

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Centre Universitaire

Abdelhafid Boussouf-Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

Thème :

**Contribution à l'analyse du régime climatique
de quelques stations de l'Est algérien**

Préparé par : M^{elle}. MELLOUKI Hanane

Soutenu devant le jury:

Douafer. L	Présidente	MCA	Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila
Benmira. S	Examinatrice	MCB	Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila
Tabet. S	Encadreur	MAA	Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciement

Avant tous, Merci Allah

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements pour Mr, *TABET SLIMANE*, pour votre soutien et votre encouragement tout au long de mon mémoire de fin d'études, pour votre disponibilité à répondre à mes questions, à discuter des idées et à partager vos connaissances précieuses dans le domaine. Votre expertise et vos conseils ont joué un rôle crucial dans l'amélioration de ma compréhension du sujet et dans la qualité de mon travail.

Mes remerciements les plus vifs au Dr. Douafer L d'avoir accepté de présider le jury, j'voudrais exprimer mes sincère remerciement au Dr. Benmira S d'avoir accepté d'examiné le manuscrit du mémoire de fin d'étude et faire partie du jury.

Je tiens également à remercier chaleureusement tous les membres du corps professoral qui m'ont apporté le soutien et l'assistance inestimable tout au long de mon parcours académique.

Un merci spécial à mes amis et mes chers cousin RANIA, RAHIM, SONIA, ZIAD, RAYEN, ISLEM, BADRO, qui ont toujours été là pour m'encourager, me motiver et me soutenir. Vos encouragements et votre amour ont été ma force tout au long de cette aventure.

Je voudrais exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce mémoire, que ce soit par leurs contributions directes ou indirectes. Votre soutien a été précieux et a contribué à la qualité globale de mon travail.

Hanane.

Dédicace

Pour les beaux yeux de ma "Mama"

Pour ma fierté mon "Papa"

Pour mes chers : Imen, Abdo, Chaimaa et Didin

Pour mon adorable Loulou

Je vous aime

Pour moi....

التغيرات المناخية هي تحدي رئيسي للبيئة والتنوع البيولوجي والاقتصاد، مع آثار مرئية بالفعل على النظم البيئية والموارد البيولوجية. تهدف هذه الدراسة إلى تحليل المتغيرات المناخية لفهم نظام المناخ وتباينه في شرق الجزائر.

تم إجراء توصيف متغيرات المحطات الجوية من خلال تحليل وصفي للبيانات الجوية وتصنيف هرمي تصاعدي (CHA) تم استخدام مؤشر التساقط المطري المعياري (SPI) لكشف فترات الجفاف. أتاح لنا اختبار الاتجاه-مان-كندال تقييم التغيرات الزمنية.

تكشف تحليل التغيرات المناخية في شرق الجزائر عن تباينات مكانية وزمنية. ترتفع درجات الحرارة، مع متوسطات قصوى عالية في أغسطس. تتفاوت كميات الأمطار بحسب المحطات، مع ذروة في يناير وديسمبر. تعاني بعض المناطق من ظروف رطبة، في حين تكون الأخرى أكثر جفافاً مع فترات جفاف. تعاني المحطات الساحلية عموماً من هطول أمطار أكثر وفرة. تتميز السهول العالية ومنطقة جبال الأطلس التلي بأقل وفرة في الأمطار. لوحظت فترة جفاف بين عامي 1992 و1995، تلتها فترة رطبة حتى عام 1999. في الفترة التالية، لوحظ جفاف لمدة أربع سنوات في معظم المحطات حتى عام 2022.

Résumé

Les changements climatiques sont un défi majeur pour l'environnement, la biodiversité, et l'économie avec des impacts déjà visibles sur, les écosystèmes et les ressources biologique. La présente étude vise l'analyse des variables climatiques afin d'appréhender le régime climatique et ses variabilités dans l'Est algérien.

Une Caractérisation de la variabilité spatiale des stations a été effectuée grâce à une analyse descriptive des données météorologiques et classification hiérarchique ascendante(CHA). Utilisation de l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI), afin de détecter les périodes secs. Le Test de tendance de Mann-Kendall nous a permis d'évaluer les changements temporels.

Une analyse de l'évolution climatique dans l'Est de l'Algérie révèle des variations spatiales et temporelles. Les températures augmentent, avec des moyennes maximales élevées en août. Les précipitations varient selon les stations, avec des pics en janvier et décembre. Certains endroits connaissent des conditions humides, tandis que d'autres sont plus secs, avec des périodes de sécheresse. Les stations côtières ont généralement des précipitations plus abondantes. Les hautes plaines et la région de l'Atlas Tellien présentent moins d'abondance en précipitations. Une période de sécheresse a été observée entre 1992 et 1995, suivie d'une période humide jusqu'en 1999. Par la suite, une sécheresse de quatre ans a été constatée dans la plupart des stations jusqu'en 2022

Abstract

Climate change is a major challenge for the environment, biodiversity, and economy with already visible impacts on ecosystems and biological resources. This study aims to analyze climatic variables in order to understand the climate regime and its variability in eastern Algeria.

Characterization of the spatial variability of weather stations was performed through descriptive analysis of meteorological data and hierarchical cluster analysis (HCA). The Standardized Precipitation Index (SPI) was used to detect dry periods. The Mann-Kendall trend test allowed us to assess temporal changes.

An analysis of climate change in eastern Algeria reveals spatial and temporal variations. Temperatures are increasing, with high maximum averages in August. Precipitation varies among stations, with peaks in January and December. Some areas experience humid conditions, while others are drier, with periods of drought. Coastal stations generally have more abundant rainfall. The high plateaus and the Atlas Tellien region have less precipitation abundance. A drought period was observed between 1992 and 1995, followed by a wet period until 1999. Subsequently, a four-year drought was observed in most stations until 2022.

Sommaire

Résumé

Liste des figures

Liste des Tableaux

Introduction.....01

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

1. Notion de climat..... 04

2. Variabilité climatique05

2.1. Variabilité climatique dans l'espace06

2.2. Variabilité climatique dans le temps06

2.2.1. Variabilité interannuelle07

2.2.2. Variabilité saisonnière08

3. Changement climatique08

3.1. Changements climatiques observés.....08

3.2. Evolution future du climat10

3.3. Causes de l'évolution climatique12

3.3.1. Rayonnement solaire12

3.3.2. Activité volcanique.....13

3.3.3. Activités humaines.....14

3.4. Effet de serre.....16

3.4.1. Gaz à effet de sers17

3.4.2. Evolution de la teneur en gaz.....20

4. Changement climatique en Algérie22

4.1. GES en Algérie.....22

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

1. présentation de la zone d'étude	25
2. Aperçu topographique	25
2.1. Plaines littorales.....	26
2.2. Atlas tellien	26
2.3. Bassins intérieurs.....	26
2.4. Hautes plaines	27
2.5. Atlas Saharien.....	27
3. Aperçu géologiques.....	28
4. Sols.....	29
5. Aperçu climatique.....	31
5.1. Précipitations.....	32
5.2. Zones bioclimatiques de l'Est Algérien	33
6. Végétation forestière.....	34
7. Réseau hydrologique.....	37

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

1. Données climatiques disponibles.....	39
2. Préparation des données climatiques.....	41
2.1. Comblement des lacunes d'observation.....	41
2.1.1. Correction des températures.....	41
2.1.2. Corrections des précipitations.....	42
3. Méthodes statistiques.....	42

Chapitre 4 : Résultats

1. Analyse descriptive des données pour l'ensemble des stations par paramètre.....	47
1.1. Températures maximales moyennes.....	47

1.2. Températures minimales moyennes.....	49
1.3. Précipitation.....	51
2. Résultat de l'analyse descriptive pour chaque station	54
3. Classification Héarchique Ascendante (CHA) des station étudiants.....	70
3.1. Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les précipitations.....	71
3.2. Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les températures minimales....	72
3.3. Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les températures maximales....	74
4. L'Indice Standardisé de Précipitation (SPI)	75
5. Le test de Mann-Kendall	77
5.1. Analyse des résultats relatifs à la tendance des précipitations	77
5.2. Analyse des résultats relatifs à la tendance des températures maximale	86
5.3. Analyse des résultats relatifs à la tendance des températures minimale	115
6. Résultat de l'évolution des paramètres climatiques	142
6.1. Précipitation	142
6.2. Températures maximales moyennes	143
6.3. Températures minimales moyennes	145
<u>Chapitre 5 : Discussion</u>	
Discussion	148
Conclusion.....	152
Liste des Références.....	155

Liste des figures

Figure 01 : Évolution de la température moyenne de la planète entre 1850 et 2019 par rapport à la moyenne sur la période 1850-1900.	p10
Figure 02 : Flux d'énergie au sein du système climatique.	p13
Figure 03 : Cycle simplifié du carbone au début du XXI e siècle (échanges naturels : les émissions et les absorptions sont équilibrées).	p15
Figure 04 : Cycle simplifié du carbone au début du XXI e siècle (Accumulation de carbone dans l'atmosphère due aux activités humaines).	p15
Figure 05 : Processus de l'effet de serre.	p16
Figure 06 : GES anthropique.	p17
Figure 07 : Répartition des émissions mondiales des GES par secteur en 2016 2015.....	p18
Figure 08 : Tendances des émissions du CO ₂ , mondiale et par région.....	p19
Figure 09 : Investissements mondiaux nécessaire pour réduire les émissions du CO ₂	p20
Figure 10 : Les gaz à effet de serre.	p21
Figure 11 : Evolution du CO ₂ 1995-2000.	p23
Figure 12 : Evolution GES entre 1994 et 2004.	p23
Figure 13 : Emission totales des GES par secteur en Algérie 2000.).....	p24
Figure 14 : carte de la zone d'étude.	p25
Figure 15 : Le relief de l'Est algérien.	p28
Figure 16 : Carte géologique simplifiée du domaine de l'Est algérien.....	p29
Figure 17 : Carte des sols dominants de la région d'étude.	p31
Figure 18 : carte des précipitations annuelles moyennes de l'Algérie.....	p33
Figure 19 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien.....	p34
Figure 20 : Couverture végétale de l'Est algérien.	p36
Figure 21 : Réseaux hydrologiques en Algérie.	p38

Figure 22 : Localisation de la zone d'étude	p40
Figure 23 : Indice pluviométrique standardisé (station de Skikda période 1976- 2022).....	p44
Figure 24 : Test de tendance de Mann-Kendall (station de Annaba, période 1976-2022).....	p46
Figure 25 : La variation mensuelle des températures moyennes maximales. Période (1976- 2022)..	p49
Figure 26 : La variation mensuelle des températures moyennes minimales. Période (1976- 2022)..	p51
Figure 27 : La variation mensuelle des précipitations. Période (1976- 2022).....	p54
Figure 28 : donnée climatique de la station d'Annaba.....	p56
Figure 29 :donnée climatique de la station de Skikda.....	p57
Figure 30 : donnée climatique de la station de Bejaia.	p58
Figure 31 : donnée climatique de la station de souk Ahras.	p59
Figure 32 : donnée climatique de la station de Tébessa.	p61
Figure 33 : donnée climatique de la station de Guelma.	p62
Figure 34 : donnée climatique de la station de Constantine.	p63
Figure 35 : donnée climatique de la station de M'sila.	p64
Figure 36 : donnée climatique de la station de Batna.	p65
Figure 37 : donnée climatique de la station de Sétif.	p67
Figure 38 : donnée climatique de la station de Bordj Bou Arreridj.	p68
Figure 39 : donnée climatique de la station de Djelfa.	p69
Figure 40 : donnée climatique de la station de Biskra.	p70
Figure 41 : Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les précipitations.....	p71
Figure 42 : Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les températures minimale.	p72

Figure 43 : Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les températures maximales.....	p74
Figure 44 : Evolution de l'Indice Standardisé des Précipitations de treize stations sur la période 1976-2022.....	p76
Figure 45 : tendance de Mann-Kendall pour le mois de juin pour les précipitations de la station d'Annaba (période 1976-2022).	p77
Figure 46 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station d'Annaba.	p78
Figure 47 : tendance de Mann-Kendall pour le mois d'avril pour les précipitations de la station de Skikda (période 1976-2022).	p78
Figure 48 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Skikda.	p79
Figure 49 : tendance de Mann-Kendall pour le mois d'avril, juillet et MAM pour les précipitations de la station de Béjaïa (période 1976-2022).	p79
Figure 50 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Béjaïa.	p80
Figure 51 : tendance de Mann-Kendall pour le mois janvier, juillet, DJF, JJA pour les précipitations de la station de Souk Ahras (période 1976-2022).	p80
Figure 52 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Souk Ahras.	p81
Figure 53 : tendance de Mann-Kendall pour le mois juillet pour les précipitations de la station de Batna (période 1976-2022).	p81
Figure 54 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Batna.	p82
Figure 55 : tendance de Mann-Kendall pour le saison DJF pour les précipitations de la station de Bordj Bou Arreridj (période 1976-2022).	p82

Figure 56 :la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Bordj Bou Arreridj.	p83
Figure 57 : tendance de Mann-Kendall pour le mois juillet, aout et la saison JJA pour les précipitations de la station de M'sila (période 1976-2022).	p83
Figure 58 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de M'sila.	p84
Figure 59 : tendance de Mann-Kendall pour le mois avril, novembre, décembre pour les précipitations de la station de Djelfa (période 1976-2022).	p84
Figure 60 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Djelfa.	p85
Figure 61 : tendances de Mann-Kendall pour le mois septembre pour les précipitations de la station de Biskra (période 1976-2022).	p85
Figure 62 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Biskra.	p86
Figure 63 : tendance de Mann-Kendall pour le mois avril, juin, aout, année, MAM, JJA pour les températures maximales de la station d'Annaba (période 1976-2022)... ..	p87
Figure 64 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station d'Annaba.	p88
Figure 65 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Skikda (période 1976-2022).	p90
Figure 66 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Skikda.	p91
Figure 67 : tendances de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Béjaïa (période 1976-2022).	p93
Figure 68 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Béjaïa.	p94

Figure 69 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Guelma (période 1976-2022).	p95
Figure 70 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Guelma.	p95
Figure 71 : tendances de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Tébessa (période 1976-2022).	p97
Figure 72 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Tébessa.	p98
Figure 73 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Constantine (période 1976-2022).	p100
Figure 74 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Constantine.	p101
Figure 75 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Batna (période 1976-2022).	p103
Figure 76 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Batna.	p104
Figure 77 :tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Sétif (période 1976-2022).	p106
Figure 78 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Sétif.	p106
Figure 79 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Bordj Bou Arreridj (période 1976-2022).	p109
Figure 80 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Bordj Bou Arreridj.	p109
Figure 81 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de M'sila (période 1976-2022).	p111

Figure 82 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de M'sila.	p111
Figure 83 : tendance de Mann-Kendall pour le mois juillet, aout, année pour les températures maximales de la station de Djelfa (période 1976-2022).	p112
Figure 84 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Djelfa.	p112
Figure 85 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Biskra (période 1976-2022).	p115
Figure 86 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Biskra.	p115
Figure 87 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station d'Annaba (période 1976-2022).	p117
Figure 88 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station d'Annaba.	p118
Figure 89 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Skikda (période 1976-2022).	p120
Figure 90 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Skikda.	p121
Figure 91 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Béjaïa (période 1976-2022).	p123
Figure 92 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Béjaïa.	p123
Figure 93 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Souk Ahras (période 1976-2022).	p126
Figure 94 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Souk Ahras.	p126

Figure 95 : tendance de Mann-Kendall pour le mois d’avril pour les températures minimales de la station de Guelma (période 1976-2022).	p127
Figure 96 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Guelma.	p127
Figure 97 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Tébessa (période 1976-2022).	p129
Figure 98 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Tébessa.	p129
Figure 99 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Constantine (période 1976-2022).	p130
Figure 100 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Constantine.	p131
Figure 101 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Batna (période 1976-2022).	p132
Figure 102 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Batna.	p132
Figure 103 : tendance de Mann-Kendall pour le mois novembre, DJF, SON pour les températures minimales de la station de Sétif (période 1976-2022).	p133
Figure 104 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Sétif.	p133
Figure 105 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Bordj Bou Arreridj (période 1976-2022).	p135
Figure 106 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Bordj Bou Arreridj.	p136
Figure 107 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de M’sila (période 1976-2022).	p137

Figure 108 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de M'sila.p138

Figure 109 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Djelfa (période 1976-2022).p139

Figure 110 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Djelfa.p140

Figure 111 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Biskra (période 1976-2022).p141

Figure 112 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Biskra.p142

Liste des Tableaux

Tableau1. Présentation des stations d'étude (O.N.M).p39

Tableau2. Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI).p44

Tableau3. Des moyennes maximales mensuelles des températures pour la période de 1976 à 2022p48

Tableau4. Des moyennes minimales mensuelles des températures pour la période de 1976 à 2022.p50

Tableau5. Des moyennes mensuelles des Précipitation pour la période de 1976 à 2022.....p53

Tableau6. Résultat de l'évolution des précipitations au niveau des années et saisons.....p142

Tableau7. Résultat de l'évolution des Températures maximales moyennes au niveau des années et saisons.p143

Tableau8. Résultat de l'évolution des Températures minimales moyennes au niveau des années et saisons.p145

Liste d'abréviation

ANRH	: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
CCNUCC	: Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CFC	: Chlorofluorocarbures
CH4	: Méthane
CO2	: Dioxyde de Carbone
EBA	: European Banking Authority (Autorité bancaire européenne)
eqCO2	: équivalent CO2
FAO	: Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
GAW	: Global Atmosphere Watch (Surveillance globale de l'atmosphère)
GES	: Gaz à Effet de Serre
GIEC	: Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat
Gt	: unité de masse
HCFC	: Hydrogène, Chlore, Fluor, Carbone
HFC	: Hydrofluorocarbures
MtCO2	: Metric tons of Carbon Dioxide equivalent
N2O	: Protoxyde d'Azote
OMM	: Organisation Météorologique Mondiale
ONM	: Office National de la Météorologie
PFC	: Plasma Frais Congelé
PIB	: Produit Intérieur Brut
Ppm	: Partie Par Million
UNFCCC	: Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

INTRODUCTION

Introduction

L'étude du climat est l'une des préoccupations majeures de la communauté scientifique puisqu'elle en affecte considérablement les conditions de vie et induit des réponses biologiques et écologiques de la faune et de la flore (Root et al, 2003).

L'influence du climat s'étend à plusieurs domaines tels que les ressources en eau, l'écologie, l'agriculture, la sécurité alimentaire, la santé (Pearson et Dawson, 2003).

La compréhension des grands mécanismes climatiques est un enjeu majeur pour la communauté scientifique. Depuis la fin du XIXe siècle, le climat planétaire subit un réchauffement généralisé qui affecte les deux hémisphères de manière différente. L'hémisphère nord se réchauffe plus lentement que l'hémisphère sud (GIEC, 2007). Cette évolution différentielle des températures entre les deux hémisphères est liée à la baisse des cumuls pluviométriques dans les régions subtropicales de l'hémisphère nord, observée depuis les années 70 (Flageollet, 2012).

Le changement climatique et ses impacts sont maintenant reconnus comme étant parmi les plus grands défis auxquels l'environnement et l'économies sont confrontés. Ces changements entraîneront également une perte de biodiversité de 15 à 37 % (Cameroon, 2012) des plantes et espèces animales terrestres. Les phénomènes météorologiques extrêmes tels que les sécheresses, les inondations ou les tempêtes, qui sont des conséquences directes des changements climatiques (Tabet, 2008 ; Ferrah, 2014), ont déjà augmenté en fréquence et en ampleur. Les effets des changements climatiques sont déjà visibles dans la santé, les écosystèmes terrestres et aquatiques, ainsi que dans les systèmes socio-économiques tels que l'agriculture, l'exploitation forestière, la pêche et les ressources en eau, qui sont des éléments essentiels du développement (GIEC, 2007). La lutte contre ces aléas climatiques constitue aujourd'hui l'une des préoccupations pour les gouvernements (Lemkak, 2022).

Pour faire face au danger de changement climatique, les scientifiques tentent de comprendre les cycles climatiques en analysant la variabilité et les tendances de différentes variables climatiques telles que les précipitations et les températures.

(Nicholson 1989 ; Vinnikov et coll., 1990 ; Balling et al. 1998 ; Zhai et al. 2003 ; Il, Gautam 2016).

L'objectif principal de cette recherche est d'améliorer la compréhension du régime climatique des stations de l'Est Algérien. Les étapes suivantes sont essentielles pour assurer la clarté et les avantages de l'analyse du régime climatique dans la région de l'Est algérien, ainsi que pour mettre en évidence le concept de variabilité climatique spatio-temporelle et les changements climatiques :

- Collecte de données climatiques fiables et complètes dans la région de l'Est algérien.
- Analyse des données pour comprendre la variabilité climatique dans cette région à la fois dans l'espace et dans le temps.
- Identification des modèles et des tendances climatiques significatifs qui indiquent des changements climatiques.
- Évaluation de l'impact des changements climatiques sur divers aspects tels que les températures, les précipitations et les événements météorologiques extrêmes.
- Mise en évidence des résultats et des conclusions de manière claire et concise afin de sensibiliser les décideurs et le grand public aux enjeux liés aux changements climatiques dans la région de l'Est algérien.

Cette recherche est principalement axée sur la période 1976-2022. Les stations météorologiques concernées par cette étude sont : Annaba, Skikda, Béjaïia, Souk Ahras, Guelma, Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Tébessa, Batna, M'sila, Djelfa, Biskra. Afin d'atteindre notre objectif, nous avons organisé le mémoire comme suit :

- Au cours de premier chapitre, nous examinons les concepts fondamentaux liés aux changements climatiques et à la variabilité climatique.
- Dans le deuxième chapitre, nous avons l'intention de présenter les données principales que nous avons collectées concernant le contexte général de notre région d'étude. Cela comprend des informations sur la situation géographique, une étude de l'aspect administratif, une étude des sols, une étude hydrologique et une étude climatologique.

- Dans le troisième chapitre, nous exposons les différents équipements utilisés ainsi que la méthodologie utilisée pour le traitement des données géographiques. Nous présentons également les logiciels employés pour extraire les cartes géographiques, ainsi que les outils informatiques utilisés pour le traitement des résultats.
- Le quatrième chapitre se concentre sur l'analyse des données climatiques mensuelles et annuelles, basée sur les résultats obtenus.
- Le cinquième chapitre est dédié à la discussion des principales causes du phénomène étudié.

CHAPITRE 1
ETAT DE L'ART SUR LA VARIABILITÉ
CLIMATIQUE

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

1. Notion de climat

En terme simple, le climat se désigne généralement la "moyenne du temps". Plus précisément, il s'agit d'une analyse statistique qui prend en compte la moyenne et la variation de facteurs importants sur des périodes allant de quelques mois à des milliers, voire des millions d'années. Ces facteurs sont généralement des variables de surface telles que la température, les précipitations et le vent. Dans un sens plus large, le climat se réfère à l'analyse statistique de l'état du système climatique (Dumas et al, 2005).

Selon la définition de l'Organisation météorologique mondiale (O.M.M.), le climat se réfère à la "synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère". En d'autres termes, le climat est une description de toutes les conditions météorologiques moyennes qui se produisent dans une région particulière au fil du temps. La nature du climat joue un rôle important dans la façon dont les écosystèmes continentaux se développent et évoluent (Goudjil et Sid Rouhou, 2015).

Le climat se réfère aux différents états météorologiques observables sur une période donnée, qu'il s'agisse de variations quotidiennes, saisonnières ou annuelles. Ces variations peuvent être mesurées à l'aide de différentes grandeurs telles que des moyennes et des indicateurs de variabilité, qui permettent de mieux définir l'état climatique d'un endroit ainsi que ses potentialités en la matière.

Selon Mazoyer et ses collaborateurs (2002), les grandeurs les plus importantes pour caractériser le climat sont la pression atmosphérique, la pluviométrie, les rayonnements solaires reçus ainsi que les paramètres de l'air tels que le vent, la température et l'humidité. D'autres grandeurs particulièrement descriptives sont également prises en compte, telles que la couverture nuageuse, le nombre de jours de gel, de neige ou encore la présence de brouillard.

Selon les échelles spatiales et temporelles, on peut distinguer différents types de climats. Ainsi, on parle de macroclimats pour décrire les grandes zones continentales ou océaniques, avec des dimensions de plusieurs milliers de kilomètres. Les mésoclimats

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

correspondent à une échelle régionale, étudiée dans le cadre de la météorologie synoptique, avec des dimensions de quelques dizaines de kilomètres. Les microclimats sont observés à une échelle locale, sur des distances de quelques kilomètres seulement. Enfin, les phytoclimats désignent le climat induit par les couverts végétaux, à une échelle encore plus fine allant de quelques centimètres à quelques centaines des mètres (Mazoyer et al, 2002).

Alors que selon le phénomène prédominant, on peut qualifier le climat de chaud, froid ou tempéré, sec ou humide, calme ou venteux. Cependant, la chaleur est considérée comme l'influence la plus importante. Viennent ensuite les quantités d'eau reçues pendant les différentes saisons de l'année, ainsi que l'humidité ou la sécheresse de l'air, les vents dominants, le nombre et la répartition des orages au cours de l'année, la couverture nuageuse, la nature du sol et celle de la végétation qui y pousse (Yahiaoui, 2015).

2. Variabilité climatique

Selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM), la variabilité climatique se réfère aux variations du climat, à différentes échelles de temps et d'espace, qui peuvent être observées dans les paramètres climatiques tels que la température, les précipitations, les vents et les nuages (Salinger, 2000). Cette variabilité peut être due à des processus internes naturels du système climatique (variabilité interne) ou à des influences externes d'origine humaine ou naturelle (variabilité externe) (GIEC, 2007).

Cependant, l'activité humaine, en particulier l'émission de gaz à effet de serre, a commencé à avoir un impact significatif sur la variabilité climatique et est responsable de l'augmentation de la température de la planète au cours du siècle dernier. Ce qui affecte directement ou indirectement aux activités anthropiques qui altéré la composition de l'atmosphère globale et qui s'ajoute à la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes de temps comparables (UNFCCC,1992).

Il est donc crucial de comprendre et de surveiller la variabilité climatique, afin de mieux prédire les conditions climatiques futures et de développer des stratégies pour s'adapter et atténuer les changements climatiques en cours (Benmebarek et Bouadjadja, 2020).

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

Les conséquences de ces variations sur la végétation et l'agriculture sont plus graves si la variabilité est importante, avec des impacts parfois désastreux (Delaygue, 2018).

2.1. Variabilité climatique dans l'espace

La variabilité climatique dans l'espace désigne les variations des conditions climatiques à différentes localités géographiques. Les facteurs qui influencent la variabilité climatique dans l'espace incluent la latitude, la topographie, la proximité des mers et de l'océan et des masses continentales, ainsi que les courants atmosphériques et océaniques (Kouassi, 2019).

À l'échelle locale, les différences de température et de précipitations peuvent varier considérablement en fonction de facteurs tels que l'altitude, la végétation et la proximité de l'eau. À plus grande échelle, les conditions climatiques peuvent varier considérablement entre les régions, les pays et les continents. Par exemple, les régions polaires ont des températures beaucoup plus froides que les régions équatoriales, tandis que les zones côtières ont tendance à être plus humides que les zones intérieures (Guilherme, 2021).

La variabilité climatique dans l'espace a des conséquences importantes sur l'environnement et les communautés humaines. Les changements dans les conditions climatiques peuvent affecter la croissance des cultures, la disponibilité de l'eau, la biodiversité et les écosystèmes locaux. Par exemple, des températures plus élevées peuvent augmenter la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur, tandis que des précipitations plus faibles peuvent entraîner des sécheresses prolongées et des incendies de forêt (Michel, 2014).

La compréhension de la variabilité climatique dans l'espace est importante pour aider les communautés à s'adapter aux changements climatiques, en particulier en ce qui concerne l'agriculture, l'eau et les ressources naturelles. Les scientifiques étudient les tendances à long terme de la variabilité climatique pour mieux comprendre les impacts futurs sur les communautés et l'environnement.

2.2. Variabilité climatique dans le temps

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

La variabilité climatique dans le temps fait référence aux changements qui se produisent dans les conditions météorologiques et climatiques sur de longues périodes de temps. Ces changements peuvent se produire sur des échelles de temps allant de quelques années à des milliers ou même des millions d'années (Hoegh-Guldberg, 2007).

Il existe plusieurs facteurs qui influencent la variabilité climatique dans le temps, notamment les changements dans l'orbite terrestre, les éruptions volcaniques, les variations dans l'activité solaire, les concentrations de gaz à effet de serre, les courants océaniques, etc.

Des exemples de variabilité climatique à court terme incluent les fluctuations annuelles dans la température et les précipitations, ainsi que les événements météorologiques extrêmes tels que les tempêtes et les sécheresses. À plus long terme, la variabilité climatique peut se manifester sous forme de cycles glaciaires-interglaciaires, qui ont lieu sur des périodes de centaines de milliers d'années, ou de changements climatiques à l'échelle de la planète qui peuvent se produire sur des millions d'années (Benarfa et Dehouani, 2021).

La variabilité climatique dans le temps peut avoir des conséquences importantes sur les écosystèmes et les communautés humaines. Les changements climatiques peuvent affecter les ressources naturelles, les modes de vie et les économies locales, et peuvent également entraîner des catastrophes naturelles telles que des inondations, des ouragans et des sécheresses prolongées (Magassa, 2021).

2.2.1. Variabilité interannuelle

La variabilité climatique interannuelle se réfère aux variations naturelles des paramètres climatiques, tels que la température et les précipitations, qui se produisent sur une période d'une à quelques années (Ononfin et all, 2021). Ces variations peuvent être influencées par des processus naturels tels que les oscillations atmosphériques et océaniques, les éruptions volcaniques et les tempêtes solaires, ainsi que par des facteurs anthropiques tels que les émissions de gaz à effet de serre.

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

2.2.2 Variabilité saisonnière

La variabilité climatique saisonnière fait référence aux variations naturelles des conditions météorologiques et climatiques qui se produisent à l'intérieur d'une saison donnée (Benmebarek et Bouadjadja, 2020). Elle peut inclure des changements de température, de précipitations, de vents et de pression atmosphérique. Ces variations peuvent avoir un impact important sur les activités humaines, telles que l'agriculture, la pêche, le tourisme et la gestion des ressources en eau.

3. Changement climatique

Il convient de noter que la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) définit les « changements climatiques » dans son Article 1 comme étant des « changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine, qui suscite des émissions de gaz à effet de serre qui altèrent la composition de l'atmosphère de la planète. Cette évolution s'ajoute aux fluctuations naturelles du climat.

La CCNUCC fait ainsi une distinction entre les « changements climatiques » qui peuvent être attribués aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère, et la « variabilité climatique » due à des causes naturelles (Ait Bennour et Bensidhoum, 2017).

Dans les travaux du troisième rapport du GIEC, le terme "changement climatique" englobe toute modification temporelle, qu'elle soit due à la variabilité naturelle ou aux activités humaines.

3.1. Changements climatiques observés

Les observations montrent qu'il y a eu une modification de la composition de l'atmosphère, caractérisée par une augmentation des concentrations de gaz à effet de serre tels que le CO₂ et le méthane (CH₄), entre autres. De plus, il y a eu un changement global du climat, notamment en termes de températures, de précipitations, de niveau de la mer et de couverture de glace marine. Dans certaines régions, des phénomènes climatiques extrêmes

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

tels que des vagues de chaleur, des fortes précipitations ou des sécheresses ont également été observés.

Les années les plus chaudes de toute l'Histoire d'après la NOAA, 2017 sont enregistrés après l'année 2010. Rahmstrof et ces collaborateurs, 2017 ont signalés les années : 2014, 2015, 2016 comme étant les années les plus chaudes depuis 1850 date à laquelle ont débuté les relevés instrumentaux de la température à la surface du globe. Les températures ont augmenté presque partout dans le monde, bien que de manière plus sensible aux latitudes élevées de l'hémisphère Nord. Par ailleurs les terres émergées se sont réchauffées plus rapidement que les océans (GIEC, 2007).

Cette évolution n'est pas uniforme et présente des variations d'une région à autre. Par exemple, le réchauffement en Afrique a été légèrement plus élevé que la tendance mondiale en 2001. À l'heure actuelle, il n'est pas possible de déterminer si l'accélération observée entre 1993 et 2003 reflète une variation décennale ou un renforcement de la tendance à long terme. Entre 1900 et 2005, les précipitations ont connu une forte augmentation dans l'Est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le Nord de l'Europe et dans le Nord et le Centre de l'Asie, tandis qu'elles ont diminué au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud. Il est probable que la sécheresse se soit étendue à l'échelle mondiale depuis les années 1970 (Tabet, 2008).

Au cours des cinquante dernières années, il est très probable que les jours froids, les nuits froides et le gel ont été moins fréquents sur la plus grande partie des terres émergées, tandis que le nombre de jours chauds et de nuits chaudes a augmenté. De plus, il est probable que la fréquence des phénomènes suivants a également augmenté : vagues de chaleur sur la plupart des terres émergées, fortes précipitations dans la plupart des régions et, depuis 1975, élévations extrêmes du niveau de la mer dans le monde entier (GIEC, 2007).

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

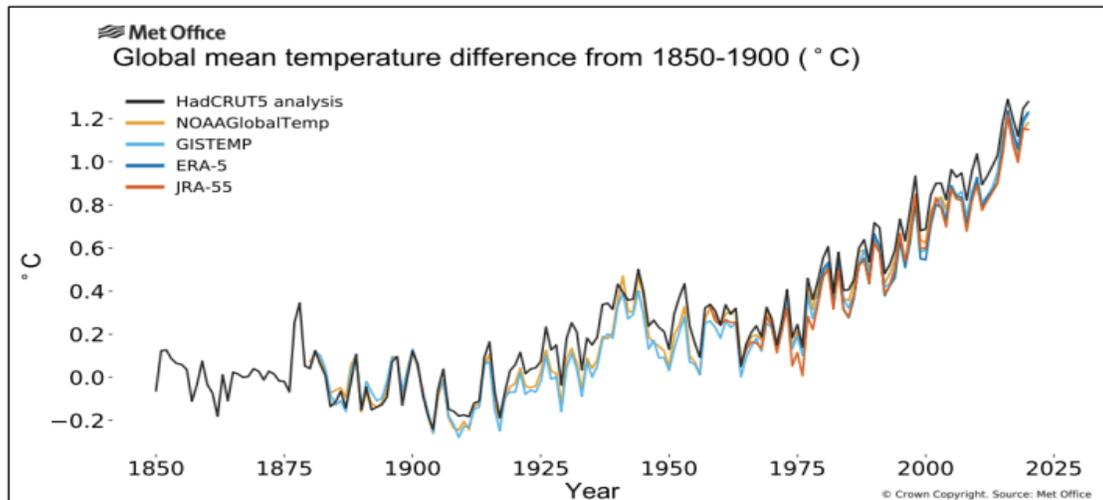


Figure 1 : Évolution de la température moyenne de la planète entre 1850 et 2019 par rapport à la moyenne sur la période 1850-1900. (La température moyenne de la Terre, 2020).

3.2. Evolution future du climat

Les climatologues ont réalisé des scénarios idéalisés pour mesurer les changements climatiques potentiels au futur. Ils ont posé des questions telles que : Quels seraient les effets sur le climat si la concentration de CO₂ doublait ou augmentait de 1% ? (Ce qui conduit à un doublement tous les 70 ans) ?

Ces conditions sont appliquées à des modèles climatiques qui représentent différents éléments tels que l'atmosphère, les surfaces continentales, l'océan, la glace de mer et les calottes polaires. Les modèles atmosphériques sont similaires à ceux utilisés pour la prévision météorologique. Ils calculent l'évolution de la pression, du vent, de la pluie, des nuages, etc. en plusieurs milliers de points à la surface de la Terre toutes les heures, pendant plusieurs années (jusqu'à plusieurs centaines ou milliers).

Ces calculs modélisent des phénomènes physiques bien connus (équation du mouvement, échanges par rayonnement solaire ou infrarouge...) ou moins bien connus (formation des gouttes d'eau ou des particules de glace des nuages, accréation de ces gouttes pour former la pluie, structure tridimensionnelle de la turbulence atmosphérique...etc.)

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

De même, les modèles d'océan calculent l'évolution des courants marins, de la température, de la salinité, etc. Tous ces modèles interagissent entre eux. Grâce à ces modèles climatiques, deux simulations peuvent être réalisées, l'une avec une concentration constante de CO₂ et l'autre avec une variation de cette concentration. La différence de climat simulée entre ces deux situations permet d'obtenir la sensibilité du climat à une variation de la concentration en CO₂. Par exemple, les modèles ont montré que la température moyenne de la Terre augmenterait de 2°C à 5°C en cas de doublement de la concentration de CO₂. En ce qui concerne la répartition géographique, les résultats font apparaître que :

- la température de surface augmentera de manière plus prononcée aux latitudes élevées qu'aux latitudes basses, ainsi que sur les continents et les étendues de glace de mer plutôt que sur les océans.
- les précipitations augmenteront dans les régions équatoriales et aux moyennes et hautes latitudes ; elles diminueront dans les régions subtropicales
- le volume de glace de mer en Arctique diminuera (typiquement de 35 % dans 50 ans) sans qu'une telle décroissance ne se retrouve en Antarctique (Friedlingstein et al, 2005).

La Méditerranée devrait subir les impacts du changement climatique plus que la plupart des autres régions du monde. Au cours du 21^{ème} siècle, selon les prévisions des experts du climat, une augmentation de la température de l'air de 2,2 °C à 5,1 °C pour les pays de l'Europe du Sud et de la région méditerranéenne sur la période 2080-2099 par rapport à la période 1980-1999. Selon Giannakopoulos et ses collaborateurs, 2005 ainsi que le GIEC, 2007, la future période sera caractérisée, probablement, par :

- Une baisse sensible de la pluviométrie, comprise entre -4 et -27 % pour les pays de l'Europe du Sud et de la région méditerranéenne, alors que les pays du Nord de l'Europe connaîtront une hausse comprise entre 0 et 16 %.
- Les événements extrêmes de type vagues de chaleur, sécheresses ou inondations pourraient être plus fréquents et violents.

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

- Une hausse du niveau de la mer qui, selon quelques études, pourrait être de l'ordre de 35 cm d'ici la fin du siècle.
- Une augmentation des périodes de sécheresse se traduit par une fréquence élevée des jours au cours desquels la température dépasserait 30 °C.

Le changement climatique global pose des défis pour les modèles climatiques ainsi que pour les techniques de réduction d'échelle permettant de simuler les distributions de précipitations courantes et extrêmes. Cela nécessite le développement et la validation de nouvelles approches méthodologiques (Brigode, 2013).

3.3. Causes de l'évolution climatique

3.3.1. Rayonnement solaire

De nombreux travaux ont été publiés sur ce sujet depuis lors, qui reste encore l'objet de débats animés pour plusieurs raisons principales : les liens détectés n'ont pas été confirmés avec le temps, les auteurs n'ont pas pris en compte d'autres influences sur les mêmes échelles de temps ou des incertitudes et des biais systématiques dans les données climatiques utilisées, ou bien encore, les méthodes statistiques ont été mal appliquées.

Cependant, il existe des exemples convaincants de liens entre l'activité solaire et le climat. Concernant différentes échelles de temps et de nombreux compartiments du système climatique (Bard, 2011).

Un exemple classique est l'effet du cycle de 11 ans sur les vents et les températures de la stratosphère. Nombreux études ont également examiné l'impact de ce cycle sur la dynamique de la troposphère, en particulier sur les variations potentielles de la géométrie et de l'intensité de la circulation à grande échelle telle que les cellules de Hadley.

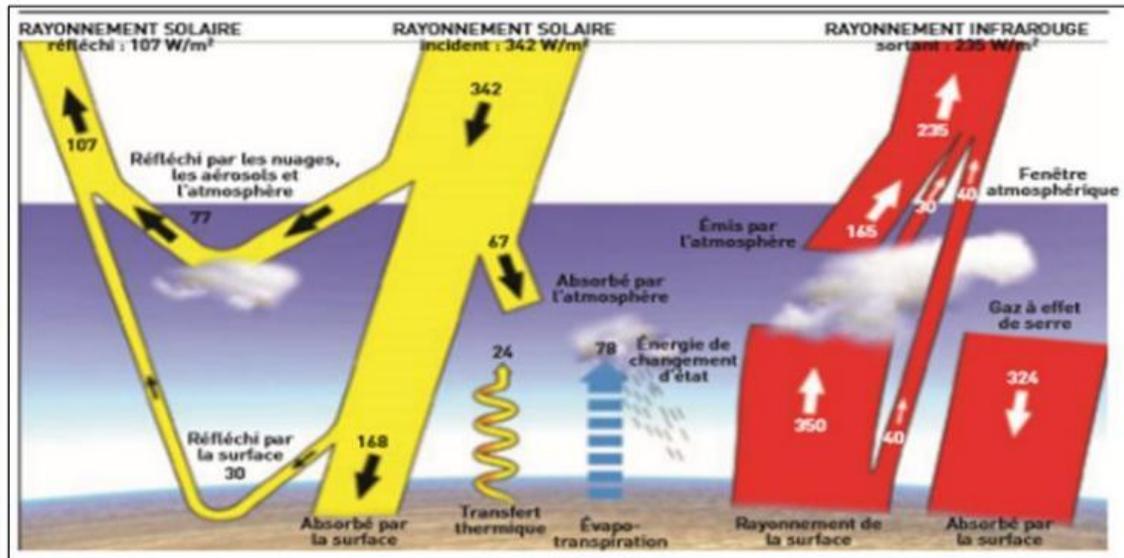


Figure 2 : Flux d'énergie au sein du système climatique (Breon et Luneau, 2018).

3.3.2. Activité volcanique

Les volcans ont une influence sur le climat en raison de ce qu'ils injectent dans l'atmosphère lors de leurs éruptions. En effet, ces éruptions produisent de grandes quantités de gaz, de particules (appelées aérosols), de cendres et de métaux, qui altèrent temporairement le climat à l'échelle locale, régionale et même mondiale.

« Dans le passé, les grandes éruptions volcaniques ont modifié le climat mondial de manière qu'il s'agit une méthode directe tout en renforçant d'autres processus », explique Santiago Arellano, chercheur au sein du département Espace, Terre et Environnement de l'Université de technologie de Chalmers. Il est précisé que les conséquences d'une éruption sur le climat varient en fonction de son emplacement et de son altitude, ainsi que de la quantité et de la composition des matériaux éjectés. Les éruptions dans les tropiques peuvent avoir un impact plus important que celles dans les latitudes supérieures, car les vents tropicaux transportent les émissions volcaniques sur de plus longues distances. Les éruptions plus intenses ont également des effets plus durables car elles envoient des particules dans la stratosphère, où elles peuvent persister pendant longtemps. Un exemple de cela est l'éruption du mont Pinatubo aux Philippines en 1991, qui a envoyé d'énormes

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

quantités de particules et de gaz à plus de 20 km d'altitude, parcourant la planète pendant environ trois semaines (Lemkak, 2022).

3.3.3. Activités humaines

Depuis le milieu du XIXe siècle, (début de l'ère industrielle), l'homme a émis des milliards de tonnes de CO₂ en brûlant des énergies fossiles, en déboisant et en pratiquant l'agriculture intensive, notamment le labour des sols.

Ces activités ont relâché le carbone qui était auparavant stocké dans le sol. Entre les années 2000 et 2009, environ 28,6 gigatonnes de CO₂ par an ont été libérées, dont 5,5 gigatonnes de CO₂ par an dues à la déforestation, en raison de la combustion des énergies fossiles et de la production de ciment.

Jusqu'à présent, une partie de ces émissions a été absorbée par la biosphère terrestre (environ 6,2 gigatonnes de CO₂ par an) et l'océan (environ 8,4 gigatonnes de CO₂ par an). Le reste s'est accumulé dans l'atmosphère (environ 19,5 gigatonnes de CO₂ par an). Cette quantité de CO₂ supplémentaire s'ajoute à celle qui est déjà présente naturellement dans l'atmosphère, créant ainsi un effet de serre supplémentaire (Coquillaud, 2015).

Cela a fait du changement climatique un résultat inévitable de ces pratiques :

1. Augmentation de la température atmosphérique (température moyenne mondiale).
2. De fortes pluies plus fréquentes... ou plus de sécheresses
3. Orages plus violents et plus fréquents.
4. Fonte des calottes glaciaires et des glaciers.
5. Réchauffement et acidification des océans.

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

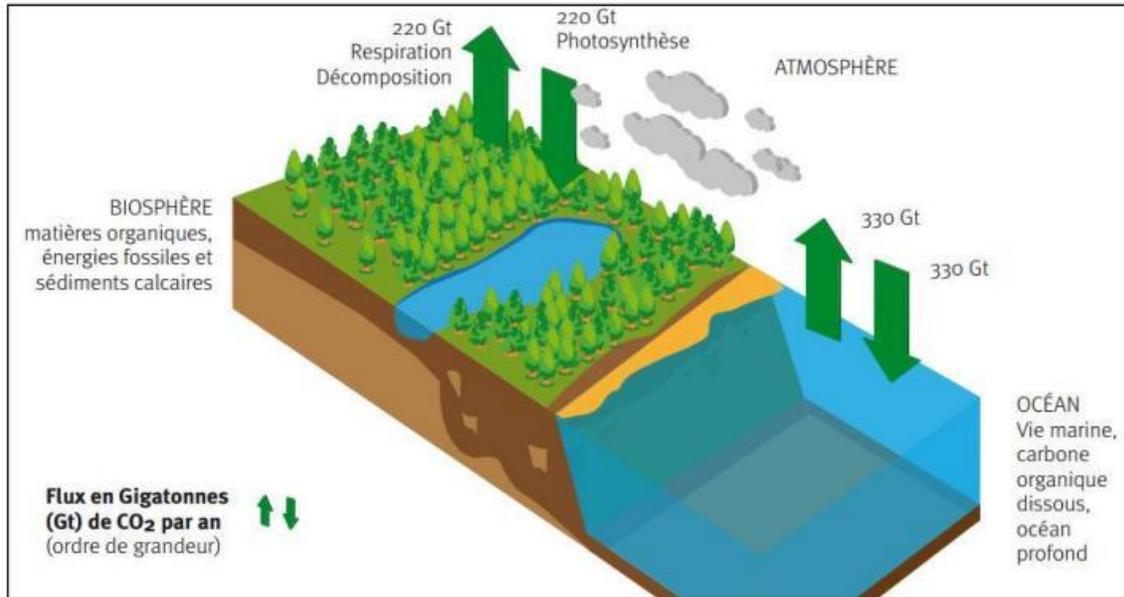


Figure 3 : Cycle simplifié du carbone au début du XXI e siècle (échanges naturels : les émissions et les absorptions sont équilibrées) (Coquillaud, 2015).

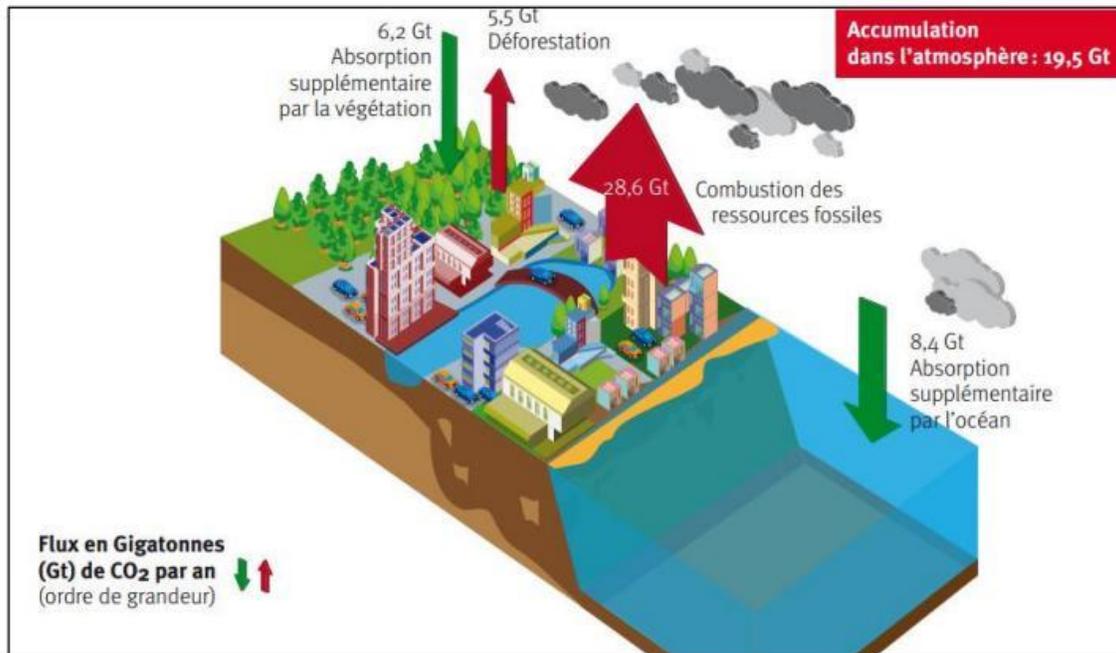


Figure 4 : Cycle simplifié du carbone au début du XXI e siècle (Accumulation de carbone dans l'atmosphère due aux activités humaines) (Coquillaud, 2015).

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

3.4. Effet de serre

Les gaz à effet de serre ont la capacité d'absorber le rayonnement infrarouge thermique émis par la surface terrestre, l'atmosphère et les nuages. Lorsque le rayonnement est émis dans toutes les directions, y compris vers la surface de la Terre, les gaz à effet de serre retiennent la chaleur dans le système surface-troposphère, créant ainsi ce qu'on appelle l'effet de serre. Dans la troposphère, le rayonnement infrarouge thermique est étroitement lié à la température de l'atmosphère à l'altitude à laquelle il est émis, cette température diminuant en général avec l'altitude. En fait, le rayonnement infrarouge émis vers l'espace provient d'une altitude où la température est en moyenne de -19°C , en équilibre avec le rayonnement solaire net incident, alors que la surface de la Terre se maintient à une température beaucoup plus élevée, de $+14^{\circ}\text{C}$ en moyenne. On peut observer un renforcement de l'effet de serre lorsque la concentration de gaz à effet de serre augmente, car cela rend l'atmosphère plus opaque au rayonnement infrarouge et provoque un rayonnement plus efficace vers l'espace à partir d'une altitude plus élevée et à une température plus basse. Ce phénomène est appelé "effet de serre renforcé" et il se produit en raison d'un forçage radiatif accru (Bates et al., 2008 ; GIEC, 2008).

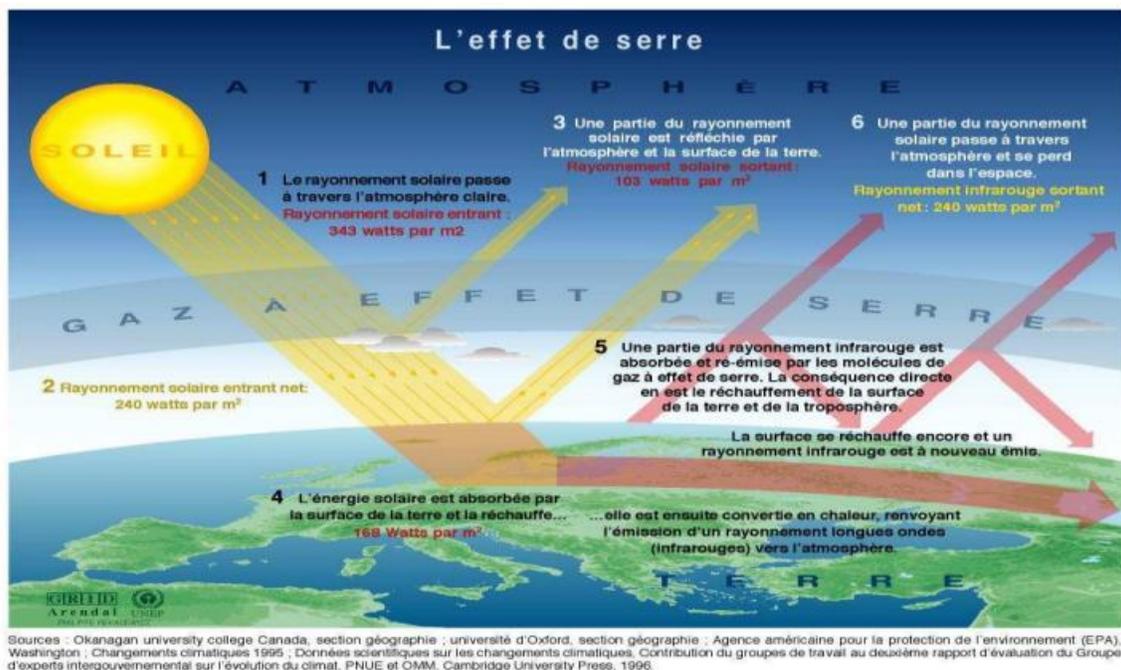


Figure 5 : Processus de l'effet de serre (Zenabou, 2013).

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

3.4.1. Gaz à effet de sers

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont mesurées en tonnes équivalent CO₂. Les GES sont principalement composés de vapeur d'eau, représentant de 0,4 à 4 % du volume de l'atmosphère, tandis que le reste des GES ne représente que 0,1 % du volume de l'atmosphère. Ces gaz incluent le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), l'ozone (O₃) et les réfrigérants (CFC, HCFC, HFC, PFC) (fig 6).

L'avènement de la révolution industrielle et l'utilisation intensive de combustibles fossiles tels que les hydrocarbures et le charbon, ainsi que la déforestation et certaines pratiques agricoles et industrielles, ont contribué à aggraver l'effet de serre en produisant de grandes quantités de gaz à effet de serre (Buclet, 2011).

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HCF	PFC	SF ₆	NF ₃
Concentration atmosphérique en 2011(en 2005)	390ppm (379)ppm	1803ppb (1774)ppb	324ppb (319ppb)	>119ppt (>67ppt)	>83ppt (>79ppt)	7.3ppt (5.6ppt)	<1ppt
Durée du séjour moyenne dans l'atmosphère		-9ans	131ans	Entre 0.1et 270ans	Entre2000 et 50000ans	3200ans	500 ans
Pouvoir de réchauffement global (cumulé pour 100ans)	1	28-30	265	[1.4 ; 14800]	[6630 ; 111000]	23500	16100
Origines des émissions anthropiques	Combustion d'énergie fossile et déforestation tropical	Décharges, agriculture, élevage et procédés industriels	Agriculture, procédés industriels, utilisation d'engrais.	Sprays, réfrigération, procédés industriels			Fabrication des composants électronique
Modification du Forçage radiatif en 2011 depuis 1750 par les émissions Anthropiques (W/m ²) (en 2005 entre parenthèses)	+ 1,88 (+ 1,66)	+ 0,50 (+ 0,48)	+ 0,18 (+ 0,16)	+ 0,02 (+ 0,01)	+ 0,05 (+ 0,05)	+ 0,004 (+ 0,003)	+ 0,0002 (+ 0,0001)

Figure 06 : GES anthropique (Repère Chiffres Clés Du Climat France Et Monde 2015 (Kamel, 2021)).

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

En 2018, le secteur du transport a représenté 14,1% des émissions totales de gaz à effet de serre, suivis par les secteurs résidentiel et tertiaire à 6,4% et industriel à 14,01 Gt eqCO₂, soit 28,6% des émissions mondiales. Les secteurs industriels et énergétiques sont responsables de plus d'un tiers des émissions totales, avec le secteur de la production d'électricité représentant 25% de ces émissions. Rationnaliser l'utilisation de biocarburants et d'autres mesures pourraient aider à réduire les émissions du secteur des transports, tandis que des règlements et améliorations de l'efficacité énergétique pourraient contribuer à réduire les émissions.

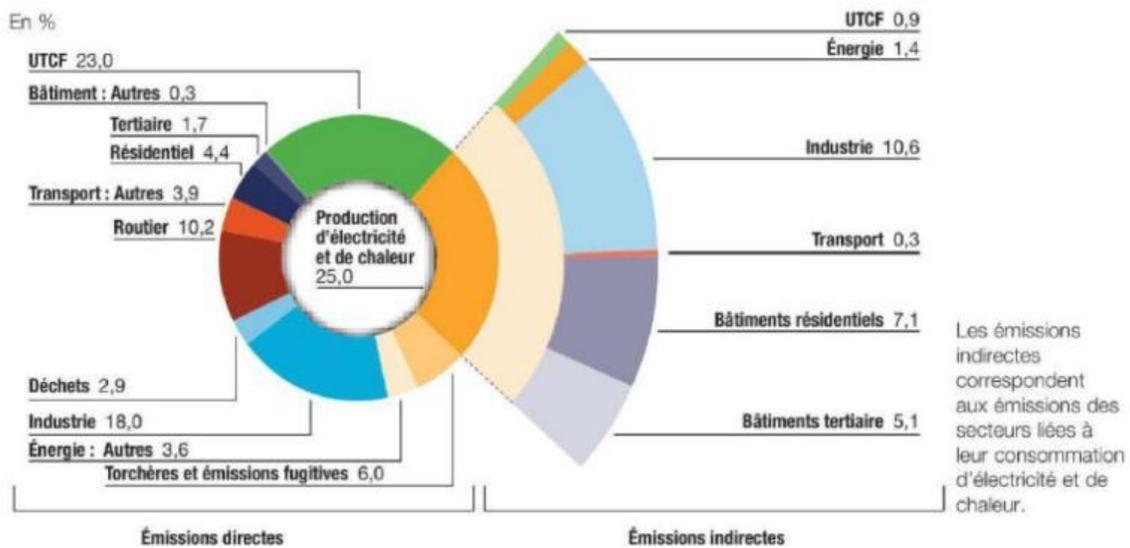


Figure 7 : Répartition des émissions mondiales des GES par secteur en 2016-2015 (Benchikh, 2021).

Le secteur agricole est lui aussi responsable des émissions de gaz à effet de serre, avec environ de 23,9 % de l'ensemble des émissions. Le méthane et le protoxyde d'azote sont principalement produits par la fertilisation azotée des sols agricoles, l'élevage intensif et la fermentation des effluents d'élevage. Les émissions liées au traitement des déchets, en dehors de leur valorisation énergétique, représentent environ 1,5 Gt eqCO₂, soit environ 2,9 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Les installations de stockage émettent principalement du méthane. Une politique de prévention et de recyclage des déchets à la source pourrait réduire les émissions associées à leur mise en décharge. L'atténuation du réchauffement climatique est également confrontée à la durée de vie des

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

gaz à effet de serre déjà présents dans l'atmosphère, aux difficultés de réduire rapidement les émissions des pays développés et au risque d'augmenter les émissions des pays en développement (Pellerin et al., 2013).

Selon l'EBA, D'ici 2050, les gaz à effet de serre pourraient entraîner une augmentation de la température moyenne du globe comprise entre 1°C et 4,5°C d'ici 2100, selon les prévisions les plus pessimistes, et de 2°C à 3°C dans les études les plus encourageantes. Cette augmentation de la température pourrait causer des tempêtes violentes, des pluies torrentielles et potentiellement des inondations, une accélération des vents, des problèmes d'érosion et une hausse du niveau de la mer allant de 15 à 95 cm (Benchikh, 2021).

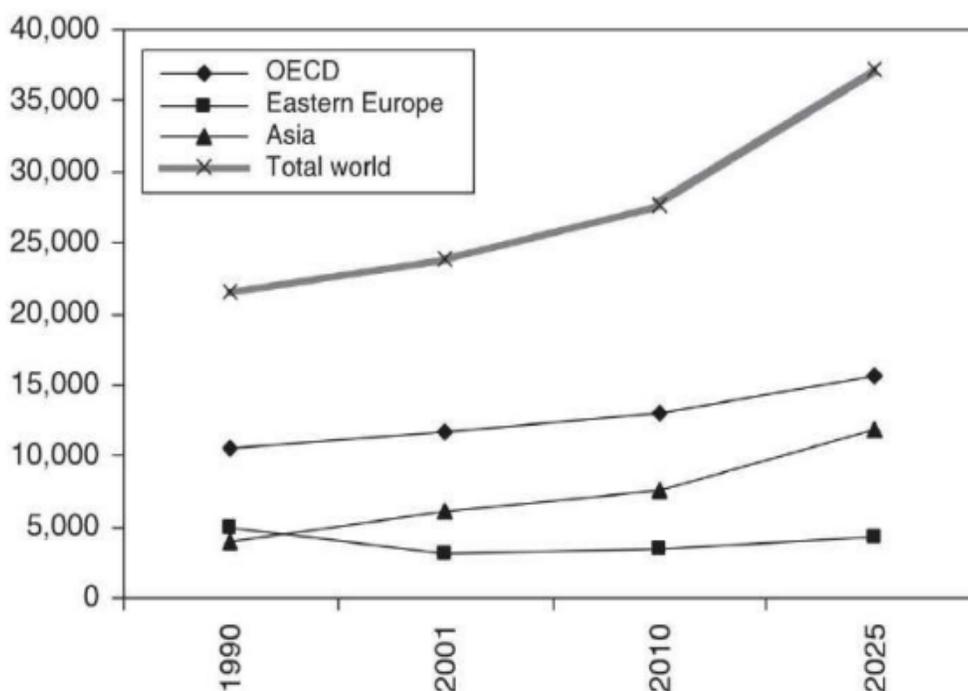


Figure 8 : Tendances des émissions du CO₂, mondiale et par région (millions de tonnes)
(Asif et Muneer, 2007).

On estime que le CO₂ est responsable d'environ 50% de l'accroissement global d'effet de serre, et que l'humanité a émis plus de 24 Gt de CO₂ en 2015, un chiffre qui devrait atteindre 37.1Gt en 2025. Les changements climatiques ont des impacts majeurs sur les écosystèmes, l'agriculture, les ressources en eau, la santé publique et les infrastructures humaines (Asif et Muneer, 2007).

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

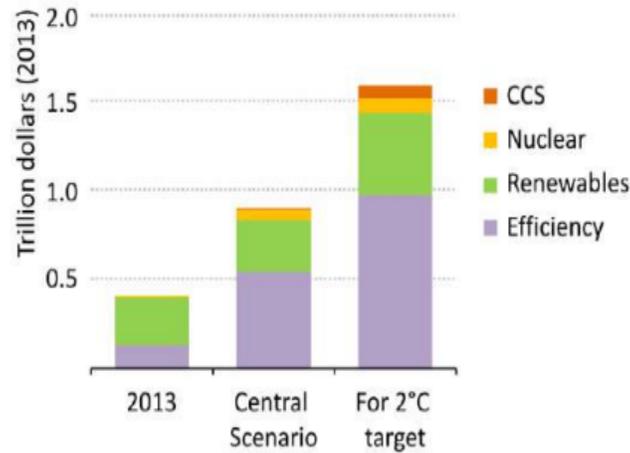


Figure 9 : Investissements mondiaux nécessaire pour réduire les émissions du CO₂ (Agency, I.E., World Energy Outlook 2014, I.E.A. IEA, Editor. 2014, International Energy Agency. 5. Petroleum, B.B., S).

3.4.2. Evolution de la teneur en gaz

D'après (Nefzi, 2012), En jouant le rôle de vitres dans une serre, l'atmosphère a un effet similaire. Si les vitres de la serre étaient plus épaisses, cela la réchaufferait. Cette observation a permis aux experts en climatologie de conclure qu'il y a une relation de cause à effet entre l'augmentation des gaz à effet de serre d'origine humaine dans l'atmosphère et les perturbations du climat.

L'exploration de la concentration des gaz depuis l'époque préindustrielle indique que cette concentration a augmenté dans l'atmosphère. Les gaz à effet de serre, comme le CO₂ et le CH₄, ont largement contribué à cette augmentation.

Le teneur en CO₂ est passé de 270ppm à 370ppm. Le taux de croissance annuel est d'environ 0,4%. Au cours des années 90, ce taux a oscillé entre 0,2% et 0,8%. Une grande partie de ces fluctuations est due à l'activité humaine. On estime que les trois quarts de ces émissions sont causées par la combustion de carburants fossiles, et le reste est dû à la déforestation.

La concentration du CH₄ dans l'atmosphère a presque doublé depuis 1750. Sa progression annuelle a varié durant les années 80 et a diminué durant les années 90. Plus de la moitié

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

des émissions de ce gaz sont attribuables à des activités humaines telles que l'agriculture, l'extraction de gaz naturel ou les sites d'enfouissement contrôlés.

Les autres gaz à effet de serre continuent aussi à augmenter dans l'atmosphère de façon irréversible mais à des quantités plus faibles.

Au cours de l'histoire de la Terre, il y a eu des changements climatiques. Cependant, l'augmentation actuelle de la quantité de gaz à effet de serre, principalement le CO₂, et de la température moyenne globale dans l'atmosphère est sans précédent. Depuis 1850, la température moyenne globale a augmenté de 0,74°C, ce qui est une augmentation exceptionnellement rapide. Pendant plus de 10 000 ans, depuis la fin de la dernière période glaciaire, la température moyenne globale est restée relativement stable.

La majorité des experts conviennent que le réchauffement actuel de la Terre est la conséquence de l'accroissement des gaz à effet de serre, principalement le CO₂, dans l'atmosphère, résultant de l'activité humaine (Lemkak, 2022).

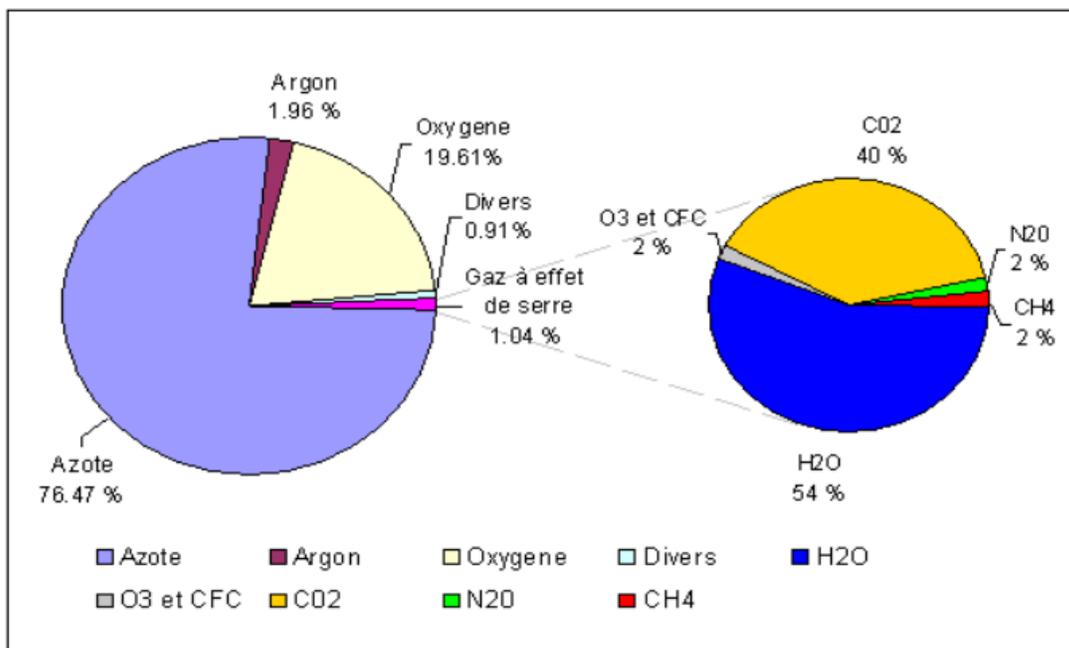


Figure 10 : Les gaz à effet de serre (Farah 2014).

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

(A gauche la composition de l'atmosphère en pourcentage. Les gaz à effet de serre ne représentent que 1,04 % sur la totalité des gaz atmosphériques. A droite, la répartition des contributions à l'effet de serre des différents gaz présents dans l'atmosphère).

4. Changement climatique en Algérie

D'après Farah (2014), Le Maghreb a été identifié comme une région particulièrement vulnérable aux dangers associés au changement climatique. Au cours des dernières décennies, la migration des populations rurales vers les zones urbaines de la côte méditerranéenne a accru leur vulnérabilité tout en accentuant les facteurs responsables des changements climatiques.

D'après des études réalisées par l'ONM sur les tendances de température, elles ont montré que depuis 1990, date du début des émissions de gaz à effet de serre, celles-ci ont connu une augmentation.

En Algérie, pays dont la plus grande partie est désertique, les changements climatiques sont une préoccupation majeure. En raison de sa situation géographique, l'Algérie subit les conséquences néfastes des changements climatiques et des émissions de gaz à effet de serre, telles que les inondations, la sécheresse et les températures élevées. Les périodes de sécheresse s'accroissent, ce qui aggrave les phénomènes de désertification, de salinisation des sols, de pollution des eaux de surface et donc la détérioration progressive des ressources en eau (Nichane et Khelil, 2015).

4.1. GES en Algérie

Au moyen du programme de GAW (Surveillance globale de l'atmosphère), qui est affilié aux Nations Unies, on mesure la concentration de divers gaz, notamment le CO₂. La station d'Askrem (à Tamanrasset), située à une altitude de 2710 mètres, est l'une des stations réparties entre les continents, les mers et les océans.

En 1995, la concentration de CO₂ était d'environ 360 ppm. En 2008, elle avait augmenté pour atteindre 385 ppm, soit une croissance de 2 ppm par an.

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

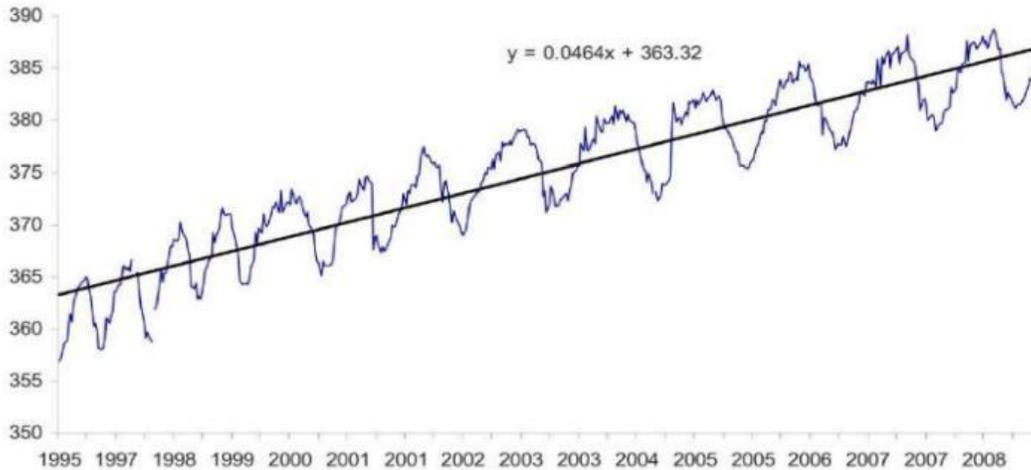


Figure 11 : Evolution du CO2 1995-200 (Benchikh,2021).

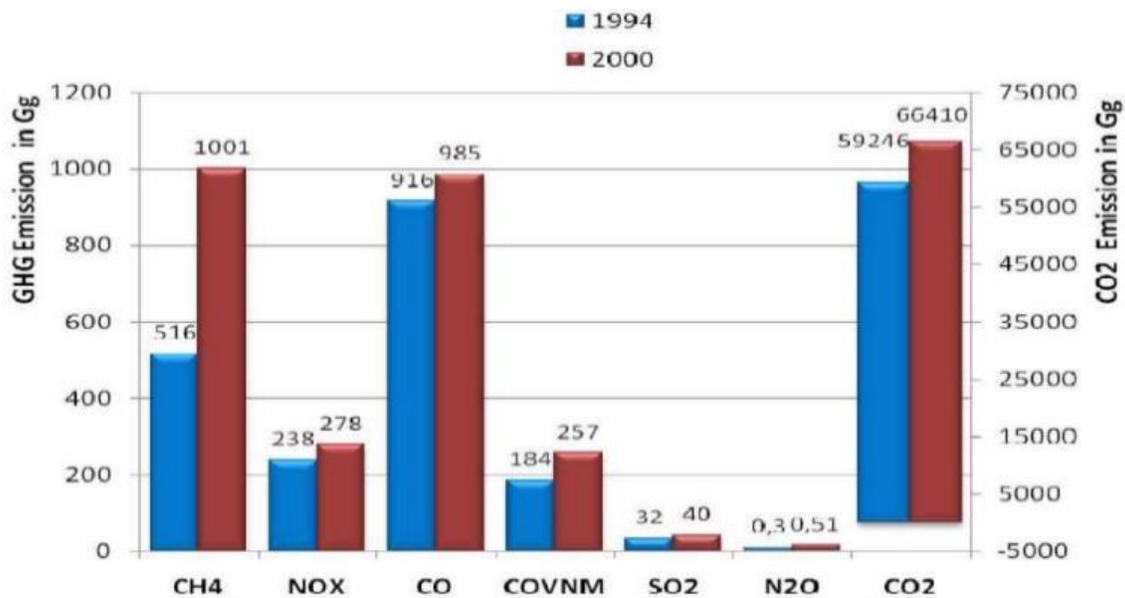


Figure 12 : Evolution GES entre 1994 et 2004 (Benchikh,2021).

En 2000, chaque habitant a émis en moyenne 4,1 TeqCO₂ par an, alors qu'en 1994 ce chiffre était de 3,1. L'Algérie est l'un des principaux émetteurs de gaz à effet de serre dans les pays en développement, principalement en raison du secteur énergétique qui représente 74% des émissions totales de GES (Sahnoune et al, 2013).

Chapitre 1 : Etat de l'art sur la variabilité climatique

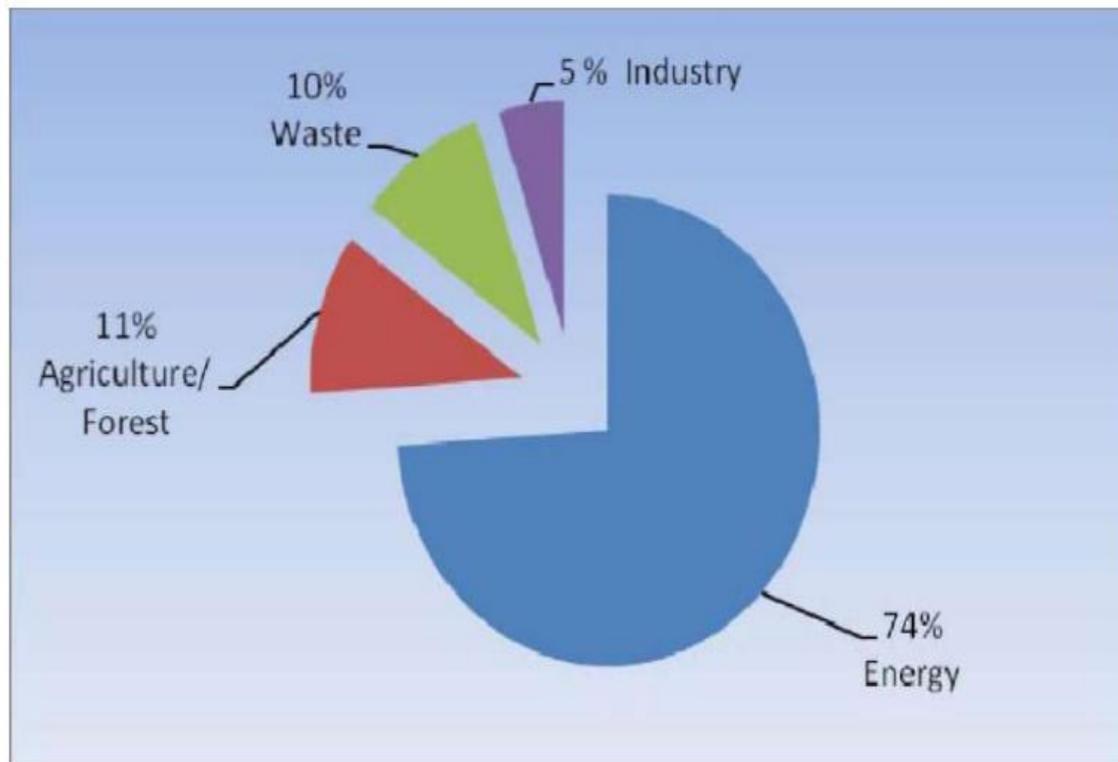


Figure 13 : Emission totales des GES par secteur en Algérie 2000 (Benchikh, 2021).

L'Algérie émet 0,41 kg de CO₂, Pour chaque unité de PIB tandis que la France n'émet que 0,2 kg de CO₂ pour la même unité de PIB. Cette situation est en grande partie due à la forte dépendance de l'Algérie au secteur énergétique, en particulier à la production d'électricité à partir des hydrocarbures (Sahnoune et al, 2013).

Avec le taux de croissance actuel, si aucune mesure ne serait prise afin d'atténuer des émissions des GES, de rationalisation de la consommation et de diversification de son bouquet énergétique, en 2030, les émissions des GES seront de l'ordre de 180MtCO₂/an (Sahnoune et al, 2013).

CHAPITRE 02

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

1. présentation de la zone d'étude

Notre étude concerne la région localisée dans l'est de l'Algérie, qui s'étend de Bejaïa à l'ouest jusqu'à la frontière algéro-tunisienne à l'est, et de la mer Méditerranée au nord jusqu'à Biskra au sud. La région est située entre les parallèles $36^{\circ}54'$ et $34^{\circ}48'$ de latitude Nord, et entre $8^{\circ}27'$ et $5^{\circ}4'$ de longitude Est (figure 14).

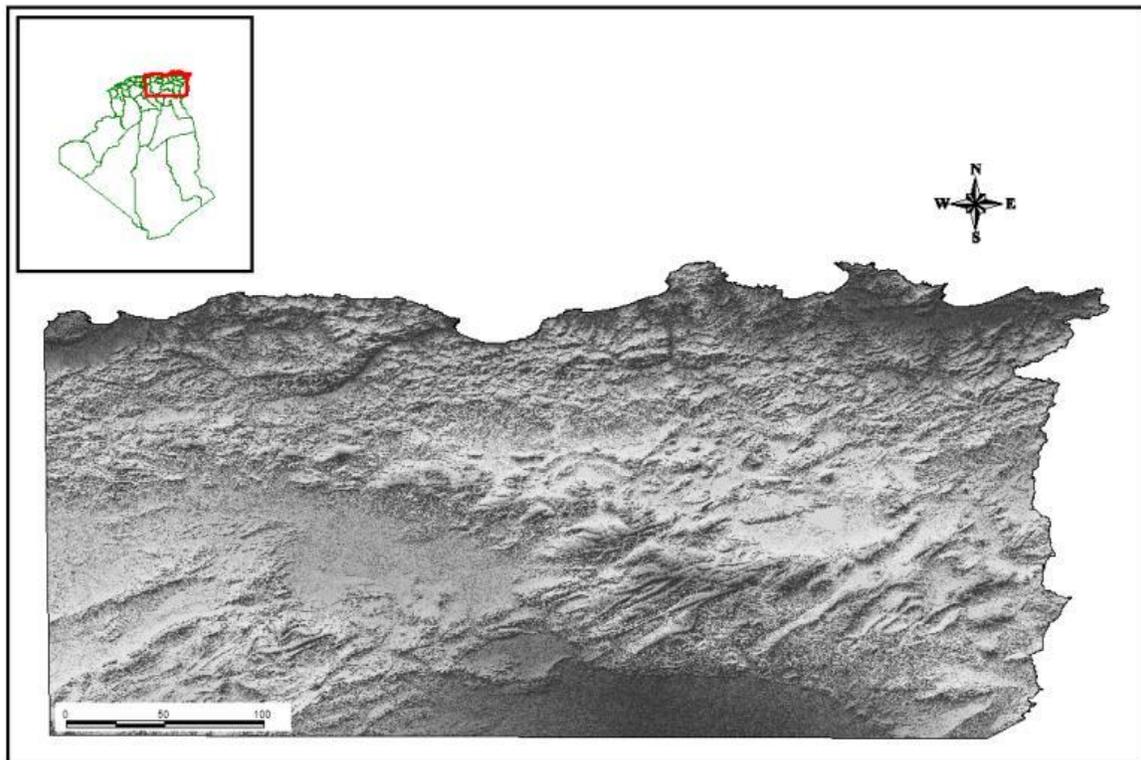


Figure 14: : carte de la zone d'étude.

2. Aperçu topographique

Sur le plan du relief (fig 15), la région d'étude est composée principalement de cinq grandes unités physiques disposées du nord au sud comme tel :

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

2.1. Plaines littorales

Elles se présentent de manière dispersée le long de la mer Méditerranée, avec quelques montagnes qui les fractionnent. Leur présence à l'ouest est moins marquée car elles sont peu nombreuses et peu étendues. Elles correspondent aux basses vallées des oueds et se manifestent principalement à travers les plaines de Collo (Oued Guebli), Skikda (Oued Safsaf) et Jijel (Oued Djendjen).

Cependant, elles sont une présence plus importante dans la partie Est, où l'on peut identifier une grande plaine en forme de croissant qui s'étend sur environ 100 km autour du Djebel Edough. Et qui prend origine depuis la forêt de Guerbes jusqu'à la région de Bouteldja. Leur emplacement leur permet d'être exposées favorablement aux vents humides venant du nord et nord-ouest. Les vraies plaines sont toujours littorales et correspondent aux débouchés des oueds (Marre,1987).

2.2. Atlas tellien

Cette chaîne dédoublée (Tell interne et tell externe) et légèrement parallèle est orientée N-E-S-O. Cela concerne un ensemble formé par une série de chaînes montagneuses côtières et sublittorales, qui s'étendent en forme de bourrelet de Bejaia à l'ouest jusqu'à la frontière tunisienne à l'est. Les chaînes telliennes littorales se composent principalement des massifs de Collo, Skikda et l'Edough.

En continuant vers le sud, on trouve les chaînes Tellienne externes, qui comprennent le massif de Petite Kabylie (appelé la chaîne des Babors), s'étalant de l'ouest de la vallée de la Soummam jusqu'à Djendjen à l'est et le massif d'El Ouana. Les hauteurs ne sont pas très élevées, le point le plus haut étant le Djebel Babor culminant à 2004 mètres.

2.3. Bassins intérieurs

Sont situés entre les monts de l'Atlas Tellien, ils sont principalement représentés par Guelma, Mila et Soummam. La topographie de la région de Mila est caractérisée par un relief complexe et irrégulier, parcellisé par un réseau hydrographique dense et subdivisé. L'altitude moyenne de la région est d'environ 400 mètres.

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

La région de Guelma, qui se trouve à l'Est, se caractérise quant à elle par un relief généralement montagneux. Les sommets les plus élevés de la région sont le Djebel Maouana (1411 m) et le Djebel Houara (1292 m).

2.4. Hautes plaines

Elles se présente comme une immense plateforme compartimentée s'étendant d'ouest en Est, localisé entre les deux chaînes montagneuses : le Tell au nord et les monts de Hodna, des Aurès et de Nemecha au sud. Les altitudes varient entre 800 et 1200 mètres. La région est parsemée de dépressions salées, de chotts et de sebkhas, en particulier celle d'Ain M'lila. Elle est géographiquement perchée par rapport aux plaines littorales ou sahariennes. (Mébarki, 2005).

2.5. Atlas Saharien

La région est essentiellement formée de massifs important, relativement ouverts, dont les pics les plus hauts dépassent les 2000 mètres : Djebel Chelia (2328 m), Djebel Mahmel (2321 m) et Bélazma (2094 m). Caractérisées par des alignements Sud-Ouest - Nord-Est s'étendant sur une soixantaine de Km.

Le Sud de la région d'étude comprend la partie nord du chott Melrhir (-34 m). Ce dernier décrit une grande dépression lacustre qui recueille les Oueds (cours d'eau saisonniers) venant du côté sud des montagnes Aurès et Némemchas, et qui s'écoulent du nord au sud. C'est au niveau de cet endroit que l'oued Dejadi se jette dans la dépression, avec une largeur d'environ 500 mètres (MATE, 2003).

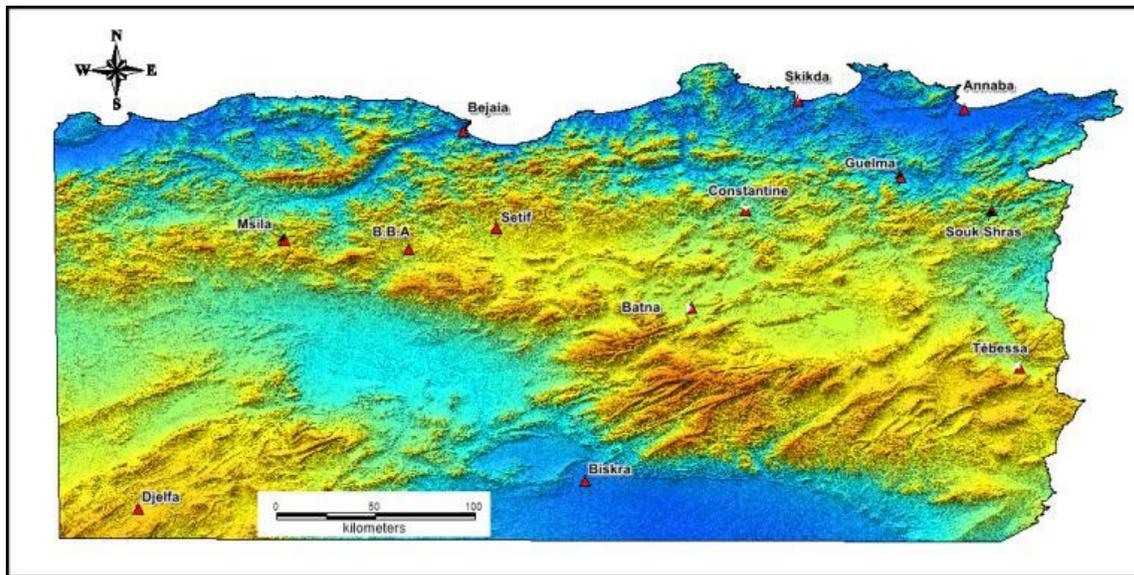


Figure 15: carte d'orographie de l'Est algérien.

3. Aperçu géologiques

L'Algérie orientale est constituée de reliefs jeunes, modelés au cours du Tertiaire par les mouvements alpins (fig 16). Au sud, il y a l'Atlas saharien (une chaîne de montagnes alpines), et au centre, des plates-formes (le môle d'Aïn Regada). La partie nord est occupée par l'Atlas tellien (de l'ère jurassique au miocène), une région complexe composée de nappes formées au début du miocène. Des bassins néogènes tardifs, tels que le Hodna (un bassin d'avant-fosse dont la séquence de remplissage commence par des dépôts continentaux datant de l'éocène et de l'oligocène, et se poursuit avec du miocène marin) se sont formés sur ces nappes. Le plateau continental est relativement petit, avec des dépôts tertiaires et quaternaires (1000 m à 3500 m) reposant sur un socle métamorphique. Les Aurès se présentent avec un substrat de grès et de calcaire du crétacé (Abdessamed, 1981).

Les bassins de Chott Melrhir, dans le Sud-Est de Constantine, sont formés au cours du tertiaire et ont été remplis de sédiments crétacés (sur une épaisseur de 5000 mètres). Ils ont produit et stocké des hydrocarbures principalement dans la formation crétacée (Djbel Onk).

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

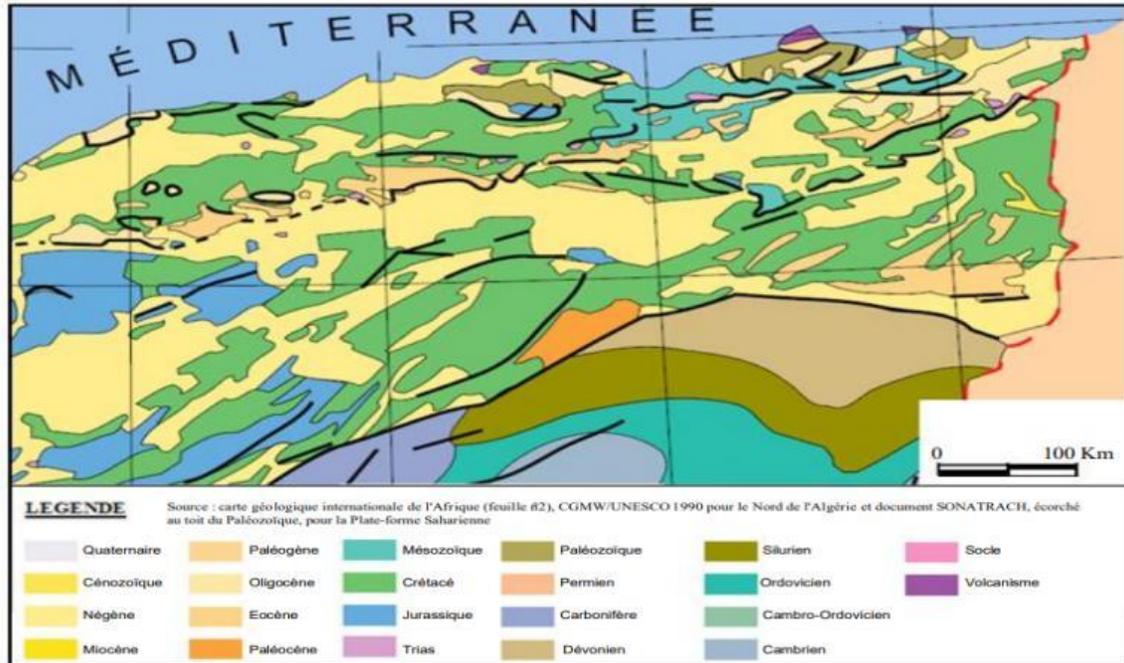


Figure 16: Carte géologique simplifiée du domaine de l'Est algérien (modifiée)
(http://www.anpm.gov.dz/geologie_alg/index.php?lien=1&pos=2&lang=_fr).

4. Sols

La répartition des sols dans la région d'étude est principalement influencée par le climat, la composition des roches sous-jacentes, la topographie, la présence d'eau, la végétation et divers facteurs biotiques et anthropiques.

Les sols des régions humides sont caractérisés par leur mode de formation initial qui implique le déplacement de matières en profondeur par l'action des eaux souterraines. Cependant, cette action dépend fortement de la nature de la roche mère, qui varie considérablement dans le Tell algérien en raison de sa structure plissée. Cela donne lieu à une grande diversité de sols qui ont pour seule caractéristique commune un lessivage plus ou moins important. Ces sols peuvent être regroupés en deux grandes catégories :

- a) La catégorie calcaire comporte tous les sols formés à partir de roches calcaires.
Deux types de sols : sols calcaires et sols décalcifiés.
- b) La catégorie non-calcaire, qui comporte les sols formés sur roche mère non calcaire.
Deux types principaux ; sols insaturés et sols podzoliques.

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

Les sols insaturés présentent généralement un pH acide et sont souvent des sols lessivés et dé saturés (Duchaufour, 1975).

Les sols podzoliques se forment sous des conditions d'humidité qui provoquent la dissolution et l'entraînement en profondeur des sels, ainsi que des colloïdes organiques et minéraux tels que l'argile et la silice colloïdale. En Algérie, ces sols se forment généralement à partir de roches non calcaires qui produisent des éléments grossiers pauvres en bases, dans des régions où la pluviosité annuelle est supérieure à 500 mm et où la perméabilité et la pluviométrie sont suffisantes pour permettre la destruction quasi-totale du complexe absorbant. Ces sols sont très acides et se trouvent dans les régions du nord de l'Algérie, sur des formations géologiques telles que les grès de Numidie, les gneiss et certaines dunes, et soutiennent généralement des forêts d'arbres acidophiles (tels que les chênes) avec un sous-bois dense de bruyères, de dyss, etc.

Les sols qui présentent une teneur élevée en sels peuvent être classés en deux types : les sols salins (solontchak) ayant des profils AC, et les sols salins à alcalis (solontchaksolonetz) ayant des profils A B. Ils sont généralement profonds et localisés dans les chotts et les sebkhas. Ces sols sont pauvres en matière organique, leur salinité est chlorurée, sulfatée, sodique et magnésienne (Nedjraoui, 2003).

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

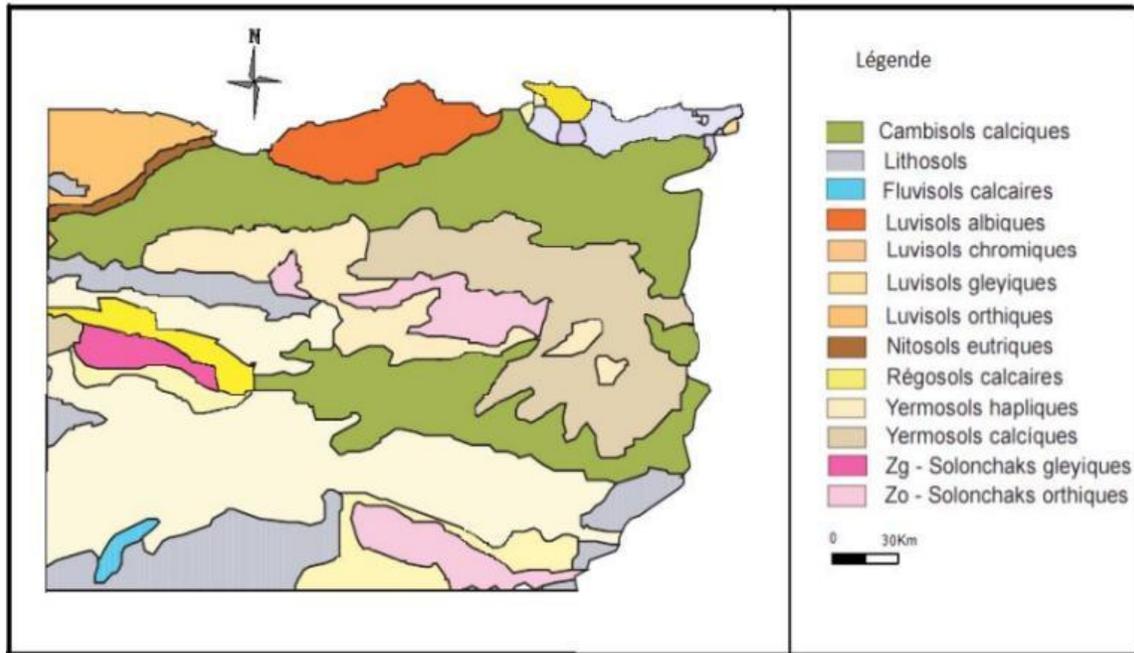


Figure 17 : Carte des sols dominants de la région d'étude (FAO, 2005, modifiée).

5. Aperçu climatique

L'Algérie présente un climat méditerranéen de type tempéré extratropical, caractérisé par une période de sécheresse estivale prolongée (3 à 4 mois sur la côte, 5 à 6 mois dans les hauts plateaux et plus de 6 mois dans l'Atlas saharien). Cette caractéristique est principalement due à l'influence combinée de trois facteurs : la mer, le relief et l'altitude.

Comme s'était mentionné, le climat du nord Algérien est de type méditerranéen. Ce type de climat peut être observé en Europe occidentale, où les phénomènes météorologiques ont leur origine à l'extérieur de la région (à des milliers de kilomètres). Dans ce cas, le climat est considéré comme "dépendant". En revanche, en Californie et dans l'est de l'Algérie, le climat dépend de facteurs locaux, mais contrairement à la Californie, la structure des courants atmosphériques n'est pas intrinsèque à la région elle-même. Elle résulte plutôt de mécanismes qui se produisent soit dans l'Atlantique, soit lors de l'approche de la Méditerranée (Pédelaborde et Delanoy, 1958).

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

5.1. Précipitations

Les mécanismes météorologiques qui provoquent des précipitations dans le nord de l'Algérie sont principalement régies par des conditions d'abri, qui incluent à la fois des éléments topographiques et aérologiques. Selon Angot (in Pédélaborde et Delanoy, 1958). Il semble d'ailleurs que ces plateaux jouent un rôle plus important, puisqu'ils privent l'Algérie des courants pluvieux de l'Ouest, la plus grande partie de l'année. L'effet d'abri topographique joue un rôle secondaire dans les mécanismes de précipitations dans le nord de l'Algérie.

La sécheresse pendant de longues périodes s'explique par la position latitudinale de l'Algérie qui lui confère une position d'abri par rapport à la circulation polaire. En effet, l'Algérie se trouve comme l'Afrique du Nord à la bordure méridionale du tourbillon circumpolaire. Cette région est constamment parcourue par des cyclones extratropicaux et échappe à la turbulence de la zone polaire de mélange située au nord du 35^{ème} parallèle, où les coulées froides entraînent des cyclogenèses répétées (Pédélaborde, 1956).

La carte pluviométrique (fig 18) met en évidence les zones de fortes précipitations dans toute la zone d'étude, de Jijel à Collo, ainsi que les sommets les plus élevés, tels que le massif de l'Edough au nord-est. La montagne de Collo a été frappée par jusqu'à 1800 millimètres de pluie. Les parties restantes de l'Atlas Tellien étaient couvertes par 600 à 800 mm des isohyètes, avec des zones plus précipitées dans l'extrême Est Algerien (El Kala).

L'isohyète de 500 mm entoure les Hautes Plaines vers le nord. Les précipitations diminuent vers le sud jusqu'à 350 mm ; cette diminution est plus notable au niveau des lacs salés, qui se distinguent par des isohyètes allant de 200 à 300 mm.

Les valeurs de précipitations dans l'Atlas du Sahara ont augmenté de 400 mm à 600 mm par an ; cette augmentation est principalement attribuable à l'effet orographique et à l'exposition au nord (Mébariki, 2005).

L'isohyète de 300 mm marque le début de la diminution des précipitations au niveau du sud du Piémont de l'Atlas du Sahara.

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

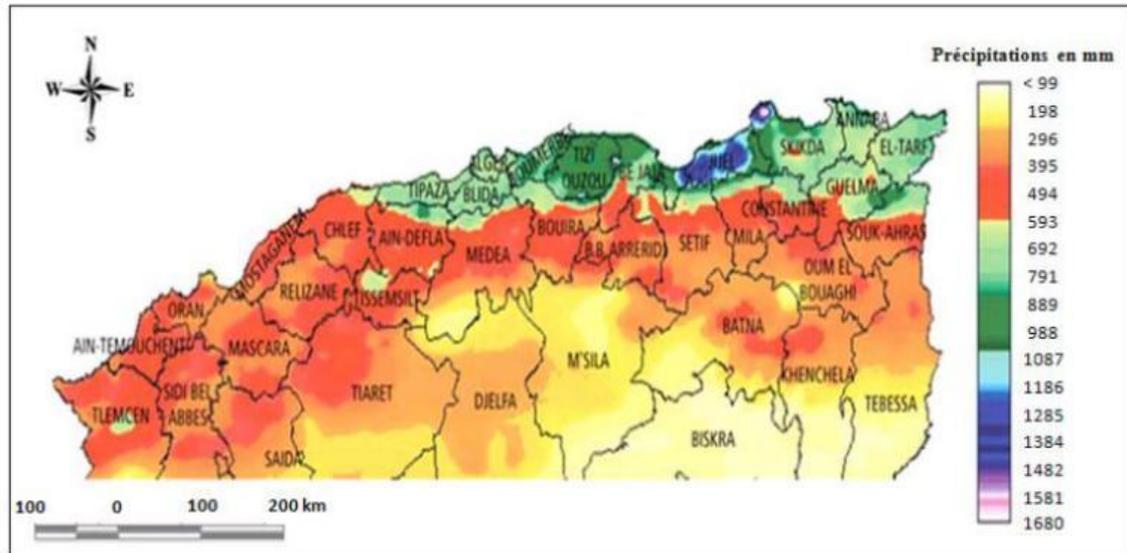


Figure 18 : carte des précipitations annuelles moyennes de l'Algérie (ANRH 2003).

5.2. Zones bioclimatiques de l'Est Algérien

Les domaines bioclimatiques de notre région d'étude sont déterminés en utilisant le quotient pluviothermique d'Emberger (Q2) qui prend en compte les précipitations et les températures pour décrire le régime climatique dominant de type méditerranéen qui régit le climat de l'Est algérien. Ce quotient permet de classer cinq grands types de bioclimats méditerranéens (fig 19) :

- Le domaine humide : Ce domaine se distingue par une pluviométrie supérieure à 900 mm et une forte humidité de l'air. Il est typique de la zone côtière et est présent de manière importante dans toute la région de Jijel, à l'est de Bejaïa, au sud-est de Skikda et au nord-est d'Annaba. Une zone isolée se trouve à l'intérieur de la région de Souk Ahras, en suivant les montagnes de la Medjerda.

- Le domaine subhumide : il est défini par une pluviométrie supérieure à 600 mm et est typique de la zone côtière. Bien qu'il partage sa prédominance avec le domaine humide, il est plus développé que ce dernier.

- Le domaine semi-aride : il est défini par des pluviométrie qui fluctue entre 300 à 600 mm et se trouve dans les bassins intérieurs du Tell, tels que Mila-Ferdjioua. Il est présent sous

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

forme d'une zone isolée dans la région de Guelma et est clairement développé dans les hautes plaines qui s'étendent vers le sud.

- Le domaine subaride : il est défini par une pluviométrie inférieure à 350 mm et se présente sous forme d'une bande située au sud des contreforts de l'Aurès et de Nememcha, qui s'élargit au niveau de la région de M'sila ; cette bande ne comprend pas le Hodna.

- Le domaine aride : il est défini par une pluviométrie inférieure à 150 mm, il fait place à la base des massifs de l'Atlas.

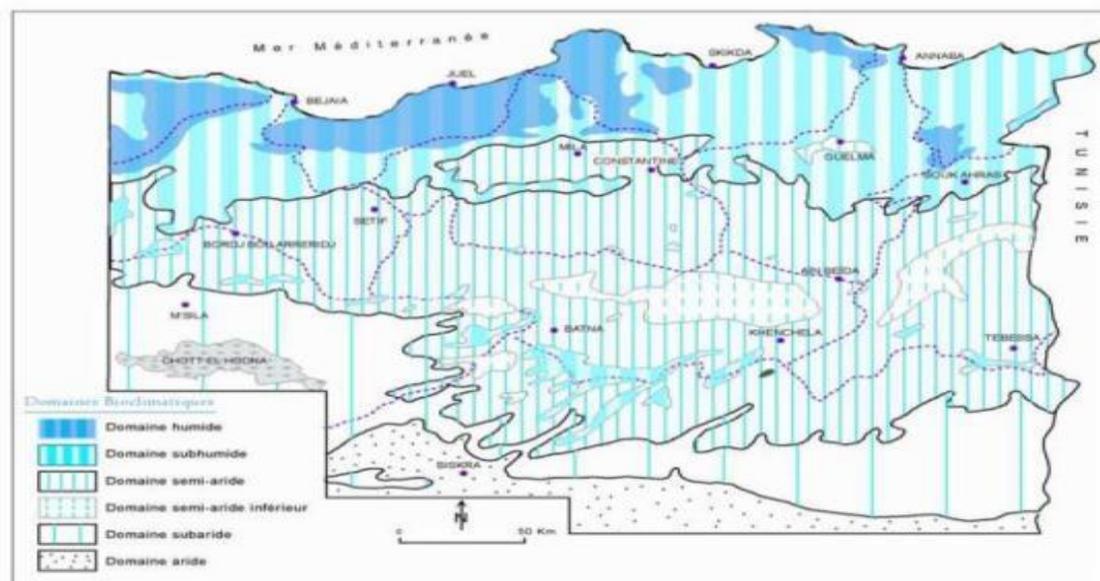


Figure 19 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (établie d'après Côte M., 1998 (Mébarki, 2005)).

6. Végétation forestière

La forêt algérienne se caractérise par son irrégularité, ce qui est principalement dû aux variations des ensembles topographiques, climatiques et pédologiques du nord au sud et d'est en ouest. Le relief, la température et les précipitations jouent un rôle majeur dans la distribution de la végétation dans l'est de l'Algérie.

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

Selon la figure 20, Le chêne-liège (*Quercus suber*) est dominant dans les régions de la côte Est de l'Algérie, de la région de Jijel jusqu'à la région d'Annaba, bien que cette domination soit perturbée par la culture maraîchère et les incendies, entraînant des zones discontinues. Entre 1975 et 1990, environ 39 660 hectares de forêts ont été touchés dans la wilaya de Jijel, soit une moyenne d'environ 2 650 hectares par an (Tatar, 1997). La fréquence des incendies est favorisée par la présence d'un sous-sol dense composé d'une variété d'espèces secondaires (Fosa, 2002).

Le chêne-liège (*Quercus suber*) et avec les résineux (*Pinus maritima*) se trouve dans la région d'Ouled Attia (Collo), les sapins (*Quercus fagineae*) dans la région d'Ouled Hbaba, et le chêne kermès (*Quercus cocciferae*) dans la région d'El Kala.

Dans la zone tellienne, en particulier le telle maritime, Les espèces forestières principales sont, les résineux tels que le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le pin maritime (*Pinus maritima*), le cèdre (*Cedrus atlantica*) et les feuillus tels que le chêne-liège (*Quercus suber*), le chêne zeen (*Quercus faginea*), le chêne afarès (*Quercus afares*), le chêne kermès (*Quercus coccifera*) et le chêne vert (*Quercus ilex*).

Le chêne vert (*Quercus ilex*) et le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) se trouvent principalement dans les régions semi-arides ; l'atlas saharien est considéré comme leur domaine d'origine. Les régions forestières des deux espèces s'élèvent à des altitudes élevées, ressemblant à la topographie de l'atlas sahraoui. Les cèdres (*Cedrus atlantica*) sont divisés en rangs le long de l'axe central et de l'Aurès.

Le climat continental et semi-aride de la région ne produit que quelques lambeaux de broussailles vertes dans les hautes plaines de Constantinople.

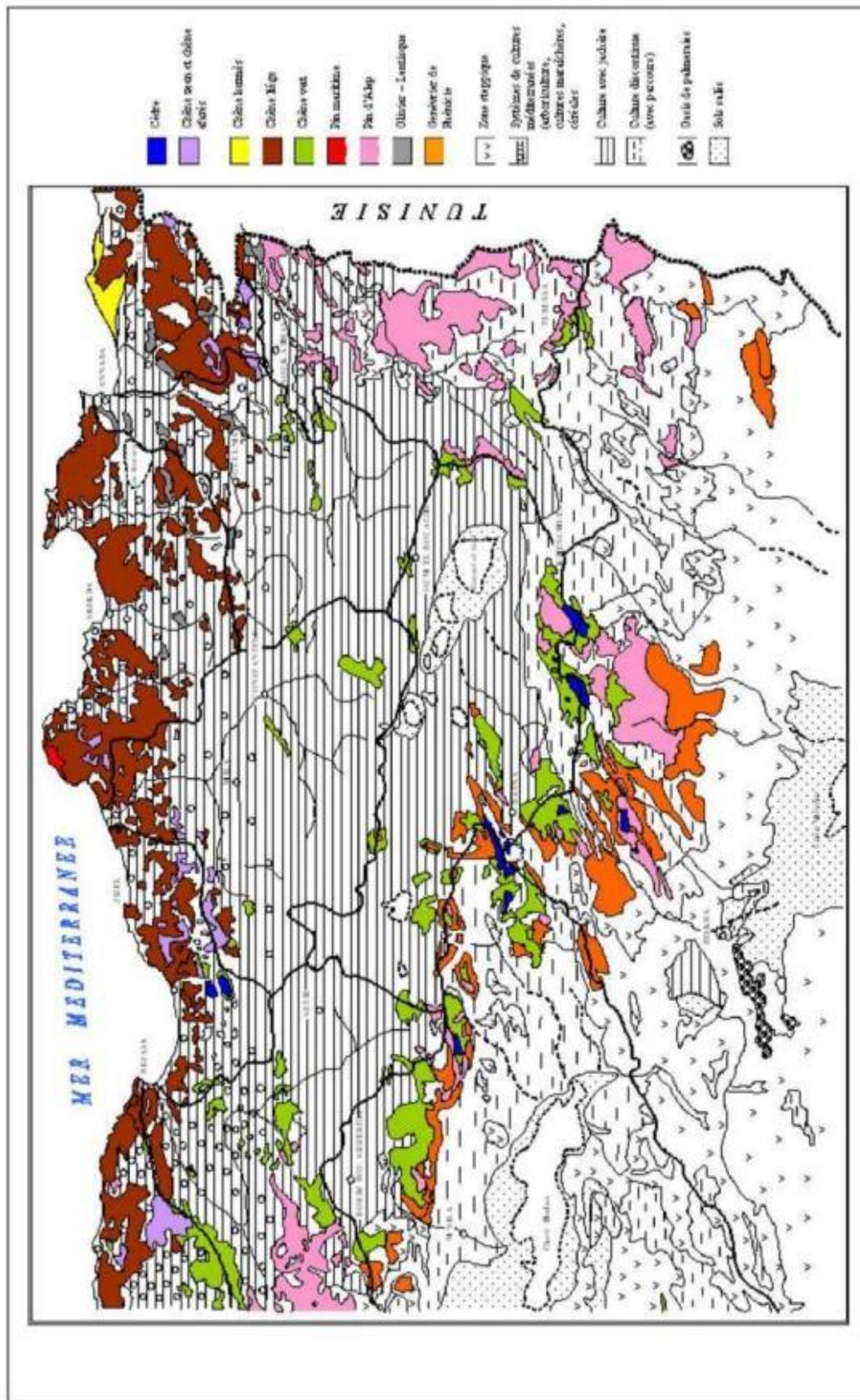


Figure 20 : C ouverture végétale de l'Est algérien (d'après carte internationale du tapis végétal au /10 0 0 0 0 0 feuilles Tunis-S fax et Alger, complétées. In Mébarki A, 2005).

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

7. Réseau hydrologique

Deux principaux types de bassins hydrographiques peuvent être distingués au niveau de la mer d'Algérie orientale (Mébariki, 2005) :

-Au nord, des oueds remarquables (Oued Rhumel-El kebir Beni Haroun, Oued Safsaf à Zerdazas et Oued Seybous à Nador), ainsi que les Oued Djendjen et l'Oued Soummam, naissent sur les hautes plaines pour atteindre la mer Méditerranée en traversant des vallées. Ces bassins ont un taux d'évaporation presque pervers extrême.

- Au sud, au niveau de l'Aurès, le réseau hydrographique est dans un état endoréen, temporaire, avec des dépressions internes réduisant son flux.

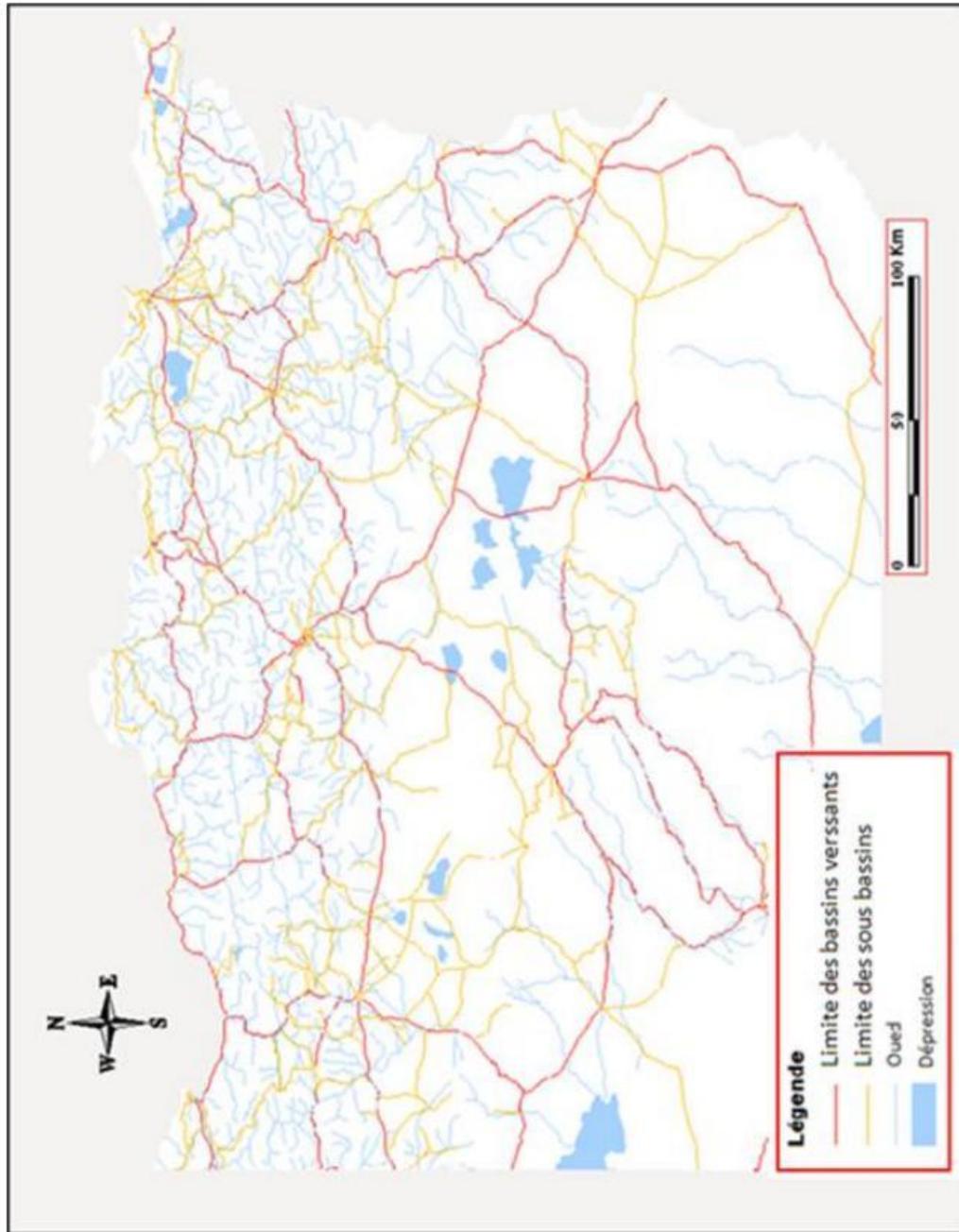


Figure 21 : Réseaux hydrologiques en Algérie (Tabet, 2008).

CHAPITRE 3

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

1. Données climatiques disponibles

La collecte mensuelle de données a été réalisée conformément aux normes d'installation et de maintenance exigées par l'Organisation météorologique mondiale (O.M.M). Les stations ont été choisies en fonction de la durée des enregistrements, de leur qualité de paramètres météorologiques qu'elles peuvent fournir. Comme les séries d'observations (températures, précipitations).

Un total de treize stations a été sélectionné avec une période allant de 1976 à 2022 afin d'étudier la variance des précipitations et des températures.

Les données collectées ont été obtenues auprès des services de la direction régionale de l'OMN Constantine, pour la période de 1976 à 2005, et complété à partir du site <https://www.infoclimat.fr/> pour la période de 2006 à 2022.

Tableau 1. Présentation des stations d'étude (O.N.M).

Stations	Latitude	Longitude	Altitude (m)	début
Béjaia	36° 43' 1,20"	5° 4' 1,20"	6	1976
Skikda	36° 52' 58,80"	6° 54	3	1976
Annaba	36° 49' 58,80"	7° 49' 1,20"	5	1976
Constantine	36° 16' 58,80"	6° 37' 1,20"	690	1976
Guelma	36° 28' 1,20"	7° 28' 1,20"	228	1985
Souk A	36° 16' 58,80"	7° 58' 1,20"	680	1976
Sétif	36° 10' 58,80"	5° 15	1040	1981
Batna	35° 45	6° 19' 1,20"	826	1976
Tébessa	35° 25' 1,20"	8° 7' 1,20"	811	1976
B.B.B	36° 4' 1,20"	4° 46' 1,20"	930	1979

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

Biskra	34° 48	5° 43' 58,80"	88	1976
M'sila	35,67°	4,50°	441	1976
Djelfa	34,68°	3,25	1144	1980

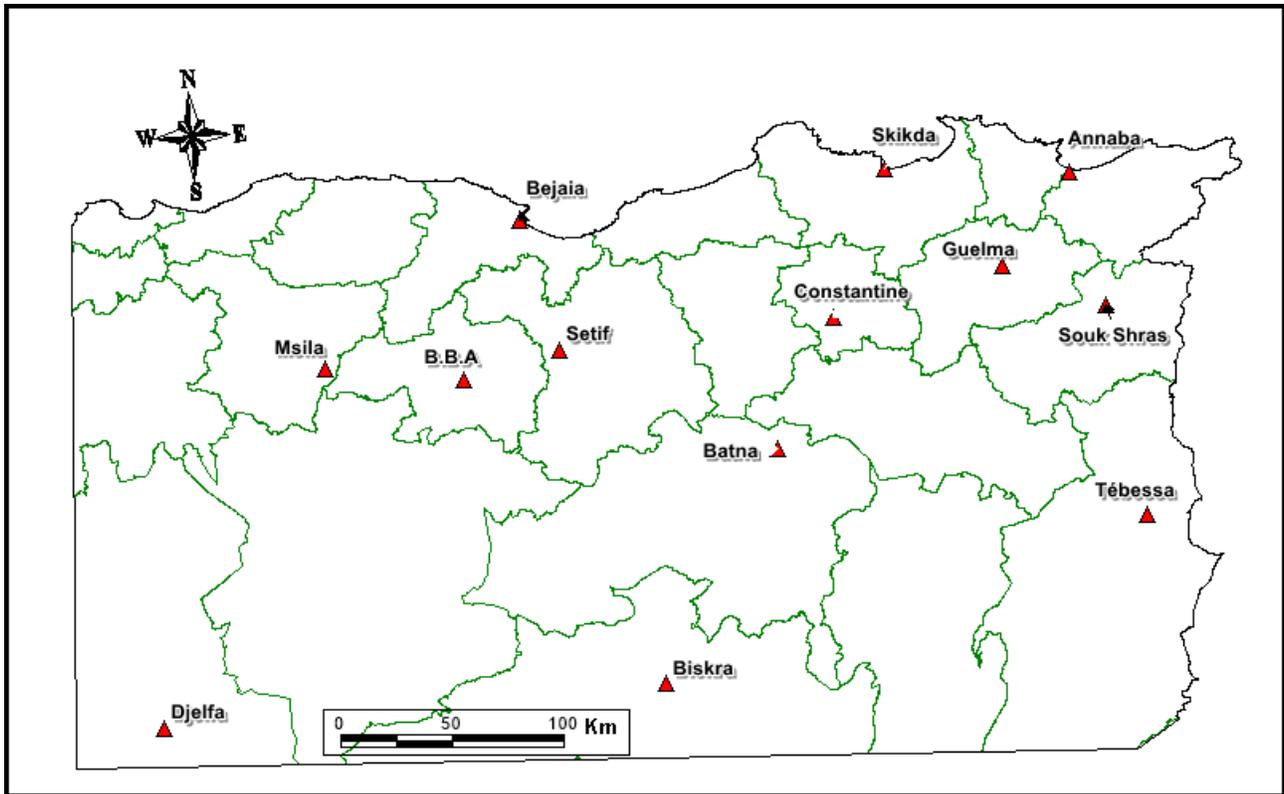


Figure 22 : localisation de la zone d'étude.

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

2.Préparation des données climatiques

2.1. Comblement des lacunes d'observation

2.1.1. Correction des températures

Les stations météorologiques sélectionnées (ONM) présentent seulement quelques lacunes dans leurs données mensuelles. Afin de combler ces manques dans les séries d'observations, nous avons employé la méthode de régression linéaire. Pour que cette méthode soit efficace, il est nécessaire que les variables comparées suivent une distribution normale. Nous prenons en compte le degré de corrélation ainsi que la zone géographique (présentant des conditions climatiques similaires) entre la station de référence et celle à compléter.

Les calculs sont faits à partir de l'équation suivante :

$$Y' = Y + rS_y/S_x * (X - X')$$

Y' : variable à expliquer ;

Y : variable explicative (moyenne observée de la série homogène de la station incomplète) ;

r : coefficient de corrélation entre X et Y estimé à partir des séries d'observations communes de X et Y ;

S_y : l'écart type de Y, estimé d'après la série d'observation de Y' ;

S_x : l'écart type de X, estimé d'après la même série d'observation ;

X : variable explicative connue, à partir de laquelle nous estimons la variable expliquée ou inconnue de la station incomplète ;

X' : moyenne de X estimée à partir de la même période observée simultanément dans les stations complètes.

2.1.2. Corrections des précipitations

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

Comme les données de Températures, les stations météorologiques (ONM) présentent seulement quelques lacunes dans leurs données de précipitation mensuelles, et pour combler ces données manquantes on a utilisé la méthode de régression linéaire ; méthode des rapports (appelé méthode de double cumule).

La méthode consiste à comparer les données pluviométriques mensuelles incomplètes d'un mois donné avec les données disponibles pour le même mois dans les stations météorologiques voisines. Les totaux mensuels de précipitations enregistrés dans les stations concernées peuvent être corrigés en appliquant une fonction spécifique :

$$Y = aX$$

Y : valeur pluviométrique mensuelle inconnue à la station lacunaire B ;

X : valeur correspondante enregistrée pendant le même mois à la station A de référence ;

a : est la constante d'ajustement estimée par le rapport des données de précipitations observées pendant une même série commune aux stations.

$$a = P(\text{mm})B / P(\text{mm})A$$

Pour la station de Tébessa et Batna on a utilisé le gradient de seltzer 40mm/100 m pour corriger les données des deux stations pour homogénéiser les données (changement du site des deux stations).

3. Méthodes statistiques

Afin de caractériser la variabilité spatiale de stations étudiées une analyse descriptive des données météorologique a été réalisée pour l'ensemble des stations par paramètre, ensuite une description des données réalisée par station pour les trois variables climatiques, en utilisant Excel Stat (XLSTAT 2018).

Une Classification Héarchique Ascendante (CHA) des 13 stations étudiés selon les trois parametres pris en considération a svoire les précipitations, les température maximale et les températures minimale, afin de faire ressortire les groupes de stations similaire au

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

regard des trois paramètres climatiques étudiés, en utilisant le package FactomineR et Factoshiny sous le logiciel libre R.

Les séries de données chronologiques ont été examinées par l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI), afin de déterminer la période de sécheresse ainsi les années excédentaires au regard des précipitations.

L'Indice Standardisé de Précipitation (SPI), quant à lui il s'agit d'un indicateur statistique qui vise à améliorer la détection et la surveillance de la sécheresse. Ce dernier a été développé par l'université du Colorado au début des années 90, sous la supervision de McKee en 1993. L'Indice Standardisé des Précipitations, ou en anglais (Standardized Precipitation Index) répond à la formule suivante :

$$SPI = (X_i - X_m) / \sigma_i$$

Où :

X_i est le cumul de la pluie pour une année i ;

X_m et σ_i , sont respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées pour une série donnée ;

Le SPI a la vocation à indiquer à lui seul si l'année peut être qualifiée d'excédentaire ($IPS > 0$) ou de déficitaire ($IPS < 0$). McKee a suggéré une classification du SPI de 2 à -2.

Cet indice définit la sévérité de la sécheresse en différentes classes (tab 2).

Tableau 2. Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI).

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

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

$-1 < \text{SPI} < 0$	Sécheresse modérée
$2 < \text{SPI} < -1$	Sécheresse forte
$\text{SPI} < -2$	Sécheresse extrême

Prenons l'exemple de la station de Skikda, où les données annuelles des précipitations sont analysées à l'aide de l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI). Elles révèlent un contraste entre les années excédentaires et déficitaires tout au long de la période étudiée, de 1976 à 2022.

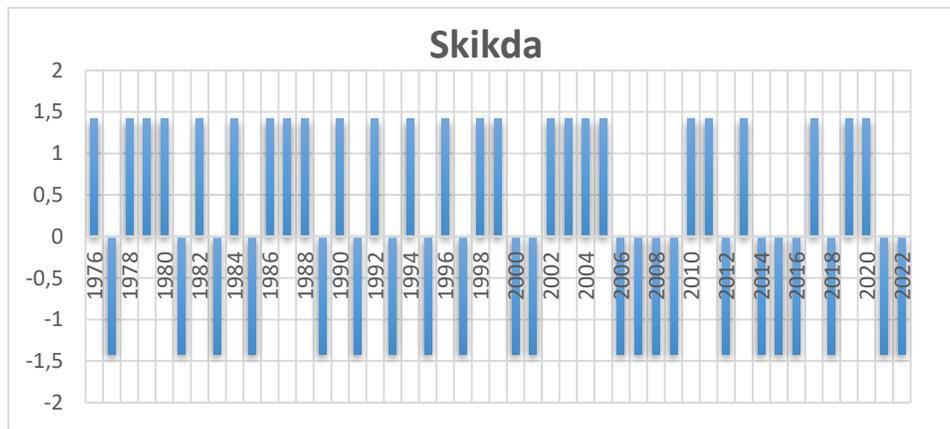


Figure 23 : Indice pluviométrique standardisé (station de Skikda période 1976-2022).

Le test de Mann-Kendall sert à déterminer avec un test non paramétrique l'existence d'une tendance dans une série temporelle.

Ce test de tendance non paramétrique est le résultat d'une amélioration du test qui avait été initialement étudié par Mann (1945), puis repris par Kendall (1975) et enfin optimisé par Hirsch (1982, 1984) pour prendre en compte une composante saisonnière. L'hypothèse nulle H_0 de ces tests est qu'il n'y a pas de tendance. Les trois hypothèses alternatives de tendance négative, non nulle ou positive peuvent être choisies.

Le test de Mann-Kendal est appliqué pour l'ensembles des paramètres, afin d'évaluer la tendance pour trois niveau temporel ; i) les mois, ii) les saisons et enfin iii) Année pour l'ensemble des stations.

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

Il est important de préciser les abréviations utilisées dans le tableau :

- DJF : représente les mois de décembre, janvier et février (hiver)
- MAM : représente les mois de mars, avril et mai (printemps)
- JJA : représente les mois de juin, juillet et août (été)
- SON : représente les mois de septembre, octobre et novembre (automne)

Prenons l'exemple de la station d'Annaba, où les données annuelles des précipitations sont analysées à l'aide de test de Mann-Kendall (fig 24), deux hypothèses sont émises lors du test.

H₀ : Il n'y a pas de tendance dans la série ;

H_a : Il existe une tendance dans la série ;

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H₀. Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H₀ alors qu'elle est vraie est de 63,35%. Dans ce cas, on adopte l'absence de tendance comme conclusion.

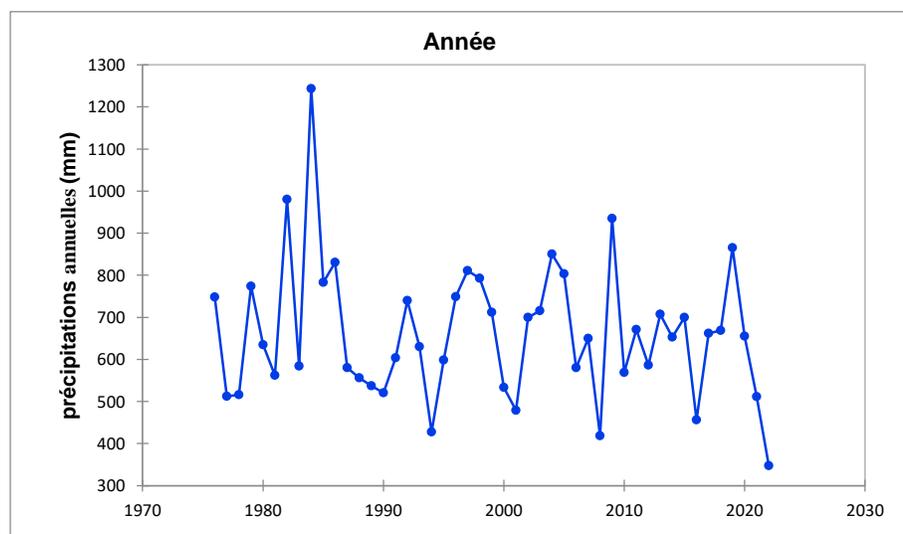


Figure 24 : Test de tendance de Mann-Kendall (station de Annaba, période 1976-2022).

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

Les tendances dans les séries temporelles de l'ensemble des stations étudiées ont été mis en évidence en appliquant Le test de Mann-Kendall.

Les résultats du test de Mann-Kendall sur tendance portant sur les valeurs annuelles et saisonnières afin de détecter d'éventuels changements sur un pas de temps de 10 ans.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS

Chapitre 4 : Résultats

Résultats

Les résultats sont organisés comme suit ; i) Résultats d'analyse descriptive des données météorologique pour l'ensemble des stations par paramètre, ensuite résultats d'analyse description des données réalisée par station pour les trois variables climatiques, ii) Analyse descriptive des données climatique pour chaque station pour l'ensemble des paramètres étudié. iii) Résultats de la Classification Héarchique Ascendante (CHA) des 13 stations étudiés selon les trois parametres et identification des groupes de stations similaire au regard des trois parametres climatiques étudiés, iv) Résultat de l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI) et détermination des périodes de sécheresse ainsi les années excédentaires au regard des précipitations, v) Résultats du test de Mann-Kendall et déterminer l'éventuelle tendance station par station pour les trois paramètres pris en charge par ces étude.

1. Analyse descriptive des données pour l'ensemble des stations par paramètre

1.1. Températures maximales moyennes

Le tableau 3 des moyennes maximales mensuelles des températures pour la période de 1976 à 2022, révèle que les températures les plus basses sont observées au cours du mois de janvier pour l'ensemble des stations, fluctuant entre 16,4 °C et 16,9 °C pour les stations côtières. Pour les stations continentales, ces moyennes se situent entre 9,6 °C et 12,6 °C, à l'exception de la station de Guelma qui se trouve dans une position intermédiaire entre les stations côtières et celles de l'intérieur, avec une moyenne de 15,8 °C.

Les moyennes maximales mensuelles les plus élevées sont observées au mois d'août pour les stations du littoral, avec des fluctuations entre 29,4 °C et 31,2 °C. Quant aux stations de l'intérieur, ces moyennes maximales sont atteintes en juillet pour la quasi-totalité d'entre elles, oscillant entre 33,3 °C et 40,5 °C. Cependant, il convient de noter que la station de Guelma présente une particularité, avec une moyenne maximale mensuelle des températures atteintes en août, s'élevant à 36,2 °C.

La station de Biskra affiche les températures les plus élevées tout au long de l'année, à l'exception du mois de décembre.

Chapitre 4 : Résultats

Le tableau 3. Des moyennes maximales mensuelles des températures pour la période de 1976 à 2022.

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Annaba	16,4	16,8	18,6	20,8	24,1	27,9	30,9	31,5	29,2	26,2	21,3	17,6
Skikda	16,5	16,8	21,7	20,1	22,6	25,9	28,8	29,5	27,7	25,1	20,6	18,0
Béjaia	16,7	17,1	18,7	20,4	22,9	26,5	29,5	30,3	28,3	25,5	20,9	17,8
Souk Ahras	11,6	12,6	15,2	18,4	23,5	29,1	33,3	33,1	28,2	23,3	16,7	12,8
Guelma	15,8	16,8	19,3	22,3	26,9	32,4	36,2	36,2	31,7	27,4	20,9	17,0
Tébessa	12,2	13,8	16,7	20,6	25,9	31,7	35,3	34,5	29,2	23,8	17,3	13,5
Constantine	12,2	13,4	16,1	19,4	24,5	30,6	34,6	34,1	29,0	23,8	17,1	13,4
Batna	11,6	13,2	16,2	19,9	25,2	31,5	35,2	34,4	28,9	23,3	16,6	12,6
Sétif	10,0	11,6	14,4	18,2	23,3	30,0	34,2	33,3	27,7	21,9	14,9	13,7
M'sila	14,6	15,5	18,6	24,4	29,1	34,4	39,1	38,6	33,4	26,3	19,0	15,1
B B A	11,0	12,5	15,5	19,3	24,6	31,1	35,1	34,5	28,5	22,7	15,4	11,7
Djelfa	9,7	11,4	14,6	18,7	23,8	29,8	34,2	33,3	27,6	21,6	14,7	10,8
Biskra	16,9	19,3	22,7	26,5	31,4	37,2	40,5	39,8	34,4	28,8	21,5	17,8

L'analyse descriptive des moyennes mensuelles des températures maximales pour la période de 1976 à 2022, la figure 25, décrit une tendance générale selon laquelle les stations du littoral affichent des valeurs plus basses que les stations de l'intérieur entre les mois de

Chapitre 4 : Résultats

mai et septembre, tandis que les stations d'intérieur présentent des températures plus élevées que les stations de littorale d'octobre jusqu'au mois d'avril, témoignant l'effet thermorégulateur de la mer méditerranée sur les stations du côtières.

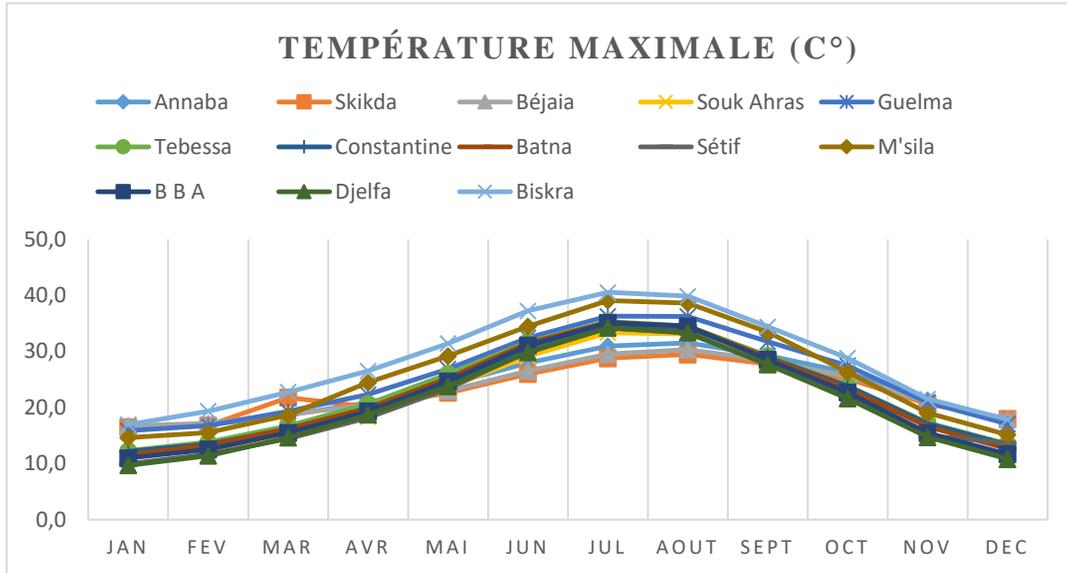


Figure 25 : La variation mensuelle des températures moyennes maximales. Période (1976- 2022).

1.2. Températures minimales moyennes

Le tableau 4 des moyennes minimales mensuelles des températures pour la période de 1976 à 2022, révèle que les moyennes minimales mensuelles s'étendent de janvier à septembre, avant de commencer à diminuer à partir d'octobre jusqu'en décembre. Les stations du littoral, telles qu'Annaba, Skikda et Béjaia, affichent des températures minimales plus élevées tout au long de l'année par rapport aux stations de l'intérieur. Les températures minimales les plus basses sont généralement enregistrées en janvier pour la plupart des stations, avec des valeurs comprises entre 0,2°C et 8,2°C.

La station de Biskra présente des températures minimales relativement plus élevées, à l'exception du mois de décembre où les températures sont plus basses.

Chapitre 4 : Résultats

Le tableau 4. Des moyennes minimales mensuelles des températures pour la période de 1976 à 2022.

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Annaba	7,0	7,0	8,2	10,0	13,1	16,6	19,2	20,2	18,2	15,1	11,0	8,2
Skikda	0,3	0,9	3,1	5,8	9,8	14,5	17,2	17,3	14,2	9,7	4,8	1,5
Béjaia	1,9	2,6	4,7	7,2	11,3	16,3	19,7	19,4	15,7	11,4	6,4	3,2
Souk Ahras	7,5	7,7	9,1	10,9	13,9	17,6	20,3	21,1	19,0	15,9	11,8	8,8
Guelma	7,0	8,5	11,4	15,0	19,7	24,6	27,8	27,6	23,4	18,0	12,1	8,2
Tébessa	2,4	2,9	4,7	6,9	10,6	15,0	18,1	18,3	15,3	11,3	6,7	3,7
Constantine	4,8	4,7	6,3	8,5	11,4	15,5	18,5	19,5	17,6	13,8	9,4	6,3
Batna	0,9	1,5	3,8	6,3	10,4	15,2	18,8	18,7	14,9	10,5	5,4	2,1
Sétif	9,0	9,0	10,4	12,3	15,3	18,8	21,6	22,5	20,4	17,1	13,0	10,4
M'sila	1,4	2,2	4,3	7,1	11,1	15,4	18,1	18,1	15,1	10,9	6,0	2,8
B B A	0,7	1,5	3,8	6,9	10,9	15,8	19,2	18,8	14,9	10,0	5,2	2,0
Djelfa	3,2	4,6	7,3	11,1	15,6	21,0	24,3	23,8	19,9	14,3	8,5	4,3
Biskra	3,6	3,8	5,6	7,7	11,3	15,4	18,6	19,2	16,3	12,4	8,0	5,0

L'analyse descriptive des moyennes mensuelles des températures minimales pour la période de 1976 à 2022, la figure 26, décrit que les températures minimales augmentent progressivement de février à mai, puis se maintiennent à des niveaux plus élevés jusq'en

Chapitre 4 : Résultats

septembre. Les stations de l'intérieur, comme Djelfa et Sétif, présentent généralement des températures minimales plus basses que les stations du littoral pendant les mois d'hiver. Les variations saisonnières des températures minimales sont plus marquées dans les régions côtières par rapport aux zones intérieures.

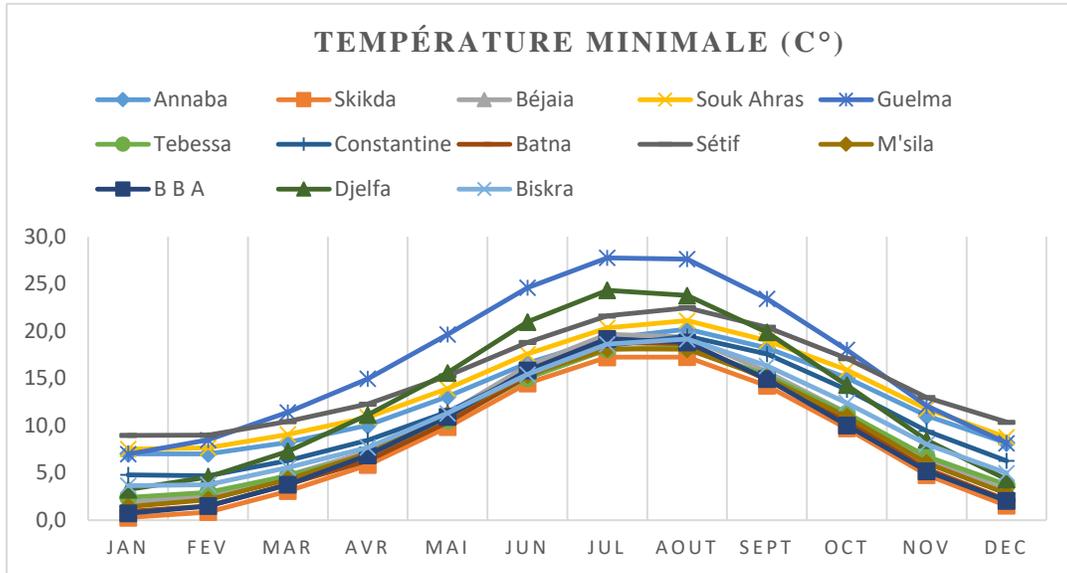


Figure 26 : La variation mensuelle des températures moyennes minimales. Période (1976- 2022).

1.3. Précipitation

Le tableau 5 des moyennes mensuelles des Précipitation pour la période de 1976 à 2022, révèle que la station d'Annaba montre des précipitations relativement élevées en janvier (98,9 mm) et diminuent progressivement jusqu'à atteindre leur plus bas niveau en juin (12,4 mm). Elles augmentent à nouveau en juillet et août (10,7 mm et 38,6 mm respectivement) pour atteindre leur pic en décembre (103,6 mm). Pour la station de Skikda, les précipitations sont élevées en janvier (114,9 mm) et diminuent jusqu'à atteindre leur niveau le plus bas en juin (11,4 mm). Elles augmentent légèrement en juillet et août (1,5 mm et 7,1 mm respectivement) et atteignent un pic en novembre (118,2 mm). Béjaia présente des précipitations relativement stables tout au long de l'année, avec des valeurs élevées en

Chapitre 4 : Résultats

janvier (97,8 mm) et en décembre (108,9 mm). La station de Souk Ahras relève une augmentation progressive des précipitations à partir de janvier (103,5 mm) jusqu'à atteindre leur niveau le plus élevé en octobre (83,0 mm). Elles diminuent ensuite jusqu'en décembre (101,0 mm). Guelma : Les précipitations sont relativement faibles en général, avec des valeurs élevées en novembre (125,8 mm) et des valeurs plus basses pendant le reste de l'année. Pour la station de Tébessa, Les précipitations sont généralement faibles tout au long de l'année, avec des valeurs légèrement plus élevées en mars (36,8 mm) et en septembre (42,2 mm), alors que Constantine montre des précipitations relativement stables tout au long de l'année, avec des valeurs élevées en novembre (54,3 mm) et en décembre (73,7 mm).

Batna présente des précipitations généralement faibles tout au long de l'année, avec des valeurs légèrement plus élevées en avril (36,8 mm) et en novembre (33,2 mm). Et la station de Sétif présente des cumules relativement stables tout au long de l'année, avec des valeurs élevées en mai (46,0 mm) et en novembre (50,5 mm).

M'sila décrit des précipitations généralement faibles tout au long de l'année, avec des valeurs légèrement plus élevées en avril (19,7 mm) et en octobre (18,8 mm). La station de Bordj Bou Arreridj montre que les précipitations de cette région sont généralement faibles tout au long de l'année, avec des valeurs légèrement plus élevées en avril (40,4 mm) et en octobre (36,0 mm), alors que la station de Djelfa présente des précipitations généralement faibles tout au long de l'année, avec des valeurs légèrement plus élevées en mai (31,6 mm) et en septembre (31,2 mm). Et la station de Biskra montre des précipitations qui sont généralement faibles pendant les mois les plus froids, mais elles augmentent considérablement à partir de mars (38,4 mm) et atteignent leur maximum au mois de décembre.

Chapitre 4 : Résultats

Le tableau 5. Des moyennes mensuelles des Précipitation pour la période de 1976 à 2022.

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Annaba	98,9	75,4	67,5	56,0	35,3	12,4	2,7	10,7	38,6	63,6	98,1	103,6
Skikda	114,9	85,2	56,0	57,1	36,7	11,4	1,5	7,1	58,6	63,1	105,3	118,2
Béjaia	97,8	78,0	68,8	61,9	39,7	12,9	8,3	11,5	45,2	66,3	94,5	108,9
Souk Ahras	103,5	84,4	80,1	72,9	52,6	33,4	25,3	33,3	45,1	49,2	83,0	101,0
Guelma	80,5	63,1	64,3	54,5	43,4	16,2	4,2	14,2	38,3	47,4	71,1	125,8
Tébessa	25,0	24,9	36,8	33,3	37,2	26,0	15,4	29,8	42,2	31,6	33,1	34,6
Constantine	63,7	50,5	59,6	58,1	46,8	17,7	11,1	12,8	38,9	35,9	54,3	73,7
Batna	30,0	25,7	36,5	36,8	38,7	18,8	7,5	20,5	33,6	24,1	30,1	28,5
Sétif	43,0	32,0	39,8	45,4	46,0	18,3	12,8	15,6	41,6	29,8	41,8	50,5
M'sila	15,2	13,8	18,1	19,7	16,0	11,0	6,4	8,1	11,2	18,8	13,4	14,0
B B A	32,0	26,0	33,7	40,4	35,5	17,3	9,3	14,1	36,0	27,9	33,2	35,5
Djelfa	28,7	24,4	28,9	33,5	31,6	19,8	11,3	19,3	29,9	31,2	28,7	26,7
Biskra	13,91	8,59	13,61	14,03	12,67	4,91	1,298	4,92	13,64	11,03	17,94	7,348

L'analyse descriptive des moyennes mensuelles des précipitations pour la période de 1976 à 2022, la figure 27, décrit que les mois d'automne (septembre, octobre, novembre) et d'hiver (décembre, janvier, février) sont généralement les plus pluvieux pour la plupart des villes étudiées, et les régions côtières telles qu'Annaba, Skikda et Béjaïa présentent

Chapitre 4 : Résultats

généralement des précipitations plus élevées, avec des pics pendant les mois d'hiver et d'automne. Les régions intérieures telles que Guelma, Tébessa, Batna, Sétif, M'sila, Bordj Bou Arreridj et Djelfa ont tendance à recevoir des précipitations plus faibles tout au long de l'année, avec des variations saisonnières moins marquées.

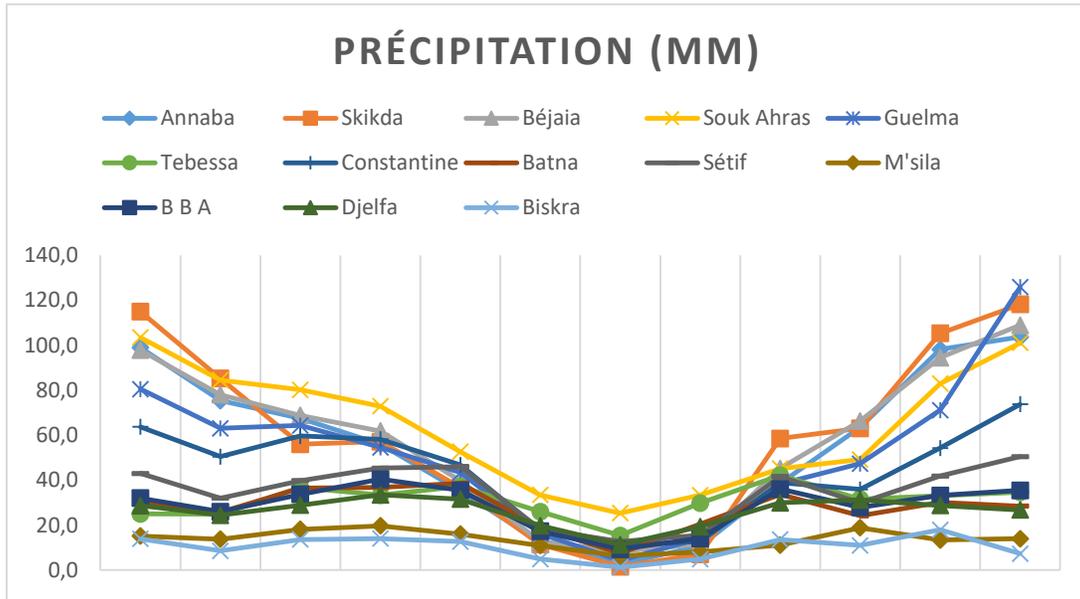


Figure 27 : La variation mensuelle des précipitations. Période (1976- 2022).

2. Résultat de l'analyse descriptive pour chaque station

Le résultat de l'analyse descriptive des données climatique ; précipitation, température maximale et la température minimale sont organisé station par station si dessous, afin de caractériser la variabilité spatiale de stations étudiées.

Station d'Annaba

Précipitations : Les précipitations varient tout au long de l'année, avec des valeurs plus élevées en hiver (janvier, février, décembre) et des valeurs plus faibles en été (juin, juillet, août). Cela suggère un schéma saisonnier avec des hivers plus humides et des étés plus secs.

Le mois de décembre présente la plus forte valeur de précipitations (103,63 mm), suivi de près par janvier (98,92 mm). Cela peut indiquer une saison hivernale relativement

Chapitre 4 : Résultats

pluvieuse à Annaba. Les mois de juin, juillet et août enregistrent les précipitations les plus faibles (respectivement 12,39 mm, 2,70 mm et 10,72 mm). Ce sont les mois d'été où les précipitations sont généralement moins abondantes.

Température maximale (TMax) : Les températures maximales augmentent progressivement au fil des mois, avec les valeurs les plus basses en janvier (16,41°C) et les valeurs les plus élevées en août (31,52°C).

On observe une augmentation significative des températures maximales à partir du mois de mars, culminant en été (juin, juillet, août). Cela suggère que la saison estivale à Annaba est caractérisée par des températures élevées.

Les mois d'octobre, novembre et décembre présentent une baisse des températures maximales, indiquant l'arrivée de l'automne et de l'hiver.

Température minimale (TMin) : Les températures minimales suivent une tendance similaire aux températures maximales, avec les valeurs les plus basses en janvier (7,01°C) et les valeurs les plus élevées en août (20,21°C). On observe une augmentation progressive des températures minimales à partir du mois de janvier jusqu'à l'été (juin, juillet, août). Les mois d'octobre, novembre et décembre montrent une baisse des températures minimales, indiquant le passage de l'automne à l'hiver.

Des analyses descriptives des données climatiques a permis d'évaluer le climat local à Annaba et comprendre les variations saisonnières des températures et des précipitations à Annaba. Sur la période 1976-2022, indiquant des hivers relativement pluvieux, des étés secs avec des températures maximales élevées, et une augmentation progressive des températures minimales au cours des mois jusqu'à l'été. Cette interprétation peut être utilisée pour. (fig 28).

Chapitre 4 : Résultats

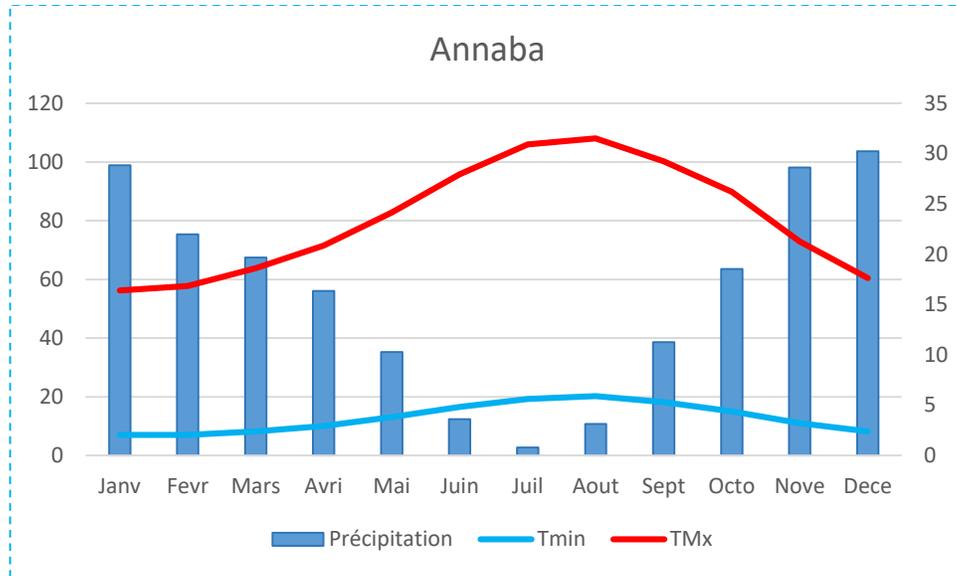


Figure 28 : donnée climatique de la station d'Annaba

Station de Skikda

Précipitations : Les précipitations moyennes mensuelles varient considérablement tout au long de l'année. Les mois les plus pluvieux sont janvier et décembre, avec des cumuls moyens de 114,9 mm et 118,2 mm respectivement. Les mois les plus secs sont juillet et août, avec des cumuls moyens très faibles de seulement 1,5 mm et 7,1 mm respectivement.

Températures maximales (TMax) : Les températures maximales moyennes augmentent progressivement du début de l'année jusqu'à atteindre leur maximum en juillet avec une moyenne de 28,8 °C. Les mois les plus froids sont janvier et février, avec des températures maximales moyennes de 16,5 °C et 16,8 °C respectivement.

Températures minimales (TMin) : Les températures minimales moyennes augmentent également progressivement du début de l'année jusqu'en août, atteignant leur maximum en août avec une moyenne de 22,5 °C. Les mois les plus frais sont janvier et février, avec des températures minimales moyennes de 9,0 °C et 9,0 °C respectivement.

Des analyses descriptives des données climatiques a permis d'évaluer le climat local de la station de Skikda qui connaît des précipitations importantes tout au long de l'année, avec des cumuls particulièrement élevés en janvier et décembre. Les températures augmentent

Chapitre 4 : Résultats

progressivement du début de l'année jusqu'en été, avec les mois de juillet et août étant les plus chauds (fig 29).

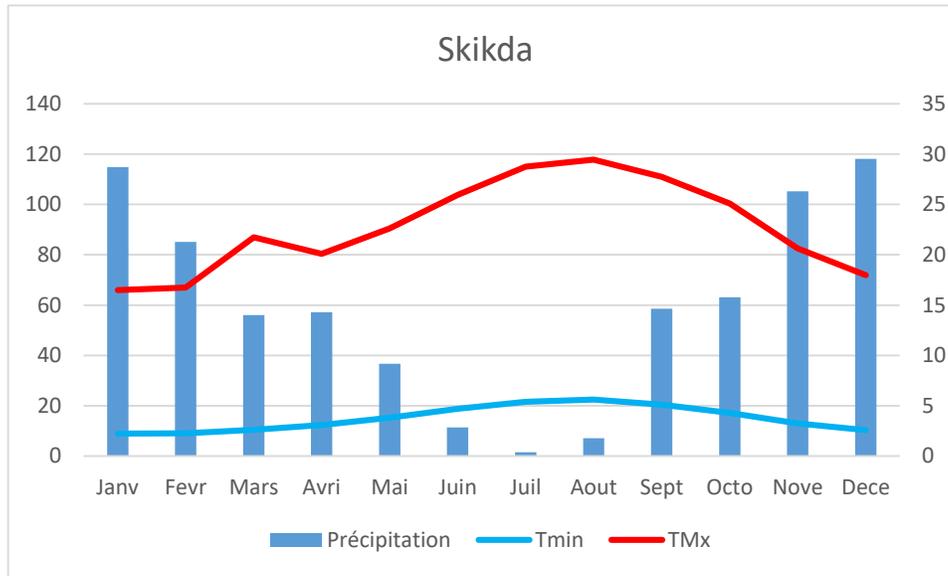


Figure 29 donnée climatique de la station de Skikda

Station de Bejaia

Précipitations : Les précipitations varient tout au long de l'année, avec des valeurs mensuelles moyennes allant de 8,28 mm en juillet à 108,90 mm en décembre. Les mois de décembre, novembre et janvier ont généralement les précipitations les plus élevées, indiquant une saison pluvieuse pendant cette période. Les mois de juin à août ont les précipitations les plus faibles, suggérant une saison sèche pendant l'été.

Température maximale (TMax) : Les températures maximales augmentent progressivement de janvier (16,72 °C) à août (30,30 °C), avec une tendance à la hausse pendant la période printemps-été. Les mois de juillet et août enregistrent les températures maximales les plus élevées, indiquant une saison estivale chaude.

Température minimale (TMin) : Les températures minimales suivent une tendance similaire aux températures maximales, avec une augmentation progressive de janvier (7,52 °C) à août (21,11 °C). Les mois de juillet et août enregistrent les températures minimales les plus élevées, suggérant des nuits chaudes pendant la saison estivale.

Chapitre 4 : Résultats

Les variations saisonnières des précipitations et des températures à Béjaïa (fig 30) ; La période hivernale (décembre à février) est caractérisée par des précipitations relativement élevées, tandis que l'été (juin à août) présente des précipitations plus faibles. Les températures maximales et minimales augmentent progressivement de l'hiver à l'été, avec des températures estivales chaudes. Ces informations peuvent être utilisées pour évaluer le régime climatique de Béjaïa et pour étudier les variations climatiques au fil des années.

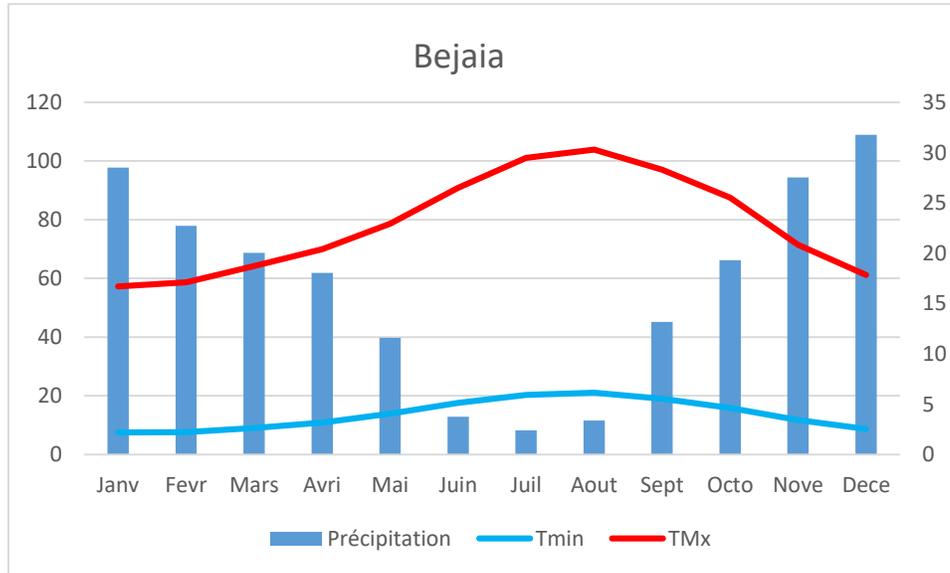


Figure 30 : donnée climatique de la station de Bejaia.

Station de Souk Ahras

Précipitations : La station de Souk Ahras enregistre une moyenne mensuelle des précipitations la plus élevée en janvier avec environ 103,5 mm, suivi de février avec environ 84,4 mm. Ces deux mois connaissent généralement des conditions plus humides. Les mois de juillet et août enregistrent les précipitations les plus faibles avec environ 25,3 mm et 33,3 mm respectivement. Ces mois sont généralement plus secs. Les autres mois présentent des niveaux de précipitations intermédiaires, avec des valeurs allant de 45,1 mm à 82,9 mm.

Température maximale (TMax) : Les températures maximales augmentent progressivement de janvier (11,6°C) à juin (29,1°C), atteignant leur maximum pendant

Chapitre 4 : Résultats

l'été. À partir de juillet, les températures maximales restent élevées, avec une moyenne mensuelle de 33,3°C pour les mois de juillet et août, puis diminuent progressivement jusqu'en décembre (12,8°C). Les mois de novembre et décembre présentent les températures maximales les plus basses.

Température minimale (TMin) : Les températures minimales suivent une tendance similaire aux températures maximales, mais avec des valeurs plus basses. Les mois de janvier et février enregistrent les températures minimales les plus froides, avec des moyennes mensuelles d'environ 3,6°C et 3,8°C respectivement. Les températures minimales augmentent progressivement jusqu'en juillet et août, atteignant une moyenne mensuelle d'environ 19,2°C, puis diminuent progressivement jusqu'en décembre (4,9°C).

des analyses descriptives des données climatiques a permis d'évaluer le climat local de Souk Ahras présente un régime de précipitations plus élevé pendant les mois d'hiver, avec un maximum en janvier, et des niveaux plus faibles pendant les mois d'été, avec un minimum en juillet et août. Les températures maximales sont plus élevées pendant les mois d'été, atteignant un maximum en juin, tandis que les températures minimales sont plus basses pendant les mois d'hiver, avec un minimum en janvier et février (fig 31).

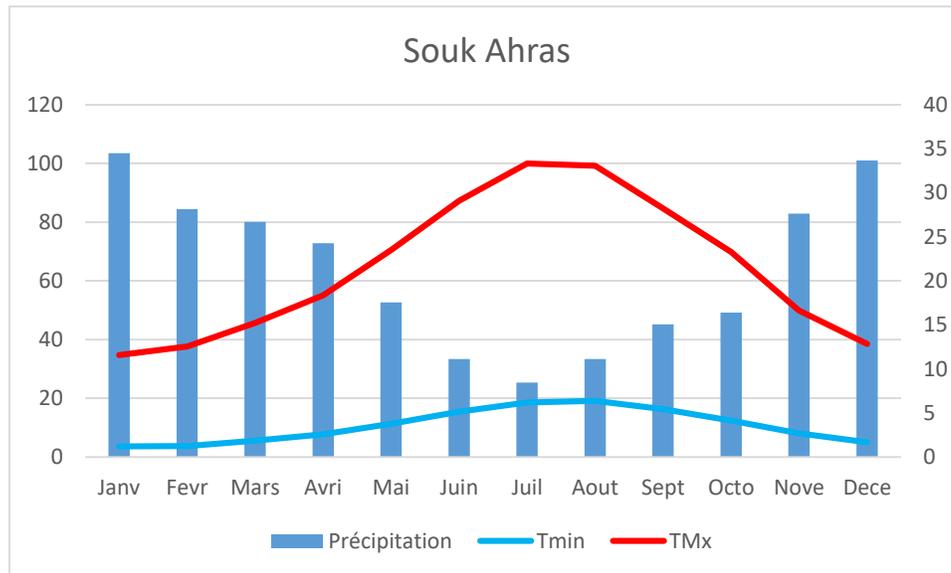


Figure 31 : donnée climatique de la station de souk Ahras.

Chapitre 4 : Résultats

Station de Tébessa

Précipitations : Les précipitations moyennes mensuelles varient tout au long de l'année, avec des valeurs comprises entre 15,38 mm en juillet et 42,15 mm en septembre. Les mois de mars, avril, mai et octobre présentent également des valeurs relativement élevées, dépassant les 30 mm.

Température maximale (TMax) : Les températures maximales moyennes augmentent progressivement du mois de janvier au mois d'août, avec un pic de 35,33°C en juillet. Ensuite, elles diminuent progressivement jusqu'au mois de décembre, où la moyenne atteint 13,48°C. Les mois d'août et juillet sont les plus chauds de l'année.

Température minimale (TMin) : Les températures minimales moyennes augmentent également progressivement de janvier à août, avec un pic de 18,13°C en août. Ensuite, elles diminuent légèrement jusqu'au mois de décembre, où la moyenne atteint 2,80°C. Les mois d'août et juillet enregistrent les températures minimales les plus élevées de l'année.

Des analyses descriptives des données climatiques a permis d'évaluer le climat local de La station de Tébessa connaît des précipitations relativement modérées tout au long de l'année, avec des pics au printemps et en automne. Les températures maximales augmentent progressivement de janvier à août, tandis que les températures minimales suivent une tendance similaire. Les mois d'août et juillet sont les plus chauds, tandis que décembre est le mois le plus frais (fig 32).

Chapitre 4 : Résultats

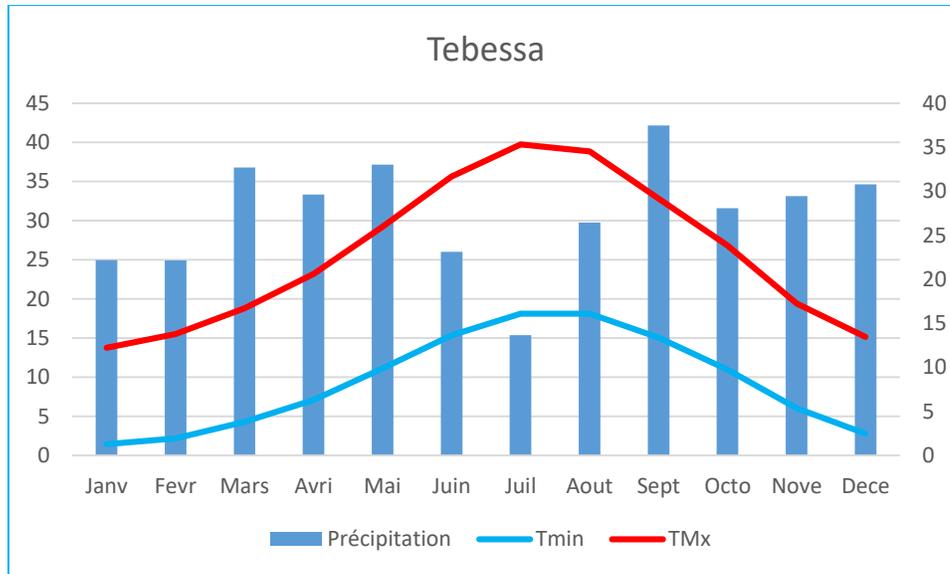


Figure 32 : donnée climatique de la station de Tébéssa.

Station de Guelma

Précipitations : Les précipitations moyennes sont les plus élevées en janvier (80,48 mm) et en décembre (125,80 mm), ce qui indique une tendance à une plus grande quantité de pluie pendant ces mois. Les mois de juin (16,20 mm) et de juillet (4,20 mm) enregistrent les précipitations les plus faibles, suggérant une saison sèche pendant cette période de l'année.

Température maximale (TMax) : Les températures maximales augmentent progressivement de janvier (15,82 °C) à juin (32,41 °C), atteignant leur maximum en juin. À partir de juillet, les températures maximales commencent à diminuer progressivement jusqu'en décembre (17,01 °C), indiquant une tendance à des températures plus fraîches pendant les mois d'hiver.

Température minimale (TMin) : Les températures minimales suivent une tendance similaire aux températures maximales, avec une augmentation progressive de janvier (4,80 °C) à juin (15,49 °C). À partir de juillet, les températures minimales diminuent lentement jusqu'en décembre (6,27 °C).

Des analyses descriptives des données climatiques a permis d'évaluer le climat local de la station de Guelma qui présente une saisonnalité marquée avec des variations significatives

Chapitre 4 : Résultats

des précipitations et des températures tout au long de l'année. Les mois de juin à août sont les plus chauds de l'année, avec des températures maximales dépassant 30 °C. Les mois de décembre à février sont les plus froids, avec des températures minimales inférieures à 10 °C. Les précipitations sont les plus abondantes en hiver, avec des pics en janvier et décembre, tandis que les mois d'été présentent des précipitations nettement plus faibles. Cette analyse des données climatiques de Guelma permet de mieux comprendre les variations saisonnières et d'évaluer l'influence du climat sur cette région (fig 33).

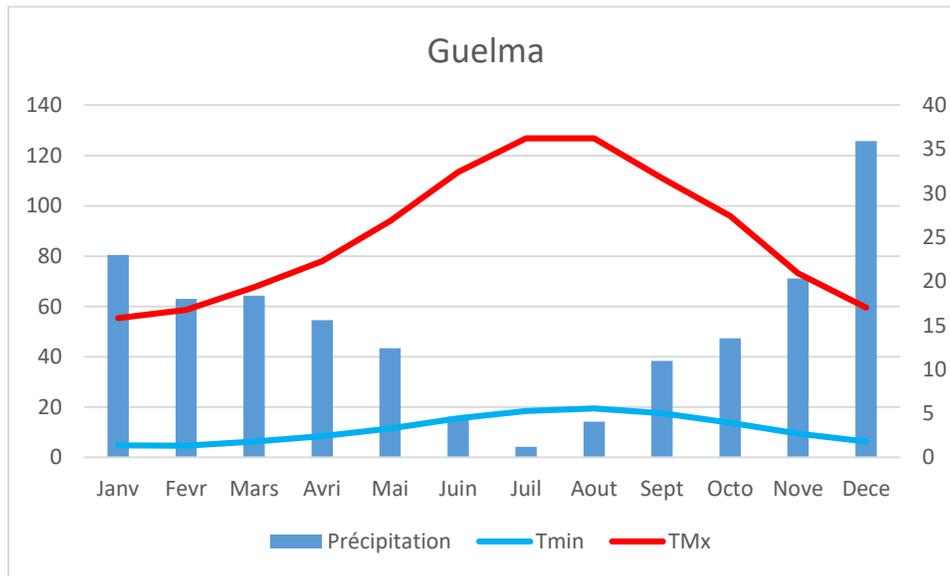


Figure 33 : donnée climatique de la station de Guelma.

Station de Constantine

Précipitations : Les précipitations moyennes mensuelles varient tout au long de l'année. Les mois les plus pluvieux sont janvier et décembre, avec des cumuls moyens de 63,7 mm et 73,7 mm respectivement. Les mois de juin et juillet enregistrent les plus faibles cumuls de précipitations, avec des moyennes de 17,7 mm et 11,1 mm.

Température maximale (TMax) : Les températures maximales moyennes augmentent progressivement de janvier à juillet, atteignant un maximum de 34,6 °C en juillet. Elles restent élevées pendant les mois d'été, puis diminuent légèrement à partir de septembre.

Chapitre 4 : Résultats

Les mois les plus frais sont janvier et février, avec des moyennes de 12,2 °C et 13,4 °C respectivement.

Température minimale (TMin) : Les températures minimales moyennes suivent une tendance similaire, augmentant progressivement de janvier à juillet, avec un maximum de 18,3 °C en juillet. Elles diminuent ensuite légèrement à partir de septembre. Les mois les plus froids sont janvier et février, avec des moyennes de 2,4 °C et 2,9 °C respectivement.

Des analyses descriptives des données climatiques a permis d'évaluer le climat local de la station de Constantine connaît des précipitations abondantes en hiver, avec des cumuls élevés en janvier et décembre. Les températures maximales atteignent leur maximum pendant les mois d'été, tandis que les températures minimales suivent une tendance similaire (fig 34).

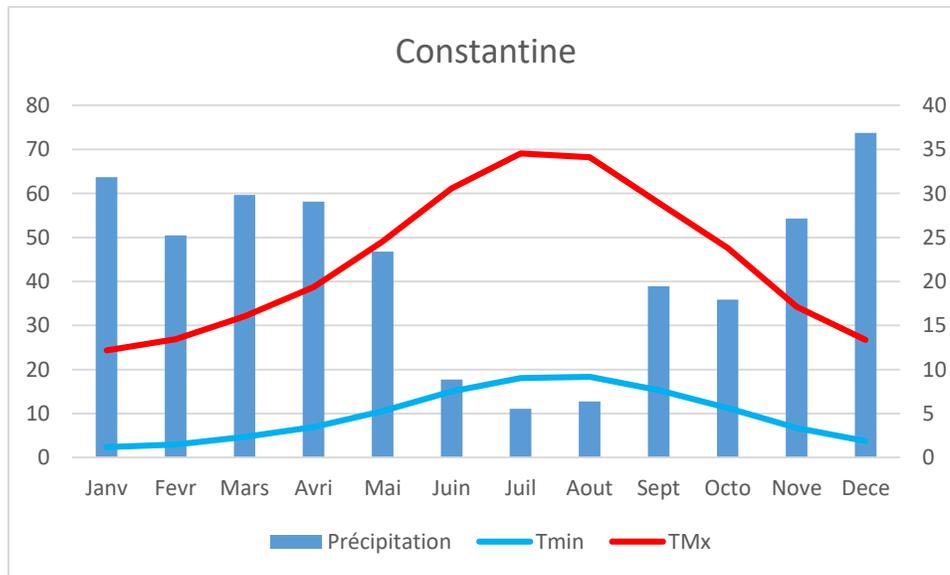


Figure 34 : donnée climatique de la station de Constantine.

Station de M'sila

Précipitations : Les précipitations moyennes mensuelles varient tout au long de l'année. Les mois les plus pluvieux sont mars et avril, avec des cumuls moyens de 18,1 mm et 19,7 mm respectivement. Les mois les plus secs sont juillet et août, avec des cumuls moyens de seulement 6,4 mm et 8,1 mm respectivement.

Chapitre 4 : Résultats

Température maximale (TMax) : Les températures maximales moyennes augmentent également au printemps et en été, atteignant leur maximum en juillet avec une moyenne de 39,1 °C. Les mois les plus frais sont janvier et février, avec des températures maximales moyennes de 14,6 °C et 15,5 °C respectivement.

Température minimale (TMin) : Les températures minimales moyennes augmentent progressivement au printemps et en été, atteignant leur maximum en juillet avec une moyenne de 24,3 °C. Les mois les plus froids sont janvier et février, avec des températures minimales moyennes de 3,2 °C et 4,6 °C respectivement.

Des analyses descriptives des données climatiques a permis d'évaluer le climat local de la station de M'sila connaît des précipitations modérées tout au long de l'année, avec des cumuls plus importants au printemps. Les températures minimales augmentent progressivement au printemps et en été, tandis que les températures maximales atteignent leur maximum pendant les mois d'été (fig 35).

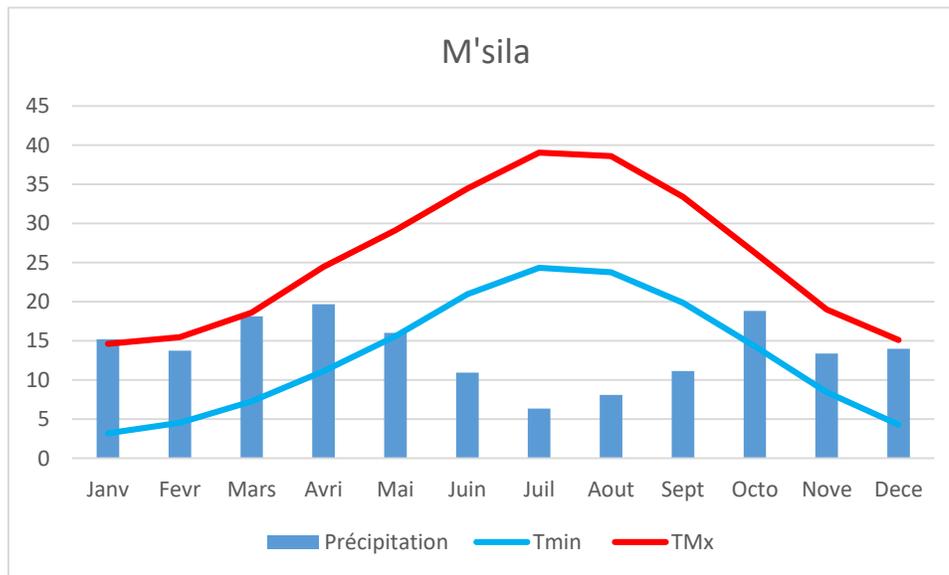


Figure 35 : donnée climatique de la station de M'sila.

Station de Batna

Précipitations : Les précipitations moyennes mensuelles varient tout au long de l'année, avec des valeurs comprises entre 7,5 mm en juillet et 38,7 mm en mai. Les mois de mars,

Chapitre 4 : Résultats

avril et septembre présentent également des valeurs relativement élevées, dépassant les 36 mm.

Température maximale (TMax) : Les températures maximales moyennes augmentent progressivement de janvier à août, avec un pic de 35,2°C en juillet. Ensuite, elles diminuent légèrement jusqu'au mois de décembre, où la moyenne atteint 12,6°C. Les mois de juillet et août sont les plus chauds de l'année.

Température minimale (TMin) : Les températures minimales moyennes augmentent également progressivement de janvier à août, avec un pic de 17,2°C en août. Ensuite, elles diminuent jusqu'au mois de décembre, où la moyenne atteint 1,5°C. Les mois d'août et juillet enregistrent les températures minimales les plus élevées de l'année.

Des analyses descriptives des données climatiques a permis d'évaluer le climat local de la station de Batna connaît des précipitations modérées tout au long de l'année, avec des pics au printemps et à l'automne. Les températures maximales augmentent progressivement de janvier à août, tandis que les températures minimales suivent une tendance similaire. Les mois de juillet et août sont les plus chauds, tandis que décembre est le mois le plus frais (fig 36).

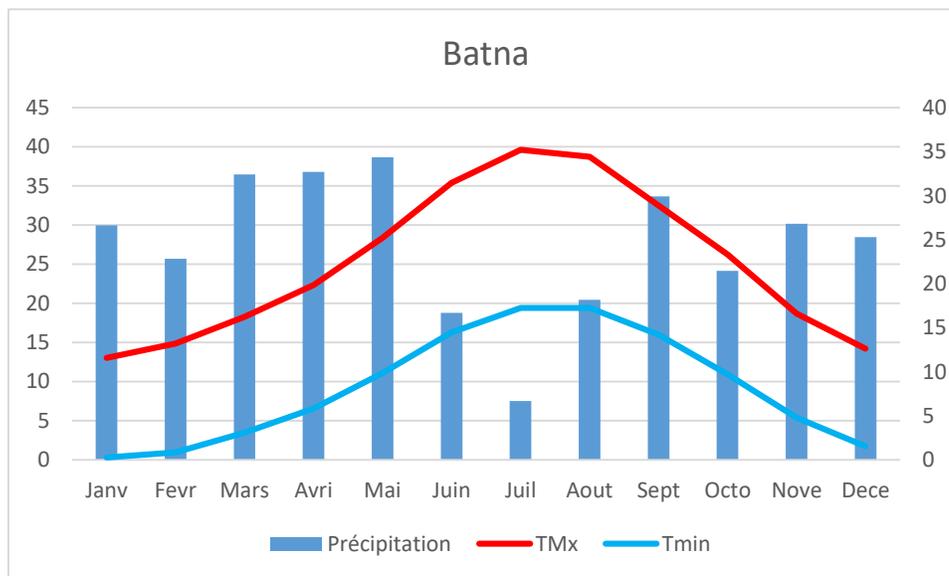


Figure 36 : donnée climatique de la station de Batna.

Chapitre 4 : Résultats

Station de Sétif

Précipitations : Les précipitations moyennes mensuelles varient tout au long de l'année, avec des valeurs comprises entre 12,8 mm en juillet et 50,5 mm en décembre. Les mois de décembre, mars, avril et mai présentent des cumuls de précipitations relativement élevés, dépassant les 40 mm

Température maximale (TMax) : Les températures maximales moyennes augmentent progressivement de janvier à août, avec un pic de 34,2°C en juillet. Ensuite, elles diminuent légèrement jusqu'au mois de décembre, où la moyenne atteint 13,7°C. Les mois de juin, juillet et août sont les plus chauds de l'année.

Température minimale (TMin) : Les températures minimales moyennes augmentent également progressivement de janvier à août, avec un pic de 18,8°C en juillet. Ensuite, elles diminuent jusqu'au mois de décembre, où la moyenne atteint 2,1°C. Les mois de juillet et août enregistrent les températures minimales les plus élevées de l'année.

Des analyses descriptives des données climatiques a permis d'évaluer le climat local de la station de Sétif connaît des précipitations modérées à élevées tout au long de l'année, avec des pics en hiver et au printemps. Les températures maximales augmentent progressivement de janvier à août, tandis que les températures minimales suivent une tendance similaire. Les mois d'été sont les plus chauds, tandis que les mois d'hiver sont les plus froids (fig 37).

Chapitre 4 : Résultats

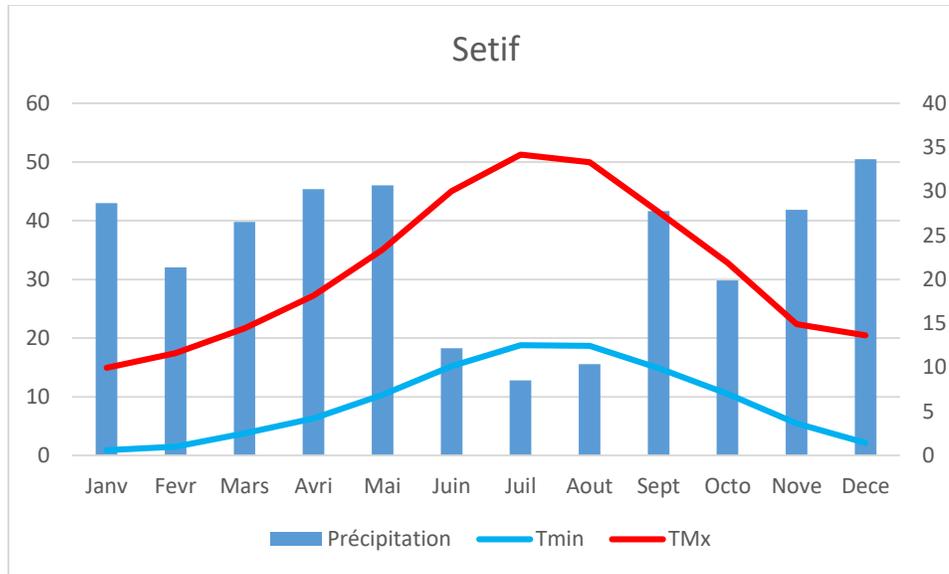


Figure 37 : donnée climatique de la station de Sétif.

Station de Bordj Bou Arreridj

Précipitations : Les précipitations moyennes mensuelles varient tout au long de l'année, avec des valeurs allant de 9,3 mm en juillet à 40,4 mm en avril. Les mois d'avril, mars et novembre présentent généralement des cumuls de précipitations plus élevés.

Température maximale (TMax) : Les températures maximales moyennes augmentent progressivement de janvier à août, avec un pic de 35,1 °C en juillet. Ensuite, elles diminuent légèrement jusqu'au mois de décembre, où la moyenne atteint 11,7 °C. Les mois d'été sont les plus chauds de l'année.

Température minimale (TMin) : Les températures minimales moyennes augmentent également progressivement de janvier à juillet, avec un pic de 19,7 °C en juillet. Ensuite, elles diminuent jusqu'au mois de décembre, où la moyenne atteint 3,2 °C. Les mois d'été enregistrent les températures minimales les plus élevées de l'année.

Des analyses descriptives des données climatiques a permis d'évaluer le climat local de la station de Bordj Bou Arreridj connaît des précipitations modérées à élevées, principalement pendant les mois de printemps et d'automne. Les températures maximales augmentent progressivement de janvier à août, tandis que les températures minimales

Chapitre 4 : Résultats

suivent une tendance similaire. Les mois d'été sont les plus chauds, tandis que les mois d'hiver sont les plus froids (fig 38).

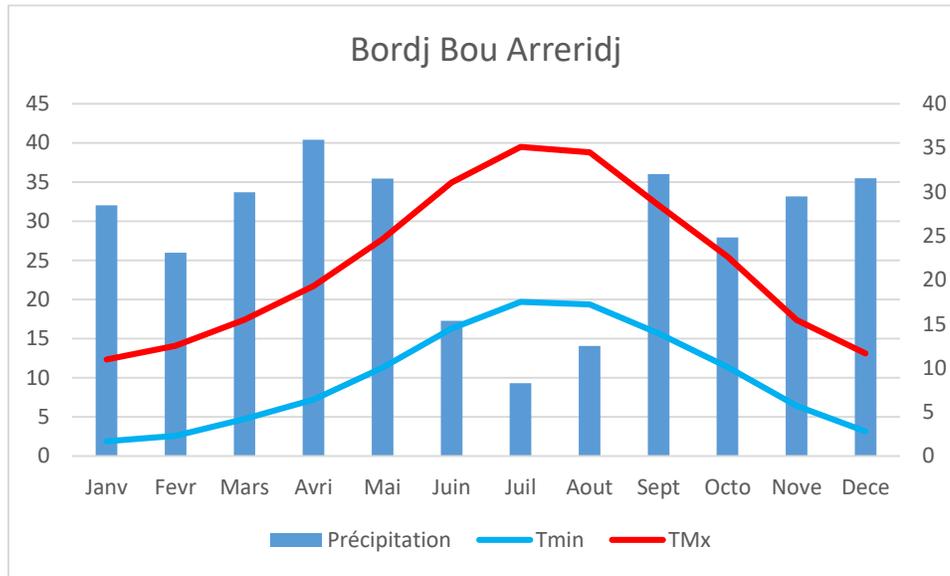


Figure 38 : donnée climatique de la station de Bordj Bou Arreridj.

Station de Djelfa

Précipitations : Les précipitations moyennes mensuelles varient tout au long de l'année, avec des valeurs allant de 11,3 mm en juillet à 33,5 mm en avril. Les mois d'avril, septembre et octobre ont généralement des cumuls de précipitations plus élevés.

Température maximale (TMax) : Les températures maximales moyennes augmentent progressivement de janvier à août, avec un pic de 34,2 °C en juillet. Ensuite, elles diminuent légèrement jusqu'au mois de décembre, où la moyenne atteint 10,8 °C. Les mois d'été sont les plus chauds de l'année.

Température minimale (TMin) : Les températures minimales moyennes augmentent également progressivement de janvier à juillet, avec un pic de 19,2 °C en juillet. Ensuite, elles diminuent jusqu'au mois de décembre, où la moyenne atteint 2,0 °C. Les mois d'été enregistrent les températures minimales les plus élevées de l'année.

Chapitre 4 : Résultats

Des analyses descriptives des données climatiques a permis d'évaluer le climat local de la station de Djelfa connaît des précipitations modérées tout au long de l'année, avec des pics pendant les mois de printemps et d'automne. Les températures maximales augmentent progressivement de janvier à août, tandis que les températures minimales suivent une tendance similaire. Les mois d'été sont les plus chauds, tandis que les mois d'hiver sont les plus froids (fig 39).

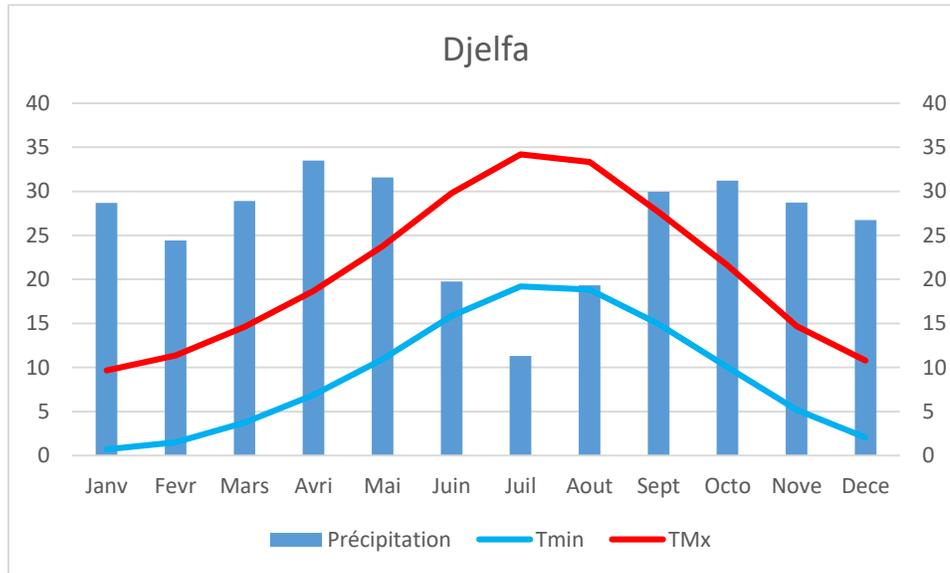


Figure 39 : donnée climatique de la station de Djelfa.

Station de Biskra

Précipitations : Les précipitations moyennes mensuelles varient considérablement tout au long de l'année. Les mois les plus secs sont janvier et février, avec des cumuls moyens de 15,8 mm et 25 mm respectivement. Les mois de novembre et décembre enregistrent les plus forts cumuls de précipitations, avec des moyennes de 116,6 mm et 124,3 mm.

Température maximale (TMax) : Les températures maximales moyennes augmentent régulièrement de janvier à juin, atteignant un pic de 37,2 °C en juin. Elles restent élevées pendant les mois d'été, puis diminuent progressivement à partir de septembre. Les mois les plus frais sont janvier et décembre, avec des moyennes de 16,9 °C et 17,8 °C respectivement.

Chapitre 4 : Résultats

Température minimale (TMin) : Les températures minimales moyennes suivent une tendance similaire, augmentant de janvier à juin, avec un pic de 27,8 °C en juin. Elles diminuent ensuite progressivement à partir de septembre. Les mois les plus froids sont janvier et février, avec des moyennes de 7,0 °C et 8,5 °C respectivement.

Des analyses descriptives des données climatiques a permis d'évaluer le climat local de la station de Biskra connaît des précipitations importantes pendant les mois de novembre et décembre, tandis que les mois de janvier et février sont plus secs. Les températures maximales atteignent leur maximum pendant les mois d'été, tandis que les températures minimales suivent une tendance similaire (fig 40).

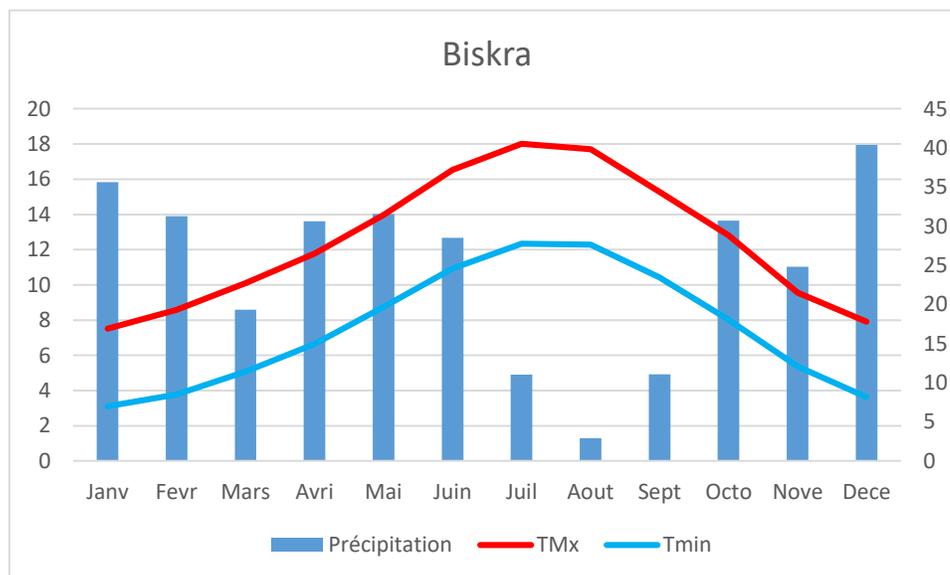


Figure 40 : donnée climatique de la station de Biskra.

3. Classification Héarchique Ascendante (CHA) des station étudiés

Les résultats de la Classification Héarchique Ascendante(CHA) des 13 stations étudiés selon les trois parametres pris en considération a savoir les précipitations, les température maximale et les températures minimale , sont décrites en desous.

Chapitre 4 : Résultats

3.1. Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les précipitations

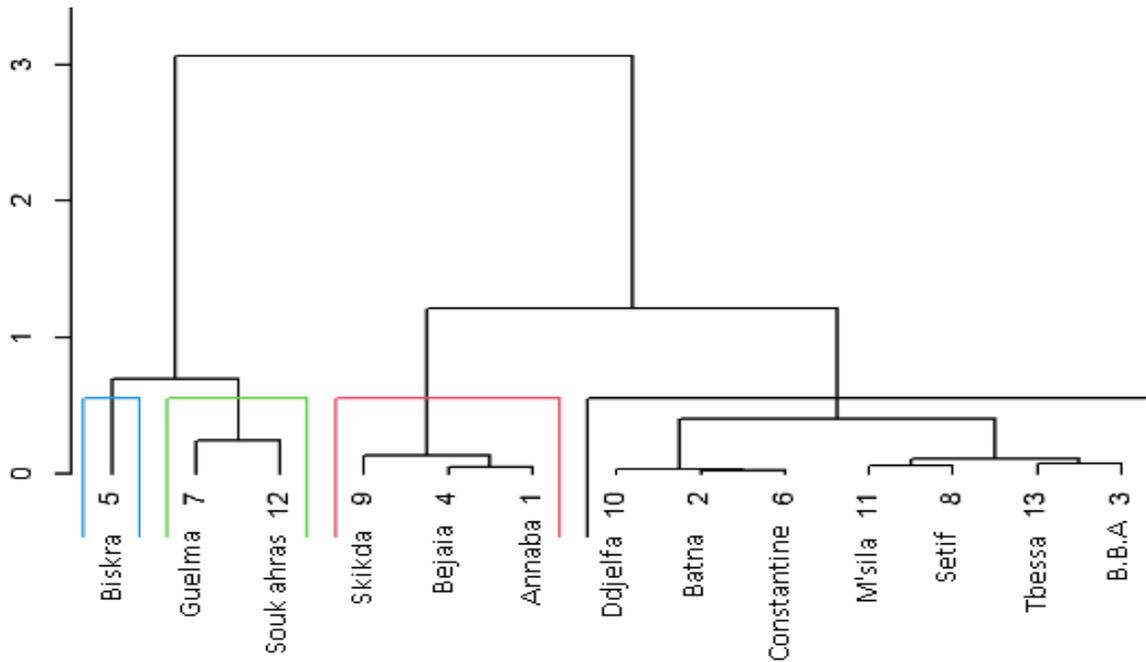


Figure 41 : Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les précipitations.

La Figure 41 illustre la classification hiérarchique des stations selon les précipitations reçues dans chacune des stations, elle regroupe les stations qui reçoivent la même tranche de précipitation, quatre classes ont été identifiées ;

La **classe 1** est composée des stations suivantes ; Djelfa, Batna, Constantine, M'Sila, Sétif, Tébessa et Bordj Bou Arreridj. Ce groupe de stations est caractérisé par :

- De faibles valeurs pour les mois Janvier, Novembre, Décembre, Février, Octobre, Mars et Avril (de la plus extrême à la moins extrême).

La **classe 2** est composée des stations suivantes ; Annaba, Skikda, Bejaia. Ce groupe est caractérisé par :

- De fortes valeurs pour les mois Décembre, Janvier et Nove (de la plus extrême à la moins extrême).

Chapitre 4 : Résultats

- De faibles valeurs pour les mois Juillet, Juin et Aout (de la plus extrême à la moins extrême).

La **classe 3** est composée des stations suivantes ; Guelma et Souk Ahras. Ce groupe est caractérisé par:

- De fortes valeurs pour la variable Septembre.

La **classe 4** représenté par la station de Biskra. Ce groupe est caractérisé par :

- De fortes valeurs pour les variables Mai, Avril, Sept, Juin, Aout, Mars et Octobre (de la plus extrême à la moins extrême).

3.2. Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les températures minimales

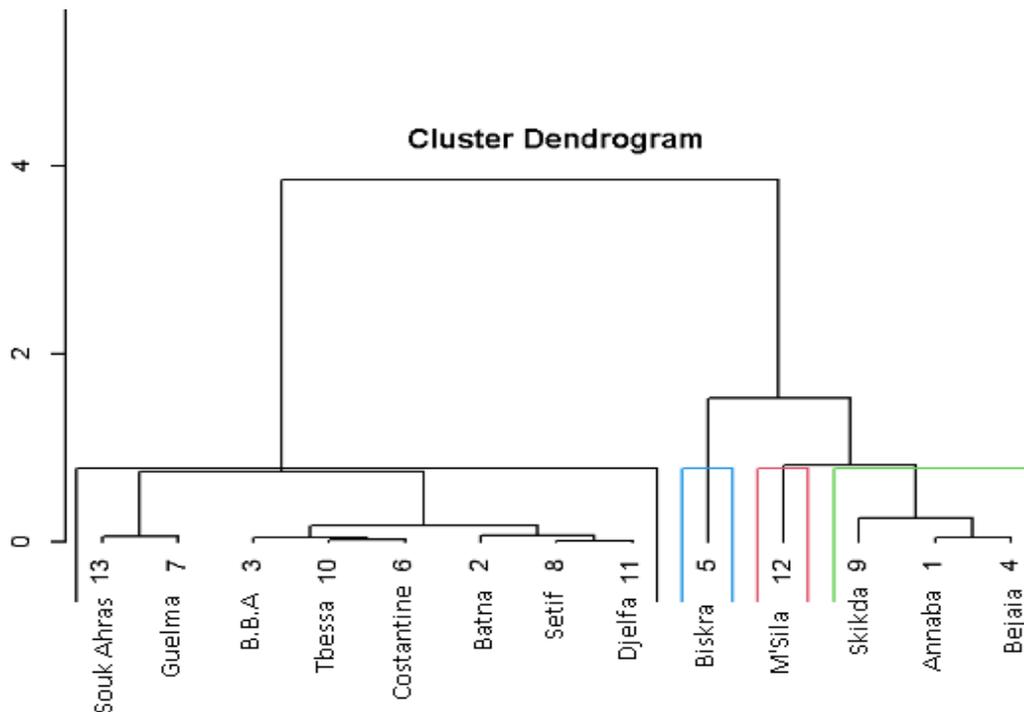


Figure 42 : Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les températures minimales.

Chapitre 4 : Résultats

Les résultats de la classification hiérarchique des stations selon les températures minimales enregistré au niveau de chacune des stations, regroupe les stations qui enregistre la même tranche température minimale, quatre classes ont été identifiés :

La **classe 1** est composée des stations suivantes : Batna, Sétif, Djelfa, Constantine, Tébessa et Bordj Bou Arreridj. Ce groupe est caractérisé par:

- De faibles valeurs pour des mois suivant : que Mars, Avril, Octobre, Février, Septembre, Novembre, Mai, Janvier, Décembre et Aout (de la plus extrême à la moins extrême).

La **classe 2** représenté par la station de M'Sila. Ce groupe est caractérisé par :

- des variables dont les valeurs ne diffèrent pas significativement de la moyenne.

La **classe 3** est composée de la station d'Annaba, la station de Skikda, la station de Bejaia. Ce groupe est caractérisé par:

- De fortes températures pour les mois : Janvier, Décembre, Novembre, Février, Mars et Octobre (de la plus extrême à la moins extrême).

La **classe 4** comprend uniquement la station de Biskra. Ce groupe est caractérisé par :

- De fortes température pour les variables Juin, Juillet, Aout, Mai, Septembre et Avril (de la plus extrême à la moins extrême).

Chapitre 4 : Résultats

3.3. Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les températures maximales

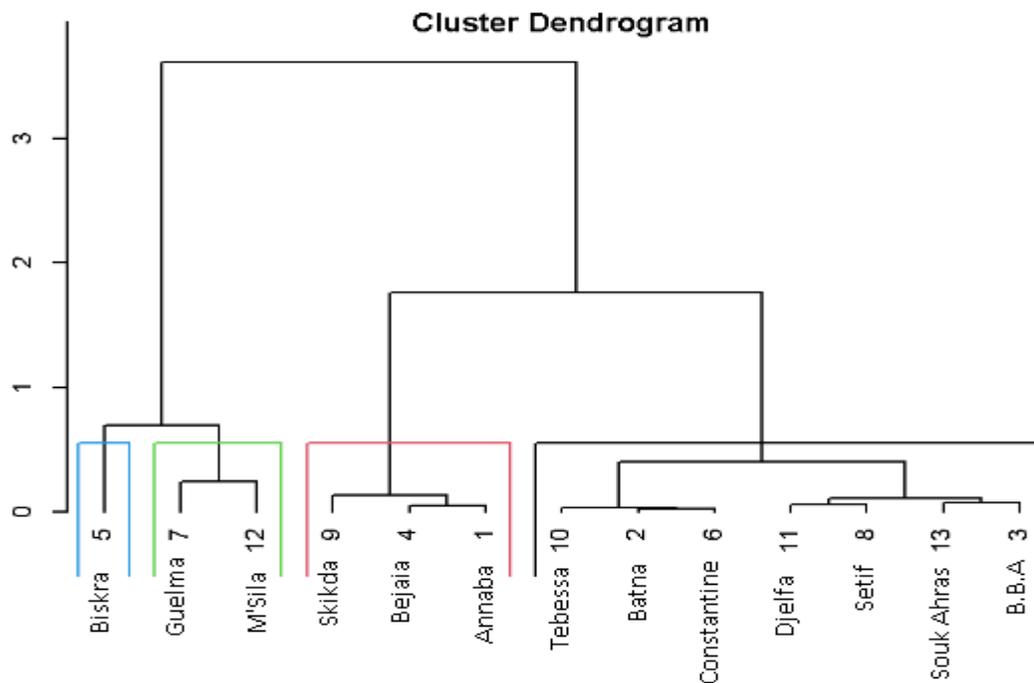


Figure 43 : Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les températures maximales.

Les résultats de la classification hiérarchique des stations selon les températures maximales enregistré au niveau de chacune des stations, regroupe les stations qui enregistre la même tranche température minimale, quatre classes ont été identifiés :

La **classe 1** est composée des stations suivantes : Batna, Sétif, Djelfa, Constantine, Souk Ahras, Tébessa et Bordj Bou Arreridj. Ce groupe est caractérisé par :

- De faibles valeurs pour les mois Janvier, Novembre, Décembre, Février, Octobre, Mars et Avril (de la plus extrême à la moins extrême).

La **classe 2** est composée des stations suivantes ; la station d'Annaba, la station de Skikda, la station de Béjaïa. Ce groupe est caractérisé par:

Chapitre 4 : Résultats

- De fortes valeurs pour les variables Décembre, Janvier et Novembre (de la plus extrême à la moins extrême).
- De faibles valeurs pour les variables Juillet, Juin et Aout (de la plus extrême à la moins extrême).

La **classe 3** est composée les stations de Guelma et la station de M'Sila. Ce groupe est caractérisé par:

- De fortes valeurs pour la variable Sept.

La **classe 4** comprend uniquement la station de Biskra. Cette dernière est caractérisé par :

- De fortes valeurs pour les variables Mai, Avril, Septembre, Juin, Aout, Mars et Octobre (de la plus extrême à la moins extrême).

La classification hiérarchique ascendante des stations météorologiques de l'est de l'Algérie a permis de diviser ces stations en quatre classes distinctes. La classe 1 est composée des stations de Batna, Sétif, Djelfa, Constantine, Tébessa et Bordj Bou Arreridj. La classe 2 est représentée uniquement par la station de M'Sila. La classe 3 comprend la station d'Annaba, la station de Skikda et la station de Béjaïa. Enfin, la classe 4 est composée uniquement de la station de Biskra.

4. L'Indice Standardisé de Précipitation (SPI)

L'Indice Standardisé de Précipitation permet de classer les années sèches et humides. Nous avons calculé le SPI annuel et saisonnier pour toutes les séries de données de la zone d'étude. Le SPI correspond à la différence entre la pluie de l'année et la pluie interannuelle par rapport à l'écart-type. L'analyse de graphes (fig 44) repose sur la classification du SPI. Les valeurs annuelles négatives indiquent une sécheresse et les valeurs positives montrent une situation humide. D'après les données recueillies, on observe que Bejaia, Batna, Constantine, Guelma, Sétif, Skikda sont principalement caractérisées par des conditions humides, mais connaissent également quelques années de sécheresse. En revanche, M'sila, Annaba, Bordj Bou Arreridj, Djelfa, Tébessa, Souk Ahras et Biskra sont principalement

Chapitre 4 : Résultats

marquées par des conditions sèches, avec toutefois quelques années de conditions humides. De 1976 à 1992, toutes les stations ont connu une série d'années allant de humides à très humides, à l'exception de la période de 1976 à 1978, qui a connu des années sèches, ainsi que les périodes de 1980 à 1981, 1981 à 1984 et 1992 à 2002, où une variation entre années sèches et années humides a été observée pour toutes les stations. La période entre 1992 et 1995 a été caractérisée par des conditions de sécheresse allant de sèches à très sèches dans la plupart des stations, suivie d'une période humide à très humide de 1995 à 1999. De l'année 2000 à 2002, des valeurs négatives ont été enregistrées, indiquant des périodes de sécheresse modérée à très sèche pour l'ensemble des stations. De 2002 à 2004, une période très humide a été observée, puis une sécheresse de quatre ans a été constatée dans la plupart des stations, jusqu'en 2022.

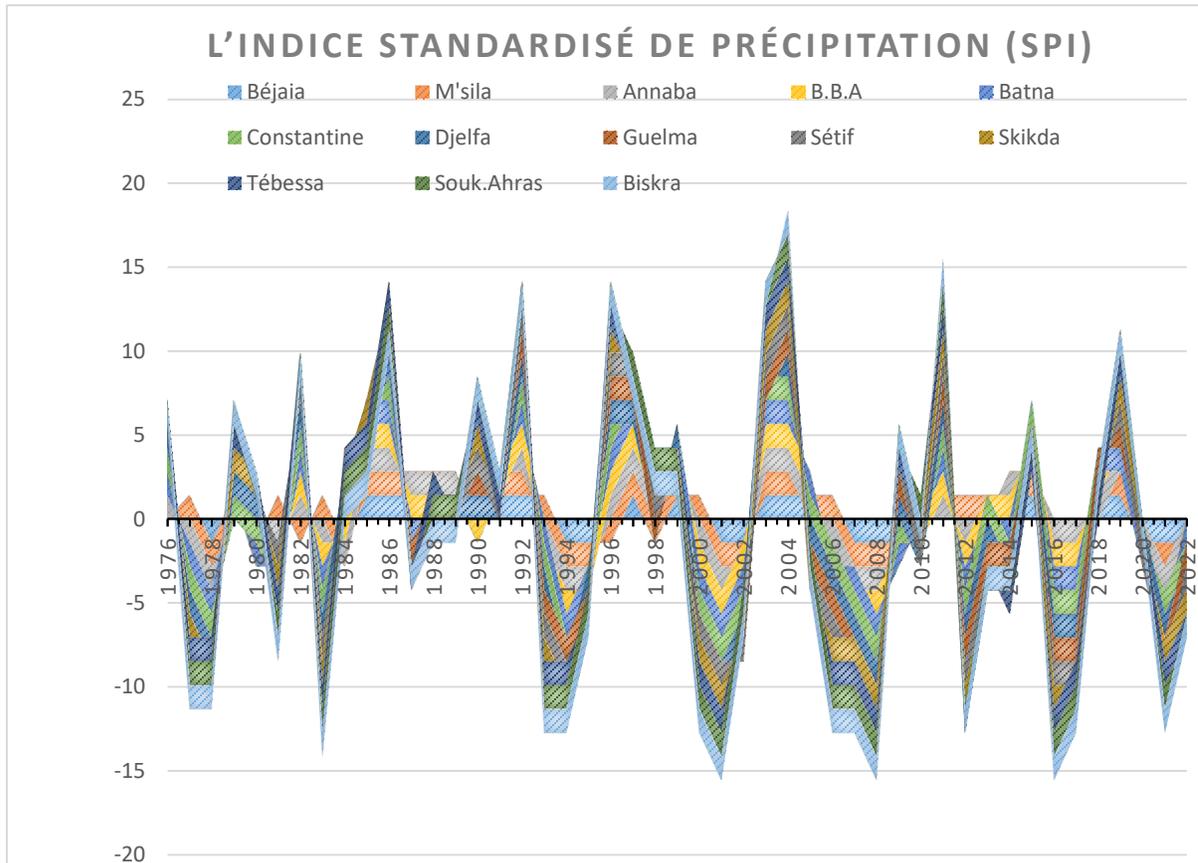


Figure 44 : Evolution de l'Indice Standardisé des Précipitations de treize stations sur la période 1976-2022.

Chapitre 4 : Résultats

5. Le test de Mann-Kendall

Le test de Mann-Kendall est un test non paramétrique utilisé afin de déterminer l'existence d'une tendance dans une série temporelle, les résultats du test de Mann-Kendall sont représentés au-dessous par paramètres étudiés, en évaluant les tendances pour trois niveaux temporels ; i) les mois, ii) les saisons et enfin iii) Année.

5.1 Analyse des résultats relatifs à la tendance des précipitations

Les résultats du test de Mann-Kendall pour les paramètres précipitation, illustrent les tendances pour trois niveaux temporels ; i) les mois, ii) les saisons et enfin iii) Année pour l'ensemble des stations.

Station d'Annaba

Pour les stations d'Annaba, seul le mois de juin présente une tendance de diminution significative des précipitations sur l'ensemble de la série (1976-2022), comme cela est illustré dans les figures 45 et 46.

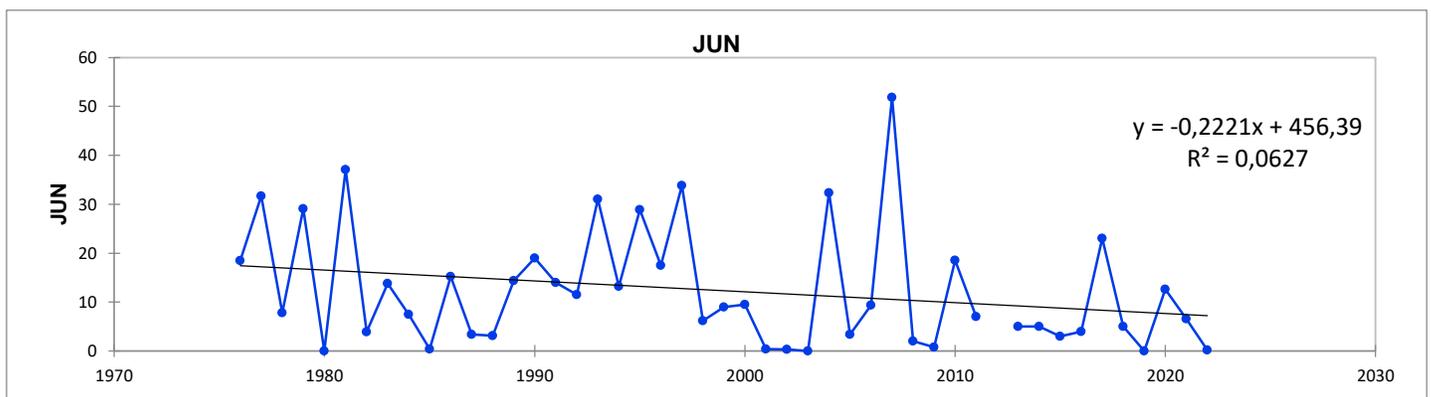


Figure 45 : tendance de Mann-Kendall pour le mois de juin pour les précipitations de la station d'Annaba (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

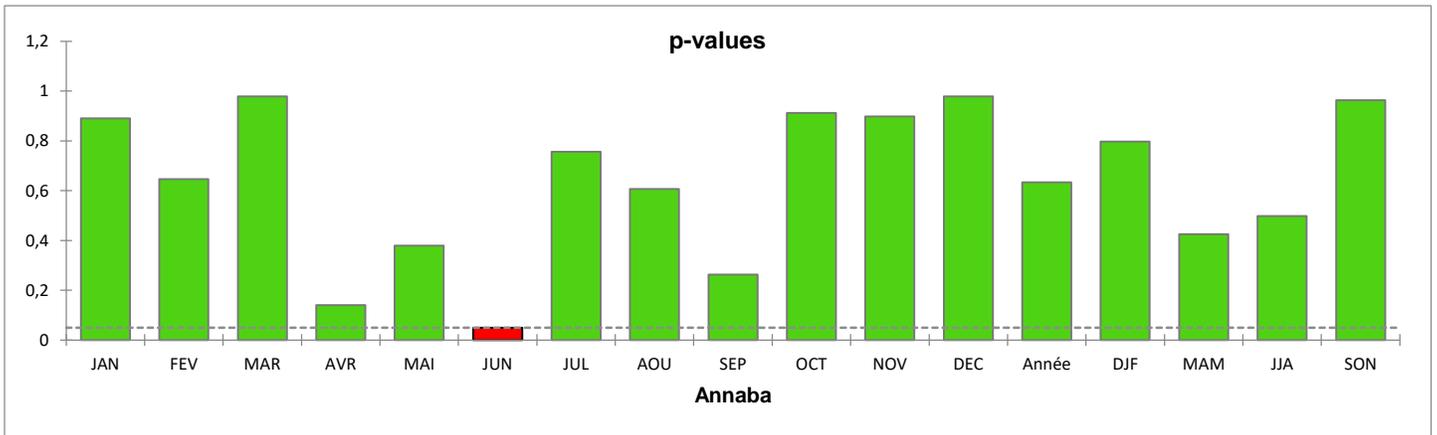


Figure 46 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station d'Annaba.

Station de Skikda

Pour la station de Skikda, les figures 47 et 48 montre que seul le mois d'avril a présenté une tendance de diminution significative des précipitations sur l'ensemble de la série (1976-2022).

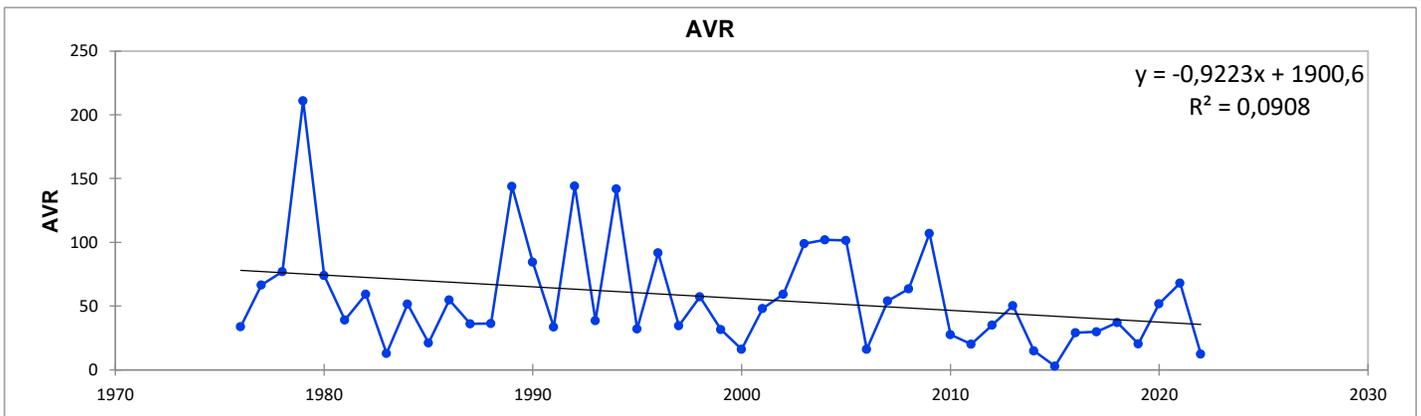


Figure 47 : tendance de Mann-Kendall pour le moins d'avril pour les précipitations de la station de Skikda (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

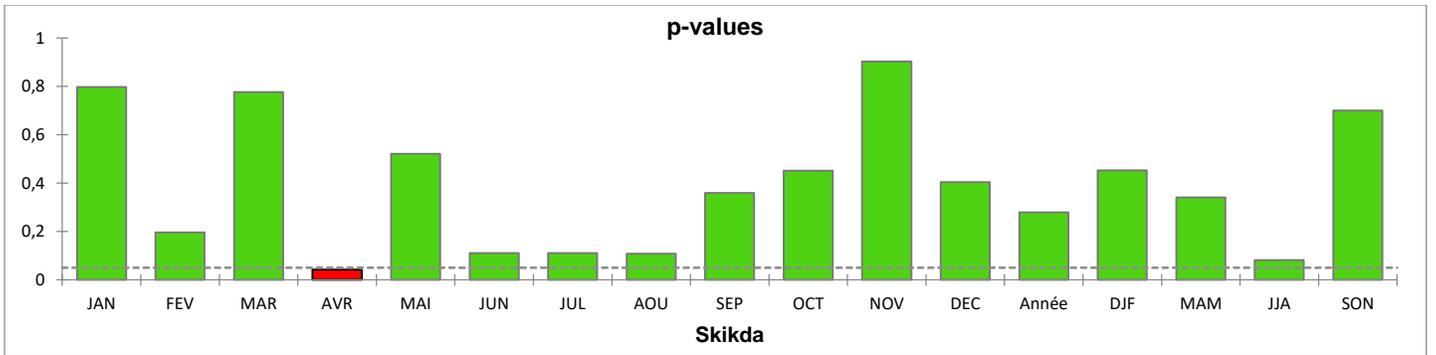


Figure 48 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Skikda.

Station de Béjaïa

La station de Béjaïa montre une tendance significative de diminution des précipitations pendant les mois d'avril, juillet et la saison printanière, à travers toute la période étudiée (1976-2022), comme le montre les figures 49 et 50.

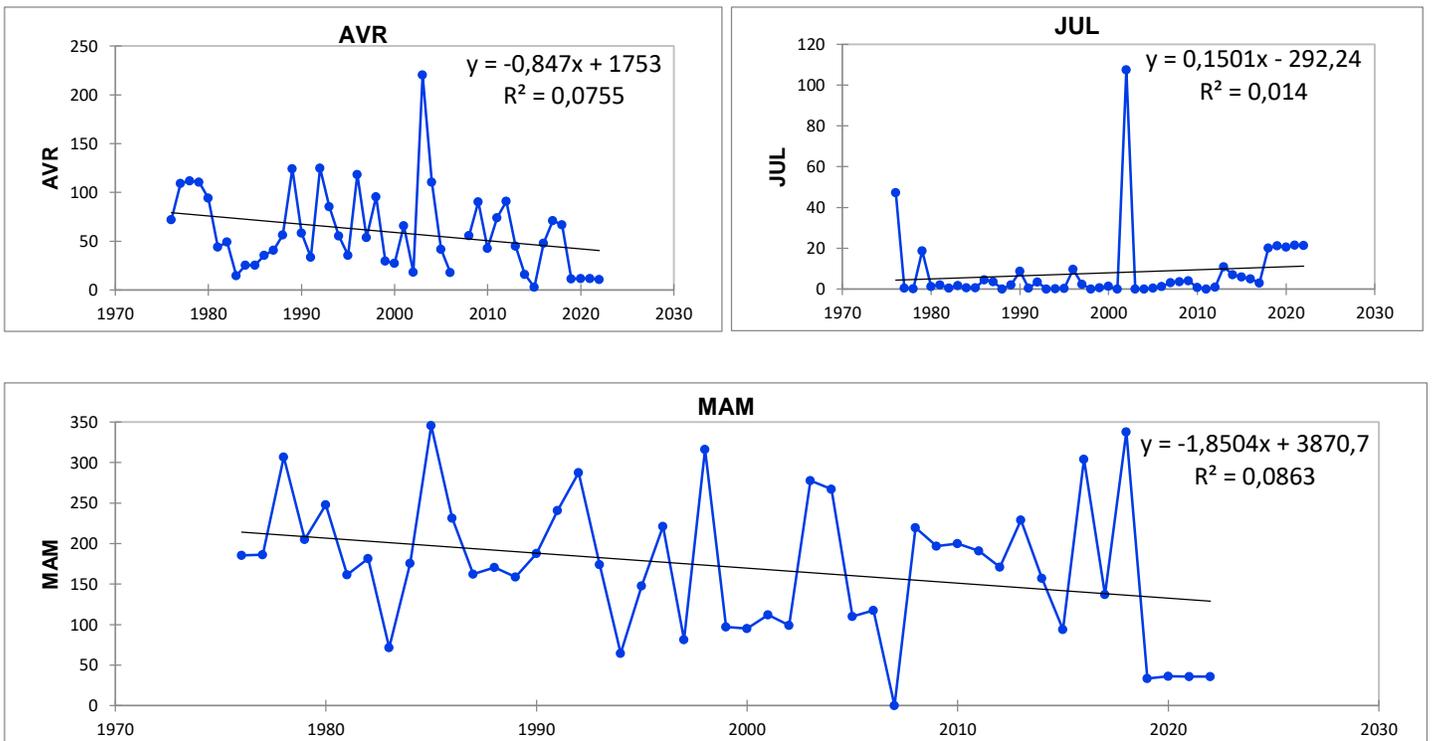


Figure 49 : tendance de Mann-Kendall pour le moins d'avril, juillet et MAM pour les précipitations de la station de Béjaïa (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

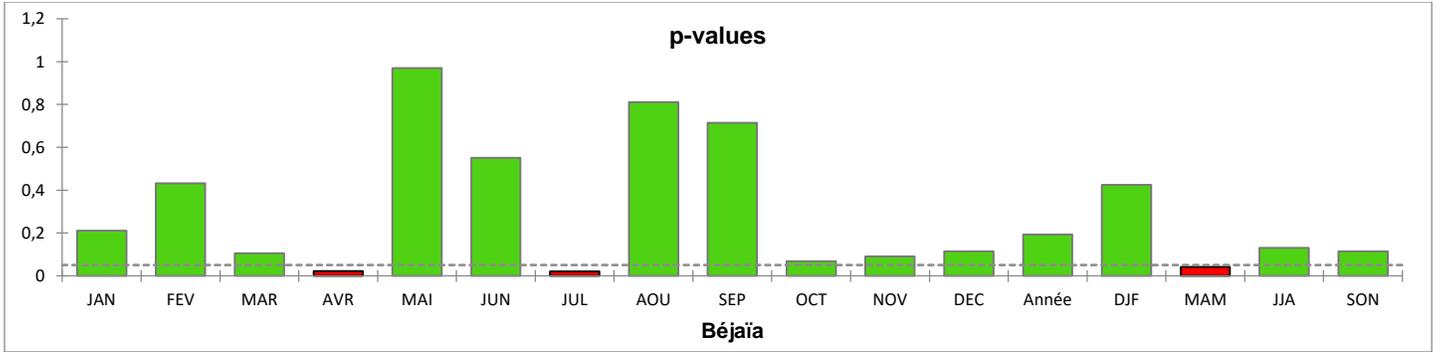


Figure 50 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Béjaïa.

Station de Souk Ahras

La station de Souk Ahras montre une tendance significative de diminution des précipitations pendant le mois de juillet et la saison estivale, et une tendance significative d'augmentation des précipitations pendant le mois de janvier et la saison hivernale à travers toute la période étudiée (1976-2022), comme le montre les figures 51 et 52.

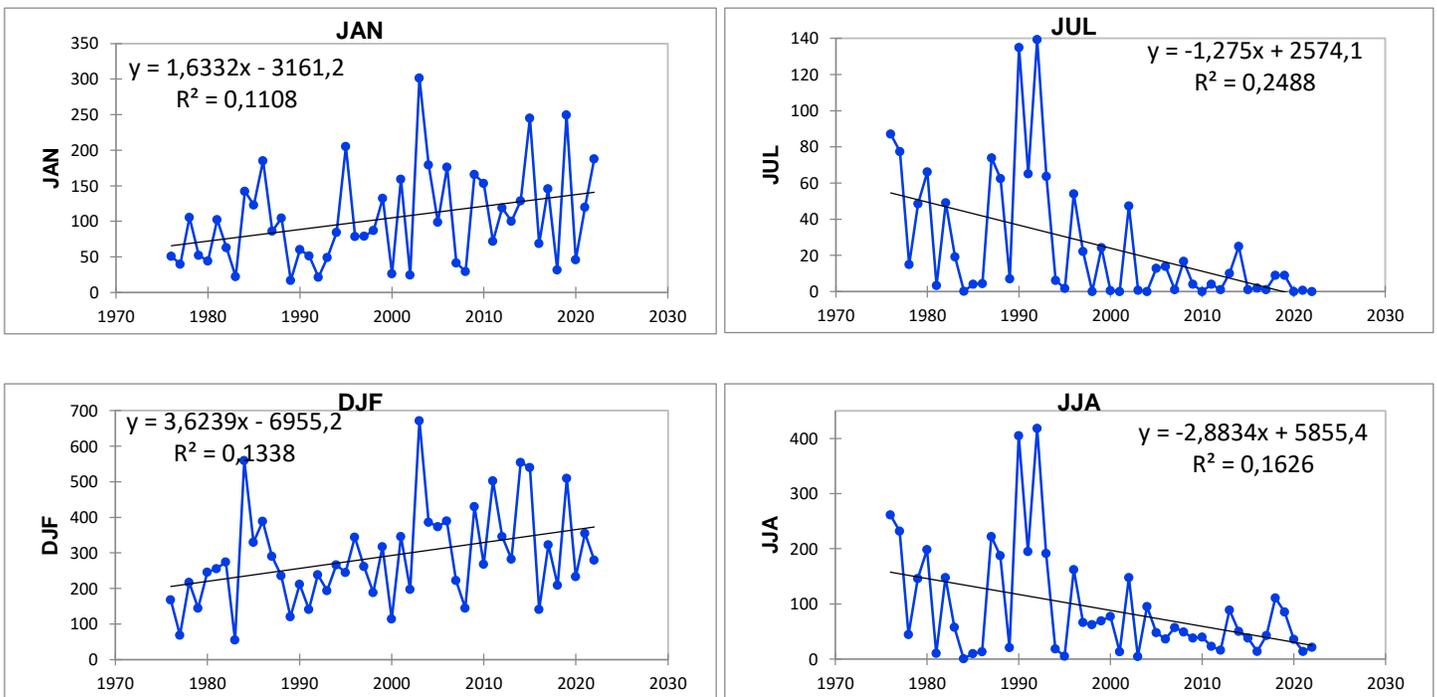


Figure 51 : tendance de Mann-Kendall pour le moins janvier, juillet, DJF, JJA pour les précipitations de la station de Souk Ahras (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

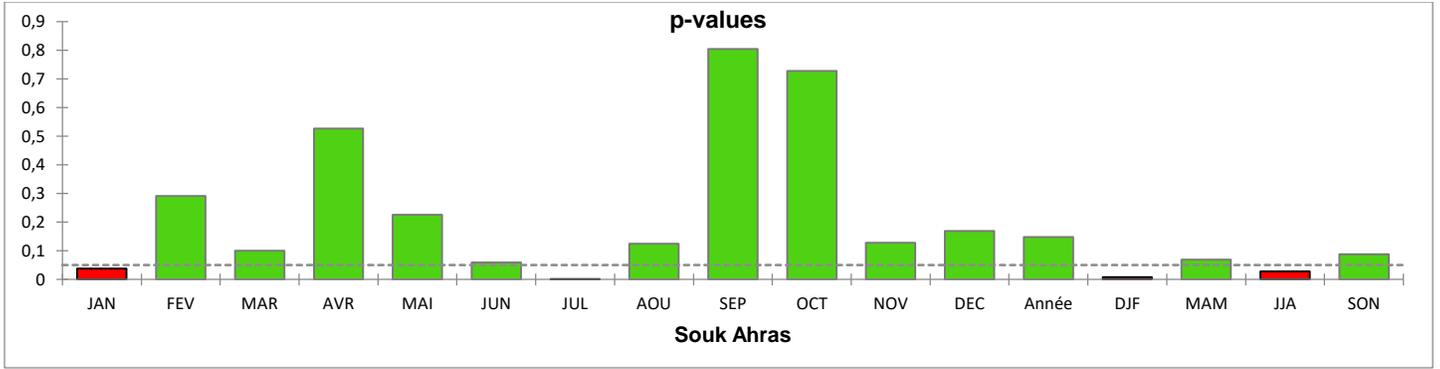


Figure 52 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Souk Ahras.

Station de Batna

Pour la station de Batna, il est observable dans les figures 53, 54 que seul le mois de juillet a présenté une tendance significative à travers toute la période étudiée (1976-2022).

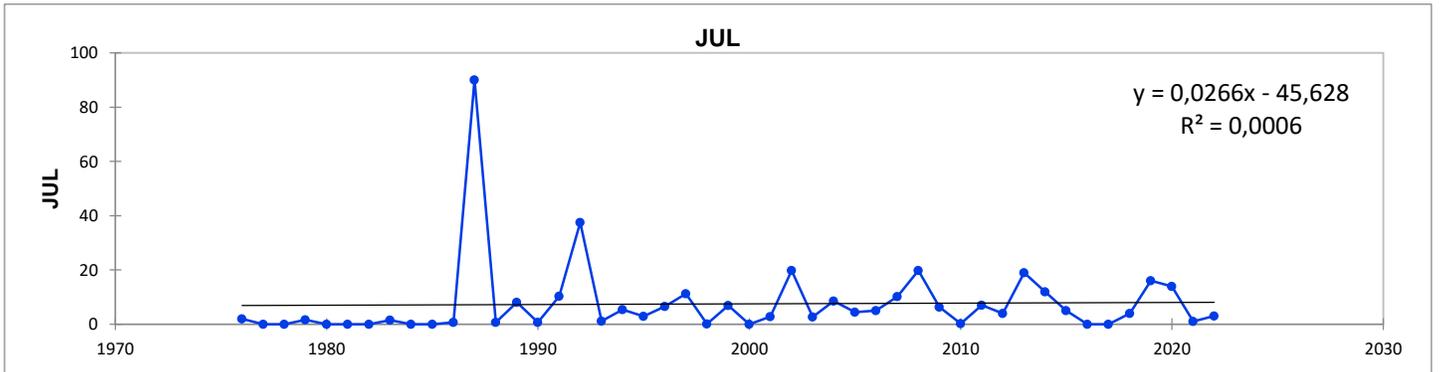


Figure 53 : tendance de Mann-Kendall pour le moins juillet pour les précipitations de la station de Batna (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

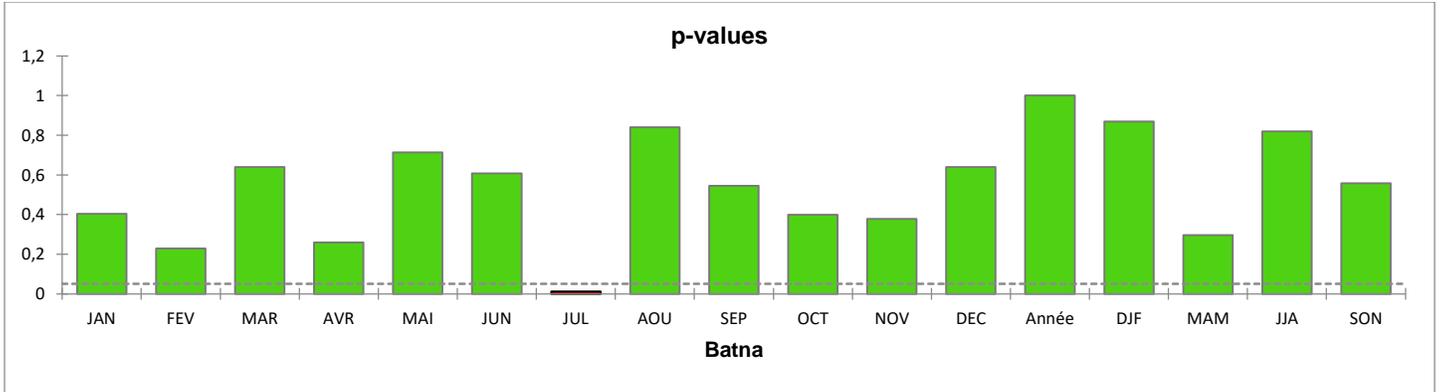


Figure 54 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Batna.

Station de Bordj Bou Arreridj

La figure 55 ainsi que 56 met en évidence une variation saisonnière significative pendant la période hivernale pour la station de Bordj Bou Arreridj à travers toute la période étudiée (1976-2022).

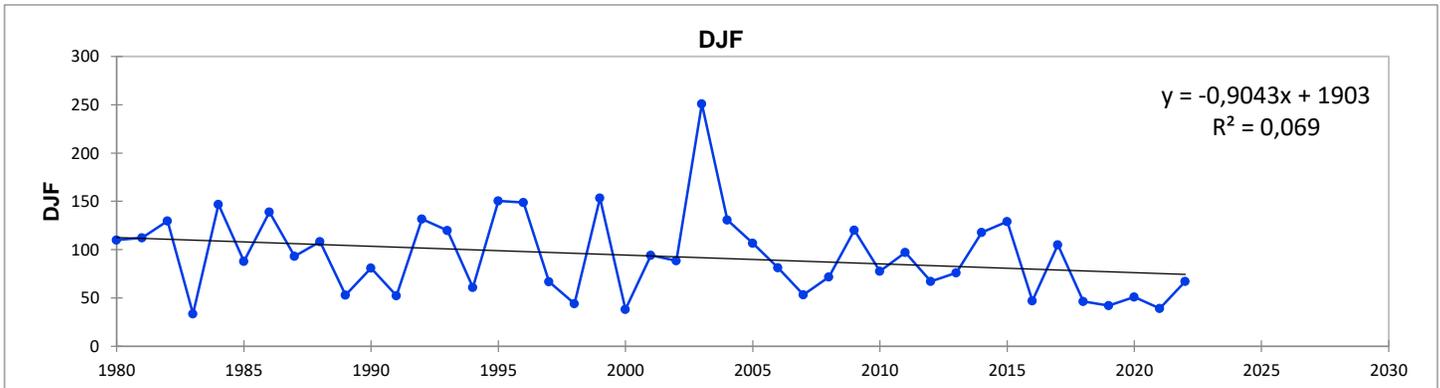


Figure 55 : tendance de Mann-Kendall pour le saison DJF pour les précipitations de la station de Bordj Bou Arreridj (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

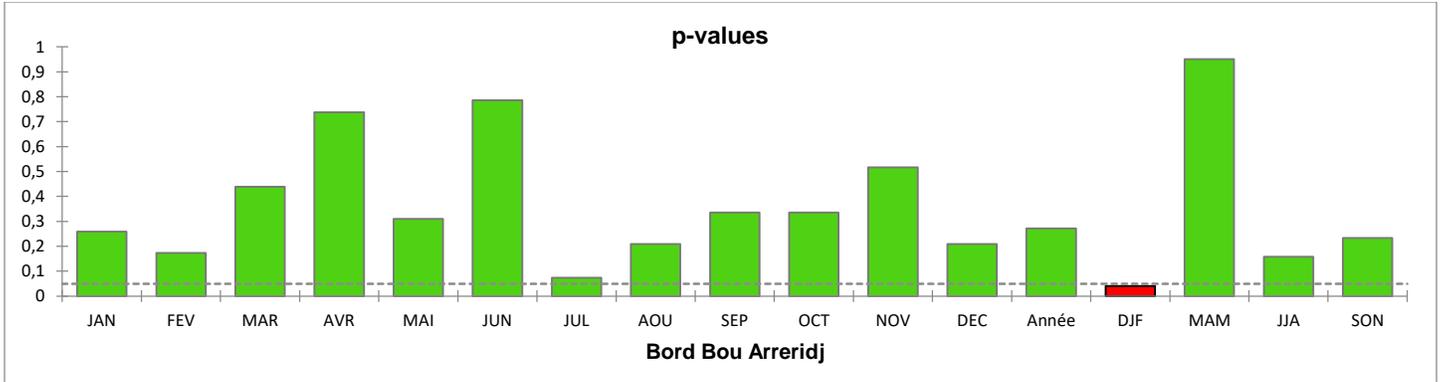


Figure 56 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Bordj Bou Arreridj.

Station de M'sila

Les figures 57, 58 illustre que pour la station de M'sila, les mois de juillet, août et la saison estivale présentent une tendance significative d'augmentation des précipitations à travers toute la période étudiée (1976-2022).

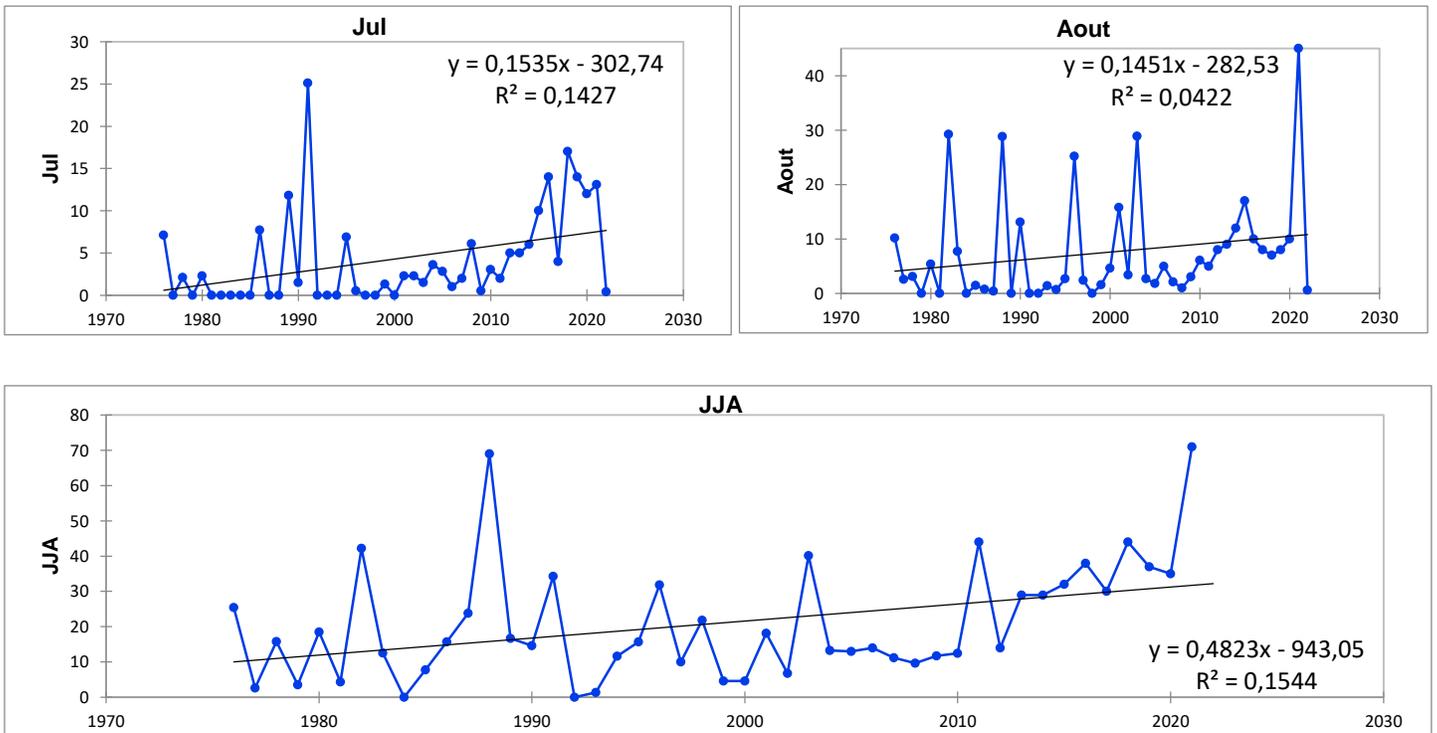


Figure 57 : tendance de Mann-Kendall pour le mois juillet, aout et la saison JJA pour les précipitations de la station de M'sila (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

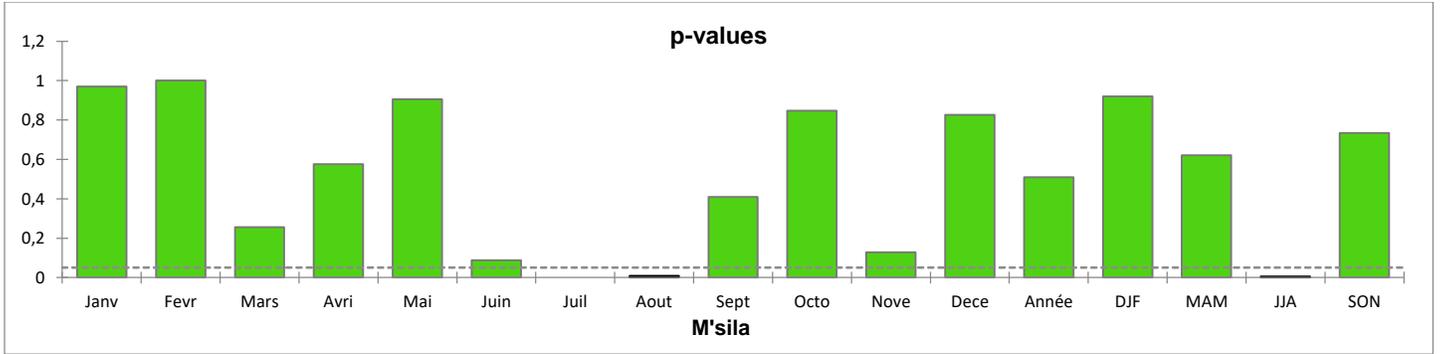


Figure 58 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de M'sila.

Station de Djelfa

Concernant la station de Djelfa, les figures 59 et 60 met en évidence que le mois d'avril montre une tendance significative d'augmentation des précipitations à travers toute la période étudiée (1976-2022), tandis que les mois de novembre et décembre indiquent une tendance significative de diminution. De plus, il existe une variance augmentative annuelle et saisonnière significative pendant la saison hivernale.

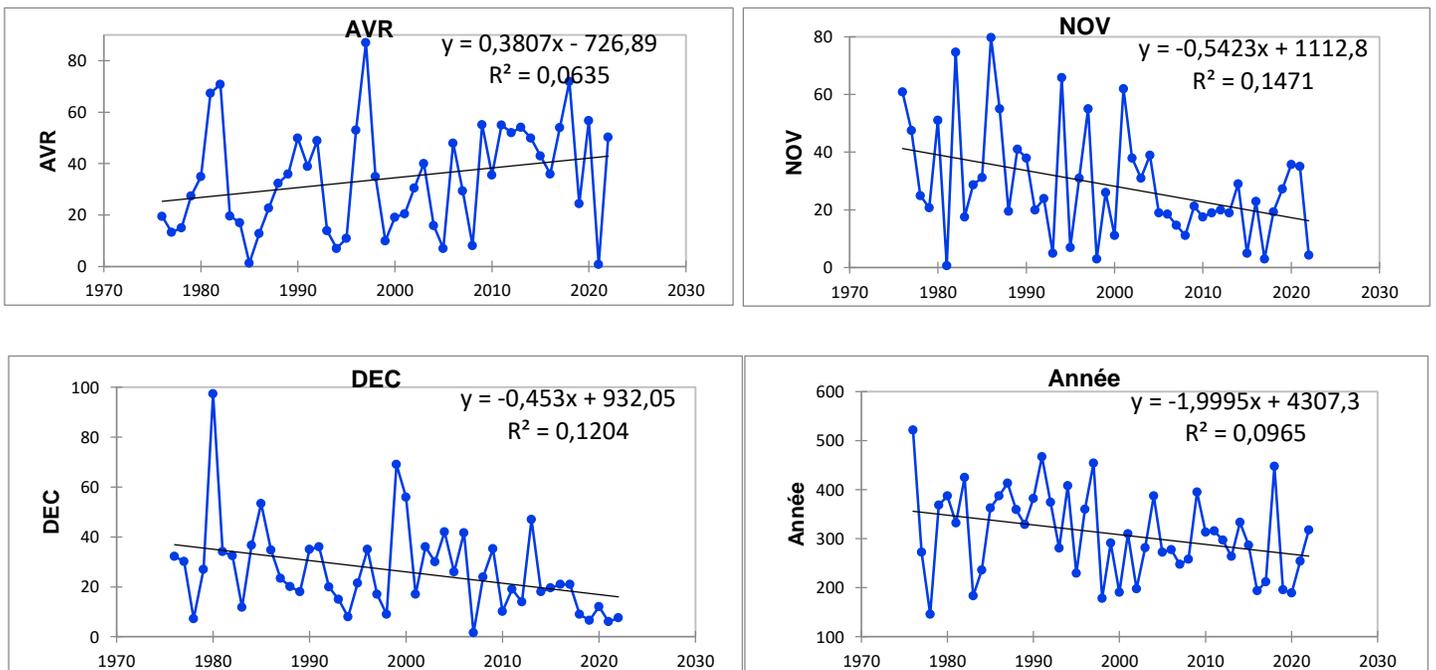


Figure 59 : tendance de Mann-Kendall pour le mois avril, novembre, décembre pour les précipitations de la station de Djelfa (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

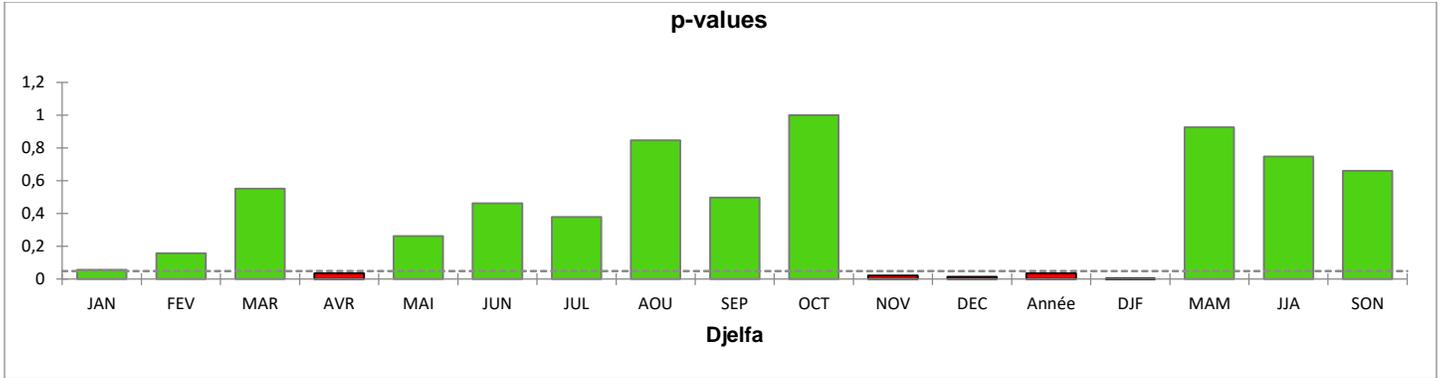


Figure 60 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Djelfa.

Station de Biskra

Pour les stations de Biskra, seul le mois de septembre a présenté une tendance d'augmentation significative des précipitations sur l'ensemble de la série (1976-2022), comme cela est illustré dans les figure 61 et 62.

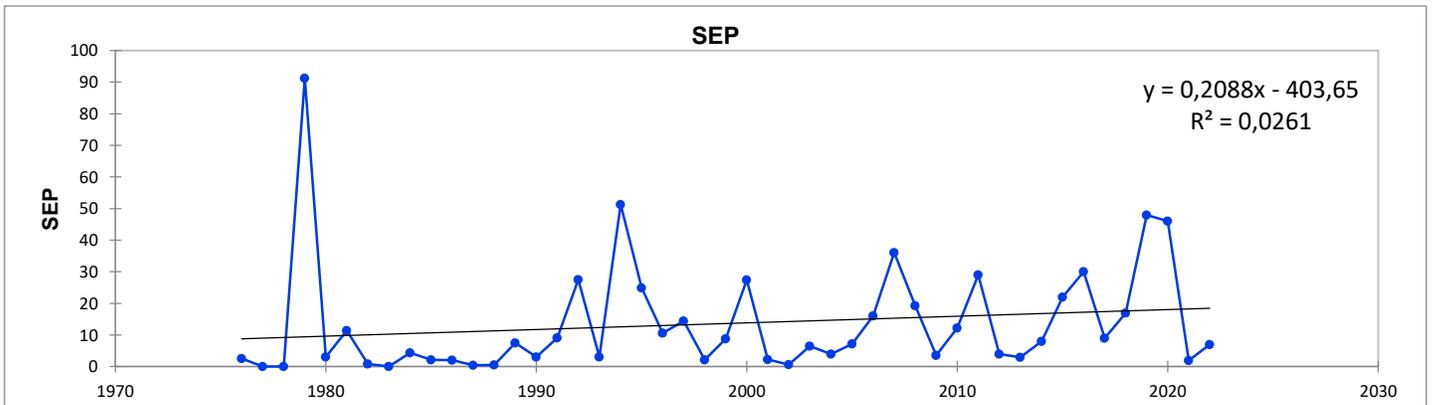


Figure 61 : tendances de Mann-Kendall pour le mois septembre pour les précipitations de la station de Biskra (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

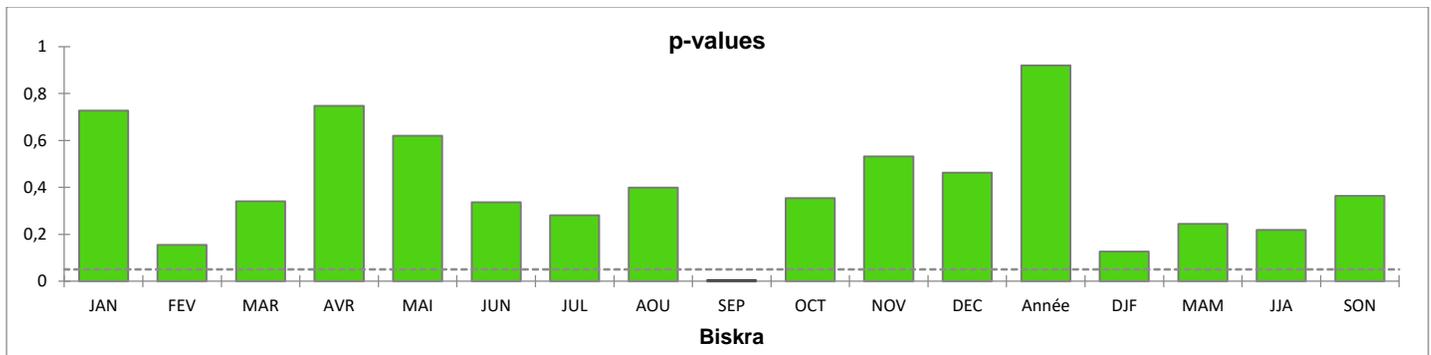


Figure 62 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les précipitations de la station de Biskra.

Ces résultats indiquent des modèles distincts dans les tendances des précipitations pour différentes régions et périodes de l'année. Les analyses des tendances des précipitations indiquent effectivement que seules les stations d'Annaba, Skikda, Béjaia, Souk Ahras, Batna, Bordj Bou Arreridj, M'sila, Djelfa et Biskra ont présenté des tendances significatives pour la période allant de 1976 à 2022. Ces tendances peuvent être attribuées à la variabilité annuelle des précipitations ainsi qu'à la variabilité spatiale influencée par des facteurs tels que l'altitude des stations, l'exposition aux masses d'air et l'influence maritime sur ce phénomène.

5.2 Analyse des résultats relatifs à la tendance des températures maximale

Les analyses des tendances des températures maximales indiquent que toutes les stations, à l'exception de Souk Ahras, présentent une tendance significative pour la période allant de 1976 à 2022. Ces tendances peuvent être attribuées à la variabilité annuelle des températures ainsi qu'à la variabilité spatiale influencée par des facteurs tels que l'altitude des stations, l'exposition aux masses d'air et l'influence maritime sur ce phénomène.

Station d'Annaba

Les figure 63 et 64 indiquent que la station d'Annaba a montré une variation mensuelle et saisonnière significative pour les mois d'avril, juin, juillet et août, ainsi que pour la saison printanière et estivale dans son ensemble.

Chapitre 4 : Résultats

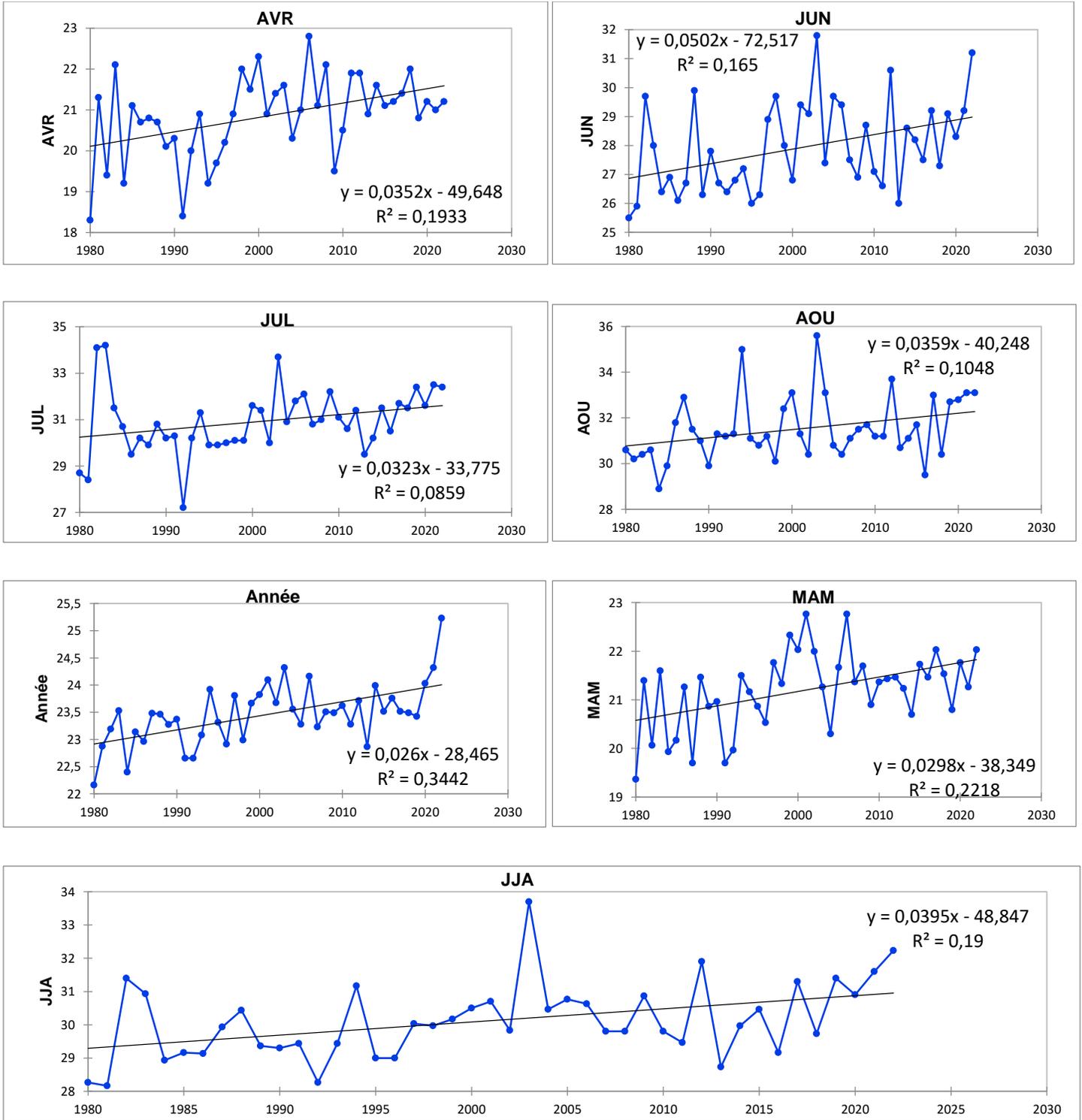


Figure 63 : tendance de Mann-Kendall pour le mois avril, juin, aout, année, MAM, JJA pour les températures maximales de la station d'Annaba (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

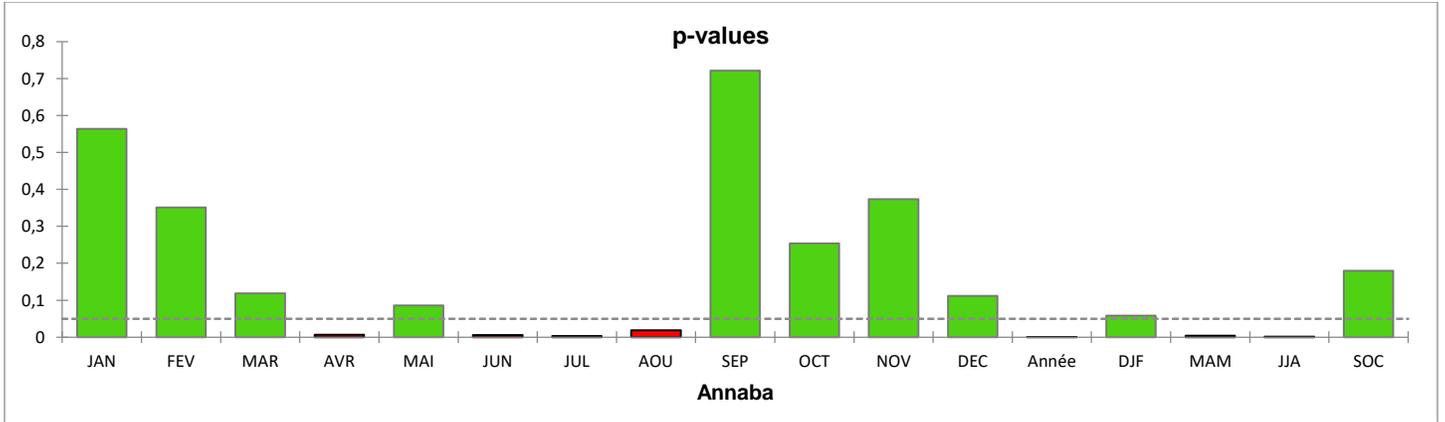
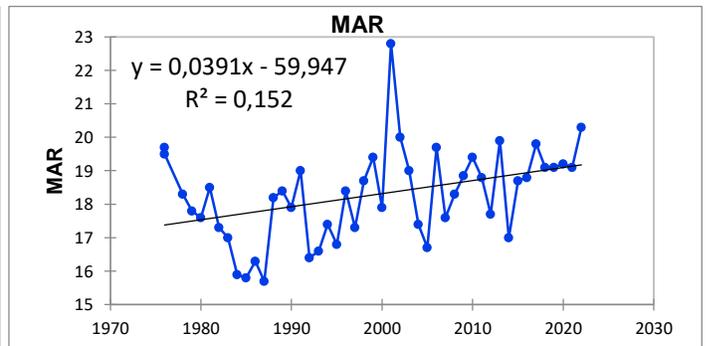
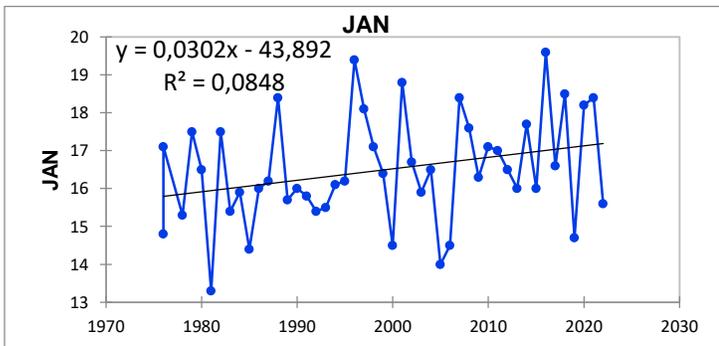


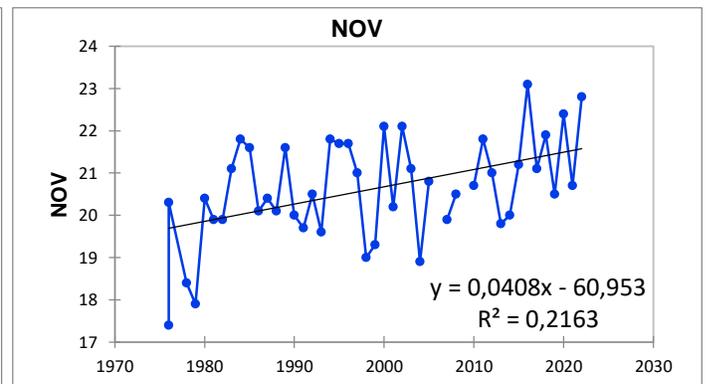
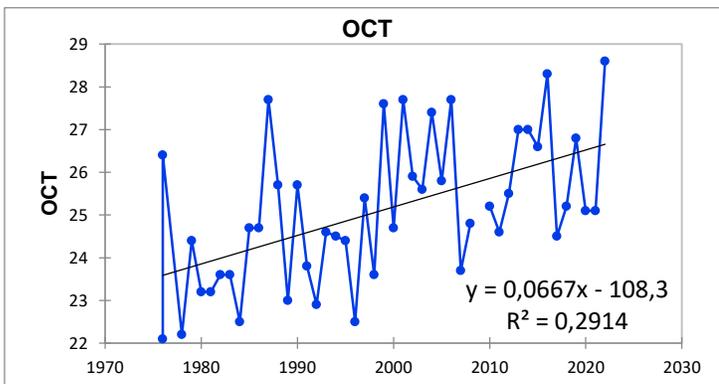
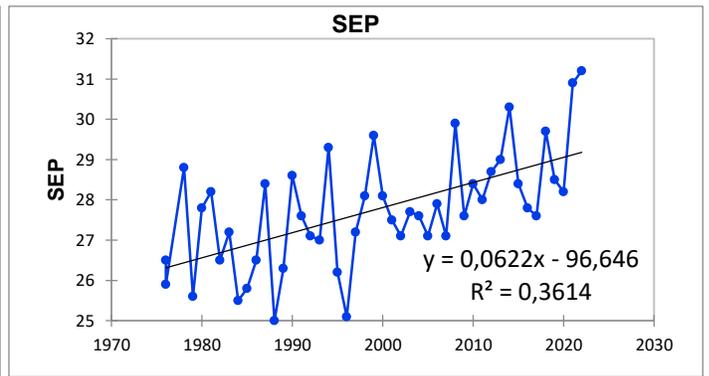
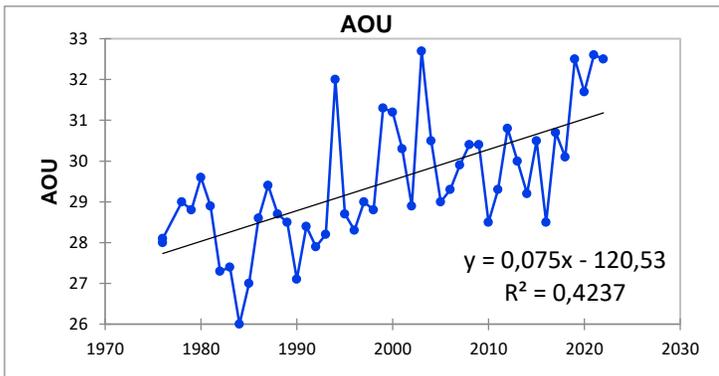
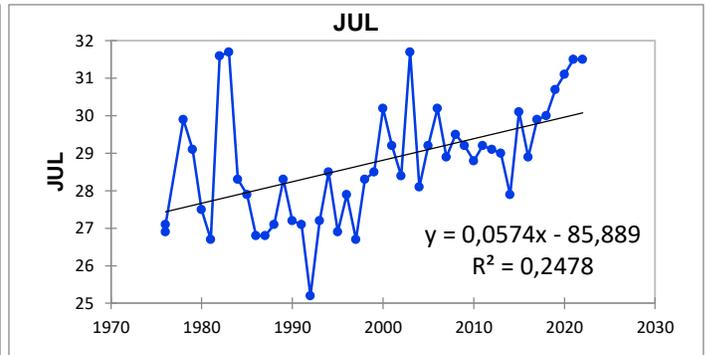
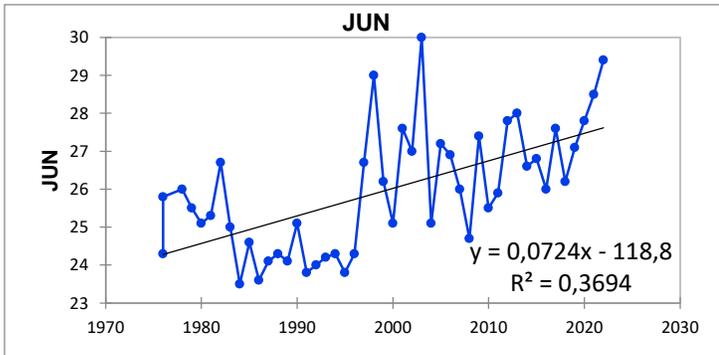
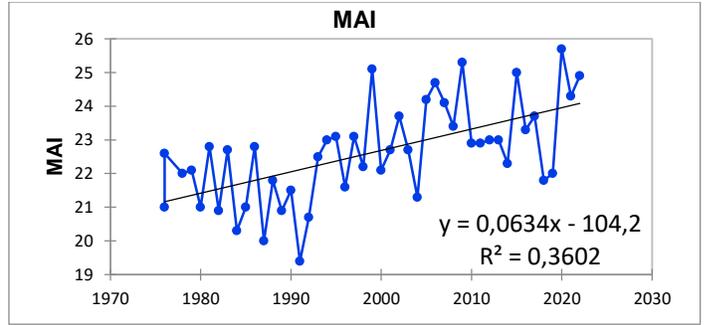
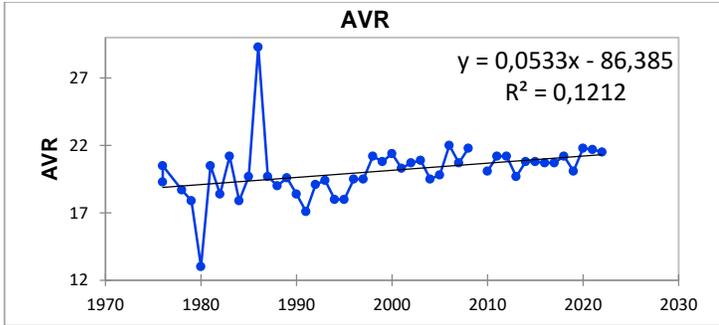
Figure 64 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station d'Annaba.

Station de Skikda

L'analyse graphique des figures 65, 66 révèle que la station de Skikda a présenté une tendance significative tout au long de l'année et des saisons, à l'exception des mois de février et décembre. Cette tendance est observable dans les mois de janvier, mars, avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre, ainsi que dans les saisons hivernale, printanière, estivale et automnale. De plus, une tendance annuelle significative est également présente.



Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

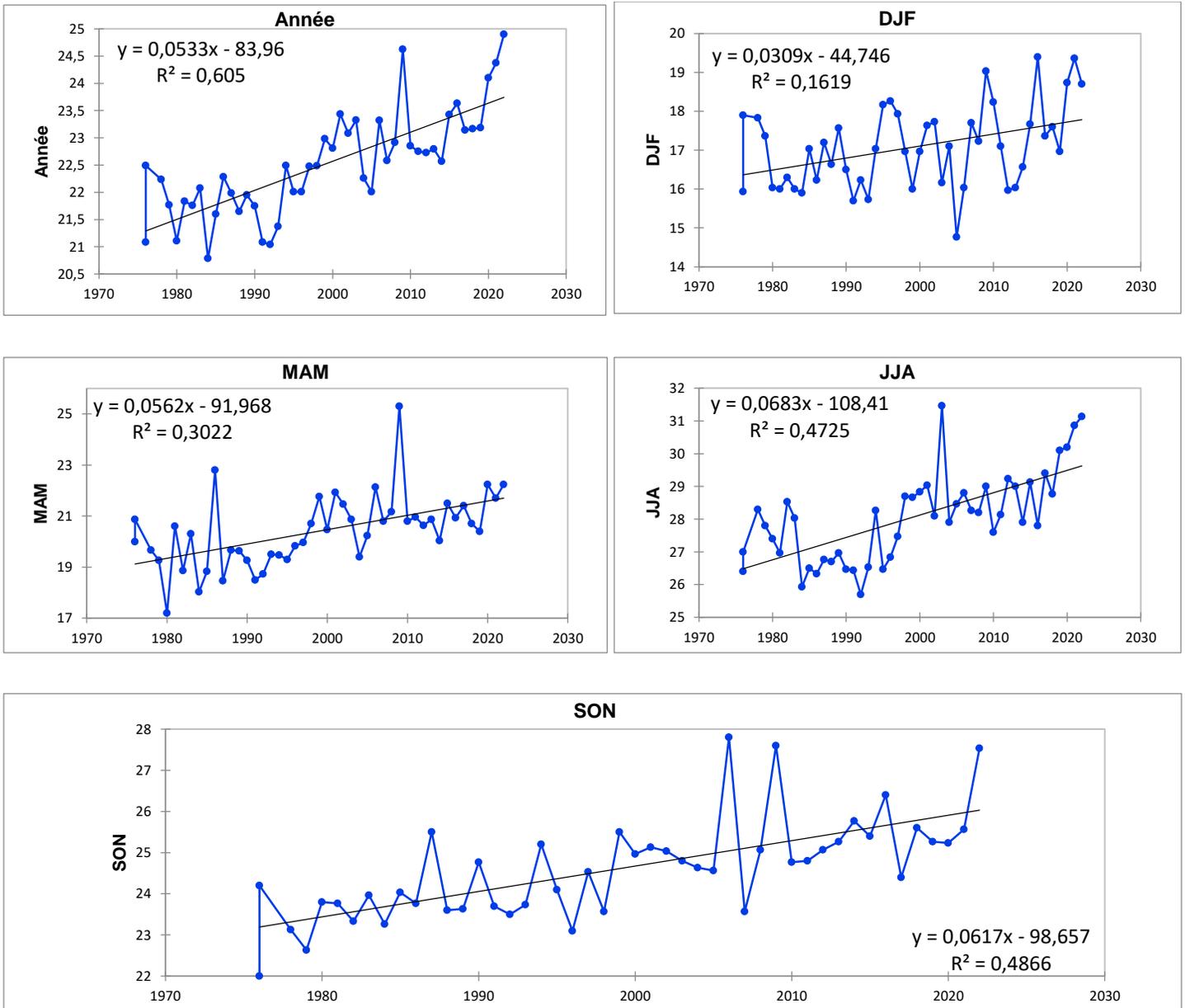


Figure 65 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Skikda (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

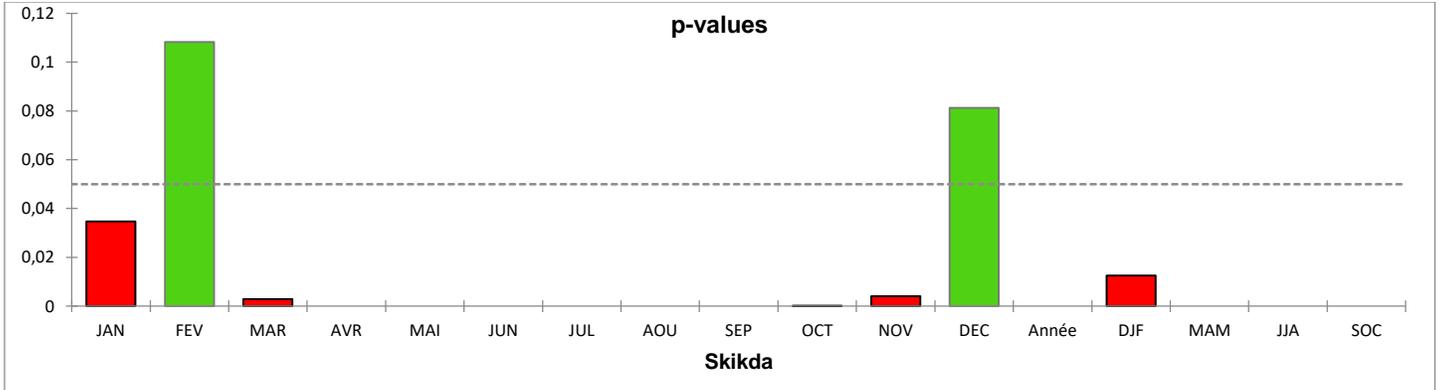
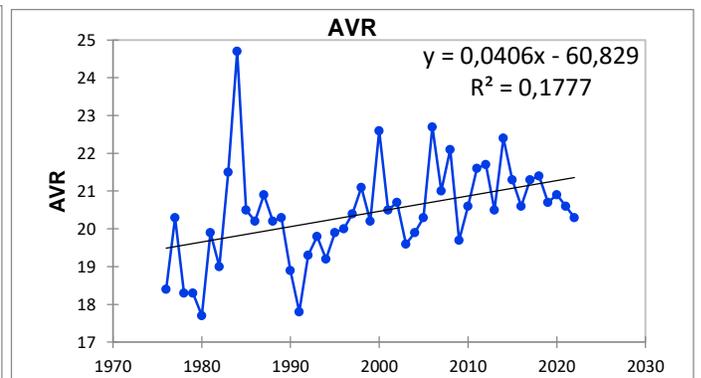
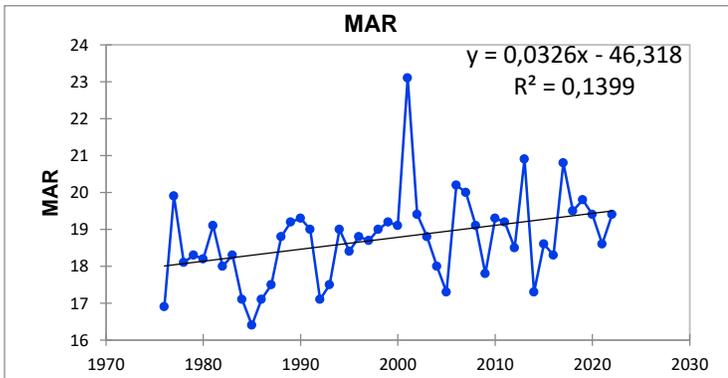


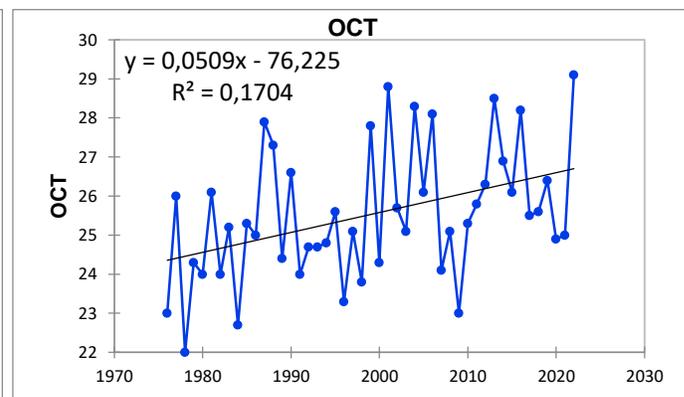
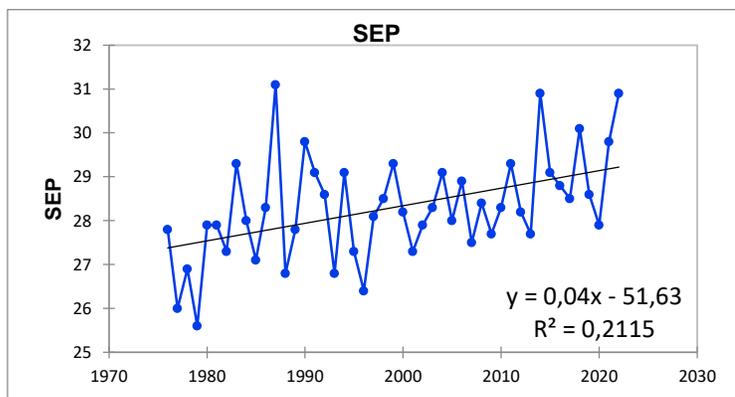
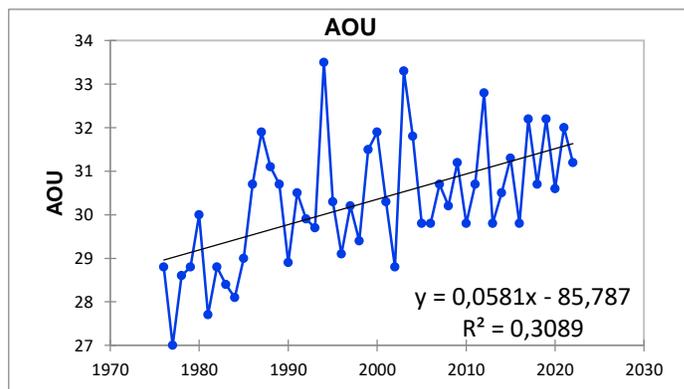
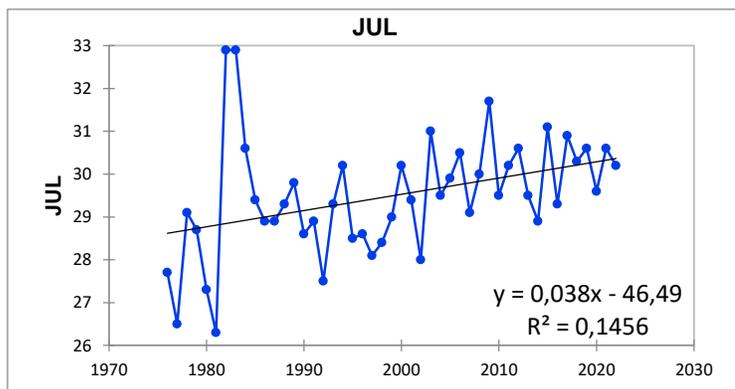
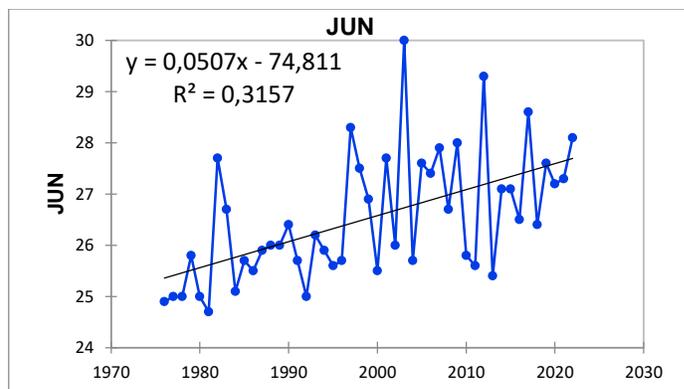
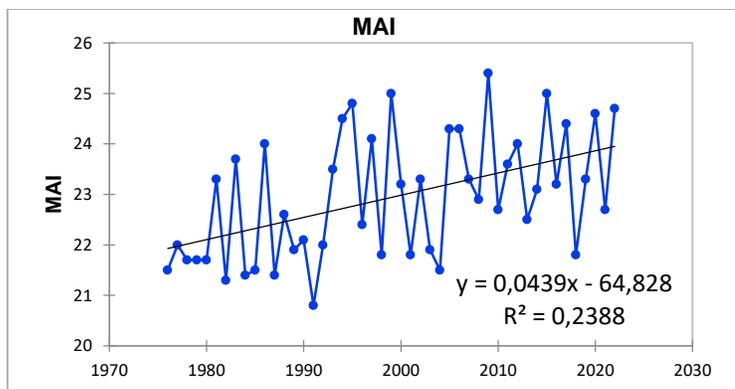
Figure 66 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Skikda.

Station de Béjaïa

L'analyse graphique des figures 67, 68 révèle que la station de Béjaïa a présenté une tendance significative tout au long de l'année et des saisons, à l'exception des mois de janvier, février et décembre. Cette tendance est observable dans les mois de mars, avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre, ainsi que dans les saisons hivernale, printanière, estivale et automnale. De plus, une tendance annuelle significative est également présente.



Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

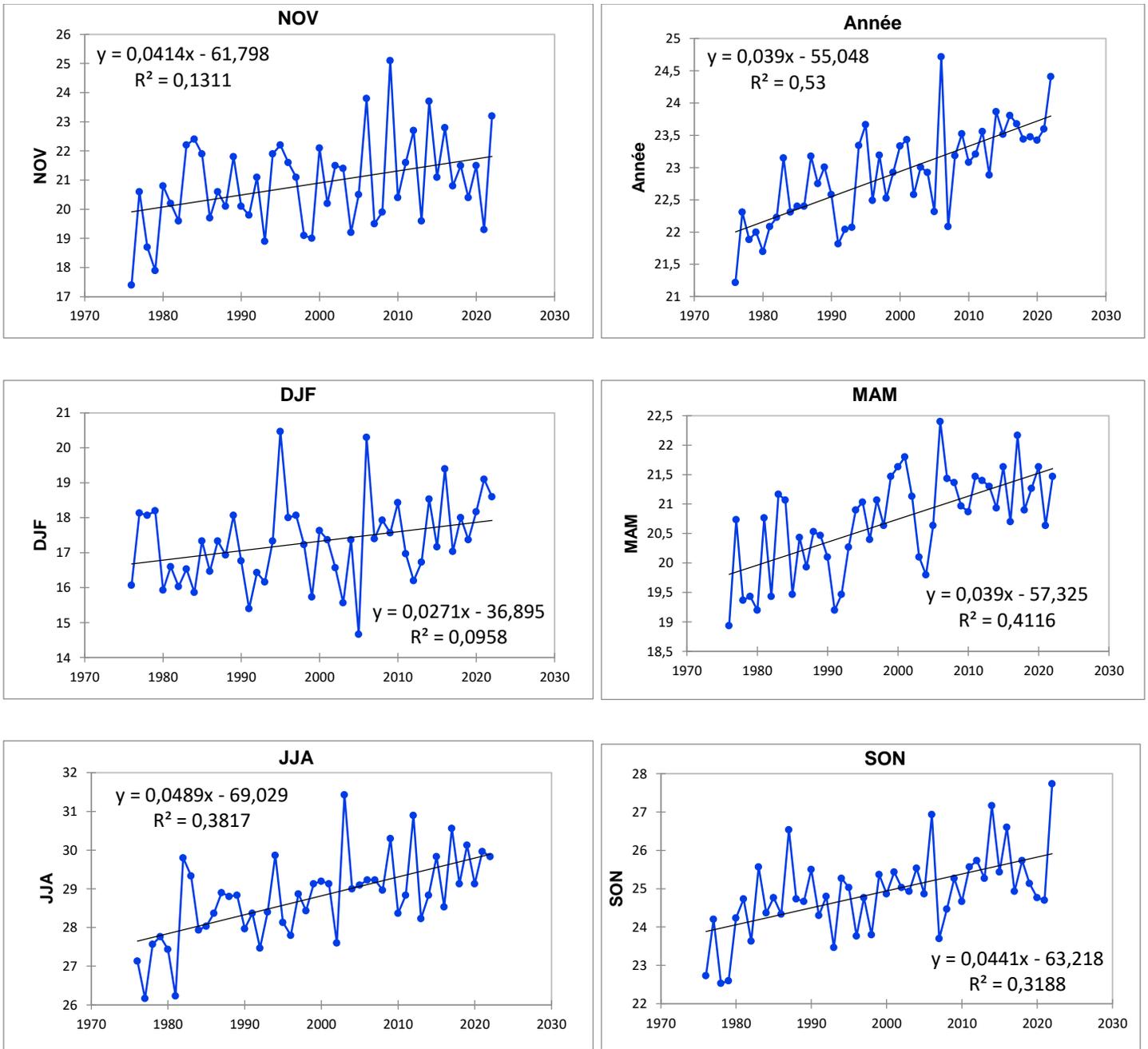


Figure 67 : tendances de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Béjaïa (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

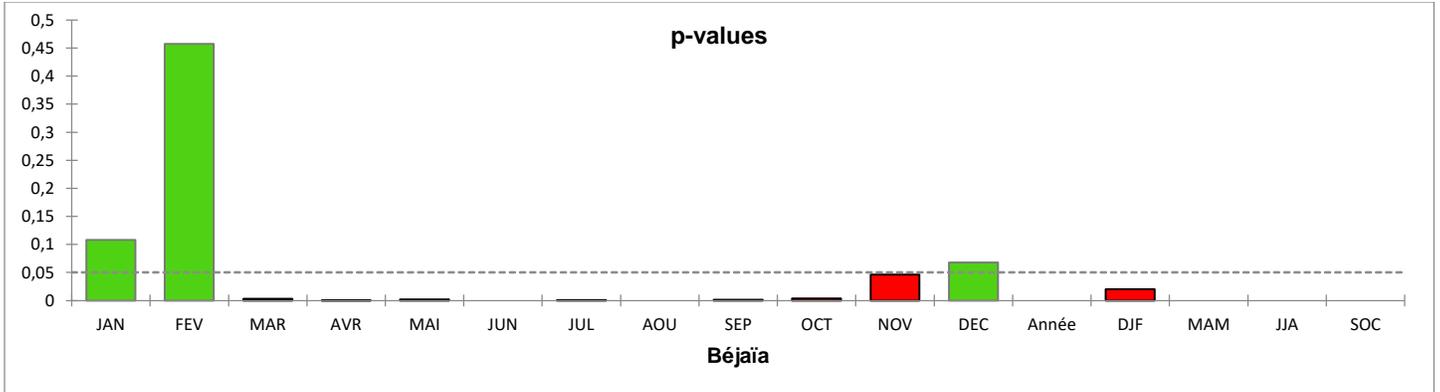
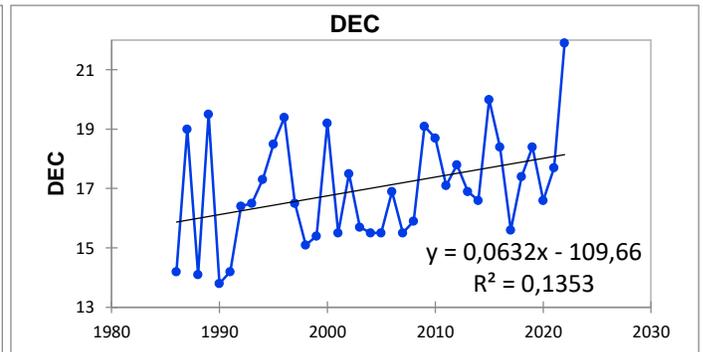
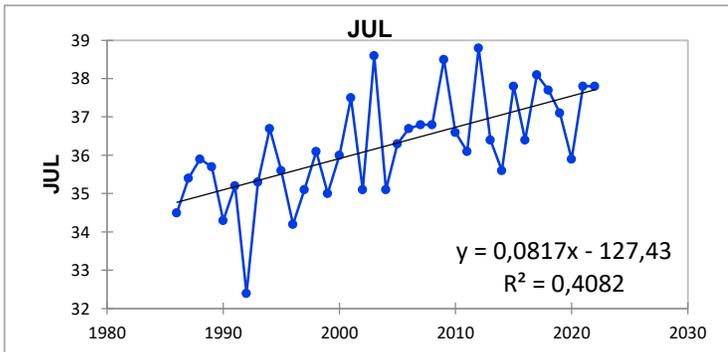
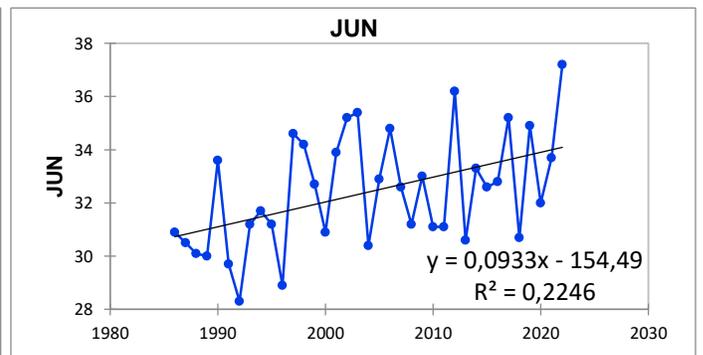
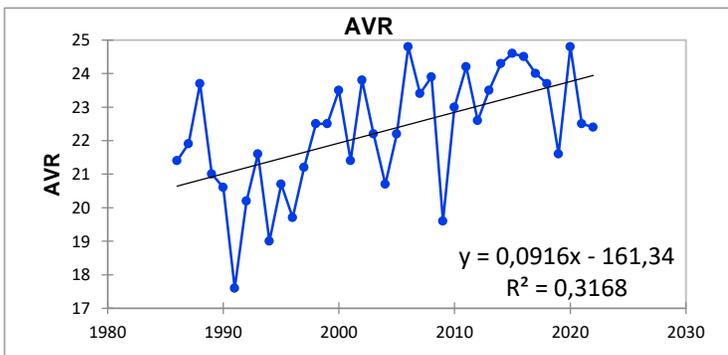


Figure 68 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Béjaïa.

Station de Guelma

L'analyse graphique des figures 69, 70 révèlent que la station de Guelma montre une tendance significative a été observée au niveau des mois d'avril, juin, juillet et décembre, ainsi que pour les saisons hivernale, printanière et estivale. De plus, une variation annuelle significative a également été relevée.



Chapitre 4 : Résultats

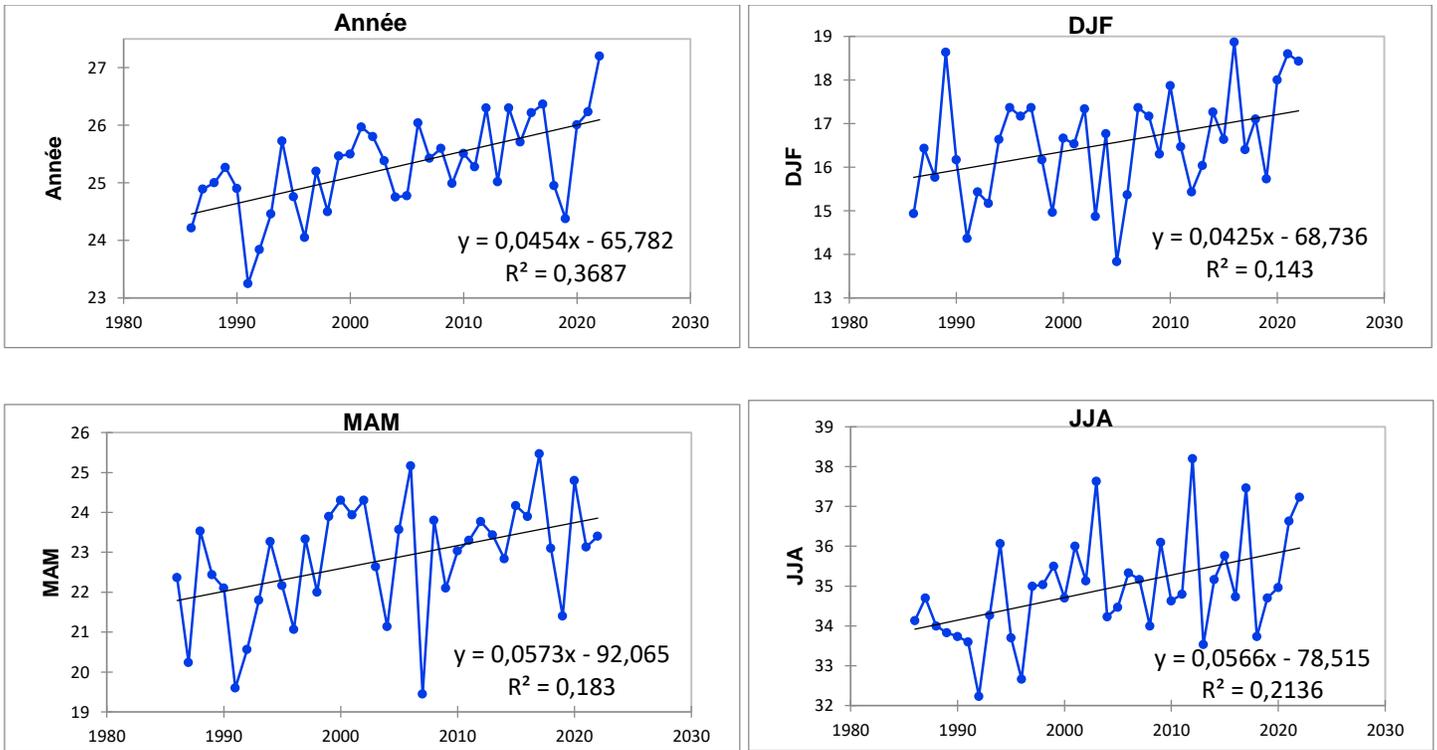


Figure 69 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Guelma (période 1976-2022).

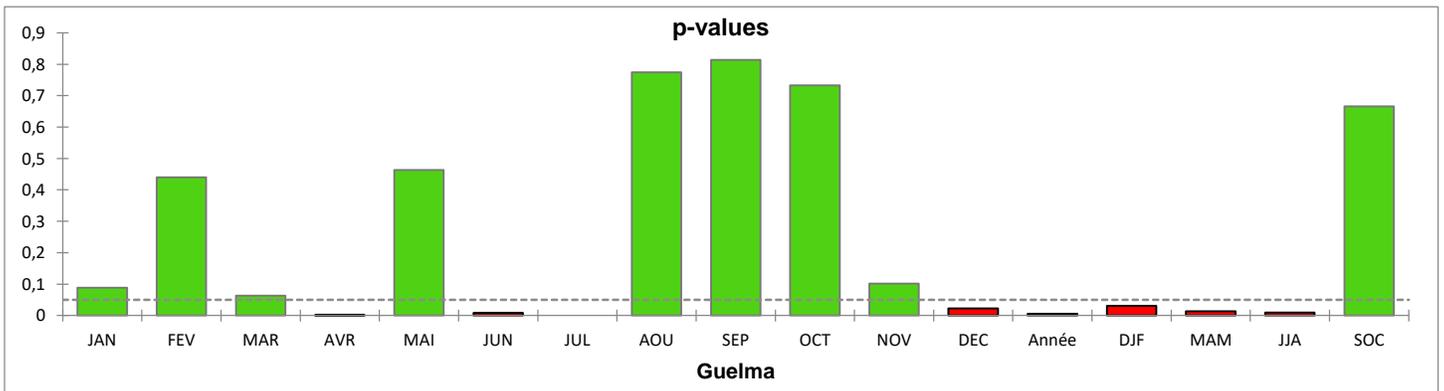


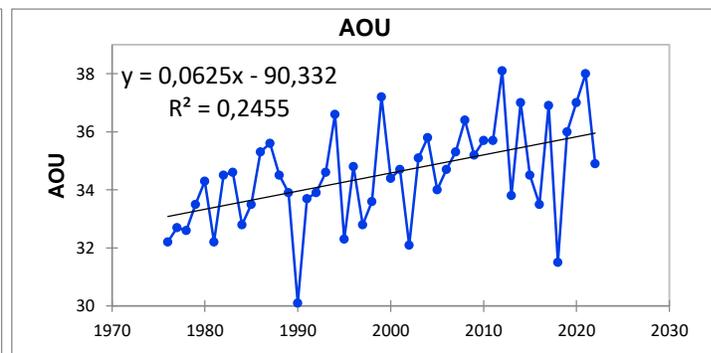
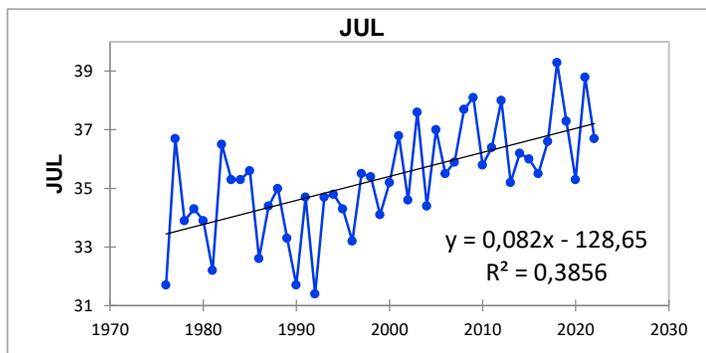
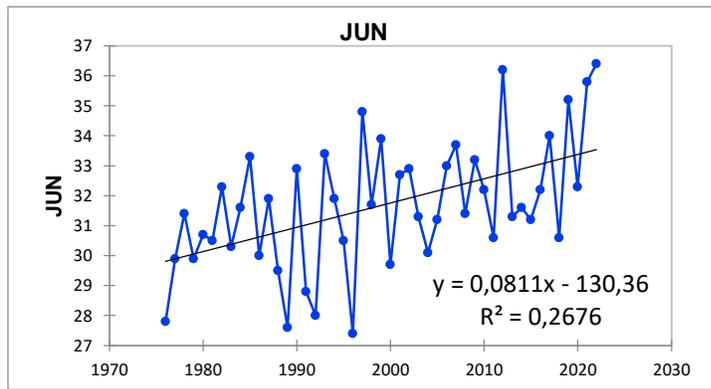
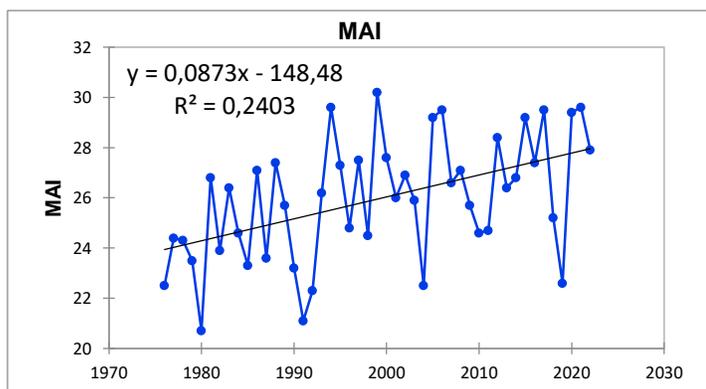
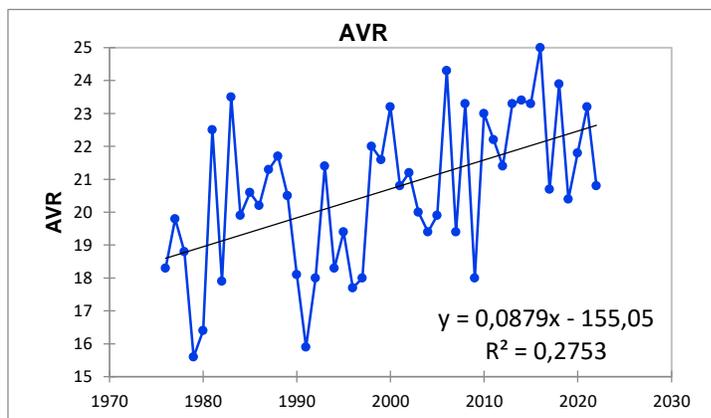
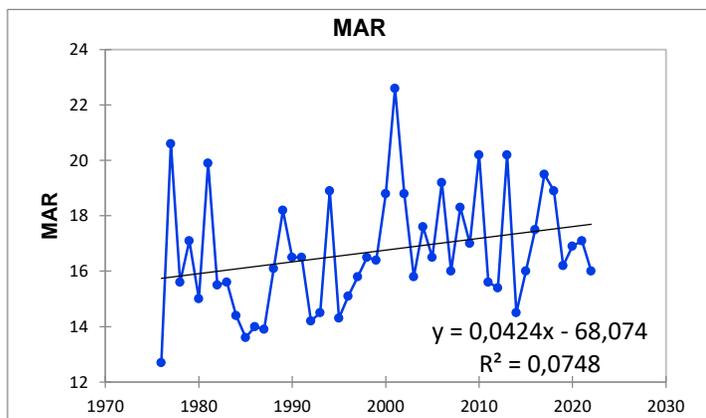
Figure 70 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Guelma.

Station de Tébessa

L'analyse graphique des figures 71, 72 révèle que la station de Tébessa a également montré une tendance significative au niveau mensuel, saisonnier et annuel pour les mois de mars,

Chapitre 4 : Résultats

avril, mai, juin, juillet, août, septembre et novembre, ainsi que pour toutes les saisons de l'année.



Chapitre 4 : Résultats

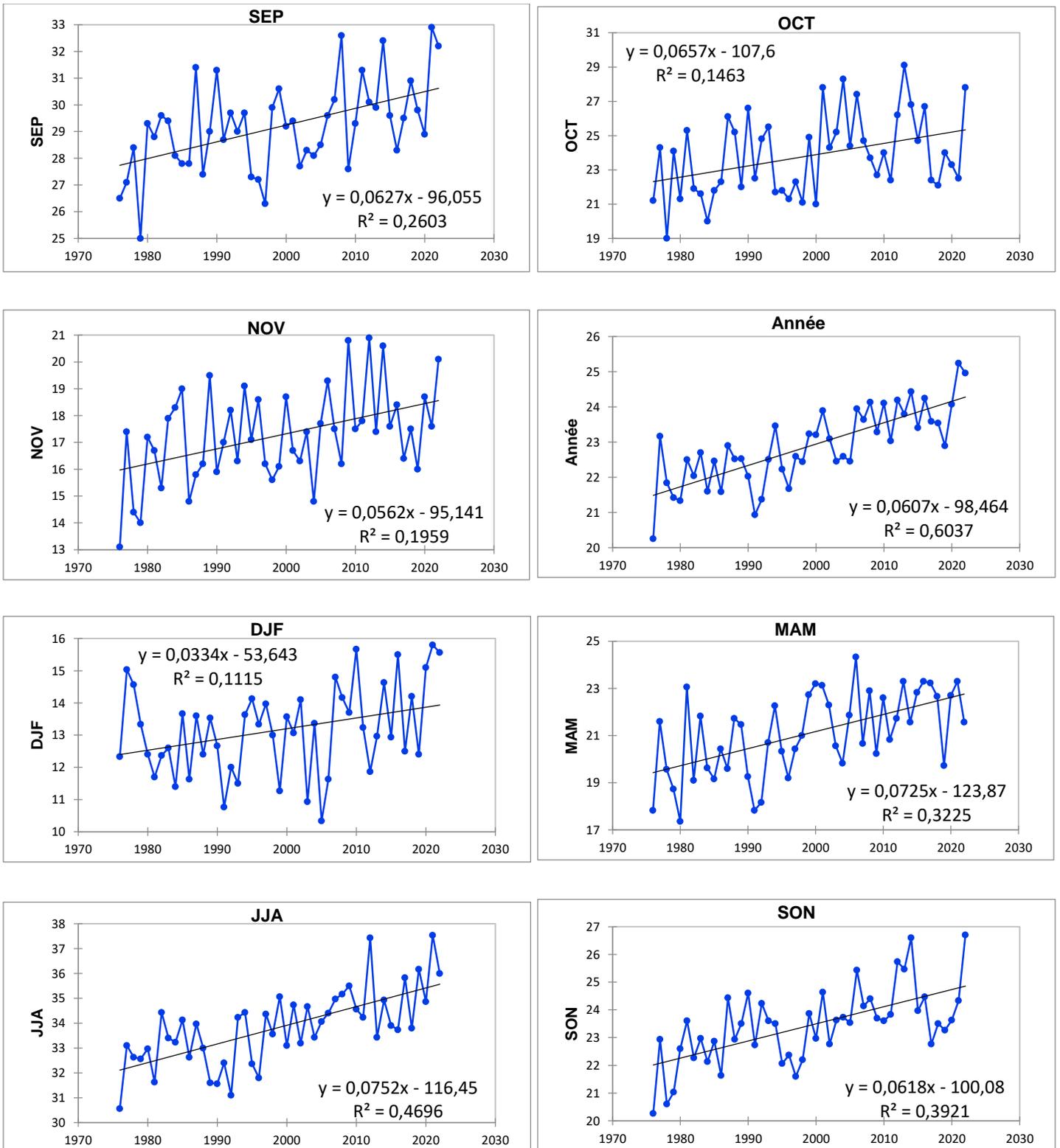


Figure 71 : tendances de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Tébessa (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

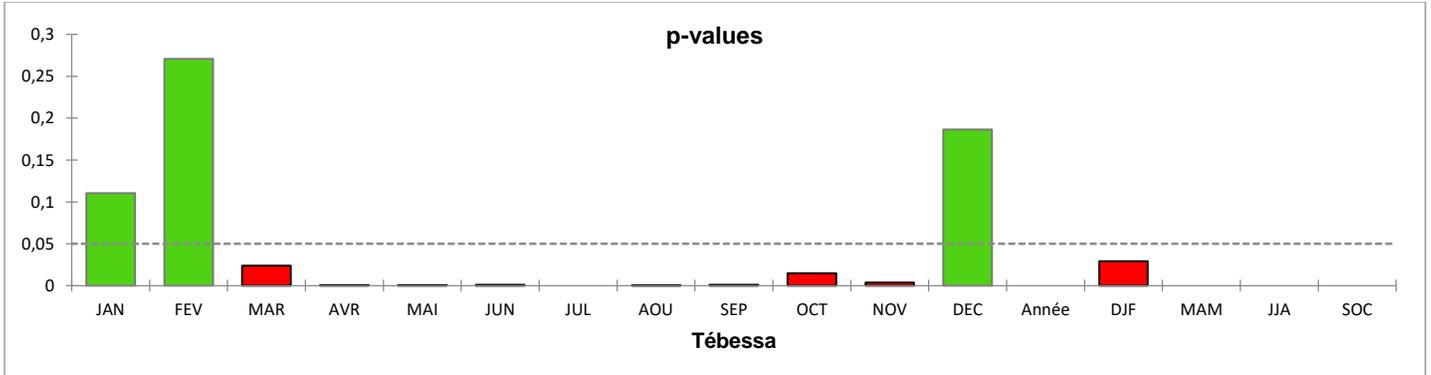
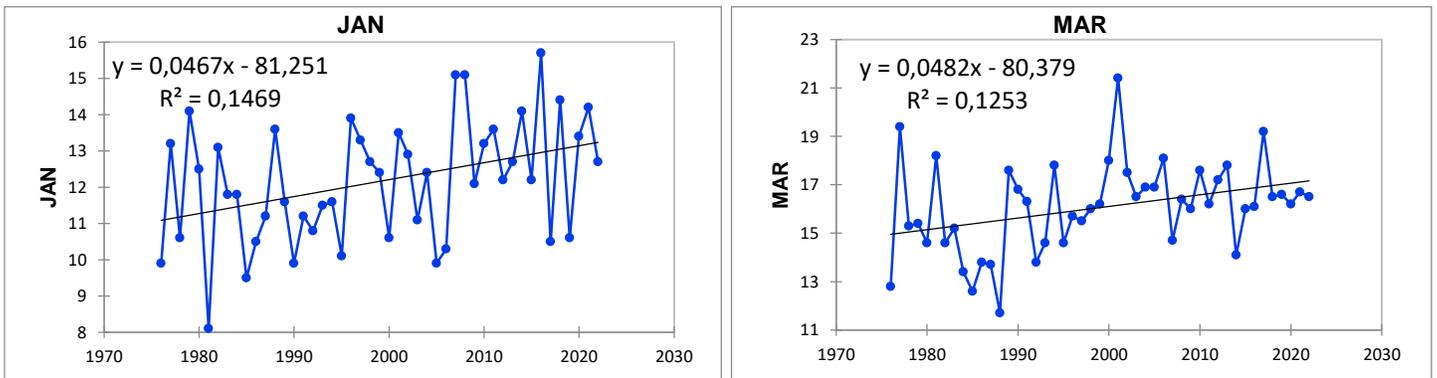


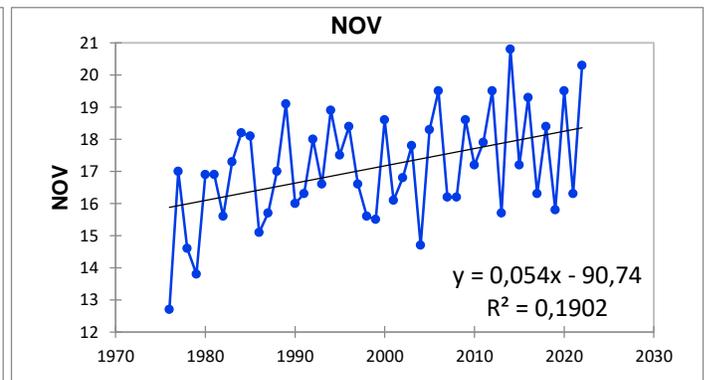
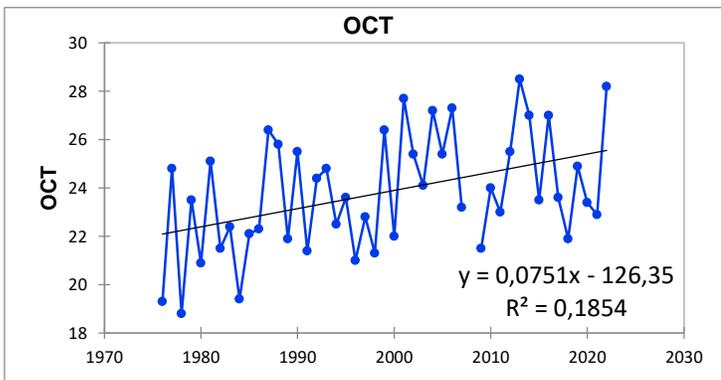
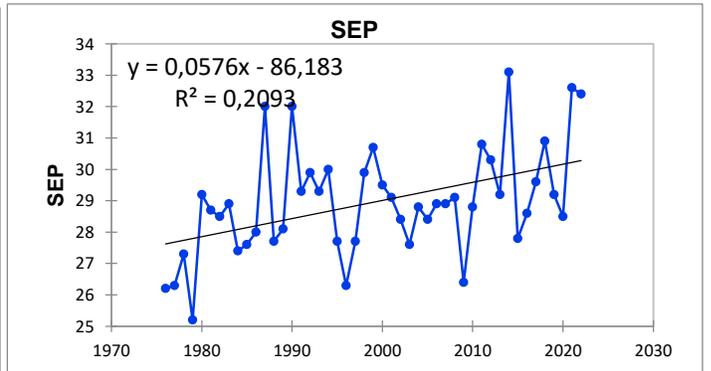
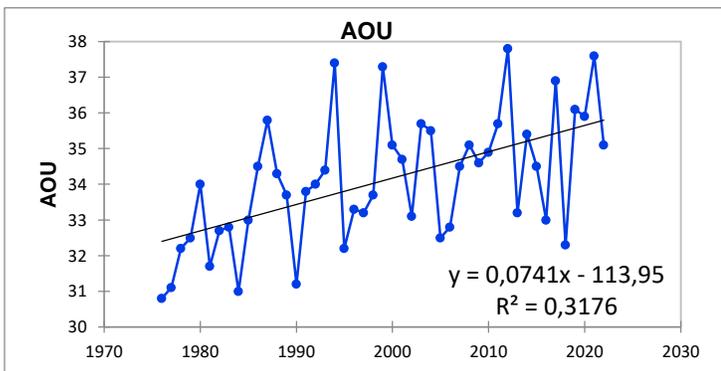
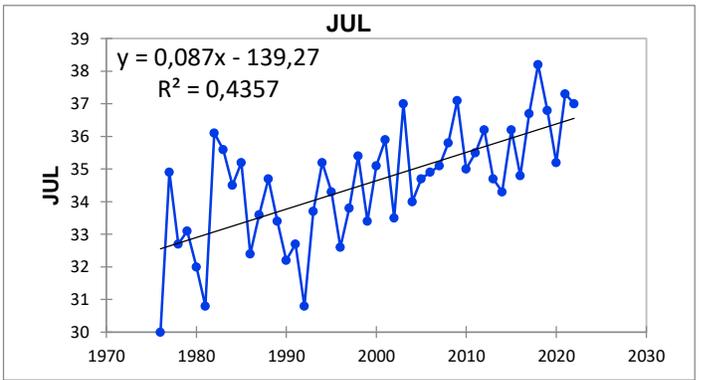
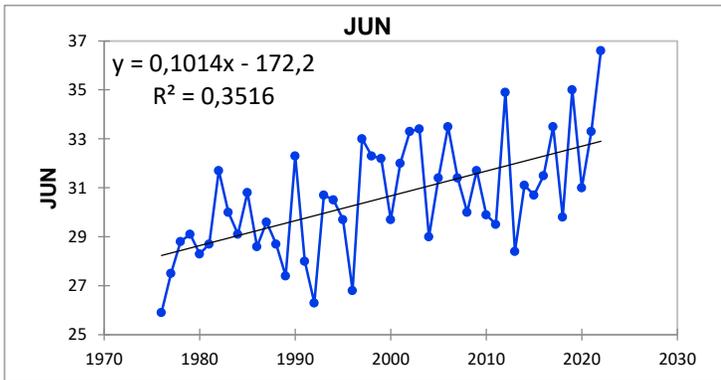
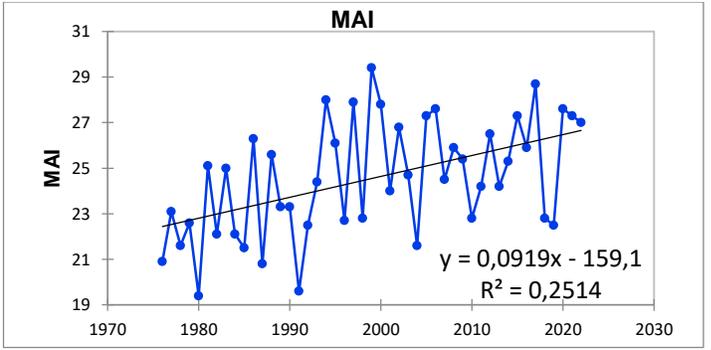
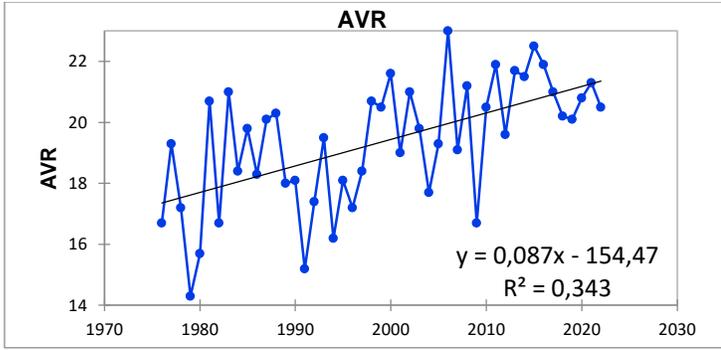
Figure 72 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Tébessa.

Station de Constantine

L'analyse graphique des figures 73, 74 révèle que la station de Constantine montre une variation mensuelle, saisonnière et annuelle significative pour l'ensemble de la série temporelle, à l'exception des mois de février et décembre. Cette tendance est observable dans les mois de janvier, mars, avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre, ainsi que dans les saisons hivernale, printanière, estivale et automnale. De plus, une tendance annuelle significative est également présente.



Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

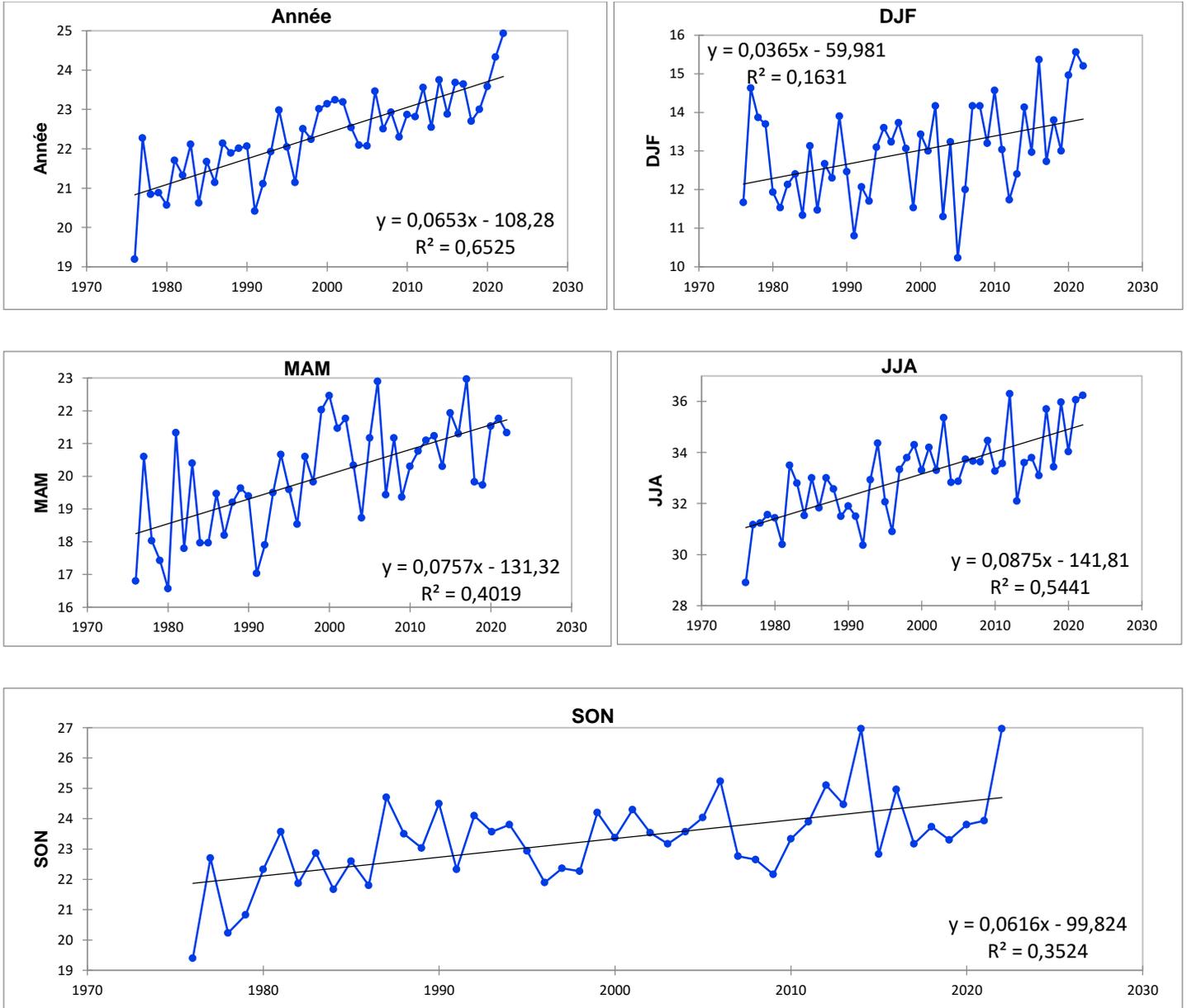


Figure 73 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Constantine (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

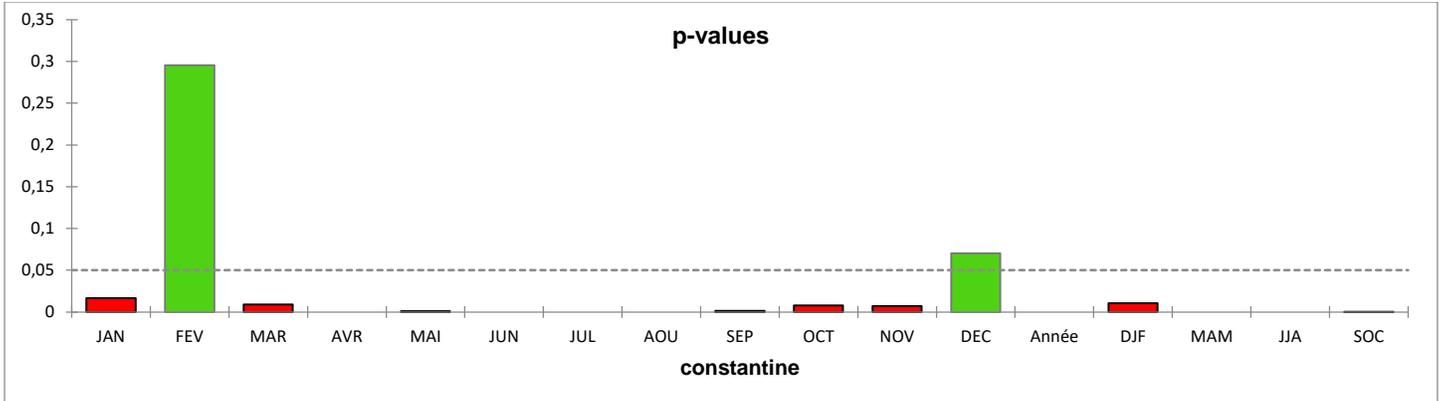
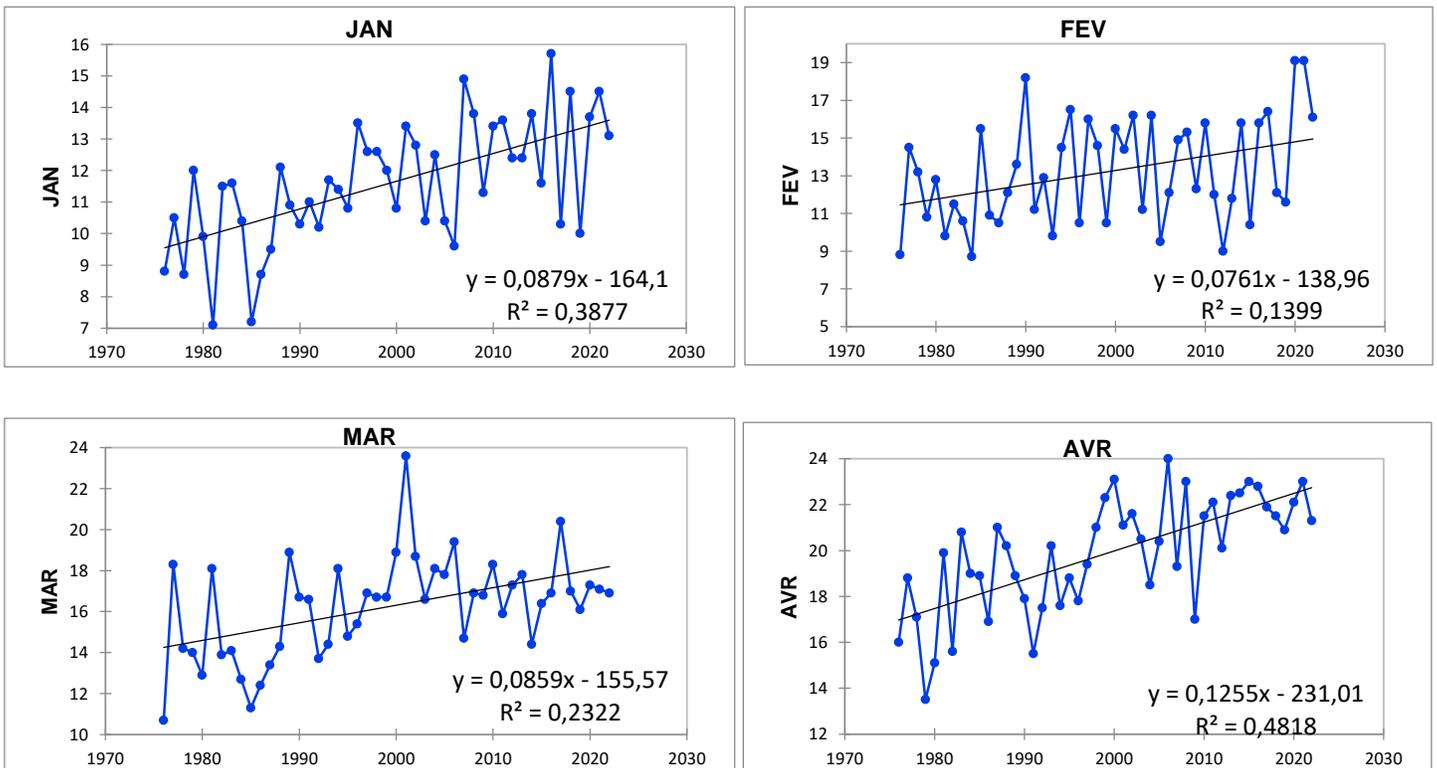


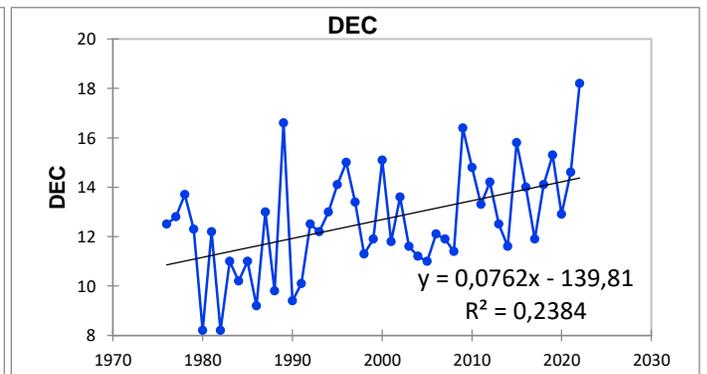
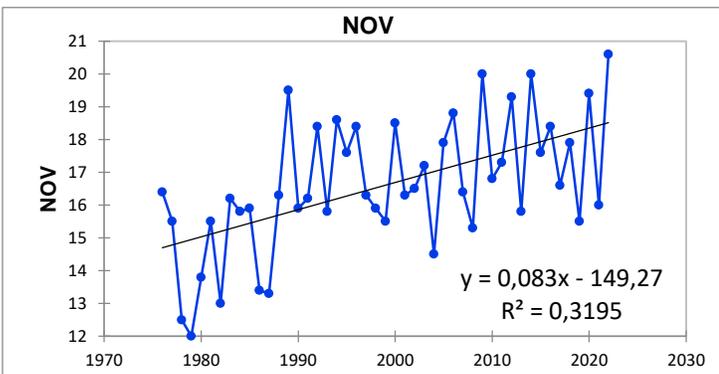
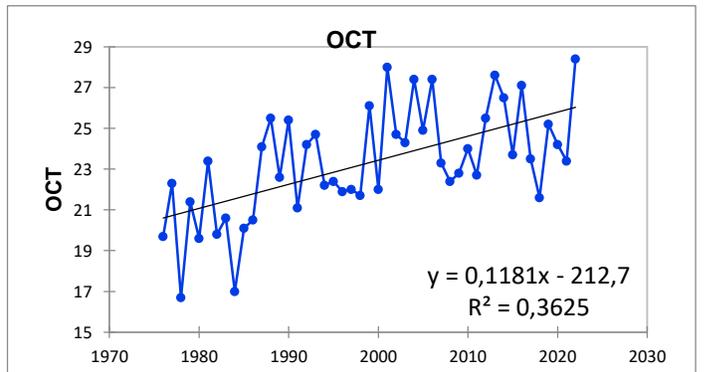
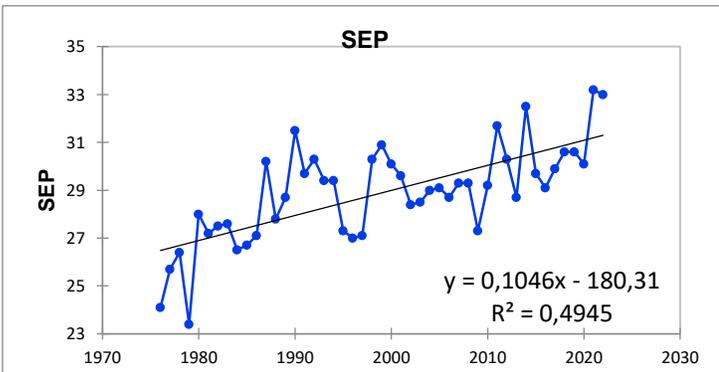
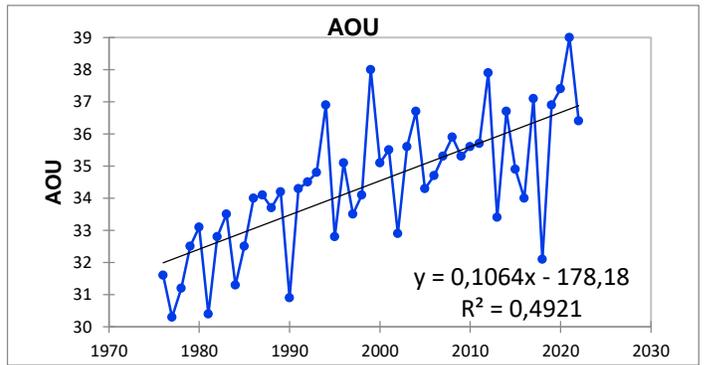
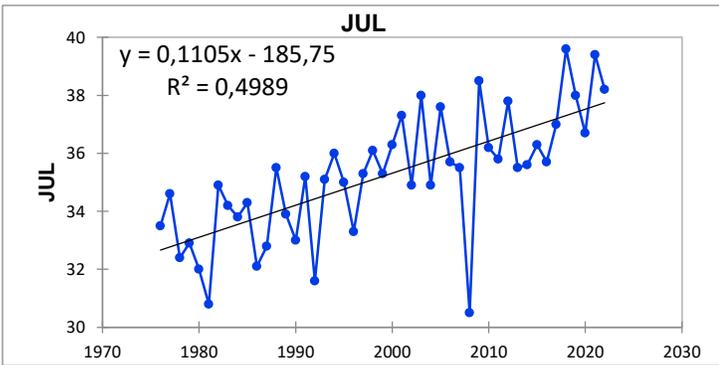
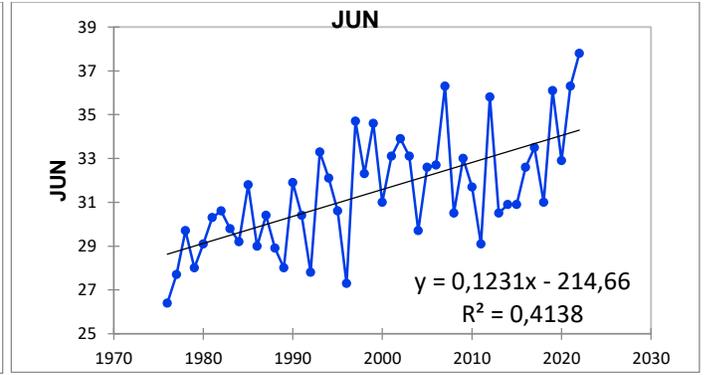
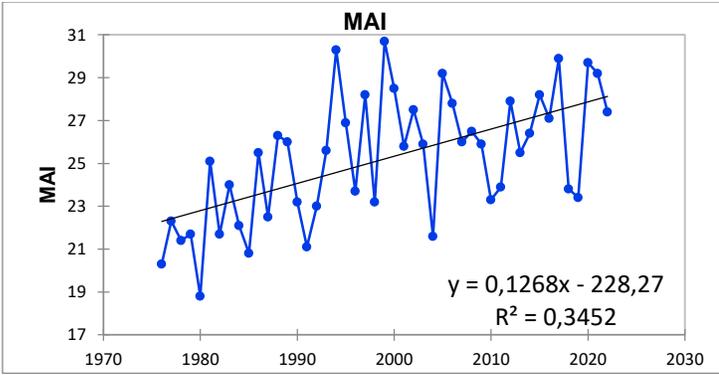
Figure 74 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Constantine.

Station de Batna

L'analyse graphique des figures 75 et 76 révèle que la station de Batna a montré une tendance significative à la fois interannuelle et intra-annuelle. Les douze mois présentent des variances significatives, de même que les quatre saisons. De plus, une tendance annuelle a également été observée sur l'ensemble de la série (1976-2022).



Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

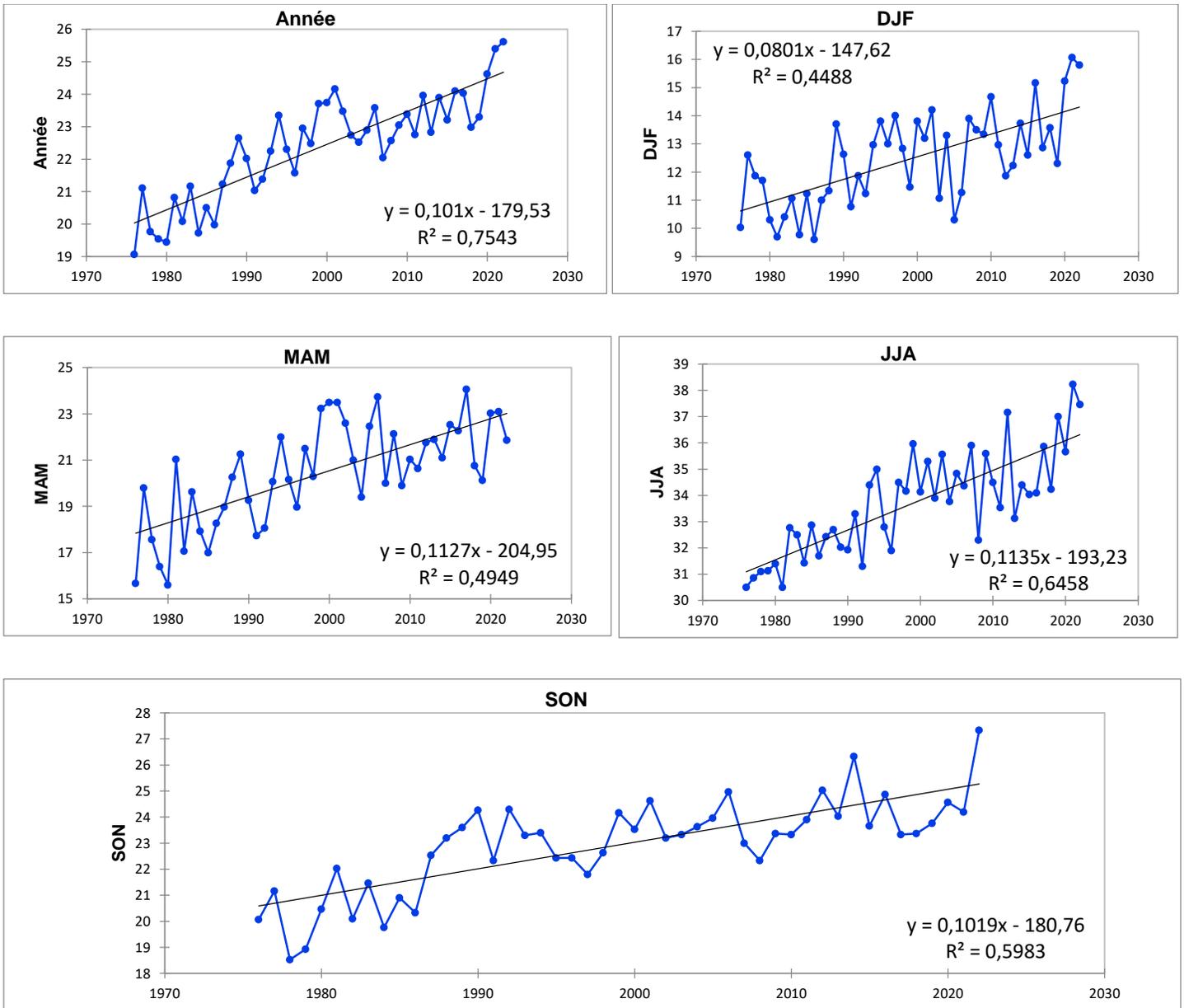


Figure 75 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Batna (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

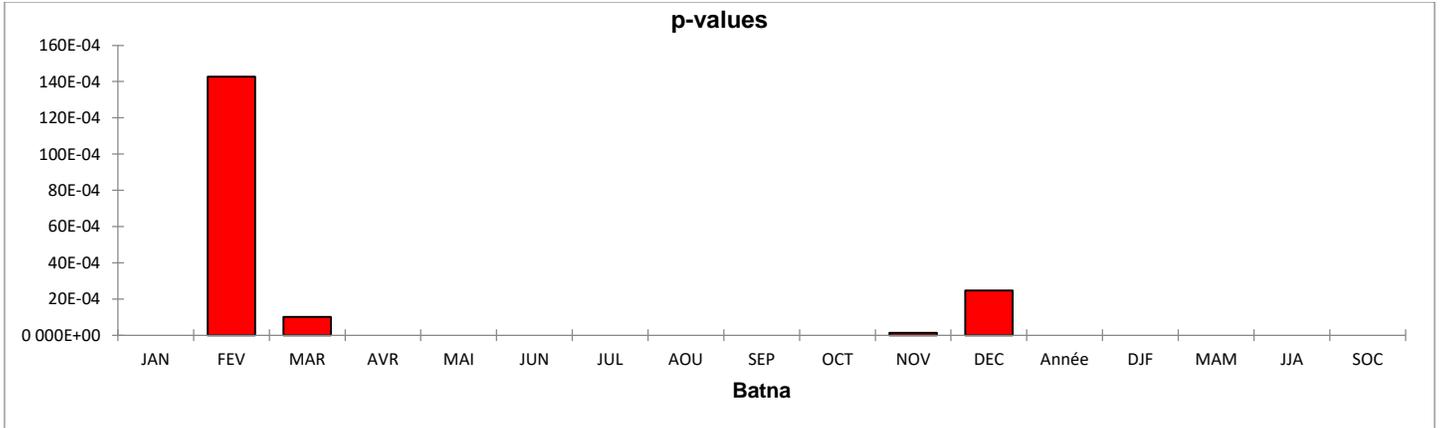
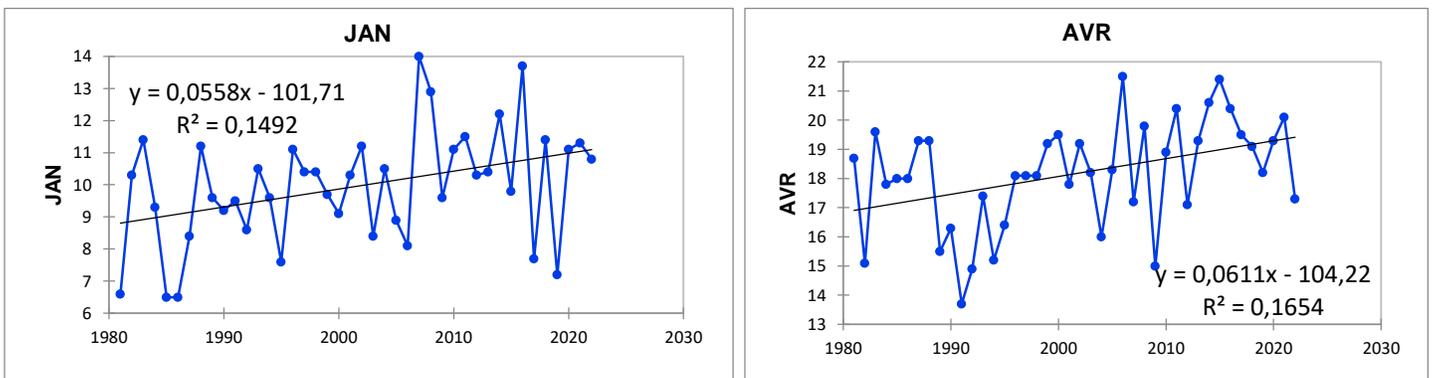


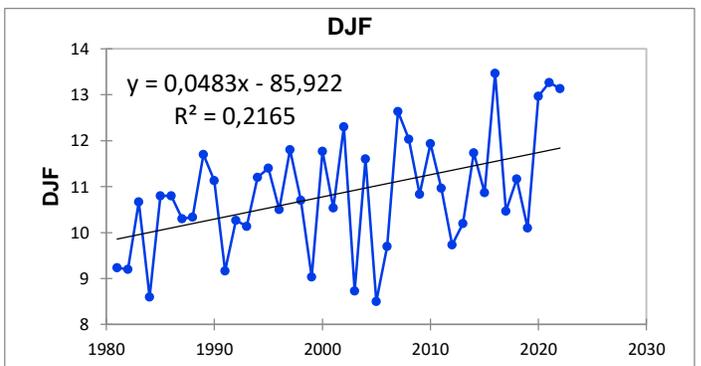
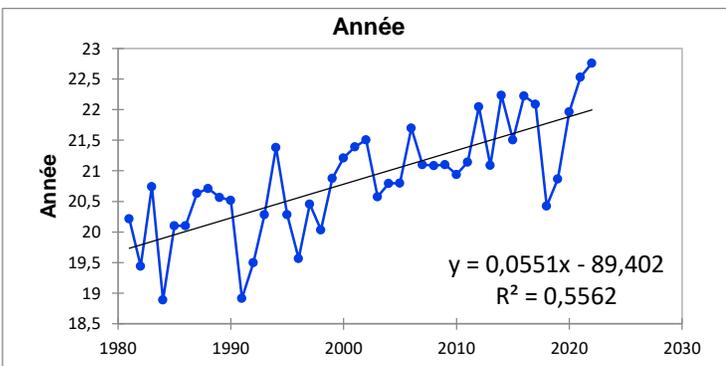
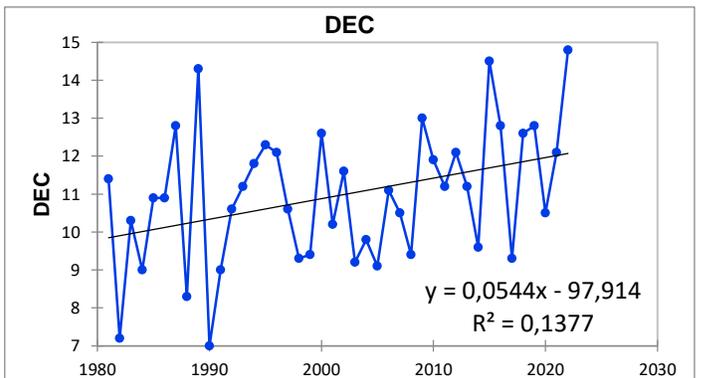
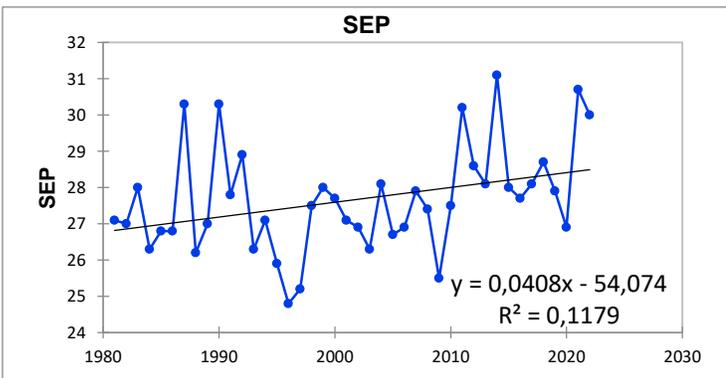
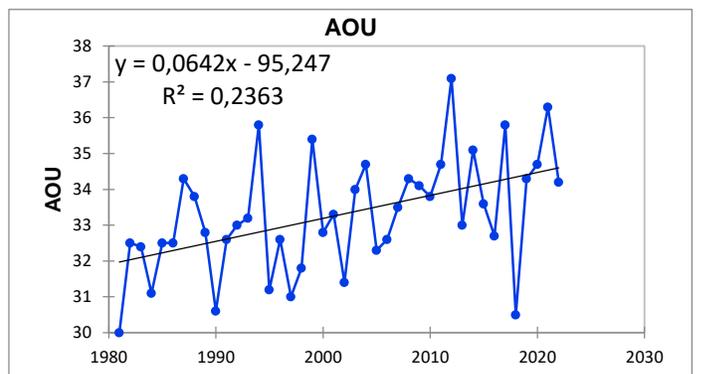
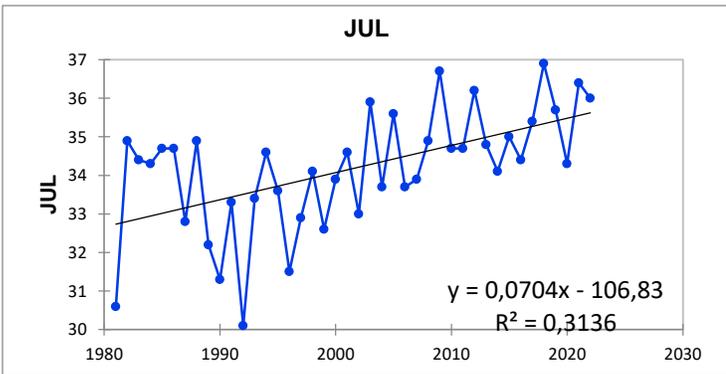
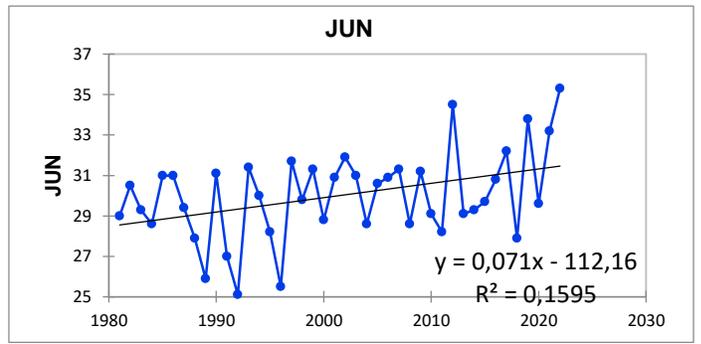
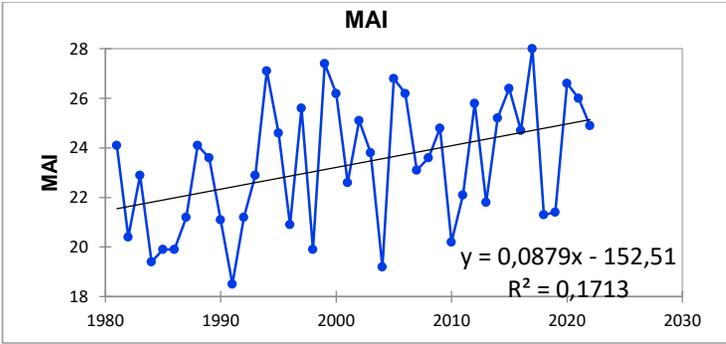
Figure 76 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Batna.

Station de Sétif

L'analyse graphique des figures 77 et 78 révèle que la station de Sétif a présenté une tendance significative tout au long de l'année et des saisons, à l'exception des mois de février, mars, octobre et novembre. Cette tendance est observable dans les mois de janvier, avril, mai, juin, juillet, août, septembre, et décembre, ainsi que dans les saisons hivernale, printanière, estivale et automnale. De plus, une tendance annuelle significative est également présente.



Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

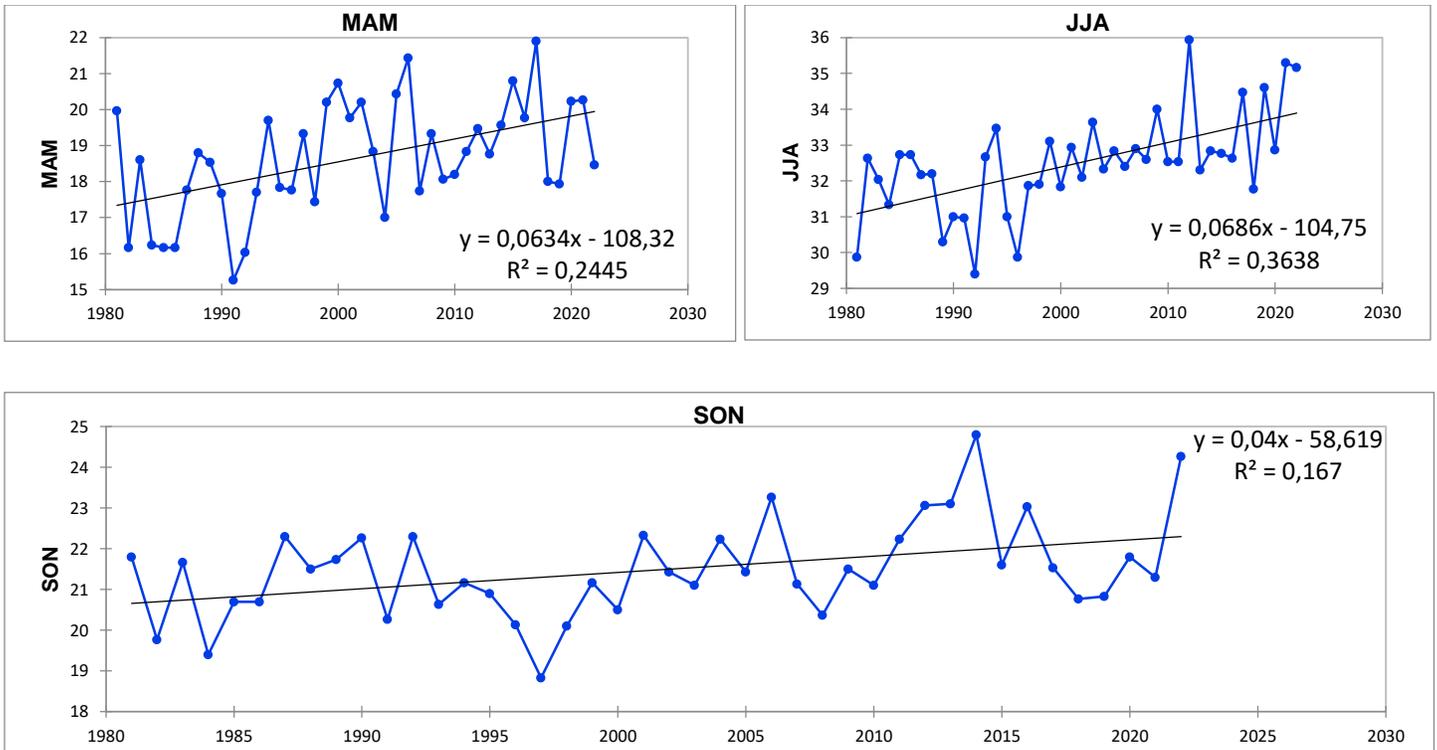


Figure 77 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Sétif (période 1976-2022).

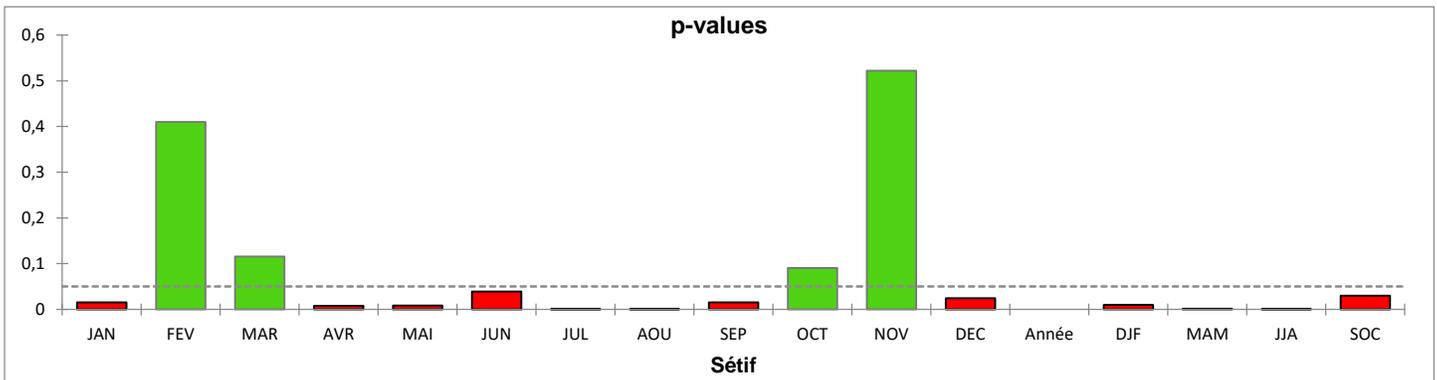


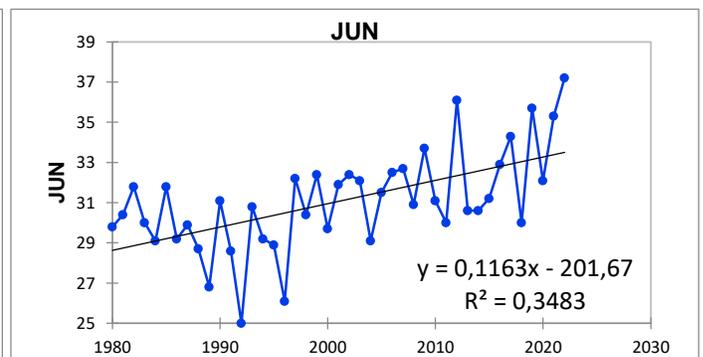
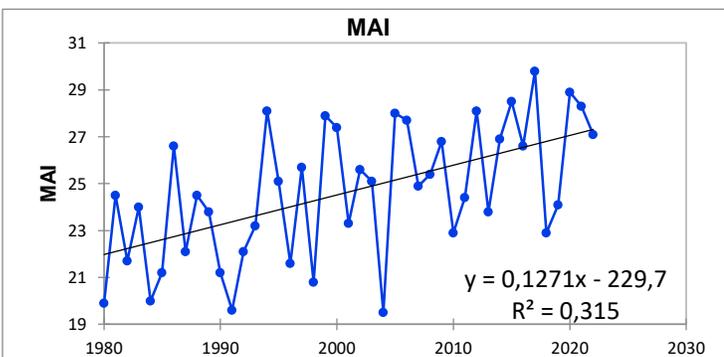
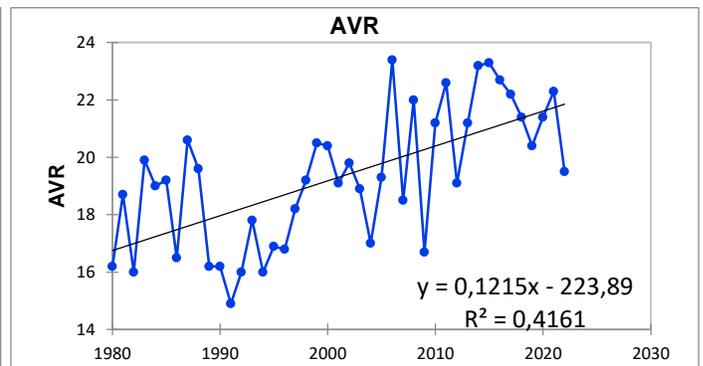
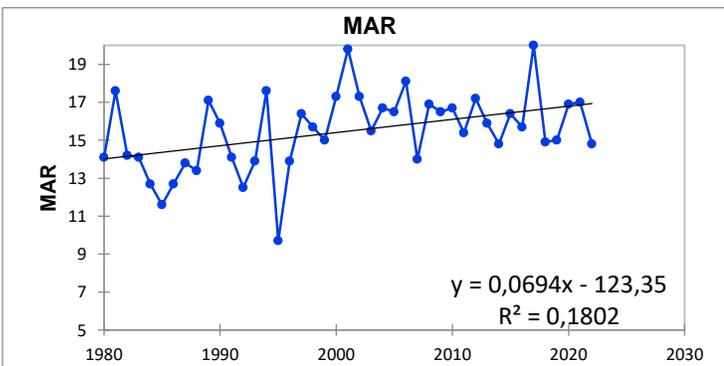
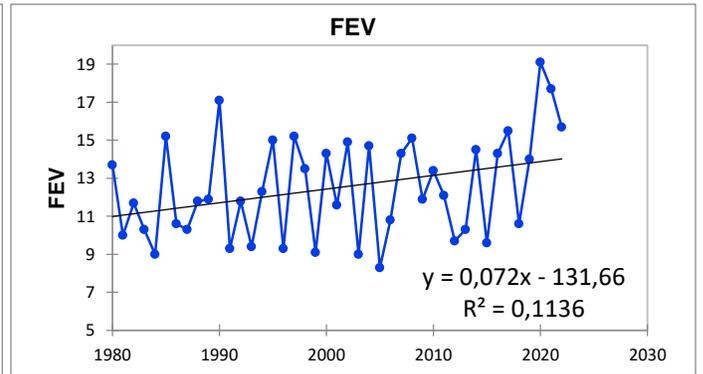
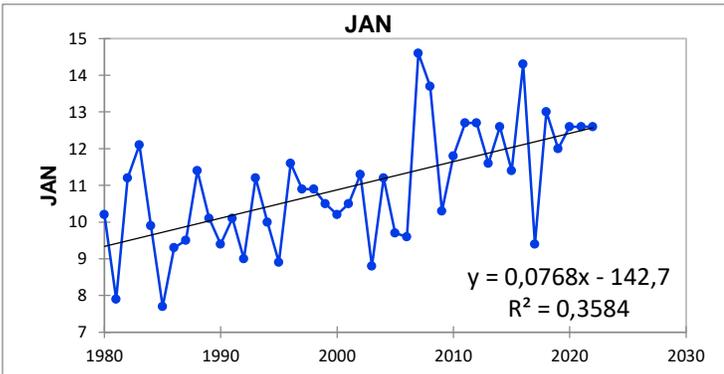
Figure 78 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Sétif.

Station de Bordj Bou Arreridj

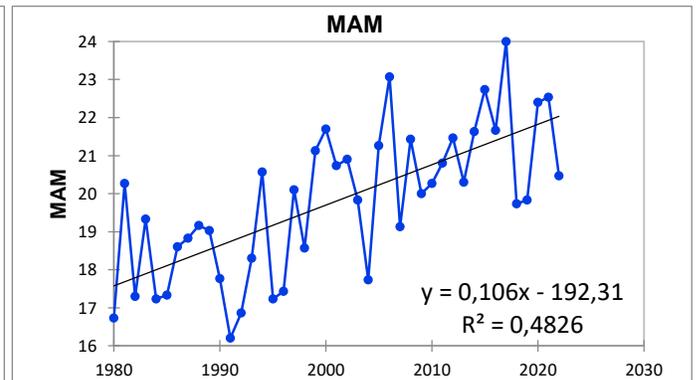
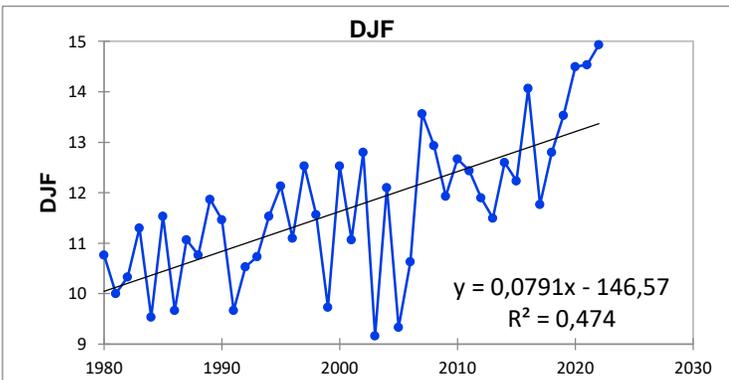
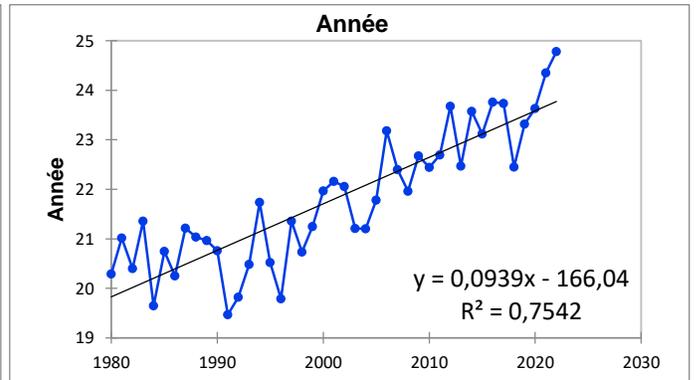
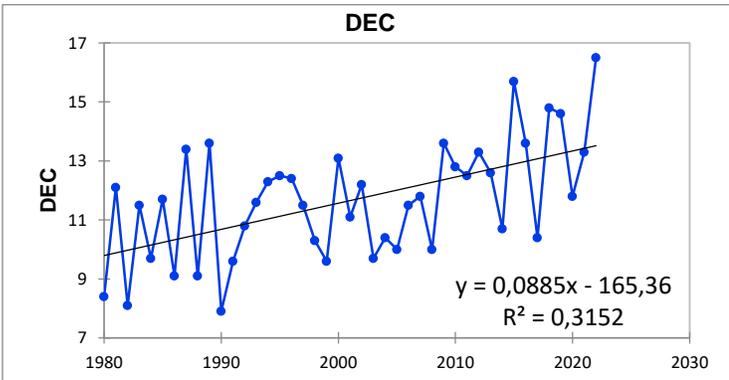
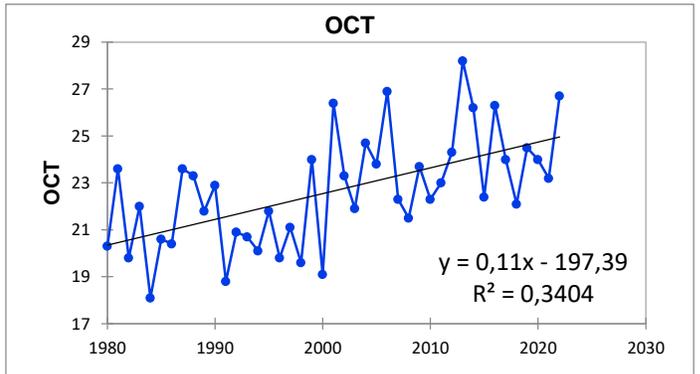
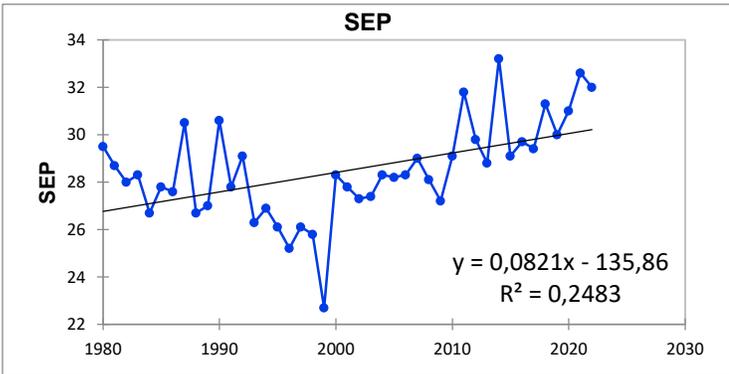
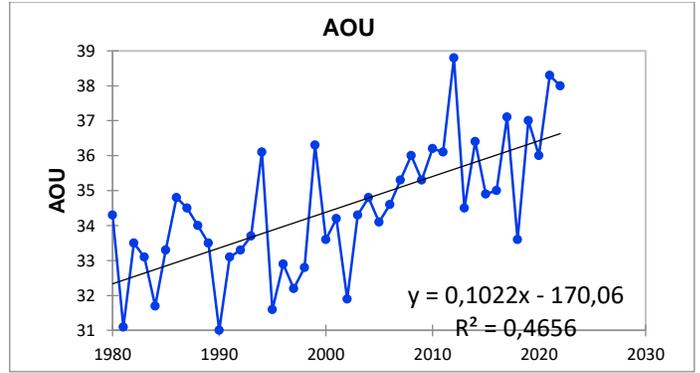
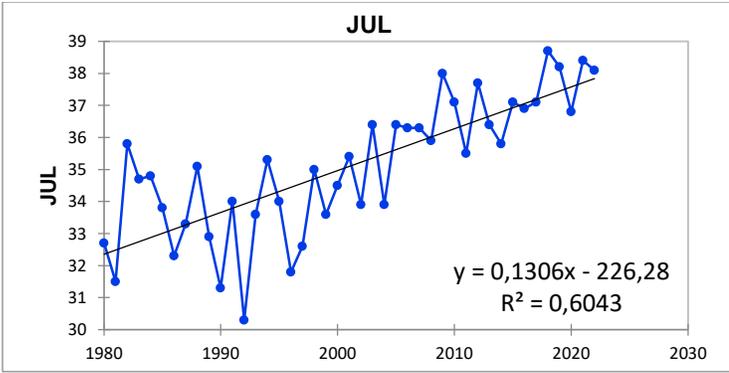
L'analyse graphique des figures 79 et 80 révèle que la station de Bordj Bou Arreridj a présenté une tendance significative tout au long de l'année et des saisons, à l'exception des

Chapitre 4 : Résultats

mois de novembre. Cette tendance est observable dans les mois de janvier, février, mars, avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et décembre, ainsi que dans les saisons hivernale, printanière, estivale et automnale. De plus, une tendance annuelle significative est également présente.



Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

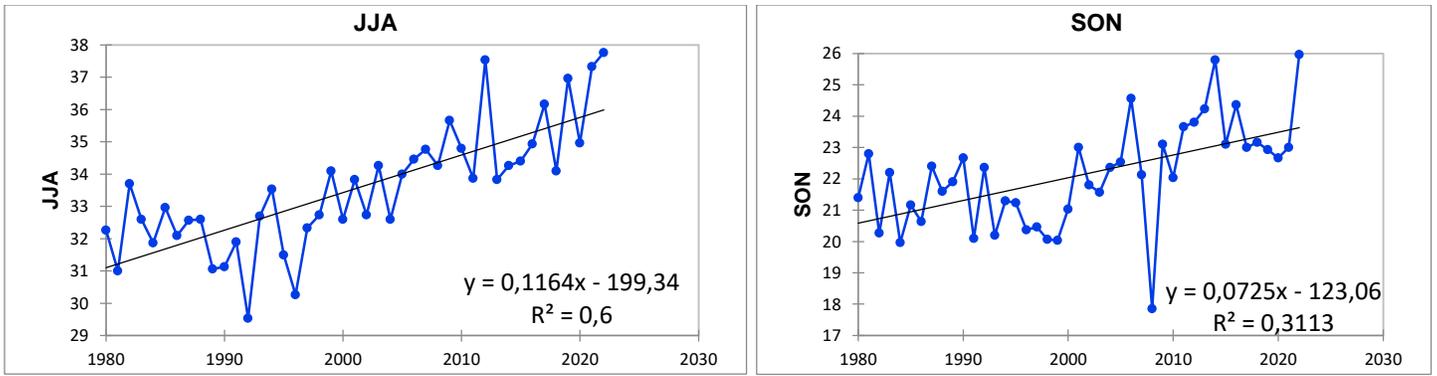


Figure 79 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Bordj Bou Arreridj (période 1976-2022).

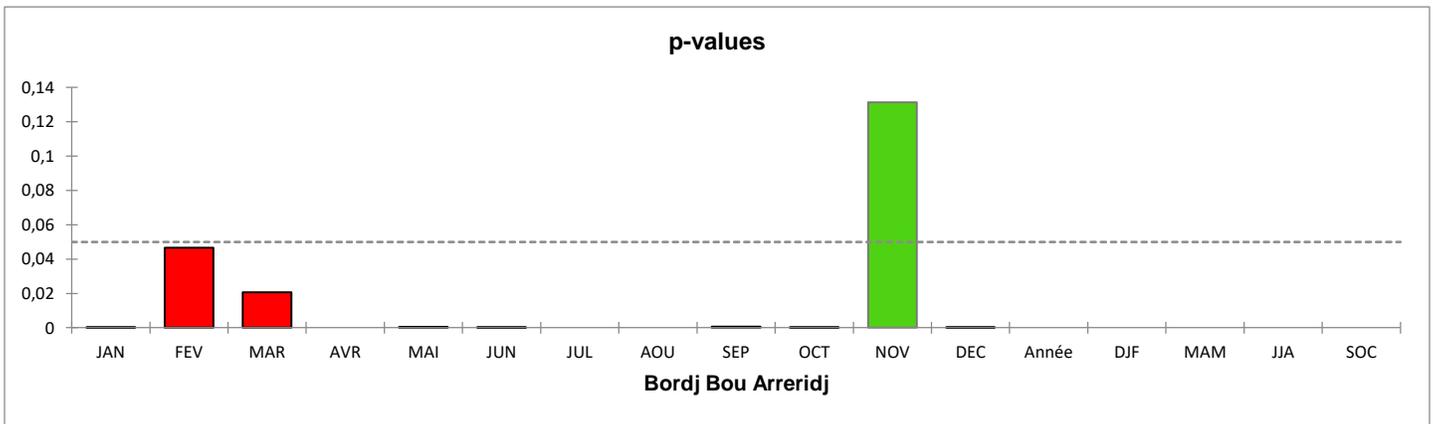
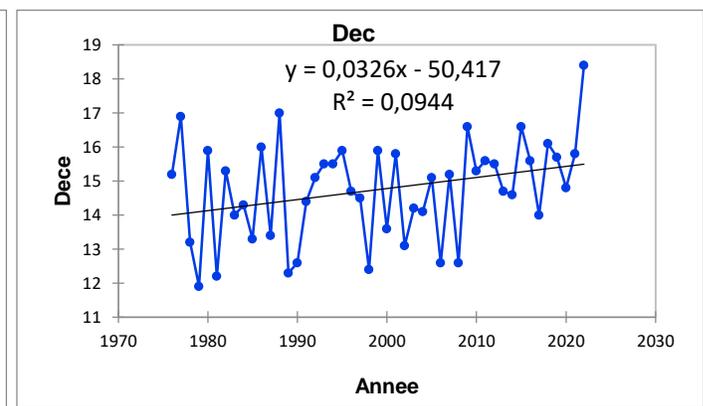
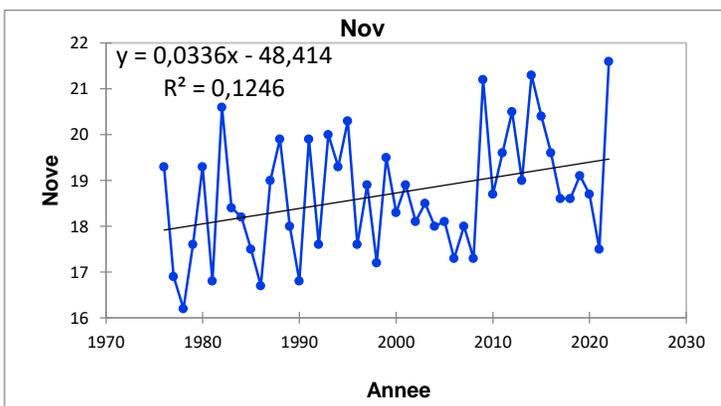
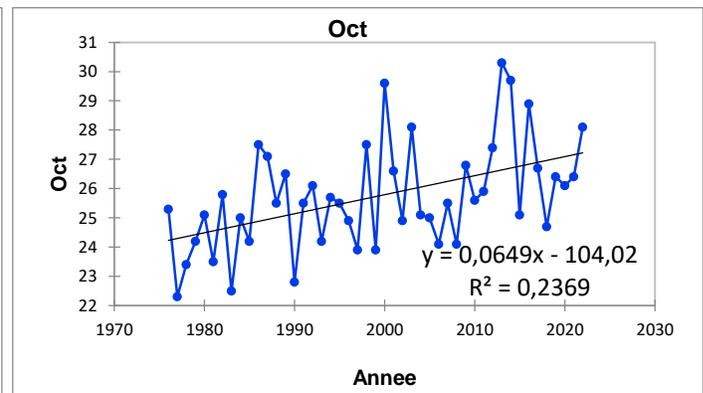
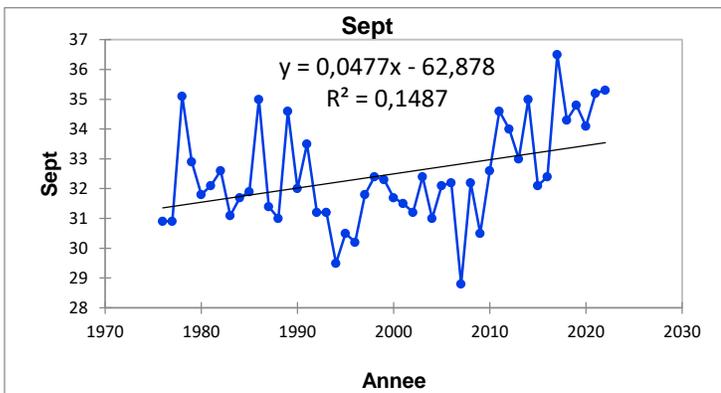
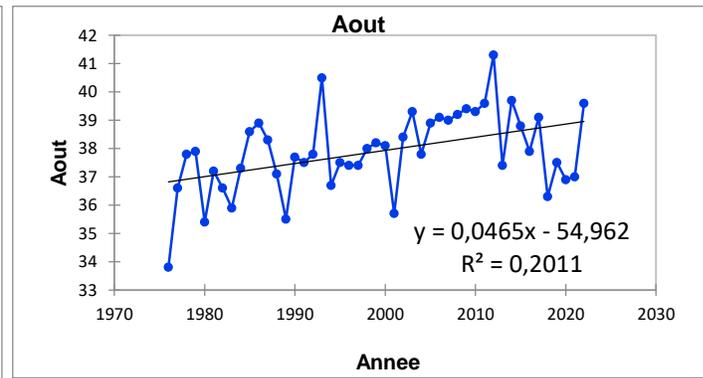
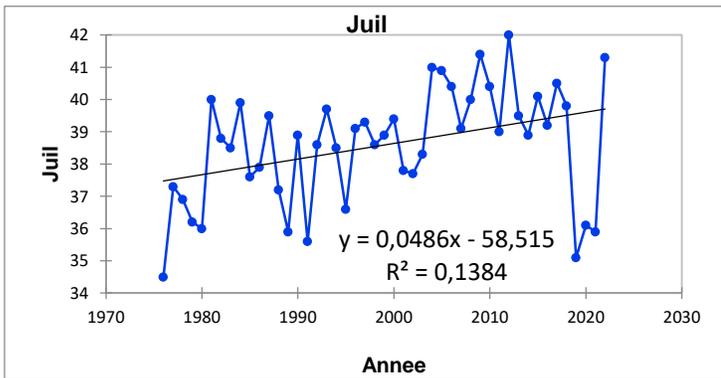
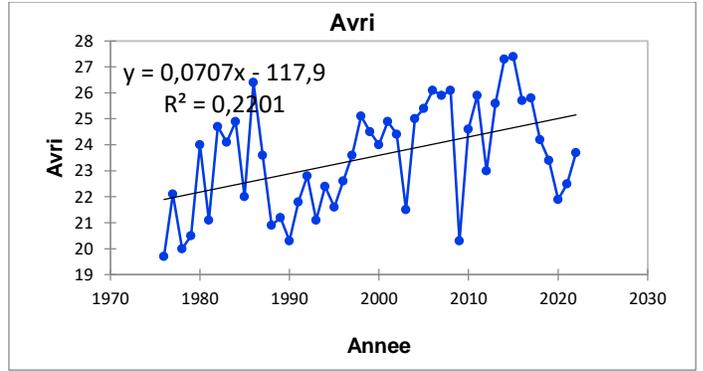
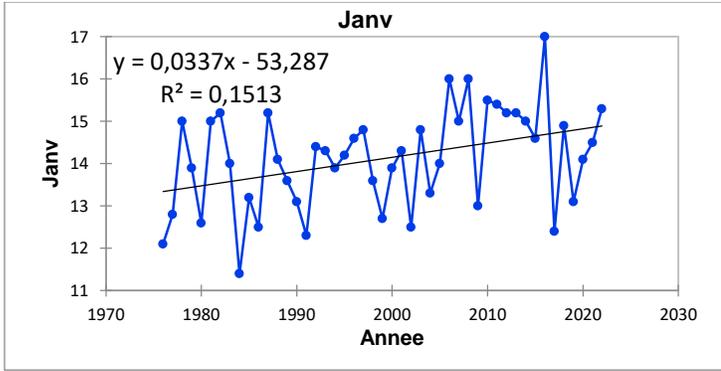


Figure 80 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Bordj Bou Arreridj.

Station de M'sila

D'après l'analyse graphique des figures 81 et 82, il est évident que la station de M'sila a présenté une tendance significative dans les mois de janvier, avril, juillet, août, septembre, octobre, novembre et décembre, ainsi que pendant les saisons printanière, estivale et automnale. De plus, une tendance annuelle significative est également observée.

Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

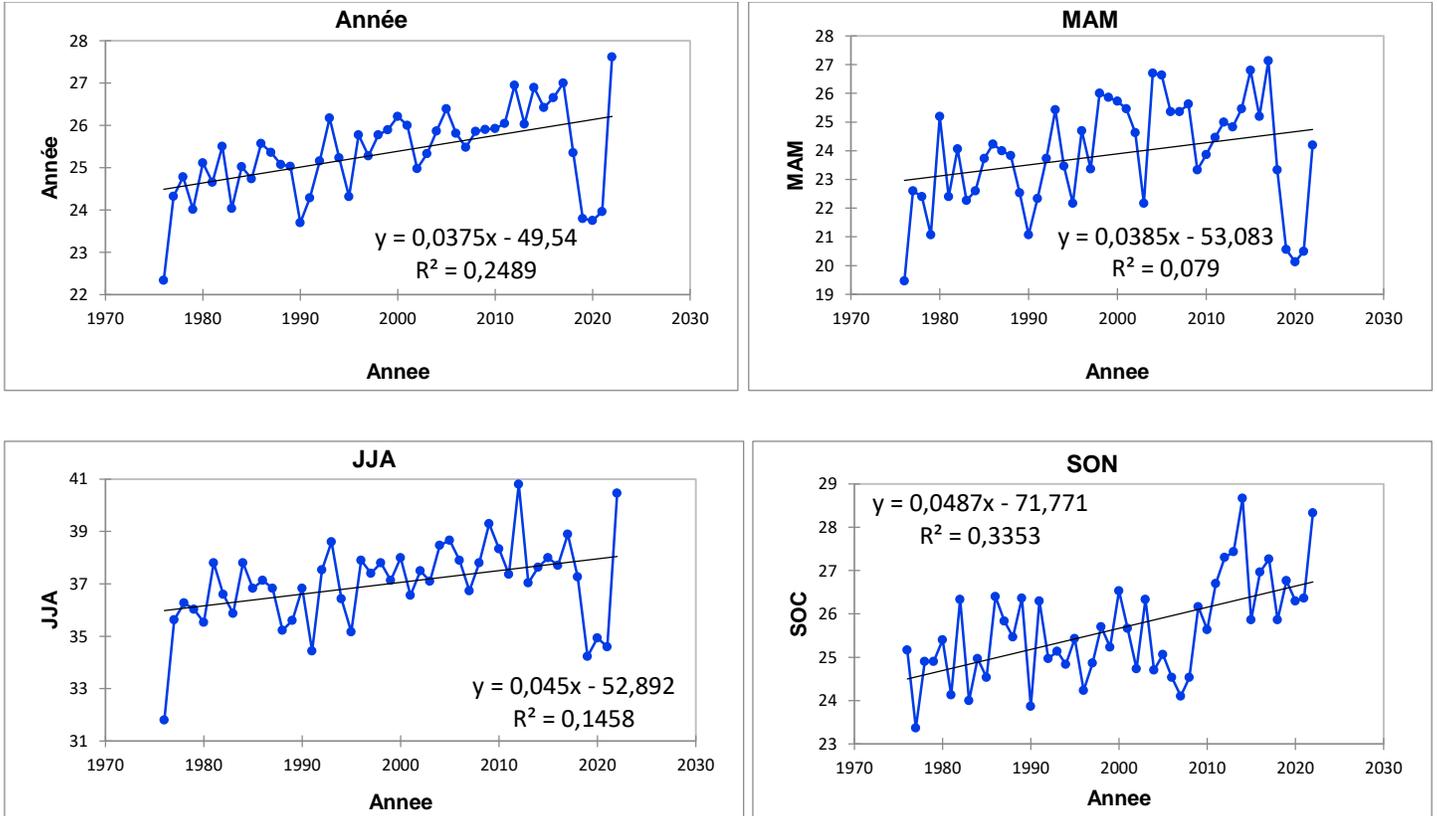


Figure 81 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de M'sila (période 1976-2022).

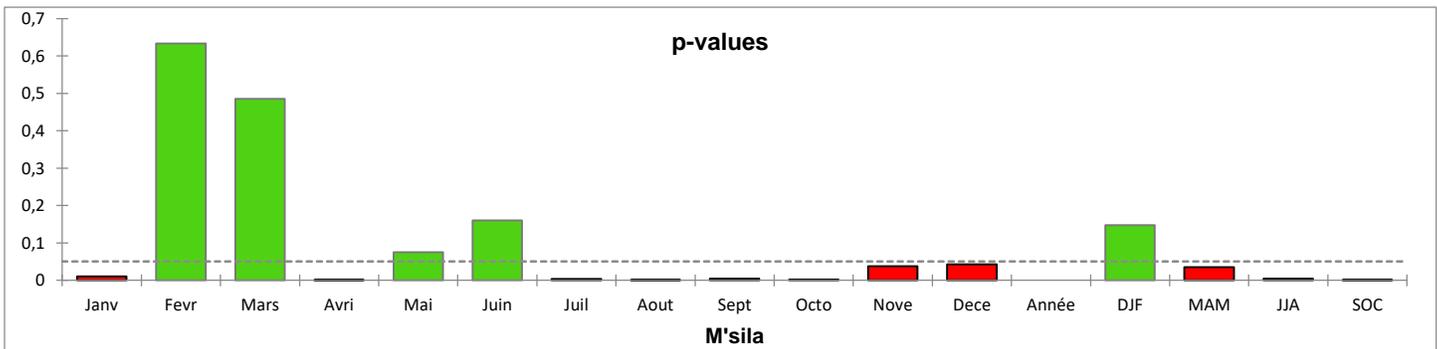


Figure 82 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de M'sila.

Chapitre 4 : Résultats

Station de Djelfa

L'analyse graphique des figures 83, 84 mettent en évidence que la station de Djelfa a montré une tendance significative uniquement pour les mois de juillet et août, ainsi qu'une tendance annuelle significative.

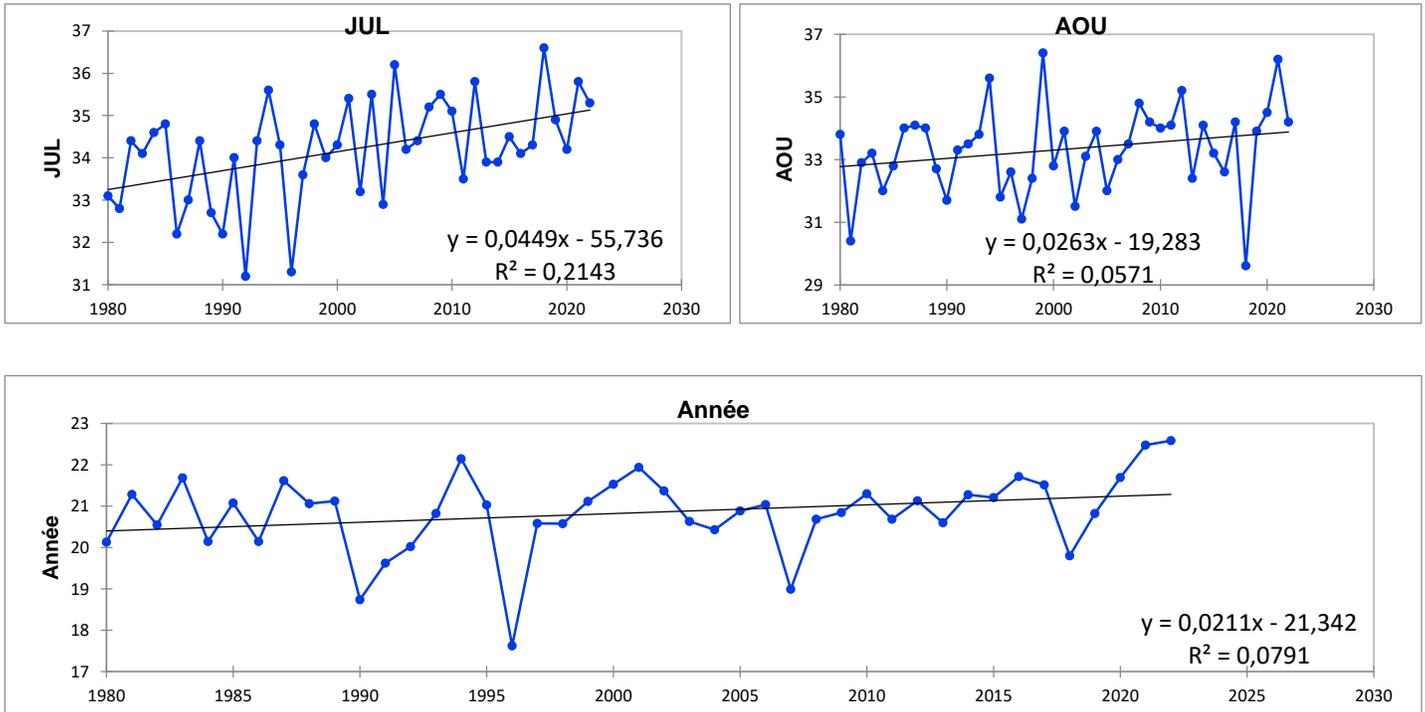


Figure 83 : tendance de Mann-Kendall pour le mois juillet, aout, année pour les températures maximales de la station de Djelfa (période 1976-2022).

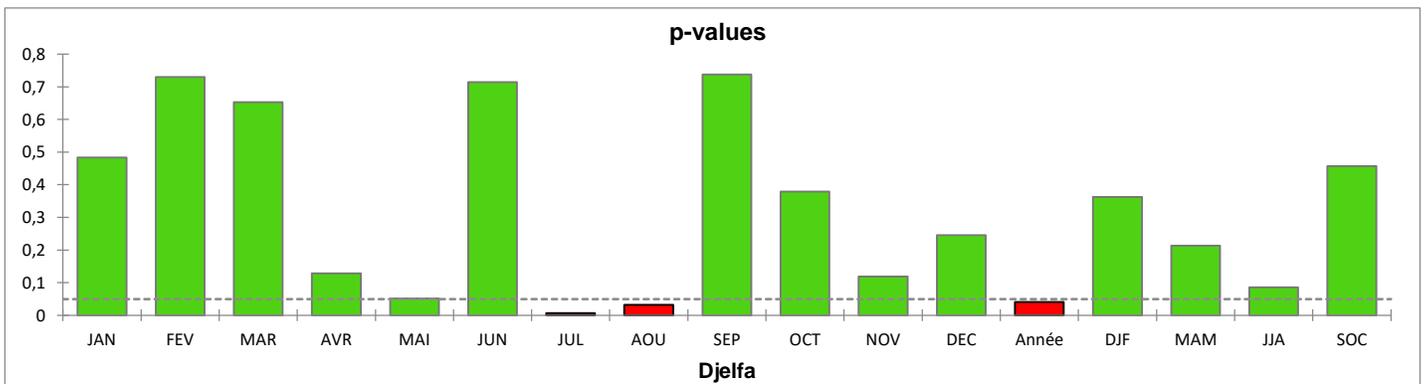
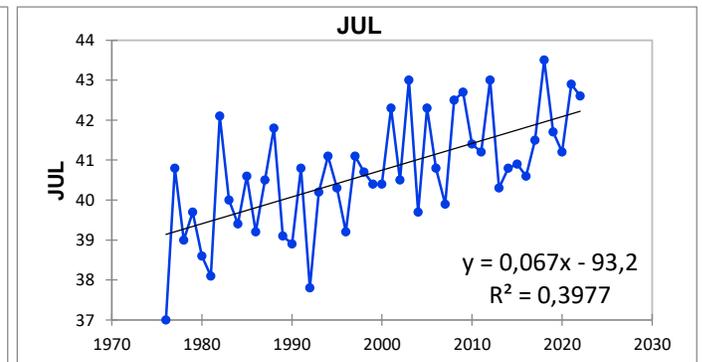
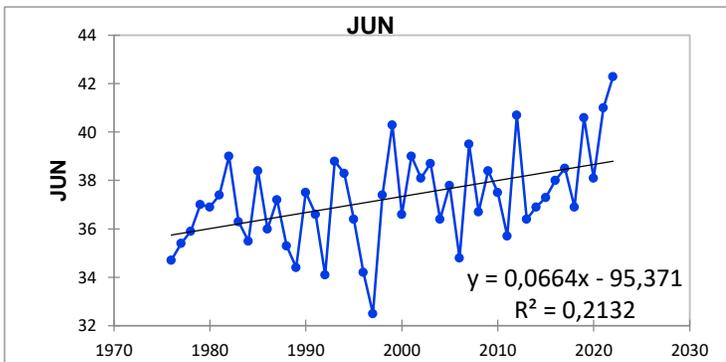
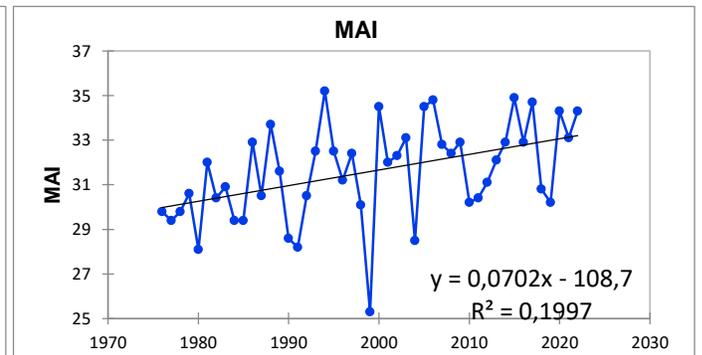
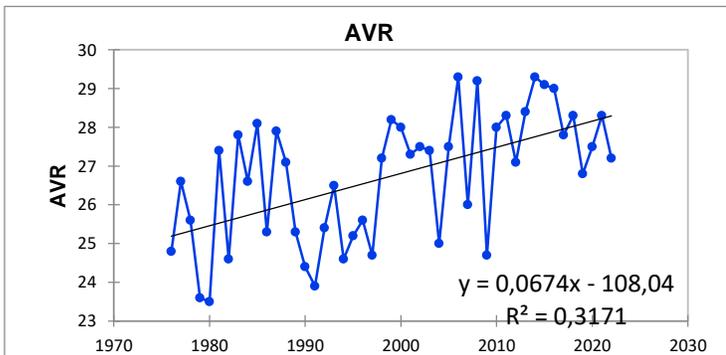
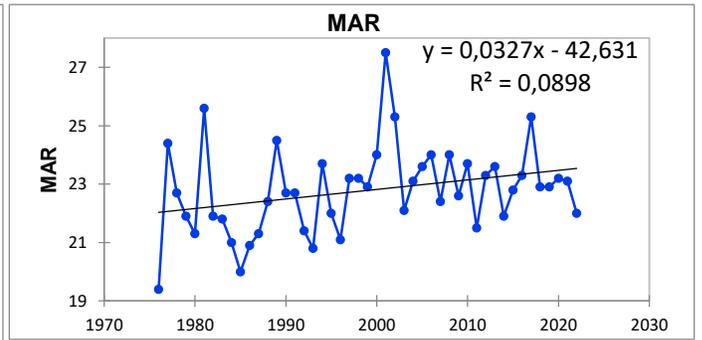
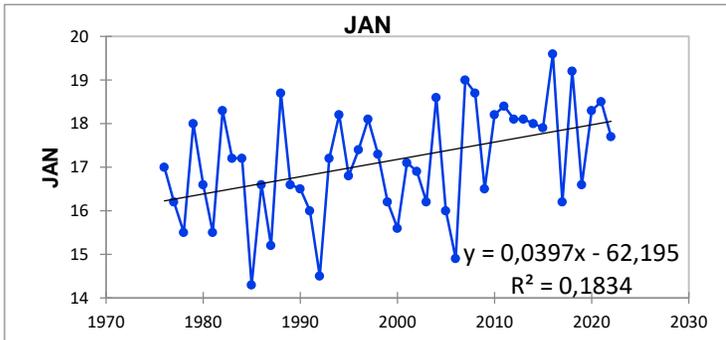


Figure 84 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Djelfa.

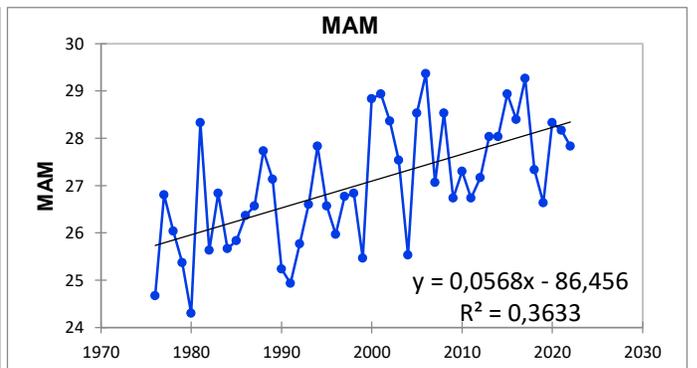
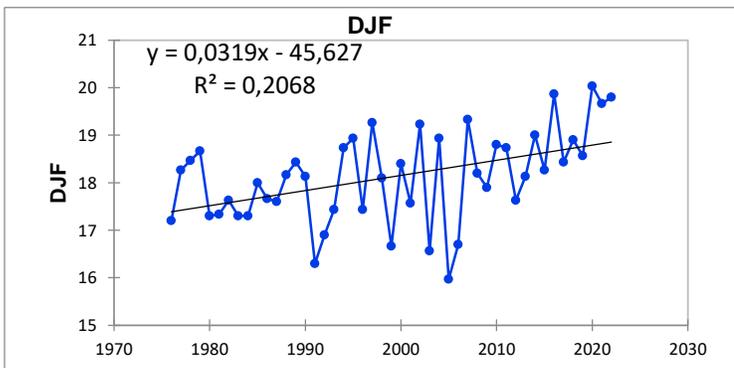
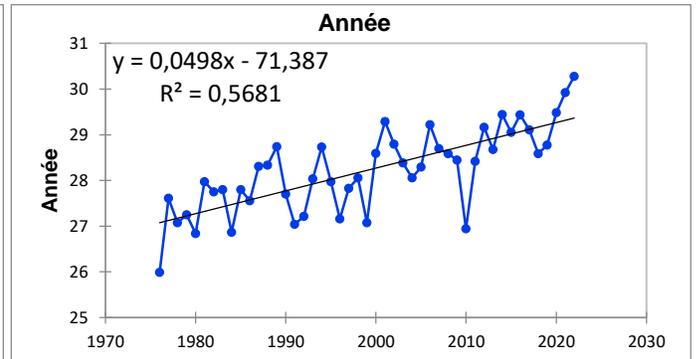
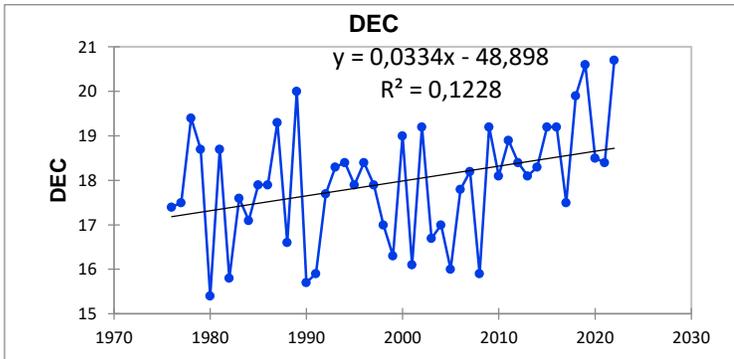
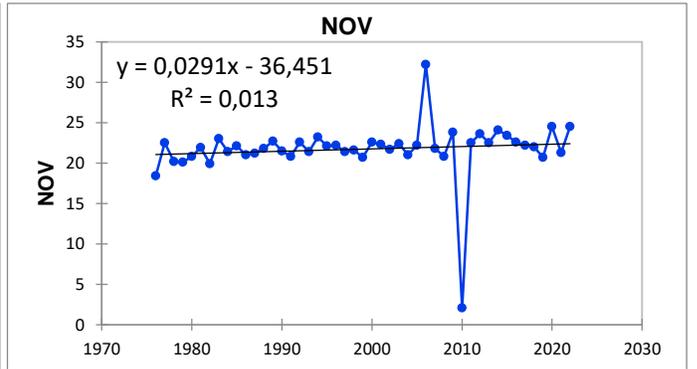
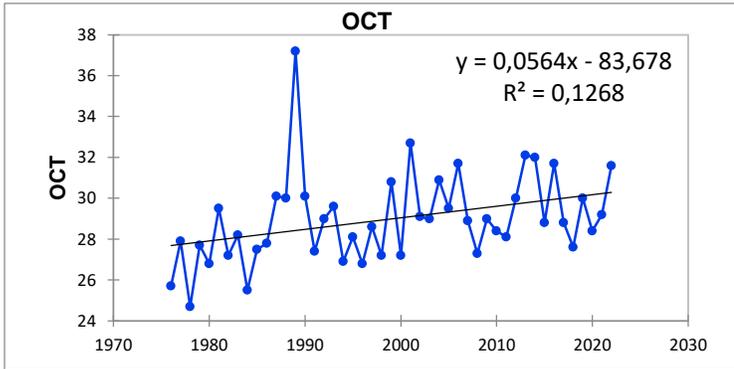
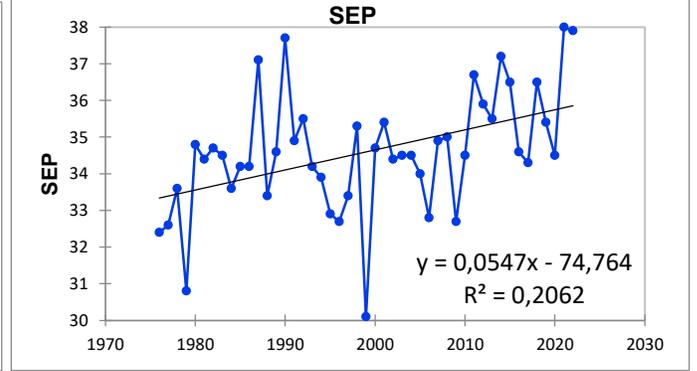
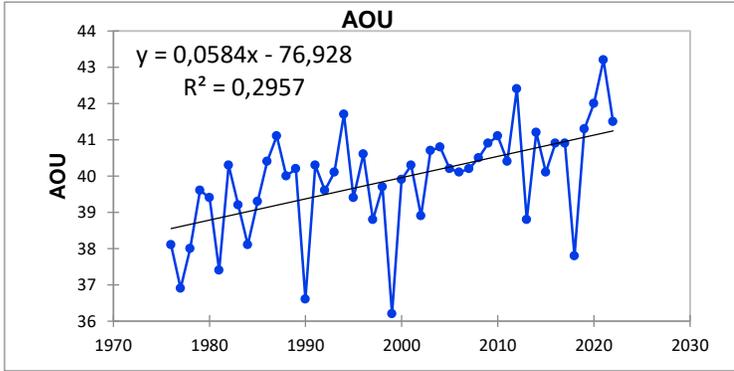
Chapitre 4 : Résultats

Station de Biskra

L'analyse graphique des figures 85, 86 révèlent que la station de Biskra montre une variation mensuelle, saisonnière et annuelle significative pour l'ensemble de la série temporelle, à l'exception des mois de février. Cette tendance est observable dans les mois de janvier, mars, avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre et décembre, ainsi que dans les saisons hivernale, printanière, estivale et automnale. De plus, une tendance annuelle significative est également présente.



Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

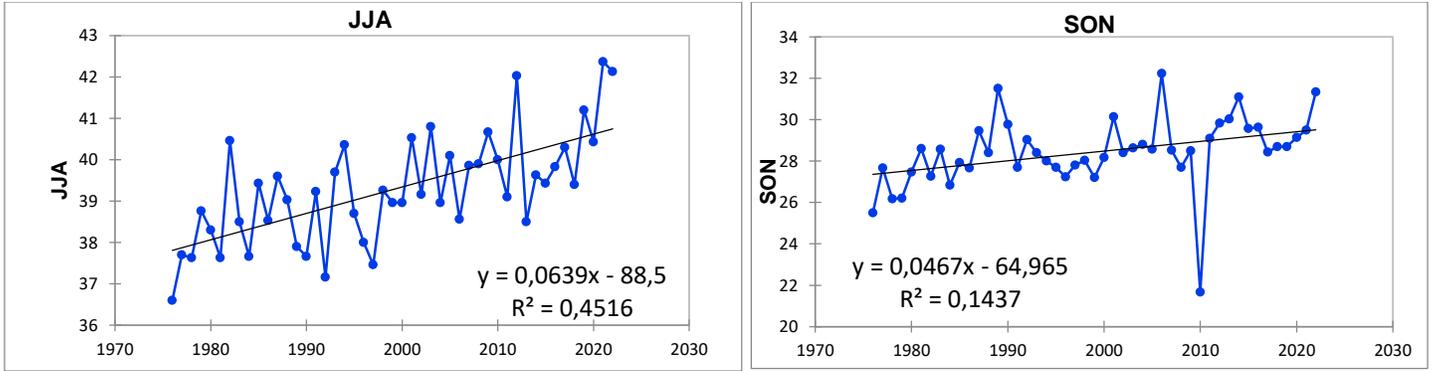


Figure 85 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures maximales de la station de Biskra (période 1976-2022).

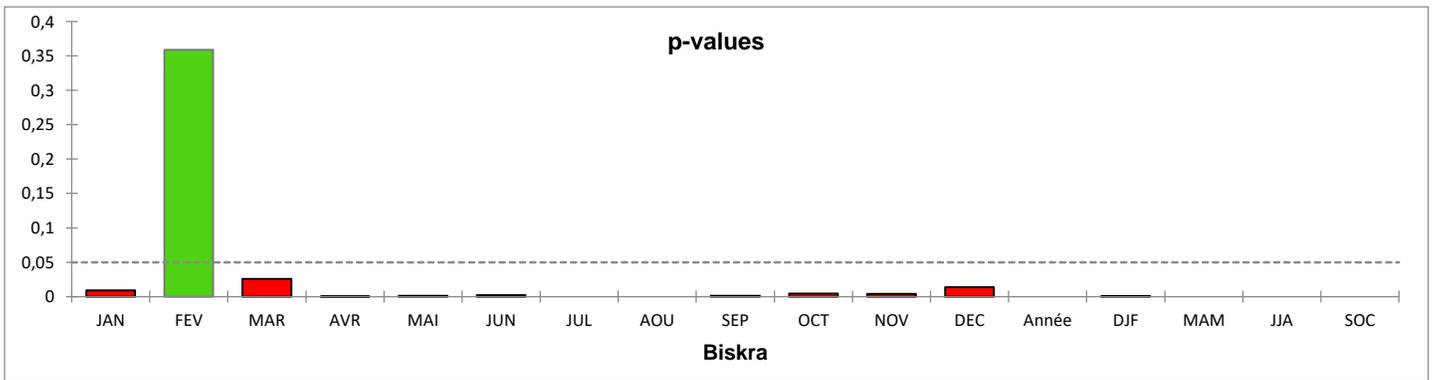


Figure 86 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures maximales de la station de Biskra.

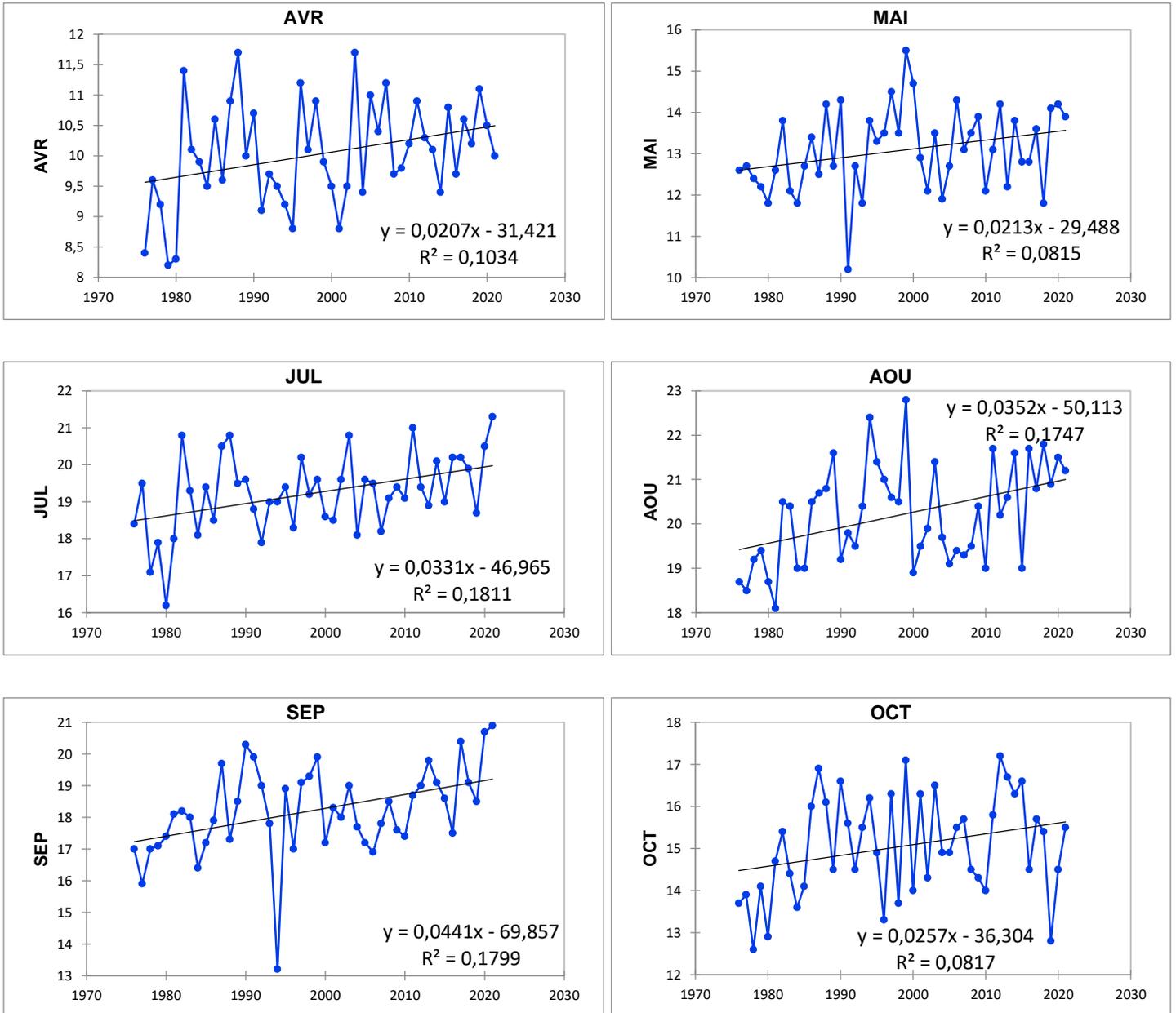
5.3. Analyse des résultats relatifs à la tendance des températures minimale

Les analyses des tendances des températures maximales indiquent que toutes les stations présentent une tendance significative pour la période allant de 1976 à 2022. Ces tendances peuvent être attribuées à la variabilité annuelle des températures ainsi qu'à la variabilité spatiale influencée par des facteurs tels que l'altitude des stations, l'exposition aux masses d'air et l'influence maritime sur ce phénomène.

Chapitre 4 : Résultats

Station d'Annaba

L'analyse graphique des figures 87 et 88 indique qu'il est observé que la station de Biskra présente une variance significative pour les mois d'avril, mai, juillet, août, septembre et octobre, ainsi que pour les saisons de printemps, été et automne. De plus, une tendance annuelle significative est également mise en évidence.



Chapitre 4 : Résultats

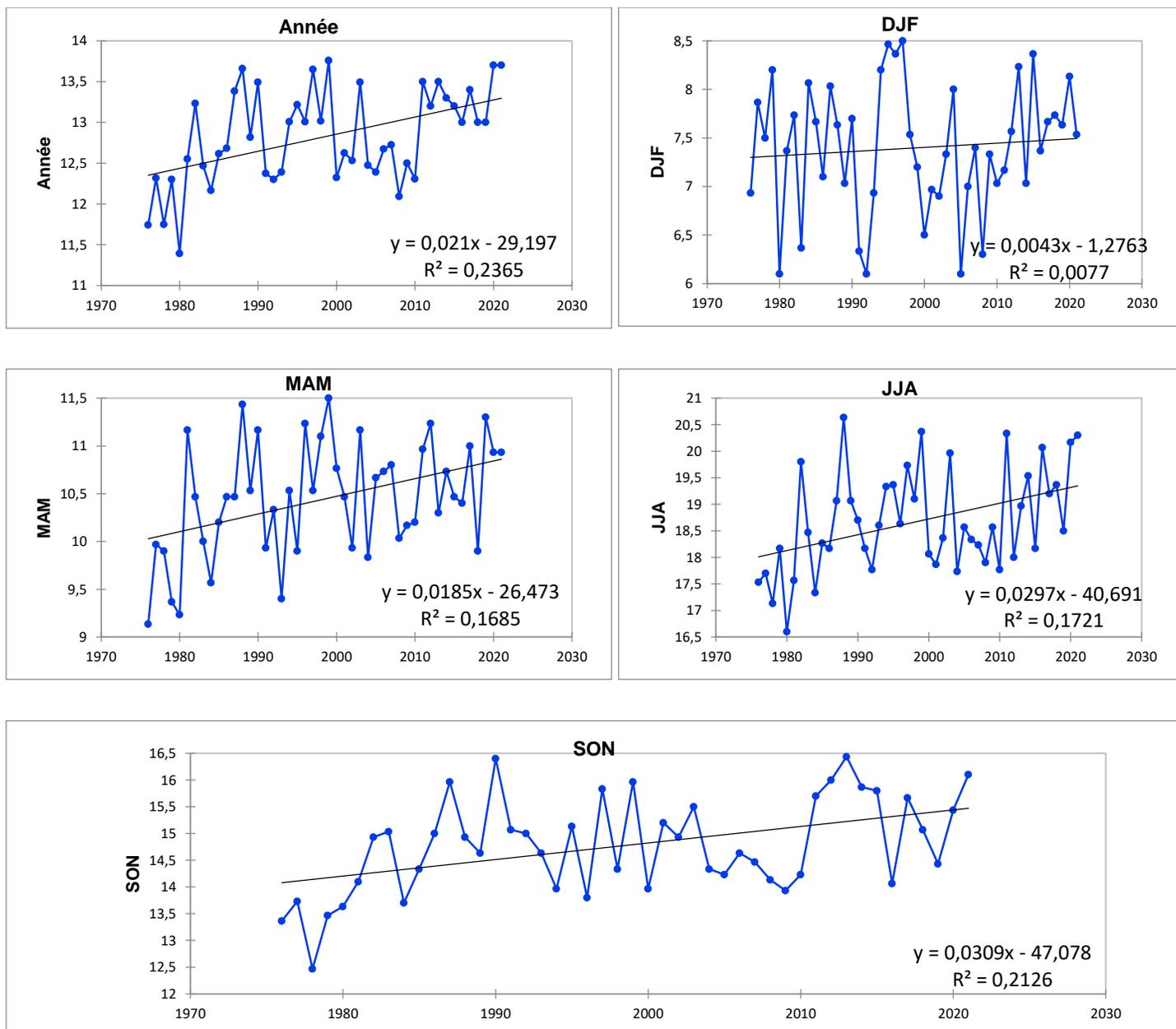


Figure 87 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station d'Annaba (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

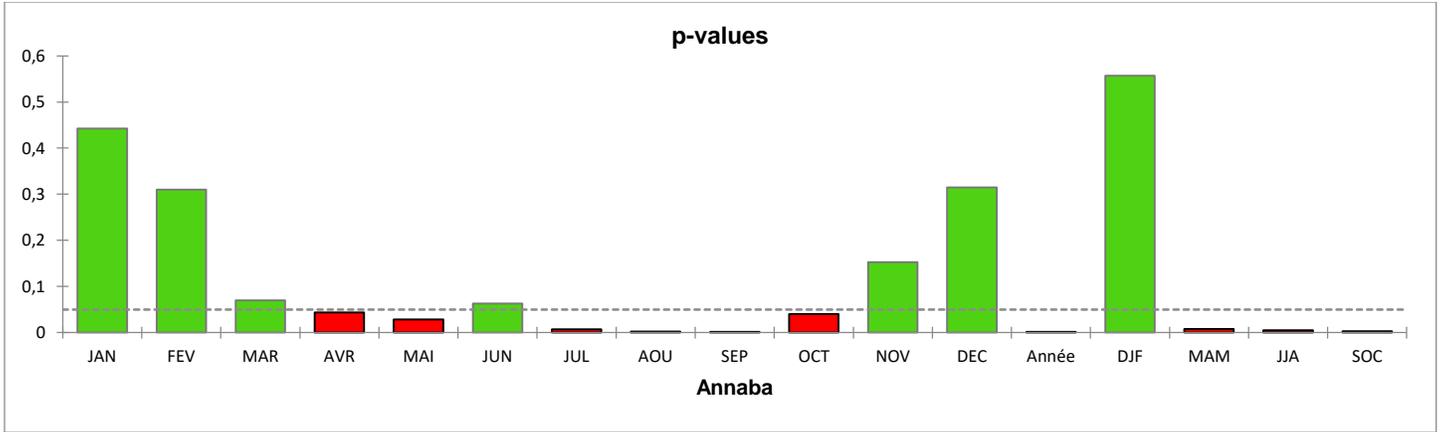
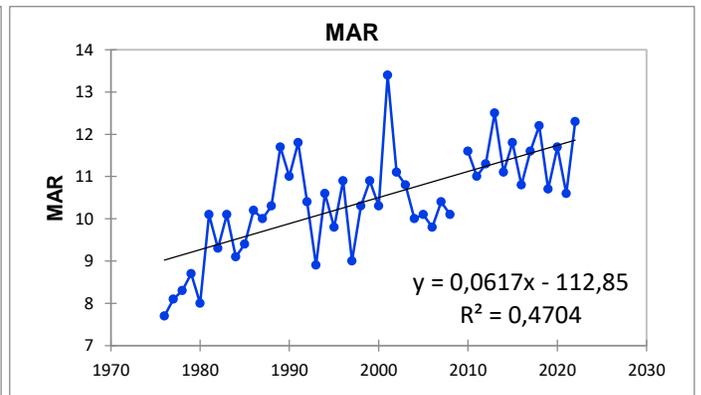
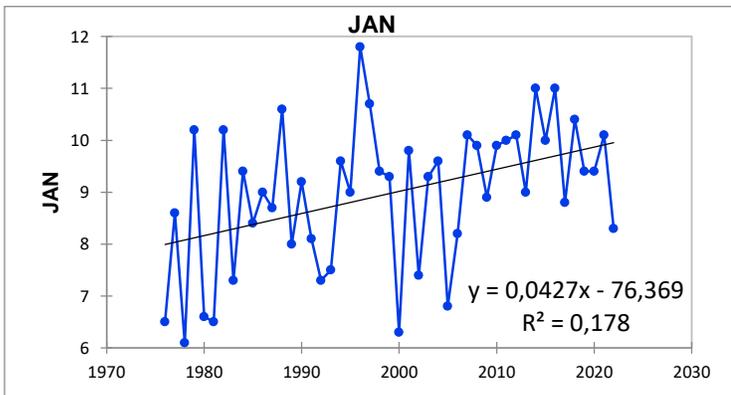


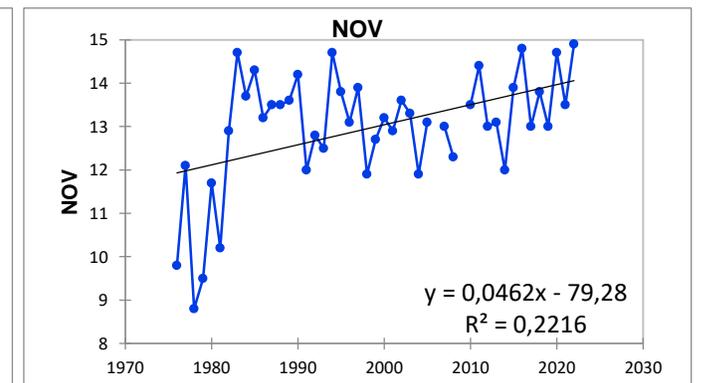
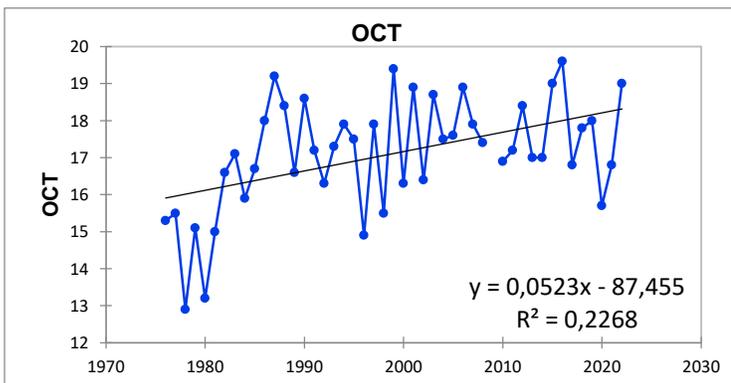
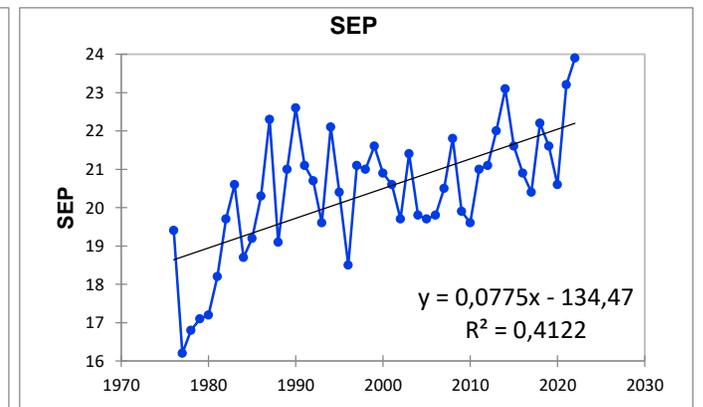
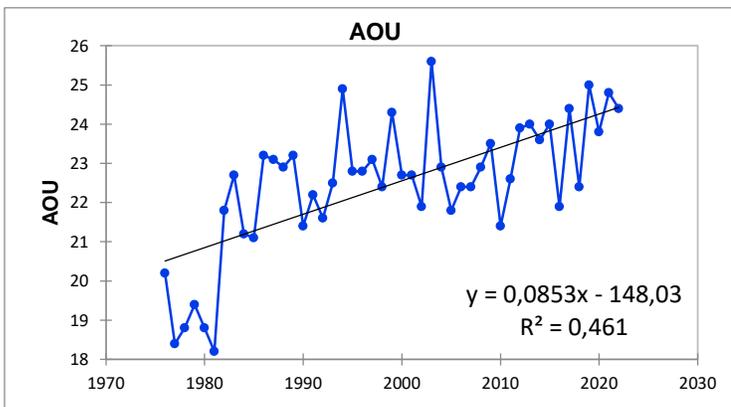
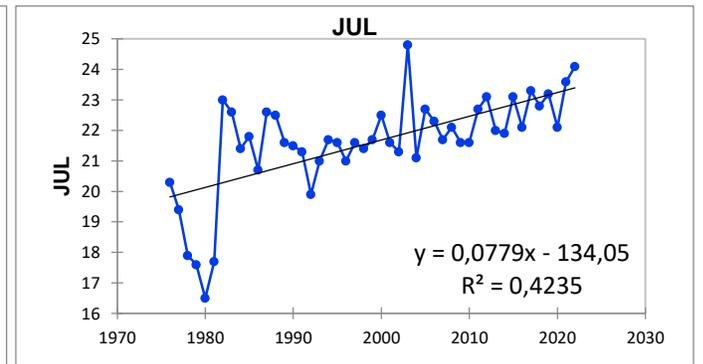
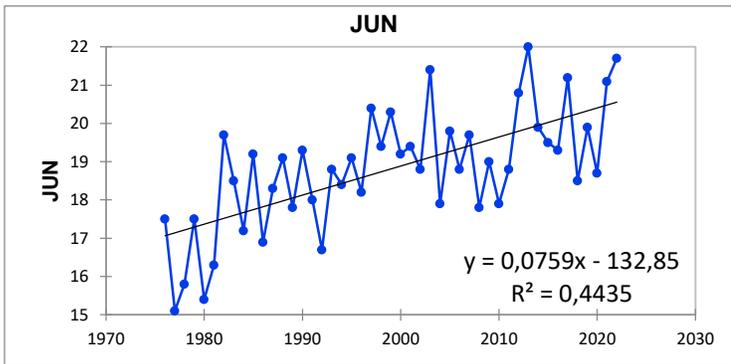
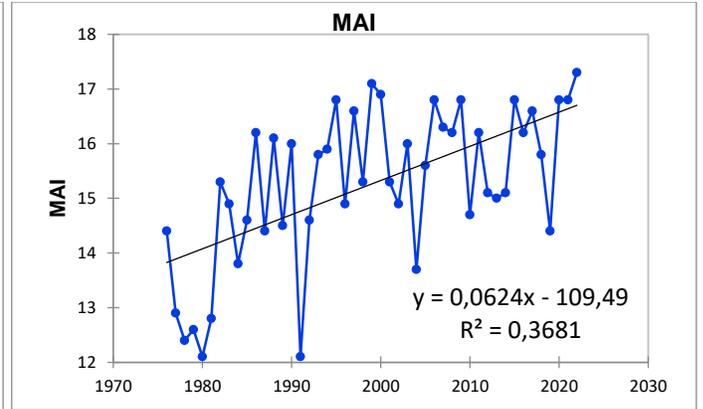
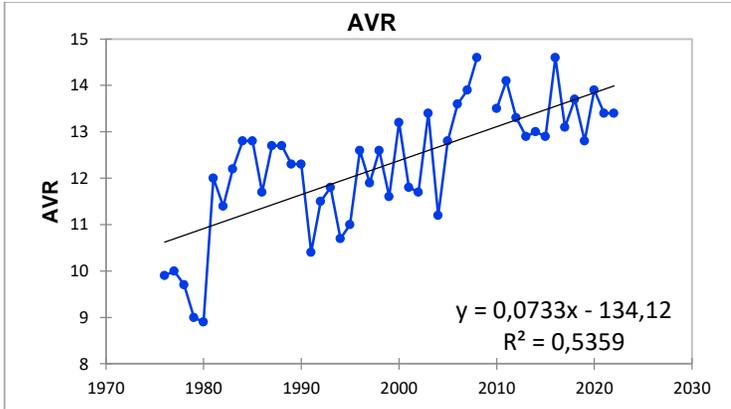
Figure 88 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station d'Annaba.

Station de Skikda

L'analyse graphique des figures 89 et 90 révèle que la station de Skikda montre une variation mensuelle, saisonnière et annuelle significative pour l'ensemble de la série temporelle, à l'exception des mois de février. Cette tendance est observable dans les mois de janvier, mars, avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre et décembre, ainsi que dans les saisons hivernale, printanière, estivale et automnale. De plus, une tendance annuelle significative est également présente.



Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

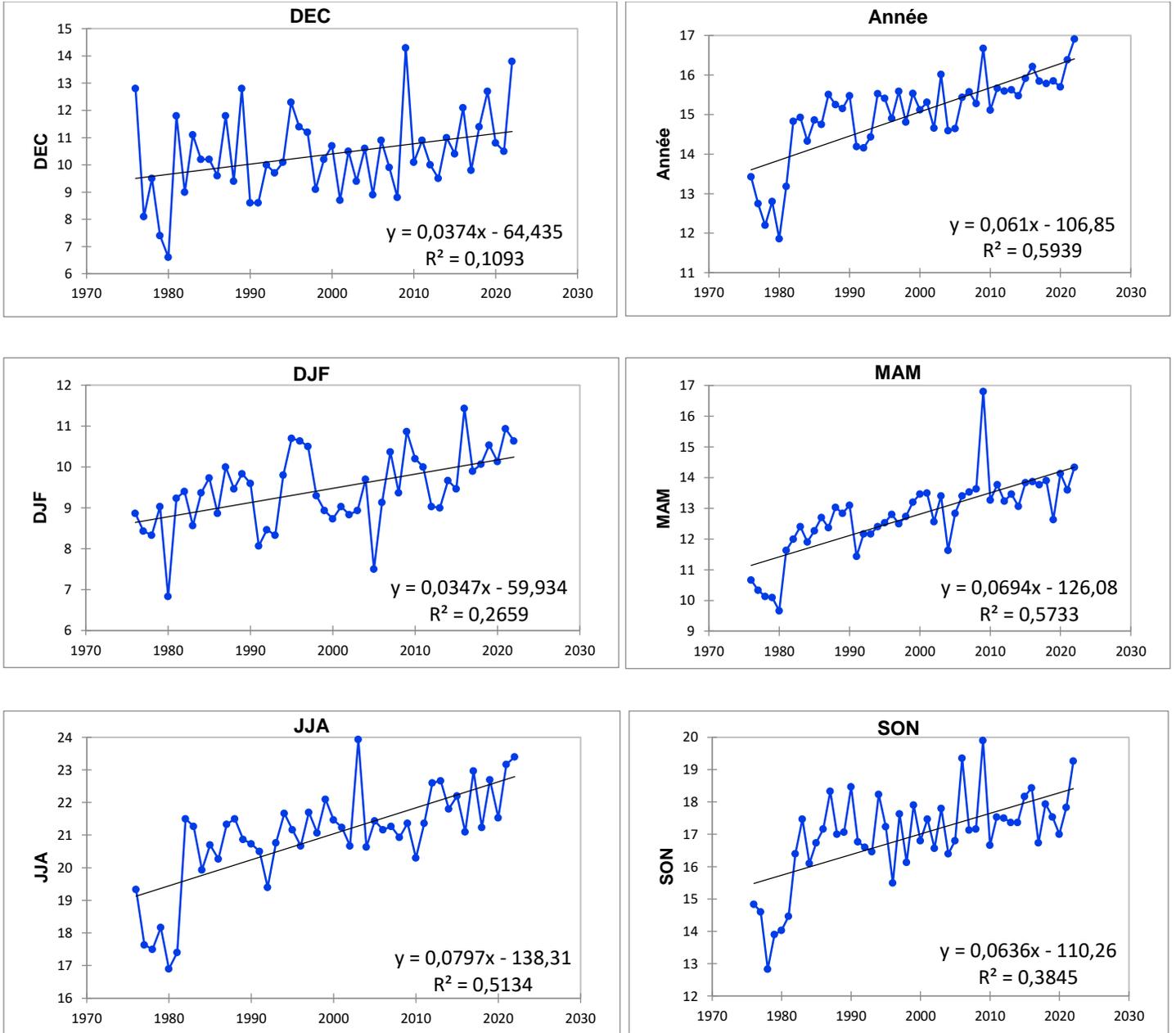


Figure 89 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Skikda (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

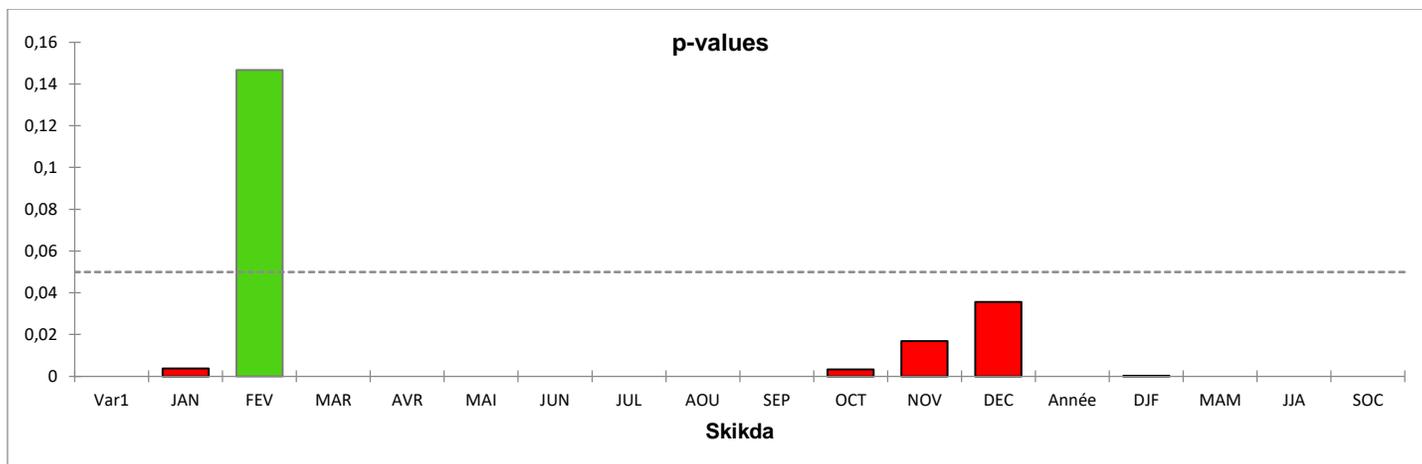
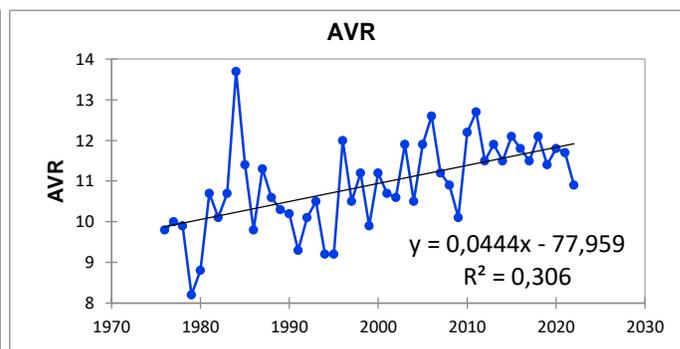
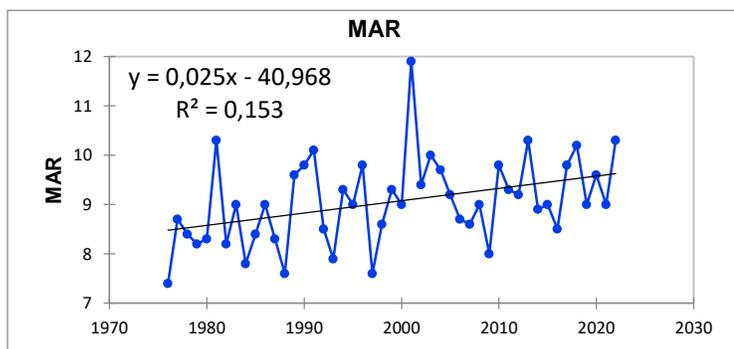


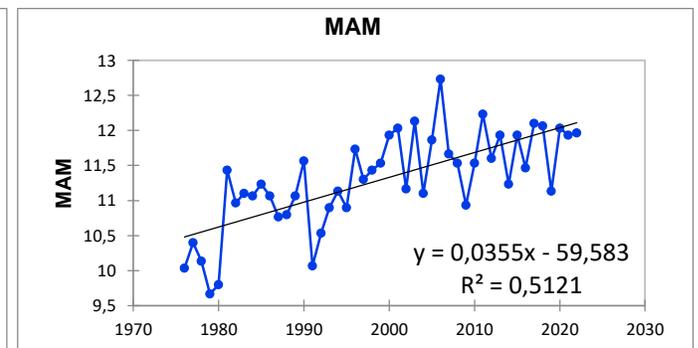
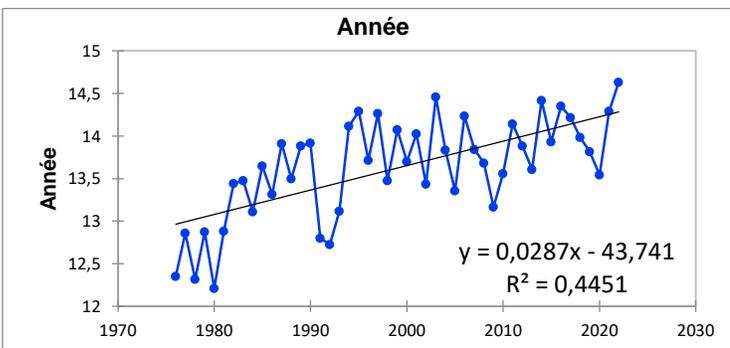
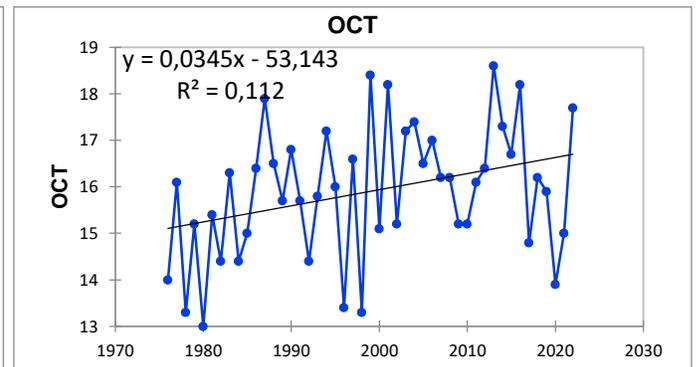
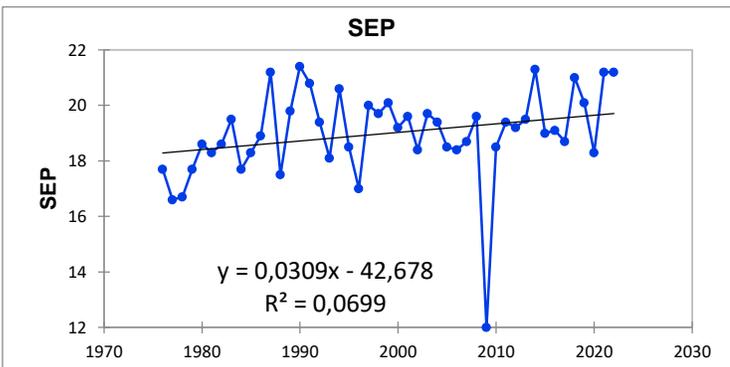
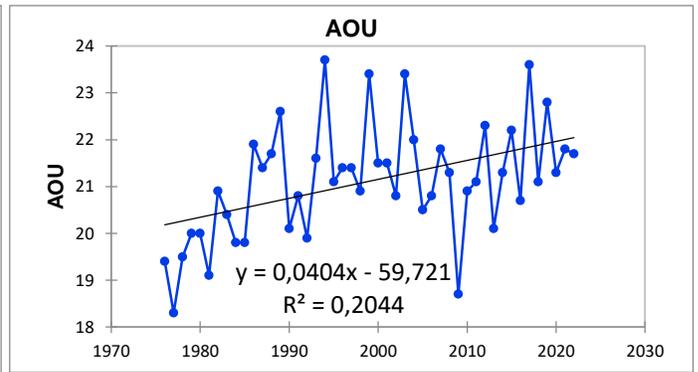
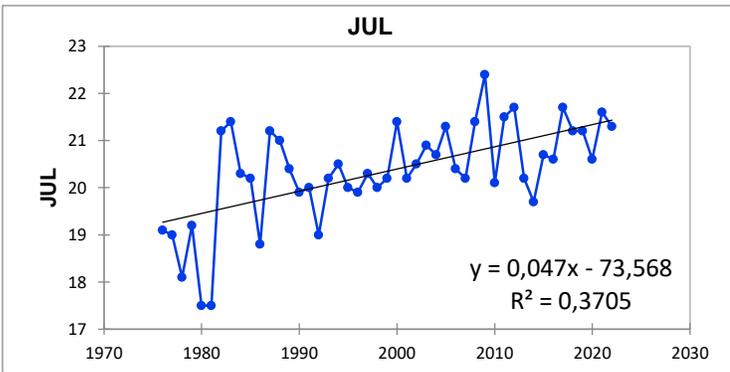
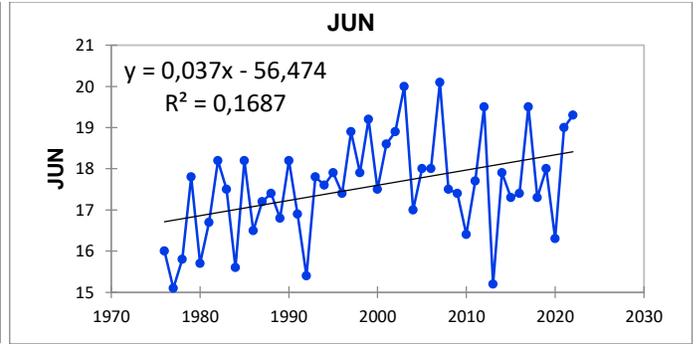
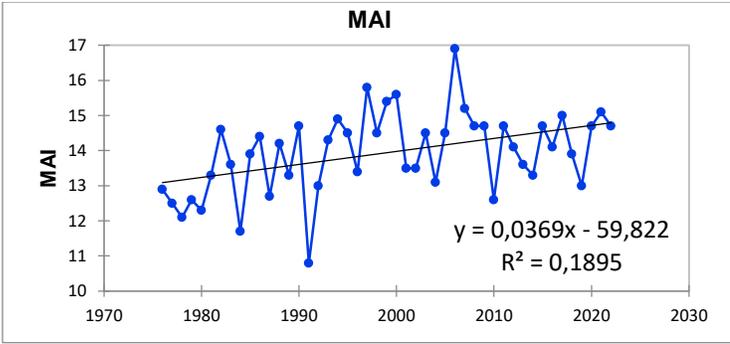
Figure 90 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Skikda.

Station de Béjaïa

L'analyse graphique des figures 91, 92 révèle que la station de Béjaïa présente une variance significative tant au niveau mensuel, saisonnier qu'annuel, notamment pour les mois de mars, avril, mai, juin, juillet, aout, septembre et octobre, ainsi que pour les saisons de printemps, été et automne sur la période (1976-2022).



Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

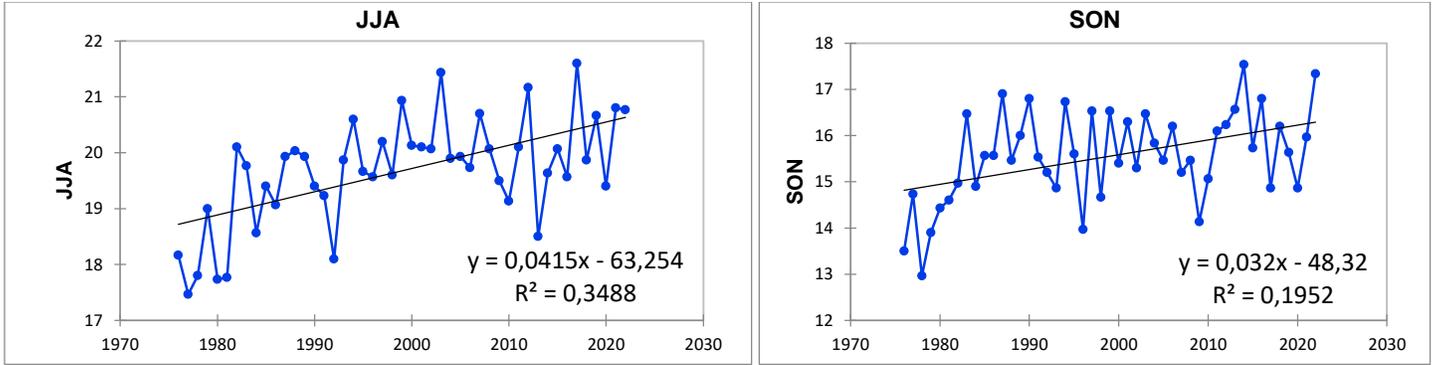


Figure 91 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Béjaïa (période 1976-2022).

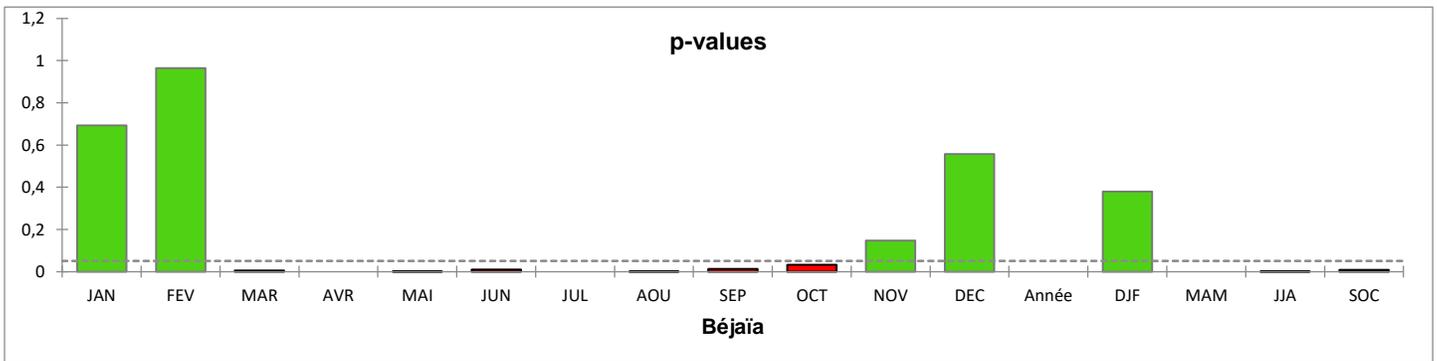
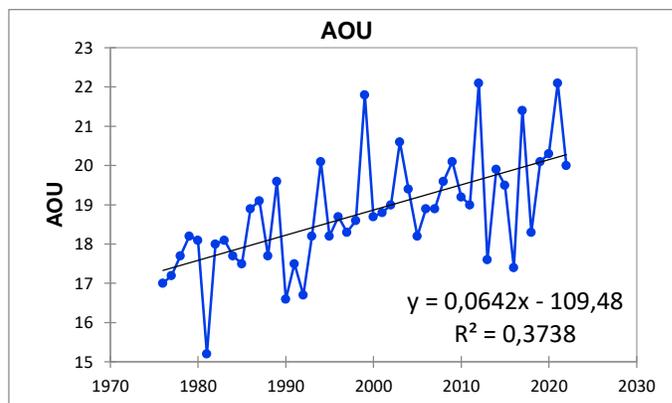
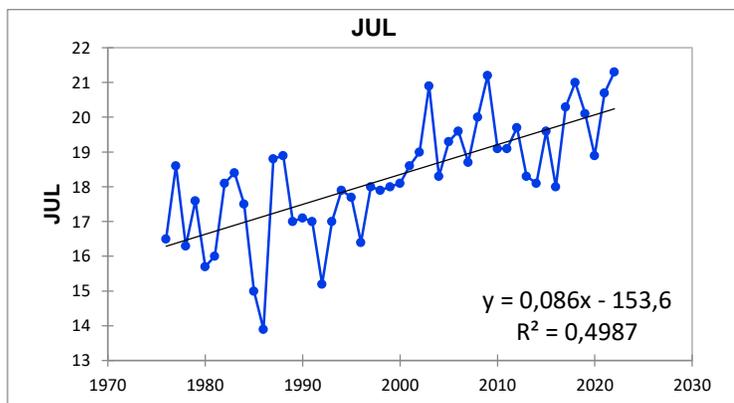
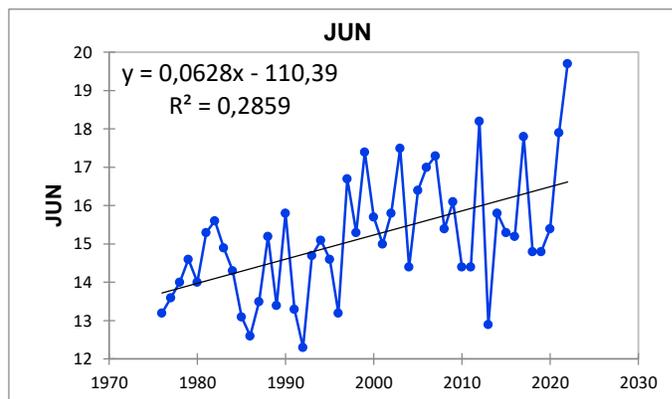
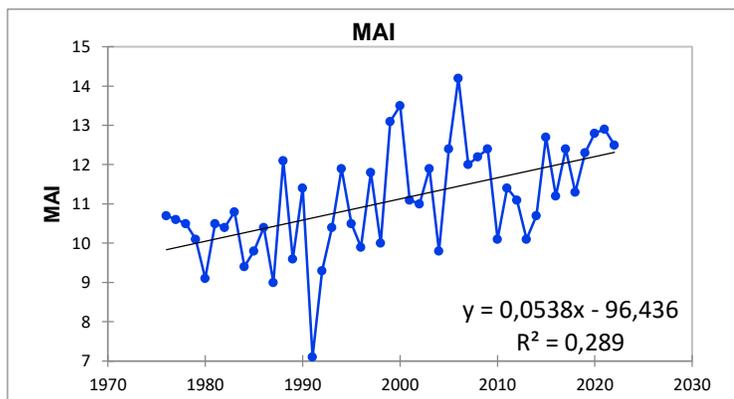
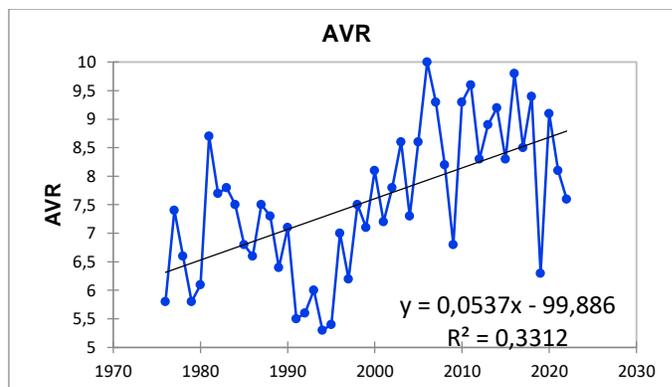
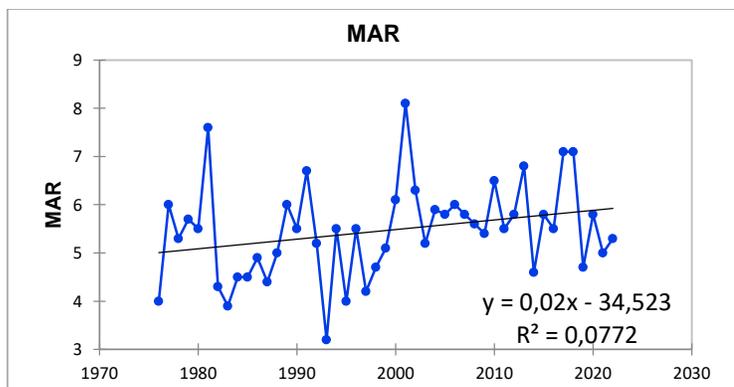


Figure 92 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Béjaïa.

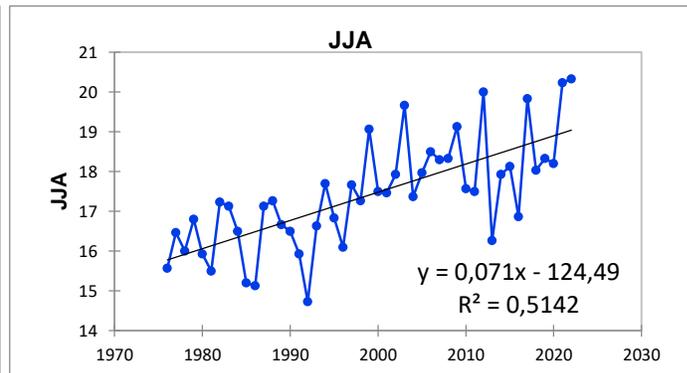
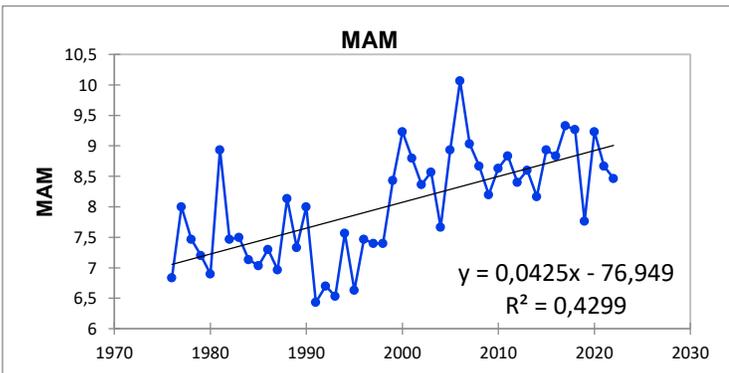
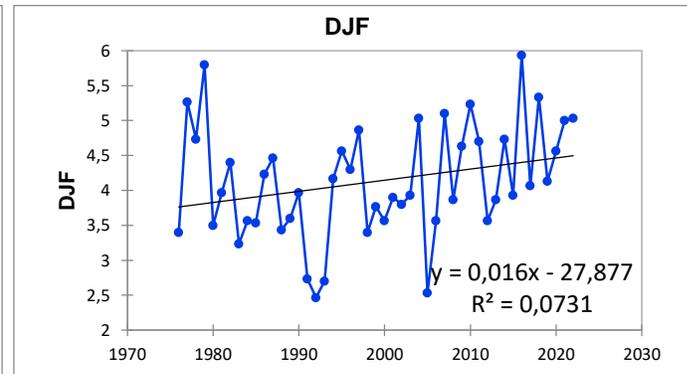
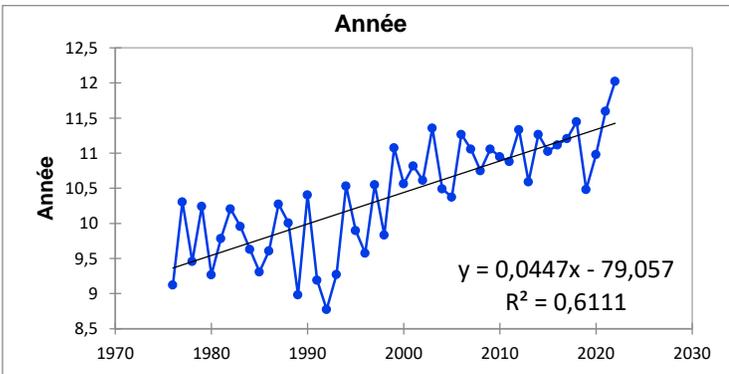
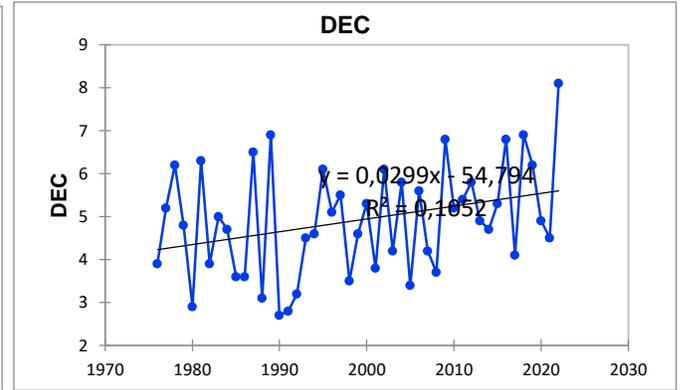
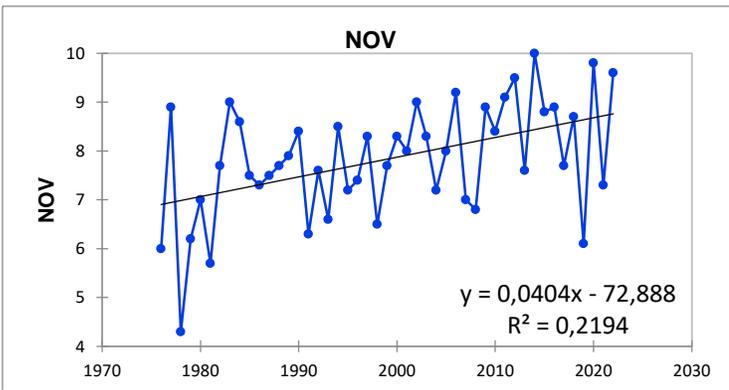
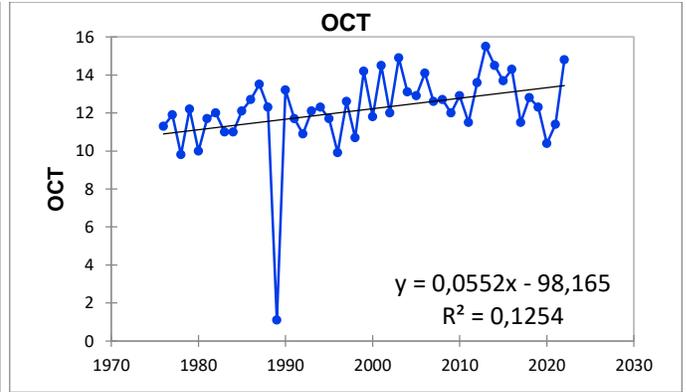
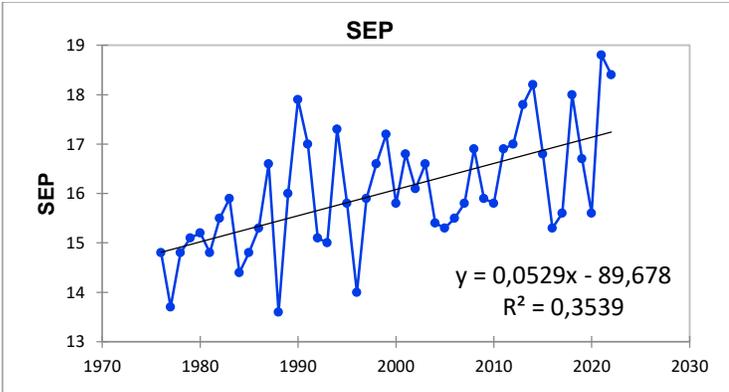
Station de Souk Ahras

L'analyse graphique des figures 93, 94 révèle que la station de Souk Ahras montre une variation mensuelle, saisonnière et annuelle significative pour l'ensemble de la période 1976- 2022, à l'exception des mois de janvier et février. Cette tendance est observable dans les mois de janvier, mars, avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre et décembre, ainsi que dans les saisons hivernale, printanière, estivale et automnale. De plus, une tendance annuelle significative est également présente.

Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

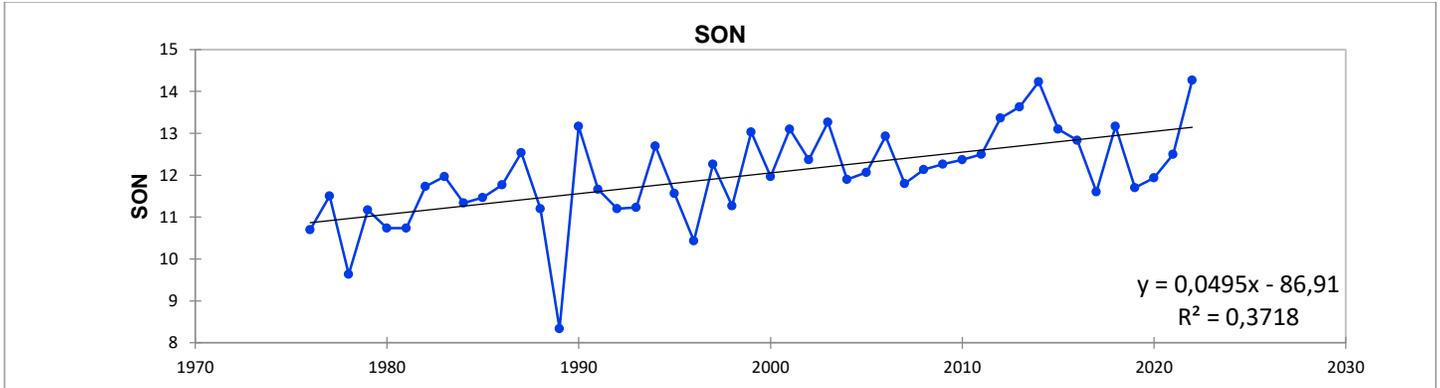


Figure 93 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Souk Ahras (période 1976-2022).

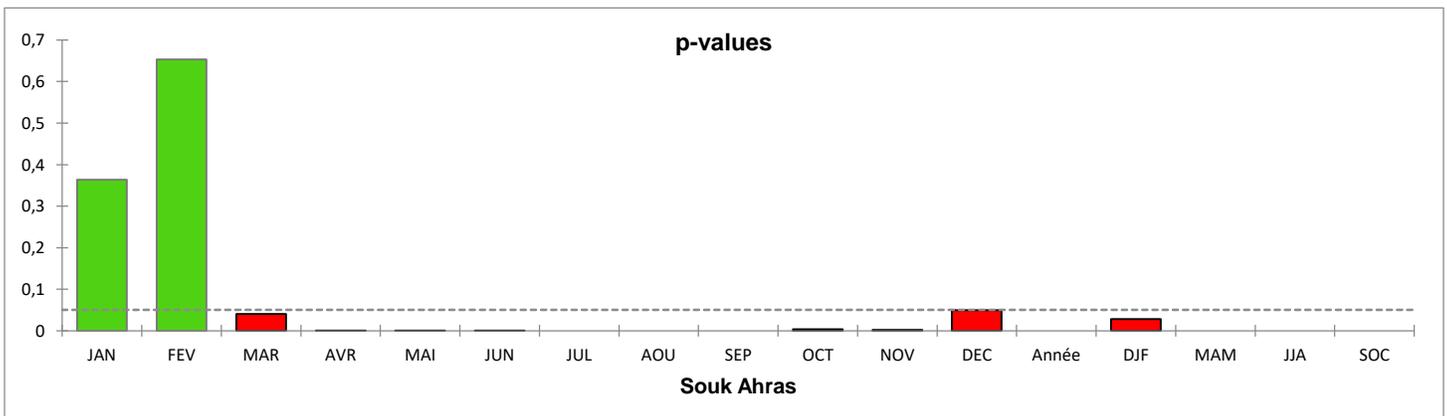


Figure 94 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Souk Ahras.

Station de Guelma

L'analyse graphique des figures 95 et 96 révèle que La station de Guelma présente une tendance significative uniquement dans le mois d'avril pour l'ensemble de la période 1976-2022

Chapitre 4 : Résultats

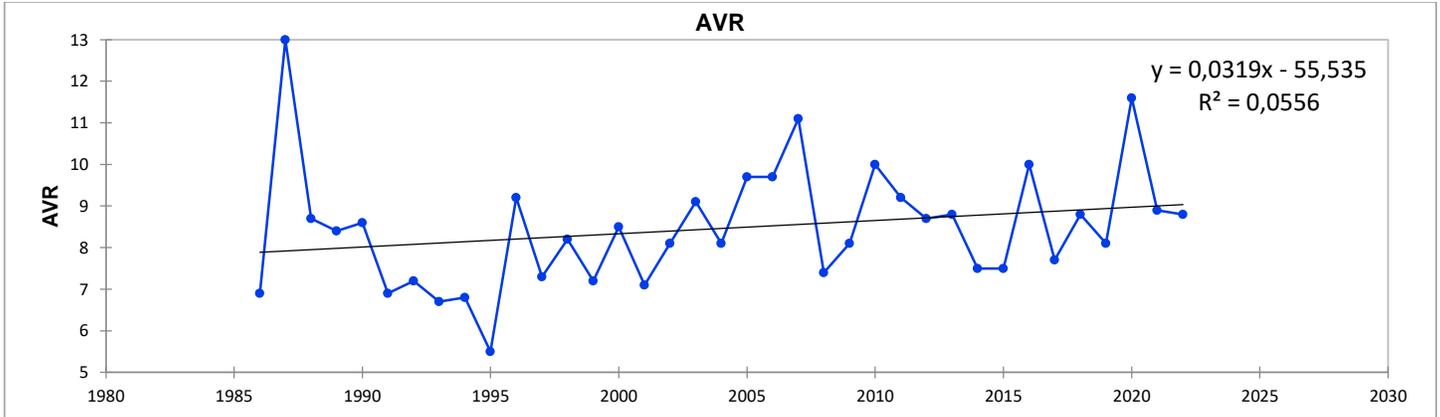


Figure 95 : tendance de Mann-Kendall pour le mois d’avril pour les températures minimales de la station de Guelma (période 1976-2022).

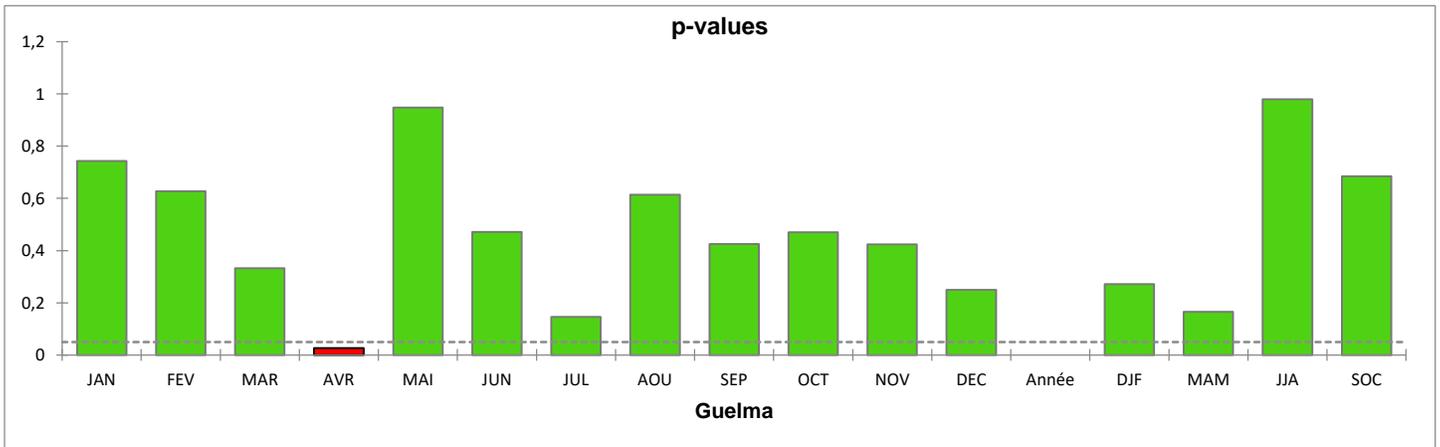
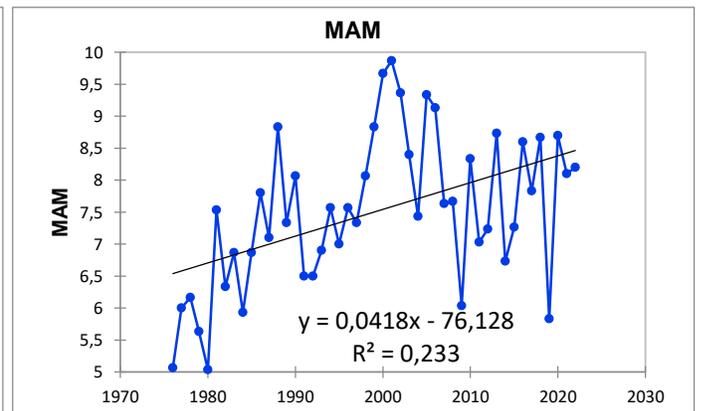
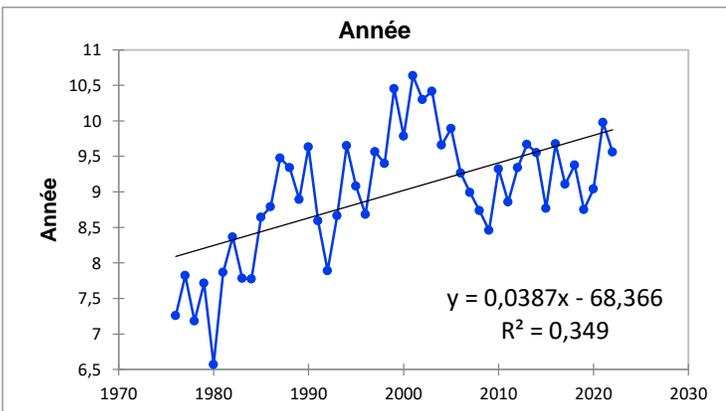
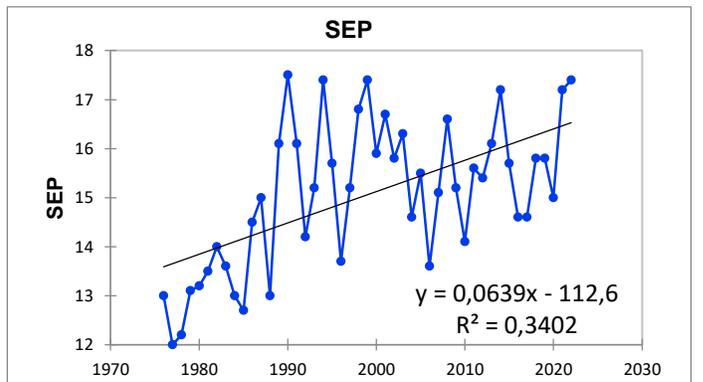
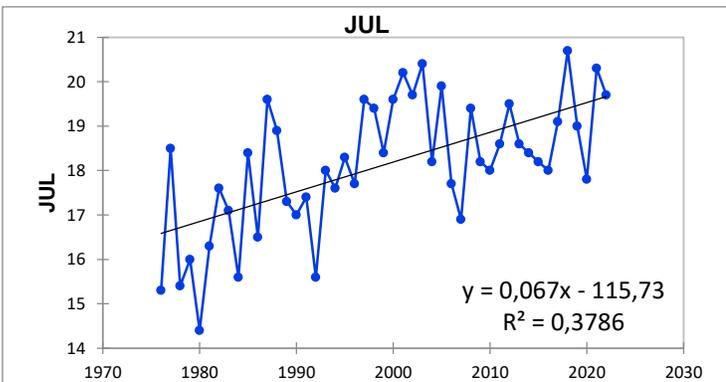
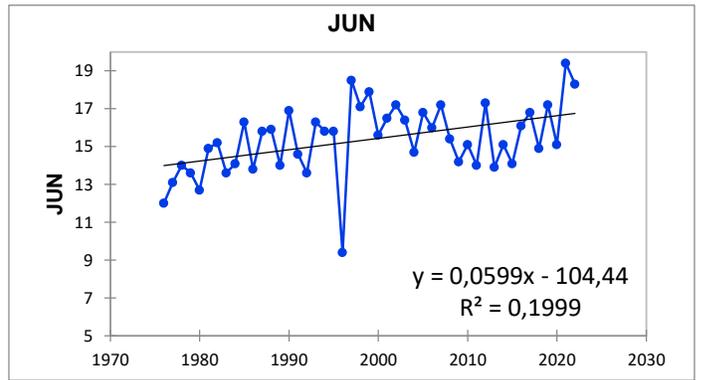
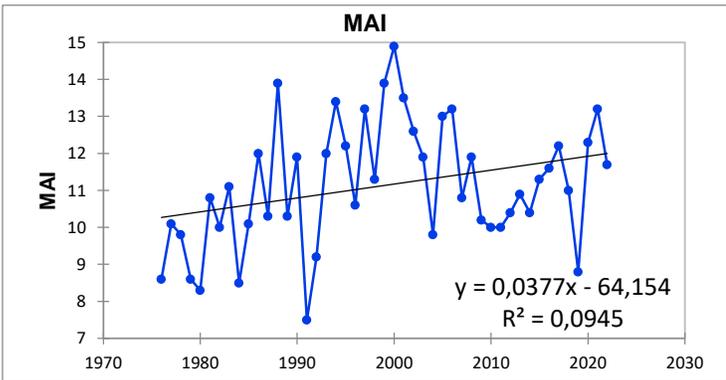
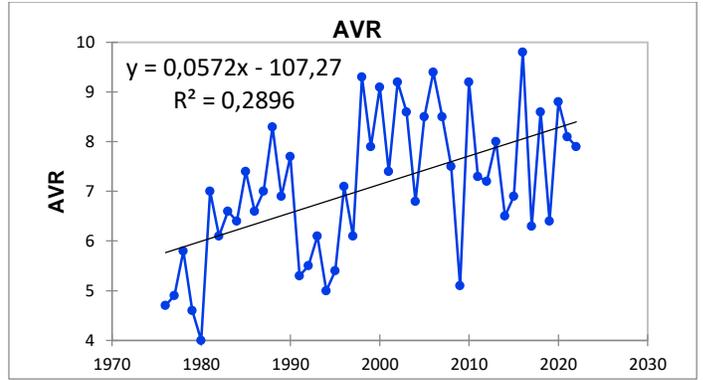
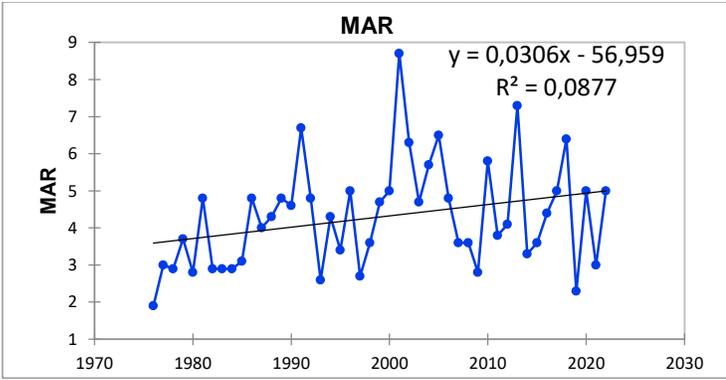


Figure 96 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Guelma.

Station de Tébessa

L'analyse graphique des figures 97, 98 révèle que la station de Tébessa montre une tendance significative a été observée dans les mois de mars, avril, mai, juin, juillet, aout et septembre, ainsi qu'une variation annuelle et saisonnière significative dans toutes les saisons, à l'exception de la saison hivernale.

Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

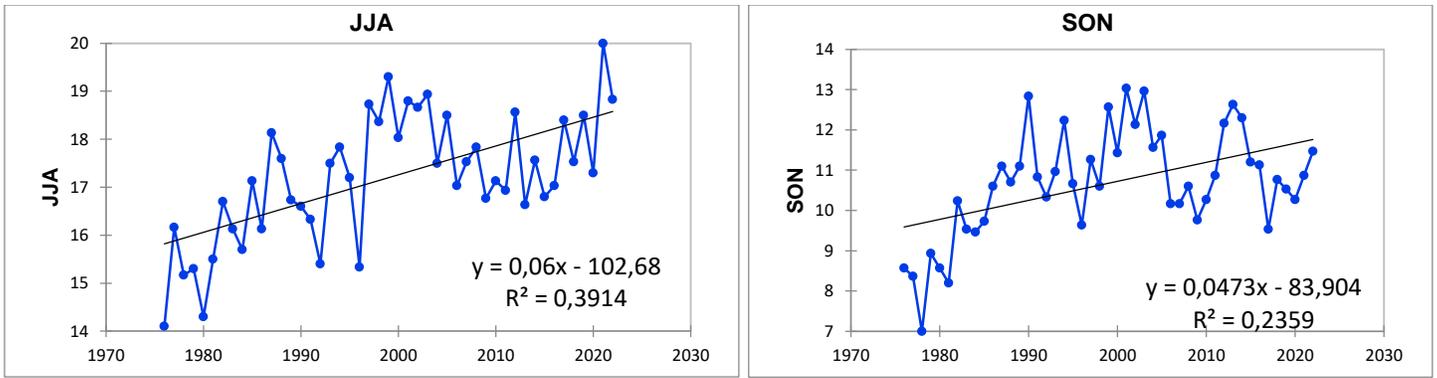


Figure 97 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Tébessa (période 1976-2022).

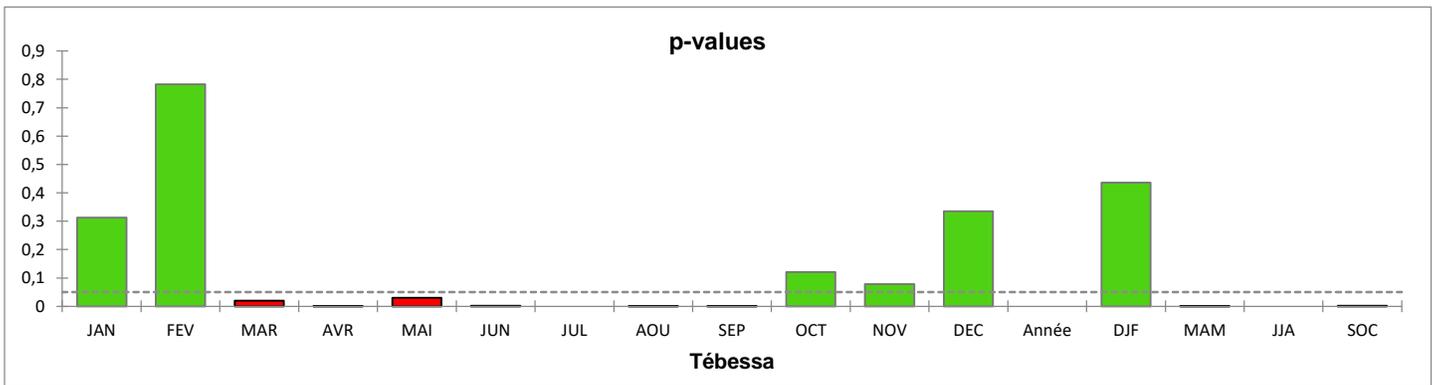


Figure 98 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Tébessa.

Station de Constantine

L'analyse graphique des figures 99, 100 révèle que la station de Constantine, une tendance significative a été observée dans les mois d'avril, juillet et septembre, ainsi que pendant la saison de printemps. De même, une variance annuelle significative a été relevée.

Chapitre 4 : Résultats

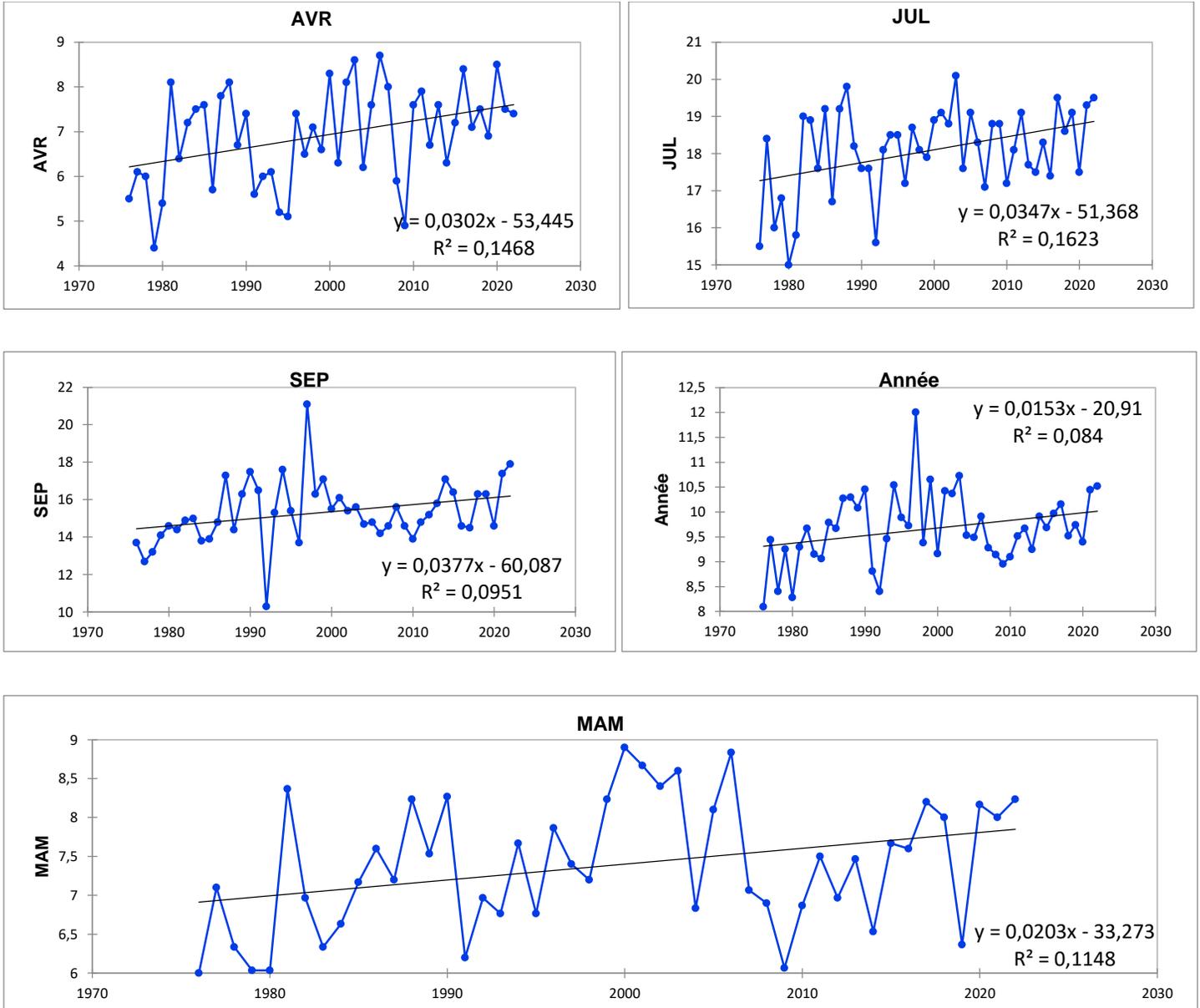


Figure 99 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Constantine (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

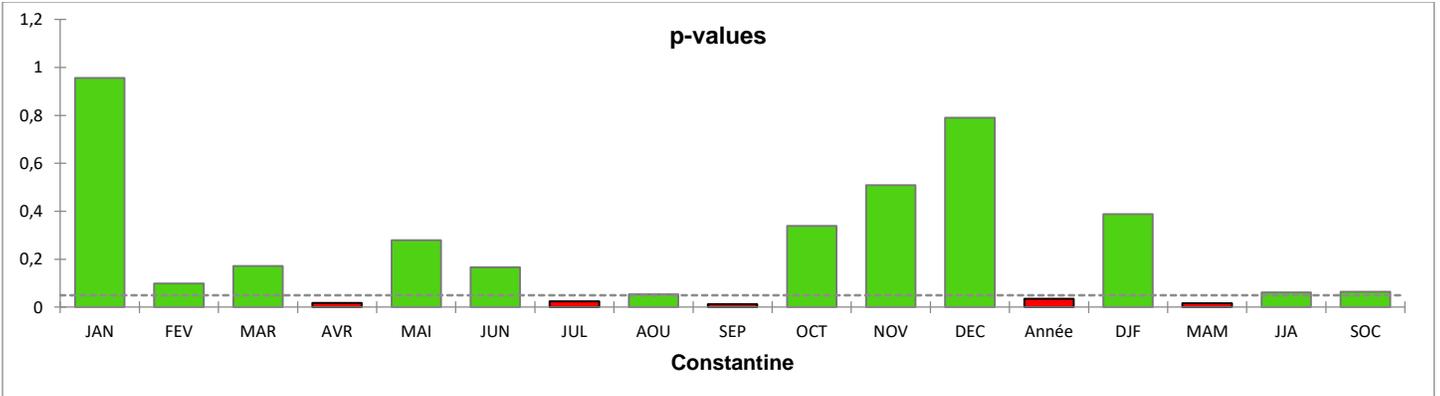
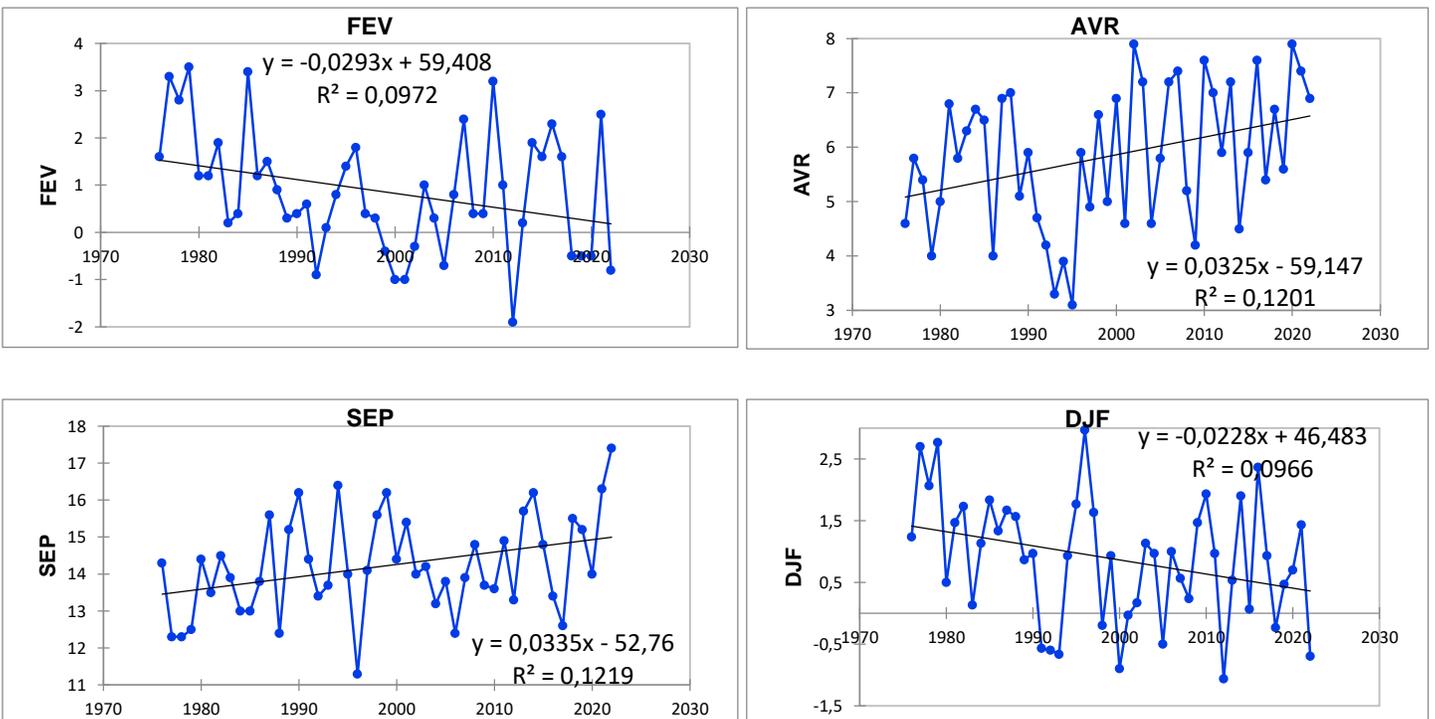


Figure 100 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Constantine.

Station de Batna

L'analyse graphique des figures 101, 102 révèle que la station de Batna a montré une tendance significative a été observée pour la station de Batna, avec les mois de février, avril et septembre, ainsi que la saison hivernale et printanière présentant des tendances significatives.



Chapitre 4 : Résultats

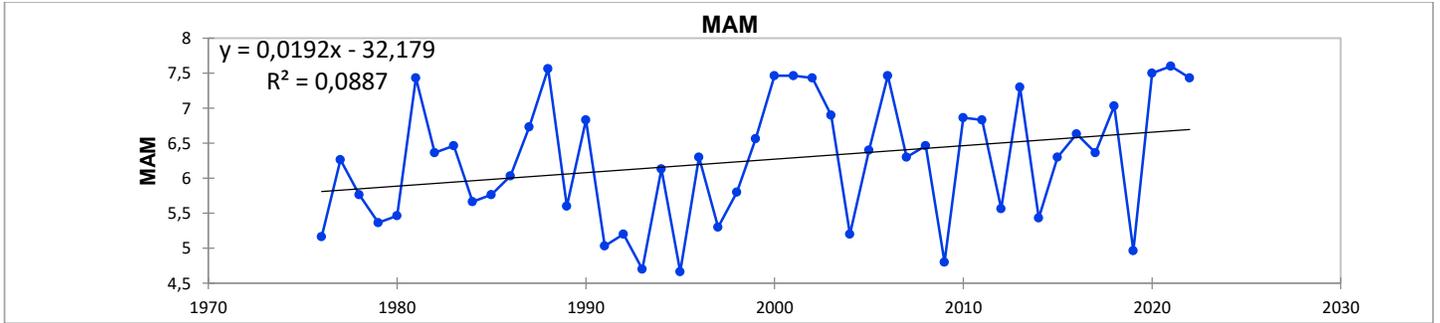


Figure 101 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Batna (période 1976-2022).

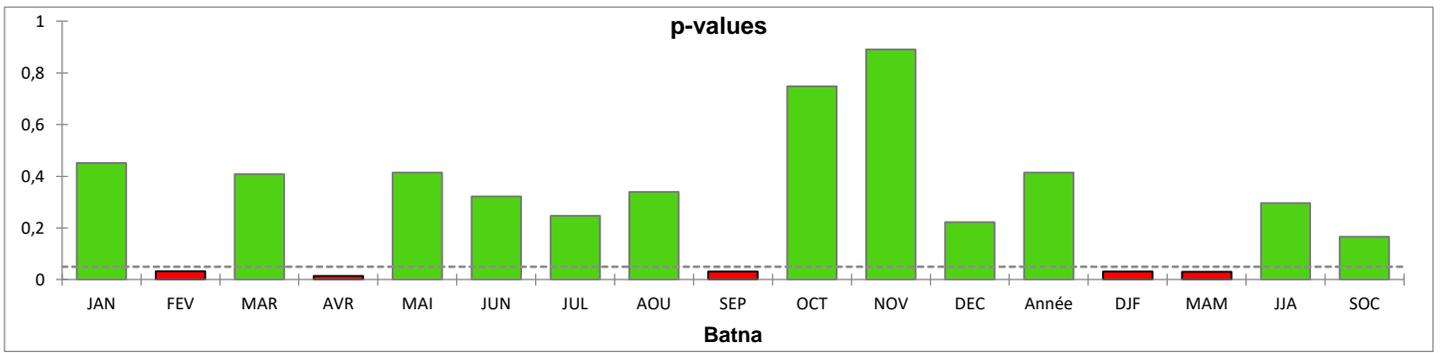
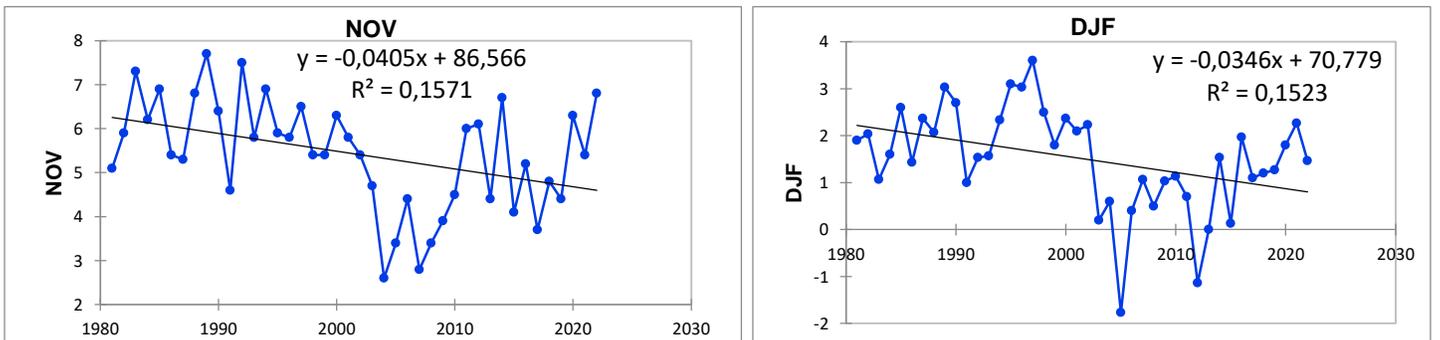


Figure 102 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Batna.

Station de Sétif

L'analyse graphique des figures 103 et 104 révèle que la station de Sétif montre des diminutions significatives mensuelles, saisonnières et annuelles, à l'exception du mois de novembre ainsi que des saisons hivernale et automnale.



Chapitre 4 : Résultats

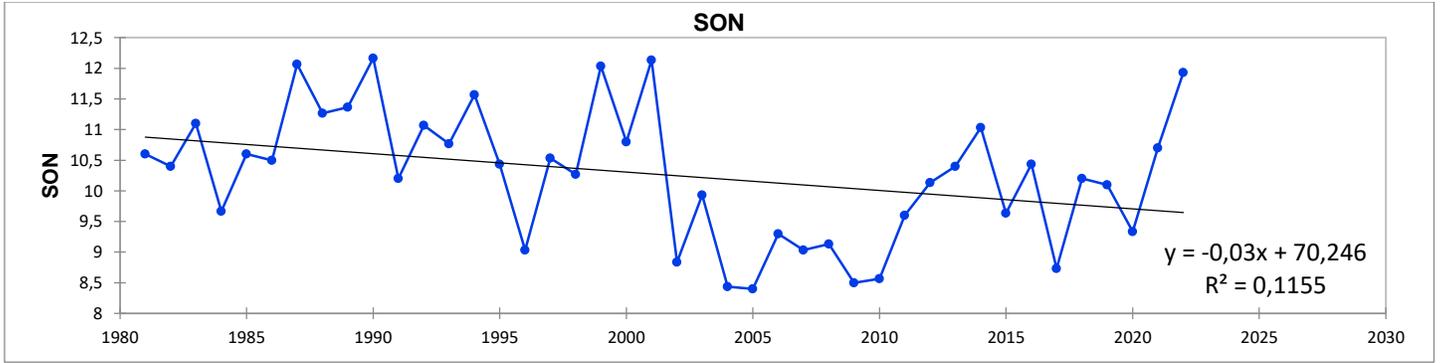


Figure 103 : tendance de Mann-Kendall pour le mois novembre, DJF, SON pour les températures minimales de la station de Sétif (période 1976-2022).

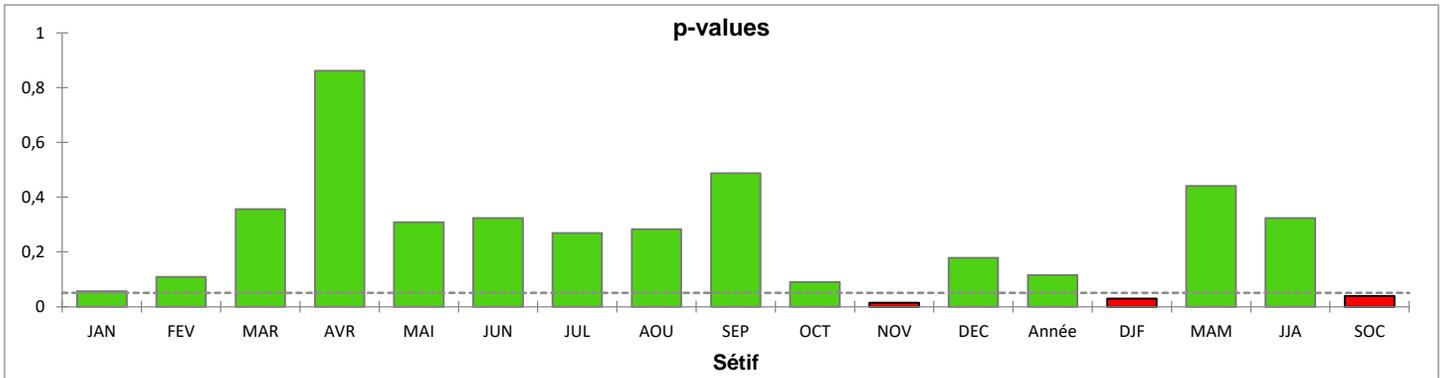
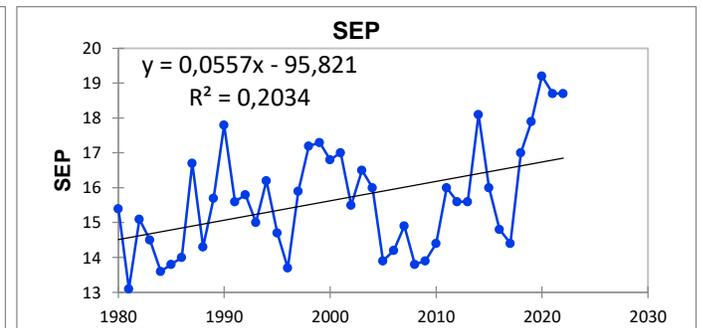
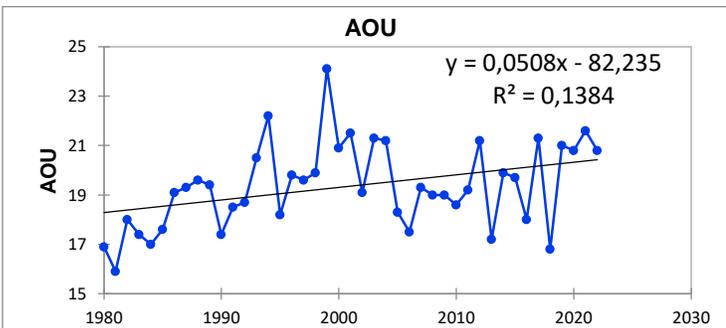
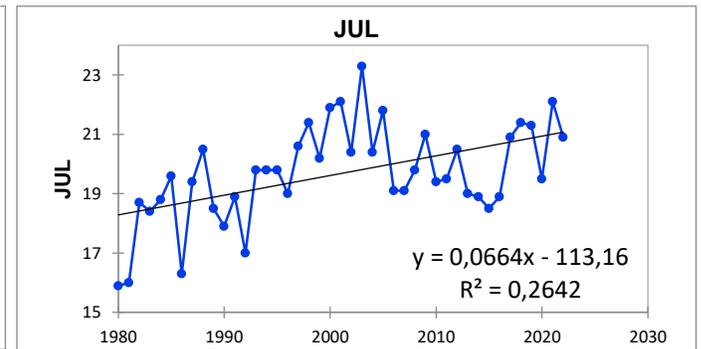
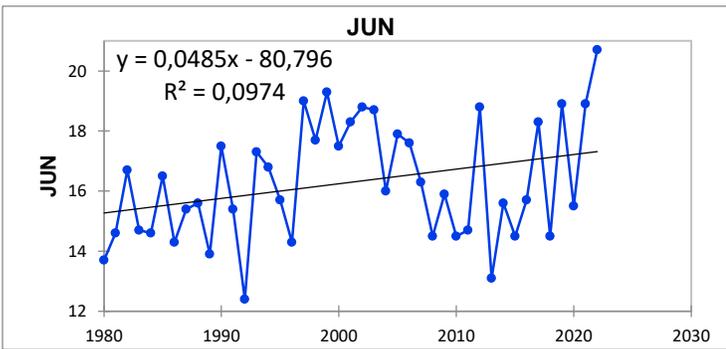
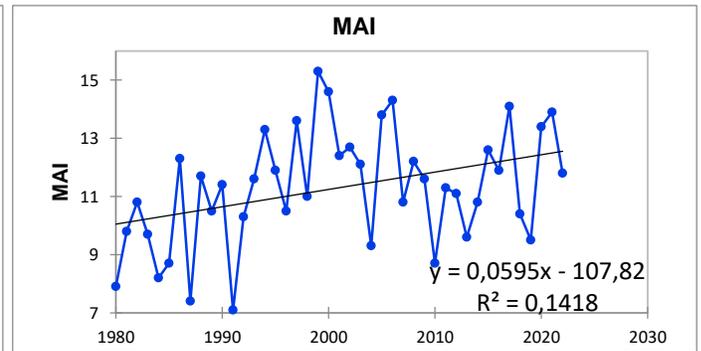
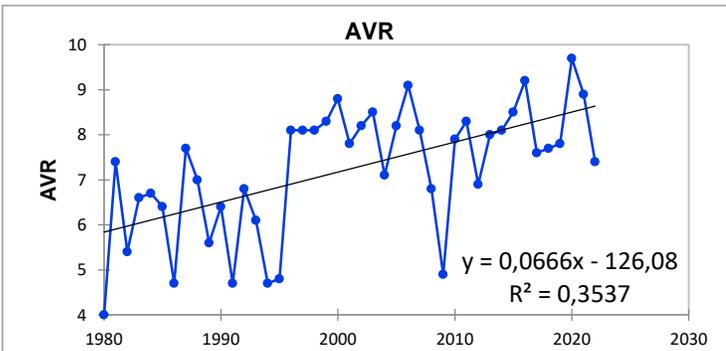
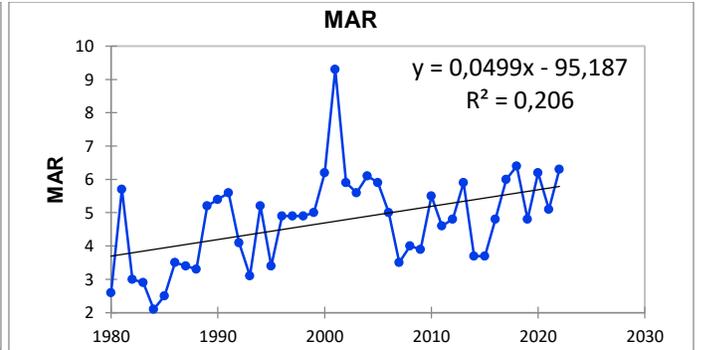
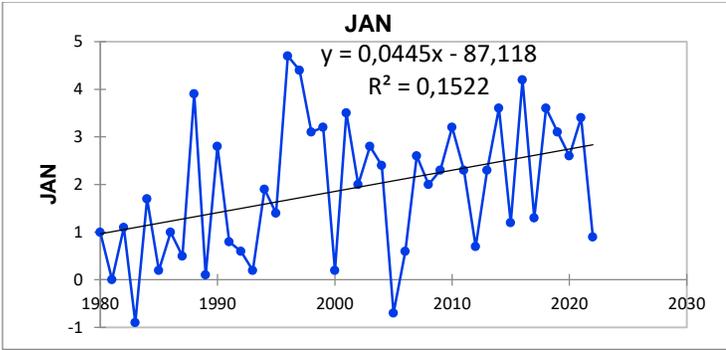


Figure 104 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Sétif.

Station de Bordj Bou Arreridj

L'analyse graphique des figures 105, 106 révèle que la station de Bordj Bou Arreridj montre une variation mensuelle, saisonnière et annuelle significative pour l'ensemble de la série (1976-2022), à l'exception des mois de février et novembre. Cette tendance est observable dans les mois de janvier, mars, avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et décembre, ainsi que dans les saisons hivernale, printanière, estivale et automnale. De plus, une tendance annuelle significative est également présente.

Chapitre 4 : Résultats



Chapitre 4 : Résultats

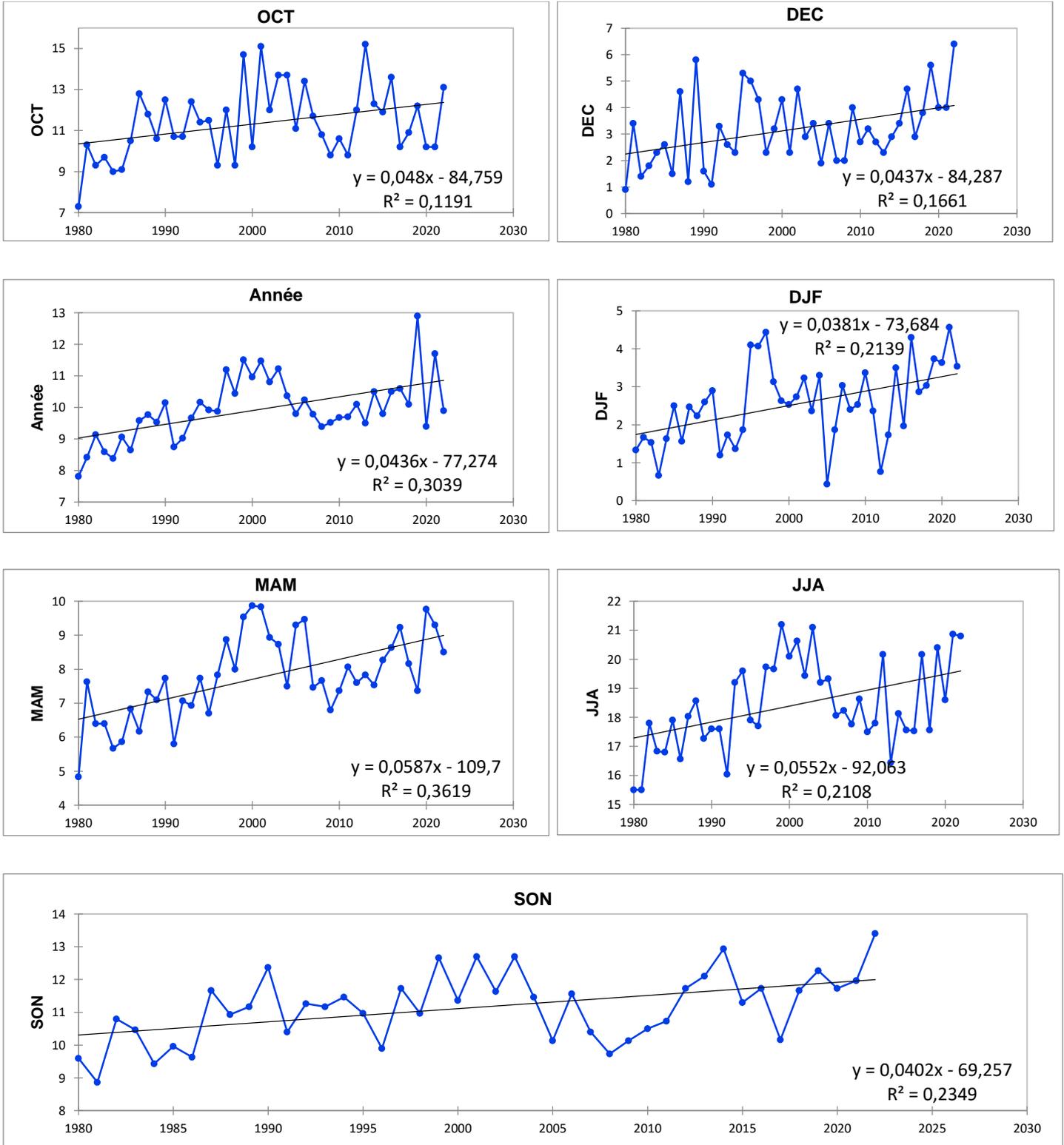


Figure 105 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Bordj Bou Arreridj (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

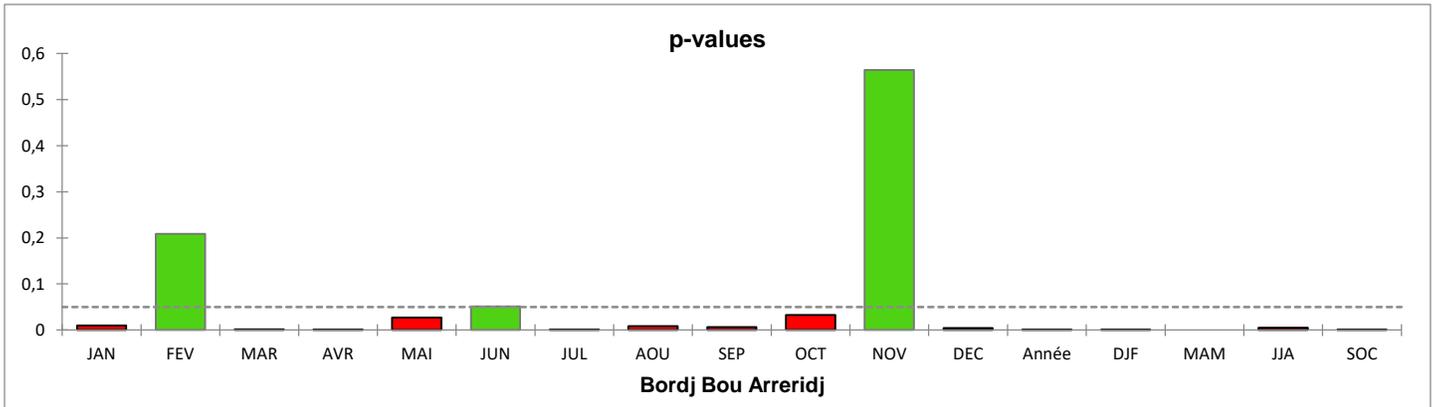
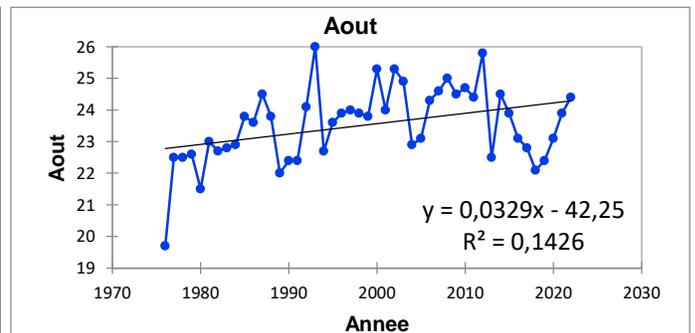
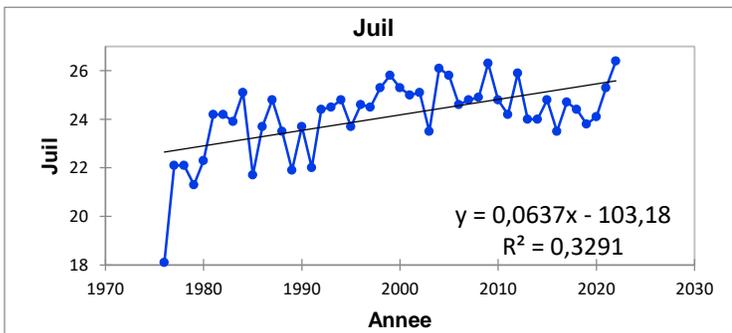
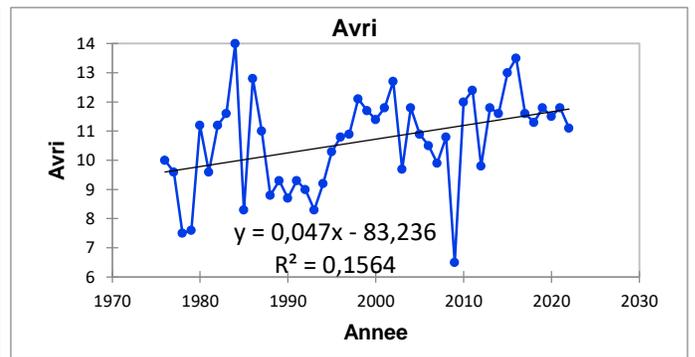
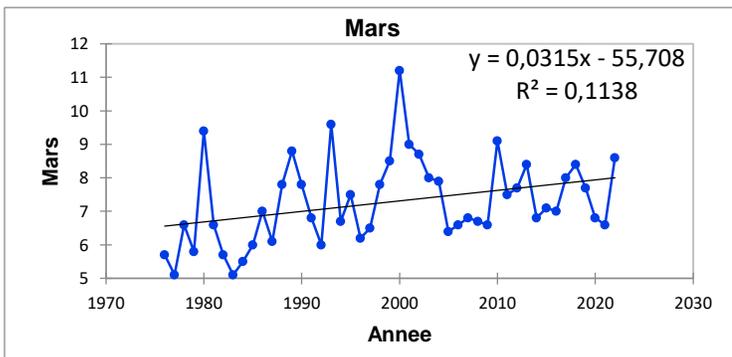


Figure 106 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Bordj Bou Arreridj.

Station de M'sila

L'analyse graphique des figures 107, 108 révèle que la station de M'sila, une tendance significative a été observée dans les mois de mars, avril, juillet, août, septembre et octobre, ainsi qu'une tendance annuelle et saisonnière pour le printemps, l'été et l'automne.



Chapitre 4 : Résultats

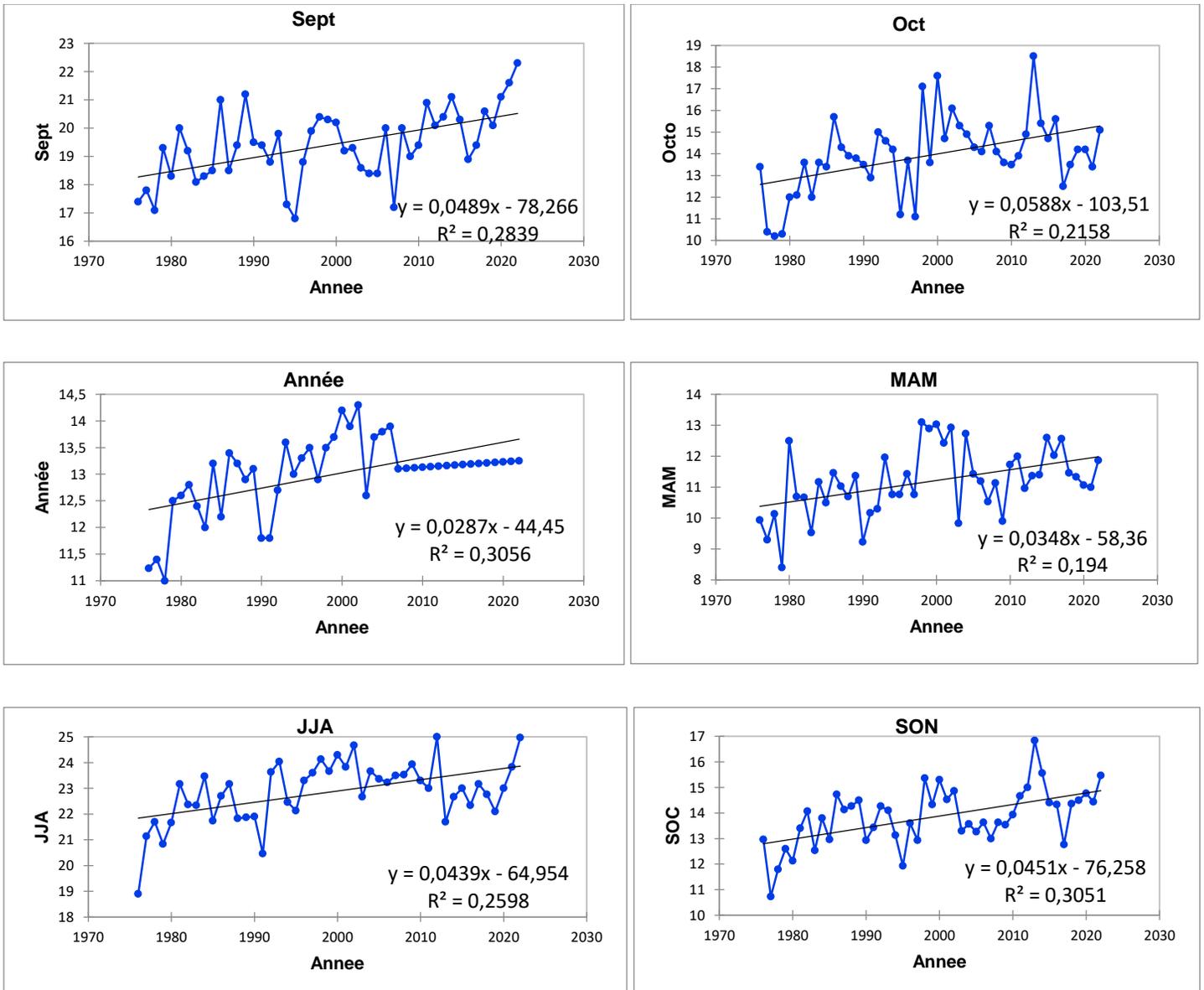


Figure 107 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de M'sila (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

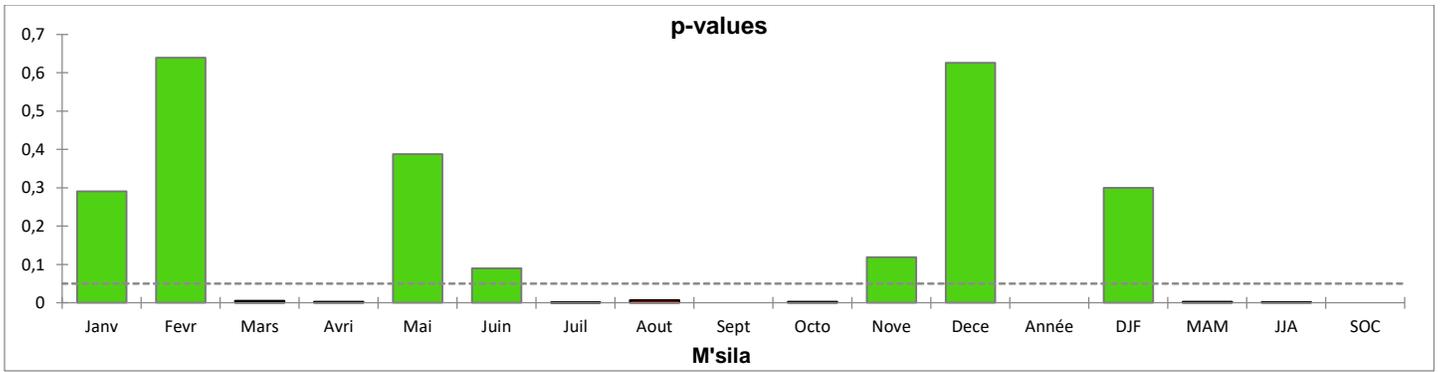
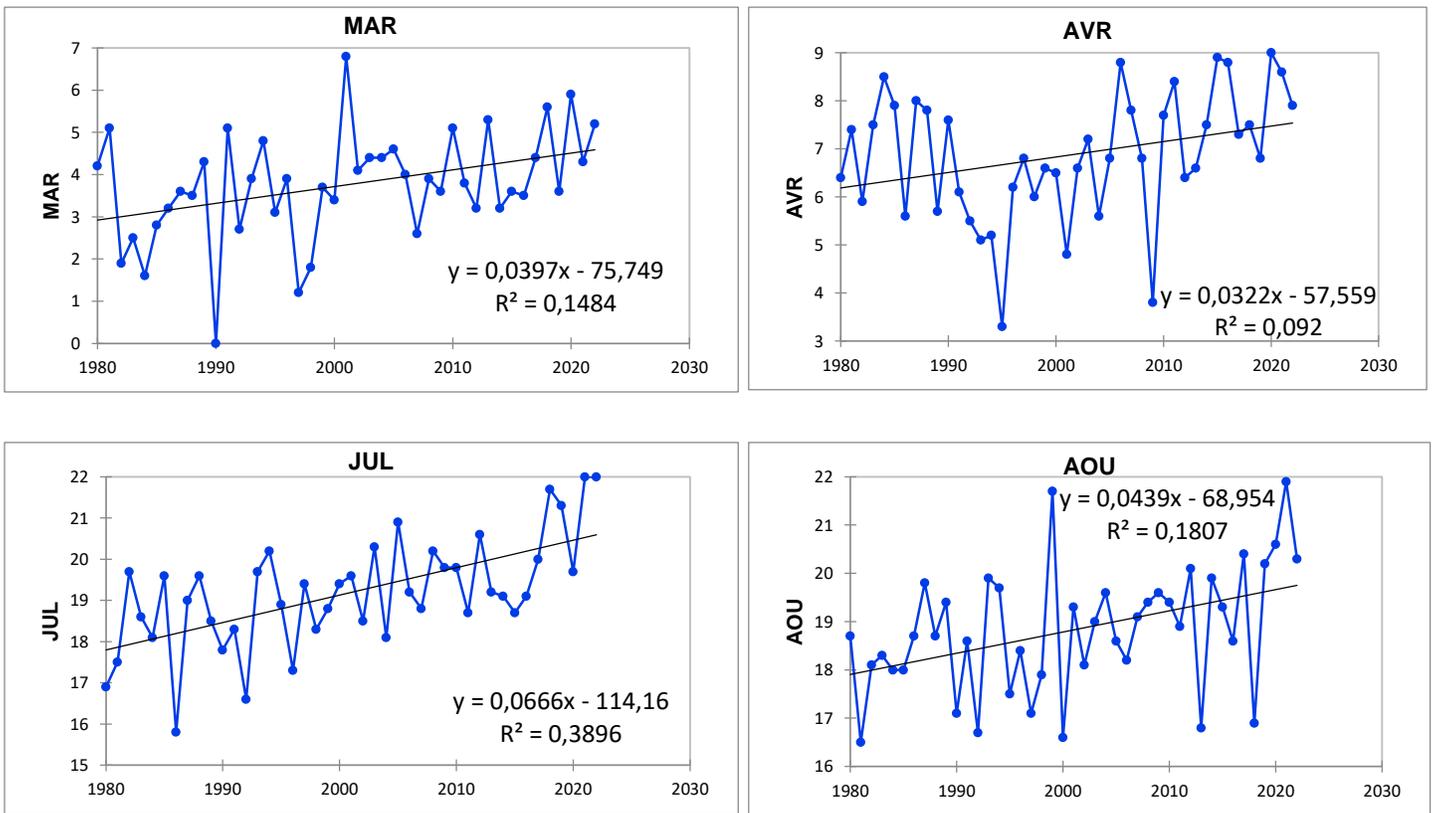


Figure 108 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de M'sila.

Station de Djelfa

L'analyse graphique des figures 109, 110 révèle que la station de Djelfa a montré une tendance significative au niveau mensuel pour les mois de mars, avril, juillet, août et septembre, ainsi qu'une signification annuelle et saisonnière pour toutes les saisons.



Chapitre 4 : Résultats

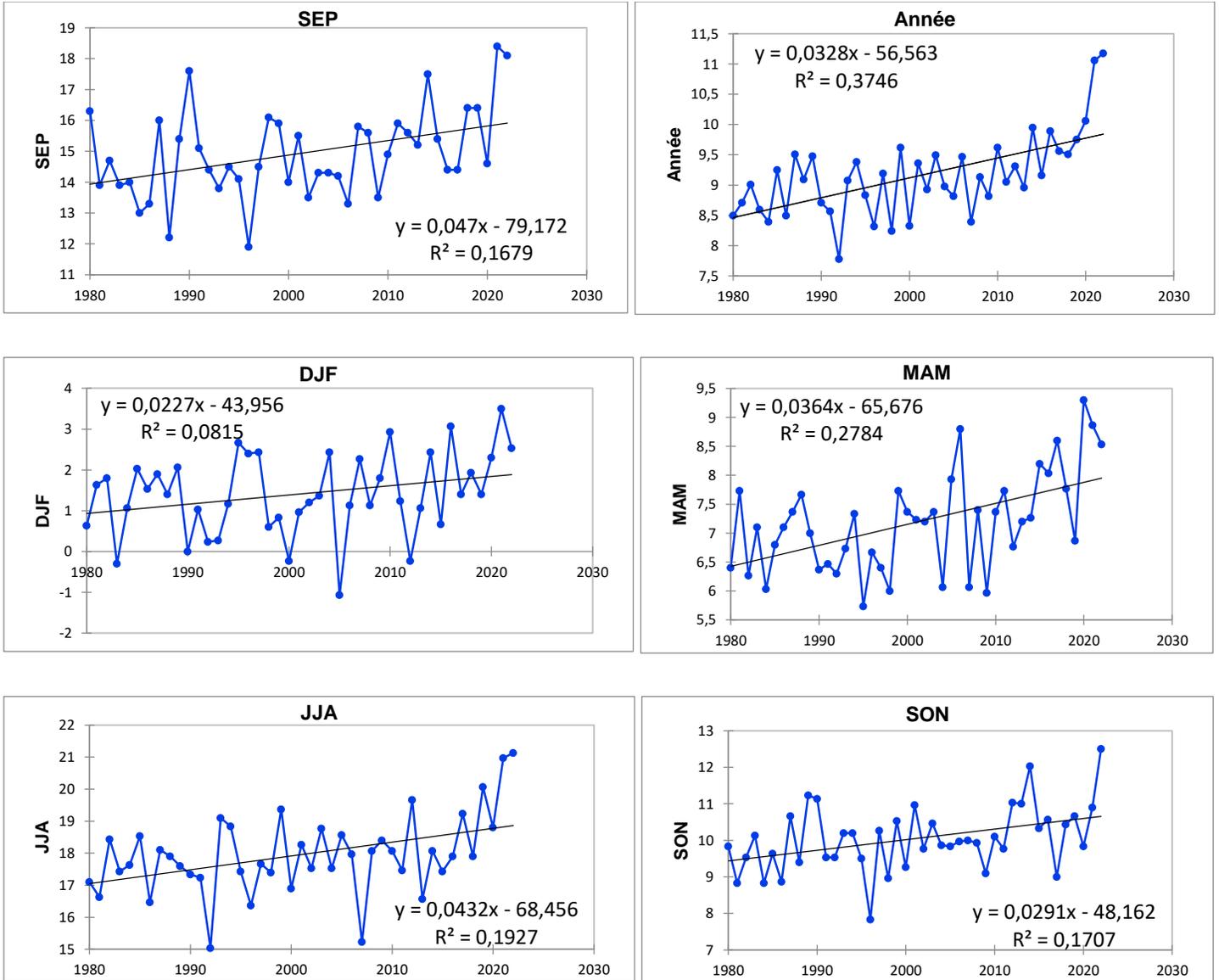


Figure 109 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Djelfa (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

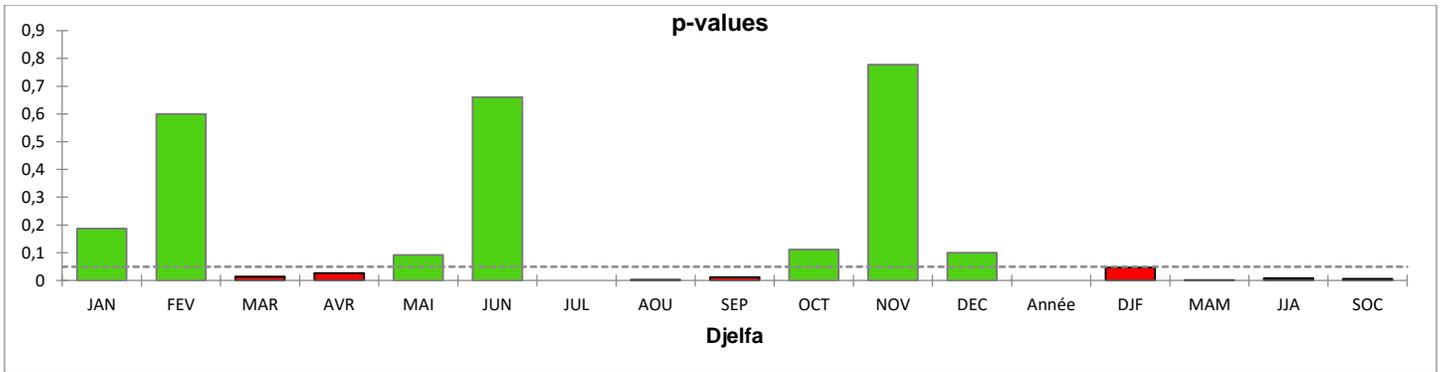
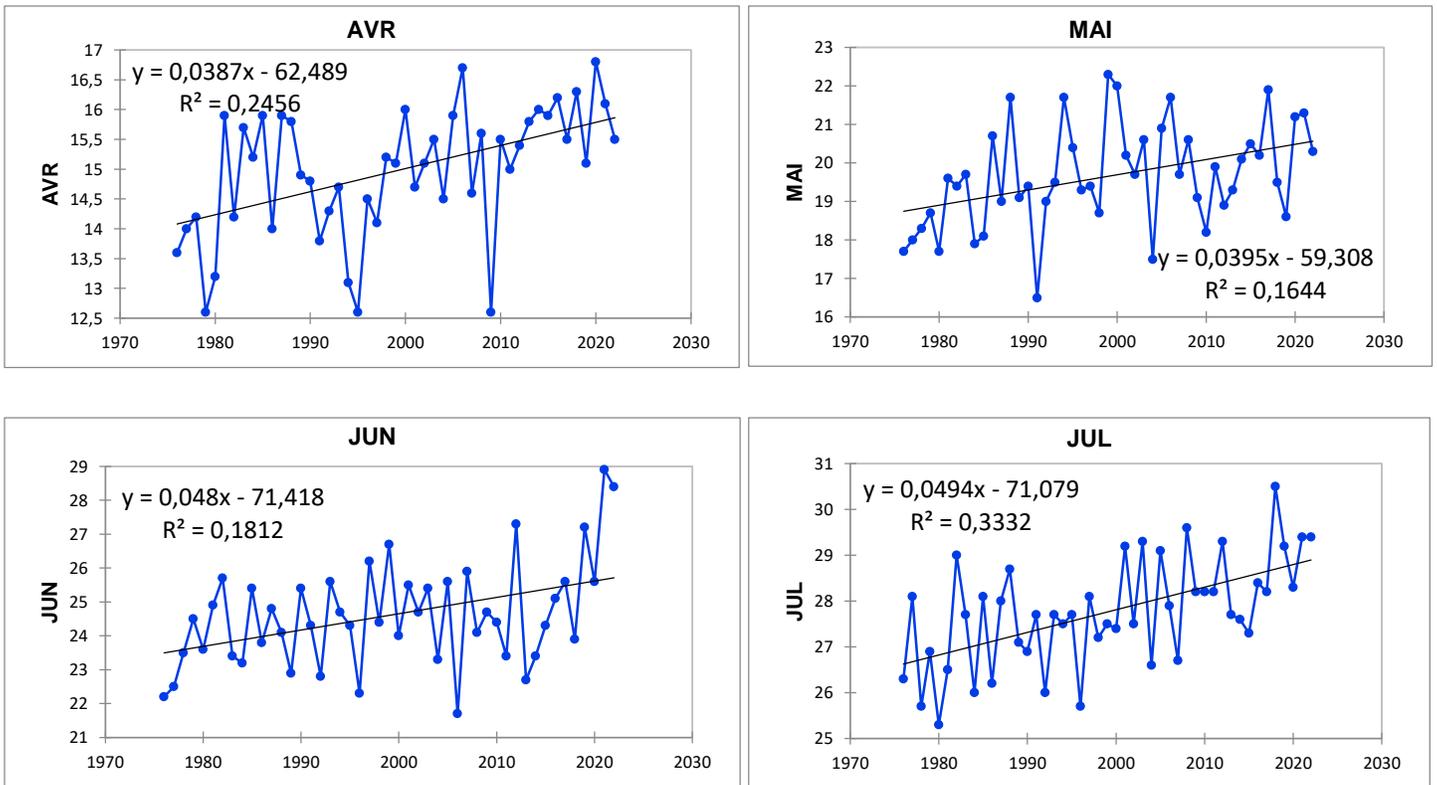


Figure 110 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Djelfa.

Station de Biskra

L'analyse graphique des figures 111, 112 révèle que la station de Biskra, montre une variation significative uniquement dans les mois d'avril, mai, juin, juillet, août et septembre, ainsi qu'une tendance annuelle et saisonnière pour le printemps, l'été et l'hiver.



Chapitre 4 : Résultats

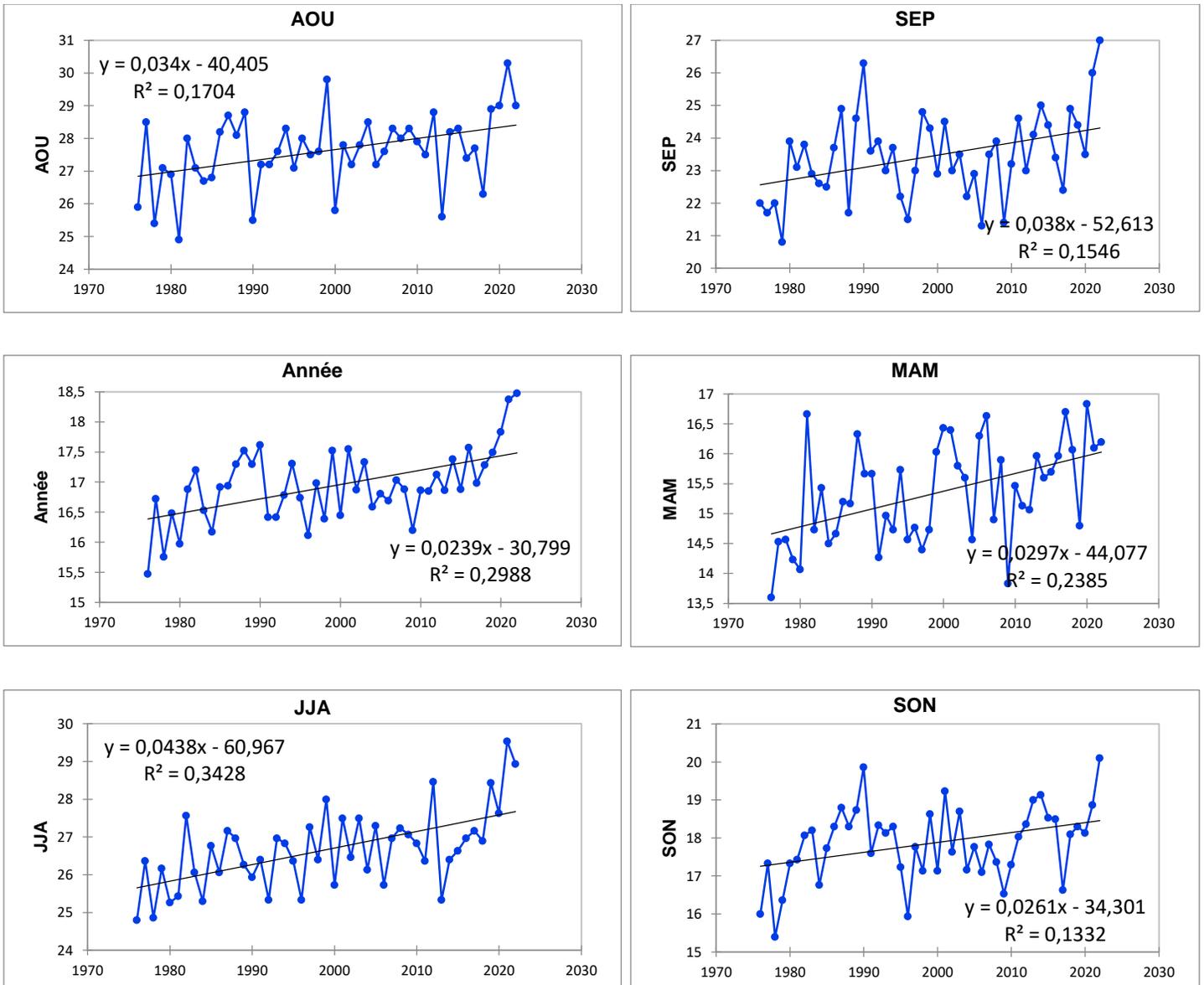


Figure 111 : tendance de Mann-Kendall pour les mois significatifs pour les températures minimales de la station de Biskra (période 1976-2022).

Chapitre 4 : Résultats

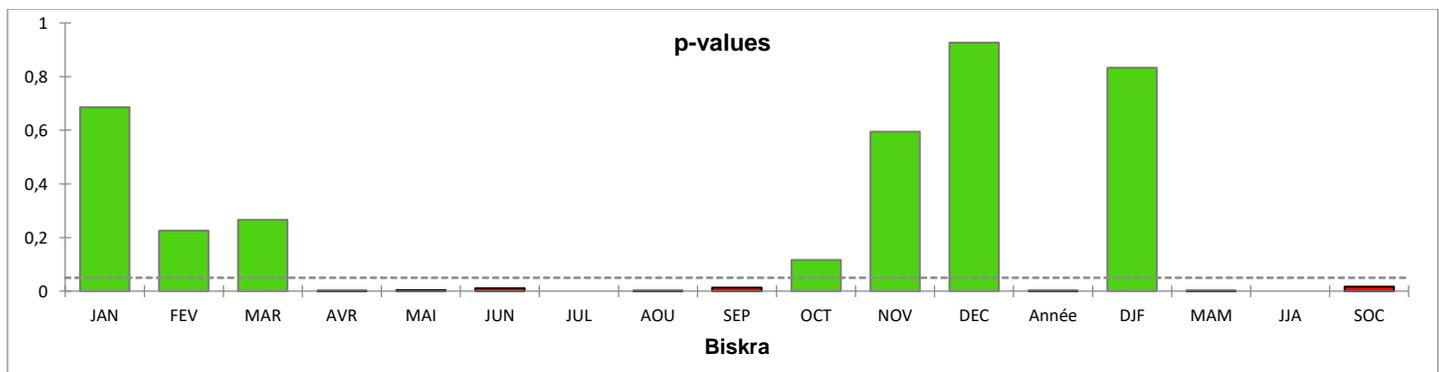


Figure 112 : la p-value calculée pour le Test de tendance de Mann-Kendall pour les températures minimales de la station de Biskra.

6. Résultat de l'évolution des paramètres climatiques

6.1. Précipitation

Tableau 6 : Résultat de l'évolution des précipitations au niveau annuelle et saisonnier.

	DJF	MAM	JJA	SON	Année
Annaba	0	0	0	0	0
Djelfa	0	0	0	0	-19,995
Bejaia	0	-18,5	0	0	0
Batna	0	0	0	0	0
Guelma	0	0	0	0	0
M'sila	0	0	4,823	0	0
Setif	0	0	0	0	0
Skikda	0	0	0	0	0
Souk Ahras	36,24	0	-28,83	0	0
Tébessa	0	0	0	0	0
B.B.A	0	0	0	0	0
Constantine	0	0	0	0	0
Biskra	0	0	0	0	0

Chapitre 4 : Résultats

Le tableau 6 présente les tendances de précipitations en millimètres pour l'ensemble des stations météorologiques, décrivant ainsi l'évolution des précipitations :

- Annaba : Aucune tendance n'est observée pour toutes les saisons et pour l'année entière.
- Djelfa : Aucune tendance n'est observée pour les saisons DJF, MAM, JJA, SON. Cependant, une diminution de 19,995 mm est notée pour l'année entière.
- Bejaia : Aucune tendance n'est observée pour DJF, JJA, SON. Une diminution de 18,5 mm est notée pour la saison MAM. Aucune tendance n'est indiquée pour l'année entière.
- Batna, Guelma, Msila, Sétif, Skikda, Tébessa, B.B.A, Constantine, Biskra : Aucune tendance n'est observée pour toutes les saisons et pour l'année entière.
- Souk Ahras : Une augmentation de 36,24 mm est notée pour la saison DJF, aucune tendance n'est indiquée pour les saisons MAM, JJA, SON, ni pour l'année entière.

En résumé, la plupart des stations météorologiques ne montrent pas de tendances significatives dans les précipitations pour chaque saison et pour l'année entière. Cependant, il y a une augmentation de 36,24 mm des précipitations pour la saison DJF à la station de Souk Shras, et une diminution de 19,995 mm pour l'année entière à la station de Djelfa.

6.2. Températures maximales moyennes

Tableau 7. Résultat de l'évolution des Températures maximales moyennes au niveau annuelle et saisonnier.

	DJF	MAM	JJA	SON	année
Annaba	0	0,298	0,395	0	0,26
Djelfa	0	0	0	0	0,211
Béjaia	0,271	0,39	0,489	0,441	0,39
Batna	0,801	1,127	1,135	1,019	1,01
Guelma	0,425	0,573	0,566	0	0,454

Chapitre 4 : Résultats

M'sila	0	0,385	0,45	0,487	0,375
Sétif	0,483	0,634	0,68	0,68	0,551
Skikda	0,309	0,562	0,68	0,617	0,533
Souk Ahras	0	0	0	0	0
Tébessa	0,334	0,725	0,752	0,618	0,607
B.B.A	0,791	1,06	1,164	0,725	0,939
Constantine	0,365	0,757	0,875	0,616	0,653
Biskra	0,319	0,568	0,639	0,467	0,498

Le tableau 7 présente les tendances des températures maximales pour LES stations météorologiques étudiées, décrivant ainsi l'évolution des températures maximales :

- Annaba : Pas de tendance pour DJF, une tendance à la hausse de 0,395°C pour MAM, et une tendance à la hausse de 0,26°C pour JJA. La tendance annuelle n'est pas précisée.
- Djelfa : Aucune tendance n'est observée pour toutes les saisons (DJF, MAM, JJA, SON) ni pour l'année.
- Bejaia : Une tendance à la hausse de 0,271°C pour DJF, une tendance à la hausse de 0,39°C pour MAM, une tendance à la hausse de 0,489°C pour JJA, une tendance à la hausse de 0,441°C pour SON, et une tendance annuelle de 0,39°C.
- Batna : Une tendance à la hausse de 0,801°C pour DJF, une tendance à la hausse de 1,127°C pour MAM, une tendance à la hausse de 1,135°C pour JJA, une tendance à la hausse de 1,019°C pour SON, et une tendance annuelle de 1,01°C.
- Guelma : Une tendance à la hausse de 0,425°C pour DJF, une tendance à la hausse de 0,573°C pour MAM, une tendance à la hausse de 0,566°C pour JJA, pas de tendance pour SON, et une tendance annuelle de 0,454°C.
- M'sila : Pas de tendance pour DJF, une tendance à la hausse de 0,385°C pour MAM, une tendance à la hausse de 0,45°C pour JJA, une tendance à la hausse de 0,487°C pour SON, et une tendance annuelle de 0,375°C.
- Sétif : Une tendance à la hausse de 0,483°C pour DJF, une tendance à la hausse de 0,634°C pour MAM, une tendance à la hausse de 0,68°C pour JJA, une tendance à la hausse de 0,68°C pour SON, et une tendance annuelle de 0,551°C.

Chapitre 4 : Résultats

- Skikda : Une tendance à la hausse de 0,309°C pour DJF, une tendance à la hausse de 0,562°C pour MAM, une tendance à la hausse de 0,68°C pour JJA, une tendance à la hausse de 0,617°C pour SON, et une tendance annuelle de 0,533°C.
- Souk Ahras : Aucune tendance n'est observée pour toutes les saisons et pour l'année entière.
- Tébessa : Une tendance à la hausse de 0,334°C pour DJF, une tendance à la hausse de 0,725°C pour MAM, une tendance à la hausse de 0,752°C pour JJA, une tendance à la hausse de 0,618°C pour SON, et une tendance annuelle de 0,607°C.
- Bordj Bou Arreridj : Une tendance à la hausse de 0,791°C pour DJF, une tendance à la hausse de 1,06°C pour MAM, une tendance à la hausse de 1,164°C pour JJA, une tendance à la hausse de 0,725°C pour SON, et une tendance annuelle de 0,939°C.
- Constantine : Une tendance à la hausse de 0,365°C pour DJF, une tendance à la hausse de 0,757°C pour MAM, une tendance à la hausse de 0,875°C pour JJA, une tendance à la hausse de 0,616°C pour SON, et une tendance annuelle de 0,653°C.
- Biskra : Une tendance à la hausse de 0,319°C pour DJF, une tendance à la hausse de 0,568°C pour MAM, une tendance à la hausse de 0,639°C pour JJA, une tendance à la hausse de 0,467°C pour SON, et une tendance annuelle de 0,498°C.

6.3. Températures minimales moyennes

Tableau 8. Résultat de l'évolution des Températures minimales moyennes au niveau annuelle et saisonnier.

	DJF	MAM	JJA	SON	Année
Annaba	0,04	0,19	0,30	0,31	0,21
Djelfa	0,23	0,36	0,43	0,29	0,33
Béjaia	0,00	0,36	0,42	0,32	0,29
Batna	-0,23	0,19	0,00	0,00	0,00
Guelma	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M'sila	0,00	0,35	0,44	0,45	0,29
Sétif	-0,35	0,00	0,00	-0,30	0,00
Skikda	0,35	0,69	0,80	0,64	0,61
Souk Ahras	0,16	0,43	0,71	0,50	0,45

Chapitre 4 : Résultats

Tébessa	0,00	0,42	0,60	0,47	0,39
B.B.A	0,38	0,59	0,55	0,40	0,44
Constantine	0,00	0,20	0,00	0,00	0,15
Biskra	0,00	0,30	0,44	0,26	0,24

Le tableau 8 illustre les tendances des températures minimales pour les stations étudiées montrant l'évolution des températures minimales en fonction de chaque période de l'année :

- DJF (décembre-janvier-février):
 - La plupart des stations météorologiques présentent une augmentation légère des températures minimales pendant cette période. Les valeurs sont généralement proches de zéro, indiquant une tendance légèrement positive.
 - Batna et Sétif présentent des valeurs négatives, ce qui suggère une tendance à la baisse des températures minimales pendant l'hiver dans ces régions.
 - Guelma, Msila et Tébessa indiquent des valeurs nulles, ce qui signifie qu'il n'y a pas de tendance claire pendant cette période.
- MAM (mars-avril-mai):
 - La plupart des stations météorologiques montrent une augmentation des températures minimales pendant le printemps. Les valeurs sont généralement supérieures à zéro, indiquant une tendance positive.
 - Sétif présente une valeur nulle, ce qui suggère l'absence de tendance pendant cette période.
- JJA (juin-juillet-août):
 - Les températures minimales augmentent généralement pendant l'été dans toutes les stations météorologiques.
 - Les valeurs sont supérieures à zéro, indiquant une tendance positive pendant cette période.

Chapitre 4 : Résultats

- SON (septembre-octobre-novembre):
 - La plupart des stations météorologiques montrent une tendance positive des températures minimales pendant l'automne. Les valeurs sont généralement positives, à l'exception de Sétif, qui indique une valeur négative, suggérant une tendance à la baisse dans cette région.

- Année (moyenne annuelle):
 - La plupart des stations météorologiques indiquent une tendance légèrement positive pour les températures minimales sur l'ensemble de l'année.
 - Batna, Guelma, Msila, Sétif et Constantine ont des valeurs nulles, ce qui suggère une absence de tendance claire sur l'ensemble de l'année.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

Discussion

Au regard de l'analyse de la variabilité spéciale des températures, les résultats de cette étude soulignent que les températures minimales sont généralement les plus basses en janvier, tandis que les températures maximales atteignent leur maximum en août pour les stations du littoral et en juillet pour les stations de l'intérieur. Les stations du littoral affichent des températures minimales et maximales plus élevées tout au long de l'année par rapport aux stations de l'intérieur témoignant l'influence thermorégulatrice de la mer méditerranéenne (Mibarki, 2005). Ce constat est cohérent avec les résultats de Farah en 2014. De même les résultats ont montré que la station de Biskra se singularise en affichant des températures particulièrement élevées tout au long de l'année, à l'exception du mois de décembre. En fait, cette station est considérée comme la plus chaude, ce qui est en accord avec les conclusions de l'étude menée par Tabet en 2008.

A l'échelle régionale, les résultats mensuels des précipitations indiquent que les mois les plus pluvieux dans la région d'étude sont ceux de l'automne et de l'hiver, notamment septembre, octobre, novembre, décembre, janvier et février. Ces observations s'appliquent aux stations côtières et à la plupart des villes étudiées. Par ailleurs, le mois le plus sec dans toutes les stations est juillet, avec des enregistrements spécifiques à la station de Biskra selon l'étude de Farah en 2014. De plus, pendant le printemps, les quantités moyennes de précipitations diminuent sur le littoral ainsi que dans les stations des bassins intérieurs et de l'Atlas Tellien. Toutefois, les stations de Batna, Tébessa et Bordj Bou Arreridj connaissent une tendance à la hausse des précipitations. Pendant l'été, les quantités de précipitations sont nettement plus faibles, les stations du littoral étant les moins arrosées, suivies des hautes plaines. La station la plus arrosée pendant cette saison est Souk Ahras.

Les résultats de l'analyse descriptive des stations au regard des précipitations annuelles accordent avec l'étude de Tabet (2008) et Taibi (2010) qui montrent que la station de Biskra présente les valeurs les plus faibles. De plus, les stations côtières connaissent une diminution de la pluviométrie. En ce qui concerne les stations de l'Atlas tellien, la station de Souk Ahras, située à l'Est de la région d'étude, est plus pluvieuse que les stations de l'ouest, à savoir Guelma et Constantine. On peut également constater que la station de

Guelma enregistre une pluviométrie plus élevée que celle de Constantine.

Les résultats de l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI) rejoignent les résultats de Messelmi (2018) qui a montré dans son étude que la ville d'Annaba a connu une période de deux années exceptionnellement humides en 1982 et 1984. Les autres années se situent dans la normale avec un indice SPI compris entre -1 et 1, à l'exception de l'année 2008 qui a été caractérisée par une sécheresse marquée, alors qu'à Constantine, une diminution de la pluviométrie a été observée en 1977 et 1983. Deux années extrêmement humides ont été enregistrées en 1976 et 1984, tandis que les années 2016 et 2017 ont été relativement sèches avec des indices SPI respectifs de -1,61 et -1,58. Quant à la station de Sétif, l'année 1983 a été la plus sèche avec un indice SPI de -1,92. Un retour à la normale a été observé à partir de 1984, et une année extrêmement humide a été enregistrée en 2009, ces résultats sont en concordance avec les résultats de cette étude.

Les résultats de la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) des stations étudiées. Au regard des Précipitations, rejoins celle de l'étude Farah (2014) qui montre que la répartition des stations selon la pluviométrie permet de montrer que spatialement le régime saisonnier de type HAPE, qui est indiqué par Halimi (1980) (répartition pluviométrique décroissante de type Hiver/ Automne / Printemps / Eté), caractérise les stations situées au littoral ; les stations de l'Atlas Tellien sont toutes caractérisées par un régime saisonnier de type HPAE alors que le type APHE se localise uniquement au niveau de la station de Biskra. Ce constat est accordé avec les résultats obtenus concernant la Classification Hiérarchique Ascendante des stations selon les précipitations, qui regroupe les stations de notre zone d'étude en quatre classes.

Les résultats dans ce concept concordent également avec Anser (1998) qui indique que dans cet espace où les pluies moyennes d'hiver occupent le premier rang, les moyennes automnales viennent en seconde position au Nord, tandis que celles du printemps occupent la seconde position au Sud de l'Atlas Tellien. La proximité de la mer méditerranéenne favorise les pluies d'automne aux dépens de celles du printemps. La première saison, l'automne coïncide avec le début de la prédominance des courants du Nord sur la méditerranée. Quant au printemps, il marque la fin de l'influence de ceux-ci.

Au regard de la Température, dans son étude, Tabet (2008) a analysé les données (1976-2005) qui indique que l'Est Algérien présente différents climats du Nord au Sud. Les températures des stations telles que Skikda, Annaba, Bejaia, Constantine, Batna, Tébessa, M'sila et Biskra sont considérées comme représentatives des sous-ensembles naturels tels que le littoral, l'Atlas Tellien, les Hauts Plateaux et la Steppe, ainsi que le Sahara. En hiver, les Hauts Plateaux et la Steppe sont plus froids que l'Atlas Tellien, le littoral et le Sahara. En revanche, en été, le climat de l'Atlas Tellien ne diffère pas beaucoup de celui des Hauts Plateaux, et le littoral est influencé par l'effet adoucissant de la mer. Cela confirme notre résultat selon lequel notre région d'étude peut être divisée en quatre classes distinctes en fonction de la température, où M'sila et Biskra montrent toujours des groupes séparés des autres stations, tandis que les villes côtières se regroupent toujours dans la même classe.

Les résultats du test de Mann-Kendall en faveur de la Température décrit une hausse significative des températures maximales annuelles dans les treize stations étudiées, avec une augmentation moyenne de 0,5 °C par décennie. Cependant, les chiffres varient d'une wilaya à l'autre. Ce qui est en accord avec le constat de Laala, qui a démontré dans son étude de 2016 qu'une augmentation d'environ 3 °C entre 1982 et 2011, des températures maximales annuelles était enregistrée dans la wilaya de Batna, ce qui représente près du double du taux de réchauffement de la wilaya de Sétif. Ces résultats sont en accord aussi avec les travaux de Tabet-Aoul (2010), qui montrent qu'en Algérie, l'augmentation des températures au XXe siècle s'est située entre 1,5 °C et 2 °C, dépassant ainsi le double de l'augmentation moyenne à l'échelle mondiale.

Le résultat saisonnier de la présente étude indique également une tendance positive des températures maximales saisonnières pour la plupart des wilayas étudiées, avec une certaine variabilité entre les saisons. Cela témoigne de l'augmentation vigoureuse des températures maximales au cours de la période étudiée. En revanche, les températures minimales saisonnières montrent un mélange de baisses et d'augmentations selon les wilayas étudiées, ces résultats sont en assonance avec l'étude de Laala (2016).

Les résultats indiquent une augmentation notable des températures minimales saisonnières dans la plupart des stations étudiées. En été, nous avons observé une augmentation de 0,8

°C par décennie, tandis qu'en automne, l'augmentation était de 0,6 °C par décennie. Ces résultats sont en accord avec les conclusions de Dessens et Barés (1996), qui ont constaté une augmentation significative de la température minimale, notamment une augmentation de +0,93 °C en été et de +0,88 °C en automne, grâce à l'analyse de longues séries de données de température couvrant la période 1910-1986. Cette recherche a été menée pour les régions méditerranéennes.

Dans son étude, Laala (2016) a conclu que les températures maximales connaissent une augmentation plus remarquable que les températures minimales, constatation valable pour la plupart des wilayas étudiées. Ces résultats sont en accord avec les résultats de la présente étude, ce qui va à l'encontre de l'étude d'Easterling et al. (1997), qui suggérait que l'augmentation de la température minimale était supérieure à celle de la température maximale.

La répartition géographique des tendances des températures (minimales et maximales) au printemps est presque similaire à celle de l'été, tandis que celle de l'automne est pratiquement identique à celle de l'hiver. Cela permet de diviser l'année en deux saisons distinctes : une saison froide et une saison chaude, caractéristiques du climat méditerranéen.

CONCLUSION

Conclusion

Conclusion

Dans ce travail une analyse de l'évolution climatique dans l'Est de l'Algérie porte sur trois paramètres clés, à savoir les précipitations, les températures minimales et les températures maximales, sur une période d'observation s'étendant de 1976 à 2022 a été effectué.

La méthodologie adoptée consiste à l'analyse descriptive des données afin de caractériser la variabilité spatiale du climat, la classification hiérarchique ascendante (CHA) nous a permis de classer les stations en fonction de leurs influences climatiques similaires et d'identifier les similitudes et les différences entre les régions climatiques. L'indice pluviométrique a été utilisé pour identifier les années caractérisées par des périodes de sécheresse ou d'abondantes précipitations. Enfin, Le test de tendance Man-Kendall a été employé pour analyser les variations annuelles et mensuelles, dans le but de caractériser l'éventuelle tendance ou changements au regard des précipitations et des températures.

L'étude des séries temporelles des données thermiques a révélé une variation spatio-temporelle des températures dans l'est de l'Algérie, indiquant clairement un réchauffement dans la plupart des stations étudiées. L'analyse des moyennes maximales mensuelles des températures pour la période de 1976 à 2022 met en évidence des schémas distincts. En général, les températures les plus basses sont enregistrées en janvier, comprise entre 16,4 °C et 16,9 °C pour les stations côtières, et entre 9,6 °C et 12,6 °C pour les stations de l'intérieur. Toutefois, la station de Guelma présente une moyenne de température plus élevée en janvier, atteignant 15,8 °C. Les moyennes maximales mensuelles les plus élevées sont observées en août pour les stations côtières, variant entre 29,4 °C et 31,2 °C. Pour les stations de l'intérieur, ces moyennes maximales sont généralement atteintes en juillet, oscillant entre 33,3 °C et 40,5 °C. La station de Guelma présente une particularité avec une moyenne maximale mensuelle des températures élevées en août, atteignant 36,2 °C. La station de Biskra enregistre les températures les plus élevées tout au long de l'année, à l'exception du mois de décembre.

En ce qui concerne les moyennes minimales mensuelles des températures pour la même période, elles montrent une tendance à s'étendre de janvier à septembre, avant de diminuer

Conclusion

à partir d'octobre jusqu'en décembre. Les stations côtières, comme Annaba, Skikda et Béjaia, affichent des températures minimales plus élevées tout au long de l'année par rapport aux stations de l'intérieur. Les températures minimales les plus basses sont généralement enregistrées en janvier, avec des valeurs allant de 0,2 °C à 8,2 °C. La station de Biskra présente des températures minimales relativement plus élevées, sauf au mois de décembre où elles sont plus basses.

L'analyse des moyennes mensuelles des précipitations pour la période de 1976 à 2022 met en évidence des variations selon les stations. La station d'Annaba présente des précipitations relativement élevées en janvier, atteignant 98,9 mm, puis elles diminuent progressivement jusqu'en juin (12,4 mm), pour augmenter à nouveau en juillet et août (10,7 mm et 38,6 mm respectivement), atteignant leur pic en décembre (103,6 mm). Skikda affiche des précipitations élevées en janvier (114,9 mm), diminuant jusqu'à leur niveau le plus bas en juin (11,4 mm), avec une légère augmentation en juillet et août (1,5 mm et 7,1 mm respectivement), atteignant un pic en novembre (118,2 mm). Béjaia présente des précipitations relativement stables tout au long de l'année, avec des valeurs élevées en janvier (97,8 mm) et en décembre (108,9 mm). Les précipitations à Souk Ahras augmentent progressivement à partir de janvier (103,5 mm), atteignant leur niveau le plus élevé en octobre (83,0 mm), puis diminuent jusqu'en décembre (101,0 mm). Guelma présente.

L'Indice Standardisé de Précipitation permet de montrer que certaines stations météorologiques telles que Bejaia, Batna, Constantine, Guelma, Sétif et Skikda sont principalement caractérisées par des conditions humides, bien qu'elles connaissent également des périodes de sécheresse. En revanche, M'sila, Annaba, Bordj Bou Arreridj, Djelfa, Tébessa, Souk Ahras et Biskra sont principalement marquées par des conditions sèches, avec quelques années de conditions humides. Une période de sécheresse a été observée entre 1992 et 1995, suivie d'une période humide de 1995 à 1999. Entre 2000 et 2002, des conditions de sécheresse modérée à sévère ont été enregistrées, et de 2002 à 2004, une période très humide a été observée. Par la suite, une sécheresse de quatre ans a été constatée dans la plupart des stations jusqu'en 2022.

Conclusion

L'abondance des précipitations est plus marquée au niveau des stations littorales que dans la région de l'Atlas Tellien et les hautes plaines.

Cette étude contribue à la compréhension de la variabilité spatio-temporelle du climat et peut constituer un outil d'aide à la décision pour prendre de meilleurs stratégies d'adaptation au regard des la conservation des écosystèmes et des pratiques agricoles.

Liste des Références

ABDESSEMED, K. 1981. *Le cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Menetti) dans les massifs de l'Aurès et du Bélezma : Etude phytosociologique, problème de conservation et d'aménagement.*

Thèse Doc. Ing. Univ. Aix-Marseille, 200 p.

AIT BENNOUR, H., BENSIDHOUM, Z. 2017. *Impact de changement climatique sur la production des agrumes dans la wilaya de Bejaia (1983 à 2016).* Mem. Master en Sciences Economiques Univ Bejaia, 84 p

ASIF, M., ET MUNEER, T. 2007. Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7): 1388-1413.

BARD, E. 2011. Influence du soleil sur le climat. *L'astronomie*, 2 p.

BATES, B. C., KUNDZEWICZ, Z. W., WU, S., ET PALUTIKOF, J. P. 2008. Le changement climatique et l'eau. *Document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, éd, 10 p.*

BENARFA H., ET DEHOUANI C. 2021. *La variabilité climatique dans la wilaya de Tébessa.* Mem. Master académique. Université laarbi tebessi tebessa, 55 p.

BENCHIKH, K. 2021. *Contribution à la valorisation du potentiel de l'énergie biomasse en Algérie* (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla), 174 p.

BENMEBAREK, F., ET BOUADJADJA, W. 2020. *Impact des changements climatiques sur les températures et les précipitations en Algérie* (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah d'Ouargla), 80p.

Références

- BRIGODE, P. 2013.** *Changement climatique et risque hydrologique : Evaluation de la méthode SCHADEX en contexte non-stationnaire.* Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France, 317 p.
- BUCLET, N. 2011.** *Écologie industrielle et territoriale : stratégies locales pour un développement durable.* Presses Univ. Septentrion.
- CAMEROON, E. 2012.** Préparation des outils de formation et de sensibilisation sur la problématique des changements climatiques et les méthodes d'adaptation, les techniques de régénération et de gestion durable des écosystèmes de mangroves. 353 p.
- COQUILLAUD, S. 2015.** Kit pédagogique sur les changements climatiques (éd. 3). *Réseau Action Climat France.* Consulté le 04 22, 2023, sur : <https://reseauactionclimat.org/publications/kit-pedagogique-changements-climatiques>.
- DESSENS, J., ET BARES, A. 1996.** Evolution of the maximum and minimum temperatures in France from 1891–1992, *J. Meteorol.* 21 (1996) 41–48.
- DUCHAUFOR, PH., 1975.** Atlas écologique des sols du monde. Ed. Masson. 11- 9.
- DUMAS, P., RIBOLI-SASCO, L., SPYRATOS, V ET KURITA, F. 2005,** Fonctionnement du système climatique, perturbations humaines, dérèglements dangereux, 2005, 17 p.
- EASTERLING, D. R., HORTON, B., JONES, P. D., PETERSON, T.C., KARL, T. R., PARKER, D. E., SALINGER, M. J., RAZUVAYEV, V., PLUMMER, N., JAMASON, P., FOLLAND, C. K. 1997.** Maximum and minimum temperature trends for the globe, *Science* 277 (1997) 364–367.
- FARAH, A., K. 2014.** *Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien.* Thèse de Magistère, Université Constantine 1, 127 p.
- FOSA. 2002.** L'étude prospective du secteur forestier en Afrique, 6 p.

Références

- FRIEDLINGSTEIN, P., ET DUFRESNE, J-L. 2005.** Cycle du Carbone et climat : *une accélération des changements climatiques*, Paris, N° ISSN : 1021-7711.
- GIANNAKOPOULOS, C., BINDI, M., MORIONDO, M., LESAGER, P., et TIN T. 2005.** Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°c global temperature rise. A report for WWF, 67 p.
- GIEC. 2008.** Glossaire du document technique VI, le changement climatique et l'eau.
- GIEC. 2007.** Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, 30 p.
- GOUDJIL, A., SID ROUHO, F. 2015.** *Contribution de l'étude du climat et son influence sur la végétation dans les palmeraies d'Ouargla*. Mem. Master académique. Université Ouargla, 68 p.
- GUILHERME, M.A. 2021.** The importance of regional differences in vulnerability to climate change for demersal fisheries. *ICES Journal of Marine Science*.79 (2). 506-512.
- HALIMI A. 1980.** L'Atlas Blidéen - climats et étages végétaux- ; Ed. Office des Publications Universitaires, Alger, 522 p.
- HOEGH-GULDBERG O., ET ALL. 2007.** Understanding Climate Variability and Change. *Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification*. 318. 1737-1742.
- KOUASSI, J. L. 2019.** *Variabilité climatique, dynamique des feux de végétation et perceptions locales dans le bassin versant du N'Zi (Centre de la Côte d'Ivoire)* (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique Felix Houphoët Boigny-Yamoussoukro). 250 p.

Références

- LAALA, A. MA., ALATOU, DL. PR. 2016.** Variabilité Temporelle Des Températures Annuelles Et Saisonnières Dans l'Est Algérien. *European Scientific Journal*. édition vol.12, No.14 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- LAZZOUZI, S. 2015.** *Contribution à l'étude de la variabilité et de l'évolution de la pluviométrie sur le littoral Algérien* (Doctoral dissertation, École Nationale Polytechnique), 121 p.
- LEMKAK, H. 2022.** *Changement climatique et perception des agriculteurs dans les Ziban Est (Wilaya de Biskra)*. Mem. Master académique. Université Mohamed Khider de Biskra, 126 p.
- MAGASSA, M. 2021.** *Gestion adaptative des zones humides : une approche de réduction de la vulnérabilité des populations riveraines face aux effets des changements climatiques : exemple du lac Wégria dans la région de Koulikoro, au Mali* (Doctoral dissertation, Université Laval), 305 p.
- MARRE, A. 1987.** *Etude géomorphologique du tell oriental algérien : de Collo à la frontière Tunisienne*. O.P.U, Tome 1, Thèse Doct. Univ. Aix Marseille II, 411p.
- MATE. 2003.** Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, 465 p.
- MAZOYER, M., AUBINEAU, A., BOUGLER, J., NEY, B., ET ROUGER-ESTRADE, J. 2002.** *Larousse agricole : le monde paysan au XXIe siècle*. Larousse, Paris, France, 767 p.
- MEBARKI, A. 2005.** *Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : ressources en eaux, aménagement et environnement*. thes doc Univ Mnetouri, 349 p.
- MESSELMY, I. 2018.** *Impacts des changements climatiques sur les précipitations et les températures du Nord de l'Algérie*. Mem. Master académique. Université SAAD DAHLAB – BLIDA 1-, 81p.

Références

- MICHEL, G.E. 2014.** La représentation sociale du changement climatique : enquête dans le sens commun, auprès de gestionnaires de l'eau. *Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale*. 104 . 647- 669.
- NEDJRAOUI, D. 2003.** Profil fourrager <<Algérie >>Rapport FAO 2003 pp8. Disponible ici : <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/PDF%20files/Algeria-French.pdf>.
- NEFZI, A. 2012.** *Evaluation économique de l'impact du changement climatique sur l'agriculture : étude théorique et application au cas de la Tunisie* (Doctoral dissertation, AgroParisTech), 278 p.
- NICHANE, M., ET KHELIL, M. 2015.** Changements climatiques et ressources en eau en Algérie : *vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation*. Larhyss Journal, 21, 15-23.
- ONONFIN, A.K.C., OYEDE, I., ADJAHOSSOU, B.S., ET SOTONDI, F. 2021.** Analyse de la variabilité climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers dans la commune de Bohicon au Bénin. EPAC/UAC.
- PEARSON, R.G., ET DAWSON, T.P. 2003.** Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: *are bioclimate envelope models useful*, Global Ecology & Biogeography,12, 361- 371.
- PEDELABORDE, P., ET DELANOY, H. 1958.** Recherches sur les types de temps et le mécanisme des pluies en Algérie. In : *Annales de géographie*.1958, 67, 216-244.
- PELLERIN, S., BAMIERE, L., ANGERS, D., BELINE, F., BENOIT, M., BUTAULT, J. P., et PARDON, L. 2013.** *Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques* (Doctoral dissertation, INRA).

Références

- RAJAEIFAR, M.A., ET AL. 2017.** Electricity generation and GHG emission reduction potentials through different municipal solid waste management technologies: *A comparative review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79, 414-439.
- ROOT, T.L., PRICE, J.T., HALL, K.R., SCHNEIDER, S.H., ROSENZWEIG, C ET POUNDS, J.A. 2003.** - Fingerprints of global warming on wild animals and plants, *Nature*, Volume 421, 57-60.
- SAHNOUNE, F., ET AL. 2013.** Climate Change in Algeria: *Vulnerability and Strategy of Mitigation and Adaptation*. Energy Procedia. 36, 1286-1294.
- SALINGER, M. J., STIGTER, C. J., ET DAS, H. P. 2000.** Agrometeorological adaptation strategies to Salinger increasing climate variability and climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103(1-2), 167-184.
- TABET-AOUL, M. 2008.** Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb, *Les notes d'alerte du CIHIM n 48, juin 2008*
- TAÏBI, S. 2016.** *Influence de la circulation atmosphérique générale sur les précipitations du Nord de l'Algérie*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieur d'Hydraulique, Blida, 48p.
- YAHIAOUI, D. 2015.** *Impact des variations climatiques sur l'agriculture en Oranie*. Mémoire de Magister, Département de biologie, Université d'Oran 1, Oran, Algérie, 121 p.
- ZENABOU SEGDA, F. 2013.** Les changements climatiques. *Atelier de Sensibilisation des acteurs de la filière bois Énergie sur le lien entre Déforestation et Changements climatiques Ouagadougou*. Burkina Faso, 10 p.