

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 : Ressources Hydrauliques

Par : KARA AHMED Marwa

Sujet

La sensibilité des écoulements de surface aux paramètres climatiques du bassin versant de l'Oued Sebdou

Soutenu publiquement, le 08 / 06 / 2024, devant le jury composé de :

Mlle FANDI Wassila	Dr	Université de Tlemcen	Présidente
Mr MEGNOUNIF Abdesselam	Pr	Université de Tlemcen	Examineur
Mr GHENIM Abderrahmane Nekkache	Pr	Université de Tlemcen	Encadreur
Mr GHENIM Omar	Dr	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire : **2023 /2024**

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Dieu pour sa guidance, sa force et sa grâce qui m'ont accompagnée tout au long de ce parcours académique. Sa lumière a éclairé mon chemin et m'a donné la persévérance nécessaire pour surmonter les défis rencontrés durant la rédaction de ce mémoire.

Que ma reconnaissance envers Dieu soit inscrite au cœur de ce travail, comme un témoignage humble de Sa grandeur et de Sa bonté.

A mon encadreur

Mr GHENIM Abderrahmane Nekkache

De m'avoir fait l'honneur de diriger ce travail, pour son soutien, sa patience et ses conseils tout au long de ce travail. Son temps précieux et sa disponibilité constante, sa confiance en moi, Son élan pour le mémoire a été un moteur essentiel de ma réussite. Son enthousiasme constant a stimulé ma motivation à chaque étape de ce processus, tandis que son engagement a été une source d'inspiration vitale. Je lui suis profondément reconnaissante pour sa contribution inestimable à ce travail.

A mon Co-Encadreur

Mr GHENIM Omar

Pour son aide précieuse. Sa contribution a été d'une grande importance pour moi et je suis reconnaissante pour son soutien.

À la présidente du jury

Mlle FANDI Wassila

De m'avoir fait l'honneur d'accepter avec une très grande amabilité de siéger à mon mémoire comme présidente de jury.

Veillez trouver ici, le témoignage de mon respect et ma profonde reconnaissance.

A mon examinateur

Mr MEGNOUNIF Abdesselam

*Pour l'honneur d'avoir accepté d'examiner mon travail.
Je vous témoigne mon profond respect.*

Mes derniers remerciements vont à l'ensemble de mes professeurs et enseignants qui ont été des guides essentiels tout au long de mon parcours, ainsi qu'à ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à mon apprentissage et à ma croissance académique.

Dédicaces

À mon très cher père,

Que Dieu, dans sa toute-puissance, veille sur toi, t'enveloppant de ses grâces infinies et te comblant de santé, de longévité et de bonheur. Tu es la boussole qui oriente ma vie, la lumière qui guide mes pas, l'épaule sur laquelle je m'appuie et la source inépuisable de mon bonheur et de ma réussite. Ton amour inconditionnel et ta sagesse infinie ont façonné mon chemin et ont été la force motrice derrière chaque succès que j'ai pu accomplir. Chacun de tes actes empreints d'amour et de ta sagesse sans bornes ont tracé le chemin sur lequel j'avance. Ma reconnaissance envers toi est immense, pour tout ce que tu es et pour tout ce que tu as fait pour moi. À travers cette dédicace, je souhaite humblement rendre hommage à ton amour, ta bienveillance et ta présence toujours réconfortante dans ma vie.

À ma très chère maman,

Tu es mon rocher, ma muse et mon amour éternel. Que chaque jour soit illuminé par la douce lumière de ton amour maternel. Ta tendresse infinie et ta force inébranlable sont les fondements de ma vie. À travers les hauts et les bas, tu as été mon soutien constant et ma source d'inspiration. Cette dédicace est un humble témoignage de l'amour infini que je te porte. Merci pour chaque sourire, chaque étreinte et chaque sacrifice. Tu es la plus belle des âmes, et je suis infiniment reconnaissante de t'avoir comme maman.

À mon très cher petit frère

Mon compagnon de jeux, mon confident et mon allié le plus fidèle. Dans chaque éclat de rire partagé et dans chaque moment de soutien, tu as été celui qui m'a soutenu et remonté le moral à chaque fois. Notre lien va bien au-delà de la fraternité, il est le pilier sur lequel je m'appuie dans les moments difficiles. Cette dédicace est un témoignage de ma gratitude pour ta présence constante et ton soutien inconditionnel.

A mes deux sœurs

Vous êtes les rayons de soleil qui illuminent ma vie, À travers les hauts et les bas, votre amour inconditionnel et votre soutien indéfectible ont été mes plus grands trésors. Cette dédicace est un témoignage de l'amour infini que je vous porte. Merci d'être mes compagnes de vie, mes confidentes et mes amies pour toujours.

À mon cher grand-père,

Ce mémoire est un hommage à toi, celui qui m'a fait découvrir et aimer ce domaine avec tant de passion. Merci pour chaque moment partagé et pour l'inspiration que tu m'as insufflée.

À mes chères amies

Votre amitié sincère et votre soutien inconditionnel ont été une source de réconfort et de joie inestimable dans ma vie. Vous êtes les piliers de mon bonheur.

Marwa

SOMMAIRE

Résumé	VII
Liste des abréviations	VIII
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	X
Introduction générale	1

CHAPITRE 1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE OUED SEBDOU	2
II.MORPHOMETRIE DU BASSIN VERSANT DE OUED SEBDOU.....	2
III.CARACTERISTIQUES DE FORME.....	3
III.1.Indice de compacité Kc.....	3
III.2.Rectangle équivalent.....	3
III.3.Etude de relief.....	4
III.3.1. Répartition altimétrique.....	4
III.3.2. Altitudes caractéristiques	6
III.3.3. Indice de pente	6
3.3.1. Indice de pente de roche	6
3.3.2. Indice de pente globale	7
3.3.3. Indice de pente moyenne	8
3.3.4. Dénivelée spécifique.....	8
IV.CARACTERISTIQUES DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	8
IV.1. Hiérarchisation du réseau.....	9
IV.2. Densité de drainage.....	9
IV.3. Fréquence des thalwegs d'ordre 1	10
IV.4. Fréquence des cours d'eau	10
IV.5. Coefficient de torrencialité	10
IV.6. Rapport de confluence	10
IV.7. Temps de concentration des eaux	11
V.CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	11
V.1. La géologie de Oued Sebou	11
V.1.1. Description litho-stratigraphique.....	13
V.1.2. Litho-stratigraphie	13
1.2.1. Séries anciennes.....	13

1.2.2. Séries récentes	14
V.1.3. Log Litho-stratigraphique.....	15
V.2. L'hydrogéologie de l'Oued Sebdou	16
V.2.1. L'aquifère	16
V.2.2. Formations à fort potentiel aquifère	16
V.2.3. Formations à faible potentiel aquifère.....	16

CHAPITRE 2. METHODE D'ETUDE

I.COEFFICIENT D'ECOULEMENT	17
II.LE TEST DE TENDANCE DE MANN-KENDALL	17
III.LA PENTE DE ŞEN	18
IV.L'APPROCHE ÉLASTIQUE	18
V.LA CORRELATION ENTRE PRECIPITATIONS, TEMPERATURE ET DEBIT.....	19
VII.LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE.....	21
VII.POLYGONES PRECIPITATION-DEBIT ET COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT.....	21

CHAPITRE 3. RESULTATS ET DISCUSSION

I.VARIABILITE TEMPORELLE DES PRECIPITATIONS, DES TEMPERATURES ET DES DEBITS	23
I.1. VARIABILITE TEMPORELLE DES PRECIPITATIONS	23
I.1.1. Echelle annuelle	23
I.1.2. Echelle saisonnière.....	23
I.1.3. Echelle mensuelle	24
I.1.4. La saison humide	25
I.1.5. La saison sèche	26
I.2. VARIABILITE TEMPORELLE DES TEMPERATURES	26
I.2.1 Echelle annuelle	26
I.2.2 Echelle saisonnière.....	27
I.2.3 Echelle mensuelle	27
I.2.4 La saison humide	28
I.2.5. La saison sèche	29
I.3. VARIABILITE TEMPORELLE DES DEBITS	30
I.3.1. Echelle annuelle	30
I.3.2. Echelle saisonnière.....	30
I.3.3. Echelle mensuelle	31
I.3.4. La saison humide	32

I.3.5. La saison sèche	32
II.TENDANCES DES PRECIPITATIONS, DES TEMPERATURES ET DES DEBITS PAR LE TEST DE MANN-KENDALL ET LA PENTE DE ŞEN	33
II.1. TENDANCES DES PRECIPITATIONS.....	33
II.2. TENDANCES DES TEMPERATURES	34
II.3. TENDANCES DES DEBITS.....	35
III.RELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS ET LES TEMPERATURES ET LES DEBITS.....	36
III.1. RELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS ET LES DEBIT	36
III.1.1. Elasticité précipitations-débits	36
III.1.2. Corrélation précipitations-débits	39
III.2. RELATIONS ENTRE LES TEMPERATURES ET LES DEBITS	41
III.2.1. Elasticité températures-débits	41
III.2.2. Corrélation températures-débits	44
IV.REGRESSION LINEAIRE PRECIPITATION-TEMPERATURE-DEBIT	46
V.POLYGONES PRECIPITATION-DEBIT ET COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT.....	47
V.1. Coefficients de ruissellement	47
V.2. Polygones Précipitation-Débit	48
CHAPITRE.4 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	
I.1 Conclusion.....	50
II.2 Recommandations.....	52
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	54

Résumé :

La variabilité climatique, une gestion des ressources en eau insuffisante et l'intensification des activités humaines représentent les trois principaux défis susceptibles de compromettre les écoulements et la disponibilité en eau dans les bassins versants Algériens, Cette situation se manifeste de manière particulièrement prononcée dans le bassin de la Tafna, situé dans une région caractérisée par un climat semi-aride. Cette étude approfondie examine les régimes pluviométriques, thermiques et hydrologiques, ainsi que leurs évolutions temporelles dans le bassin versant de l'Oued Sebdou, un sous bassin de la Tafna, situé dans le Nord-Ouest algérien. L'analyse du bassin versant d'Oued Sebdou a impliqué une gamme de méthodes et de tests, notamment le test de tendance de Mann-Kendall et la méthode de la pente de Sen, ainsi que des approches telles que la régression et la corrélation de Pearson pour évaluer les interrelations entre les variables hydrologiques. Pour le traitement des données, le logiciel R Studio a été utilisé, tandis qu'ArcGIS a été employé pour la représentation cartographique de la zone d'étude. L'étude sur le bassin versant d'Oued Sebdou sur près de cinq décennies (1972-2021), révèle une sensibilité croissante des ressources en eau aux changements climatiques, avec une diminution des précipitations, une hausse des températures et une complexité dans les variations des débits. Les analyses mettent en évidence des liens étroits entre précipitations, températures et débits, soulignant l'importance cruciale d'une gestion durable des ressources en eau face aux défis climatiques actuels et futurs.

ملخص:

التباين المناخي، والإدارة الغير كافية لموارد المياه، وتساعد الأنشطة البشرية يمثلون أبرز ثلاثة تحديات قد تهدد تدفقات المياه وتوافرها في حوض الأنهار الجزائرية. تظهر هذه الحالة بشكل خاص في حوض تافنة، الذي يقع في منطقة تتميز بمناخ شبه جاف. تتناول هذه الدراسة العميقة تحليل الأنظمة المطرية والحرارية والهيدرولوجية، وتطورها مع مرور الوقت في حوض نهر سبدو، وهو إحدى فروع حوض تافنة، والواقع في الشمال الغربي الجزائري. شمل تحليل حوض نهر سبدو مجموعة من الطرق والاختبارات، بما في ذلك اختبار الاتجاه لمان-كيندال وطريقة الميل لسين، بالإضافة إلى النهج مثل التحليل الانحداري والترابط بيرسون لتقييم التفاعلات بين المتغيرات الهيدرولوجية.

ArcGis, Rstudio لمعالجة البيانات وتمثيلها على الخرائط، تم استخدام برامج

تكشف الدراسة عن حساسية متزايدة لموارد المياه تجاه التغيرات المناخية على مدى خمسة عقود تقريباً (من ١٩٧٢ إلى ٢٠٢١)، مع انخفاض في كميات الأمطار وارتفاع في درجات الحرارة وتعقيد في تغيرات تدفق المياه. تسلط التحليلات الضوء على العلاقات الوثيقة بين الأمطار ودرجات الحرارة وتدفقات المياه، مما يؤكد على أهمية البالغة لإدارة مستدامة لموارد المياه في مواجهة التحديات المناخية الحالية والمستقبلية.

Abstract :

The climatic variability, insufficient water resource management, and intensification of human activities represent the three main challenges that could compromise water flows and availability in Algerian watersheds. This situation is particularly pronounced in the Tafna basin, located in a region characterized by a semi-arid climate. This comprehensive study examines the pluviometric, thermal, and hydrological regimes, as well as their temporal evolutions in the Oued Sebdou watershed, a sub-basin of the Tafna, located in northwestern Algeria. The analysis of the Oued Sebdou watershed involved a range of methods and tests, including the Mann-Kendall trend test and the Sen slope method, as well as approaches such as regression and Pearson correlation to evaluate the interrelationships between hydrological variables. For data processing, R Studio software was used, while ArcGIS was employed for the cartographic representation of the study area. The study on the Oued Sebdou watershed over nearly five decades (1972-2021) reveals an increasing sensitivity of water resources to climate change, with decreasing precipitation, rising temperatures, and complexity in flow variations. The analyses highlight close links between precipitation, temperatures, and flows, underscoring the crucial importance of sustainable water resource management in the face of current and future climate challenges.

Liste des abréviations :

Les abréviations sont classées par ordre d'apparition dans le texte.

Kc : Indice de compacité.

Ip : Indice de pente.

Ipr : Indice de pente de Roche.

Ig : Indice de pente global.

Ipm : Indice de pente moyenne.

Ds : Dénivelée spécifique.

Dd : Densité de drainage.

F1 : Fréquence des thalwegs d'ordre 1

Fs : Fréquence des cours d'eau

Ct : Coefficient de torrentialité.

Rc : Rapport de confluence.

Tc : Temps de concentration.

Ce : Coefficient d'écoulement.

Le : Lame d'eau écoulée.

MK : Test de Mann-Kendall.

ϵ_p : Estimateur non-paramétrique de l'élasticité pluviométrique du débit.

ϵ_t : Estimateur non-paramétrique de l'élasticité température-débit.

r : Le coefficient de corrélation linéaire (Pearson).

Liste des figures

Figure I.1: Situation du bassin versant d'Oued Sebdou.....	2
Figure I.2: La carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Sebdou	5
Figure I.3: La courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Sebdou	5
Figure I.4: Réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Sebdou	9
Figure I.5: Carte structurale de l'Oranie nord-occidentale (Thomas, 1985)	12
Figure I.6: Log stratigraphique du fossé de Sebdou (Baba Hamed et Kerzabi, 1911)	15
Figure II.7: Représentation du polygone pluie-lames d'eau mensuelles.....	22
Figure III.8: Variation interannuelle des précipitations	23
Figure III.9: Variation moyenne saisonnières des précipitations	24
Figure III.10: Variation moyenne mensuelle des précipitations.....	24
Figure III.11: Variation mensuelle des précipitations	25
Figure III.12: Variation des précipitations de la saison humide.....	25
Figure III.13: Variation des précipitations de la saison sèche	26
Figure III.14: Variation interannuelle de la température	27
Figure III.15: Variation saisonnière de la température	27
Figure III.16: Variation moyenne mensuelle de la température	28
Figure III.17: Variation mensuelle de la température.....	28
Figure III.18 : Variation de la température de la saison humide	29
Figure III.19: Variation de la température de la saison sèche	29
Figure III.20: Variation interannuelle des débits.....	30
Figure III.21: Variation des débits saisonniers.....	31
Figure III.22: Variation des débits moyens mensuels.....	31
Figure III.23: Variation des débits mensuels	32
Figure III.24: Variation des débits de la saison humide	32
Figure III.25: Variation des débits de la saison sèche	33
Figure III.26: Valeurs annuelles de l'estimateur non paramétrique et valeur du coefficient d'élasticité des précipitations aux écoulements superficiels.....	37
Figure III.27: Valeurs de l'estimateur non paramétrique des précipitations et des débits à des échelles temporelles	38
Figure III.28: Corrélacion précipitation-débit annuel et Modèle de régression	40
Figure III.29: Corrélacion pluie-débit à l'echelle temporelle sur la période 1972-73 au 2020-2021.....	41
Figure III.30: Valeurs annuelles de l'estimateur non paramétrique et valeurs de coefficient d'élasticité de la température.	42
Figure III.31: Valeurs de l'estimateur non paramétrique des températures et des débits à des échelles temporelles	43
Figure III.32: Corrélacion température-débit annuel et Modèle de régression	45
Figure III.33: Corrélacion température-débit à l'échelle temporelle sur la période 1972-73 au 2020-21	46
Figure III.34: Polygone précipitations-lames d'eau moyenne mensuelle	48
Figure III.35: Polygones précipitations-débits sur cinq décennies (1972-73 à 2020-2021)...	49

Liste des tableaux

Tableau I.1: Caractéristiques de forme du bassin versant d'Oued Sebdou	4
Tableau I.2: Répartition altimétrique des surfaces du bassin versant d'Oued Sebdou.....	4
Tableau I.3: Altitudes caractéristiques du bassin versant d'Oued Sebdou	6
Tableau I.4: Données pour le calcul de l'indice de pente de Roche.....	7
Tableau I.5: Classification du relief selon O.R.S.T.O.M.....	7
Tableau I.6: Classification du relief selon O.R.S.T.O.M à partir de Ds	8
Tableau I.7: Rapport de confluence	11
Tableau I.8: Classification des caractéristiques du réseau hydrographique	11
Tableau III.9: Tendances des tests Mann-Kendall de Şen Pentes de en des précipitations ...	34
Tableau III.10: Tendances des tests Mann-Kendall et Pentes de Şen des températures	35
Tableau III.11: Tendances des tests Mann-Kendall et la pente de Şen des débits	36
Tableau III.12: Coefficients d'élasticité pluviométrique du débit	39
Tableau III.13: Équations et Coefficients de corrélation précipitations-débits.....	40
Tableau III.14: Coefficients d'élasticité température-débit	44
Tableau III.15: Équations et Coefficients de corrélation température-débit	45
Tableau III.16: Modèles de régression et coefficients de détermination entre précipitation, température et débit	47
Tableau III.17: Valeurs des coefficients d'écoulement moyens mensuels et annuel (%).....	48

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE :

L'eau est une ressource vitale qui façonne notre environnement, soutient la vie sur terre et joue un rôle essentiel dans de nombreux processus naturels et humains. Parmi les nombreux facteurs qui influent sur la disponibilité et la distribution de l'eau, le climat occupe une place prépondérante. En effet, les paramètres climatiques ont un impact sur le cycle hydrologique, régissant la quantité, la répartition spatiale et la qualité de l'eau. La gestion efficace des ressources en eau est devenue une préoccupation majeure à l'échelle mondiale, en raison des pressions exercées par les changements climatiques sur les régimes hydrologiques. Les changements climatiques ont un impact significatif sur les régimes hydrologiques, modifiant les schémas de précipitations, la température et les débits.

En Afrique du Nord, le changement climatique a généré une augmentation des températures et une diminution des précipitations augmentant ainsi la vulnérabilité de cette région semi-aride en matière de stress hydrique. Ainsi, depuis près de cinq décennies, l'Algérie est confrontée à de faibles précipitations caractérisées par une forte variabilité spatiale et temporelle, un faible ruissellement, une évapotranspiration élevée et une sécheresse accrue, engendrant un stress hydrique élevé (Sellami et al., 2016). Plusieurs chiffres du déficit pluviométrique détecté à partir de la décennie 1970 ont été publiés. Il est estimé entre 25 et 40% (Arnell 1999 ; Knippertz et al. 2003 ; Meddi et Hubert, 2003 ; Ghenim et al., 2010 ; Ghenim et Megnounif, 2013). Quant aux températures, l'évolution temporelle est conforme à la situation mondiale subissant une augmentation sensible. On estime la tendance au réchauffement dans le nord du pays de 0,2 à 0,4° C par décennie (Zeroual et al., 2017). Ces modifications ont eu un impact direct sur les ressources en eau. La baisse du débit dans les cours d'eau a atteint 60 % (Ghenim et al., 2010 ; Taibi et al. 2017).

Le bassin de la Tafna, situé au nord-ouest de l'Algérie, est l'un des bassins versants les plus importants assurant l'autosuffisance en eau de cette région (Zettam et al. 2017). Le bassin de la Tafna a été impacté par le déclin de la ressource en eau au cours des années 1970 (Meddi et Hubert 2003, Ghenim et al., 2010 ; Ghenim et Megnounif, 2013 a et b ; Mami et al. 2021). Le barrage de Béni Bahdel qui constitue l'exutoire de la zone d'étude s'est vu son apport annuel diminuer dangereusement. Depuis 1973-74 où l'on a enregistré un apport en eau de 172,7 Hm³ soit près de trois fois la capacité du barrage, la diminution annuelle des apports a été presque continue pour atteindre 5,9 Hm³ en 1996-97. Le sous-bassin de l'Oued Sebdo qui contribue avec celui d'Oued Khemis à l'alimentation du barrage Béni Bahdel présente un intérêt particulier en raison de sa sensibilité aux changements climatiques et de son importance pour les populations locales en termes d'approvisionnement en eau, d'agriculture et de biodiversité.

Les objectifs de cette étude sont (1) d'identifier la variabilité et les tendances temporelles des précipitations, des températures et des débits dans le sous-bassin versant de l'Oued Sebdo ; et (2) explorer les influences des deux paramètres climatiques sur la ressource en eau superficielle.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres principaux. Le premier chapitre se concentre sur la présentation du bassin versant ainsi que des données utilisées. Le deuxième chapitre expose la méthodologie de l'étude. Dans le troisième chapitre, les résultats sont présentés et discutés. Une conclusion générale synthétise le travail. Elle est suivie par des recommandations pertinentes pour la gestion future des ressources en eau dans le bassin versant d'Oued Sebdo.

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

I. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE OUED SEBDOU :

Le bassin versant d'Oued Sebdo, situé dans l'extrême nord-ouest de l'Algérie, est intégré au bassin versant de la haute Tafna, en amont de barrage de Béni Bahdel (figure I.1). Le bassin couvre une superficie de 605,9 Km² pour un périmètre de 150,99 Km. L'altitude moyenne étant de 1100,5m. La forme du bassin versant détermine le temps de réponse aux précipitations. Il est limité par : Beni Behdel, Oued Chouly et Beni Semiel au nord ; Sidi Djillali et El Aricha au sud ; El Gor et Ain Tallou à l'est ; Le plateau des Azaïls et Ain Ghoraba à l'ouest.

Pour le suivi des paramètres climatiques et hydrologiques, deux stations ont été mises en place :

- La station climatique, avec le code de station 16 04 03, permet de mesurer les données météorologiques du bassin.
- La station hydrométrique, avec le code de station 16 04 02, permet de surveiller le flux des eaux dans le bassin versant

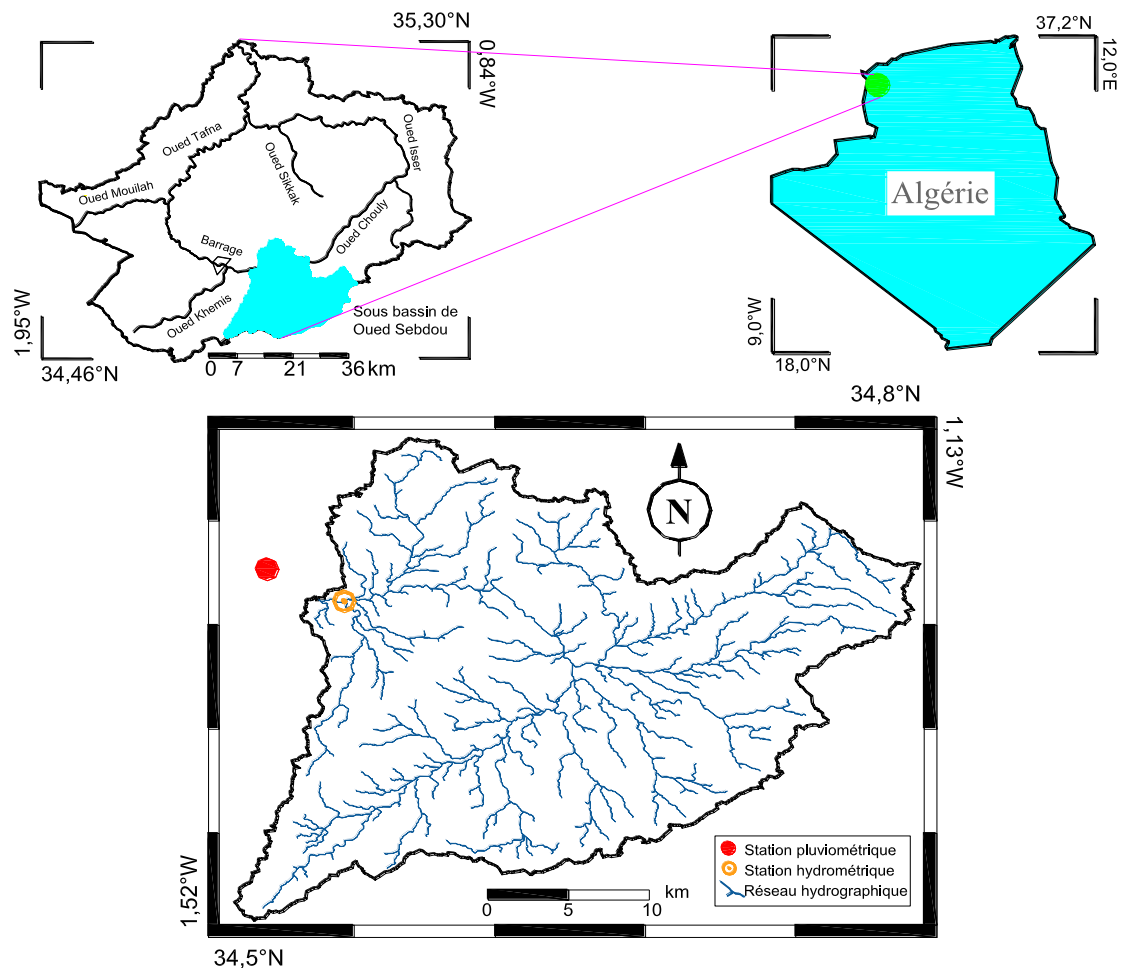


Figure I.1: Situation du bassin versant d'Oued Sebdo

II. MORPHOMETRIE DU BASSIN VERSANT D'OUED SEBDOU :

La morphométrie du bassin versant de l'oued Sebdou est cruciale pour comprendre l'écoulement naturel des eaux, étant donné qu'il est influencé à la fois par les conditions climatiques et les caractéristiques physiques spécifiques de ce bassin (tableau I.1). Les aspects essentiels étudiés dans cette morphométrie incluent la forme, le relief et la disposition du réseau hydrographique.

Les caractéristiques morphométriques telles que la courbe hypsométrique, la forme du bassin, la longueur du cours d'eau principal, la densité de drainage, la fréquence du flux, entre autres, sont analysées pour comprendre la géomorphologie et le relief du bassin. Ces paramètres sont essentiels pour évaluer l'écoulement des bassins versants, les risques d'érosion et la hiérarchisation des sous-bassins versants. Les études soulignent l'importance de ces analyses pour la gestion des ressources en eau et la compréhension des risques naturels associés à ces bassins versants.

III. CARACTERISTIQUES DE FORME :

III.1. Indice de compacité K_c :

L'indice de compacité de Gravelius (KG) est un paramètre utilisé pour évaluer la forme d'un bassin versant, ce qui influence le débit de crue et, par conséquent, l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée. Il est calculé en comparant le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle de même surface, ce qui permet d'évaluer la compacité du bassin.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (1)$$

$$K_c = 1,71$$

S : superficie du bassin versant (Km^2)

P : Périmètre du bassin versant (Km)

Avec une valeur de $K_c = 1,71$, on remarque que le bassin versant de l'Oued Sebdou a une forme allongée. Un indice de compacité plus proche de 1 indiquerait une forme circulaire, tandis qu'un indice plus élevé indiquerait une forme plus allongée ou irrégulière. Un indice de compacité de 1,71 confère au bassin versant de l'Oued Sebdou une forme allongée impliquant un temps de concentration des eaux relativement élevé.

III.2. Rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est introduit afin de faciliter la comparaison des bassins versants en termes d'impact sur l'écoulement. Pour ce faire, on cherche à déterminer les dimensions d'un rectangle qui présente la même aire et le même indice de compacité que le bassin étudié. La longueur du rectangle équivalent est obtenue par une transformation géométrique où le bassin est représenté par un rectangle de longueur L. Dans cette représentation, les courbes de niveau du bassin deviennent des lignes droites parallèles à la largeur l du rectangle. Les dimensions L et l, correspondant respectivement à la longueur et à la largeur du rectangle équivalent, sont définies selon ce processus :

La longueur du rectangle équivalent :

$$\text{Longueur (L)} : L = \frac{K_c \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad L = 65,9 \text{ km} \quad (2)$$

La largeur du rectangle équivalent :

$$\text{La largeur (l)} : l = \frac{Kc\sqrt{s}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc}\right)^2} \right] \quad l = 9,18 \text{ km} \quad (3)$$

Tableau I.1: Caractéristiques de forme du bassin versant d'Oued Sebdou

Bassin	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Kc	Longueur (km)	Largeur (km)
Sebdou	605,9	150,99	1,71	65,9	9,18

III.3. Etude de relief

Le relief est un facteur essentiel car il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin. Le bassin est caractérisé par deux ensembles distincts : au Nord et au Nord-Ouest par un Horst, au Sud et à l'Est par un graben rempli de sédiments plio - quaternaires correspondant au fossé de Sebdou. La région montagneuse du bassin versant de l'Oued Sebdou est caractérisée par une topographie diversifiée. Au nord, se dresse le Djebel Bou-chouk qui atteint une altitude de 1382 mètres, tandis qu'au sud se trouvent le Djebel El Hamar (1314 mètres) et le Djebel Nouffai (1185 mètres). À l'ouest, on trouve le Djebel El Guern (1307 mètres), et à l'est, le relief est marqué par des sommets tels que le Djebel Maiter (1217 mètres), le Djebel Lato (1371 mètres), le Djebel El Arbi (1239 mètres) et le Djebel Si Abdallah (1368 mètres). Ces différents massifs montagneux délimitent efficacement le fossé du bassin versant, offrant ainsi une variété de reliefs qui jouent un rôle crucial dans la dynamique hydrologique de la région.

3.1. Répartition altimétrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin (figure I.3), donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle est construite en calculant les surfaces entre les courbes de niveau, représentant différentes altitudes. Nous avons réalisé la carte hypsométrique en utilisant le logiciel ArcGIS. Chaque tranche d'altitude correspond à une superficie spécifique et à un pourcentage de la surface totale du bassin versant de l'Oued Sebdou (tableau I.2). En établissant un diagramme des fréquences altimétriques (figure I.2), nous plaçons les tranches d'altitudes sur l'axe des ordonnées et les superficies cumulées correspondantes sur l'axe des abscisses. Cette démarche permet de visualiser et d'analyser la répartition des altitudes dans le bassin versant d'Oued Sebdou.

Tableau I.2: Répartition altimétrique des surfaces du bassin versant d'Oued Sebdou

Altitude (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (km ²)	Surface cumulée (%)	Hi moyenne
1616-1500	1,07482	0,16	13,701339	0,16	1558
1500-1400	10,97196	1,81	14,776159	1,97	1450
1400-1300	55,23014	9,12	25,748127	11,09	1350
1300-1200	89,12047	14,71	80,978263	25,80	1250
1200-1100	147,38733	24,33	170,098730	50,13	1150

1100-1000	154,07204	25,43	317,486065	75,56	1050
1000-900	93,42630	15,42	471,558107	90,98	950
900-800	26,89487	4,44	564,984411	95,42	850
800-700	22,70135	3,75	591,879282	99,17	750
700-645	5,02792	0,83	605,907209	100	672,5

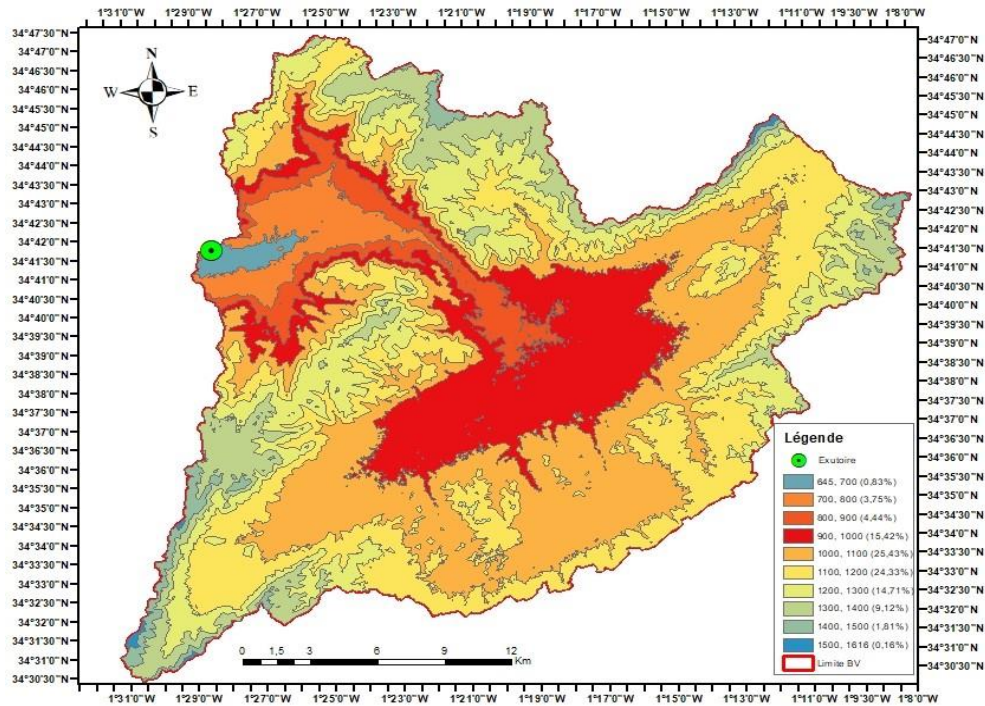


Figure I.2: La carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Sebdu

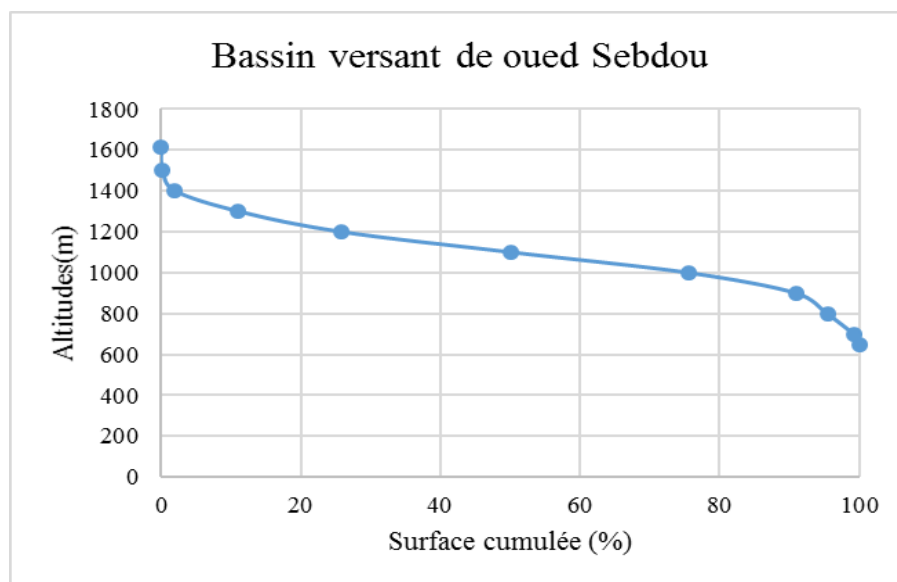


Figure I.3: La courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Sebdu

3.2. Altitudes caractéristiques

Les altitudes présentent plusieurs caractéristiques importants (tableau I.3) :

L'altitude moyenne : l'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique, c'est le rapport de la somme des surfaces élémentaires par les altitudes moyennes correspondantes sur la surface totale du bassin versant de l'Oued Sebdou (tableau I.3).

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum(h_i \cdot A_i)}{A} = 1100,5 \text{ m} \quad (4)$$

Avec :

H_i : L'altitude moyenne entre deux courbes de niveau ;

A_i : La surface entre deux courbes de niveau (km²) ;

A : La surface totale du bassin versant (605,9 km²).

Les altitudes maximale et minimale : elles sont obtenues directement à partir de la carte, l'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin versant d'Oued Sebdou tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas.

$$H_{\text{max}} = 1616\text{m.}$$

$$H_{\text{min}} = 645\text{m.}$$

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

$$H_{50\%} = 1099,8\text{m.}$$

Les altitudes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$: les altitudes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ représentent la répartition des altitudes d'un terrain, en indiquant respectivement le niveau en dessous duquel se trouvent 5% et 95% de la surface du terrain.

$$H_{5\%} = 1350\text{m}$$

$$H_{95\%} = 820\text{m}$$

Tableau I.3: Altitudes caractéristiques du bassin versant d'Oued Sebdou

Altitude (m)	H_{max}	H_{min}	H_{moy}	$H_{5\%}$	$H_{50\%}$	$H_{95\%}$
BV Sebdou	1616	645	1100,5	1350	1100	820

3.3 L'indice de pente

La pente topographique est essentielle pour comprendre comment l'eau se déplace dans un bassin versant. Elle influence fortement la capacité des sols à permettre l'écoulement des eaux de pluie et dicte la vitesse à laquelle ces eaux s'écoulent en surface sous l'effet de la gravité.

3.3.1. Indice de pente de Roche

C'est un indice, élaboré par Roche en 1964, représente la moyenne pondérée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, calculée à partir de la racine carrée de ces pentes. Il est exprimé en pourcentage (tableau I.4).

$$I_{pr} = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{A_i (H_i - (H_{i-1}))} = 2,61\% \quad (5)$$

Avec :

A_i : Fraction de la surface totale du bassin comprise entre les cotes H_i et H_{i-1} ;

L : Longueur du rectangle équivalent (m),

$(H_i - H_{i-1})$: Dénivelée entre deux courbes de niveau voisines (m).

Tableau I.4: Données pour le calcul de l'indice de pente de Roche

Tranches d'altitude (m)	Surface (km ²)	($H_i - H_{i-1}$) (m)	$\sqrt{A_i (H_i - (H_{i-1}))}$
645-700	5,027918	55	16,6293
700-800	22,701348	100	47,6459
800-900	26,894871	100	51,8602
900-1000	93,426304	100	96,6572
1000-1100	154,072042	100	124,1257
1100-1200	147,387330	100	121,4031
1200-1300	89,120472	100	94,4036
1300-1400	55,230136	100	74,3169
1400-1500	10,971968	100	33,1239
1500-1616	1,074820	116	11,1659
			$\Sigma = 671,332341$

3.3.2. Indice de pente globale

L'indice de pente globale est donné par le rapport de la dénivelée utile sur la longueur du rectangle équivalent, Il s'exprime de façon suivante :

$$I_{pg} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} = 8,04 \text{ m/km} = 0,00804\text{m} \quad (6)$$

Avec :

D : Dénivelée $H_{5\%} - H_{95\%}$, définie sur la courbe hypsométrique ou même directement à l'œil sur la carte topographique ;

L : Longueur du rectangle équivalent.

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

R1	Relief très faible	$I_g < 0,002$
R2	Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005$
R3	Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$
R4	Relief modéré	$0,01 < I_g < 0,02$
R5	Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0,05$
R6	Relief fort	$0,05 < I_g < 0,1$
R7	Relief très fort	$0,1 < I_g$

D'après la classification d'O.R.S.T.O.M (tableau I.5) notre bassin se caractérise par un relief assez faible.

3.3.3 Indice de pente moyenne

La pente moyenne est un indicateur crucial pour comprendre la topographie d'un bassin versant, ainsi que son impact sur le ruissellement et le débit maximum pendant les précipitations. Elle est définie comme le rapport entre la dénivelée totale du rectangle équivalent et sa longueur.

$$I_{pm} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} = 14,7\% \quad (7)$$

Avec :

H_{max} et H_{min} : Altitudes maximale et minimale du bassin versant (m),

L : Longueur du rectangle équivalent (m).

3.3.4. Dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique (DS) est calculée en multipliant l'indice de pente global (I_{pg}) par la racine carrée de la superficie du bassin versant. Il existe une faible corrélation négative entre la dénivelée spécifique et deux autres facteurs, à savoir la densité de drainage (D_d) et l'indice de compacité de Gravelius (K_C). La classification du relief selon O.R.S.T.O.M à partir de D_s est au tableau I.6.

$$D_s = I_{pg} * \sqrt{A} = 197,9 \text{ m} \quad (8)$$

Avec :

I_{pg} : Indice de pente global (m/km),

A : Superficie du bassin versant (km²).

Tableau I.6: Classification du relief selon O.R.S.T.O.M à partir de D_s

Relief	Type du relief	Valeurs D_s
1	Relief très faible	$D_s < 10$
2	Relief faible	$10 < D_s < 25$
3	Relief assez faible	$25 < D_s < 50$
4	Relief modéré	$50 < D_s < 100$
5	Relief assez fort	$100 < D_s < 250$
6	Relief fort	$250 < D_s < 500$
7	Relief très fort	$D_s > 500$

Avec une dénivelée spécifique (D_s) dépassant les 100 mètres dans le tableau I.6, le bassin versant de l'Oued Sebdou présente un relief assez fort, ce qui, selon notre évaluation, correspond davantage à la morphologie de notre bassin.

IV. CARACTERISTIQUES DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

Le réseau hydrographique représente la totalité des voies naturelles de drainage où convergent les eaux issues du ruissellement ou libérées par les nappes souterraines, se manifestant sous forme de sources ou s'écoulant de manière continue le long du lit des cours d'eau. Ce réseau

peut être défini par trois aspects principaux : sa structure hiérarchisée, son étendue (nombre et longueur des cours d'eau) et son profil en long (tableau I.8).

IV.1. Hiérarchisation du réseau :

La hiérarchisation du réseau hydrographique dans le bassin versant de l'oued Sebdu (figure I.4) repose sur une méthode de classification topologique, initialement proposée par Horton en 1945 et ultérieurement adaptée par Strehler en 1947. Cette approche demeure la plus couramment utilisée aujourd'hui. Son principe fondamental est le suivant :

- Les cours d'eau dépourvus d'affluents sont catégorisés comme étant d'ordre (1).
- Lorsque deux cours d'eau de même ordre, n, convergent, le cours d'eau issu de leur confluence est classé d'ordre n+1.
- Un cours d'eau recevant un affluent de moindre ordre conserve son propre ordre.

La configuration et la hiérarchie du réseau hydrographique sont étroitement conditionnées par divers facteurs, notamment la géologie (plissement, nature du substratum, accidents géologiques), le climat (niveau d'humidité, précipitations), la topographie (inclinaison des terrains) ainsi que l'impact de l'activité humaine. Nous avons réalisé la carte de la figure I.4 du réseau hydrographique en utilisant le logiciel ArcGIS :

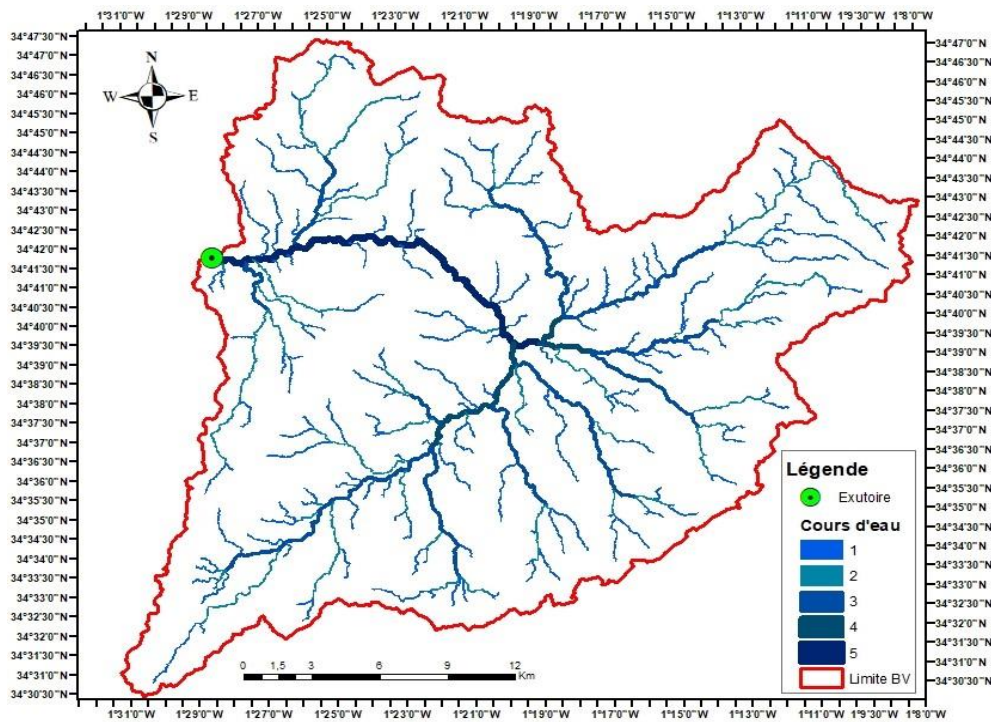


Figure I.4: Réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Sebdu

IV.2. Densité de drainage

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

$$Dd = \frac{\sum Li}{A} = 0,91(\text{km}/ \text{km}^2). \tag{9}$$

Avec :

Li : Longueur de cours d'eau (km) ; (554,918223km)

A : Surface du bassin versant (km²).

Une densité de drainage de 0,91km/km² est généralement faible selon les normes hydrologiques, pour le bassin de l'Oued Sebdou ce qui est une caractéristique des régions semi-arides, la faible densité de drainage peut être le reflet des conditions hydrologiques typiques des régions semi-arides, ou la disponibilité d'eau et les caractéristiques du sol influent sur la capacité du bassin versant à évacuer l'eau de manière efficace.

IV.3. Fréquence des thalwegs d'ordre 1

C'est le rapport du nombre total de thalwegs d'ordre 1 à la surface du bassin versant :

$$F1 = \frac{N_1}{A} = 0,62 \text{ km}^{-2} \quad (10)$$

Avec :

N1 : Nombre total des cours d'eau d'ordre 1 ;

A : Surface (km²).

IV.4. Fréquence des cours d'eau

Représente le nombre de cours d'eau par unité de surface :

$$F_s = \frac{N_t}{A} = 1,15 \text{ km}^{-2} \quad (11)$$

Avec :

Nt : Nombre total des cours d'eau ;

A : Surface (km²).

IV.5. Coefficient de torrentialité

Le coefficient de torrentialité est une mesure qui prend en considération à la fois la fréquence des principaux cours d'eau, appelés thalwegs d'ordre 1, et la densité du réseau de cours d'eau dans un bassin versant.

$$C_t = D_d \cdot F_1 = 0,56 \quad (12)$$

Avec :

D_d : Densité de drainage ;

F₁ : Fréquence des thalwegs d'ordre 1.

IV.6. Rapport de confluence

C'est le rapport du nombre de thalwegs d'ordre « n » par celui des thalwegs d'ordre supérieur (n+1) donnée par la relation (tableau I.7) :

$$R_c = \frac{N_n}{N_{n+1}} \quad (13)$$

Avec :

N_n : Nombre de thalwegs d'ordre n ;

N_{n+1} : Nombre de thalwegs d'ordre n+ 1.

Tableau I.7: Rapport de confluence

Ordre	1/2	2/3	3/4	4/5	Moyenne
Rapport de confluence	2,43	1,55	3,03	0,89	1,97

IV.7. Le temps de concentration des eaux :

Le temps de concentration des eaux, également appelé temps de trajet, désigne la durée nécessaire pour qu'une particule d'eau, provenant de la partie la plus éloignée du bassin versant, atteigne l'exutoire (tableau I.8). Pour le calculer, nous utilisons la formule de Giandotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{(S+1.5L)}}{0.8\sqrt{[H_{moy}-H_{min}]}} \quad (14)$$

Avec : T_c : temps de concentration (heure)

A : superficie du bassin (km²)

L : longueur du thalweg principal (km)

H_{moy} : altitude moyenne (m)

H_{min} : altitude minimale (m)

Tableau I.8: Classification des caractéristiques du réseau hydrographique

Caractéristiques	Valeurs
Rapport de confluence	1,97
Indice de pente moyenne I_{pm}	14,7%
Indice de pente global I_g	8,04 m/km
Relief selon I_g	Relief assez faible
Indice de pente de Roche I_p	2,61%
Dénivelée spécifique D_s	197,9 m
Relief selon D_s	Relief assez fort
Densité de drainage D_d	0,91km/ km ²
Fréquence des thalwegs d'ordre 1 F_1	0,62 km ⁻²
Fréquence des cours d'eau F_s	1,15 km ⁻²
Coefficient de torrentialité C_t	0,56

V. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE :

V.1. Géologie de l'Oued Sebdu

La géologie du bassin versant de l'Oued Sebdou est influencée par les caractéristiques géologiques des Monts de Tlemcen, qui composent un édifice régulier essentiellement constitué de terrains mésozoïques et cénozoïques. Les Monts de Tlemcen présentent des assises sédimentaires attribuées au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur, principalement formées de carbonates (figure I.5). Ces formations constituent la bordure méridionale des Monts de Tlemcen, localisée dans le couloir délimité à l'ouest par l'accident de la Tafna et à l'est par celui d'Oued Chouly. Cette structure géologique influe directement sur la dynamique hydrologique et les caractéristiques environnementales du bassin versant de l'Oued Sebdou. Au nord, la dépression principalement remplie de sédiments du Miocène, surmontés de graviers argileux et de conglomérats Plio-quaternaires, contraste avec les massifs montagneux au sud et à l'est, exposant des terrains jurassiques tels que des grès, des calcaires, des marno-calcaires et des dolomies, faillés et karstifiés. Cette diversité géologique façonne la végétation de la région, avec une faible couverture forestière dominée par des espèces adaptées aux conditions semi-arides et karstiques, telles que le ciste à feuilles de laurier (*cistus daniferus*) et le chêne-liège (*quercus suber*).

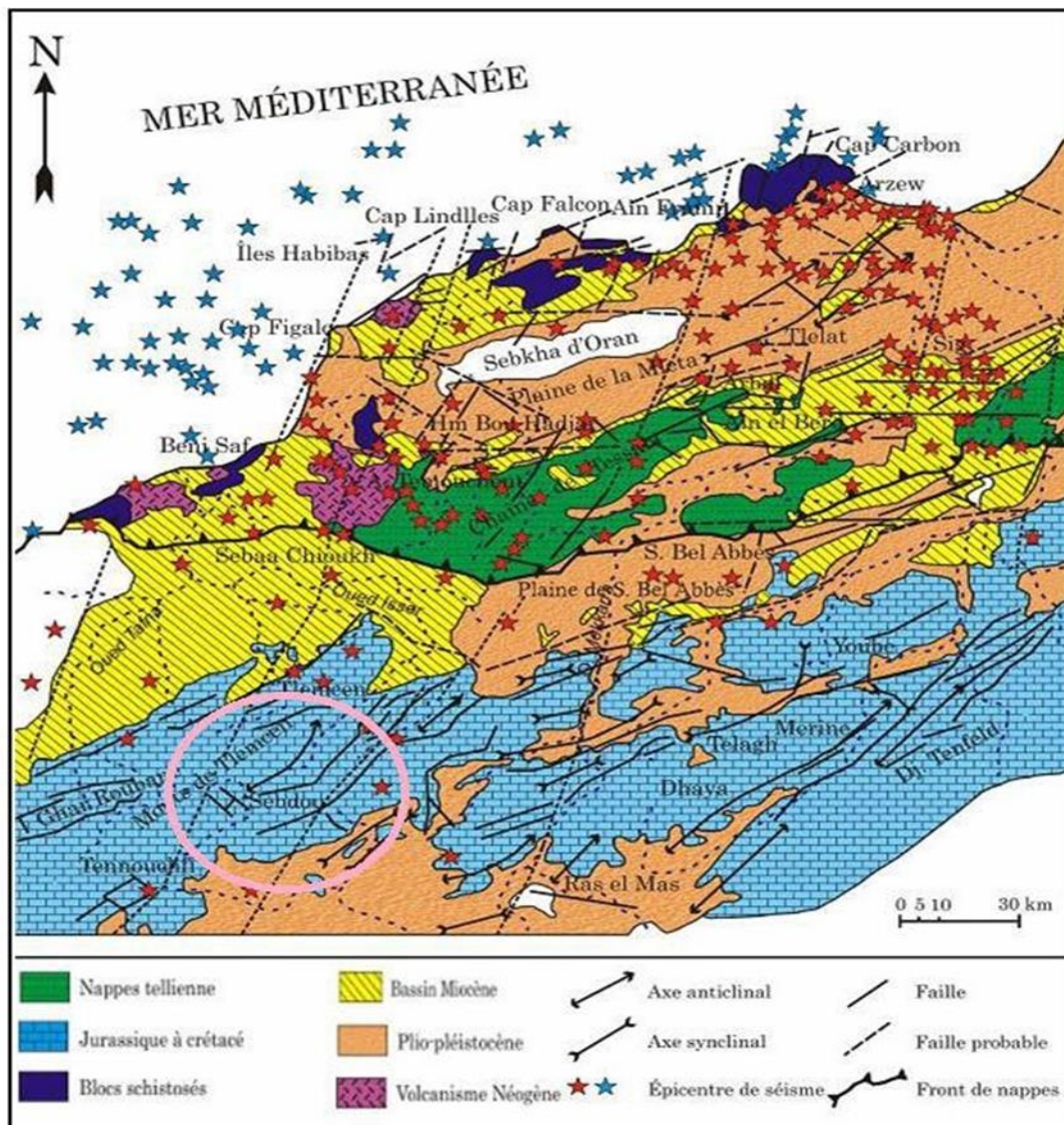


Figure I.5: Carte structurale de l'Oranie nord-occidentale (Thomas,1985)

V.1.1. Description litho-stratigraphique :

La lithologie dominante est la formation calcaire, la formation des grès de Boumediene constitue le "mègarythme" du Jurassique supérieur des monts de Tlemcen selon M. Benest 1985.

V.1.2. Litho-stratigraphie

Cette étude est tirée des recherches menées par (Baba Hamed et Kerzabi, 1991) dans la région de Sebdou. La dépression de Sebdou est entourée de terrains principalement datant du Jurassique supérieur. L'observation de l'évolution verticale des formations géologiques, allant du Jurassique inférieur au Plio-quaternaire (figure I.6), révèle la présence de deux séries litho-stratigraphiques distinctes, décrites de bas en haut :

Les séries anciennes (Oxfordien supérieur - Crétacé basal) ;

Les séries récentes (Plio-quaternaire).

1.2.1. Séries anciennes :

Sont représentées par les unités litho-stratigraphiques suivantes :

- a) **Les grès de Boumediène** : Datant de l'Oxfordien supérieur au Kimméridgien inférieur, constituent principalement un ensemble rocheux dominé par des grès, souvent accompagnés de lentilles argileuses, dissimulées le plus souvent par des éboulis ou une couverture végétale. Ces grès, liés par un ciment calcaire, se présentent sous forme de bancs relativement durs, avec des épaisseurs variant de quelques centimètres à quelques mètres. Leur présence est particulièrement notable dans le nord-ouest de notre secteur, spécifiquement dans la région de Béni-Hassoune, près de Teltemda, où ils exhibent une richesse en structures sédimentaires distinctives ;
- b) **Les calcaires de Zarifet** : Il s'agit de bancs calcaires séparés par de minces intercalations de calcaires marneux écailleux, parfois quelque peu fossilifères, marquant presque partout la base très nette du Kimméridgien et reposent directement en concordance sur les grès de Boumediène formant les falaises des environs de Tlemcen. L'épaisseur de cette formation peut atteindre 25 m au col de Zarifet ;
- c) **Les dolomies de Tlemcen** : Datant du Kimméridgien moyen au Kimméridgien supérieur, se présentent sous forme de formations cristallines grises, caractérisées par la présence de nombreuses cavités remplies de calcite. Leur présence est remarquable autour d'Ain Fezza, dans la forêt de Zarifet, au nord de Tlemcen, ainsi que dans les massifs des djebels Teffatisset et Ain El Hout, ainsi que sur le plateau de Terny. Ces dolomies peuvent être surmontées par les calcaires de Stah qui n'ont pas subi le processus de dolomitisation ;
- d) **Les marno-calcaires de Raouraï** : Se composent de marnes grises, souvent blanchâtres en surface, entrecoupées de nombreux lits et bancs de calcaires marneux durs. Cette formation géologique est délimitée à sa base par les couches calcaires de Stah et à son sommet par les calcaires de Lato, ou les premières assises des dolomies de Terny. Elle est particulièrement visible sur le plateau de Terny, dans le massif du djebel Lato ;
- e) **Les dolomies de Terny** : Se caractérisent par leur aspect parfois vacuolaire, présentant de nombreuses stratifications obliques et une structure massique distinctive, les distinguant ainsi des dolomies de Tlemcen. Elles sont particulièrement développées sur

le plateau des Azails, à Terny, et près du barrage Meffrouche. Leur épaisseur atteint environ 100 mètres dans le plateau de Terny. Ces dolomies sont abondamment présentes dans les bassins de l'oued Sebdou. Elles sont attribuées au Tithonique inférieur, tout comme les trois formations géologiques précédentes ;

- f) **Les marno-calcaires de Hariga** : Datant du Tithonique moyen, se composent d'une succession régulière de marnes et de calcaires. Elles sont particulièrement bien exposées dans le massif du djebel Hariga, avec une épaisseur atteignant 165 mètres dans le bassin de Sebdou ;
- g) **Les marno-calcaires d'Ouled Mimoun** : Datant du Tithonique supérieur, représentent une transition entre les couches du Jurassique et celles du Crétacé. Cette formation géologique est délimitée à sa base par les "grès de Merchiche", situés dans le secteur de Merchiche, sur le rebord sud du plateau de Terny. Elle est bien visible le long de la bordure nord du fossé de Sebdou ;
- h) **Argiles de Lamoricière (Berriasien-Valanginien)** : C'est une formation argilo-gréseuse, nettement calcaire au sommet. Elle affleure au niveau de Hassi Zerga dans le bassin de Sebdou ;
- i) **Les grès de Berthelot** : D'âge Hauterivien, se distinguent par une prévalence de la smectite et surtout par l'apparition significative du chlorite sur une épaisseur de 10 à 15 mètres. À leur base, on observe une abondance de stratifications obliques, souvent caractérisées par la présence de bancs de dolomies pulvérulentes.

1.2.2. Séries récentes :

Elles comportent de bas vers le haut d'après la synthèse tirée du travail de Baba Hamed et Kerzabi (1991) :

- a) **Formation de Sebdou** : Le Nord et le Nord - Est du bassin versant correspondent à un horst jurassique principalement carbonaté. Au Sud et à l'Est, on trouve un graben rempli de sédiments Plio-quadernaires représentant le Fossé de Sebdou, et correspond à une série à éléments hétérométriques et hétérogènes, formant des couches redressées. Ce sont des dépôts conglomératiques, des calcaires blancs et vacuolaires, qui recouvrent la plupart des terrains anciens, ces dépôts ne sont pas consolidés et forment parfois des sols arables ;
- b) **La Formation Quaternaire** : Englobe à la fois les anciennes alluvions formées le long des cours d'eau, les terrasses, les dépôts de pentes et les croûtes calcaires du Quaternaire ancien. Ces dépôts continentaux se trouvent en périphérie des massifs secondaires, souvent caractérisés par des éboulis de piémont partiellement encroûtés. Composés d'éléments roulés de taille centimétrique à décimétrique, parfois même métrique, ces dépôts sont liés par un ciment calcaire ou dolomitique ferrugineux. Bien que leur épaisseur soit généralement modeste, ces formations s'étendent sur de vastes étendues, ce qui favorise la présence de nappes phréatiques plus ou moins continues et facilement exploitables. Leur présence est notable dans le fossé de Sebdou, une région où les précipitations sont paradoxalement moins abondantes ;
- c) **Les travertins** : A la fois anciens et récents, représentent d'importants dépôts de masse qui se dressent en hautes falaises abruptes le long des anciennes ou actuelles grandes sources. Ces dépôts ont leur origine dans le Kimméridgien. Ils sont formés par des processus de dépôt à partir de sources, se constituant relativement

rapidement à l'échelle géologique. Souvent associés à des émergences thermales, comme c'est le cas à Ain El Hammam, où ils peuvent atteindre une épaisseur variant de 35 à 50 mètres. La datation de ces dépôts s'avère complexe en raison de l'absence de faune caractéristique. Cependant, Pallary les a attribués au Pléistocène inférieur à Lalla Setti et Ouchba, sur la base de la présence de faunes de mollusques terrestres (Hayane, 1983) ;

- d) **Les alluvions récentes** : Se composent de dépôts récents indifférenciés, principalement localisés dans les vallées et sur les pentes des reliefs. Ce sont principalement des limons qui remplissent les fonds des oueds.

V.1.3. Log Litho-stratigraphique : Pour établir le log litho-stratigraphique, nous nous sommes appuyés sur les descriptions fournies par les sondages, les forages et les recherches menées par M. Benest en 1985 (figure I.6).

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

Figure I.6: Log stratigraphique du fossé de Sebdu (Baba Hamed et Kerzabi, 1911)

V.2. Hydrogéologie de l'Oued Sebdou :

V.2.1. L'aquifère :

Les Monts de Tlemcen abritent l'aquifère principal, constitué essentiellement des calcaires et dolomies du Jurassique supérieur (Lias-Dogger), dont l'épaisseur peut varier considérablement, allant de 40 à 400 mètres. Selon les recherches de B. Colignon, la région présente une diversité d'aquifères, se démarquant en trois catégories distinctes :

Les aquifères "perchés", délimités par des strates imperméables, comme observé dans le synclinal de Merchiche ou encore le bassin du Meffrouche, certains aquifères affichent un pendage nord, s'enfonçant sous les formations miocènes, une troisième catégorie se caractérise par un pendage sud, située sous les conglomérats des Hauts Plateaux.

V.2.2. Formations à fort potentiel aquifère :

Les formations géologiques présentes comprennent les calcaires dolomitiques de Tlemcen et de Terny, les grès de Merchiche, ainsi que les dépôts du Plio-Quaternaire. Ces ensembles lithologiques se distinguent par leur structure physique et leur composition chimique, mais partagent la capacité remarquable d'accumuler l'eau, notamment les massifs dolomitiques qui génèrent de nombreuses sources karstiques. La dolomie de Tlemcen, associée aux calcaires de Zarifet, est principalement exposée dans les régions nord-ouest et nord-est du bassin. En ce qui concerne les alluvions plio-quaternaires, cela inclut à la fois les dépôts récents le long des oueds, les terrasses et les conglomérats remplissant le fossé de Sebdou. Bien que ces formations soient généralement minces, elles s'étendent sur une grande superficie, ce qui favorise la formation d'une nappe phréatique continue et facilement exploitable. Parmi les sources associées à ces formations, on peut citer Ain Soltane, Deillen, Sidi Aissa, Berdil et Hadjar.

V.2.3. Formations à faible potentiel aquifère :

Cet ensemble comprend diverses formations lithologiques, mais les séries dominées par l'argile ou la marne prédominent. Ces formations ont une perméabilité globalement faible dans les interstices ou les fissures, ce qui signifie qu'il n'y a pas de nappes aquifères significatives. Les grès de Boumediene, par exemple, ont généralement un faible ou nulle perméabilité, à l'exception des bancs de grès résistants qui se trouvent entre les couches de marne. Ces bancs montrent une perméabilité accrue grâce aux fractures qu'ils contiennent et au rôle aquifère des lentilles calcaires incluses. Leur rôle principal est de maintenir le niveau de la nappe phréatique des dolomies de Tlemcen grâce aux formations marneuses intercalées.

Chapitre II
Méthode d'étude

I. COEFFICIENT D'ÉCOULEMENT :

Le coefficient d'écoulement est le rapport, exprimé en pourcentage, entre la quantité d'eau écoulée et la quantité d'eau précipitée, pour un bassin versant, (rapport entre les précipitations et les lames d'eau écoulées).

$$C_e = \frac{Le}{P} \quad (15)$$

Avec :

$$Le = \frac{Q}{S} * t \quad (16)$$

Où :

Q : Le débit en m³/s

S : La surface du bassin versant (m²)

t : Le nombre de secondes dans le mois, la saison ou l'année considérée (s)

II. LE TEST DE TENDANCE DE MANN-KENDALL :

Le test de tendance de Mann-Kendall (MK) tire son nom des statisticiens Henry B. Mann et Maurice G. Kendall, qui ont développé cette méthode de test (Mann, 1945 ; Kendall, 1975). Le (MK) test est un outil non paramétrique largement utilisé dans l'analyse des séries chronologiques pour évaluer la présence ou l'absence de tendance. Son principe repose sur l'évaluation de l'association entre les rangs des observations d'une série temporelle et leur ordre de temps. L'hypothèse nulle de ce test est l'absence de tendance, tandis que l'hypothèse alternative suppose l'existence d'une tendance.

Pour appliquer le test MK, les valeurs de la série chronologique sont remplacées par leurs rangs, attribuant à chaque valeur un numéro de 1 à N. Ensuite, la statistique de test est calculée en comparant les rangs de chaque observation avec ceux des observations suivantes. La statistique de test ainsi obtenue est indépendante de la distribution des données d'origine, ce qui rend le test robuste et applicable à diverses distributions.

La décision d'accepter ou de rejeter l'hypothèse nulle est basée sur la valeur-p associée à la statistique de test. Généralement, un seuil de signification de 0,05 est utilisé : une valeur-p inférieure à ce seuil conduit au rejet de l'hypothèse nulle, indiquant ainsi la présence d'une tendance significative dans les données chronologiques.

P peut être calculé par l'équation suivante :

$$P = \sum_{i=1}^{N-1} n_i \quad (17)$$

La prochaine étape implique le calcul de la statistique τ de la manière suivante :

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1 \quad (18)$$

La valeur de la statistique τ peut servir de fondement à un test de significativité en la comparant

avec :

$$(\tau)_{\square} = 0 \pm t_g \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}} \quad (19)$$

Où t_g est le point de probabilité souhaité de la distribution normale gaussienne. Dans la présente étude, t_g aux points 0,05 et 0,10 ont été pris pour la comparaison (Sabzevari, 2015).

Le test de Mann-Kendall est largement utilisé dans l'analyse des séries chronologiques climatiques et hydrologiques pour détecter des tendances significatives. En se concentrant uniquement sur les valeurs relatives de la série, il permet d'identifier des tendances linéaires même en présence de données non normalement distribuées.

III. LA PENTE DE ŞEN :

L'estimation de la pente de Şen est largement utilisée pour déterminer les tendances à long terme dans les séries chronologiques, notamment dans les données météorologiques et hydrologiques. Cette méthode est particulièrement adaptée pour estimer la pente de tendance dans les séries chronologiques et est réputée pour donner une estimation robuste de la tendance (Duguma et al., 2021).

Les estimations de N paires de données sont d'abord calculées par :

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \text{ pour } i=1, \dots, N \quad (20)$$

Où x_j et x_k sont des valeurs de données aux moments j et k ($j > k$), respectivement. La médiane de ces N valeurs de Q_i est l'estimation de la pente de Şen. Si N est impair, l'estimation de la pente de Şen est calculée par :

$$Q_{med} = Q_{(N+1)/2} \quad (21)$$

Si N est pair, alors l'estimation de la pente de Şen est faite par comme suit :

$$Q_{med} = \frac{1}{2} (Q_{\lfloor \frac{N}{2} \rfloor} + Q_{\lceil \frac{N+2}{2} \rceil}) \quad (22)$$

Les changements totaux au cours de la période d'observation sont estimés en multipliant la pente par le nombre d'années. (Sabzevari, 2015).

IV. L'APPROCHE ÉLASTIQUE :

L'approche de l'élasticité définie comme la sensibilité des débits aux variations de précipitations et de température, est un outil crucial pour évaluer l'impact du changement climatique sur les ressources en eau. L'estimateur non paramétrique (ϵ_p) est utilisé pour quantifier la réaction des débits aux changements de précipitations, définie comme le changement proportionnel de l'écoulement moyen annuel divisé par le changement proportionnel de la précipitation moyenne annuelle tandis que l'élasticité de température sur le débit représente le changement proportionnel du débit moyen annuel en réponse au changement proportionnel de la température moyenne annuelle. Est estimée à l'aide de l'estimateur non paramétrique (ϵ_t). Cette approche permet d'anticiper les répercussions du changement climatique sur les débits des cours d'eau,

offrant ainsi des indications précieuses pour la gestion des ressources en eau à long terme. Les élasticités des précipitations et de la température sont déterminées par les Équations (23) et (24) :

$$\square p = \text{médiane} \left(\frac{(Q_i - \bar{Q}) * \bar{P}}{(P_i - \bar{P}) * \bar{Q}} \right) \quad (23)$$

$$\square t = \text{médiane} \left(\frac{(Q_i - \bar{Q}) * \bar{T}}{(T_i - \bar{T}) * \bar{Q}} \right) \quad (24)$$

Avec :

\bar{P} : Les précipitations moyennes mensuelles

\bar{T} : La température moyenne mensuelle

\bar{Q} : Les débits moyens mensuels.

La valeur de $\left(\frac{(Q_i - \bar{Q}) * \bar{P}}{(P_i - \bar{P}) * \bar{Q}} \right)$ et $\left(\frac{(Q_i - \bar{Q}) * \bar{T}}{(T_i - \bar{T}) * \bar{Q}} \right)$ est calculée pour chaque paire de P_i , T_i et Q_i dans le temps (P_i , T_i et Q_i sont les valeurs annuels).

L'utilisation de l'estimateur non-paramétrique s'avère précieuse lorsqu'il est nécessaire d'obtenir des estimations cohérentes de la sensibilité de l'écoulement au climat à long terme. Sa simplicité d'utilisation et sa capacité à estimer directement l'élasticité à partir des données historiques en font un outil particulièrement apprécié.

La médiane de ces valeurs est utilisée comme estimation non paramétrique de ϵ_p pour les précipitations, et de ϵ_t pour la température.

V. LA CORRELATION ENTRE PRECIPITATIONS, TEMPERATURE ET DEBIT :

L'interconnexion entre les précipitations et le débit des cours d'eau est en effet cruciale. Cette relation est souvent analysée à travers la corrélation, qui mesure la relation entre les précipitations tombées dans un bassin versant et le débit de l'eau qui s'écoule dans ce bassin.

Pour analyser la relation entre les trois paramètres - précipitation, débit et température - une méthode basée sur le calcul des anomalies a été utilisée, l'anomalie est définie comme la différence entre la valeur annuelle observée et la moyenne annuelle, divisée par cette même moyenne annuelle pour les précipitations et les débits sont déterminés par les Équations (25) et (26) :

$$\text{Anomalie P} = \frac{P_i - \bar{P}}{\bar{P}} \quad (25)$$

$$\text{Anomalie Q} = \frac{Q_i - \bar{Q}}{\bar{Q}} \quad (26)$$

Où \bar{P} et \bar{Q} sont respectivement les précipitations et les débits moyens annuels.

Cette approche permet de normaliser les données et de mettre en évidence les variations par rapport à la moyenne,

Cette corrélation est mesurée généralement à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson, également appelé coefficient de corrélation produit-moment de Pearson, est une mesure statistique utilisée pour évaluer l'intensité de la corrélation linéaire entre deux ensembles de données, les précipitations et le débit des cours d'eau.

Le coefficient de corrélation linéaire r (Pearson) permet de calculer la dépendance entre deux variables quantitatives. Les deux échantillons sont supposés suivre une distribution de loi normale. Cette mesure est normée de telle sorte que la corrélation positive est comprise entre $r =]0 ; +1]$ et la corrélation négative est comprise entre $r = [-1 ; 0[$. Pour des valeurs $r = -1$ ou $r = 1$, la dépendance est parfaite. Si $r = 0$ alors les deux variables sont parfaitement indépendantes. (Guillaume, 2020).

$$r = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (27)$$

Où :

$\text{cov}(X, Y)$: est la covariance entre X et Y ;

σ_X : est l'écart-type de X ;

σ_Y : est l'écart-type de Y .

Ce coefficient, noté r , varie dans l'intervalle $[-1, 1]$. Il nous indique à quel point les précipitations et le débit sont corrélés en fonction de la valeur de r .

Un coefficient de corrélation de 1 indique une corrélation positive parfaite, ce qui signifie que lorsque les précipitations augmentent, le débit augmente également de manière linéaire. ,

Un coefficient de corrélation de -1 indique une corrélation négative parfaite, où les précipitations accrues sont associées à une diminution proportionnelle du débit.

Un coefficient de corrélation de 0 indique l'absence de corrélation linéaire entre les précipitations et le débit.

L'anomalie de température, est définie comme la différence entre la température annuelle observée et la température moyenne annuelle l'équation est exprimé comme suit :

$$\text{Anomalie } T = T_i - \bar{T} \quad (28)$$

Où \bar{T} : La température moyenne mensuelle

Et pour la température corrélation positive forte (r proche de +1), cela indique une forte corrélation positive entre la température et le débit. Cela signifie que lorsque la température de l'air augmente, le débit a tendance à augmenter également. Les valeurs élevées de température sont associées à des valeurs élevées de débit.

Corrélation négative forte (r proche de -1), cela indique une forte corrélation négative entre la température et le débit. Cela signifie que lorsque la température de l'air augmente, le débit a tendance à diminuer. Les valeurs élevées de température sont associées à des valeurs basses de débit.

Corrélation faible (r proche de 0), cela indique une faible corrélation (ou aucune corrélation

linéaire évidente) entre la température et le débit. Il n'y a pas de tendance claire à la variation du débit lorsque la température change. Les valeurs de température et de débit semblent être indépendantes l'une de l'autre.

VI. LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE :

La régression linéaire multiple également appelé régression linéaire multidimensionnelle ou RLM est une extension de la régression linéaire simple qui permet d'analyser la relation entre une variable dépendante et plusieurs variables indépendantes simultanément. Contrairement à la régression linéaire simple où une seule variable indépendante est utilisée pour prédire la variable dépendante, la régression linéaire multiple implique l'utilisation de plusieurs variables indépendantes. L'équation de la régression linéaire multiple est en fait la généralisation du modèle de régression simple. La RLM se présente sous la forme suivante :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1.X_1 + \dots + \beta_n.X_n + \epsilon_i \quad (29)$$

Avec :

Y_i : La variable dépendante.

X : La variable indépendante.

β : Les coefficients de régression, qui représentent les effets de chaque variable indépendante sur la variable dépendante.

ϵ_i : les résidus (l'erreur de prédiction).

Dans le cadre de cette analyse, les précipitations et les températures sont considérées comme des variables indépendantes, c'est-à-dire qu'elles sont supposées influencer le débit (la variable dépendante), mais ne sont pas directement influencées par celui-ci. La formule se présente comme suit :

$$Q = aP + bT + c \quad (30)$$

Où Q représente la variable dépendante (le débit), P et T représentent les variables indépendantes (les précipitations et les températures respectivement), et a , b et c sont les coefficients correspondants.

La régression linéaire entre le débit, les précipitations et les températures nous permet de modéliser et d'analyser la relation entre ces variables, ce qui peut être utile pour la prédiction des débits futurs ou la compréhension des facteurs qui influencent le débit dans une région donnée.

VII. POLYGONES PRECIPITATION-DEBIT ET COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT :

Le coefficient de ruissellement, qui exprime la proportion du volume d'eau drainé par rapport au volume total de précipitations sur une surface donnée pendant une période déterminée, revêt une importance cruciale dans la planification, la conception et la gestion des ressources en eau d'une région. Habituellement, sa valeur moyenne, notamment sur une base annuelle, est étroitement liée à des facteurs tels que la végétation présente, le degré d'urbanisation, ainsi que les conditions climatiques et géologiques propres au bassin hydrographique en question (Dwarakish et Ganasri, 2015).

Cette méthode initiée par Kadioglu et Şen (2001) consiste à représenter l'évolution du coefficient de ruissellement mensuel au cours de l'année moyenne par un diagramme polygonal sous forme de polygone fermé (figure 7) obtenu à partir de données mensuelles de précipitations et des lames d'eau écoulées. Chaque côté de ce polygone présente une variabilité linéaire supposée pour des mois individuels et de cette manière la non-linéarité globale du comportement du coefficient de ruissellement est prise en considération.

Cette représentation offre diverses possibilités d'interprétation. La proximité de la pente de chaque côté du polygone par rapport à la verticale ou à l'horizontale révèle les proportions relatives des précipitations et du ruissellement dans la valeur numérique du coefficient de ruissellement mensuel. De même, la largeur du polygone influence l'uniformité du coefficient de ruissellement, reflétant ainsi la représentativité pour le bassin versant étudié. Les moyennes mensuelles des précipitations (P_1, P_2, \dots, P_D) et du ruissellement (Le_1, Le_2, \dots, Le_D) pour janvier, février, ... décembre sont d'abord calculées puis représentées sous forme d'un ensemble de 12 points successifs. La figure 7 montre des moyennes mensuelles représentatives des paires précipitation-ruissellement. La liaison des points mensuels successifs par des lignes droites se présente sous la forme d'un polygone fermé avec des longueurs et des pentes différentes de ses côtés. Des polygones larges signalent une variabilité temporelle des coefficients de ruissellement, impliquant une non-linéarité dans les relations précipitations-ruissellement pour le bassin versant considéré. Chaque polygone présente une séquence ascendante suivie d'une séquence descendante, comme illustré dans la figure II.7.

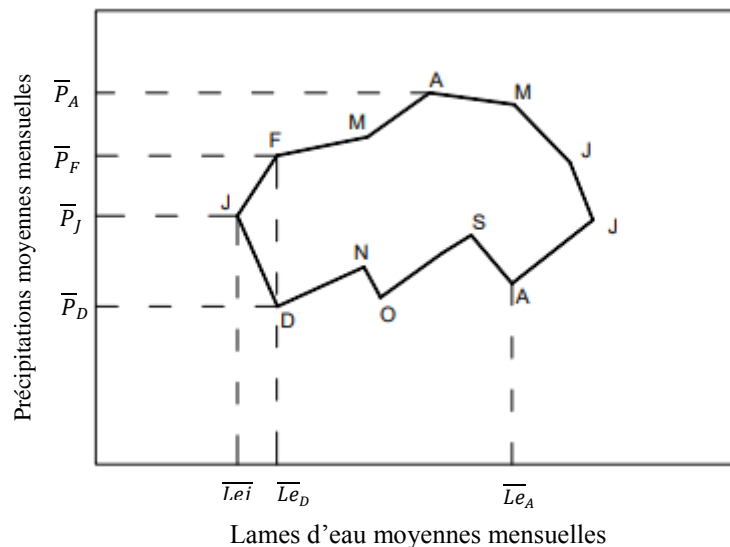


Figure II.7: Représentation du polygone pluie-lames d'eau mensuelles

Généralement, les coefficients de ruissellement présentent une tendance à être plus élevés le long d'une séquence ascendante par rapport à une séquence descendante. Pendant une trajectoire ascendante, le bassin versant tend à s'imbiber progressivement, alors qu'une trajectoire descendante indique une tendance à la dessiccation. De plus, une séquence ascendante est souvent associée à des périodes de précipitations, tandis qu'une séquence descendante peut témoigner des contributions des eaux souterraines aux eaux de surface, entraînant parfois des coefficients de ruissellement supérieurs à l'unité. En outre, une surface de polygone plus réduite suggère une cohérence accrue des précipitations mensuelles et une stabilité renforcée du coefficient de ruissellement. À l'inverse, une pente plus douce du polygone par rapport à l'axe horizontal traduit une conversion plus importante des précipitations en ruissellement par le système de captage

Chapitre III
Résultats et discussion

III.1. VARIABILITE TEMPORELLE DES PRECIPITATIONS, DES TEMPERATURES ET DES DEBITS.

III.1.1. VARIABILITE TEMPORELLE DES PRECIPITATIONS

III.1.1.1. Echelle annuelle :

L'analyse de la variation annuelle des précipitations dans le bassin versant de l'Oued Sebdu sur la période entre 1972-73 au 2020-21 offre un aperçu précieux des tendances climatiques de cette région (figure III.8). La valeur moyenne des précipitations est de 420,4 mm. En 1972-73, nous avons observé une augmentation significative des précipitations, marquant le début de la période d'analyse. Elle est suivie de fluctuations au fil des années. Les années les plus notables pour les diminutions étaient 1981-82, 2004-05, 2007-08 et 2020-21, avec la quantité la plus basse enregistrée en 2004-2005 atteignant 208,7 mm. En revanche, les années 1972-73, 2009-10 et 2012-13 ont connu des augmentations, avec une croissance exceptionnelle en 2008-09, atteignant 731,8 mm.

Les années de 1975-76 à 2007-08 et 2020-21 présentent des quantités de précipitations en dessous de la moyenne évaluée à 420,4 mm. Cette période est déficitaire en pluviométrie. Durant les années humides, les précipitations peuvent atteindre un niveau supérieur à 700 mm.

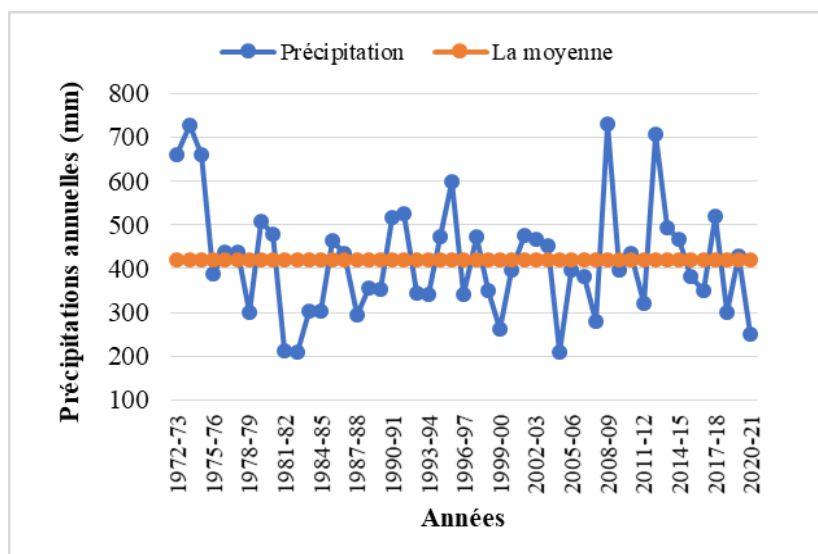


Figure III.8: Variation interannuelle des précipitations

III.1.1.2. Echelle saisonnière :

La variation saisonnière des précipitations dans le bassin versant d'Oued Sebdu durant la période de 1972-73 et 2020-21 consignée dans la figure III.9, permet de constater que la saison la plus humide est l'hiver, caractérisée par une valeur moyenne substantielle des précipitations atteignant 163,1 mm. Ensuite, la saison du printemps maintient une tendance notable avec 139,3 mm. L'automne suit avec 101,6 mm de précipitations. En revanche, la saison d'été est la plus sèche, enregistrant une valeur moyenne minimale de 16,4 mm de précipitations. Avec un pic pendant l'hiver et des quantités progressivement moindres au printemps, à l'automne et à l'été.

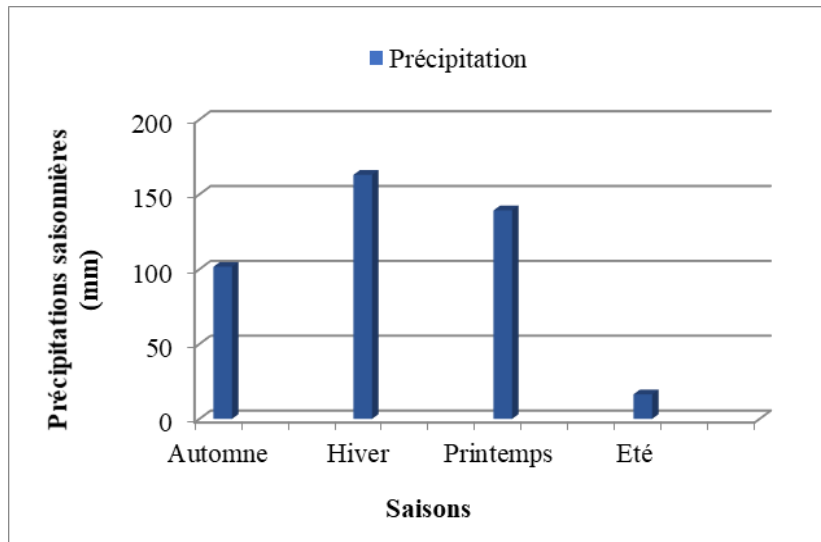


Figure III.9: Variation moyenne saisonnières des précipitations

III.1.1.3. Echelle mensuelle :

Les valeurs mensuelles et moyennes mensuelles des précipitations correspondants à la période (1972/21) sont représentées dans les figures III.10 et III.11. La plupart des précipitations dans le bassin versant de l'Oued Sebdu se produisent entre le mois d'Octobre et Mai avec une valeur maximale de 59,8 mm atteinte au mois de Mars. Le mois de septembre ainsi que les mois d'été (juin, juillet, août) affichent régulièrement de faibles hauteurs de précipitations, avec une quantité particulièrement basse en juillet, atteignant seulement 3,1 mm. Cette tendance à la diminution des précipitations pendant ces mois est cohérente, mettant en évidence une période estivale généralement sèche. Ces mois présentent donc des performances en dessous de la moyenne, ce qui suggère des conditions météorologiques moins favorables en termes de pluviométrie pendant cette période spécifique de l'année.

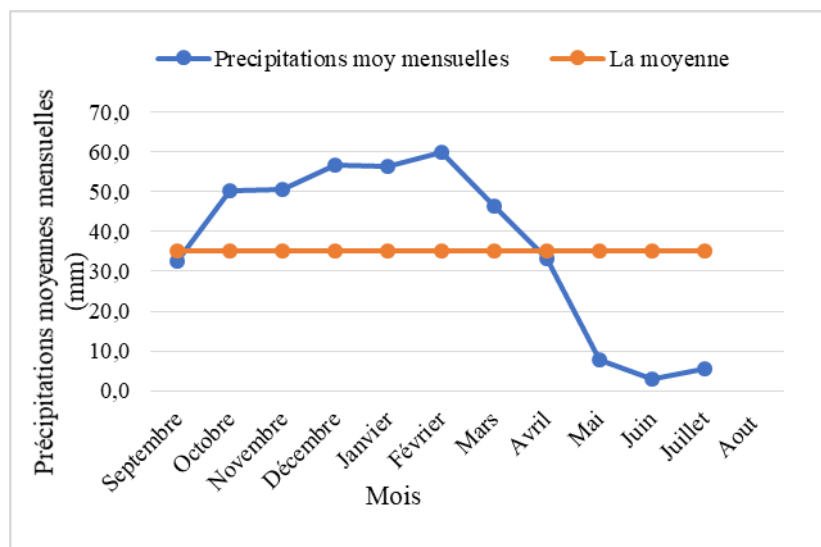


Figure III.10: Variation moyenne mensuelle des précipitations

L'observation de la figure III.11 indique que les mois de croissance sont d'octobre à mai, avec une diminution au cours des autres mois de la saison d'été suivie du mois de septembre. Cela suggère une saisonnalité marquée dans les précipitations au bassin versant de Oued Sebdu.

En analysant cette tendance plus en détail, les mois d'octobre à mai montrent une tendance à la croissance des précipitations, soulignant une période plus propice aux pluies.

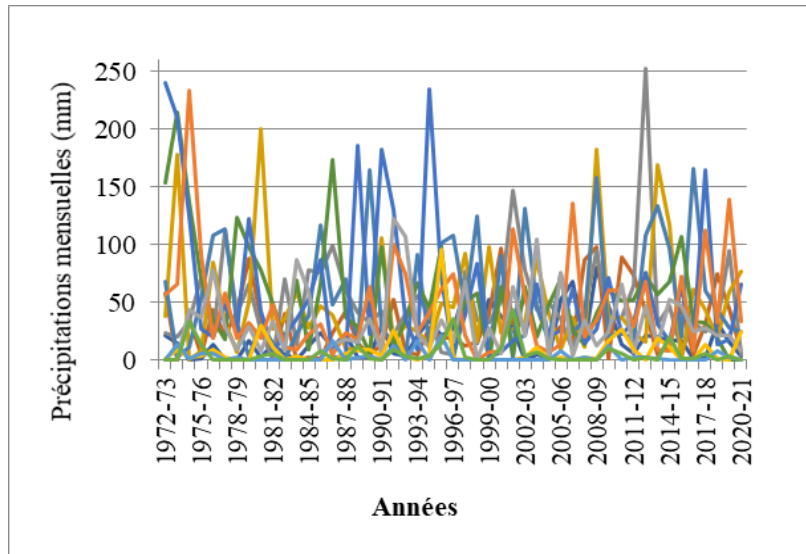


Figure III.11: Variation mensuelle des précipitations

III.1.1.4. La saison humide :

Les précipitations de la saison humide, couvrant la période d'octobre à avril, pour le bassin versant de l'Oued Sebdou sur la période de 1972-73 à 2020-21 (figure III.12), révèle des fluctuations significatives au fil des années, représentant en moyenne environ 80% des précipitations annuelles du bassin versant. Ces fluctuations comprennent à la fois des périodes de croissance et de diminution des précipitations. La valeur minimale a été enregistrée en 1981-1982 avec seulement 149 mm, tandis que la valeur maximale a été observée en 1973-1974 avec 691 mm.

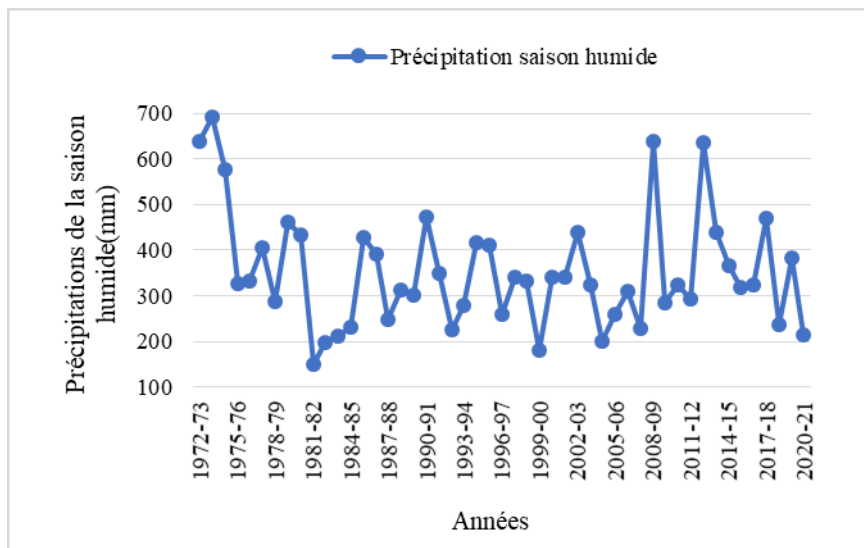


Figure III.12: Variation des précipitations de la saison humide

III.1.1.5. La saison sèche :

Les précipitations de la saison sèche, s'étendant de mai à septembre, pour le bassin versant de l'Oued Sebdu sur la période de 1972-73 à 2020-21 (figure III.13). Ces mois représentent en moyenne environ 20% des précipitations annuelles. Au cours de cette période, des variations significatives des précipitations sont observées, avec des années de sécheresse contrastant avec des périodes de précipitations plus abondantes. En 1995-96, une année exceptionnelle est notée avec une quantité maximale de précipitations atteignant 194,4 mm, tandis que l'année la plus sèche enregistrée est 1982-83 avec seulement 7,8 mm de précipitations.

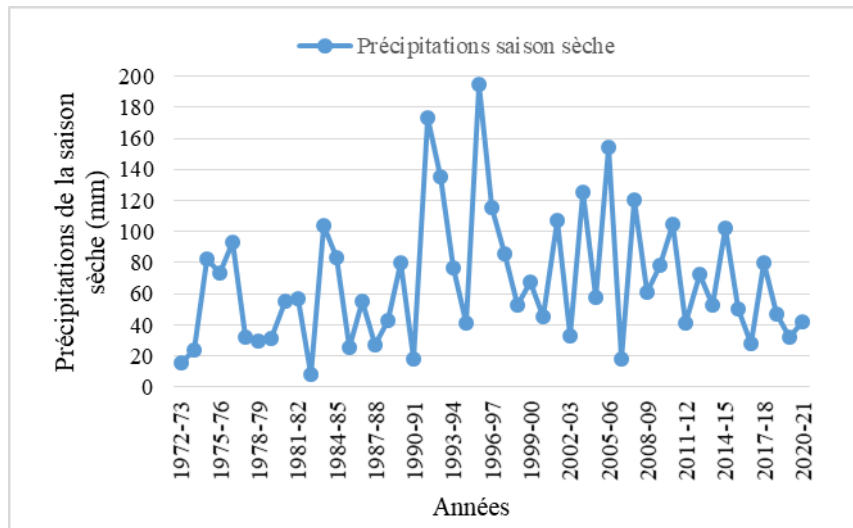


Figure III.13: Variation des précipitations de la saison sèche

III.1.2. VARIABILITE TEMPORELLE DES TEMPERATURES

III.1.2.1 Echelle annuelle :

La température annuelle du bassin versant de l'Oued Sebdu sur la période de 1972-73 à 2020-21 (figure III.14). Avec une moyenne de 17,5 °C, les températures ont suivi des tendances distinctes au fil des décennies. Entre 1972-73 et 1982-83, les températures étaient légèrement inférieures à la moyenne, mais toujours relativement proches de celle-ci. En revanche, de 1983-84 à 2006-2007, une tendance à la hausse au-dessus de la moyenne a été observée. Cette période a été suivie d'une diminution des températures en dessous de la moyenne de 2007-08 à 2020-21. Ces observations mettent en évidence la variabilité climatique dans le bassin versant, avec des changements de température significatifs au fil du temps. La température maximale enregistrée en 1997-98 à 20,3 °C et la température minimale enregistrée en 2007-2008 à 13,7 °C.

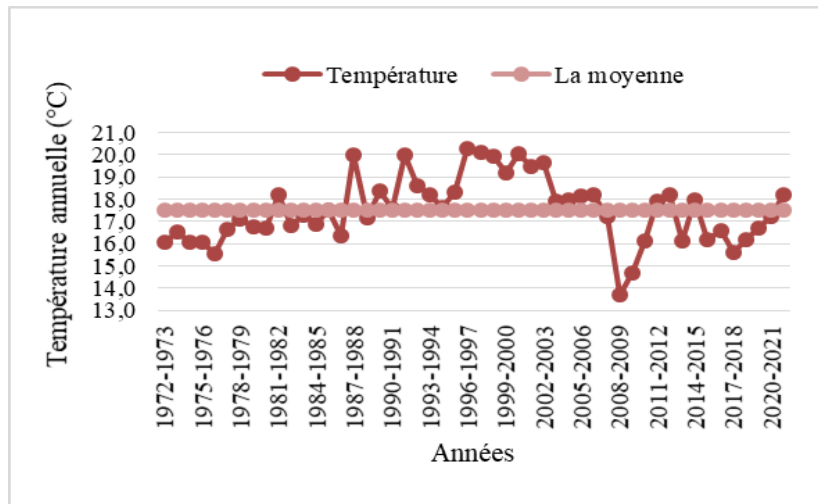


Figure III.14: Variation interannuelle de la température

III.1.2.2. Echelle saisonnière :

La température saisonnière pour le bassin versant de l’Oued Sebdo sur la période de 1972-2021 (figure III.15) met en lumière les différences saisonnières marquées dans les températures moyennes. La saison estivale se distingue par les températures les plus élevées, avec une moyenne de 23,9 degrés Celsius. Cette période chaude est associée à des conditions estivales typiques. À l’inverse, la saison hivernale présente les températures les plus basses, avec une moyenne de 11,9 degrés Celsius. Les saisons intermédiaires, automne et printemps, présentent des températures modérées, avec des moyennes de 17,2°C et 17,7°C respectivement. Ces saisons de transition offrent un climat plus tempéré.

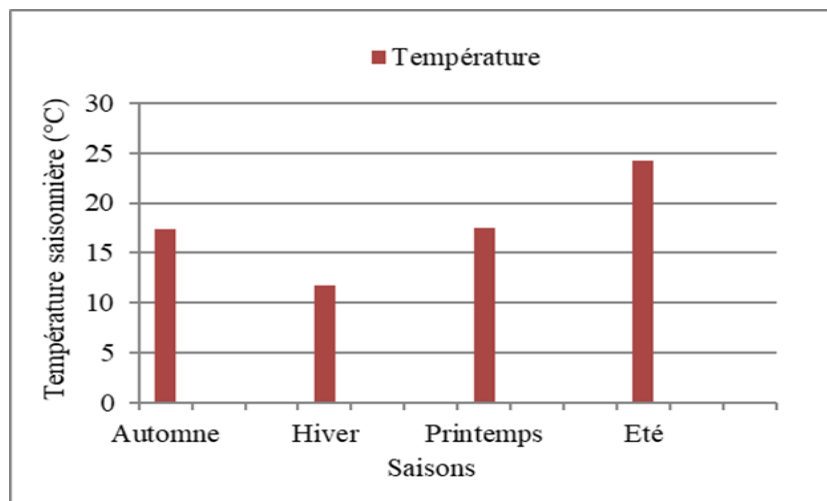


Figure III.15: Variation saisonnière de la température

III.1.2.3. Echelle mensuelle :

Les valeurs mensuelles et moyennes mensuelles des températures pour le bassin versant de l’Oued Sebdo sur la période 1972-2021 (figures III.16 et III.17). La moyenne de température est de 17,7 degrés Celsius. Les mois de décembre et octobre se distinguent par des valeurs au-dessus de la moyenne, indiquant des températures relativement élevées pendant ces périodes. Ensuite, une diminution progressive de la température est observée du mois de novembre au

mois d’avril, avec la température moyenne minimale enregistrée de 11,1 degrés Celsius au mois de décembre. Cette baisse de température correspond à la période hivernale dans la région. À partir du mois d’avril, on observe une augmentation progressive de la moyenne de température jusqu’au mois d’août, avec la température maximale moyenne atteignant 25,1 degrés Celsius au mois de juillet. Cette hausse de température correspond à la saison estivale, caractérisée par des températures plus élevées.

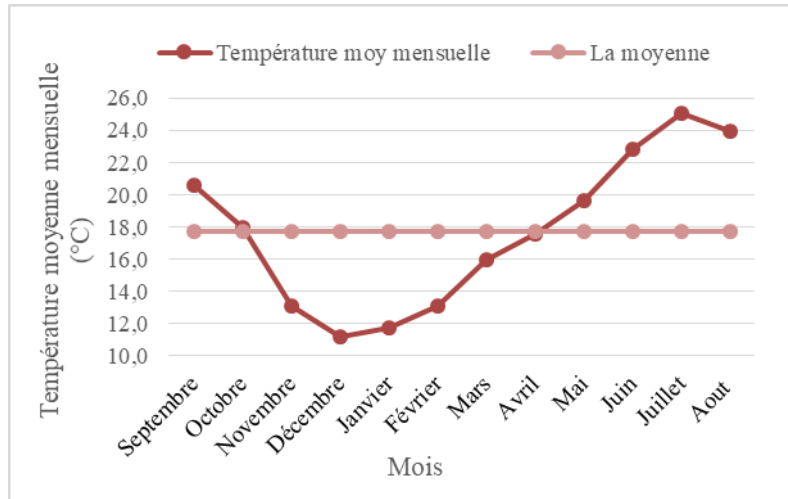


Figure III.16: Variation moyenne mensuelle de la température

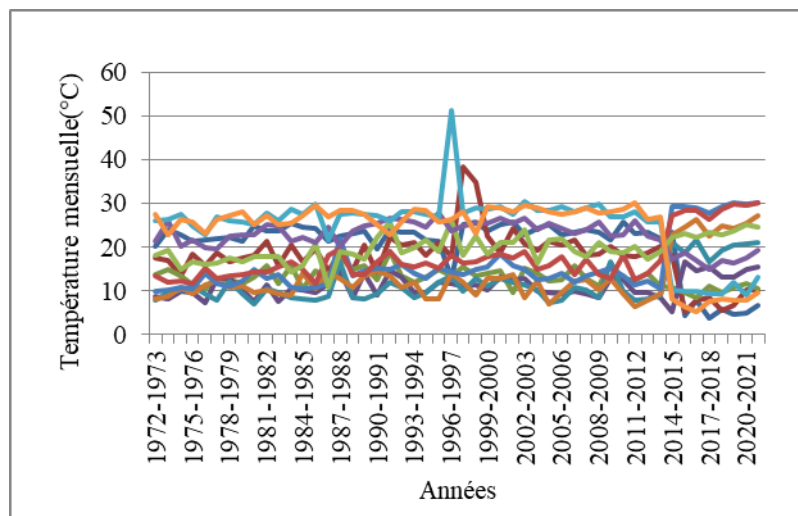


Figure III.17: Variation mensuelle de la température

III.1.2.4. La saison humide :

La température pendant la saison humide (figure III.18), qui s’étend d’octobre à avril, met en lumière des variations notables d’une année à l’autre. Au cours de cette période, la température a connu des fluctuations significatives, avec des valeurs minimales et maximales remarquables. La température minimale enregistrée a été observée lors de la saison 2011-2012, atteignant 11,2 degrés Celsius. En revanche, la saison 2020-2021 a enregistré la température maximale la plus élevée, s’élevant à 20,4 degrés Celsius.

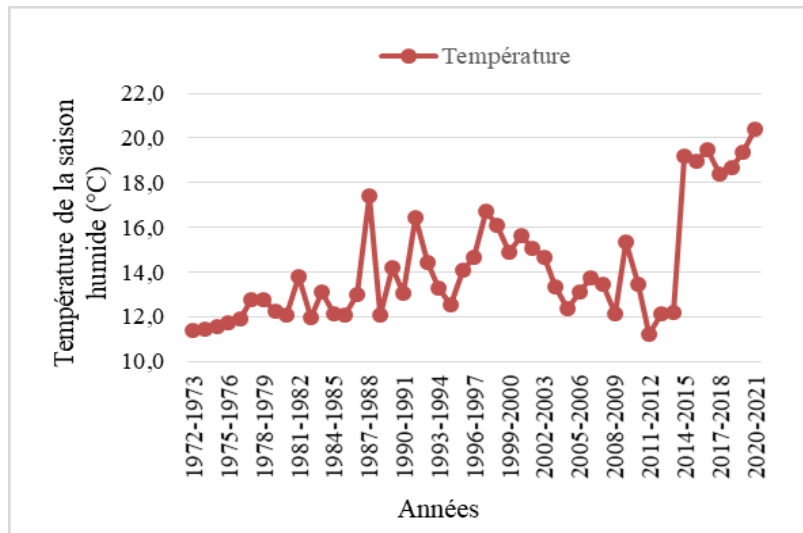


Figure III.18 : Variation de la température de la saison humide

III.1.2.5. La saison sèche :

La variation de la température pendant la saison sèche (figure III.19), qui s’étend de mai à septembre, dans le bassin versant de l’Oued Sebdou sur la période de 1972-73 à 2020-21 montre que durant les années 1972-73 et 2013-14, on observe des fluctuations relativement stables, avec des variations de température assez modestes et proches les unes des autres. Cependant, à partir de 2014-15, une tendance notable à la baisse de la température devient apparente, se poursuivant jusqu’en 2021. La température moyenne minimale la plus basse a été enregistrée en 2016-17, atteignant 11,7 degrés Celsius. Cette diminution significative de la température souligne les variations climatiques observées au cours de la période étudiée. En revanche, la température maximale la plus élevée a été enregistrée en 2002-03, atteignant 26,9 degrés Celsius, ce qui montre les extrêmes climatiques qui peuvent être observés dans la région.

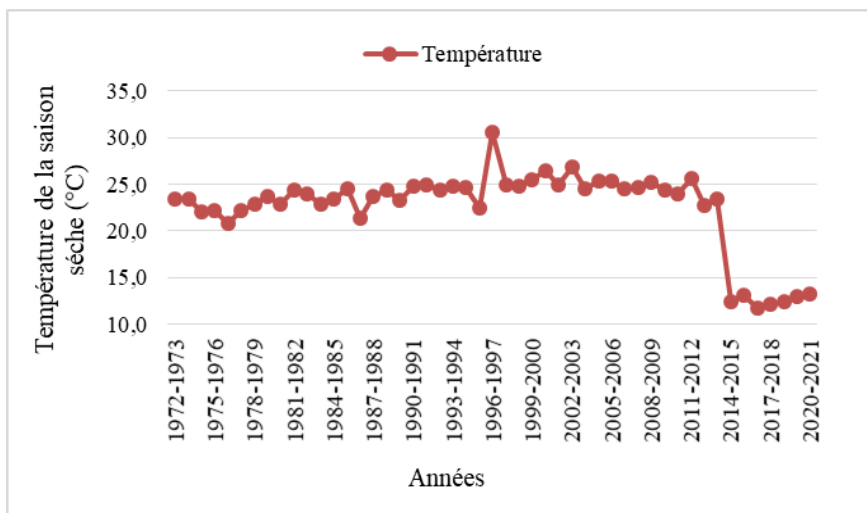


Figure III.19: Variation de la température de la saison sèche

III.1.3. VARIABILITE TEMPORELLE DES DEBITS

III.1.3.1.

. Echelle annuelle :

Le débit annuel du bassin versant de l'Oued Sebdou sur la période 1972-2021 (figure III.20). La moyenne du débit annuel est établie à 0,95 m³/s. La valeur maximale du débit a été enregistrée en 1973-74, atteignant 2,71 m³/s, tandis que la valeur minimale a été observée en 2004/05, avec un débit de seulement 0,30 m³/s. Une tendance générale de diminution du débit au début des années 1972-1973, avec une baisse notable en 1976-77, qui est restée en dessous de la moyenne par la suite jusqu'à l'année 2008-2009. Cette période est caractérisée par des fluctuations, avec des périodes de croissance et de diminution, mais le débit reste globalement en dessous de la moyenne. À partir de l'année 2008-2009, une tendance à l'augmentation du débit est observée. Cette augmentation est progressive au fil des années suivantes

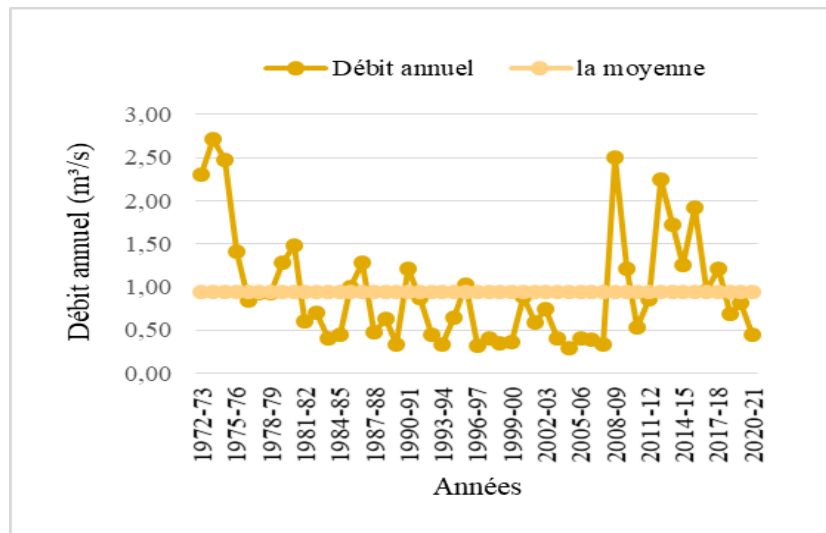


Figure III.20: Variation interannuelle des débits

III.1.3.2. Echelle saisonnière :

La variation du débit saisonnier du bassin versant de l'Oued Sebdou sur la période 1972-2021 est consignée dans (figure III.21). Le débit le plus élevé est pendant la saison du printemps, avec une moyenne de 1,40 m³/s, suivi de la saison d'hiver avec une moyenne de 1,22 m³/s. L'automne affiche également un débit notable, avec une moyenne de 0,69 m³/s. En revanche, le débit est le plus bas enregistré pendant l'été, avec une moyenne de 0,49 m³/s.

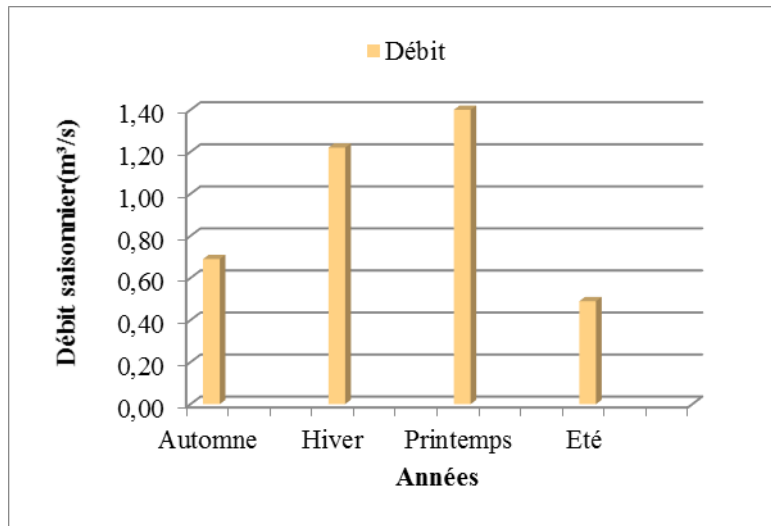


Figure III.21: Variation des débits saisonniers

III.1.3.3. Echelle mensuelle :

La variation des débits mensuels et moyens mensuels dans le bassin versant de l’Oued Sebdu sur la période 1972-2021 est donnée dans (figures III.22 et III.23). La moyenne du débit mensuel est enregistrée à 0,95 m³/s. Le mois de mars se distingue avec la valeur la plus élevée du débit moyen mensuel, atteignant 2 m³/s, tandis que les mois de juillet et août présentent les valeurs les plus basses, avec respectivement 0,43 m³/s et 0,44 m³/s. En observant les tendances mensuelles du débit, nous constatons une diminution en dessous de la moyenne à partir du mois de septembre, suivie d’une augmentation progressive jusqu’au mois de décembre. Cette tendance se poursuit avec une augmentation significative atteignant la moyenne en janvier, puis culminant avec la valeur maximale enregistrée en mars. Par la suite, le débit commence à diminuer progressivement au cours des mois suivants, atteignant des niveaux inférieurs à la moyenne en juillet et août, qui correspondent aux valeurs minimales observées.

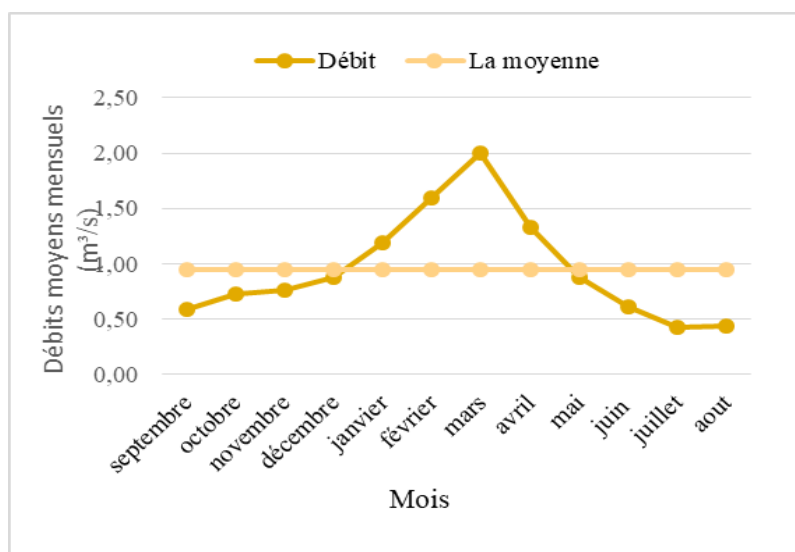


Figure III.22: Variation des débits moyens mensuels

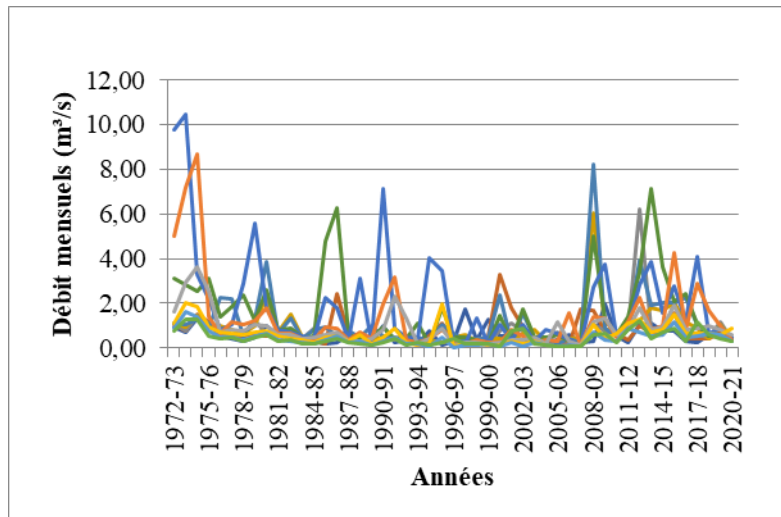


Figure III.23: Variation des débits mensuels

III.1.3.4. La saison humide :

Le débit de la saison humide, couvrant la période d'octobre à avril sur les années 1972-2021 (figure III.24), a présenté des variations notables. La valeur maximale enregistrée a été de 3,74 m³/s en 2008-09, tandis que la valeur minimale a été de 0,32 m³/s en 1997-98. Au fil des années, nous avons observé une tendance de croissance initiale dans les années 1972, suivie d'une diminution progressive. Le débit a connu des fluctuations, avec des périodes d'augmentation et de diminution, jusqu'à une augmentation en 2008-09, suivie d'une diminution ultérieure.

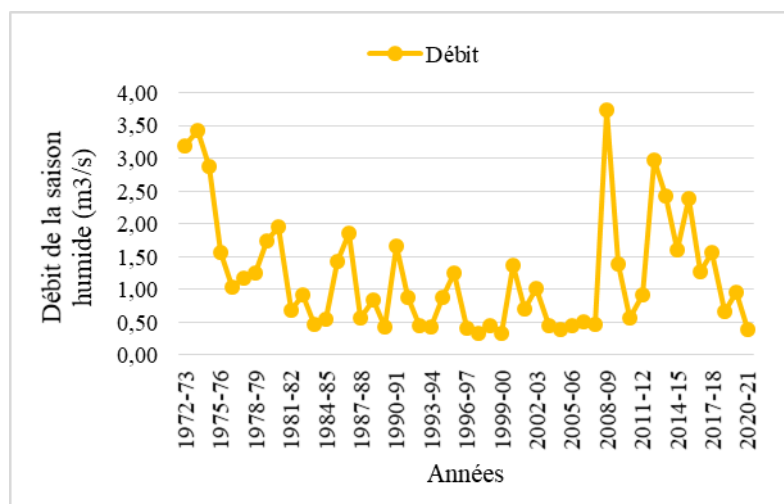


Figure III.24: Variation des débits de la saison humide

III.1.3.5. La saison sèche :

Le débit durant la saison sèche, s'étendant de mai à septembre sur la période de 1972-2021 (figure III.25), a également présenté des variations remarquables. La valeur maximale du débit de la saison sèche a été atteinte en 1976-77, avec 1,86 m³/s, tandis que la valeur minimale a été enregistrée en 2006-07, avec seulement 0,17 m³/s. Initialement, une tendance à l'augmentation

au début de la période étudiée, suivie d'une diminution progressive au fil des années. Ensuite, nous avons observé une nouvelle augmentation, suivie d'une diminution ultérieure.

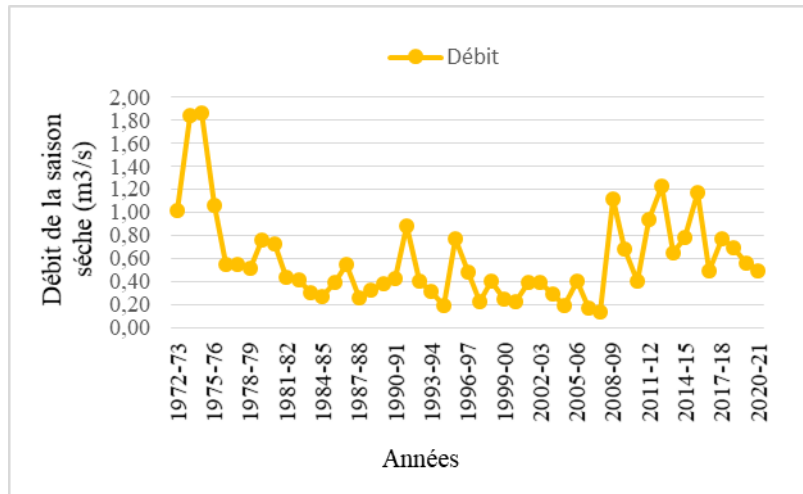


Figure III.25: Variation des débits de la saison sèche

III.2. TENDANCES DES PRECIPITATIONS, DES TEMPERATURES ET DES DEBITS PAR LE TEST DE MANN-KENDALL ET LA PENTE DE SEN :

L'analyse des tendances des précipitations, des températures et des débits par le test de Mann-Kendall dans le bassin versant de l'Oued Sebdou ont montré des tendances positives ou négatives dont certaines sont significatives pour les précipitations, les températures et les débits aux échelles annuelle, saisonnière et mensuelle ainsi que pour la saison humide et la saison sèche.

III.2.1. TENDANCES DES PRECIPITATIONS :

L'analyse de la tendance des précipitations à différentes échelles temporelles dans le bassin versant de l'Oued Sebdou, les résultats sont synthétisés dans le tableau III.9 fourni. Globalement, pour les précipitations annuelles, une tendance négative non significative est observée, avec une diminution légère mais non statistiquement significative des précipitations au fil du temps. À l'échelle saisonnière, aucune tendance significative n'est décelée, bien que des variations positives ou négatives soient observées selon les saisons, avec des tendances positives en automne et en été, des tendances négatives en hiver et au printemps. À l'échelle mensuelle, seule la tendance des précipitations en février est significative, montrant des diminutions notables, tandis que les autres mois présentent des tendances peu marquées, avec des signes de baisse en novembre et mars. En se focalisant sur les saisons humide et sèche, une tendance négative non significative est observée pour la saison humide, tandis qu'une tendance à la hausse, également non significative, est relevée pour la saison sèche, suggérant une possible influence des précipitations de la saison humide précédente.

Tableau III.9: Tendances des tests Mann-Kendall et Pentés de Sen des précipitations

E.Temporelle	τ	S- Value	P – Value	Z-Value	Sen's slope
Annuelle	-0,069727	-82,000	0,485	-0,69821	-0,89878
Automne	0,1224	144,00	0,2177	1,2326	0,6686
Hiver	-0,0901	-106,00	0,3654	-0,9050	-0,9590
Printemps	-0,1224	-144,00	0,2177	-1,2326	-1,0468
Été	0,0282	33,00	0,7825	0,2760	0,0235
Septembre	0,17964	210,0	0,0714	1,8029	0,2209
Octobre	0,13197	155,0	0,1843	1,3276	0,2906
Novembre	-0,02380	-28,0	0,816	-0,2327	-0,0641
Décembre	0,06896	81,0	0,4904	0,6896	0,2583
Janvier	0,11654	137,0	0,2411	1,1723	0,4045
Février	-0,2385	-280,0	0,0161	-2,4054	-0,9437
Mars	-0,1165	-137,0	0,2411	-1,1723	-0,3947
Avril	0,00765	9,0	0,945	0,0689	0,0253
Mai	0,02382	28,0	0,816	0,2327	0,0661
Juin	0,02664	30,0	0,8001	0,2532	0
Juillet	0,00976	10,0	0,934	0,0827	0
Aout	0,06885	76,0	0,5085	0,6612	0
S.Humide	-0,08333	-98,000	0,4031	-0,8361	-1,0565
S.Sèche	0,07911	93,000	0,4277	0,7930	0,2919

III.2.2. TENDANCES DES TEMPERATURES :

L'examen approfondi des tendances des températures dans le bassin versant de l'Oued Sebdu, minutieusement présenté dans le tableau III.10 des résultats, révèle une complexité temporelle captivante. À une échelle annuelle, bien que les températures semblent afficher une tendance à la hausse, ces variations ne parviennent pas à atteindre un seuil de signification statistique, laissant ainsi place à une incertitude quant à leur persistance. Cependant, lorsqu'on explore des intervalles plus restreints, des nuances significatives émergent. Notamment, les mois d'hiver se distinguent par une augmentation notable des températures, tandis qu'une baisse significative est observée en automne. Cette dynamique est encore plus manifeste lorsque l'on se penche sur les mois individuels, où les tendances divergent entre les saisons. Dans cette optique, les mois de novembre à mai affichent des évolutions plus prononcées, avec des augmentations durant les mois les plus froids et des baisses marquées pendant les mois les plus chauds. En outre, la période de la saison humide, révélée par l'analyse du tableau III.10 des résultats, présente une tendance nette à la hausse des températures. En revanche, la saison sèche dépeint une trajectoire ascendante, bien que non significative du point de vue statistique, suggérant potentiellement une influence de la saison humide précédente. De manière spécifique, le mois de mai se détache avec une tendance particulièrement marquée à la hausse, mettant en évidence une augmentation substantielle des températures à cette période.

Tableau III.10: Tendances des tests Mann-Kendall et Pentés de Şen des températures

E.Temporelle	τ	S-Value	P-Value	Z-Value	Sen's slope
Annuelle	0,0674	89,000	0,506	0,6551	0,0112
Automne	-0,0885	-104,00	0,3746	-0,8879	-0,0343
Hiver	0,2826	332,00	0,0043	2,8535	0,0937
Printemps	0,4851	570,00	9,3400	4,9051	0,1657
Été	0,0630	74,00	0,5290	0,6293	0,0179
Septembre	-0,1129	-132,00	0,2585	-1,1299	-0,0285
Octobre	-0,0238	-28,00	0,8159	-0,2328	-0,0100
Novembre	-0,1981	-232,00	0,0463	-1,9920	-0,0440
Décembre	0,1880	220,00	0,0589	1,8886	0,0502
Janvier	0,2998	351,00	0,0025	3,0183	0,1091
Février	0,2372	278,00	0,0169	2,3884	0,1125
Mars	0,4177	490,00	0,000024	4,2160	0,1519
Avril	0,4573	536,00	0,0000039	4,6131	0,1881
Mai	0,4436	520,00	0,0000076	4,4752	0,1340
Juin	-0,0946	-111,00	0,3429	-0,9484	-0,0439
Juillet	-0,0418	-49,00	0,6790	-0,4138	-0,0102
Aout	-0,0205	-24,00	0,8428	-0,1983	-0,0072
S.Humide	0,4612	542,00	0,0000031	4,6637	0,1056
S.Sèche	0,05624	66,000	0,5752	0,5604	0,0163

III.2.3. TENDANCES DES DEBITS :

L'analyse des résultats du test de Mann-Kendall et des pentes de Şen des débits dans le bassin versant de l'Oued Sebdu, comme exposé en détail dans le tableau III.11 des résultats, offre une perspective éclairante sur les fluctuations hydrologiques à travers différentes échelles temporelles. À l'échelle annuelle, bien que des indices d'une potentielle diminution des débits se manifestent, ces observations ne parviennent pas à atteindre un seuil de signification statistique. Les coefficients de Kendall négatifs et les valeurs de Z modérées soulignent une tendance à la baisse des débits annuels, cependant cette tendance demeure non confirmée d'un point de vue statistique, comme le révèle la proximité de zéro de la pente de Sen's Slope. Cette analyse se prolonge dans les échelles saisonnières, où malgré des fluctuations perceptibles dans les débits, aucune tendance claire et significative n'émerge. Lorsqu'on se penche sur les détails mensuels, une tendance générale à la baisse tout au long de l'année est observée, marquée par des coefficients de Mann-Kendall et des pentes Şen négatives. Cependant, aucune de ces tendances n'atteint un niveau de significativité statistique. La saison humide semble présenter une légère tendance à la baisse des débits, bien que non statistiquement significative. En contraste, aucune tendance significative n'est observée pendant la saison sèche, malgré des indications de légère diminution des débits au fil du temps. Cette analyse souligne ainsi la complexité des variations hydrologiques dans le bassin versant de l'Oued Sebdu à travers différentes échelles temporelles, reflétée de manière précise dans le tableau III.11 des résultats.

Tableau III.11: Tendances des tests Mann-Kendall et la pente τ des débits

E.Temporelle	τ	S-Value	P-Value	Z-Value	Sen's slope
Annuelle	-0,1258	-148,00	0,2051	-1,2671	-0,0057
Automne	-0,0374	-44,00	0,7109	-0,3707	-0,0012
Hiver	-0,1607	-189,00	0,1051	-1,6206	-0,0095
Printemps	-0,0995	-117,00	0,3173	-0,9994	-0,0100
Été	-0,0860	-101,00	0,3880	-0,8621	-0,0037
Septembre	-0,0299	-35,00	0,7694	-0,2931	-0,0008
Octobre	-0,0648	-76,00	0,5179	-0,6466	-0,0028
Novembre	-0,0673	-79,00	0,5013	-0,6724	-0,0027
Décembre	-0,0554	-65,00	0,5811	-0,5518	-0,0025
Janvier	-0,0947	-111,00	0,3429	-0,9484	-0,0050
Février	-0,1328	-156,00	0,1815	-1,3363	-0,0120
Mars	-0,1335	-157,00	0,1787	-1,3447	-0,0151
Avril	-0,1005	-118,00	0,3131	-1,0087	-0,0066
Mai	-0,0734	-86,00	0,4636	-0,7329	-0,0053
Juin	-0,1083	-127,00	0,2773	-1,0864	-0,0057
Juillet	-0,0975	-114,00	0,3298	-0,9746	-0,0037
Aout	-0,0589	-69,00	0,5576	-0,5863	-0,0020
S.Humide	-0,1292	-152,00	0,1931	-1,3016	-0,0079
S.Sèche	-0,0658	-77,00	0,5122	-0,6554	-0,002

III.3. RELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS ET LES TEMPERATURES ET LES DEBITS

III.3.1. RELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS ET LES DEBITS

III.3.1.1. Elasticité précipitations-débits :

L'analyse de la relation entre les précipitations et les débits dans le bassin versant de l'Oued Sebdou sur une période allant de 1972-73 à 2020-21 révèle des dynamiques complexes et évolutives, perceptibles à différentes échelles temporelles. À une vue annuelle, les données présentées dans le tableau III.12, accompagnées de la (figure III.26) illustrant les Valeurs annuelles de l'estimateur non paramétrique et la valeur de l'estimateur d'élasticité des précipitations aux écoulements superficiels, révèlent un coefficient d'élasticité médian interannuel ϵ_p de 1,32. Cette visualisation renforce ainsi la sensibilité des débits aux variations annuelles des précipitations, indiquant que pour chaque variation de 1% des précipitations annuelles, le débit moyen du bassin versant varie d'environ 1,32%, soulignant ainsi l'impact significatif des précipitations sur le régime hydrologique annuel. Cette sensibilité se manifeste également à une échelle saisonnière, où des variations dans la réponse hydrologique aux précipitations sont observées tout au long de l'année, illustrant la dynamique saisonnière des interactions entre les précipitations et les débits. À une échelle mensuelle, des variations plus fines dans la sensibilité des débits aux précipitations sont décelées, mettant en évidence les réponses spécifiques de la dynamique hydrologique à chaque mois de l'année. En examinant les saisons humide et sèche, des différences significatives dans la sensibilité des débits aux précipitations sont constatées, soulignant ainsi l'importance des variations saisonnières dans la réponse hydrologique du bassin versant. Cette interconnexion entre les différentes échelles

temporelles révèle la complexité des interactions entre les précipitations et les débits dans le bassin versant de l'Oued Sebdu, offrant ainsi un aperçu approfondi des variations hydrologiques à travers le temps.

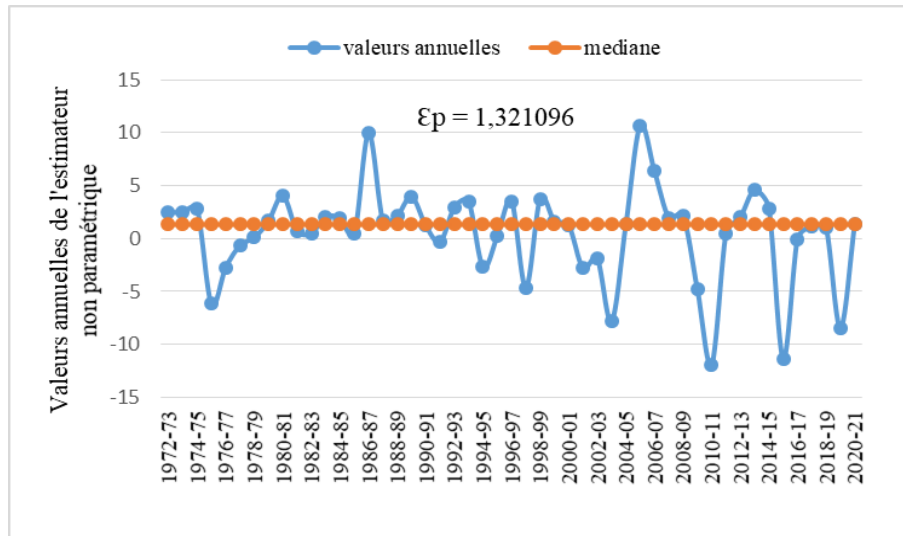


Figure III.26: Valeurs annuelles de l'estimateur non paramétrique et valeur du coefficient d'élasticité des précipitations aux écoulements superficiels

Les diagrammes en boîte à moustaches permettent d'observer les variations conjointes des précipitations et des débits à différentes échelles temporelles (figure III.27). À l'échelle annuelle, les valeurs de l'estimateur non paramétrique montrent une distribution homogène, mais avec des mois spécifiques affichant des valeurs singulières de l'estimateur plus élevées ou plus basses, ce qui suggère une variabilité saisonnière. Cette variabilité est confirmée à l'échelle saisonnière, où les périodes de fortes précipitations en hiver et au printemps correspondent à des débits plus élevés. Et aussi les valeurs positives pendant la saison humide contrastent avec les valeurs négatives pendant la saison sèche. Ces différences saisonnières sont également perceptibles à l'échelle mensuelle, les mois les plus pluvieux, tels que novembre et décembre, ont des valeurs élevées, tandis que les mois les plus secs, comme juillet et août, ont des valeurs négatives. Cela signifie que les valeurs moyennes ne reflètent pas la réalité. Ce biais peut être dû à des données non précises des paramètres climatiques.

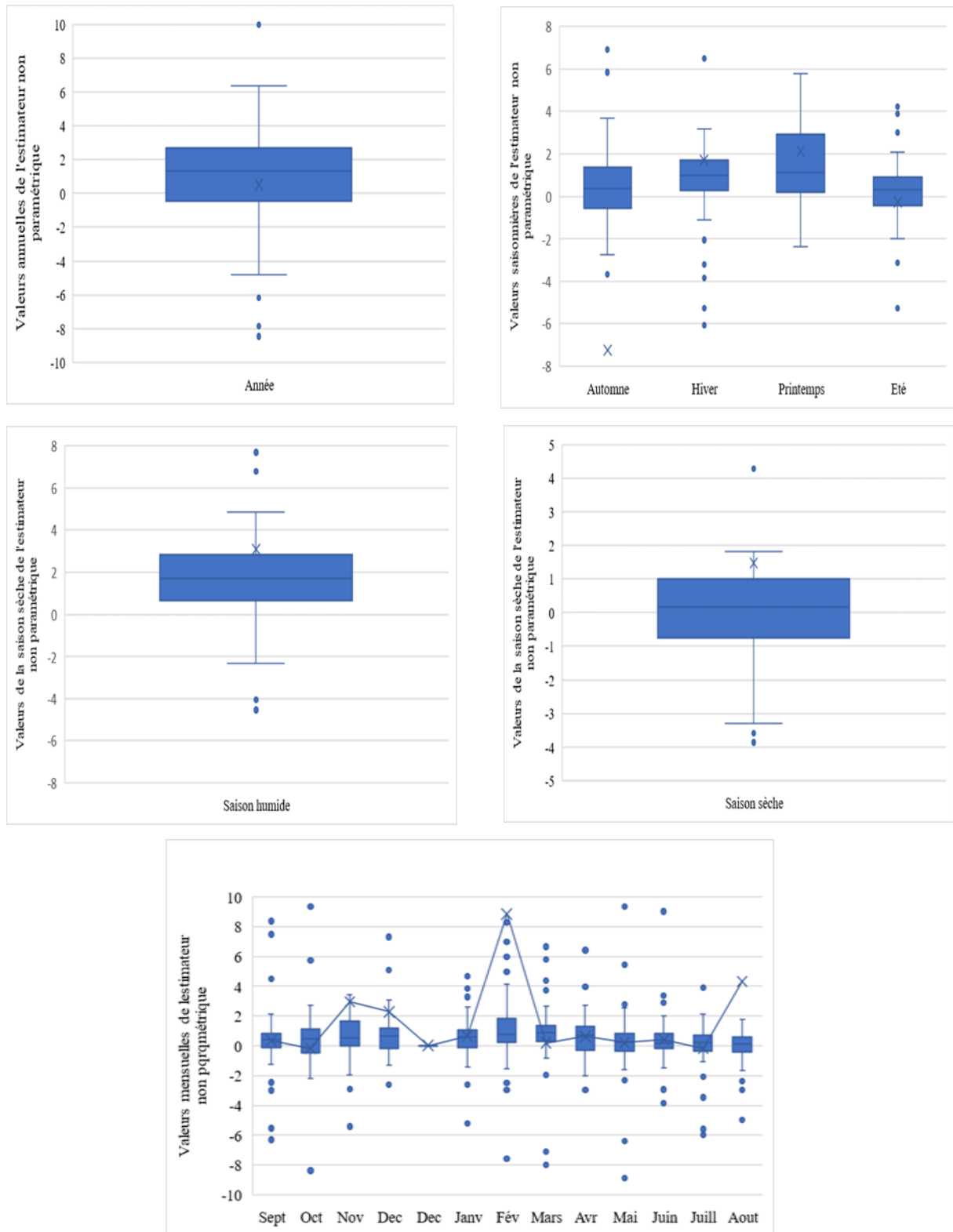


Figure III.27: Valeurs de l'estimateur non paramétrique des précipitations et des débits à des échelles temporelles

Tableau III.12 Coefficients d'élasticité pluviométrique du débit

Echelle Temporelle	$\square p$
Annuelle	1,32
Automne	0,37
Hiver	1,00
Printemps	1,12
Été	0,32
Septembre	0,42
Octobre	0,49
Novembre	0,55
Décembre	0,58
Janvier	0,61
Février	0,77
Mars	0,88
Avril	0,70
Mai	0,22
Juin	0,20
Juillet	0,23
Aout	0,14
Saison humide	1,72
Saison sèche	0,18

III.3.1.2. Corrélation précipitations-débits :

Dans le bassin versant de l'Oued Sebdou, l'analyse de la relation entre les précipitations et le débit des cours d'eau entre 1972-73 et 2020-21 révèle des dynamiques variées selon les échelles temporelles. Le coefficient de corrélation de Pearson permet de quantifier ces relations, offrant un aperçu précis de leur force à différentes périodes de l'année, comme illustré dans le tableau III.13 et la figure III.29.

Sur une base annuelle des précipitations élevées sont généralement associées à des débits de cours d'eau plus importants, tandis que des périodes de faibles précipitations sont liées à des débits plus faibles (figure III.28). En examinant les saisons, on observe des différences significatives dans la corrélation. Pendant l'automne, le coefficient de corrélation modéré suggère qu'il y a une relation positive entre les précipitations et le débit, en hiver, la corrélation est plus élevée. Cela suggère que les précipitations hivernales ont un impact important sur le débit. Au printemps, le coefficient de corrélation est toujours modéré, ce qui montre que les précipitations printanières ont une influence sur le débit. En été, il y a très peu de relation entre les précipitations estivales et le débit des cours d'eau. En examinant les mois individuellement, on trouve que les valeurs de corrélation sont plus élevées en mars et avril, ce qui correspond à une période où les précipitations ont un impact plus important sur le débit. En revanche, des mois comme mai, juin et juillet affichent des corrélations beaucoup plus faibles, reflétant un faible impact des précipitations sur le débit. La saison humide présente une forte corrélation entre les précipitations et le débit, ce qui signifie que des précipitations importantes conduisent à des débits plus élevés. À l'opposé, la saison sèche affiche une corrélation quasi nulle,

suggérant que les précipitations ont peu ou pas d'effet sur le débit des cours d'eau pendant cette période.

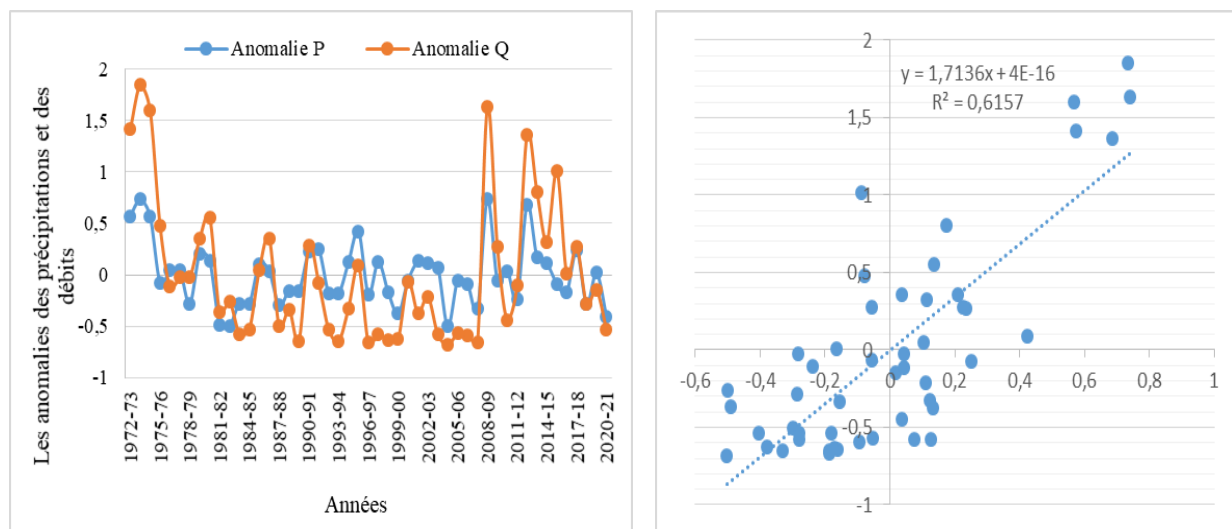


Figure III.28: Corrélation précipitation-débit annuel et Modèle de régression

Tableau III.13: Équations et Coefficients de corrélation précipitations-débits

Echelle temporelle	Equations	R	R ²
Annuelle	$Q = 1,7136P + 4 \cdot 10^{-16}$	0,7846	0,6157
Automne	$Q = 0,6562P + 3 \cdot 10^{-17}$	0,6003	0,3605
Hiver	$Q = 1,1941P - 4 \cdot 10^{-17}$	0,7137	0,5094
Printemps	$Q = 1,0075P - 1 \cdot 10^{-17}$	0,6454	0,4166
Été	$Q = 0,0251P - 1 \cdot 10^{-17}$	0,0479	0,0023
Septembre	$Q = 0,251P - 3 \cdot 10^{-17}$	0,3615	0,1307
Octobre	$Q = 0,4485P + 2 \cdot 10^{-16}$	0,4528	0,205
Novembre	$Q = 0,9441P - 3 \cdot 10^{-18}$	0,7014	0,4921
Décembre	$Q = 0,5868P + 9 \cdot 10^{-18}$	0,5532	0,306
Janvier	$Q = 0,6171P - 7 \cdot 10^{-17}$	0,4728	0,2236
Février	$Q = 0,6294P + 5 \cdot 10^{-17}$	0,5164	0,2667
Mars	$Q = 0,8534P + 4 \cdot 10^{-18}$	0,7866	0,6188
Avril	$Q = 0,7981P - 2 \cdot 10^{-16}$	0,5976	0,3572
Mai	$Q = 0,1515P + 2 \cdot 10^{-16}$	0,1640	0,0269
Juin	$Q = 0,1799P + 3 \cdot 10^{-16}$	0,4363	0,3572
Juillet	$Q = 0,0923P + 4 \cdot 10^{-16}$	0,2083	0,0434
Aout	$Q = 0,1161P - 2 \cdot 10^{-16}$	0,2707	0,0733
Saison humide	$Q = 1,7485P + 2 \cdot 10^{-17}$	0,8588	0,7376
Saison sèche	$Q = -0,0333P - 2 \cdot 10^{-16}$	-0,031	0,001

La corrélation entre les précipitations et les débits à différentes échelles temporelles est représentée dans la figure III.29 suivante. Toutes les valeurs plus proches de zéro sont annotées comme zéro.

les coefficients d'élasticité et révèlent des réponses distinctes du débit aux variations de température. Pendant la saison humide, le débit réagit fortement à la baisse de température, tandis que pendant la saison sèche, une augmentation de la température entraîne une forte diminution du débit. Ces observations soulignent ainsi la complexité des interactions entre la température et les débits dans le bassin versant de l'Oued Sebdou à travers différentes échelles temporelles, comme explicitement illustré dans le tableau III.14.

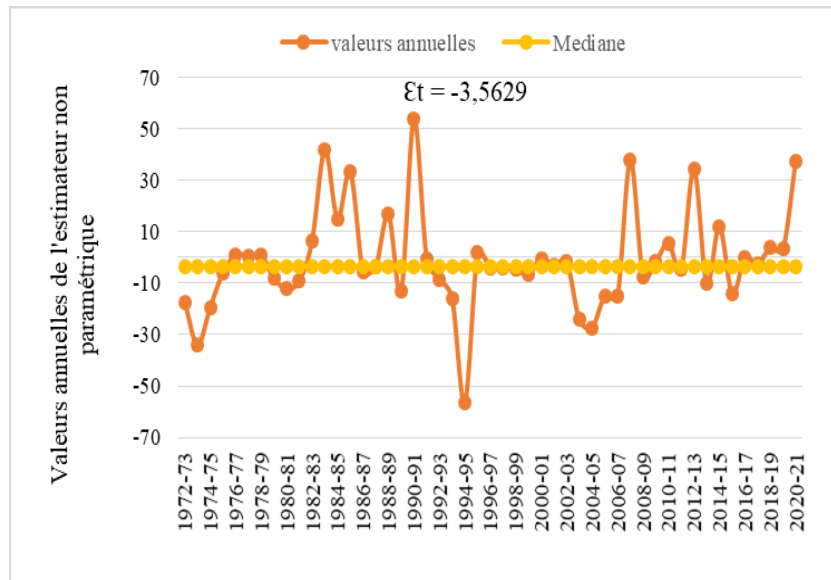


Figure III.30: Valeurs annuelles de l'estimateur non paramétrique et valeurs de coefficient d'élasticité de la température.

La Figure III.31 représentent les diagrammes en boîte à moustaches révèlent les variations conjointes des températures et des débits à différentes échelles temporelles. À l'échelle annuelle, la médiane des données est de 5, indiquant que la plupart des années, les valeurs de l'estimateur se situent entre -5 et 15. Il est crucial de reconnaître que l'estimateur non paramétrique est une estimation, et les valeurs réelles peuvent différer. À l'échelle saisonnière, les valeurs les plus élevées sont observées en été, cohérentes avec les températures plus élevées et les débits plus importants à cette période. À l'échelle mensuelle, les variations sont significatives, avec des valeurs maximales en décembre et janvier, et des valeurs minimales en juillet et août. Pour la saison humide, les valeurs de l'estimateur indiquent des températures et des débits généralement plus élevés, tandis que pour la saison sèche, ces valeurs sont généralement plus basses. Les moyennes peuvent être déformées et ne pas représenter fidèlement la réalité, potentiellement en raison d'une précision insuffisante des données climatiques.

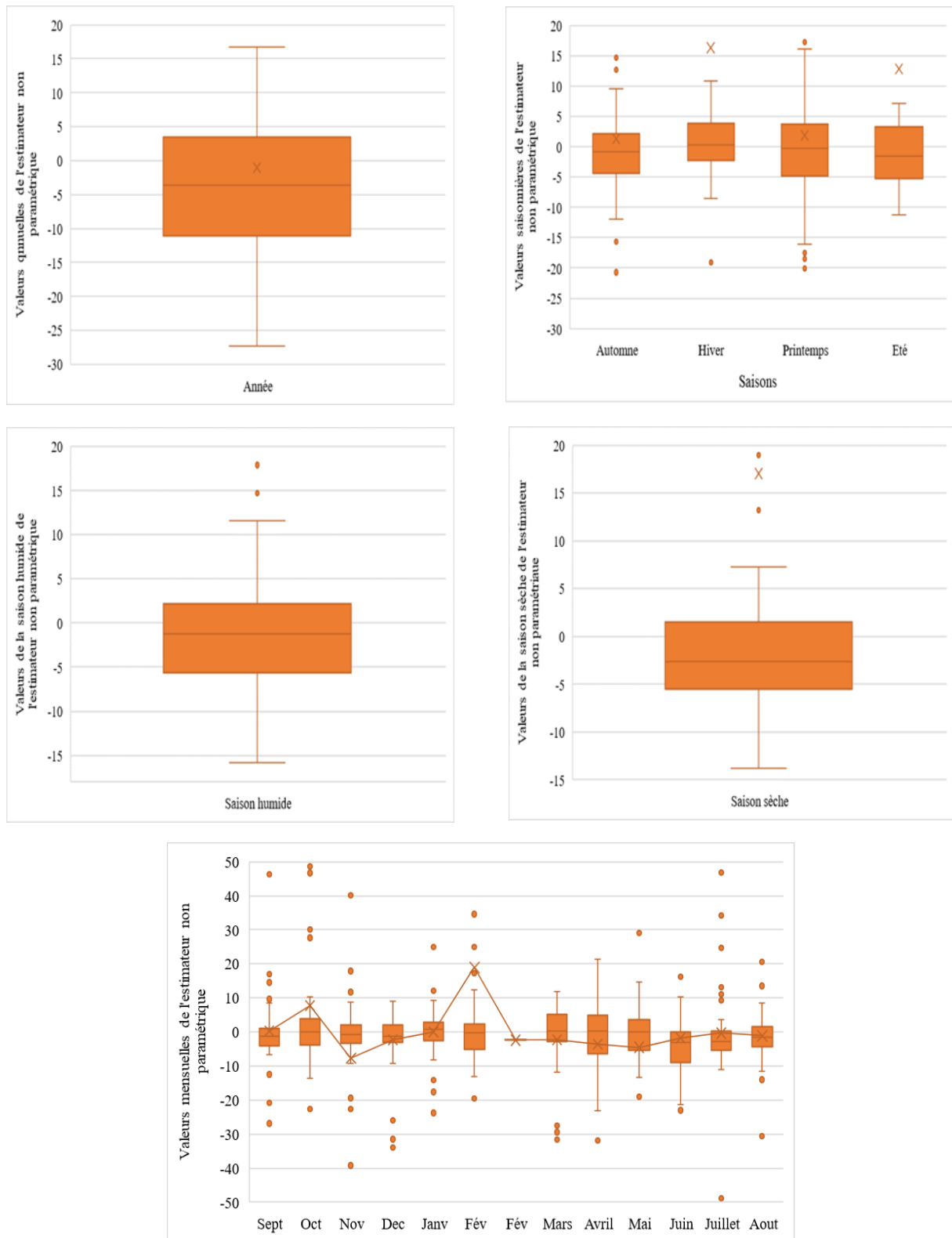


Figure III.31: Valeurs de l'estimateur non paramétrique des températures et des débits à des échelles temporelles

Tableau III.14: Coefficients d'élasticité température-débit

Echelle Temporelle	$\square t$
Annuelle	-3,56
Automne	-0,84
Hiver	0,25
Printemps	-0,32
Eté	-1,57
Septembre	-1,36
Octobre	-0,02
Novembre	-0,89
Décembre	-1,36
Janvier	0,65
Février	-0,35
Mars	0,32
Avril	0,38
Mai	0,11
Juin	-3,10
Juillet	-2,84
Aout	-1,44
Saison humide	-1,22
Saison sèche	-2,59

III.3.2.2. Corrélation températures-débits :

L'étude de la corrélation entre la température et le débit dans le bassin versant de l'Oued Sebdou sur une période de près de 50 ans révèle des tendances significatives (tableau III.15 et figure III.33). L'utilisation du coefficient de corrélation de Pearson permet de quantifier précisément cette relation. A l'échelle annuelle, une corrélation négative modérée est observée, indiquant que le débit diminue lorsque la température augmente, et vice versa (figure III.32). Les variations saisonnières révèlent des influences différenciées de la température sur le débit tout au long de l'année. À une échelle plus fine, les mois présentent des variations saisonnières dans cette corrélation. En septembre, l'association est faible, mais elle devient plus marquée en octobre, novembre et décembre, avec une diminution du débit liée à l'augmentation de la température. Cette tendance persiste jusqu'en juin, tandis que juillet et août montrent une forte réactivité du débit aux variations de température estivales. En analysant les saisons, une corrélation négative modérée est observée tant pour la saison humide que pour la saison sèche, suggérant une réponse significative du débit aux changements de température.

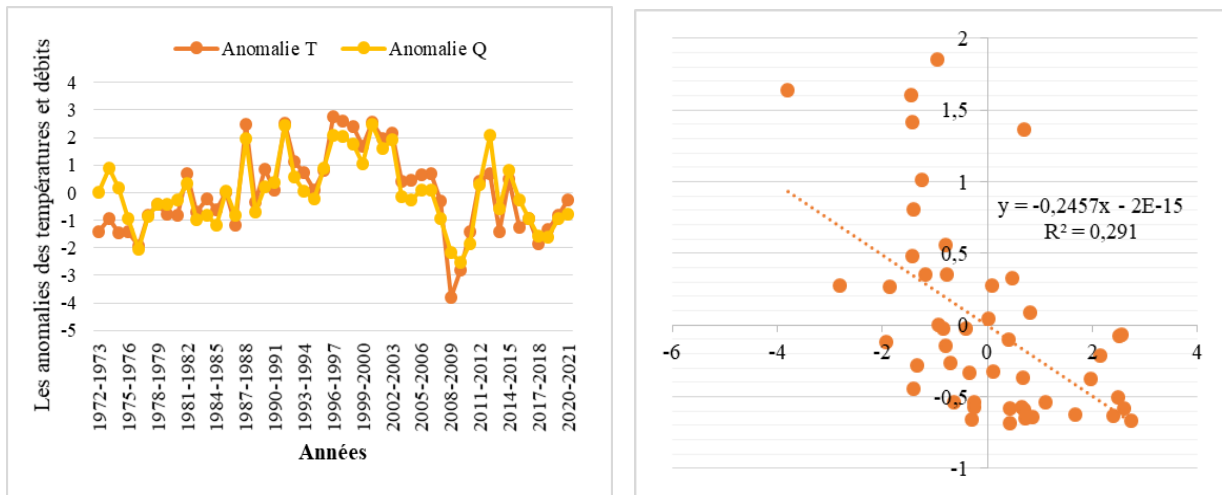


Figure III.32: Corrélation température-débit annuel et Modèle de régression

Tableau III.15: Équations et Coefficients de corrélation température-débit

Echelle temporelle	Equations	R	R ²
Annuelle	$Q = -0,2457T - 2 \cdot 10^{-15}$	-0,5394	0,291
Automne	$Q = -0,0082T + 3 \cdot 10^{-16}$	-0,0531	0,0028
Hiver	$Q = -0,0312T + 2 \cdot 10^{-16}$	-0,1193	0,0142
Printemps	$Q = -0,2469T + 7 \cdot 10^{-16}$	-0,3654	0,1336
Été	$Q = -0,1849T + 7 \cdot 10^{-16}$	-0,3967	0,1574
Septembre	$Q = 0,0081T + 8 \cdot 10^{-18}$	0,0720	0,0052
Octobre	$Q = -0,021T + 3 \cdot 10^{-16}$	-0,1444	0,0209
Novembre	$Q = -0,0515T - 1 \cdot 10^{-16}$	-0,0995	0,0099
Décembre	$Q = -0,1059T + 7 \cdot 10^{-17}$	-0,2525	0,0638
Janvier	$Q = -0,0169T - 2 \cdot 10^{-17}$	-0,0605	0,0037
Février	$Q = -0,0159T - 2 \cdot 10^{-16}$	-0,0822	0,0068
Mars	$Q = -0,0347T - 2 \cdot 10^{-17}$	-0,1822	0,0332
Avril	$Q = -0,0241T - 1 \cdot 10^{-16}$	-0,0944	0,0089
Mai	$Q = -0,0242T + 2 \cdot 10^{-16}$	-0,0898	0,0081
Juin	$Q = -0,0396T + 5 \cdot 10^{-16}$	-0,1822	0,024
Juillet	$Q = -0,0371T + 7 \cdot 10^{-16}$	-0,0944	0,1234
Aout	$Q = -0,0292T + 1 \cdot 10^{-16}$	-0,0898	0,079
Saison humide	$Q = -0,0775T + 4 \cdot 10^{-16}$	-0,2697	0,0728
Saison sèche	$Q = -0,0337T - 2 \cdot 10^{-16}$	-0,2258	0,051

La corrélation entre la température et le débit varie selon les échelles temporelles : Les valeurs les plus proches de zéro, telles que 0,01 et similaires, sont considérées comme étant égales à zéro dans la figure III.33

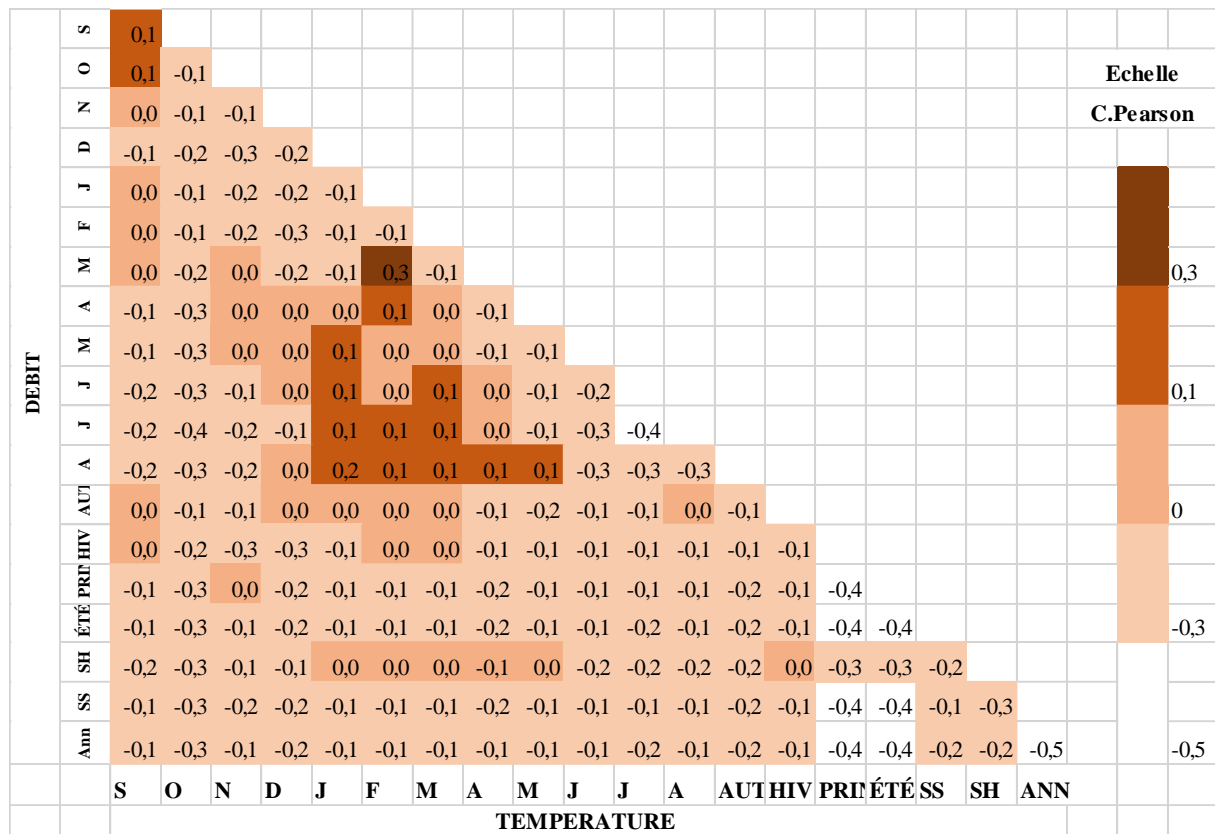


Figure III.33: Corrélation température-débit à l'échelle temporelle sur la période 1972-73 au 2020-21

III.4. REGRESSION LINEAIRE PRECIPITATION-TEMPERATURE-DEBIT :

L'analyse de la régression linéaire entre les précipitations, la température et le débit dans le bassin versant de l'Oued Sebdu, menée sur une période s'étalant de 1972-73 à 2020-21 et documentée dans le tableau III.16, met en lumière des liens significatifs à différentes échelles temporelles. À l'échelle annuelle, ces variables sont étroitement interconnectées, avec environ 85,8% des variations du débit des cours d'eau expliquées par les variations simultanées des précipitations et de la température. L'analyse saisonnière révèle des influences variables de ces paramètres sur le débit, avec une corrélation plus marquée en hiver et une corrélation atténuée en été. Au niveau mensuel, les coefficients de détermination révèlent dans quelle mesure les variations des précipitations et de la température expliquent les fluctuations du débit. Les mois comme Mars et novembre, affichant des coefficients élevés, soulignent une corrélation plus forte entre les variables, tandis que des mois tels que Mai dévoilent des coefficients plus bas, indiquant une corrélation plus faible. Cette tendance se reflète également dans la différence entre la saison humide, caractérisée par une corrélation substantielle entre précipitations, température et débit, et la saison sèche, où cette corrélation est moins prononcée. Ces résultats confirment le rôle prépondérant des conditions météorologiques, en particulier des précipitations et de la température, dans la détermination du débit dans le bassin versant de l'Oued Sebdu.

Tableau III.16: Modèles de régression et coefficients de détermination entre précipitation, température et débit

E.Temporelle	Equations	R ²
Annuel	$Q = 0,0034P - 0,156T + 2,25$	0,858
Automne	$Q = 0,0045P - 0,0127T + 0,45$	0,612
Hiver	$Q = 0,0089P + 0,0066T - 0,32$	0,714
Printemps	$Q = 0,0100P - 0,0301T + 0,53$	0,652
Eté	$Q = 0,002P - 0,0187T + 1,52$	0,144
Septembre	$Q = 0,008P + 0,0019T + 0,40$	0,362
Octobre	$Q = 0,0097P - 0,0072T + 0,54$	0,457
Novembre	$Q = 0,0143P + 0,001T + 0,02$	0,701
Décembre	$Q = 0,0101P - 0,0026T + 0,39$	0,553
Janvier	$Q = 0,013P - 0,025T + 0,74$	0,479
Février	$Q = 0,0184P + 0,0192T + 0,31$	0,519
Mars	$Q = 0,0281P - 0,0208T + 0,64$	0,788
Avril	$Q = 0,0288P - 0,0312T + 0,808$	0,604
Mai	$Q = 0,0038P - 0,016T + 1,073$	0,177
Juin	$Q = 0,0151P - 0,034T + 1,29$	0,489
Juillet	$Q = 0,0125P - 0,015T + 0,79$	0,404
Aout	$Q = 0,0095P - 0,013P + 0,708$	0,396
Saison Humide	$Q = 0,0059P - 0,0104T - 0,74$	0,859
Saison sèche	$Q = 8,2669P - 0,019T + 1,03$	0,225

III.5. POLYONES PRECIPITATIONS-DEBIT ET COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT

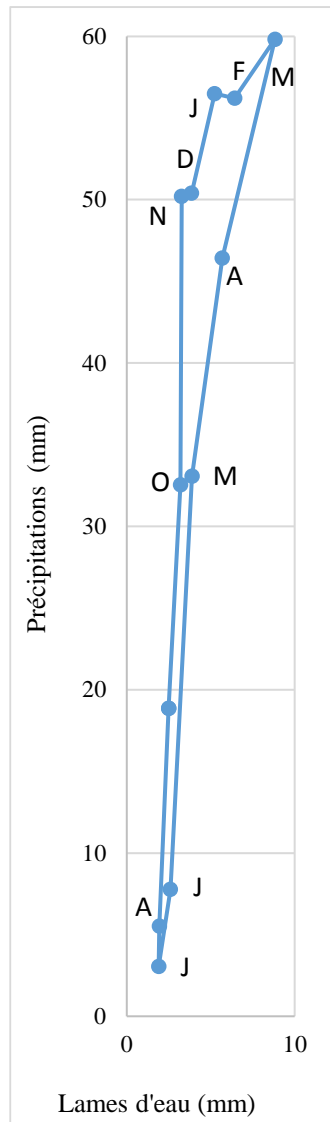
III.5.1. Coefficients de ruissellement :

L'analyse des coefficients d'écoulement moyens mensuels révèle des tendances dans la répartition des précipitations au sein du bassin versant d'Oued Sebdu (tableau III.17). Durant la période de septembre à novembre, ces coefficients se maintiennent à des niveaux relativement modestes, suggérant une prédominance de l'infiltration et de l'évaporation, tandis que décembre voit une légère remontée du ruissellement. Cette tendance se poursuit en janvier, témoignant d'une augmentation progressive du ruissellement, avant d'atteindre un sommet en mars. Les mois suivants, bien que légèrement moins propices au ruissellement, conservent des coefficients supérieurs à la moyenne annuelle, confirmant ainsi une certaine constance dans le processus. Juin se démarque nettement avec une augmentation significative du ruissellement, tandis que juillet atteint des sommets remarquables en termes de pourcentage d'écoulement, il enregistre le coefficient le plus élevé de 62,3%, indiquant une forte proportion des précipitations se transformant en ruissellement pendant ce mois. En août, bien que légèrement inférieur à juillet, le coefficient reste élevé à 35,2%, témoignant encore d'une importante quantité de ruissellement. Un coefficient d'écoulement annuel de 11,7% signifie que seulement environ 11,7% de l'eau de pluie totale finit par s'écouler dans les rivières ou les cours d'eau chaque année. Cela montre que la majeure partie de l'eau est absorbée par le sol ou s'évapore.

Tableau III.17: Valeurs des coefficients d'écoulement moyens mensuels et annuel (%)

S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
13,2	9,8	6,5	7,6	9,2	11,4	14,7	12,2	11,7	33,4	62,3	35,2	11,74

III.5.2. Polygones Précipitation-Débit :



La forme du polygone illustre la variation simultanée des précipitations et des lames d'eau écoulées interannuelles et moyennes mensuelles pendant la période 1972-73 au 2020-21, du bassin versant d'Oued Sebdou (figure III.34).

L'examen visuel du polygone révèle une forme resserrée et abrupte, suggérant une réaction uniforme du bassin versant aux précipitations, avec une stabilité remarquable d'un mois à l'autre. En outre, les segments du polygone associés aux quantités des précipitations de mai à juillet et de juillet à novembre sont presque verticaux. Il est également notable que durant cette période, de juin à août, le taux d'écoulement atteint son maximum, précisément en juillet. Cette augmentation du débit en juillet peut s'expliquer par les précipitations accumulées pendant les mois précédents peuvent être suffisantes pour saturer le sol et augmenter le ruissellement en juillet. De plus, la chaleur estivale peut accélérer l'évaporation de l'eau du sol, entraînant une plus grande concentration des précipitations restantes dans les cours d'eau, ce qui contribue à l'augmentation du débit.

Pendant la période s'étalant de décembre à mars, une variation de pente se produit, se caractérisant par une douceur progressive, favorisant ainsi une contribution croissante au ruissellement. Au cours de ce mois, les précipitations atteignent leur apogée. En décembre et janvier, une réaction hydrologique rapide aux précipitations est observée, notamment du fait que la pente du polygone entre ces deux mois est la plus faible. De mars à avril, une diminution significative du taux d'écoulement est constatée, suggérant que, dès la fin de mars, une part importante des

Figure III.34: Polygone précipitations-lames d'eau (1972-73 à 2020-21)

Dans le cadre de l'étude hydrologique menée sur une période s'étendant de 1972-73 à 2020-2021, une approche analytique basée sur les polygones précipitations-débit a été employée pour examiner les données recueillies. Cette analyse a été divisée en cinq décennies distinctes, chacune couvrant une période de dix ans. Pour chaque décennie, un polygone précipitations-débit a été construit afin de représenter graphiquement les relations entre les précipitations et les débits au fil du temps (figure III.35).

Une observation notable est que la réduction de la période analysée conduit à une simplification des phénomènes hydrologiques. En diminuant la durée de l'analyse, il devient plus facile de distinguer les tendances à long terme et de mettre en évidence les événements extrêmes. Cette approche permet ainsi une meilleure compréhension de la complexité hydrologique et facilite l'identification des phénomènes hydrologiques clés sur la période étudiée. Qui inclut la variabilité saisonnière, les effets différenciés des précipitations sur le ruissellement, les délais de réponse, l'influence des événements météorologiques extrêmes, la recharge des nappes phréatiques et l'évaporation, ainsi que l'interdépendance de ces phénomènes. En général, lorsque les segments de notre polygone sont verticaux, cela indique une faible contribution au ruissellement, tandis que des pentes douces indiquent une contribution importante au ruissellement.

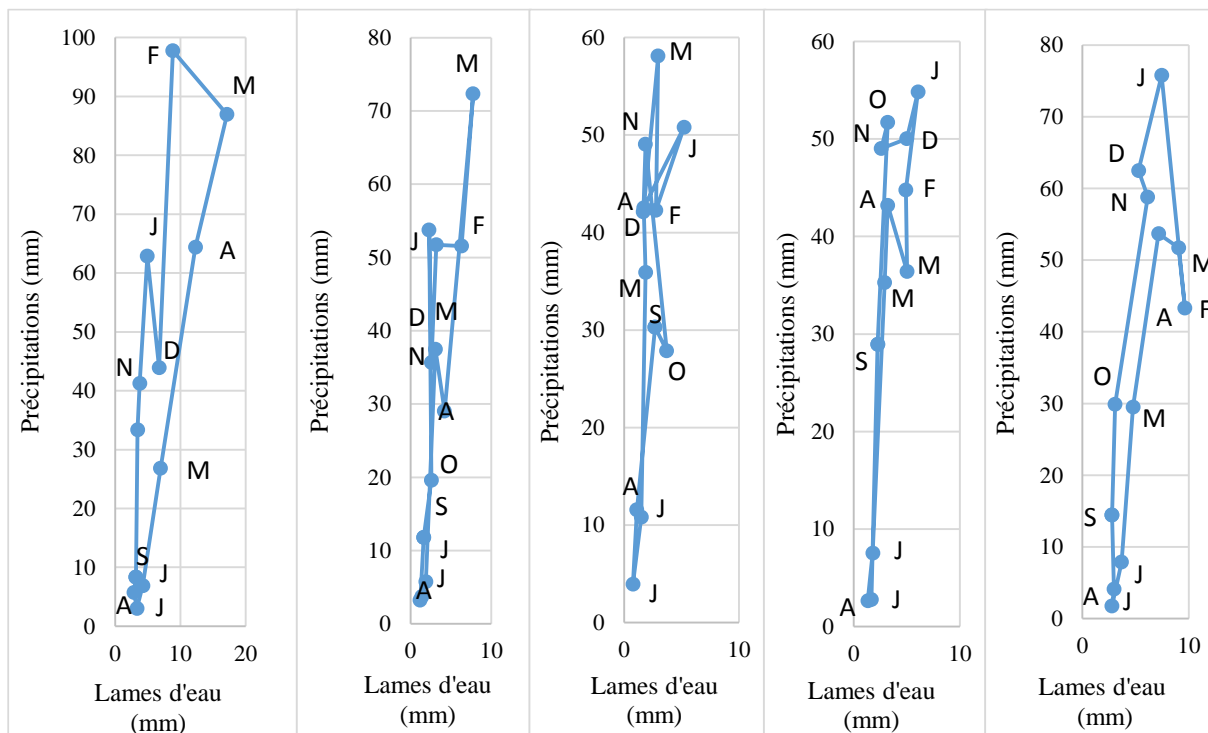


Figure III.35: Polygones précipitations-débits sur cinq décennies (1972-73 à 2020-2021)

Conclusion et Recommandations

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS :

Conclusion :

L'étude approfondie menée sur le bassin versant d'Oued Sebdou, couvrant une période substantielle de près de cinq décennies (1972-73 à 2020-21), a permis d'acquérir des perspectives cruciales sur la dynamique des eaux de surface et leur réaction aux changements climatiques. En appliquant rigoureusement diverses méthodes et procédures analytiques, cette recherche a précisément évalué la variabilité et la tendance temporelle de trois paramètres essentiels : les précipitations, les températures et les débits. Les résultats ont clairement démontré une sensibilité croissante des eaux de surface aux fluctuations climatiques au fil du temps. Cette sensibilité accrue se manifeste par plusieurs observations significatives :

- 1) L'analyse de la variabilité temporelle des précipitations, des températures et des débits dans le bassin versant d'Oued Sebdou révèle des changements notables sur la période étudiée. Ces changements, caractérisés par une diminution des précipitations, une augmentation des températures et une réduction des débits, indiquent une sensibilité croissante des ressources en eau aux changements climatiques dans la région.
- 2) L'analyse des tendances climatiques et hydrologiques, sur différentes échelles temporelles par Les méthodes de Man-Kendall et la pente de Şen ont permis de tirer des conclusions intéressantes :
 - Pour ce qui est des précipitations, bien qu'une légère diminution soit observée globalement sur une base annuelle, aucune tendance significative n'est détectée à l'échelle saisonnière. Cependant, des variations positives ou négatives sont notées selon les saisons, avec des tendances positives en automne et en été, et des tendances négatives en hiver et au printemps. À l'échelle mensuelle, seule la tendance des précipitations en février est significative, avec des diminutions notables, tandis que les autres mois présentent des tendances peu marquées.
 - Quant aux températures, bien que des tendances à la hausse soient observées à certaines échelles temporelles, elles ne parviennent pas à atteindre un seuil de significativité statistique, ce qui entraîne une incertitude quant à leur persistance dans le temps. Les analyses ont révélé que les séries de températures montrent généralement une tendance à la hausse à long terme avec des ruptures graduelles dans les valeurs moyennes qui reflètent une augmentation lente des températures depuis les années 1970 (Zeroual et al. 2017).
 - En ce qui concerne les débits, bien que des indices d'une potentielle diminution soient présents, aucune tendance significative n'émerge, ce qui reflète la complexité des variations hydrologiques dans la région.
- 3) Les liens étroits entre les débits et les précipitations, ainsi que les températures et les débits, mettent en évidence l'influence directe des fluctuations de précipitations et de température sur les flux d'eau. Cette relation est rendue visible par les valeurs du coefficient d'élasticité et du coefficient de corrélation de Pearson.
 - L'analyse des précipitations et des débits dans le but de déterminer les périodes critiques de changement de régime hydrologique et le lien entre la baisse des pluies et la baisse des débits dans un milieu fortement anthropisé (Meddi et Hubert, 2003), révèle une forte sensibilité des débits aux variations annuelles, saisonnières et mensuelles des

Conclusion et Recommandations

précipitations. Les périodes de fortes précipitations sont généralement associées à des débits plus élevés, tandis que les faibles précipitations entraînent des débits plus faibles. La baisse des débits est bien concomitante à celle des pluies (Meddi et Hubert, 2003). Ces relations varient selon les saisons et les mois, avec une corrélation plus forte pendant les saisons humides et une corrélation plus faible pendant les saisons sèches. Le coefficient d'élasticité souligne l'impact significatif des précipitations sur le débit annuel, chaque variation de 1% des précipitations entraînant une variation d'environ 1,32% du débit moyen du bassin versant. Les analyses de corrélation confirment cette relation positive entre les précipitations et les débits, renforçant ainsi l'importance cruciale des précipitations dans la régulation hydrologique du bassin de l'Oued Sebdu.

- L'analyse des relations entre les températures et les débits révèle une corrélation significative entre ces deux variables hydrologiques. À différentes échelles temporelles, des tendances claires émergent : une augmentation de la température est associée à une diminution du débit, avec des variations saisonnières et mensuelles complexes. Les coefficients d'élasticité démontrent une sensibilité du débit aux variations de température, avec des réponses distinctes en fonction des saisons. De plus, les analyses de corrélation mettent en évidence une relation négative modérée entre la température et le débit, confirmant l'impact significatif des changements de température sur le régime hydrologique. L'augmentation des températures signalée, bien que modérée, doit être prise en compte dans la planification de la gestion des ressources en eau pour cette région (Zeroual et al. 2017).
- 4) L'étude de la régression linéaire entre les précipitations, la température et le débit dans le bassin de l'Oued Sebdu sur montre des liens significatifs entre ces trois variables hydrologiques à différentes échelles temporelles. Cette analyse met en lumière une forte interdépendance entre les variations des précipitations, de la température et du débit, avec environ 85,8% des variations annuelles du débit expliquées par les variations simultanées des précipitations et de la température. Les résultats saisonniers et mensuels indiquent également des corrélations variables entre ces paramètres, soulignant ainsi l'impact distinct des conditions météorologiques sur le régime hydrologique. En somme, cette approche confirme l'influence prépondérante des facteurs météorologiques, en particulier des précipitations et de la température, dans la régulation du débit dans le bassin versant de l'Oued Sebdu.
- 5) L'analyse du polygone pluie-débit mensuel a permis de mettre en évidence l'influence des précipitations sur les débits. Les résultats obtenus montrent :
- Le bassin versant d'Oued Sebdu montre une variation saisonnière dans les coefficients de ruissellement, avec une augmentation progressive du ruissellement de décembre à mars, un pic en juillet, et des niveaux significatifs même en août. Seulement environ 11,7% de l'eau de pluie totale s'écoule dans les rivières chaque année, mettant en évidence l'importance de l'infiltration et de l'évaporation dans ce bassin.
 - Les polygones pluie-débit démontrent une relation étroite entre les précipitations et les débits dans le bassin versant d'Oued Sebdu, avec une influence marquée des précipitations accumulées, de la chaleur estivale et de la saisonnalité. L'analyse par décennie permet d'affiner la compréhension des phénomènes hydrologiques et d'identifier les événements extrêmes.

Conclusion et Recommandations

- L'analyse comparative des réponses hydrologiques aux précipitations entre les bassins d'Oued Sebdou et d'Oued Chouly met en lumière des différences marquées. Dans le cadre de cette étude, menée par O. Ghenim en 2020, le bassin d'Oued Chouly présente des coefficients d'écoulement moyens mensuels et annuels relativement faibles, suggérant une prédominance de l'infiltration et de l'évaporation. La réponse hydrologique y est plus modérée, avec une variation de pente du polygone plus douce entre décembre et mars. En revanche, le bassin d'Oued Sebdou se distingue par des coefficients d'écoulement plus élevés, notamment en été et en hiver, avec une réponse hydrologique plus rapide et une variation saisonnière plus prononcée. Les mois d'été dans les deux bassins présentent une faible réponse en termes de ruissellement, mais une évaporation importante est observée.

En conclusion, il est considéré que l'analyse de la variabilité, des tendances et des interactions entre les précipitations, températures et les débits dans le réseau hydrographique constitue une démarche particulièrement enrichissante pour approfondir notre compréhension du fonctionnement des bassins versants. Ces résultats soulignent la nécessité d'une gestion durable des ressources en eau dans le bassin versant d'Oued Sebdou, en tenant compte des impacts avérés et des projections futures des changements climatiques. Cette étude enrichit notre compréhension globale des interactions complexes entre le climat, l'hydrologie et l'environnement, mettant en évidence la nécessité d'une gestion proactive et adaptative des ressources en eau face aux défis posés par le changement climatique.

Recommandations :

Pour mieux gérer les impacts des changements climatiques sur les écoulements dans les cours d'eau, il est crucial d'adopter des stratégies de gestion de l'eau adaptatives et proactives, intégrant une planification à long terme. Cela implique de prendre en considération la saisonnalité des écoulements et la distribution des débits tout au long de l'année. Des mesures telles que la conservation de l'eau, une utilisation efficace des ressources hydriques, la diversification des sources d'eau et la gestion des bassins versants sont nécessaires pour renforcer la résilience du système hydrique. Parallèlement, un suivi et une surveillance continus des paramètres hydrologiques, incluant les précipitations, les températures, les débits et les niveaux des nappes phréatiques, sont essentiels pour évaluer l'efficacité des stratégies mises en œuvre et pour mieux comprendre les variations hydrologiques à différentes échelles temporelles.

Reconnaissant l'importance de protéger les ressources en eau à long terme, il est essentiel d'adopter des mesures d'atténuation du changement climatique. Ces mesures visent à réduire les émissions de gaz à effet de serre, principaux moteurs du changement climatique, afin de limiter son impact sur les régimes hydrologiques. En investissant dans des politiques et des technologies visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans tous les secteurs de l'économie, nous pouvons contribuer à stabiliser le climat et à préserver la disponibilité et la qualité des ressources en eau pour les générations futures.

En outre, la coopération internationale est cruciale pour contrer les effets du changement climatique. L'Algérie, aux côtés d'autres nations, doit activement participer aux discussions mondiales sur le climat et plaider en faveur d'une action climatique renforcée. En unissant leurs efforts, les pays peuvent agir de manière plus efficace pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et protéger les ressources en eau. En travaillant ensemble, ils peuvent faire progresser

Conclusion et Recommandations

les accords et politiques nécessaires pour atténuer les impacts du changement climatique et assurer la durabilité des ressources en eau pour les générations futures.

On recommande aussi d'encourager l'adoption de pratiques agricoles résilientes et adaptatives, telles que des techniques d'irrigation économes en eau, une gestion durable des terres et la culture de variétés résistantes à la sécheresse. En intégrant ces pratiques dans les systèmes agricoles, les agriculteurs peuvent optimiser leur utilisation de l'eau, renforcer leur résilience aux conditions climatiques changeantes et atténuer les impacts négatifs sur la productivité agricole. Cette approche contribue également à la préservation des ressources en eau et à la durabilité des pratiques agricoles dans un contexte de changement climatique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- Abdelmoumene. H (2021) : Méthodes de prédétermination des débits maximums, application au bassin versant de l'oued Sebdou (N.W algérien).Univ Tlemcen. Pages 14-15, 18, 37-38.<http://dSPACE.univ-tlemcen.dz>.
- Arnell N. W (1999) : Climate change and global water resources. *Global Environ. Change* 9, S31–S49. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(99\)00017-5](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(99)00017-5).
- Baba-Hamed K., Kerzabi R. (1991) : Contribution A L'étude Hydrogéologique De La Haute Tafna En Amont Du Barrage Beni – Bahdel (Monts De Tlemcen). *Mém. Ing. Etat, Univ. Tlemcen*, Tome 1et 2, 424 P., 154 Fig., 61 Tab., 5 Pl., 15 Ph.H.T.
- Benest M., Bensalh M. 1999. *La Couverture Mésozoïque Et Cénozoïque Du Domaine Tlemcenien (Avant Pays D'algérie Occidentale) : Stratigraphie, Paléo-Environnement*.
- Berna, Henri (1977) : coefficient d'écoulement-GDT<https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca>.
- Duguma, F.A., Feyessa, F.F., Demissie, T.A., Januszkiewicz, K. (2021) : Hydroclimate Trend Analysis of Upper Awash Basin, Ethiopia. *Water* , 13, 1680. <https://doi.org/10.3390/w13121680>
- Ghenim AN, Megnounif A, Seddini A, Terfous A (2010) : Fluctuations hydropluviométriques du bassin-versant de l'Oued Tafna à Béni Bahdel (Nord-Ouest Algérien). *Sécheresse* 21 : 115-20. doi: 10.1684/sec.2010.0240.
- Ghenim AN, Megnounif A (2013) (a): Analyse des précipitations dans le Nord-Ouest algérien. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 24(2), 107-114.
- Ghenim AN, Megnounif A (2013) (b): Ampleur de la sécheresse dans le bassin d'alimentation du barrage Meffrouche (Nord-Ouest de l'Algérie). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 7), 35-49.
- Ghenim O (2020) : Analyse conjointe des régimes pluviométrique et hydrologique du bassin de Oued Chouly. <http://dSPACE.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/15572/1/Ms.Hyd.Ghenim.pdf>.
- Guillaume (2020) : Cours Biostatistiques-test de corrélation de variables sous R. [Guillaume 17 juin 2020Biostatistiques](#)
- Khemissi.H (2020) : Application des systemes hybrides (neuro-flous) à la modelisation de la salinite des cours d'eau : cas du bassin versant tafna- Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA) El-HARRACH (ALGER)-http://dSPACE.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/2225/1/HOUARI_KHEMISSI .
- Kadioglu M., Sen Z. (2001): Monthly precipitation-runoff polygons and mean runoff coefficients, *Hydrological Sciences Journal*, 46:1, 3-11, DOI: 10.1080/02626660109492796.
- Kendall. M. G.. (1975). *Rank Correlation Methods*. Oxford Univ. Press. New York.
- Knippertz P., Christoph M. & Speth P (2003) : Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates. *Meteorol. Atmos. Phys.* 83, 67–88. <https://doi.org/10.1007/s00703-002-0561-y>.

Bibliographie

Koura.M, Lagraa.A, Boussouar.A(2021): Estimation de la recharge à l'aide d'un Modèle hydrologique "GARDENIA". Application au bassin versant d'oued Sebdu (Haute Tafna). Univ-Tiaret.P 22,28- <http://dspace.univ-tiaret.dz/handle/123456789/6665?mode=full>

Mami A., Raimonet M., Yebdri D., Sauvage S., Zettam A. & Sanchez-Perez J.-M (2021) : Future climatic and hydrologic changes estimated by bias-adjusted regional climate model outputs of the Cordex-Africa project: case of the Tafna basin (North-Western Africa). Int. J. Global Warm. 23 (1), 58–90.

Mann HB (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13:245–259.

Marie Chavent : Régression linéaire multiple. Univ- Bordeaux. https://pageperso.lis-lab.fr/alexis.nasr/Ens/IAAAM2/ModStat_C2_print.pdf.

Meddi M, Hubert P (2003) : Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'Algérie. *Hydrology of the Mediterranean and semiarid Regions*. IAHS Publications 278.

Nuwater (2024) : <https://nuwater.com/fr/exploring-the-impact-of-climate-change-on-water-resources-in-south-africa/>

Sabzevari A.A., Zarenistanak M., Tabari H., Moghimi S. (2015): Evaluation of precipitation and river discharge variations over southwestern Iran during recent decades, *J. Earth Syst. Sci*, 124, 335–352.

Sellami H, Benabdallah S, La Jeunesse I, Vanclooster M (2016) : Quantifying hydrological responses of small Mediterranean catchments under climate change projections, *Science of The Total Environment*, Volume 543, Part B, , Pages 924-936, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.006>.

Taibi S., Meddi M., Mahe G. & Assani A (2017) : Relationships between atmospheric circulation indices and rainfall in Northern Algeria and comparison of observed and RCM-generated rainfall. *Theor. Appl. Climatol.* 127, 241–257. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1626-4>.

Thomas, G. (1985) : Géodynamique d'un bassin intra-montagneux, le bassin du bas Cheliff occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire », Thèse d'Etat, Univ. Pau, 594 pp.

Zettam A., Taleb A., Sauvage S., Boithias L., Belaidi N. & Sánchez-Pérez J. M (2017) : Modelling hydrology and sediment transport in a semi-arid and anthropized catchment using the SWAT model: the case of the Tafna River (Northwest Algeria). *Water* 9, 216. <https://doi.org/10.3390/w9030216>.

Zeroual A, Assani A, Meddi M (2017) : Combined analysis of temperature and rainfall variability as they relate to climate indices in Northern Algeria over the 1972-2013 period, *Hydrology Research*, 48, 584-595 DOI :10.2166/nh.2016.244

<https://datascientest.com/regression-lineaire-multiple-tout-savoir>