

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



## **MEMOIRE**

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

En : **Hydraulique**

Spécialité : **Hydraulique urbaine**

Par :

**BELHARAZEM Nassima & BENBRAHIM Bahia**

**Etude de la variabilité climatique et son impact sur la ressource en eau superficielle. Cas du bassin versant de l'oued Boukiou (NW Algérie).**

Soutenu publiquement, le 27 / 06 / 2019, devant le jury composé de :

Melle <b>FANDI W.</b>	Maître assistante A	Univ. Tlemcen	Présidente
Mme <b>BABA HAMED K.</b>	Professeur	Univ. Tlemcen	Directrice de mémoire
M <b>BOUANANI A.</b>	Professeur	Univ. Tlemcen	Co-Directeur de mémoire
Mme <b>ADJIM H.</b>	Maître assistante A	Univ. Tlemcen	Examinatrice
M <b>GHENIM A.N.</b>	Professeur	Univ. Tlemcen	Examinateur

**2018 - 2019**

## *Remerciements*

*A l'occasion de la rédaction de ce mémoire de fin d'études, nous tenons particulièrement, à remercier en premier lieu **ALLAH** tout puissant de nous avoir donné la possibilité d'étudier et de pouvoir terminer ce travail.*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Madame **BABA-HAMED Kamila**, nous ne la remercierons jamais assez pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire.*

*Nous remercions également Monsieur **BOUANANI Abderrazak**, d'avoir accepté de co-encadrer ce travail et de nous avoir efficacement guidées. Il nous a fait bénéficier de ses orientations et ses conseils judicieux. On lui en garde une profonde gratitude.*

*Nos remerciements s'adressent aussi à Melle **Gherissi Radia** et Melle **Bendjema Lina**, Pour leurs aides et leurs encouragements et pour leurs riches informations et leurs efforts avec nous.*

*Nous tenons également à remercier Mademoiselle **Fandi Wassila**, qui après nous avoir fait profiter de son enseignement, a accepté de présider ce jury.*

*Nos remerciements vont également aux deux autres membres du jury Monsieur **Ghenim Abderrahmane Nekkache** et Madame **Adjim Hayet** pour avoir accepté d'en faire partie et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce mémoire.*

*Que tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans l'élaboration de ce mémoire trouvent ici l'expression de notre vive reconnaissance.*

*Enfin, nous voudrions aussi exprimer nos vifs remerciements à tous les enseignants du département d'Hydraulique et tous ceux qui ont participé à notre formation.*

# Dédicaces

*J*e dédie ce travail :

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour et prières, leur soutien et support tout au long de mes études,*

*A Mes sœurs Farah et Rima pour leur soutien moral,*

*A tous ma famille,*

*A tous mes amis et collègues,*

*Enfin, à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail.*

*BELHARAZEM Nassima*

# Dédicaces

*J*e dédie ce travail :

*À mon cher père, qui m'a soutenu dans toutes les démarches pour concrétiser ce travail.*

*A ma très chère mère, qui n'a jamais cessé de m'encourager tous le long de mon parcours et qui s'est toujours sacrifiée pour faire de moi ce que je suis aujourd'hui. Que dieu la protège.*

*A toute ma famille, pour leur précieuse aide et leurs encouragements.*

*A ceux qui me sont proches et chers, de près ou de loin.*

*BENBRAHIM Bahia*

## RESUME

Le bassin versant d'Oued Boukiou est un sous bassin de la Tafna situé au Nord ouest algérien, est caractérisé par une forte irrégularité climatique, une sécheresse parfois prononcée ayant un impact certain sur les écoulements.

Le présent travail a permis de:

- Mettre en évidence la variabilité climatique,
- D'évaluer la sécheresse par utilisation des indices statistiques qui servent à quantifier sa sévérité (EDI, SRI, ISD, ILDH, SPI, SSFI, RDI),
- Comprendre et évaluer l'impact de la sécheresse sur les ressources en eau du bassin versant en utilisant le logiciel Khronostat.

Les résultats de l'analyse des données hydropluviométriques sur une période de 40 ans, montrent la présence des ruptures qui s'accompagnent d'une diminution de la pluviométrie et de l'écoulement. Elles indiquent que, le bassin a connu globalement des périodes d'humidité et de sécheresse légère et modéré avec une tendance à la sécheresse. Cette variabilité climatique a influé sur le comportement hydrologique du bassin versant.

**Mots clés :** Oued Boukiou, variabilité climatique, sécheresse, EDI, SRI, ISD, ILDH, SPI, SSFI, RDI, Khronostat, Rupture.

## Abstract

The watershed of Oued Boukiou is a sub-basin of the Tafna located in northwestern Algeria, is characterized by a strong climatic irregularity, a drought sometimes pronounced with a certain impact on the flows.

The present work allows to:

- Demonstrating climate variability
- Evaluate the drought by using the statistical indices ,which serve to quantify its severity (EDI, SRI, ISD, ILDH, SPI, SSFI, RDI),
- Understand and evaluate the impact of drought on water resources in the watershed using Khronostat software.

The results of the analysis of hydro-pluviometric data over a period of 40 years, show the presence of ruptures which are accompanied by a decrease in rainfall and flow. They also indicate that the basin has generally experienced periods of moisture and light and moderate drought with a tendency to drought. Therefore, this climatic variability has influenced the hydrological behavior of the watershed.

**Key words:** Wadi Boukiou, Climate variability, drought, EDI, SRI, ISD, ILDH, SPI, SSFI, RDI, Khronostat, Breaking.

## المخلص

إن الحوض الهيدروغرافي لواد بوكيو هو حوض فرعي لتافنة، و يقع في شمال غرب الجزائر. حيث يتميز بتقلبات مناخية قوية وجفاف له تأثير معين على التدفقات.

يسمح هذا العمل التالي:

- بتسليط الضوء و إثبات التقلب المناخي .
- تقييم نسبة الجفاف باستخدام المؤشرات الإحصائية التي تعمل على تحديد شدتها (EDI, SRI, ISD, ILDH, SPI, SSFI, RDI).
- فهم وتقييم أثر الجفاف على الموارد المائية وتحديد سلوك الحوض المائي باستخدام برنامج Khronostat .

إن نتائج دراسة معطيات وكميات التساقط و التدفق في مدة 40 سنة، تظهر وجود انقطاعات مرفقة بانخفاض في نسبة التساقط والسيلان مما يوضح أن الحوض المائي قد عرف مجمل فترات رطوبة و جفاف نسبي ومعتدل مع ميل إلى الجفاف . هذه التقلبات المناخية قد أثرت على سلوك الحوض المائي.

**الكلمات المفتاحية:** واد بوكيو، تقلب المناخ، الجفاف، انقطاعات، EDI, SRI, ISD, ,ILDH,SPI, Khronostat, SSFI, RDI .

## *Tables des matières*

<b>REMERCIEMENTS</b>		
<b>Dédicaces</b>		
<b>RESUME</b>		
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b>		
<b>LISTE DES FIGURES</b>		
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>		
<b>TABLE DES MATIERES</b>		
Introduction générale		1
<b>Chapitre I : SYNTHESE SUR LA VARIABILITE CLIMATIQUE</b>		
I.1	Introduction	3
I.2	Le climat	3
I.3	Classification climatique	3
I.4	Climatologie	4
I.5	Système climatique	4
I.6	Facteurs climatiques	4
I.6.1	Latitude	5
I.6.2	Masses d'airs et les vents	5
I.6.3	Courants marins	6
I.6.4	Altitude	6
I.6.5	Continentalité et proximité à l'océan	6
I.7	Variabilité climatique	6
I.7.1	Variabilité à l'échelle mondiale	7
I.7.1.a	Température	7
I.7.1.b	Précipitations et humidité atmosphérique	8
I.7.2	variabilité climatique en Algérie	9
I.7.2.1	État du climat Algérien en 2017	9
I.8	Changement et Réchauffement climatique	10
I.8.1	Changement climatique	10
I.8.1.a	Causes du changement climatique	11
I.8.1.a.1	Causes naturelles susceptibles d'affecter le climat	11
I.8.1.a.2	Causes artificielles	11
I.8.1.b	Conséquences des changements climatiques	13
I.8.1.c	Risques environnementaux de changements climatiques	13
I.8.1.d	Changement climatique en Algérie	13
I.8.2	Réchauffement climatique	14
I.8.2.1	Conséquences du réchauffement climatique	14
I.9	Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau	15
I.10	Conclusion	15
<b>Chapitre II : Présentation de la zone d'étude</b>		
II.1	Introduction	16
II.2	Généralités sur le bassin versant de la Tafna	16
II.2.1	Situation géographique	16
II.2.2	Réseau hydrographique	18
II.3	Description du bassin versant de l'oued Boukiou	19
II.3.1	Situation géographique	19

II.3.2	Etude des caractéristiques morphométriques	21
II.3.2.1	Caractéristiques géométriques	21
II.3.2.1.a	Superficie	21
II.3.2.1.b	Périmètre	21
II.3.2.2	Caractéristiques de forme	21
II.3.2.2.1	Indice de compacité de Graveleuse (1914)	21
II.3.2.2.2	Rectangle équivalent	22
II.3.2.2.3	Facteur de forme	23
II.3.2.2.4	Coefficient de circularité	23
II.3.2.3	Caractéristiques du relief	24
II.3.2.3.1	Courbe hypsométrique	24
II.3.2.3.2	Altitudes caractéristiques	26
II.3.2.3.3	Indices de pente	27
II.3.2.3.4	Caractéristiques du réseau hydrographique	30
II.3.2.3.4.1	Classification par ordre et étude du chevelu hydrographique	32
II.3.2.3.4.2	Profil en long et profil en travers	36
II.4	Etude géologique du bassin versant de l'oued Boukiou	37
II.4.1	Cadre géologique et aperçue paléogéographique	37
II.4.2	Etude lithostratigraphique	40
II.4.2.1	Substratum primaire (Infra-Silurien à Dévonien)	40
II.4.2.2	Couverture secondaire (Permo -Trias à Crétacé basal)	40
II.4.2.3	Dépression miocène	40
II.5	Couvert végétal	42
II.6	Conclusion	42
<b>Chapitre III : HYDROCLIMATOLOGIE</b>		
III.1	Introduction	44
III.2	Présentation de la station de mesure	44
III.3	Etude des précipitations	45
III.3.1	Variation annuelle des précipitations	45
III.3.2	Coefficient d'irrégularité	46
III.3.3	Variation mensuelle des précipitations	46
III.3.4	Variation saisonnière des précipitations	47
III.3.5	Variation journalière des précipitations	48
III.4	Etude statistique des précipitations	48
III.4.1	Adéquation des données de précipitations à une loi statistique	49
III.4.1.1	Ajustement par la loi normale	50
III.4.1.2	Ajustement par la loi log normale	51
III.4.2	Résultats de l'ajustement	54
III.4.3	Calcul des précipitations pour une période de récurrence donnée	54
III.5	Etude des températures	54
III.5.1	Variation annuelle des températures	55
III.5.2	Variation des températures moyennes mensuelles	56
III.5.3	Variation des températures saisonnières	56
III.6	Étude du climat	57
III.6.1	Diagramme pluviothermique (méthode de Gausson et Bagnouls)	57
III.6.2	Diagramme ombrothermique (méthode d'Euverte)	58
III.6.3	Indices climatiques	59

III.6.3.1	Indice d'aridité de De. Martonne	59
III.6.3.2	Indice de continentalité de Kerner	60
III.6.3.3	Indice de Moral	61
III.7	Climagrammes	61
III.7.1	Climagramme d'Emberger	61
III.8	Evapotranspiration potentielle et déficit d'écoulement (ETR)	63
III.8.1	Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	63
III.8.1.1	Méthode de Thornthwaite 1957	63
III.8.2	Evapotranspiration réelle (ETR)	64
III.8.2. 1	Formule de L. Turc	64
III.8.2.2	Formule de M. Coutagne	65
III.8.2.3	Méthode de Wundt	65
III.8.2.4	Méthode de P. Verdeil	66
III.8.3	Calcul de la réserve facilement utilisable (R.F.U)	66
III.8.4	Estimation du ruissellement	67
III.8.5	Estimation de l'infiltration	68
III.9	Etudes des débits et des lames d'eau écoulées	69
III.9.1	Etudes des débits	69
III.9.1.1	Variation annuelle des débits	69
III.9.1.2	Variation mensuelle des débits	70
III.9.1.3	Variations saisonnière des débits	71
III.9.1.4	Variation journalière des débits	72
III.9.2	Etude statistique des débits	72
III.9.2.1	Adéquation des données de débits à une loi statistique	72
III.9.2.2	Ajustement par la loi normale	74
III.9.2.3	Ajustement par la loi log normale	74
III.9.2.4	Résultats de l'ajustement	76
III.9.2.5	Calcul des débits pour une période de récurrence donnée	76
III.9.3	Etude des lames d'eau écoulées	77
III.9.3.1	Variation annuelle des lames d'eau	77
III.9.3.2	Variation des lames d'eau moyennes mensuelles	78
III.9.3.3	variation des lames d'eau saisonnières	79
III.9.3.4	Variation des lames d'eau écoulées journalières	79
III.10	Conclusion	80
<b>Chapitre IV : ETUDE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE</b>		
IV.1	Introduction	81
IV.2	Caractérisation de la sécheresse	81
IV.2.1	Définitions de la sécheresse	81
IV.2.2	Type de sécheresse	81
IV.2.2.1	Sécheresse météorologique	81
IV.2.2.2	Sécheresse hydrologique	81
IV.2.2.3	Sécheresse agricole	81
IV.2.2.4	Sécheresse socio-économique	81
IV.2.2	Méthode de caractérisation de la sécheresse	82
IV.2.2.1	Indice standardisé de précipitation « SPI »	82
IV.2.2.2	Indice SSFI	84
IV.2.2.3	Effective Drought Index « EDI »	85

IV.2.2.4	Déciles des précipitations	87
IV.2.2.5	Indice de Reconnaissance de sécheresse (RDI)	88
IV.2.2.6	Rapport à la normale des précipitations (RN)	89
IV.2.2.7	Indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale (En)	90
IV.2.2.8	Indice de sécheresse des débits (ISD)	91
IV.2.2.9	Indice logarithme décimal des déviations hydrologiques (ILDH)	92
IV.2.2.10	Indice d'humidité disponible pour les cultures (CMI - Crop Moisture Index)	93
IV.2.2.11	Indice de continentalité pluviométrique d'Angot (1906)	94
IV.2.2.12	Indice de continentalité thermique de Gorczinski (1920) (modifié Daget 1968)	95
IV.3	Comparaison de certains indicateurs météorologiques et hydrologiques	95
IV.3.1	SPI et SSFI	95
IV.3.2	RDI et ISD	96
IV.4	Corrélation entre indices	96
IV.5	Conclusion	98
<b>Chapitre V : IMPACT DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LA RESSOURCE EN EAUX SUPERFICIELLES</b>		
IV.1	Introduction	99
IV.2	Présentation de khronostat	99
IV.3	Manipulation du Khronostat	99
IV.4	Tests statistiques appliquées dans cette étude	100
IV.4.1	Test d'A.N. PETTITT	100
IV.4.2	Test de segmentation de P.HUBERT	101
IV.4.3	Méthode bayésienne d'A.F.S LEE et S.M. HEGHINIAN	101
IV.4.4	Statistique U de Buishand	101
IV.5	Résultats et discussions	102
IV.5.1	Analyse des précipitations	102
IV.5.1.1	A l'échelle annuelle	102
IV.5.1.2	A l'échelle périodique	104
IV.5.1.3	A l'échelle saisonnière	106
IV.5.1.4	A l'échelle mensuelle	108
IV.5.2	Analyse des lames d'eau écoulées	113
IV.5.2.1	A l'échelle annuelle	113
IV.5.2.2	A l'échelle périodique	116
IV.5.2.3	A l'échelle saisonnière	117
IV.5.2.4	A l'échelle mensuelle	120
IV.5.3	Analyse des températures	122
IV.5.3.1	A l'échelle annuelle	122
IV.5.3.2	A l'échelle périodique	123
IV.5.3.3	A l'échelle saisonnière	126
IV.5.3.4	A l'échelle mensuelle	129
IV.6	Conclusion	135
Conclusion Générale		136
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>		
<b>ANNEXES</b>		

## *Liste des abréviations*

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques

**B.V** : Bassin versant

**C<sub>ir</sub>** : Coefficient d'irrégularité

**CMI** : Indice climatique d'humidité

**C<sub>T</sub>** : Coefficient de torrentialité

**D<sub>d</sub>** : Densité de drainage

**Drinc** : Drought indice calculator

**D<sub>s</sub>** : Dénivelée spécifique

**EDI** : Effective Drought index

**EP<sub>1</sub>** : Précipitation efficace

**ETP** : Evapotranspiration potentielle

**ETR** : Evapotranspiration réelle

**F<sub>s</sub>** : Fréquence des cours d'eau

**GIEC** : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

**H<sub>max</sub>** : Altitude maximale

**H<sub>med</sub>** : Altitude médiane

**H<sub>min</sub>** : Altitude minimale

**H<sub>moy</sub>** : Altitude moyenne

**HYFRAN**: Hydrology Frequency Analysis

**I** : Indice climatique de De.Martone

**i** : Indice d'aridité mensuelle

**I** : Infiltration

**I<sub>a</sub>** : Indice de continentalité pluviométrique d'Angot

**I<sub>G</sub>** : Indice de pente global

**I<sub>M</sub>** : Indice annuel de Moral

**I<sub>m</sub>** : Indice mensuel de Moral

**I<sub>moy</sub>** : Pente moyenne

**I<sub>p</sub>** : Indice de pente de Roche

**IDP** : Indice de déficit pluviométrique

**ILDH** : Indice logarithme décimal des déviations hydrologiques

**ISD** : Indice de sécheresse des débits

**IPCC** : Intergouvernemental Panel on Climate Change

**K<sub>c</sub>** : Indice de compacité de Graveleuse

**K'** : Indice de continentalité thermique de Gorczinski

**MEP** : moyennes des précipitations efficaces

**OMM** : Organisation météorologique mondiale

**ONM** : Office National de Météorologie

**ONG** : Organisation non gouvernementale

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

**PNUD** : Programme des Nations unies pour le développement

**Q<sub>2</sub>** : Quotient pluviométrique d'Emberger.

**R** : Ruissellement

**R<sup>2</sup>** : Coefficient de détermination

**R<sub>a</sub>** : Rapport des aires

**R<sub>c</sub>** : Rapport de confluence

**R<sub>ci</sub>** : Coefficient de circularité

**R<sub>f</sub>** : Facteur de forme

**R<sub>l</sub>** : Rapport des longueurs

**RDI** : Indice de reconnaissance de sécheresse

**RFU** : Réserve facilement utilisable

**RN** : Rapport à la normale des précipitations

**SPI** : Indice standardisé de précipitations

**SSFI** : Standardized stream flow index

**T<sub>c</sub>** : Temps de concentration des eaux

**UNISDR** : Bureau des Nations pour la rédaction des risques de déserte

**χ<sup>2</sup>** : Test de Khi deux.

**Σ** : Somme

**δ** : Ecart type

**σ<sup>2</sup>** : Variance

## *Liste des figures*

Figure I.1	Système climatique	5
Figure I.2	Anomalies annuelles de la température globale (1850 -2015)	7
Figure I.3	Changement de température globale observé et modélisé, réponses aux voies d'émission anthropiques et de forçage	8
Figure I.4	Moyenne annuelle des précipitations (mm/jour) pendant la période (1979-2014) estimé par MERRA	9
Figure I.5	Neige sur les dunes du désert enregistrée en Janvier 2017	10
Figure I.6	Sécheresse, le barrage Taksber en novembre 2017	10
Figure I. 7	Contribution des différents gaz à effet de serre en 2000	12
Figure I.8	Effet de serre	12
Figure I.9	Réchauffement enregistré entre 1960 et 2004	14
Figure II.1	Codes et noms des bassins versants de l'Algérie	16
Figure II.2	Situation géographique du bassin versant de la Tafna	17
Figure II.3	Situation géographique du bassin de la Tafna dans l'ensemble Oranie-Chott Chergui	17
Figure II.4	Sous bassins de la Tafna	18
Figure II.5	Réseau hydrographique	19
Figure II.6	Situation géographique du secteur d'étude	20
Figure II.7	Représentation graphique du rectangle équivalent du bassin versant de l'Oued Boukiou	23
Figure II.8	Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Boukiou	25
Figure II.9	Histogramme des fréquences altimétriques du bassin versant d'oued Boukiou	25
Figure II.10	Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Boukiou	31
Figure II.11	Droite représentative du nombre de thalwegs en fonction de l'ordre	33
Figure. II.12	Droite représentative du rapport des longueurs en fonction de l'ordre.	34
Figure .II.13	Droite représentative du rapport des aires en fonction de l'ordre	34
Figure II.14	Profil en long du bassin versant de l'Oued Boukiou	36
Figure II.15	Profil en travers du bassin versant de l'Oued Boukiou	37
Figure II.16	Schéma de la chaîne Alpine de l'Algérie nord-occidentale	38
Figure II.17	Cadre géologique du secteur étudié	39
Figure II.18	Carte géologique du bassin d'oued Boukiou	39
Figure II.19	Log synthétique du secteur d'étude	41
Figure III.1	Station hydropluviométrique Dj chouachi	44
Figure III.2	Variation des précipitations annuelles à la station Dj Chouachi (1974/1975 – 2017/2018)	46
Figure III.3	Variation des précipitations moyennes mensuelles (1974/1975-2017/2018)	47
Figure III.4	Variation des précipitations moyennes saisonnières (1974/1975-2017/2018)	47
Figure III.5	Variation des précipitations moyennes journalières (1974/1975-2017/2018)	48
Figure III.6	Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi de distribution <sup>2</sup> normale	50

Figure III.7	Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi de distribution log normale	53
Figure III.8	Variation des températures annuelles à la station Dj Chouachi (1974/1975 – 2017/2018)	55
Figure III.9	Variations des températures moyennes mensuelles(1974/1975-2017/2018)	56
Figure III.10	Variations saisonnières des températures (1974/1975-2017/2018)	57
Figure III.11	Diagramme Ombrothermique de Gausson et Bagnouls à la station de Dj Chouachi (1974/1975-2017/2018)	58
Figure III.12	Abaque de De. Martonne	59
Figure III.13	Climagramme d'Emberger	62
Figure III.14	Abaque de Thornthwaite	64
Figure III.15	Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de Wundt)	65
Figure III.16	Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de Verdeil)	66
Figure III.17	Variation des débits annuels à la station Dj Chouachi (1974/1975 – 2013/2014)	70
Figure III.18	Variation des débits mensuels (1974/1975-2013/2014)	70
Figure III.19	Variation des pourcentages des débits saisonniers (1974/1975 - 2013-2014)	71
Figure III.20	Variation des débits saisonniers (1974/1975-2013/2014)	71
Figure III.21	Variation des débits moyens journaliers (1974/1975-2013/2014)	72
Figure III.22	Ajustement graphique des débits annuels à la loi de distribution normale	74
Figure III.23	Ajustement graphique des débits annuels à la loi de distribution log normale	75
Figure III.24	Variation des lames d'eau annuelles à la station Dj Chouachi (1974/1975 – 2013/2014)	78
Figure III.25	Variations des lames d'eau mensuelles (1974/1975-2013/2014)	78
Figure III.26	Variations saisonnières des lames d'eau (1974/1975-2013/2014)	79
Figure III.27	Variation des lames d'eau moyenne journalière (1974/1975-2013/2014)	80
Figure IV.1	Relations entre les différents types de sécheresse	82
Figure IV.2	l'évolution de l'indice SPI à l'échelle annuelle (1974/1975-2013/2014) de la station Dj Chouachi	84
Figure IV.3	l'évolution de l'indice SSFI à l'échelle annuelle (1974/1975-2013/2014) de station Dj Chouachi	85
Figure IV.4	Comparaison entre SPI et EDI pour la station Dj Chouachi (1974/1975 -2013/2014)	86
Figure IV.5	comparaison des RDI st et SPI pour la station Dj Chouachi avec une période (1974/1975 -2013/2014)	89
Figure IV.6	l'évolution de l'indice RN à l'échelle annuelle (1974/1975-2013/2014) de la Station Dj Chouachi	90
Figure IV.7	l'évolution de l'indice IDP à l'échelle annuelle (1974/1975-2013/2014) de la station Dj Chouachi	91
Figure IV.8	l'évolution de l'indice ISD à l'échelle annuelle (1974/1975-2013/2014) de la station Dj Chouachi	92

Figure IV.9	l'évolution de l'indice ILDH à l'échelle annuelle (1974/1975-2013/2014) de la station Dj Chouachi	93
Figure IV.10	l'évolution de l'indice CMI à l'échelle annuelle (1974/1975-2013/2014) de la station Dj Chouachi	94
Figure IV.11	Comparaison des SPI et SSFI pour la station Dj Chouachi (1974/1975 -2013/2014)	96
Figure IV.12	Comparaison des RDI st et ISD pour la station Dj Chouachi (1974/1975 2013/2014)	96
Figure IV.13	Corrélation des indices de station Dj Chouachi a l'échelle annuelle (1974/1975)-(2013/2014)	97
Figure V.1	Manipulation du logiciel Khronostate	100
Figure V.2	Evolution de la variable U du test de PETTITT des précipitations annuelles	102
Figure V.3	Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori De la Position D'un changement des précipitations annuelles (Dj. Chouachi)	103
Figure V.4	Ellipses de contrôle des précipitations annuelles	104
Figure V.5	Evolution de la variable U du test de PETTITT des précipitations au cours des Périodes humide et sèche	104
Figure V.6	Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position D'un changement des précipitations périodiques (Dj. Chouachi)	105
Figure V.7	Ellipses de contrôle des précipitations périodiques	106
Figure V.8	Evolution de la variable U du test de PETTITT des précipitations Saisonnières	107
Figure V.9	Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position D'un changement des précipitations saisonnières. (Dj. Chouachi)	107
Figure V.10	Ellipses de contrôle des précipitations saisonnières	108
Figure V.11	Evolution de la variable U du test de PETTITT des précipitations Mensuelles	110
Figure V.12	Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position D'un changement des précipitations mensuelles. (Dj. Chouachi)	111
Figure V.13	Ellipses de contrôle des précipitations mensuelles	113
Figure V.14	Evolution de la variable U du test de PETTITT des lames d'eau Annuelles	114
Figure V.15	Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position D'un changement des lames d'eau annuelles (Dj. Chouachi)	115
Figure V.16	Ellipses de contrôle des lames d'eau annuelles	116
Figure V.17	Evolution de la variable U du test de PETTITT des lames d'eau au cours des Périodes humide et sèche	116
Figure V.18	Evolution de la variable U du test de PETTITT des lames d'eau saisonnières	118
Figure V.19	Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position D'un changement des lames d'eau saison d'hiver. (Dj. Chouachi)	118

Figure V.20	Ellipses de contrôle des lames d'eau saison d'hiver	119
Figure V.21	Evolution de la variable U du test de PETTITT des lames d'eau Mensuelles	121
Figure V.22	Evolution de la variable U du test de PETTITT des températures annuelles	123
Figure V.23	Evolution de la variable U du test de PETTITT des températures au cours des Périodes humide et sèche	124
Figure V.24	Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position d'un changement des températures période humide (Dj. Chouachi).	125
Figure V.25	Ellipses de contrôle des températures période humide	126
Figure V.26	Evolution de la variable U du test de PETTITT des températures Saisonnières	126
Figure V.27	Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position d'un changement des températures saisonnières. (Dj. Chouachi)	127
Figure V.28	Ellipses de contrôle des températures saisonnières	128
Figure V.29	Evolution de la variable U du test de PETTITT des températures mensuelles	130
Figure V.30	Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori De la Position D'un changement des températures mensuelles. (Dj. Chouachi)	132
Figure V.31	Ellipses de contrôle des températures mensuelles	134

## *Liste des tableaux*

Tableau I.1	Eléments d'une classification génétique de climat	4
Tableau II.1	Caractéristique de forme du bassin versant de l'Oued Boukiou	22
Tableau II.2	Répartition hypsométrique du bassin versant de l'Oued Boukiou	24
Tableau II.3	Altitude moyenne par rapport à une classe d'altitude donnée	27
Tableau II.4	Altitudes caractéristiques du bassin versant d'oued Boukiou	27
Tableau II.5	Classification du relief selon O.R.S.T.O.M	29
Tableau II.6	Classification du relief selon la dénivelée spécifique (O.R.S.T.O.M)	29
Tableau II.7	Valeurs des indices de pente et reliefs du sous bassin d'oued Boukiou	29
Tableau II.8	Classification des bassins versants selon leur superficie	30
Tableau II.9	Paramètres morphométriques du bassin de l'Oued Boukiou	32
Tableau II.10	Rapport de confluence du bassin d'oued Boukiou	32
Tableau II.11	Rapport de longueur du bassin d'oued Boukiou	33
Tableau II.12	Rapport des aires du bassin d'oued Boukiou	34
Tableau II.13	Distribution du couvert végétal dans le bassin d'oued Boukiou	42
Tableau II. 14	Caractéristiques morphométriques du bassin versant d'oued Boukiou	43
Tableau III.1	Caractéristiques de la station Dj Chouachi	44
Tableau III.2	Précipitations moyennes annuelles (mm) (1974/1975 – 2017/2018)	45
Tableau III.3	Valeurs moyennes mensuelles des précipitations (1974/1975-2017/2018)	46
Tableau III.4	Répartition des précipitations saisonnières	47
Tableau.III.5	Distribution des précipitations moyenne annuelle en terme croissant de la station de Dj. Chouachi sur la période (1974-1975 / 2017-2018)	49
Tableau III.6	Paramètres de position et de dispersion des précipitations par la loi normale	50
Tableau III.7	Résultats du $\chi^2$ par la loi log normale	51
Tableau III.8	distribution des précipitations calculées à l'aide du log népérien de la station de Djebel Chouachi(1974/1975-2017/2018)	52
Tableau III.9	Paramètres de position et de dispersion des précipitations par la loi log normale	52
Tableau III.10	Résultats du $\chi^2$ par la loi log normale	53
Tableau III.11	Comparaison entre $\chi^2$ calculé et $\chi^2$ tabulé	54
Tableau III.12	Calcul des précipitations pour une période de récurrence donnée Avec la loi log normale et la loi normale	54
Tableau III.13	Températures moyennes annuelles (°C) (1974/1975 – 2017/2018)	55
Tableau III.14	Valeurs des températures moyennes mensuelles à la station de Dj chouachi	56
Tableau III.15	Valeurs moyennes saisonniers des températures	56
Tableau III.16	Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station Djchouachi.(1974/1975-2017/2018)	57
Tableau.III.17	Humidité du Sol	58
Tableau.III.18	Classification du climat suivant l'indice d'aridité de De. Martonne	59
Tableau III.19	Valeurs des indices d'aridité mensuel de De. Martonne	60

Tableau III.20	Calcul d'indice de Kerner	60
Tableau III.21	Calcul des indices mensuels de Moral	61
Tableau III.22	Types de mois indiqués par Moral	61
Tableau III.23	Poids effecté à chaque type de mois	61
Tableau III.24	Indice d'Emberger	62
Tableau III.25	Calcul et correction des valeurs de l'ETP à la station Djebel Chouachi(1974/1975-2017/2018)	63
Tableau III.26	Calcul d'ETR par la méthode de Turc	65
Tableau III.27	Valeur du déficit et du quotient d'écoulement (Wundt)	65
Tableau III.28	Valeur du déficit d'écoulement (Verdeil)	66
Tableau III.29	Valeurs de C-F (%) en fonction de la nature du sol	67
Tableau.III.30	Eléments du bilan hydrologique calculés (mm) pour la station De Dj Chouachi (1969/1970-2012/2013) pour (R.U = 90 mm)	67
Tableau III.31	Valeur du ruissellement (Tixeront – Berkaloff)	68
Tableau III.32	Valeurs de l'infiltration selon les différentes méthodes	68
Tableau III.33	Débits moyens annuels (m <sup>3</sup> /s) (1974/1975 – 2013/2014)	69
Tableau III.34	Valeurs mensuelles des débits (1974/1975-2013/2014)	70
Tableau III.35	Répartition des débits saisonniers	71
Tableau.III.36	Distribution des débits annuelles en terme croissant de la Station de Dj. Chouachi sur la période de 1974-1975 / 2013-2014	73
Tableau III.37	Paramètres de position et de dispersion des débits	73
Tableau III.38	Résultats du $\chi^2$ par la loi normale	74
Tableau III.39	Paramètres de position des débits par la loi log normale	75
Tableau III.40	Résultats du $\chi^2$ par la loi log normale	76
Tableau III.41	Comparaison entre $\chi^2$ calculé et $\chi^2$ tabulé	76
Tableau III.42	Calcul des débits pour une période de récurrence donnée	76
Tableau III.43	lames d'eau annuelles (mm) (1974/1975 – 2013/2014)	77
Tableau III.44	Valeurs des lames d'eau mensuelle (mm) de la station de Dj chouachi	78
Tableau III.45	Valeurs saisonniers des lames d'eau	79
Tableau IV.1	Catégories de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs du SPI et du SSFI	83
Tableau IV.2	Fréquences (en %) des classes de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) de la station de Dj. Chouachi (1974/1975-2013/2014)	84
Tableau IV.3	Fréquences (en %) des classes de SSFI de la station de Dj. Chouachi (1974/1975-2013/2014)	85
Tableau IV.4	Catégories de sécheresse définies par les valeurs de l'EDI	86
Tableau IV.5	Fréquences (en %) des classes de l'EDI de la station de Dj. Chouachi (1974/1975-2013/2014)	87
Tableau IV.6	la description des déciles	87
Tableau IV.7	Déciles des précipitations de station Dj chouachi (1974/1975)-(2013/2014)	88
Tableau IV.8	Fréquences (en %) des classes de l'IDP de la station de Dj. Chouachi	90
Tableau IV.9	Fréquences (en %) des classes de l'ISD de la station de Dj. Chouachi (1974/1975-2013/2014)	92
Tableau IV.10	Classification des séquences de sécheresse selon l'ILDH	92

Tableau IV.11	Fréquences (en %) des classes de l'ILDH de la station de Dj. Chouachi (1974/1975-2013/2014)	93
Tableau.IV.12	Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur du Climatic Moisture Index (CMI)	94
Tableau.IV.13	Fréquences (en %) des classes de CMI a l'échelle annuelle (1974/1975-2013/2014)	94
Tableau IV.14	coefficient de corrélation des indices	97
Tableau V.1	Résultats du test de Pettitt des précipitations annuelles	102
Tableau V.2	Résultats du test de Lee et Heghinian des précipitations annuelles	103
Tableau V.3	Résultat de Segmentation d'Hubert des précipitations annuelles De la station de Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014)	103
Tableau V.4	Résultats du test de Pettitt des précipitations périodiques	105
Tableau V.5	Résultats du test de Lee et Heghinian des précipitations périodiques	105
Tableau V.6	Résultat de Segmentation d'Hubert des précipitations périodiques de la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014)	106
Tableau V.7	Résultats du test de Pettitt des précipitations saisonnières	107
Tableau V.8	Résultats du test de Lee et Heghinian des précipitations saisonnières	107
Tableau V.9	Résultat de Segmentation d'Hubert des précipitations saisonnières De la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014)	108
Tableau V.10	Résultats du test de Pettitt des précipitations mensuelles	110
Tableau V.11	Résultats du test de Lee et Heghinian des précipitations mensuelles	110
Tableau V.12	Résultat de Segmentation d'Hubert des précipitations mensuelles de la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014)	112
Tableau V.13	Résultats du test de Pettitt des lames d'eau annuelles	114
Tableau V.14	Résultats du test de Lee et Heghinian des lames d'eau annuelles	114
Tableau V.15	Résultat de Segmentation d'Hubert des lames d'eau annuelles De la station de Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014)	115
Tableau V.16	Résultats du test de Pettitt des lames d'eau périodiques	116
Tableau V.17	Résultat de Segmentation d'Hubert des lames d'eau périodiques De la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014)	117
Tableau V.18	Résultats du test de Pettitt des lames d'eau saisonnières	118
Tableau V.19	Résultats du test de Lee et Heghinian des précipitations saison D'hiver	118
Tableau V.20	Résultat de Segmentation d'Hubert des précipitations saisonnières De la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014)	119
Tableau V.21	Résultats du test de Pettitt des lames d'eau mensuelles	121
Tableau V.22	Résultat de Segmentation d'Hubert des lames d'eau mensuelles De la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014)	122
Tableau V.23	Résultats du test de Pettitt des températures annuelles	123
Tableau V.24	Résultat de Segmentation d'Hubert des précipitations annuelles De la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).	123
Tableau V.25	Résultats du test de Pettitt des températures périodiques	124
Tableau V.26	Résultats du test de Lee et Heghinian des températures périodiques	124
Tableau V.27	Résultat de Segmentation d'Hubert des températures périodiques De la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014)	125
Tableau V.28	Résultats du test de Pettitt des températures saisonnières	127
Tableau V.29	Résultats du test de Lee et Heghinian des températures saisonnières	127

Tableau V.30	Résultat de Segmentation d'Hubert des températures saisonnières De la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014)	128
Tableau V.31	Résultats du test de Pettitt des températures mensuelles	130
Tableau V.32	Résultats du test de Lee et Heghinian des températures mensuelles	131
Tableau V.33	Résultat de Segmentation d'Hubert des températures mensuelles De la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014)	133

# Introduction générale

## **Introduction générale**

La ressource en eau a toujours été un enjeu pour les civilisations humaines. Ces dernières décennies, la difficulté de la gestion de la ressource en eau est reconnue par les Etats comme une problématique essentielle. Face au changement climatique, et à l'augmentation de la pression anthropique, cette problématique a pris d'avantage d'importance.

Aujourd'hui, la variabilité climatique est une réalité qui s'affirme avec des impacts notables sur les ressources en eau au moment où la demande devient de plus en plus prégnante.

A l'échelle régionale, la zone méditerranéenne a subi des variations climatiques sans précédent durant les cinq derniers siècles, caractérisées par des tendances décroissantes de la pluviométrie et des débits des rivières et des tendances d'augmentation des températures. (Djellouli, 2017). L'Algérie en est un. Elle est évaluée à un manque d'eau important dû à la semi-aridité de son territoire, aux faibles précipitations, et à la sécheresse qui sévit d'année en année face à des besoins qui ne cessent d'augmenter. (Otmane, 2019).

Dans ce contexte, le bassin versant d'Oued Boukiou situé au Nord ouest de la ville de Tlemcen, caractérisé par un régime climatique semi-aride et un écoulement temporaire, a fait l'objet de cette étude, durant la période qui se prolonge de 1974/1975 – 2013/2014, il a connu des différentes manifestations de sécheresse.

L'objectif principal du présent mémoire consiste à analyser et caractériser la variabilité climatique et ses conséquences (la sécheresse) par :

- Utilisation des indices de sécheresse pour caractériser ce phénomène.
- Détection des ruptures ou des tendances dans les variables hydro-pluviométriques.

Ce travail s'articule autour de 5 chapitres :

- **Chapitre 1** : présente une synthèse générale sur les changements et la variabilité climatique dans le monde et en Algérie.
- **Chapitre 2** : aborde une présentation des caractéristiques du bassin versant d'Oued Boukiou (situation géographique, étude morphométrique et étude géologique).

- **Chapitre 3** : traite l'étude climatique et hydrologique du bassin versant d'Oued Boukiou.
- **Chapitre 4** : s'intéresse à l'étude de la variabilité par l'utilisation d'un ensemble d'indices caractéristiques de la sécheresse.
- **Chapitre 5** : cible l'impact de la variabilité climatique sur la ressource en eaux superficielles par l'utilisation des tests statistiques qui permettent d'identifier les ruptures et caractériser l'homogénéité.

Et enfin une Conclusion Générale dans laquelle sera présenté une synthèse des résultats obtenus dans cette étude.

# Chapitre I

Synthèse sur la variabilité climatique

## I.1- Introduction

L'eau est au cœur des changements climatiques. C'est par ce vecteur, notamment au travers des évolutions du cycle hydrologique, que les effets du changement climatique se feront le plus percevoir. Il est donc vital d'avoir une connaissance précise de ces changements, afin d'en cerner les enjeux et d'y apporter les réponses adéquates.

Dans ce chapitre nous nous intéressons à la définition des concepts importants du climat, plus spécifiquement, les principaux éléments d'intérêt en lien avec la problématique de changement climatique y sont traités dans le but d'établir l'état des connaissances sur les variations climatiques.

## I.2- Le climat

Selon la définition de l'Organisation météorologique mondiale (O.M.M.), le climat est la *"synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère"*.

Le climat est l'ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée intégrées au long terme. La nature des climats a un rôle essentiel pour ajuster les caractéristiques écologiques des écosystèmes continentaux. (Goudjil & Sid Rouhou, 2015)

## I.3- Classification climatique

Bien que les différences de climat à la surface du globe soient évident, il est difficile d'en établir la classification, et cela pour trois raisons principales.

L'une est qu'il est difficile de choisir des critères généraux pour définir des climats, les moyennes annuelles de température ou de précipitations insuffisantes, la variabilité pouvant différer notablement pour une même moyenne. La variabilité elle-même est difficile à définir simplement : des séries de précipitations ou de température peuvent avoir une même variabilité alors que leurs valeurs extrêmes peuvent s'appliquer à des moments différents de l'année.

Une autre est qu'il n'existe pas de limite nette entre les climats de zones voisines et qu'il est par conséquent souvent arbitraire d'en tracer une.

La troisième est que la définition de climats régionaux est insuffisante dans bien des problèmes pratiques, lequel se posent généralement dans les quelques mètres au-dessus du sol et donc dans le domaine des climats locaux ou des microclimats qui peuvent différer notablement dans des localités très voisines.

Nous donnons ci-dessous, les éléments d'une classification génétiques des climats. Ses grandes déviations font référence à la circulation atmosphérique, les correspondances approximatives avec les zones de végétation (biomes) sont indiquées. (Foucault, 2016)

Tableau I.1 : Eléments d'une classification génétique de climat (Foucault, 2016)

<b>Climats zonaux</b>	<b>Principaux types de climat</b>	<b>Biomes principaux</b>
<b>Climats des basses pressions intertropicales</b>	Climats intertropicaux	Forêt pluviale
	Climats subtropicaux	savane
<b>Climats des hautes pressions subtropicales</b>	Climats arides	Déserts, steppes tropicales
	Climats méditerranéens	Arbustes à feuilles persistantes
<b>Climat des basses pressions tempérées</b>	Climats tempérés tièdes	Forêts caducifoliées
	Climats tempérés froids	Forêts de résineux
<b>Climats des hautes pressions polaires</b>	Climats subpolaires	Toundra
	Climats des glaces	Pas de végétation

#### I.4- Climatologie

La Climatologie est l'étude du climat, de ses variations et de son impact sur diverses activités dont (sans exhaustivité) celles qui affectent la santé humaine, la sécurité et le bien-être. En un sens restreint, le climat peut être défini comme le temps qu'il fait en moyenne. En un sens plus large, c'est l'état du système climatique. Le climat peut être décrit en termes de description statistique de la tendance centrale et de la variabilité d'éléments pertinents comme la température, les précipitations, les vents ou au travers d'une combinaison d'éléments comme les types de temps caractéristiques d'un lieu, d'une région ou du monde pour une période de temps déterminée. (O.M.M., 1990)

#### I.5- Système climatique

Le système climatique de la Terre se compose d'éléments en interaction complexe. L'élément moteur est le Soleil, dont l'énergie réchauffe la Terre. Cette énergie est à l'origine de la circulation atmosphérique et océanique ainsi que des processus d'évaporation et de précipitation qui font partie du cycle de l'eau. En plus de l'atmosphère et des océans, le système climatique englobe les eaux douces, les plantes, les animaux, les couvertures de glace et de neige, les masses terrestres et même la croûte terrestre (fig.I.1) (Askar & Tifrane, 2018)

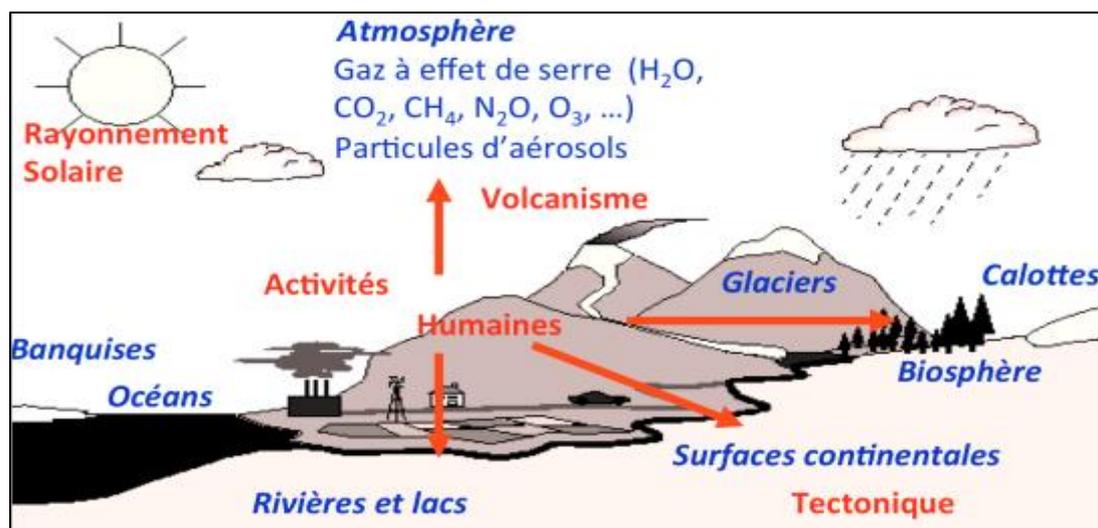


Figure I.1 : Système climatique (Serge, 2015)

## I.6- Facteurs climatiques

La connaissance des facteurs climatiques (pluviométrie, température...) est indispensable pour quantifier les ressources en eau et déterminer la part de l'eau qui s'infiltré. (Bouleglem, 2015)

Par rapport au climat, les facteurs climatiques sont des facteurs écologiques liés aux circonstances atmosphériques et météorologiques dans une région donnée. Le facteur climatique intervient dans un biome qui est principalement caractérisé par le climat, en particulier par les températures et les précipitations.

### I.6.1- Latitude

La latitude d'un point sur la Terre correspond à la distance angulaire qui sépare ce point de l'équateur. La latitude de l'équateur est donc de  $0^\circ$ . Les autres latitudes se comptent entre  $0$  et  $90^\circ$ , Nord ou Sud, selon l'hémisphère dans lequel on se trouve. (Autissier et al., 2019)

### I.6.2- Masses d'airs et les vents

Une masse d'air regroupe un ensemble de particules aux propriétés physiques identiques. Une masse d'air peut s'étendre sur une surface supérieure à 1 million de  $km^2$ , les trajectoires horizontales de ces particules n'influencent pas le mouvement de l'air.

Si un volume d'air reste suffisamment longtemps dans un endroit, il prendra quelques unes des caractéristiques de cet endroit.

Il y a 4 types de masse d'air :

- Maritime tropical : désigne les masses d'air froid et humide qui caractérise les zones polaires.
- Maritime polaire : désigne les masses d'air froid et humide qui caractérise les zones polaires.
- Continental arctique : est une masse d'air froid influencée par la terre froide.

- Continental tropical : est la masse d'air chaud et sec qui caractérise les déserts.

Le déplacement des masses d'airs influence le climat et la rencontre de deux masses d'air peut donner une tempête. (Kouidri, 2012)

### **I.6.3- Courants marins**

Les mers et les océans jouent un rôle très important sur le climat des régions. La surface de la planète est constituée de 71% d'eau, les 29% restants constituent les terres fermes. La masse d'eau qui recouvre la Terre joue un rôle capital dans le climat. Le chauffage inégal dans le temps et l'espace ainsi que la rotation de la Terre sont à l'origine des mouvements complexes de l'eau que l'on peut observer dans les océans. Ces mouvements vont avoir des répercussions sur le climat des régions côtières. (Déchamps, 2019)

### **I.6.4- Altitude**

L'altitude est la hauteur d'un lieu par rapport au niveau de la mer. Plus on monte, plus la température et la pression atmosphérique baissent et influencent directement les précipitations. En moyenne, à la montagne la température baisse de 0,6 °C tous les 100 mètres. (Timbert, 2018)

### **I.6.5- Continentalité et proximité à l'océan**

La continentalité détermine notamment l'amplitude annuelle de température de l'air entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud : elle est d'autant plus grande que le lieu considéré est éloigné de toute zone océanique. Au-dessus des océans, les interactions de ceux-ci avec l'atmosphère s'exercent de la façon suivante : les mouvements atmosphériques sont à l'origine de la houle en haute mer et contribuent aussi à l'évaporation, en contrepartie, les masses océaniques jouent un rôle de régulateur thermique vis-à-vis de l'atmosphère et contrôlent les échanges de chaleur avec cette dernière. Ainsi, l'hiver, les franges côtières des continents connaissent une température plus douce que les zones de l'intérieur, où le déficit radiatif hivernal entraîne un refroidissement des masses d'air d'autant plus prononcé que leur trajet est continental. L'effet de régulation de l'océan joue en sens inverse sur les températures en été : sa proximité limite la hausse des températures. (Kouidri S., 2012)

## **I.7- Variabilité climatique**

La variabilité climatique désigne des variations de l'état moyen et d'autres statistiques (écarts standards, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques ou naturels (variabilité externe). (Abdelhafid, 2014)

### I.7.1- Variabilité à l'échelle mondiale

Dû au nombre croissant de mesure discrets une série de changements climatiques sont maintenant bien documentés. Les indicateurs de température et les indicateurs hydrologiques aident à la certitude des changements.

#### I.7.1.a- Température

La tendance observée lors de la phase de hausse thermique de la fin du XX<sup>ème</sup> siècle montre que la température augmente presque partout excepté sur quelques secteurs très précis dans les océans de l'hémisphère sud et en quelques points de l'hémisphère nord. La hausse est particulièrement marquée sur le centre de l'Amérique du Nord, le Nord-Est de l'Europe et l'Est de l'Eurasie, mais moins importante dans la zone tropicale. Ceci signifie que l'augmentation moyenne observée au niveau planétaire est à nuancer dans l'espace, et qu'elle ne représente pas parfaitement l'évolution thermique de chaque région du globe, puisqu'il existe des différences aux échelles spatiales plus fines. (Fig. I.2 & I.3). (Baghdadli, 2014)

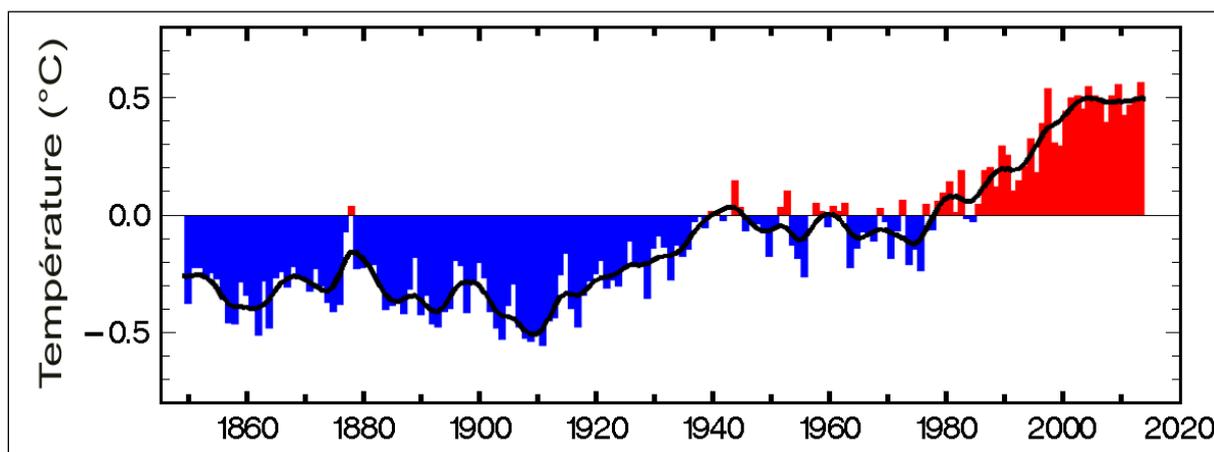


Figure I.2 : Anomalies annuelles de la température globale (1850 -2015) (Jones et al., 2016)

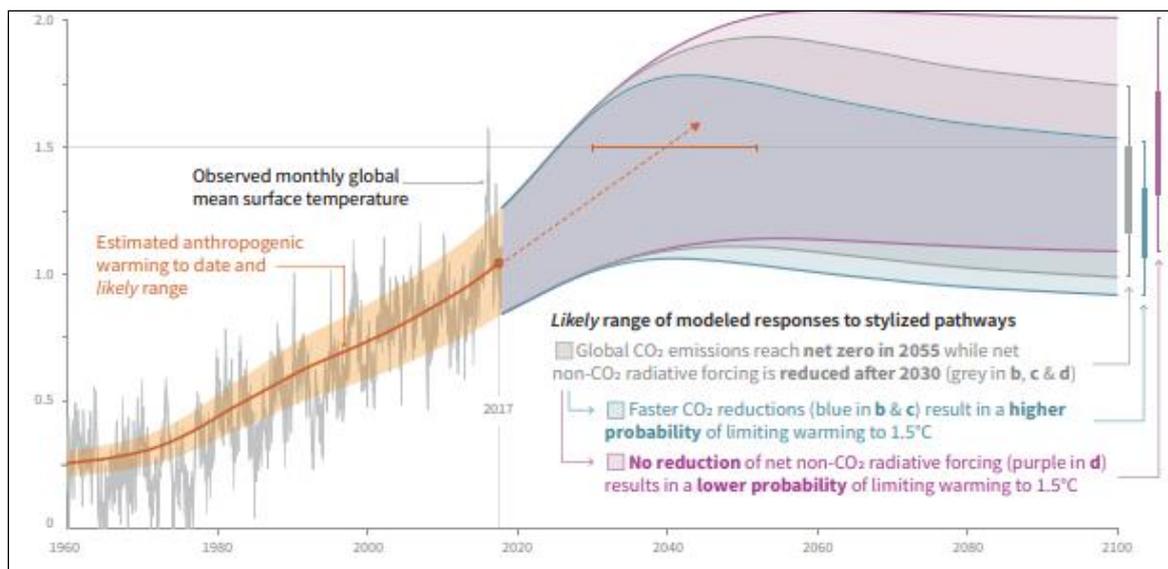


Figure I.3 : Changement de température globale observé et modélisé, réponses aux voies d'émission anthropiques et de forçage (IPCC., 2018)

### I.7.1.b- Précipitations et humidité atmosphérique

Entre 1900 et 2005, les précipitations ont fortement augmenté dans l'Est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le Nord de l'Europe et dans le Nord et le centre de l'Asie, tandis qu'elles enregistrent une diminution au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de la l'Asie du Sud. Il apparaît que la sécheresse a progressé à l'échelle du globe depuis les années 1970. (Fig. I.4) (Taibi S., 2011 *in* Benyettou & Boukhlikha, 2017).

Les journées froides, les nuitées froides et le gel ont été moins fréquents sur la plus grande partie des terres émergées (50ans) et que le nombre de journées chaudes et de nuitées chaudes a au contraire augmenté : vagues de chaleur sur la majeure partie des terres émergées, fortes précipitations dans la plupart des régions et depuis 1975, élévations extrêmes du niveau de la mer dans le monde entier (Taibi S., 2011 *in* Benyettou & Boukhlikha, 2017).

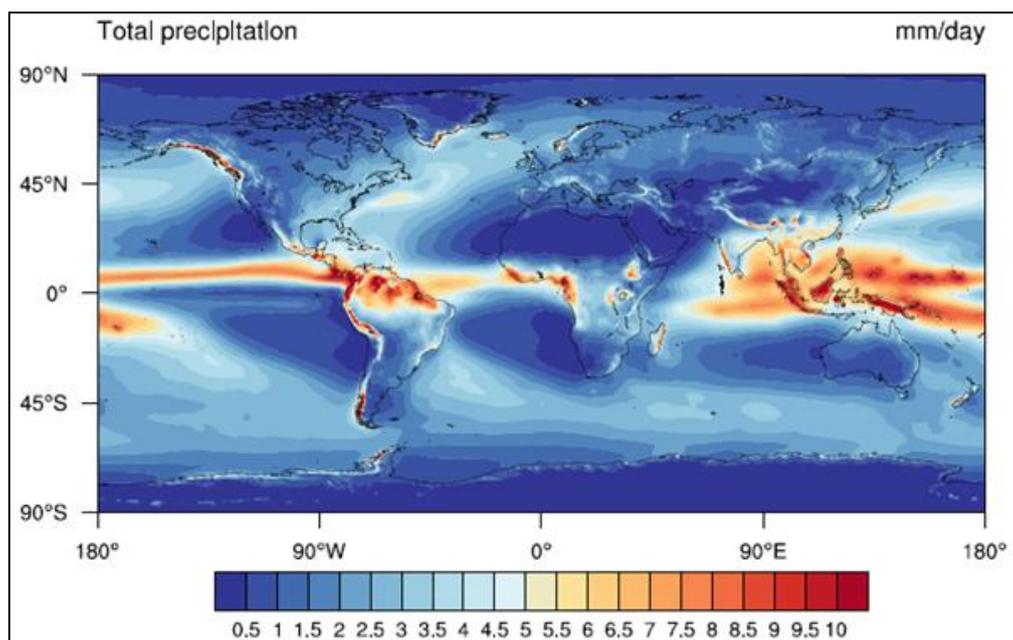


Figure I.4: Moyenne annuelle des précipitations (mm/jour) pendant la période (1979-2014) estimé par MERRA (Rienecker et al, 2017)

### I.7.2-variabilité climatique en Algérie

L'Algérie, pays méditerranéen, glisse vers la semi-aridité et les risques de désertification restent très élevés. Cela présage des conditions naturelles singulièrement plus difficiles qu'aujourd'hui, dont les conséquences commencent à se faire sentir dans beaucoup de régions d'Algérie. Cette nouvelle donnée insinue que toutes les prédictions calculées à partir des données historiques sur le cycle naturel et qui servent de base aux décisions d'investissement dans le secteur de l'hydraulique devraient alors être réétudiées en fonction des nouvelles données du climat. (PNUD, 2009)

#### I.7.2.a- État du climat Algérien (2017).

Nous donnons dans cette partie quelques résultats enregistrés dans notre pays :

- Début de l'année 2017, très froid, avec la survenue d'une vague de froid qui a sévi Durant le mois de Janvier 2017. Cette vague de froid a affecté même les régions du Sud,
- Un été chaud, voire très chaud dans certaines régions,
- Une saison estivale marquée par l'occlusion de plusieurs foyers de feu de forêts Affectant principalement la région Nord-Est,
- Une saison d'automne chaude, Comme celles des dernières décennies et celle en cours (Automnes : 2004, 2006, 2013...etc.).

- Début des pluies tardif pour la plupart des régions de l'Algérie, ce qui a engendré des impacts directs sur l'Agriculture et la Ressource en eau affectant ainsi la disponibilité De l'eau dans les barrages. (O.N.M., 2017)



Figure I.5 : Neige sur les dunes du désert enregistrée en Janvier 2017  
(Askar & Tifrane, 2018)



Figure I.6 : Sécheresse, le barrage Taksber en novembre 2017  
(Askar & Tifrane, 2018)

## I.8- Changement et Réchauffement climatique

### I.8.1- Changement climatique

Changement climatique ou dérèglement climatique, correspond à une modification durable (de la décennie au million d'années) des paramètres statistiques (paramètres moyens, variabilité) du climat global de la Terre ou de ses divers climats régionaux.

Ces changements peuvent être dus à des processus intrinsèques à la Terre, à des influences extérieures ou, plus récemment, aux activités humaines. Dans les travaux du

GIEC3, le terme « changement climatique » fait référence à tout changement dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou aux activités humaines.

Le changement climatique anthropique est le fait des émissions de gaz à effet de serre engendrées par les activités humaines, modifiant la composition de l'atmosphère de la planète. À cette évolution viennent s'ajouter les variations naturelles du climat.

Au contraire, dans la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, le terme désigne les changements dus aux activités humaines. La Convention-cadre utilise le terme « variabilité climatique » pour désigner les changements climatiques d'origine naturelle. (Ait Bennour & Bensidhoum, 2017)

### **I.8.1.a- Causes du changement climatique**

Ces modifications ne sont toutefois pas toutes causées par les êtres humains. Des phénomènes naturels comme les éruptions volcaniques peuvent provoquer des changements soudains dans les systèmes planétaires. Par contre, les bouleversements engendrés par l'espèce humaine peuvent être catastrophiques et avoir des impacts à l'échelle du globe (inondation, sécheresse).

#### **I.8.1.a.1- Causes naturelles susceptibles d'affecter le climat**

Les variations de l'activité solaire, une cause directe de variation climatique, pourrait être expliquée par la variabilité de l'émission solaire. On a montré, il y'a quatre milliards et demi d'années, au moment où naissait le système planétaire, que l'énergie émise par le soleil était environ les 3/4 de sa valeur actuelle.

On peut aussi citer le rôle important que joue la masse océanique dans les interactions océan-atmosphère et qui explique certains phénomènes tel qu'ENSO, et ONA.

Les éruptions volcaniques importantes sont capables d'injecter dans la basse stratosphère d'énorme quantité de poussière, de cendre, de pierres et de vapeur d'eau qui peuvent séjourner pendant plusieurs années, le voile de poussière ainsi formé peut provoquer une décroissance de la température moyenne au sol et une augmentation en altitude. En effet, selon plusieurs spécialistes, le climat du Quaternaire, ère des glaciers serait expliqué par une épaisse couche d'aérosols et de poussière qui a enveloppé le globe. (Askar & Tifrane, 2018)

#### **I.8.1.a.2- Causes artificielles**

Le facteur qui reste le plus préoccupant aujourd'hui est l'influence de l'homme sur le climat, qui tient sa place dans les débats continus sur l'actuel changement climatique survenu sur plusieurs points du globe. (Khaldi, 2005)

##### **➤ Effet de serre**

Ce phénomène est provoqué par la progression des émissions de gaz issus d'activités humaines, on peut en citer :

- ✓ Le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), provenant de la combustion du pétrole et du charbon qui constituent actuellement plus de 65 % des sources d'énergie auxquelles les humains ont recours.
- ✓ Le méthane (CH<sub>4</sub>), issu essentiellement des activités agricoles (fig.I.7).

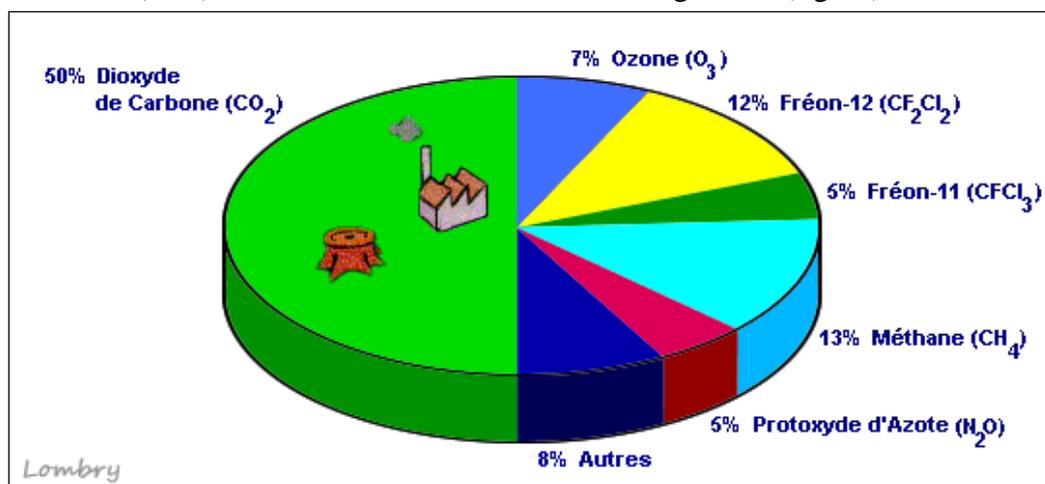


Figure I.7 : Contribution des différents gaz à effet de serre en 2000 (Crowly & North, 1991)

La terre absorbe environ 50 % de l'énergie que lui envoie le soleil. Cette énergie permet à notre planète de se réchauffer. L'atmosphère se présente alors comme un "couvercle" constitué de vapeur d'eau et de gaz. Couvercle indispensable qui agit un peu comme une serre agricole, sans cet effet de serre, la température moyenne de notre planète descendrait à -18 c°, mais les gaz issus des activités de l'homme viennent renforcer et faire grossir cette couverture naturelle. Ce qui a pour résultat une augmentation de la chaleur. C'est probablement l'homme par ses activités industrielles de plus en plus importantes qui accentue le réchauffement de la terre (fig.I.8). (Khaldi, 2005)

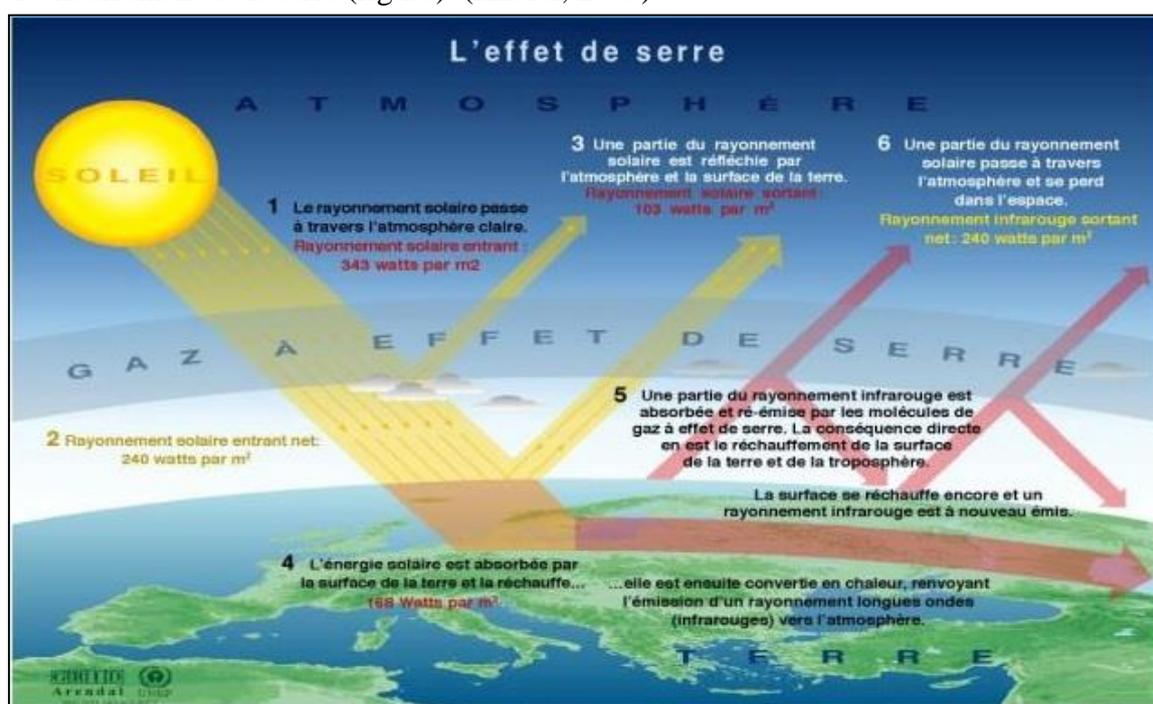


Figure I. 8: Effet de serre (Zenabou Segda, 2013)

### I.8.1.b- Conséquences des changements climatiques

- Augmentation de la température,
- Sécheresse,
- Inondation,
- Feux de brousse,
- Insécurité alimentaire,
- Prolifération des organismes nuisibles,
- Perturbation des écosystèmes,
- Migrations. (Zenabou Segda, 2013)

### I.8.1.c- Risques environnementaux de changements climatiques

Selon le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Evaluation des Changements climatiques) « le réchauffement anthropique de la planète pourrait entraîner certains effets qui sont brusques ou irréversibles, selon le rythme et l'ampleur des changements climatiques ».

- Montée des eaux au niveau des océans engendré par deux phénomènes:  
L'augmentation du volume de l'eau due à son réchauffement (quelques dizaines de centimètres d'ici 2100) et par l'apport d'eau supplémentaire provenant de la fonte des glaciers continentaux et des calottes polaires. Ce dernier phénomène s'étale sur une longue durée.
- Précipitations et foudre : selon le rapport 2007 du GIEC, une augmentation des précipitations aux latitudes élevées est très probable tandis que dans les régions subtropicales, on s'attend à une diminution, poursuivant une tendance déjà constatée. Selon des études publiées en 2007- 2008, à l'horizon 2025, un tiers de la population mondiale pourrait se trouver en état de stress hydrique.
- Dégradation de la qualité de l'air : en particulier via le risque d'une érosion hydrique et éolienne accrue et via un risque aggravé d'incendies de forêt et d'une moindre capacité des milieux à fixer les poussières.

Pour les phénomènes à très long terme: la majorité des climatologues pensent que les phénomènes induits par l'émission des gaz à effet de serre vont se poursuivre et s'amplifier à très long terme. (Ait Bennour & Bensidhoum, 2017)

### I.8.1.d- Changement climatique en Algérie

Le Maghreb a été identifié comme une zone particulièrement vulnérable face aux risques liés au changement climatique. L'exode rural conjugué à l'urbanisation intense sur la côte méditerranéenne durant les dernières décennies ont augmenté la vulnérabilité des populations concernées tout en accentuant les facteurs qui contribuent aux changements climatiques.

En Algérie, pays dont la plus grande partie est désertique, les changements climatiques constituent une préoccupation majeure. En effet, de par sa position géographique,

l'Algérie est exposée aux effets négatifs des changements climatiques et des émissions des gaz à effet de serre, notamment les inondations, la sécheresse et les températures élevées.

### I.8.2- Réchauffement climatique

Également appelé réchauffement planétaire ou parfois global, est un phénomène d'augmentation des températures sur la plus grande partie des océans et de l'atmosphère terrestre. Il traduit une augmentation de la quantité de chaleur retenue à la surface terrestre. Il est mesuré à l'échelle mondiale sur plusieurs décennies. Dans son acception commune, ce terme est appliqué à une tendance au réchauffement global observé depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle (fig.I.9). (Ait Bennour & Bensidhoum, 2017)

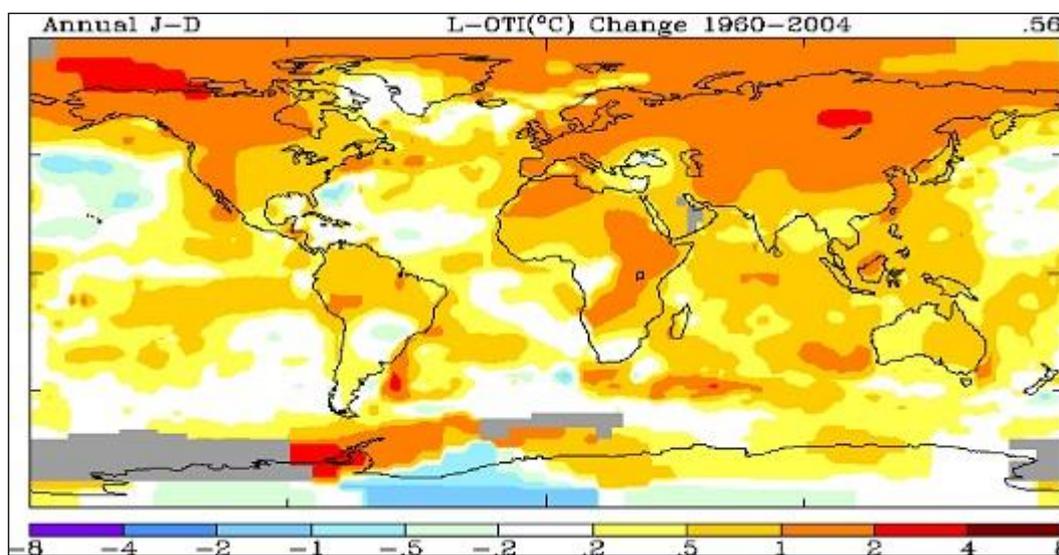


Figure I.9: Réchauffement enregistré entre 1960 et 2004 (Tetard, 2014)

#### I.8.2.1- Conséquences du réchauffement climatique

Les conséquences du changement climatique sont nombreuses :

- ◆ Perturbation du régime des pluies: les précipitations risquent d'être plus abondantes sur l'hémisphère nord avec des inondations et des tempêtes (ouragans, tornades...).
- ◆ Des sécheresses plus fréquentes: notamment dans l'hémisphère sud. Les zones arides et semi arides semblent être les plus vulnérables.
- ◆ Hausse du niveau de la mer par dilatation thermique et fonte des glaciers: cette élévation du niveau des océans pourrait atteindre 1 mètre par endroit. Des zones littorales, certains deltas de fleuves, des îles pourraient être purement et simplement recouverts. Rappelons que 50 % des humains vivent près de la mer.
- ◆ Modification des écosystèmes et de la végétation

Les conséquences risquent d'être beaucoup plus importantes pour les pays pauvres que les pays industrialisés. Ces derniers mobiliseront plus facilement les moyens financiers, technologiques et matériels pour s'adapter aux changements climatiques annoncés. Les prévisions faites par GIEC (groupe intergouvernemental d'évaluation des changements climatiques) ont affirmé que l'Afrique, est sans doute le continent le plus vulnérable, notamment à cause de la pauvreté généralisée qui y règne, le déficit en eau persistant, et la désertification déjà très avancée. (Khaldi, 2005)

### **I.9-Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau**

Le ruissellement semble augmenter dans les hautes latitudes et aux États-Unis, tandis qu'il baisse sur le pourtour du bassin méditerranéen et en Afrique de l'Ouest par exemple. La périodicité de l'écoulement fluvial dans de nombreuses régions où les précipitations hivernales tombent sous forme de neige s'est considérablement modifiée. Ainsi, les précipitations hivernales tombent davantage sous forme de pluie que de neige et la saison de fonte des neiges commence plus tôt. (O.N.G. ,2014)

En Algérie, les ressources en eau sont sensibles aux variabilités climatiques. La forte vulnérabilité des bassins versants aux faibles variations des paramètres hydro-climatiques influe sur le volume mobilisable, conduit à un déficit d'écoulement, entraînant une diminution des écoulements de surface et des niveaux des nappes souterraines. (Djellouli, 2017)

Au cours des dernières décennies, ces variabilités climatiques eurent un impact négatif sur les ressources en eau, induisant une diminution des écoulements allant jusqu'à des taux de 70 %. (Meddi et Hubert, 2003)

En raison de la sécheresse qui affecte l'Algérie depuis les années 1970, le déficit pluviométrique évalué à 27%, a mis en souffrance le bassin de la Tafna qui a vu ces apports en eau baisser de 69%. (Ghenim et al., Avril-Mai-Juin 2010)

### **I.10- Conclusion**

Nous pouvons constater que le réchauffement climatique a des effets sur le niveau de la mer et les courants marins. Ces effets entraînent des résultats terribles qui pourraient à long terme détruire la majorité des espèces animales et végétales mais aussi détruire l'écosystème dans lequel nous vivons.

L'homme est le principal ennemi de notre planète car c'est l'activité humaine qui entraîne une augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, contribuant ainsi à accroître l'effet de serre et le réchauffement climatique. Il en résulte des effets néfastes tels que la sécheresse et les inondations causées par des changements anormaux de température et de précipitations.

# Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

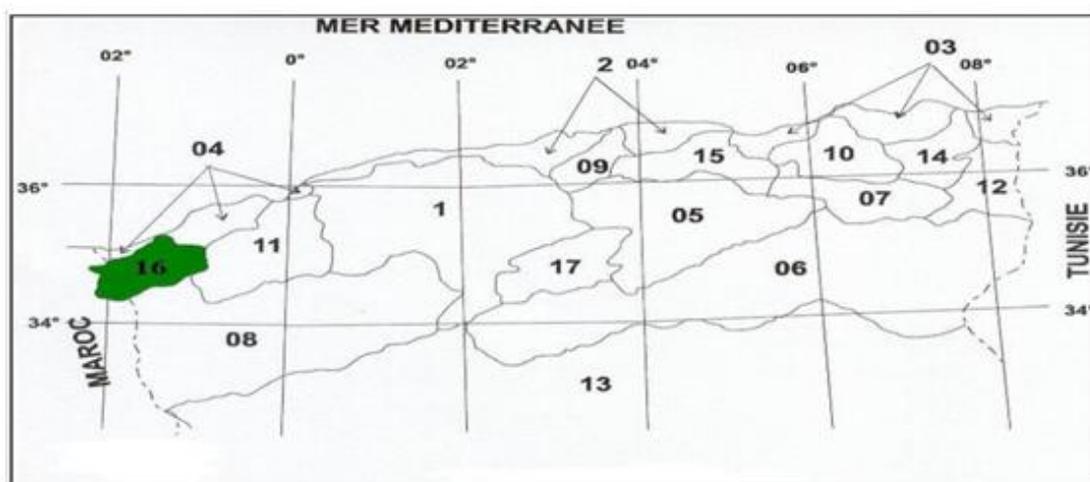
## II.1-Introduction

La performance hydrologique des bassins versants dépend du climat, du relief, de l'occupation du sol et de la lithologie. L'organisation du réseau hydrographique et la pente des thalwegs, conséquence du développement géomorphologique, sont liés au relief, mais aussi à certains égards directement à la lithologie. Leur prise en compte est essentielle pour une bonne compréhension du déclenchement et de la propagation des écoulements de crue. Dans ce chapitre, nous fournissons un aperçu rapide sur la géographie, la géologie et les principales caractéristiques physiques du bassin versant de l'Oued Boukiou.

## II.2- Généralités sur le bassin versant de la Tafna

### II.2.1- Situation géographique

Le bassin de la Tafna est le bassin numéro 16 de l'ensemble des bassins d'Algérie, selon la codification de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques, ANRH (fig.II.1).



1- Cheliff	2- Côtiers algérois	3- Côtiers Constantinois	4- Côtiers Oranais
5- Chott El- Hodna	6- Chott Melhir	7- Hauts plateaux Constantinois	
8- Hauts plateaux oranais	9- Isser	10- Kebir Rhumel	11- Macta
12- Medjerdah	13- Sahara	14- Seybouse	15- Soummam
		16- Tafna	17- Zahrez

Figure II.1: Codes et noms des bassins versants de l'Algérie (Hamlat, 2005)

Le bassin versant de la Tafna, situé au Nord ouest du territoire algérien (fig. II.2), s'étend sur presque la totalité de la wilaya de Tlemcen sur une superficie de 7245 km<sup>2</sup>.

Selon la nouvelle structuration des unités Hydrologiques en Algérie, le bassin versant de la Tafna appartient à l'ensemble de l'Oranie Chott Cherguie (fig.II.3). (Bensafi, 2016)

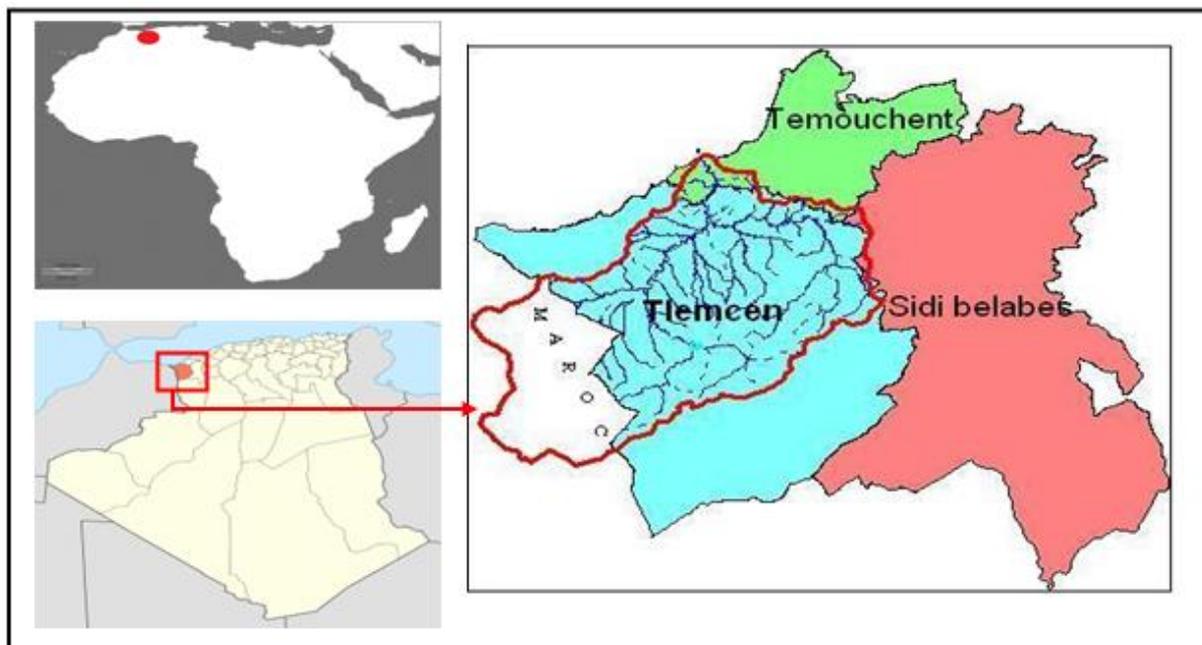


Figure II.2: Situation géographique du bassin versant de la Tafna (Araf, 2012)

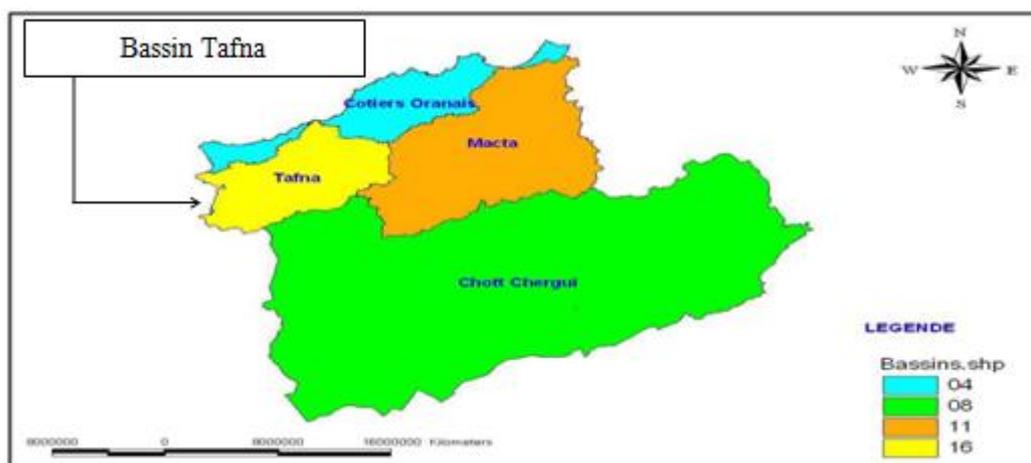


Figure II.3: Situation géographique du bassin de la Tafna dans l'ensemble Oranie- Chott Chergui. (Araf, 2012)

Le bassin de la Tafna constitué de huit (08) sous bassins (fig.II.4), dont deux se trouvent en amont dans le territoire marocain englobant une superficie de 1950 km<sup>2</sup>, soit 27 % de la superficie totale du bassin versant. (Belarbi, 2010)

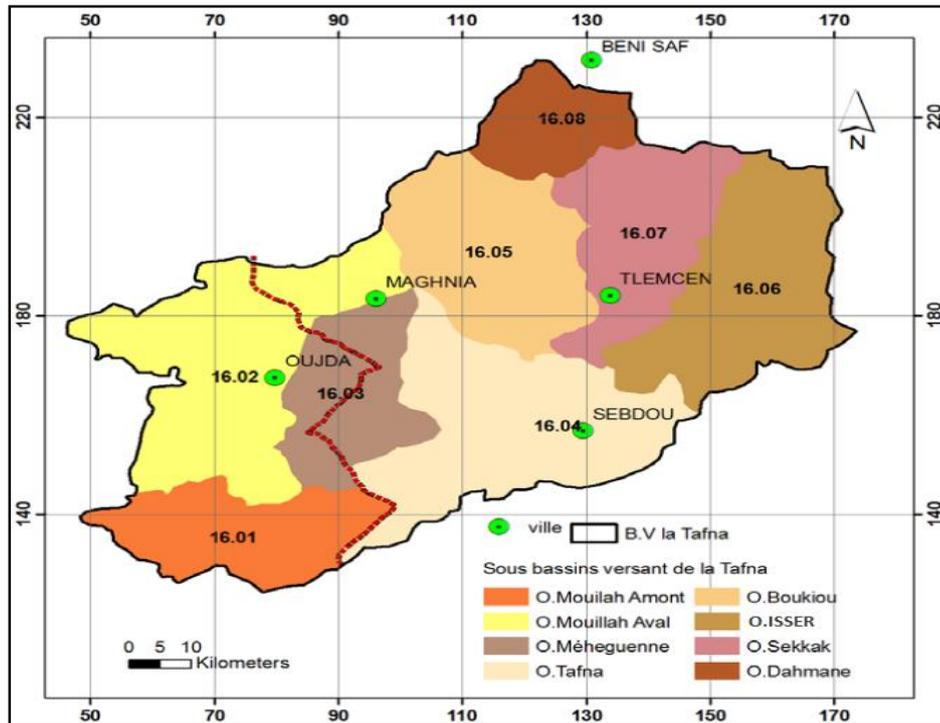


Figure II.4 : Sous bassins de la Tafna (Bemmouset, 2011)

## II.2.2- Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la Tafna est constitué par un ensemble important d'oued et de chaâbat qui déversent tous dans l'oued Tafna qui mesure 170 km de long et qui prend sa source dans les monts de Tlemcen (région de Sebdo), soit directement ou par l'intermédiaire de ses affluents (fig. II.5).

Du point de vue géomorphologique, le bassin versant de la Tafna peut se subdiviser en trois grandes parties : la haute Tafna, la moyenne Tafna et la basse Tafna.

- La haute Tafna (partie occidentale) : comprend la haute Tafna (oued Sebdo et oued Khemis) et l'oued Mouillah,
- La moyenne Tafna (partie orientale) : dont les principaux affluents : oued Isser et oued Sikkak,
- La basse Tafna (partie septentrionale) : elle débute pratiquement du village Tafna et s'étend jusqu'à l'embouchure de la Tafna sur la mer (plage de Rechgoune). Les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun sont les principaux affluents de cette partie.

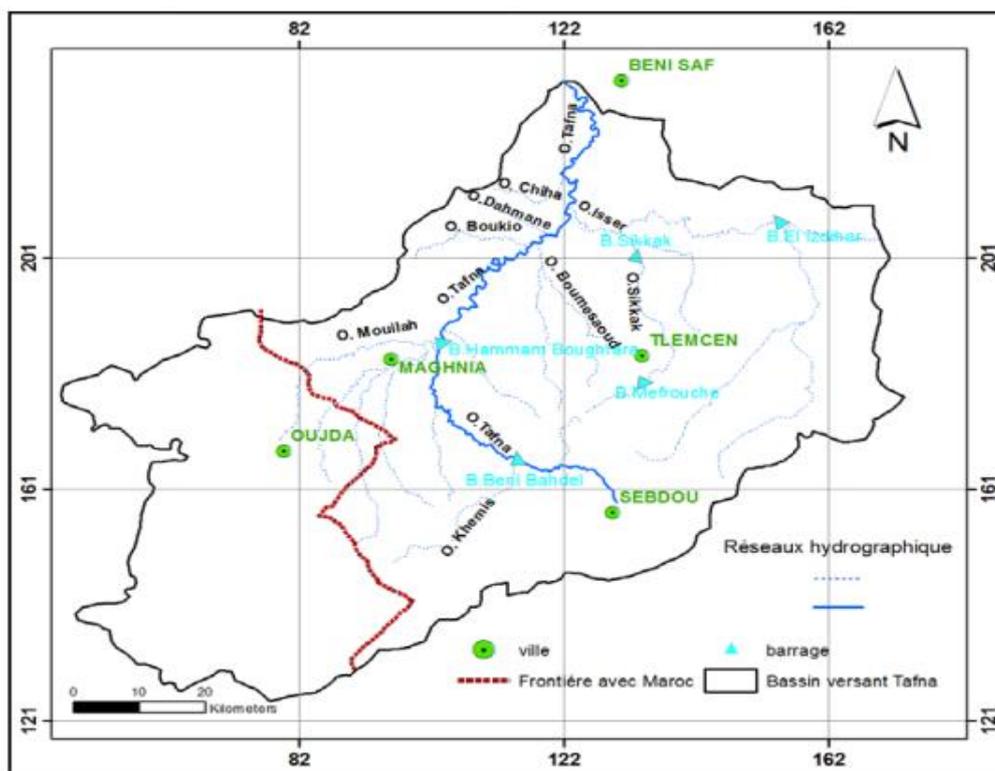


Figure II.5 : Réseau hydrographique (Bemmoussat, 2011).

### II.3- Description du bassin versant de l'oued Boukiou

#### II.3.1- Situation géographique

Le bassin versant de l'oued Boukiou se situe entre les longitudes  $1^{\circ} 29' 41''$  W et  $1^{\circ} 43' 32''$  W et les latitudes  $34^{\circ} 59' 52''$  N et  $35^{\circ} 6' 42''$  N. De forme allongée, il s'étend sur une superficie de  $117.3 \text{ km}^2$  pour un périmètre de 58 km. Il est limité à l'Ouest par les monts des Traras, au Nord par les montagnes de Djebel Dahr eddis, au Sud-ouest par les reliefs du Djebel Fillaoucène qui culminent à 1200 m, tandis qu'à l'Est des plaines basses entourent le bassin à son exutoire vers l'oued Tafna. Affluent rive gauche de la Tafna, l'oued Boukiou est long de 21 km. Il prend sa source sur les hauteurs d'ouled Chaabane en amont d'Ain kebira non loin de Nedroma à 855 m d'altitude. (fig.II.6). (Bouguerra, 2018)

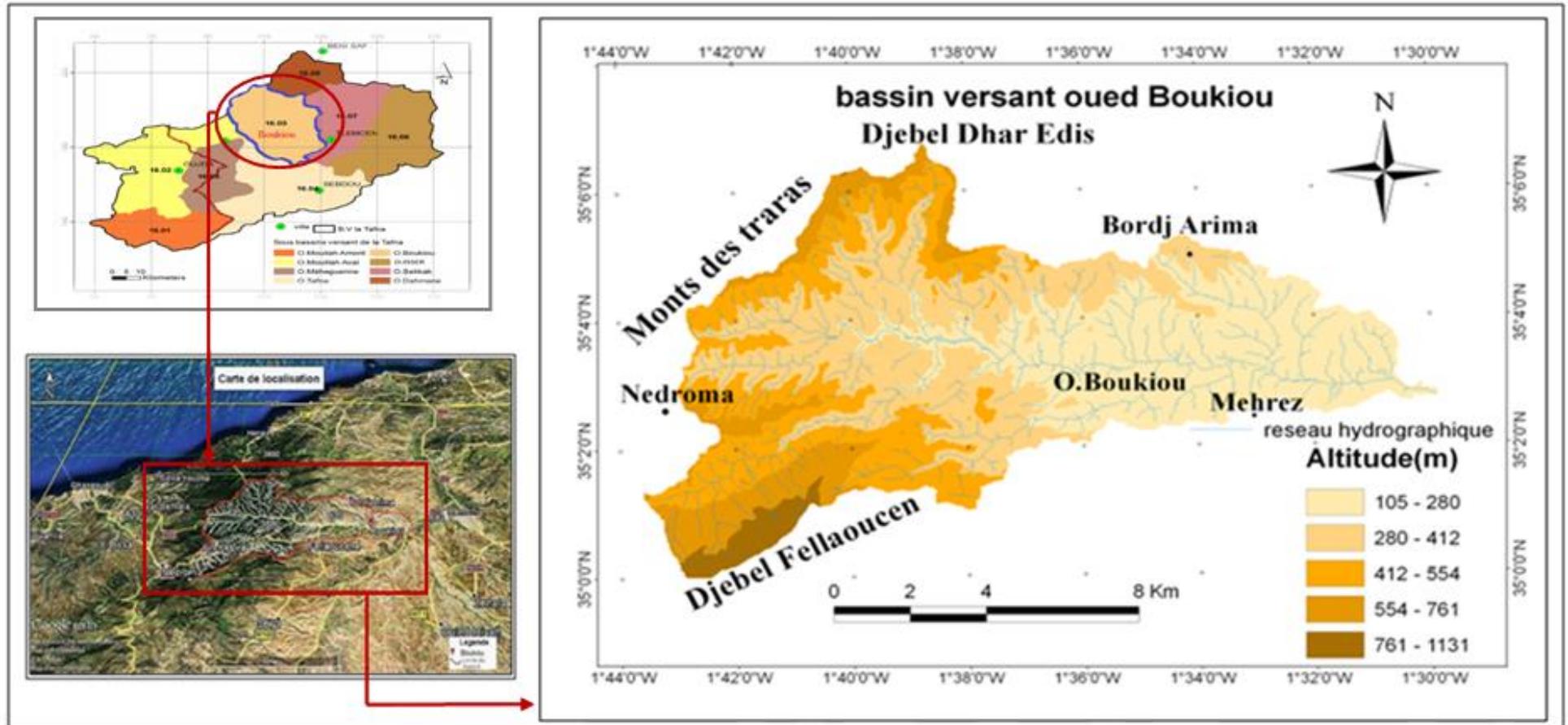


Figure II.6: Situation géographique du secteur d'étude (Bouguerra et al ., 2016).

### II.3.2- Etude des caractéristiques morphométriques

L'utilisation des différents types de paramètres morphométriques a pour but la quantification des facteurs caractéristiques du milieu physiques d'un bassin versant.

Les principaux paramètres morphométriques qui agissent sur la variation du régime hydrologique, dont nous allons parler dans cette partie sont : la forme, l'ordre des cours d'eau, le relief et en particulier, la densité de drainage, la fréquence des cours d'eau, l'allongement et le profil des cours d'eau.

#### II.3.2.1-Caractéristiques géométriques

##### II.3.2.1.a. Superficie

La surface est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin, qui peut être déterminée par planimétrie sur des cartes d'échelle convenable ou en utilisant les techniques de digitalisation actuelles.

La surface du bassin versant est de 117.3 Km<sup>2</sup>. (Berrezoug, 2016)

##### II.3.2.1.b. Périmètre

Le périmètre est la longueur de la ligne de contour du bassin, sa mesure est faite à l'aide d'un curvimètre ou par des logiciels.

Le B.V de Boukiou possède un périmètre de 58 km. (Berrezoug N, 2016)

#### II.3.2.2- Caractéristiques de forme

Ce sont les caractères purement géométriques des bassins que l'on peut atteindre par le seul concours des relevés topographiques. Leurs utilisations ont pour but, la quantification des facteurs caractéristiques du milieu physique d'un bassin versant.

##### II.3.2.2.1. Indice de compacité de Gravelius (1914)

L'indice de compacité ( $K_C$ ) renseigne sur la forme du bassin versant qui a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau et surtout sur l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin résultant d'une pluie donnée. Il est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Il est exprimé par la formule suivante :

$$K_C = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{II.01})$$

Avec :

$K_C$ : Indice de compacité de Gravelius,

P : Périmètre du bassin versant (km) =58 km

A : Superficie du bassin versant (km) =117,3 km<sup>2</sup>

Cet indice détermine la forme du bassin versant. Il est proche de 1 pour un bassin de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

Pour notre bassin versant  $K_C = 1,50$ . Ce qui exprime que le bassin est donc relativement allongé et compact, traduisant une érosion linéaire et régressive.

D'après la valeur obtenue du coefficient de compacité  $K_C \geq 1,12$ , le bassin peut être représenté par un rectangle équivalent.

**II.3.2.2- Rectangle équivalent**

Le rectangle équivalent permet de comparer l'influence de la forme sur l'écoulement dans les différents bassins versants (fig. II.7).

$$P = 2(L + l) = \frac{K_C \sqrt{A}}{0,28} \tag{II.02}$$

avec :  $A = L * l$

L : Longueur du rectangle équivalent (km).

l : Largeur du rectangle équivalent (km).

- Longueur (L)

$$L = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \tag{II.03}$$

L= 24.15 km

- Largeur (l)

$$l = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \tag{II.04}$$

l= 4.85 km

Tableau II.1 : Caractéristique de forme du bassin versant de l'Oued Boukiou

Bassin	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Périmètre (Km)	Kc	Rectangle équivalent	
				Longueur (Km)	Largeur (Km)
Oued Boukiou	117.3	58	1.50	24.15	4.85

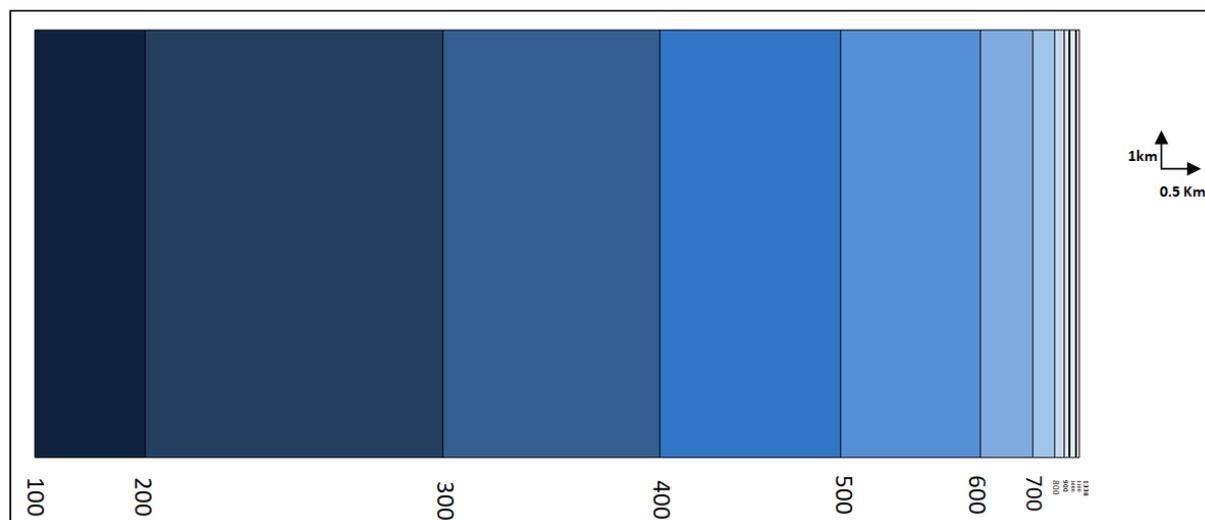


Figure II.7 : Représentation graphique du rectangle équivalent du bassin versant de l'Oued Boukiou

### II.3.2.2.3. Facteur de forme

$$R_f = A / L^2 \quad (II.05)$$

A : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>)

L : Longueur du bassin versant entre l'embouchure et le point le plus éloigné (km)

$$R_f = 0.20$$

Le bassin versant est plus long que large.

### II.3.2.2.4-Coefficient de circularité

La circularité d'un BV (Miller, 1959) est le rapport entre l'aire du BV et l'aire d'un cercle ayant le même périmètre que ce dernier :

$$R_{ci} = 4 A \pi / p^2 \quad (II.06)$$

Où, des valeurs de circularité du bassin s'approchant de 1 indiquent une forme quasi circulaire (Singh, 1992) et une pente relativement faible.

Pour de tels bassins versants, l'infiltration est relativement uniforme et le temps que prend l'eau pour rejoindre l'exutoire est moins élevé que celui d'un bassin de forme allongée (Reddy et al., 2004).

Dans notre cas,  $R_{ci} = 0.44$

### II.3.2.3- Caractéristiques du relief

Le relief influe considérablement sur les différents paramètres hydro climatiques d'une région donnée. C'est un facteur clé pour déterminer une grande partie de la capacité de ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément critique du comportement hydrologique d'un bassin. Partant de la répartition par tranches d'altitudes du bassin nous avons établi la courbe hypsométrique et le diagramme des fréquences altimétriques.

#### II.3.2.3.1- Courbe hypsométrique

la courbe hypsométrique, c'est la courbe de surface en Km<sup>2</sup> ou en pourcentage du bassin versant où les altitudes sont supérieures à une cote h donnée.

Nous avons établi la répartition par tranches d'altitudes du bassin d'oued Boukiou (tableau II.2), la courbe hypsométrique (fig.II.8), et l'histogramme des fréquences altimétriques (fig. II.9).

Tableau II.2 : Répartition hypsométrique du bassin versant de l'Oued Boukiou

Tranches d'altitude (m)	Surfaces partielles		Surfaces cumulées	
	Surface partielle (km <sup>2</sup> )	Fraction de la surface partielle (%)	Surface cumulée (km <sup>2</sup> )	Fraction de la surface cumulée (%)
<b>1338-1100</b>	0,30	10,36	0,30	0,26
<b>1100-1000</b>	0,73	28,54	1,03	0,88
<b>1000-900</b>	0,58	20,84	1,60	1,37
<b>900-800</b>	1,05	17,33	2,65	2,26
<b>800-700</b>	2,38	13,34	5,03	4,29
<b>700-600</b>	6,23	5,31	11,25	9,60
<b>600-500</b>	15,65	2,02	26,90	22,94
<b>500-400</b>	20,33	0,9	47,23	40,26
<b>400-300</b>	24,45	0,49	71,68	61,11
<b>300-200</b>	33,48	0,62	105,15	89,65
<b>200-100</b>	12,15	0,26	117,30	100,00
<b>Total</b>	<b>117,30</b>	<b>100</b>		

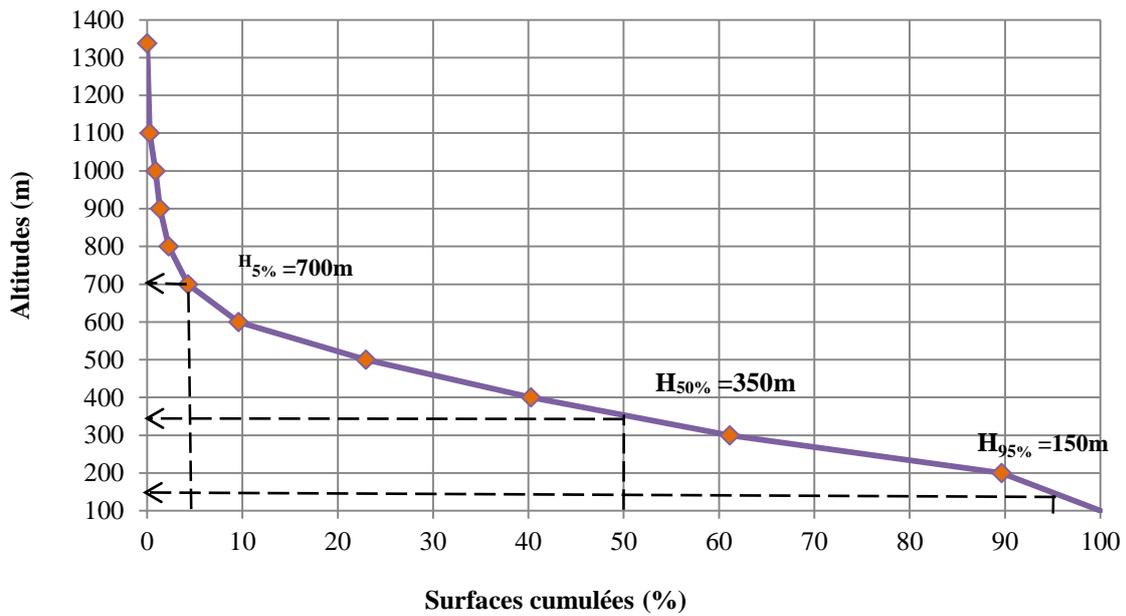


Figure II.8 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Boukiou

La courbe ci-dessus permet de définir les altitudes caractéristiques H<sub>5%</sub>, H<sub>50%</sub>, H<sub>95%</sub> qui correspondent respectivement aux altitudes 5% , 50% et 95% de la surface du bassin versant.

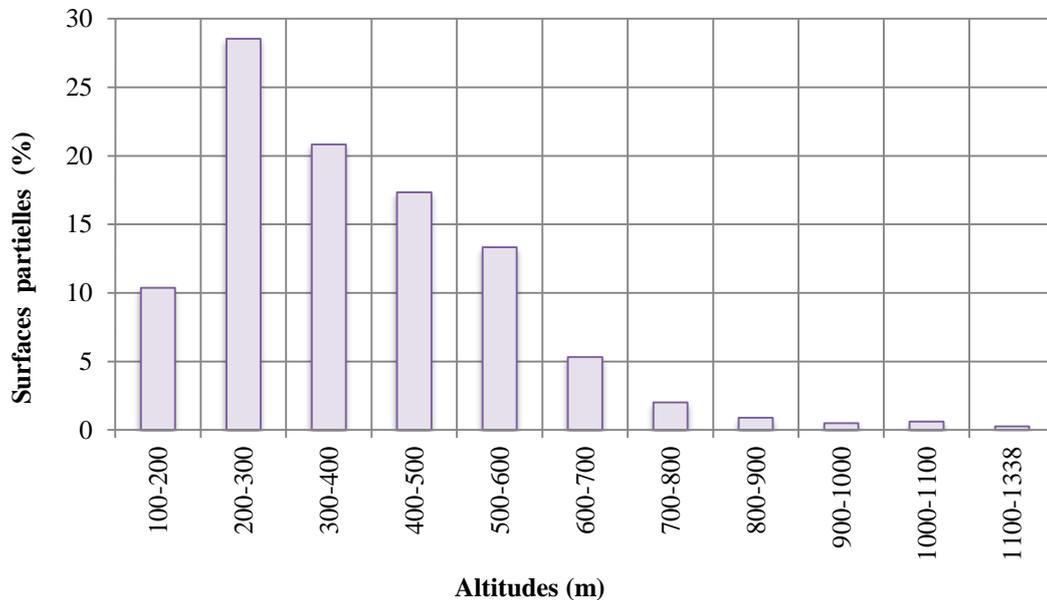


Figure II.9: Histogramme des fréquences altimétriques du bassin versant d'Oued Boukiou

D'après l'histogramme des fréquences altimétriques du bassin versant d'oued Boukiou nous avons constaté que la hauteur la plus courante est entre la tranche [200 – 300 m], elle correspond au maximum du diagramme des fréquences altimétriques égal 28.54%.

### II.3.2.3.2- Altitudes caractéristiques

Les altitudes caractéristiques déterminées à partir de la courbe hypsométrique sont données comme suit :

- **Altitude maximale**

Elle correspond au sommet du bassin versant

$$H_{\max} = 1338\text{m}$$

- **Altitude minimale**

Elle correspond au point le plus bas exutoire au point de confluence du bassin versant

$$H_{\min} = 100\text{ m}$$

- **Altitude moyenne**

L'altitude moyenne est obtenue à partir de la relation suivante :

$$H_{\text{Moy}} = \frac{\sum H_i a_i}{A} \quad (\text{II.07})$$

Avec:  $H_{\text{moy}}$  : Altitude moyenne du bassin (m),

$A_i$  : Aire comprise entre deux courbes de niveau ( $\text{km}^2$ ),

$H_i$  : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m),

$A$  : Superficie totale du bassin versant ( $\text{km}^2$ ).

$$H_{\text{moy}} = 382.74\text{m}$$

- **L'altitude médiane ou de fréquence  $\frac{1}{2}$**

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Elle est de :

$$H_{\text{med}} = 350\text{ m}$$

Tableau II.3: Altitude moyenne par rapport à une classe d'altitude donnée

Altitude moyenne (m)	hi	Ai	Ai*hi
1338-1100	1219	0,3	365,7
1100-1000	1050	0,73	761,25
1000-900	950	0,58	546,25
900-800	850	1,05	892,5
800-700	750	2,375	1781,25
700-600	650	6,225	4046,25
600-500	550	15,65	8607,5
500-400	450	20,325	9146,25
400-300	350	24,45	8557,5
300-200	250	33,475	8368,75
200-100	150	12,15	1822,5

Tableau II.4 : Altitudes caractéristiques du bassin versant d'oued Boukiou

Bassin versant	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Altitude 50% (m)	Altitude moyenne (m)	H <sub>5</sub> % (m)	H <sub>95</sub> % (m)	Altitude la plus fréquente(m)	Observation
Boukiou	1338	100	350	382.73	700	150	200-300	Vieux

### II.3.2.3.3- Indices de pente

Ces indicateurs sont destinés à décrire les pentes du bassin et permettent des comparaisons et des classifications. Ils sont conçus à partir de la répartition hypsométrique des bassins.

#### a) Indice de pente de Roche I<sub>p</sub>

C'est un indice proposé par Roche en 1964, il correspond à la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent et pondérée par les surfaces. Il s'exprime en pourcentage.

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i \cdot d_i} \tag{II.0 8}$$

avec :

I<sub>p</sub> : Indice de pente (m/km),

L : Longueur du rectangle équivalent (m),

a<sub>i</sub> : Fraction en % de la surface A comprise entre deux courbes de niveau, voisines distantes de d<sub>i</sub>

I<sub>p</sub> = 1.8 (m/km).

**b) Indice de pente global**

L'indice de Roche étant cependant trop long à évaluer, on a proposé un indice encore plus simple, la pente globale.

$$I_g = \frac{H5\% - H95\%}{L} = \frac{D}{L} \quad (\text{II.09})$$

Avec:

$I_g$ : Indice de pente global de Roche (m/km).

D : Dénivelée  $H5\% - H95\%$ , définie sur la courbe hypsométrique ou même directement à l'œil sur la carte topographique,

L : l'altitude exprimé en (m).

H : Longueur du rectangle équivalent.

$$I_g = 0.023 \text{ (m/km)}$$

**c) Dénivelée spécifique ( $D_s$ )**

$I_g$  Diminue quand L augmente (donc en général quand la surface du bassin versant augmente), il sera donc difficile de comparer deux bassins versants de tailles différentes. On définit donc une grandeur qui ne présente pas d'inconvénients de l'influence de la surface.

$D_s$  : Dénivelée spécifique :

$$D_s = I_g \sqrt{A} \quad (\text{II.10})$$

La dénivelée spécifique apparaît donc comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin.

$$D_s = 249 \text{ m}$$

**d) Pente moyenne**

La pente moyenne d'un cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Le calcul de la pente moyenne du cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents.

Elle est définie comme étant le rapport entre la dénivelée totale du rectangle équivalent et sa longueur.

$$I_{\text{moy}} = D/L \quad (\text{II.11})$$

donc :

$$I_{\text{moy}} = 5.13\%$$

Pour la pente faible de moins de 4%, l'énergie cinétique des gouttes de pluie est primordiale pour développer une action érosive (Fournier, 1969).

e) Rayon de circularité

$$R_4 = \frac{4A\pi}{p} \tag{II.12}$$

Avec :

A : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>)

p : Périmètre du bassin versant (km)

Donc :

$$R_4 = 25.40 \text{ km}$$

f) Classification du bassin versant d'oued Boukiou

- D'après la classification d'O.R.S.T.O.M « Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer » (tableau II.5), le bassin d'oued Boukiou se caractérise par un relief assez fort.

Tableau II.5 Classification du relief selon O.R.S.T.O.M

	Type de relief	I <sub>g</sub> (m/km)
<b>R1</b>	Relief très faible	I <sub>g</sub> < 0,002
<b>R2</b>	Relief faible	0,002 < I <sub>g</sub> < 0,005
<b>R3</b>	Relief assez faible	0,005 < I <sub>g</sub> < 0,01
<b>R4</b>	Relief modéré	0,01 < I <sub>g</sub> < 0,02
<b>R5</b>	<b>Relief assez fort</b>	<b>0,02 &lt; I<sub>g</sub> &lt; 0,05</b>
<b>R6</b>	Relief fort	0,05 < I <sub>g</sub> < 0,1
<b>R7</b>	Relief très fort	0,1 < I <sub>g</sub>

- D'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M (tableau II.6), la valeur élevée de D<sub>s</sub> indique l'importance du volume montagneux et la forte incision du relief.

Tableau II.6. Classification du relief selon la dénivelée spécifique (O.R.S.T.O.M)

	Type de relief	D <sub>s</sub> (m)
<b>R1</b>	Relief très faible	D <sub>s</sub> < 10 m
<b>R2</b>	Relief faible	10 m < D <sub>s</sub> < 25m
<b>R3</b>	Relief assez faible	25m < D <sub>s</sub> < 50m
<b>R4</b>	Relief modéré	50m < D <sub>s</sub> < 100m
<b>R5</b>	<b>Relief assez fort</b>	<b>100m &lt; D<sub>s</sub> &lt; 250m</b>
<b>R6</b>	Relief fort	250m < D <sub>s</sub> < 500m
<b>R7</b>	Relief très fort	500m < D <sub>s</sub>

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.7 : Valeurs des indices de pente et reliefs du sous bassin d'oued Boukiou.

Bassin versant	I <sub>p</sub> [m/km]	I <sub>g</sub> [m/km]	Relief selon I <sub>g</sub>	D <sub>s</sub> (m)	Relief selon D <sub>s</sub>
<b>Oued Boukiou</b>	0.31	0.023	Assez fort	249	Assez fort

- On peut aussi classer le bassin versant selon leur surface (Tableau II.8) et suivant l'Equation :

$$Re = \frac{D}{L_m} = 1,128 \sqrt{\frac{A}{L_m}} \quad (\text{II.13})$$

Avec:

A : surface du bassin versant = 117.3 km<sup>2</sup>

L<sub>m</sub> : longueur du bassin versant entre l'embouchure et le point le plus éloigné (km)

Tableau II.8 : Classification des bassins versants selon leur superficie

Très petit bassin	Petit bassin	Grand bassin	Très grand bassin
0 < A ≤ 10 km <sup>2</sup>	10 < A ≤ 200 km <sup>2</sup>	200 < A ≤ 2000 km <sup>2</sup>	A > 2000 km <sup>2</sup>

Alors, Nous constatons que notre bassin versant est qualifié de petit et Selon SCHUM, le bassin est plutôt plat (Re = 2,49 > 1).

#### II.3.2.3.4- Caractéristiques du réseau hydrographique

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

- ❖ Géologie : la nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique.
- ❖ Climat : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.
- ❖ Pente du terrain : elle détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire.
- ❖ Cours d'eau : dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle l'écoulement est présent. Contrairement, dans les plaines les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine. (Ould Ahmed, 2018)

La structure du réseau hydrographique (fig. II.10) est largement liée à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont influencé la région au cours du temps géologique



### II.3.2.3.4.1- Classification par ordre et étude du chevelu hydrographique

Pour bien étudier le réseau hydrographique de la région, on fait la classification des thalwegs (cours d'eau) et des affluents, pour chaque ordre on détermine le nombre de thalwegs et la longueur totale de ceux-ci. La classification topologique du réseau hydrographique est basée sur une méthode proposée initialement par Horton en 1945 puis modifiée par Strahler en 1947. Elle est la plus utilisée aujourd'hui, son principe est comme suit :

- ✓ Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1,
- ✓ Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n, le cours d'eau résultant est d'ordre (n +1)
- ✓ Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre.

Tableau II.9: Paramètres morphométriques du bassin de l'Oued Boukiou.

Ordre	Nombre	Rapport de confluence	Longueurs cumulées (km)	Longueurs moyennes (km)	Rapport des longueurs	Aires cumulées (km <sup>2</sup> )	Aires Moyennes (km <sup>2</sup> )	Rapport des aires
1	1063	4,75	157	0,15	3,05	66,125	0,06	1,82
2	224	5,46	101	0,45	2,44	25,325	0,11	1,70
3	41	4,56	45,1	1,10	1,99	7,9	0,19	3,06
4	9	4,50	19,75	2,19	2,51	5,3	0,59	3,97
5	2	2	11	5,50	2,73	4,675	2,34	1,27
6	1	-	15	15,00	0,00	2,975	2,98	0,00

L'analyse du tableau précédent, montre que notre bassin est d'ordre 6 selon la classification de Schumm.

Les paramètres importants régissant le système hydrique du cours d'eau sont : le rapport de confluence ( $R_c$ ), le rapport des longueurs ( $R_l$ ) et la densité de drainage ( $D_d$ ).

#### a. Rapport de confluence ( $R_c$ )

##### ❖ Méthode analytique

Il est défini par le rapport du nombre de thalwegs d'ordre n par celui d'ordre (n+1) :

$$R_c = N_n / N_{n+1} \quad (\text{II.14})$$

Avec :

$R_c$ : Rapport de confluence.

$N_n$  : Nombre de cours d'eau d'ordre n.

$N_{n+1}$  : Nombre de cours d'eau d'ordre n+1.

Tableau II.10 : Rapport de confluence du bassin d'oued Boukiou

Ordre	1/2	2/3	3/4	4/5	5/6	Moyenne
Oued Boukiou	4,75	5,46	4,56	4,5	2	4,25

❖ Méthode graphique

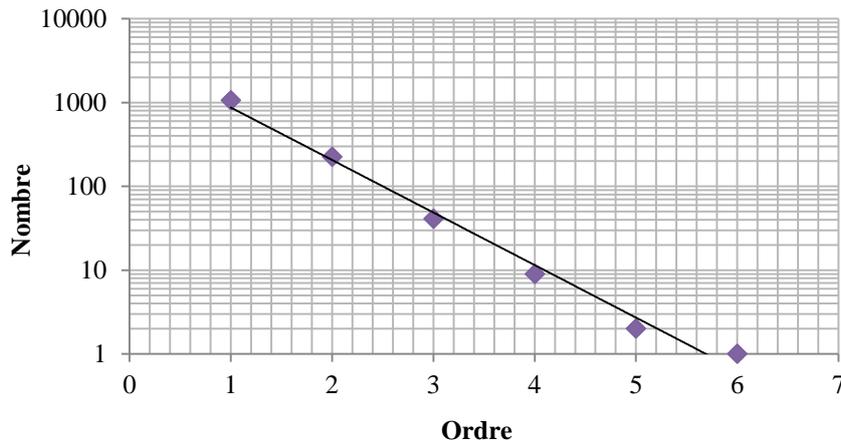


Figure II.11 : Droite représentative du nombre de thalwegs en fonction de l'ordre

$R_c$  : Rapport de confluence moyen =  $\log^{-1} a$

Avec :

a : Pente de la droite  $a = \frac{\log 1063 - \log 224}{2 - 1} = 0.67$

Donc  $R_c = 4.68$

Le réseau est de type Chêne car le rapport de confluence moyen  $R_c = 4.68 < 5$

**b. Rapport des longueurs ( $R_L$ )**

❖ Méthode analytique

Le rapport de longueur est défini par :

$$R_L = \frac{l(n+1)}{l(n)} \tag{II.15}$$

avec :

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

$L_{n+1}$  : Longueur de cours d'eau d'ordre n+1

Tableau II.11 : rapport de longueur du bassin d'oued Boukiou

Ordre	1/2	2/3	3/4	4/5	5/6	Moyenne
Oued Boukiou	3,05	2,44	1,99	2,51	2,73	2,54

❖ Méthode graphique

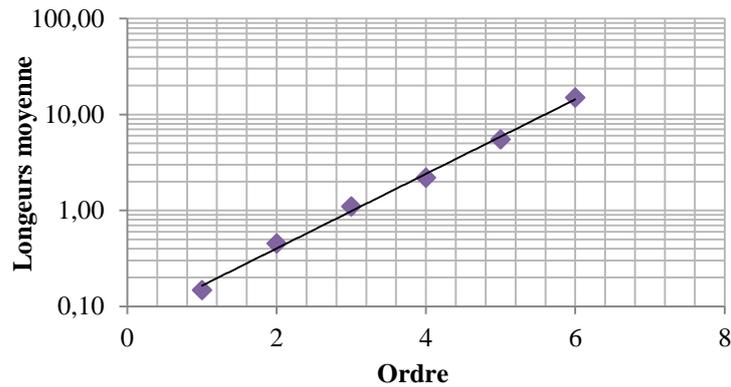


Figure. II.12 : Droite représentative du rapport des longueurs en fonction de l'ordre.

$R_L$  : rapport de longueur moyen =  $\log^{-1} a$

Avec :

$$a : \text{Pente de la droite} = \frac{\log 15 - \log 0.14}{6 - 1} = 0.40$$

Donc :  $R_L = 2.51$

**c. rapport des aires (Ra)**

❖ Méthode analytique

Le rapport des aires est défini par :

$$R_a = \frac{A(n+1)}{A(n)} \tag{II.16}$$

A : Aire moyenne.

Tableau II.12 : Rapport des aires du bassin d'oued Boukiou

Ordre	1/2	2/3	3/4	4/5	5/6	Moyenne
Oued Boukiou	1,82	1,7	3,06	3,97	1,27	2,36

❖ Méthode graphique

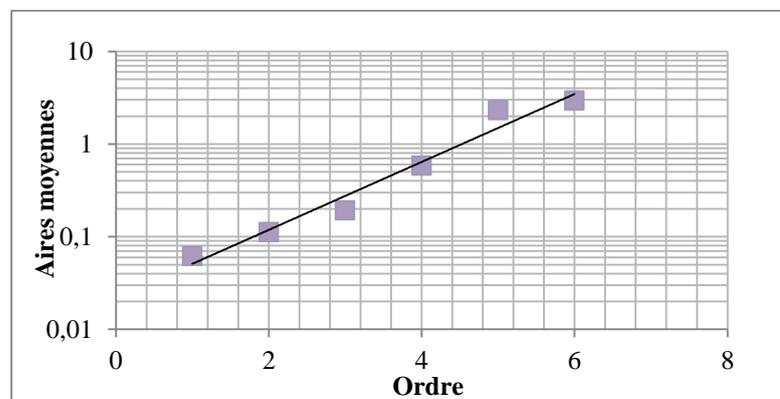


Figure II.13 : Droite représentative du rapport des aires en fonction de l'ordre.

$R_a$  : Rapport des aires moyen =  $\log^{-1} a$

Avec :

$$a : \text{Pente de la droite} = \frac{\log 2.975 - \log 0.06}{6-1} = 0.34$$

Donc :  $R_a = 2.13$

#### d. Fréquence des cours d'eau

Elle représente le nombre de cours d'eau (N) par unité de surface (A), Elle est calculée par la formule :

$$F_s = \frac{N}{A} \quad (\text{II.17})$$

$F_s$  : Fréquence des cours d'eau.

N : Nombre de thalwegs (N = 1340),

A : Surface du bassin ( $\text{km}^2$ ).

Pour notre bassin, la valeur de  $F_s = 11.42$ , ce qui correspond en moyenne au nombre de cours d'eau par  $\text{Km}^2$ .

#### e. Densité de drainage

La densité de drainage, introduite par Horton (1945), est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$D_d = \frac{\sum_{x=1}^4 L_x}{A} \quad (\text{II.18})$$

Avec :

$D_d$  : Densité de drainage ( $\text{km}/\text{km}^2$ )

$L_x$  : Longueur de cours

A : Surface du bassin versant ( $\text{km}^2$ )

$D_d = 2.97 \text{ km}/\text{km}^2$

#### f. Coefficient de torrentialité

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

$$C_T = D_d * F_1 \quad (\text{II.19})$$

Avec :

$D_d$  : Densité de drainage

$F_1$  : Fréquence des thalwegs élémentaires  $F_1 = N_1 / A$  (avec  $N_1$  : nombre de cours d'eau d'ordre 1=1063).

$C_T = 2.7$

La valeur élevée du coefficient de torrentialité correspond au chevelu hydrographique issu d'un secteur montagneux et pluvieux. (Bouanani, 2004).

### g. Temps de concentration

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

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}} \quad (\text{II.20})$$

avec :

$T_c$  : Temps de concentration (heure)

$A$  : Superficie du bassin ( $\text{km}^2$ )

$L$  : Longueur du thalweg principal (km)

$H_{\text{moy}}$  : Altitude moyenne (m)

$H_{\text{min}}$  : Altitude minimale (m)

Alors

$T_c = 06\text{h}00$

Le temps de concentration des eaux est non seulement fonction de la surface mais aussi d'autres paramètres tels que la lithologie, la pluviométrie et le relief. (Bouanani, A, 2004)

#### II.3.2.3.4.2- Profil en long et profil en travers

Le profil en long du cours d'eau principal du bassin versant (figure. II.14) n'est pas complémentaire de celui fourni par l'étude de la densité de drainage, sauf à l'extrémité ouest où nous observons une pente relativement abrupte, mais n'indiquant pas les pentes suivantes. Les changements de pente sont dus à ceux de la lithologie

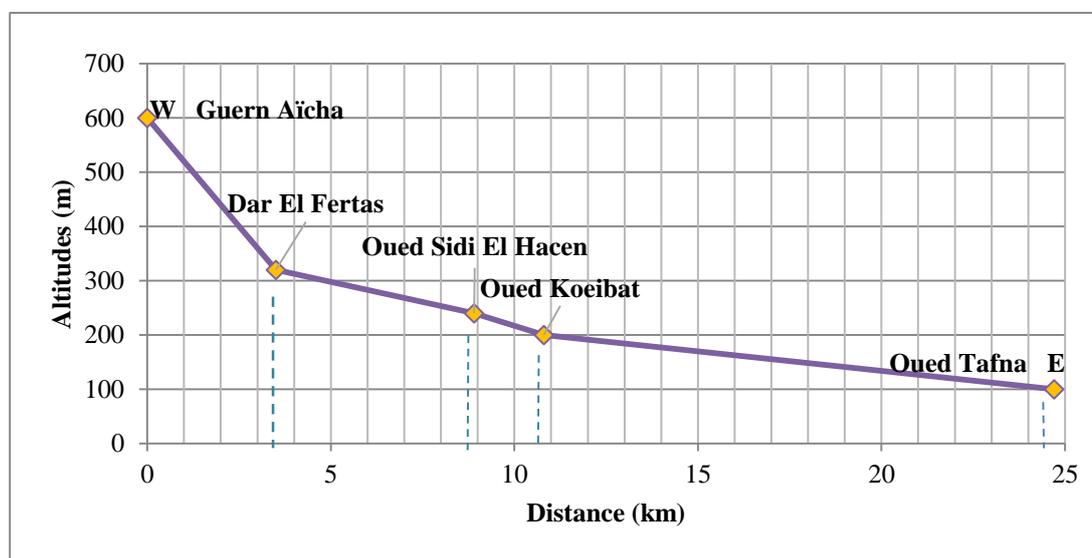


Figure II.14 : Profil en long du bassin versant de l'Oued Boukiou.

Le profil en travers (fig.II.15) au Sud, montre des pentes raides dues au chevauchement des monts de Filloussène sur les massifs schisteux. Il est à noter que les plages du Sud et du Nord constituent la principale dérive, compte tenu de leurs pentes abruptes.

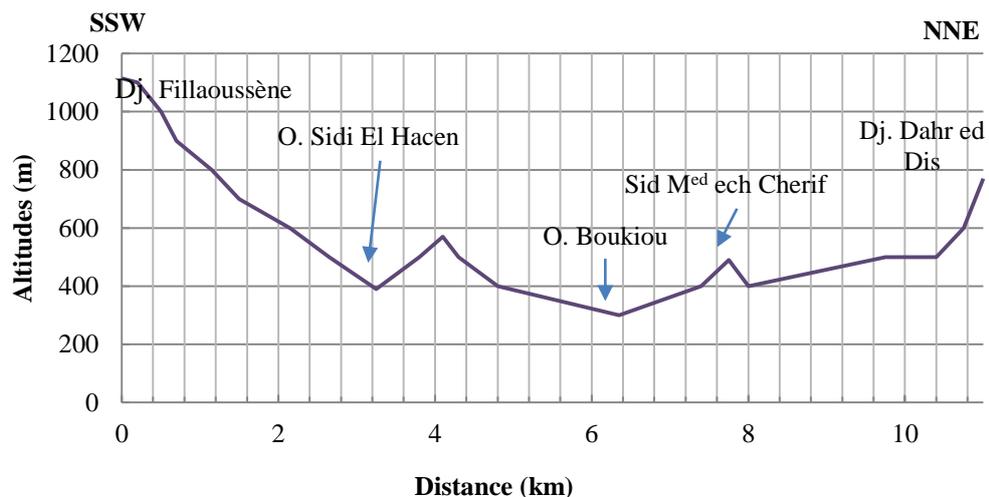


Figure II.15: Profil en travers du bassin versant de l'Oued Boukiou.

#### II.4- Etude géologique du bassin versant de l'oued Boukiou

Les formations géologiques d'un bassin versant influencent non seulement l'écoulement de l'eau souterraine mais également le ruissellement de surface, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les divers types de roches et leurs structures donnent une indication précieuse sur la capacité d'infiltration des zones occupées par les roches et par les sols et en conséquence sur la quantité de terre susceptible d'être érodée (FAO, 1994, Demmak, 1982).

Nous présenterons brièvement quelques caractéristiques générales sur la géologie de l'oued Boukiou.

##### II.4.1- Cadre géologique et aperçue paléogéographique

La structure actuelle de l'Algérie du Nord est le résultat des orogénèses hercynienne et Alpine. Ces dernières liées aux mouvements hercyniens et alpins qui ont permis l'individualisation de plusieurs domaines (fig. II.16).

En Oranie, nous distinguons du Nord au Sud :

- La chaîne alpine (Monts des Traras et les Monts de Tlemcen),
- Les hautes plaines Oranaises,
- L'Atlas Saharien. (Zennaki, 2015)

Le bassin de la Tafna comprend de grandes plaines, dont les deux principales sont celle de Maghnia à l'Ouest et celle des Ghossels à l'Est entourées de massifs élevés :

- ✓ Le massif des Traras comprenant la chaîne des Fillaoussène fait partie de la chaîne Alpine (Ameur, 1988) qui s'étend vers l'Ouest par le massif des Béni-Snassen (Maroc Occidental).
- ✓ Les Monts de Tlemcen dessinant la bordure sud du bassin et s'interposent entre deux Domaines bien définis :

- Le domaine des nappes du Tell au Nord,
- Le domaine stable des hautes plaines oranaises au Sud.

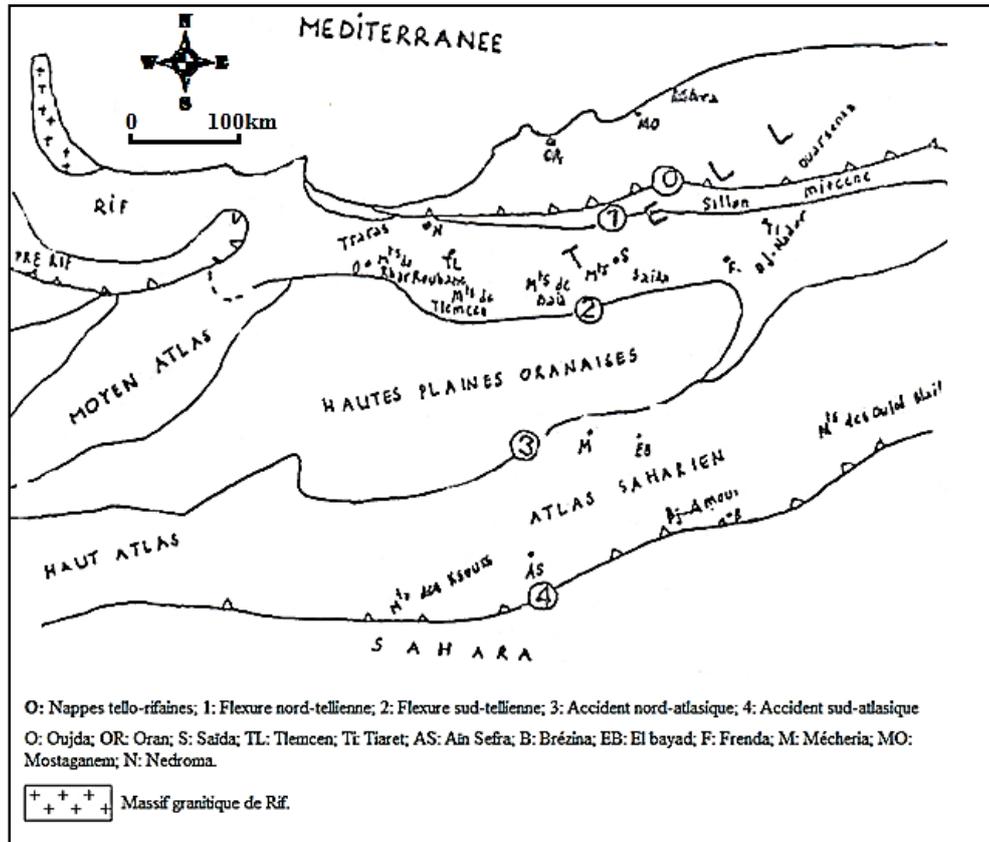


Figure II.16 : Schéma de la chaîne Alpine de l'Algérie nord-occidentale (Ameur, 1988)

La région se présente comme un bombement anticlinal de direction générale NE-SW, Constitué par des terrains primaires formant le substratum sur lequel reposent les formations Allant du Permo-Trias au Miocène (fig. II.17) (Miri & Kebir, 1992).

Dans le secteur d'étude, situé dans la partie orientale des Traras (fig. II.17), les faciès jurassiques inférieurs et moyens sont parfois mal présentés, du fait des variations latérales des épaisseurs et de lithofaciès. (Benhamou, 1983)

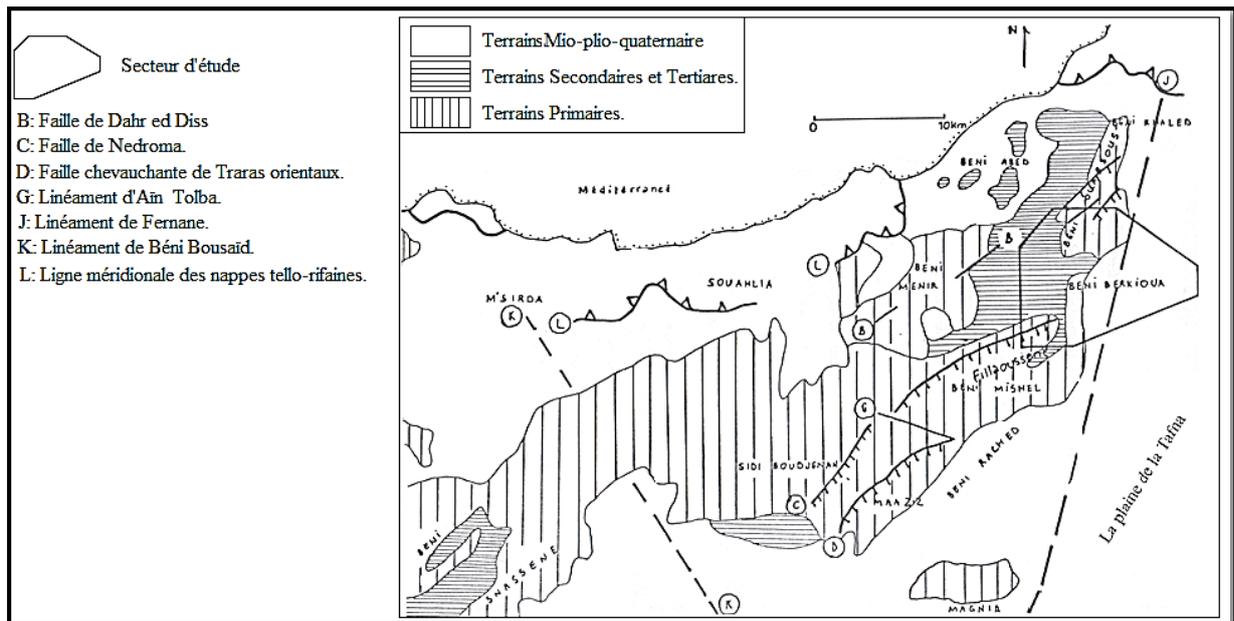


Figure II.17 : Cadre géologique du secteur étudié (Ameur, 1988)

Le bassin versant d'Oued Boukiou présente à l'Ouest un substrat rigide de roches anciennes du Dj. Fellaoussène culminant à 1138m qui est caractérisé par des formations schisto-quartziques très compactes du Dévonien (fig. II.18). Le centre est constitué par des argiles et des marnes plus ou moins dolomitiques et gypseuses datant du Trias et du Jurassique moyen. Par ailleurs, on rencontre à l'Est, des formations du Miocène inférieur et moyen avec une alternance de poudingues formés d'éléments calcaires dolomitiques à ciment calcaréo-gréseux et des séries argilo-marneuses au sein desquelles s'intercalent des bancs décimétriques de grès ferrugineux friables (Bouanani, 2004).

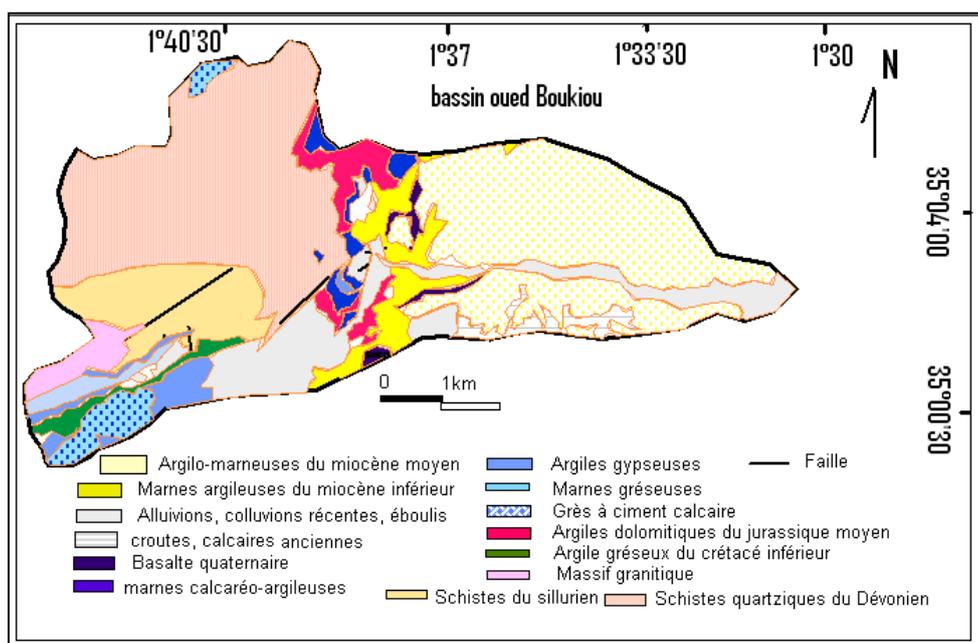


Figure II.18 : Carte géologique du bassin d'oued Boukiou (Bouguerra, 2018)

## II.4.2- Etude lithostratigraphique

L'évolution verticale des terrains rencontrés s'étend du Primaire au Quaternaire et présente Trois grandes séries lithostratigraphiques distinctes qui sont de bas en haut: (fig. II.19):

### II.4.2.1-Substratum primaire (Infra-Silurien à Dévonien)

Très développé dans la partie nord occidentale, représenté par:

- la formation Schisto-quartzitique d'âge Infra-Silurien à Dévonien (Guardia, 1975)
- le massif granitique situé immédiatement au Nord-Est de la ville de Nedroma de forme elliptique,
- l'intrusion granitique développant une auréole de métamorphisme dans la formation schisto-quartzique.

### II.4.2.2- Couverture secondaire (Permo -Trias à Crétacé basal)

Très épaisse, affectée par une tectonique souple et cassante très complexe, la base de la série secondaire est représentée par une sédimentation détritique (Complexe volcano-sédimentaire) et une formation carbonatée du Lias moyen.

**II.4.2.3- Dépression miocène :** A l'Est, où l'on voit la mise en place de puissantes séries mio-plio-quaternaires. Au niveau de la dépression miocène, on y reconnaît de bas en haut :

- a. Conglomérats de base (Miocène inférieur) :** représentés par des galets hétérogènes de schistes, granite, calcaire, grès ..., cimentés par une matrice argilo-sableuse de couleur rouge terreux.
- b. Marnes verdâtres (Miocène inférieur) :** ce sont des marnes légèrement sableuses de couleur verte.
- c. Basaltes de l'oued Boukiou (Miocène inférieur):** Ils forment des lambeaux de coulées recoupant en travers le cours de l'Oued Boukiou. Ils sont de couleur gris foncé (Sadran, 1958 *in* Miri & Kebir, 1992).
- d. Marnes gréseuses (Miocène moyen : Serravalien):** Cette formation est constituée par des marnes grises à verdâtres et des grès jaunes à roux. Des bancs gréseux ont une épaisseur décimétrique à métrique, constitués par des grains généralement fins mais contenant quelques passages de grès grossiers et de poudingues (Guardia, 1975).
- e. Travertins quaternaires :** ils se sont déposés en masses et s'avancent en petites falaises.
- f. Alluvions quaternaires :** Occupant la vallée de l'Oued Boukiou, elles se traduisent par des alluvions grossières sur le support miocène nettement entamé. Il s'agit de gravières et de blocs de taille variable Entre 1cm et 40cm. Les éléments sont des fragments de schistes, de quartzites de granites et de calcaires pris aux formations en relief. Plusieurs

mètres de limons de teinte claire surmontent directement les graviers provenant probablement de l'action du ruissellement sur les flancs marneux du Miocène de la Vallée. Les limons présentent parfois des passés grossiers. (Douch, 2016)

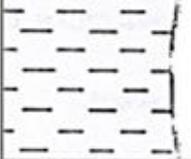
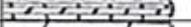
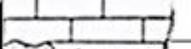
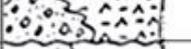
Ages des Formations	Colonne lithostratigraphique	Les Formations
Quaternaire		Alluvions + Limons
Miocène moyen (Serravalien)		Alternances de marnes et de grès
Miocène inférieur		Basaltes de Boukiou
Miocène inférieur		Marnes verdâtres
Miocène inférieur		Conglomérats de base
Coniacien		Marno-calcaires blancs
Turonien		Calcaires argileux
Cénomaniens		Groupe argilo-marneux
Aptien		Dolomie aptienne
Tithonien à Valanginien		Groupe marno-carbonaté
Kimmeridgien supérieur		Dolomie de Tlemcen
Oxfordien supérieur à Kimmeridgien inférieur		Grès de Boumédiene
Callovo - Oxfordien		Argiles de Saïda
Bathonien		Marnes de Sekika
Aaléno-Bajocien		Calcaires des Traras
Toarcien		-Marno-calcaires de Bayada
Domérien		-Ammonitico rosso des Traras
		Calcaires de Tisedoura
Carixien		Calcaires compacts de Zaïlou
Permo-Trias à Infra Lias		-Formations volcano-sédimentaire -Série détritique pourpre
Paléozoïque		Schistes quartzitiques

Figure II.19: Log synthétique du secteur d'étude (Miri & Kebir, 1992, repris par Kacemi & Senina, 2015)

## II.5 - Couvert végétal

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.). La végétation est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention du bassin. Donc la présence de végétation va jouer le rôle de « Régulateur » dans le régime d'écoulement. 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, l'écoulement étant plus long, la part d'eau reprise par l'évapotranspiration augmente et le volume de la crue diminue. La forêt, par exemple, intercepte une partie de l'averse par sa frondaison. A l'inverse, le sol nu, de faible capacité de rétention favorise un ruissellement très rapide. L'érosion de la terre va généralement de pair avec l'absence de couverture végétale. Cette influence de la forêt sur le régime des eaux en domaine méditerranéen a un rôle considérable ce qui entraîne une perte d'eau par évaporation et une accélération de l'érosion.

Le bassin de Boukiou est occupé en amont dans sa partie centrale par des maquis, broussailles et quelques vignes et céréaliculture avec peu d'arboriculture. En aval, les monts des Traras sont couverts de forêts avec une proportion de parcours et cultures annuelles. A l'instar des autres bassins du Nord de l'Algérie, le paysage végétal de ce bassin a été considérablement dégradé et défriché en zone montagneuse par les incendies, l'agriculture intensive et le surpâturage endémique (Bouanani, 2004 et Bouguerra, 2018)

Tableau II.13 : Distribution du couvert végétal dans le bassin d'oued Boukiou

Occupation des sols	Bassin Boukiou	
	Surfaces (km <sup>2</sup> )	% des surfaces
Cultures extensives	20	18
Arboriculture	4.5	4
Vigne	8	7
Couvert forestier	40	35
Prairies et terrains de parcours	25.5	22
Couvert mort	16	14

Direction des services agricoles de Tlemcen (2012/2013)

## II.6- Conclusion

Cette étude a permis de mettre le point sur les différents paramètres physiques du bassin versant d'oued Boukiou. Ce dernier présente un relief assez fort et une forme allongée. La courbe hypsométrique du bassin reflète un état d'équilibre vers la maturité, offrant un potentiel érosif modéré. Le bassin est assez bien drainé avec une densité de drainage supérieure à 2,30 km / km<sup>2</sup>, en raison de l'effet de régression abrupte.

L'étude géologique a révélé l'existence des formations carbonatées perméables et des formations Semi perméables marno-alluvionnaires ou argilo-marneuses du Miocène moyen et inférieur dans la partie centrale et avale du bassin.

Nous avons résumé dans le tableau II.14, les caractéristiques morphométriques importantes du bassin versant étudié.

Tableau II. 14: Caractéristiques morphométriques du bassin versant d'oued Boukiou

Caractéristiques	Symbole	Unités	Valeurs
Superficie	A	Km <sup>2</sup>	117.3
Périmètre	P	Km	58
Longueur du Rectangle équivalent	Leq	Km	24.14
Largeur du Rectangle équivalent	Leq	Km	4.86
Altitudes caractéristiques	Hmin	M	100
	Hmoy	M	382.74
	Hmax	M	1338
	H50%	M	350
	H95%	M	150
H5%	M	700	
Indice de compacité	KC	/	1.50
Indice de pente globale	Ig	m/km	0.023
Indice de pente de ROCHE	Ip	m/km	1.8
pente moyenne	Imoy	%	5.13
Facteur de forme	Rf	/	0.20
Coefficient de circularité	Rci	/	0.44
Elancement	Re	/	2.48
Rayon de circularité	R4	Km	25.40
Densité de drainage	Dd	Km/km <sup>2</sup>	2.97
Rapport de longueur	RL	/	2.54
Rapport de confluence	Rc	/	4.68
Fréquence des cours d'eau	F	/	11.42
Coefficient de Torrentialité	CT	/	2.70
Temps de concentration des eaux	Tc	Heure	6h00
Relief	Re	/	Assez fort
Type de bassin	/	/	Chêne, petit

# Chapitre III

Hydroclimatologie

### III.1-Introduction

L'étude du climat et leurs caractéristiques joue un rôle important dans la connaissance du comportement hydrologique des cours d'eau existants dans un bassin versant.

L'objectif principal de cette étude est de mettre en évidence l'effet des facteurs (précipitations, température, humidité ...), qui varient d'un lieu à un autre de la surface terrestre.

Dans cette optique, nous étudierons l'évolution des précipitations et des températures au cours des dernières décennies dans le bassin versant d'oued Boukiou.

### III.2-Présentation de la station de mesure

Les données de la station Dj chouachi ont été recueillies auprès de l'agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H). Ces données sont constituées de relevés pluviométriques et hydrométriques (Tableau III.1) et (figure III.1) sur une période de mesure commune de 43 ans (1974/1975-2017/2018)

Tableau III.1 : caractéristiques de la station Dj chouachi

Station	Code	Coordonnées			Période d'enregistrement	Paramètres mesurés	Etat
		Latitude	Longitude	Altitude (m)			
Dj chouachi	160518	35°14' N	01°31'W	130	1974-2018	P, T et Q	opérationnelle

Source : A.N.R.H

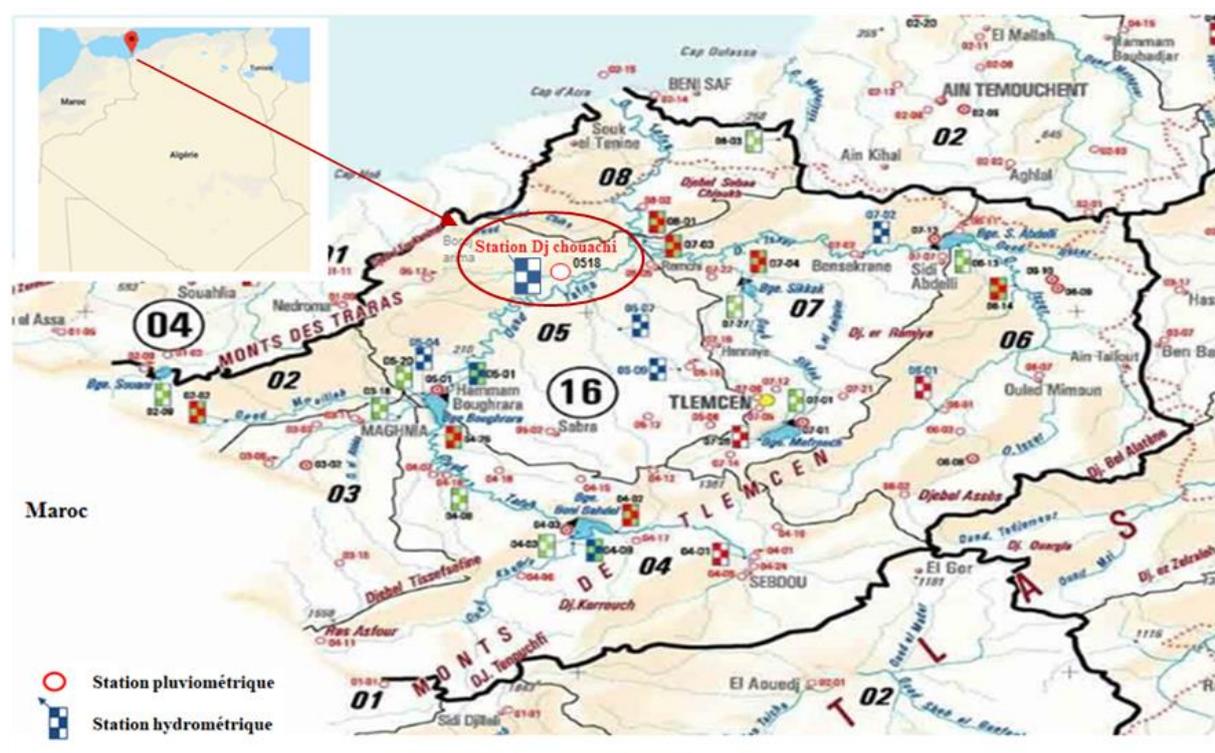


Figure III.1 : Situation de la station hydropluviométrique Dj Chouachi

### III.3-Etude des précipitations

Les précipitations désignent tous les météores qui tombent dans une atmosphère et il peut s'agir de solides ou de liquides selon la composition et la température de cette dernière.

#### III.3.1-Variation annuelles des précipitations

Le tableau (III.2) montre les données de précipitations annuelles enregistrées au niveau de la station au cours de la période 1974-2018

Tableau III.2 : Précipitations annuelles (mm) (1974/1975 – 2017/2018)

années	P (mm)	Années	P (mm)	Années	P (mm)
1974-1975	406,4	1989-1990	239,9	2004-2005	274,1
1975-1976	404,7	1990-1991	226,6	2005-2006	303,0
1976-1977	329,1	1991-1992	367,5	2006-2007	260,3
1977-1978	248,3	1992-1993	222,1	2007-2008	183,4
1978-1979	285,4	1993-1994	289,3	2008-2009	551,2
1979-1980	380,6	1994-1995	234,5	2009-2010	417,4
1980-1981	283,3	1995-1996	248,4	2010-2011	360,0
1981-1982	186,8	1996-1997	159,2	2011-2012	256,4
1982-1983	163,6	1997-1998	230,5	2012-2013	474,3
1983-1984	262,5	1998-1999	290,5	2013-2014	361,9
1984-1985	244,7	1999-2000	191,4	2014-2015	349,1
1985-1986	304,7	2000-2001	268,0	2015-2016	218,4
1986-1987	311,4	2001-2002	333,6	2016-2017	221,5
1987-1988	143,4	2002-2003	326,2	2017-2018	310,5
1988-1989	190,8	2003-2004	467,3		

La variation des précipitations annuelles (figure III.2), met en évidence une importante irrégularité, dont, on observe le maximum des précipitations enregistré au cours de l'année (2008/2009) avec 551.2mm et la plus faible pluviométrie de 143.4 mm est enregistrée en (1987/1988). La moyenne interannuelle observée à la station est de 290.5mm.

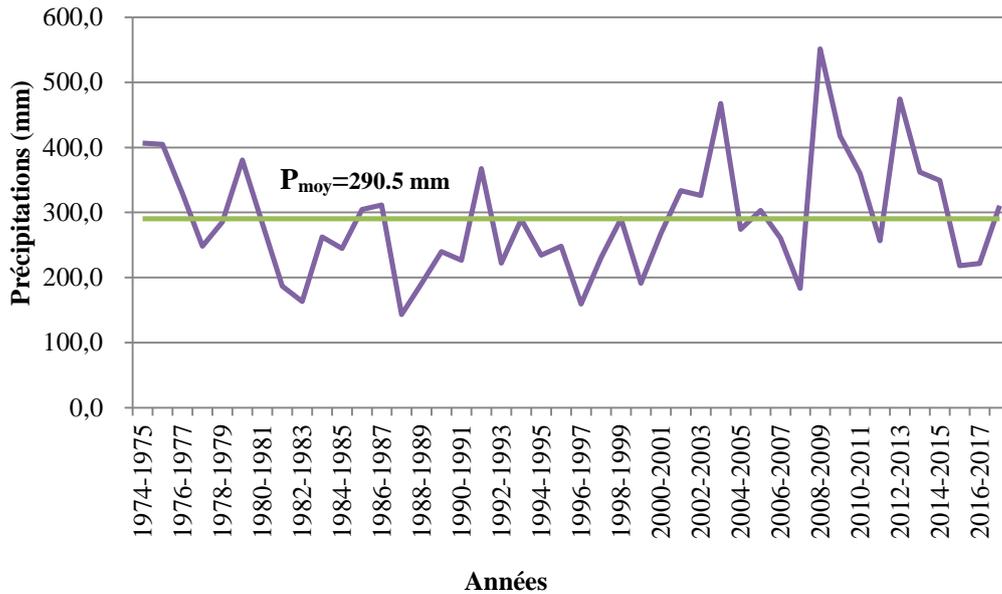


Figure III.2: Variation des précipitations annuelles à la station Dj Chouachi (1974/1975 – 2017/2018).

**III.3.2-Coefficient d’irrégularité**

Le coefficient d’irrégularité du régime des précipitations annuelles correspond au rapport du module de l’année la plus humide  $P_{Max}$  à celui de l’année la plus sèche  $P_{Min}$ .

$$C_{ir} = \frac{P_{Max}}{P_{Min}} \tag{III.1}$$

avec :

$C_{ir}$  : Coefficient d’irrégularité

$P_{Max}$ :Précipitation maximal = 551.2 (mm)

$P_{Min}$  : Précipitation minimal = 143.4 (mm)

Alors  $C_{ir} = 3.8$

Cette valeur met en évidence l’irrégularité des précipitations au niveau du bassin versant de l’oued Boukiou.

**III.3.3-Variation mensuelle des précipitations**

Le tableau (III.3) présente les valeurs moyennes mensuelles des précipitations à la station de Dj chouachi

Tableau III.3 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations (1974/1975-2017/2018).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P (mm)	10.2	21.2	45.5	32	38.5	47.2	37.2	27.5	23.1	3.7	0.9	3.6

L’analyse de La répartition des précipitations moyennes mensuelles pour la période (1974/1975-2017/2018) figure III.3, montre un maximum qui s’observe au mois de Février

avec (47.2mm) (mois le plus pluvieux), et un minimum au mois de Juillet ( $\approx 1$ mm) (mois le plus sec).

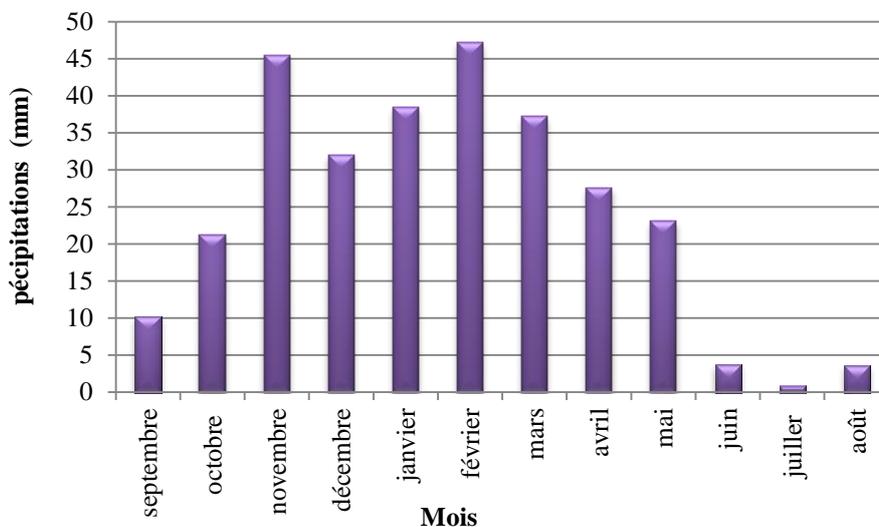


Figure III.3 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (1974/1975-2017/2018).

### III.3.4-Variations saisonnières des précipitations

Les quatre saisons de l’année et leurs précipitations équivalentes sont données au tableau suivant :

Tableau III.4 : Répartition des précipitations saisonnières.

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
Moyenne	76.9			117.7			87.7			8.2		

D’après La variation des précipitations moyennes saisonnières (fig.III.4), l’hiver est la saison la plus humide avec une sécheresse en période d’été.

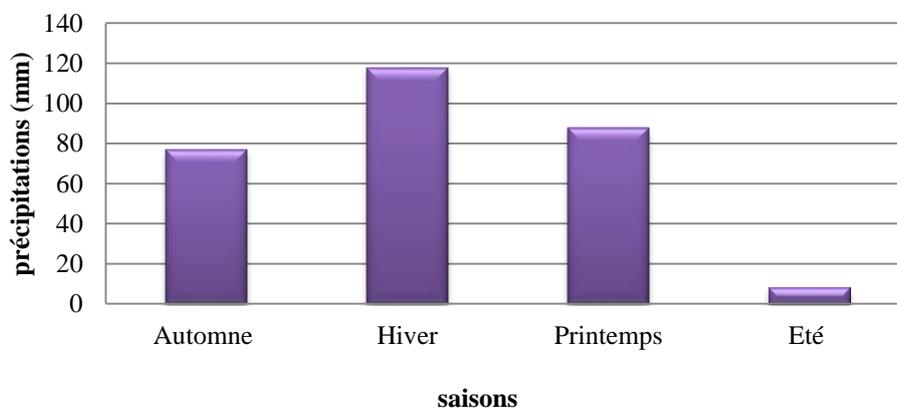


Figure III.4: Variation des précipitations moyennes saisonnières (1974/1975-2017/2018).

### III.3.5-Variation journalière des précipitations

La figure III.5, représente la distribution des précipitations moyennes journalières dans la période (1974/1975-2017/2018), nous remarquons des augmentations suivies des diminutions continues et progressives d'un jour à un autre avec des pics importants. La valeur des précipitations journalières maximales observées est de 7.6mm.

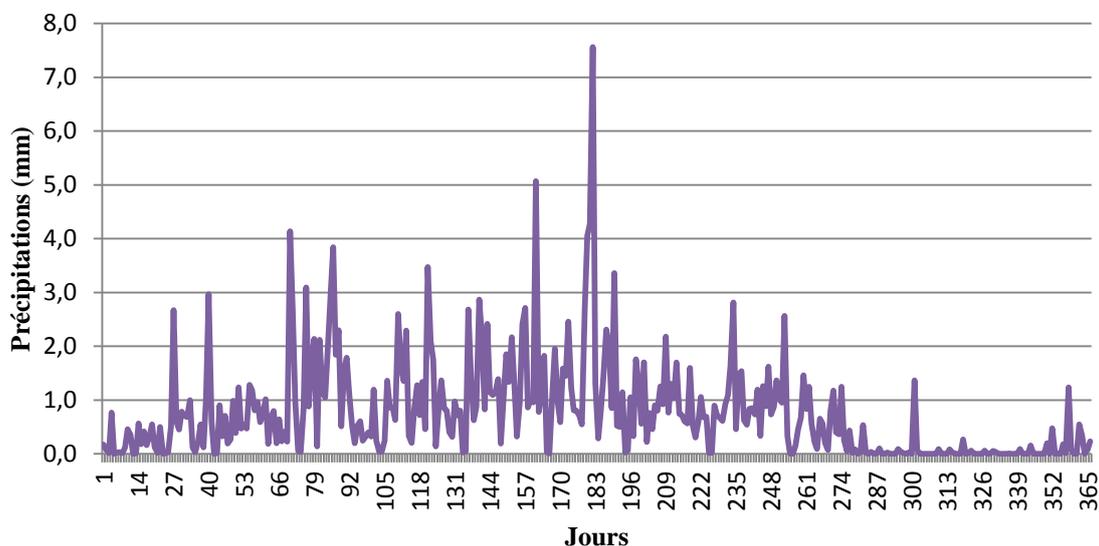


Figure III.5 : Variation des précipitations moyennes journalières (1974/1975-2017/2018).

### III.4-Etude statistique des précipitations

Pour mieux cerner cette irrégularité interannuelle des précipitations qui a un rôle essentiel et décisif sur l'écoulement fluvial et afin de caractériser le régime des précipitations annuelles, nous allons essayer de trouver une loi d'ajustement de la distribution des pluies annuelles dans le but d'aboutir à une estimation des paramètres d'ajustement et calculer des variables réduites.

Afin de détecter la structure des variations des précipitations annuelles et de faire une analyse détaillée de ces données, l'ajustement statistique a été effectué à l'aide du programme HYFRAN 1.1 développé par l'institut canadien (INRS). Ce dernier fournit des ajustements statistiques et spécifie un ou plusieurs codes de modèles correspondant à toutes les données.

L'ajustement graphique permet de vérifier si la forme de la loi retenue, ayant une valeur de test la plus petite, corrèle bien avec la distribution de la variable étudiée et représente mieux l'échantillon. Le calcul des différents paramètres de la loi ou les lois choisies permet enfin de déduire les variations futures de la variable pour une probabilité donnée. (*in* Amiar, 2014)

### III.4.1-Adéquation des données de précipitations à une loi statistique

L'analyse statistique des précipitations a pour but de déterminer les régimes à l'aide des valeurs spécifiques représentatives.

Le Tableau III.5, montre les valeurs des précipitations moyennes annuelles, qui sont classées selon une distribution systématique en termes croissants.

Le calcul des fréquences de chaque valeur sera donné par la relation suivante :

$$F_i = \frac{I}{N+1} \quad (\text{III.2})$$

$F_i$  : Fréquence

$I$  : Rang

$N$  : période d'observation (nombre d'années)

Tableau.III.5: Distribution des précipitations moyenne annuelle en terme croissant de la Station de Dj. Chouachi sur la période de 1974-1975 / 2017-2018.

Rang (I)	Année	P (mm)	$F_i = 1/N + 1$	Rang (I)	Année	P (mm)	$F_i = 1/N + 1$
1	1987/1988	143.4	0.022	23	1980/1981	283.3	0.511
2	1996/1997	159.2	0.044	24	1978/1979	285.4	0.533
3	1982/1983	163.6	0.067	25	1993/1994	289.3	0.556
4	2007/2008	183.4	0.089	26	1999/2000	290.5	0.578
5	1981/1982	186.8	0.111	27	2005/2006	303	0.600
6	1988/1989	190.8	0.133	28	1985/1986	304.7	0.622
7	1999/2000	191.4	0.156	29	2017/2018	310.5	0.644
8	2015/2016	218.4	0.178	30	1986/1987	311.4	0.667
9	2016/2017	221.5	0.200	31	2002/2003	326.2	0.689
10	1992/1993	222.1	0.222	32	1976/1977	329.1	0.711
11	1990/1991	226.6	0.244	33	2001/2002	333.6	0.733
12	1997/1998	230.5	0.267	34	2010/2011	349.1	0.756
13	1994/1995	234.5	0.289	35	2013/2014	360.0	0.778
14	1989/1990	239.9	0.311	36	2014/2015	361.9	0.800
15	1984/1985	244.7	0.333	37	1991/1992	367.5	0.822
16	1977/1978	248.3	0.356	38	1979/1980	380.6	0.844
17	1995/1996	248.4	0.378	39	1975/1976	404.7	0.867
18	2011/2012	256.4	0.400	40	1974/1975	406.4	0.889
19	2006/2007	260.3	0.422	41	2009/2010	417.4	0.911
20	1983/1984	262.5	0.444	42	2003/2004	467.3	0.933
21	2000/2001	268.0	0.467	43	2012/2013	474.3	0.956
22	2004/2005	274.1	0.489	44	2008/2009	551.2	0.978

Les résultats de calcul des paramètres de position et de dispersion sont représentés dans le tableau (III.6) :

Tableau III.6: Paramètres de position et de dispersion des précipitations par la loi normale

	Paramètres	Formules	Valeurs
Paramètres de position	Moyenne (mm)	$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^a P_i$	290.5
	Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^a (P_i^2 - \bar{P}^2)$	7980.52
Paramètres de dispersion	Ecart-type	$\delta = \sqrt{\sigma^2}$	89.33
	Coefficient de variation	$C_v = \frac{\sigma}{\bar{P}}$	0.31

Avec :

$N$  : Effectif (nombre d'années),

$P_i$  : Valeurs des précipitations de chaque année.

Le coefficient de variation de la station étant inférieur à 0,5 ( $C_v < 0,5$ ), on peut donc ajuster la série des précipitations à une loi symétrique dont la loi normale et la loi Log normale.

### III.4.1.1-Ajustement par la loi normale

#### a-Test graphique

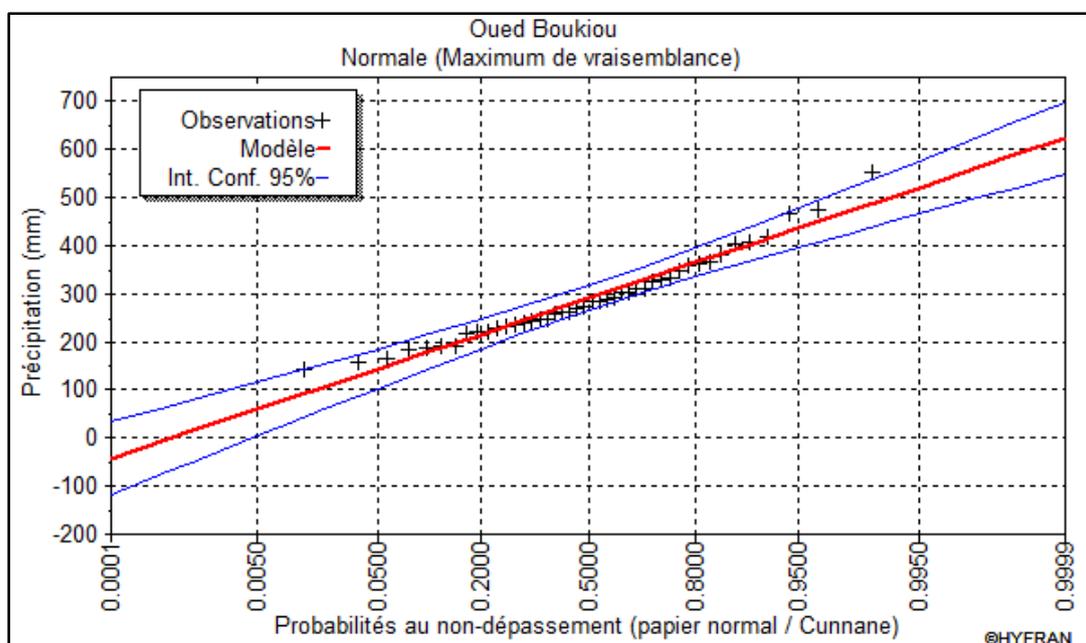


Figure III.6 : Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi de distribution normale.

D'après la figure III.6, nous remarquons que la distribution des précipitations à la loi normale fournit un alignement de points acceptables.

On obtient une distribution représenté par une droite (la droite d'Henry) d'équation :

$$P = \sigma \cdot u + \bar{P} \quad (\text{III.3})$$

Avec :

$\sigma$  = Ecart-type.

$\bar{P}$  = moyenne des précipitations

$u$  : variable réduite de Gauss.

### b- Test numérique (Test du $\chi^2$ )

Pour calculer khi-deux ( $\chi^2$ ) l'utilisation du logiciel HYFRAN donne les résultats du tableau (III.7)

Tableau III.7 : Résultats du  $\chi^2$  par la loi normale.

Paramètres	Valeurs
$\chi^2$ calculé	4.27
$\chi^2$ tabulé	12.59
Degré de liberté ddl	6
Nombre de classes K	9

Avec :

$$\gamma = \text{ddl} = K - p - 1$$

$$\gamma = \text{ddl} = 9 - 2 - 1 = 6$$

(III.4)

#### III.4.1.2-Ajustement à la loi log normale

Le Tableau (III.8), représente les valeurs du logarithme des précipitations moyennes annuelles classées par ordre croissant.

Les fréquences de chaque valeur seront calculées par l'équation (III.2)

Tableau III.8 : Distribution des précipitations calculées pour la loi log à la station de Djebel Chouachi (1974/1975-2017/2018)

Rang (I)	Année	LogP	$F_i = I/N + 1$	Rang (I)	Année	LogP	$F_i = I/N + 1$
1	1987/1988	5.0	0.022	23	1980/1981	5.7	0.511
2	1996/1997	5.1	0.044	24	1978/1979	5.7	0.533
3	1982/1983	5.1	0.067	25	1993/1994	5.7	0.556
4	2007/2008	5.2	0.089	26	1999/2000	5.7	0.578
5	1981/1982	5.2	0.111	27	2005/2006	5.7	0.600
6	1988/1989	5.3	0.133	28	1985/1986	5.7	0.622
7	1999/2000	5.3	0.156	29	2017/2018	5.7	0.644
8	2015/2016	5.4	0.178	30	1986/1987	5.7	0.667
9	2016/2017	5.4	0.200	31	2002/2003	5.8	0.689
10	1992/1993	5.4	0.222	32	1976/1977	5.8	0.711
11	1990/1991	5.4	0.244	33	2001/2002	5.8	0.733
12	1997/1998	5.4	0.267	34	2010/2011	5.9	0.756
13	1994/1995	5.5	0.289	35	2013/2014	5.9	0.778
14	1989/1990	5.5	0.311	36	2014/2015	5.9	0.800
15	1984/1985	5.5	0.333	37	1991/1992	5.9	0.822
16	1977/1978	5.5	0.356	38	1979/1980	5.9	0.844
17	1995/1996	5.5	0.378	39	1975/1976	6.0	0.867
18	2011/2012	5.6	0.400	40	1974/1975	6.0	0.889
19	2006/2007	5.6	0.422	41	2009/2010	6.0	0.911
20	1983/1984	5.6	0.444	42	2003/2004	6.1	0.933
21	2000/2001	5.6	0.467	43	2012/2013	6.2	0.956
22	2004/2005	5.6	0.489	44	2008/2009	6.3	0.978

Les résultats de calcul des paramètres de position et de dispersion sont représentés dans le tableau (III.9)

Tableau III.9: Paramètres de position et de dispersion des précipitations par la loi log normale

	Paramètres	Formules	Valeurs
Paramètres de position	Moyenne (mm)	$\overline{\text{Log}P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^a \text{Log}P_i$	5.63
	Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^a (\text{Log}P_i^2 - \overline{\text{Log}P}^2)$	0.09
Paramètres de dispersion	Ecart-type	$\delta = \sqrt{\sigma^2}$	0.30
	Coefficient de variation	$C_v = \frac{\sigma}{\overline{\text{Log}P}}$	0.05

Avec :

$N$  : Effectif (nombre d'années).

$P_i$  : Valeurs des précipitations de chaque année.

**a-Test graphique**

Selon la figure III.7, l'alignement des précipitations à la loi log normale est lui aussi acceptable.

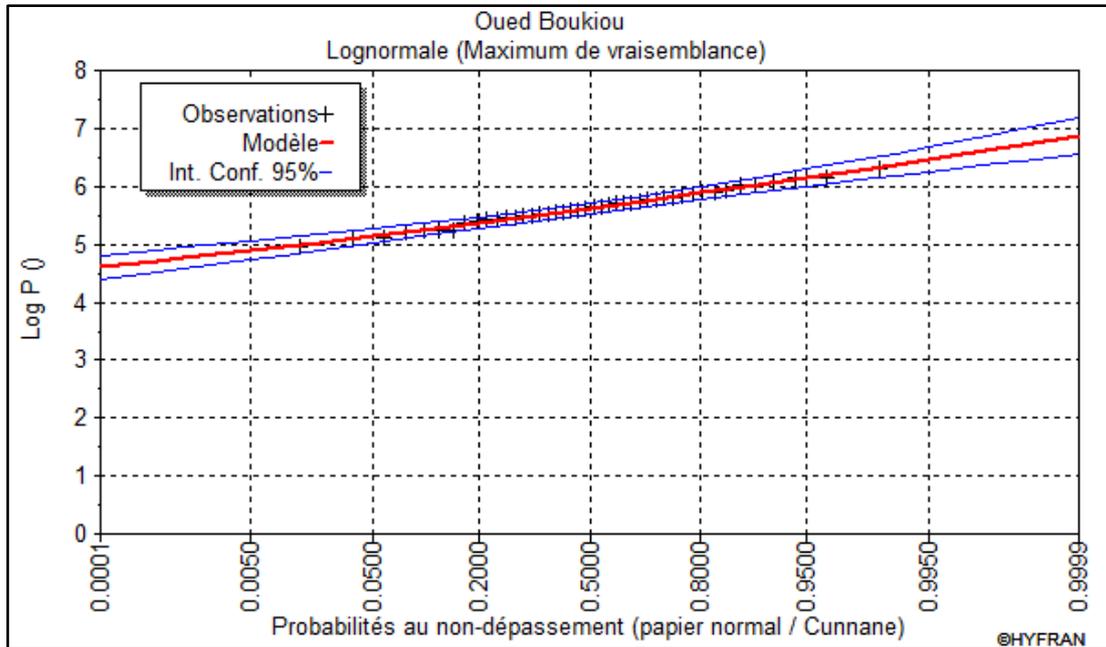


Figure III.7 : Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi de distribution log normale.

On obtient une distribution représentée par une droite (la droite d'Henry) d'équation :

$$\text{Log } P = \sigma u + \overline{\text{Log } P} \tag{III.5}$$

Avec :

$\sigma$  = Ecart-type

$\overline{\text{Log } P}$  = moyenne des précipitations

u : variable réduite de Gauss.

**b- Test numérique (Test du  $\chi^2$ )**

On utilise le logiciel HYFRAN pour calculer le khi-deux ( $\chi^2$ ), les résultats sont résumés dans le tableau (III.10)

Tableau III.10 : Résultats du  $\chi^2$  par la loi log normale.

Paramètres	Valeurs
$\chi^2$ calculé	5.09
$\chi^2$ tabulé	12.59
Degré de liberté ddl	6
Nombre de classes K	9

### III.4.2- Résultats de l'ajustement

Le tableau suivant présente la comparaison entre  $\chi^2$  calculé et  $\chi^2$  tabulé par la loi normale et la loi log normale.

Tableau III.11 : Comparaison entre  $\chi^2$  calculé et  $\chi^2$  tabulé

	$\chi^2$ calculé	$\chi^2$ tabulé	Comparaison	Jugement
La loi normale	<b>4.27</b>	12.59	$\chi^2_{cal} > \chi^2_{tab}$	Accepté.
La loi log normale	<b>5.09</b>	12.59	$\chi^2_{cal} > \chi^2_{tab}$	Accepté.

$\chi^2$  Calculé  $<$   $\chi^2$  tabulé pour un ddl = 6 et un seuil de probabilité de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

Les valeurs du  $\chi^2$  calculé par les deux lois étant plus faibles par rapport au  $\chi^2$  tabulé: les deux lois sont acceptées. Toutefois la loi normale présente une meilleure adéquation et c'est donc elle qui sera choisie pour le calcul des précipitations pour des récurrences données.

### III.4.3-Calcul des précipitations pour une période de récurrence donnée

D'après les résultats du tableau (III.11), nous allons calculer les précipitations pour différentes période de retour, utilisant la loi log normale et la loi normale Tableau (III.12) suivant l'équation (III.3 et III.5).

La loi log normale est plus pratique que la loi normale pour faire des ajustements

Tableau III.12: Calcul des précipitations pour une période de récurrence donnée avec la loi log normale et la loi normale

		Log normale		Normale
		Log P	P (mm)	P (mm)
Période humide	Précipitations			
	Précipitations décennales (u=1.28)	6.0	409.12	404.84
	Précipitations de 50 ans (u=2,05)	6.2	515.43	473.63
	Précipitations centennales (u= 2,33)	6.3	560.60	498.64
Période sèche	Précipitations millénaires (u=3.29)	6.6	747.70	584.40
	Précipitations décennales (u= -1.28)	5.2	189.81	176.16
	Précipitations de 50 ans (u= -2.05)	5.0	150.66	107.37
	Précipitations centennales (u= -2,33)	4.9	138.52	82.36
	Précipitations millénaires (u= -3.29)	4.6	103.86	-3.40

Les résultats montrent qu'il y a une petite convergence entre les valeurs trouvées par les deux méthodes, et pour plus de sécurité, nous adoptons la loi log normale.

### III.5- Etude des températures

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. (in El Houssaoui, 2015)

III.5.1-Variation annuelle des températures

Le tableau III.13, représente les données de température annuelles enregistrées au niveau de la station durant la période (1974-1975/2017-2018)

Tableau III.13 : températures moyennes annuelles (°C) (1974/1975 – 2017/2018)

Année	Température	Année	Température	Année	Température
1974-1975	17.64	1989-1990	19.03	2004-2005	17.75
1975-1976	16.08	1990-1991	17.89	2005-2006	18.50
1976-1977	16.04	1991-1992	17.45	2006-2007	18.42
1977-1978	16.96	1992-1993	17.52	2007-2008	18.30
1978-1979	17.43	1993-1994	17.98	2008-2009	18.02
1979-1980	16.03	1994-1995	18.41	2009-2010	19.12
1980-1981	17.16	1995-1996	18.42	2010-2011	18.78
1981-1982	18.25	1996-1997	18.20	2011-2012	18.12
1982-1983	17.00	1997-1998	18.59	2012-2013	17.81
1983-1984	17.52	1998-1999	18.09	2013-2014	18.14
1984-1985	17.90	1999-2000	18.22	2014-2015	18.94
1985-1986	17.85	2000-2001	18.57	2015-2016	18.88
1986-1987	17.83	2001-2002	18.23	2016-2017	19.00
1987-1988	18.70	2002-2003	18.62	2017-2018	17.81
1988-1989	18.21	2003-2004	18.23		

D’après la figure III.8, les températures moyennes annuelles sont très irrégulières avec une tendance croissante, dont l’augmentation annuelle est en moyenne de 0.038°C. La température moyenne annuelle est de 18°C.

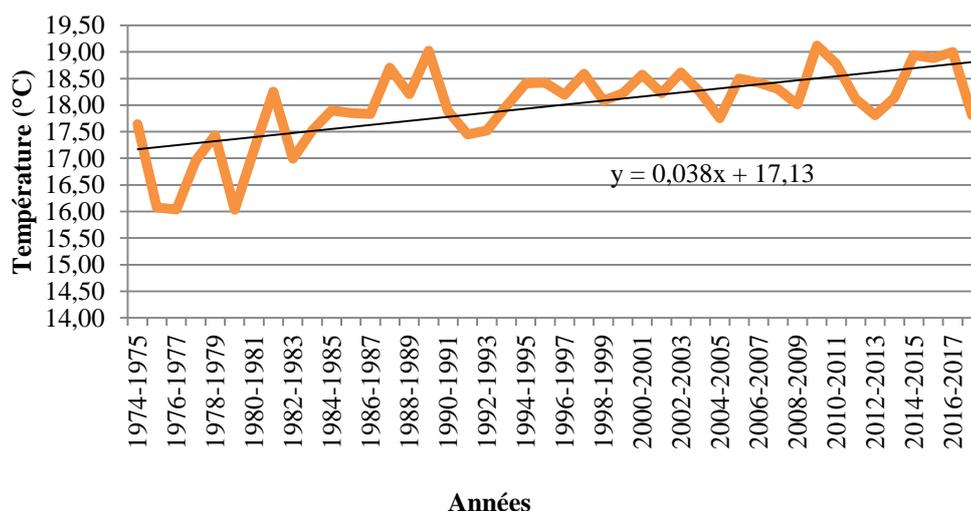


Figure III.8 : Variation des températures annuelles à la station Dj Chouachi (1974/1975 – 2017/2018).

**III.5.2-Variation des températures moyennes mensuelles**

Les valeurs des températures moyennes mensuelles sont résumées dans le tableau qui suit :

Tableau III.14 : Valeurs des températures moyennes mensuelles à la station de Dj chouachi

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
<b>Tmin (°C)</b>	17.3	13.5	9.6	6.8	5.5	6.4	7.7	9.4	12.3	15.9	19.0	19.8
<b>Tmax (°C)</b>	30.0	25.8	20.8	17.6	16.3	17.2	19.5	21.6	24.8	29.1	32.8	33.4
<b>Tmoy (°C)</b>	23.63	19.65	15.20	12.19	10.86	11.82	13.63	15.48	18.52	22.50	25.90	26.60

Selon le tableau III.14 et la figure III.9, la température moyenne mensuelle la plus élevée est enregistrée au mois d’Août (26,6°C), et la plus basse est celle du mois de Janvier (≈11°C).

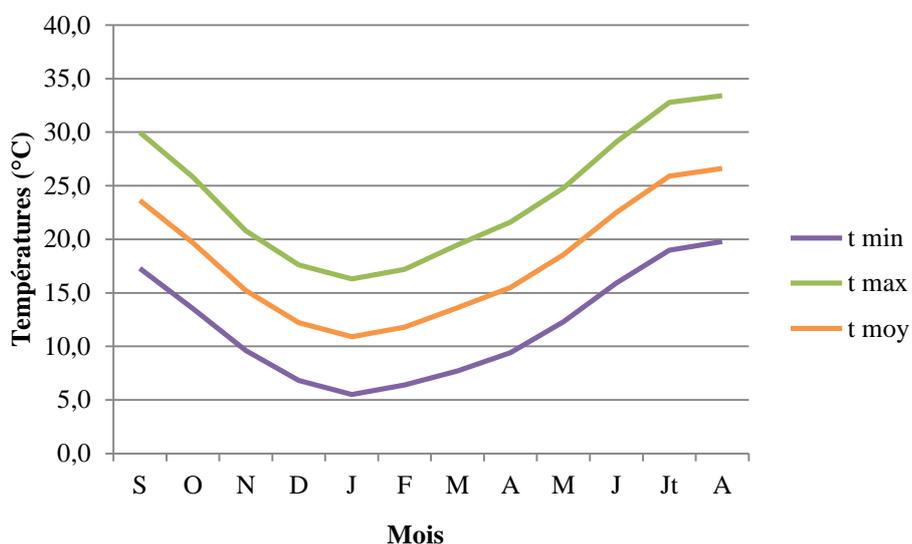


Figure III.9 : Variations des températures moyennes mensuelles (1974/1975-2017/2018)

**III.5.3- Variation saisonnière des températures**

L’analyse du tableau (III.115) et la figure (III.10), montre que l’été et l’automne sont les saisons les plus chaudes, l’hiver et le printemps les saisons froides.

Tableau III.15 : Valeurs moyennes saisonniers des températures.

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
<b>Moyennes (°C)</b>	19.49			11.62			15.88			25		

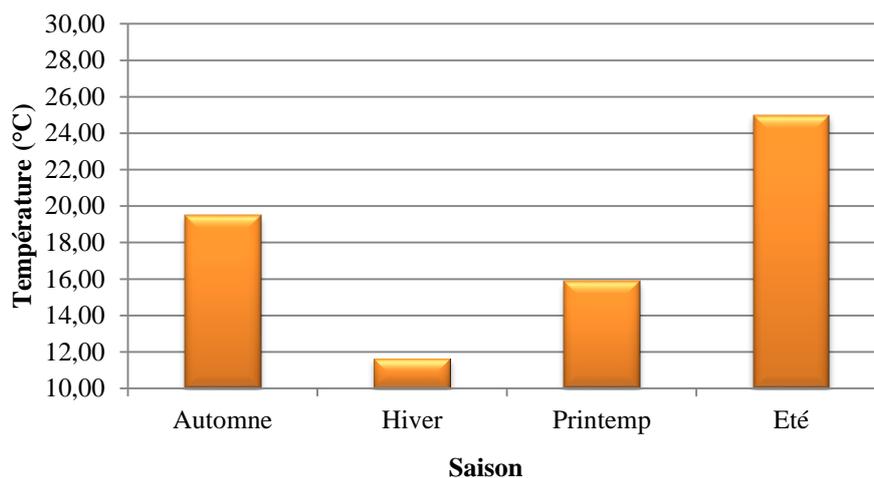


Figure III.10 : Variation saisonnière des températures (1974/1975-2017/2018).

### III.6- Étude du climat

L'étude du climat et les indices climatiques seront basés sur les données de température et de précipitations moyennes mensuelles durant la période (1974/1975-2017/2018) (tableau III.16)

#### III.6.1-Diagramme pluviothermique (méthode de Gausсен et Bagnouls, 1952)

Le diagramme pluviothermique est une représentation graphique où sont reportés en abscisses les mois, en ordonnées les températures suivant une échelle arithmétique et les précipitations suivant une échelle arithmétique double. Selon Bagnouls et Gausсен, un mois humide est celui où le total moyen des précipitations (mm) est supérieur au double des températures moyennes (°C) ( $P > 2T$ ) dans le cas contraire, un mois est dit sec.

Tableau III.16. Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station Dj chouachi. (1974/1975-2017/2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P (mm)	10.2	21.2	45.5	32	38.5	47.2	37.2	27.5	23.1	3.7	0.9	3.6
T (°C)	23.63	19.65	15.20	12.19	10.86	11.82	13.63	15.48	18.52	22.50	25.90	26.60

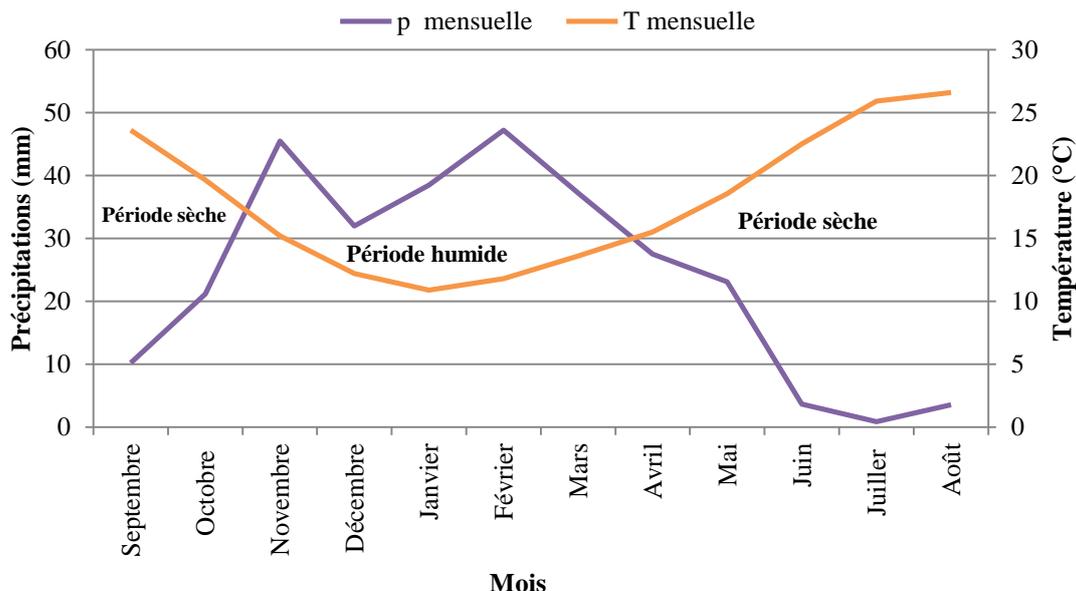


Figure III.11. Diagramme Ombrothermique de Gausse et Bagnouls à la station de Dj Chouachi (1974/1975-2017/2018)

Le diagramme Ombrothermique établi,  $\{P = f(2T)\}$  (Fig.III.11), montre l’alternance de deux saisons:

- Une saison humide, qui s'étend pratiquement d'Octobre à Avril.
- Une saison sèche, couvrant le reste des mois de l'année.

### III.6.2. Diagramme ombrothermique (méthode d’Euverte)

Le rapport  $P / T$  établi mensuellement, permet de connaître l’évolution de l’humidité du sol. Il permet également de définir trois (03) types de régime :

- Régime très sec où le rapport  $P/T < 1$ .
- Régime sec où le rapport  $P/T$  est compris entre 1 et 2.
- Régime sub-humide où le rapport  $P/T$  est compris entre 2 et 3.
- Régime humide où le rapport  $P/T > 3$ .

Selon le tableau ci-dessus, il en ressort que la période sub humide – humide s’étale depuis le mois de Novembre jusqu’à la fin Mars.

Tableau.III.17 : Humidité du Sol

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P (mm)	10.2	21.2	45.5	32	38.5	47.2	37.2	27.5	23.1	3.7	0.9	3.6
T (°C)	23.63	19.65	15.20	12.19	10.86	11.82	13.63	15.48	18.52	22.50	25.90	26.60
P/T	0.43	1.08	2.99	2.62	3.53	4.00	2.74	1.77	1.25	0.16	0.03	0.14
Régime	T sec	Sec	Sub humide (S h)		H	H	S h	Sec		T sec		

III.6.3-Indices climatiques

III.6.3.1-Indice d'aridité de De. Martonne

a. Indice d'aridité annuel de De. Martonne

Cet indice est fonction des températures et des précipitations, il est calculé par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{T+10} \tag{III.6}$$

P : Précipitations moyennes annuelles = 290.5 (mm)

T : Températures moyennes annuelles = 18 (°C)

I : Indice d'aridité = 10.38

Cette formule permet de trouver le type de climat qui règne dans le bassin versant, ce dernier est défini en fonction de la valeur de cet indice (Tableau III.18)

Tableau.III.18 : Classification du climat suivant l'indice d'aridité de De. Martonne.

Indice d'aridité	Type de climat
20 < I < 30	Tempéré
10 < I < 20	Semi-Aride
7.5 < I < 10	Steppique
5 < I < 7.5	Désertique
I < 5	Hyperaride

Nous avons obtenu un indice d'aridité, I=10.38. Cette valeur reportée sur l'abaque de De Martonne indique un régime climatique semi-aride avec un écoulement temporaire et des formations herbacées (fig.III .12).

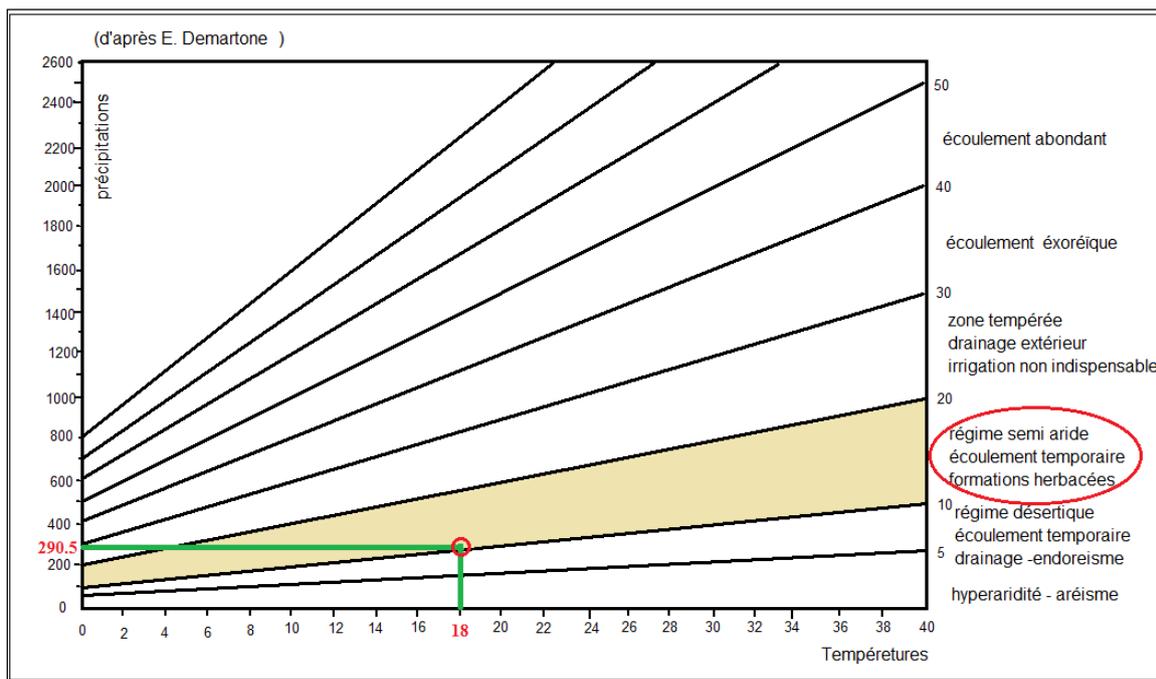


Figure III.12 : Abaque de De. Martonne.

**b. Indice d'aridité mensuel**

L'indice d'aridité mensuel est défini par la relation suivante :

$$I = \frac{12p}{t+10} \tag{III.7}$$

- I : Indice d'aridité mensuel
- p : Précipitations moyennes mensuelles (mm).
- t : Température moyenne mensuelle (°C).

Tableau III.19 : Valeurs des indices d'aridité mensuel de De. Martonne

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
<b>P (mm)</b>	10.2	21.2	45.5	32	38.5	47.2	37.2	27.5	23.1	3.7	0.9	3.6
<b>T (°C)</b>	23.63	19.65	15.20	12.19	10.86	11.82	13.63	15.48	18.52	22.50	25.90	26.60
<b>i</b>	3.64	8.58	21.67	17.31	22.15	25.96	18.89	12.95	9.72	1.37	0.30	1.18

D'après les tableaux (III.18, III.19) on conclut que les mois sont caractérisés par un climat :

- ✓ Tempéré: Novembre, Janvier, Février
- ✓ Aride : Mai et Octobre
- ✓ Hyper aride : septembre, Juin, Juillet, Août.
- ✓ Semi-aride : Décembre, Mars et Avril

**III.6.3.2-Indice de continentalité de Kerner**

Cet indice permet de déterminer l'influence marine sur les conditions locales de la région, il est donné par :

$$IK = \frac{T_o - T_a}{A} \times 100 \tag{III.8}$$

A : amplitude moyenne annuelle c'est-à-dire la différence entre la température du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid en °C.

To : Température moyenne mensuelle du mois d'Octobre en °C.

Ta : Température moyenne mensuelle du mois d'Avril en °C.

Tableau III.20 : Calcul d'indice de Kerner.

Station	A	To	Ta	IK
<b>Dj Chouachi</b>	15.7	19.7	15.5	26.8

Cet indice est plus important au voisinage des régions côtières et diminue de plus en plus que l'on s'éloigne de la mer.

Comparons la valeur obtenue (Ik =26.8), (Tab.III.20) avec les résultats de la station côtière de Béni-Saf (Ik =34,7) et celle très continentale de Ghardaïa (Ik =1,3), Nous constatons que notre région subie des influences maritimes (climat méditerranéen).

III.6.3.3- Indice de Moral

a. Indice mensuel de Moral

Pour préciser le type du climat de chaque mois, on utilise l'indice mensuel de Moral qui est donné par la formule suivante :

$$I_m = \frac{P}{0,1T^2 - T + 20} \tag{III.9}$$

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm)

T : Température moyenne mensuelle (°C)

Tableau III.21 : Calcul des indices mensuels de Moral

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P (mm)	10.2	21.2	45.5	32	38.5	47.2	37.2	27.5	23.1	3.7	0.9	3.6
T(°C)	23.63	19.65	15.20	12.19	10.86	11.82	13.63	15.48	18.52	22.50	25.90	26.60
(Im)	0.20	0.54	1.63	1.41	1.84	2.13	1.49	0.97	0.65	0.08	0.01	0.06
Poids	-1	0	2	1	2	2	2	0	0	-1	-1	-1
Type de Mois	Aride	Sec	pluvieux	humide	pluvieux	pluvieux	pluvieux	sec	sec	Aride	Aride	Aride

Tableau III.22 : Types de mois indiqués par Moral

Type de mois	intervalle
Pluvieux	$P > 0,1 T^2 - T + 30$
Humide	$0,1 T^2 - T + 30 > P > 0,1 T^2 - T + 20$
Sec	$0,1 T^2 - T + 20 > P > 0,05 T^2 - T + 10$
Aride	$P < 0,05 T^2 - T + 10$

Tableau III.23 : Poids effectué à chaque type de mois

Type de mois	Poids
Pluvieux	$P = 2$
Humide	$h = 1$
Sec	$s = 0$
Aride	$a = -1$

b. Indice annuel de Moral  $I_M$

C'est La somme des valeurs des indices pluviométrique annuel  $I_M$  sur la fréquence des types de mois.

Pour notre cas  $I_m = 10 < 11.07 < 20$  indique un climat est semi- aride.

III.7- Climagrammes

III.7.1-Climagramme d'Emberger

La méthode la plus efficace pour cerner la plus au moins grande humidité du bassin versant de l'Oued Boukiou est celle d'Emberger adaptée à l'analyse du climat de type méditerranéen.

Emberger a mis au point une formule pour le calcul du quotient pluviométrique basée sur la température et la pluviosité.

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2} \tag{III.10}$$

Q<sub>2</sub> : Quotient pluviométrique d'Emberger.

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (K).

m : Moyenne des minima du mois le plus froid. (K).

T(K) = T(°C) + 273,15

Tableau III.24: Indice d'Emberger

Station	P (mm)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Q <sub>2</sub>
Dj Chouachi	290.5	33.4	5.5	35.5

D'après l'abaque d'Emberger (fig.III.13), nous constatons que le climat de la région de Boukiou, est : semi-aride à hiver tempéré.

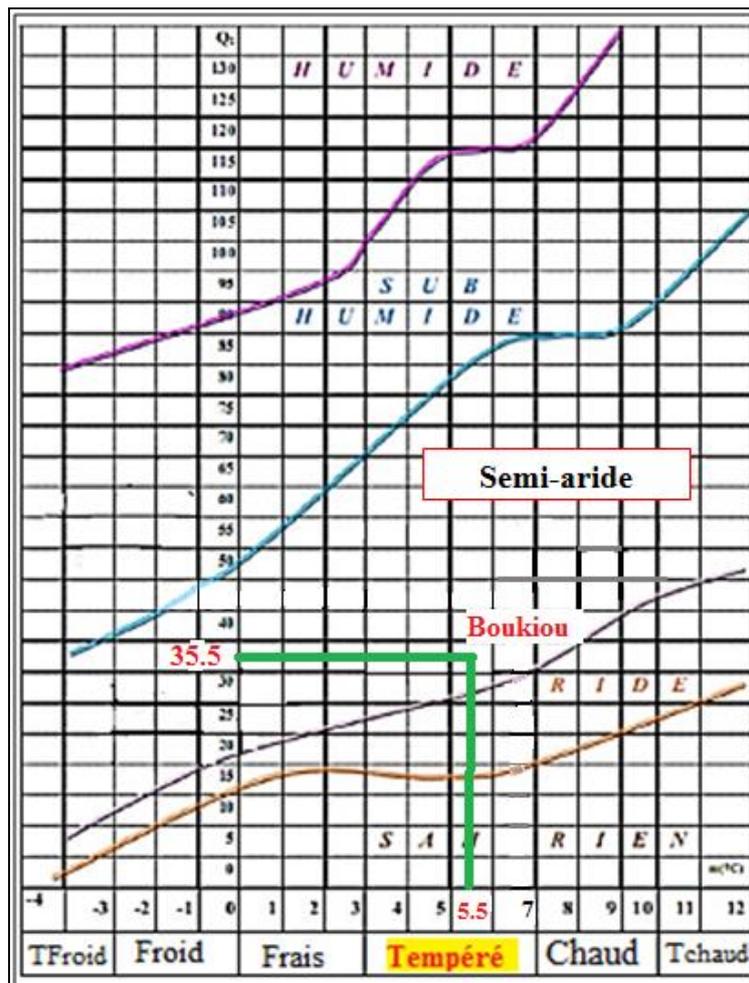


Figure III.13 : Climagramme d'Emberger

### III.8-Evapotranspiration potentielle et déficit d'écoulement (ETR)

On appelle évapotranspiration réelle (notée ETR), la quantité d'eau, généralement exprimée en millimètres, évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant. L'évapotranspiration potentielle (notée ETP) est la quantité d'eau qui serait évaporée ou transpirée à partir d'un bassin versant si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant.

#### III.8.1-Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

De nombreuses formules permettent d'évaluer ETP à partir de différentes mesures. Pour notre cas, nous avons utilisé les formules de Thornthwaite.

##### III.8.1.1-Méthode de Thornthwaite 1957

Thornthwaite a été le premier à adopter la notion de l'évapotranspiration potentielle, en partant d'expériences réalisées sur divers climats : humide, subhumide et semi-aride, suivant la formule :

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

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm)

T : Température moyenne du mois (°C)

I: Indice thermique annuel : soit la somme des indices thermiques mensuels (i) calculés selon

$$\text{la formule : } i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1.514} \quad (III.11)$$

a: Constante fonction de l'indice thermique annuel

$$a = 6,75. 10^{-7}. I^3 - 7,71. 10^{-5}. I^2 + 1,79. 10^{-2}. I + 0,49 \quad (III.12)$$

K : Coefficient de correction en fonction de la latitude et du mois.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.25: Calcul et correction des valeurs de l'ETP à la station Djebel Chouachi, (1974/1975-2017/2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
T (°C)	23.63	19.65	15.20	12.19	10.86	11.82	13.63	15.48	18.52	22.50	25.90	26.60
I (mensuel)	10.50	7.94	5.38	3.85	3.24	3.68	4.56	5.53	7.26	9.75	12.06	12.56
a	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89
K	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
ETP corrigé (mm)	110.86	74.90	39.78	26.27	21.35	24.66	39.09	53.62	82.18	118.99	157.84	153.24
P (mm)	10.2	21.2	45.5	32	38.5	47.2	37.2	27.5	23.1	3.7	0.9	3.6

La valeur de l'évapotranspiration potentielle annuelle est : 902.8 mm.

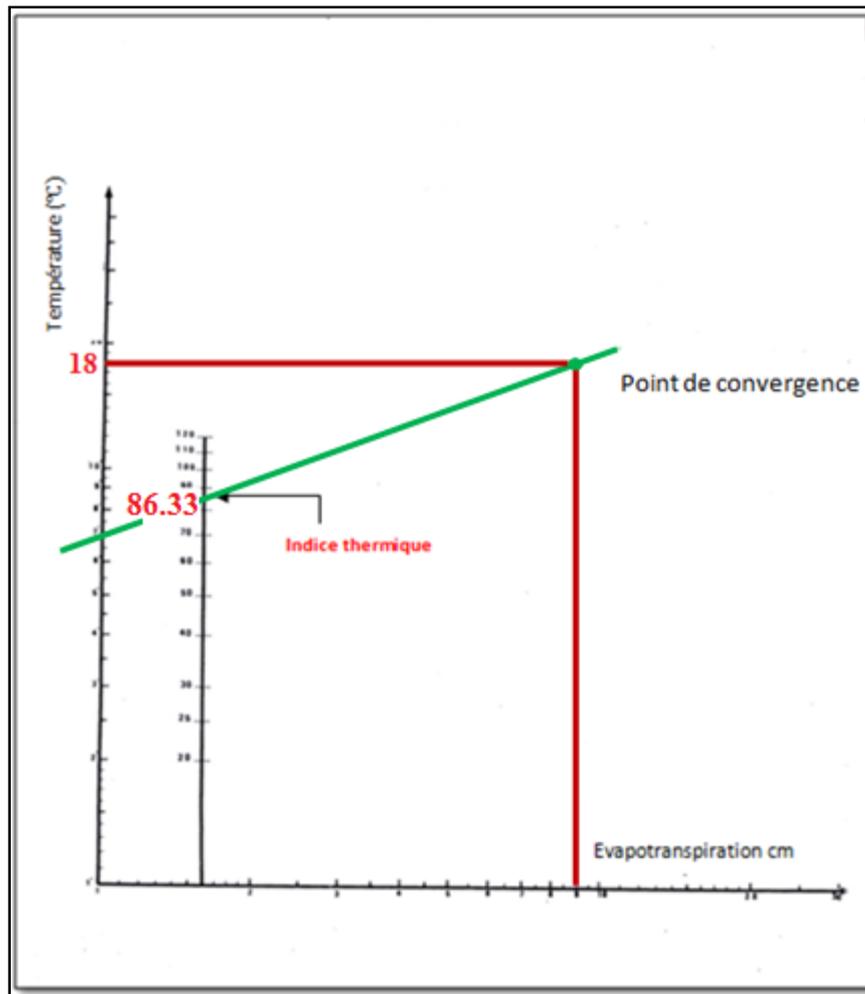


Figure III.14: Abaque de Thornthwaite

### III.8.2- Evapotranspiration réelle (ETR)

Cela peut être fait en utilisant deux formules parmi beaucoup d'autres,

#### III.8.2. 1- Formule de L. Turc (1954)

$$ETR = D = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (\text{III.13})$$

Avec :

ETR : Déficit d'écoulement (mm).

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

$$L = 300 + 25 T + 0,05 T^3 \quad (\text{III.14})$$

T : Température moyenne annuelle (°C).

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.26 : Calcul d'ETR par la méthode de Turc

Station	P (mm)	T (°C)	L(m)	ETR (mm)
Dj chouachi	290.5	18	1041.60	293.78

**III.8.2.2. Formule de M. Coutagne**

$$ETR = P - \lambda P^2 \tag{III.15}$$

$$\lambda = 1 / (0,8 + 0,14T) \tag{III.16}$$

P : Précipitations moyennes annuelles (m).

L'application de cette formule est conditionnée par la relation suivante :  $1/8\lambda \leq P \leq 1/2\lambda$

Alors dans notre cas la formule, n'est pas applicable.

**III.8.2.3-Méthode de Wundt**

L'hydrologue Wundt a établi un diagramme permettant d'obtenir une valeur du déficit d'écoulement à partir d'un abaque modifié par M Coutagne.

Tableau III.27 : Valeur du déficit et du quotient d'écoulement (Wundt)

Station	P (mm)	T (°C)	D (mm)	E (mm)
Dj Chouachi	290.5	18	285	5.5

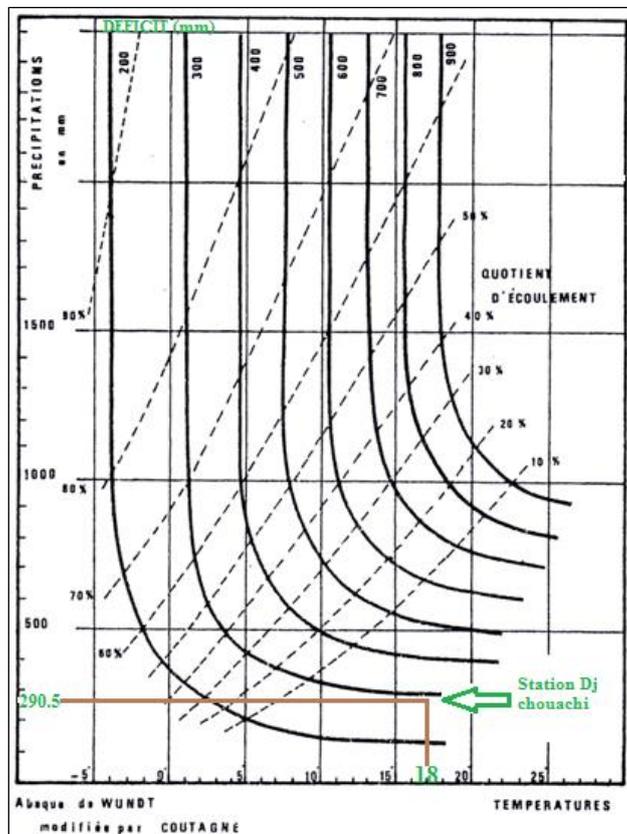


Figure III.15 : Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de Wundt).

**III.8.2.4- Méthode de P. Verdeil (1988)**

Afin d'estimer les valeurs de l'évapotranspiration réelle ou déficit d'écoulement Verdeil (1988), a établi un abaque bilogarithmique pour les régions semi-arides en tenant compte uniquement des précipitations annuelles.

Tableau III.28 : Valeur du déficit d'écoulement (Verdeil)

Station	P (mm)	T (°C)	D (mm)
Dj Chouachi	290.5	18	280

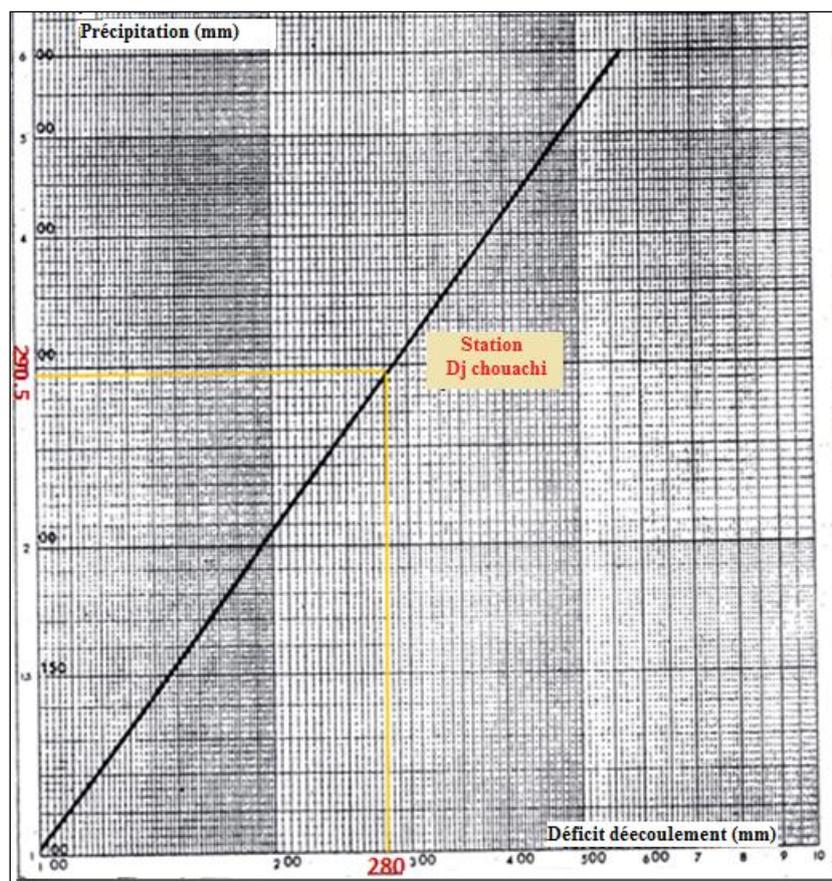


Figure III.16 : Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de Verdeil).

### III.8.3- Calcul de la réserve facilement utilisable (R.F.U)

La R.F.U est calculée par application de la formule de Hallaire (1960) qui peut s'écrire :

$$RFU = \frac{C-f}{100} H.D + 30\text{mm} \quad (\text{III.17})$$

RFU : Réserve en eau du sol

C : Capacité au champ

f : Capacité au point de flétrissement

H : Profondeur du sol

D : Densité apparente

30 mm : Enracinement capillaire

Le tableau suivant montre les valeurs de (C - f) qui dépendent de la nature du sol

Tableau III.29 : Valeurs de C-F (%) en fonction de la nature du sol.

Sol	C-F (%)
sableux	5
limoneux	10-5
Argileux-limoneux	20

D'après (Miri & Kebir, 1992), En considérant un sol limoneux (C-f = 10%) et une profondeur du sol égale à 500 mm nous obtenons une réserve utile égale à 90 mm.

Evapotranspiration réelle est liée à la réserve en eau disponible, nous considérons deux possibilités

- $P > ETP \rightarrow ETR = ETP$
- $P < ETP$  on a deux conditions :
  - $ETP = ETR \rightarrow$  Existe une réserve.
  - $ETR = P \rightarrow$  Pas de réserve

Le tableau suivant montre les différents paramètres du bilan hydrologique calculés (mm) pour la station de Dj. Chouachi

Tableau.III.30: Eléments du bilan hydrologique calculés (mm) pour la station de Dj Chouachi (1969/1970-2012/2013) pour (R.U = 90 mm)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
<b>P</b>	10.2	21.2	45.5	32	38.5	47.2	37.2	27.5	23.1	3.7	0.9	3.6	290.5
<b>ETP cor</b>	110.86	74.90	39.78	26.27	21.35	24.66	39.09	53.62	82.18	118.99	157.84	153.24	902.78
<b>P-ETP</b>	-100.66	-53.7	5.72	5.73	17.15	22.54	-1.89	-26.12	-59.08	-115.29	-156.94	-149.64	
<b>RFU</b>	0	0	5.72	11.45	28.6	51.14	49.25	23.13	0	0	0	0	
<b>ETR</b>	10.2	21.2	39.78	26.27	21.35	24.66	39.09	53.52	46.23	3.7	0.9	3.6	290.5
<b>Ex</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Da</b>	100.66	53.7	0	0	0	0	0	0	35.95	115.29	156.94	149.64	612.2

P : Précipitations (mm), ETP : Evapotranspiration potentielle (mm),  $\Delta U$  : Variation de la réserve (mm), RFU: Réserve utile (mm), ETR : Evapotranspiration réelle (mm), D.A: Déficit agricole (mm), Exc : Excédent (mm)

#### III.8.4-Estimation du ruissellement

Le ruissellement est considéré comme un écoulement de surface qui généralement n'intervient qu'après la saturation du sol, On estimera le ruissellement par la formule de Tixeront – Berkaloff (1969)

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2} \quad (III.18)$$

Avec :

R : Ruissellement (m).

P : Précipitations (m).

ETP : Evapotranspiration potentielle (m).

Tableau III.31: Valeur du ruissellement (Tixeront – Berkaloff)

Station	P (m)	T (°C)	ETP (m)	R (mm)
Dj Chouachi	0,29	18	0.9	10

### III.8.5- Estimation de l'infiltration

La fraction d'eau infiltrée représente l'apport de la nappe à partir des précipitations efficaces :

$$P = ETR + R + I + \Delta W \tag{III.19}$$

Avec:

P: Hauteur de la précipitation annuelle en (mm).

R: Ruissellement de surface annuel en (mm).

ETR: Evapotranspiration réelle annuelle en (mm).

I: Infiltration annuelle (mm).

$\Delta W$ : Variation de réserves en (mm), souvent négligeable

$$E = R + I$$

R : Ruissellement mm).

I : Infiltration (mm).

E: Ecoulement (mm).

Tableau III.32 : Valeurs de l'infiltration selon les différentes méthodes

Méthodes	Turc		Wundt		Verdeil		Thornthwaite	
	ETR (mm)	I	ETR (mm)	I	ETR (mm)	I	ETR (mm)	I
Paramètres	293.78	-	285	-	280	-	290.5	-

L'analyse du tableau III.32, montre que l'infiltration est nulle au pas de temps annuel, et il serait plus commode pour la calculer de travailler à l'échelle des journées.

### III.9-Etudes des débits et des lames d'eau écoulées

Le comportement hydrologique des bassins versants est souvent analysé en étudiant la réaction hydrologique des précipitations en fonction du climat de la région. Cette réaction est la quantité d'eau qui s'écoule à l'exutoire du système.

A cet égard, nous proposons une étude hydrologique, en vue d'évaluer les caractéristiques des écoulements superficiels (débit et lame d'eau) du sous bassin, pour un pas de temps mensuel, saisonnier et interannuel.

Dans cette partie, nous prenons en considération les données de la station de : Dj. Chouachi à Oued Boukiou pour la période de (1974/1975 - 2013/2014).

#### III.9.1-Etudes des débits

##### III.9.1.1-Variations annuelles des débits

Le tableau (III.33) montre les données de débits annuels enregistrés au niveau de la station au cours de la période 1974-2014

Tableau III.33: Débits moyens annuels ( $m^3/s$ ) (1974/1975 – 2013/2014)

Année	Q ( $m^3/s$ )	Année	Q ( $m^3/s$ )	Année	Q ( $m^3/s$ )
1974/1975	0,22	1988/1989	0,16	2002/2003	0,03
1975/1976	0,10	1989/1990	0,07	2003/2004	0,08
1976/1977	0,62	1990/1991	0,14	2004/2005	0,02
1977/1978	0,04	1991/1992	0,03	2005/2006	0,00
1978/1979	0,04	1992/1993	0,04	2006/2007	0,00
1979/1980	0,29	1993/1994	0,04	2007/2008	0,00
1980/1981	0,26	1994/1995	0,19	2008/2009	0,33
1981/1982	0,00	1995/1996	0,02	2009/2010	0,07
1982/1983	0,01	1996/1997	0,00	2010/2011	0,01
1983/1984	0,01	1997/1998	0,06	2011/2012	0,13
1984/1985	0,01	1998/1999	0,10	2012/2013	0,14
1985/1986	0,16	1999/2000	0,01	2013/2014	0,12
1986/1987	0,18	2000/2001	0,08		
1987/1988	0,01	2001/2002	0,05		

La variation interannuelle des débits (fig.III.17), montre que quelques débits dépassent relativement un important le module interannuel de  $0.1m^3/s$ , enregistré durant les années (1976-1977), (1979-1980) et (2008-2009).

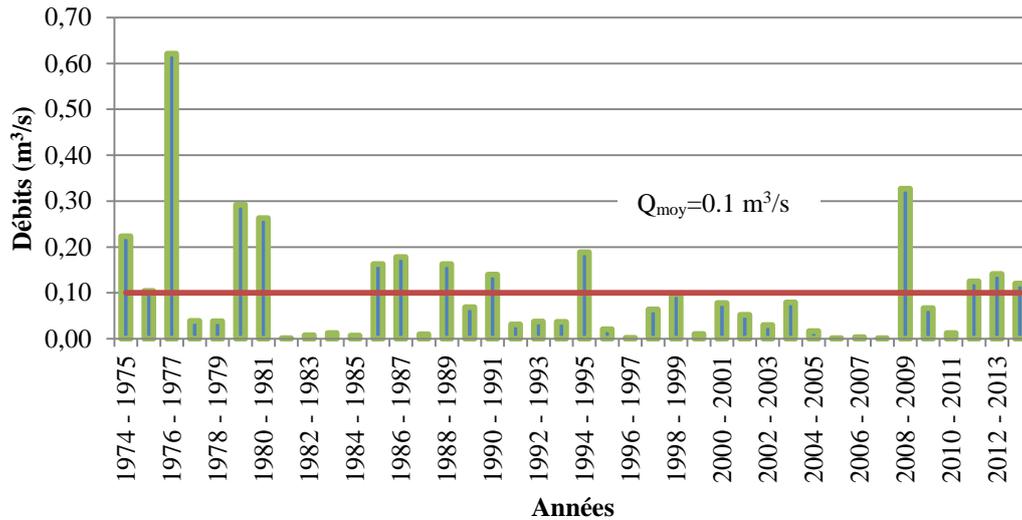


Figure III.17: Variation des débits annuels à la station Dj Chouachi (1974/1975 – 2013/2014).

**III.9.1.2-Variation mensuelle des débits**

Le tableau III.34, présente les valeurs moyennes mensuelles des débits à la station de Dj Chouachi

Tableau III.34 : Valeurs mensuelles des débits (1974/1975-2013/2014).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Q (m³/S)	0,01	0,02	0,11	0,12	0,15	0,20	0,36	0,12	0,06	0,02	0,00	0,00

L'analyse de la répartition des débits mensuels pour la période (1974/1975-2013/2014) (fig.III.18), montre un maximum qui s'observe au mois de Mars avec (0.36m³/s) (mois le plus pluvieux), et un minimum (0m³/s) au mois de Juillet et Août.

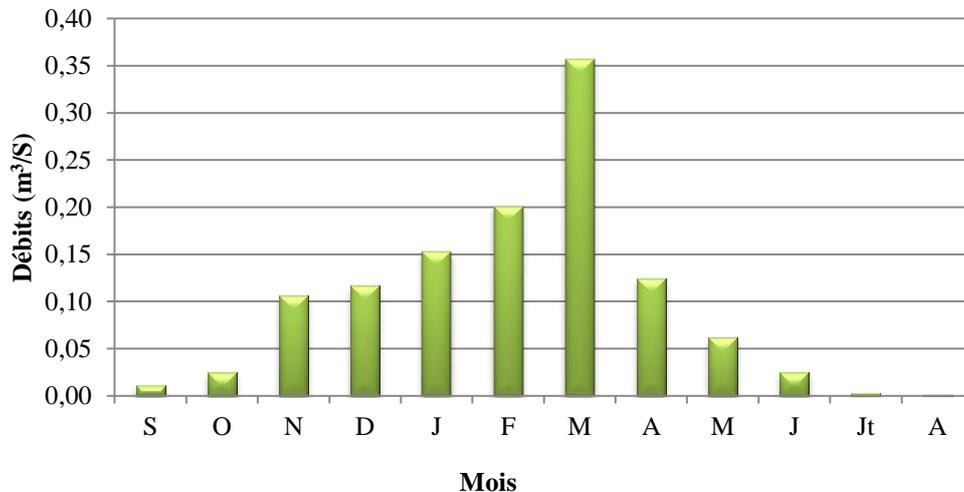


Figure III.18 : Variation des débits mensuels (1974/1975-2013/2014).

III.9.1.3-Variation saisonnière des débits.

Les quatre saisons de l’année et leurs débits équivalents sont donnés au tableau suivant :

Tableau III.35 : Répartition des débits saisonniers.

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
Moyenne (%)	11.89			39.74			45.94			2.43		
Moyenne (m <sup>3</sup> /s)	0.05			0.16			0.18			0.01		
	Sèche			Humide						Sèche		

D’après La variation des débits saisonniers (fig.III.19 et III.20), Le printemps enregistre le plus fort débit (45.94 %) à cause de la présence de fortes pluies.

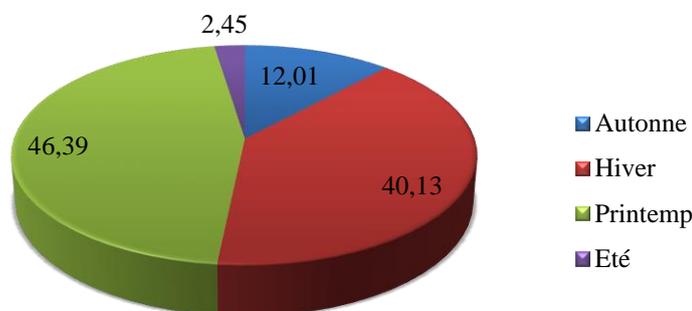


Figure III.19: Variation des pourcentages des débits saisonniers (1974/1975-2013/2014).

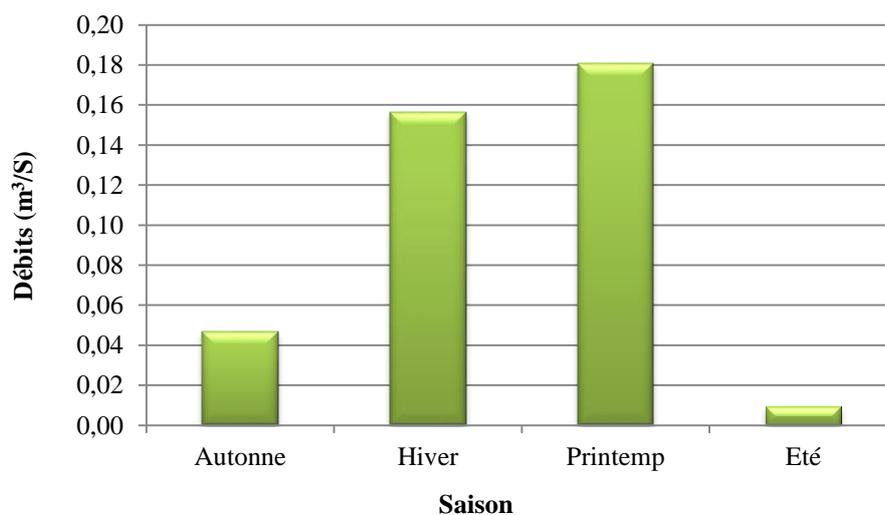


Figure III.20: Variation des débits saisonniers (1974/1975-2013/2014).

### III.9.1.4-Variations journalières des débits

La figure (III.21) représente la distribution des débits moyens journaliers pour la période (1974/1975-2013/2014), nous remarquons une importante irrégularité d'un jour à un autre. Les débits les plus importants apparaissent pendant les mois du Printemps. L'importance des pluies et l'état du sol au Printemps permettent un bon écoulement au niveau de l'oued Boukiou.

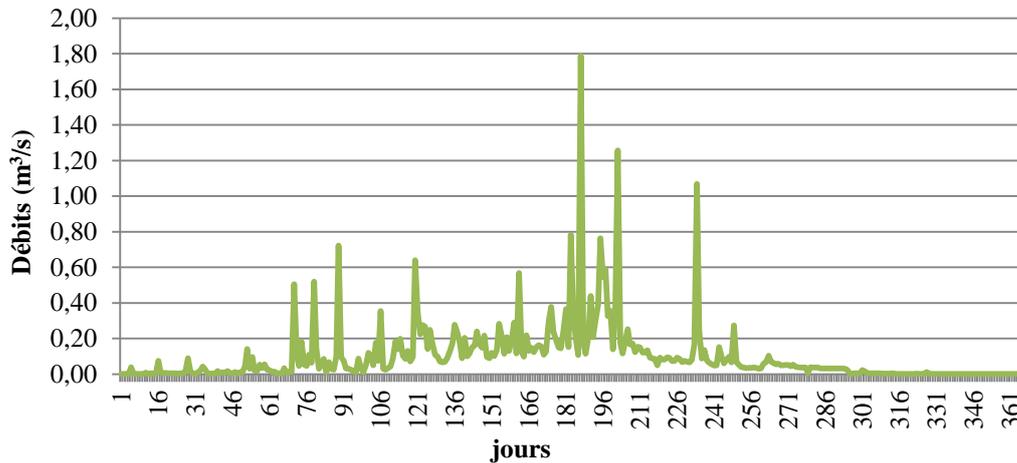


Figure III.21: Variation des débits moyens journaliers (1974/1975-2013/2014).

### III.9.2-Etude statistique des débits

#### III.9.2.1-Adéquation des données de débits à une loi statistique

Le Tableau (III.36), montre les valeurs des débits annuels, qui sont classés selon une distribution systématique en termes croissants

Le calcul des fréquences de chaque valeur sera fait par l'équation (III.2)

Tableau.III.36 : Distribution des débits annuelles en terme croissant de la Station de Dj. Chouachi durant la période 1974-1975 / 2013-2014.

Rang (I)	Année	Q (m <sup>3</sup> /s)	F <sub>I</sub> = I/N + 1	Rang (I)	Année	Q (m <sup>3</sup> /s)	F <sub>I</sub> = I/N + 1
1	2007/2008	0.00	0.024	21	1997/1998	0.06	0.512
2	2005/2006	0.00	0.049	22	1989/1990	0.07	0.537
3	2006/2007	0.00	0.073	23	2009/2010	0.07	0.561
4	1981/1982	0.00	0.098	24	2000/2001	0.08	0.585
5	1996/1997	0.00	0.122	25	2003/2004	0.08	0.610
6	1987/1988	0.01	0.146	26	1975/1976	0.10	0.634
7	2010/2011	0.01	0.171	27	1998/1999	0.10	0.659
8	1983/1984	0.01	0.195	28	2013/2014	0.12	0.683
9	1982/1983	0.01	0.220	29	2011/2012	0.13	0.707
10	1984/1985	0.01	0.244	30	1990/1991	0.14	0.732
11	1999/2000	0.01	0.268	31	2012/2013	0.14	0.756
12	1995/1996	0.02	0.293	32	1988/1989	0.16	0.780
13	2004/2005	0.02	0.317	33	1985/1986	0.16	0.805
14	1991/1992	0.03	0.341	34	1986/1987	0.18	0.829
15	2002/2003	0.03	0.366	35	1994/1995	0.19	0.854
16	1977/1978	0.04	0.390	36	1974/1975	0.22	0.878
17	1992/1993	0.04	0.415	37	1980/1981	0.26	0.902
18	1993/1994	0.04	0.439	38	1979/1980	0.29	0.927
19	1978/1979	0.04	0.463	39	2008/2009	0.33	0.951
20	2001/2002	0.05	0.488	40	1976/1977	0.62	0.976

Les résultats de calcul des paramètres de position et de dispersion sont représentés dans le tableau (III.37)

Tableau III.37: Paramètres de position et de dispersion des débits

	Paramètres	Formules	Valeurs
<b>Paramètres de position</b>	Moyenne (mm)	$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^a Q$	0.10
<b>Paramètres de dispersion</b>	Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^a (Q_i^2 - \bar{Q}^2)$	0.0146
	Ecart-type	$\delta = \sqrt{\sigma^2}$	0.121
	Coefficient de variation	$C_v = \frac{\sigma}{\bar{Q}}$	1.25

Avec :

N : Effectif (nombre d'années)

P<sub>i</sub> : Valeurs des précipitations de chaque année.

Le coefficient de variation de la station étant supérieure à 0,5 ( $C_v > 0,5$ ), donc l'ajustement par la loi normale sera refusé. Mais on fait le test à titre de vérification.

**III.9.2.2.-Ajustement par la loi normale**

**a-Test graphique**

D'après la figure III.22, nous remarquons que la distribution des débits à la loi normale ne donne pas un alignement de points acceptables.

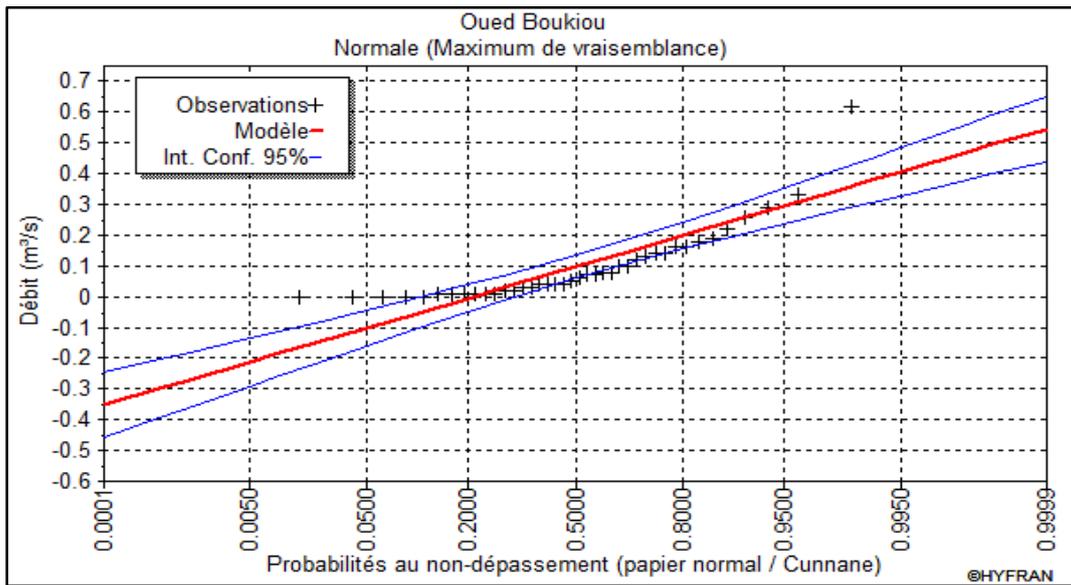


Figure III.22: Ajustement graphique des débits annuels à la loi de distribution normale.

**b- Test numérique (Test du  $\chi^2$ )**

Pour calculer le khi-deux ( $\chi^2$ ) on utilise le logiciel HYFRAN les résultats sont illustrés dans le tableau (III.38)

Tableau III.38 : Résultats du  $\chi^2$  par la loi normale.

Paramètres	Valeurs
$\chi^2$ calculé	16.80
$\chi^2$ tabulé	11.47
Degré de liberté ddl	5
Nombre de classes K	8

**III.9.2.3-Ajustement par la loi log normale**

Le Tableau (III.39), présente les calculs des paramètres de position du logarithme népérien des débits moyens annuels.

Tableau III.39: Paramètres de position des débits par la loi log normale

	Paramètres	Formules	Valeurs
Paramètres de position	Moyenne (mm)	$\overline{\text{Log}Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^a \text{Log}Q_i$	-3.22
	Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^a (\text{Log}Q_i^2 - \overline{\text{Log}Q}^2)$	2.62
Paramètres de dispersion	Ecart-type	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	1.62
	Coefficient de variation	$C_v = \frac{\sigma}{\overline{\text{Log}Q}}$	-0.50

Avec :

$N$  : Effectif (nombre d'années),

$P_i$  : Valeurs des précipitations de chaque année.

**a-Test graphique**

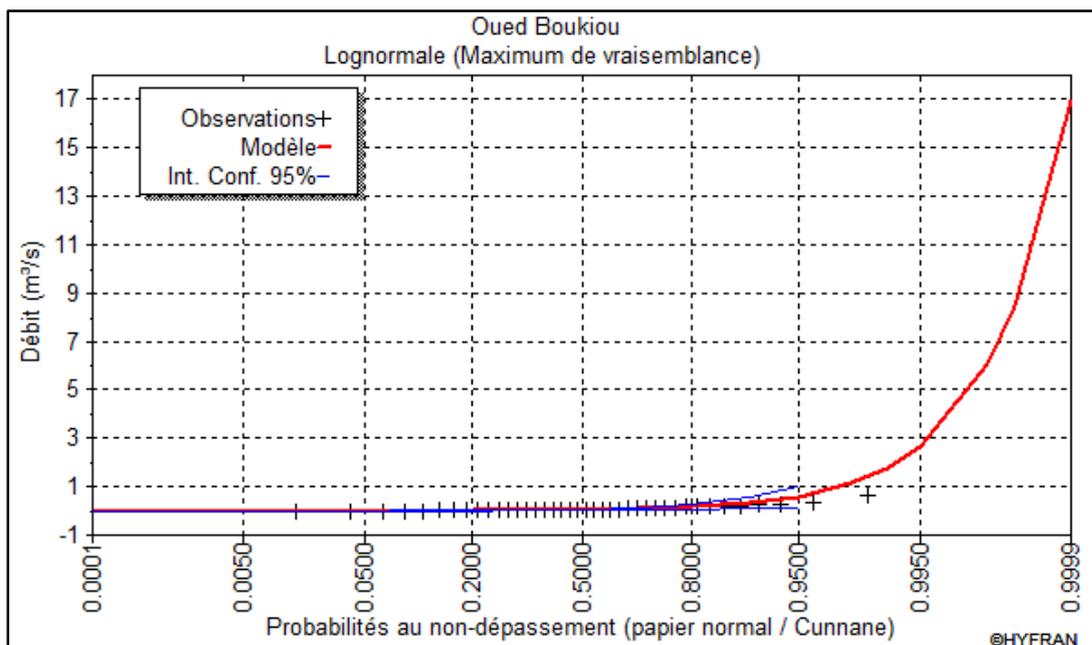


Figure III.23: Ajustement graphique des débits annuels à la loi de distribution log normale.

Selon la figure III.23, l'alignement des débits à la loi log normale est acceptable.

**b- Test numérique (Test du  $\chi^2$ )**

On utilise le logiciel HYFRAN Pour calculé le khi-deux ( $\chi^2$ ), les résultats sont résumés dans le tableau (III.40)

Tableau III.40 : Résultats du  $\chi^2$  par la loi log normale.

Paramètres	Valeurs
$\chi^2$ calculé	10
$\chi^2$ tabulé	11.47
Degré de liberté ddl	5
Nombre de classes K	8

**III.9.2.4- Résultats de l’ajustement**

Le tableau suivant présent la Comparaison entre  $\chi^2$  calculé et  $\chi^2$  tabulé par la loi normale et la loi log normale.

Tableau III.41 : Comparaison entre  $\chi^2$  calculé et  $\chi^2$  tabulé

	$\chi^2$ calculé	$\chi^2$ tabulé	Comparaison	Observation
La loi normale	16.80	11.47	$\chi^2_{cal} > \chi^2_{tab}$	Refusé.
La loi log normale	10	11.47	$\chi^2_{cal} < \chi^2_{tab}$	Accepté.

$\chi^2$  Calculé  $<$   $\chi^2$  tabulé pour un ddl = 5 et un seuil de probabilité de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

La valeur de  $\chi^2$  calculé pour la loi log normale est inférieur au  $\chi^2$  tabulé: la série présente une bonne adéquation et c’est donc cette loi qui est retenue pour le calcul des débits pour des récurrences données

**III.9.2.5- Calcul des débits pour une période de récurrence donnée**

La loi log normale est plus pratique que la loi normale pour faire des ajustements, donc nous allons calculer les débits pour différentes période de retour Tableau III.42 suivant l’équation suivante :

$$\text{Log } Q = \sigma u + \overline{\text{Log } Q} \tag{III.20}$$

Avec :

$\sigma$  = Ecart-type

$\overline{\text{Log } Q}$  = moyenne des Log des débits

u : variable réduite de Gauss.

Tableau III.42: Calcul des débits pour une période de récurrence donnée

	Précipitations	Log Q	Q (m <sup>3</sup> /s)
Période humide	Précipitations décennales (u=1.28)	-1.19	0.30
	Précipitations de 50 ans (u=2,05)	0.03	1.03
	Précipitations centenaires (u= 2,33)	0.48	1.61
	Précipitations millénaires (u=3.29)	2.00	7.42
Période sèche	Précipitations décennales (u= -1.28)	-5.26	0.005
	Précipitations de 50 ans (u= -2.05)	-6.48	0.001
	Précipitations centenaires (u= -2,33)	-6.93	0.0009
	Précipitations millénaires (u= -3.29)	-8.45	0.0002

## III.9.3-Etude des lames d'eau écoulées

## III.9.3.1-Variation annuelle des lames d'eau

Le tableau III.43 présente les données des lames d'eau annuelles enregistrées au niveau de la station de Dj Chouachi au cours de la période (1974-1975/2013-2014).

Tableau III.43 : lames d'eau annuelles (mm) (1974/1975 – 2013/2014)

Année	Le (mm)	Année	Le (mm)	Année	Le (mm)
1974/1975	59,5	1988/1989	44,6	2002/2003	7,8
1975/1976	27,6	1989/1990	18,8	2003/2004	21,5
1976/1977	166,1	1990/1991	38,0	2004/2005	4,4
1977/1978	10,3	1991/1992	8,4	2005/2006	0,4
1978/1979	10,0	1992/1993	10,0	2006/2007	1,0
1979/1980	79,2	1993/1994	9,4	2007/2008	0,4
1980/1981	70,5	1994/1995	51,5	2008/2009	87,0
1981/1982	0,3	1995/1996	5,7	2009/2010	18,1
1982/1983	2,0	1996/1997	0,6	2010/2011	3,3
1983/1984	3,5	1997/1998	17,1	2011/2012	33,3
1984/1985	1,9	1998/1999	26,5	2012/2013	37,8
1985/1986	42,3	1999/2000	2,9	2013/2014	32,2
1986/1987	46,4	2000/2001	20,3		
1987/1988	2,7	2001/2002	13,9		

D'après la figure III.24, La variation interannuelle des lames d'eau enregistrées au niveau de la station de Dj .Chouachi, depuis l'année (1974/1975) jusqu'à (2013/2014), montre un module interannuel de 26 mm. Nous observons des années exceptionnelles :(1976-1977), (1979-1980) et (2008-2009), ayant enregistré une valeur nettement supérieure à la moyenne, qui pourra influencer le calcul de la moyenne interannuelle.

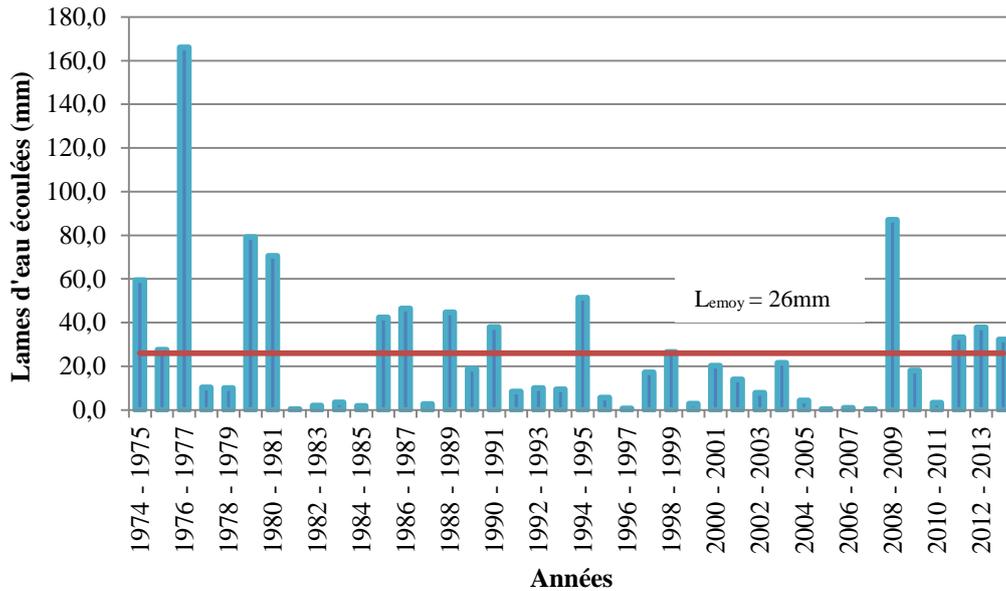


Figure III.24 : Variation des lames d’eau annuelles à la station Dj Chouachi (1974/1975 – 2013/2014).

**III.9.3.2-Variation moyennes mensuelles des lames d’eau**

Les valeurs sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau III.44 : Valeurs des lames d’eau mensuelle (mm) de la station de Dj chouachi

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Le (mm)	0,2	0,6	2,3	2,7	3,5	4,2	7,6	2,8	1,4	0,6	0,1	0

Selon le tableau III.44 et la figure III.25, déduisons que la lame d’eau mensuelle la plus élevée est enregistrée au mois de Mars avec 7.6 mm, et la plus basse est celle du mois d’Août (nulle)

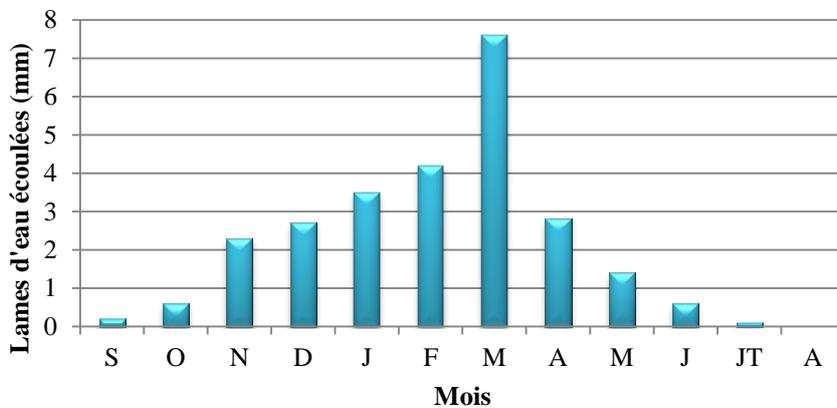


Figure III.25 : Variations des lames d’eau mensuelles (1974-2014)

**III.9.3.3- variation saisonnière des lames d'eau**

L'analyse du tableau III.45 et la figure III.26, montrent que Le maximum est enregistré au Printemps, ce qui explique la présence de fortes pluies pendant cette saison.

Tableau III.45 : Valeurs saisonniers des lames d'eau

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
Moyenne Le (mm)	3.1			10.4			11.8			0.7		

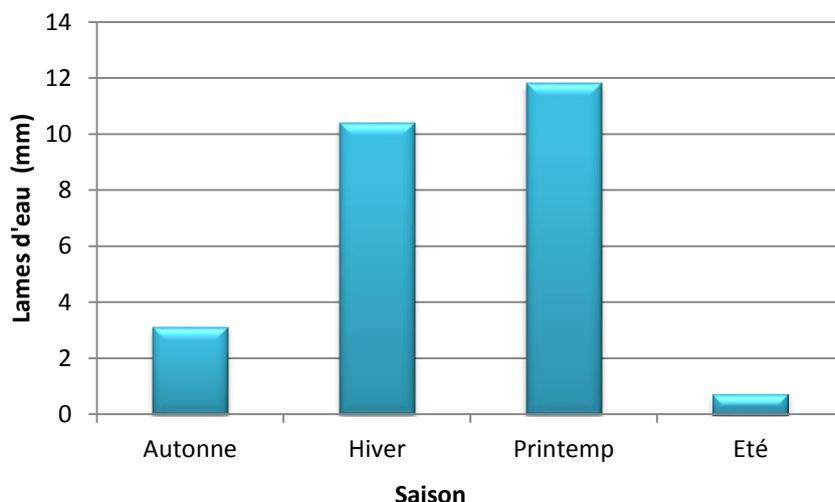


Figure III.26 : Variation saisonnière des lames d'eau (1974/1975-2013/2014).

**III.9.3.4-Variation journalières des lames d'eau écoulées**

La figure III.27 représente la distribution des lames d'eaux moyennes journalières durant la période (1974/1975-2013/2014), une importante irrégularité d'un jour à un autre est mise en évidence. Les lames d'eau les plus importants apparaissent pendant les mois du Printemps. L'importance des pluies et l'état du sol au Printemps permettent un bon écoulement au niveau de l'oued Boukiou

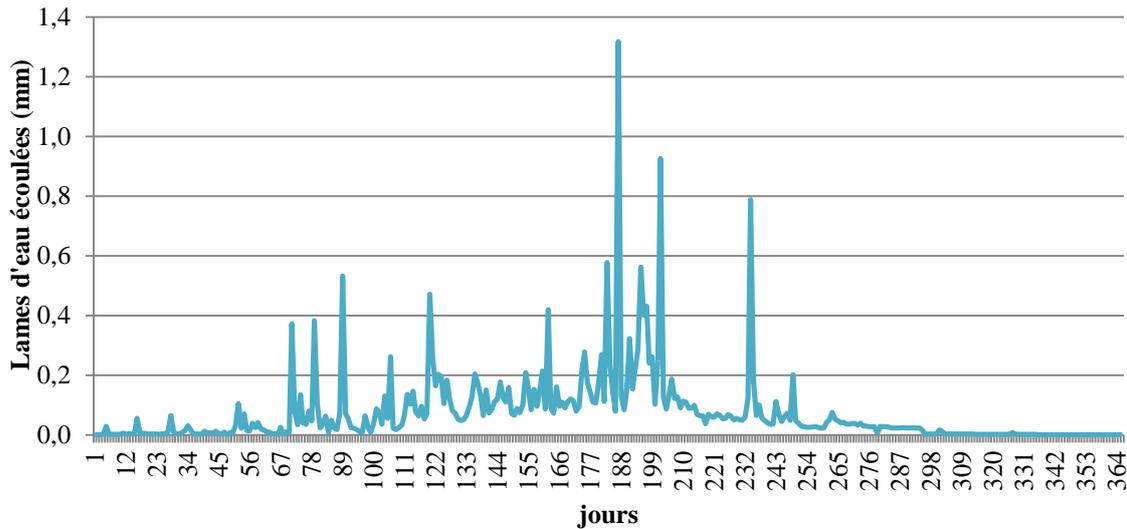


Figure III.27 : Variation des lames d'eau moyenne journalière (1974/1975-2013/2014).

### III.10- Conclusion

L'analyse des paramètres climatiques de la région de l'Oued Boukioua montre que notre bassin est soumis à un climat méditerranéen semi-aride à hiver tempéré.

La pluviométrie est variable, la moyenne enregistrée sur une période de 44 ans (1970/1971-2017/2018) est de 290.5 mm/an.

La température moyenne annuelle enregistrée au niveau de la station Dj chouachi (1974/1975-2017/2018) est de 18°C. En général, les températures maximales sont enregistrées aux mois de Juillet et Août et les minimales sont observées du mois de Décembre à Février.

La valeur de L'évapotranspiration réelle égale à 293.78mm/an, par la méthode de Turc, et l'évapotranspiration potentielle est de 902.8mm/an.

La valeur du ruissellement égale à 10 mm/an par la formule de Tixeront – Berkaloff.

L'analyse des paramètres hydrologique a montré que ce cours d'eau est caractérisé par un régime d'écoulement irrégulier dû à l'irrégularité du régime pluvial.

Le module annuel de la série est de 0.10 m<sup>3</sup>/s.

Les débits et les lames d'eau mensuels atteignent leurs maximums en Mars alors que le minimum s'observe en Août.

L'évolution des débits et lames d'eau saisonniers a montré qu'au Printemps s'effectue l'essentiel des écoulements cela explique que l'intensité de la pluie est forte durant cette saison.

# Chapitre IV

Etude de la variabilité climatique

## IV.1-Introduction

La sécheresse est un phénomène naturel complexe et ne dispose pas d'une définition précise. Ainsi, elle se manifeste par certains indices et paramètres dont plusieurs chercheurs ont essayé de les identifier. En effet, ces indices permettent d'identifier les différents types de sécheresse (météorologique, agricole et hydrologique).

## IV.2- Caractérisation de la sécheresse

### IV.2.1- Définitions de la sécheresse

La sécheresse est une caractéristique normale et fréquente du climat. Elle touche l'ensemble des zones climatiques. Mais ses caractéristiques varient significativement d'une région à l'autre. La sécheresse ne doit pas être confondue avec l'aridité. La sécheresse se manifeste dans le temps, tandis que l'aridité est un phénomène spatial (elle est limitée dans les régions à faibles précipitations).

### IV.2.2-Types de sécheresse

Il existe plusieurs types de sécheresse, la sécheresse météorologique, hydrologique, agricole et socio-économique.

#### IV.2.2.1- Sécheresse météorologique

Basée sur le degré d'aridité d'une période sèche par rapport à la normale (médiane ou moyenne) et sur la durée de cette période sèche. Cette définition doit être considérée spécifique à une région puisque les conditions météorologiques normales changent grandement d'une région à l'autre. (UNISDR., 2011 *in* Djouane & Haggui, 2015)

#### IV.2.2.2-Sécheresse hydrologique

En hydrologie, on parle de sécheresse dès lors qu'à l'échelle régionale la hauteur des pluies est inférieure à la moyenne saisonnière, ce qui se traduit par un approvisionnement insuffisant des cours d'eau et des réserves d'eau superficielles ou souterraines. (Dyer., 1984 *in* Victor et *al.*, 2016).

#### IV.2.2.3 -Sécheresse agricole

La sécheresse agricole est définie comme un déficit marqué et soutenu des précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles par rapport à la normale ou les valeurs attendues pour une région de grande étendue. (Mokssit, 1996 *in* khezazna, 2017)

#### IV.2.2.4 -Sécheresse socio-économique

Les socio-économistes, quant à eux, parlent de sécheresse quand les pluies sont insuffisantes et ont des effets désastreux sur les populations et sur l'économie régionale.

Vu les relations qui existent entre les différents types de sécheresse (fig. IV.1), dans la présente étude, nous nous intéressons particulièrement à la sécheresse météorologique et

hydrologique ainsi qu'à la sécheresse agricole. (Wilhite and Glantz, 1986 in Ed Daoudi, 2014)

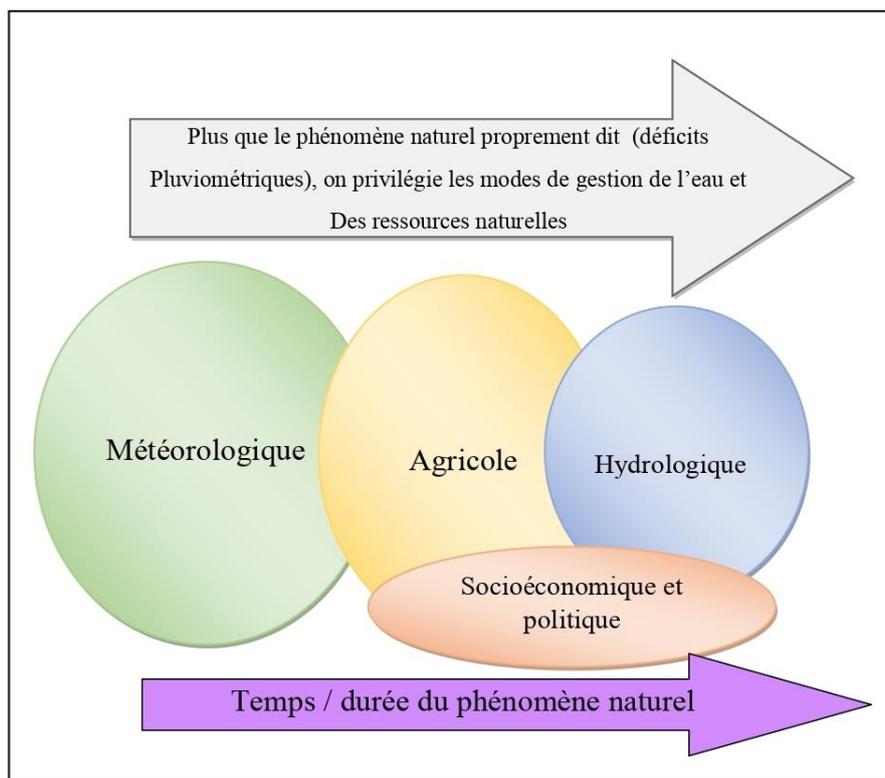


Figure IV.1 : Relations entre les différents types de sécheresse (Ed Daoudi., 2014)

#### IV.2.2-Méthode de caractérisation de la sécheresse

Les sécheresses sont des phénomènes complexes pour lesquels il existe plusieurs façons, pour les définir. Dans cette optique, nous allons discuter de quelques méthodes importantes qui peuvent être utilisées pour leur suivi.

##### IV.2.2.1- Indice standardisé des précipitations « SPI »

L'appréciation du degré de sécheresse pluviométrique est faite au moyen de l'indice SPI (Standardized Précipitation Index).

L'indice standardisé des précipitations « SPI » (McKee et al., 1993; Hayes, 1996) a été développé en vue de quantifier le déficit des précipitations pour des échelles de temps multiples qui vont refléter l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau pour une période donnée. Il est exprimé mathématiquement comme suit :

$$SPI = \frac{(P_i - P_m)}{\sigma} \quad (IV.01)$$

Avec

$P_i$ : Pluie de l'année  $i$  (mm).

$P_m$ : Pluie moyenne de la série sur l'échelle temporelle considérée (mm).

$\sigma$ : Ecart-type de la série sur l'échelle temporelle considérée.

Etudier cet indice permet également de distinguer les années sèches, les années humides ou les années déficitaires, des années excédentaires. Une sécheresse sévit lorsque le

SPI est consécutivement négatif et que sa valeur atteint une intensité de -1 ou moins et se termine lorsque le SPI devient positif. On effectue une classification de la sécheresse suivant les valeurs du SPI. (Tableau IV.1) (Soro et *al.*, 2014).

Tableau IV.1 : Catégories de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs du SPI et du SSFI (*in* Gherissi., 2018)

Valeurs SPI et SSFI	Degré d'Humidité et de Sécheresse
> +2	Humidité extrême
[1.5, 1.99]	Humidité forte
[1, 1.49]	Humidité modérée
[0.1, 0.99]	Humidité légère
0	Normalité absolue
[-0.1, -0.99]	Sécheresse légère
[-1, -1.49]	Sécheresse modérée
[-1.5, -1.99]	Sécheresse forte
< -2	Sécheresse extrême

Nous allons utiliser dans ce chapitre les données de pluie, de débit et de température observées durant la période (1974/1975-2013/2014), pour avoir des séries synchrones. Les résultats obtenus du SPI (tableau IV.2) indique une situation variant entre la sécheresse avec 57.5%, la normalité absolue, représentée avec 2.5%, tandis que le reste s'inscrit dans un contexte humide avec un pourcentage égal à 40%.

L'évolution des valeurs moyennes annuelles de l'indice SPI relatif au bassin versant sur la période (1974/1975-2013/2014) montre que les décennies ont été marquées par une alternance de séquences humide et sèche au niveau de la station étudiée. Toutefois, les années sèches sont formées de deux et trois, années sèches successives.

En effet, nous distinguons une période humide entre 1974/1975 et 1980/1981, suivi d'une longue séquence de sécheresse enregistrée au niveau de la station analysée entre 1980/1981 et 2004/2005. Et enfin un retour à l'humidité avec une amélioration des précipitations à partir de 2004/2005 jusqu'à 2013/2014 (fig.IV.2 et tableau en Annexe 1)

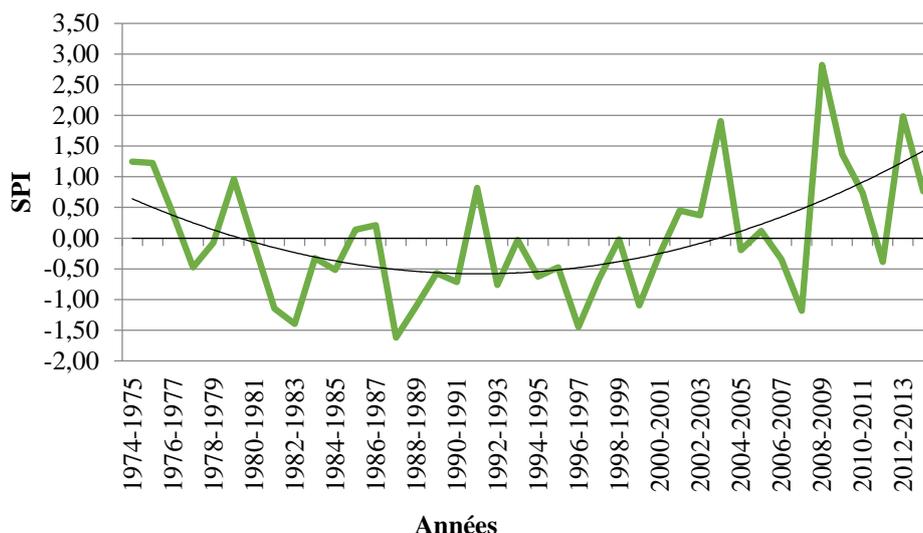


Figure IV.2: Evolution de l'indice SPI à l'échelle annuelle à la station Dj Chouachi (1974/1975-2013/2014)

Tableau IV.2 : Fréquences (en %) des classes de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) à la station de Dj. Chouachi (1974/1975-2013/2014).

Moyenne	Descripteurs	%
40.0	humidité extrême	2,5
	humidité forte	5
	humidité modéré	7,5
	humidité légère	25
2.5	Normalité absolu	2,5
57.5	sécheresse légère	40
	sècheresse modéré	15
	sécheresse forte	2,5

#### IV.2.2.2- Indice SSFI

L'Indice SSFI (Standardized Stream Flow Index) est un indice des écoulements de type probabiliste. Pour l'appréciation de la sécheresse hydrologique, une approche similaire à celle du SPI est utilisée (tableau IV.3). (in Gherissi, 2018)

Le SSFI offre l'avantage de contrôler la sécheresse hydrologique et/ou l'approvisionnement en eau à court, moyen, et long terme. (Ghenim., 2011)

Pendant la période d'étude avec un pas du temps annuel (tab Annexe 1), aucune sécheresse n'a été remarquée (modérée, forte ou extrême). Le SSFI (tableau IV.3) a montré que le bassin versant a subi une sécheresse légère avec 62.5% et la courbe de tendance (fig. IV.3) montre plus clairement la succession entre années humides et sèches, Une période relativement humide a sévi avant l'année 1985/1986 suivi d'une période sèche de 1985/1986 jusqu' à 2009/2010 et une autre humide après cette date.

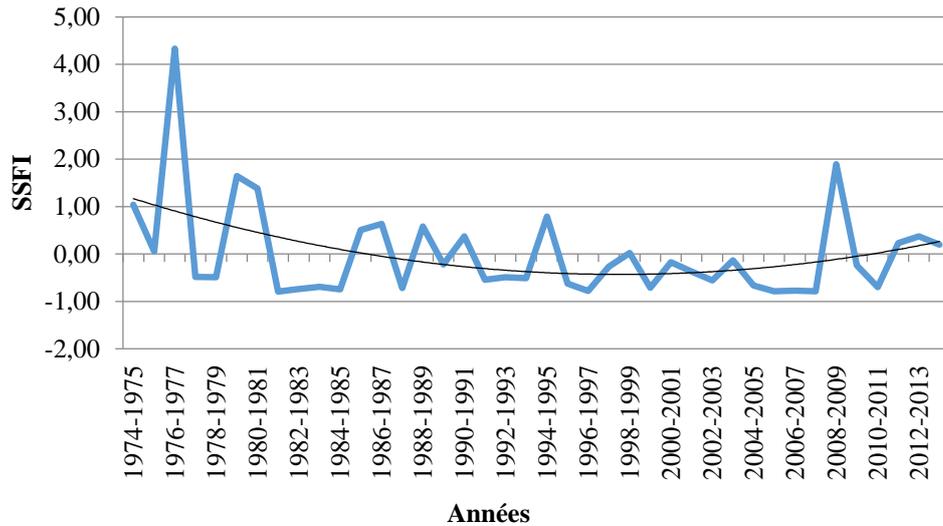


Figure IV.3: Evolution de l'indice SSFI à l'échelle annuelle à la station Dj chouachi (1974/1975-2013/2014)

Tableau IV.3 : Fréquences (en %) des classes de SSFI à la station de Dj. Chouachi (1974/1975-2013/2014).

Moyenne	Descripteurs	%
32.5	humidité extrême	2,5
	humidité forte	5
	humidité modéré	5
	humidité légère	20
5	Normalité absolu	5
62.5	sécheresse légère	62,5

**IV.2.2.3-Effective Drought Index « EDI »**

Selon Byun et Wilhite (1999) indice de sécheresse efficace (EDI) est le suivant :

$$EDI = \frac{PRN}{ST(PRN)} \tag{IV.02}$$

Les précipitations effectives (EP) qui représentent l'épuisement quotidien des ressources en eau est la base du concept de l'EDI (Morid *et al.*, 2006). L'application de l'EDI avec des données mensuelles peut être testée, son algorithme est modifié par Smakhtin et Hughes (2007).

Byun et Wilhite (1999) ont proposé l'équation suivante pour le (EP)

$$EP_i = \sum_{n=1}^i [(\sum_{m=1}^n P_m)/n] \tag{IV.03}$$

EP<sub>i</sub>: Précipitations efficaces

P<sub>m</sub>: Précipitations journalières

m : Nombre de jours avant un jour donné

i : Nombre de jours, n allant de 1 à i

$$DEP = EP - MEP \tag{IV.04}$$

EP: Précipitations efficaces pendant 365 jours à partir d'un jour spécifique,  
 MEP: Moyenne des précipitations efficaces,  
 DEP: Ecart entre l'EP et le MEP.  
 EDI est calculé comme.

$$EDI = \frac{DEP}{SD(EP)} \tag{IV.05}$$

SD (EP): Ecart-type de chaque jour de l'EP. (in Djellouli, 2017)

Tableau IV.4 : Catégories de sécheresse définies par les valeurs de l'EDI (Byun et Wilhite, 1999)

Description	Degré de sécheresse
Sécheresse extrême	EDI < -2.0
Sécheresse sévère	-1.99 ≤ EDI ≤ -1.5
Sécheresse modérée	-1.49 ≤ EDI ≤ -1.0
Conditions presque normales	-0,99 ≤ EDI ≤ 0,99

Selon la figure IV.4 et tableau en Annexe 1), les résultats d'analyse de SPI et EDI pour le pas de temps annuel montre qu'il y a une concordance et un synchronisme, les deux indices ont indiqué presque les mêmes événements et ont combiné une sécheresse forte pour le SPI et modéré par le EDI en 1987/1988.

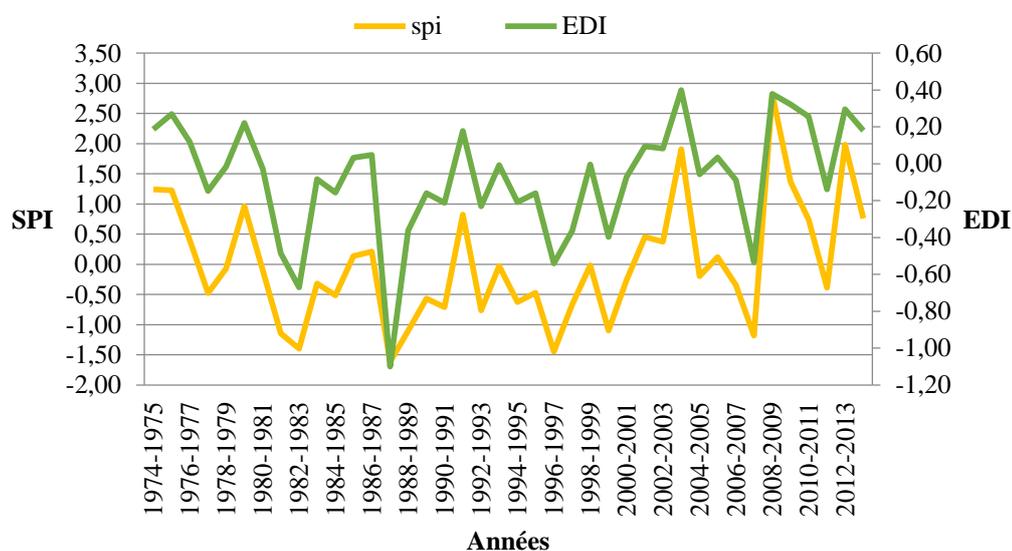


Figure IV.4: Comparaison entre SPI et EDI pour la station Dj Chouachi (1974/1975 -2013/2014).

Selon le tableau IV.5, pour l'échelle de temps 12 mois, l'EDI a révélé l'événement de « sécheresse modéré » pour 2.5% et « conditions presque normales » pour 97.5 % de la période.

Tableau IV.5 : Fréquences (en %) des classes de l'EDI à la station de Dj. Chouachi (1974/1975-2013/2014).

Moyenne	Descripteurs	%
2.5	sécheresse modérée	2.5
97.5	conditions presque normales	97.5

#### IV.2.2.4- Déciles des précipitations

Organiser les données de précipitations en déciles, est une autre technique de sécheresse surveillance. Elle a été développée par Gibbs et Maher (1967) afin d'éviter certaines faiblesses dans l'approche du « pourcentage normal ». La technique, consiste à diviser la distribution des occurrences sur un record de précipitations à long terme en dixièmes de la distribution, chacune de ces catégories est appelée un décile. Le premier décile est la quantité de pluie qui ne dépasse pas par le bas 10% des occurrences de précipitations. Le deuxième décile est la quantité de précipitations qui ne dépasse pas le bas 20% des occurrences (tableau IV.6). Ces déciles continuent jusqu'à ce que la quantité de pluie identifiée par le dixième décile soit la plus grande quantité de précipitations dans l'enregistrement à long terme. Par définition, le cinquième décile est la médiane, qui est la quantité de précipitations ne dépassant pas 50% des occurrences sur la période d'enregistrement. (Ed-Daoudi, 2014).

Tableau IV.6 : Description des déciles (Tigkas et al., 2015).

Déciles	Description
Déciles 1-2 moins 20%	très inférieur à la normale
Déciles 3-4: prochaine tranche inférieure de 20%	inférieur à la normale
Déciles 5-6: milieu de 20%	près de la normale
Déciles 7-8: prochaine les 20%	Au-dessus de la normale
Déciles 9-10 plus de 20%	très supérieure à la normale

Pour calculer les déciles, dans notre cas on a utilisé l'outil DRINC (Drought Indices Calculator), développé à l'Université Technique Nationale d'Athènes par le laboratoire de réhabilitation et de gestion des ressources en eau, en Avril 2019. C'est un logiciel de manipulation très simple (figure Annexe 2).

Ce logiciel vise à fournir une interface conviviale pour le calcul des indices de sécheresse, adaptée à l'analyse de la sécheresse météorologique, hydrologique et agricole. Les indices de sécheresse suivants sont actuellement inclus dans Drinc:

- Indice de précipitation normalisé (SPI)
- Indice de sécheresse de reconnaissance (RDI)
- Indice de sécheresse du flux (SDI)
- Déciles de précipitation (PD)

De plus, Drinc inclut des outils supplémentaires, tels que l'estimation de l'évapotranspiration potentielle (PET) à l'aide de méthodes basées sur la température et l'évaluation de l'indice d'aridité.

Tableau IV.7: Déciles des précipitations de la station Dj Chouachi (1974/1975-2013/2014)

Seuils	Déciles
0.10	186.46
0.20	225.70
0.30	243.26
0.40	258.74
0.50	278.70
0.60	295.51
0.70	327.07
0.80	363.02
0.90	407.50
1.00	551.20

L'étude des Déciles (tableau en Annexe1) montre qu'au cours de la période étudiée (1974/1975-2013/2014), le bassin a reçu une pluviométrie inférieure à la normale (tableau IV.6) avec 10% (D1 : premier décile) correspondant à 186.46 mm. Sur la même période le D9 : neuvième décile est supérieur à la normale avec 407.50mm. Le D9 est 2.18 fois supérieur à D1 et la plus grande quantité des précipitations sur toute la série est celle de (D10) 551.20mm.

#### IV.2.2.5- Indice de Reconnaissance de sécheresse (RDI)

La sévérité d'une sécheresse peut être évaluée à travers le calcul de l'indice de reconnaissance de sécheresse (RDI) et plus précisément à travers sa forme standardisée (RDI<sub>st</sub>) (Koudamilo et al., 2017).

Le nouvel indice intitulé «Indice de sécheresse de reconnaissance « RDI» est basé sur le rapport entre deux quantités agrégées de précipitations et l'évapotranspiration potentielle. La valeur initiale de l'indice pour une certaine période, indiquée par un certain mois (k) au cours d'une année, est calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$a_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} P_j}{\sum_{j=1}^{j=k} PET_j} \quad (IV.06)$$

Avec :  $P_j$  et  $PET_j$ ; Précipitations et évapotranspiration potentielle du  $j_i$  mois de l'année hydrologique. (Tsakiris & Vangelis, 2005)

Les deux expressions du nouvel indice sont le  $RDI_n$  normalisé et le  $RDI_{st}$  standardisé

$$RDI_n(k) = \frac{a_k^{(i)}}{\bar{a}_k^{(i)}} \quad (IV.07)$$

$$RDI_{st} = \frac{Y_k - \bar{Y}_k}{\sigma_k} \quad (IV.08)$$

Avec

$$Y_k = \ln(a_k^{(i)})$$

Nous avons calculé cet indice à l'aide du code de calcul Drinc. La figure IV.5 montre que le SPI et RDI<sub>st</sub> ont des points en commun c'est-à-dire qu'il existe une concordance et une

correspondance entre eux, ils utilisent la même gamme de valeurs où l'indicateur 0 est la balance entre une pénurie (valeurs négatives) ou un excès (valeurs positives) d'eau par rapport à la normale (tableau en Annexe 1).

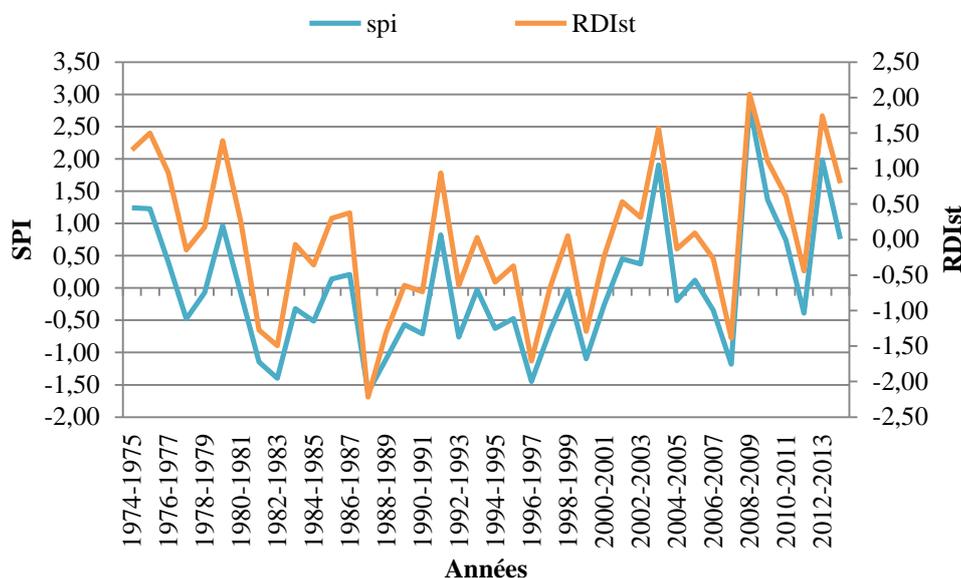


Figure IV.5 : comparaison des RDIst et SPI à la station Dj Chouachi (1974/1975 -2013/2014).

#### IV.2.2.6-Rapport à la normale des précipitations (RN)

Cet indice est exprimé mathématiquement en pourcentage comme suit :

$$RN (\%) = (P_i/P_n) \times 100 \tag{IV.09}$$

$P_i$  : Précipitations de l'année  $i$  pour la période de temps étudiée.

$P_n$  : Précipitations moyennes pour la même période de temps étudiée.

Ce rapport permet une estimation ponctuelle des précipitations par rapport à la normale : Une année est classée comme sèche si la pluviométrie se situe au-dessous de la normale, c'est-à-dire lorsque le RN est inférieur à 100 % (Rognon, 1997). (Jouilil et al., 2013)

L'utilisation de l'indice « Rapport à la normale des précipitations » suppose une distribution normale où la moyenne et la médiane sont les mêmes. (Karrou, 2006).

les résultats obtenus lors du calcul de RN (tableau Annexe 1) donnent une idée générale sur la répartition des années humide et sèche pendant la période d'étude (fig. IV.6). En effet, il s'agit d'une période humide de (1974/1975) à (1977/1978) suivie d'une autre sèche de (1977/1978) à (2008/2009) et une autre humide pour le reste de la série.

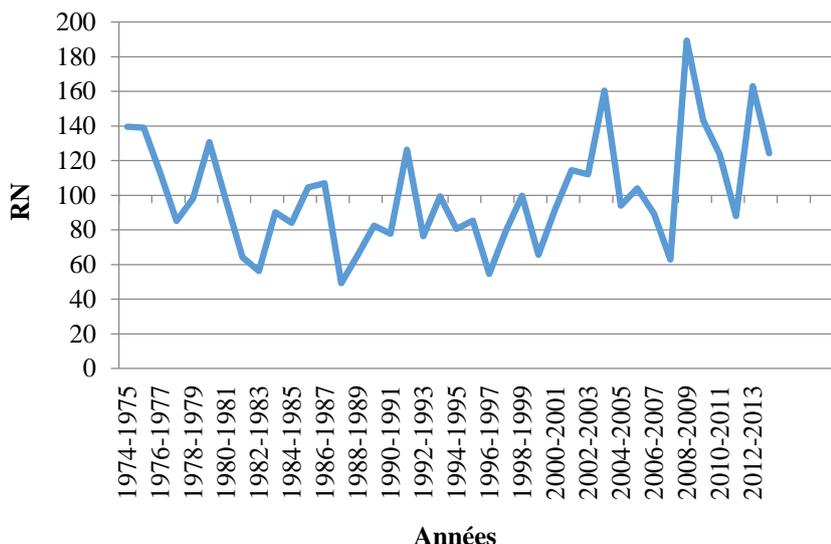


Figure IV.6 : Evolution de l'indice RN à l'échelle annuelle (1974/1975-2013/2014) de la Station Dj chouachi.

**IV.3.7-Indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale (En))**

L'indice de déficit pluviométrique (IDP) permet aussi de montrer et de calculer le nombre des années déficitaires et leur succession. Une année est qualifiée d'humide si cet indice est positif, de sèche lorsqu'il est négatif. Il s'exprime par la formule suivante :

$$IDP (\%) = (P_i - P_n) / P_n \times 100 \tag{IV10}$$

Avec :

IDP : Indice de déficit pluviométrique (pourcentage).

P<sub>i</sub> : Précipitations annuelles de l'année i (mm).

P<sub>n</sub> : Précipitations moyennes annuelles (en mm).

Pour l'ensemble des résultats de la période étudiée (tableau en Annexe 1), le déficit pluviométrique semble moins déficitaire pour les décennies 1978-2009 (fig.IV.7). Cependant, Le déficit maximal est enregistré pour 2008/2009, alors que le déficit minimal apparaît en 1987/1988.

Le IDP a montré que 60% des années étudiées sont considérées sèches et le reste humide (40%) (tableau IV.8).

Tableau IV.8 : Fréquences (en %) des classes de l'IDP de la station de Dj. Chouachi

Catégorie	Fréquence (%)
Humide	40 %
Sèche	60%

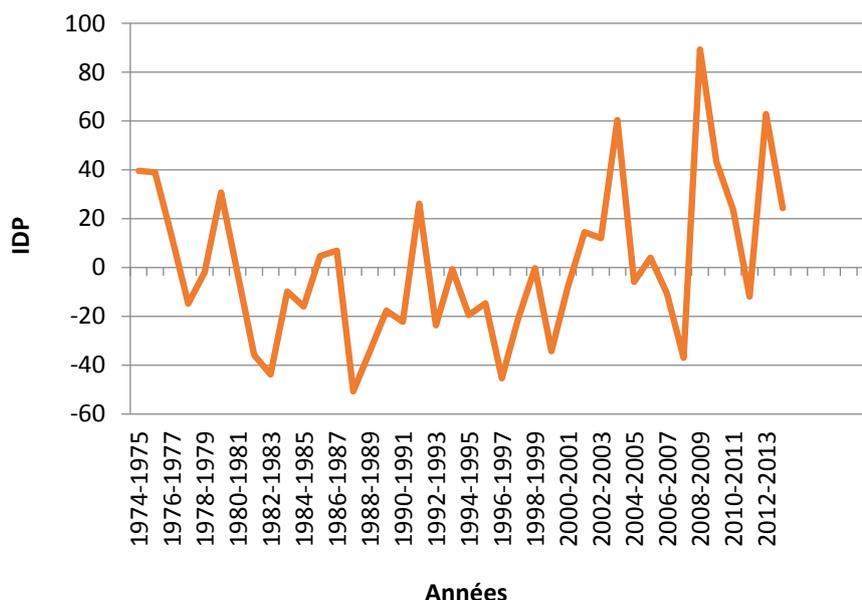


Figure IV.7 : Evolution de l'indice IDP au pas de temps annuel à la station Dj chouachi. (1974/1975-2013/2014)

**IV.2.2.8- Indice de sécheresse des débits (ISD)**

L'indice de sécheresse des débits (ISD) est analogue à l'indice de Bhalme et Mooley qui représente le pourcentage d'écart de la pluie à la moyenne sur le long terme. L'ISD encore appelé l'écart moyen du débit (EMD) est utilisé pour déterminer la réaction de l'oued face au déficit pluviométrique et permet de déterminer les déficits et les variations du débit. Il est calculé selon l'expression :

$$ISD = \left(\frac{D_i}{D_m}\right) - 1 \tag{IV 11}$$

avec :

Di : Débit du mois ou de l'année i.

Dm : Débit moyen de la série sur l'échelle temporelle considérée.

Cette méthode consiste à mettre en relief les périodes durant lesquelles les apports du bassin sont significativement inférieurs par rapport à l'apport moyen mensuel. Pour la classification de cet indice : si l'ISD est supérieur à 1, la période est humide, si l'ISD est égal à 0, la période est moyennement normale et si l'ISD est inférieur à 0, la période est sèche, (Boyossoro et al., 2017).

La (figure IV.8 et tableau en Annexe 1), présentent l'évolution des valeurs moyennes annuelles de l'indice ISD pour la station hydrométrique Dj Chouachi sur la période 1974/1975 – 2013/2014. Les valeurs moyennes de l'indice ISD sont globalement négatives sur les années 1982/1983- 2007/2008 avec un pourcentage de 62.50%, alors qu'elles sont positives sur toutes les années qui restent représentées par 22.5%. Cependant au cours de la période d'étude les valeurs nulles montrent la normalité avec un pourcentage de 15% .

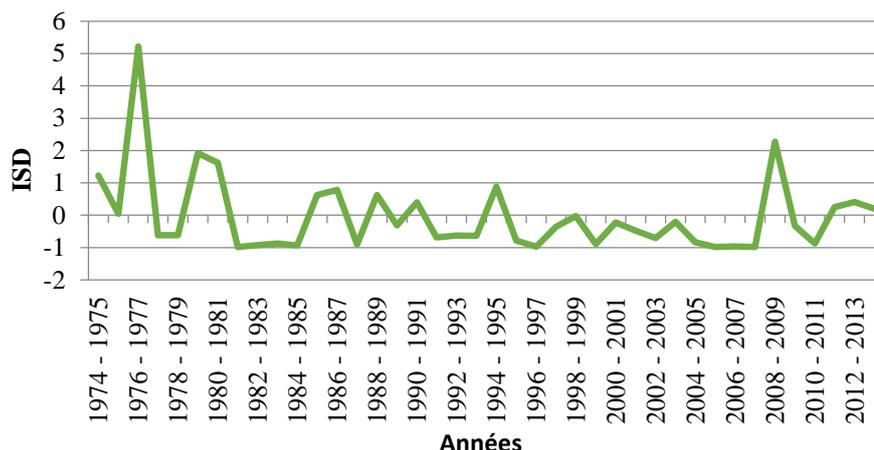


Figure IV.8 : Evolution de l'indice ISD annuel de la station Dj chouachi à l'échelle annuelle (1974/1975-2013/2014).

Tableau IV.9 : Fréquences (en %) des classes de l'ISD de la station de Dj. Chouachi (1974/1975-2013/2014)

Type	Fréquence (%)
humide	22,50
moyennement normale	15,00
Sèche	62,50

#### IV.2.2.9-Indice logarithme décimal des déviations hydrologiques (ILDH)

Le pourcentage des débits représente peut-être la plus simple méthode employée pour exprimer le déficit hydrologique d'une période par le rapport entre les débits effectifs et la moyenne pluriannuelle pour cette période. Comme l'expression graphique du rapport n'est pas suffisamment suggestive pour nuancer les déviations maximales, l'indice logarithme décimal des déviations hydrologiques (ILDH) est calculé par l'équation :

$$ILDH = \log (D_i/D_m) \tag{IV12}$$

Avec :

$D_i$  : Débit du mois ou de l'année  $i$ ,

$D_m$  : Débit moyen de la série sur l'échelle temporelle considérée.

L'ILDH met beaucoup mieux en évidence l'excédent ou le déficit hydrologique, avec une bonne tendance à mettre en relief les extrêmes positives ou négatives. On effectue une classification de la sécheresse suivant les valeurs de l'ILDH. (Boyossoro H et al., 2017).(Tableau IV.10)

Tableau IV.10 : Classification des séquences de sécheresse selon l'ILDH

Valeur de l'ILDH	Séquence de sécheresse	Valeur de l'ILDH	Séquence humide
$0,00 < ILDH < -0,99$	Modérément sèche	$0,00 < ILDH < 0,99$	Modérément humide
$-1,00 < ILDH < -1,99$	Fortement sèche	$1,00 < ILDH < 1,99$	Fortement humide
$ILDH < -2,00$	Extrêmement sèche	$2,00 < ILDH$	Extrêmement humide

Les caractéristiques de l'ILDH présentées sur la Figure IV.9 et tableau en Annexe 1, montrent plus précisément l'apparition de l'année de montée et de descente des quantités des débits, avec une dominance de sécheresse (tableau IV.11) par une fréquence de 47.5% modérément sèche et 17.5% fortement sèche. Toute fois, le bassin étudié a connu aussi une humidité modérée représentée par 35% durant la période (1974/1975 -2013/2014).

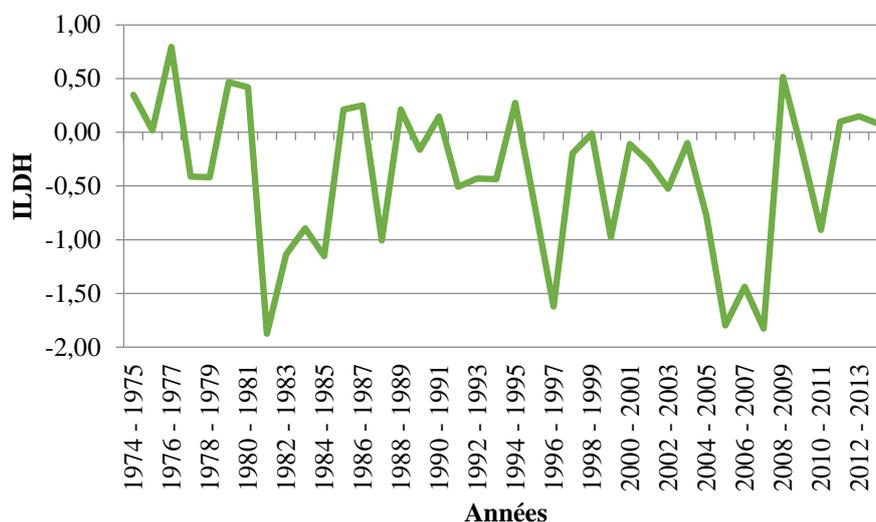


Figure IV.9 : Evolution de l'indice ILDH à l'échelle annuelle à la station Dj Chouachi (1974/1975-2013/2014).

Tableau IV.11: Fréquences (en %) des classes de l'ILDH de la station de Dj. Chouachi (1974/1975-2013/2014).

Type	Fréquence (%)
modérément humide	35
modérément sèche	47,5
fortement sèche	17,5

**IV.2.2.10- Indice d'humidité disponible pour les cultures (CMI – Crop Moisture Index)**

Afin d'avoir un aperçu du stress hydrique sur le bassin, on utilise les jeux de données d'évapotranspiration et de pluie mensuelle, afin d'en extraire une information grâce au CMI. Cet indice a été utilisé par divers chercheurs (Willmott et Feddema, 1992, Vörösmarty *et al.*, 2005) et représente le ratio de la pluie annuelle sur l'évapotranspiration potentielle annuelle. (Cheikh *et al.*, 2015 ).

Pour avoir un indice compris entre -1 et 1, il est strictement défini par :

$$CMI = (P/ETP) - 1 \text{ si } P < ETP \tag{IV 13}$$

$$\text{Autrement } CMI = 1 - (ETP / P). \tag{IV 14}$$

La classification de la sécheresse effectuée par l'indice CMI (tableau IV.12 et tableau en Annexe 1) suit des intervalles bien définis.

Tableau. IV.12: Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur du Climatic Moisture Index (CMI).

Classes de CMI	Degré de la sécheresse
CMI > 0	Zone humide
-0.6 < CMI < 0	Zone semi aride
CMI < -0.6	Zone aride

Le CMI met lui-aussi en évidence une situation majoritairement sèche (tableau en Annexe 1). La figure IV .13 et le tableau. IV. 10, montrent que les valeurs du CMI se rangent dans les gammes des conditions semi-aride et aride avec une évolution temporelle notable vers le climat aride, où le taux de phénomène d’aridité atteint 70% face à un taux de 30% pour le climat semi -aride.

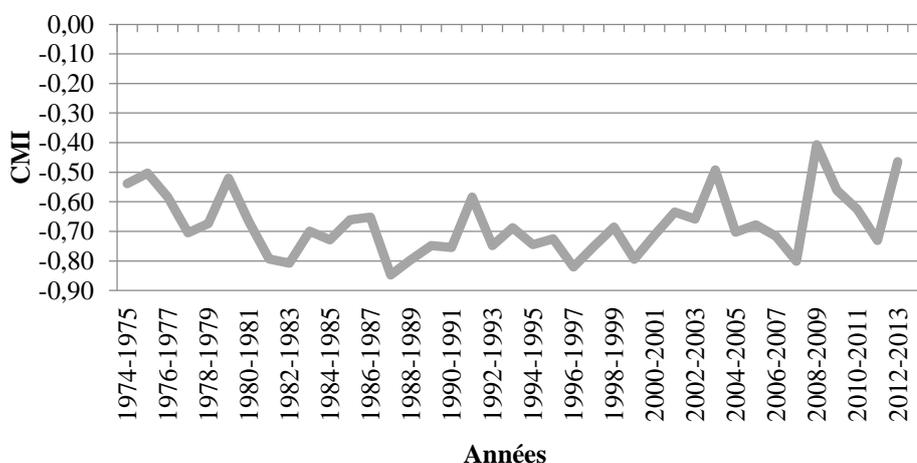


Figure IV.10 : Evolution de l’indice CMI à l’échelle annuelle de la station Dj Chouachi (1974/1975-2013/2014).

Tableau. IV.13 : Fréquences (en %) des classes de CMI à l’échelle annuel (1974/1975-2013/2014)

Sécheresse	Fréquence
humide	0
semi aride	30,00
aride	70,00

**IV.2.2.11- Indice de continentalité pluviométrique d'Angot (1906)**

Cet indice ne fait intervenir que les précipitations mensuelles et caractérise le degré de continentalité pluviale des sites. (Lebourgeois & Christian, 2005).

$$I_a = \frac{\sum p(6 \text{ mois les plus chauds})}{\sum p(6 \text{ mois les plus froids})} \tag{IV15}$$

En appliquant cet indice sur les données de la station de Dj Chouachi relatives à la période (1974/1975 – 2013/ 2014), on obtient :  $I_a=0.31$ .

$I_a < 1$ , le climat alors n’est pas continental.

Ce résultat n'est pas significatif car on doit calculer l'indice de continentalité thermique de Gorczinski (  $K'$  ) pour confirmer ce résultat.

#### IV.2.2.12- Indice de continentalité thermique de Gorczinski (1920) (modifié par Daget 1968)

Il caractérise la continentalité thermique des sites par la concentration estivale des températures. On peut l'utiliser avec le coefficient d'Angot pour avoir une idée des variations pluviothermiques selon le degré de continentalité.

$$K' = \frac{1.7A}{\sin(\gamma + 10 + 9h)} - 14 \quad (\text{IV } 16)$$

Avec :

A = Amplitude thermique annuelle moyenne (°C),

$\gamma$  = Latitude (°),

h = Altitude (km).

Nous obtenons:  $K' = 23,52$ .

Un climat est continental ou semi-continental quand  $I_a$  est supérieur à 1 et  $K'$  supérieur à 25. (Lebourgeois, 2005).

En climat méditerranéen, la continentalité pluviale est toujours inférieure à 1 en raison de la forte sécheresse estivale. Par contre, au niveau thermique, ce climat étant par nature contrasté, les amplitudes annuelles sont importantes mais, comme elles dépendent avant tout de l'importance des températures estivales, elles sont peu déterminantes pour la végétation en tant que facteur thermique. En revanche, elles jouent un rôle important dans l'accentuation de l'aridité comme a pu le montrer Emberger avec son quotient pluvio-thermique. (Sebaibi, 2014).

### IV.3- Comparaison de certains indicateurs météorologiques et hydrologiques

Les débits des cours d'eau sont liés aux pluies qui tombent dans leurs bassins, par des lois complexes, dépendant du relief et de la nature du sol. (Coutagne, 1948)

Allant de cette définition de Coutagne, nous avons analysé la compatibilité de quelques indices météorologique et hydrologique.

#### IV.3.1- SPI et SSFI

Selon la figure IV.11, au niveau des eaux de surface, l'analyse de la relation pluie-débit par les indices SPI et SSFI a montré que le rendement annuel des cours d'eau de la zone d'étude est lié à la pluviométrie. Exception faite, pour les deux périodes (1974/1975 - 1978/1979) et (2001/2002 -2006/2007).

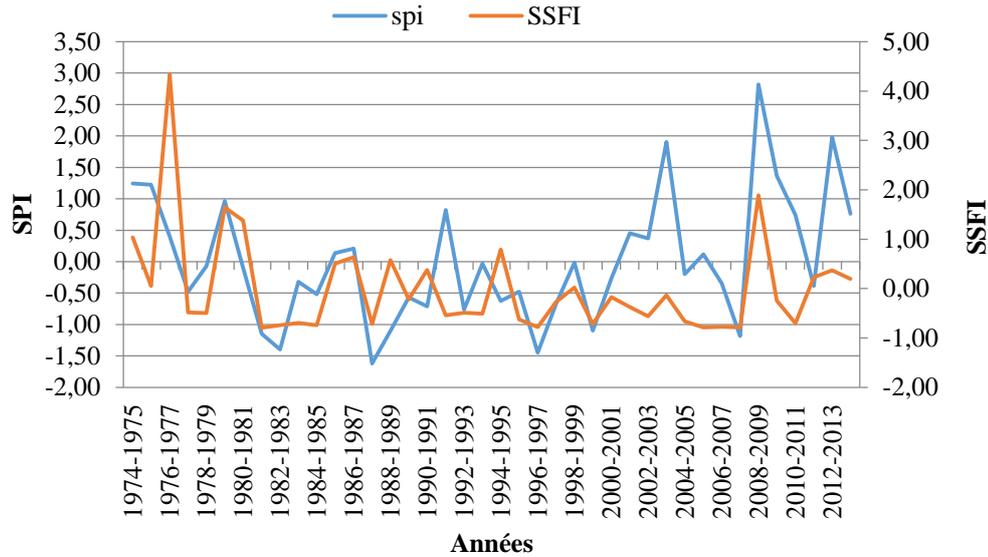


Figure IV.11 : Comparaison des SPI et SSFI pour la station Dj Chouachi (1974/1975 -2013/2014).

**IV.3.2- RDI et ISD**

L'évolution des indices météorologique RDI et hydraulique ISD ressemble à celle de SPI et SSFI (fig. IV.12) avec une forte corrélation entre le rendement annuel du bassin versant et la lame d'eau précipitée, Sauf pour les deux périodes (1974/1975-1978/1979) et (2001/2002-2006/2007).

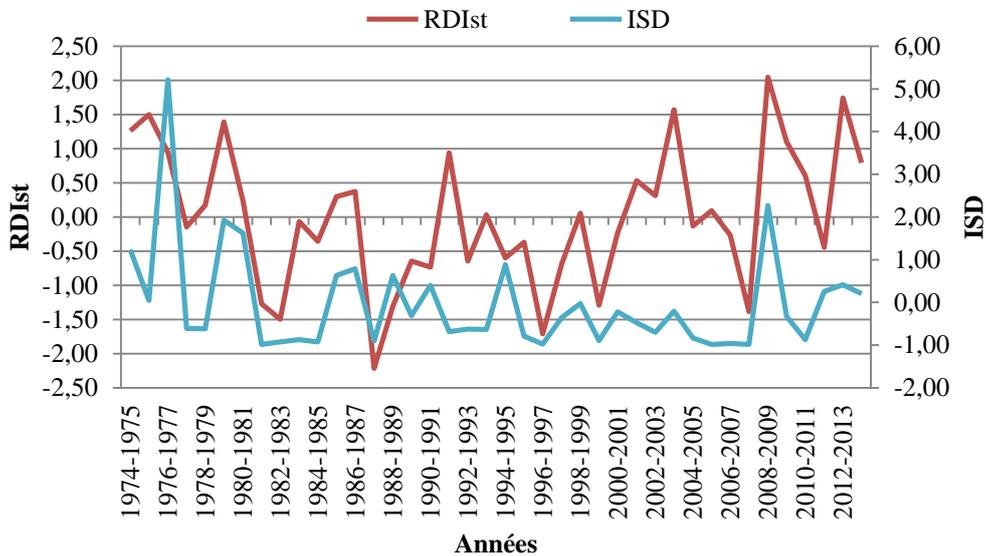


Figure IV.12 : Comparaison des RDI st et ISD pour la station Dj Chouachi (1974/1975 -2013/2014).

**IV.4- Corrélation entre indices**

Cette partie vise à utiliser la corrélation annuelle pour déterminer la réponse du bassin sur les extrêmes de pluie et aussi pour connaître la précision des indices météorologiques. La corrélation entre les indices (fig. IV.13 et Tableau IV.14) met en évidence :

- ✓ Une bonne liaison entre les indices météorologiques avec un coefficient de corrélation de 0.97 pour le RDI et le SPI, ce qui nous permet de dire que l'évapotranspiration n'as pas un grand impact, et un coefficient de corrélation de 0.90 pour le EDI et le SPI prenant en compte le pas de temps pour lequel l'étude est réalisée.
- ✓ Une divergence remarquable pour la corrélation des indices pluies – débits avec un coefficient de corrélation égal à 0.46 pour l'RDI et ISD, et 0.40 pour SSFI / SPI, ce sont bien des preuves tangibles d'une variabilité climatique ayant affecté le bassin d'étude durant la période choisie (1974/1975 -2013/2014).

Tableau IV.14 : coefficient de corrélation des indices

Indices	Coefficient de corrélation
EDI / SPI	0.90
SSFI / SPI	0.40
ISD /RDI	0.46
RDI/ SPI	0.97

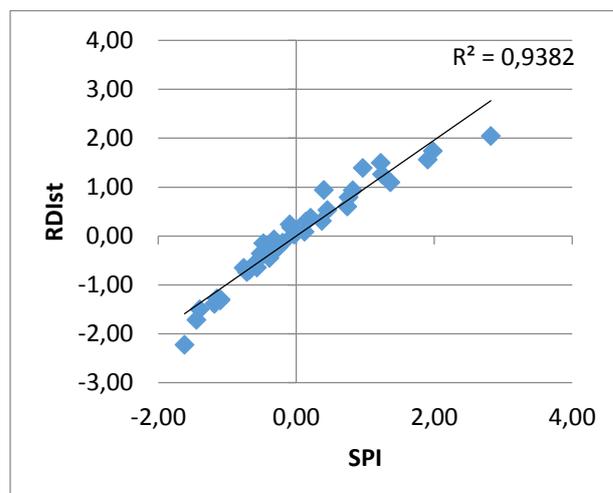
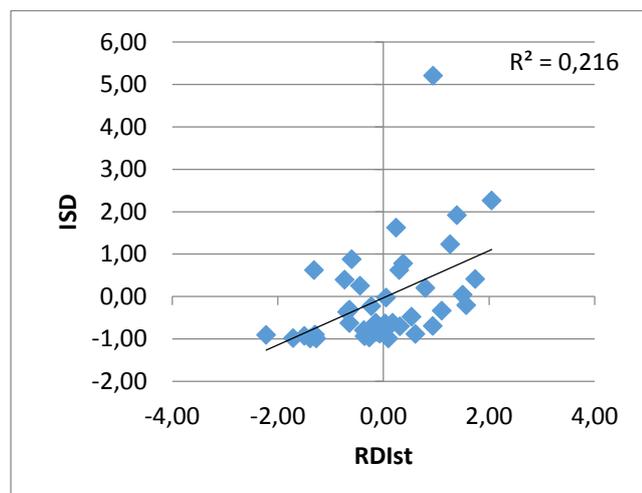
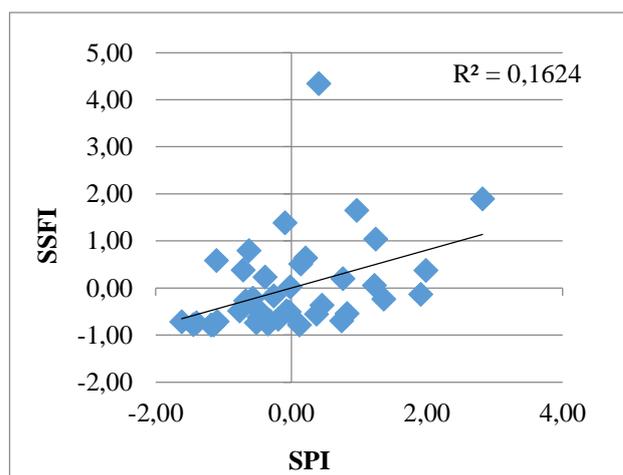
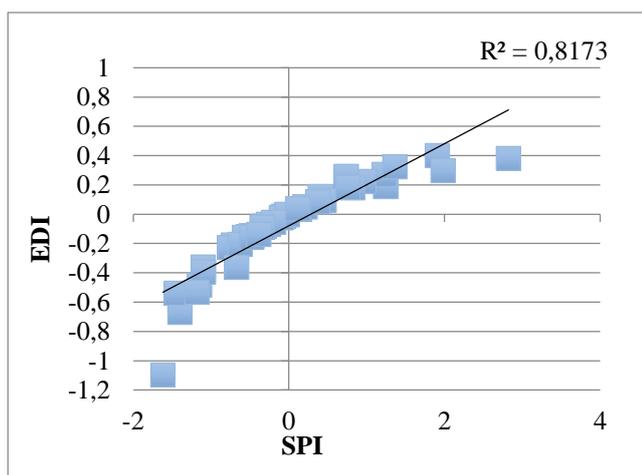


Figure IV.13 : Corrélation des indices annuels à la station Dj Chouachi (1974/1975)-(2013/2014).

**IV.5- Conclusion**

L'analyse des données hydro-pluviométriques réalisée à partir des données moyennes annuelles couvrant la période (1974/1975-2013/2014) nous a permis de constater que la tendance chronologique de la pluviométrie et de l'écoulement dans notre bassin versant a été généralement déficitaire.

L'application des indices SPI, SSFI, EDI, RDI, ISD, IDP, RN et ILDH ont mis en évidence une variabilité climatique caractérisée par une alternance de phases humides et sèches et des fréquences d'écoulement déficitaires et excédentaires. En général, le bassin a connu globalement des périodes d'humidité et de sécheresse légère et modérée avec une tendance à la sécheresse.

Les indices étudiés montrent que la période de sécheresse météorologique s'étale de 1980/1981 - 2008/2009, la sécheresse hydrologique s'est déployée de 1982/1983 à 2008/2009. Les deux types de sécheresse ont connu une sécheresse forte en 1987/1988.

# Chapitre V

Impact de la variabilité climatique sur les  
ressources en eaux superficielles

---

## V.1- Introduction

En cohérence avec les observations faites au chapitre précédent, sur la variabilité climatique, nous allons dans ce chapitre essayer de mettre le point sur l'impact de cette variabilité sur les ressources en eaux superficielles par l'utilisation du programme Khronostat 1.01 en décelant les ruptures affectant les séries de données pluviométriques et hydrométriques.

Une rupture peut être définie de façon générale par un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné, le plus souvent inconnu. Suite à une étude menée.

## V.2- Présentation du code de calcul Khronostat

Le Khronostat1.01 est un logiciel de l'analyse statistique de séries chronologiques conçu par une équipe de recherche de l'IRD, dans le cadre d'une étude sur la variabilité climatique en Afrique de l'Ouest et Centrale. Cet objectif peut être atteint en considérant une seule série de données. Ces méthodes statistiques concernent l'exploitation d'une série de données (Lubès *et al.*, 1994). De telles analyses sont qualifiées de ponctuelles ou par site.

Le Khronostat permet d'effectuer deux types de tests :

- Les premiers tests sont relatifs à la vérification de caractère aléatoire de séries chronologiques de données météorologiques, ce qui traduit une tendance à la persistance.
- Les seconds tests concernent la détection d'un point de rupture dans l'hypothèse où la série est déclarée non aléatoire. (Sougoumi, 2009).

## V.3-Manipulation du Khronostat

Le Khronostat est un logiciel de manipulation simple. Avant tout les fichiers d'entrée doivent être en format texte avec pour extension (\*.ski).

Une fois les fichiers Excel ou Word convertis en fichier texte on doit procéder :

- D'abord au choix de la langue en cliquant sur le menu « langue ».
- Puis au choix des méthodes à appliquer dans une fenêtre qui s'ouvre après avoir cliqué sur « Sélectionner F5 » dans le menu « Méthodes ».
- En suite à l'Introduction des fichiers à tester dans le logiciel à partir de la fenêtre qui s'ouvre une fois cliquée sur « Sélectionner F2 » dans le menu « Fichier »
- Et enfin à l'exécution en appuyant sur « Exécuter F6 » dans le menu « Méthode »

Après « l'exécution » les fenêtres des résultats s'ouvrent dont chacune correspond à un fichier des données induites (fig.V.1) et (figures en Annexe 3).

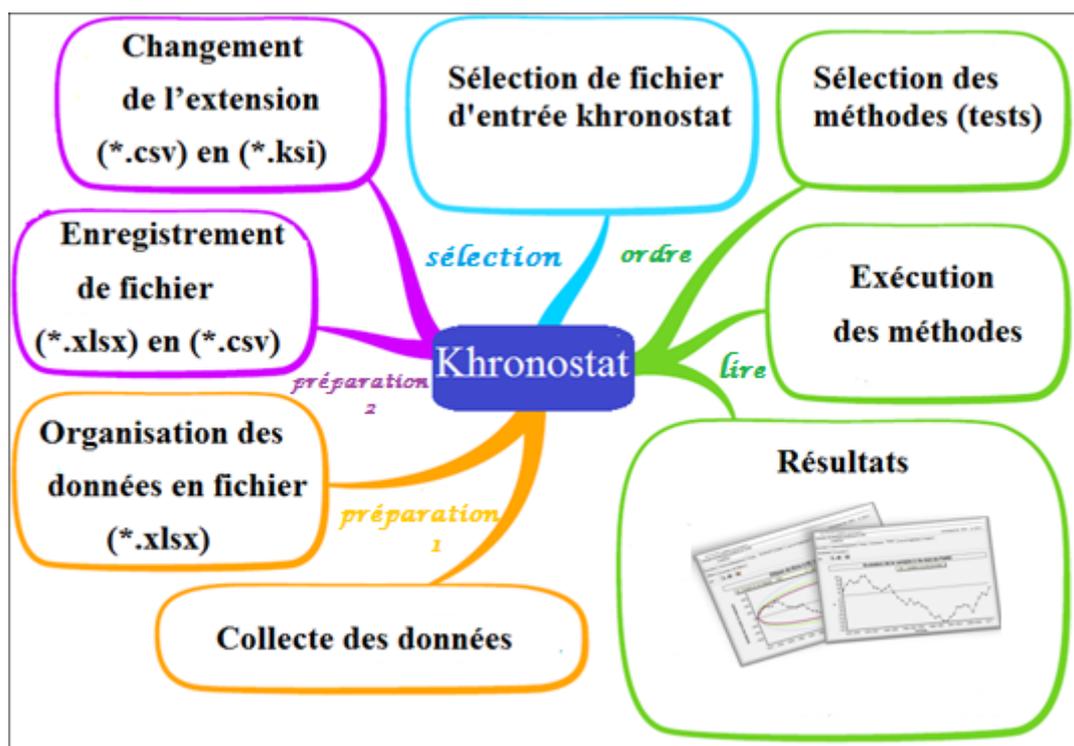


Figure V.1: Manipulation du logiciel Khronostat.

#### V.4- Tests statistiques appliqués dans cette étude

Dans le cadre de notre étude nous avons appliqué quatre tests, pour la détection des ruptures :

- ✓ Test de Pettitt.
- ✓ Test d'Hubert.
- ✓ Test de la méthode bayésienne et Heghinian.
- ✓ Test de Buishand et l'ellipse de contrôle.

##### V.4.1-Test d'A.N. PETTITT

Le test de PETTITT (1979) est non-paramétrique et dérive du test de Mann Whitney. L'absence d'une rupture dans la série  $(X_i)$  de taille  $N$  constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant  $t$  compris entre 1 et  $N$ , les séries chronologiques  $(X_i)$ , de  $i=1$  à  $t$  et de  $t+1$  à  $N$  appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable  $U_t, N$  définie par :

$$U_{tN} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \quad (V.1)$$

Où :

$D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$ , avec :

$\text{sgn}(X) = 1$ , si  $X > 0$ ,

$\text{sgn}(X) = 0$ , si  $X = 0$

$\text{sgn}(X) = -1$ , si  $X < 0$

Au cas où l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant  $t$  définissant le maximum en valeur absolue de la variable  $U_t$ ,  $N$ . (Ahoussi et *al.*, 2013).

#### V.4.2-Test de segmentation de P. HUBERT(1989)

Une procédure de segmentation de séries hydrométéorologiques a été présentée par Hubert en 1989. Le principe de cette procédure est de « découper » la série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne (ou des) segment(s) voisin(s). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne. La segmentation est définie de la façon suivante :

Toute la série  $x_i$ ,  $i = i_1, i_2$  avec  $i_1 \leq 1$  et  $i_2 \geq N$  où ( $i_1 < i_2$ ) constitue un segment de la série initiale des  $(x_i)$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Toute partition de la série initiale en  $m$  segments est une segmentation d'ordre  $m$  de cette série.

#### V.4.3- Méthode bayésienne de A.F.S LEE et S.M. HEGHINIAN

La méthode fournit la probabilité que le changement se produise à un moment  $t$ , dans une série chronologique où on suppose a priori qu'il y a effectivement un changement à un moment indéterminé. De même, cette procédure donne une estimation de la probabilité que l'amplitude du changement ait la valeur du changement éventuel de la moyenne (*in* Belahcen & Chouireb., 2018).

#### V.4.4-Statistique U de Buishand

Ce test de nature bayésienne est basé sur les hypothèses de normalité et de constance de la variance de la série. En supposant une distribution a priori uniforme pour la position du point de rupture, la statistique  $U$  est définie par:

$$U = [N(N + 1)]^{-1} \sum_{k=1}^{N-1} \left( \frac{S_k}{D_x} \right)^2 \quad (\text{V.2})$$

Où :  $S_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})$  pour  $K = 1, 2, 3, \dots, N$  et  $D_x$  est l'écart type de la série.

L'hypothèse nulle est l'absence de rupture dans la série. Si l'hypothèse nulle est rejetée, le test ne propose pas une estimation de la date de rupture. Des valeurs critiques de la statistique  $U$  sont données par Buishand (1982, 1984) à partir d'une méthode de Monte Carlo. Cette méthode donne moins de poids aux premières et aux dernières valeurs de la série et s'avère donc plus performante pour tout changement de moyenne intervenant au milieu de la série. La statistique  $U$  est une statistique robuste qui reste valide même pour des distributions de la variable étudiée qui s'écartent de la normalité. (Arodoin, 2004).

**N.B:** l'application des tests paramétriques (statistique de Buishand et méthode bayésienne) nécessitent, la vérification de la normalité de la variable étudiée. Dans la mesure où cette

normalité n'est pas vérifiée, les procédures Buishand et bayésienne ne pourront pas être appliquées. (Koukponou, 2001).

## V.5-Résultats et discussions

Pour l'analyse des longues séries chronologiques (précipitations, lame d'eau écoulee et température), nous avons essayé d'emprunter quatre axes : annuel, périodique saisonnier et mensuel.

Les données des séries utilisées sont celle de la station Dj Chouachi au cours de la période (1974/1975 – 2013/2014).

### V.5.1-Analyse des précipitations

#### V.5.1.1- A L'échelle annuelle

- **Test de PETTITT**

Les résultats de ce test sont illustrés sur le tableau V.1 et Tableau en Annexe 4 et l'évolution de la variable U du test (fig.V.2), montrent que la station subit une rupture sur notre série de donnée annuelle en 2000 avec un seuil de cofinance de 90 % et une probabilité de dépassement > 20% (série homogène).

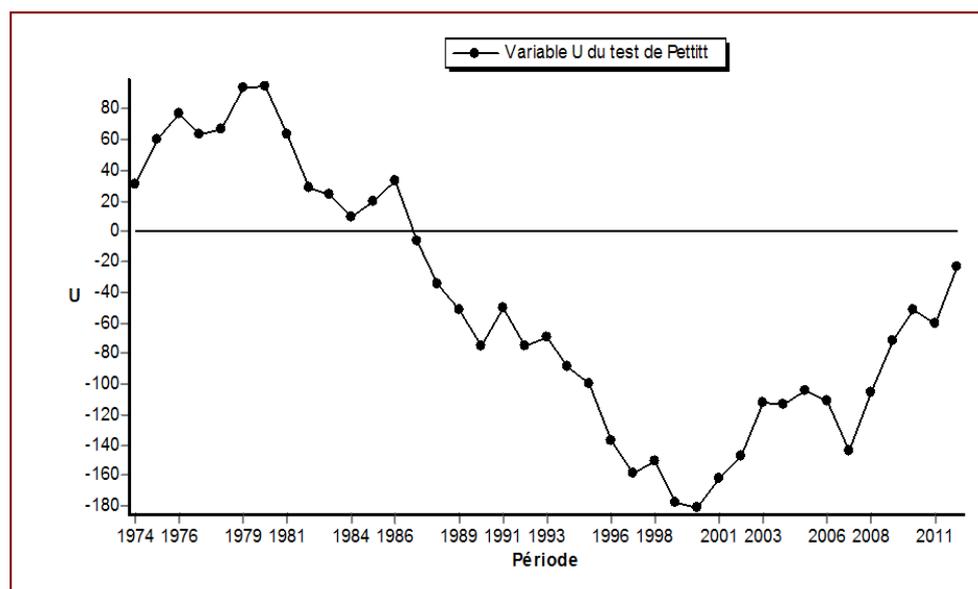


Figure V.2: Evolution de la variable U du test de PETTITT des précipitations annuelles.

Tableau V.1: Résultats du test de Pettitt des précipitations annuelles.

Station	Période Annuelle	Hypothèse	Probabilité de dépassement	Date de rupture	Seuil de confiance
Dj Chouachi	(1974/1975-2013/2014)	Nulle	$9,99.10^{-2}$	2000	90% rejetée

- **Test de la méthode bayésienne de A.F.S LEE et S.M. HEGHINIAN**

Les résultats du test de rupture de Lee et Heghinian appliqué aux séries pluviométriques Annuelles (tableau IV.2 et Tableau en Annexe 5) montrent la présence de rupture dans la série pluviométrique.

Tableau V 2: Résultats du test de Lee et Heghinian des précipitations annuelles.

Station	Période Annuelle	Date de rupture	Point de rupture
Dj chouachi	(1974/1975 - 2013/2014)	2007	0.5020

L'analyse de la figure V.3, révèle que le mode de la fonction densité de probabilité à posteriori de la position du point de rupture des précipitations est en 2007/2008, c'est une période de retour d'humidité avec un volume de 183.4 mm correspondant au maximum observé sur la série.

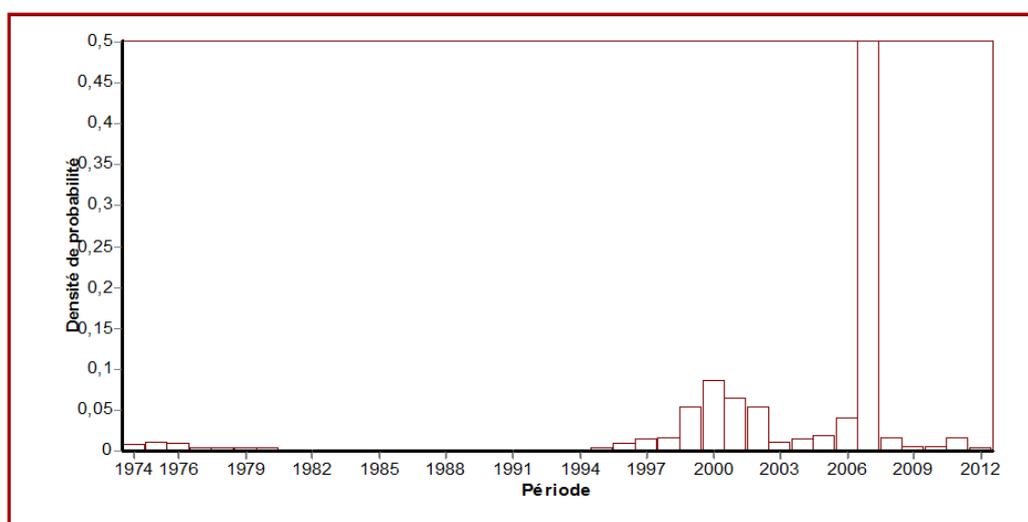


Figure V.3: Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position D d'un changement des précipitations annuelles (Dj. Chouachi).

- **Test de segmentation de P.HUBERT**

Les résultats de la segmentation d'Hubert appliquée aux séries pluviométriques annuelles de la station du Dj. Chouachi sur la période 1974/1975 à 2013/2014 (tableau V.3), propose un découpage de 1974 - 2007 et 2008 - 2013.

Tableau V.3: Résultat de Segmentation d'Hubert des précipitations annuelles de la station de Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).

Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart type
1974	2007	272.4	75.735
2008	2013	403.5	102.257
Niveau de signification du test de Scheffé = 1%			

• **Test de BUISHAND et ellipse de BOIS**

D'après la figure V.4, l'hypothèse est rejetée au seuil de confiance de 90%, 95% et acceptée au seuil 99%, la série de Dj chouachi des pluies au cours de la période 1974/1975 à 2013/2014 présente une rupture en année 2000.

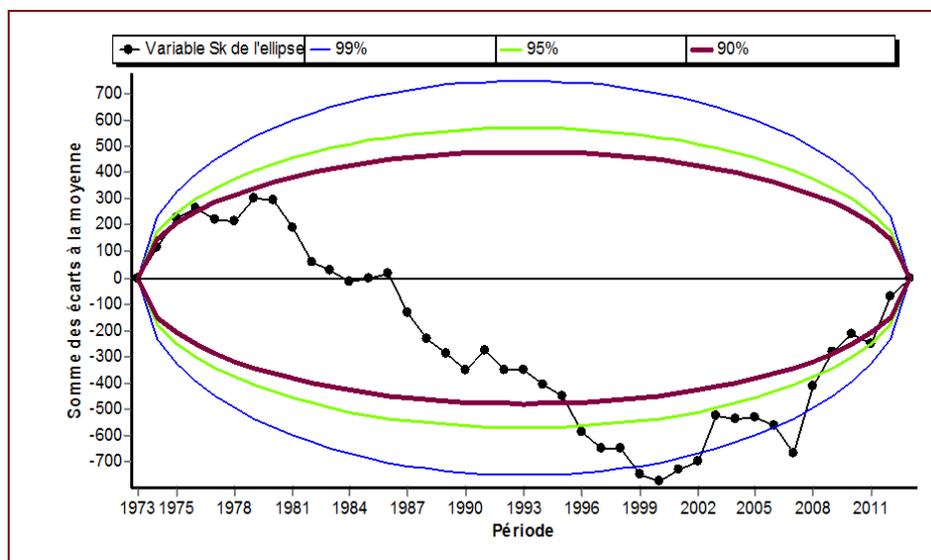


Figure V.4: Ellipses de contrôle des précipitations annuelles.

**V.5.1.2-A L'échelle périodique**

• **Test de PETTITT**

D'après le tableau IV.4 et l'évolution de la variable U (fig. V.5), aucune rupture n'a été détectée sur la série des précipitations pendant la période humide et sèche.

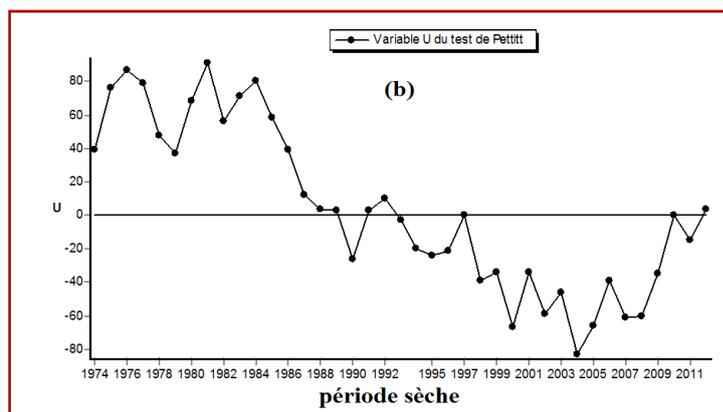
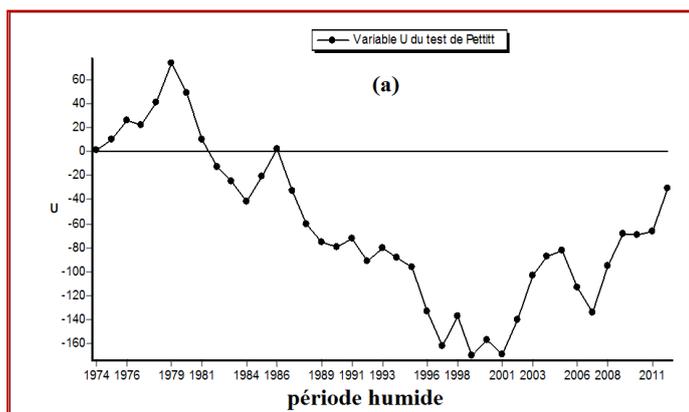


Figure V.5: Evolution de la variable U du test de PETTITT des précipitations au cours des Périodes humide et sèche.

Tableau V.4: Résultats du test de Pettitt des précipitations périodiques.

Station	Période	Hypothèse	Seuil de confiance		
Dj chouachi	Humide	Nulle	99 %	95 %	90 %
	Sèche		Acceptée		

• **Test de bayésienne de A.F.S LEE et S.M. HEGHINIAN**

L’analyse du (tableau V.5) et la variation des densités de probabilité mettent en évidence deux années de rupture :

La période humide, le Point de rupture est en 2007/2008 avec une lame de 183.4 mm (fig. V.6.a) et la Période sèche, le Point de rupture est en 1975/1976 avec 404.7 mm (fig. V.6.b).

Tableau V.5: Résultats du test de Lee et Heghinian des précipitations périodiques.

Station	Périodes	Date de rupture	Point de rupture
Dj chouachi	Humide	2007	0.3258
	Sèche	1975	0.2922

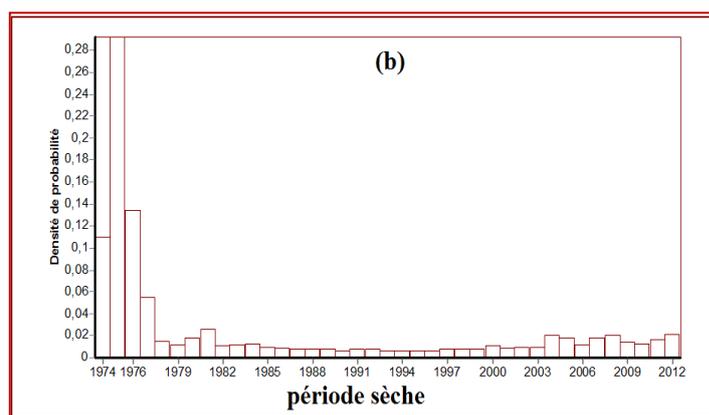
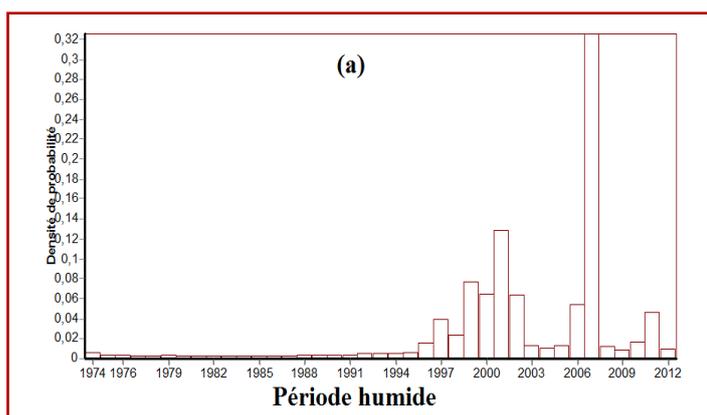


Figure V.6: Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position D’un changement des précipitations périodiques (Dj. Chouachi).

• **Test de segmentation de P.HUBERT**

D’après le tableau V.6, le découpage proposé est différent d’une période à une autre.

\* Période sèche : 1974-1975 et 1976-2013.

\* Période humide : 1974-2007 et 2008-2013 le même découpage de la série pluviométrique annuelle.

Tableau V.6: Résultat de Segmentation d'Hubert des précipitations périodiques de la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).

Période	Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart type
Humide	1974	2007	34.262	11.665
	2008	2013	53.017	17.885
Sèche	1974	1975	29.750	4.031
	1976	2013	10.674	6.635

Niveau de signification du test de Scheffé = 1%

• Test de BUISHAND et ellipse de BOIS

Le test de Buishand (fig.V.7) présente une rupture en 2001 au cours de la période humide avec un seuil de confiance de 90%, 95% rejeté et un seuil de 99% accepté (fig.V.7.a) et pour la période sèche aucune rupture n'a été détectée (fig.V.7.b).

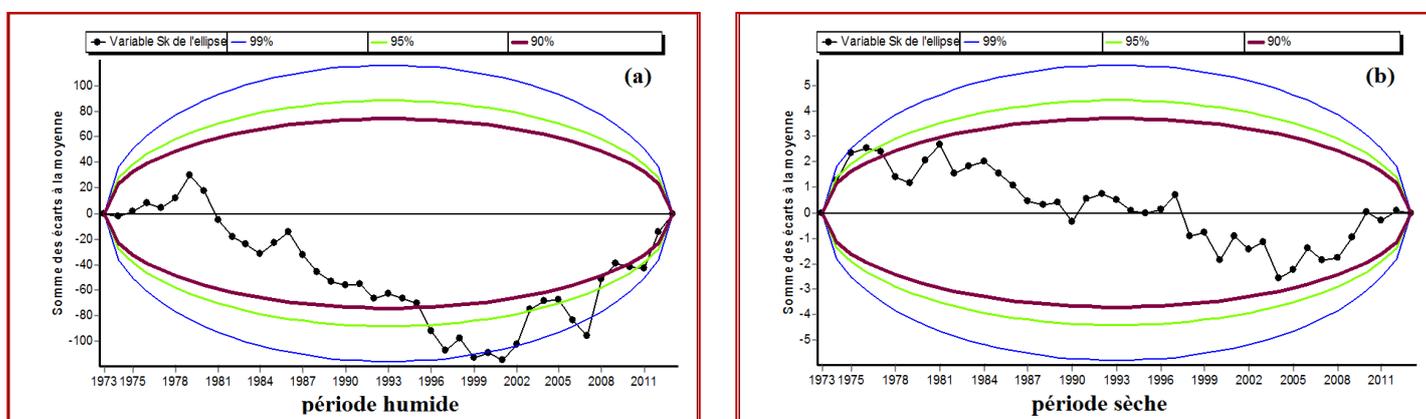
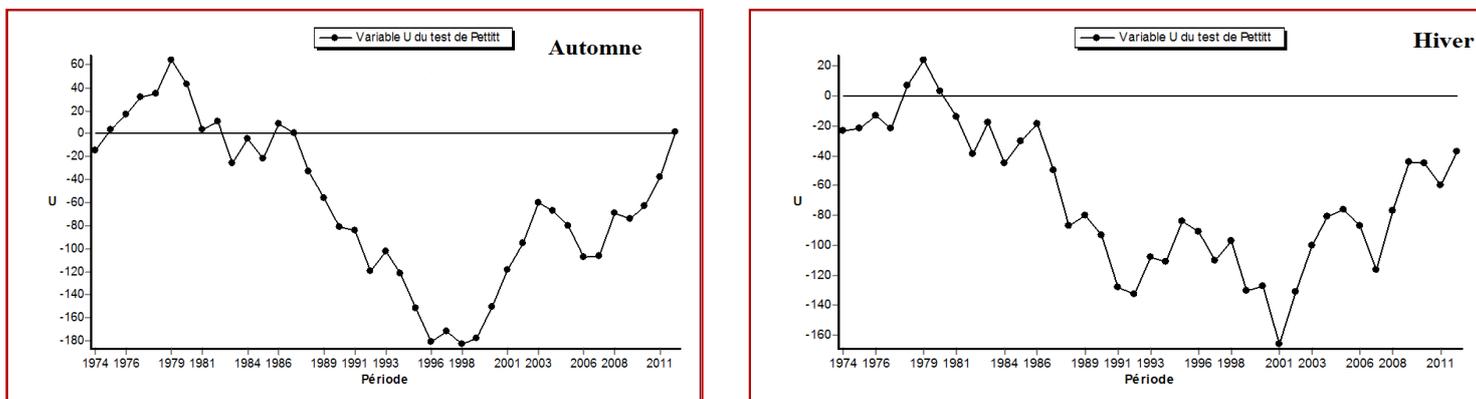


Figure V.7: Ellipses de contrôle des précipitations périodiques.

V.5.1.3-A L'échelle saisonnière

• Test de PETTITT

D'après la (figure IV.8 et tableau IV .7),une seule rupture est mise en évidence à l'issue du test de Pettitt sur la saison d'Automne en 1998 avec un seuil de 90% et une probabilité de dépassement >20% (série homogène), et les autres saisons aucune rupture n'a été détectée.



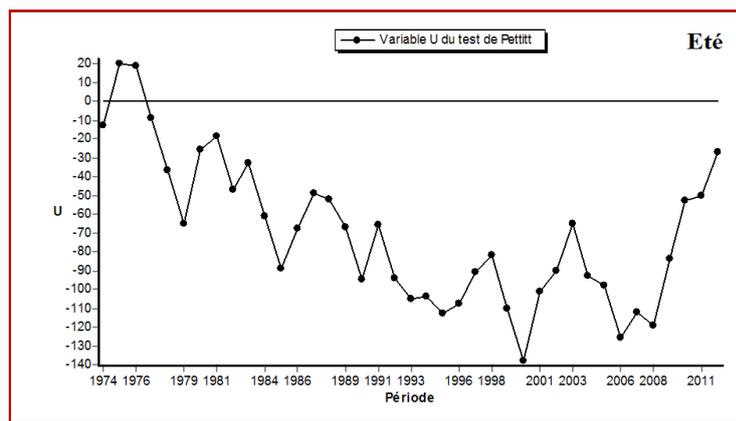
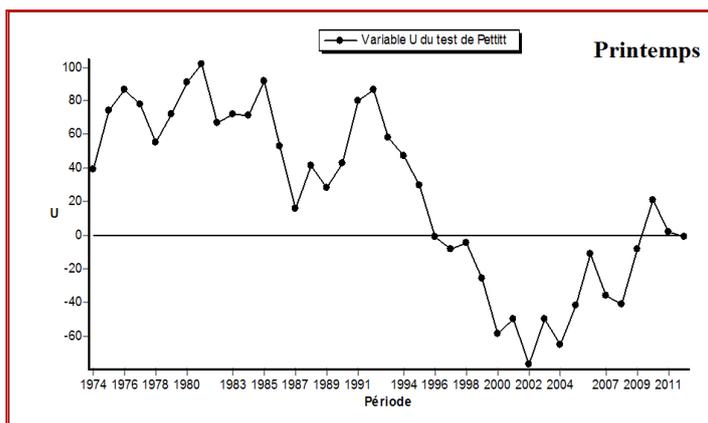


Figure V.8: Evolution de la variable U du test de PETTITT des précipitations saisonnières

Tableau V.7: Résultats du test de Pettitt des précipitations saisonnières.

Station	Saisons	Hypothèse	Probabilité de dépassement	Date de rupture	Seuil de confiance
Dj. chouachi	Automne	Nulle	9,35.10 <sup>-2</sup>	1998	90% rejetée
	Hiver				99
	Printemps				95
	Eté				90

• **Test de la méthode bayésienne de A.F.S LEE et S.M. HEGHINIAN**

Selon le tableau V.8 et la figure V.9, la dénivelé de probabilité saisonnière identifie l'année 1998 comme année de rupture avec 290.5 mm pour l'Automne, et pour le Printemps le point de rupture est en 1974 avec 406.4 mm

Tableau V.8: Résultats du test de Lee et Heghinian des précipitations saisonnières.

Station	Saisons	Date de rupture	Point de rupture
Dj chouachi	Automne	1998	0.1392
	Printemps	1974	0.7233

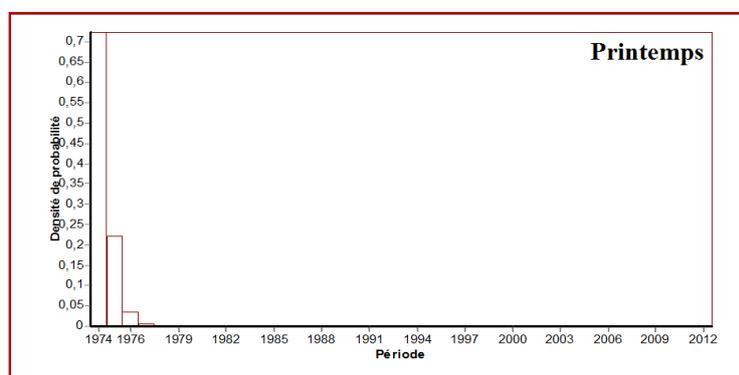
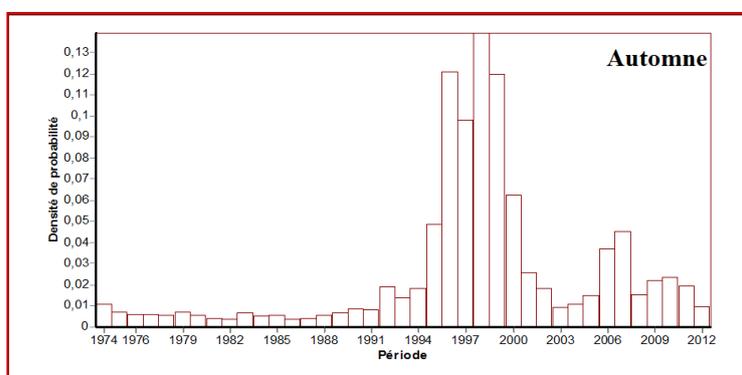


Figure V.9: Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position d'un changement des précipitations saisonnières.

• **Test de segmentation de P.HUBERT**

La procédure de segmentation (tableau V.9) propose des segments commençant par l'année 1974. Deux pour les saisons Automne, Printemps, Hiver et un seul pour l'Eté.

Tableau V.9: Résultat de Segmentation d'Hubert des précipitations saisonnières à la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).

Saisons	Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart type
<b>Automne</b>	1974	1999	64.515	35.109
	2000	2013	109.079	56.636
<b>Hiver</b>	1974	2001	101.696	40.577
	2002	2013	147.008	58.843
<b>Printemps</b>	1974	1974	291.200	0.000
	1975	2013	83.003	42.492
<b>Eté</b>	1974	2013	9.427	14.481

Niveau de signification du test de Scheffé = 1%

• **Test de BUIHAND et ellipse de BOIS**

L'année 1996 est mise en évidence par le test de Buishand au seuil de confiance de 95% et 90% pour l'Automne et pour le Printemps aucune rupture n'a été détectée. (Fig. V.10)

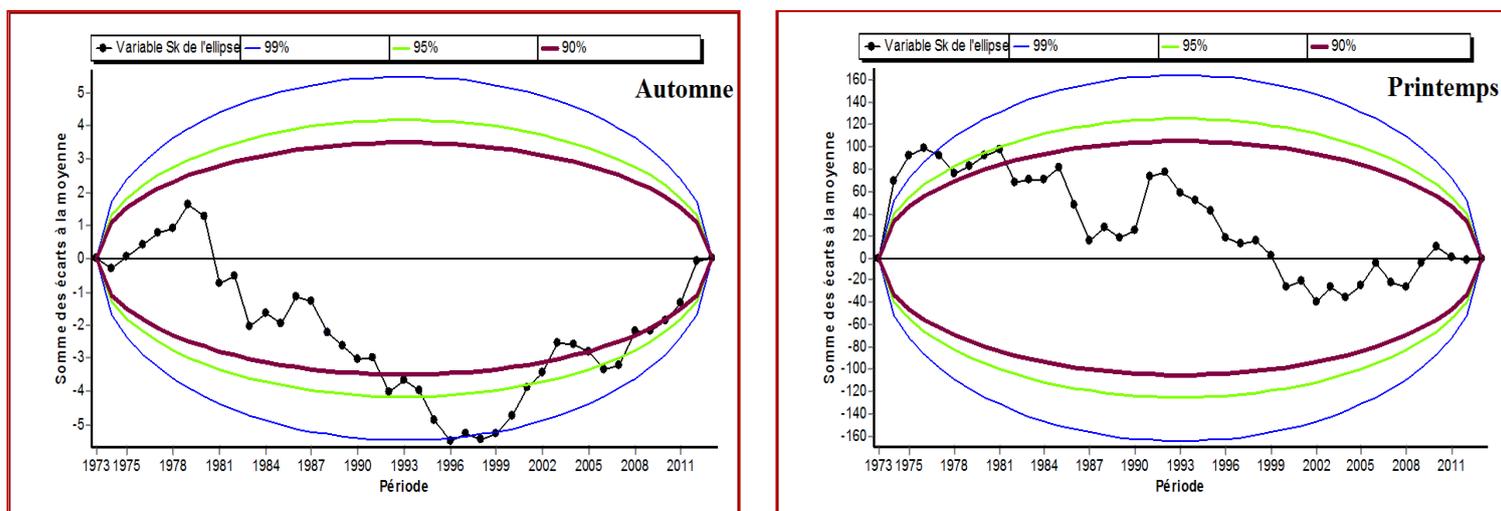
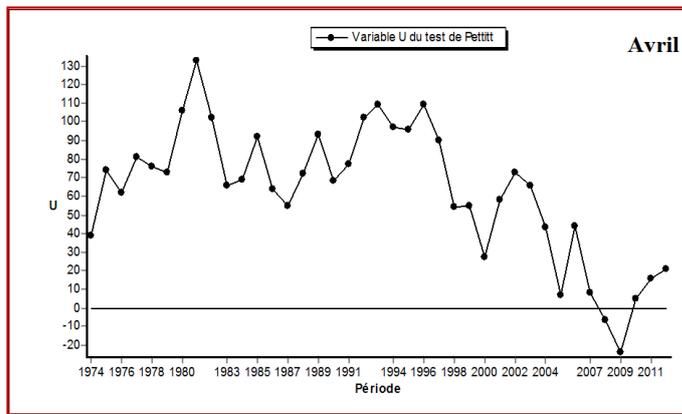
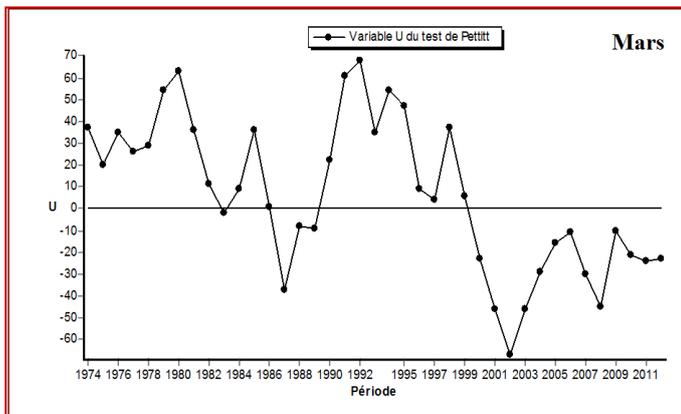
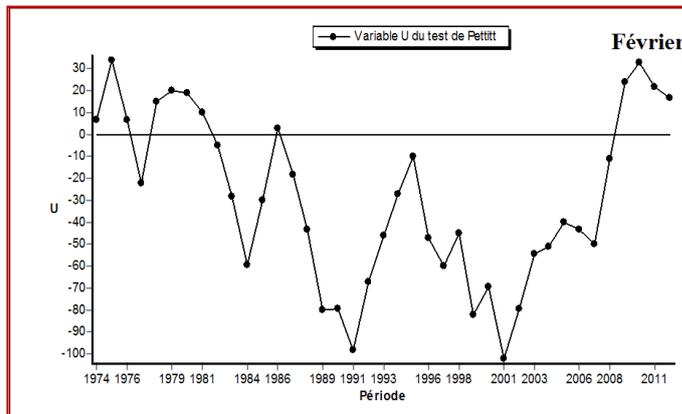
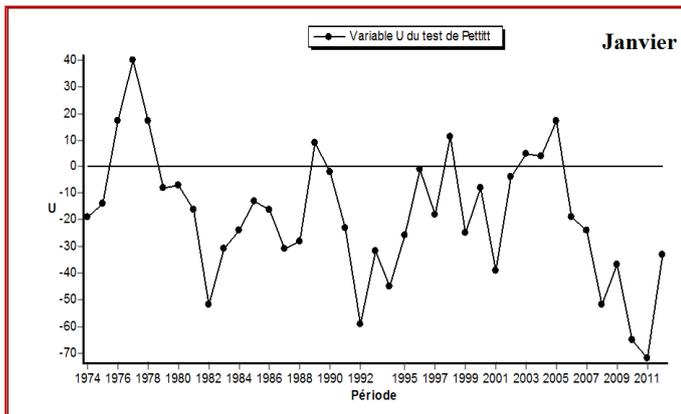
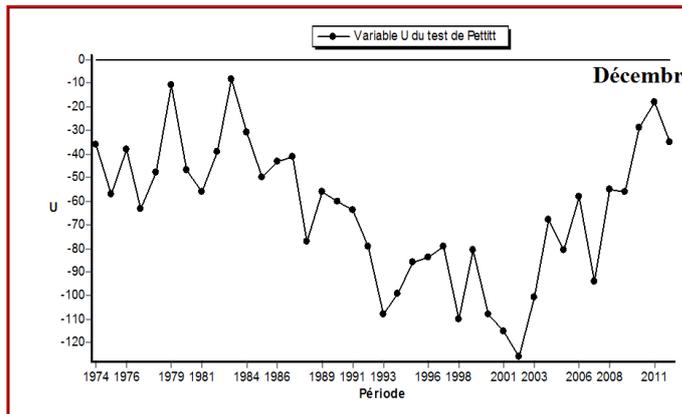
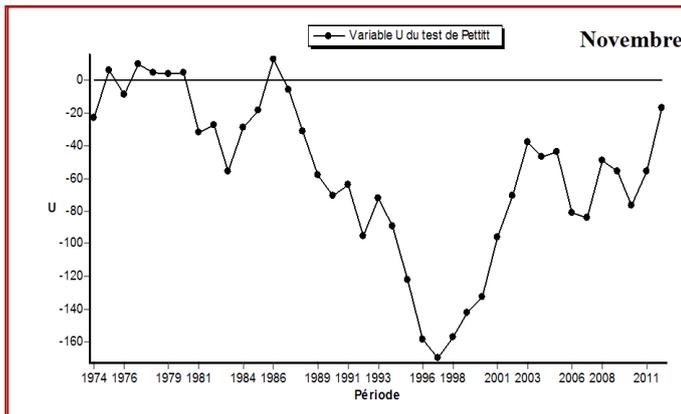
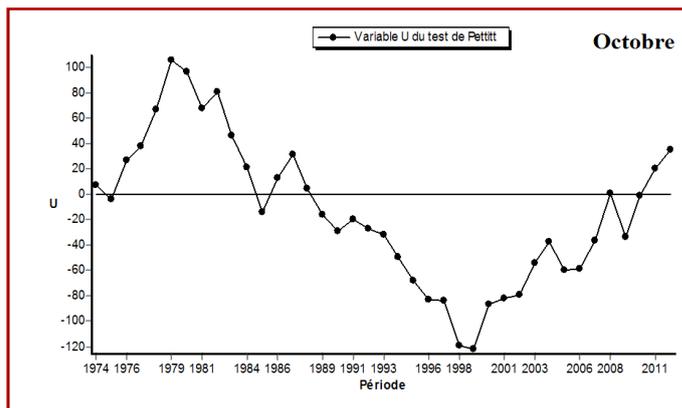
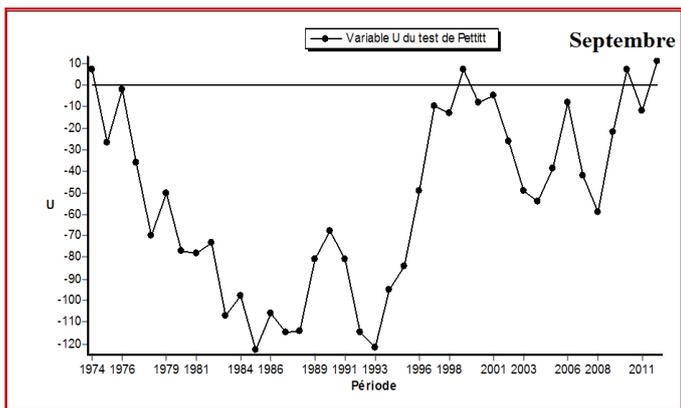


Figure V.10 : Ellipses de contrôle des précipitations saisonnières.

**V.5.1.4- A L'échelle mensuelle**

• **Test de PETTITT**

D'après le (tableau V.10 et la figure V.11, aucune rupture n'est identifiée par l'application du test de Pettitt sur la série chronologique des précipitations mensuelles.



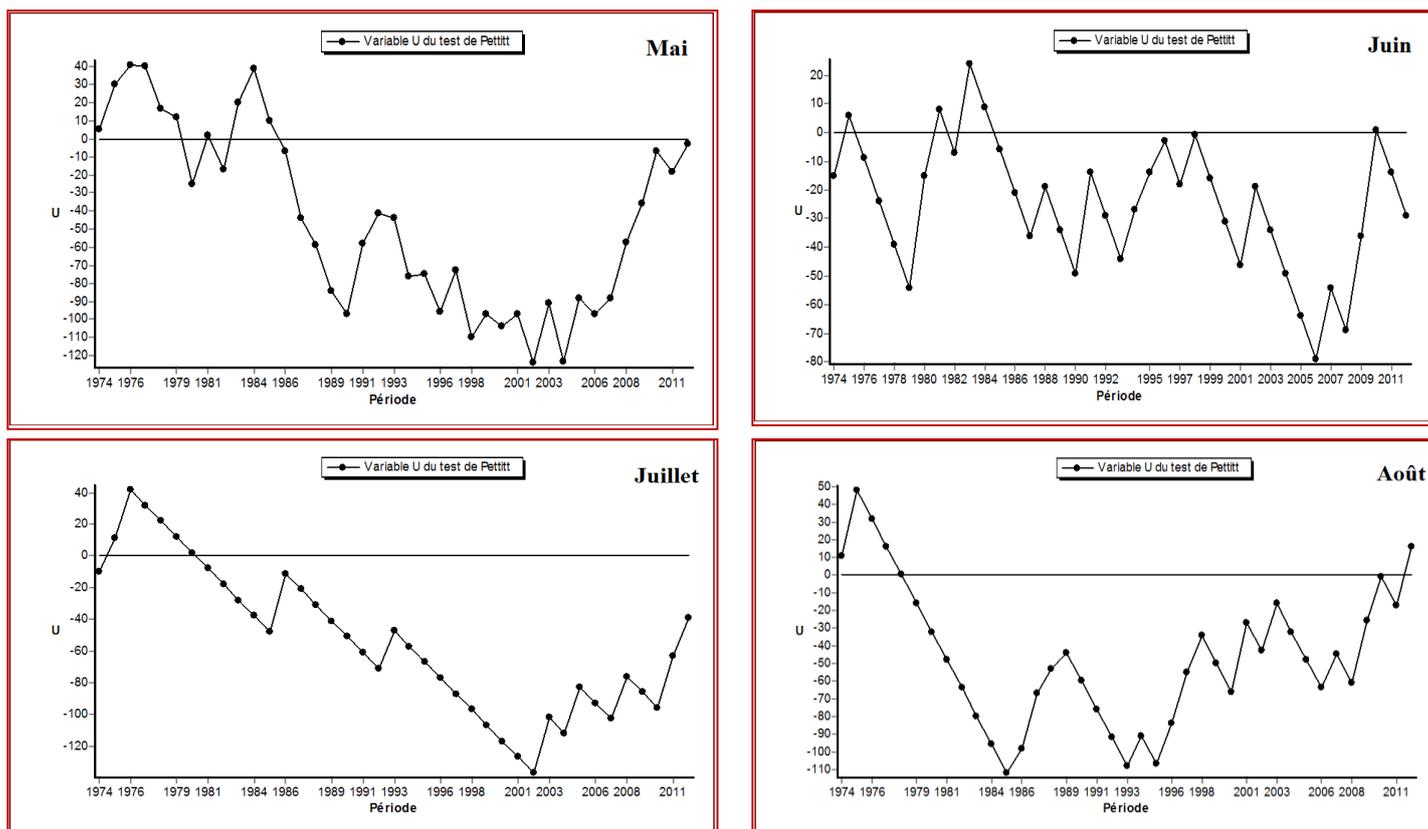


Figure V.11: Evolution de la variable U du test de PETTITT des précipitations mensuelles.

Tableau V.10: Résultats du test de Pettitt des précipitations mensuelles.

Station	Mois	Hypothèse	Probabilité de dépassement	Date de rupture	Seuil de confiance		
					99%	95%	90%
Dj Chouachi	Les 12 mois	Nulle	/	/	Acceptée		

• Test de bayésienne de A.F.S LEE et S.M. HEGHINIAN

Selon le tableau V.11 et l'analyse graphique (fig. V.12), ce test révèle la présence des ruptures dans la série pluviométrique mensuelle, correspondant au maximum de volume observé et varie de mois en mois, sauf les mois de Novembre et Janvier qui présentent la même rupture.

Tableau V.11: Résultats du test de Lee et Heghinian des précipitations mensuelles.

Station	Mois	Date de rupture	Point de rupture
Dj Chouachi	Octobre	1979	0.1224
	Novembre	2011	0.2030
	Décembre	2007	0.1315
	Janvier	2011	0.2847
	Février	2012	0.0560
	Mars	1974	0.2257
	Avril	1975	0.6926
	Mai	2004	0.0615

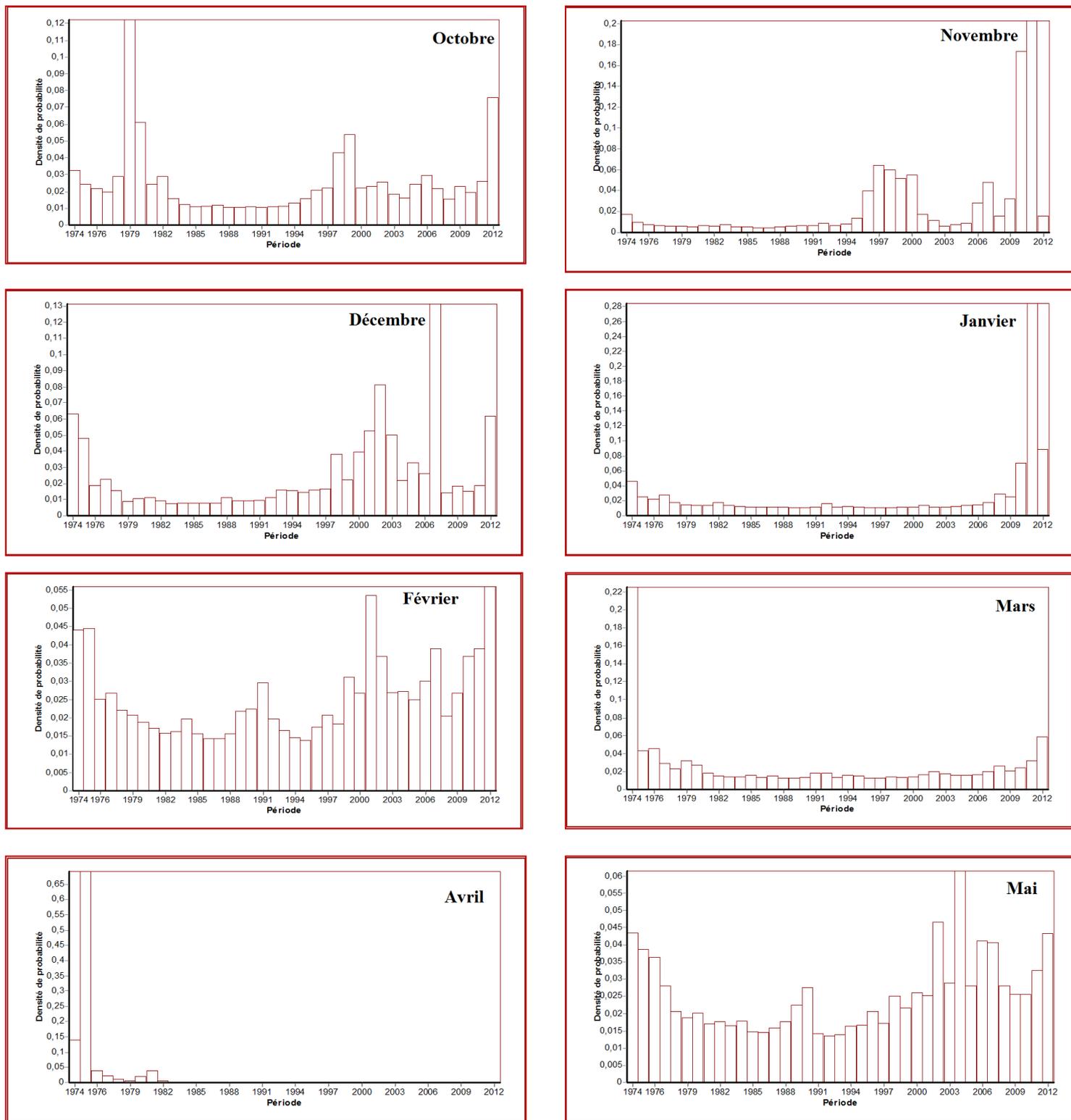


Figure V.12: Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position d'un changement des précipitations mensuelles. (Dj. Chouachi).

• **Test de segmentation de P.HUBERT**

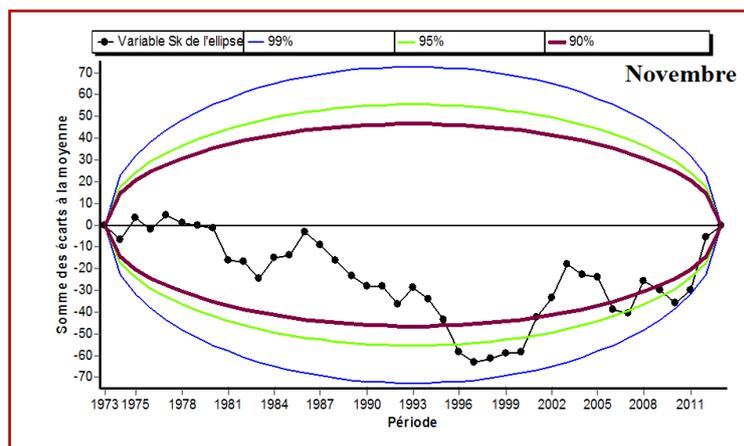
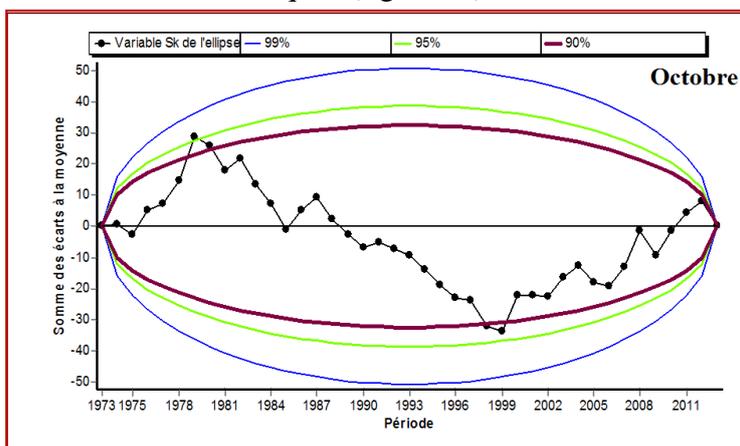
Les résultats du test de segmentation (tableau V.12), montre que le découpage proposé pour la majorité des mois de la série pluviométrique est de (1974/1975-2013/2014).

Tableau V.12: Résultat de Segmentation d'Hubert des précipitations mensuelles à la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).

Mois	Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart type
Septembre	1974	2013	11.498	10.702
Octobre	1974	2013	23.183	21.893
Novembre	1974	2011	44.413	34.675
	2012	2013	124.800	79.620
Décembre	1974	2013	32.020	28.710
Janvier	1974	2011	34.668	27.764
	2012	2013	90.550	8.273
Février	1974	2013	48.808	32.223
Mars	1974	2013	38.478	31.573
Avril	1974	1975	126.100	51.053
Mai	1976	2013	22.903	21.851
Juin	1974	2011	34.668	27.764
Juillet	2012	2013	90.550	8.273
Août	1974	2013	4.772	10.001
Niveau de signification du test de Scheffé = 1%				

• **Test de BUIHAND et ellipse de BOIS**

Selon le test de Buishand appliqué sur la série pluviométrique mensuelle, aucune rupture n'a été remarquée (fig. V.13)



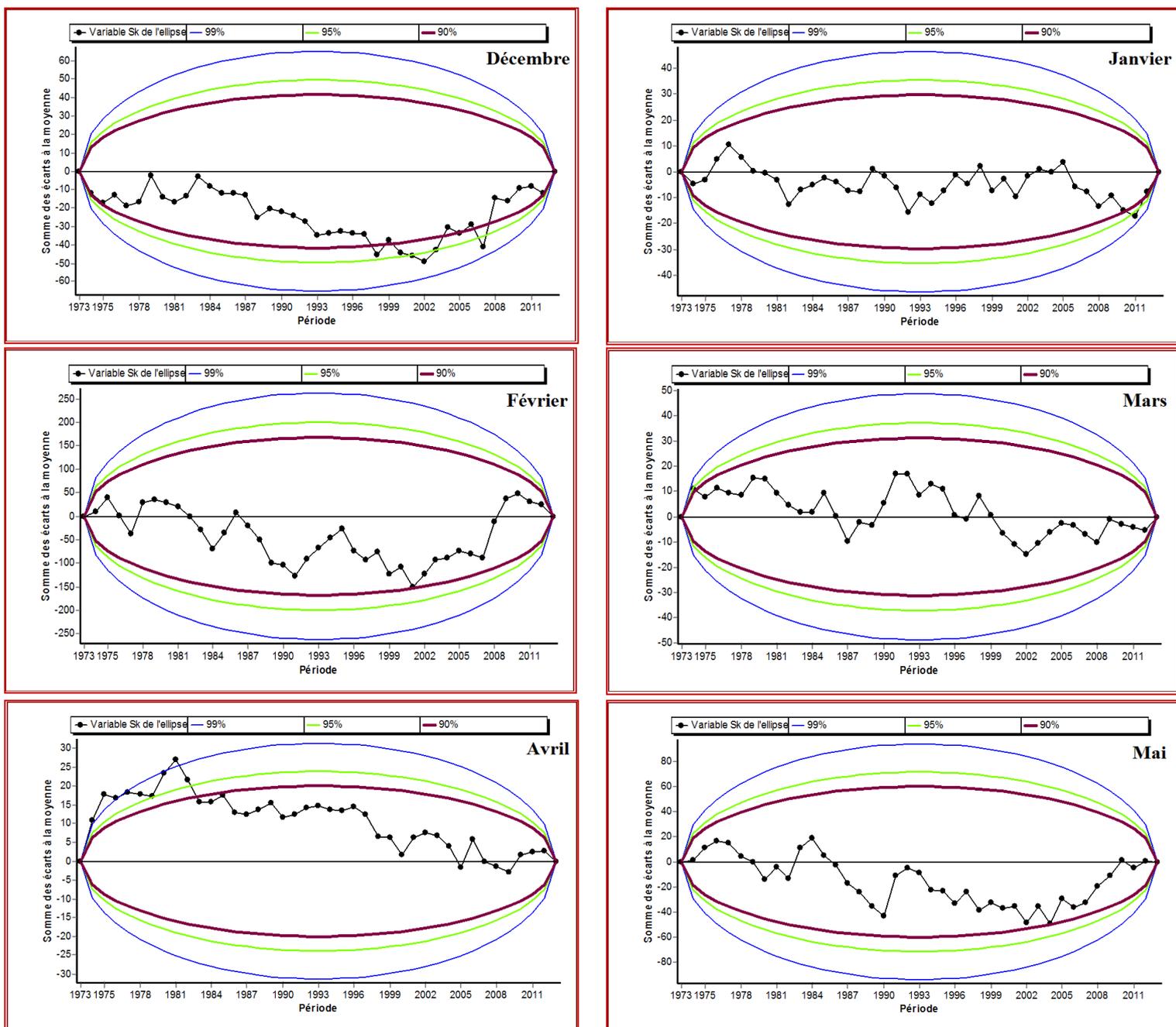


Figure V.13 : Ellipses de contrôle des précipitations mensuelles.

### V.5.2-Analyse des lames d'eau écoulées

#### V.5.2.1- A L'échelle annuelle

- **Test de PETTITT**

Les résultats du test de Pettit sont consignés dans le tableau IV.13 et Tableau en Annexe 4, et l'évolution de la variable U du test (fig. V.14), montrent que la station ne présente pratiquement aucune rupture sur notre série de données annuelles.

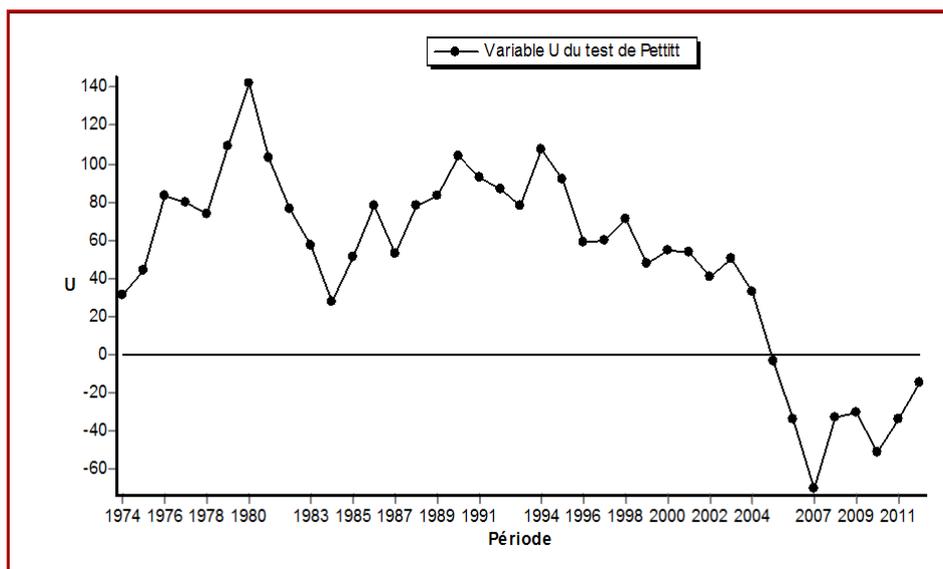


Figure V.14: Evolution de la variable U du test de PETTITT des lames d'eau annuelles.

Tableau V.13: Résultats du test de Pettitt des lames d'eau annuelles

Station	Période Annuelle	Hypothèse	Probabilité de dépassement	Date de rupture	Seuil de confiance		
Dj Chouachi	(1974/1975-2013/2014)	Nulle	/	/	99%	95%	90%
					Acceptée		

• **Test de bayésienne de A.F.S LEE et S.M. HEGHINIAN**

Les résultats de ce test apparaissent sur le tableau V.14 et tableau en Annexe 5, qui montre la présence d'une rupture en 1980 sur la série chronologique annuelle.

Tableau V.14: Résultats du test de Lee et Heghinian des lames d'eau écoulées annuelles.

Station	Période Annuelle	Date de rupture	Point de rupture
Dj Chouachi	(1974/1975 -2013/2014)	1980	0.3146

L'analyse de la figure V.15, montre que le mode de la fonction densité de probabilité à posteriori de la position du point de rupture des précipitations en 1980, correspondant au maximum observé sur la série.

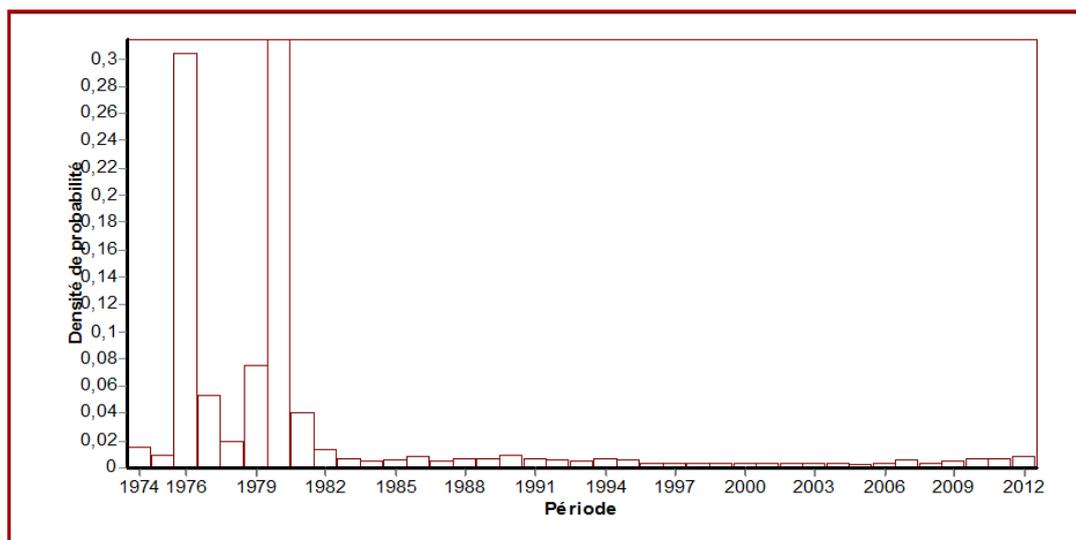


Figure V.15: Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position d'un changement des lames d'eau annuelles (Dj. Chouachi).

- **Test de segmentation de P.HUBERT**

Selon les résultats du test (tableau V.15), la procédure de segmentation propose trois découpages sur la série des lames d'eau annuelles: 1974/1975, 1976/1976 et 1977/2013

Tableau V.15: Résultat de Segmentation d'Hubert des lames d'eau annuelles de la station de Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).

Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart type
1974	1975	43.550	22.557
1976	1976	166.100	0.000
1977	2013	21.189	23.077
<b>Niveau de signification du test de Scheffé = 1%</b>			

- **Test de BUIHAND et ellipse de BOIS**

Sur la série chronologique des lames d'eau écoulées annuelles, l'hypothèse est acceptée au seuil de confiance 90% ,95% et 99 % . Donc aucune rupture n'a été détectée par le test de Buishand (fig. V.16).

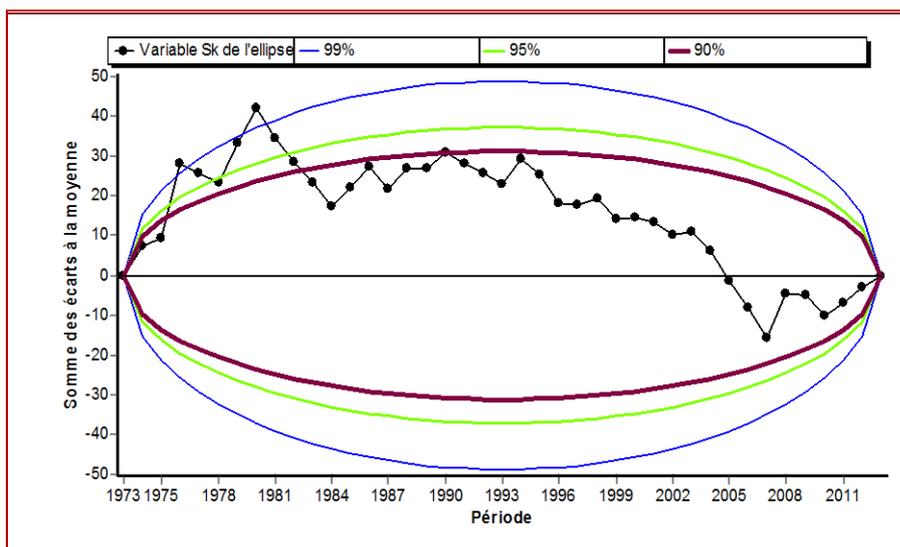


Figure V.16 : Ellipses de contrôle des lames d'eau annuelles.

### V.5.2.2-A l'échelle périodique

- Test de PETTITT

D'après la figure V.17 et le tableau V.16, ce test ne met pas en évidence aucune rupture sur la chronique des lames d'eau durant la période sèche et humide.

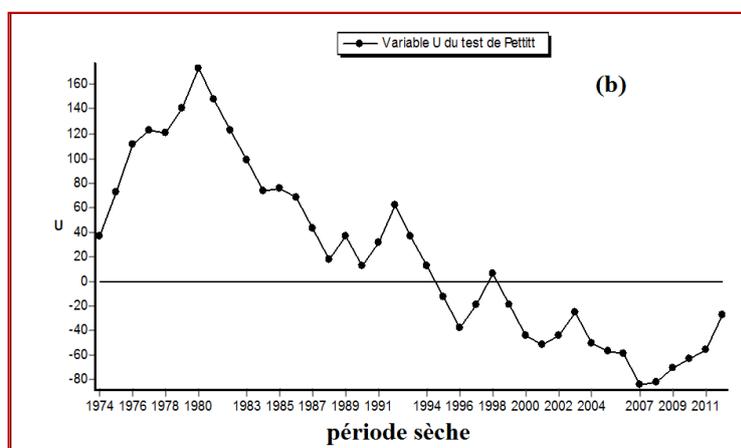
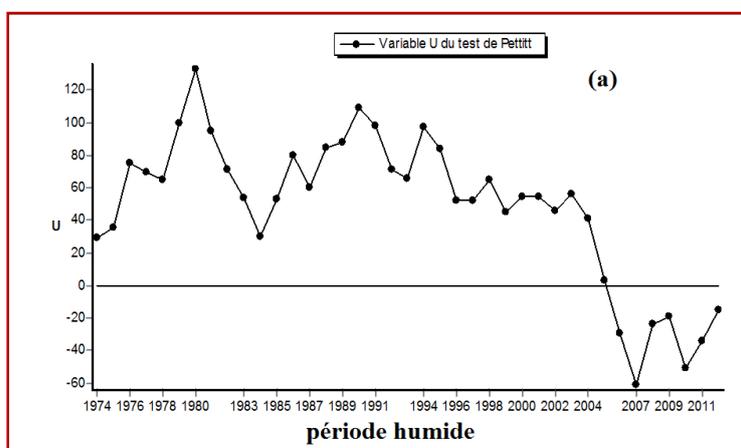


Figure V.17: Evolution de la variable U du test de PETTITT des lames d'eau écoulées Au cours des périodes humide et sèche.

Tableau V.16: Résultats du test de Pettitt des lames d'eau périodiques.

Station	Période	Hypothèse	Seuil de confiance		
Dj Chouachi	Humide	Nulle	99 %	95 %	90 %
	Sèche		Acceptée		

• **Test de segmentation de P.HUBERT**

Les résultats de ce test sont résumés dans le tableau V.17, montrant que les deux périodes humide et sèche possèdent trois découpages similaires : 1974-1975, 1976-1976 et 1977-2013

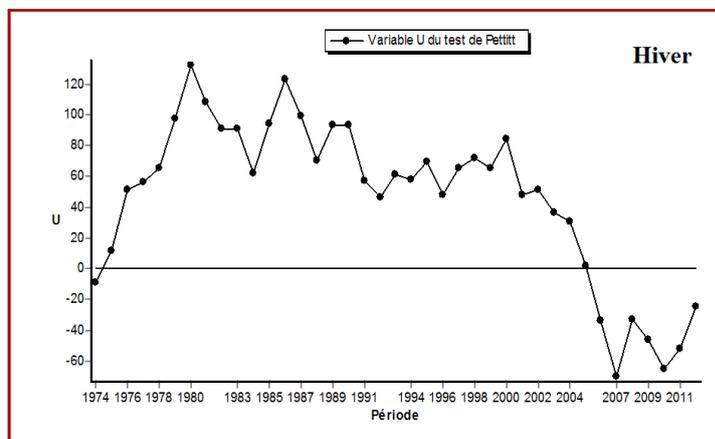
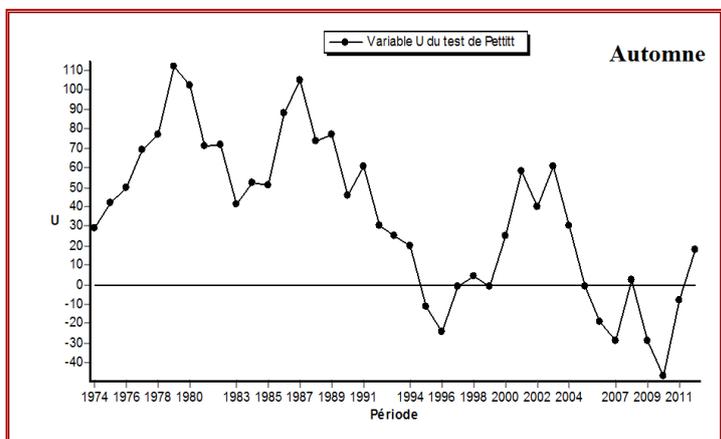
Tableau V.17: Résultat de Segmentation d’Hubert des lames d’eau périodiques de la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).

Période	Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart type
Humide	1974	1975	5.950	3.182
	1976	1976	19.000	0.000
	1977	2013	3.884	3.263
Sèche	1974	1974	9.500	0.000
	1975	1975	3.100	0.000
	1976	1976	11.500	0.000
	1977	2013	1.341	0.451
<b>Niveau de signification du test de Scheffé = 1%</b>				

**V.5.2.3-A l’échelle saisonnière**

• **Test de PETTITT**

Sur la chronique des lames d’eau saisonnières de la station de Dj Chouachi, le test de Pettitt concorde sur l’hypothèse d’une rupture dans la saison d’été en 1980 avec un seuil de confiance de 90% et une probabilité de dépassement >20% (série homogène) (tab. V.18 et fig. V.18). Aucune rupture n’a été détectée pour les d’autres saisons.



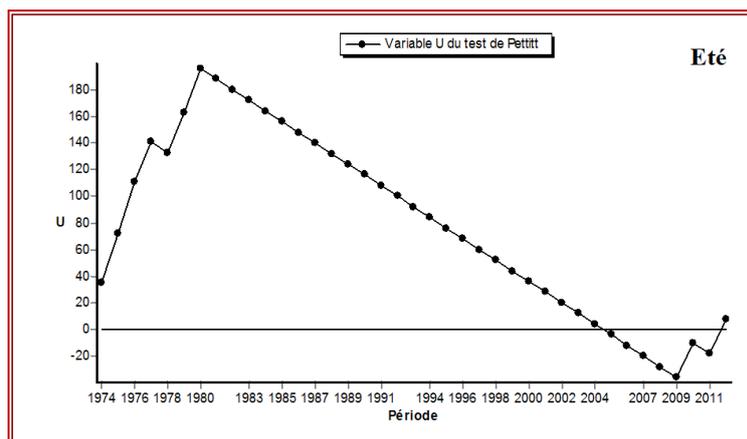
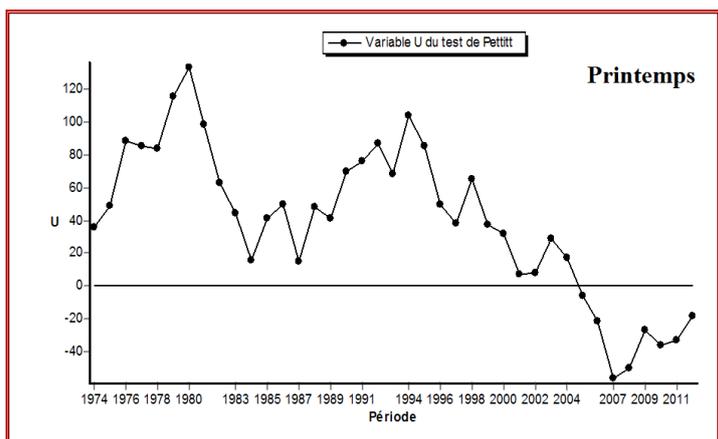


Figure V.18 : Evolution de la variable U du test de PETTITT des lames d'eau saisonnières

Tableau V.18: Résultats du test de Pettitt des lames d'eau saisonnières.

Station	Saisons	Hypothèse	Probabilité de dépassement	Date de rupture	Seuil de confiance	
Dj Chouachi	Automne	Nulle	/	/	99%	Acceptée
	Hiver				95%	
	Printemps				90%	
	Eté				$8,96 \cdot 10^{-2}$	1980

• Test de bayésienne de A.F.S LEE et S.M. HEGHINIAN

Selon le tableau V.19, le test Heghinian marque 1980 comme année de rupture pour la saison d'Hiver, qui correspond au maximum de volume observé sur la série (fig. V.19).

Tableau V.19: Résultats du test de Lee et Heghinian des précipitations à la saison d'Hiver.

Station	Saison	Date de rupture	Point de rupture
Dj chouachi	Hiver	1980	0.1975

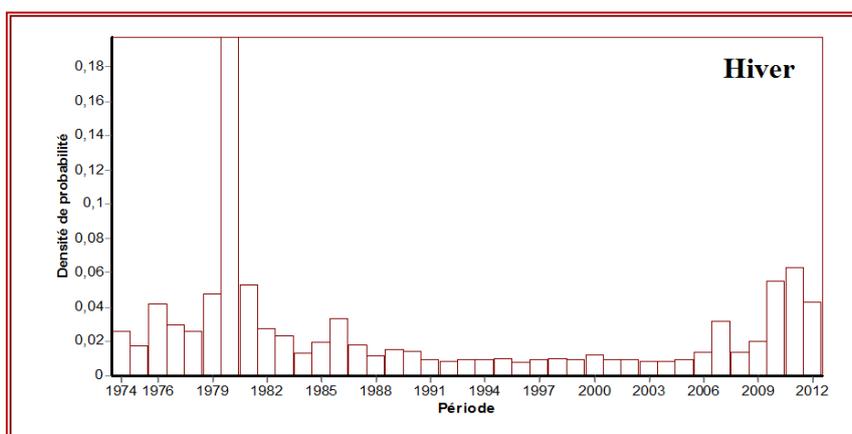


Figure V.19: Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position d'un changement des lames d'eau en Hiver.

- **Test de segmentation de P.HUBERT**

Les résultats de la segmentation d’Hubert sont consignés dans le tableau V.20), cette procédure propose un seul découpage pour l’Automne et l’Hiver : 1974-2013, deux découpages pour le Printemps et cinq segments pour l’Eté.

Tableau V.20: Résultat de Segmentation d’Hubert des précipitations saisonnières De la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).

Saisons	Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart type
<b>Automne</b>	1974	2013	4.123	5.247
<b>Hiver</b>	1974	2013	11.402	18.726
<b>Printemps</b>	1974	1976	24.100	26.778
	1977	2013	10.368	13.314
<b>Eté</b>	1974	1975	3.850	0.212
	1976	1976	18.600	0.000
	1977	1979	1.267	0.231
	1980	1980	2.900	0.000
	1981	2013	1.006	0.024
<b>Niveau de signification du test de Scheffé = 1%</b>				

- **Test de BUIHAND et ellipse de BOIS**

La représentation du test de Buishand et selon l’ellipse de contrôle des lames d’eau (fig. V.20), montre qu’il n’y a aucune rupture détectée au cours de la saison d’Hiver.

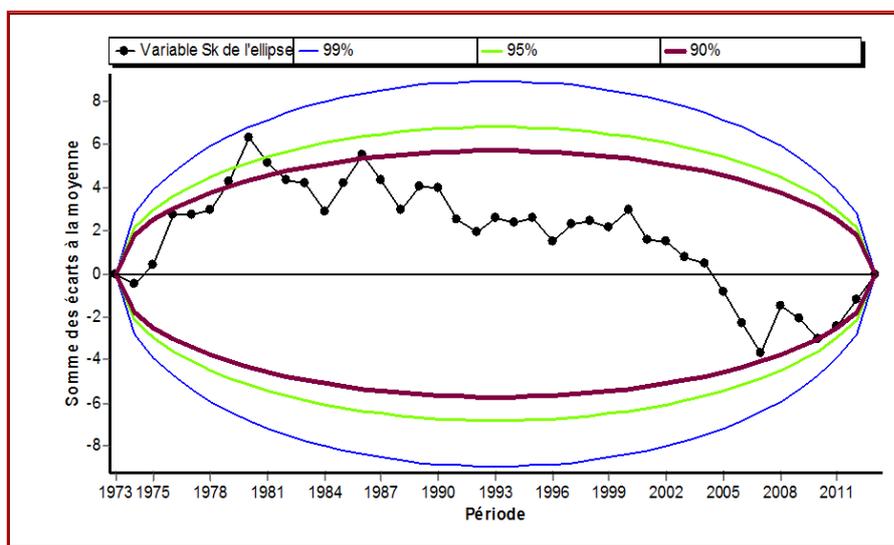
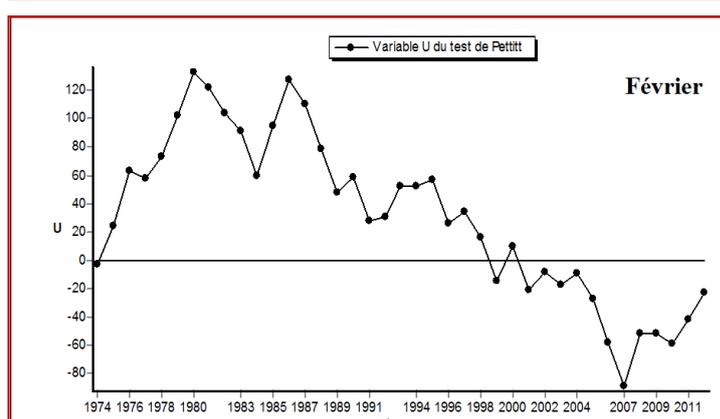
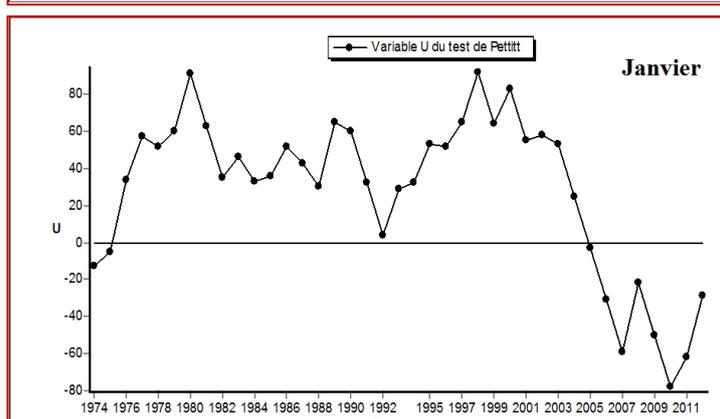
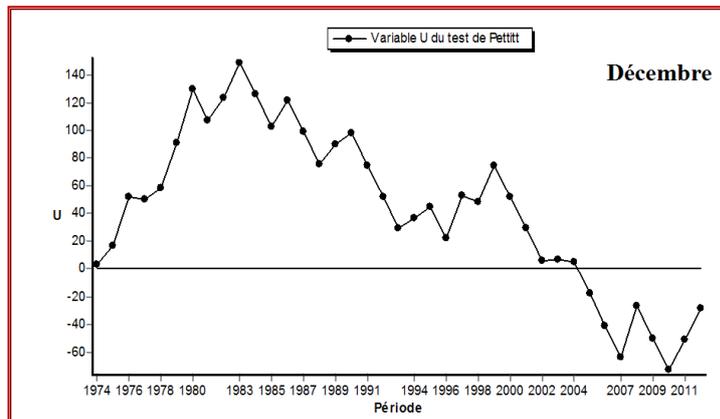
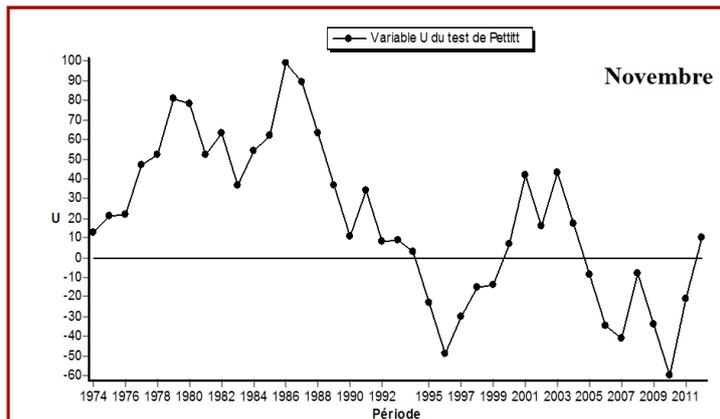
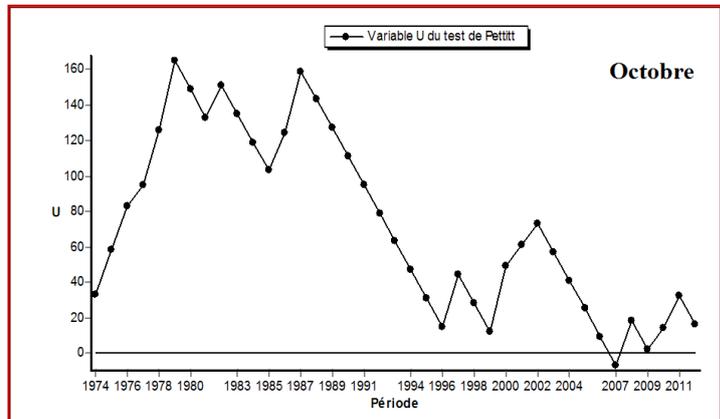
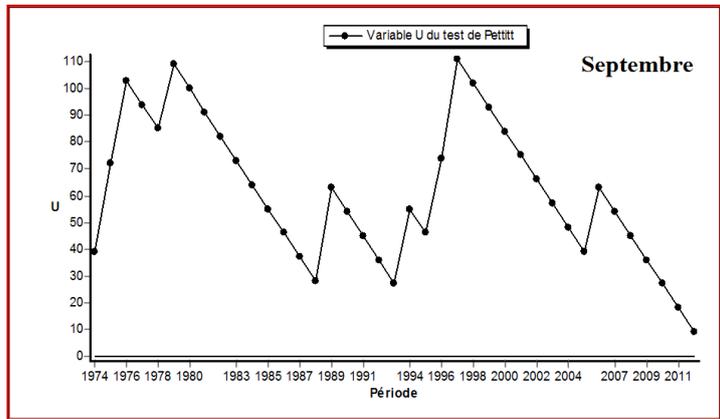


Figure V.20 : Ellipses de contrôle des lames d’eau saison d’Hiver.

IV.5.2.4-A l'échelle mensuelle

- Test de PETTITT

La figure V.21 et le tableau V.21 mettent en évidence que l'année 1980 est un point de rupture au niveau du mois de Juin avec un seuil de 90%, par contre, aucune rupture n'est identifiée pour le reste des mois



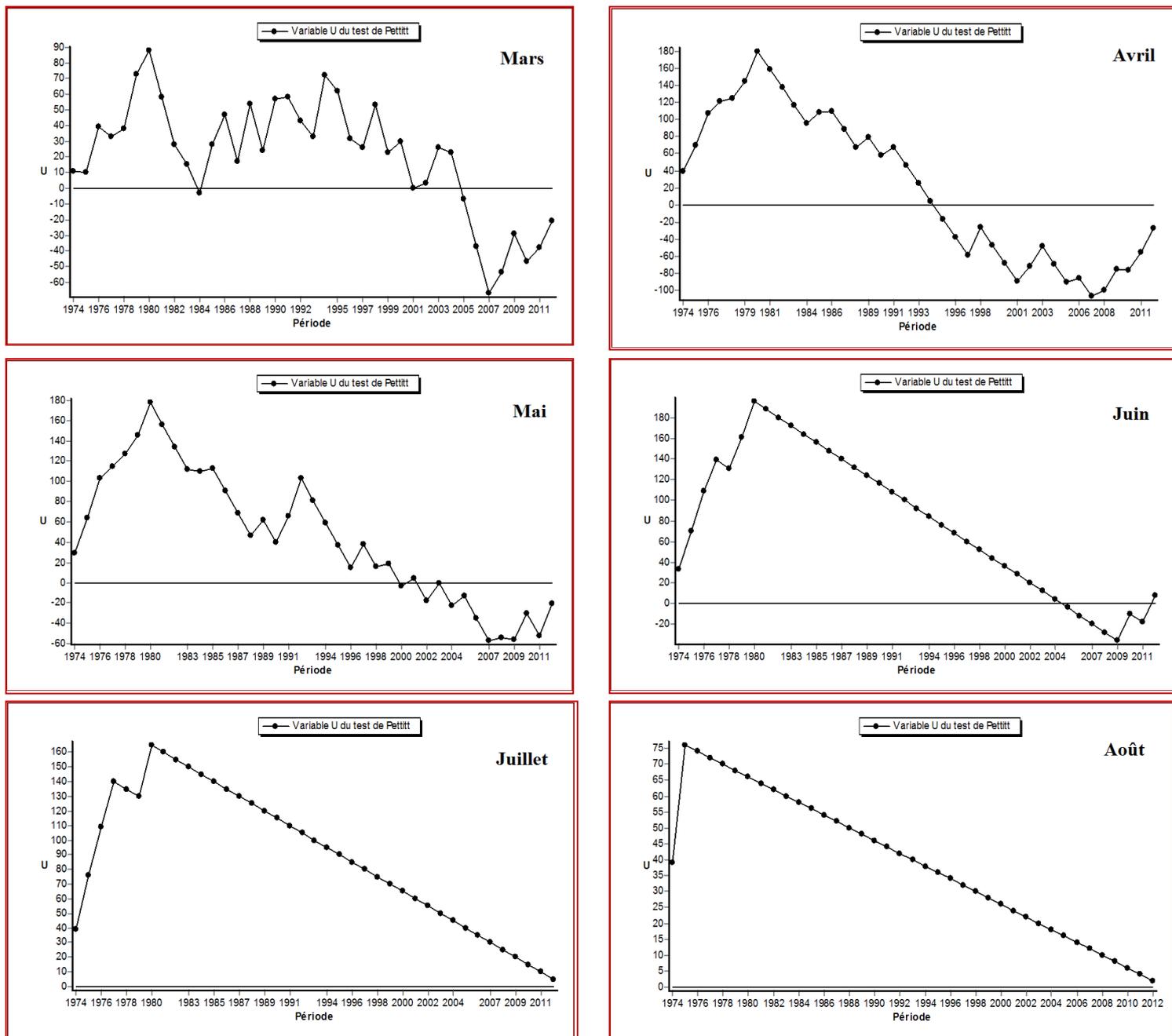


Figure V.21 : Evolution de la variable U du test de PETTITT des lames d'eau mensuelles.

Tableau V.21: Résultats du test de Pettitt des lames d'eau mensuelles.

Station	Mois	Hypothèse	Probabilité de dépassement	Date de rupture	Seuil de confiance
Dj Chouachi	Les 11 mois	Nulle	/	/	99%
					95%
					90%
	Juin		$5,96 \cdot 10^{-2}$	1980	90 % rejetée

- **Test de segmentation de P.HUBERT**

Selon les résultats de ce test (tab. V.22), la procédure propose un seul segment identique aux mois de Novembre, Janvier, Février et Mars (1974/1975-2013/2014).

Tableau V.22: Résultat de Segmentation d'Hubert des lames d'eau mensuelles de la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).

Mois	Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart type
<b>Septembre</b>	1974	1974	4.900	0.000
	1975	2013	1.136	0.455
<b>Octobre</b>	1974	1978	1.700	0.561
	1979	1979	11.200	0.000
	1980	2013	1.253	0.781
<b>Novembre</b>	1974	2013	3.337	4.804
<b>Décembre</b>	1974	1979	6.050	7.454
	1980	1980	31.400	0.000
	1981	2013	2.385	3.893
<b>Janvier</b>	1974	2013	4.525	8.172
<b>Février</b>	1974	2013	5.228	6.578
<b>Mars</b>	1974	2013	8.560	12.775
<b>Avril</b>	1974	1974	43.300	0.000
	1975	1975	5.300	0.000
	1976	1976	24.200	0.000
	1977	2013	2.103	1.536
<b>Mai</b>	1974	1975	4.600	1.838
	1976	1976	23.100	0.000
	1977	2013	1.746	1.583
<b>Juin</b>	1974	1974	2.100	0.000
	1975	1975	2.800	0.000
	1976	1976	18.300	0.000
	1977	1979	1.267	0.231
	1980	1980	2.500	0.000
	1981	2013	1.006	0.024
<b>juillet</b>	1974	1974	1.900	0.000
	1975	1975	1.800	0.000
	1976	1976	1.300	0.000
	1977	1977	1.100	0.000
	1978	1979	1.000	0.000
	1980	1980	1.500	0.000
	1981	2013	1.000	0.000
<b>Août</b>	1974	1975	1.550	0.212
	1976	2013	1.000	0.000
<b>Niveau de signification du test de Scheffé = 1%</b>				

### V.5.3-Analyse des températures

#### V.5.3.1-A l'échelle annuelle

- **Test de PETTITT**

Le test de Pettitt met en évidence au seuil de confiance de 90%,95% et 99 %, l'année 1986 comme point de rupture dans la série annuelle des températures. (Fig. V.22, tab. V.23 et

tableau en Annexe 4) et comme  $5\% < \text{probabilité de dépassement} > 20\%$ , donc c'est une rupture peu significative.

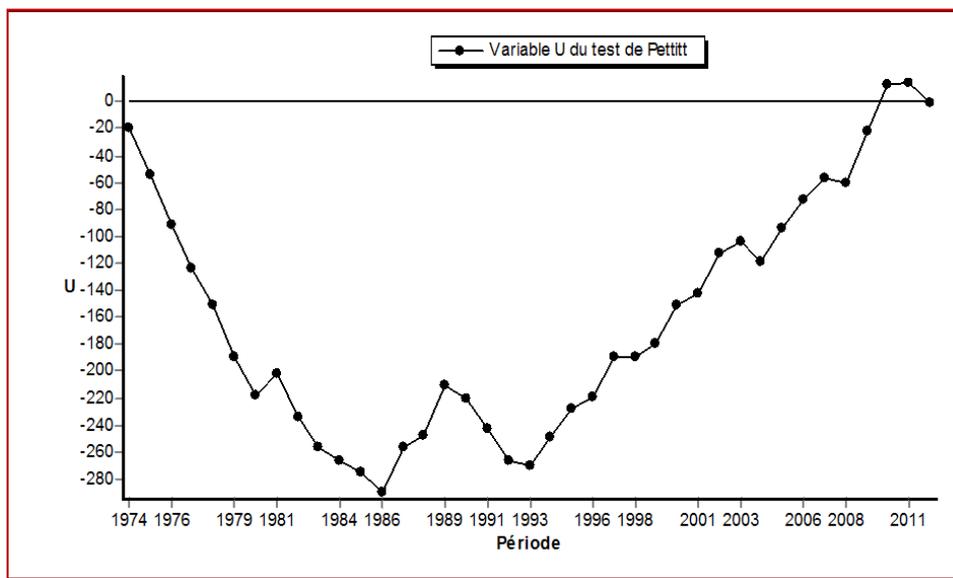


Figure V.22 : Evolution de la variable U du test de PETTITT des températures annuelles.

Tableau V.23: Résultats du test de Pettitt des températures annuelles

Station	Période Annuelle	Hypothèse	Probabilité de dépassement	Date de rupture	Seuil de confiance		
					99%	95%	90%
Dj Chouachi	(1974/1975-2013/2014)	Nulle	$9,13 \cdot 10^{-4}$	1986	99%	95%	90%
					Rejetée		

• **Test de segmentation de P.HUBERT**

Les résultats de la segmentation d'Hubert appliquée aux séries des températures annuelles de la station du Dj. Chouachi sur la période 1974/1975 à 2013/2014 (tab. V.24), propose un découpage de 1974-1980 et 1981-2013

Tableau V.24: Résultats de Segmentation d'Hubert des températures annuelles de la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).

Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart type
1974	1980	16.757	0.702
1981	2013	18.170	0.451
<b>Niveau de signification du test de Scheffé = 1%</b>			

**V.5.3.2-A l'échelle périodique**

• **Test de PETTITT**

D'après le tableau V.25, deux ruptures sont mises en évidence à l'issue du test de Pettitt :

Pendant la période humide une rupture observée en 1993 (fig. V. 23.a) avec un seuil de 90%, 95% et une probabilité de dépassement >20% (série homogène), et pendant la période sèche une rupture peu significative est enregistrée (5 % < probabilité de dépassement > 20 %) avec un seuil de confiance de 90 %,95% et 99 % (fig. V.23.b).

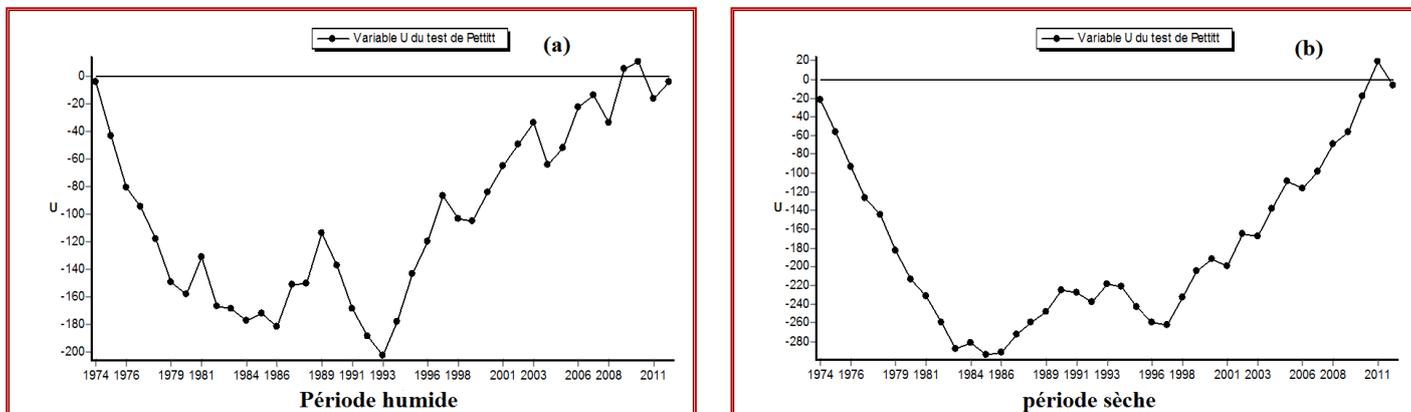


Figure V.23 : Evolution de la variable U du test de PETTITT des températures au cours des Périodes humide et sèche.

Tableau V.25: Résultats du test de Pettitt des températures périodiques.

Station	Période Annuelle	Hypothèse	Probabilité de dépassement	Date de rupture	Seuil de confiance		
Dj Chouachi	Humide	Nulle	$4,61.10^{-2}$	1993	95%	90%	
	Sèche		$7,37.10^{-4}$	1985	99%	95%	90%

• **Test de méthode bayésienne de A.F.S LEE et S.M. HEGHINIAN**

Selon le tableau V.26 et l'analyse de la figure V.24, le mode de la fonction densité de probabilité à posteriori donne la position du point de rupture des températures en 1979/1980, correspondant au maximum des températures observé sur la série.

Tableau V.26: Résultats du test de Lee et Heghinian des températures périodiques.

Station	Période	Date de rupture	Point de rupture
Dj Chouachi	Humide	1979	0.1547

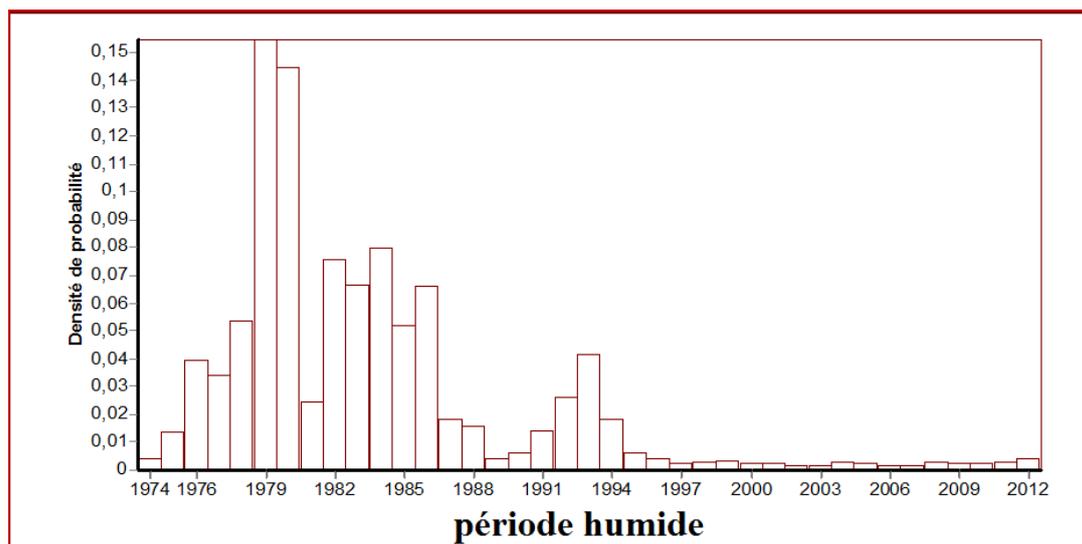


Figure V.24: Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position d'un changement des températures période humide (Dj. Chouachi).

- **Test de segmentation de P.HUBERT**

D'après le tableau V.27.le découpage proposé est différent d'une période à l'autre.  
 Période sèche : 1974-1983 et 1984-2013.  
 Période humide : 1974-1979 et 1980-2013.

Tableau V.27: Résultat de segmentation d'Hubert des températures périodiques de la station De Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).

Période	Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart type
<b>Humide</b>	1974	1979	12.917	0.581
	1980	2013	14.026	0.812
<b>Sèche</b>	1974	1983	20.780	0.899
	1984	2013	22.397	0.488
<b>Niveau de signification du test de Scheffé = 1%</b>				

- **Test de BUIHAND et ellipse de BOIS**

D'après le test de Buishand (Fig. V.25), pour la période humide, l'année 1986 est mise en évidence avec un seuil de confiance de 95% et 90%.

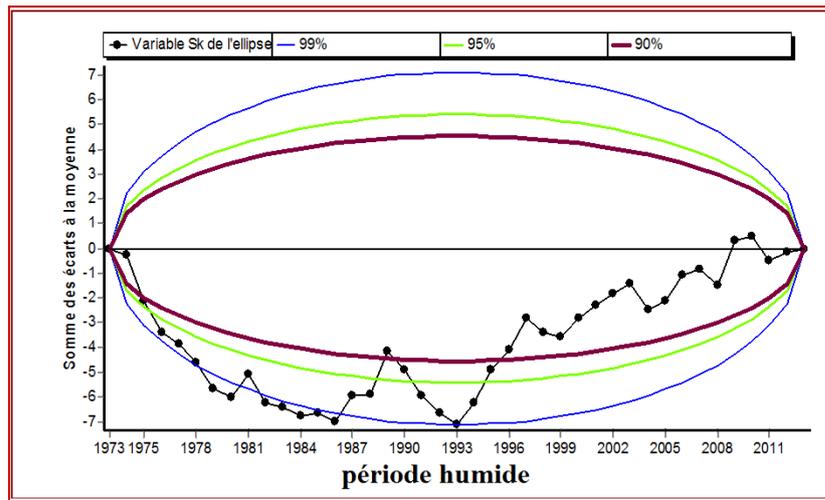


Figure IV.25 : Ellipses de contrôle des températures au cours de la période humide.

V.5.3.3-A l'échelle saisonnière

- Test de PETTITT

Les résultats du test de Pettitt des températures saisonnières de la station de Dj Chouachi (tab. V.28 et fig. V.26), identifient des ruptures dans les saisons d'Automne, Printemps et Eté respectivement en 1982, 1985 et 1987, alors que pour la saison d'Hiver aucune rupture n'a été détectée.

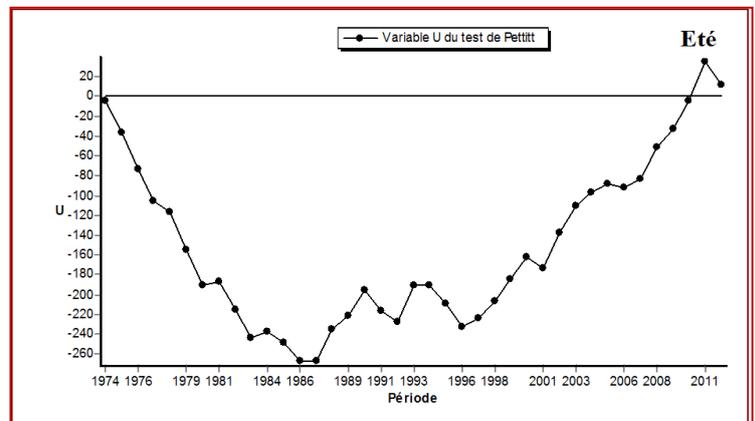
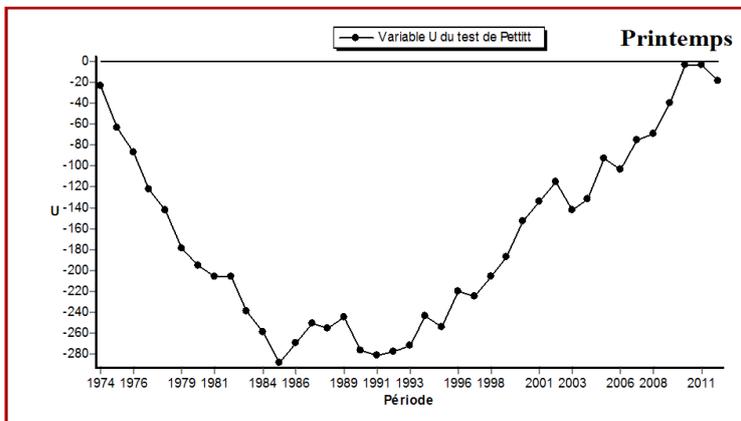
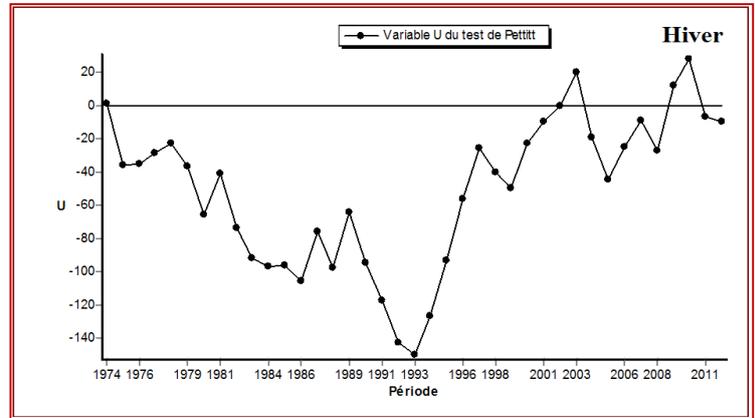
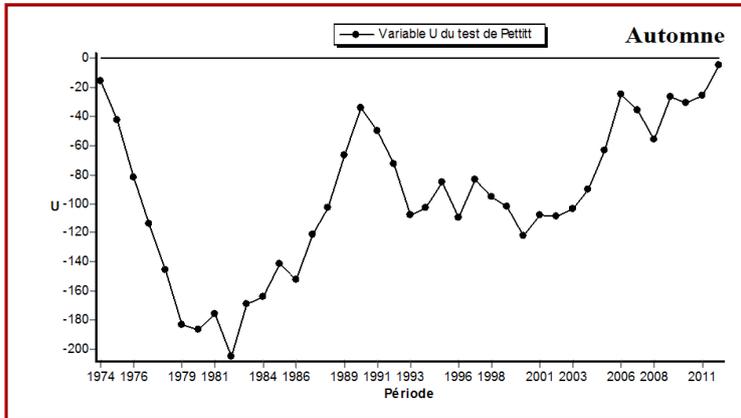


Figure V.26 : Evolution de la variable U du test de PETTITT des températures saisonnières

Tableau V.28: Résultats du test de Pettitt des températures saisonnières.

Station	Saisons	Hypothèse	Probabilité de dépassement	Date de rupture	Seuil de confiance (Rejetée)
Dj Chouachi	Automne	Nulle	$4,28.10^{-2}$	1982	95%, 90 %
	Hiver		—	—	
	Printemps		$1,01.10^{-3}$	1985	99 % ,95 % ,90 %
	Été		$2,95.10^{-3}$	1987	

• Test de la méthode bayésienne de A.F.S LEE et S.M. HEGHINIAN

Les résultats du test de Lee et Heghinian (tab. V.29) et l'analyse de la figure V.27) montrent la présence des ruptures dans la série des températures saisonnières, de 1975 à 1985 qui correspondent au maximum des températures observées sur la série.

Tableau V.29: Résultats du test de Lee et Heghinian des températures saisonnières.

Station	Saisons	Date de rupture	Point de rupture
Dj Chouachi	Automne	1979	0.7141
	Hiver	1975	0.0613
	Printemps	1985	0.5031
	Été	1983	0.3941

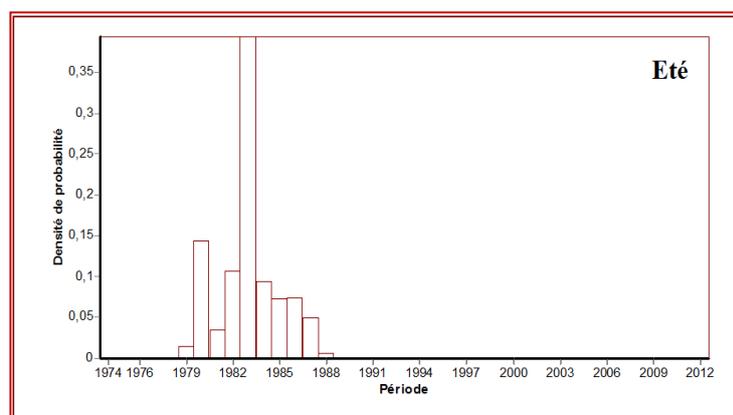
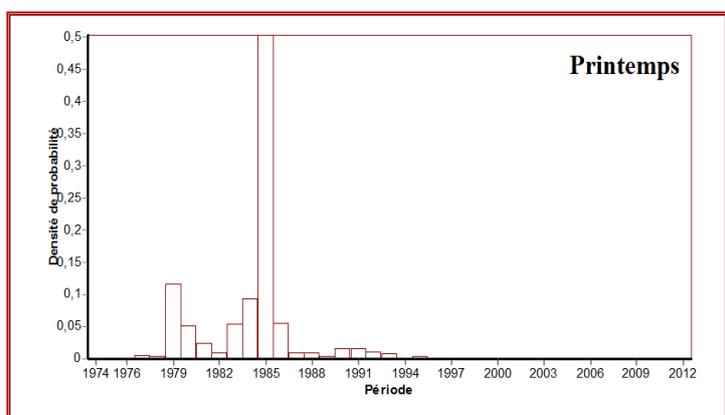
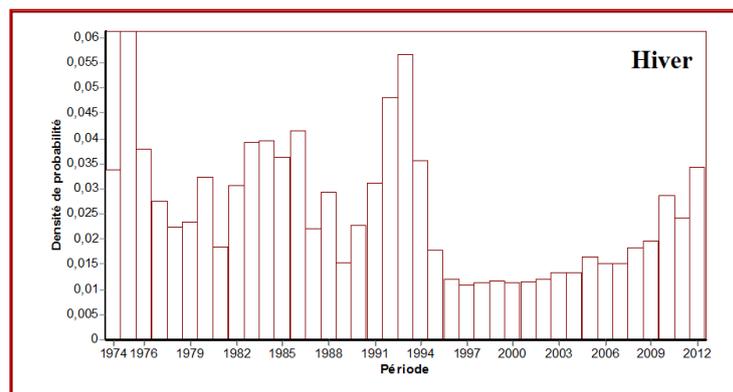
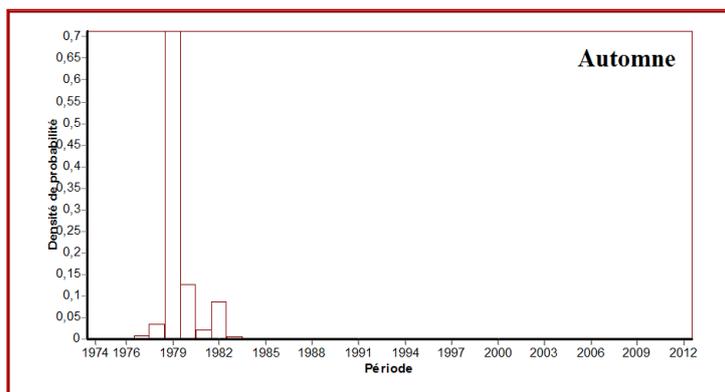


Figure V.27: Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la Position d'un changement des températures saisonnières. (Dj. Chouachi).

• Test de segmentation de P.HUBERT

La procédure de segmentation (tab. V.30) propose des segments commençant par l'année 1974, deux pour les saisons Automne, Printemps et Eté et un seul pour l'Hiver.

Tableau V.30: Résultat de Segmentation d'Hubert des températures saisonnières De la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).

Saisons	Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart type
<b>Automne</b>	1974	1979	17.900	1.056
	1980	2013	19.709	0.733
<b>Hiver</b>	1974	2013	11.608	1.071
<b>Printemps</b>	1974	1985	14.900	0.873
	1986	2013	16.254	0.626
<b>Eté</b>	1974	1983	23.450	1.218
	1984	2013	25.273	0.801
<b>Niveau de signification du test de Scheffé = 1%</b>				

• Test de BUISHAND et ellipse de BOIS

La représentation du test de Buishand et selon l'ellipse de contrôle des températures saisonnières (fig. V.28), montre qu'il n'y a aucune rupture détectée au cours de la saison d'Hiver, néanmoins pour les autres saisons, des années de rupture se distinguent en Automne (1982), Printemps (1985) et en Eté (1987) avec un seuil de confiance de 99% ,95 % et 90% .

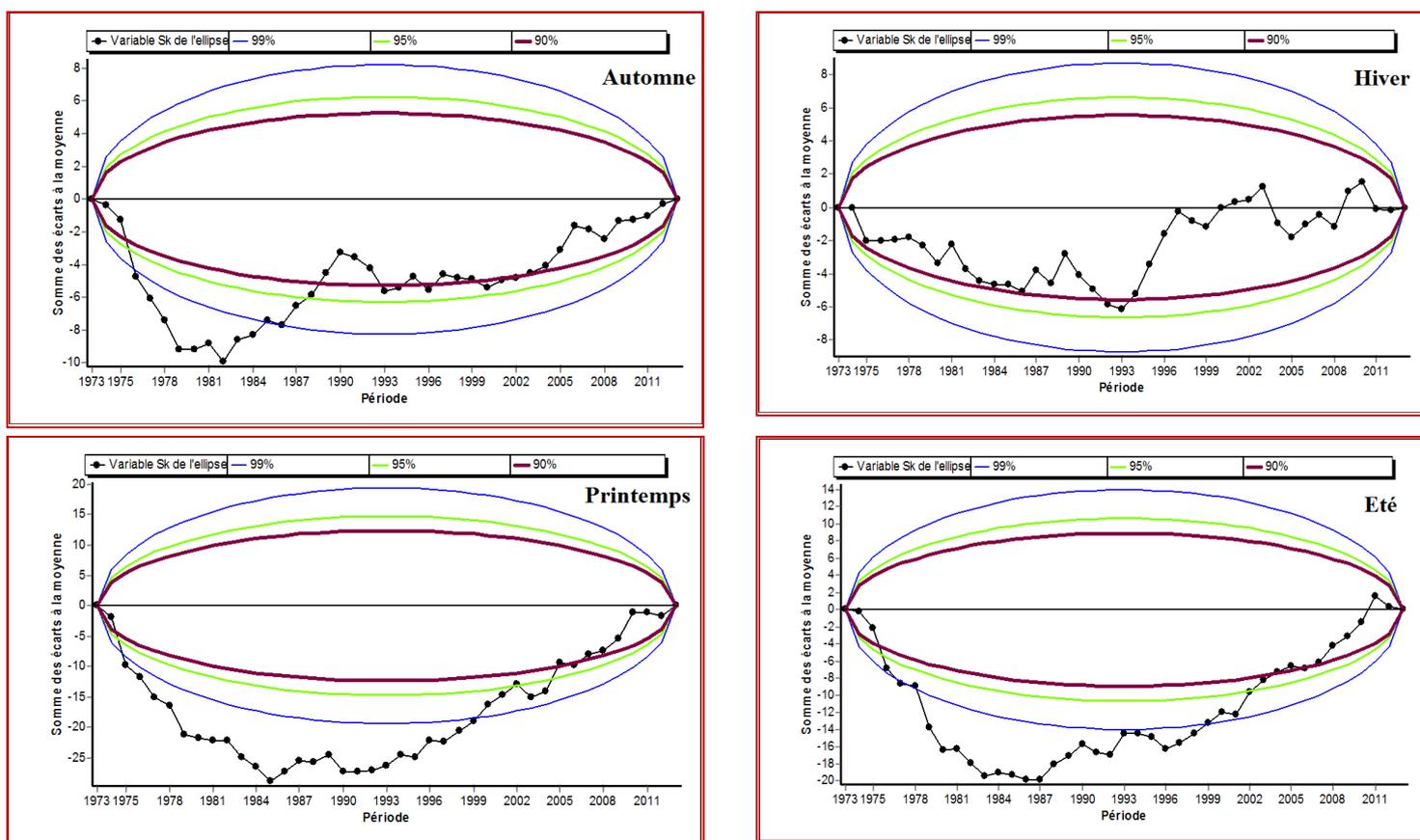
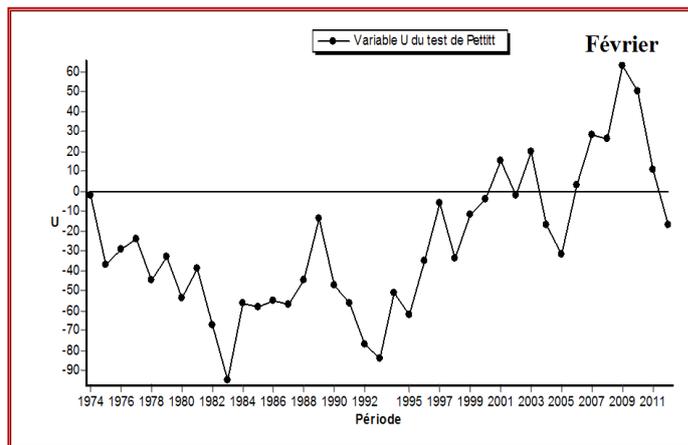
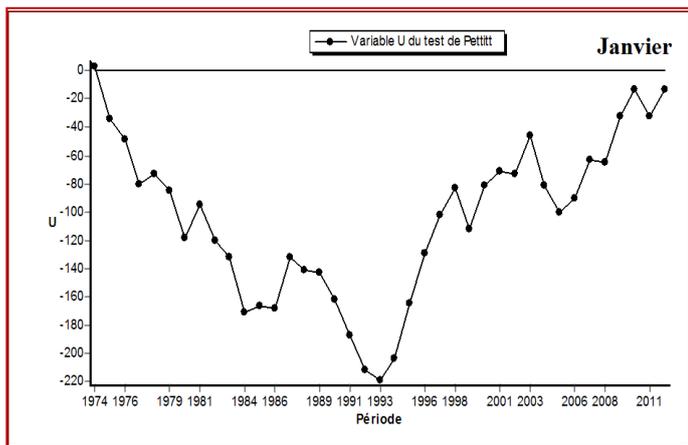
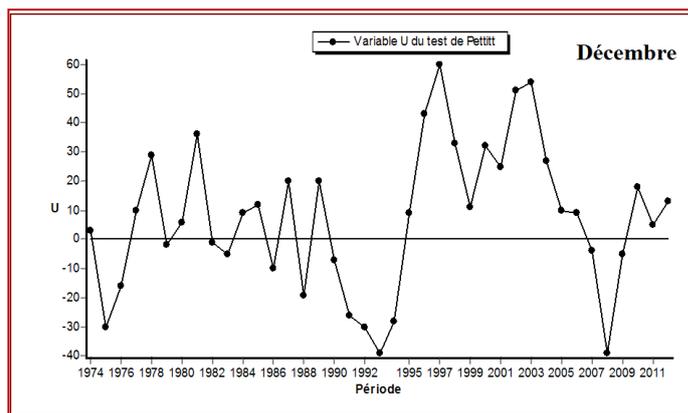
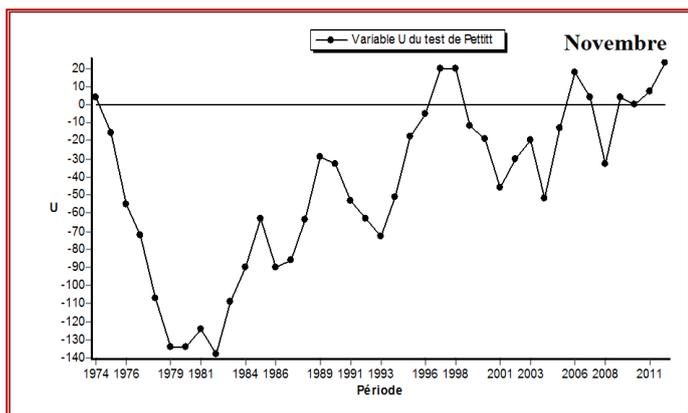
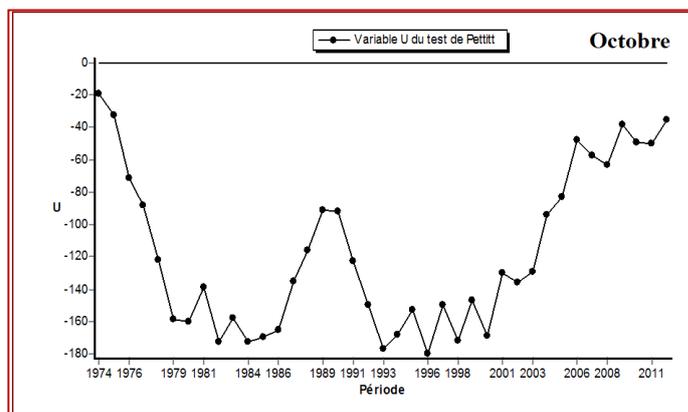
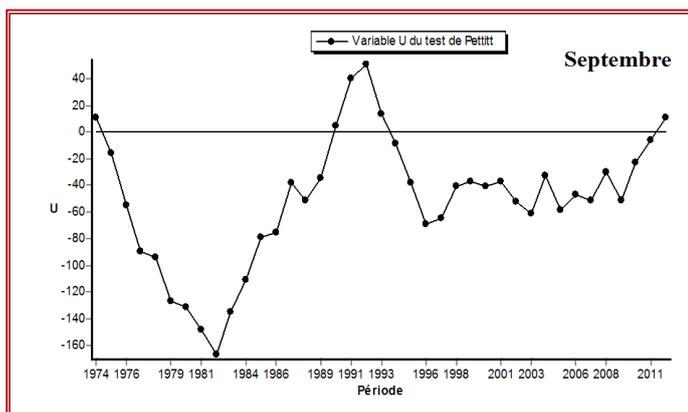


Figure V.28 : Ellipses de contrôle des températures saisonnières.

V.5.3.4-A l'échelle mensuelle

- Test de PETTITT

Les résultats du test de Pettitt des températures mensuelles de la station de Dj Chouachi (tab. V.31 et fig. V.29), montrent la présence des ruptures dans les mois de Janvier, Février, Mars, Avril, Mai, Juin, Juillet et Août de 1984 à 1994. Le reste des mois n'ont enregistré aucune rupture.



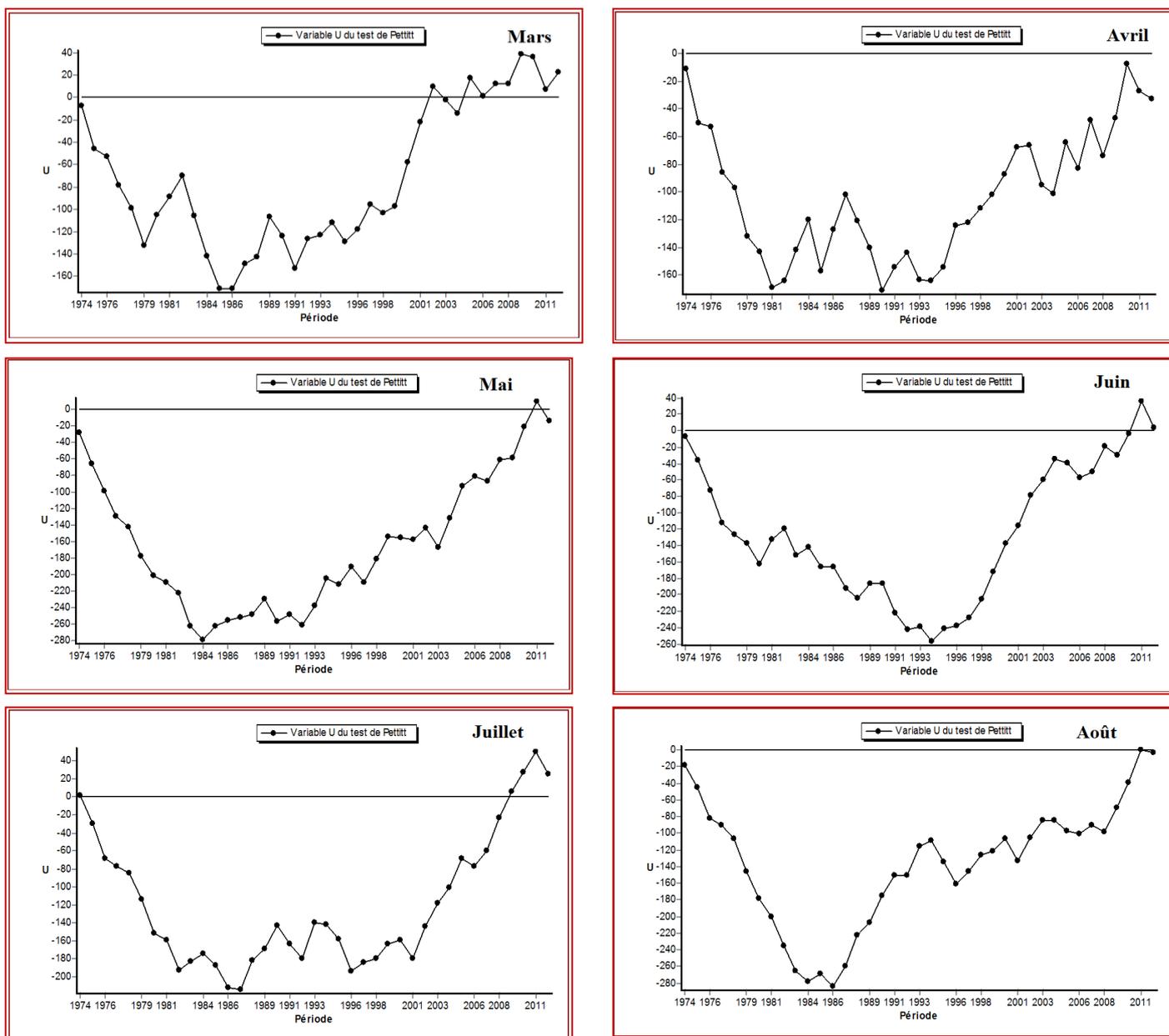


Figure V.29 : Evolution de la variable U du test de PETTITT des températures mensuelles.

Tableau V.31: Résultats du test de Pettitt des températures mensuelles.

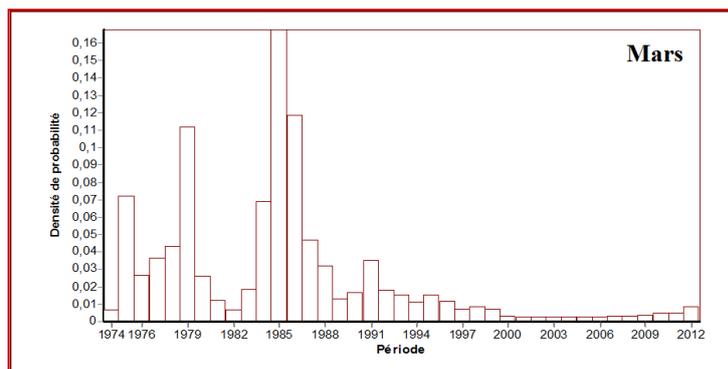
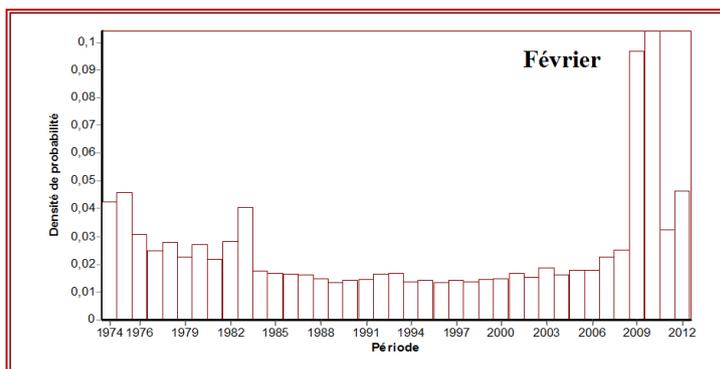
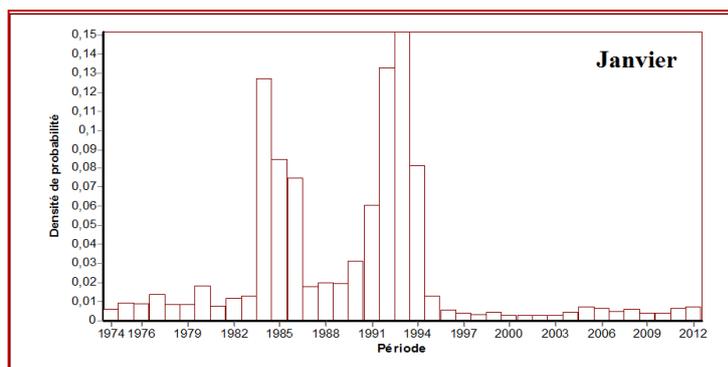
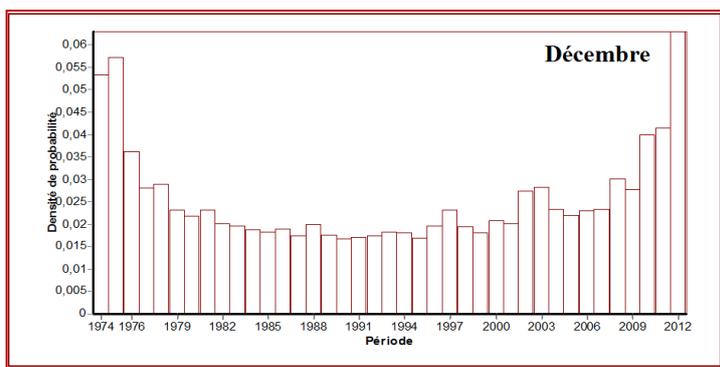
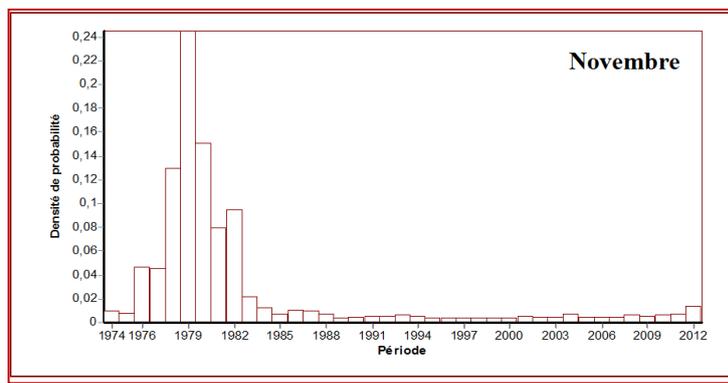
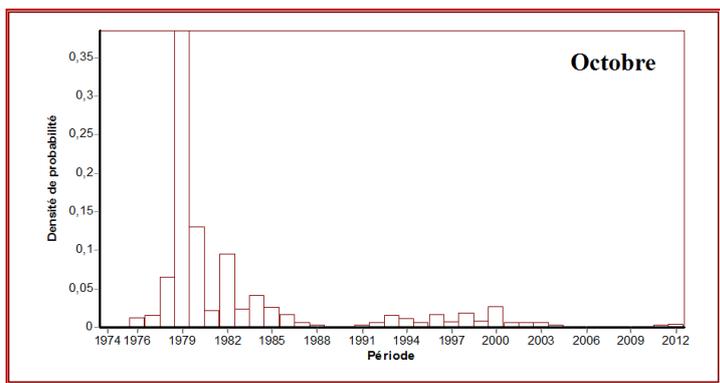
Station	Mois	Hypothèse	Probabilité de dépassement	Date de rupture	Seuil de confiance (Rejetée)
Dj Chouachi	7 mois	Nulle	—	—	
	Janvier		$2,49.10^{-2}$	1993	95% , 90%
	Mai		$1,62.10^{-3}$	1984	99% , 95% , 90%
	Juin		$4,76.10^{-3}$	1994	99% , 95% , 90%
	Juillet		$3,03.10^{-2}$	1987	90% , 95%
	Août		$1,25.10^{-3}$	1986	99% , 95% , 90%

• Test de la méthode bayésienne de A.F.S LEE et S.M. HEGHINIAN

Selon le tableau V.32) et l’analyse de la figure IV.30, le mode de la fonction densité de probabilité a identifié des points de rupture dans la série des températures mensuelles, de 1979 à 2012, correspondant au maximum des températures observées sur cette série.

Tableau V.32: Résultats du test de Lee et Heghinian des températures mensuelles.

Station	Mois	Date de rupture	Point de rupture
Dj Chouachi	Octobre	1979	0.3874
	Novembre	1979	0.2450
	Décembre	2012	0.0631
	Janvier	1993	0.1516
	Février	2010	0.1041
	Mars	1985	0.1681
	Avril	1981	0.1572
	Mai	1984	0.5665
	Juin	1994	0.1324
Juillet	1982	0.2974	



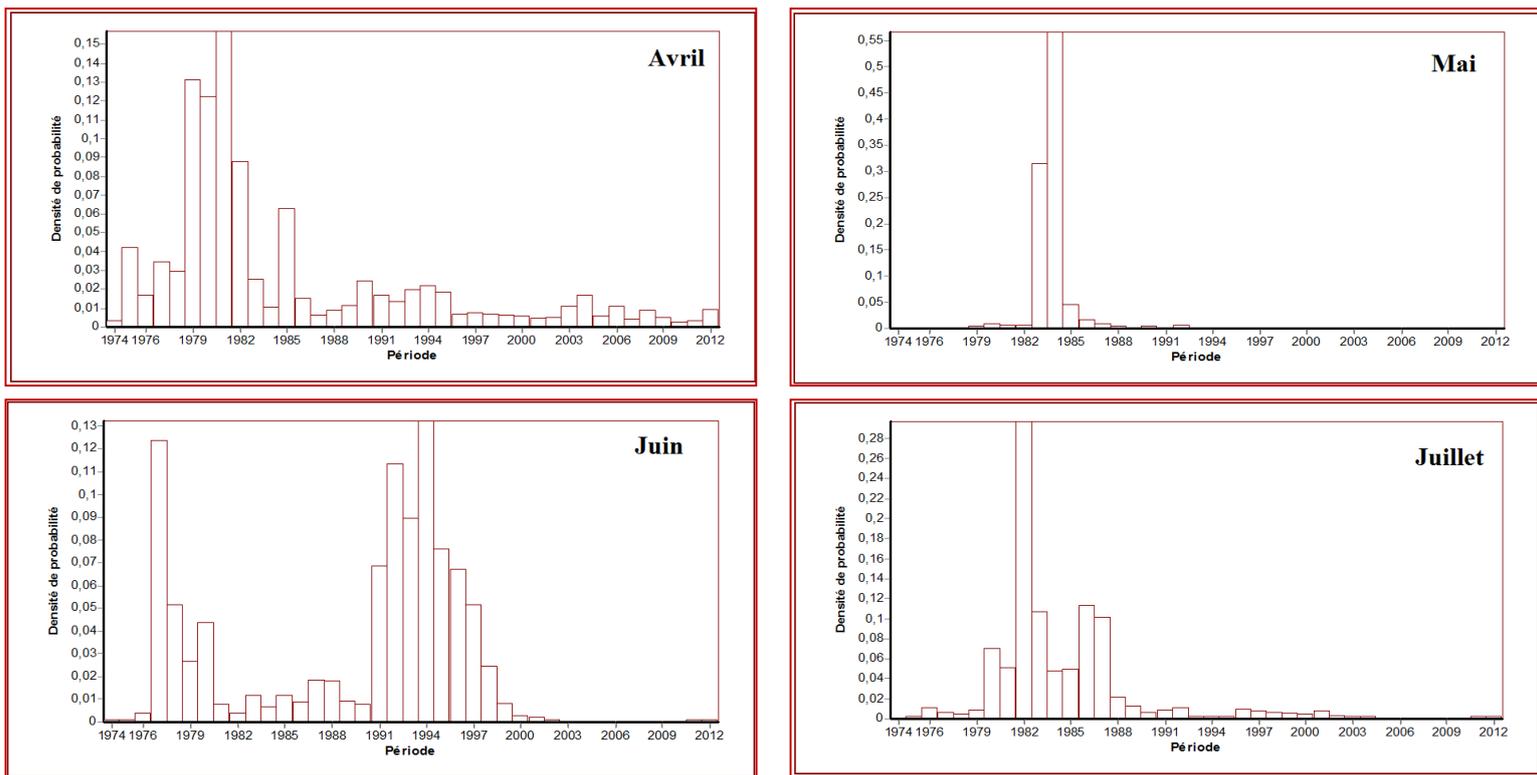


Figure V.30: Procédure de Lee et Heghinian-Densité de Probabilité à posteriori de la position d'un changement des températures mensuelles. (Dj. Chouachi).

- **Test de segmentation de P.HUBERT**

La procédure de segmentation (tableau IV.33) propose des segments commençant par l'année 1974. Au minimum deux découpages pour chaque mois, sauf pour le mois d'août un seul découpage a été proposé 1974-2013.

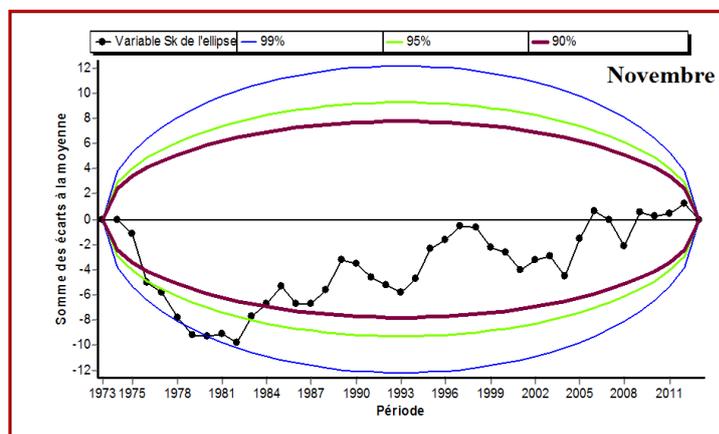
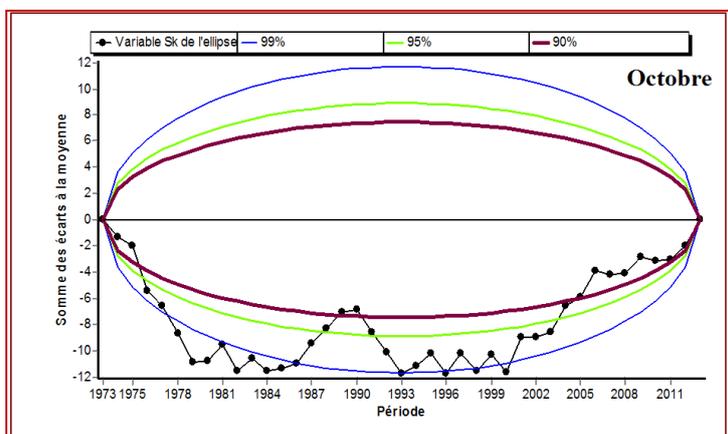
Tableau V.33: Résultat de segmentation d'Hubert des températures mensuelles de la station Dj. Chouachi (1974/1975 à 2013/2014).

Mois	Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart type
Septembre	1974	1982	22.611	1.181
	1983	1991	24.811	1.234
	1992	2013	23.450	0.849
Octobre	1974	1979	17.867	0.995
	1980	2013	19.994	1.257
Novembre	1974	1979	13.567	1.335
	1980	2013	15.365	1.375
Décembre	1974	2013	12.223	1.392
Janvier	1974	1993	10.135	1.323
	1994	2013	11.460	1.353
Février	1974	2013	11.818	1.380
Mars	1974	1985	12.858	1.230
	1986	2013	13.896	0.831
Avril	1974	1981	14.350	1.103
	1982	2013	15.803	1.111
Mai	1974	1984	19.873	0.850
	1985	2013	18.983	1.051
Juin	1974	1994	21.790	1.297
	1995	2013	23.237	1.072
juillet	1974	1982	24.656	1.092
	1983	2013	26.152	1.011
Août	1974	1978	25.060	1.704
	1979	1979	17.400	0.000
	1980	1983	24.575	0.499
	1984	2013	26.893	0.924

**Niveau de signification du test de Scheffé = 1%**

• Test de BUISHAND et ellipse de BOIS

Selon le test Buishand appliqué sur la série des températures mensuelles (fig. V.31), aucune rupture n'a été remarquée aux mois de Décembre, Novembre et Février. Par contre, Des ruptures ont été mises en évidence au cours des 7 mois restants avec un seuil de confiance de 99% ,95 % et 90% : Octobre en 2000, Janvier en 1993, Mars et Avril en 1985, Mai en 1984, Juin en 1994 et Juillet en 1987.



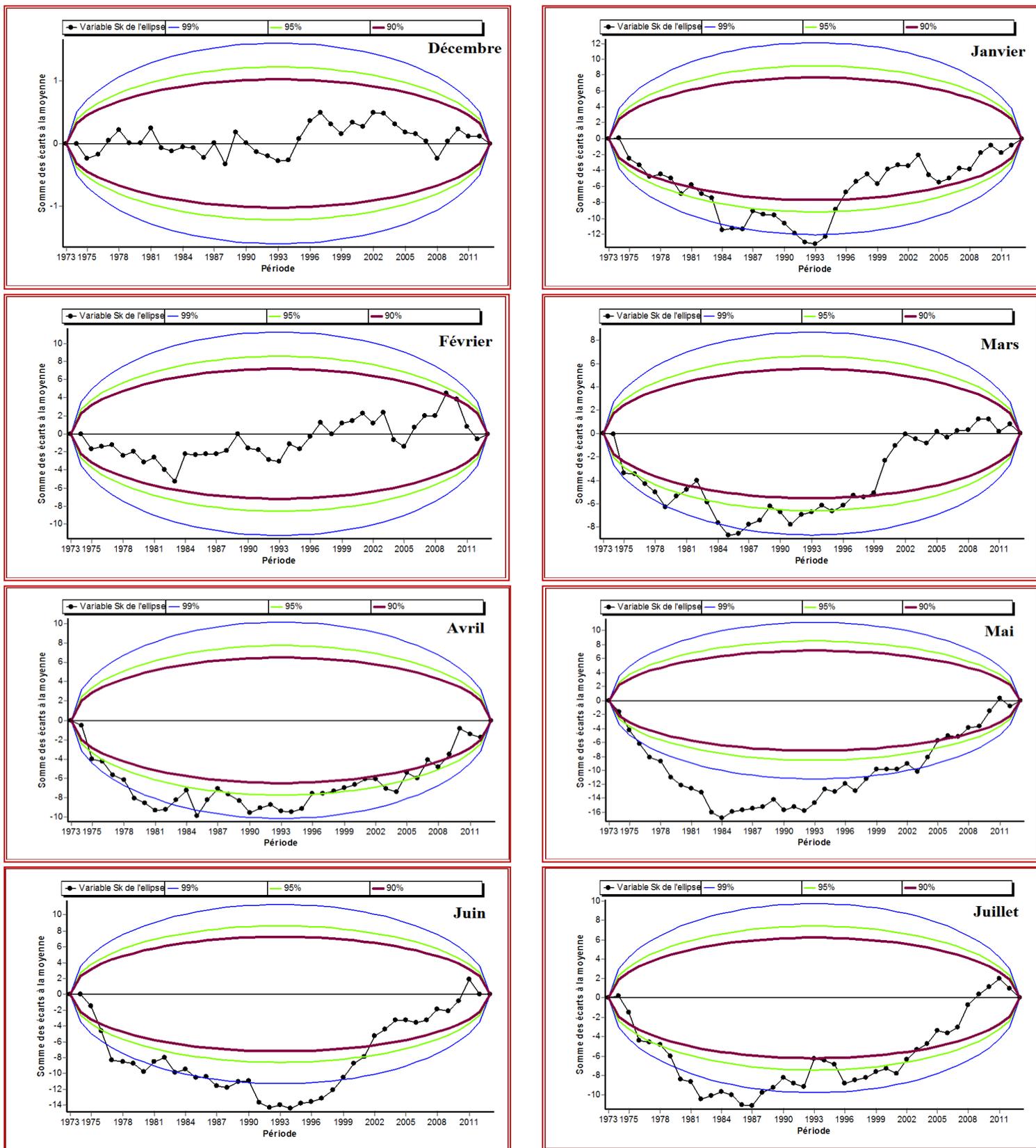


Figure V.31 : Ellipses de contrôle des températures mensuelles.

**N.B :** Par ce que La normalité n'a pas été vérifiée sur les valeurs observées et transformées les méthodes de Buishand et Bayésien n'ont pas été exécutées pour :

#### A/ Précipitations

- Les saisons : Eté, Hiver.
- Les mois : Septembre, Juin, Juillet, Août.

#### B/ les lames d'eau écoulées

- Les périodes : humide, sèche.
- Les saisons : Automne, Printemps, Eté
- Les mois : 12 mois

#### C/ Températures

- Annuelle
- La période : sèche.
- Les mois : Septembre, Août.

Parce que La normalité n'a pas été vérifiée sur les valeurs observées et transformées

### V.6-Conclusion

L'analyse de la caractérisation de la variabilité climatique de la région d'étude montre

- Une tendance à la baisse de la pluviométrie annuelle durant la période des années 2000, par contre une tendance à la hausse pendant la période des années 80. Cette tendance est marquée par des ruptures identifiées entre 2007/2008.
- Pour les saisons humides des précipitations annuelles, le point de rupture est détecté aux environ de l'année 2007, avec une tendance à l'augmentation des pluies. Cette évolution apparaît comme un phénomène régional qui indique un changement dans le profil des précipitations annuelles et saisonnières après une longue durée de sécheresse intensifiée durant les années 70. Pour les saisons sèches, les dates de rupture sont détectées aux alentours de l'année 1974/1975.
- pour les régimes hydrologiques, la baisse de la pluviométrie a provoqué une diminution des apports du cours d'eau du bassin. Cette diminution est marquée par une rupture identifiée autour des années 1976/1977 et 2007/2008.
- Les ruptures décelées correspondent aux lames d'eau écoulées dans les saisons humide, sont remarquées autour des années 1976/1977 et 2007/2008, et pour les saisons sèches en 1976/1977.
- à l'échelle annuelle, une variabilité de la température marquée par une tendance de baisse identifiée en 1986, à l'échelle mensuelle, la chronique des températures moyennes mensuelles des mois de Mars, Avril, Mai et Juillet ont des dates de rupture qui coïncident avec la date de rupture des températures moyennes annuelles.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

Cette étude a été effectuée dans le but de visualiser les tendances des variables hydroclimatiques, de caractériser la sécheresse météorologique et hydrologique et de quantifier son impact sur la ressource en eau sur le bassin versant d'Oued Boukiou. Pour ce faire, deux types de données ont été utilisées: météorologiques (pluie, température) et hydrologiques (écoulement).

Nous avons d'abord essayé d'identifier les principaux facteurs physico-géographiques qui influent sur l'écoulement.

✚ L'étude géologique et structurale de la région étudiée qui fait partie de la basse Tafna, fondé sur les travaux antérieurs en particulier ceux de P. Guardia (1970-1975) et M. Ameer (1978-1988) a mis en évidence que l'évolution verticale des terrains rencontrés s'étend du Primaire au Quaternaire en distinguant :

- **Formations du Primaire** : essentiellement schisteuse et granitique.
- **Formation du Secondaire** : Carbonatée (Calcaréo-dolomitique) occupant les reliefs.
- **Formation Mio- Plio Quaternaire** : Essentiellement marneuse et alluvionnaire

✚ L'étude morphométrique : nous a permis de caractériser la forme, les altitudes moyennes et les altitudes les plus fréquentes de notre bassin. La superficie et le périmètre stylisé, a permis de quantifier des paramètres tels que : le coefficient de compacité, la densité de drainage etc...

Le bassin d'Oued Boukiou présente une forme allongée qui est en faveur d'un temps de concentration réduit (6 heures), avec un relief assez fort.

✚ l'étude hydro-climatologique : les données climatiques de la station météorologique Dj Chouachi a permis de caractériser notre bassin par un climat semi-aride méditerranéen. Il ressort de cette étude que le bassin est caractérisé par une saison pluvieuse et une autre chaude et sec avec une moyenne de 290.5mm.

Deux saisons sont à distinguer :

- ❖ Saison humide, qui s'étend de Octobre à Avril avec des pluies irrégulières,
- ❖ Saison sèche, de Mai à Septembre, où la pluviométrie est relativement faible.

La moyenne des températures est de 18 °C, le régime thermique est caractérisé par des amplitudes annuelles assez fortes qui permettent d'accentuer le phénomène de l'évapotranspiration.

La détermination de l'évapotranspiration moyenne annuelle ETR par la méthode de Turc et L'évapotranspiration potentielle calculée par la formule de Thornthwaite est respectivement : 293.78mm et 902.8mm

L'analyse hydrologique sur la période (1974/1975- 2013/2014) donne un débit moyen de  $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$  correspondant à une lame d'eau écoulée de 26 mm.

- ✚ L'étude de la variabilité climatique et son impact sur les eaux superficielles : nous a montré qu'aux cours des dernières années la région a connu une variabilité climatique avec une succession d'épisodes secs humides. Cette variabilité temporelle se retenti sur la disponibilité des ressources en eau.

Pour mieux analyser et comprendre la variabilité, le logiciel Khronostat a fait l'objet de détecter les années de rupture qui sont observées en 1974/1975 et 2007/2008 par les différents tests statistiques.

Pour mettre en évidence la sécheresse et sa persistance, les indices SPI, EDI e RDI, SSFI ILDH sont appliqués à l'échelle annuel pour caractériser la sécheresse et leur impact sur le régime d'écoulement. Les résultats obtenus montrent que le bassin versant d'Oued Boukiou a connu une longue séquence de sécheresse météorologique. La période 1980/1981-2008/2009 est caractérisée par les sécheresses météorologiques les plus remarquables. Cependant, cette sécheresse météorologique a eu pour corollaire la réduction des ressources en eau et a engendré une sécheresse hydrologique forte notamment en 1980/1981-1981/1982 et en 2007/2008.

L'ensemble des indices météorologiques annuels dénotent presque 60% d'années sèches, par ailleurs les indices hydrologiques ont donné 40% d'années humides.

Pour finir, nous espérons qu'il ne s'arrêtera pas avec ce mémoire et que dans les futures études de la détection et le suivi de la sécheresse seront faites avec d'autre méthode plus développée et d'autres nouveaux indices.

# Références bibliographiques

- **ABDELHAFID F. (2014).** Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien. Mem .Magister *Univ Constantine1*.109p
- **AHOUSI K., KOFFI Y., KOUASSI A M., SORO G., SORO N., BIÉMI J. (2013).** Étude de la variabilité hydroclimatique et de ses conséquences sur les ressources en eau du Sud forestier et agricole de la Côte d'Ivoire : cas de la région d'Abidjan Agboville. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*.1(6) Pp30-50
- **AIT BENNOUR H., BENSIDHOUM.Z. (2017).** Impact de changement climatique sur la production des agrumes dans la wilaya de Bejaia (1983 à 2016).*Mem. Master en Sciences Economiques Univ Bejaia*.84 p
- **AMEUR M. (1988).** Histoire d'une plate-forme carbonatée de marge Sud-Téthysienne : L'autochtone des Traras (Algérie occidentale) du Trias supérieur Jusqu'au Bathonien moyen .*Thèse Doctorat d'Etat. Lab. Géol. Lyon. T. 1-2 .551 p .188 fig. 24 Pl.*
- **AMIAR S. (2014).** Modélisation pluie- débit : Outil de prévision des crues le Mieux adapté par le modèle hydrologique GR. *Mém. Magister en Hydraulique. Univ Tlemcen.* 159p.
- **AMOUR A. (2010).** Caractérisation des crues pluviales des sous bassins versants de la Soummam. *Mem de Magister en Hydraulique .Univ Bejaia.* 150p
- **ARAF A. (2012).** Application de HEC-ResSim, SWAT, et HEC-HMS dans la gestion de l'eau de la Wilaya de Tlemcen. *Mem de Magistère en Hydraulique. Univ Oran.* 221p
- **ARODOIN S. (2004).** Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne.*Thèse de Doctorat. Univ Montpellier II .437P*
- **ASKAR S., TIFRANE H. (2018).** La variabilité climatique et sont impact sur les ressources en eaux Souterraine dans la région de Haut et Moyen Cheliff. *Mem de Master en Ecologie et Environnement .Univ Khemis Miliana.*70p
- **AUTISSIER I., COPPENS Y., HAIGNERE C., KLEIN E., KAHN A. (2019).** Futura science « planète ». [Enligne].Disponible sur <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/geographie-latitude-720/> [consulté le 25-04-2019]
- **BAGHDADLI I. (2014).** L'influence du changement climatique sur les ressources en eaux du Meffrouch .*Mem .Master Hydraulique. Univ Tlemcen.*89p
- **BELAHCEN I., CHOUIREB F. (2018).** Contribution à l'étude de la variabilité climatique dans la steppe algérienne : Cas de la région d'El Bayadh. *Mem de Master.Univ Djilali Bounaama.*72p
- **BELARBI F. (2010).** Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la Tafna. *Mem. Magister en Hydraulique. Univ Tlemcen.*113p

- **BEMMOUSSAT A. (2011).** Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la Tafna. *Mém. Magister. Univ Tlemcen.* 156 p
- **BENHAMOU M. (1983).** Stratigraphie et milieux de dépôts du Jurassique inférieur et moyen des Beni-Ouarsous et Béni-Khaled (Massif des Traras, Oranie). *Thèse Doctorat 3ème cycle Univ Oran.* 168 p., 56 fig., 9 pl.
- **BENSAFI H. (2016).** Contribution à l'amélioration de la qualité des eaux de la Tafna destinées à la consommation humaine, par l'utilisation du sulfate d'alumine. *Mem de Master en Géologie. Univ Tlemcen.* 50p
- **BENYETTOU M., BOUKLIKHA A. (2017).** Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie. *Mem. Master Hydraulique. Univ Tlemcen.* 92p
- **BERKALOFF E. (1966).** Effet de capillarité sur l'écoulement d'eau dans les nappes libres recelées par des roches à interstices fin. Wageningen.
- **BERREZOUG N. (2016).** Hydrologie et modélisation Pluie-Débit de l'oued Boukiou. (NW algérien). *Mem de Master en Hydrogéologie. Univ Tlemcen.* 198p
- **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., 81 fig.
- **BOUGUERRA S. (2018).** Quantification et modélisation du transport solide en climat semi-aride, cartographie du Risque d'érosion hydrique au moyen d'un sig (Cas Des Deux Bassins Versants Oued Boukiou et Oued Boumessaoud (N-W de L'Algérie)). *Thèse de Doctorat. Univ Tlemcen.* 165p
- **BOULEGHLEM Z. (2015).** Etude hydrogéologique et évaluation des ressources en eau dans la région azzaba-guerbes. *Mem Ingénieur d'état en hydrogéologie .Uni .Annaba.* 120p
- **Buishand T A. (1982).** Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Hydrol.* 58(1-2), 11-27.
- **CHEIKH F., AMADOU., BAPTISTE J. (2015)** . Etude des sècheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sécheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. Article dans la revue, physio-géo. Vol 9. Pp17-35.
- **COUTAGNE A. (1948).** Etude générale des débits et des facteurs qui les conditionnent. *La houille blanche* .pt 242. Pp228-242.

- **CROWLEY T., NORTH G. (1991).** Paléoclimatologie. *Press. Univ. Oxford*. 926 p. [Enligne]. Disponible sur <http://www.astrosurf.com/luxorion/terre-effet-de-serre.htm> [consulté le 19-02-2019]
- **DECHAMPS F. (2009).** Météo Belgique « climatologie ». [Enligne]. Disponible sur <https://www.meteobelgique.be/> [consulté le 25-04-2019]
- **DEMMAK A 1982.** Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. *Thèse. Docteur-Ingénieur. Uni Paris. France.*
- **Djelouli. F (2017).** Impact de la variabilité climatique et occurrence de la sécheresse: La modélisation Pluie-Débit outil d'identification. Application à un bassin versant d'oued El Hammam (Nord-ouest algérien). *Thèse. Doctorant. Univ Tlemcen.* 208p
- **DJOUANE S., HAGGI A. (2015).** Etude de la sécheresse climatique dans les hauts plateaux de l'Algérie, par deux approches (Analyse statistique et images satellitaires). *Mem. Master en Hydraulique. Univ Hamma lakhdae d'el oued.* 59p
- **DOUCH I. (2016).** Evaluation de la vulnérabilité à la pollution d'une nappe en milieu semi aride. Application à la nappe alluviale de la vallée de Boukiou (NWalgérien). *Mem de Master en Hydrogéologie. Univ. Tlemcen.* 95p
- **ED-DAOUDI S(2014).** Evolutions et changements des extrêmes pluviométriques au niveau de la zone Souss-Massa-Draa (Maroc) (L'aspect sécheresse). *Mem Master Eau et Environnement. Univ Marrakech.* 98p
- **ELHOUSSAOUI A. (2015).** Hydrologie et modélisation de la fonction pluie-débit : cas du bassin versant de l'oued Tamanrasset sud –algérien. *Mem. Mastère en Géologie. Univ Tlemcen.* 157P
- **FAO 1994.** Introduction à la gestion conservation de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), Bulletin pédologique de la FAO, n°70
- **FOUCAULT A. (2016).** Climatologie et paléoclimatologie. 2ème édition. Edition Dunod. 415p
- **FOURNIER G. (1969).** L'érosion hydrique et le climat. Bulletin Technique d'Information. Météorologie et agriculture. N°237. Pp. 111-115
- **GAUSSEN H., BAGNOULS F. (1952).** L'indice xérothermique. Bull. Assoc. Géographes Fr. 29(222), 10–16.
- **GHACHI A. (1986).** Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie. *Thèse. Doctorat. OPU.* 508 p.
- **GHENIM A. (January 2011).** Caractérisation de la sécheresse par les indices SPI et SSFI (Nord-Ouest de l'Algérie). *LJEE N°18.* Pp59-63.

- **GHENIM A., MEGNOUNIF A., TERFOUS A. (2010).** Fluctuations hydropluviométriques du bassin versant de l'Oued Tafna à Béni Bahdel (Nord-Ouest Algérien). *Sécheresse*, 21. Pp. 115-20.
- **GHERISSI R. (2018).** Modélisation hydrologique d'un bassin versant en climat méditerranéen par l'approche conceptuelle globale. Cas de l'Oued LAKHDAR (ex : Chouly) (TAFNA NORD OUEST ALGERIEN). *Thèse de Doctorat Univ Tlemcen*. 213p
- **GOUDJIL A., SID ROUHOU F. (2015).** Contribution de l'étude du climat et son influence sur la végétation dans les palmeraies d'Ouargla. *Mem. Master académique. Univ Ouargla*. 68p
- **Guardia P. (1975).** Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale. Relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe, le Tell et l'avant pays atlasique, *Thèse Sc. Univ. Nice (France)*. 289p.
- **HAMLET A. (2005).** contribution à la gestion des ressources hydriques des bassins versants (bassin de la Tafna) par l'application du modèle SWAT. *Mem de Magister en Hydraulique. Univ USTO*. 132p
- **HUBERT P., CARBONNEL J P. & Chaouche A. (1989).** Segmentation des séries hydrométéorologiques-application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. *J. Hydrol.* 110(3-4), 349-367. PNUE
- **IPCC. (2018).** Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
- **JONES P., PARKER D., OSBOM T., BRIFFA K. (2016).** Global and hemispheric temperature anomalies—land and marine instrumental records. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi: 10.3334/CDIAC/cli.002. [Enligne]. Disponible sur <https://cdiac.essdive.lbl.gov/trends/temp/jonescru/graphics/glnhsh.png> [consulté le 19-02-2019]
- **JOUILIL I., BITAR K., SALAMA H., AMRAOUI A., MOKSSIT A., TAHIRI M. (Janvier 2013).** Sécheresse météorologique au bassin hydraulique Oum Er Rbia durant les dernières décennies. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680. N° 12. Pp 109-112.
- **KACEMI M., SENINA A. (2015).** Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale d'oued Boukiou (Nord-Ouest Algérien). *Mém. Master hydrogéologie. Univ Tlemcen*. p172.
- **KARROU M. (2006).** Mise en place d'un système d'alerte précoce à la sécheresse dans 3 pays de la rive sud de la méditerranée : l'Algérie, le Maroc et la Tunisie. *OSS*. Pt61. Pp 2-17.
- **KHALDI A. (2005).** Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien « Monts de Tlemcen - Saida ». *Thèse. Doctorant Univ Oran*. 229p

- **KHEZAZNA A. (2017).** Les changements climatiques au Nord-est algérien Evolution récente et projections futures. *Thèse de Doctorat. Univ Annaba* .128p
- **KOUDAMILOR O., VISSIN W., DIAPAMA J. (May 2017).** Caractérisation Des Risques Hydroclimatiques Dans Le Bassin Versant De L'Ouémé A L'exutoire De Bétérou Au Bénin (Afrique De L'ouest).European Scientific, Journal édition Vol.13, N°15. Pp.101-118.
- **KOUIDRI S. (2012).** Les événements extrêmes et leur évolution chronologique (étude du cas).*Mem. Master en Hydraulique. Univ Tlemcen*.136p
- **KOUKPONOU A P. (2001).** Détermination de rupture statistique dans les séries chronologiques de paramètre météorologie : application aux stations du Burkina Faso. *Mem de fin d'étude. Ecole Inter-états d'ingénieurs de l'Équipement Rural*. 179p.
- **LEBOURGEOIS F., PIEDALLU C. (2005).** Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques. *Rev. For. Fr. LVII 4*. Pp 331-356.
- **LEBOURGEOIS F. (Mai 2010).** Cours de bioclimatologie à l'usage des forestiers. Département SIAFEE, UFR Forêts, Arbres et Milieux Naturels .Laboratoire d'étude des Ressource Forêt-Bois.Unité Mixte de Recherches INRA.ENGREF. AgroParisTech. 245p
- **MEDDI M., Hubert P. (2003).** Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. *In: Hydrology of the Mediterranean and semiarid regions*, IAHS publication, n°278. Pp.229-235.
- **Miller V. C. (1959).** A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area Virginia and Tennessee .Teach .report no.3.*Dept of Geology .Columbia Univ .New York.USA*
- **MIRI A., KIBIR W. (1992).** Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Boukiou affluent de la Tafna (Monts des Traras : Oranie occidentale).*Mém. Ingéniorat Univ Oran* 208 p., 73 fig., 15 pl
- **OGA YEI MARIE S., YAPI ASSA F., BOYOSSORO H., KOUADIO A. (January 2017).** Caractérisation de la sécheresse hydrologique dans la région de la Marahoué (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire).*International Journal of Engineering Science* .Vol 6, Issue 12.Pp 19-27.
- **OMM. (1990).** Bilan climatique de l'année 2017 Été 2017. 03 p.
- **ONG. (2014).**Organisation non gouvernementale française. Coalition eau «eau et changement climatique ». Note de recherche.60p. [Enligne].Disponible sur <http://www.coalition-eau.org/> [consulté le 19-02-2019]

- **ONM. (2017).**Office National de Météorologique. Une définition de la climatologie par l'organisation météorologique mondiale.
- **OTMANE A. (2019).** Impacts de la variabilité climatique sur l'hydrologie et la gestion des ressources en eau du bassin versant de l'Oued Mekerra (Nord-ouest algérien). *Thèse de Doctorat Univ Tlemcen*.268p
- **Ould Ahmed S. (2018).** Etude des paramètres morphométriques et hydrographiques du bassin versant de l'oued Tari. *Mem. Magister en Hydraulique .Univ SAIDA*. 71p
- **PETTITT A. (1979).** A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Stat.* 126–135.
- **PNUD. (2009).** Second communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques, Projet GEF/PNUD 000391 49 Alger, 147p.
- **RIENECKER M., SUAREZ M., TODLING R., BACMEISTER J., OWENS T., PEGION P., RUDDICH A., WOLLEN J., REDDER C. (2017).** MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. [Enligne].Disponible sur <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA/> [consulté le 19-02-2019]
- **ROCHE M. (1964).** Hydrologie de surface- *Paris, Gauthier – Villars*, 430 p.
- **SEBAIBI A. (2015).** Potentialités agro-climatiques de la région de Zenata et de Maghnia. Étude d'une longue série climatique *.Mem d'Ingéniorat .Univ Tlemcen*.227p
- **SERGE P. (2015).** Causes et enjeux du changement climatique. *Cours session 1 .Univ. Virtuelle Environnement et Développement durable (UVED).France* .10p
- **SORO G.E, ANOUMAN D. G.L., GOULA BI T.A., SROHOROU B., SAVANE I. (Juin 2014).** Caractérisation des séquences de sécheresse métrologique a diverses échelles de temps en climat de type soudanais.cas de l'extrême Nord-Ouest de La cote d'ivoire. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, N°18. Pp.107-124.
- **SOUGOUMI H. (2009).** Mise en évidence de la tendance climatique les pluies maximales journalières de l'ETP mensuelles au Burkina Faso. *Mem de fin d'étude International Institute for water and environmental engineering*.71p
- **SREEDEVI P., SUBRAHMANYAM K., SHAKEEL A. (2005).** Integrated approach for delineating potential zones to explore for groundwater in the Pageru river basin, cuddapah district, Andhra Pradesh, India. *J. Hydrol.* N° 13.Pp534-543.
- **TETARD J. (2014).** Le développement durable. *Cours. CESI école d'ingénieurs centre d'Angoulême. La Couronne*.99p
- **THORNTHWAITE C W., Mather J R. & others. (1957).** Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance.
- **TIGKAS D., VANGELIS H., TSAKIRIS G. (2015).** DrinC: software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8(3), 6 .Pp 97-709

- **TIMBERT F. (2018).** le loiret. Météo 45 « climat et facteurs géographiques » [Enligne] Disponible sur [http://www.meteo45.com/climat et facteurs geographiques.html](http://www.meteo45.com/climat_et_facteurs_geographiques.html) [consulté le 25-04-2019]
- **TIXERONT J. (1969).** Le bilan hydrologique de la Mer Noire et de la mer Mediterranee. Int. Assoc. Sci. Hydrol. Bull. 14(4), 61–69
- **TSAKIRIS G., VANGELIS H. (2005).** Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration. European Water 9/10: 3-11-Pt11-pp7-8.
- **TURC L. (1954).** Le bilan de l'eau des sols. Relation. Entre Précipitation. L'évaporation et l'écoulement .Ann. 6.5-131
- **VERDEIL P. (1988).** Abaque pour calcul du déficit d'écoulement (Régions semi-arides).
- **VICTOR M., REYES G., NUNEZ D., CARLO A MUNOZ R., JOSE A., PINEDA R., HECTOR G., MELCHOR L., OCTAVIO R. (2016).** Caractérisation de la sécheresse hydrologique dans le bassin-versant du Río Conchos (État de Chihuahua, Mexique). Sécheresse vol.17, N°4. Pp .475-484.
- **ZENABOU SEGDA F. (2013).** Les changements climatiques. *Atelier de Sensibilisation des acteurs de la filière bois Énergie sur le lien entre Déforestation et Changements climatiques Ouagadougou. Burkina Faso.* 10 p
- **ZENASNI S. (2013).** Modélisation de la qualité des eaux d'oued Mouillah jusqu'au barrage Boughrara (application du HEC-RAS). *Mem de Magistère en Hydraulique. Univ Tlemcen.* 191p
- **ZENNAKI A. 2015.** Essai de modélisation hydrodynamique d'une nappe alluviale. Application à la nappe alluviale d'oued Boukiou (NW algérien). *Mem de Magistère en Hydraulique. Univ Tlemcen.* 171p.

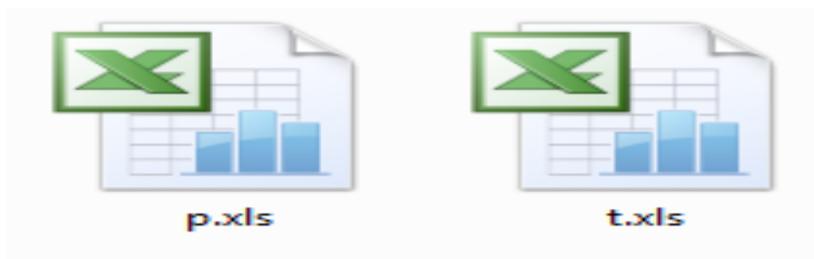
# **Annexes**

## Annexe 1 : Résultats de calcul des indices de sécheresse

Année	SPI	SSFI	EDI	Déciles	$\alpha_a$	RDI nr	RDI st	RN	IDP	ISD	ILDH	CMI
1974 - 1975	1,24	1,04	0,19	9	0,46	0,42	1,26	139,56	39,56	1,23	0,35	-0,54
1975 - 1976	1,23	0,05	0,27	9	0,49	0,53	1,50	138,98	38,98	0,04	0,02	-0,50
1976 - 1977	0,40	4,34	0,12	8	0,41	0,28	0,94	113,02	13,02	5,21	0,79	-0,58
1977 - 1978	-0,48	-0,48	-0,15	4	0,29	-0,09	-0,14	85,27	-14,73	-0,61	-0,41	-0,71
1978 - 1979	-0,07	-0,49	-0,02	6	0,32	0,00	0,17	98,01	-1,99	-0,62	-0,42	-0,67
1979 - 1980	0,96	1,65	0,22	9	0,48	0,48	1,39	130,70	30,70	1,92	0,47	-0,52
1980 - 1981	-0,10	1,38	-0,03	6	0,33	0,03	0,24	97,29	-2,71	1,63	0,42	-0,67
1981 - 1982	-1,15	-0,79	-0,49	2	0,20	-0,36	-1,27	64,15	-35,85	-0,99	-1,87	-0,79
1982 - 1983	-1,40	-0,74	-0,67	1	0,19	-0,41	-1,49	56,18	-43,82	-0,93	-1,14	-0,81
1983 - 1984	-0,32	-0,69	-0,08	5	0,30	-0,07	-0,07	90,14	-9,86	-0,87	-0,89	-0,70
1984 - 1985	-0,52	-0,74	-0,16	4	0,27	-0,15	-0,36	84,03	-15,97	-0,93	-1,15	-0,73
1985 - 1986	0,14	0,51	0,03	7	0,34	0,05	0,30	104,64	4,64	0,63	0,21	-0,66
1986 - 1987	0,21	0,63	0,05	7	0,35	0,07	0,37	106,94	6,94	0,78	0,25	-0,65
1987 - 1988	-1,62	-0,72	-1,10	1	0,15	-0,53	-2,22	49,24	-50,76	-0,90	-1,01	-0,85
1988 - 1989	-1,10	0,58	-0,36	2	0,20	-0,37	-1,31	65,52	-34,48	0,63	0,21	-0,80
1989 - 1990	-0,57	-0,22	-0,16	3	0,25	-0,22	-0,64	82,38	-17,62	-0,31	-0,16	-0,75
1990 - 1991	-0,71	0,38	-0,21	3	0,24	-0,25	-0,74	77,82	-22,18	0,40	0,14	-0,76
1991 - 1992	0,82	-0,54	0,18	9	0,41	0,28	0,94	126,21	26,21	-0,69	-0,51	-0,58
1992 - 1993	-0,76	-0,49	-0,23	2	0,25	-0,22	-0,65	76,27	-23,73	-0,63	-0,43	-0,75
1993 - 1994	-0,03	-0,51	-0,01	6	0,31	-0,04	0,03	99,35	-0,65	-0,63	-0,44	-0,69
1994 - 1995	-0,63	0,79	-0,21	3	0,25	-0,21	-0,60	80,53	-19,47	0,88	0,28	-0,74
1995 - 1996	-0,48	-0,63	-0,16	4	0,27	-0,15	-0,37	85,30	-14,70	-0,79	-0,67	-0,73
1996 - 1997	-1,45	-0,78	-0,54	1	0,18	-0,45	-1,71	54,67	-45,33	-0,98	-1,62	-0,82
1997 - 1998	-0,67	-0,27	-0,36	3	0,25	-0,23	-0,69	79,14	-20,86	-0,36	-0,19	-0,75
1998 - 1999	-0,02	0,02	0,00	6	0,31	-0,03	0,05	99,76	-0,24	-0,03	-0,01	-0,69
1999 - 2000	-1,10	-0,71	-0,40	2	0,20	-0,37	-1,29	65,73	-34,27	-0,90	-0,98	-0,79
2000 - 2001	-0,26	-0,17	-0,07	5	0,28	-0,12	-0,23	92,03	-7,97	-0,22	-0,11	-0,71
2001 - 2002	0,45	-0,37	0,09	8	0,36	0,13	0,53	114,56	14,56	-0,48	-0,28	-0,63
2002 - 2003	0,37	-0,56	0,08	7	0,34	0,05	0,31	112,02	12,02	-0,70	-0,53	-0,66
2003 - 2004	1,91	-0,14	0,40	10	0,50	0,56	1,57	160,47	60,47	-0,21	-0,10	-0,49
2004 - 2005	-0,20	-0,67	-0,06	5	0,29	-0,09	-0,13	94,13	-5,87	-0,83	-0,78	-0,70
2005 - 2006	0,12	-0,79	0,03	7	0,32	-0,02	0,09	104,05	4,05	-0,98	-1,80	-0,68
2006 - 2007	-0,35	-0,77	-0,09	5	0,28	-0,13	-0,27	89,39	-10,61	-0,96	-1,44	-0,72
2007 - 2008	-1,18	-0,79	-0,53	1	0,20	-0,39	-1,39	62,98	-37,02	-0,99	-1,83	-0,80
2008 - 2009	2,82	1,89	0,38	10	0,59	0,82	2,05	189,29	89,29	2,27	0,51	-0,41
2009 - 2010	1,36	-0,24	0,32	10	0,43	0,35	1,10	143,34	43,34	-0,33	-0,17	-0,56
2010 - 2011	0,74	-0,70	0,26	8	0,37	0,15	0,61	123,63	23,63	-0,88	-0,91	-0,62
2011 - 2012	-0,39	0,23	-0,14	4	0,27	-0,17	-0,44	88,05	-11,95	0,25	0,10	-0,73
2012 - 2013	1,98	0,37	0,29	10	0,53	0,65	1,74	162,88	62,88	0,41	0,15	-0,46
2013 - 2014	0,76	0,19	0,18	8	0,39	0,22	0,79	124,28	24,28	0,21	0,08	-0,60

## Annexe 2 : Mise en marche de l'outil Drinc

## 1-Préparation des données



## 2- Calcul de l'Evapotranspiration potentielle

**File Management**

File management

Input files

Rainfall data file (mm)  

PET data file (mm)  

Water Year

Oct - Sept

Sept - Aug

Auto detect

Starting from year:  -

Number of years:

Synthetic series

Calculate PET

Thornthwaite method  Create PET file Latitude (dem. degrees):

Temperature data file (C)  

Output file PET (mm)  

Rainfall data options

Values:  Annual  Monthly

Data Order:  Rows  Columns

Start loading from cell... Row  Column

PET data options

Values:  Annual  Monthly

Data Order:  Rows  Columns

Start loading from cell... Row  Column

Temperature data options

Values:  Annual  Monthly

Data Order:  Rows  Columns

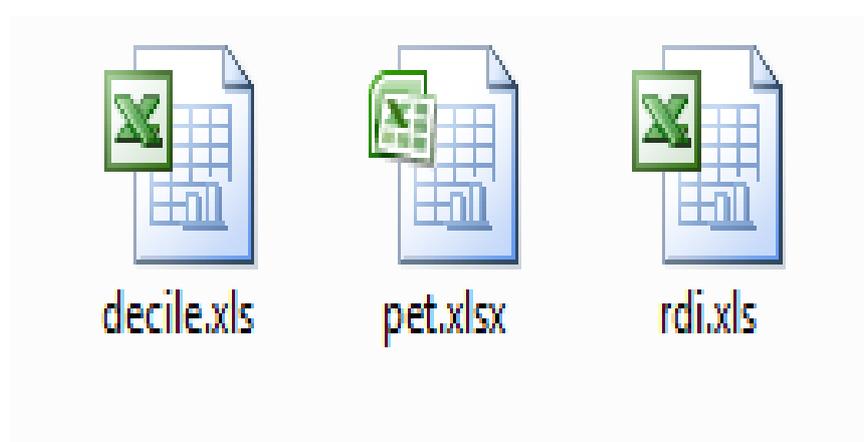
Start loading from cell... Row  Column

### 3- Calcul des déciles et RDI

The screenshot shows the 'Indices' software interface with the following settings:

- Calculate Deciles:** . Output file: C:\Users\pc\Desktop\pfe\Indice Drik\deciles n.  Open file after calculation.  Display thresholds.
- Calculate SPI:** . Output file: C:\Users\pc\Desktop\pfe\Indice Drik\spi nv.xls.  Open file after calculation.
- Calculate RDI:** . Output file: C:\Users\pc\Desktop\pfe\Indice Drik\rdi nv.xls.  Open file after calculation.   $\alpha_0$  (initial value).  Normalised.  Standardised. .
- Calculation step:**  Annual.  6-month.  3-month.  Monthly.  Other (Define).  
All | All | All | 3 months | Sep. .
- One output file:** .   Open file after calculation.

### 4- Résultats de calcul

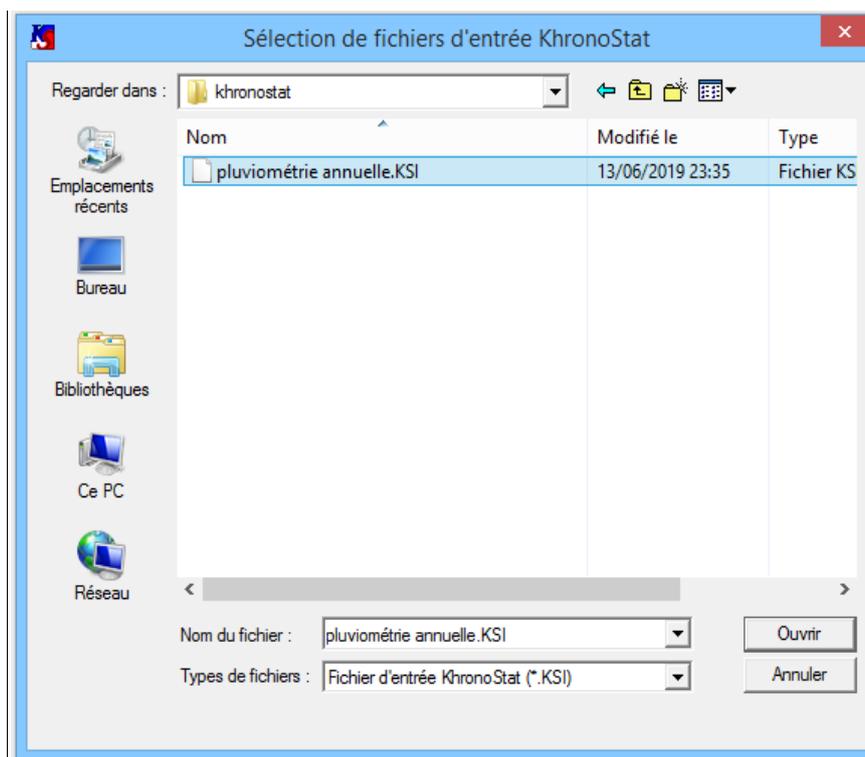


## Annexe 3 : Mise en marche du logiciel Khronostat

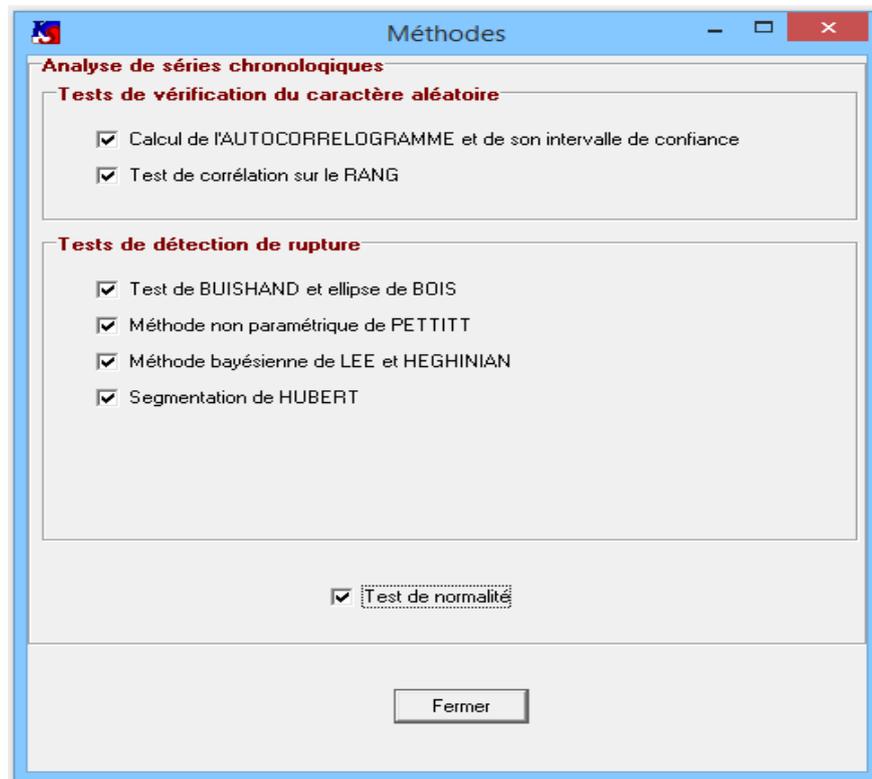
### 1- Préparation des données



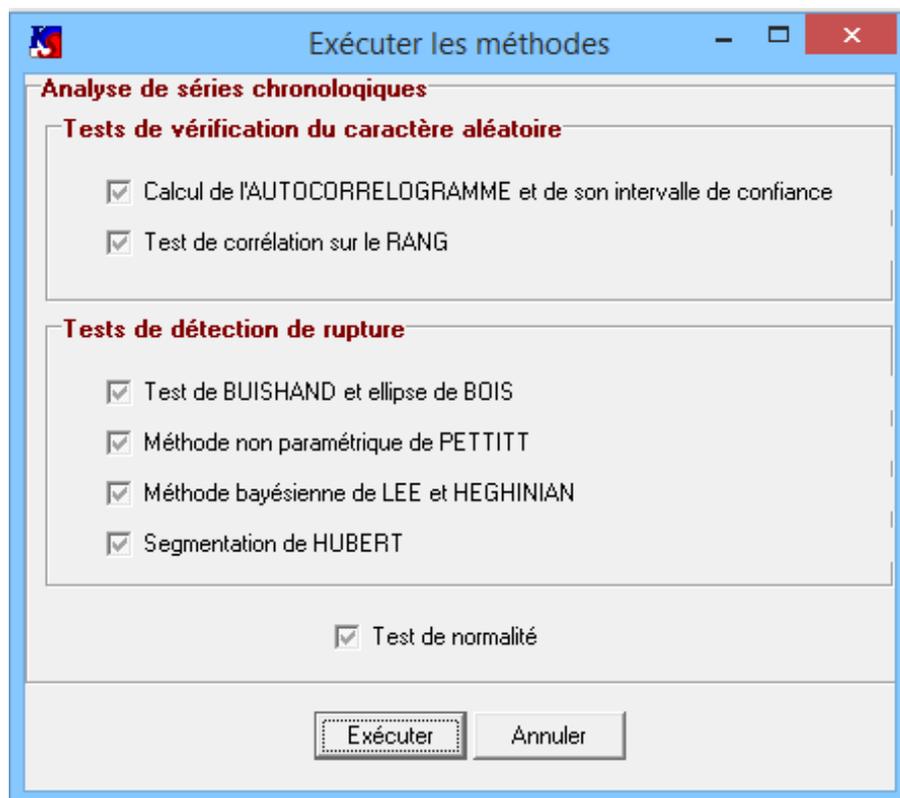
### 2- Sélection des fichiers



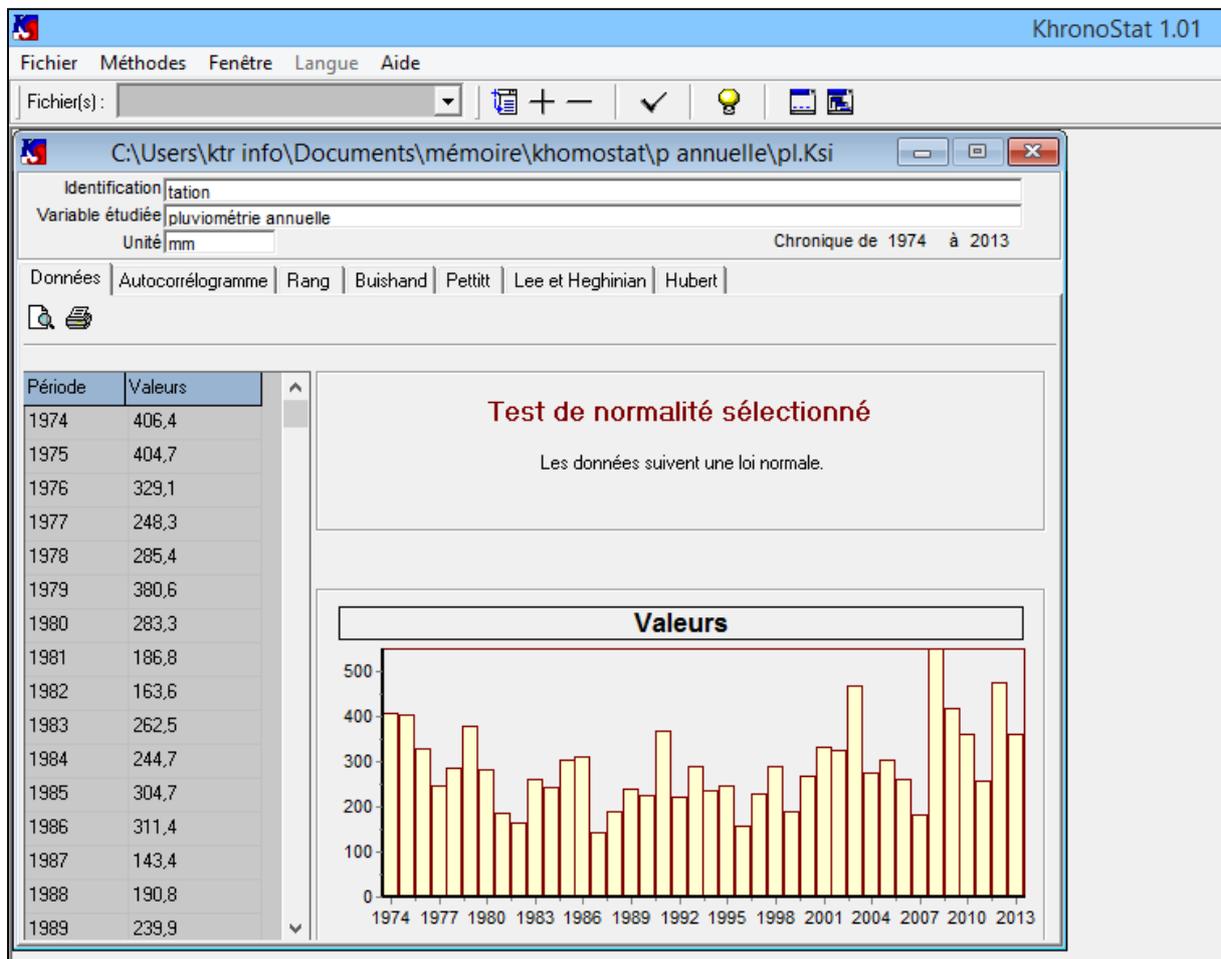
### 3- Sélection des méthodes



### 4- Exécution des méthodes



## 5-Résultats



## Annexe 4 : Résultats du test de Pettitt (annuel) « Station de Dj Chouachi »

Période	Valeurs		
	Précipitations (mm)	Lame d'eau écoulée (mm)	Température (°C)
1974-1975	31	31	-19
1975-1976	60	44	-54
1976-1977	77	83	-92
1977-1978	64	80	-124
1978-1979	67	74	-151
1979-1980	94	109	-189
1980-1981	95	142	-218
1981-1982	64	103	-202
1982-1983	29	76	-234
1983-1984	24	57	-257
1984-1985	9	28	-266
1985-1986	20	51	-275
1986-1987	33	78	-290
1987-1988	-6	53	-257
1988-1989	-35	78	-248
1989-1990	-52	83	-211
1990-1991	-75	104	-220
1991-1992	-50	93	-243
1992-1993	-75	87	-266
1993-1994	-70	78	-270
1994-1995	-89	107	-249
1995-1996	-100	92	-228
1996-1997	-137	59	-219
1997-1998	-158	60	-190
1998-1999	-151	71	-189
1999-2000	-178	48	-180
2000-2001	-181	55	-151
2001-2002	-162	54	-142
2002-2003	-147	41	-113
2003-2004	-112	50	-104
2004-2005	-113	33	-119
2005-2006	-104	-3	-94
2006-2007	-111	-34	-73
2007-2008	-144	-70	-57
2008-2009	-105	-33	-61
2009-2010	-72	-30	-22
2010-2011	-51	-51	13
2011-2012	-60	-34	14
2012-2013	-23	-15	-1

## Annexe 5 : Résultats du test de Lee et Heghinian (annuel). « Station de Dj.Chouachi »

Densité de probabilité		
Période	Précipitations (mm)	lame d'eau (mm)
1974-1975	0,0070	0,0153
1975-1976	0,0117	0,0097
1976-1977	0,0085	0,3039
1977-1978	0,0037	0,0536
1978-1979	0,0028	0,0197
1979-1980	0,0040	0,0756
1980-1981	0,0032	0,3146
1981-1982	0,0017	0,0404
1982-1983	0,0012	0,0136
1983-1984	0,0012	0,0071
1984-1985	0,0011	0,0042
1985-1986	0,0011	0,0054
1986-1987	0,0011	0,0078
1987-1988	0,0012	0,0048
1988-1989	0,0015	0,0068
1989-1990	0,0017	0,0066
1990-1991	0,0021	0,0090
1991-1992	0,0016	0,0068
1992-1993	0,0020	0,0056
1993-1994	0,0021	0,0047
1994-1995	0,0027	0,0074
1995-1996	0,0034	0,0055
1996-1997	0,0085	0,0036
1997-1998	0,0150	0,0036
1998-1999	0,0165	0,0040
1999-2000	0,0531	0,0032
2000-2001	0,0860	0,0033
2001-2002	0,0640	0,0033
2002-2003	0,0541	0,0030
2003-2004	0,0105	0,0032
2004-2005	0,0156	0,0029
2005-2006	0,0185	0,0028
2006-2007	0,0403	0,0034
2007-2008	0,5020	0,0060
2008-2009	0,0159	0,0036
2009-2010	0,0064	0,0041
2010-2011	0,0051	0,0070
2011-2012	0,0175	0,0072
2012-2013	0,0043	0,0081

## الملخص

إن الحوض الهيدرولوجي لواد بوكيو هو حوض فرعي لتافنة، ويقع في شمال غرب الجزائر. حيث يتميز بتقلبات مناخية قوية وجفاف له تأثير معين على التدفقات.

يسمح هذا العمل التالي:

- بتسليط الضوء و إثبات التقلب المناخي .
- تقييم نسبة الجفاف باستخدام المؤشرات الإحصائية التي تعمل على تحديد شدتها (EDI, SRI, ISD, ILDH, SPI, SSFI, RDI).
- فهم وتقييم أثر الجفاف على الموارد المائية وتحديد سلوك الحوض المائي باستخدام برنامج Khronostat .

إن نتائج دراسة معطيات وكميات التساقط و التدفق في مدة 40 سنة، تظهر وجود انقطاعات مرفقة بانخفاض في نسبة التساقط والسيلان مما يوضح أن الحوض المائي قد عرف مجمل فترات رطوبة و جفاف نسبي ومعتدل مع ميل إلى الجفاف . هذه التقلبات المناخية قد أثرت على سلوك الحوض المائي.

**الكلمات المفتاحية:** واد بوكيو، تقلب المناخ، الجفاف، انقطاعات، EDI, SRI, ISD, ILDH, SPI, SSFI, RDI Khronostat .

## RESUME

Le bassin versant d'Oued Boukiou est un sous bassin de la Tafna situé au Nord ouest algérien, est caractérisé par une forte irrégularité climatique, une sécheresse parfois prononcée ayant un impact certain sur les écoulements.

Le présent travail a permis de:

- Mettre en évidence la variabilité climatique,
- D'évaluer la sécheresse par utilisation des indices statistiques qui servent à quantifier sa sévérité (EDI, SRI, ISD, ILDH, SPI, SSFI, RDI),
- Comprendre et évaluer l'impact de la sécheresse sur les ressources en eau du bassin versant en utilisant le logiciel Khronostat.

Les résultats de l'analyse des données hydropluviométriques sur une période de 40 ans, montrent la présence des ruptures qui s'accompagnent d'une diminution de la pluviométrie et de l'écoulement. Elles indiquent que, le bassin a connu globalement des périodes d'humidité et de sécheresse légère et modéré avec une tendance à la sécheresse. Cette variabilité climatique a influé sur le comportement hydrologique du bassin versant.

**Mots clés :** Oued Boukiou, variabilité climatique, sécheresse, EDI, SRI, ISD, ILDH, SPI, SSFI, RDI, Khronostat, Rupture.

## Abstract

The watershed of Oued Boukiou is a sub-basin of the Tafna located in northwestern Algeria, is characterized by a strong climatic irregularity, a drought sometimes pronounced with a certain impact on the flows.

The present work allows to:

- Demonstrating climate variability
- Evaluate the drought by using the statistical indices ,which serve to quantify its severity (EDI, SRI, ISD, ILDH, SPI, SSFI, RDI),
- Understand and evaluate the impact of drought on water resources in the watershed using Khronostat software.

The results of the analysis of hydro-pluviometric data over a period of 40 years, show the presence of ruptures which are accompanied by a decrease in rainfall and flow. They also indicate that the basin has generally experienced periods of moisture and light and moderate drought with a tendency to drought. Therefore, this climatic variability has influenced the hydrological behavior of the watershed.

**Key words:** Wadi Boukiou, Climate variability, drought, EDI, SRI, ISD, ILDH, SPI, SSFI, RDI, Khronostat, Breaking.