



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
جامعة زيان عاشور - الجلفة
Université Ziane Achour - Djelfa
كلية علوم الطبيعة والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la vie
قسم العلوم الفلاحية والبيطرة
Département des Sciences Agronomique

Projet de fin d'étude
En vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité : Eau et environnement

Thème :

*Étude de la Rupture et de la Tendence des séries Hydro-
Climatiques (Cas de la région de Djelfa)*

Présenté par :

• M^{elle}. BOUTOUB Nour el Houda

Devant le Jury composé de :

- Président: Dr. AZOUZ Mohamed Université de Djelfa
- Promoteur: Professeur. AZOUZI. Bilal Université de Djelfa
- Examineur: Dr. SAHEL Boudjemâa Université de Djelfa
- Invité: Mr. SBAA Cherif ONA Djelfa

Année Universitaire 2023 / 2024

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers Professeur AZOUZI. B, pour sa guidance éclairée, ses conseils précieux et son soutien indéfectible tout au long de cette recherche. Sa disponibilité, sa patience et son expertise ont été des atouts précieux qui ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je souhaite adresser mes sincères remerciements à tous les membres de mon jury de thèse, pour leur engagement, leurs commentaires constructifs et leur contribution à l'enrichissement de ce travail de recherche.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers [Nom de l'institution/université], pour avoir mis à ma disposition les ressources nécessaires à la réalisation de cette thèse.

Mes remerciements vont également à mes collègues et à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet.

Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude envers ma famille et mes amis pour leur soutien inconditionnel, leur encouragement constant et leur compréhension tout au long de ce parcours académique.

Ce travail de recherche n'aurait pas été possible sans le concours et le soutien précieux de toutes les personnes mentionnées ci-dessus. Merci du fond du cœur.

BOUTOUB Nour el Houda

Dédicaces

À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leur encouragement constant tout au long de ce parcours académique. Vos sacrifices et votre dévouement ont été une source d'inspiration inestimable pour moi.

À mes frères et sœurs, pour leur soutien moral et leur encouragement tout au long de mes études. Vos encouragements et vos conseils ont été d'une grande valeur pour moi.

À mes amis proches, pour leur présence réconfortante, leurs encouragements sincères et leur compréhension pendant les moments les plus difficiles.

À tous ceux qui ont croisé ma route et ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse, je vous adresse ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements.

Ce travail est dédié à tous ceux qui m'ont soutenu, encouragé et inspiré tout au long de cette aventure académique.

BOUTOUB Nour el Houda

Sommaires

Liste des figures:	7
Liste des tableaux.....	8
Introduction Générale	10

Partie Bibliographique

Chapitre 01: Changements climatiques	14
I. Changements Climatiques:	15
I.1. Causes des Changements Climatiques:	15
I.2. Conséquences des Changements Climatiques:	16
a) Impacts Environnementaux:	16
b) Impacts Socio-économiques:	16
Chapitre 02: Tests de Tendances et de rupture	18
II. Tests de Tendances et de ruptures:	19
II.1. Séries Pluviométriques:	19
a) Définition de série pluviométrique:	19
II.2. Tendances et ruptures des séries pluviométriques:	20
II.2.1 Définition des tendances et ruptures:	20
a) Définition des Tendances:	20
b) Définition des Ruptures:	21
II.2.2 Méthodes d'analyse des tendances et ruptures:	21
II.2.2.1 Tests de vérification du caractère aléatoire :	21
a. Autocorrélogramme :	21
a.1) Méthodes :	22
b. Test de Corrélation sur le Rang	23
b.1 Rang des observations:	23
b.2 Calcul du coefficient de corrélation de Spearman:	23
b.3 Test de Significativité:	24
II.2.2.2 Tests de Tendances:	24
a) Test de Mann-Kendall:	24
b) Test de Mann-Kendall Modifiée:	25
c) Test de Sen.....	25
d) Régression Linéaire :	26
II.2.2.3 Tests de Ruptures :	27
a) Test de Buishand:.....	27
b) Test de Pettitt:	28

c) Méthode bayésienne de Lee et Heghinian:	29
d) Segmentation de Hubert:	30
II.2.2.4. Test de Normalité :	31

Partie Expérimentale

Chapitre 03: Le cadre Géographique	34
I. Présentation de la zone d'étude:	35
I.1 Généralités:	35
I.2 Cadre Géographique de l'Étude (W. Djelfa):.....	35
I.2.1 Géographie:	35
I.2.2 Géologie:	37
I.2.3 Pédologie:	38
a. Classe des sols Calc-magnésiques:	38
b. Classe des sols iso humiques:	38
c. Classe des sols peu évolués:.....	38
I.2.4 Reliefs:.....	38
I.3 Climat:.....	39
I.4.1 Température:.....	40
I.4.2 Précipitations:	40
I.4.3 Vents:.....	41
I.4.4 Synthèse Climatique:	41
I.4 Hydraulique:.....	42
a) Ressources en eau superficielle:	42
b) Ressources en eaux souterraines:	42
I.3.1 Réseau Hydrique:	42
Chapitre 04: Acquisition des Données	43
I. Acquisition des Données:	44
I.1 site www.infoclimat.fr :.....	44
I.2 Logiciel « KhronoStat »:.....	52
I.2.1 Etapes d'utilisation de KhronoStat:	53
Chapitre 05: Résultats et discussion.....	56
I. Résultat des précipitations annuelles (P en mm):	57
I.1 Test de Normalité	57
I.1 Interprétation P en fonction du temps (Autocorrélation):	57
I.1.1 Représentation graphique de la série P:.....	58
I.2 Tests de vérification du caractère aléatoire :	60
I.2.1 Test de corrélation sur le RANG :	61

I.2.2 Autocorrélogramme et son intervalle de confiance :	61
I.2.3 Autres tests de tendances :	62
I.2.4 Test de tendance par Régression linéaire simple	63
I.3 Tests de détection de rupture	64
I.3.1 Test de BUISSHAND et ellipse de BOIS	64
I.3.2 Méthode non paramétrique de PETTITT	65
I.3.3 Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAI	66
I.3.4 Segmentation de HUBERT:	67
II. Résultat des Températures (T en °C):	69
II.1 Résultat des températures moyennes annuelles (T en °C):	69
II.2 Tests de vérification du caractère aléatoire	70
II.2.2 Test de corrélation sur le RANG	71
II.2.3 Test de tendance par Régression linéaire simple de la série thermique:	71
II.3 Tests de détection de rupture:	72
II.3.1 Méthode non paramétrique de PETTITT:	72
II.3.2 Segmentation de HUBERT	73
Conclusion générale:	75
Références Bibliographiques :	77
Résumé	80

Liste des figures:

Figure 01: Évolution de la population (1966-2008) la ville de Djelfa.....	35
Figure 02: Carte de situation géographique du milieu d'étude(Base cartographique INTC 2009).....	36
Figure 03: Diagramme Ombrothermique de Djelfa (1982-2023) établi avec Statistica.....	41
Figure 04: Interface de site web www.infoclimat.fr/climatologie	44
Figure 05: L'interface de les données climatiques de Djelfa.....	45
Figure 06: L'interface de la climatologie globale de Djelfa.....	46
Figure 07: Le champ pour entrer dans l'année où nous voulons étudier.....	46
Figure 08: Les détails de l'année 1982.....	47
Figure 09: photo d'un fichier Excel avec notre donnée.....	48
Figure 10: les étapes pour réaliser un fichier ksi	49
Figure 11: Un fichier KSI.....	50
Figure 12: logiciel khronoStat	51
Figure 13: étape 01	52
Figure 14: étape 02.....	52
Figure 15: étape 03.....	53
Figure 16: étape 04.....	53
Figure 17: étape 05.....	54
Figure 18: Les résultats.....	54
Figure 19: L'évolution de la série (P) entre (1982-2023).....	57
Figure 20: Corrélogramme linéaire de la série des pluies moyennes annuelles (1982-2023) de Djelfa.....	58
Figure 21: Corrélogramme (en bars) de la série des pluies moyennes annuelles (1982-2023) de Djelfa.....	58
Figure 22: Évolution en histogramme de la série pluviométrique de Djelfa (1982-2022).....	59
Figure 23: L'autocorrélogramme et de son intervalle de confiance:.....	60
Figure 24: Test de la tendance linéaire par régression simple.....	63
Figure 25: Résultats du Test de BUISHAND sous forme d'ellipse de BOIS à différents seuils de confiance.....	64
Figure 26: Résultats du Test de Pettitt sous forme de courbe U en fonction du temps.....	65
Figure 27: Résultats de la méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN sous forme d'histogramme de densité de probabilité en fonction du temps.....	66
Figure 28: les valeurs des températures moyennes annuelles (T en °C).....	69
Figure 29: Corrélogramme linéaire avec intervalle de confiance de la série température.....	69
Figure 30: Test de la tendance linéaire des températures schématisé par une courbe de régression (rouge) avec leurs intervalles de confiance à 95% (bleu).....	71
Figure 31: Les résultats du Test de Pettitt.....	72

Liste des tableaux

Tableau 01: Croissance de la population de la commune de Djelfa entre (1966 et 2008) selon les R.G.P.H.....	35
Tableau 02: Températures mensuelle moyennes, maximales et minimales (C°) du milieu d'étude sur30 ans (1982 - 2023).....	40
Tableau 03: Répartition des précipitations moyennes mensuelles (en mm) de 1982 à 2023.....	40
Tableau 04: Paramètres statistiques de la série pluviométrique annuelle.....	56
Tableau 05: Résultats des tests de Mann Kendall, Laplace et Poisso.....	61
Tableau 06: Résultat du test de la tendance par régression linéaire simple (OLSR).....	63
Tableau 07: Résultats de la Segmentation de Hubert au niveau de signification du test de Scheffé:1%	67
Tableau 08: Statistiques de la série des températures moyennes annuelles (1982-2023).....	68
Tableau 09: Résultat du test de la tendance par régression linéaire simple (OLSR).....	70
Tableau 10: Segmentation de Hubert au Niveau de signification du test de Scheffé : 1%	72

Introduction Générale

Introduction Générale

Se trouvant à la limite nord du Sahara algérien, La région de Djelfa est confrontée à des préoccupations cruciales liées à son climat aride et à une pluviométrie sévèrement limitée. Dans ce contexte, les ressources en eau, déjà rares et précieuses, sont confrontées à des menaces accrues en raison des changements climatiques qui s'annoncent persistantes dans la région. L'urgence de comprendre l'ampleur de ces changements et de leurs répercussions sur les séries hydrométriques a conduit à la formulation du présent mémoire à travers l'étude des ruptures et tendances de telles séries.

L'ampleur de cette menace souligne la nécessité pressante d'analyser en profondeur les tendances et les ruptures des séries hydrométriques. En effet, c'est à travers une telle étude que nous pourrions appréhender de manière approfondie les dynamiques complexes de ces changements climatiques et, par conséquent, formuler des stratégies de gestion adaptatives et préventives.

L'étude des séries chronologiques des données de pluie à différents sites de mesures (analyse régionale) ou à un seul site de mesure (analyse ponctuelle) sur des périodes plus ou moins longues permet de caractériser d'éventuelles fluctuations d'ordre climatique. Le présent travail a pour but de résumer les différentes approches statistiques qui sont souvent utilisées pour analyser les séries chronologiques de données hydro-pluviométriques en l'occurrence les tests de tendances et de ruptures.

A l'opposé d'une analyse régionale (qui porte sur plusieurs sites), et dans le cadre d'une analyse ponctuelle (ou par site), ces approches seront appliquées pour étudier les précipitations annuelles d'une seule série de données dans la région de Djelfa sur une période de 42 années.

Notre travail s'inscrit donc dans la théorie des séries chronologiques (ou temporelles) qui est appliquée de nos jours dans plusieurs domaines aussi variés que l'économétrie, la médecine ou la démographie, ainsi que la climatologie et autres (**Ghettout, 2022**). Dans le but de décrire, expliquer puis prévoir un phénomène dans le futur, on étudie son évolution au cours du temps. On dispose ainsi d'observations à des dates différentes c'est à dire d'une série d'observations ordonnées dans le temps pendant une durée bien déterminée.

Il faut rappeler que les séries temporelles ont fait l'objet de nombreuses études dans la littérature voir par exemple : Kendall (1955, et 1975), Pettitt (1979), Lombard (1987), Jaruskova (1997) et Reeves et al (2007). Ces tests s'appuyant sur l'hypothèse de "non rupture" sous l'hypothèse nulle H_0 .

Introduction

Méthodologiquement parlant, la démarche consiste à suivre les étapes suivantes :

- Préparation d'un jeu de données,
- Analyse exploratoire des données
- Vérification de l'autocorrélation des séries chronologiques
- Mise en œuvre de tests statistiques appropriés
- Interprétation des résultats.

Le choix des deux paramètres précipitations et température est dicté par le fait que ces paramètres représentent les composantes les plus importants du climat tant pour les êtres vivants que pour les éco systèmes en particulier steppiques. Par conséquent la majorité des études et analyses climatiques s'appuient principalement sur les précipitations et la température pour appréhender et comprendre les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources hydriques superficielles et souterraines.

Pour ce faire, notre étude, s'articulera autour de deux grandes parties (une partie bibliographique et une autre expérimentale) composées de 5 chapitres principales qui sont :

- Un premier chapitre sur les changements climatiques
- Un deuxième chapitre sur les tests de tendances et les tests de ruptures
- Un troisième chapitre dans lequel nous présentons notre zone d'étude avec sa situation géographique, ces caractéristiques morphologiques et climatiques
- Un quatrième chapitre sur l'acquisitions des données et les programmes utilisées
- Une cinquième chapitre comportant la mise en œuvre de l'analyse des tests de tendances et de ruptures de la série pluviométrique de la station de Djelfa avec les résultats et discussions,

Ce travail entre dans le cadre d'une problématique climato- hydrologique qui nous a permet d'aborder les points suivants :

- Étudier le caractère aléatoire (stationnaire ou non stationnaire) des paramètres climatiques précipitations et température par les différents approches et tests de tendances des séries chronologiques.
- Comment effectuer et analyser les tests de tendances et de ruptures d'une série hydro climatique ?

Introduction

- Appréhender le début des changements climatiques à travers les points de rupture d'une série climatique ?

À travers de telles études, on aspire à fournir des connaissances substantielles sur les fluctuations climatiques aboutissant à des changements climatiques qui peuvent et doivent contribuer à éclairer les décisions futures en matière de gestion des ressources en eau dans la région de Djelfa.

En somme, ce travail se positionne comme une contribution significative à la compréhension des défis hydro-climatiques auxquels la région est confrontée, et à la formulation de solutions préventives et adaptatives pour la préservation de ses ressources hydriques.

Partie

Bibliographique

Chapitre 01: Changements climatiques

I. Changements Climatiques:

Depuis des millénaires, le climat de la Terre fluctue en fonction du lieu et du temps. Les modifications observées sont généralement de nature graduelle, ce qui diminue toute conscience immédiate que les humains peuvent en avoir. Au contraire, le changement climatique semble s'être intensifié au cours des dernières décennies. Compte tenu des circonstances actuelles, il n'est pas surprenant que la population en général s'interroge sur la véracité de ces transformations, leurs origines, leur trajectoire et, plus important encore, leurs répercussions sur les moyens de subsistance, le bien-être, les systèmes écologiques, les affaires économiques et la santé (IPCC, 2014).

La science peut s'efforcer d'offrir des réponses faisant autorité à ces questions, même provisoires ou transitoires, tant que sa méthodologie reste régie par le principe d'objectivité qui devrait régir tous les efforts scientifiques.

Les changements climatiques se réfèrent à des modifications à long terme des paramètres climatiques d'une région ou de la planète dans son ensemble. Ces changements incluent les variations des températures moyennes, des schémas de précipitations, des vents, de l'humidité et d'autres variables climatiques sur des périodes prolongées, généralement de plusieurs décennies à plusieurs siècles (IPCC, 2014).

I.1. Causes des Changements Climatiques:

Les changements climatiques sont causés par une combinaison de facteurs humains et naturels. Les activités humaines, telles que la combustion de combustibles fossiles pour l'énergie et le transport, l'agriculture intensive, la déforestation et l'urbanisation croissante, libèrent d'importantes quantités de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Parmi ces GES, le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O) sont les principaux contributeurs au réchauffement climatique en piégeant la chaleur dans l'atmosphère (Vennetier, 2012).

Parallèlement, les variations naturelles du climat, telles que les cycles solaires, les éruptions volcaniques et les oscillations océaniques, peuvent également influencer les tendances climatiques à long terme. Par exemple, les éruptions volcaniques majeures peuvent injecter des aérosols dans l'atmosphère, réfléchissant une partie de la lumière solaire et entraînant un refroidissement temporaire de la planète (Allenbach, 2013).

I.2. Conséquences des Changements Climatiques:

a) Impacts Environnementaux:

Les conséquences des changements climatiques sur l'environnement engendrent une multitude d'impacts, avec des répercussions significatives sur les écosystèmes terrestres et marins à travers le monde. L'augmentation des températures moyennes, en particulier, exerce une pression considérable sur la biodiversité et les habitats naturels. Les écosystèmes fragiles, tels que les récifs coralliens, les forêts tropicales et les zones humides, sont confrontés à des conditions de stress thermique accrues, entraînant des blanchissements coralliens, des incendies de forêt et des migrations d'espèces.

Parallèlement, les changements dans les schémas de précipitations induisent des variations climatiques extrêmes, avec des sécheresses prolongées dans certaines régions et des événements de précipitations intenses dans d'autres. Ces phénomènes météorologiques extrêmes exacerbent les risques de catastrophes naturelles telles que les inondations, les glissements de terrain et les sécheresses, impactant la sécurité alimentaire, la disponibilité en eau et les infrastructures (**Solomon, 2007**).

Une autre conséquence majeure des changements climatiques est l'élévation du niveau de la mer, résultant de la fonte des calottes glaciaires et des glaciers ainsi que de l'expansion thermique de l'eau. Cette élévation menace les populations côtières, les écosystèmes côtiers et les infrastructures critiques, exposant des millions de personnes à un risque accru d'inondations côtières et de submersion des terres basses (**Houghton et al. 2001**).

b) Impacts Socio-économiques:

Le changement climatique a des conséquences socio-économiques importantes sur de nombreux secteurs de la société, notamment l'agriculture, la sécurité alimentaire et les ressources en eau. Les fluctuations des régimes de précipitations et des températures peuvent entraîner des périodes prolongées de précipitations faibles ou inexistantes, des inondations soudaines et intenses et des phénomènes météorologiques extrêmes, ce qui peut avoir un impact sur l'efficacité de l'agriculture, la disponibilité des récoltes et la stabilité de la nourriture. Fournir les zones rurales et les personnes qui dépendent de l'agriculture de subsistance sont particulièrement vulnérables, ce qui entraîne une insécurité alimentaire accrue et une détérioration des conditions de vie (**Einhorn et al. 2015**).

Le changement climatique a un impact significatif sur la biodiversité et les écosystèmes terrestres et marins. Cela entraîne la perte d'habitats naturels, la fragmentation des écosystèmes et la migration des espèces, qui constituent autant de dangers pour la stabilité des écosystèmes et la survie des espèces. De plus, le changement climatique a un effet direct sur la santé humaine et les infrastructures. Plus précisément, les vagues de chaleur intenses peuvent entraîner des maladies liées à la chaleur et une mortalité précoce, tandis que l'augmentation des températures contribue à la prolifération de maladies à transmission vectorielle telles que le paludisme et la dengue.

Les phénomènes météorologiques extrêmes peuvent potentiellement endommager les infrastructures essentielles, entraînant des pertes financières substantielles et des vulnérabilités accrues en matière de sécurité (**Einhorn *et al.* 2015**).

Chapitre 02:

Tests de Tendance et de rupture

II. Tests de Tendances et de ruptures:

II.1. Séries Pluviométriques:

Une série pluviométrique représente une séquence chronologique d'observations météorologiques sur une période donnée. Elle constitue aujourd'hui un outil largement utilisé pour anticiper les conditions météorologiques futures.

Essentielle à l'analyse climatique et hydrologique, la série pluviométrique offre un aperçu détaillé des schémas de précipitations au fil du temps. Ces données, collectées à partir de stations météorologiques disséminées géographiquement, sont d'une importance capitale pour comprendre les variations spatio-temporelles des précipitations. Leur analyse fournit des informations cruciales dans des domaines variés tels que l'agriculture, la gestion des ressources en eau et la planification des infrastructures (Vissin *et al.* 2003).

Ce chapitre explore en profondeur les méthodes et les techniques utilisées pour analyser la série pluviométrique. L'analyse des séries pluviométriques constitue une étape essentielle pour caractériser le climat d'une région donnée.

Le but de cette étude est de mettre en évidence les tendances et les ruptures observées dans les séries pluviométriques et hydrologiques du Djelfa, et de montrer le poids des mois les plus pluvieux dans la baisse pluviométrique et hydrologique de ces dernières années et vis versa.

a) Définition de série pluviométrique:

Une série pluviométrique est un ensemble de données qui enregistre les précipitations atmosphériques (pluie, neige, grêle, etc.) sur une période de temps spécifique et dans une région donnée. Ces données sont collectées à partir de stations météorologiques équipées de pluviomètres, des instruments conçus pour mesurer la quantité de précipitations tombées sur une surface pendant une période de temps donnée.

La série pluviométrique est généralement exprimée en millimètres, représentant l'épaisseur de la couche d'eau qui serait obtenue si toute la pluie tombée était uniformément répartie sur une surface plane. Ces données sont souvent enregistrées sur une base quotidienne, mensuelle ou annuelle, permettant ainsi d'analyser les variations des précipitations sur différentes échelles de temps (Kundzewicz, et Robson. 2004).

L'analyse des séries pluviométriques est essentielle dans de nombreux domaines, notamment l'agriculture, la gestion des ressources en eau, la planification urbaine, la météorologie et la recherche climatique. Elle permet de comprendre les tendances à long terme des précipitations, les variations saisonnières, les extrêmes climatiques et les événements météorologiques extrêmes, ce qui est crucial pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion des risques et d'adaptation aux changements climatiques (**Hirsch *et al.* 1982**).

II.2. Tendances et ruptures des séries pluviométriques:

II.2.1 Définition des tendances et ruptures:

Les tendances et ruptures représentent des phénomènes dynamiques et évolutifs qui façonnent les domaines économiques, sociaux, technologiques et culturels. Dans le contexte de la recherche académique et professionnelle, la compréhension de ces concepts revêt une importance cruciale pour anticiper les changements, élaborer des stratégies adaptatives et promouvoir l'innovation.

a) Définition des Tendances:

Les tendances se réfèrent à des schémas ou des orientations dominantes qui se manifestent à travers des comportements, des événements ou des développements observables sur une période donnée. Elles sont souvent caractérisées par leur persistance et leur influence sur un large éventail de domaines.

Les tendances peuvent émerger de divers facteurs, tels que les changements démographiques, les avancées technologiques, les évolutions socioculturelles ou les tendances économiques. Elles sont souvent identifiées à travers des analyses statistiques, des études de marché, des enquêtes sociales ou des observations qualitatives. Les tendances peuvent être classées en différentes catégories, notamment les tendances de consommation, les tendances démographiques, les tendances technologiques, les tendances socioculturelles, les tendances environnementales, etc. Par exemple, une tendance de consommation pourrait inclure l'adoption croissante de produits écologiques, tandis qu'une tendance technologique pourrait se manifester par la prolifération des appareils connectés dans la vie quotidienne (**Hirsch *et al.* 1982**).

b) Définition des Ruptures:

Les ruptures, quant à elles, représentent des changements significatifs et souvent discontinus qui perturbent le statu quo et les modèles établis dans un domaine spécifique. Contrairement aux tendances, les ruptures sont marquées par leur caractère révolutionnaire et leur capacité à transformer radicalement les paradigmes existants. Elles peuvent résulter de l'émergence soudaine de nouvelles technologies, de crises économiques, de changements réglementaires, de bouleversements géopolitiques ou de mutations sociétales profondes. Les ruptures sont souvent associées à des innovations disruptives qui remettent en question les modèles d'affaires traditionnels et obligent les acteurs du marché à repenser leur approche et leurs stratégies. Elles peuvent créer de nouvelles opportunités de croissance pour ceux qui sont prêts à les embrasser, tout en posant des défis considérables pour ceux qui sont réticents au changement ou qui tardent à s'adapter (**Hinkley, 1970**).

II.2.2 Méthodes d'analyse des tendances et ruptures:

L'analyse des tendances et des ruptures dans les séries hydro-climatiques est essentielle pour comprendre les changements dans les régimes hydrologiques et anticiper les impacts sur les ressources en eau. Plusieurs méthodes sont disponibles pour mener cette analyse de manière rigoureuse et précise. Parmi les approches les plus couramment utilisées figurent le test de Mann-Kendall, le test de Pettitt, le test de Sen et la régression linéaire (**Aouicha Asma et Laib Rahma, 2019**).

II.2.2.1 Tests de vérification du caractère aléatoire :**a. Autocorrélogramme :**

L'autocorrélogramme, également connu sous le nom de fonction d'autocorrélation, est un outil statistique utilisé pour examiner la corrélation sérielle d'une série temporelle avec elle-même à différents décalages temporels. En d'autres termes, il mesure la corrélation entre les observations d'une série temporelle à des instants différents. Cela permet de détecter les motifs de dépendance temporelle dans les données (**George et al. 2015**).

L'autocorrélogramme est souvent utilisé pour identifier les structures de dépendance temporelle, telles que les tendances saisonnières, les cycles et les motifs de corrélation à court ou à long terme. Il est largement utilisé dans divers domaines, notamment l'économie, la finance, la météorologie, la biologie et l'ingénierie, pour analyser les données temporelles et identifier les modèles sous-jacents.

Lors de la construction d'un autocorrélogramme, les coefficients de corrélation sont calculés pour chaque décalage temporel, généralement jusqu'à une certaine limite de décalage. Ces coefficients de corrélation sont ensuite tracés sur un graphique en fonction du décalage temporel, formant ainsi l'autocorrélogramme.

En ce qui concerne l'intervalle de confiance de l'autocorrélogramme, il est utilisé pour évaluer la signification statistique des coefficients de corrélation. Les intervalles de confiance sont souvent calculés à l'aide de méthodes telles que la méthode de Bartlett ou la méthode de Box-Jenkins. Ces intervalles permettent de déterminer si les coefficients de corrélation observés sont susceptibles d'être attribuables au hasard ou s'ils reflètent une véritable corrélation dans les données (**George et al. 2015**).

a.1) Méthodes :

Lors de la construction d'un autocorrélogramme et de l'estimation de son intervalle de confiance, plusieurs méthodes peuvent être utilisées. Voici quelques-unes des méthodes les plus couramment utilisées :

- **Méthode de Bartlett** : Cette méthode est basée sur la distribution normale des coefficients de corrélation sous l'hypothèse nulle de non-corrélation. Elle utilise cette distribution pour calculer les intervalles de confiance des coefficients de corrélation à différents décalages temporels. Les intervalles de confiance sont généralement calculés à un certain niveau de confiance, tel que 95% (**Brockwell, et Davis, 1991**).

- **Méthode de Box-Jenkins** : Cette méthode est souvent utilisée dans le contexte de la modélisation des séries temporelles. Elle implique généralement l'estimation d'un modèle autorégressif (AR) ou d'un modèle autorégressif intégré moyenne mobile (ARIMA) pour la série temporelle. Les résidus du modèle sont ensuite utilisés pour calculer les coefficients de corrélation partielle, qui sont utilisés pour construire l'autocorrélogramme et estimer les intervalles de confiance (**George et al. 2015**).

- **Méthode Bootstrap** : Cette méthode est basée sur le rééchantillonnage des données pour estimer la distribution empirique des coefficients de corrélation. En rééchantillonnant les données à plusieurs reprises, on peut estimer l'intervalle de confiance des coefficients de corrélation à différents décalages temporels (**George et al. 2015**).

- **Méthode Monte Carlo** : Cette méthode consiste à simuler de nombreuses séries temporelles aléatoires sous l'hypothèse nulle de non-corrélation. En calculant les coefficients de corrélation pour ces séries simulées, on peut estimer la distribution des coefficients de corrélation sous l'hypothèse nulle. Cela permet ensuite de construire les intervalles de confiance des coefficients de corrélation observés (Tioguim *et al.* 2018).

b. Test de Corrélation sur le Rang

Le test de corrélation sur le rang, également connu sous le nom de test de corrélation de Spearman, est une méthode statistique utilisée pour évaluer la force et la direction de la relation entre deux variables. Contrairement au test de corrélation de Pearson, qui évalue la corrélation linéaire entre les variables, le test de corrélation sur le rang évalue la corrélation entre les rangs des observations, ce qui le rend plus approprié pour les données non linéaires ou non normalement distribuées.

Le principe du test, également connu sous le nom de test de corrélation de Spearman, est d'évaluer la relation entre deux variables en utilisant les rangs des observations plutôt que leurs valeurs brutes (Zar, 2010).

Voici les étapes principales du test de corrélation sur le rang :

b.1 Rang des observations:

Pour chaque variable, les observations sont classées par ordre croissant et assignées un rang correspondant, où la plus petite observation reçoit le rang le plus bas et ainsi de suite.

b.2 Calcul du coefficient de corrélation de Spearman:

Une fois que les observations ont été classées en rangs, le coefficient de corrélation de Spearman, noté ρ (rho), est calculé à partir des rangs. La formule du coefficient de Spearman est la suivante :

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Où :

- d_i représente la différence entre les rangs des paires d'observations pour chaque individu.
- n est le nombre total d'observations.

b.3 Test de Significativité:

Une fois le coefficient de corrélation de Spearman calculé, il est testé pour déterminer s'il est statistiquement significatif. Cela est généralement fait en comparant la statistique de test, qui est une transformation du coefficient de Spearman, à une valeur critique à un certain niveau de signification (Zar, 2010).

II.2.2.2 Tests de Tendances:**a) Test de Mann-Kendall:**

Le test de Mann-Kendall est une procédure statistique non paramétrique utilisée pour détecter une tendance monotone dans une série chronologique, en l'absence de saisonnalité ou d'autres cycles. Ce test de tendance non paramétrique a été initialement étudié par Mann (1945) et ensuite repris par Kendall (1975).

Par la suite, il a été amélioré par Hirsch et al. (1982, 1984), afin de prendre en considération une composante saisonnière en se basant sur la variabilité mensuelle des données de la qualité de l'eau. Le test de Mann-Kendall a révélé des tendances dans différentes séries et sur tous les indices de tendance analysés par Mann (1945) et Kendall (1975 b). Il repose sur une corrélation statistique de rang, comparant le nombre de discordances observées avec celui attendu d'une série aléatoire.

La méthode de Mann-Kendall a été recommandée par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) pour évaluer l'évolution des séries chronologiques de données environnementales (Yu et al. 2002).

Le test de Mann-Kendall consiste à comparer chaque valeur de la série chronologique avec les autres valeurs restantes, toujours dans un ordre séquentiel. Le nombre de fois que les termes restants sont plus grands que ceux analysés est compté (Lettenmaier et al. 1994).

La statistique de Mann-Kendall s'exprime comme :

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sgn}(x_i - x_j)$$

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{si } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{si } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{si } (x_i - x_j) < 0 \end{cases}$$

où n est la longueur de la série

x_i et x_j sont les valeurs génériques de données séquentielles

la fonction $sgn(x_i - x_j)$ est défini par :

La statistique S représente donc le nombre de différences positives moins le nombre de différences négatives trouvées dans les séries chronologiques analysées. Si l'hypothèse est nulle, il n'y a pas de tendance dans les données de corrélation entre les variables considérés et le temps.

b) Test de Mann-Kendall Modifiée:

La méthode du test de Mann-Kendall, après avoir été initialement formulée par Mann en 1945 puis développée par Kendall en 1975, a subi des ajustements ultérieurs, notamment grâce aux travaux de Hirsch et ses collègues en 1982 et 1984. Ces modifications ont permis d'incorporer une composante saisonnière, en particulier en analysant la variabilité mensuelle des données relatives à la qualité de l'eau. Ce test statistique non paramétrique vise à détecter toute tendance monotone au sein d'une série chronologique, tout en tenant compte de la présence ou de l'absence de saisonnalité ou d'autres cycles. En se basant sur une corrélation statistique de rang, il compare le nombre d'écarts observés avec ceux attendus dans une série aléatoire (Yu *et al.* 2002).

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) a recommandé l'utilisation de la méthode de Mann-Kendall pour évaluer l'évolution des séries chronologiques de données environnementales, conformément aux travaux de Yu et ses collaborateurs en 2002 (Yu *et al.* 2002).

c) Test de Sen

Le test de Sen, également connu sous le nom de test de pente de Sen, est une méthode statistique utilisée pour estimer la pente ou la tendance d'une série temporelle. Il est souvent utilisé dans les domaines de l'hydrologie, de la météorologie et de l'environnement pour évaluer les changements temporels dans les données.

Le principe du test de Sen repose sur le calcul de la pente médiane entre toutes les paires d'observations dans la série chronologique. La pente médiane est robuste aux valeurs extrêmes et aux points aberrants, ce qui en fait une mesure efficace de la tendance générale de la série. La statistique de test pour le test de Sen est la pente médiane, représentée par Q . Cette statistique est calculée en prenant la médiane de toutes les pentes possibles entre les paires d'observations dans la série.

La décision de rejeter ou non l'hypothèse nulle (absence de tendance) dépend de la valeur de la statistique de test Q par rapport à une valeur critique obtenue à partir de la distribution nulle de Q .

Si Q dépasse la valeur critique, on rejette l'hypothèse nulle et conclut qu'il y a une tendance significative dans la série chronologique (Sen, 1968).

Le test de Sen est largement utilisé pour évaluer les tendances dans les données environnementales et climatiques, ainsi que dans d'autres domaines où l'analyse des séries temporelles est nécessaire. Il a été introduit par Sen (1968) dans son article intitulé "Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau". Depuis lors, de nombreuses recherches ont été menées pour développer et améliorer les applications du test de Sen dans divers contextes scientifiques.

d) Régression Linéaire :

La régression linéaire constitue une technique statistique essentielle employée afin de représenter la corrélation entre une variable dépendante et une ou plusieurs variables indépendantes. Son but premier réside dans l'identification de la droite (ou de l'hyperplan dans le contexte de multiples variables indépendantes) la plus appropriée pour décrire au mieux cette relation entre les variables (Faraway, J. J., 2016).

La forme générale d'un modèle de régression linéaire simple est donnée par :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Où :

- y est la variable dépendante (ou variable réponse),
- x est la variable indépendante (ou variable explicative),
- β_0 est l'ordonnée à l'origine (l'intercept),
- β_1 est la pente de la droite (ou coefficient de régression),
- ε est le terme d'erreur, représentant les différences entre les valeurs observées et les valeurs prédites par le modèle.

L'objectif de la régression linéaire est d'identifier les valeurs des coefficients β_0 et β_1 qui réduisent au minimum la somme des carrés des résidus (ou erreurs) ε . Cette optimisation peut être atteinte grâce à différentes méthodes d'estimation, notamment la méthode des moindres carrés ordinaires.

La régression linéaire peut être étendue pour inclure plusieurs variables indépendantes, formant ainsi un modèle de régression linéaire multiple :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon$$

Où p est le nombre de variables indépendantes.

La régression linéaire est fréquemment employée dans divers secteurs tels que les sciences sociales, les sciences naturelles, l'économie, la finance et bien d'autres, afin d'analyser et de représenter les liens entre les variables, ainsi que de formuler des prévisions basées sur ces relations. Pour les variables dépendantes catégoriques, des méthodes plus avancées comme la régression logistique peut être utilisées (Faraway, 2016).

II.2.2.3 Tests de Ruptures :

a) Test de Buishand:

Le test de Buishand est une méthode statistique utilisée pour détecter les changements dans la moyenne d'une série temporelle, ce qui peut indiquer des changements de régime climatique ou environnemental. Il est largement utilisé dans le domaine de l'hydrologie pour détecter les changements dans les régimes de précipitations ou de débit des cours d'eau.

Le principe du test de Buishand est de comparer les moyennes des sous-séries temporelles de même longueur avant et après un point de rupture potentiel. Le test évalue si la moyenne de la série temporelle diffère de manière significative avant et après le point de rupture. (Buishand, (1982).

La statistique de test utilisée dans le test de Buishand est basée sur la différence entre les moyennes des deux sous-séries temporelles. La formule de la statistique de test est la suivante :

$$U = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Où :

- \bar{x}_1 et \bar{x}_2 représentent les moyennes des deux sous-séries temporelles avant et après le point de rupture, respectivement.
- s_1^2 et s_2^2 représentent les variances des sous-séries temporelles avant et après le point de rupture, respectivement.
- n_1 et n_2 représentent les tailles des sous-séries temporelles avant et après le point de rupture, respectivement.

La statistique de test U suit approximativement une distribution normale sous l'hypothèse nulle de non-changement. Pour évaluer la significativité du test, on compare la valeur calculée de U à une valeur critique de la distribution normale.

-Ellipse de Bois:

En ce qui concerne l'ellipse de Bois, il s'agit d'un outil graphique utilisé pour visualiser les résultats du test de Buishand. L'ellipse de Bois est tracée en fonction des moyennes et des écarts-types des sous-séries temporelles avant et après le point de rupture. Les points représentant les moyennes et les écarts-types sont placés sur le graphique, et une ellipse est ajustée pour encapsuler ces points. Si l'ellipse ne contient pas le point (0,0), cela indique un changement significatif entre les deux périodes (Bois, 1991).

b) Test de Pettitt:

Le test de Pettitt est une méthode statistique utilisée pour détecter les ruptures ou les changements brusques dans une série temporelle. Contrairement au test de Mann-Kendall qui évalue la tendance monotone, le test de Pettitt se concentre sur l'identification des points de rupture dans la série, où une différence significative est observée. Le test de Pettitt est largement utilisé dans divers domaines pour détecter les points de rupture dans les séries temporelles, ce qui peut être crucial pour la modélisation et la prédiction des phénomènes qui évoluent dans le temps (Pettitt, 1979).

Le principe du test de Pettitt repose sur la comparaison des sommes cumulatives des données avant et après chaque point de rupture potentiel. La statistique de test U pour le test de Pettitt est calculée comme suit :

$$U = \max_{1 \leq t \leq n} \left[\sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \right]$$

Où n est le nombre total d'observations dans la série, x_i et x_j sont les observations aux instants i et j respectivement, et sgn est la fonction signe.

La décision de rejeter ou non l'hypothèse nulle (absence de rupture) dépend de la valeur de la statistique de test U par rapport à une valeur critique obtenue à partir de la distribution nulle de U .

Si U dépasse la valeur critique, on rejette l'hypothèse nulle et conclut qu'il y a une rupture significative dans la série chronologique.

En combinant ces méthodes d'analyse des tendances et des ruptures, ceux qui les utilisent peuvent obtenir une compréhension approfondie de l'évolution des régimes hydrologiques et des facteurs qui influencent les variations dans les séries hydrométriques. Ces approches analytiques fournissent des outils puissants pour éclairer ma gestion durable des ressources en eau et ma prise de décision dans un contexte de changement climatique et de pressions anthropiques croissantes (**Pettitt, 1979**).

c) Méthode bayésienne de Lee et Heghinian:

La méthode bayésienne de Lee et Heghinian est une approche statistique utilisée pour estimer les paramètres d'un modèle probabiliste en utilisant les principes de l'inférence bayésienne. Cette méthode a été développée par **Tae-Hoon Lee** et **Aram J. Heghinian** dans le cadre de l'analyse des séries temporelles, en particulier dans les domaines de l'hydrologie et de l'environnement.

Le principe de la méthode bayésienne de Lee et Heghinian repose sur l'utilisation de la théorie bayésienne pour estimer les distributions a posteriori des paramètres du modèle, en tenant compte à la fois des informations a priori et des données observées. Contrairement aux méthodes fréquentistes traditionnelles, qui se concentrent sur l'estimation ponctuelle des paramètres, la méthode bayésienne permet d'incorporer des informations subjectives et des connaissances antérieures dans le processus d'estimation. (**Chadid, 2003**)

Le modèle de base de la procédure est le suivant:

$$X_j = \begin{cases} \mu + \varepsilon_j & j = 1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_j & j = \tau + 1, \dots, n \end{cases}$$

Où les ε_j sont des variables indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance σ^2 . τ et δ représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne.

L'approche bayésienne est basée sur les distributions marginales a posteriori de τ et δ .

d) Segmentation de Hubert:

La méthode de segmentation de Hubert est une technique d'analyse statistique utilisée pour diviser un ensemble de données en groupes homogènes ou segments. Cette méthode est également connue sous le nom d'analyse de segmentation non hiérarchique. L'objectif de la segmentation de Hubert est de regrouper les observations en clusters de manière à ce que les éléments au sein d'un même cluster soient similaires les uns aux autres selon certains critères, tandis que les clusters différents soient distincts les uns des autres (**Hubert et al. 1989**).

Le principe de la méthode de la segmentation d'HUBERT consiste à découper la série en m segments, de telle sorte que la moyenne calculée pour un segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s) (**Hubert et al. 1989**), au regard du test de SCHEFFÉ. D'après les auteurs (**Hubert et al.1989**), au cette méthode peut être considérée comme un test de stationnarité.

Si la procédure ne produit pas de segmentation acceptable (avec deux segments ou plus), l'hypothèse nulle de stationnarité est acceptée.

Toute série X_i , $i = i_1, i_2$ avec $i_1 \geq 1$, et $i_2 \leq N$ où ($i_1 < i_2$) constitue un segment de la série initiale des (X_i) , $i = 1, \dots, N$.

Toute partition de la série initiale en m segments est une segmentation d'ordre m de cette série.

A partir d'une segmentation particulière d'ordre m pratiquée sur la série initiale, on définit :

- i_k , $k = 1, 2, \dots, m$;
- $N_k = i_k - i_{k-1}$.

$$X_k = \frac{\sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} X_i}{N_k}$$

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=m} d_k$$

La segmentation retenue doit être telle que, pour un ordre m de segmentation donné, l'écart quadratique Dm soit minimum. Cette condition est nécessaire mais non suffisante pour la détermination de la segmentation optimale. Il faut lui adjoindre la contrainte selon laquelle les moyennes de deux segments contigus doivent être significativement différentes. Cette contrainte est satisfaite par l'application du test de Scheffé (Abdelali *et al.* 2011).

II.2.2.4. Test de Normalité :

Le test de normalité repose sur un principe fondamental de comparaison entre les caractéristiques observées de l'échantillon de données et celles que l'on attendrait d'une distribution normale. Ce processus est guidé par plusieurs étapes clés :

Tout d'abord, la procédure commence par la formulation de l'hypothèse nulle (H_0) et de l'hypothèse alternative (H_1). L'hypothèse nulle stipule que l'échantillon de données est issu d'une population normalement distribuée, tandis que l'hypothèse alternative suggère que les données ne suivent pas une distribution normale.

Ensuite, le choix du test de normalité approprié est effectué en fonction de la taille de l'échantillon et des préférences du chercheur. Parmi les tests les plus couramment utilisés figurent le test de Shapiro-wilk, le test de Kolmogorov-Smirnov, le test de D'Agostino-Pearson et le test de Jarque-Bera (Jarque et Bera, 1980).

Une fois le test sélectionné, la statistique de test est calculée à partir des données observées. Cette statistique mesure à quel point les données s'éloignent de la distribution normale attendue, en fonction de la méthode spécifique utilisée.

La comparaison entre la statistique de test calculée et une valeur critique à un certain niveau de signification (généralement 5%) est alors effectuée. Si la statistique de test dépasse la valeur critique, l'hypothèse nulle est rejetée, indiquant que les données ne suivent pas une distribution normale. Dans le cas contraire, si l'hypothèse nulle n'est pas rejetée, cela suggère que les données peuvent être considérées comme provenant d'une population normalement distribuée.

Ainsi, le test de normalité est un processus systématique qui vise à évaluer la conformité des données à une distribution normale en comparant leurs caractéristiques avec celles de la distribution théorique (Jarque et Bera, 1980).

Partie

Expérimentale

Chapitre 03:

Présentation de la zone d'étude

I. Présentation de la zone d'étude:

I.1 Généralités:

La Wilaya de Djelfa, située dans le nord du Sahara algérien, est l'une des wilayas les plus étendues du pays

La région est principalement caractérisée par un climat semi-aride à aride, avec des précipitations souvent irrégulières et des températures extrêmes. Malgré ces conditions climatiques rigoureuses, Djelfa joue un rôle crucial dans l'agriculture, en particulier dans l'élevage de moutons et de chameaux. La production de viande, de lait et de laine constitue une part importante de l'économie locale (Mebarki *et al.* 2017).

I.2 Cadre Géographique de l'Étude (W. Djelfa):

I.2.1 Géographie:

La région de Djelfa, intégrée dans les hauts plateaux centraux, se caractérise par une concentration du développement dans des zones restreintes, principalement autour de quelques agglomérations clés telles que M'sila, Laghouat et Djelfa.

Issue du découpage administratif de 1974, la wilaya de Djelfa est géographiquement située au cœur de l'Algérie du Nord, au sud d'Alger, et s'étend entre les latitudes 33° 35' et 36° 12' Nord et les longitudes 2°, 5° Est. Couvrant une superficie de 33 236 km², cette wilaya présente une forme allongée du Nord au Sud, s'étendant sur plus de 300 km, avec une largeur maximale d'Est en Ouest ne dépassant pas les 150 km. Cette configuration géographique permet à la wilaya de Djelfa de s'étendre sur trois domaines morfo-structuraux distincts, correspondant aux principaux domaines bioclimatiques de la région (Derouèche, 2015).

De plus, cette étendue territoriale facilite les interactions avec huit wilayas avoisinantes : Médéa et Tissemsilt au Nord, M'sila et Biskra à l'Est, Ouargla au Sud-Est, Laghouat et Ghardaïa au Sud-Ouest et Tiaret à l'Ouest (Figure 02). Sur le plan écologique, la wilaya de Djelfa est en grande partie caractérisée par un écosystème steppique occupant les trois quarts de sa superficie dans les hauts plateaux steppiques (Yabrir, 2015).

L'altitude de Djelfa varie généralement entre 800 et 1 200 mètres au-dessus du niveau de la mer. Cette topographie montagneuse contribue à la diversité des paysages et des écosystèmes, offrant des habitats variés pour la flore et la faune locales.

Pour une population croissante depuis 1966 avec une population atteignant 241849 habitants jusqu'au 2018 avec une population de 1,585794 habitants en 2018 (*Tableau 01*), elle se compose actuellement de 36 communes regroupées en 12 Daïras (*Monographie, 2022*), (*Figure 01*).

Périodes	Population	Taux D'accroissement Global	Taux d'accroissement annuel moyen
RGPH 1966	241 849	-	-
RGPH 1977	332 500	37,48	2,9
RGPH 1987	494 494	48,72	4,0
RGPH 1998	797 706	61,32	4,4
RGPH 2008	1 090 578	36,71	3,2
RGPH 2018	1 585 794	45.40	3.78

Source : Monographie (2022)

Tableau 01: Croissance de la population de la commune de Djelfa entre (1966 et 2018) selon les R.G.P.H

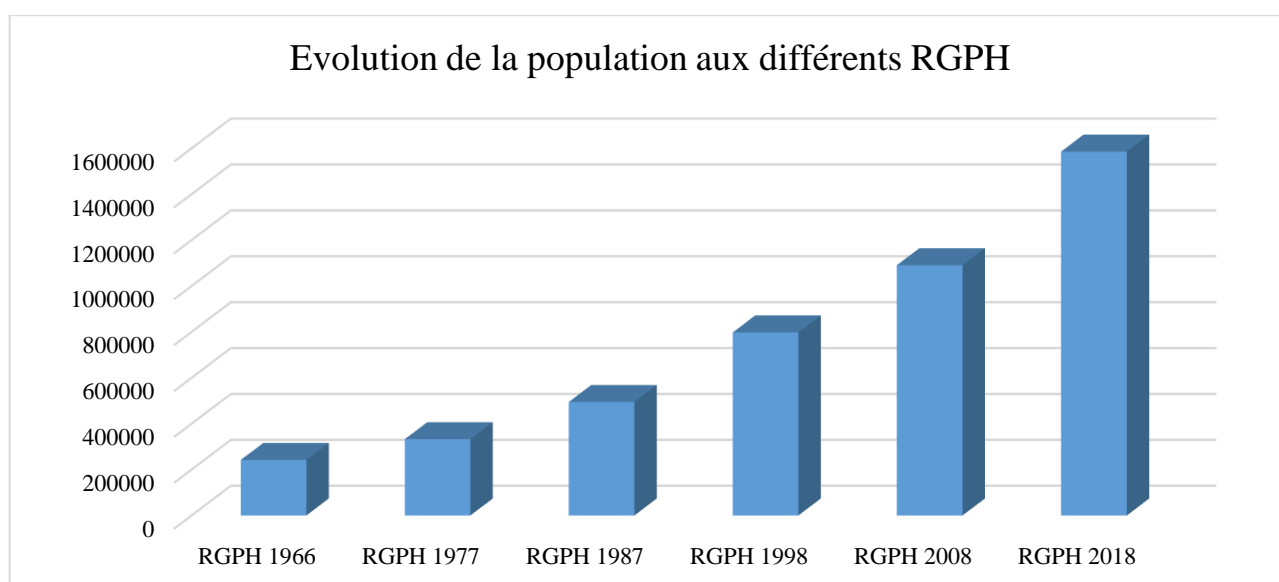


Figure 01: Evolution de la population (1966-2018) la ville de Djelfa

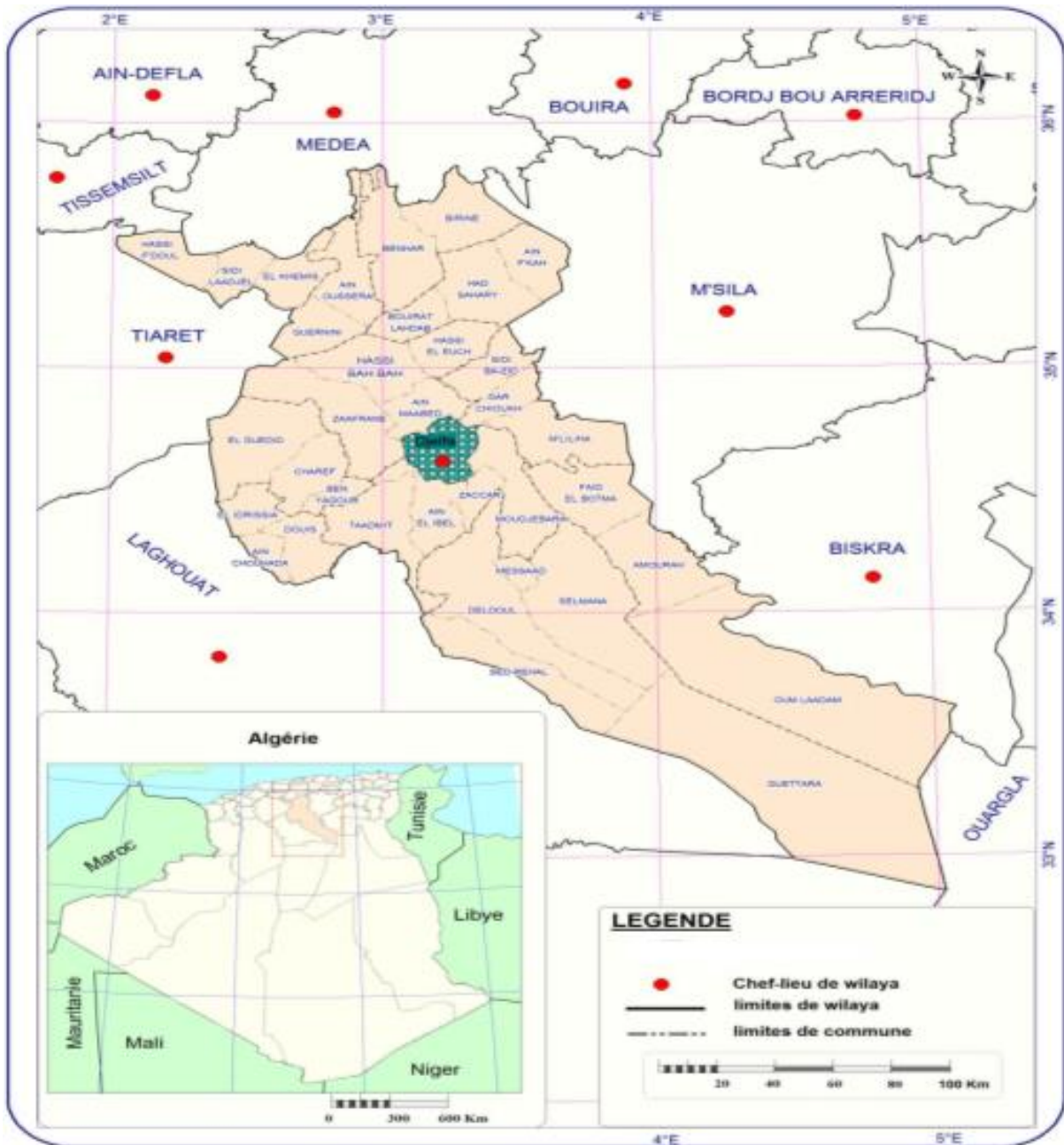


Figure 02: Carte de situation géographique du milieu d'étude (Kherfane, 2014).

I.2.2 Géologie:

La géologie de la région se caractérise par la présence dominante de calcaire et de marne crétacée, formant généralement un relief montagneux, avec des strates triasiques occasionnelles. Dans les zones de plaines, le paysage est marqué par la présence de roches tertiaires, principalement des grès, qui sont relativement dures. Toutefois, la majeure partie des régions basses est composée de dépôts quaternaires résultant de l'érosion des zones montagneuses, principalement constitués de roches tendres telles que les marnes et les argiles rouges. De plus, la présence de sels, notamment de calcaire, de gypse et de sels solubles, influence la composition des eaux superficielles et souterraines, comme c'est le cas dans la vallée de l'Oued Mellah (Messadi H et Naama. S, 2023).

I.2.3 Pédologie:

Les sols du synclinal nord de Djelfa se répartissent principalement en trois catégories:

a. Classe des sols Calc-magnésiques:

Cette classe est prédominante et se caractérise par une profondeur ne dépassant pas les 60 cm, limitée par une dalle ou une croûte calcaire. Leur complexe absorbant est saturé, et ils sont utilisés principalement pour la culture céréalière et le pâturage (Nedjimi, 2006).

b. Classe des sols iso humiques:

La sous-classe principale est celle des rendzines, située près des piedmonts. Ces sols présentent souvent des nappes alfatières (Nedjimi, 2006).

c. Classe des sols peu évolués:

Cette classe est localisée aux abords des oueds, dans les formations quaternaires récentes. Ils sont utilisés intensivement pour la culture maraîchère, bénéficiant de l'eau des nappes superficielles. Certains types de sols, comme les sols hydromorphes, se trouvent dans les dépressions et sont rares (Abd el hafidi, 2005).

I.2.4 Reliefs:

La Wilaya de Djelfa est constituée d'une série de dépressions plus ou moins fermées et divisées qui s'élèvent progressivement entre 650 et 1400 mètres d'altitude avant de s'effondrer en d'énormes glaciers plongeant dans la vallée de l'Oued Djeddi, limite naturelle de la zone saharienne (Kherfane, 2014).

Les quatre zones de la wilaya sont les suivantes:

- **Zone de plaine du nord:** Également connue sous le nom de "plaine de Ain-Ouessera", elle s'étend sur une superficie de 618 778 hectares, avec des altitudes variantes entre 650 m et 850 m. Cette plaine succède au piémont Sud de l'Atlas tellien et précède les dépressions des chotts.
- **Zone des dépressions des chotts:** Située entre la zone de plaine du Nord et la zone de la dépression de Ouled Nail, les dépressions des chotts sont séparées l'une de l'autre par un simple nivellement topographique. Cette zone est également appelée "la dépression du Sahara". Elle s'étend sur une superficie de 457 937 hectares, avec des altitudes allant de 750 m à 850 m, représentant 14,20% de la superficie totale.
- **Zone de la dépression d'Ouled Nail:** Composée de petites plaines dont l'altitude varie entre 900 m et 1600 m, les plaines les plus importantes sont celles de Maâlaba et de Mouilah à l'Est de la ville de Djelfa. Cette zone s'étend sur une superficie d'environ 352 648 hectares, représentant 10,92 % de la superficie totale de la wilaya.

- **Zone du plateau prédésertique:** Cette zone, également appelée "plateau Saharien", se trouve dans la partie Sud de la wilaya. Elle plonge dans la dépression formée par l'Oued j'di, considérée comme la limite naturelle du Sahara, et s'étend sur une superficie d'environ 1 789 920 hectares, représentant plus de la moitié de la superficie totale de la wilaya, soit 55,45% (**IMESSAOUDENE, 2014**).

I.3 Climat:

La Wilaya de Djelfa se distingue par un climat nettement semi-aride à aride, influencé par une composante continentale marquée. Cette caractérisation climatique se reflète par une division nette entre les parties centrale et septentrionale, où un climat semi-aride prédomine avec des précipitations annuelles variant de 200 mm à 500 mm, et la partie méridionale, caractérisée par un climat aride recevant moins de 200 mm de pluie en moyenne chaque année (**Bouteldjaoui et al. 2011**).

Les données pluviométriques montrent des pics de précipitations entre octobre et janvier, ainsi qu'entre avril et mai, témoignant d'une distribution saisonnière marquée avec une prédominance des précipitations en automne et au printemps par rapport à l'hiver. À partir de juin, la région entre dans une période sèche qui culmine en juillet et août.

Les chutes de neige sont saisonnières et varient d'une zone à une autre. Durant l'hiver et le début du printemps, les gelées blanches sont fréquentes dans presque toute la Wilaya. Les variations de température, tant journalières que saisonnières et interannuelles, sont significatives, avec un écart de 33°C enregistré entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid (**Koussa et Bouziane. 2018**).

Les températures minimales absolues, à l'exception des mois de juin, juillet, août et septembre, descendent en dessous de 0°C. Les mois les plus chauds sont juin, juillet et août, avec des températures maximales particulièrement élevées en août. Le régime des vents dans la Wilaya de Djelfa est marqué par leur intensité et leur fréquence. La région, située dans la dépression des Ouled Naïl, est exposée à des vents prédominants du nord-est et du nord-ouest, influencés par des origines océaniques et nordiques (**Koussa et Bouziane. 2018**).

I.4.1 Température:

On remarque sur le *Tableau 02* que les températures moyennes sur l'ensemble de la zone d'étude varient entre 5.3 et 26.9 C°. En outre, on constate que les mois de juin à Septembre présente la saison sèche, les températures maximales pouvant atteindre 34.3 C° obtenus au mois de juillet, tandis que la saison froide est caractérisée par des valeurs minimales d'environ 0.7 C° obtenue au mois de Janvier.

	<u>janv.</u>	<u>fév.</u>	<u>mars</u>	<u>avr.</u>	<u>mai</u>	<u>juin</u>	<u>juil.</u>	<u>août</u>	<u>sept.</u>	<u>oct.</u>	<u>nov.</u>	<u>dec.</u>	<u>moy</u>
Tempé. Maxi	9,7	11,5	14,6	18,8	23,9	30,1	34,3	32,6	27,7	21,6	14,8	10,8	20,9
Tempé. Mini	0,7	1,5	3,8	6,9	11,0	16,1	19,4	18,4	15,0	10,2	5,3	2,1	9,2
Tempé. Moy	5,3	6,6	9,5	12,9	17,5	23,1	26,9	26,1	21,3	15,9	10,0	6,5	15,1

Source : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/normales-records/1982-2023/djelfa>

Tableau 02: Températures mensuelle moyennes, maximales et minimales (C°) du milieu d'étude sur 30 ans (1982 – 2023)

I.4.2 Précipitations:

Dans les zones les plus méridionales de la wilaya, les précipitations sont encore plus rares, descendant en dessous de 150 mm par an. Globalement, la pluviométrie est caractérisée par une grande irrégularité interannuelle, souvent sous forme d'orages, ce qui aggrave le phénomène d'érosion des sols.

Les moyennes mensuelles des précipitations (en mm) de 1982 à 2023 sont présentées dans le tableau suivant :

	Sept	oct.	nov.	déc.	janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	juil.	Août	Moy
Cumul moyen Précipitations	32,1	40,5	29,7	29,5	30,9	27,8	31,4	31,8	38,7	22,1	12,8	20,8	347,9

Source : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/normales-records/1982-2023/djelfa>

Tableau 03: Répartition des précipitations moyennes mensuelles (en mm) de 1982 à 2023.

D'après les valeurs de la moyenne mensuelle des précipitations pour la période (1982-2023), nous avons remarqué que les précipitations les plus importantes sont enregistrées au cours de la période allant de Septembre à Mai dont le mois le plus pluvieux est Mai avec un moyen de 40.5mm. Alors que la période sèche apparaît à partir du mois de Juin avec un minimum en Juillet de 12.8 mm.

I.4.3 Vents:

Les vents prédominants proviennent principalement de l'Ouest et du Nord-Ouest en hiver, tandis que durant l'été, ils proviennent du Sud-Ouest. Parfois, ces vents peuvent être violents, circulant sans entrave sur des étendues ouvertes, favorisant ainsi le processus de désertification. Cette tendance est particulièrement perceptible dans la partie centrale de la wilaya, où les accumulations de sable sont plus importantes qu'ailleurs. En outre, la caractéristique principale de ces vents prédominants est leur fréquence, notamment du sirocco, un vent chaud et sec d'origine désertique (DPAT, 2003).

I.4.4 Synthèse Climatique:

En se basant sur le diagramme Ombrothermique de Gaussen et suivant la règle $T=2P$, on a établi le diagramme de la *figure 03* sur laquelle on peut remarquer que la région de Djelfa est caractérisée par deux saisons distinctes, une Humide allant de Octobre jusqu'à Avril et une saison sèche commençant à partir du mois de Mai jusqu'à le mois de Septembre (Hadim, 2017).

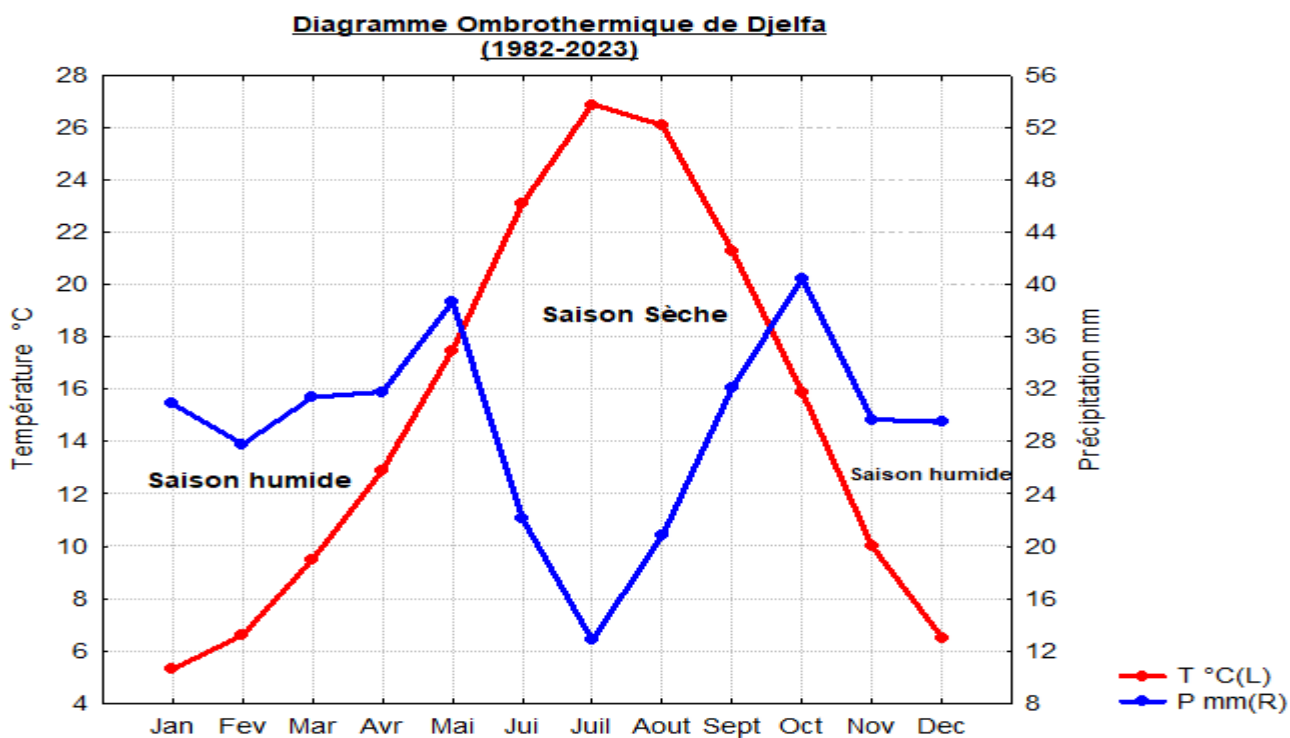


Figure 03: Diagramme Ombrothermique de Djelfa (1982-2023) établi avec Statistic

I.4 Hydraulique:

a) Ressources en eau superficielle:

Le réseau hydrographique de la wilaya est en grande partie endotique. Il est constitué principalement:

- au Nord, le bassin versant du haut Cheliff qui chaîne les dépressions de la région de Ain Oussera
- Au Centre, le bassin fermé des chotts qui collecte, outre les eaux de la dépression des Oued Nail
- Au Sud, le bassin de l'Oued Djedi qui collecte les eaux de ruissellement du versant Sud de l'Atlas Saharien (KHAOUANI, 2019).

b) Ressources en eaux souterraines:

Les nappes les plus connues sont (KHAOUANI, 2019) :

- les nappes alluviales de l'Oued Touil et de l'Oued Ouark.
- Le synclinal de Djelfa.
- Les nappes de Zahrez.

I.3.1 Réseau Hydrique:

Le réseau hydrographique de cette région est très concentré, avec des branches s'étendant sur toutes les altitudes. L'orientation des oueds primaires s'écarte généralement de celle des éléments topographiques, généralement perpendiculaires à eux, allant du nord-sud au nord-ouest-sud-est (par exemple, Oueds M'zi, Messad, El Djorf, etc.). On constate néanmoins qu'elle adhère à ces particularités topographiques, comme les vallées subsidiaires formées au sein des dépressions provoquées par le renversement de la topographie, comme les vallées des Djebels Lazreg et Tebag situées au sud-ouest de Fernanne, ainsi que les synclinaux élevés trouvés à Bou Kahil, Djebel Zerga et Djelfa. De plus, la majorité des oueds de cette zone, allant des arides aux sub-arides, ne sont traversés qu'après les pluies, à l'exception d'un petit nombre d'écoulements pérennes qui sont reliés à des sources d'eau importantes (IMESSAOUDENE, 2014).

Chapitre 04:

Acquisition des Données

I. Acquisition des Données:

Les informations climatiques pour la région de Djelfa ont été obtenues à partir du site web www.infoclimat.fr/climatologie .

Ce site est une ressource en ligne qui fournit des données météorologiques et climatiques provenant de différentes sources fiables, permettant ainsi aux utilisateurs d'accéder à des informations détaillées sur le climat de différentes régions.

I.1 site www.infoclimat.fr:

Le site internet propose plus de 6 milliards de données en temps réel et climatologiques (qu'elles soient issues des organismes officiels qui proposent de l'Open Data, de stations installées par l'association, de partenaires, ou de simples citoyens dont la qualité des relevés est Contrôlée).

Le site est visité par 6 millions de personnes uniques par an, et propose des outils infographiques uniques de visualisation du changement climatique au niveau local.

La plateforme Infoclimat permet aux citoyens de reporter leur observation météorologique en direct, sous la forme de reports météo (orage, neige, verglas,) ou de photographies, dont certaines peuvent ensuite être diffusées dans les bulletins météo nationaux, pour les chaînes de télévision conventionnées avec Infoclimat.

Nous avons procédé en suivant les démarches suivantes:

Après avoir visité le site www.infoclimat.fr/climatologie:

Nous sélectionnons la zone comme indiqué sur la **Figure 04**

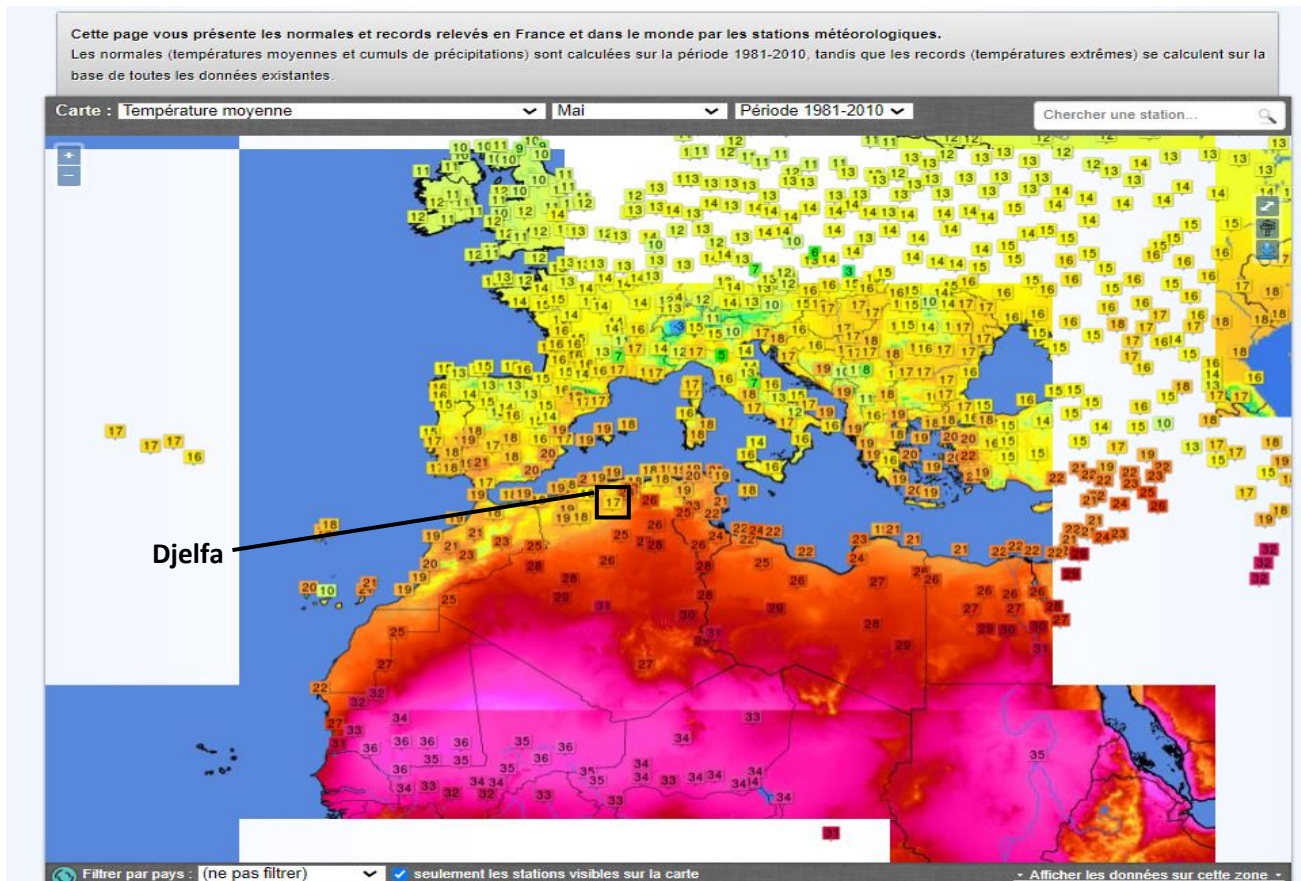


Figure 04: Interface de site web www.infoclimat.fr/climatologie

Puis on a cette interface de la **figure 05**:

* on clique sur la case marquée en choisissant « Global »

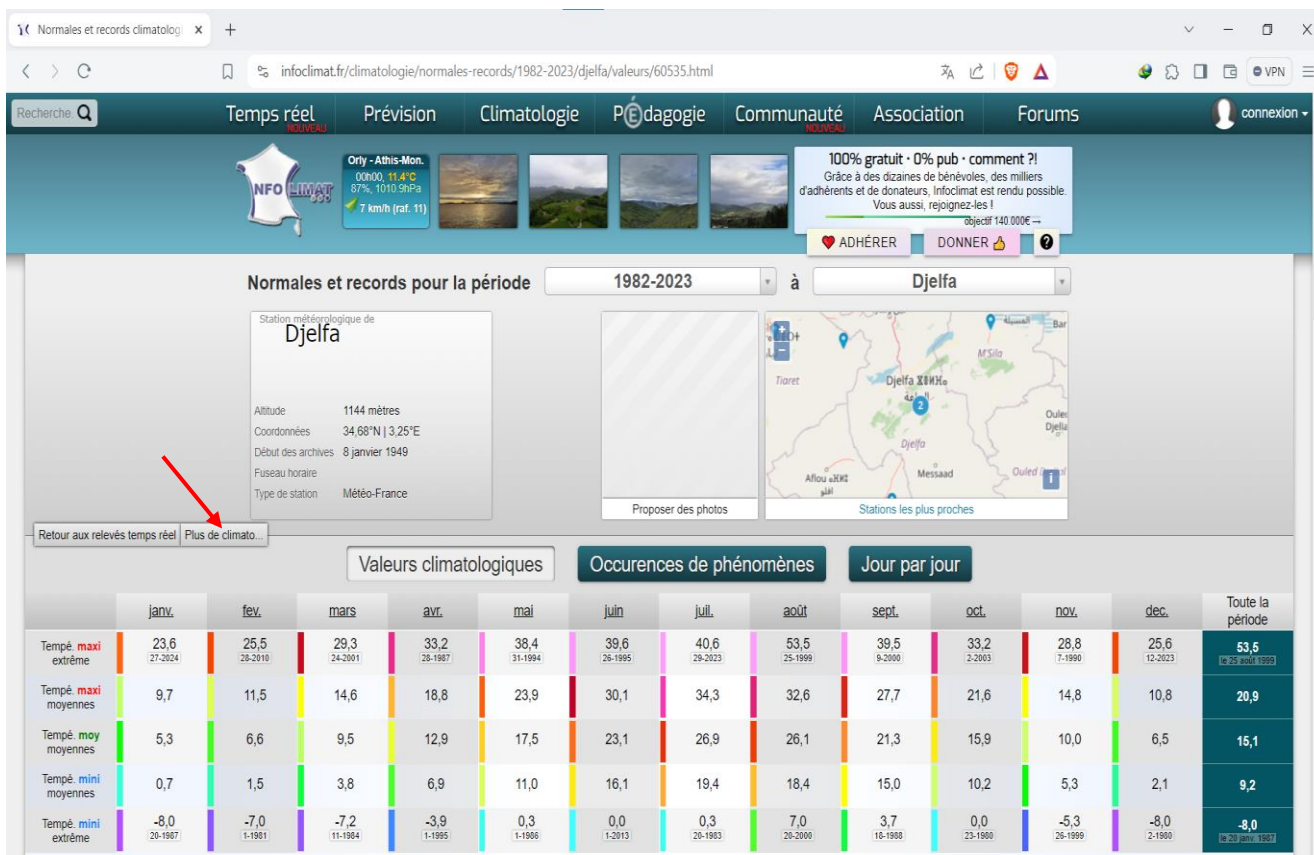


Figure 05: L'interface de les données climatiques de Djelfa

* Ensuite, cette interface apparaît, et on sélectionne la case indiquée dans l'image ci-jointe ci-dessous. (Figure 06)

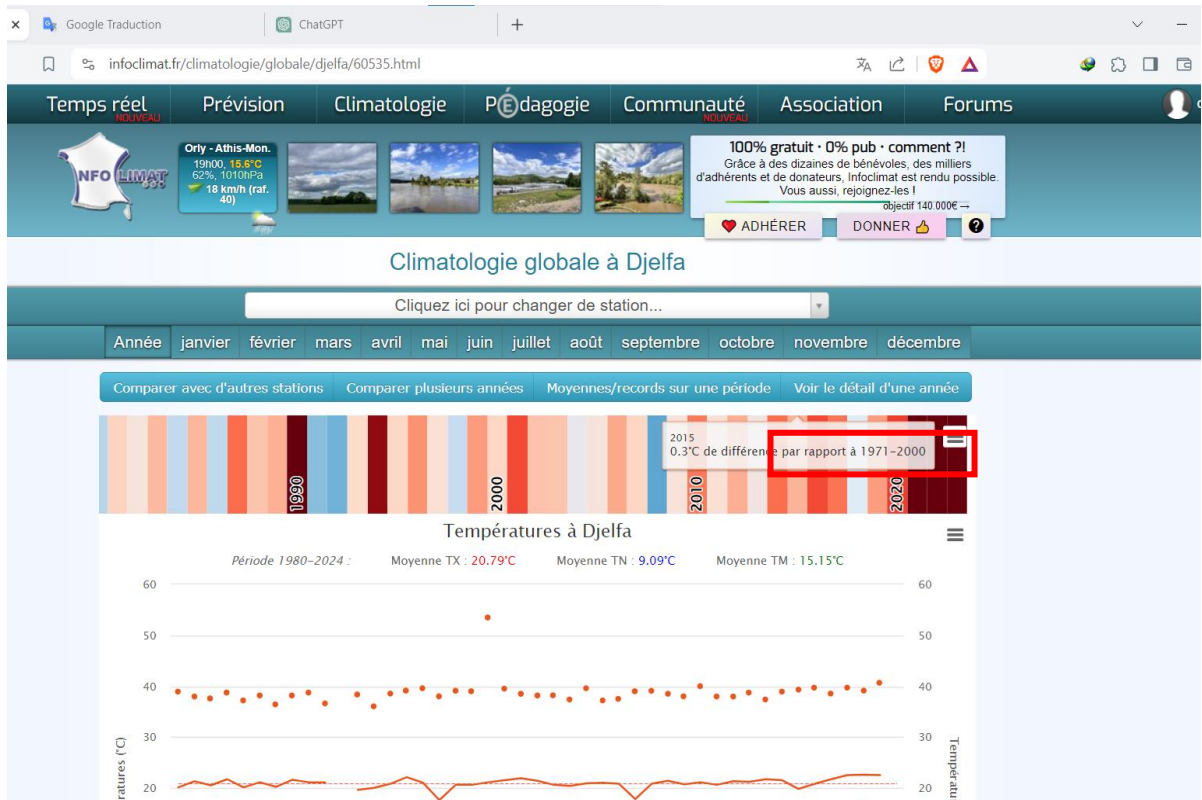


Figure 06: L'interface de la climatologie globale de Djelfa

* Ensuite, nous choisissons l'année de début de cette étude.



Figure 07: Le champ pour entrer dans l'année où nous voulons étudier.

* Après la sélection, nous collectons les données de la case montrée dans l'image (la moyenne de l'année) année par année jusqu'en 2023.

« Climatologie globale « Année 1981													Valeurs climatologiques		Occurences de phénomènes		Jour par jour		La température		Année 1983 »
	janv. 1982	fev. 1982	mars 1982	avr. 1982	mai 1982	juin 1982	juil. 1982	août 1982	sept. 1982	oct. 1982	nov. 1982	dec. 1982	Année complète								
Tempé. maxi extrême	20,0 <small>le 8</small>	18,0 <small>le 9</small>	20,9 <small>le 12</small>	24,8 <small>le 10</small>	29,2 <small>le 28</small>	36,0 <small>le 23</small>	37,5 <small>le 21</small>	36,9 <small>le 4</small>	31,5 <small>le 7</small>	26,2 <small>le 1</small>	27,1 <small>le 7</small>	15,3 <small>le 20</small>	37,5 <small>le 20</small>								
Tempé. maxi moyennes	12,3	11,4	14,9	16,1	23,0	31,4	34,4	32,9	27,7	19,5	14,9	8,1	20,5								
Tempé. moy moyennes	7,3	6,7	8,3	11,0	17,0	24,5	27,0	25,5	21,3	14,5	10,4	4,5	14,8								
Tempé. mini moyennes	2,5	2,0	1,9	5,9	11,0	17,5	19,7	18,1	14,7	9,3	4,6	0,9	9,0								
Tempé. mini extrême	-1,3 <small>le 31</small>	-2,5 <small>le 3</small>	-3,5 <small>le 9</small>	0,3 <small>le 3</small>	4,0 <small>le 2</small>	11,7 <small>le 15</small>	14,2 <small>le 6</small>	12,2 <small>le 10</small>	9,3 <small>le 14</small>	0,4 <small>le 28</small>	-1,7 <small>le 23</small>	-4,2 <small>le 17</small>	-4,2 <small>le 17</small>								
Tempé. maxi minimale	2,2 <small>le 25</small>	5,2 <small>le 24</small>	7,7 <small>le 8</small>	6,0 <small>le 23</small>	14,8 <small>le 10</small>	24,8 <small>le 3</small>	31,6 <small>le 28</small>	26,2 <small>le 9</small>	20,4 <small>le 2</small>	9,8 <small>le 25</small>	7,7 <small>le 15</small>	-0,5 <small>le 24</small>	-0,5 <small>le 24</small>								
Tempé. mini maximale	7,8 <small>le 28</small>	6,5 <small>le 28</small>	7,2 <small>le 21</small>	14,0 <small>le 8</small>	19,5 <small>le 28</small>	25,4 <small>le 19</small>	32,0 <small>le 22</small>	22,2 <small>le 28</small>	20,2 <small>le 10</small>	15,3 <small>le 20</small>	10,6 <small>le 2</small>	7,1 <small>le 11</small>	32,0 <small>le 20</small>								
DUJ (chauffagiste)	246,8	272,3	281,9	217,1	85,1	12,5	4,1	5,7	24,5	129,4	117,2	296,9	1693,5 Moy: 141								
DUJ (climaticien)	0,3		1,5	7,1	52,8	200	240,9	230,2	120,8	24,1	2,3		880 Moy: 88								
													La précipitation		Année complète						
Cumul Précips	4,0	26,3	41,1	55,3	50,2	17,0	24,9	17,0	10,6	61,0	24,3	20,3	352,0								
Max en 24h de précips	4,0 <small>le 18</small>	7,1 <small>le 20</small>	37,1 <small>le 25</small>	16,0 <small>le 24</small>	13,0 <small>le 28</small>	15,0 <small>le 2</small>	24,9 <small>le 13</small>	10,9 <small>le 22</small>	4,1 <small>le 15</small>	39,9 <small>le 20</small>	9,0 <small>le 2</small>	6,1 <small>le 18</small>	39,9 <small>le 20</small>								
Max en 5j de précips	4,0	20,3	39,1	34,0	21,1	16,0	24,9	10,9	6,1	40,9	13,7	8,4	40,9 total								
Moyenne ≥ 1 de précips [?]	4,0	3,3	13,7	6,1	4,2	5,7	24,9	8,5	1,7	12,1	4,7	2,5	7,6								

Figure 08: Les détails de l'année 1982

Nous ouvrons un fichier Excel et saisissons les données comme indiqué dans l'image ci-dessous (figure 09).

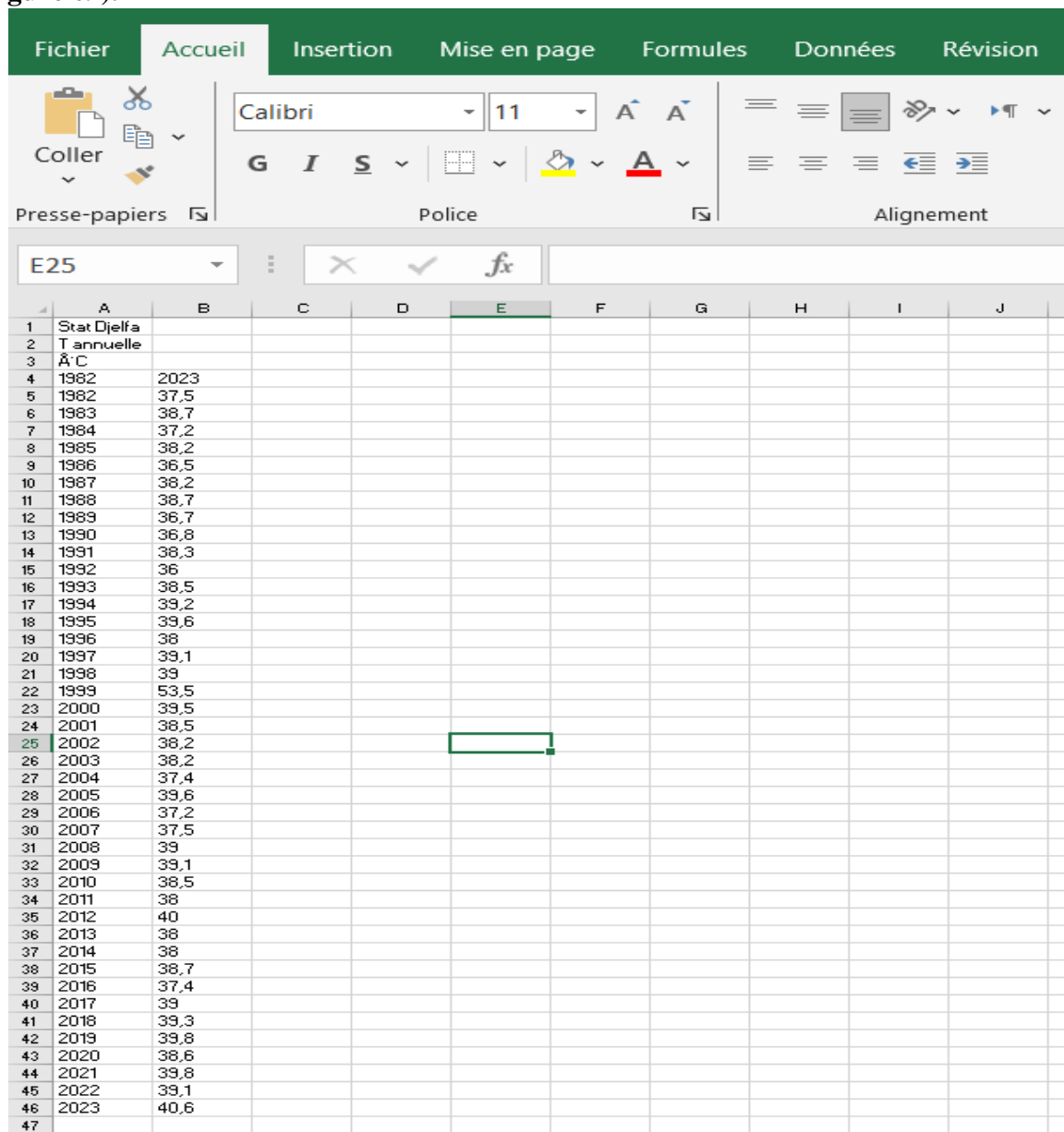


Figure 09: Image d'un fichier Excel avec nos données.

* Ensuite, on doit enregistrer ce fichier dans une forme de **KSI pour pouvoir l'utiliser dans Khronostat**, en suivant les étapes suivantes :

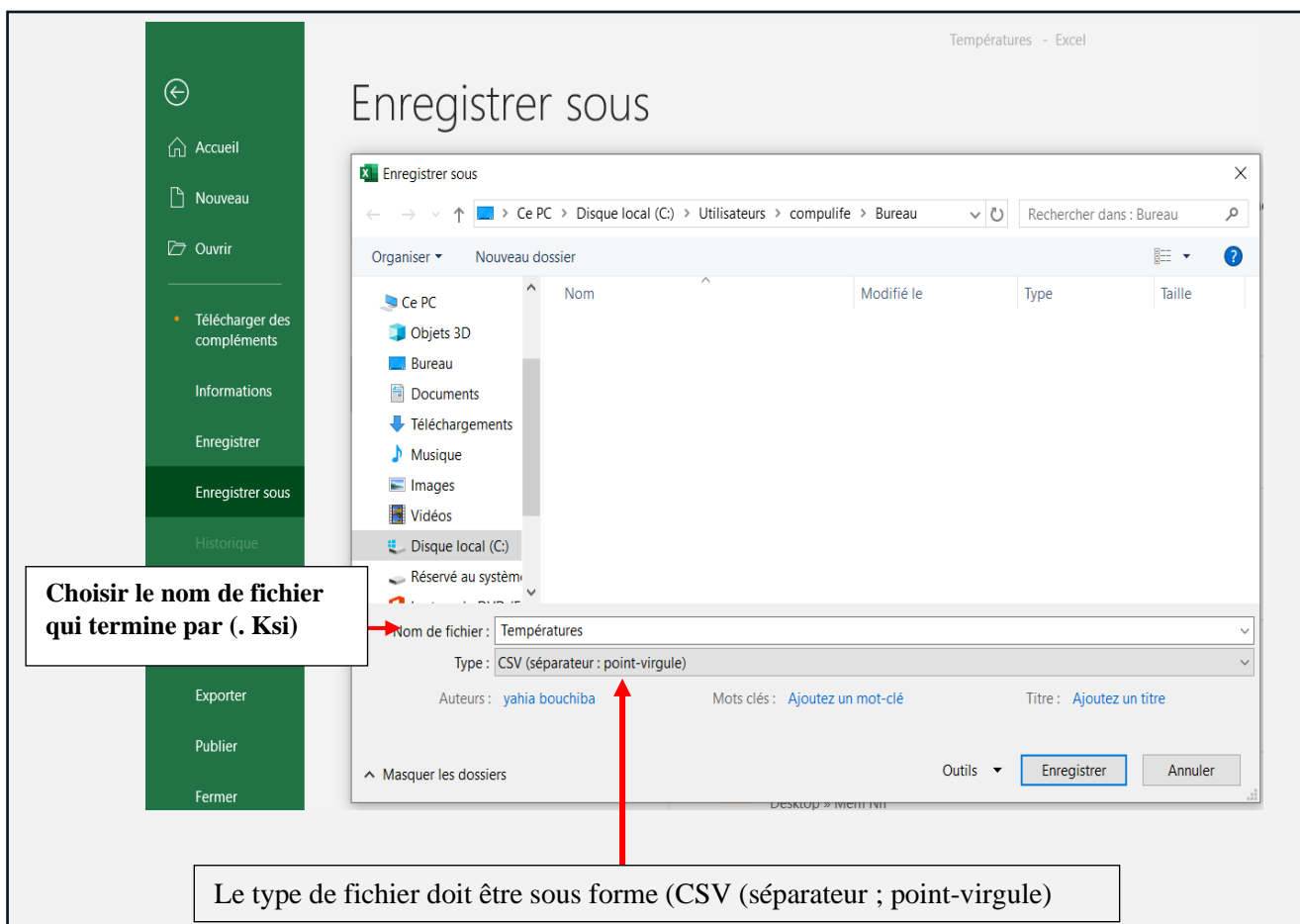


Figure 10: Les étapes pour réaliser un fichier ksi

* Nous obtenons les fichiers suivants comme indiqué dans l'image ci-dessous :

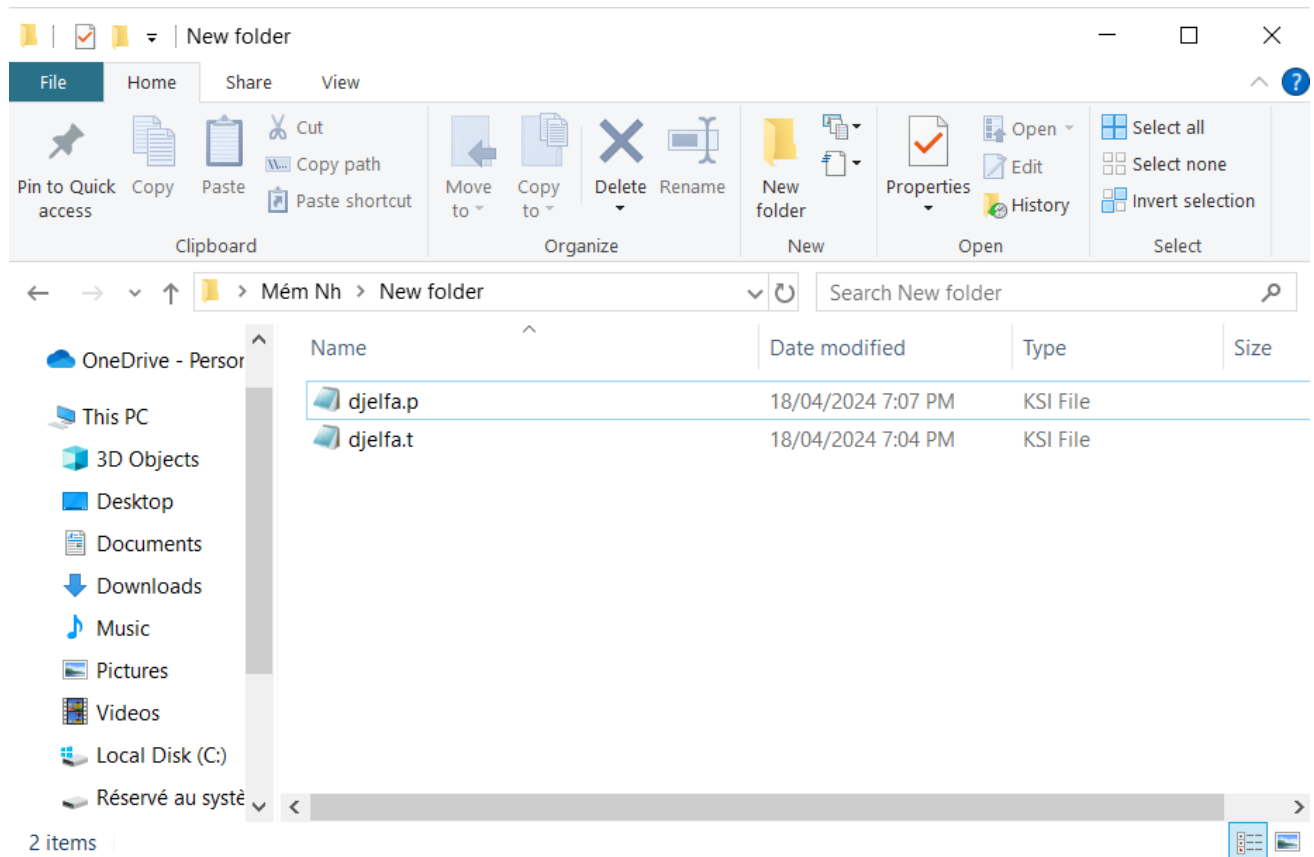


Figure 11: Préparation d'un fichier KSI pour Khronostat

I.2 Logiciel « KhronoStat »:

Le logiciel **KhronoStat** (figure 12) regroupe différents tests statistiques. Ces tests sont spécifiques d'un changement de comportement de la variable dans la série temporelle.

Les tests les plus utilisés, les mieux argumentés dans la littérature et, surtout, les plus robustes ont été choisis.

La première catégorie de test concerne le caractère aléatoire des séries (test de corrélation sur le rang et autocorrélogramme). Ils portent sur la constance de la moyenne de la série tout au long de sa période d'observation. Dans l'hypothèse où la série est déclarée non aléatoire, des tests sont proposés (test de Pettitt, statistique de Buishand et ellipse de contrôle, procédure bayésienne et procédure de segmentation de Hubert) pour tenter de caractériser la nature « non aléatoire » présente dans la série. Ils sont plus particulièrement adaptés à la détection de ruptures dans une série chronologique.

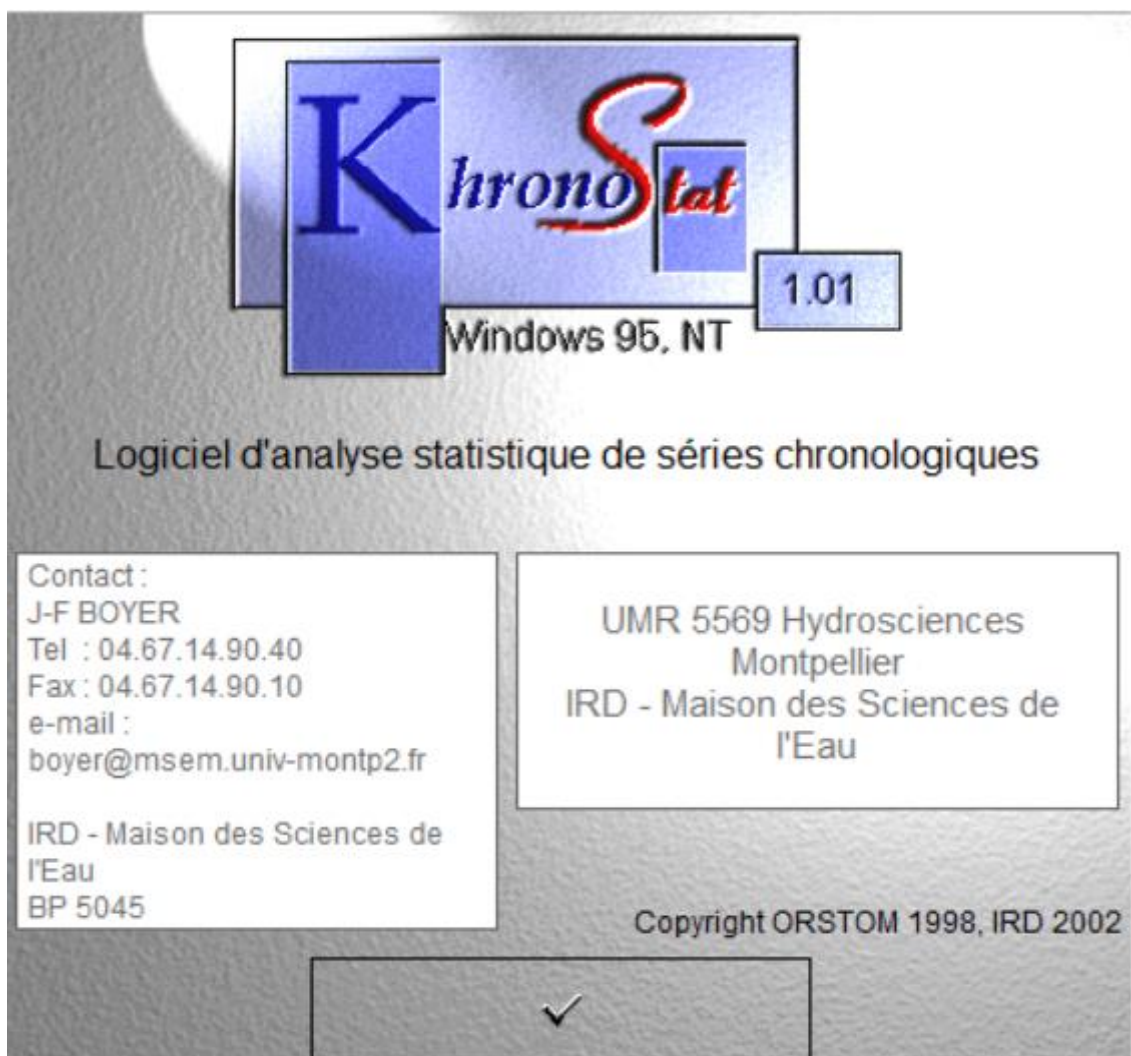


Figure 12: Logiciel khronoStat

I.2.1 Etapes d'utilisation de KhronoStat:

1- On commence par choisir le dossier que l'on souhaite étudier.

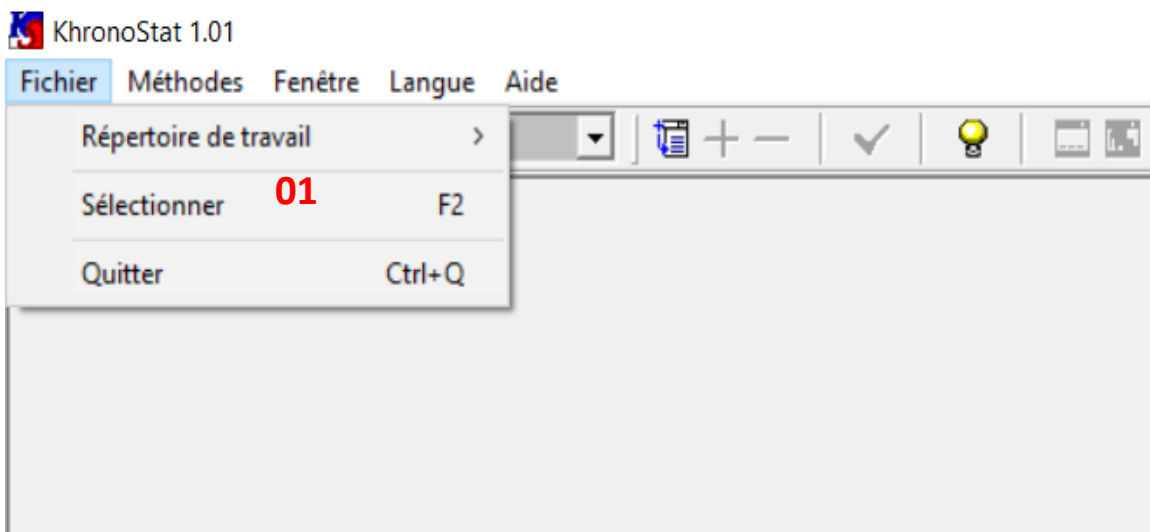


Figure 13: Etape 01 de l'utilisation du logiciel Khronostat

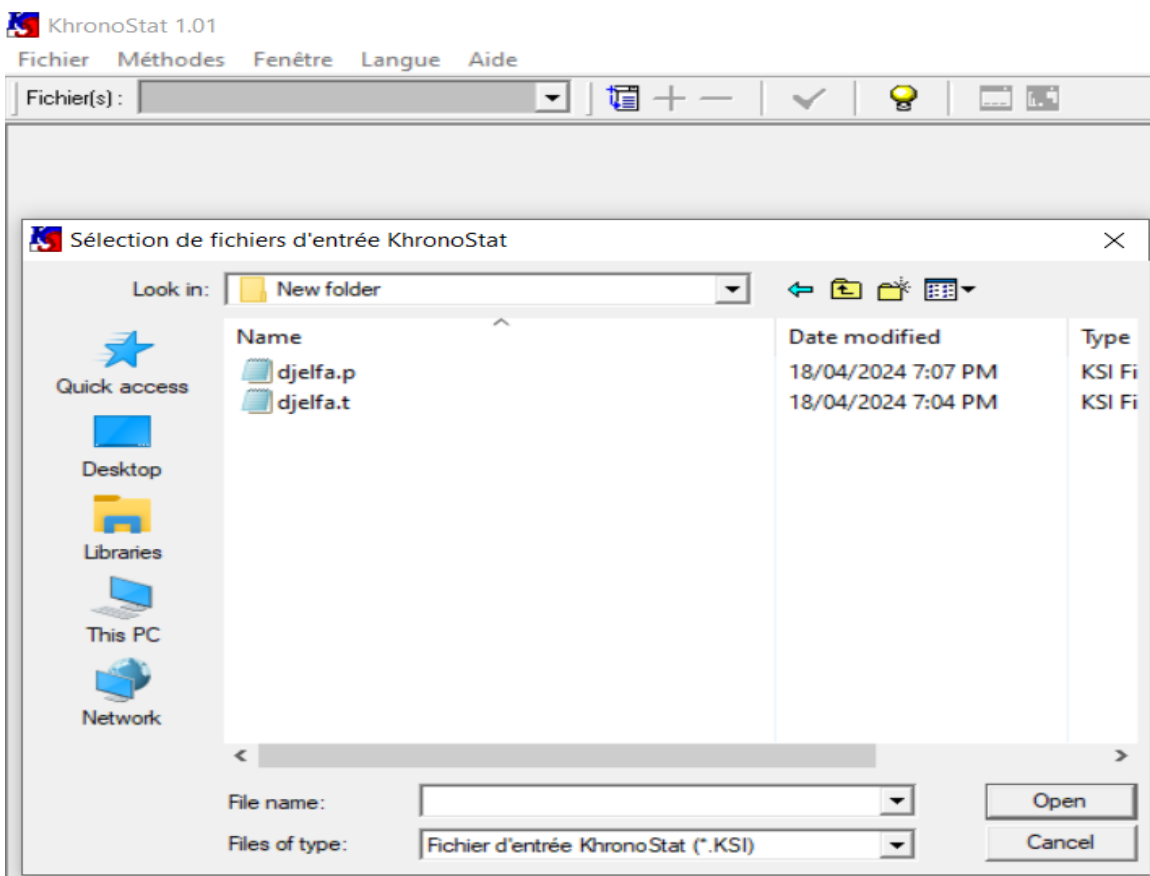


Figure 14: Etape 02 de l'utilisation du logiciel Khronostat

2- Ensuite, on doit sélectionner les méthodes que l'on souhaite d'appliquer.

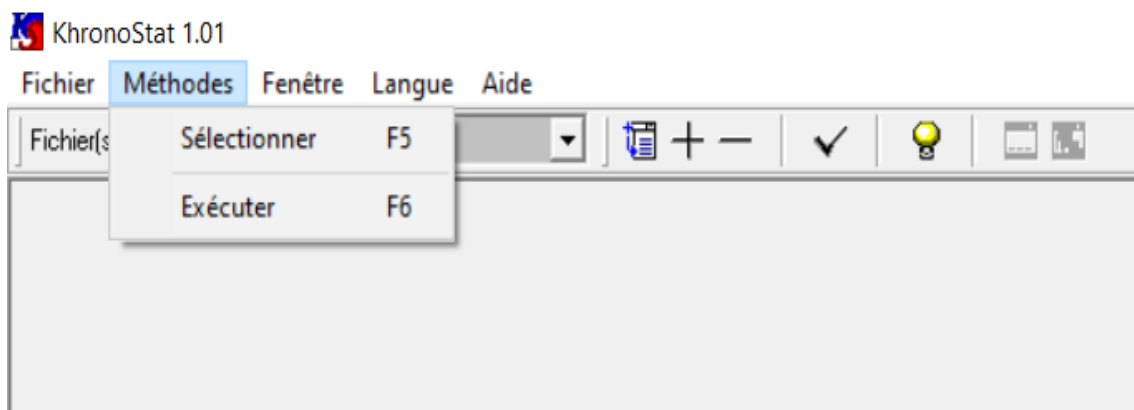


Figure 15: Etape 03 de l'utilisation du logiciel Khronostat.

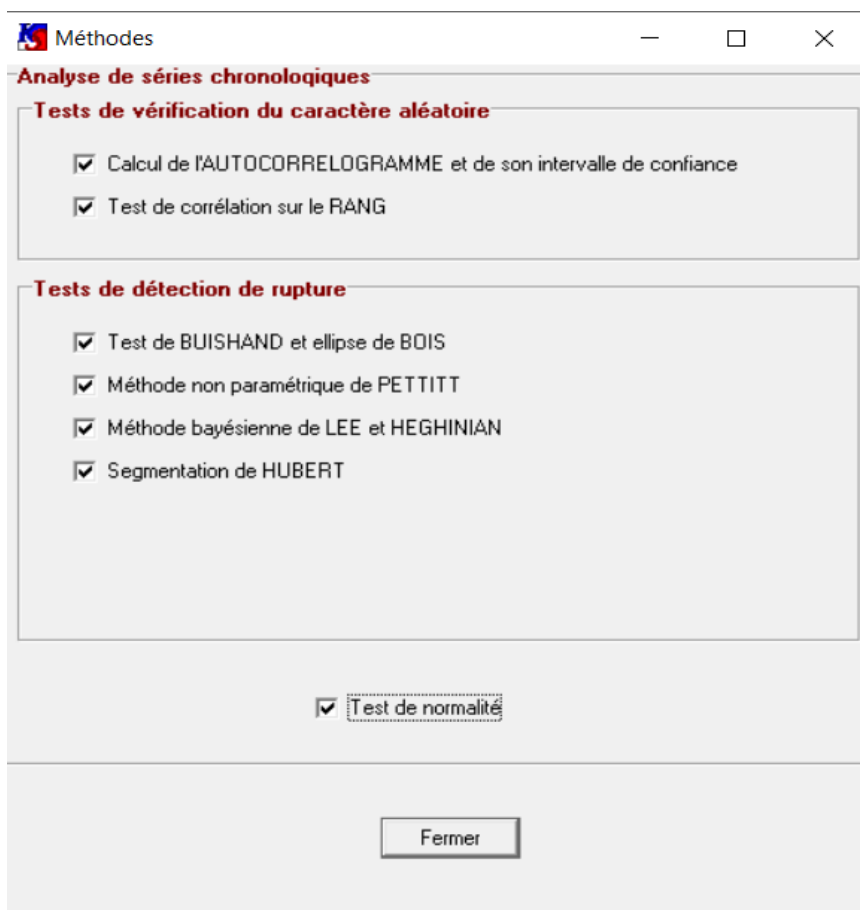


Figure 16: Etape 04 de l'utilisation du logiciel Khronostat,

3- Exécuter le processus

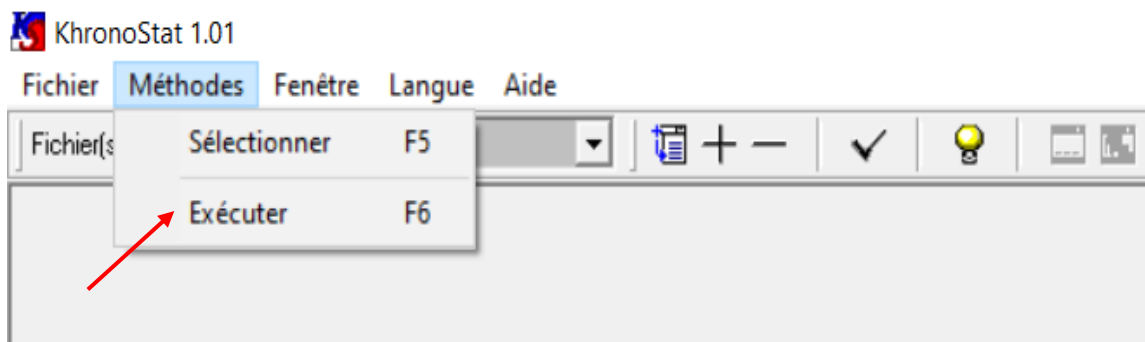


Figure 17: Etape 05 de l'utilisation du logiciel Khronostat

4- Les résultats apparaîtront ensuite

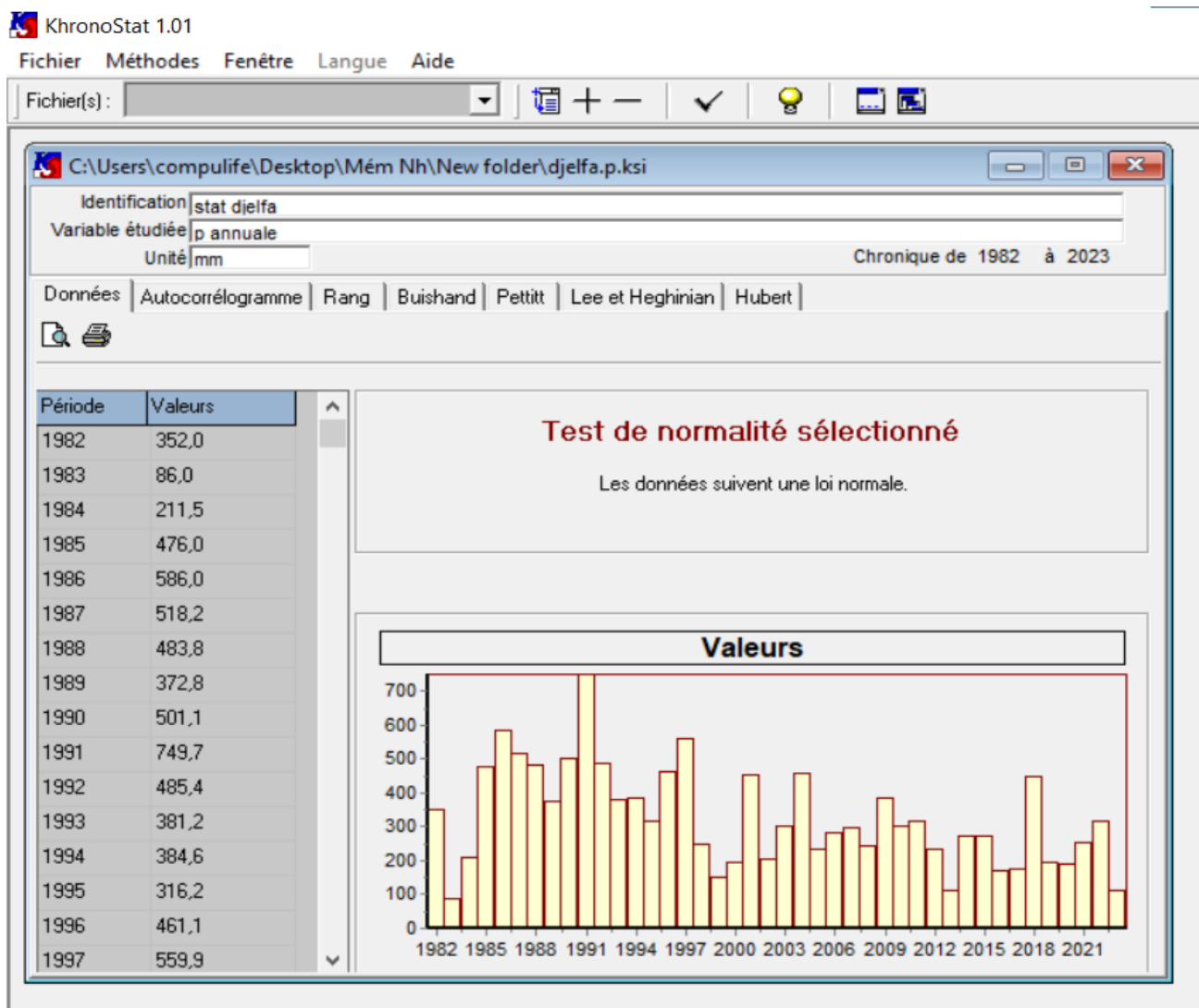


Figure 18: Les résultats de Khronostat

Chapitre 05:

Résultats et discussion

I. Résultat des précipitations annuelles (P en mm):

I.1 Test de Normalité

I.1 Interprétation P en fonction du temps (Autocorrélation):

Nous disposons de la série annuelle des précipitations dans la région de Djelfa avec un total de données de 42 observations exprimées en mm couvrant la période allant de l'année 1982 à l'année 2023.

Les précipitations de cette période varient d'un minimum de pluie de 86 mm (1983) jusqu'à un maximum de pluie de 749.7 (1991) avec une moyenne de 327.23 mm et un écart type de 22.53 mm

Dans cette première étape nous présenterons les données des précipitations brutes ensuite on essaye d'aborder l'étape de l'analyse des ruptures et de tendances à travers les tests appropriés. Les graphes et les calculs sont effectués par le logiciel KhronoStat et le programme Past.3.

	All
N	42
Min	86
Max	749.7
Sum	13743.9
Mean	327.2357
Std. error	22.5329
Variance	21324.72
Stand. dev	146.0299
Median	301.45
25 prntil	209.875
75 prntil	453.775
Skewness	0.6272624
Kurtosis	0.234634
Geom. mean	294.5597
Coeff. var	44.62529

Tableau 04: Paramètres statistiques de la série pluviométrique annuelle

I.1.1 Représentation graphique de la série P:

Cette première étape qui précède les tests de rupture est très importante car elle repose sur l'analyse visuelle du graphe retenu des données historiques de l'évolution des précipitations, et aussi sur l'étude de la stationnarité qui est la partie la plus importante dans l'analyse des tendances et rupture des séries chronologiques.

Le graphe suivant représente l'évolution des précipitations (P) pendant la période (1982 -2023)

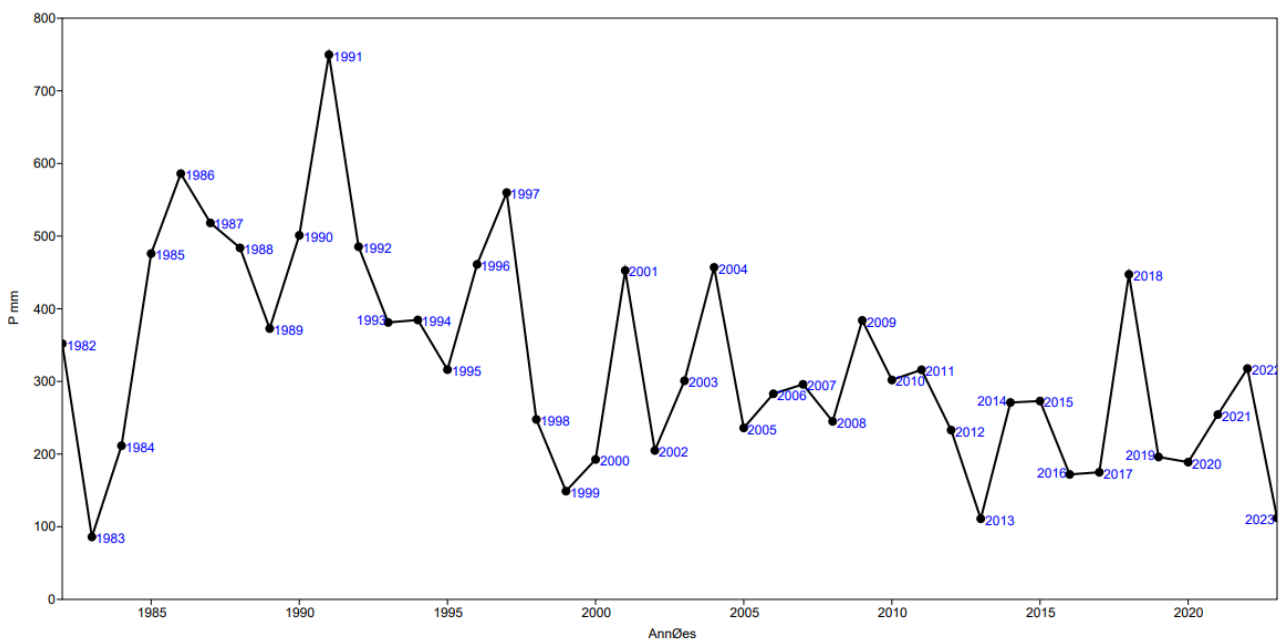


Figure 19: L'évolution de la série (P) entre (1982-2023)

La lecture visuelle du graphe ci-dessus montre une évolution des précipitations dans le temps. On observe que la série des pluies semble non stationnaire. Selon le graphe, on remarque qu'il y'a un mouvement léger à moyen terme de croissance ou décroissance révélant la présence d'une composante Tendence ou trend qui exprime donc l'évolution générale de la série. Bien entendu, on constate également des fluctuations plus ou moins importantes que l'on appelle irrégulières ou mouvements résiduels stochastique. Ces fluctuations irrégulières sont dues à des facteurs exceptionnels imprévisibles du climat affecté par des événements de sécheresses. On remarque qu'il n'y'a pas de périodicité dans les valeurs observées révélant qu'il n'y a pas une présence de saisonnalité

Les Corrélogrammes linéaires ou en bars de la série des précipitations (**figure 20**) Montrent des fonctions d'autocorrélations dont les valeurs sont proches l'une de l'autre, et décroissent très lentement vers le zéro, qui sont les signes d'une non-stationnarité en tendance indiquant le manque d'aspect non aléatoire de la série chronologiques chose qui va être prouvée dans les paragraphes suivants :

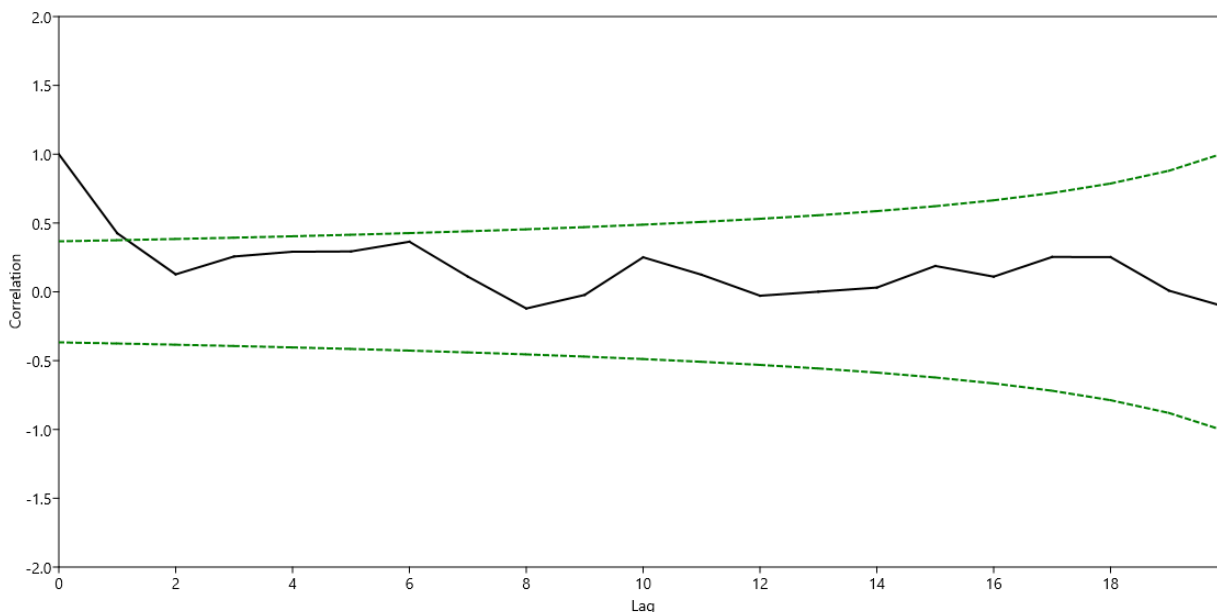


Figure 20: Corrélogramme linéaire de la série des pluies moyennes annuelles (1982-2023) de Djelfa

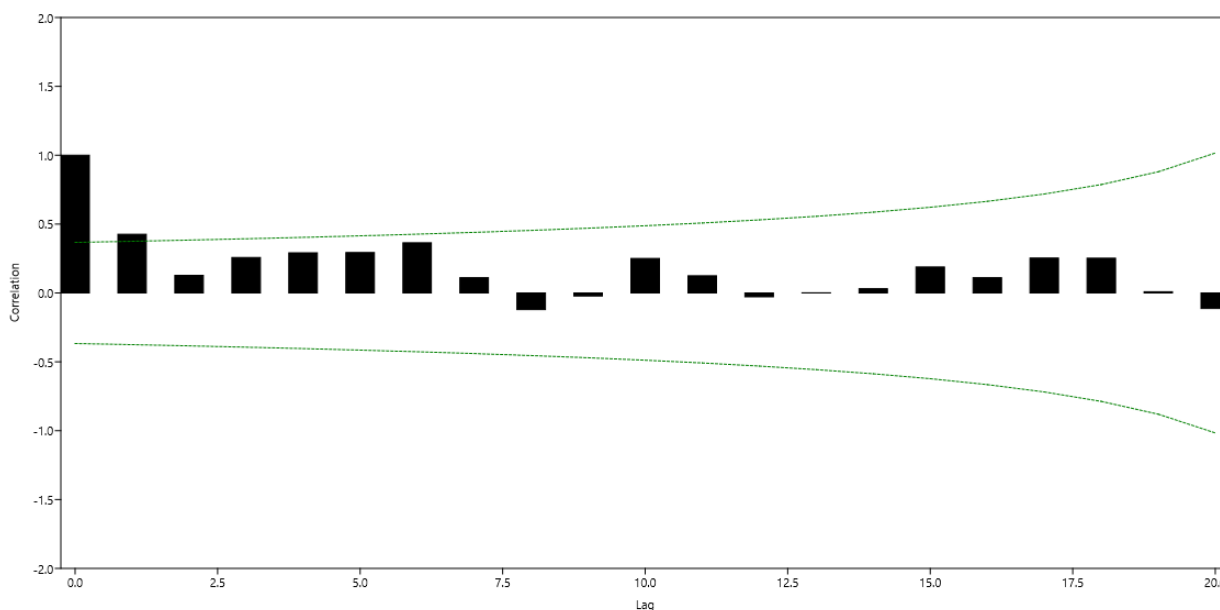


Figure 21: Corrélogramme (en bars) de la série des pluies moyennes annuelles (1982-2023) de Djelfa

I.2 Tests de vérification du caractère aléatoire :

Ce test est préalablement demandé avant toute analyse de rupture et de tendances dans les séries chronologiques quelque soit sa nature. Dans notre série des pluies annuelles il a été fait afin d'être conformes avec les conditions d'application des tests de ruptures mis en œuvre dans cette étude en particulier celui de Pettitt.

La vérification du caractère aléatoire dans les données de la série étudié a été fait par le test de corrélation sur le rang basée sur l'hypothèse H_0 supposant la présence du caractère aléatoire dans la série étudiée. Le rejet de cette hypothèse indique l'absence du caractère aléatoire des données étudiés à des niveaux de signification déterminée et par conséquent la présence d'une tendance marquée avec l'évolution du temps.

Dans notre cas, on remarque le rejet de l'hypothèse d'une série chronologique aléatoire à différents seuils de signification à savoir 1%, 5% et 10 %. Cela confirme l'aspect significatif des corrélogrammes linéaires ou en bars de la série des précipitations dans les figures précédentes (**figure 20, 21**).

On remarque aussi que dans notre cas, la série des précipitation annuelles de Djelfa suivant une loi normale (**figure 22**).

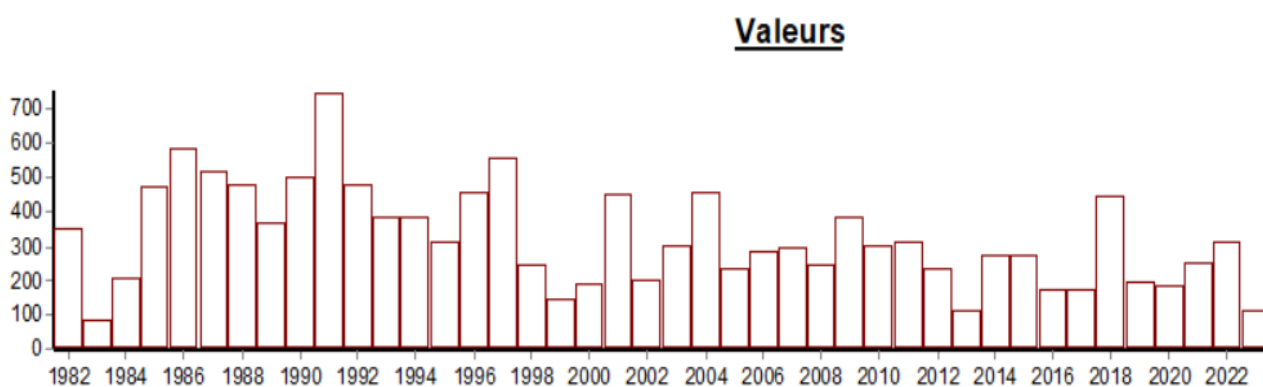


Figure 22: Évolution en histogramme de la série pluviométrique de Djelfa (1982-2023)

I.2.1 Test de corrélation sur le RANG :

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) rejetée au seuil de confiance de 99%

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) rejetée au seuil de confiance de 95%

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) rejetée au seuil de confiance de 90%

Valeur de la variable de calcul : -3,2404

I.2.2 Autocorrélogramme et son intervalle de confiance :

Intervalle de confiance à 99% : +/- **0,3975**

Intervalle de confiance à 95% : +/- **0,3024**

Intervalle de confiance à 90% : +/- **0,2538**

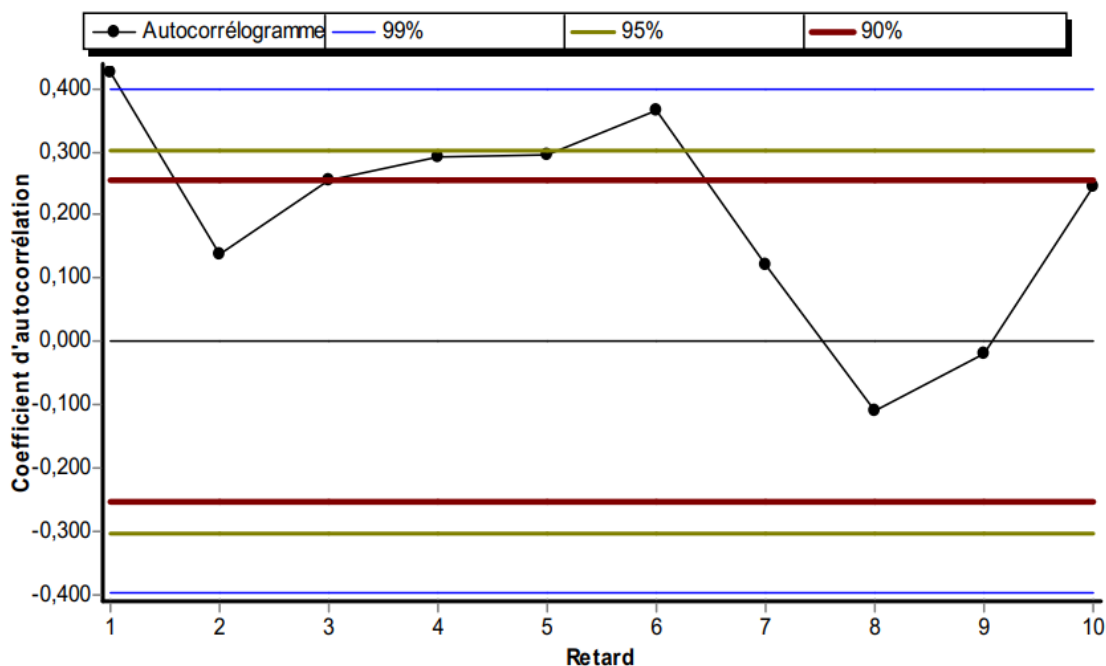


Figure 23: Autocorrélogramme et de son intervalle de confiance :

I.2.3 Autres tests de tendances :

Afin de confirmer les résultats ci-dessus d'autres tests ont été effectuées sur la série des précipitations annuelles tels que le test de tendance d Kendall, test de Laplace, celui de Poisson couplé à des simulations de Monté Carlo (**Tableau 05**).

Ces tests ont tous rejetés le caractère aléatoire de la série avec une l'affirmation d'une tendance décroissante très significative avec un p-niveau de 0.0012 pour le test de Kendall, et un p-niveau de 0.0027 pour le test de Laplace y compris un p-niveau de 0.0029 pour les simulations de Monté Carlo ainsi qu'un p-niveau de 0.03 pour le test de Poisson avec une probabilité de 0.03 pour les simulations de Monté Carlo.

<p><u>Mann Kendall Trend-test</u> S: -299 Z: 3.2295 p (no trend): 0.0012399</p> <p>There is a statistically significant decreasing trend</p>
<p><u>Density trend (Laplace test)</u> U: -2.9921 p (no trend): 0.0027707 p Monte Carlo: 0.0029</p>
<p><u>Exp test for Poisson process</u> Mean waiting time: 16.188 M statistic: 0.44455 Expected M: 0.36327 p (Poisson): 0.032005 Z : 2.1443 p Monte Carlo : 0.0378</p>

Tableau 05: Résultats des tests de Mann Kendall, Laplace et Poisson

I.2.4 Test de tendance par Régression linéaire simple

On l’a déjà mentionné Selon **Dion et al. (2009)** que l’ajustement d’un modèle de régression linéaire entre les paramètres hydro-climatiques tels que les **précipitations** et la **température** en fonction du **temps**, permet d’effectuer un test de significativité de la pente qui correspond ainsi à un test de tendance linéaire. C’est ce qu’ont effectué avec nos données et nous avons trouvé les résultats de la (**figure 24**) ci-dessous confirmant le caractère tendancielle décroissant avec une pente décroissante de -5.69 très significative avec un P-niveau de 0.0013. Le modèle de régression linéaire trouvé par l’approche des moindres carrés (**Ordinary Least Squares Regression, OLS**) est le suivant :

$$P = -5.69 t + 11725$$

Avec un coefficient de corrélation de Pearson de **r = -0.48** et un seuil de signification de 0.001 (voir tableau). Ce modèle schématisé par la courbe de régression suivante avec leurs intervalles de confiances à 95%.

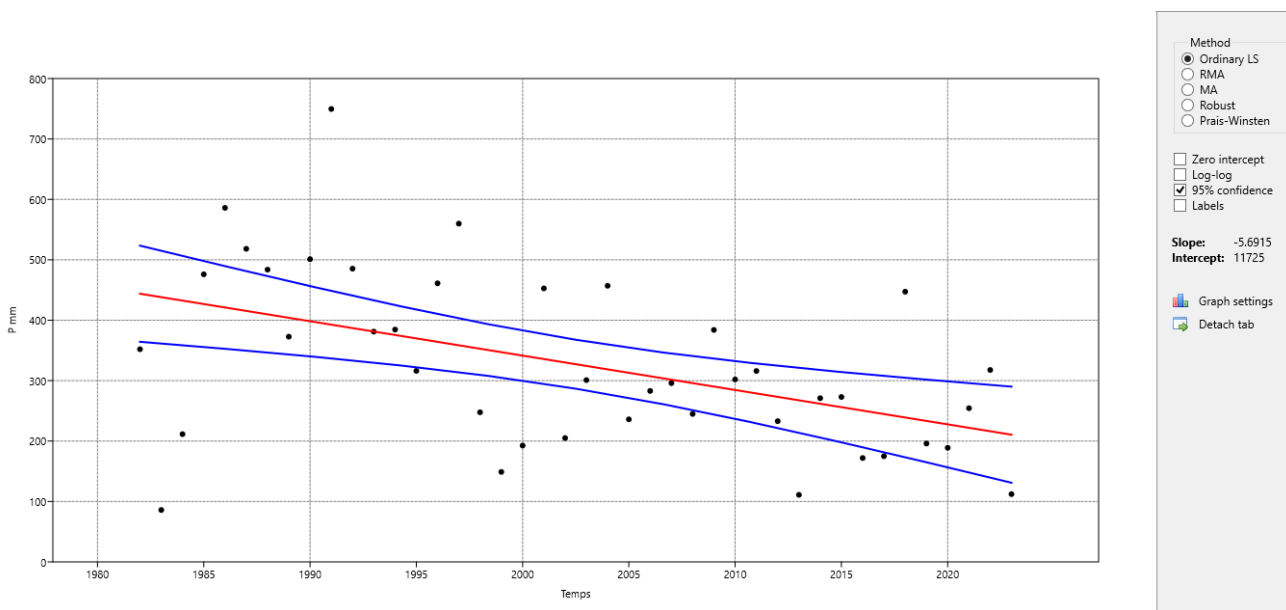


Figure 24: Test de la tendance linéaire par régression simple

<u>Ordinary Least Squares Régression: Temps - P mm</u>			
<u>Slope a:</u>	-5.6915	Std. error a:	1.653
t:	3.4431	<u>p (slope):</u>	<u>0.0013619</u>
<u>Intercept b:</u>	11725	Std. error b:	3310.2
<u>95% bootstrapped confidence intervals:</u>			
Slope a :	(-9.4065, -1.9957)		
Intercept b :	(4302.4, 19170)		
<u>Corrélation :</u>			
r :	-0.47814		
r ₂ :	0.22862		
t :	-3.4431		
p (uncorr.):	0.0013619		
Permutation p :	0.0012		

Tableau 06: Résultat du test de la tendance par régression linéaire simple (OLSR)

I.3 Tests de détection de rupture

I.3.1 Test de BUISHAND et ellipse de BOIS

Les résultats du test de Buishand indiquent que l'hypothèse nulle d'absence de rupture est rejetée aux seuils de confiance 90, 95,99 %, sur la série pluviométrique annuelles de Djelfa, montrant un point de rupture (Cut-point) représenté par l'année de rupture 1997 qui se place en dehors de l'ellipse de Bois comme étant le point le plus culminant (voir **figure 25**).

Comme on la déjà mentionné dans les chapitres antécédents le principe du test de Buishand est basé sur la comparaison des moyennes avant et après un point de rupture. Le test évalue donc si la moyenne de la série temporelle diffère de manière significative avant et après le point de rupture en utilisant par exemple l'outil graphique de l'ellipse de Bois qui est tracée en fonction des moyennes et des écarts-types des sous-séries temporelles avant et après le point de rupture. Si l'ellipse ne contient pas le point (0,0), cela indique un changement significatif entre les deux périodes (**Bois, P. 1991**).

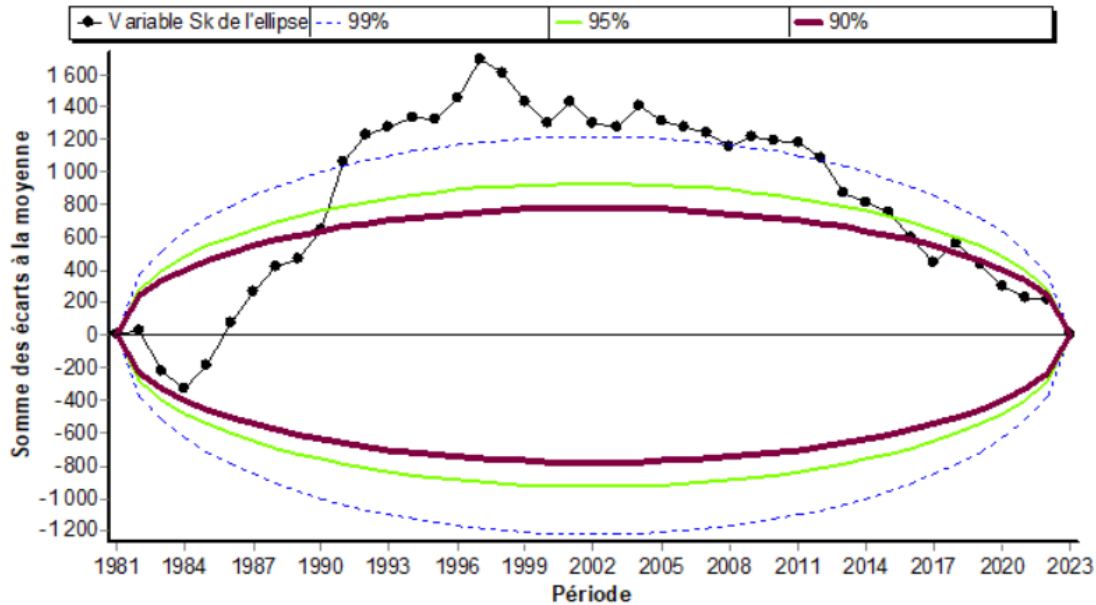


Figure 25: Résultats du Test de BUIHAND sous forme d'ellipse de BOIS à différents seuils de confiance

Hypothèse nulle (absence de rupture) rejetée au seuil de confiance de 99%

Hypothèse nulle (absence de rupture) rejetée au seuil de confiance de 95%

Hypothèse nulle (absence de rupture) rejetée au seuil de confiance de 90%

I.3.2 Méthode non paramétrique de PETTITT:

Les résultats du Test de Pettitt viennent confirmer ceux du Test de BUIHAND dont l'hypothèse nulle d'absence de rupture dans la série des précipitations annuelles de la région de Djelfa est rejetée respectivement aux seuils de signification 1%, 5% et 10% indiquant une différence significative entre les moyennes et les sommes cumulatives des pluies avant et après le point de rupture représenté ici par l'année 1997 avec une probabilité de dépassement de 0.0025.

Hypothèse nulle (absence de rupture) rejetée au seuil de confiance de 99%

Hypothèse nulle (absence de rupture) rejetée au seuil de confiance de 95%

Hypothèse nulle (absence de rupture) rejetée au seuil de confiance de 90%

Probabilité de dépassement de la valeur critique du test : $2,58E-03$ en 1997

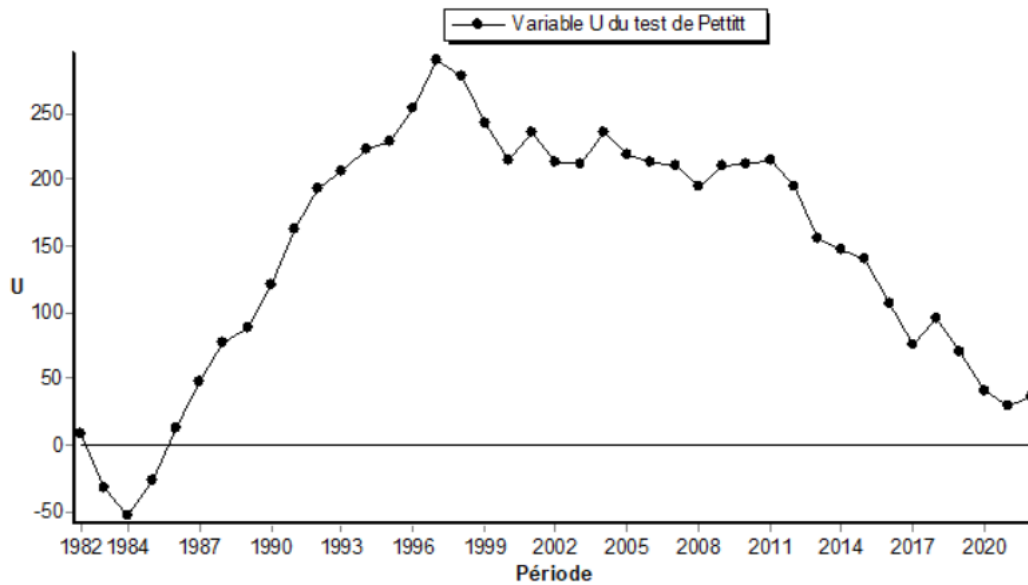


Figure 26: Résultats du Test de Pettitt sous forme de courbe U en fonction du temps

I.3.3 Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAI

En calculant la densité de probabilité à posteriori (en cumulant les probabilité posteriori) de chaque année de la série pluviométrique annuelle de la région de Djelfa on peut tracer un diagramme sous forme d'histogramme représentant cette probabilité en fonction de la période étudiée répartie en année, et ainsi on peut repérer la probabilité la plus culminante qui correspond au point de rupture (Cut-point). Dans notre série cela correspond à l'année 1997 avec une densité de probabilité à posteriori de 0.4895. Mode de la fonction densité de probabilité *a posteriori* de la position du point de rupture : 0,4895 en 1997

Cette technique à l'égard des autres techniques précédentes a permis de conclure à l'existence d'une rupture en moyenne sur la série pluviométrique étudié en 1997 qui présente la rupture la plus significative.

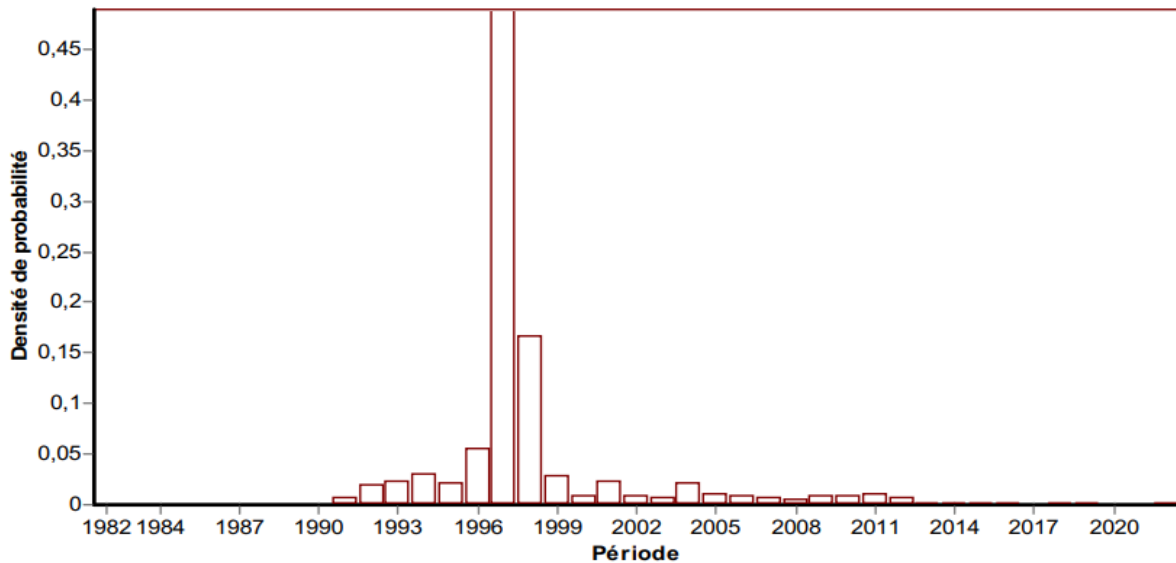


Figure 27: Résultats de la méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN sous forme d’histogramme de densité de probabilité en fonction du temps.

I.3.4 Segmentation de HUBERT:

En se basant sur le test de Schéffé au seuil de signification de 1% sur la série pluviométrique annuelle de la région de Djelfa, l’approche de Hubert a permis de faire apparaître une segmentation en trois périodes segments correspondant chacun à une période distinctes tels que mentionnés dans le tableau ci-dessus (**Tableau 08**).

- 1982-1984 avec une moyenne de pluviométrie moyenne annuelle de 216.5 mm et un écart type de 133.04 mm
- 1985-1997 avec une pluviométrie moyenne annuelle de 482.76 et un écart type de 111.7 mm
- 1998-2023 avec une pluviométrie de 262.24 mm en moyenne et un écart type de 95.5mm

On remarque une alternance de baisse et de haut dans le niveau de pluviométrie durant ces trois périodes décelés par la segmentation de Hubert où on enregistre une baisse de pluviosité dans la première période de la série allant de 1982 à 184 puis une nette augmentation dans les années qui forment la deuxième période qui commence à partir de l’année 1985 jusqu’à 1997.

Cette dernière année (1997) qui a été mise en évidence par les approches et les tests de rupture précédents (**Test de BUISSAND** et test de Pettitt et **Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN**) comme étant le point de rupture de toute cette série, marque le début du déclin du niveau de pluviométrie annuelle dans la région de Djelfa par l’apparition de la troisième période (1998-2023) caractérisée par une baisse nette moyenne de pluies annuelles jusqu’à 262 mm avec un écart type de 95 mm (voir tableau ci-dessus).

Nous pensons que cette dernière période (dernier segment 1998-2023) qui se place juste avec le point de rupture (Cut-point) correspondant à l'année 1997, caractérise, ce que nous vivons actuellement, la sécheresse climatique qui sévit dans la steppe dans sa globalité et en particulier la région de Djelfa.

Début	Fin	Moyenne	Ecart type
1982	1984	216,500	133,070
1985	1997	482,769	111,716
1998	2023	262,246	95,510


Tableau 07: Résultats de la Segmentation de Hubert au niveau de signification du test de Scheffé:1%

II. Résultat des Températures (T en °C):

II.1 Résultat des températures moyennes annuelles (T en °C):

Comme la série des précipitations, nous disposons de la série des température moyennes annuelles dans la région de Djelfa avec un total de données de 42 observations exprimées en °C couvrant la période allant de l'année 1982 à l'année 2023. Les températures moyennes annuelles de cette période évoluent d'un minimum de 35.5 °C (1999) jusqu'à un maximum de 40.6 °C (2023) avec une moyenne de 38.34°C et un écart type de 0.17 °C.

Dans cette première étape nous présenterons les données des précipitations brutes ensuite on essaye d'aborder l'étape de l'analyse des ruptures et de tendances à travers les tests appropriés. Les graphes et les calculs sont effectués par le logiciel Khronostat et le programme Past.3.

 Univariate statistics

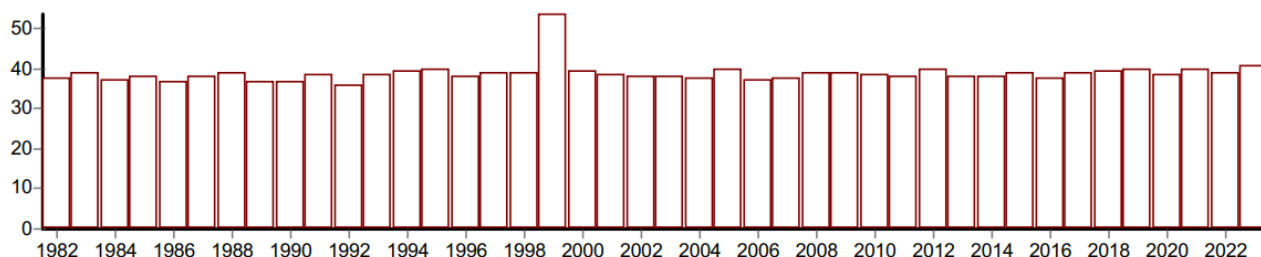
	All
N	42
Min	35.5
Max	40.6
Sum	1610.6
Mean	38.34762
Std. error	0.1704758
Variance	1.220604
Stand. dev	1.104809
Median	38.5
25 prcnil	37.5
75 prcnil	39.1
Skewness	-0.4844893
Kurtosis	0.1522946
Geom. mean	38.33193
Coeff. var	2.881038

Tableau 08: Statistiques de la série des températures moyennes annuelles (1982-2023)

A l'égard des précipitations, la température a fait l'objet d'une vérification du caractère aléatoire dans les données de la série étudiée par le test de corrélation sur le rang qui est basé sur l'hypothèse H_0 . Comme les précipitations, et en rejetant H_0 , on enregistre une absence totale du caractère aléatoire de la série chronologique des données étudiés des températures à différents seuils de signification à savoir 1%, 5% et 10 %. Par conséquent le paramètre température marque une tendance en fonction de l'évolution du temps dans la période d'étude considérée.

Ce résultat est confirmé par les corrélogrammes linéaires de la série des précipitations (**figure 29**) qui tendent et tournent autour de zéro avec des intervalles plus ou moins 0.39, 0.30 et 0.25 à des seuils respectivement 1%, 5% et 10% indiquant l'absence du caractère aléatoire et la présence de tendance croissante dans la série temporelle de la température.

On remarque aussi que dans notre cas, la série des températures annuelles de Djelfa suivant une loi



normale (**figure 22**).

Figure 28: les valeurs des températures moyennes annuelles (T en °C)

II.2 Tests de vérification du caractère aléatoire

II.2.1 L'autocorrélogramme et son intervalle de confiance:

Intervalle de confiance à 99% : +/- **0,3975**

Intervalle de confiance à 95% : +/- **0,3024**

Intervalle de confiance à 90% : +/- **0,2538**

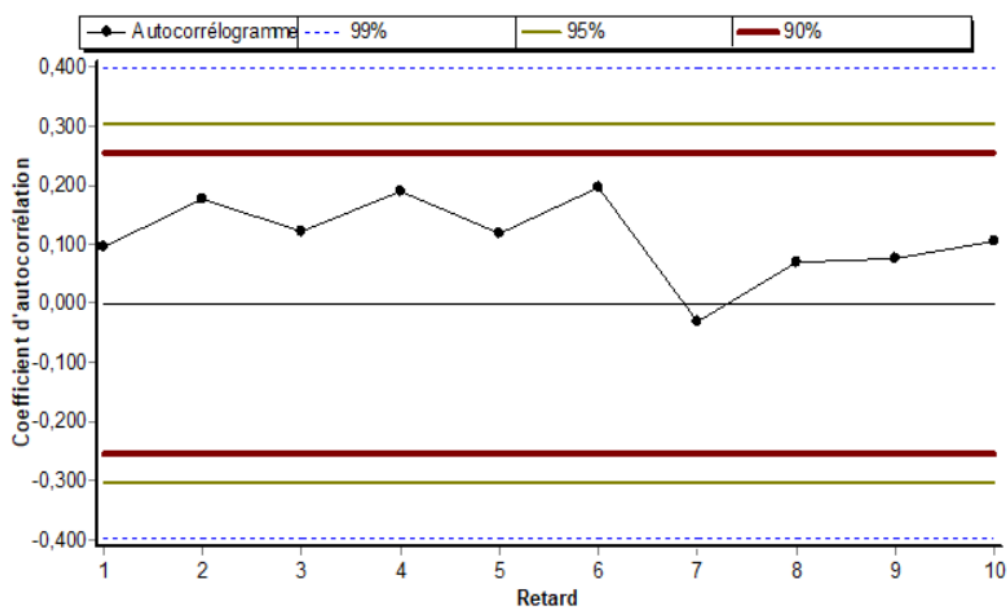


Figure 29: Corrélogramme linéaire avec intervalle de confiance de la série température

II.2.2 Test de corrélation sur le RANG

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) rejetée au seuil de confiance de 99%

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) rejetée au seuil de confiance de 95%

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) rejetée au seuil de confiance de 90%

Valeur de la variable de calcul: **2,9369**

II.2.3 Test de tendance par Régression linéaire simple de la série thermique:

L’ajustement à un modèle de régression linéaire par l’approche des moindres carrés (**Ordinary Least Squares Régression, OLS**) entre la température et le temps en termes d’années de 1982 à 2023 nous a permis d’effectuer le test de tendance linéaire en testant la significativité de la pente du modèle.

La figure 30 ci-dessous de la régression linéaire trouvée montre un caractère tendanciel croissant avec une pente décroissante de 0.040 significative avec un P-niveau de 0.0126 et dont le modèle est le suivant:

$$T = 0.04 t - 43.628$$

Avec un coefficient de corrélation de Pearson de $r = 0.45$ et un seuil de signification de 0.0024 (voir le *Tableau 09*).

Ordinary Least Squares Regression: Temps-Temp °C			
Slope a:	0.040937	Std. error a:	0.012683
t:	3.2276	p (slope):	0.002493
Intercept b:	-43.628	Std. error b:	25.399
95% bootstrapped confidence intervals (N=1999):			
Slope a:	(0.019439, 0.062351)		
Intercept b:	(-86.543, -0.36313)		
Correlation:			
r:	0.45456		
r^2:	0.20663		
t:	3.2276		
p (uncorr.):	0.002493		
Permutation p:	0.0024		

Tableau 09: Résultat du test de la tendance par régression linéaire simple (OLSR)

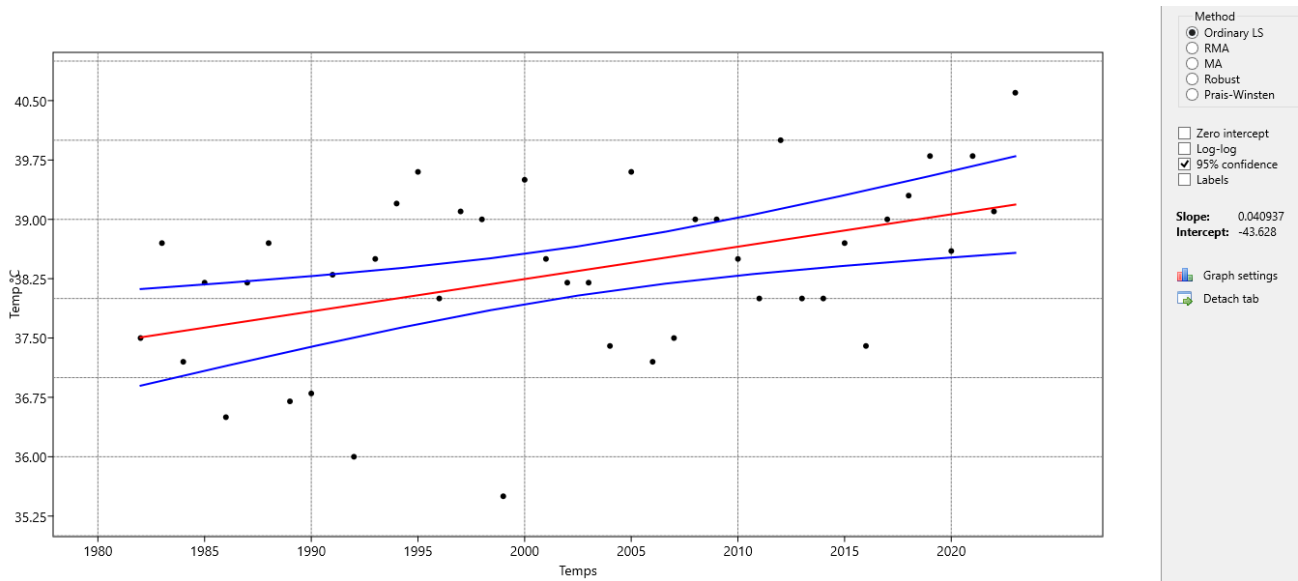


Figure 30: Test de la tendance linéaire des températures schématisé par une courbe de régression (rouge) avec leurs intervalles de confiances à 95% (bleu).

II.3 Tests de détection de rupture:

Dans un souci de ne pas trop chargé notre manuscrit, on a intentionnellement se contenté de n'étudier la rupture de la série temporelle de la température que par le test de Pettitt et la segmentation de Hubert contrairement à ce qu'on a fait avec la série pluviométrique dont l'objectif était d'exposer toutes les approches statistiques pour l'étude de la tendance et ruptures des séries chronologiques.

II.3.1 Méthode non paramétrique de PETTITT:

Les résultats du Test de Pettitt cette fois-ci concernant la série temporelle de la température sur la période considérée montrent une présence de rupture correspondant à un rejet de l'hypothèse H_0 uniquement aux seuils de signification 5% et 10% indiquant une différence significative entre les moyennes et les sommes cumulatives des températures avant et après le point de rupture représenté ici par l'année 1993 avec une probabilité de dépassement de 0.04. On remarque sur le graphe qu'à partir de cette année les températures commencent à prendre une allure croissante correspondant, comme on l'a déjà mentionné, avec les précipitations au début d'une vague de sècheresse climatique qui va persister dans la région étudiée (figure 31).

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

Hypothèse nulle (absence de rupture) rejetée au seuil de confiance de 95%

Hypothèse nulle (absence de rupture) rejetée au seuil de confiance de 90%

Probabilité de dépassement de la valeur critique du test: 4,35E-02 en 1993

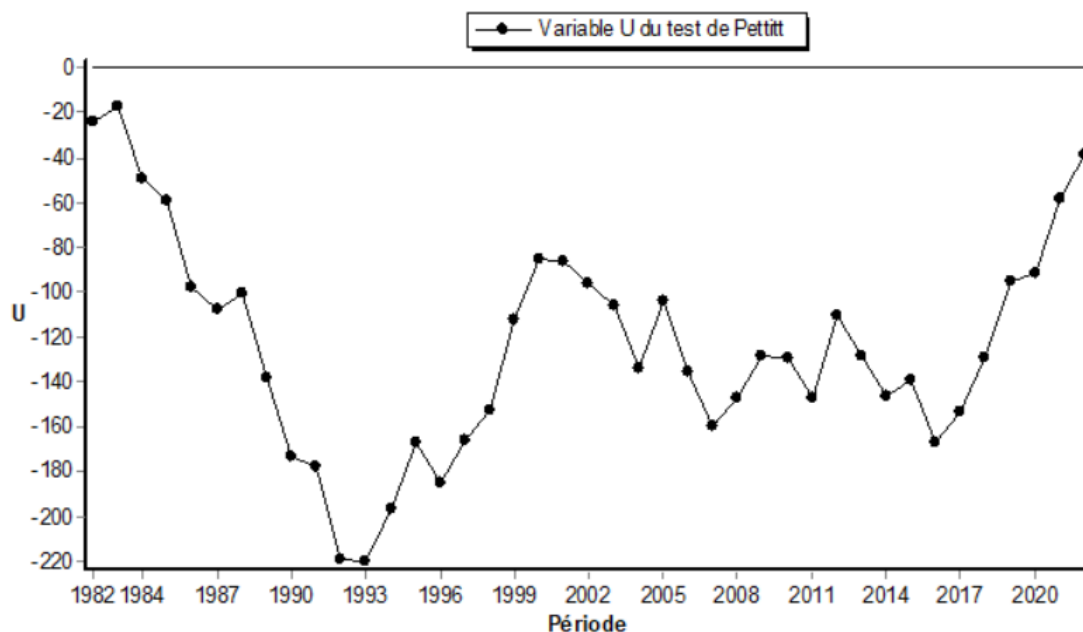


Figure 31: Les résultats du Test de Pettitt

II.3.2 Segmentation de HUBERT

A la différence des précipitations dont la segmentation de Hubert basée sur le test de scheffé au seuil signification 1%, a découpé la série chronologique en 3 segments (Clusters ou groupes) distincts, cette fois ci la procédure n’a pas produit de segmentation acceptable c'est-à-dire avec deux segments ou plus au seuil de 1%, dans ce cas l'hypothèse nulle de stationnarité est acceptée. Par contre il faut signaler que seuil de 5% et 10% la non stationnarité est confirmé par le test de Pettitt.

Donc on a un seul segment, un seul cluster correspondant une croissance monotone depuis au moins 1993 indiquant le début d’une sécheresse montante jusqu’à maintenant dans notre région. Cela confirme les résultats trouvés avec la série des pluies annuelles dont l’année de rupture est celle de 1997. Donc on peut confirmer que le début des fluctuations des paramètres climatiques dans la hausse pour les températures et dans la baisse pour les précipitations indiquant le commencement d’un cycle de sécheresse dans la région steppique de Djelfa a belle et bien commencé dans les années 90. C’est à partir de 1993 pour la température et 1997 pour la précipitation.

Début	Fin	Moyenne	Ecart type
1982	2023	38,779	2,537

Tableau 10: Segmentation de Hubert au Niveau de signification du test de Scheffé : 1%

Conclusion générale

Conclusion

Conclusion générale:

Afin d'appréhender et analyser les changements climatiques dans un écosystème steppique et au terme de ce travail on doit rappeler l'objectif de notre travail qui consiste à étudier les tendances et ruptures des séries hydro-climatiques à savoir les précipitations annuelles et la température sur une période de 42 ans étalée de 1982 à 2023 de la région de Djelfa considérée comme une zone représentative de la steppe. Ces tendances et ruptures ont été abordés par des différentes approches statistiques sous formes de tests paramétriques et non paramétriques souvent considérées comme outils robustes et puissants en termes de précision dans les séries chronologiques. Les tests mis en œuvre dans ces études sont les tests des tendances au rangs, approche de la régressions, test de Mann-Kendall, test de Laplace, test de Poisson et pour les tests de ruptures on a utilisé les tests de Pettitt, test Buishand, Segmentation de Hubert et Méthode bayésienne de Lee et Heghinian.

La segmentation de Hubert a permis de faire apparaitre trois périodes distinctes caractérisées par une alternance de baisse et de haut en termes de pluviométrie annuelles à savoir :

- 1982-1984 avec une moyenne de pluviométrie moyenne annuelles de 216.5 mm et un écart type de 133.04 mm
- 1985-1997 avec une pluviométrie moyenne annuelle de 482.76 et un écart type de 111.7 mm
- 1998-2023 avec une pluviométrie de 262.24 mm en moyenne et un écart type de 95.5mm

L'apparition de la troisième période (1998-2023) caractérisée par une baisse nette moyenne de pluies annuelles jusqu'à 262 mm avec un écart type de 95 mm est apparue après l'année **1997** qui a été mise en évidence par les approches et les tests de rupture (**Test de BUISHAND** et **test de PETTITT** et **Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN**) comme étant le point de rupture de toute cette série, marque le début du déclin du niveau de pluviométrie annuelle dans la région de Djelfa.

Il est clair que cette dernière période (dernier segment 1998-2023) qui se place juste avec le point de rupture (Cut-point) correspondant à l'année 1997, caractérise, la sécheresse climatique qui sévit dans la steppe en particulier la région de Djelfa.

L'étude des corrélogrammes ainsi que le test de tendance au rang ont validé l'absence du caractère aléatoire et la présence de tendance croissante dans la série temporelle de la température aux seuils de signification 1%, 5% et 10%.

Pour la série thermique l'année **1993** a été mise en évidence comme étant un point de rupture par le test de Pettitt au seuil de signification 5% et 10% avec une probabilité de dépassement de 0.04.

Conclusion

Les résultats de la segmentation de Hubert basée sur le test de Scheffé au seuil de 1% sur les données thermiques dans la période étudiée couplés à celles du test de Pettitt, ont mis en évidence un seul segment (un seul cluster) correspondant à une période thermique croissante depuis 1993 indiquant le début d'une sécheresse montante jusqu'à maintenant dans notre région.

On vient donc de démontrer que la sécheresse que connaît la steppe représentée par la région de Djelfa a été déclenchée dans les années 90 par des fluctuations des paramètres climatiques dans la hausse pour la température à partir de 1993 et dans la baisse pour les précipitations à partir de 1997.

En guise de conclusion on ne peut que répéter ce qu'on a dit dans l'introduction de ce mémoire que ce genre d'études visent à fournir des connaissances substantielles sur les fluctuations climatiques pour mettre en évidence l'existence de changements climatiques qui doivent être pris en compte dans les décisions futures en matière de gestion des ressources en eau dans la région de Djelfa.

Comme recommandation, on peut signaler que ces mêmes approches qui ont été exposées dans ce mémoire peuvent et doivent être effectuées avec d'autres paramètres en particulier hydrométriques tels que par exemple les débits calculés à partir des précipitations afin d'évaluer et prédire les ressources superficielles et souterraines de la région.

Références Bibliographiques :

1. Abd el hafidi N., (2005). Contribution à l'étude qualitative des ressources hydriques souterraines en zone Semi-aride, Cas de synclinal Nord de Djelfa.75P, Thèse d'ingénieur, Ed., CU, Djelfa, P09.
2. Abdelali., Sebbar, Badri, W., Fougrach, H., Hsaine, M., & Saloui, A. (2011). Étude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935-2004), *Sécheresse*, 22(3), 139-148.
3. Allenbach, M. (2013), Changement climatique et migrations dans le Pacifique insulaire, *Ouverture*, 3536(1), 505-528.
4. Aouicha Asma, Laib Rahma (2019), Tests des ruptures des séries chronologiques, Application sur des données météorologiques, *Température à Soumaa W. Blida*
5. Bois, P. (1991), L'ellipse de Bois, un nouvel outil statistique pour la validation de la précision des capteurs de débit. *La Houille Blanche*, (5), 345-350.
6. BOUTELDJAOUI F, BESSENASSE M, GUENDOOUZ A. (2011): Etude comparative des différentes méthodes d'estimation de l'évapotranspiration en zone semi-aride (cas de la région de Djelfa). *Revue Nature & Technologie*, page 109-116.
7. Box G. E. P, Jenkins G. M,(1976): *Time series Analysis : Forecasting and control*, Holden Day, San Francisco.
8. Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (1991). *Time series: theory and methods*. Springer science & business media. page 240.
9. Buishand, T. A. (1982). Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology*, 58(1-2), 11-27
10. Chadid, O. (2003). *Analyse des séries hydrométéorologiques par la transformée en ondelettes* (Doctoral dissertation, École de technologie supérieure).
11. Direction de la Plantation et de L'aménagement du Territoire (DPAT)., (2003).
12. DEROUECHE, H. (2015). *Téledétection et analyse des dépérissements des forêts Naturelles en zone semi-aride (Djelfa)* (Doctoral dissertation, 2015).
13. Einhorn, B., Eckert, N., Chaix, C., Ravanel, L., Deline, P., Gardent, M., ... & Schoeneich, P. (2015). Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes. Impacts observés et potentiels sur les systèmes physiques et socio-économiques. *Journal of Alpine Research Revue de géographie alpine*, (103-2).
14. Faraway, J. J. (2016). *Extending the linear model with R: generalized linear, mixed effects and non parametric regression models*. Chapman and Hall/CRC pages 02-27.

15. Ghattout Hadjer (2022). Détection de rupture dans les séries temporelles. 70p. Mémoire de Master. Université Mohammed Seddik Ben yahia. Jijel.
16. George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel and Greta M. Ljung, 2015. "Time Series Analysis: Forecasting and Control, 5th Edition" Published by John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey, pp. 712.
17. Hadim, A. (2017), *Caractérisation physique et chimique des sols sous grenadier dans une région steppique mise en défens (Melaga W. de Djelfa)* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
18. Hamilton J. D. Time series analysis. Princeton University Press, Princeton (1994).
19. Hinkley, D. V. (1970). Inference about the change-point in a sequence of random variables. *Biometrika*, 57(1), 1-17
20. Hirsch, R. M., Slack, J. R., & Smith, R. A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, 18(1), 107-121.
21. IMESSAOUDENE, Y. (2014). Calcul de l'eau virtuelle agricole dans la wilaya de Djelfa en vue de la détermination de son efficience d'utilisation (Doctoral dissertation).
22. IPCC, (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
23. Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1980). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics Letters*, 6(3), 255-259.
24. Jaruskova, (1997). Some Problems with Application of Change-point Detection Methods to Environmental Data, *Environ metrics*. Vol. 8, pp. 469-483
25. Koussa, M. et T. Bouziane. 2018. Apport du SIG a la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans la région de Djelfa, Algérie. *Journal Scientifique Libanais*, 19(1): 31-46
26. Khaouani ., (2019). Monitoring de la dynamique du reboisement de Moudjbara (W. Djelfa) par télédétection spatiale. Thèse Doctorat, Ecologie et Environnement., ALGER «HOUARI BOUMEDIENE», P: 10
27. Kundzewicz, Z. W., & Robson, A. J. (2004). Change detection in hydrological records—a review of the methodology. *Hydrological Sciences Journal*, 49(1), 7-19.
28. Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., & Wallis, J. R. (1994). Hydro-climatological trends in the continental United States, 1948-88. *Journal of Climate*, 7(4), 586-607.
29. Lombard, F. (1987) Rank tests for change point problems. *Biometrika*. Vol. 74, No.3, pp. 615-624.
30. Mebarki, A., Bouhadeb, M., & Bourenane, H. (2017). Assessment of wind erosion sensitivity using GIS and remote sensing: A case study in the Djelfa region (Algeria). *Environmental Earth Sciences*, 76(1), 1-14.

31. Messadi, H, Naama, S (2023). Étude de l'eau de la ville de Djelfa via les réservoirs de stockage, université Ziane achour Djelfa, page 33.
32. Nedjimi S., (2006). Contribution piézométrique et hydro chimique du synclinale de Djelfa 97 p, Thèse ingénieure Ed., CU, Djelfa. P: 09.
33. Pettitt, A. (1979). A non-parametric approach to the change point problem. *Applied Statistics*, 28(2) :126–135.
34. Hubert Pierre, Jean Pierre Carbonnel, Ali Chaouche, (1989). Segmentation des séries hydrométéorologiques — application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest, *Journal of Hydrology*, Volume 110, Issues 3–4, Pages 349-367.
35. Reeves, Chen, Wang, Lund and Lu (2007), A Review and Comparison of Change point Detection Techniques for Climate Data, *Journal Of Applied Meteorology And Climatology*, Vol. 46, pp. 900-915.
36. Monographie de la wilaya de Djelfa, 2022 <https://interieur.gov.dz/Monographie/index.php?wil=17>
37. Sen, M. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389.
38. Solomon, S. (2007, December), Climate change the physical science basis. In *Agufall meeting abstracts* (Vol. 2007, pp. U43D-01).
39. Tioguim, M. I., Delcaillau, M. D., Raillard, M. N., Prevosto, M. M., & Ailliot, M. P. (2018). Modélisation d'extrêmes de séries temporelles : une étude empirique.
40. Vennetier, M. (2012). Changement climatique et dépérissements forestiers: causes et conséquences. *Changement climatique et modification forestière*, p-50.
41. Vissin, E., Boko, M., Perard, J., & Houndenou, C. (2003). Recherche de ruptures dans les séries pluviométriques et hydrologiques du bassin béninois du fleuve Niger (Bénin, Afrique de l'Ouest). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 368-376.
42. Yabrir, B., Laoun, A., Chenouf, N. S., & Mati, A. (2015). Caractéristiques des élevages ovins de la steppe centrale de l'Algérie en relation avec l'aridité du milieu: cas de la wilaya de Djelfa. *Livest. Res. Rural. Dev*, 10, 27.
43. Yu, P.-S., Yang, T.-C., and Wu, C.-K., (2002). Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. *Journal of Hydrology*, 260, 161– 175. doi:10.1016/S0022-1694(01)00614-X
44. Zar, J. H. (2010). *Biostatistical Analysis* (5th ed.). Prentice Hall. page 53-65.

ملخص

الهدف من عملنا هو دراسة الاتجاهات والانقطاعات في السلاسل المائية المناخية لمنطقة السهوب (الجلفة)، أي التهاطل السنوي ومتوسط درجة الحرارة السنوية على مدى 42 سنة من 1982 إلى 2023. تم التعامل مع هذه الاتجاهات والفواصل باستخدام أدوات مختلفة قوية وفعالة في شكل اختبارات بارامترية وغير بارامترية، أي اختبارات الاتجاهات الرتبوية، ونهج الانحدار، واختبار مان-كندال، واختبار لابلاس، واختبار بواسون، وبالنسبة لاختبارات الفواصل استخدمنا اختبار بيتيت واختبار بويشاند وتجزئة هوبرت وطريقة لي وهيغينيان بايزي.

وقد تبين أن الجفاف الذي شهدته السهوب التي تمثلها منطقة الجلفة في التسعينيات كان سببه التقلبات في البارامترات المناخية، حيث ارتفعت درجة الحرارة ابتداءً من عام 1993 وانخفضت الأمطار ابتداءً من عام 1997.

الكلمات المفتاحية: السلاسل الزمنية، الفاصل، الاتجاه، الاختبارات البارامترية وغير البارامترية

Résumé

L'objectif de notre travail est l'étude des tendances et ruptures des séries hydro-climatiques d'une région steppique (Djelfa) à savoir les précipitations annuelles et les températures moyennes annuelles sur une période de 42 ans étalée de 1982 à 2023. Ces tendances et ruptures ont été abordées par des différents outils robustes et puissants sous formes de tests paramétriques et non paramétriques à savoir les tests des tendances au rangs, approche de la régressions, test de Mann-Kendall, test de Laplace, test de Poisson et pour les tests de ruptures on a utilisé les tests de Pettitt, test Buishand, Segmentation de Hubert et Méthode bayésienne de Lee et Heghinian.

On a démontré que la sécheresse que connaît la steppe représentée par la région de Djelfa a été déclenchée dans les années 90 par des fluctuations des paramètres climatiques dans la hausse pour la température à partir de 1993 et dans la baisse pour les précipitations à partir de 1997.

Mots clés : Série chronologique, Rupture, Tendence, Tests paramétriques, non paramétriques

Abstract:

The aim of our work is to study trends and breaks in the hydro-climatic series of a steppe region (Djelfa), namely annual precipitation and mean annual temperature over a 42-year period from 1982 to 2023. These trends and breaks were approached using various robust and powerful tools in the form of parametric and non-parametric tests, namely rank-trend tests, regression approach, Mann-Kendall test, Laplace test, Poisson test, and for break tests we used Pettitt tests, Buishand test, Hubert segmentation and Lee and Heghinian Bayesian method.

It was shown that the drought experienced by the steppe represented by the Djelfa region was triggered in the 1990s by fluctuations in climatic parameters, with rising temperatures from 1993 and falling rainfall from 1997.

Key words: Time series, Break, Trend, Parametric and non-parametric tests