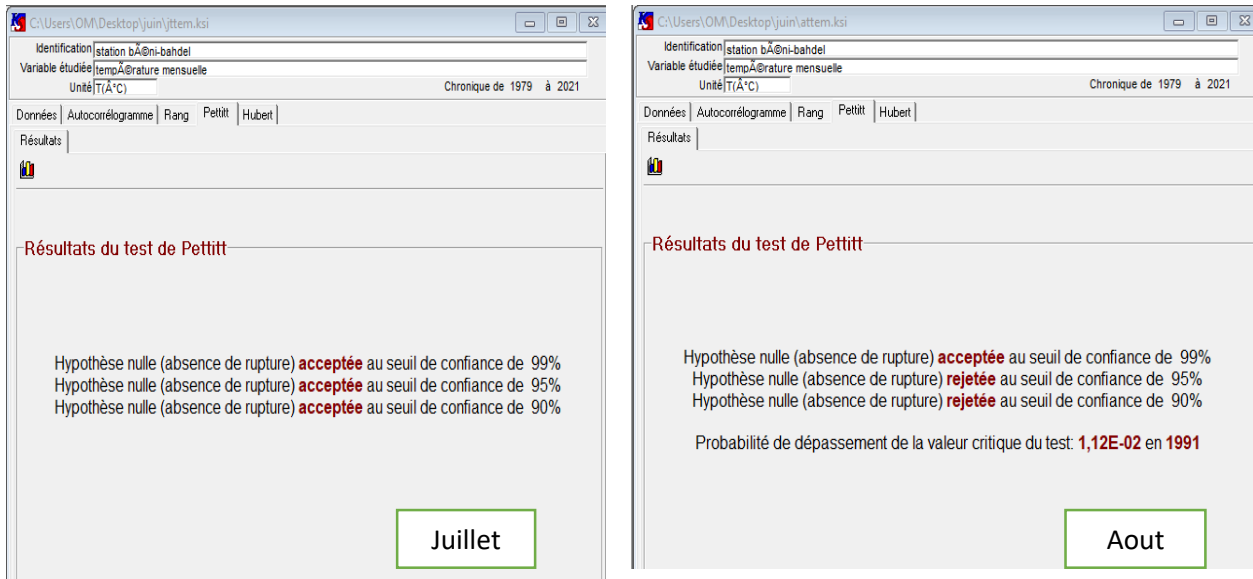


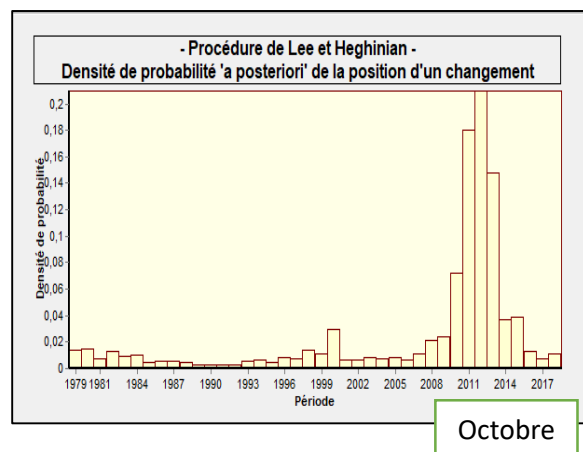
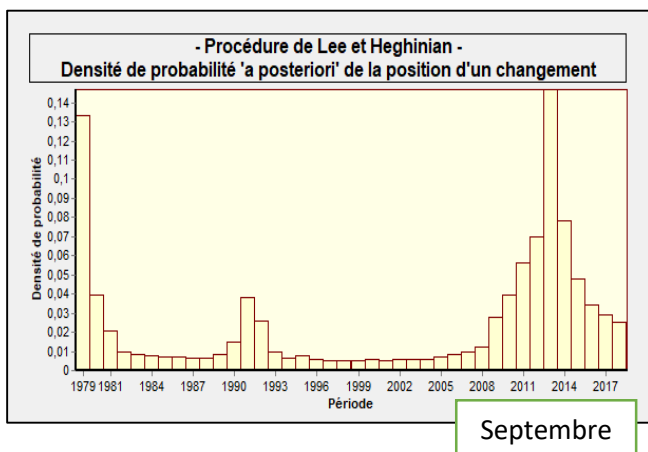
Figure IV.37: Résultats du test de Pettitt pour les variations moyennes mensuelles des températures de la station Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

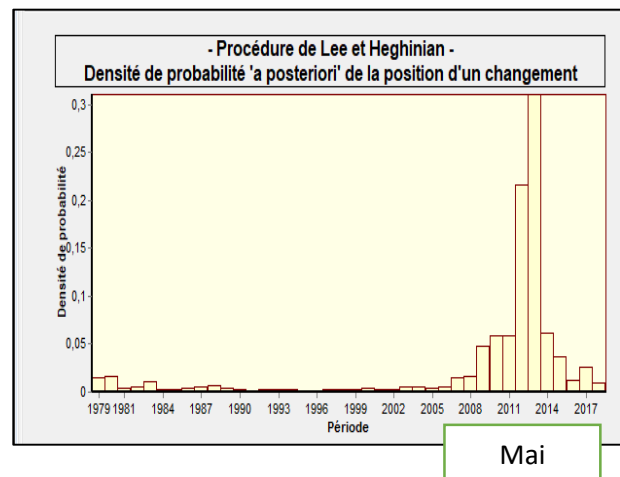
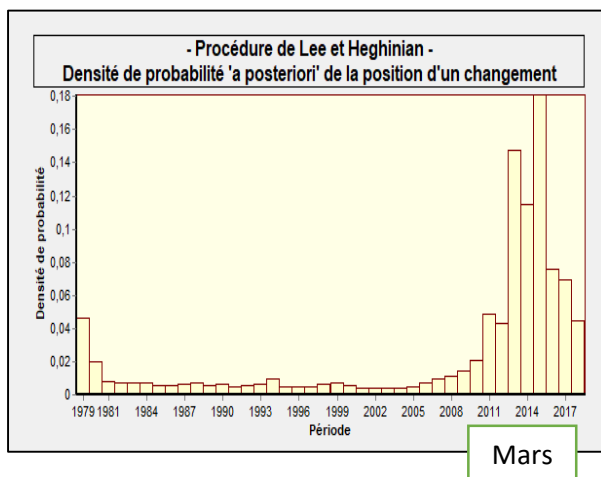
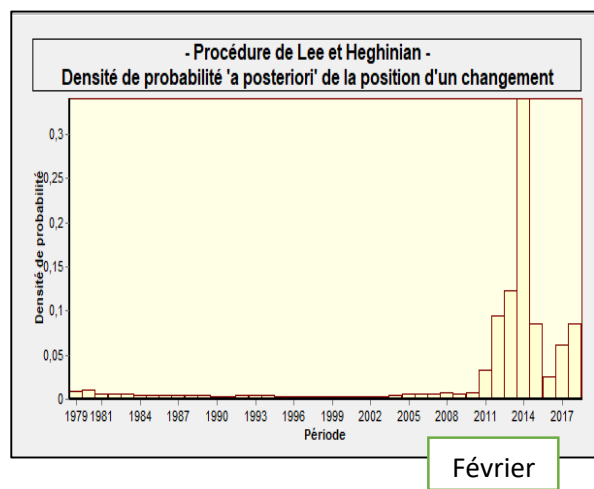
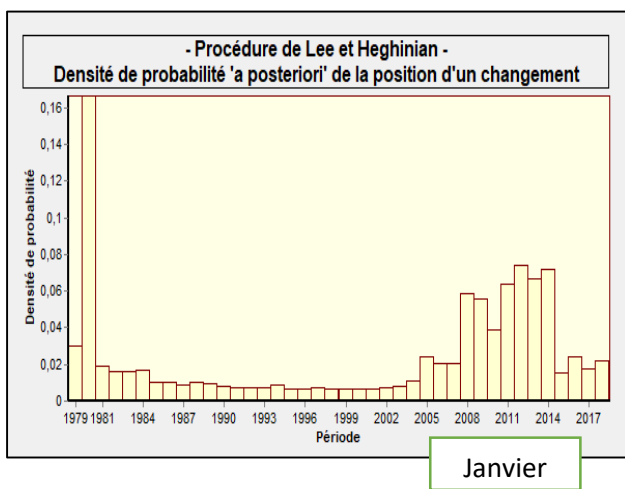
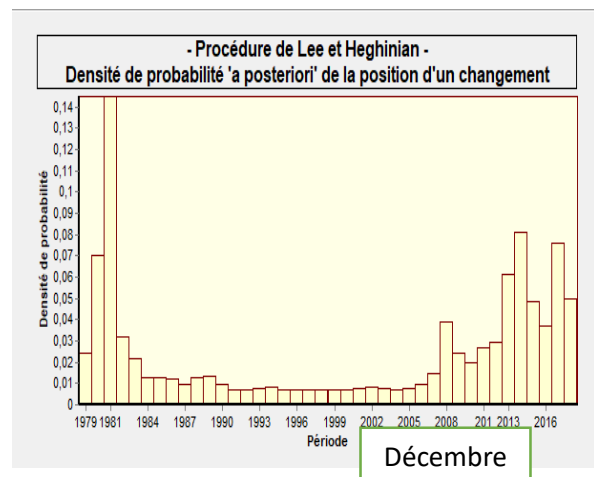
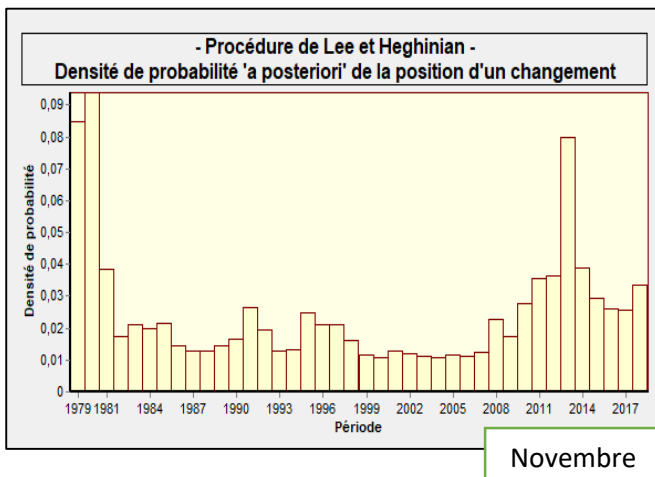
IV.5.5.2.C. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian

Les résultats de l'application de la méthode bayésienne de Lee et Heghinian sur les séries de températures de Béni-bahdel (fig.IV.38) le mois d'Avril, juillet et aout sont pas à la normalité donc on ne peut pas appliquer cette méthode, les résultats des ruptures des autre mois sont résumé dans le tableau IV.4.

Tableau IV.4 : Ruptures détectées par la méthode bayésienne de Lee et Heghinian pour les températures moyennes mensuelles des de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Mai	Juin
Date de rupture	2013/2014	2012/2013	1980/1981	1981/1982	1980/1981	2014/2015	2015/2016	2013/2014	2013/2014





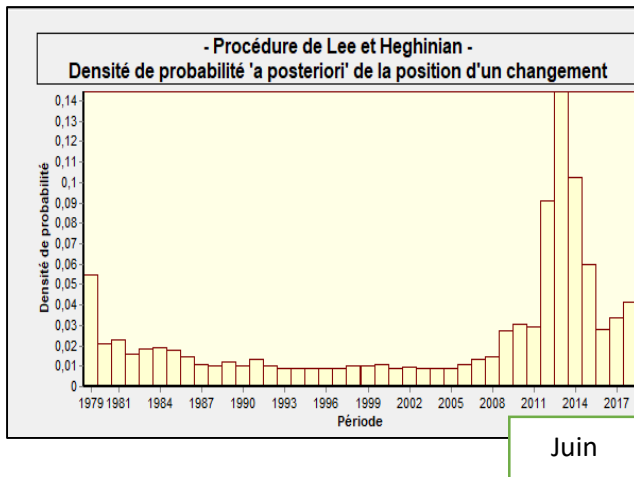
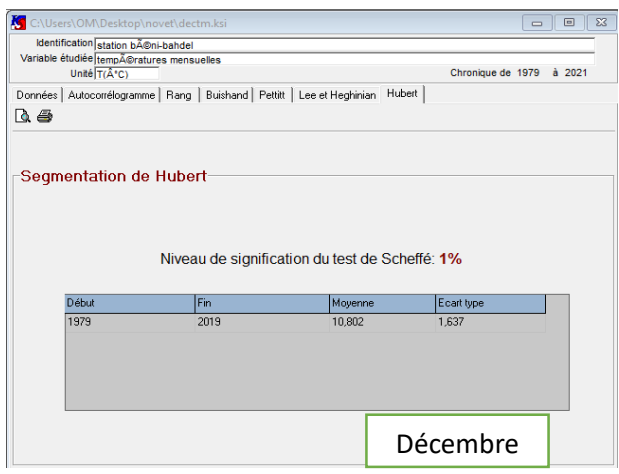
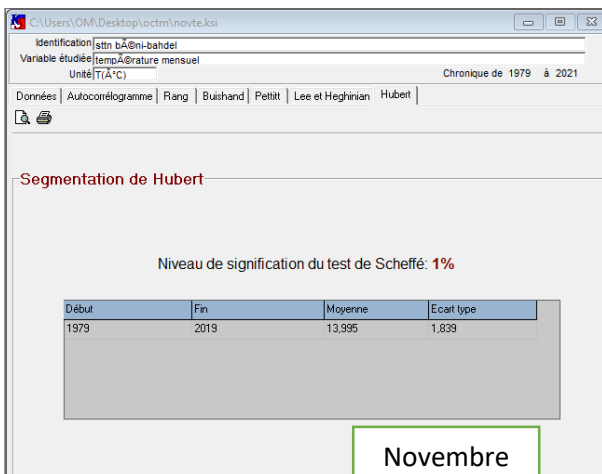
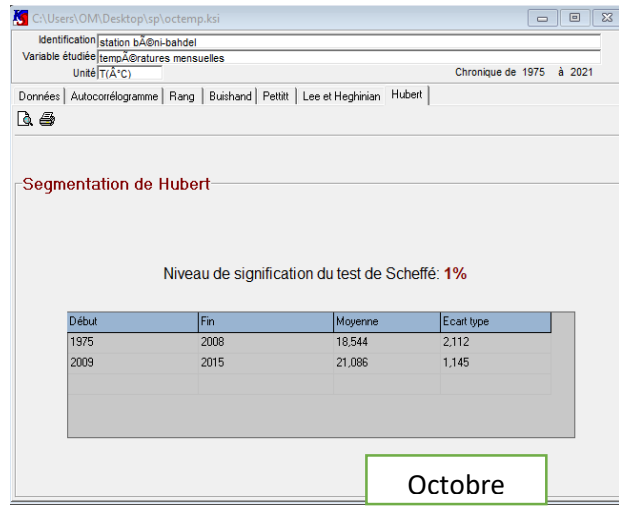
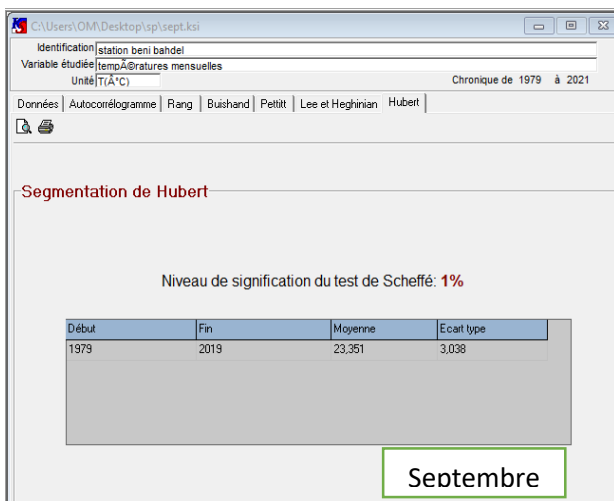
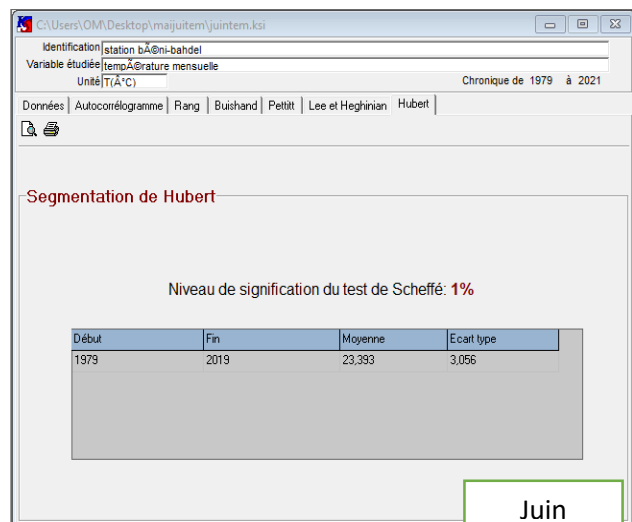
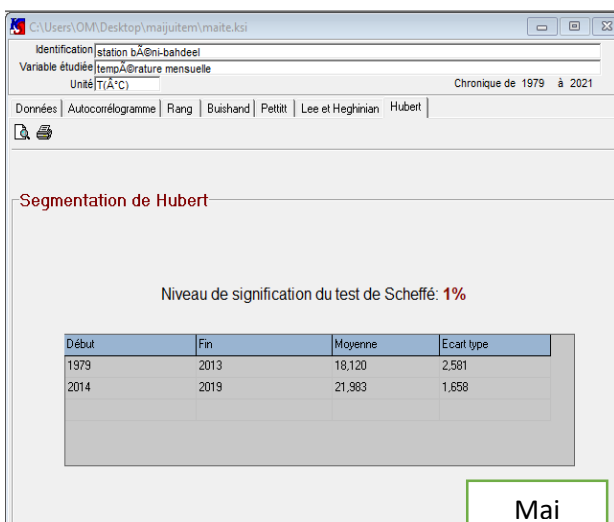
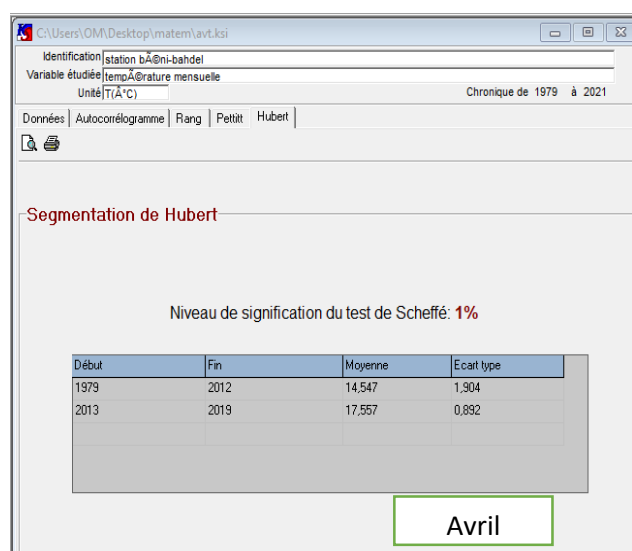
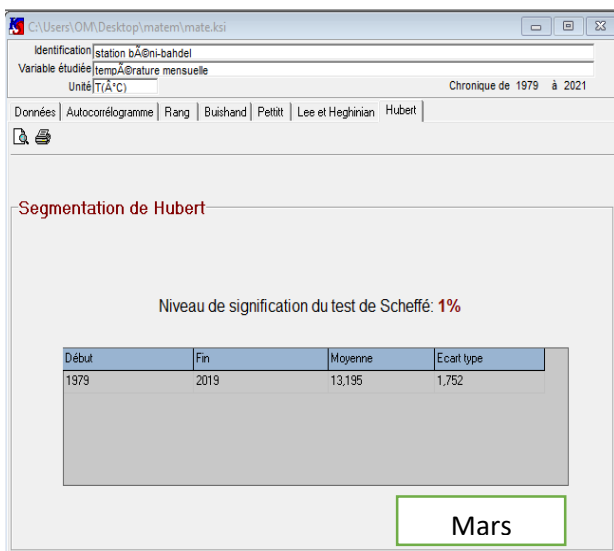
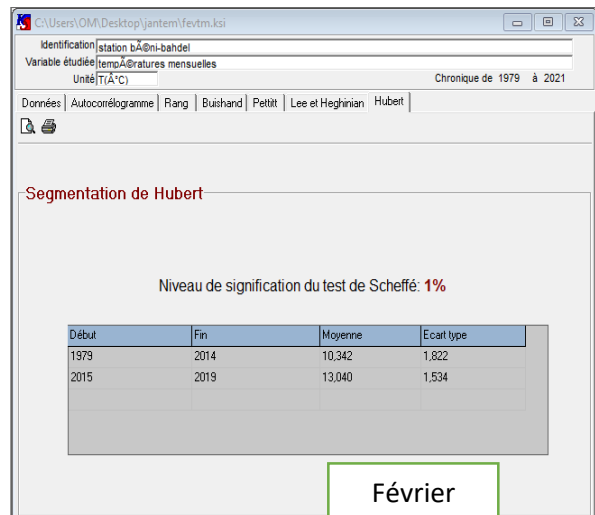
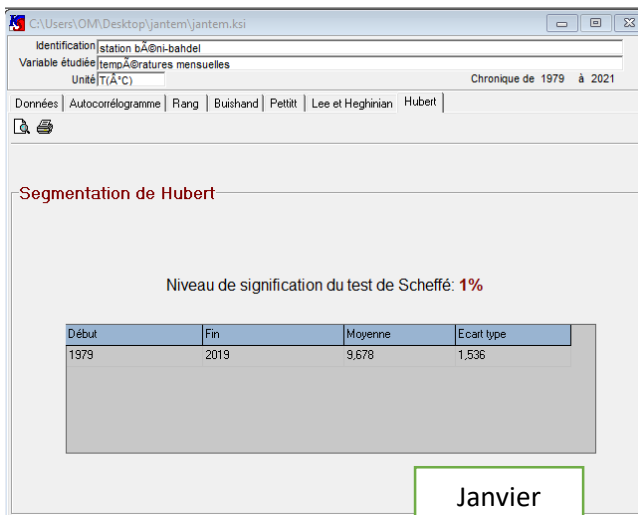


Figure IV.38 : Densité de probabilité à posteriori de la position d'un changement de températures moyennes mensuelles de la station de Béni-bahdel(1979/1980-2020/2021).

IV.5.5.2.D. Segmentation d'Hubert

Nous présentons la segmentation d'Hubert sur les séries de températures moyennes mensuelles de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021)





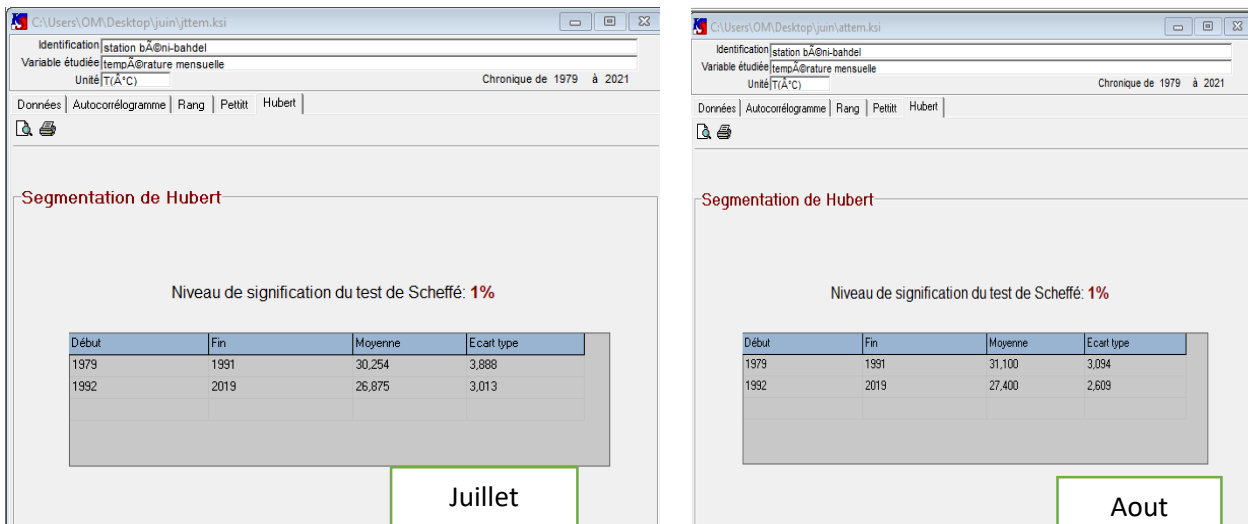


Figure IV.39 : Segmentation d’Hubert pour les précipitations mensuelles de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

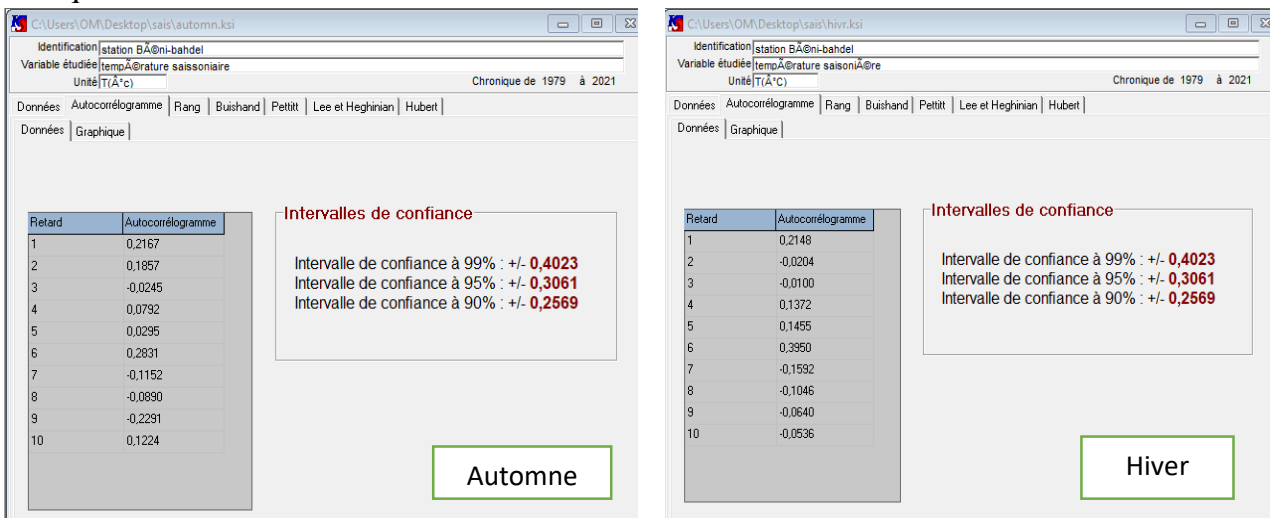
IV.5.6. Analyse des températures moyennes saisonnières

IV.5.6.1. Tests de vérification du caractère aléatoire

IV.5.6.1.A. Calcul de l’autocorrélogramme et de son intervalle de confiance

Les résultats de calcul des coefficients d’autocorrélation et des intervalles de confiance à 99%, 95% et 90% pour les séries de températures moyennes saisonnières enregistrées au niveau de la station de Béni-bahdel sont représenté dans la figure IV.40 .

Les autocorrélogrammes représentés dans la figure IV.41 des séries de températures moyennes saisonnières indiquent que l’hypothèse nulle est acceptée aux trois seuils de confiance pour les quatre saisons.



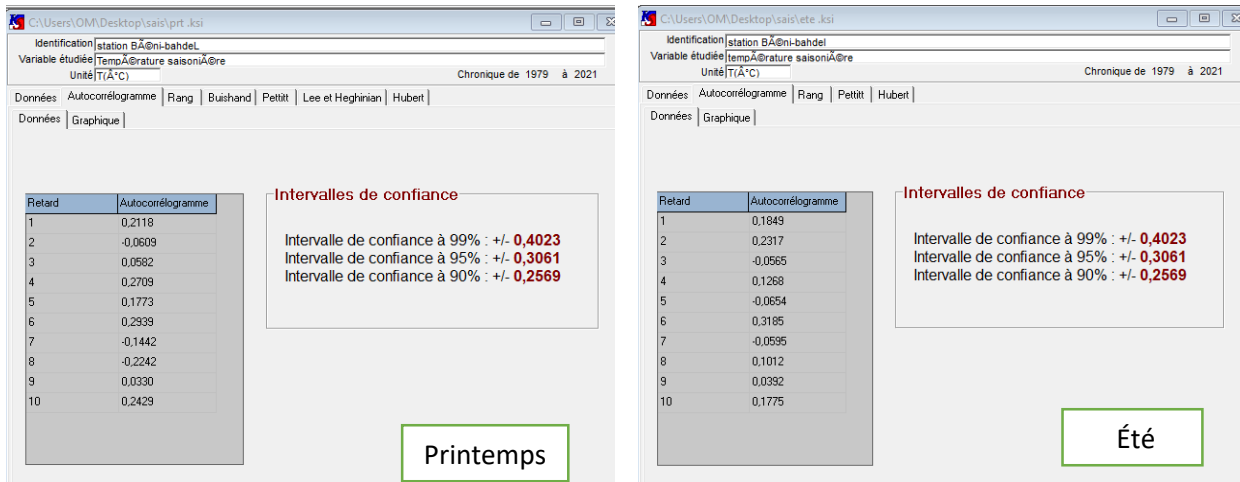


Figure IV.40 : Calcul de l'autocorrélogramme et des intervalles de confiance pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (79/80-20/21).

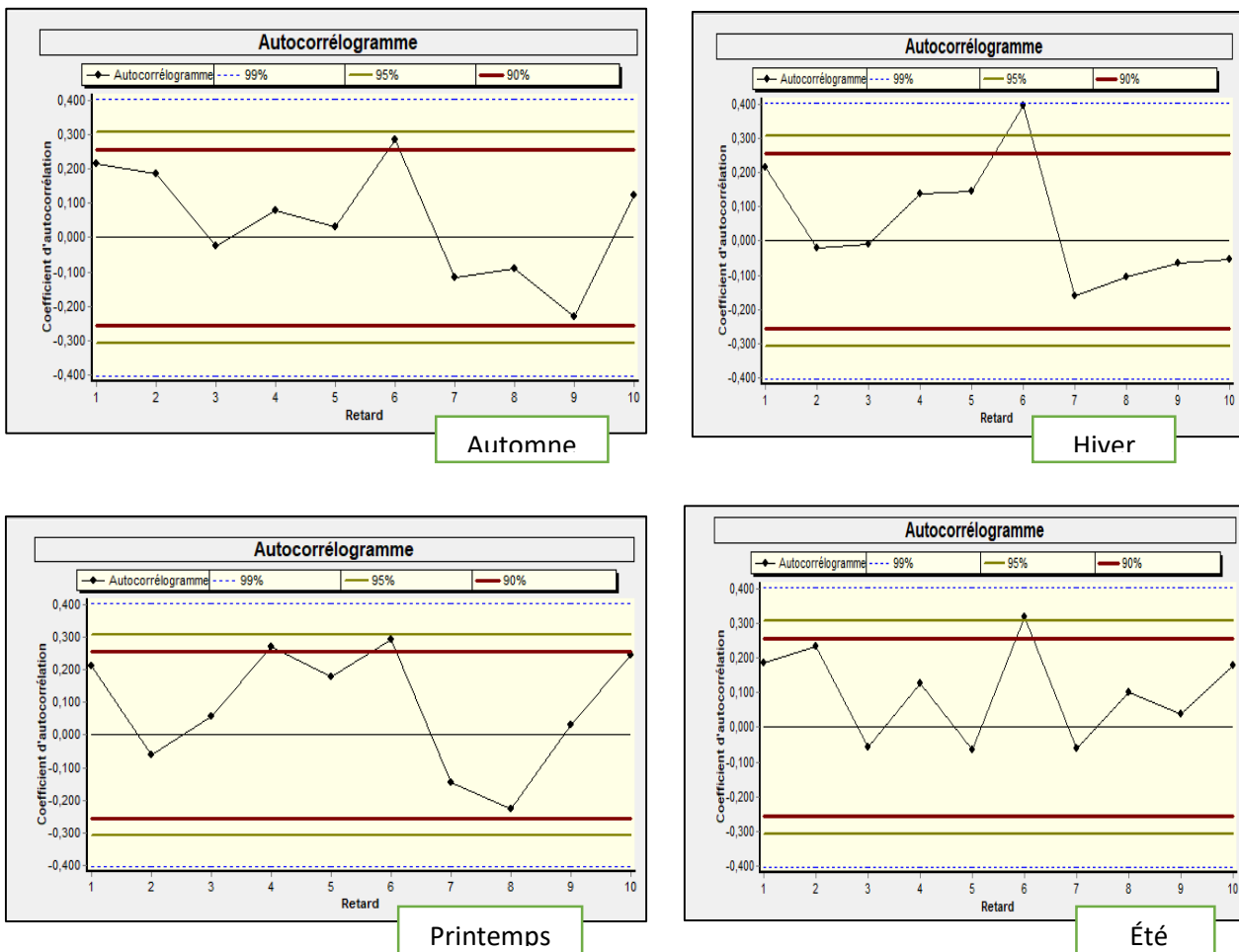


Figure IV.41: Autocorrélogrammes pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

IV.5.6.1.B. Test de corrélation sur le rang

Les résultats du test de corrélation sur le rang pour les séries de températures moyennes saisonnières(fig.IV.42) montrent que l’hypothèse nulle est rejetée aux trois seuils de confiance pour printemps et elle est acceptée pour les trois seuils de confiance pour les autres saisons.

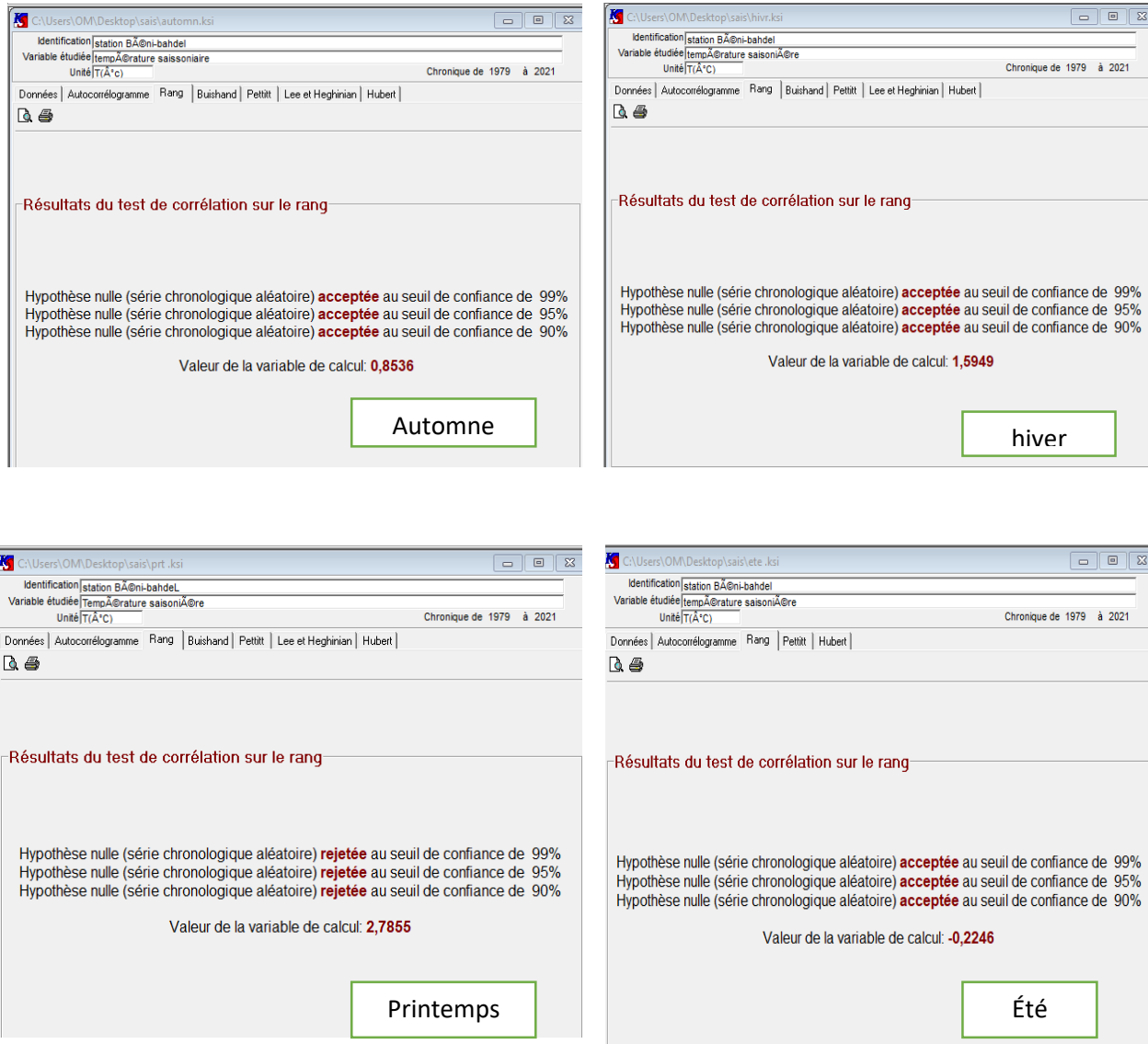


Figure IV.42 : Résultats du test de corrélation sur le rang pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

IV.5.6.2. Tests de détection de rupture

IV.5.6.2.A. Test de Buishand et ellipse de Bois

Les résultats du test de Buishand appliqué sur les séries de températures moyennes saisonnières. (fig.IV.43), indiquent que l’hypothèse nulle est acceptée pour la saison d’automne et Hiver au trois seuil de confiance mais elle est rejetée pour la saison de printemps aux seuils de confiance 95% et 90%. La saison d’été n’est pas à la normalité donc la méthode de buishand n’est pas exécutée

D'après la figure IV.44 nous remarquons une rupture détectée pour la saison de printemps (2008/2009-2013/2014).

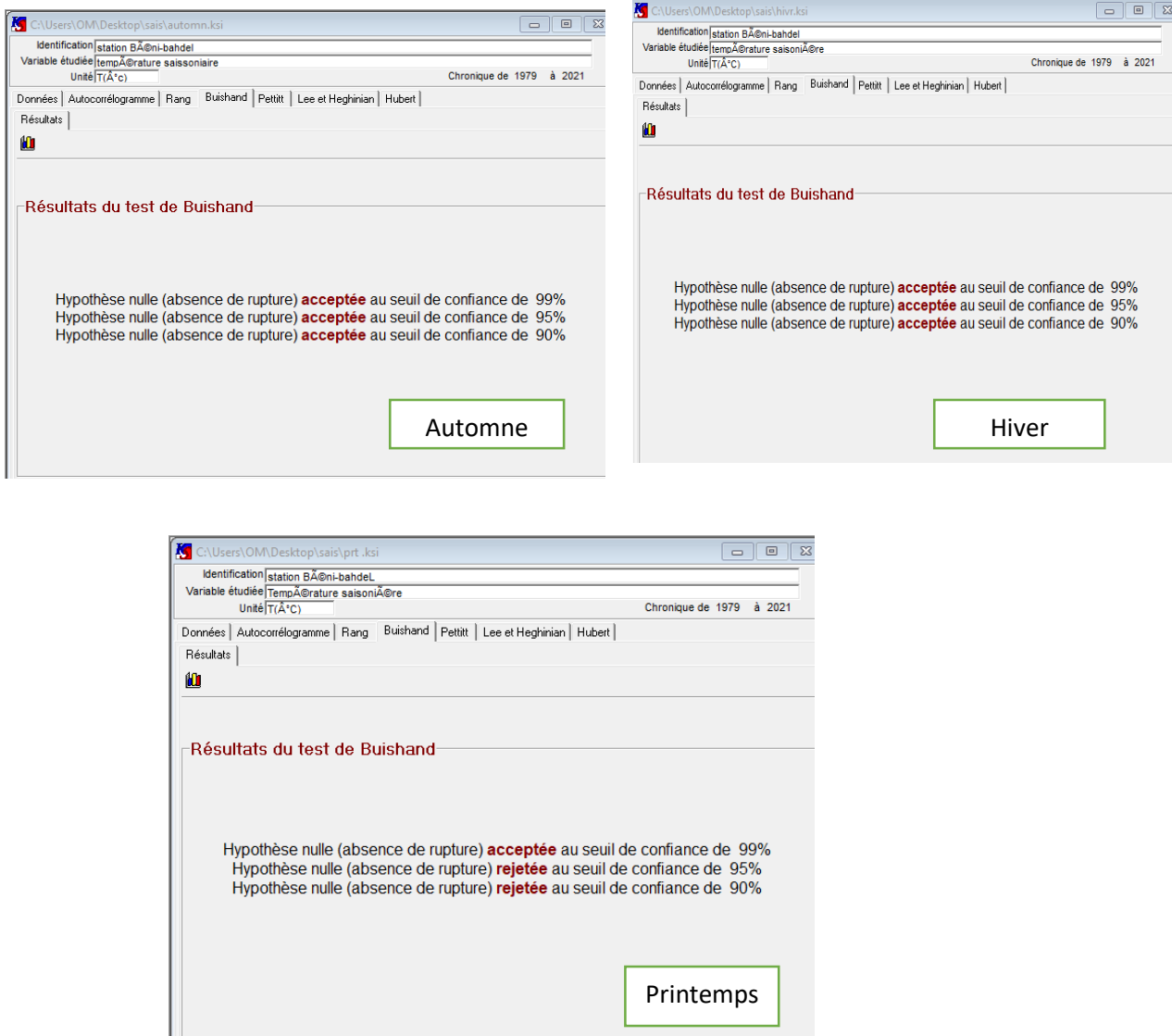


Figure IV.43 : Résultats du test de Buishand pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

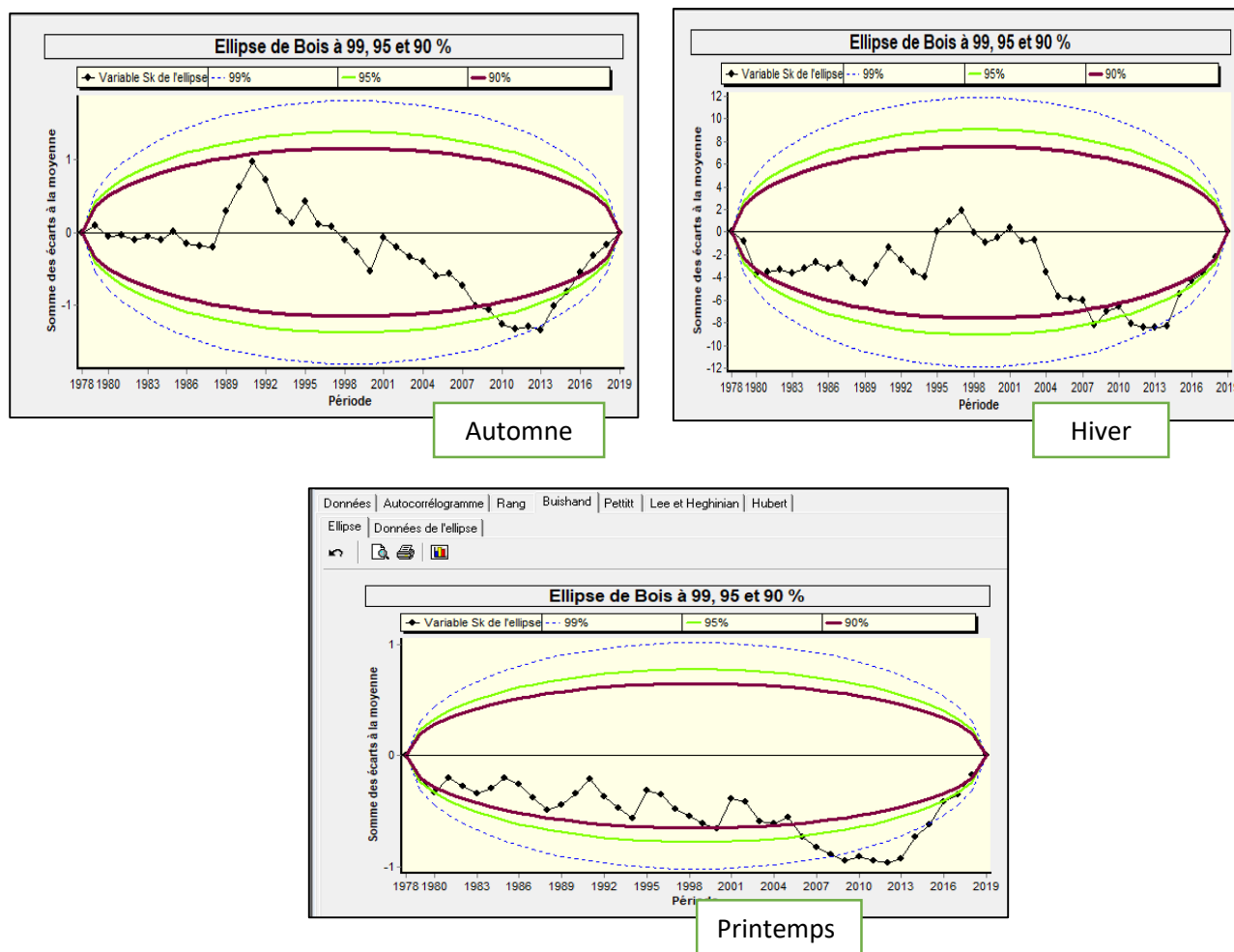


Figure IV.44 : Ellipses de Bois pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

IV.5.6.2.B. Méthode non paramétrique de Pettitt

Le test de Pettitt appliqué sur les séries des températures saisonnières fait apparaître une absence de rupture en automne, hiver et été, l’hypothèse nulle étant acceptée aux trois seuils de confiance (fig.IV.45).pour ces saison et elle est rejetée au seuil de confiance de 95% et 90% pour la saison du printemps avec présence d’une rupture dans cette saison en 2009 (Probabilité de dépassement $7.12 \cdot 10^{-2}$).

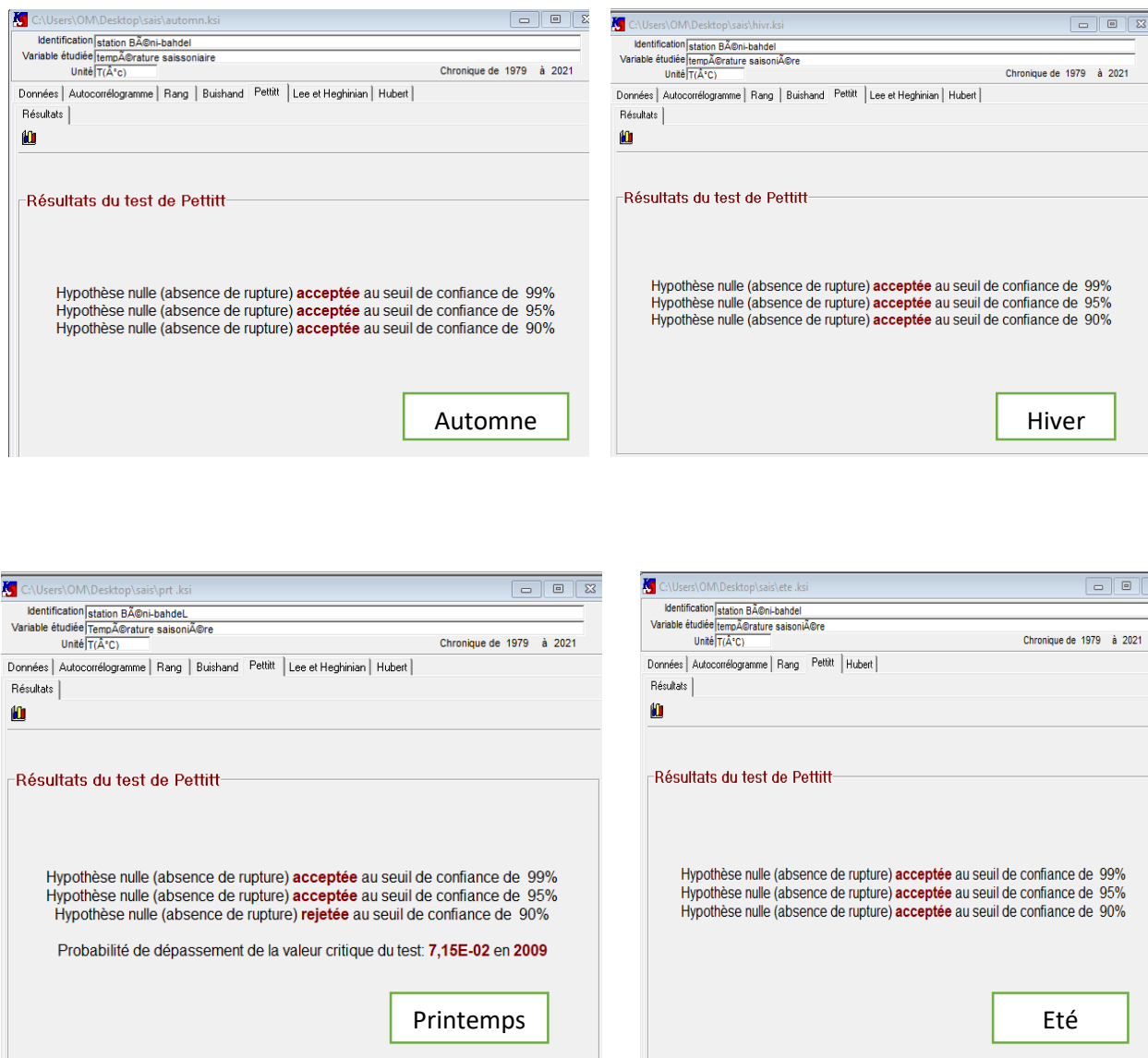


Figure IV.45 : Test de Pettitt pour les variations moyennes saisonnières des températures de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

IV.5.6.2.C. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian

Les résultats de la méthode bayésienne représentés dans la figure IV.46 pour les séries de températures moyennes saisonnières de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021) donnent les ruptures citées dans le tableau IV.5 suivant :

Tableau IV.5 Ruptures détectées par la méthode bayésienne de Lee et Heghinian pour les températures moyennes saisonnières de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

Saison	Automne	Hiver	été
Date de rupture	2014/2015	2014/2015	2013/2014

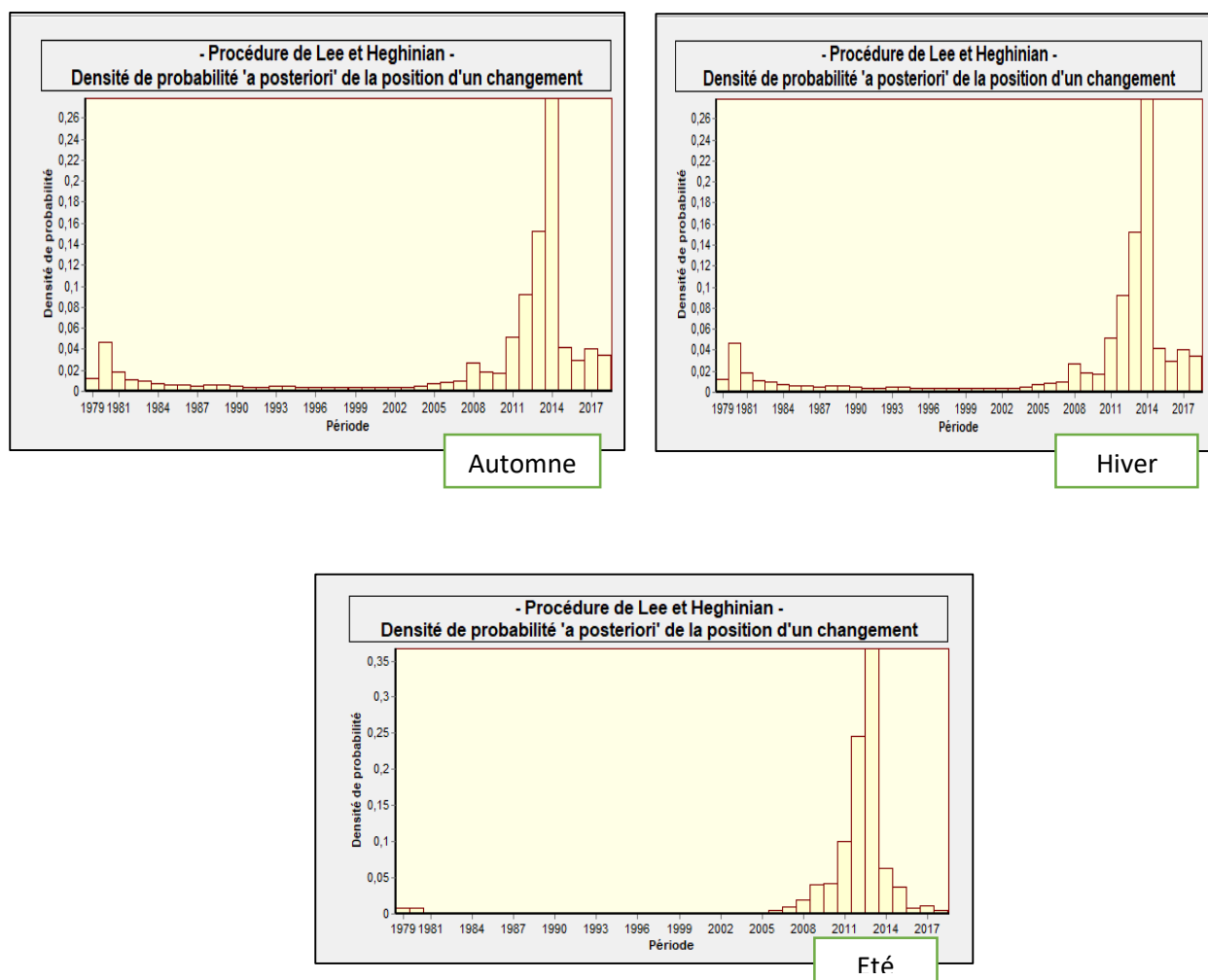


Figure IV.46 : Densité de probabilité a posteriori de la position d’un changement de températures moyennes saisonnières de la station de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

IV.5.6.2.D. Segmentation de Hubert

Nous regroupons les résultats proposés par la segmentation d’Hubert dans le tableau IV.6, pour les températures moyennes saisonnières de Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

Tableau IV.6 : Ruptures détectées et ses segments d’Hubert pour les variations moyennes saisonnières des températures Béni-bahdel (1979/1980-2020/2021).

Saison	Segmentation d’hubert	Date de rupture	saison	Segmentation d’hubert	Date de rupture
Automne	1979/1980-1988/1989	1988/1989	Printemps	1979/1980-2013/2014	2013/2014
	1989/1990-1990/1991	1990/1991		2014/2015-2019/2020	
	1991/1992-2013/2014	2013/2014			
	2014/2015-2018/2019				
Hiver	1979/1980-2013/2014	2013/2014	Été	1979/1980-1991/1992	1991/1992
	2015/2016-2019/2020			1992/1993-2019/2020	

Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes concentré sur les tests de vérification du caractère aléatoire et les tests de détection des ruptures.

Les deux tests de vérification du caractère aléatoire à savoir : le test de corrélation sur le rang et le calcul de l'autocorrélogramme et de son intervalle de confiance, ont montré que les séries des précipitations annuelles, mensuelles et saisonnières sont à caractère aléatoire.

Les tests de détection de rupture tels que le test de Buishand, le test de Pettitt, la méthode bayésienne de Lee et Heghinian et la segmentation d'Hubert, ont mis en évidence une rupture en 2017/2018 pour les trois pas de temps. La baisse de la pluviométrie est remarquée en date de rupture en septembre 1989/1990.

En ce qui concerne la température, les deux tests de vérification du caractère aléatoire ont montré que la série des températures moyennes annuelles est non aléatoire.

Les tests de détection de rupture ont mis en évidence une rupture en octobre. On remarque que les séries du mois d'Avril juillet et Aout ne sont pas à la normalité donc les tests buishand et la Méthode bayésienne de Lee et Heghinian n'ont pas été exécutées.

Chapitre V

Indices climatiques

Et

*Caractérisation de la
sécheresse*

V.1.Introduction

La sécheresse est un fléau insidieux qui résulte d'une baisse des précipitations par rapport à des niveaux normale. Lorsque le phénomène persiste pendant toute une saison, ou pendant de plus longues périodes, les précipitations ne sont pas suffisantes pour les besoins de l'environnement et des activités humaines. La sécheresse doit être considérée comme un état plus relatif qu'absolu. La surveillance ou le suivi de la sécheresse fait appel à bon nombre de méthodes différentes. La sécheresse est un phénomène d'échelle régionale et chaque région possède ses propres caractéristiques climatiques(Mesli.S et Azzouz S ,2020). Les sécheresses que subissent les grandes plaines d'Amérique du nord diffèrent de celles qui sévissent dans le nord-est du Brésil, en Afrique australe, en Europe occidentale, en Australie orientale ou dans la plaine de la Chine septentrionale.

Dans ce chapitre, nous allons exploiter les données pluviométriques dont nous disposons et que nous supposons représenter le bassin versant de 'Oued Sebdou', en appliquant un certain nombre d'indices climatiques, afin de voir leur évolution durant la période d'enregistrement (46 ans), en utilisant huit indices climatiques couramment utilisés pour l'étude de la sécheresse. Pour le faire nous avons utilisé le logiciel MDM.

V.2. Logiciel MDM

Le logiciel "MDM" (Meteorological Drought Monitoring) est un logiciel gratuit de calcul d'indices sur les précipitations développé par (Agrimetsoft Agricultural and meteorological software). Dans cet outil, huit indices météorologiques peuvent être calculés. Tous les calculs et les plages d'indices peuvent être consultées dans le document intitulé : «Estimation of météorologique drought indices based on Agmerra precipitation data and station-observed precipitation data ». Les séries de données de précipitations peuvent être mensuelle ou journalières en forma Excel.

Les huit indices calculés par logiciel MDM :

- ✓ SPI: Indice de Précipitation Standardisé.
- ✓ PN: Pourcentage à la Normale.
- ✓ DP: Déciles.
- ✓ EDI: Indice de Sécheresse Efficace.
- ✓ CZI: Indice Z chinois.
- ✓ RAI: Indice d'Anomalie Pluviométrique.
- ✓ Z-score : Statistiques Z-Score.in (Mellouk et ghali,2018).

Dans ce chapitre nous avons choisis de donner les explications concernant ces différents indices, ensuite les appliquer pour notre série de données à l'échelle annuelle ensuite à l'échelle saisonnière.

V.3. Indice standardisé des précipitations (SPI)

L'indice SPI a été conçu pour quantifier le déficit de précipitations à de multiples échelles de temps. Ces échelles de temps traduisent les incidences de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau. L'humidité du sol réagit relativement vite aux anomalies de précipitations, tandis que les eaux souterraines, le débit des cours d'eau et les volumes stockés dans les réservoirs sont sensibles aux anomalies de précipitations à plus long terme.

C'est pourquoi McKee et al. (1993) ont initialement calculé l'indice SPI pour des laps de temps de 3, 6, 12, 24 et 48 mois.

La classification adoptée par l'organisation mondiale de la météorologie, où sept classes de sécheresse sont distinguées, variant de l'extrêmement sèche à l'extrêmement humide, peuvent être distinguées (tab.V.1).

L'expression la plus simple pour calculer SPI est :

$$\text{SPI} = \frac{P_i - P_m}{\sigma} \quad \text{EqV.1.}$$

Avec :

P_i: Précipitation totale d'une période i.

P_m: Précipitation moyenne historique de la période,

σ: Écart-type historique de la série sur l'échelle temporelle considérée.

$$\sigma = \sqrt{V^2} \quad \text{EqV.2}$$

$$V^2 = \frac{1}{n-1} \quad \text{EqV.3}$$

Tableau V.1 : Classification des sécheresses selon les valeurs du SPI

Classes du SPI	Degré de la sécheresse
SPI > 2	Humidité extrême
1 < SPI < 2	Humidité forte
0 < SPI < 1	Humidité modérée
-1 < SPI < 0	Sécheresse modérée
-2 < SPI < -1	Sécheresse forte
SPI < -2	Sécheresse extrême

V.3.1. Avantages de méthode SPI

- L'indice SPI offre une bonne souplesse d'utilisation : il est possible de le calculer pour de multiples échelles de temps.
- Quand il porte sur un laps de temps relativement court, entre 1 et 3 mois par exemple, l'indice SPI permet de détecter rapidement les situations de sécheresse et d'en évaluer la gravité.
- L'indice SPI présente une bonne cohérence spatiale, ce qui permet d'établir des comparaisons entre des zones différentes soumises à des climats différents.

V.3.2. Inconvénients de méthode SPI

- Le bilan hydrique du sol n'étant pas pris en compte, l'indice ne permet pas le calcul du rapport évapotranspiration/évapotranspiration potentielle (ET/ETP).
- L'indice SPI ne repose que sur les relevés de précipitations.

V.4. Rapport à la normal (PN)

Le rapport à la normale des précipitations représente le pourcentage de l'écart des précipitations d'une période par rapport à la normale historique de cette période. La normale étant habituellement la moyenne des précipitations totales de la période. Cet indicateur est appliqué

à l'échelle locale ou régionale pour des périodes de temps variant de 1 mois à quelques mois, voire même une année. Le PN a été décrit par Willeke et al. (1994) comme un pourcentage des précipitations normales. Le PN s'est avéré très efficace pour décrire les sécheresses dans une seule région ou une seule saison. Il est calculé comme suit :

$$p_N = \frac{P_i}{P} \quad \text{EqV.4}$$

Avec :

P_i : Précipitations par unité de temps i (mm).

P : Précipitations normales pour la période d'étude (mm).

Tableau V.2 : Classification des sécheresses selon les valeurs du PN

Classification du PN	Valeur
Extrêmement sec	<40
Sécheresse sévère	40 à 55
Sécheresse faible	70 à 80
Sécheresse modérée	55 à 70
Normal	80 à 100
Humide	>100

La condition nécessaire pour appliquer cette méthode est la normalité de la distribution donnée de précipitations. En fait, cette distribution est de quelques mois ou moins. Puis la moyenne et la médiane diffèrent, alors il faut sélectionner les données que vous souhaitez utiliser comme référence historique.

PN est utilisé pour comparer une seule zone où il n'y a qu'une seule saison. Dans des régions hétérogènes ou des saisons différentes, les changements temporels et spatiaux des précipitations la rendent plus difficile à expliquer. Par exemple, 10% de 150 mm et 10% de 500 mm ont des significations différentes. Cette variabilité fait également en sorte qu'il est difficile de calculer la fréquence des écarts à la normale et donc de connaître la fréquence des sécheresses et de comparer ses effets entre différentes régions. Cet indicateur est souvent incompris et donc parfois mal interprété.

- Points forts : c'est un moyen populaire, rapide et facile d'utiliser les mathématiques de base.
- Points faibles : certains utilisateurs peuvent confondre l'établissement d'une valeur normale avec le calcul des précipitations moyennes pour un emplacement. Il est difficile de comparer différents modèles météorologiques, en particulier lorsqu'il y a des saisons des pluies et des saisons sèches.

V.5. Décile index (DI)

Le DI a été définie comme un classement des précipitations dans un intervalle de temps particulier sur l'ensemble de la période historique (Gibbs et Maher, 1967). Plus précisément, les données triées par ordre décroissant et divisés en dix catégories égales ou déciles. Ainsi, les précipitations en un mois donné peuvent être placées dans le contexte historique par décile.

Cette méthode est un indice de sécheresse sous-utilisé, mais sa simplicité en fait le point de départ le plus raisonnable.

La méthode des déciles de précipitations a été créée par Gibbs et Maher en 1967 (Gibbs et Maher, 1967) pour effectuer une évaluation cohérente des conditions météorologiques dans les régions, où les moyennes de précipitations sont insuffisantes. Cet indice est avantageux car il est facile à calculer et relativement rapide. De plus, les seules données requises pour l'entrée sont les valeurs des précipitations à long terme. La classification de l'indice est représentée dans le tableau V.3.

Tableau V.3 : Classification des sécheresses selon les valeurs du DI

Classification du DI	Valeur
Extrêmement sec	1
Sécheresse sévère	2
Sécheresse modérée	3
Sécheresse faible	4
Pas de sécheresse	≥ 5

- Points forts : une seule variable étant analysée, la méthode est simple et s'adapte à de multiples situations. À l'aide de seuils soigneusement définis, les données récentes sont placées dans une perspective historique afin de déterminer le degré de sécheresse. La méthode est utile dans les conditions d'humidité comme celles de sécheresse.
- Points faibles : comme d'autres indicateurs qui reposent uniquement sur les précipitations, il ne prend pas en considération l'impact des températures et d'autres variables sur l'évolution de la sécheresse. La méthode est plus efficace quand on détient une longue série de relevés, car un grand nombre de périodes sèches et de périodes humides sont incluses dans la distribution (OMM, 2016).

V.6. China-Z Index (CZI) et Modified China-Z Index (MCZI)

Le centre national du climat de Chine a développé le CZI en 1995 comme une alternative au SPI (Ju et al, 1997), lorsque les précipitations moyennes suivent la distribution de type III de Pearson, CZI est calculé comme suit :

$$CZI_{ij} = \frac{6}{C_{si}} * \left(\frac{C_{si}}{2} * \varphi_{ij} + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6} \quad \text{Eq V.5}$$

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_1)^3}{n * \sigma_i^3} \quad \text{Eq V.6}$$

$$\varphi_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_1}{\sigma_i} \quad \text{Eq V.7}$$

Où i est l'échelle de temps d'intérêt et j est le mois courant, CZI_{ij} signifie la valeur du CZI du mois courant (j) pour la période (i), C_{si} est le coefficient d'asymétrie, et φ_{ij} est le coefficient normalisé et x_{ij} la précipitation de j mois pour la période, n est le nombre total de mois. La classification se fait selon le tableau V.4.

Tableau V.4 : Classification des sécheresses selon les valeurs de CZI et MCZI

Classification du CZI-MCZI	Valeurs
Extrêmement humide	>2
Très humide	1.5 à 1.99
Modérément humide	1.0 à 1.49
Près de normal	-0.99 à 0.99
Sécheresse modérée	-1.0 à -1.99
Sécheresse sévère	-1.5 à 1.99
Sécheresse extrême	<-2

- Points forts : les calculs sont simples et peuvent être répétés avec plusieurs pas de temps. L'indice s'applique à la fois aux périodes de sécheresse et aux périodes d'humidité et, comme le SPI, tolère des lacunes dans les données.
- Points faibles : les scores Z n'exigent pas d'ajustement en les adaptant à des distributions gamma ou Pearson type II; il pourrait en résulter une moins bonne représentation des échelles temporelles réduites qu'avec le SPI (OMM, 2016).

V.7. Z-Score Index (ZSI)

Le ZSI est parfois confondu avec le SPI. Cependant, il est plus analogue à CZI, mais sans la nécessité d'adapter les données de précipitations à la distribution gamma ou à Pearson de type III. ZSI peut être calculé par l'équation suivante :

$$\text{ZSI} = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma} \quad \text{EqV.8}$$

P est la précipitation mensuelle moyenne (mm), P_i est la précipitation d'un mois donné (mm), et σ est l'écart-type de toute échelle de temps (mm).

La classification se fait selon le tableau V.5

Tableau V.5 : Classification des sécheresses selon les valeurs du ZSI.

Classification du ZSI	Valeur
Pas de sécheresse	>0.25
Sécheresse faible	0.25 à -0.25
Sécheresse légère	-0.25 à -0.52
Sécheresse modérée	-0.52 à -0.84
Sécheresse sévère	-0.84 à -1.25
Sécheresse extrême	<-1.25

- Points forts : les calculs sont simples et peuvent être répétés avec plusieurs pas de temps. L'indice s'applique à la fois aux périodes de sécheresse et aux périodes d'humidité et, comme le SPI, il tolère des lacunes dans les données.
- Points faibles : les scores Z n'exigent pas d'ajustement en les adaptant à des distributions gamma ou Pearson type ; il pourrait en résulter une moins bonne représentation des échelles temporelles réduites qu'avec le SPI (OMM, 2016).

▪

V.8. Rainfall Anomaly Index (RAI)

Le RAI considère deux anomalies, l'une positive et l'autre négative. Tout d'abord, les données de précipitations sont répertoriées par ordre décroissant. Moyenne des dix valeurs les plus élevées pour former un seuil d'anomalie positif et moyenne des dix valeurs les plus basses pour former un seuil d'anomalie négatif. Les seuils sont calculés par les équations V.9 et V.10, respectivement :

$$\text{RAI} = 3 * \left[\frac{(P - \bar{P})}{(\bar{m} - \bar{P})} \right] \quad \text{EqV.9}$$

$$\text{RAI} = -3 * \left[\frac{(P - \bar{P})}{(\bar{m} - \bar{P})} \right] \quad \text{EqV.10}$$

P: Précipitations réelles pour chaque année (mm).

\bar{P} : Précipitations moyennes à long terme (mm).

\bar{m} : Moyenne des dix valeurs les plus élevées de p pour l'anomalie positive et la moyenne des dix valeurs les plus faibles de p pour l'anomalie négative.

La classification se fait selon le tableau V.6

Tableau V.6 : Classification des sécheresses selon les valeurs du RAI.

Classification du RAI	Valeur
Extrêmement humide	>0.3
Modérément humide	0.3 à -0.3
Près de normal	-0.3 à -1.2
Sécheresse modérée	-1.2 à -2.1
Sécheresse sévère	-2.1 à -3
Sécheresse extrême	<-3

L'indice peut analyser les sécheresses affectant l'agriculture, les ressources en eau et d'autres secteurs car il a un certain degré de flexibilité et peut être compilé dans des délais différents.

- Points forts : il est facile à calculer, avec un seul paramètre d'entrée (précipitations) et peut être analysé à une échelle mensuelle, saisonnière ou annuelle.
- Points faibles : il faut disposer d'une série complète de données et estimer les valeurs manquantes. Les fluctuations au cours de l'année doivent être faibles par rapport aux variations temporelles (OMM, 2016).

▪

V.9. Résultats et discussions**V.9.1 Application des indices à l'échelle annuelle****V.9.1.A Calcul du SPI**

Les résultats du test SPI pour les précipitations annuelles est présenté dans le tableau V.7

Tableau V.7 : Résultats de calcul du SPI annuel pour la série des précipitations annuelles de la station de sebdou(1975/1976-2020/2021).

Années	SPI annuel	Années	SPI annuel	Années	SPI annuel
1975-1976		1991-1992		2007-2008	
1976-1977		1992-1993		2008-2009	
1977-1978		1993-1994		2009-2010	
1978-1979		1994-1995		2010-2011	
1979-1980		1995-1996		2011-2012	
1980-1981		1996-1997		2012-2013	
1981-1982		1997-1998		2013-2014	
1982-1983		1998-1999		2014-2015	
1983-1984		1999-2000		2015-2016	
1984-1985		2000-2001		2016-2017	
1985-1986		2001-2002		2017-2018	
1986-1987		2002-2003		2018-2019	
1987-1988		2003-2004		2019-2020	
1988-1989		2004-2005		2020-2021	
1989-1990		2005-2006			
1990-1991		2006-2007			

Légende

Extrêmement humide	
Très humide	
Modérément humide	
Proche de la normale	
Modérément sec	
Sévèrement sec	
Extrêmement sec	

L'évolution de l'indice SPI pour la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021).(fig.VI.1), montre que notre série est caractérisée par une alternance d'épisodes secs et humides, nous observons aussi que la valeur maximale du SPI qui définit l'humidité la plus élevée atteint 2,55 en 1995/1996, et la sécheresse la plus sévère définit par la valeur minimale du SPI atteint -1.7 en 2019/2020.

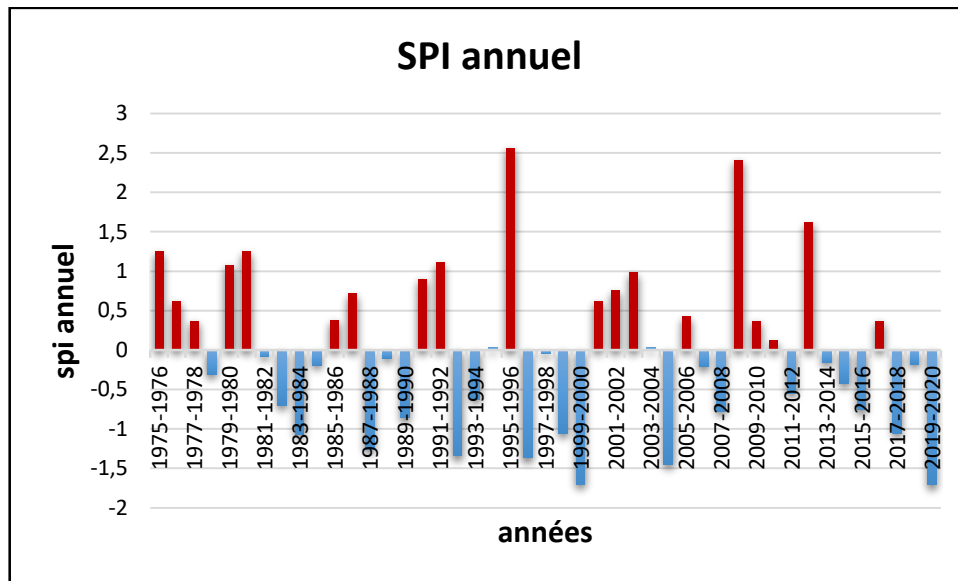


Figure V.1.Évolution du SPI pour la série des précipitations annuelles de la station de Sebdu (1975/1976-2020/2021).

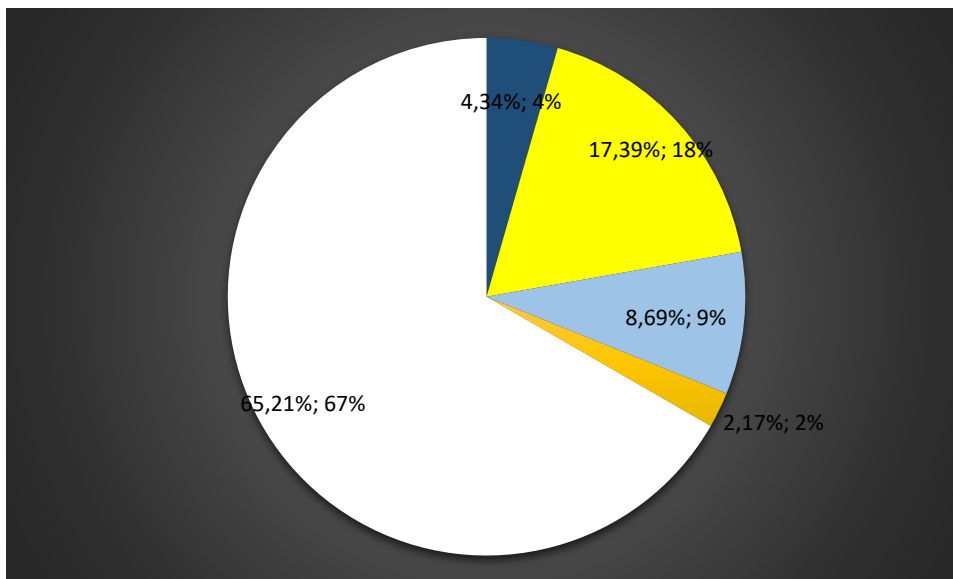


Figure .V.2 : Répartition du SPI pour la série des précipitations annuelles de la station de sebdu (1975/1960-2020/2021).

D’après la répartition du SPI pour la série des précipitations annuelles enregistrées au niveau de la station de sebdu entre 1975/1976 et 2020/2021, on remarque qu’il n’y a pas une pluviométrie caractérisée par des séquences sévèrement sèches durant cette période. et que la pluie proche de la normale est dominante de 65.21%.

V.9.1.B. Calcul du PN (Indice du pourcentage des précipitations normales)

Le résultat du calcul est représenté sur le tableau V.8 suivant

Tableau V.8. L'évolution de l'indice PI pour la station de Sebdu (1975/1976-2020/2021).

Années	PN annuel	Années	PN annuel	Années	PN annuel
1975-1976		1991-1992		2007-2008	
1976-1977		1992-1993		2008-2009	
1977-1978		1993-1994		2009-2010	
1978-1979		1994-1995		2010-2011	
1979-1980		1995-1996		2011-2012	
1980-1981		1996-1997		2012-2013	
1981-1982		1997-1998		2013-2014	
1982-1983		1998-1999		2014-2015	
1983-1984		1999-2000		2015-2016	
1984-1985		2000-2001		2016-2017	
1985-1986		2001-2002		2017-2018	
1986-1987		2002-2003		2018-2019	
1987-1988		2003-2004		2019-2020	
1988-1989		2004-2005		2020-2021	
1989-1990		2005-2006			
1990-1991		2006-2007			

Légende

Humide	
Normale	
Faible sécheresse	
Sécheresse modérée	
Sécheresse sévère	
Sécheresse extrême	

L'évolution de l'indice (fig.VI.2), montre que la série est caractérisée par une alternance d'épisodes secs et humides, nous observons aussi que la valeur maximale du PN qui définit l'humidité atteint 186,3 en 1997/1998, et la sécheresse la plus sévère définit par la valeur minimale du PN atteint 55 en 2018/2019. On remarque aussi que la classe humide est la plus dominante de 39,13% (figure V.4)

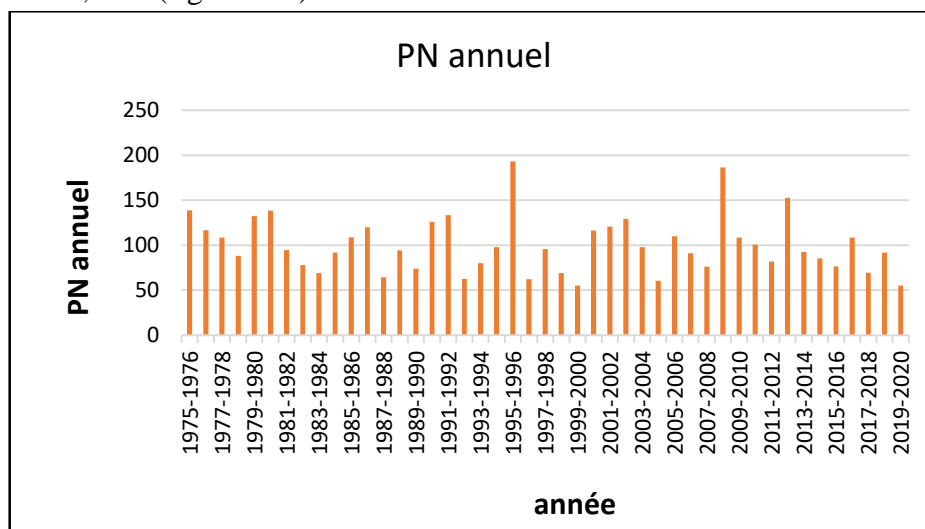


Figure V.3 : Évolution du PN pour la série des précipitations annuelles.

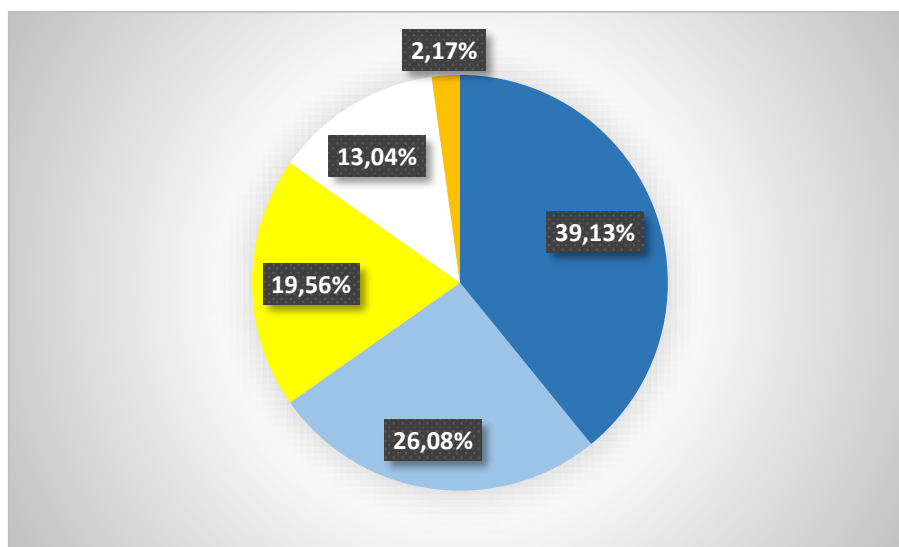


Figure .V.4 : Répartition du PN pour la série des précipitations annuelles.

V.9.1.C.Calcul du DI (Indice décile) : Les résultats sont

TableauV.9 : Résultats de calcul du DI annuel pour la série des précipitations annuelles

Années	DI annuel	Années	DI annuel	Années	DI annuel
1975-1976		1991-1992		2007-2008	
1976-1977		1992-1993		2008-2009	
1977-1978		1993-1994		2009-2010	
1978-1979		1994-1995		2010-2011	
1979-1980		1995-1996		2011-2012	
1980-1981		1996-1997		2012-2013	
1981-1982		1997-1998		2013-2014	
1982-1983		1998-1999		2014-2015	
1983-1984		1999-2000		2015-2016	
1984-1985		2000-2001		2016-2017	
1985-1986		2001-2002		2017-2018	
1986-1987		2002-2003		2018-2019	
1987-1988		2003-2004		2019-2020	
1988-1989		2004-2005		2020-2021	
1989-1990		2005-2006			
1990-1991		2006-2007			

Légende

Sécheresse extrême	
Sécheresse sévère	
Sécheresse modérée	
Faible sécheresse	
Pas de sécheresse	

A partir des résultats de l'indice décile (DI) appliquée à la série de précipitations annuelles enregistrées au niveau de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021) représentée sur la figure V.5, nous observons que pendant la période 1980/1981 jusqu'à 1995/1996, il y a une alternance entre les périodes extrêmement sèches et pas de sécheresse, les valeurs du DI varient entre 1 et 9, quant à l'intervalle de 1997/1998 à 2018/2019, la série varie entre une sécheresse modérée et pas de sécheresse. Dans cet intervalle, nous remarquons la présence de 4 années qui ont marqué la valeur maximale 10 du DI en 1975/1976, 1995/1996, 2008/2009 et 2012/2013.

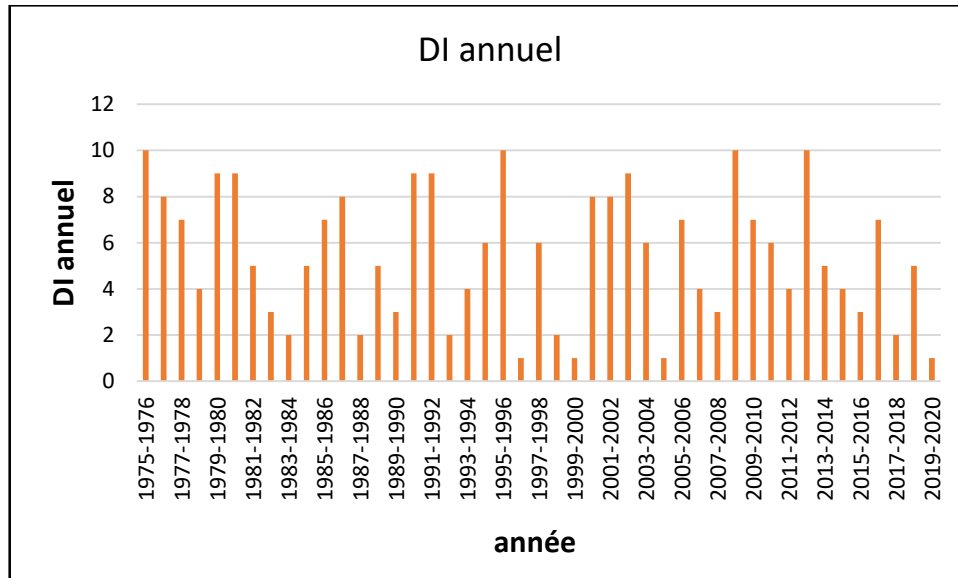


Figure V.5 : Évolution du DI pour la série de précipitations annuelles

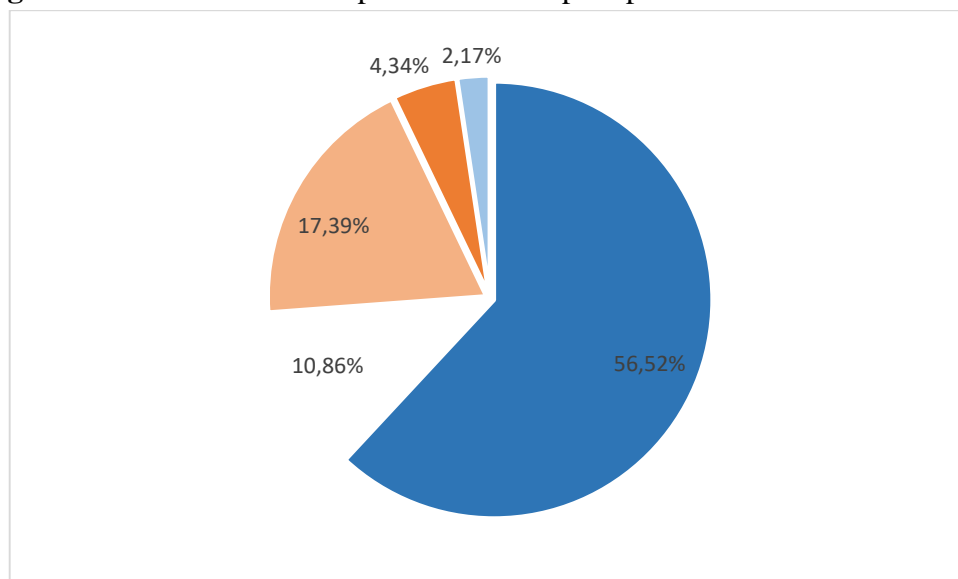


Figure V.6 : Répartition du DI pour la série des précipitations annuelles

V.9.1.D. Calcul Z-score

Les valeurs de Z-score calculées sont présentées dans le tableau V10 ci-dessous ?

Tableau V.10 : Résultats de calcul du Z-Score annuel pour les précipitations annuelles

Années	z-score annuel	Années	z-score annuel	Années	z-score annuel
1975-1976		1991-1992		2007-2008	
1976-1977		1992-1993		2008-2009	
1977-1978		1993-1994		2009-2010	
1978-1979		1994-1995		2010-2011	
1979-1980		1995-1996		2011-2012	
1980-1981		1996-1997		2012-2013	
1981-1982		1997-1998		2013-2014	
1982-1983		1998-1999		2014-2015	
1983-1984		1999-2000		2015-2016	
1984-1985		2000-2001		2016-2017	
1985-1986		2001-2002		2017-2018	
1986-1987		2002-2003		2018-2019	
1987-1988		2003-2004		2019-2020	
1988-1989		2004-2005		2020-2021	
1989-1990		2005-2006			
1990-1991		2006-2007			

Légende

Sécheresse extrême	
Sécheresse sévère	
Faible sécheresse	
Faible sécheresse	
Pas de sécheresse	
Sécheresse modérée	

L'évolution du Z-Score calculée pour les précipitations de sebdou (1975/1976-2020/2021) (fig.vV7), montre une vaste sécheresse (les valeurs négatives) par rapport à l'humidité (les valeurs positives > 0,25) tout au long de la période étudiée. L'humidité la plus élevée correspond à une valeur maximale du Z-Score qui vaut 3 en 1995/1996, d'autre part, la sécheresse la plus élevée correspond à une valeur minimale du Z-Score de -1.8 en 2019/2020.

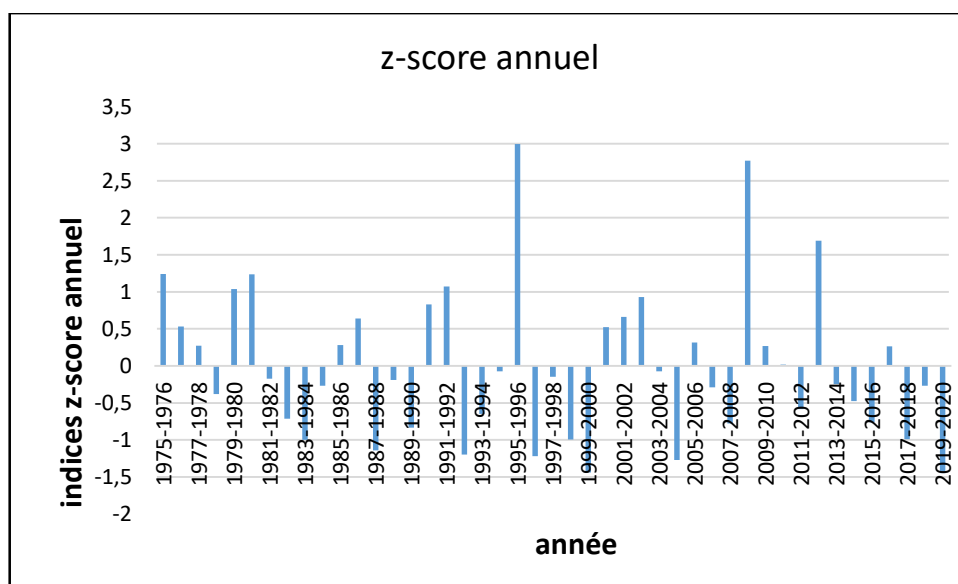


Figure V.7 Évolution du Z-Score pour la série de précipitations annuelles

La répartition du Z-Score (figureV.8) nous indique que la classe «pas de sécheresse » domine avec 41.30%, alors que les classes sécheresse extrême et modérée sont les moins répandues avec un taux de 15.21%.

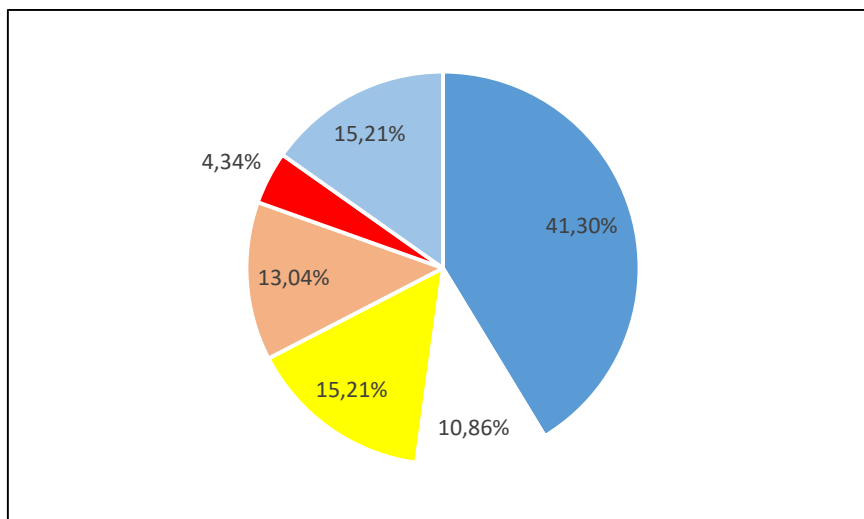


Figure V.8 : Répartition du Z-score pour la série des précipitations annuelles

V.9.2 l'échelle saisonnière

La même chronologie de calcul qui était adoptée pour les précipitations annuelles sera suivie pour les précipitations saisonnières pour les différents indices.

V.9.2.A. Calcul du PN (Indice du pourcentage des précipitations normales)

Les résultats du calcul de PN sont présentés sur le tableau V.11 et les graphiques de l'évolution dans le temps du PN pour chaque saison dans les figures V.9

Tableau V.11: Résultats de calcul du PN pour la série des précipitations saisonnières

Années	Automne	Hiver	printemps	été	Années	automne	hiver	printemps	été
1975-1976					1999-2000				
1976-1977					2000-2001				
1977-1978					2001-2002				
1978-1979					2002-2003				
1979-1980					2003-2004				
1980-1981					2004-2005				
1981-1982					2005-2006				
1982-1983					2006-2007				
1983-1984					2007-2008				
1984-1985					2008-2009				
1985-1986					2009-2010				
1986-1987					2010-2011				
1987-1988					2011-2012				
1988-1989					2012-2013				
1989-1990					2013-2014				

1990-1991					2014-2015				
1991-1992					2015-2016				
1992-1993					2016-2017				
1993-1994					2017-2018				
1994-1995					2018-2019				
1995-1996					2019-2020				
1996-1997					2020-2021				
1997-1998									
1998-1999									

Légende

Sécheresse extrême	
Sécheresse sévère	
Normal	
Faible sécheresse	
humide	
Sécheresse modérée	

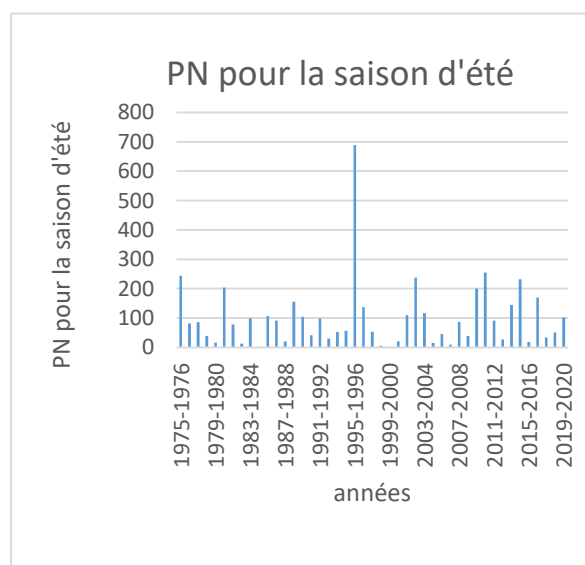
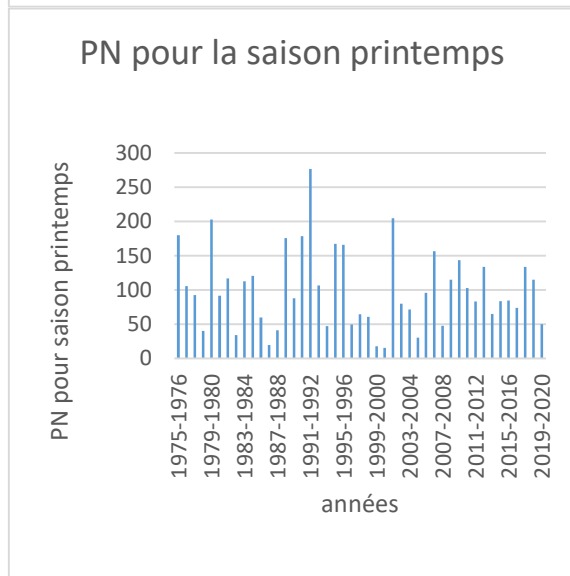
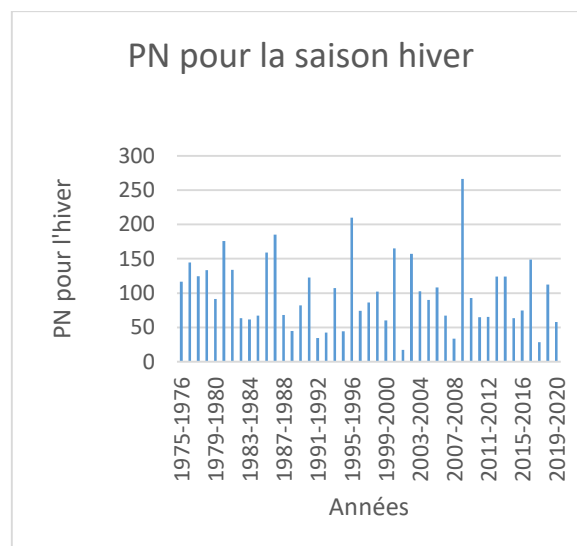
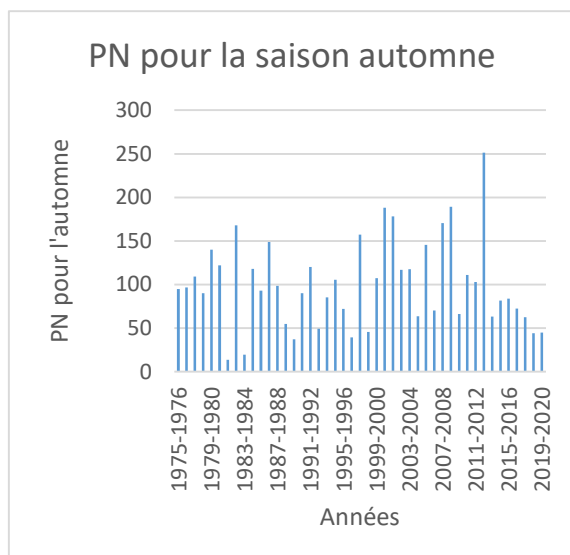


Figure V.9 : Évolution du PN pour la série des précipitations saisonnière

D’après l’évolution du PN appliquée à la série de précipitations saisonnières enregistrées au niveau de la station de Sebdou pendant la période 1975/1976- 2019/2020 (fig.V.9), nous remarquons que la valeur du PN la plus élevée est de 688.8 pendant l’été de l’année 1995/1996, et sécheresse indiquée en 1983/1984-1999/2000-2003/2004. Pour les autres saisons, Automne, Hiver et Printemps, les valeurs du PN les plus élevées sont respectivement 250 en 2012/2013, 266.5 en 2009/2010 et 255 en 1991/1992, et les plus basses sont respectivement 19.7 en 1976/1977 ,17.3 en 2000/2001 et 11.2 en 2004/2005.

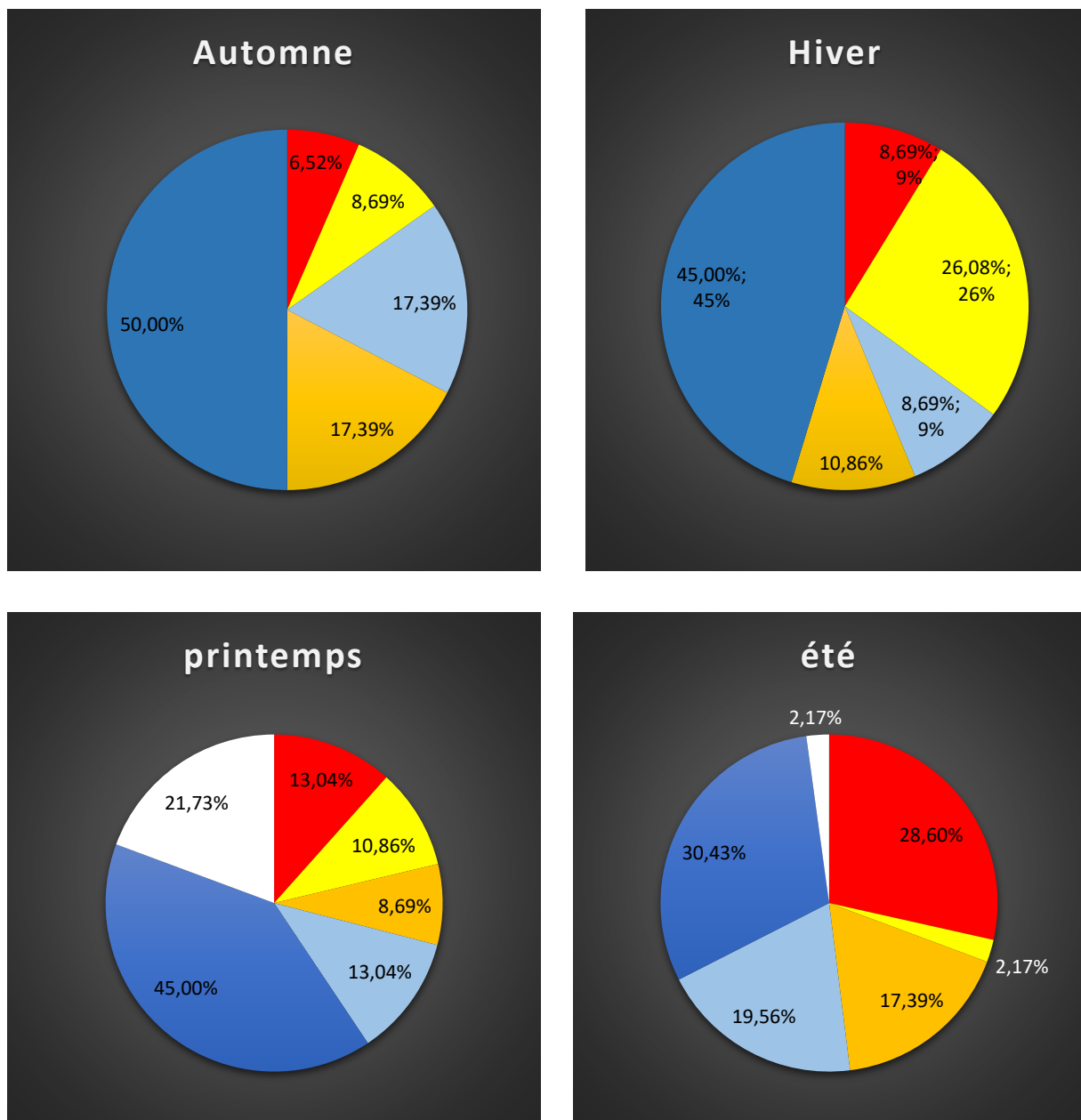


Figure V.10 : Répartition du PN pour la série des précipitations Saisonnière de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).

D'après la répartition du PN (fig.V.10), nous remarquons que la période humide est la plus dominante pour l'Automne (50%), l'Hiver (45%) et le Printemps (45%), et pour l'Été (30%).en opposé nous remarquons que la faible sécheresse est présente au taux de 6.52% en Automne, 8.69% en Hiver, 13,04 au printemps et 28,6 en hiver.

V.9.2.B. .Calcul du DI (Indice décile)

Les résultats présentés dans le tableau V12 sont représentés graphiquement sur la figure V.11

Tableau V.12 : Résultats de calcul du DI saisonnière pour la série des précipitations saisonnière de la station de Sebdou (1975/1976-2020/2021)

Années	Automne	Hiver	printemps	été	Années	automne	hiver	printemps	été
1975-1976					1999-2000				
1976-1977					2000-2001				
1977-1978					2001-2002				
1978-1979					2002-2003				
1979-1980					2003-2004				
1980-1981					2004-2005				
1981-1982					2005-2006				
1982-1983					2006-2007				
1983-1984					2007-2008				
1984-1985					2008-2009				
1985-1986					2009-2010				
1986-1987					2010-2011				
1987-1988					2011-2012				
1988-1989					2012-2013				
1989-1990					2013-2014				
1990-1991					2014-2015				
1991-1992					2015-2016				
1992-1993					2016-2017				
1993-1994					2017-2018				
1994-1995					2018-2019				
1995-1996					2019-2020				
1996-1997					2020-2021				
1997-1998									
1998-1999									

Légende

Sécheresse extrême	
Sécheresse sévère	
Faible sécheresse	
Faible sécheresse	
Pas de sécheresse	
Sécheresse modérée	

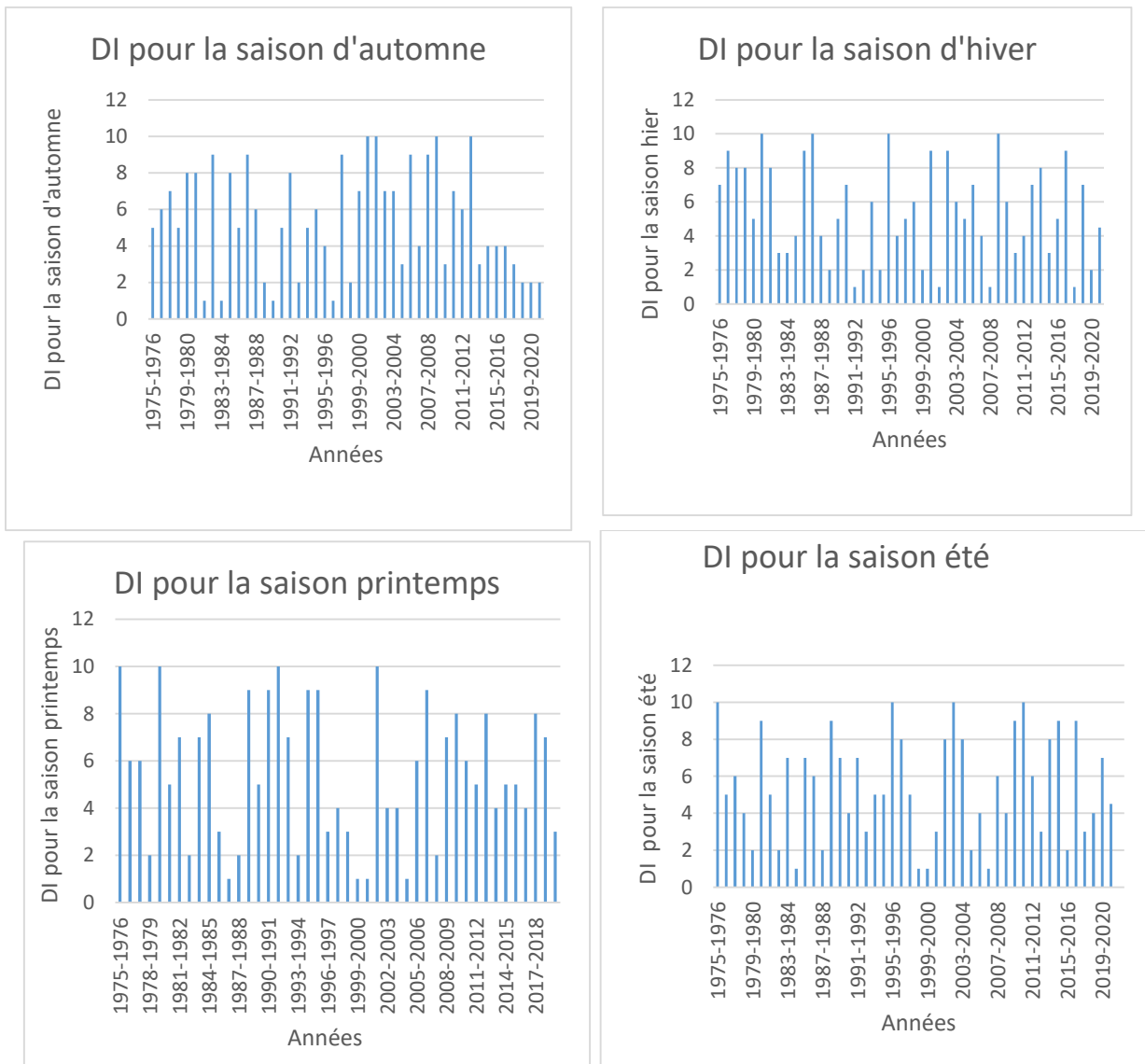


Figure V.11 : Évolution du DI pour la série des précipitations saisonnière

D’après l’évolution du DI appliquée à la série de précipitations saisonnières pendant la période 1975/1976- 2019/2020 (fig.V.11), nous remarquons que la série présente une alternance entre la classe extrêmement sèche et la classe pas de sécheresse. Cette alternance est bien visible sur le graphique. La saison d’été est marquée par la dominance des années humides mais cela n’empêche pas la présence de pic sec.au printemps l’indice DI montre que la série est très varié avec une présence de sécheresse.

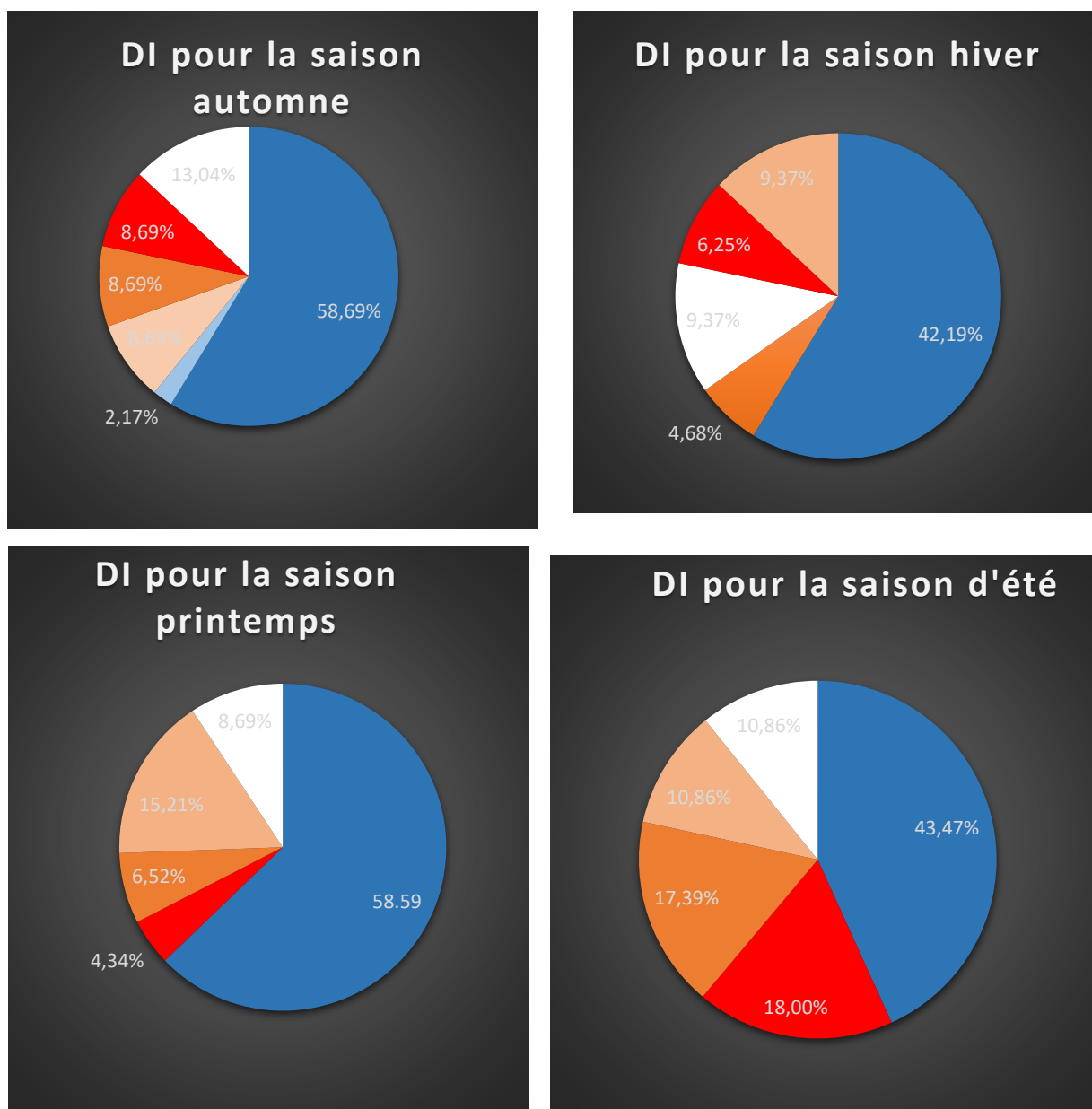


Figure V.12 : Répartition du DI pour la série des précipitations Saisonnière de la station de sebdou (1975/1976-2020/2021).

D'après la répartition du DI (fig.V.12), nous remarquons que la période humide est la plus dominante pour l'Automne (58.69%), l'Hiver (42.19%) et le Printemps (58.59%), et pour l'Été (43.47%). Pour les pourcentages les plus faibles, nous citons : un pourcentage de faible sécheresse de (2.17% en) Automne, un pourcentage de (2.17%) aussi en Hiver et (4.34%) en printemps par contre en été on a (18%).

Conclusion

Logiciel MDM aux données de la série pluviométrique nous permet de comparer les résultats des différents indices calculés.

Sur les données de précipitations de 46 ans mis en étude, et de façon globale, l'application des indices à différentes échelles de temps (annuelle et saisonnière) a permis de détecter plusieurs séquences de sécheresses qui ont touché la région, les pics s'alternent entre les années sèche et

humide. Pour SPI, PN, Z-Score, la sécheresse a longtemps sévi au cours des décennies 90 et quelques années en 2000. Le caractère humide est présent pour toutes les périodes avec un maximum en 1975/1976, mais cela n'empêche pas l'existence des pics négatifs.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Les précipitations et la température sont les facteurs climatiques les plus importants pour les écosystèmes, en raison de leurs impacts directs et durables sur l'environnement naturel. Les problèmes de changement et de variabilité climatiques sont au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques du monde entier depuis un certain temps. Le cycle de l'eau étant l'une des principales composantes du climat, l'impact de ces changements sur le régime des précipitations est important.

Oued Sebdou qui est situé dans la commune de Sebdou à Tlemcen (nord-ouest algérien) se caractérise par un climat continental semi-aride avec des hivers tempérés. L'étude des paramètres physiques montre que le bassin de oued Sebdou présente une forme allongée, très étirée avec un indice de compacité $K_c = 2,07$. Le bassin est mal drainé ($D_d = 1,33 \text{ Km/Km}^2$), son relief est modéré ($I_g = 0,016 \text{ m/km}$) et son coefficient de torrentialité ($C_T = 1,74 \text{ Km/Km}^2$).

Sur la série des données des précipitations (1975/1976-2020/2021), nous enregistrons une moyenne interannuelle de 351,91mm, un coefficient d'immodération CI de 3,51. Ces paramètres permettent de caractériser la région par un climat de type méditerranéen. Pour la série des températures (1979/1980-2020/2021), la moyenne est de 17,81°C. La période humide s'étend généralement du mois de Novembre jusqu'au mois de Mai. Le climat est semi-aride avec un écoulement temporaire et des formations herbacées.

Le présent travail, dont objectif était l'étude statistique de la pluviométrie et la caractérisation du climat par l'application des différents tests à divers échelles de temps et l'application des indices climatiques à l'échelle annuelle et saisonnière au niveau de la stations de oued Sebdou, nous a permis de caractériser les années hydrologiques en les spécifiant de normales, sèches ou humide.

L'étude de détection de rupture a permis de trouver des changements au niveau des précipitations au cours de l'année 2017/2018 par les différents tests. En ce qui concerne la température, les fortes ruptures sont remarquables au cours des périodes 1979/1980-2012/2013 et 2014/2015-2018/2019.

D'autre part, l'étude de la sécheresse dans la zone examinée à l'aide des différents indices issus des données pluviométriques à échelle de temps annuel met en évidence que la sécheresse a sévi au cours de la décennie 90 et quelques années en 2000. La période humide est détectée par les différents tests avec un maximum en 1975/1976.

L'étude des précipitations et du climat est très importante pour prendre les meilleures décisions en matière de gestion de l'eau. C'est pourquoi, cette recherche ne peut être une fin en soi, car elle peut être poussée plus loin en utilisant d'autres paramètres climatiques et en considérant des échelles de temps plus fins ou utiliser d'autres indices pour détecter les différents épisodes (sec ou humide).

Références

Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdelhafid krim F,(2014).** Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien.Univ.constantine 1.
- Abdelmoumene H., (2021).** Méthodes de prédétermination des débits maximums, application au bassin versant de l'oued Sebdou (N.W algérien).Univ. Tlemcen.
- Adjim H,(2019).** contribution à l'étude des phénomènes hydrologiques _ cas de la sechresse application au bassin du barrage hammam bouhrara .thèse doctorat .Univ .Tlemcen.
- Adjim Hayat, (2003).** Evaluation et affectation des ressources hydriques superficielles du bassin versant de la TAFNA, Mémoire de magister ; Université TLEMCEM
- Azzouz &Messli,(2021).** Application des indices de sécheresse dans le bassin versant de la basse Mekerra (région de Sidi Bel Abbes). Univ .Tlemcen.
- Bahloul A,(2013).** Etude de la variabilité climatique à travers les séries pluviométriques – Exemple du bassin versant du barrage Hammam Bouhrara –Univ .Tlemcen.
- Belarbi F,(2010).**Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la TAFNA.Univ .Tlemcen.
- Bennis, S., (2007).**Hydraulique et hydrologie- PUQ.
- Bouanani A, (2004).** Hydrologie, Transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérien). Thèse de Doctorat d'état, Univ. Tlemcen, 250 p.
- Chaib draa tani M,(2019).** Acteurs de l'eau et leurs interactions dans la gestion de l'eau au niveau du bassin versant Tafna .Univ.Tlemcen.
- Daif M ,(2017),** Etude des quelques variables climatiques du sous bassin de Sebaou (W.Tizi-Ouzou. Ecole nationale superieure d'hydraulique.Arbaoui Abdellah.
- Dmarée G.R , (1990).**Evidence of abrupt climate change from the rainfall data of Mauritanian station .IRM. Series AN°124,pp68-74
- Dib F,(2021),** Application du modèle hydrologique GARDENIA sur le bassin versant de l'oued Sebdou (NW Algérien).Univ .Tlemcen.
- GHENIM A. MEGNOUNIF A, (2013).** Ampleur de la sécheresse dans le bassin d'alimentation du barrage Meffrouche (Nord-Ouest de l'Algérie). Géographie Physique et Environnement. Vol. 7. p. 35-49. DOI 10.4000/physio-geo.3173.
- Mellouk &ghali (2018),**Etude bibliographique des indices de sécheresse application à la région de Tlemcen.
- Mohamed S,(2019).** Plan national sechresse algerie lignes directrices en vue de son opérationnalisation.

OMM, (1992). Vocabulaire météorologique international (OMM-N° 182). Deuxième édition. Genève.

OMM, (2008). Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation [en ligne], WMO-No. 8, p. I.2–1. Disponible à l'adresse :

[CWOP-WMO8.pdf \(weather.gov\)](#).

OMM, (2012). Standardized Precipitation Index User Guide, OMM- No. 1090, p. 7-10. •

OMM, (2016). Organisation météorologique mondiale, le Manuel des indicateurs et indices de sécheresse OMM- No. 1173.

OMM, (2018). Guide to Climatological [en ligne], WMO-No. 100, p. 1.

OMM, (2020). Organisation Météorologique Mondiale guide climat & eau journée Météorologique Mondiale - 23 MARS 2020.

ONEMA, livre d'office national de l'eau et des milieux aquatique, janvier 2012.

Ouici F ,(2018) . Etude de la performance du modèle hydrologique HBV appliqué au bassin versant d'oued Sebdou (Tafna, Algérie). Mémoire de Master, Univ .Tlemcen.

Roche, 1963 : Hydrologie de Surface. M. Roche. Gauthier-Villars, Paris, 1963. 430 pp.

Sari Ahmed, (2002). l'hydrologie de surface .Univ Bab Ezzouar Alger.r2F/5/080,223p.

Smakhtin V.U. (2001). Low flow hydrology: areview, Journal of hydrology, 240, 147-186.

Soro T.D., Soro N., Oga Y.M.S., Lasm T., Soro G., Ahoussi K.E., Biémi J., « La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) » [en ligne], Géographie Physique et Environnement, 2011, p. 55-73. Disponible à l'adresse :

[La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand-Lahou \(Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire\) \(openedition.org\)](#).

Strahler, (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions, American Geophysical Union, 38 (6). 913pp.

Tatar H, Regad N,(2015). Variabilité climatique et ressources en eau en milieu semiaride : cas des bassins versant des Oueds Chemora, Reboa et Gueiss (hauts plateaux constantinois, Algérie), p. 19.

Touaibia B, (2005). Manuel pratique d'hydrologie. Ed. Madani Blida.

Wu H., Hayes M.J., Weiss A., Hu Q.,(2001). An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score. International Journal of Climatology, 21(6), p. 745–758.

Zavoianu I.(1985) - Morphometry of drainage basin-Developments in water science. Elsevier Science. Vol. 20. 238 p. ISBN-10: 0444995870.

Webographie

- [1] https://www.lumni.fr/jeux-educatifs/climats-polaire-tempere-chaud-montagnard/pdf/les_climats_de_la_terre.pdf consulté le 21/02/2022
- [2] https://iast.univ-setif.dz/documents/Cours/Climatologie_ch1.pdf .consulté le 21/02/2022
- [3]-<https://journals.openedition.org/tem/1754> consulté le 21/02/2022.
- [4] <https://www.memoireonline.com/10/13/7594/Les-changements-climatiques.html>. Consulté le 25/02/2022.
- [5] <https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICPRECI.HTM> Consulté le 04/03/2022.
- [6]-www.bing.com. Consulté le 04/03/2022.
- [7] <https://www.cieau.com/connaitre-leau/secheresse-comment-agir>. Consulté le 04/03/2022.
- [8] PLAN NATIONAL SECHERESSE ALGERIE LIGNES DIRECTRICES. Disponible sur : https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/country_profile_documents/Plan%20National%20S%C3%A9cheresse%20Alg%C3%A9rie%20version3.2%20d%C3%A9f.300619-3-version-20-12-2019-converti.pdf. Consulté le 06/03/2022.