

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

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

**En : Hydraulique**

**Spécialité : Ressources Hydrauliques**

Par : **BOUSSAIDI Manel**

**Caractérisation de la variabilité climatique au Nord-ouest algérien**

Soutenu publiquement, le 11/06/2024, devant le jury composé de :

M. <b>BENADDA Lotfi</b>	Maître de conférences B	Université de Tlemcen	Président
Mme. <b>ADJIM Hayet</b>	Maître de conférences B	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mme. <b>BABA HAMED Kamila</b>	Professeur	Université de Tlemcen	Encadrant
M. <b>BOUANANI Abderrazak</b>	Professeur	Université de Tlemcen	Co-Encadrant

Année universitaire : **2023 /2024**

# *Remerciements*

*Je remercie Allah le Tout-Puissant, pour la volonté, la santé et la force qui m'a donné durant toute ma vie pour atteindre mes objectifs.*

*Je désire exprimer ma gratitude particulière à :*

*Ma chère encadrante Professeur **BABA-HAMED Kamila** pour sa guidance, son soutien constant et ses conseils éclairés tout au long de la réalisation de ce projet. Sa patience et son expertise ont été des atouts précieux qui ont grandement contribué à la réussite de ce travail.*

*À mon Co-encadrant Professeur **BOUANANI Abderrazak** pour son précieux soutien et ses conseils avisés tout au long de ce projet.*

*Je tiens également à remercier Madame **ADJIM Hayet**, Maître de conférences, pour l'honneur d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

*Je remercie vivement Monsieur **BENADDA Lotfi**, Maître de conférences pour avoir accepté de présider mon jury malgré sa charge et ses occupations en qualité de Chef de département d'Hydraulique.*

*Une mention spéciale pour **OTMANE Abdelkader**, Maître de conférences à l'Université de Tiaret, qui a accepté de nous assurer la formation ArcGIS et que je ne saurais assez remercier pour son dévouement et sa générosité.*

*Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à Mlle **BOUANANI Wissal** pour ses discussions enrichissantes et ses conseils avisés durant les interminables soirées de travail.*

*Un grand merci à la doctorante **ABDELMOUMENE Hanane** pour son soutien constant et ses encouragements précieux tout au long de ce projet.*

*Je remercie chaleureusement le Directeur du laboratoire de Recherche n°25 Professeur **BOUANANI Abderrazak**, pour nous avoir permis l'accès aux salles de travail, ainsi que son ingénieur de laboratoire, M. **HAMOUDA**, pour ses conseils indéfectibles et son assistance précieuse.*

*À tous mes enseignants du département d'Hydraulique durant mes années d'études.*

*Je remercie chaleureusement la directrice de la DRE pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser mon stage. Je suis particulièrement reconnaissante pour l'encadrement de qualité et les orientations précieuses fournies par les différents ingénieurs de l'entreprise. Leur expertise et leur soutien m'ont été d'une grande aide.*

*J'aimerais également exprimer ma gratitude à toutes les personnes, qu'elles soient proches ou éloignées, de manière consciente ou inconsciente, qui ont contribué de quelque manière que ce soit à l'aboutissement de ce projet de fin d'études.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire ...*

*À*

*Ceux à qui je n'arriverai jamais à exprimer pleinement mon amour sincère, quels que soient les termes employés.*

*Ma chère maman qui m'a aidé et soutenu dans les moments difficiles.*

*Mon cher père, que Dieu l'accueille dans son vaste paradis. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de faire depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.*

*Mes frères Yacine, Fethi, Abdelmouneim et ma sœur Ines.*

*Mes amis Aya, Marwa, Selma, Fatima et mes collègues.*

*M. Mahi pour ses conseils précieux pour atteindre mon objectif.*

*Ma famille et à toutes les personnes qui ont contribué à l'achèvement de ce projet, même si ce n'était que par la prière.*

*BOUSSAIDI Manel*

## Résumé

Au fil des dernières décennies, les changements climatiques ont exacerbé les phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les fortes précipitations, les inondations et les périodes de sécheresse, émergeant comme l'un des principaux défis pour le développement à l'échelle locale, régionale et internationale. Dans le contexte algérien, la gestion de l'eau représente un défi constant, avec une demande croissante. Ce travail vise à évaluer la sécheresse dans la région du Nord-ouest algérien, caractérisée par un climat semi-aride, sur une période de 41 ans, de 1982 à 2023. L'objectif principal de cette étude est d'analyser et de cartographier les tendances et les variations des précipitations dans la région étudiée en utilisant des indices de sécheresse météorologique et en caractérisant spatio-temporellement les données pluviométriques à travers des cartes d'indices. Cette évaluation repose sur des données collectées auprès de 37 stations pluviométriques réparties dans la région.

Les résultats montrent une augmentation significative de la fréquence et de la sévérité de la sécheresse au cours des décennies 1982-1992, 1993-2003 et 2015-2023, tandis que la période de 2004 à 2014 apparaît comme la moins vulnérable. L'année 1983 est identifiée comme la plus sèche de la région. Par ailleurs, la cartographie régionale par l'utilisation du logiciel ArcGis pour interpoler les indices de sécheresse dans la région d'étude nous a permis d'analyser de manière plus approfondie les tendances et les schémas de sécheresse sur la période d'étude, il est apparu que le Nord-ouest a connu des périodes de sécheresse sur plusieurs décennies, tandis qu'une période humide significative s'est étendue de 2004 à 2014. Face à ce défi complexe, l'utilisation d'indicateurs de sécheresse s'avère essentielle pour guider les décisions à long terme en matière de gestion des ressources hydriques.

**Mots clés :** Nord-ouest algérien, variabilité climatique, tests statistiques, indices, sécheresse, variation spatio-temporelle

## ملخص

على مر العقود الأخيرة، زادت تغيرات المناخ من حدة الظواهر الجوية الشديدة، مثل الأمطار الغزيرة، والفيضانات، وفترات الجفاف، مما جعلها أحد التحديات الرئيسية للتنمية على المستوى المحلي، والإقليمي، والدولي. في السياق الجزائري، تمثل إدارة المياه تحدياً دائماً، مع الطلب المتزايد. يهدف هذا العمل إلى تقييم الجفاف في منطقة شمال غرب الجزائر، التي تتميز بمناخ شبه جاف، على مدى 41 عاماً، من 1982 إلى 2023. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحليل وتعريف الاتجاهات والتغيرات في الهطول في المنطقة المدروسة باستخدام مؤشرات الجفاف الجوي وتوصيف البيانات المطرية مكانياً وزمانياً من خلال خرائط المؤشرات. يعتمد هذا التقييم على البيانات المجمعة من 37 محطة مطرية موزعة في المنطقة

تُظهر النتائج زيادة كبيرة في تكرار وشدة الجفاف خلال العقود 1982-1992، 1993-2003، و 2015-2023، في حين تظهر الفترة من 2004 إلى 2014 كأقل ضعفاً. تُحدد العام 1983 كأكثر عام جفافاً في المنطقة. بالإضافة إلى ذلك، تسمح لتحويل مؤشرات الجفاف في المنطقة المدروسة لنا بتحليل أعمق ArcGis التصوير الجغرافي للمنطقة باستخدام برنامج للاتجاهات وأنماط الجفاف على مدى فترة الدراسة، حيث بدت شمال غرب الجزائر قد شهدت فترات جفاف على مدى عدة عقود، في حين امتدت فترة رطوبة مهمة من عام 2004 إلى 2014. أمام هذا التحدي المعقد، يثبت أن استخدام مؤشرات الجفاف ضروري لتوجيه القرارات طويلة الأجل في إدارة الموارد المائية

**كلمات مفتاحية:** شمال غرب الجزائر، تغيرات المناخ، اختبارات إحصائية، مؤشرات، جفاف، تغير مكاني-زمني.

## **Abstract**

Over the past few decades, climate change has exacerbated extreme weather phenomena such as heavy rainfall, floods, and periods of drought, emerging as a major challenge for development at the local, regional, and international levels. In the Algerian context, water management remains a constant challenge, with increasing demand. This work aims to assess drought in the North-west region of Algeria, characterized by a semi-arid climate, over a period of 41 years, from 1982 to 2023. The main objective of this study is to analyze and characterize the trends and variations in precipitation in the study area using meteorological drought indices and spatially and temporally characterizing rainfall data through index maps. This assessment relies on data collected from 37 rainfall stations distributed in the region. The results show a significant increase in the frequency and severity of drought during the decades 1982-1992, 1993-2003, and 2015-2023, while the period from 2004 to 2014 appears to be the least vulnerable. The year 1983 is identified as the driest year in the region. Additionally, regional mapping using ArcGis software to interpolate drought indices in the study area has allowed for a deeper analysis of drought trends and patterns over the study period, revealing that the North-west has experienced drought periods over several decades, while a significant wet period extended from 2004 to 2014. Faced with this complex challenge, the use of drought indicators proves essential to guide long-term decisions in water resource management.

**Keywords:** Northwestern Algeria, climate variability, statistical tests, indices, drought, spatiotemporal variation

## *Table des matières*

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale ..... 1

### **Chapitre I : Etat de l'art sur les changements climatiques**

**I. Introduction ..... 3**

**I.1. Introduction au changement climatique ..... 3**

**I.2. Histoire du changement climatique ..... 5**

**I.3. Définition du GIEC ..... 5**

**I.4. Rapport d'évaluation du GIEC..... 6**

**I.5. Variabilité climatique..... 11**

**I.6. Sécheresse..... 11**

**I.7. Climat de l'Algérie ..... 14**

**I.8. Conclusion..... 16**

### **Chapitre II : Présentation de la zone d'étude**

**II. Introduction ..... 17**

**II.1. Présentation de la zone d'étude ..... 17**

**II.2. Aperçu géologique..... 19**

II.2.1. Les Atlas Tellien et Saharien ..... 19

II.2.2. Les plaines et plateaux..... 19

II.2.3. Les bassins sédimentaires ..... 20

**II.3. Climat et variabilité pluviométrique..... 21**

**II.4. Les bassins versants appartenant à la zone d'étude ..... 21**

A. Bassin du Chélif (01) ..... 21

B. Côtiers de l'Algérois (02) ..... 22

C. Côtiers Oranais (04) ..... 23

D. Bassin versant de la Macta (11) ..... 23

E. Bassin de la Tafna (16) ..... 24

<b>II.5. Conclusion .....</b>	<b>25</b>
-------------------------------	-----------

### **Chapitre III : Etude climatique**

<b>III. Introduction .....</b>	<b>26</b>
--------------------------------	-----------

<b>III.1. Choix des stations .....</b>	<b>26</b>
--	-----------

<b>III.2. Etude des précipitations .....</b>	<b>28</b>
--	-----------

III.2.1. Précipitations moyennes annuelles.....	28
---	----

III.2.2. Précipitations moyennes mensuelles .....	34
---	----

III.2.3. Visualisation de la variation des précipitations moyennes annuelles par la Boite à moustaches (boxplot) .....	39
--	----

III.2.4. Test de rupture (Test de Pettitt) .....	40
--	----

<b>III.3. Etude des températures .....</b>	<b>48</b>
--	-----------

III.3.1. Températures moyennes annuelles .....	48
--	----

III.3.2. Températures moyennes mensuelles .....	53
---	----

III. 3.3. Visualisation de la variation des températures moyennes annuelles par la Boite à moustaches (boxplot) .....	58
---	----

<b>III.4. Etude de climat .....</b>	<b>58</b>
-------------------------------------	-----------

III.4.1. Diagramme pluviothermique de Bagnouls et Gausson .....	58
---	----

III.4.2. Indice d'aridité de De. Martonne (Lebourgeois, 2010).....	65
--	----

a. Indice d'aridité annuel de De. Martonne .....	65
--	----

b. Indice d'aridité mensuel de De Martonne .....	67
--	----

III.4.3. Indice de Lang .....	69
-------------------------------	----

a. Indice de Lang annuel.....	69
-------------------------------	----

b. Indice de Lang mensuel.....	69
--------------------------------	----

III.4.4. Indice d'aridité d'Angström .....	72
--	----

III.4.5. Indice pluviométrique d'Angot.....	73
---	----

III.4.6. Coefficient pluviométrique relatif d'Angot.....	74
--	----

III.4.7. Moyenne pluviométrique relative .....	76
--	----

III.4.8. Indice de Coutagne.....	77
----------------------------------	----

<b>III.5. Conclusion.....</b>	<b>78</b>
-------------------------------	-----------

### **Chapitre IV : Etude de la sécheresse**

<b>IV. Introduction .....</b>	<b>79</b>
-------------------------------	-----------

<b>IV.1. Application de la loi normale (loi de Gauss) à la série des précipitations annuelles des stations choisies pour la période 1982 à 2023 .....</b>	<b>80</b>
---	-----------

<b>IV.2. Indice standardisé des précipitations (SPI) .....</b>	<b>81</b>
--	-----------

<b>IV.3. Indice de l'écart à la moyenne (Em) .....</b>	<b>86</b>
--	-----------

<b>IV.4. Indice de pluviosité (Ip) .....</b>	<b>91</b>
--	-----------

<b>IV.5. Indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale (En)).....</b>	<b>97</b>
<b>IV.6. Conclusion .....</b>	<b>103</b>
<b>Chapitre V : Cartographie de la variabilité pluviométrique annuelle</b>	
<b>V. Introduction .....</b>	<b>104</b>
<b>V.1. Variabilité des précipitations moyennes annuelles :.....</b>	<b>104</b>
<b>V.2. Variabilité des températures moyennes annuelles :.....</b>	<b>105</b>
<b>V.3. Les indices climatiques : .....</b>	<b>106</b>
V.3.1. Indice d'aridité annuel de De. Martonne .....	106
V.3.2. Indice de Lang annuel.....	108
V.3.3. Les Indices de Sécheresse.....	108
a. Indice Standardisé des Précipitations (SPI) .....	108
a.1. Échelle Décennale.....	108
a.2. Échelle Annuelle .....	110
b. Indice de l'écart à la moyenne (Em) .....	111
b.1. Echelle décennale : .....	111
b.2 Echelle annuelle :.....	113
c. Indice de Pluviosité (Ip) .....	114
c.1. Echelle décennale : .....	114
c.2. Echelle annuelle :.....	115
d. Indice de l'Écart à la Normale (En) .....	116
d.1. Echelle décennale.....	116
d.2. Echelle annuelle :.....	117
<b>V.4. Test de Pettit :.....</b>	<b>118</b>
V.4.1. Précipitations moyennes annuelles avant la rupture (1982 à 2002) : .....	118
V.4.2. Précipitations moyennes annuelles après la rupture (2003 à 2023) :.....	119
<b>V.5. Conclusion .....</b>	<b>120</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>121</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>123</b>
<b>Webographie.....</b>	<b>127</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>128</b>

## *Liste des abréviations*

- DRE** : Direction des Ressources Hydrauliques
- CPR** : Coefficient pluviométrique relatif d'Angot
- Cv** : Coefficient de variation
- E** : Est
- Em** : Indice de l'écart à la moyenne
- En** : Indice de l'écart à la normale
- GIEC** : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
- I** : indice d'aridité de De Martonne
- Ip** : Indice de pluviosité
- MAR1** : Premier rapport d'évaluation méditerranéen
- MedECC** : Réseau indépendant d'experts méditerranéens sur le changement climatique et Environnemental
- MPR** : Moyenne pluviométrique relative
- N** : Nord
- NDMC** : Centre national d'atténuation de la sécheresse de l'Université du Nebraska
- NE** : Nord Est
- OMM** : Organisation Météorologique Mondiale
- P** : Précipitations
- PIB** : Produit intérieur brut
- Pm** : Précipitation moyenne annuelle
- PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
- R** : Indice de Couagne
- SON** : Septembre Octobre Novembre
- SPI** : Indice standardisé des précipitations
- SW** : Sud-Ouest
- T** : Températures
- Tm** : Température moyenne annuelle
- δ** : Ecart type

## *Liste des figures*

	<b>Page</b>	
<b>Chapitre I : Etat de l'art sur les changements climatiques</b>		
Fig. I.1	Températures moyennes de l'air en surface de 2011 à 2020 par rapport à une moyenne de référence de 1951 à 1980	4
Fig. I.2	Changement de la température de surface mondiale lors des 170 dernières années	7
Fig. I.3	Carte des déficits pluviométriques	13
Fig. I.4	Carte du degré de gravité de la sécheresse	13
Fig. I.5	Carte des zones climatiques du Nord algérien	14
Fig. I.6	Carte pluviométrique de l'Algérie	15
Fig. I.7	Carte des températures maximales et du trimestre le plus humide en Algérie	16
<b>Chapitre II : Présentation de la zone d'étude</b>		
Fig. II.1	Situation de la zone d'étude	18
Fig. II.2	Carte du relief de la zone étudiée	19
Fig. II.3	Carte géologique de l'Algérie	20
Fig. II.4	Localisation du bassin versant de Chélif	22
Fig. II.5	Réseau hydrographique du côtiers algérois	22
Fig. II.6	Localisation des bassins côtiers oranais	23
Fig. II.7	Réseau hydrographique du bassin versant de la Macta	24
Fig. II.8	Situation géographique du bassin versant de la Tafna	25
<b>Chapitre III: Etude climatique</b>		
Fig.III.1	Répartition des stations pluviométriques sélectionnées pour l'étude	27
Fig.III.2	Variations spatio-temporelles annuelles des précipitations des stations sélectionnées (1982- 2023)	34
Fig.III.3	Variation des précipitations moyennes mensuelles (1982 – 2023)	39
Fig.III.4	Boîte à Moustaches des précipitations annuelles durant la période 1982 – 2023	40
Fig.III.5	Evolution de la variable U du test de Pettitt des précipitations annuelles des stations sélectionnées (1982 – 2023).	47
Fig.III.6	Variations annuelles des températures des stations sélectionnées (1982 - 2023)	53
Fig.III.7	Variation des températures moyennes mensuelles (1982 - 2023)	57
Fig.III.8	Boîte à moustaches des températures annuelles durant la période 1982 – 2023	58
Fig.III.9	Diagramme pluviothermique des stations de mesure (1982 – 2023)	65
Fig.III.10	Classification du climat selon l'abaque de Martonne	67
<b>Chapitre IV : Etude de la sécheresse</b>		
Fig. IV.1	Indice standardisé des précipitations (SPI) des stations (1982 – 2023)	86
Fig. IV.2	Indice de l'écart à la moyenne (Em) (1982 – 2023).	91
Fig. IV.3	Indice de pluviosité Ip (1982 – 2023)	96

Fig. IV.4	Indice de l'écart à la normale (En) (1982 – 2023)	102
-----------	---	-----

## Chapitre V : Cartographie de la variabilité pluviométrique annuelle

Fig. V.1	Carte des précipitations moyennes annuelles	105
Fig. V.2	Carte des précipitations moyennes annuelles de 1982 à 1992	106
Fig. V.3	Carte des précipitations moyennes annuelles de 1993 à 2003	107
Fig. V.4	Carte des précipitations moyennes annuelles de 2004 à 2014	108
Fig. V.5	Carte des précipitations moyennes annuelles de 2015 à 2023	109
Fig. V.6	Carte des températures moyennes annuelles	110
Fig. V.7	Carte des températures moyennes annuelles de 1982 à 1992	111
Fig. V.8	Carte des températures moyennes annuelles de 1993 à 2003	112
Fig. V.9	Carte des températures moyennes annuelles de 2004 à 2014	113
Fig. V.10	Carte des températures moyennes annuelles de 2015 à 2023	114
Fig. V.11	Carte de l'indice de De Martonne	115
Fig. V.12	Carte de l'indice annuel de Lang	116
Fig. V.13	Indice standardisé des précipitations (SPI) de 1982 à 1992	117
Fig. V.14	Indice standardisé des précipitations (SPI) de 1993 à 2003	118
Fig. V.15	Indice standardisé des précipitations (SPI) de 2004 à 2014	119
Fig. V.16	Indice standardisé des précipitations (SPI) de 2015 à 2023	120
Fig. V.17	Indice standardisé des précipitations (SPI) de 1982 à 2023	121
Fig. V.18	Indice de l'écart à la moyenne Em de 1982 à 1992	122
Fig. V.19	Indice de l'écart à la moyenne Em de 1993 à 2003	123
Fig. V.20	Indice de l'écart à la moyenne Em de 2004 à 2014	124
Fig. V.21	Indice de l'écart à la moyenne Em de 2015 à 2023	125
Fig. V.22	Indice de l'écart à la moyenne Em de 1982 à 2023	126
Fig. V.23	Carte de l'indice de pluviosité Ip de 1982 à 1992	127
Fig. V.24	Carte de l'indice de pluviosité Ip de 1993 à 2003	128
Fig. V.25	Carte de l'indice de pluviosité Ip de 2004 à 2014	129
Fig. V.26	Carte de l'indice de pluviosité Ip de 2015 à 2023	130
Fig. V.27	Indice de pluviosité Ip de 1982 à 2023	131
Fig. V.28	Carte de l'Indice de l'écart à la normale (En) de 1982 à 1992	132
Fig. V.29	Carte de l'Indice de l'écart à la normale (En) de 1993 à 2003	133
Fig. V.30	Carte de l'Indice de l'écart à la normale (En) de 2004 à 2014	134
Fig. V.31	Carte de l'Indice de l'écart à la normale (En) de 2015 à 2023	135
Fig. V.32	Indice de l'écart à la normale (En) de 1982 à 2023	136
Fig. V.33	Carte des précipitations moyennes annuelles avant la rupture (1982-2002)	137
Fig. V.34	Carte des précipitations moyennes annuelles après la rupture (2003-2023)	138

## *Liste des tableaux*

	<b>Page</b>
<b>Chapitre III: Etude climatique</b>	
Tab. III.1	Stations pluviométriques sélectionnées pour cette étude 26
Tab. III.2	Précipitations moyennes annuelles des stations pluviométriques sélectionnées 28
Tab. III.3	Variations des précipitations moyennes mensuelles (1982 – 2023) 34
Tab. III.4	Détection des ruptures des séries de précipitations annuelles des stations sélectionnées (1982 -2023) 41
Tab. III.5	Températures moyennes annuelles des différentes stations pluviométriques sélectionnées (1982 – 2023) 48
Tab. III.6	Variations des températures moyennes mensuelles des stations sélectionnées 53
Tab. III.7	Classification du climat selon De Martonne 66
Tab. III.8	Indices de De Martonne des stations de mesure des précipitations (1982 – 2023) 66
Tab. III.9	Résultats de calcul de l'indice mensuel de De Martonne 68
Tab. III.10	Classification climatique annuel d'après Lang 69
Tab. III.11	Résultats de calcul de l'indice annuel de Lang 69
Tab. III.12	Classification climatique mensuelle d'après Lang 70
Tab. III.13	Résultats de calcul de l'indice annuel de Lang 71
Tab. III.14	Résultats de calcul de l'indice mensuel de Lang 72
Tab. III.15	Classification selon l'indice d'Angot 73
Tab. III.16	Résultats de calcul de l'indice d'Angot 73
Tab. III.17	Classification selon le coefficient pluviométrique relatif d'Angot 74
Tab. III.18	Résultats de calcul de MPMF 74
Tab. III.19	Résultats de calcul de CPR 75
Tab. III.20	Classification des mois 76
Tab. III.21	Résultats de calcul de la Moyenne pluviométrique mensuelle 76
Tab. III.22	Classification des climats selon l'indice de Couagne 77
Tab. III.23	Résultats de calculs de l'indice de Couagne 77
<b>Chapitre IV : Etude de la sécheresse</b>	
Tab. IV.1	Paramètres de position (Pm) et de dispersion ( $\delta$ , Cv), des précipitations des stations (1982 – 2023) 80
Tab. IV.2	Classification de SPI 81
Tab. IV.3	Classification de Em 86
Tab. IV.4	Classification de Ip 91
Tab. IV.5	Classification de En 97

# *Introduction Générale*

## **Introduction générale**

Le climat joue un rôle fondamental dans la vie humaine, influençant les activités économiques, sociales et environnementales à toutes les échelles. Dans de nombreuses régions du monde, la variabilité climatique représente un défi majeur, affectant la sécurité alimentaire, la gestion des ressources en eau, la santé publique et d'autres aspects vitaux de la société. Au cours des dernières décennies, les États ont manifesté un intérêt croissant pour le changement climatique, une notion aux dimensions variées comprenant la diminution des précipitations, l'élévation des températures, l'effet de serre, et bien d'autres (Hammar et al., 2014).

En Algérie, les conditions climatiques observées au cours des trois dernières décennies ont exercé une influence néfaste sur la disponibilité des ressources en eau (Meddi et al., 2009). La sécheresse, particulièrement marquée depuis les années 1970, a attiré l'attention mondiale sur les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau. Des périodes sévères, notamment dans les années 1980 et 1990, ont entraîné des déficits pluviométriques considérables, atteignant jusqu'à 50% dans certaines régions du pays (Hammar et al., 2014).

Le Nord-ouest de l'Algérie se caractérise par un climat varié, allant du méditerranéen au semi-aride et au désertique. Cette région, en raison de son caractère aride et semi-aride, est particulièrement sensible aux effets des changements climatiques. Les précipitations représentent l'aspect dominant du climat dans cette zone. Leur faible quantité, leur caractère très irrégulier et leur répartition inégale imposent des contraintes significatives sur son économie (Terra, 2016). Dans ce contexte, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) estiment qu'il est actuellement nécessaire de mener des études diagnostiques afin d'analyser empiriquement et statistiquement les caractéristiques du système climatique ainsi que sa variabilité dans différentes régions du globe (Rhissag, 2018).

Les principaux objectifs de cette étude sont d'analyser la variabilité climatique dans la région nord-ouest de l'Algérie, d'évaluer les variations des précipitations et des températures, de caractériser la sécheresse en calculant les indices climatiques et de sécheresse, et enfin de mettre à jour les cartes des précipitations pour la période allant de 1982 à 2023.

Pour atteindre ces objectifs, cette étude se propose de répondre aux questions suivantes :

- Comment évaluer l'ampleur de la variabilité absolue et relative des précipitations annuelles ?
- Comment décrire l'évolution temporelle des précipitations annuelles ?
- Comment caractériser la sécheresse météorologique et sa variabilité dans une échelle spatio-temporelle ?

L'exploration de ces interrogations a joué un rôle essentiel dans la conception et la structuration de ce travail.

En complément de l'introduction et de la conclusion générale, ce mémoire est subdivisé en cinq chapitres distincts.

Le premier chapitre présente l'état de l'art sur les changements climatiques, la variabilité climatique, la sécheresse, et le climat, dans le monde et en particulier en Algérie.

Le deuxième chapitre englobe une présentation de la région d'étude, couvrant la situation géographique, la géologie, le climat, la variabilité pluviométrique et les bassins versants appartenant à la zone d'étude.

Le troisième chapitre aborde l'étude climatique de la région, y compris l'étude des précipitations et des températures, l'analyse de la variabilité climatique avec la technique de détection des ruptures (test de Pettitt) et le calcul des indices climatiques pour mieux appréhender les variations climatiques de la région.

Le quatrième chapitre traite de l'étude de la sécheresse en calculant divers indices de sécheresse.

Le dernier chapitre concerne la cartographie des résultats des indices étudiés. Et enfin, une conclusion générale qui résume les résultats obtenus au cours de cette étude et propose des recommandations basées sur les conclusions tirées de l'analyse des données climatiques et de sécheresse dans le Nord-ouest de l'Algérie.

*Chapitre I*  
*Etat de l'art sur les changements*  
*climatiques*

## **I. Introduction**

Les changements climatiques sont responsables de diverses catastrophes naturelles telles que les inondations, la sécheresse et la désertification à travers le monde. Ces changements ont conduit à des déplacements massifs de populations, perturbé l'économie et, dans certains cas, provoqué des famines et des pertes en vies humaines. Ainsi, les problèmes liés aux changements climatiques sont au centre des préoccupations majeures de ce siècle. (Fossou et al, 2015)

Ce chapitre regroupe les termes clés utilisés dans cette étude, comprenant diverses définitions liées à la climatologie et à la sécheresse dans différents domaines, ainsi que leur impact.

### **I.1. Introduction au changement climatique**

Selon les nations unies, les changements climatiques font référence aux modifications sur le long terme des températures et des schémas météorologiques [1]. Depuis les années 1980, l'attention accordée au problème des changements climatiques a considérablement augmenté à l'échelle mondiale. Ce thème, suscitant des débats passionnés, a pris une ampleur considérable sur la scène internationale (Benoît, 2007). Depuis les années 1980, l'intérêt accru du public pour les changements climatiques a stimulé une augmentation des recherches et une mobilisation renforcée des gouvernements à l'échelle mondiale. En 1988, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) ont établi le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dans le but de collecter et d'évaluer l'ensemble des données scientifiques disponibles sur cet important sujet. Les changements climatiques, caractérisés par l'augmentation des températures, la fonte des glaces, les phénomènes météorologiques extrêmes et les répercussions sur la biodiversité, engendrent d'importantes conséquences sociales, économiques et environnementales à travers le monde. Face à cela, une action collective est impérative pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et encourager la durabilité.

Changement de température lors des 50 dernières années

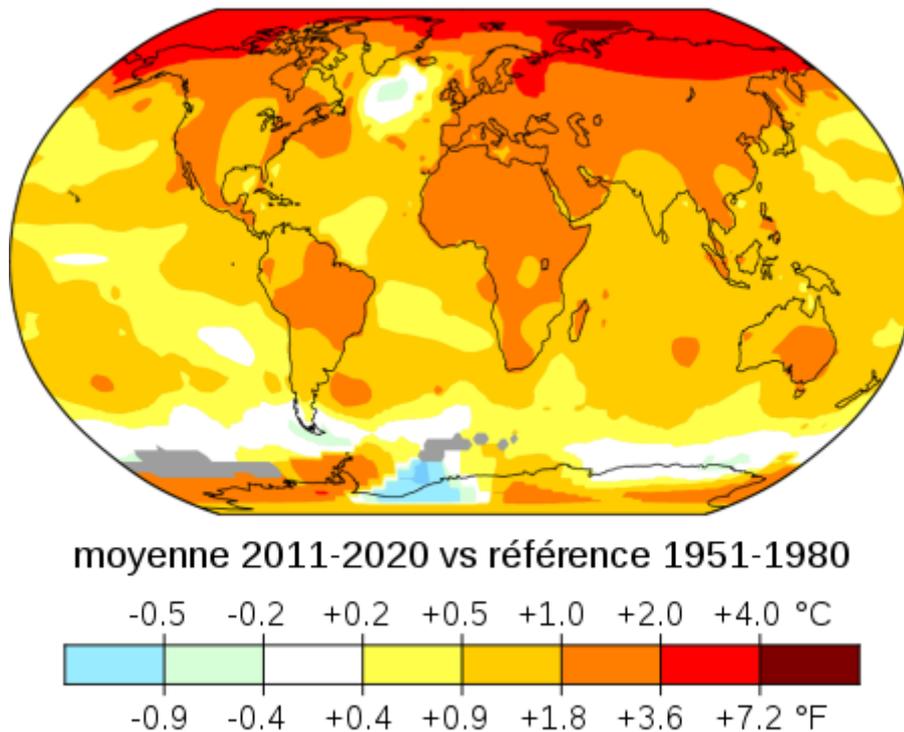


Figure I.1 : Températures moyennes de l'air en surface de 2011 à 2020 par rapport à une moyenne de référence de 1951 à 1980[2].

Les évolutions constantes du climat terrestre sont liées à des altérations dans la chronologie et la longueur des saisons. Ces variations sont principalement causées par des transformations dans les conditions atmosphériques et climatiques, attribuées à la fois aux activités humaines et aux phénomènes naturels. De nombreux écosystèmes et systèmes physiques ont subi des perturbations. En raison de l'élévation de la température moyenne mondiale, de nombreuses régions connaissent non seulement des températures plus élevées, mais également un début de printemps et d'été plus précoce, ainsi que des hivers retardés ou plus courts. (Alghamdi, 2023).

Les précipitations jouent un rôle primordial dans le climat et dans l'alimentation des cours d'eau. Le changement climatique conduira ainsi à une intensification du cycle hydrologique, entraînant une augmentation générale des précipitations dans les hautes latitudes, les tropiques et la plupart des régions de mousson. Toutefois, cette intensification s'accompagnera d'une variabilité accrue d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre (Benali Khodja et al, 2022).

Le premier rapport d'évaluation méditerranéen (MAR1), élaboré par le réseau indépendant d'experts méditerranéens sur le changement climatique et environnemental (MedECC), révèle que dans le futur, la région méditerranéenne devrait demeurer parmi les plus touchées par le changement climatique, notamment en ce qui concerne les précipitations et le cycle hydrique. (Trache et al *in* Chitour, 2021).

Les simulations climatologiques pour les régions méditerranéennes indiquent une perturbation des schémas de précipitations, une tendance à la diminution des niveaux de pluviométrie, une augmentation de l'évapotranspiration, ainsi qu'une fréquence accrue des phénomènes de sécheresse et d'inondation (Trache et al *in* Chitour, 2021).

L'Algérie est située dans la région méditerranéenne, identifiée par le GIEC comme l'un des 24 "points chauds" les plus vulnérables aux impacts du changement climatique. Impactée par des phénomènes climatiques extrêmes récurrents tels que les inondations, les sécheresses, les canicules et les incendies de forêt, le Nord de l'Algérie a été le centre d'études diverses sur les précipitations et la sécheresse, se concentrant principalement sur les régions du Nord-ouest et rarement sur le Nord-est de l'Algérie. Plusieurs auteurs ont signalé une diminution des totaux de précipitations dans le Nord-ouest de l'Algérie, tout en notant également un réchauffement accru (Bouanani et al, 2003), (Merabti et al, 2017). Selon les projections climatiques saisonnières obtenues par le modèle UKHI en adoptant le scénario « IS92a » du GIEC, l'Algérie pourrait connaître une augmentation importante des températures pouvant atteindre 1,5 °C et une baisse moyenne des précipitations pouvant atteindre 10 % entre 2020 et 2050. Ces projections pourraient entraîner une augmentation des sécheresses dans la région (Bensmira et al, 2020).

Dans la première moitié des années 1970, le Nord-ouest a subi une diminution d'environ 40 % des précipitations annuelles, associée à une augmentation de la température. De plus, les eaux de surface écoulées entre 1976 et 2012 étaient de 28 % à 36 % inférieures à celles de la période 1949-1976 (Bensmira et al, 2020).

## **I.2. Histoire du changement climatique**

Depuis la fin du XIXe siècle, les préoccupations concernant un changement climatique planétaire ont augmenté. Les termes "effet de serre" ont été introduits par Joseph Fourier en 1827, suivi par les constatations de Svante August Arrhenius en 1896 sur le rôle de l'activité humaine, principalement industrielle, dans l'augmentation du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) atmosphérique. Le suivi scientifique, notamment par Keeling à partir de 1958, a montré une croissance continue des concentrations de CO<sub>2</sub>. Divers rapports et conférences internationales, tels que le Rapport Brundtland en 1987 et la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques en 1992, ont jeté les bases de la sensibilisation et de l'action internationales. Des accords tels que le Protocole de Kyoto en 1997 et l'Accord de Paris en 2015 ont tenté de coordonner les efforts mondiaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les rapports du GIEC, y compris celui de 2018 sur le réchauffement de 1,5 °C, soulignent l'urgence d'une action décisive face au changement climatique. [3]

## **I.3. Définition du GIEC**

Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) est un organisme scientifique créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) pour évaluer les connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques, leurs causes, leurs impacts et les stratégies d'adaptation et d'atténuation.

Le GIEC est composé de scientifiques et d'experts de différents pays, qui travaillent sur une base volontaire et bénévole. Le GIEC publie régulièrement des rapports d'évaluation sur l'état des connaissances scientifiques sur le changement climatique, qui sont largement utilisés par les gouvernements, les organisations internationales et la société civile pour élaborer des politiques et des stratégies d'adaptation et d'atténuation.

Le GIEC est considéré comme l'autorité scientifique la plus fiable sur les changements climatiques et a reçu le prix Nobel de la paix en 2007 pour ses travaux. [4]

Le GIEC est structuré en trois groupes de travail distincts :

- Le premier groupe se concentre sur les bases physiques du climat, examinant ses aspects passés, présents et futurs. Il élabore plusieurs scénarios en fonction des émissions de gaz à effet de serre, fournissant ainsi une compréhension approfondie des fondements du climat.
- Le deuxième groupe se penche sur la vulnérabilité des sociétés humaines aux changements climatiques, évaluant les conséquences de ces changements et proposant des scénarios d'adaptation. Son rôle est de comprendre comment les communautés peuvent mieux s'adapter aux impacts inévitables du changement climatique.
- Quant au dernier groupe, il se consacre à l'atténuation du changement climatique, examinant les moyens de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'atténuer les changements climatiques futurs. [5]

#### **I.4. Rapport d'évaluation du GIEC**

En 2022, le GIEC a achevé son sixième cycle de publication de rapports depuis sa fondation en 1988. Ces rapports englobent les connaissances scientifiques sur l'intégralité des aspects liés au réchauffement climatique, couvrant les causes, les conséquences, ainsi que les leviers d'adaptation et d'atténuation. Le GIEC a récemment publié trois rapports clés, émanant de ses groupes de travail respectifs :

- Le premier rapport sorti en Août 2021, se focalise sur l'état actuel de la science climatique et les projections des changements climatiques mondiaux.
- Le deuxième rapport en Février 2022, examine les impacts climatiques, les vulnérabilités, et les mesures d'adaptation face aux conséquences du réchauffement climatique.
- Le troisième rapport publié en mars 2023, se concentre sur les stratégies de lutte contre le réchauffement climatique et les moyens d'atténuation disponibles.[5]

Ces trois rapports offrent une vue d'ensemble complète des évaluations du GIEC. [6]

Le rapport d'évaluation du GIEC offre un résumé retraçant l'histoire globale de ce cycle de rapports, fournissant une vue d'ensemble des avancées et des enseignements tirés de l'ensemble du processus :

- ❖ **Un réchauffement sans précédent, attribué aux activités humaines :** Le réchauffement climatique actuel est sans précédent et est clairement attribué aux

activités humaines, notamment aux émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique.

Le réchauffement climatique est déjà marqué par une augmentation significative des températures mondiales, dépassant d'environ 1,2 degré Celsius les moyennes préindustrielles en 2022. Ce phénomène se caractérise par une intensité particulièrement forte, dépassant même les projections antérieures. Les températures augmentent à un rythme alarmant, dépassant la capacité d'adaptation des écosystèmes. [5]

Le graphique dans la figure I.2, montre les températures observées, comparées à celles calculées par deux simulations : en rouge, l'activité humaine et facteurs naturels inclus et en vert, uniquement les facteurs naturels.

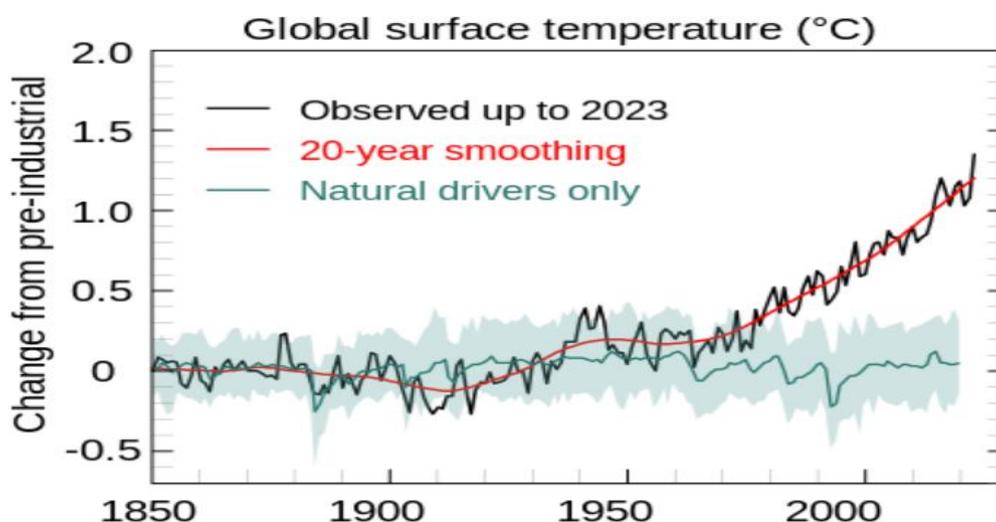


Figure I.2 : Changement de la température de surface mondiale lors des 170 dernières années [2]

❖ **Le réchauffement climatique engendre des conséquences sévères et croissantes sur les écosystèmes ainsi que sur les sociétés à l'échelle mondiale.**

Les rapports du GIEC alertent sur les graves conséquences du réchauffement climatique sur les écosystèmes et les sociétés humaines. Les impacts incluent des événements météorologiques extrêmes, une perturbation généralisée des écosystèmes, une dégradation des infrastructures, des problèmes de santé, et une diminution de la productivité agricole. Les services écosystémiques essentiels, tels que la pollinisation et l'irrigation, sont compromis, tout comme les ressources en eau potable. [5]

❖ **Adaptation aux changements en cours**

Il est impératif de s'adapter aux changements climatiques actuels. Les rapports du GIEC, en particulier celui du groupe 2 (cf. Définition du GIEC), soulignent la nécessité de faire face aux impacts du réchauffement climatique déjà observés. Les activités humaines, telles que l'agriculture, la santé, l'industrie et l'urbanisme, devront ajuster leurs pratiques pour atténuer les risques actuels, tandis que l'anticipation des risques futurs, tels que les transformations des écosystèmes, reste essentielle. [5]

❖ **Protection des plus vulnérables et promotion de la solidarité climatique**

Les rapports du GIEC soulignent la nécessité de protéger les populations vulnérables et de favoriser la solidarité face à la crise climatique. Les données indiquent que les personnes défavorisées sont les plus touchées. Pour s'adapter au réchauffement climatique, des politiques sociales sont nécessaires pour garantir des conditions de vie sécurisées dans un contexte climatique incertain. [5]

Les contributions disproportionnées des plus riches à la crise climatique nécessitent une solidarité et une équité climatiques. Cela implique un financement accru des nations riches pour aider les plus pauvres et une contribution plus importante des citoyens à l'échelle mondiale. Il est essentiel de réduire les inégalités climatiques pour limiter les émissions excessives des populations aisées. [5]

#### ❖ **Importance d'une approche écosystémique globale**

Les rapports sur l'océan, la cryosphère et l'usage des terres soulignent la grande interconnexion entre la crise climatique et la sauvegarde des écosystèmes planétaires. [5]

##### • **Protection des puits de carbone**

La préservation des écosystèmes mondiaux, tels que les forêts, les sols et les océans agissant comme des puits de carbone, représente une solution simple pour atténuer le réchauffement climatique. La lutte contre la déforestation, une gestion adaptée des sols et la préservation de la biodiversité sont des leviers essentiels pour agir sur le climat et protéger la nature. [5]

##### • **Solutions naturelles**

Le rapport du groupe 3 du GIEC met en avant le potentiel des écosystèmes dans la lutte contre le réchauffement climatique. La reforestation, l'utilisation de biomasse avec stockage du carbone et une gestion plus responsable des sols peuvent contribuer de manière proactive au stockage du CO<sub>2</sub>. [5]

##### • **Intégration dans une approche cohérente**

Ces solutions naturelles doivent être intégrées dans une approche écosystémique globale. Il est essentiel de concevoir des projets de régénération écosystémique cohérents, enracinés localement et affranchis des logiques marchandes. [5]

#### ❖ **Nécessité de la sobriété**

Les récents rapports du GIEC, notamment celui du groupe 3, insistent sur la nécessité de la sobriété, une avancée significative. Contrairement aux précédents, ils mettent en avant la modération dans nos productions et consommations. [5]

##### • **Limites des solutions techniques**

Le groupe 3 du GIEC souligne l'importance des solutions techniques (énergies renouvelables, nucléaire, hydrogène, efficacité énergétique, innovation, capture du CO<sub>2</sub>) pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et atteindre les objectifs climatiques. Mais ces solutions restent insuffisantes sans une transformation de nos modes de production et de consommation. Les nouvelles technologies "vertes" comportent aussi des risques environnementaux, nécessitant donc la sobriété. [5]

- **Sobriété et changements**

Dans divers secteurs, comme la mobilité, la transition vers des véhicules électriques doit s'accompagner d'une réduction des déplacements, favorisant les modes de mobilité actifs. Les évolutions agricoles doivent être couplées à une baisse de la consommation de produits d'origine animale et à une alimentation plus végétale. Il est primordial de concevoir des systèmes de production plus économes tout en répondant efficacement à nos besoins, réduisant ainsi la consommation de ressources et d'énergie.[5]

- ❖ **Retard global dans la lutte contre le réchauffement climatique**

Le rapport du groupe 3 du GIEC, se concentrant sur les stratégies d'atténuation du réchauffement, met en lumière l'insuffisance flagrante des actions actuelles pour prévenir une crise climatique majeure.[5]

- **Persistance des émissions de gaz à effet de serre**

Quelques données clés accentuent la préoccupation : Au cours des dix dernières années, 17% de tous les gaz à effet de serre émis depuis la Révolution Industrielle l'ont été. Annuellement, les activités humaines génèrent près de 60 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit une hausse de 12% depuis 2010 et de 54% depuis 2000. Les émissions continuent d'augmenter, avec les seules diminutions observées pendant les périodes de confinement liées à la Covid-19.[5]

- **Non-respect des engagements climatiques**

Le GIEC souligne également que les politiques climatiques actuelles ne répondent pas aux engagements pris dans le cadre des accords internationaux ni aux objectifs de réduction des gaz à effet de serre fixés par les instances nationales et internationales. [5]

- ❖ **Action climatique : Urgence extrême !**

Il est impératif d'agir de manière bien plus audacieuse face à la crise climatique.

- **Budget carbone gravement limité**

Les dernières données sur notre budget carbone indiquent que nous ne pouvons émettre que moins de 500 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> supplémentaires pour espérer limiter le réchauffement à 1,5 degré. Cela correspond à peine à 7 à 8 années si les émissions actuelles persistent. Pour atteindre l'objectif de 2 degrés, la limite est d'environ 1150 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit moins de 20 années d'émissions à moins de prendre des mesures drastiques.[5]

- **Fenêtre d'opportunité critique**

L'analyse des données scientifiques souligne que la fenêtre d'opportunité pour contrer le réchauffement climatique se referme rapidement. Une réduction immédiate des émissions est impérative, suivie d'une baisse d'environ 8% par an pour respecter nos objectifs climatiques. Cependant, les progrès actuels sont nettement insuffisants, et chaque jour de retard rend la transition vers un avenir durable encore plus difficile.[5]

### ❖ Des changements structurels majeurs dans tous les secteurs

Le GIEC compile des données scientifiques sans préconiser de solutions spécifiques pour la transition vers un monde à faible émission de carbone. Diverses options, comme la réduction des énergies fossiles, l'adoption des énergies renouvelables, la mobilité électrique et une agriculture plus végétale, sont évoquées. Cependant, aucune solution unique n'est recommandée, et la mise en œuvre de ces changements nécessitera des ajustements profonds dans les modes de production, de consommation et de gouvernance.

Cette transition représente une révolution économique, sociale et territoriale, exigeant des réglementations appropriées et des ajustements dans les indicateurs économiques. Les politiques urbaines, sociales et fiscales devront également évoluer pour faire face à ces nouveaux défis.[5]

### ❖ Une transition complexe et un défi démocratique

La transition climatique, d'après le GIEC, est un défi complexe nécessitant des changements majeurs dans la société. La question cruciale réside dans la manière équitable de répartir les efforts et les sacrifices, tout en veillant à leur acceptabilité générale. La démocratie joue un rôle clé, exigeant une transformation des modes de gouvernance pour inclure davantage les citoyens et les organisations. Des approches telles que la démocratie directe, la décentralisation et la participation, à l'instar de la Convention Citoyenne pour le Climat, pourraient favoriser des propositions consensuelles et accélérer la transition climatique.[5]

Les principales conclusions du rapport de synthèse du GIEC se résument ainsi en 10 points essentiels :

- ✓ Le réchauffement en cours est sans précédent et résulte des activités humaines.
- ✓ Les conséquences sur les écosystèmes et les sociétés mondiales sont dramatiques et croissantes de manière exponentielle.
- ✓ L'adaptation aux changements climatiques en cours est impérative.
- ✓ La solidarité et la justice climatique sont indispensables.
- ✓ Il est nécessaire d'adopter une approche écosystémique globale, intégrant les enjeux de biodiversité et de ressources, dans la lutte contre le réchauffement climatique.
- ✓ La sobriété est une composante indispensable pour contrer le réchauffement climatique.
- ✓ Les actions nationales et internationales accusent un retard significatif par rapport à l'ensemble des enjeux.
- ✓ Une action urgente est nécessaire pour inverser la tendance actuelle.
- ✓ Des changements structurels majeurs doivent être entrepris dans tous les secteurs, notamment par le biais des énergies renouvelables et des mobilités électriques.
- ✓ La transition s'annonce complexe et représente un véritable défi démocratique.

Certes, les 6 rapports du GIEC fournissent une multitude d'informations complémentaires, notamment sur les modélisations climatiques, les impacts locaux des changements écologiques, les projections et les scénarios. Cependant, le rapport de synthèse diffusé en mars 2023 met en lumière de manière concise ces points fondamentaux et souligne l'impératif de s'engager promptement dans un changement systémique afin de contrer les conséquences dramatiques du réchauffement climatique.[5]

### **I.5. Variabilité climatique**

La variabilité climatique se manifeste par les changements naturels dans les conditions météorologiques au fil des saisons et d'une année à l'autre. Elle se mesure par l'écart entre les conditions climatiques observées et la moyenne, illustrant ainsi les variations naturelles à court et à long terme. Dans l'ensemble, elle englobe l'étendue des fluctuations climatiques à diverses échelles temporelles et spatiales [7]. En raison du réchauffement climatique, on pourrait observer une augmentation de la fréquence des phénomènes climatiques extrêmes tels que des périodes de sécheresse intense, des pluies abondantes, des inondations, des pics de chaleur et des vents violents. Pendant près de quarante ans, la variabilité du climat et ses changements sont devenus une préoccupation majeure pour l'ensemble de la population mondiale. En effet, les perturbations majeures engendrées par le changement climatique pourraient avoir des conséquences néfastes sur l'humanité et la planète tout entière (Benali Khodja et al, 2022).

La variabilité climatique dans le monde est influencée par une combinaison de facteurs. Il s'agit notamment de variations naturelles telles que l'activité solaire, les éruptions volcaniques, les cycles naturels de l'océan et de l'atmosphère, ainsi que les variations de l'orbite terrestre. Parallèlement, les activités humaines, telles que l'utilisation de combustibles fossiles, la déforestation, l'élevage de bétail et les émissions de gaz à effet de serre, contribuent également de manière significative à cette variabilité [8].

### **I.6. Sécheresse**

La sécheresse est un phénomène mondial qui touche de nombreuses régions du monde [9]. Avec le changement climatique, les épisodes de sécheresse deviennent plus fréquents et plus graves [10]. Selon les Nations Unies, la planète a perdu 70 % de ses zones humides naturelles, essentielles à la régulation de l'approvisionnement en eau et à l'atténuation des sécheresses [11]. De nombreux pays sont touchés par la sécheresse, notamment la France, le Chili, l'Inde, l'Australie, les États-Unis et la Russie [9]. L'Afrique est particulièrement vulnérable à la sécheresse, la partie sud du continent souffre de graves sécheresses ayant conduit à l'insécurité alimentaire et à la malnutrition [11]. Les sécheresses peuvent avoir de graves conséquences sur l'agriculture, l'approvisionnement en eau et l'environnement, et peuvent même conduire à des conflits et à des déplacements de population [11].

La sécheresse, en tant que catastrophe naturelle, peut se produire dans n'importe quel contexte climatique. Son étude est importante en raison de ses caractéristiques mystérieuses, de ses conséquences humaines, des pertes économiques, des impacts sociaux, ainsi que des crises dans les domaines de l'agriculture, des ressources naturelles et des écosystèmes (Shiravand et al, 2023).

La sécheresse a des répercussions étendues touchant divers secteurs d'activité humaine et l'environnement naturel. Elle se traduit par une diminution du produit intérieur brut (PIB) d'un pays, entraînant des pertes de richesse nationale et des conséquences socioéconomiques négatives. Celles-ci incluent l'aggravation du chômage, l'accroissement de la précarité et de la pauvreté dans les zones rurales et péri-urbaines, l'accentuation de l'exode rural et de l'immigration, ainsi que la ruralisation des villes (Lebdi et al, 2023).

La sécheresse peut prendre diverses formes en fonction des ressources impactées et des activités économiques les plus touchées. On distingue plusieurs types de sécheresse,

notamment la sécheresse hydrologique, hydrogéologique, agricole, édaphique (lié aux sols), socio-économique et météorologique, chacune présentant des caractéristiques spécifiques (Faci et al, 2021).

Entre 1900 et 2005, on observe une augmentation significative des précipitations dans les parties orientales de l'Amérique du Nord et du Sud, ainsi que dans le Nord de l'Europe et le Nord et le centre de l'Asie. En revanche, une diminution des précipitations est constatée au Sahel, dans la région méditerranéenne, dans le Sud de l'Afrique et dans certaines parties du Sud de l'Asie. À l'échelle mondiale, la zone touchée par la sécheresse a probablement augmenté depuis les années 1970 (IPCC, 2007)

L'Algérie fait désormais face à un stress hydrique important en raison de la rareté des précipitations, et elle est confrontée à des conditions physiques et climatiques difficiles, exacerbées par des périodes de sécheresses chroniques (Trache et al *in* Chitour, 2021).

L'Algérie a connu diverses sécheresses dans son histoire. Les années 1980-1990 ont été particulièrement difficiles, avec un déficit pluviométrique atteignant 50% dans le centre et l'Ouest, et 30% dans l'Est. En 1988/1989, officiellement déclarée année sèche, l'Algérie a subi des impacts négatifs sur les ressources hydriques et a fait face à des inondations généralisées. Les températures ont également montré une tendance à la hausse dans la plupart des stations (Khoualdia et al, 2014).

Depuis 20 ans, une sécheresse sévère touche l'Ouest du pays, comme l'ont confirmé des études scientifiques. Une expertise de 2017 a également confirmé un changement dans les précipitations en 1976, entraînant un déplacement des isohyètes vers le Nord et l'Est (Safar-Zitoun, 2019).

La carte des déficits pluviométriques (fig.I.3) élaborée dans ce contexte montre que la région Nord-ouest de l'Algérie présente le déficit pluviométrique le plus marqué (Amiar, 2021).

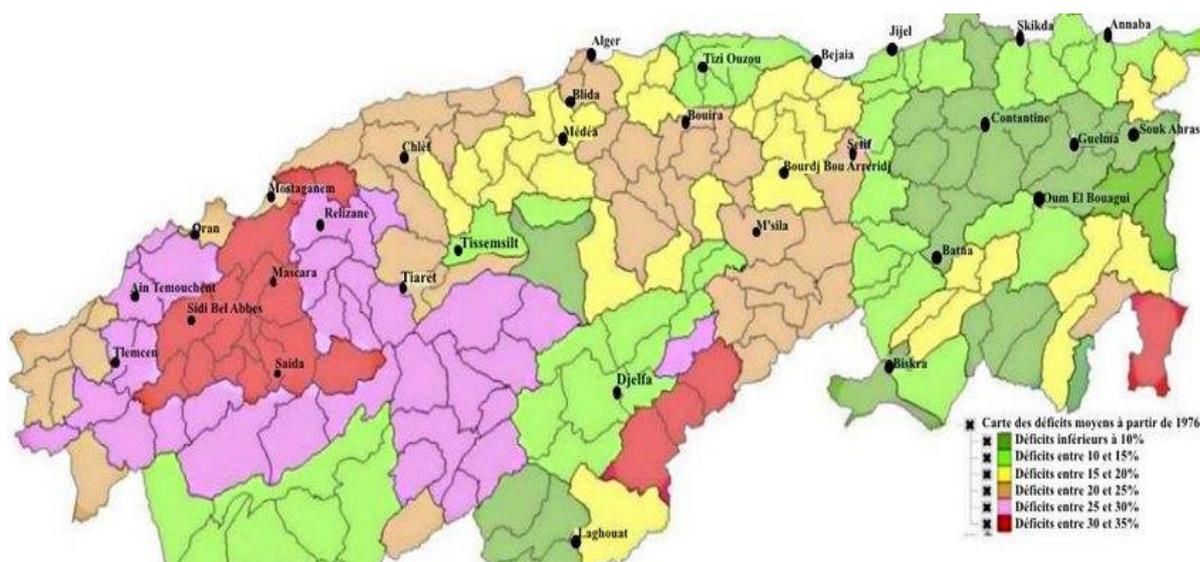


Figure I.3 : Carte des déficits pluviométriques (Safar-Zitoun, 2019)

Depuis 2016, on observe un retour régulier des cycles de sécheresse, marqué par une diminution des précipitations, notamment dans la région ouest du pays. Le déficit s'accroît

progressivement et pourrait atteindre des niveaux irréversibles en cas de persistance (Trache et al in Chitour, 2021).

La carte du degré de gravité de la sécheresse (fig.I.4) établie d'après les données du World Resources Institute (Plan National Sécheresse Algérie, 2019), fait remarquer que le degré le plus important est dans l'Ouest algérien.

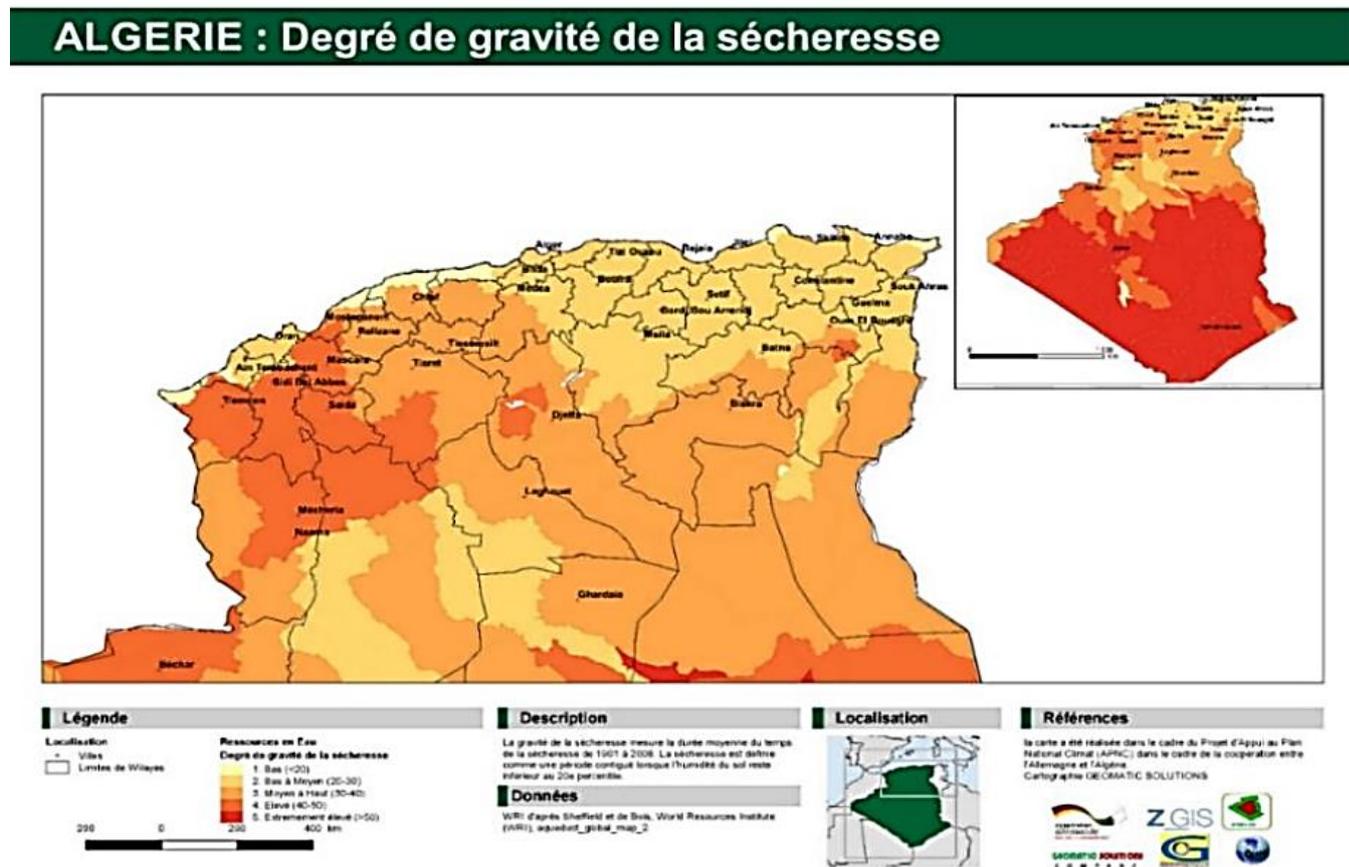


Figure I.4: Carte du degré de gravité de la sécheresse (Safar-Zitoun, 2019)

### I.7. Climat de l'Algérie

L'Algérie, le plus grand pays d'Afrique, s'étend au Sud de la Méditerranée entre les latitudes 18° et 38° Nord et les longitudes 9° Ouest et 12° Est. Son territoire se compose de trois ensembles géographiques distincts : le littoral méditerranéen au Nord, les hauts plateaux et la steppe entre les chaînes montagneuses de l'atlas tellien au Nord et de l'atlas saharien au Sud, et enfin le vaste désert du Sahara (Amiar, 2021).

Le climat en Algérie présente une dominante méditerranéenne avec des étés chauds et secs ainsi que des hivers pluvieux. Cependant, cette caractérisation générale dissimule une diversité climatique régionale influencée par la géographie du pays. La proximité de la Méditerranée au Nord et du Sahara au Sud crée des écarts thermiques considérables d'une région à l'autre, avec des variations saisonnières significatives. Les chaînes montagneuses de l'Atlas tellien et de l'Atlas saharien contribuent également à différencier les climats en modifiant la température de l'air et en influençant les précipitations (Rhissa, 2018). En agissant comme une barrière à la circulation des masses d'air, elles influencent la répartition des précipitations, provoquant des conditions plus humides du côté nord et des conditions

plus arides du côté sud (fig.I.5). L'effet d'élévation sur la température crée des variations thermiques saisonnières, tandis que l'impact sur la biodiversité se manifeste par une végétation plus dense au Nord et des caractéristiques plus désertiques au Sud.

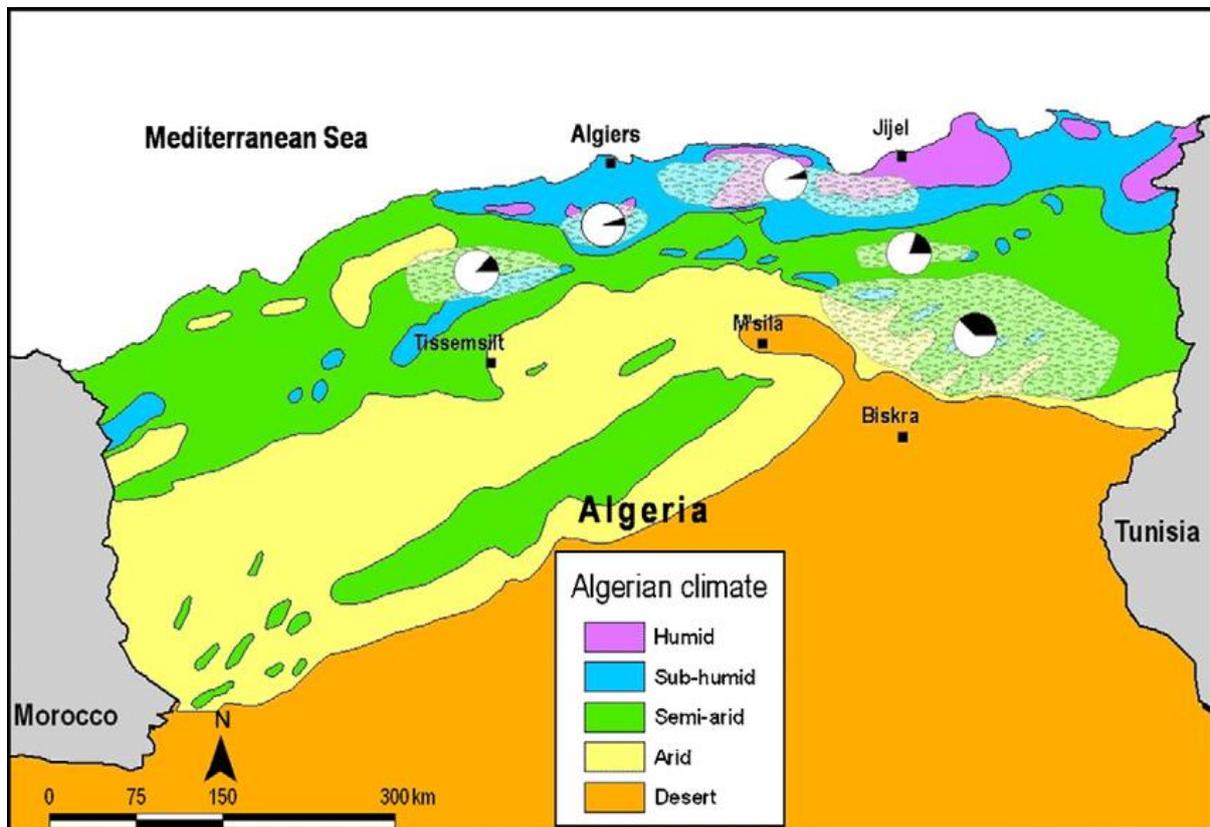


Figure I.5: Carte des zones climatiques du Nord algérien [11].

La figure I.6 met en évidence la répartition des précipitations annuelles moyennes en Algérie, où on y observe que :

- Le Nord de l'Algérie reçoit la majorité des précipitations, avec des zones atteignant plus de 1200 mm par an.
- Le Tell, la région côtière, est la plus arrosée, avec des précipitations annuelles moyennes comprises entre 400 et 1200 mm.
- Les Aurès, une chaîne de montagnes dans le Nord-est, reçoivent également des précipitations importantes, atteignant 960 mm par an.
- Le Sahara, la vaste région désertique au Sud, reçoit très peu de précipitations, avec moins de 200 mm par an.

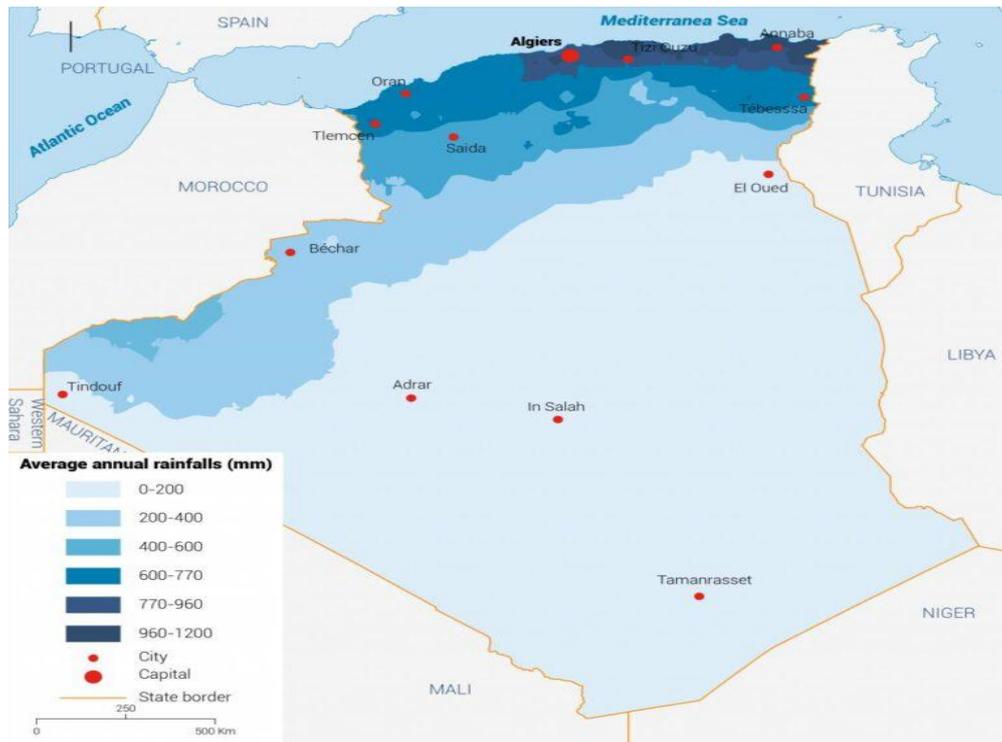


Figure I.6: Carte pluviométrique de l'Algérie [11]

Quant à la répartition des températures maximales du trimestre le plus humide en Algérie, la figure I.7, fait ressortir que :

- Le Nord de l'Algérie est généralement plus frais, avec des températures maximales inférieures à 30°C.
- Les régions côtières et montagneuses du Nord ont des températures maximales souvent inférieures à 25°C.
- Le Sahara, la vaste région désertique au Sud, est beaucoup plus chaud, avec des températures maximales supérieures à 40°C.

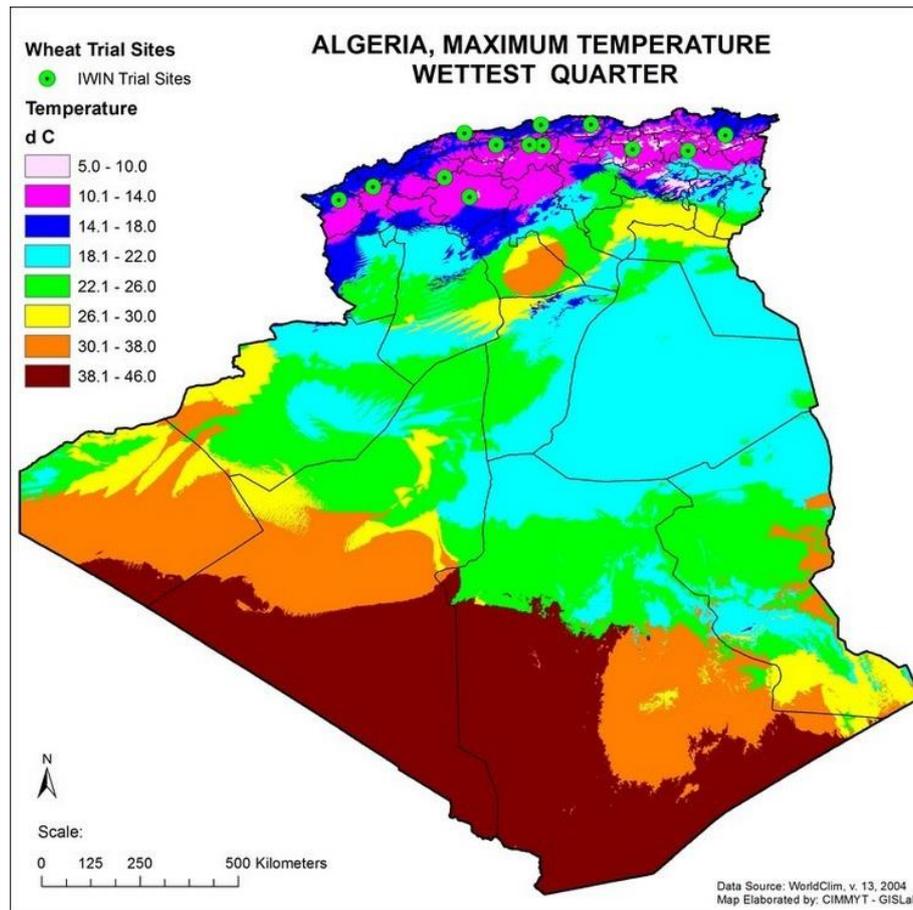


Figure I.7: Carte des températures maximales et du trimestre le plus humide en Algérie [11].

Le Nord de l'Algérie présente généralement un hiver humide et un été sec tandis que le Sud du pays a un hiver sec et un été humide. Les régions montagneuses du Nord-est ont un automne humide (SON). Et pour le Nord-ouest des hivers doux et humides et des étés chauds et secs.

### I.8. Conclusion

Cette brève présentation du changement climatique et de la sécheresse a souligné l'importance de cette menace persistante pour les ressources hydriques et leur fréquence d'occurrence.

En effet, les variabilités climatiques ont des impacts significatifs sur les ressources en eau, en réduisant les disponibilités et en modifiant les équilibres hydriques. Des stratégies d'adaptation et des politiques publiques plus sensibles sont nécessaires pour gérer ces impacts et protéger la ressource en eau.

*Chapitre II*  
*Présentation de la zone*  
*d'étude*

## **II. Introduction**

Une compréhension approfondie de la région étudiée facilite l'analyse et l'interprétation des résultats. Ce chapitre comprend une présentation détaillée de la région étudiée, incluant sa situation géographique, sa géologie, un aperçu général sur son climat et sa variabilité pluviométrique, ainsi que les bassins versants qui en font partie.

### **II.1. Présentation de la zone d'étude**

La zone d'étude couvre une superficie d'environ 89 420 km<sup>2</sup> (fig.II.1), située entre 2°10'10" de longitude ouest et 3°10'11" de longitude est, ainsi qu'entre 34°18'54" et 36°48'12" de latitude nord. Elle s'étend sur environ 250 km du Sud au Nord et environ 500 km de l'Ouest à l'Est (Meddi et al, 2007). Sur le littoral, le climat est modéré avec une humidité relativement élevée et des précipitations annuelles variant de 400 mm à l'Ouest à 900 mm à l'Est (Bouanani et al, 2003, Meddi et al, 2009). Notre région inclut les bassins versants du Chélif (01), du côtier de l'Algérois (02), du littoral Oranais (04), de la Macta (11) et de la Tafna (16). Ses frontières naturelles comprennent la mer Méditerranée au Nord, la frontière algéro-marocaine à l'Ouest, les hautes plaines au Sud et le prolongement du Massif de l'Ouarsenis à l'Est.

La région nord-ouest de l'Algérie est caractérisée par une diversité géographique, climatique et culturelle. En effet, elle comprend des paysages variés, allant des côtes méditerranéennes aux montagnes de l'Atlas blidéen et oranais. Les plaines fertiles du Chélif et les vallées des oueds comme la Tafna et la Macta sont également des traits marquants de cette zone.

Le climat varie de méditerranéen sur la côte à semi-aride à mesure que l'on s'éloigne vers l'intérieur des terres. Les étés sont chauds et secs, tandis que les hivers sont doux et humides, avec des précipitations plus abondantes sur les reliefs.

La région est largement agricole, avec des cultures telles que les céréales, les oliviers, les agrumes et les vignes. L'irrigation est souvent nécessaire en raison du climat semi-aride.

Outre l'agriculture, la région nord-ouest possède également des industries importantes, notamment dans les secteurs manufacturiers, pétrochimique et sidérurgique. Les ports sont des centres d'activité économique majeurs.

La région est également connue pour ses ressources minérales, notamment le phosphate et le gypse. Ces ressources ont joué un rôle important dans le développement économique de la région.

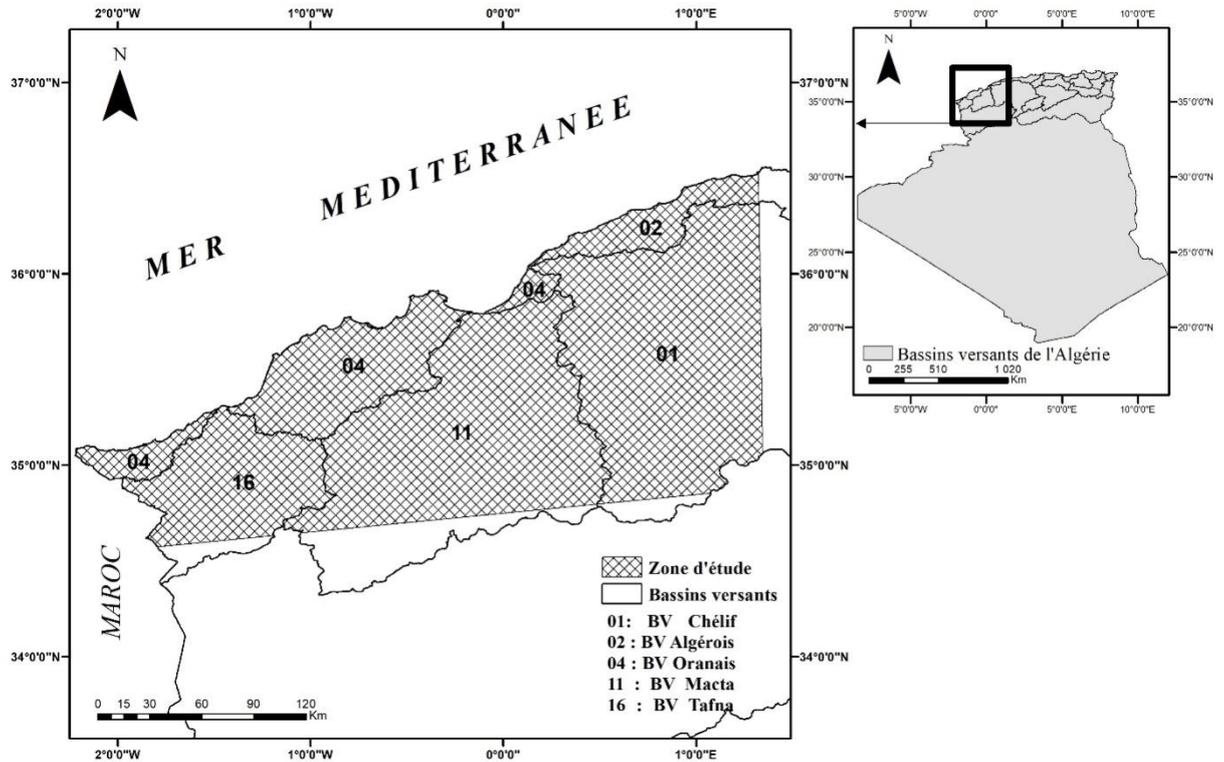


Figure II. 1 : Situation de la zone d'étude

La région côtière de l'Algérie occidentale est caractérisée par les collines d'Oran, s'étendant de la région d'Ain-Temouchent à la montagne des lions (Massif d'Arzew), avec des altitudes de 300 à 650 mètres et une orientation SW à NE. Ces reliefs ont donné lieu à des baies telles que Arzew, Oran, Mers El-Kébir et les Andalouses. À l'Est, les monts du Dahra forment une dorsale entre la dépression du Cheliff et la mer Méditerranée, devenant plus montagneuse et boisée vers l'Est avec des altitudes dépassant 1000 mètres. Les chaînes de montagnes s'étendent des monts des Traras à l'Ouest au massif de l'Ouarsenis à l'Est, avec des reliefs variés, des plateaux, et des sommets dépassant 1500 mètres. Les plateaux telliens entre le haut bassin de la Mina et la frontière marocaine, à une distance de 300 km, sont bien définis morphologiquement et climatologiquement. Le plateau de Sersou, représentant la seule région tellienne des Hautes Plaines dans la région, est composé de la cuvette de Tissemsilt au Nord de l'oued Nahr-Ouassel et du plateau du Sersou au Sud de cet oued (Terra, 2016).

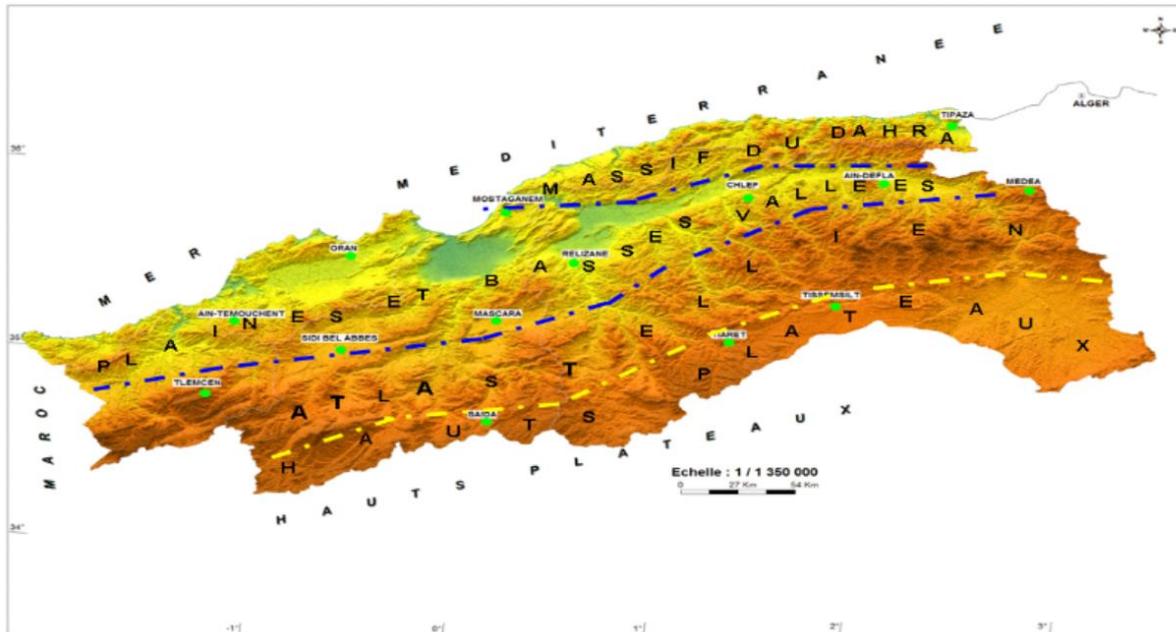


Figure II. 2 : Carte du relief de la zone étudiée (Terra, 2016).

## II.2. Aperçu géologique

Le Nord-ouest de l'Algérie, offre une multitude de formations et de structures géologiques (fig.II.3). Nous exposons dans ce qui suit un aperçu des principales caractéristiques géologiques de cette région :

### II.2.1. Les Atlas Tellien et Saharien

L'Atlas Tellien au Nord est constitué principalement de roches sédimentaires, dont des calcaires, des marnes, et des grès datant du Mésozoïque (Jurassique et Crétacé) et du Cénozoïque. Cette chaîne montagneuse présente des plis et des failles résultant de l'orogénèse alpine. Le relief est marqué par des montagnes moyennement élevées et des vallées fertiles, notamment dans les régions de Tlemcen et de Sidi Bel Abbès.

Quant à l'Atlas Saharien, situé plus au Sud, est formé de roches plus anciennes, incluant des formations précambriennes et paléozoïques. On y trouve des grès, des quartzites et des schistes. Cette chaîne présente des montagnes plus arides et accidentées, avec des altitudes souvent plus élevées que celles de l'Atlas Tellien.

### II.2.2. Les plaines et plateaux

On y distingue la plaine de la Mitidja, alluviale, composée principalement de sédiments quaternaires. Elle est essentielle pour l'agriculture :

Entre les deux Atlas, se trouvent les Plateaux de l'Oranie, semi-arides constitués de roches sédimentaires mésozoïques et cénozoïques. Ils sont souvent couverts de steppes.

II.2.3. Les bassins sédimentaires

- Bassin de Tlemcen : Ce bassin est rempli de sédiments marins et continentaux datant principalement du Mésozoïque et du Cénozoïque. On y trouve des roches calcaires et des marnes, ainsi que des formations évaporitiques.
- Bassin de Sidi Bel Abbès : Un autre bassin sédimentaire important avec une stratigraphie similaire, riche en roches sédimentaires du Tertiaire.

Le Nord-ouest de l'Algérie présente une géologie complexe et variée, influencée par des processus orogéniques et sédimentaires. Les différentes chaînes de montagnes, plaines et bassins de la région racontent l'histoire géologique dynamique de l'Afrique du Nord, caractérisée par une diversité de formations rocheuses et une richesse en ressources naturelles. Cette géologie diverse a également une influence significative sur l'économie régionale, en particulier par le biais de l'agriculture et des industries extractives.

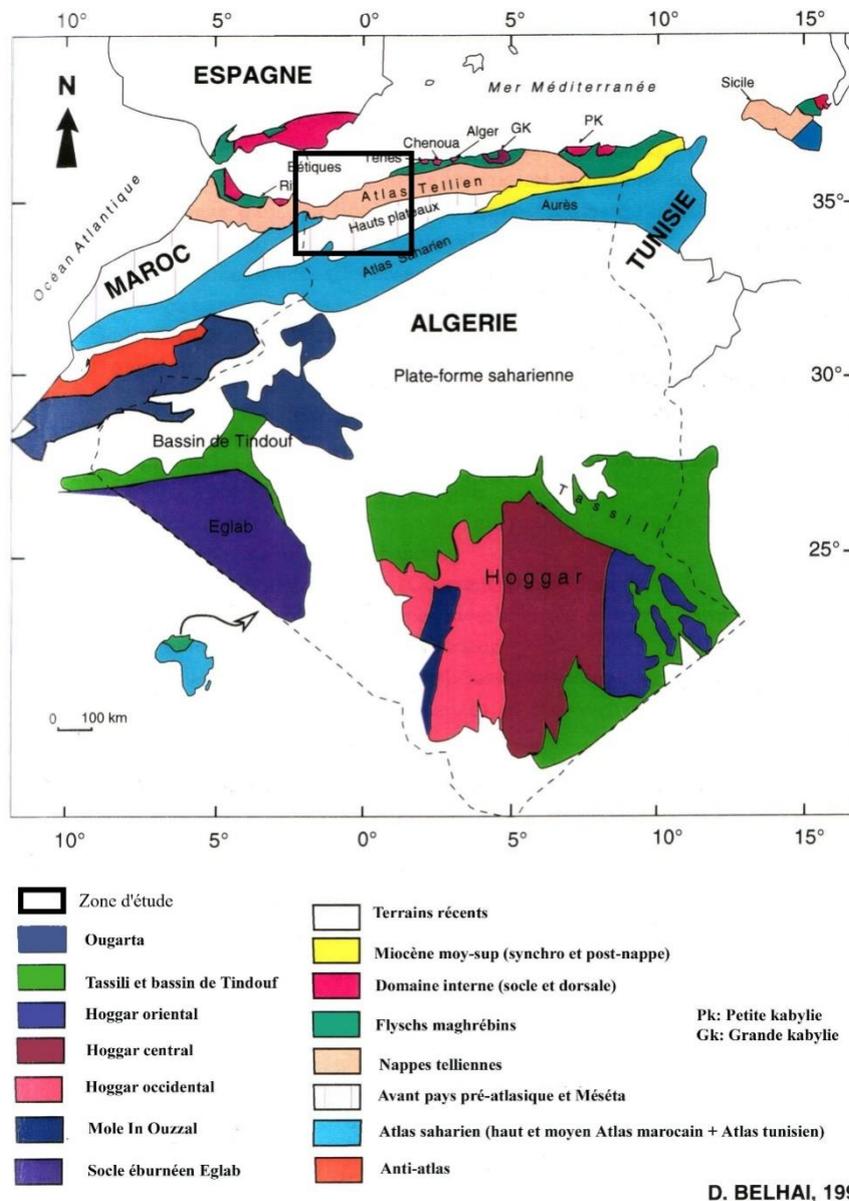


Figure II. 3 : Carte géologique de l'Algérie (modifiée) [13]

### II.3. Climat et variabilité pluviométrique

Le Nord-ouest de l'Algérie se trouve en latitude, bénéficiant ainsi d'une protection contre les influences de la dorsale du Moyen Atlas-Rif du Maroc. Le relief accidenté de la région offre de nombreux refuges contre les influences maritimes. Ces deux éléments ont un impact direct sur la variabilité spatiale de la pluviométrie et contribuent à la diminution des précipitations dans la zone. Pendant la saison hivernale, les vents soufflent principalement de l'Ouest nord-ouest, tandis que les vents d'Est, responsables de fortes précipitations, sont rares à cette période (Meddiet al, 2009).

La zone d'étude, en raison de son emplacement dans le bassin méditerranéen, bénéficie d'un climat de type méditerranéen. Cela se distingue nettement des régions du Sud caractérisées par un climat plus saharien. Dans la partie nord-ouest de l'Algérie, le climat est doux et relativement humide pendant l'hiver, tandis qu'il est chaud et sec pendant l'été. Cette influence méditerranéenne se traduit par des saisons distinctes avec des hivers doux et des étés chauds, marqués par une saison sèche (Terra, 2016). Dans les plaines de l'Atlas tellien, la pluviométrie présente des variations régionales. À l'Ouest, elle atteint environ 500 mm, au centre elle est d'environ 450 mm, et à l'Est, elle s'élève à 700 mm. L'Atlas saharien se caractérise par un climat estival très chaud et sec, tandis qu'en hiver, il est doux. La pluviométrie y est généralement plus faible par rapport aux régions du Nord en raison de son éloignement de la mer (Hallouz et al, 2016).

### II.4. Bassins versants appartenant à la zone d'étude

#### A. Bassin du Chélif (01)

Le bassin hydrographique du Cheliff, situé au Centre ouest du Nord de l'Algérie, est le plus vaste de la région, couvrant 47 269 km<sup>2</sup> (fig.II.4). Il est subdivisé en trois sous-régions : le Cheliff en amont de Boughzoul, le Haut et le Moyen Cheliff, et le Bas Cheliff et la Mina. Le bassin versant du Haut et Moyen Cheliff s'étend de l'étranglement près de Boughzoul au seuil de Boukadir, où naissent les bassins du Bas Cheliff et de l'oued Mina (Amiar, 2021).

Il est composé de la plaine de la Mina, le plateau de Saida, la vallée des oueds El Abd et Taht, oued Chélif Aval. D'après Meddi (2007), le bassin présente une variation moyenne annuelle des précipitations, oscillant entre 148 mm et 746 mm d'une station à l'autre sur une période de 25 ans(1950-1975). Le coefficient de variation des moyennes annuelles est de 30 %, indiquant une variabilité plus ou moins significative des précipitations. À l'échelle annuelle, la variabilité spatiale, représentée par le coefficient de variation entre les différentes stations sur les 25 ans, varie de 29 % à 51 %.

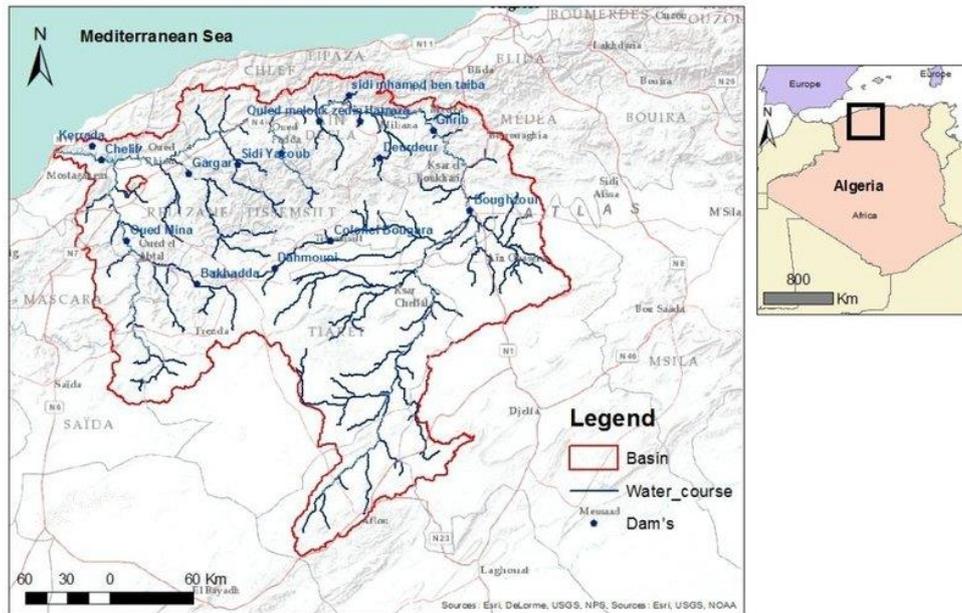


Figure II.4: Localisation du bassin versant de Chélif (Zettam, 2018).

### B. Côtiers de l'Algérois (02)

Le bassin est situé au Nord de l'Algérie, s'étend sur une superficie de 14 000 km<sup>2</sup> et sur près de 500 km le long de la côte méditerranéenne, de Béjaïa à Mostaganem, avec une largeur moyenne de 24 km, il englobe une grande partie du littoral algérien (fig. II.5). Il se distingue par sa grande diversité climatique, géomorphologique, géologique, pédologique et topographique. De plus, le bassin est traversé non pas par un seul cours d'eau principal, mais par plusieurs, parmi lesquels on peut citer le grand Sebaou, El Harrach, Mazafran, El Hachem et Damous. etc. Le climat y est de type méditerranéen, avec des précipitations annuelles moyennes variant de 500 à 1000 mm (Ammari, 2015), (Zeroual et al, 2010).

La région se distingue par un relief extrêmement accidenté, comprenant des sommets culminant à 1415 mètres (Djebel Dahra) dans la partie ouest du bassin, et à 2308 mètres (Djebel Djurdjura, Kabylie) dans la partie est du bassin (Meddiet al, 2007).

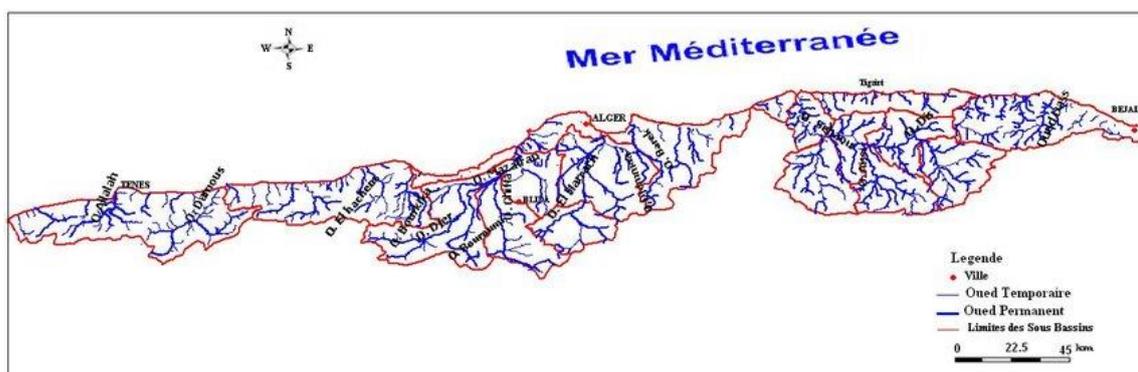


Figure II. 5 : Réseau hydrographique du côtiers algérois (Ammari, 2015)

### C. Côtiers Oranais (04)

Le bassin versant des côtiers Oranais se caractérise par une topographie relativement peu accidentée comparée à d'autres bassins versants. Il englobe la plaine d'Oran, où les altitudes ne dépassent pas 100 mètres. La pluviométrie y est faible, oscillant entre 302 mm à la station de Marsa Ben Mhidi, située à l'extrême ouest du littoral, et 398 mm à Hammam Bouhadjar. La variabilité spatiale des précipitations d'une année à l'autre et d'une station à l'autre est modérée, avec des écarts variants entre 10 % et 36 %. Ces faibles pourcentages s'expliquent principalement par le relief modéré et les faibles précipitations peu abondantes dans ce bassin (Meddi et al, 2007).

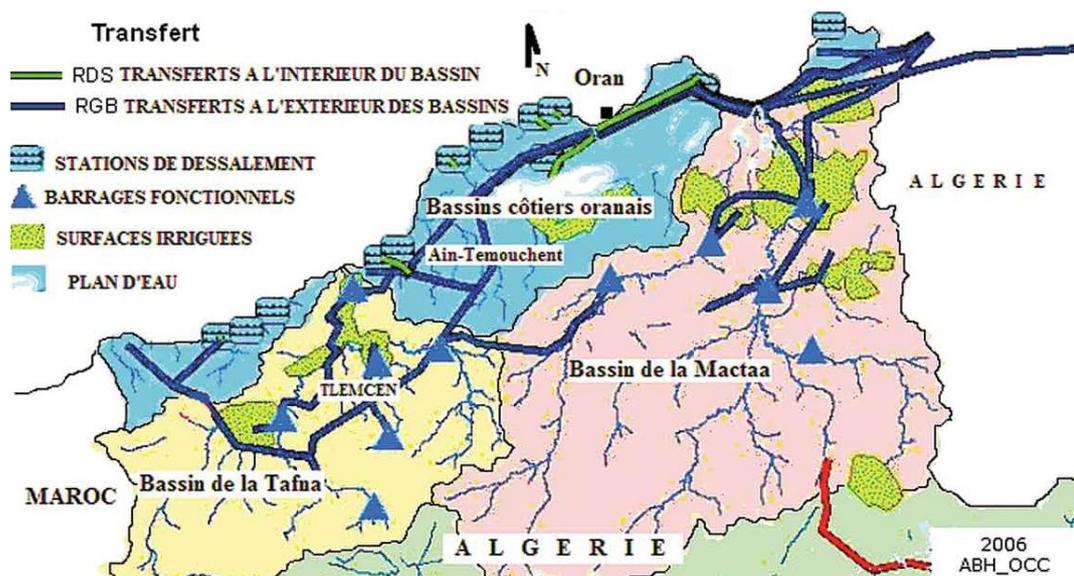


Figure II. 6 : Localisation des bassins côtiers oranais (ABH, 2016)

### D. Bassin versant de la Macta (11)

Situé au Nord-Ouest de l'Algérie, le bassin versant de la Macta couvre une superficie de 14390 km<sup>2</sup>. Il est traversé par deux principaux cours d'eau : l'oued Mebtouh à l'Ouest et l'oued El Hammam à l'Est (Otmame, 2019). Le bassin est limité au Nord par les djebels Beni Chougrane, les djebels Tessala et la plaine de Mohamadia, au Sud par les djebels Saida et ceux de Daya (1356 m), et au Sud-ouest par les djebels de Tlemcen. Il s'agit du plus grand bassin versant du Nord-Ouest algérien (Djellouli, 2017).

La pluviométrie annuelle dans le bassin versant de la Macta est relativement faible et varie considérablement selon les régions. Sur le versant sud des Beni Chougrane, notamment à Bouhnifia et Sfisef, les précipitations annuelles atteignent en moyenne 206 mm. En revanche, sur les monts de Saida, qui culminent à 1201 m, ainsi que sur le versant nord-ouest du Djebel Sidi Belabess et du Djebel Tessala, les précipitations sont plus abondantes, atteignant environ 380 mm par an (Otmame et al, 2018), (Meddi et al, 2007).

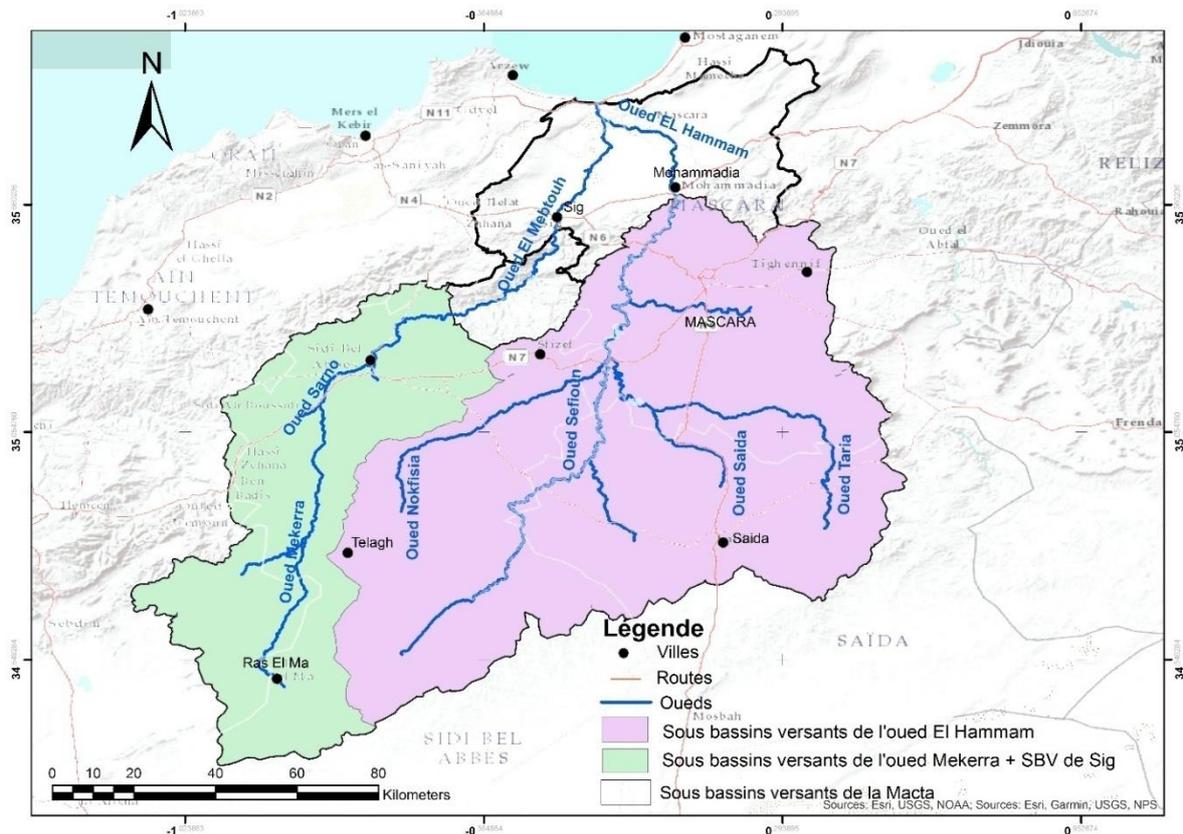


Figure II.7: Réseau hydrographique du bassin versant de la Macta (Otmane, 2019)

**E. Bassin de la Tafna (16)**

La région, située à l'extrême nord-ouest de l'Algérie, bénéficie d'un climat méditerranéen semi-aride. Elle est localisée entre les longitudes 18° et 28° ouest et les latitudes 34°50' et 35°30' nord. La superficie totale de cette région est de 7245 km<sup>2</sup>, dont 23 % s'étendent sur le territoire marocain (Ghenim et al, 2013).

La région est délimitée au Nord-ouest par les monts des Traras, culminant à 1021 mètres, et au Nord-Est par les monts des Tessala. La partie sud-est est caractérisée par les monts de Tlemcen, avec des altitudes variantes entre 1 576 et 1 843 mètres, tandis que la partie nord comprend des plateaux dont l'altitude varie de 200 à 500 mètres (Meddi et al., 2007).

Selon les travaux de Meddi et al., (2007), les précipitations annuelles dans la région varient de 260 mm dans la plaine de Tlemcen à 650 mm sur les sommets des monts de Tlemcen. La variabilité spatiale des précipitations, calculée sur une période de 25 ans, présente une moyenne de 30 % et oscille entre 21 % et 57 %. Plus de 90 % des années d'observation montrent des coefficients de variation spatiale inférieurs à 40 %, indiquant une variabilité spatiale modérée pour ce bassin.

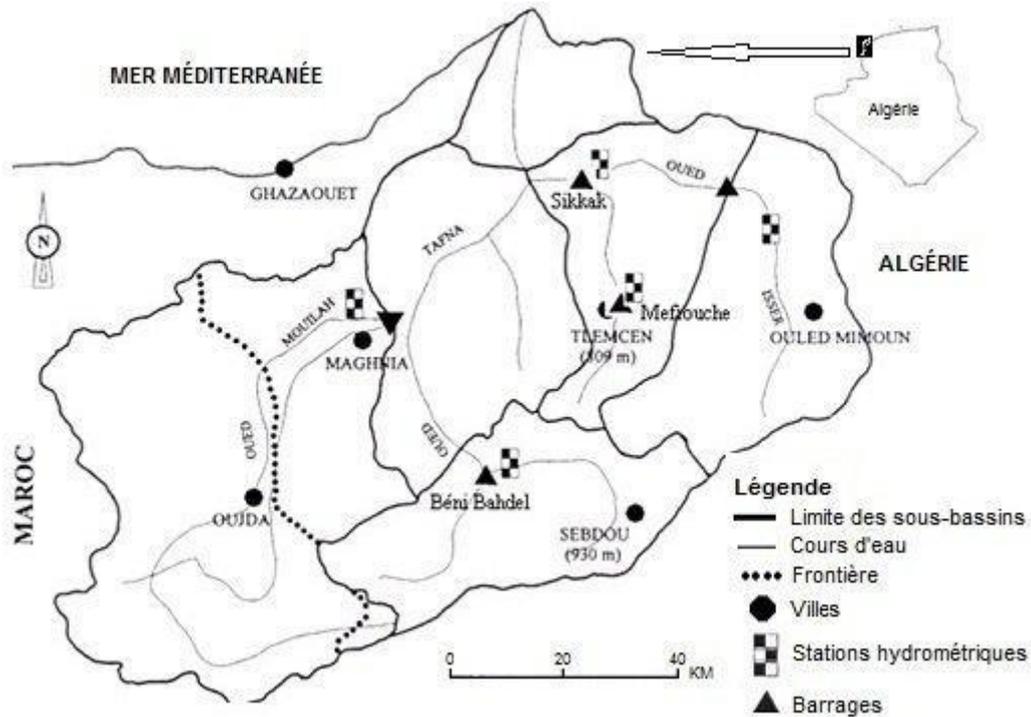


Figure II.8: Situation géographique du bassin versant de la Tafna (Bouanani et al, 2013)

### II.5. Conclusion

Cette zone du Nord-ouest algérien est idéale pour une étude de la variabilité climatique et de l'impact du changement climatique en raison de ses variations altitudinales et climatiques marquées. Nous aborderons dans le chapitre suivant une analyse de quelques données météorologiques sur plusieurs décennies qui nous permettra de comprendre les tendances climatiques et d'identifier les changements en cours.

*Chapitre III*  
*Etude climatique*

### III. Introduction

La climatologie est la science qui étudie les climats, c'est-à-dire les conditions météorologiques moyennes et leurs variations sur de longues périodes, généralement plusieurs décennies. Elle analyse les différents éléments qui composent le climat, tels que les précipitations, la température, l'humidité, la pression atmosphérique, le vent et les phénomènes atmosphériques. La climatologie vise à comprendre les interactions entre ces éléments, les causes des variations climatiques, et les impacts des changements climatiques sur les environnements naturels et les activités humaines.

Les climatologues utilisent des données historiques, des modèles informatiques, et des observations actuelles pour étudier les tendances climatiques et prévoir les évolutions futures. Cette discipline joue un rôle important dans la prévision des phénomènes météorologiques extrêmes, l'adaptation aux changements climatiques, la gestion des ressources naturelles, et la planification.

Il faut souligner aussi que les indices climatiques sont des mesures utilisées pour évaluer et quantifier différents aspects du climat, basés sur des données météorologiques telles que la température, les précipitations et l'humidité. Ils fournissent des informations importantes sur les conditions climatiques d'une région spécifique, permettant d'analyser les tendances, de repérer les extrêmes météorologiques et d'évaluer les impacts sur l'environnement.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier le climat de notre zone d'étude, située dans le Nord-ouest algérien. Notre étude se concentre sur une analyse approfondie des paramètres climatiques, en mettant particulièrement l'accent sur les précipitations et les températures, dans cette région spécifique de l'Algérie par l'utilisation d'un nombre important de stations météorologiques réparties sur la zone d'étude. Cette analyse couvrira une période significative allant de 1982 à 2023, permettant ainsi une caractérisation significative du climat de la région.

#### III.1. Choix des stations

Les stations ont été sélectionnées en veillant à une répartition géographique optimale dans notre zone d'étude (tableau III.1 & figure III.1).

Tableau III.1: Stations pluviométriques sélectionnées pour cette étude

Bassins versants	N°	NOM	Code	Latitude	Longitude	Z(m)
Côtiers Algérois	1	TENES	020205	36° 31.056'N	1° 19.038'E	4
	2	ACHAACHA	020102	36° 16.308'N	0° 35.934'E	122
Chelif	3	CHELIF	012215	36° 8.754'N	1° 13.560'E	84
	4	RELIZANE	013404	35° 36.222'N	0° 35.532'E	130
	5	TIARET	012908	35° 22.320'N	1° 18.504'E	1085
	6	Oued RHIOU	012807	35° 57.780'N	0° 54.978'E	84
Macta	7	GHRISS	111412	35° 14.400'N	0° 10.200'E	503
	8	SAIDA	111113	34° 50.664'N	0° 8.280'E	792
	9	SIDI ALI BENYOUB	110209	34° 55.122'N	0° 43.260'O	725
	10	SIDI BEL ABBES	110305	35° 11.148'N	0° 39.096'O	483
Côtiers Oranais	11	MOSTAGANEM	040603	35° 52.800'N	0° 7.200'E	208
	12	ARZEW	040507	35° 52.320'N	0° 17.778'O	29
	13	SENIA	040402	35° 38.712'N	0° 36.420'O	89

	14	BENI SAF	040214	35° 17.910'N	1° 26.028'O	124	
	15	GHAZAOUET	040107	35° 6.000'N	1° 51.600'O	4	
	16	ORAN PORT	040503	35° 42.408'N	0° 38.760'O	55	
	17	AIN TEMOUCHENT	040208	35° 17.826'N	1° 9.588'O	228	
	18	NEDROMA	040109	35° 0.648'N	1° 44.886'O	380	
	19	MARSA BEN M'HIDI	040104	35° 4.968'N	2° 11.832'O	8	
	Tafna	20	BOUKIOU	160518	35° 3.750'N	0° 60.000'O	210
		21	MEFROUCH	160701	34° 50.862'N	0° 60.000'O	1110
		22	TLEMCEN	160724	34° 52.434'N	0° 60.000'O	810
23		BENI BAHDEL	160403	34° 42.552'N	1° 29.802'O	657	
24		CHOULY	160601	34° 52.002'N	1° 7.098'O	700	
25		SIDI MEDJAHED	160407	34° 46.548'N	1° 38.484'O	360	
26		SABRA	160502	34° 49.800'N	1° 32.052'O	600	
27		LALLA MAGHNA	160311	34° 51.198'N	1° 43.902'O	395	
28		BENI OUASSINE	160303	34° 50.334'N	1° 46.002'O	410	
29		PIERRE DU CHAT	160801	35° 8.682'N	1° 26.766'O	60	
30		BENSEKRANE	160702	35° 4.464'N	1° 13.434'O	247	
31		REMCHI	160505	35° 3.564'N	1° 25.548'O	284	
32		HAMMAM BOUGHRARA	160501	34° 53.466'N	1° 38.334'O	225	
33		HENNAYA	160516	34° 55.332'N	1° 23.286'O	515	
34		OULED MIMOUN	160607	34° 54.186'N	1° 2.352'O	705	
35		KHEMIS	160406	34° 38.064'N	1° 33.768'O	870	
36		SEBDOU	160401	34° 38.736'N	1° 19.518'O	875	
37		LALLA SETTI	160705	34° 51.966'N	1° 19.482'O	1007	

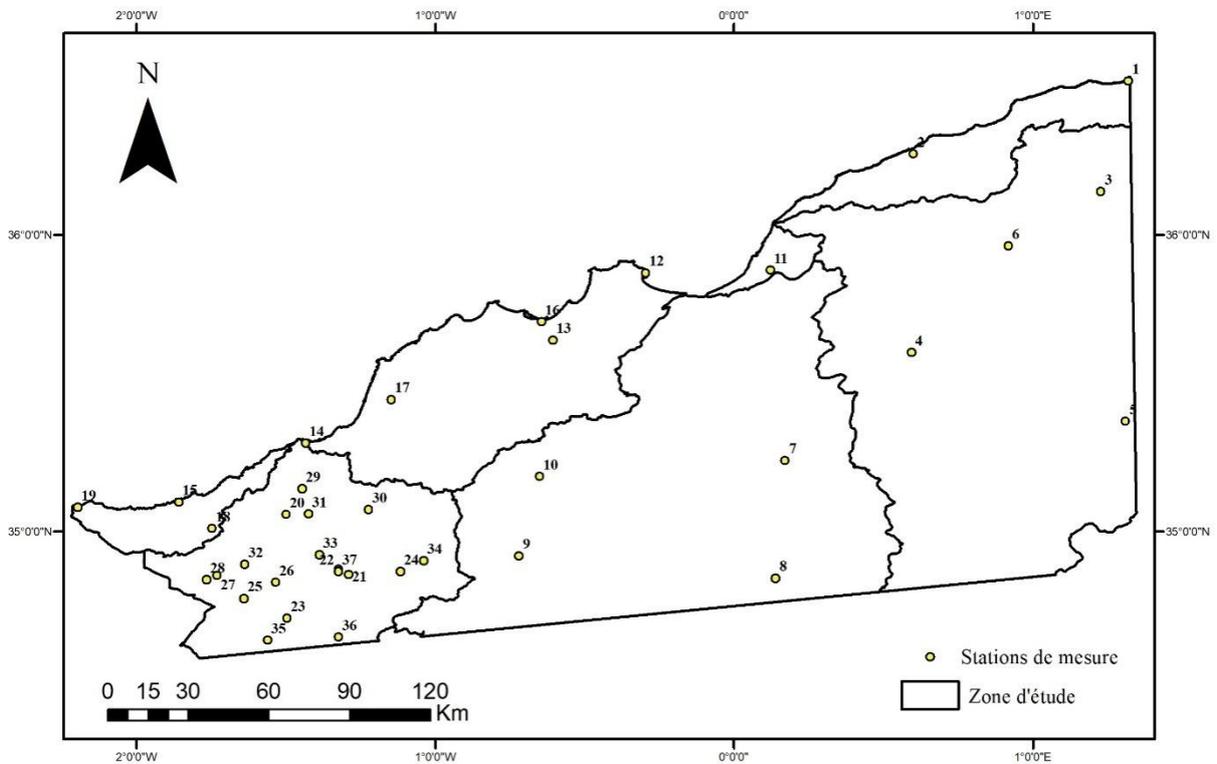


Figure III.1: Répartition des stations pluviométriques sélectionnées pour l'étude.

### III.2. Etude des précipitations

Le Nord algérien connaît une variabilité pluviométrique spatio-temporelle très irrégulière d'une année à l'autre confirmé par les études antérieures (Seltzer, 1946, Chaumont et Paquin, 1971, Bouanani et al, 2003, Meddi et al. 2009), etc.

Ses études ont permis de mieux comprendre la répartition des pluies et les paramètres climatiques et ont souligné les caractères spécifiques du climat de l'Algérie tels que :

- La hauteur de pluie qui diminue du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest.
- Les pluies qui sont plus abondantes sur le littoral et dans les régions montagneuses du Nord.
- Le climat qui accuse de grandes variations de température entre le jour et la nuit, une extrême sécheresse et parfois des pluies torrentielles.

Dans notre cas, nous allons nous focaliser sur l'étude de cette variabilité climatique du Nord-ouest algérien.

Les données utilisées sont téléchargées via le site TerraClimate qui est une base de données fournissant des informations détaillées sur le climat mensuel ainsi que sur le bilan hydrique climatique. Ces données sont caractérisées par une résolution spatiale de  $1/24^\circ$  (soit environ 4 km), et elles couvrent les surfaces terrestres à l'échelle mondiale (Abatzoglou et al, 2018).

#### III.2.1. Précipitations moyennes annuelles

Les précipitations moyennes annuelles enregistrées au niveau des différentes stations choisies durant la période 1982 à 2023, sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Précipitations moyennes annuelles des stations pluviométriques sélectionnées

N°	NOM	Pm (mm)	N°	NOM	Pm (mm)
1	TENES	456,9	20	BOUKIOU	355,7
2	ACHAACHA	433,5	21	MEFROUCH	509,2
3	CHELIF	372,9	22	TLEMCEN	414,9
4	RELIZANE	360,3	23	BENI BAHDEL	504,9
5	TIARET	456,6	24	CHOULY	440,3
6	OUED RHIOU	392,3	25	SIDI MEDJAHED	334,5
7	GHRISS	426,0	26	SABRA	398,6
8	SAIDA	334,9	27	LALLA MAGHNA	333,8
9	SIDI ALI BENYOUB	379,9	28	BENI OUASSINE	330,8
10	SIDI BEL ABBES	387,8	29	PIERRE DU CHAT	356,3
11	MOSTAGANEM	337,7	30	BENSEKRANE	370,6
12	ARZEW	326,5	31	REMCHI	354,1
13	SENIA	352,0	32	HAMMAM BOUGHRARA	340,9
14	BENI SAF	328,8	33	HENNAYA	372,9
15	GHAZAOUET	351,3	34	OULED MIMOUN	408,1
16	ORAN PORT	340,6	35	KHEMIS	432,4
17	AIN TEMOUCHENT	357,3	36	SEBDOU	437,2
18	NEDROMA	365,0	37	LALLA SETTI	514,7
19	MARSA BEN M'HIDI	315,0			

La figure III.2, représente la variation des précipitations annuelles de différentes stations durant une période de 41 ans en allant de 1982 à 2023. Les lignes horizontales (en orange) indiquent les précipitations moyennes annuelles, les années avec des précipitations annuelles au-dessus de la moyenne indiquent une période humide, tandis que celles avec des précipitations au-dessous de la moyenne indiquent une période sèche.

L'analyse des observations climatiques sur les années les plus sèches et les plus humides enregistrées dans différentes stations météorologiques de la région nord-ouest de l'Algérie, met en évidence :

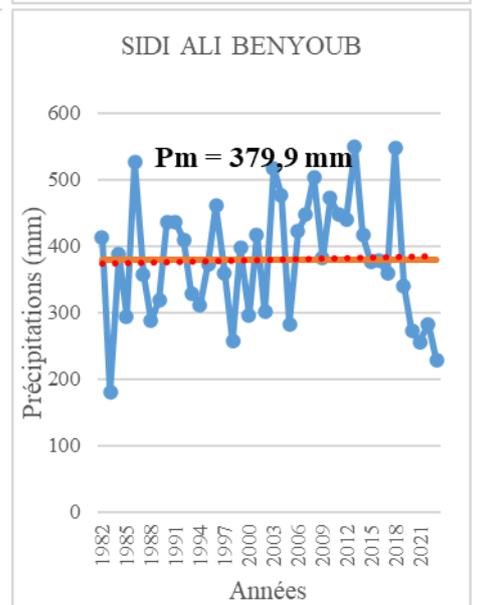
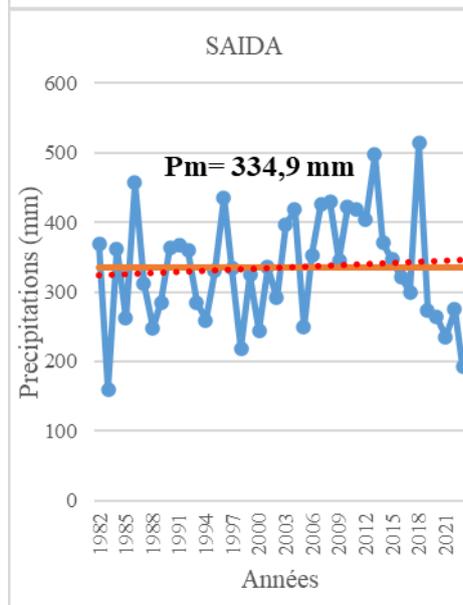
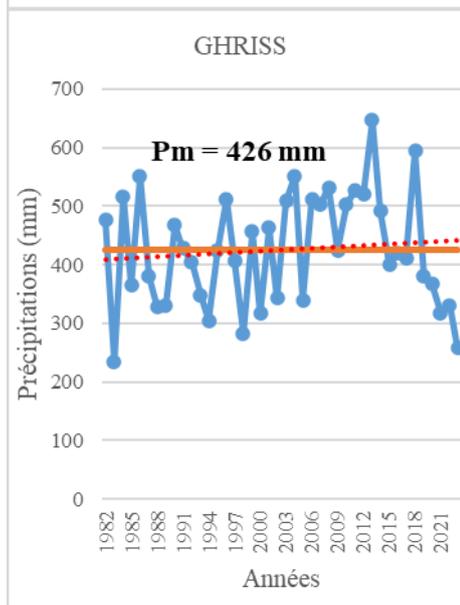
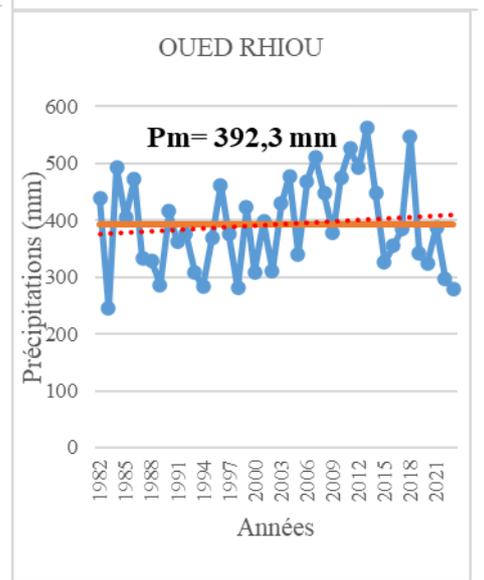
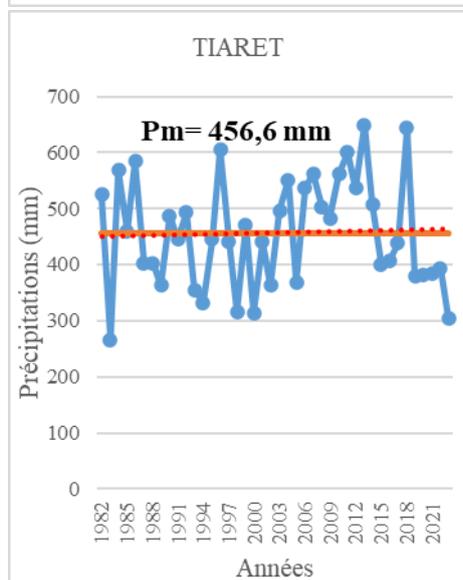
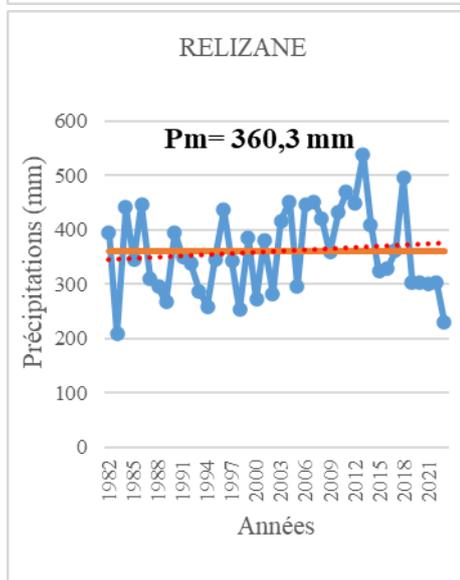
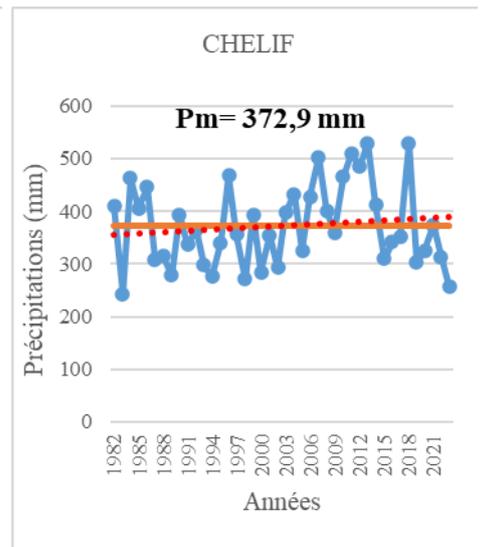
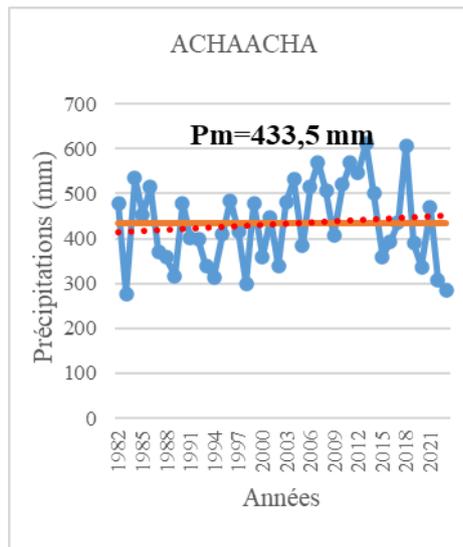
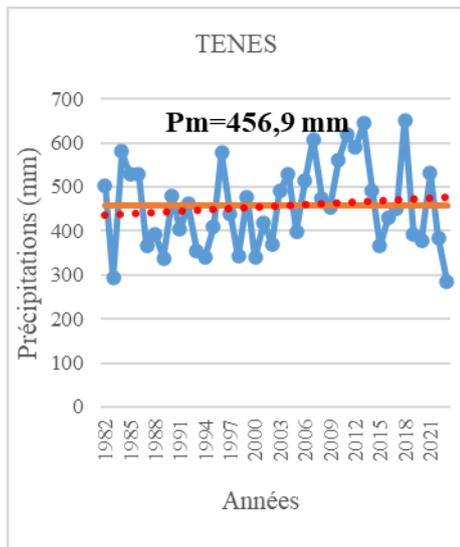
❖ **Années sèches :**

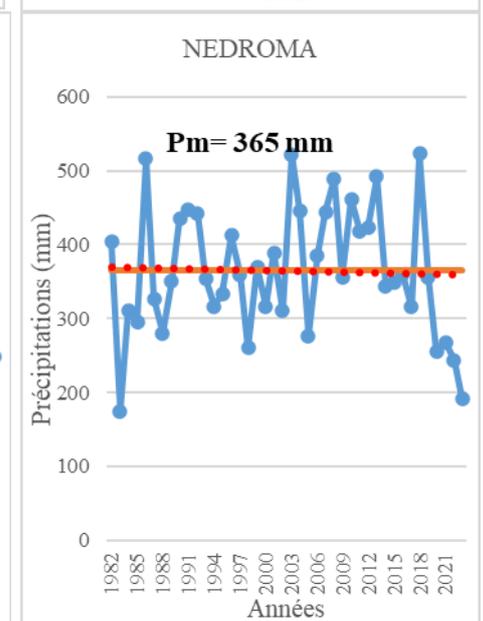
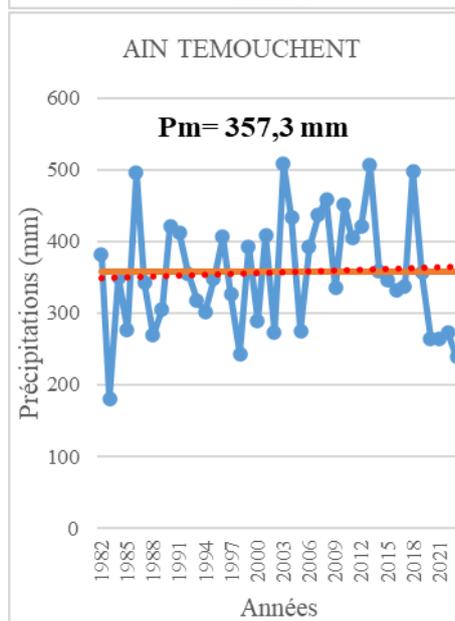
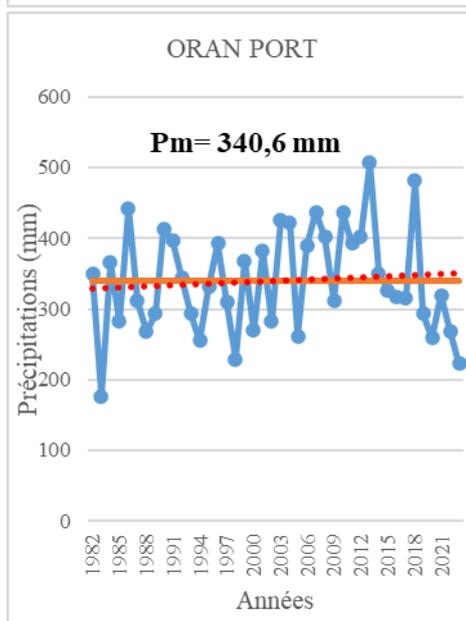
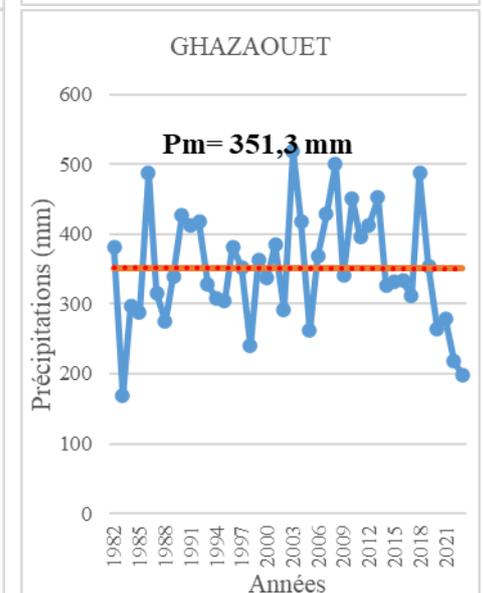
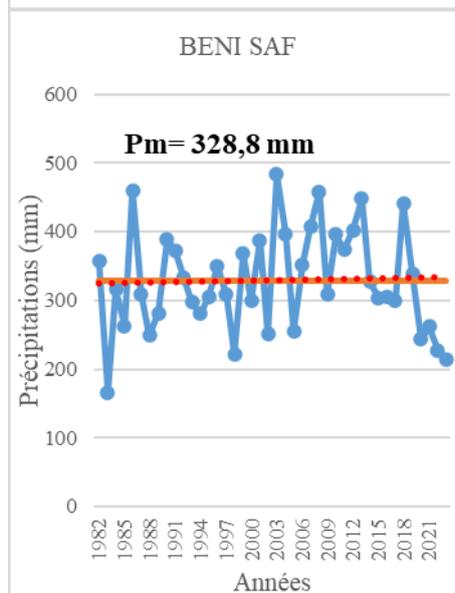
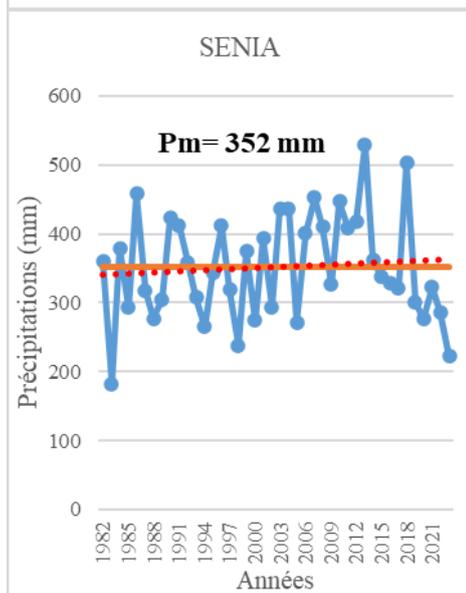
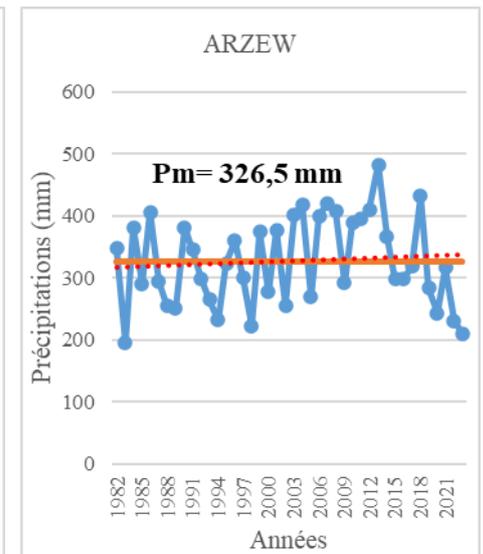
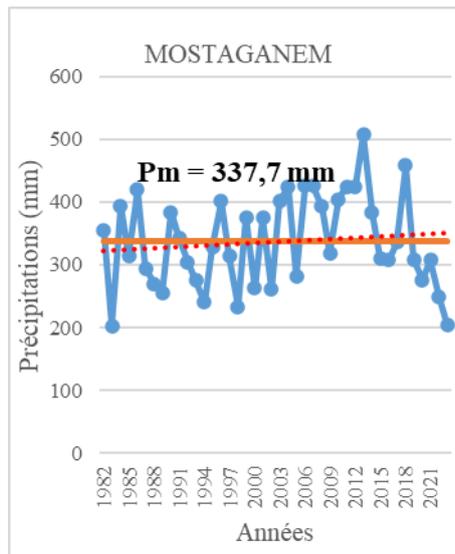
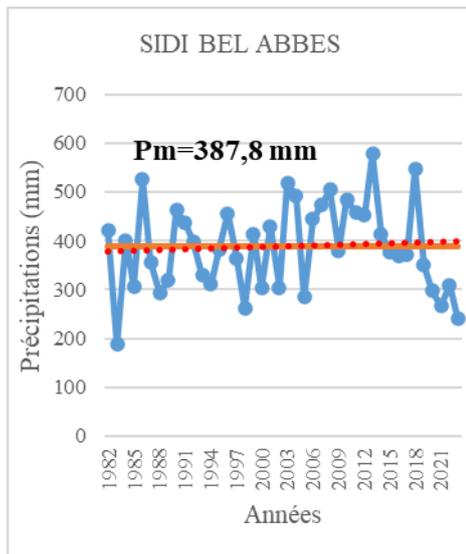
L'année 1983 est mentionnée comme l'année la plus sèche pour toutes les stations météorologiques, exception faite pour Tenes où 2023 est notée comme l'année la plus sèche.

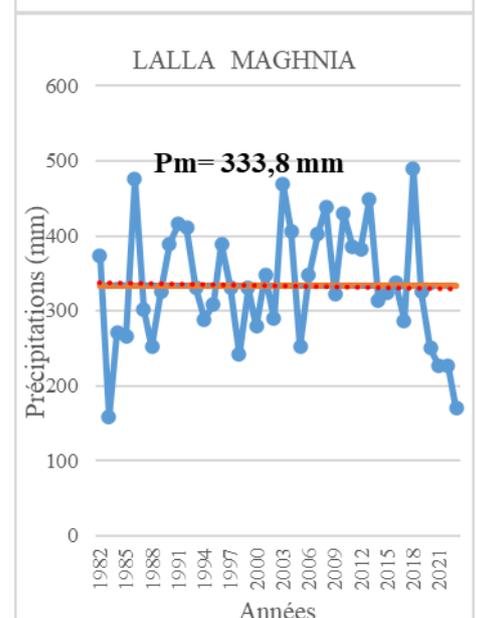
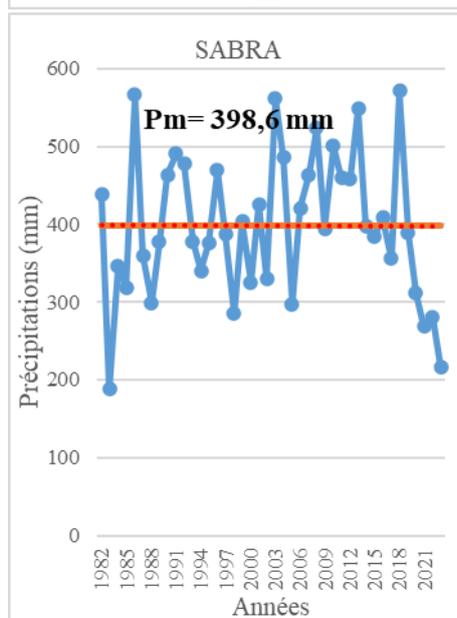
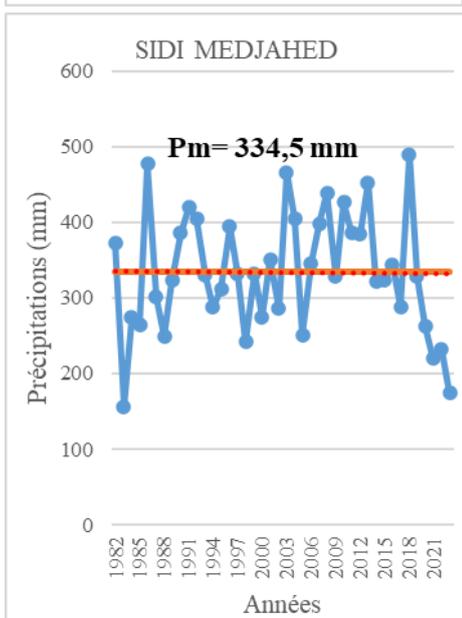
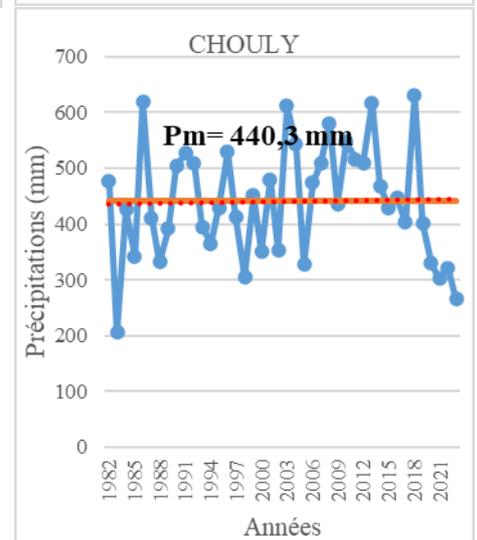
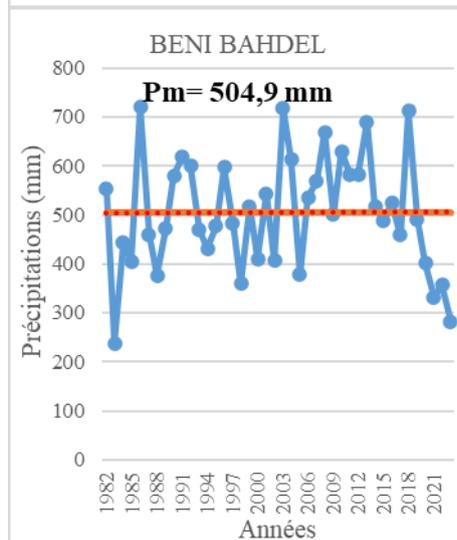
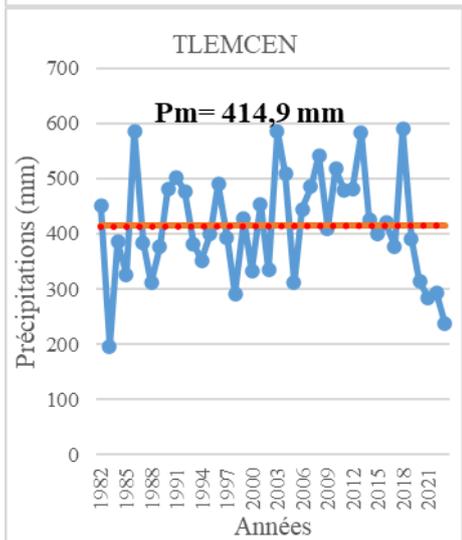
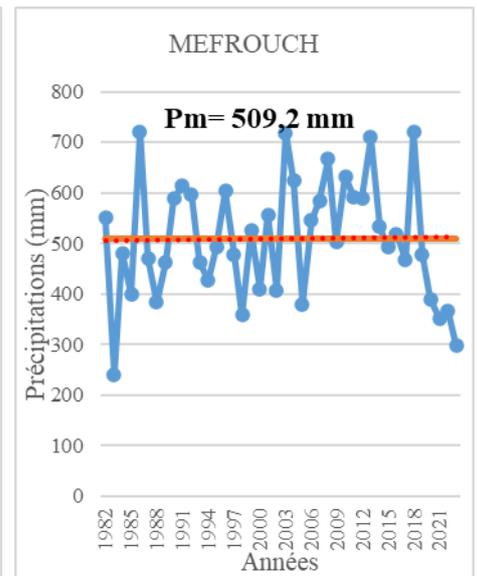
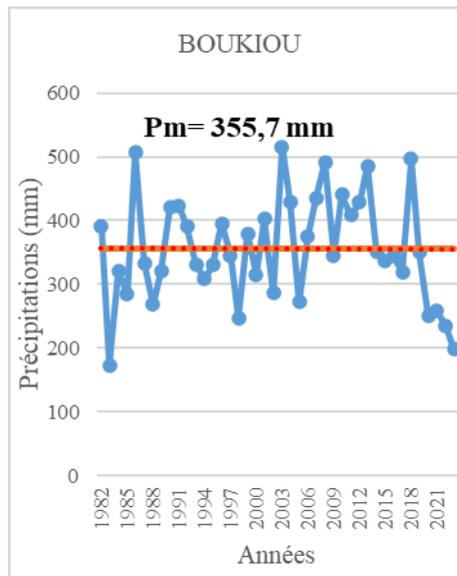
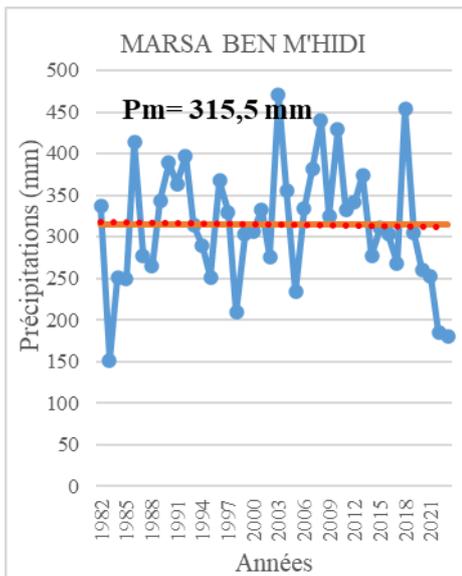
❖ **Années humides :**

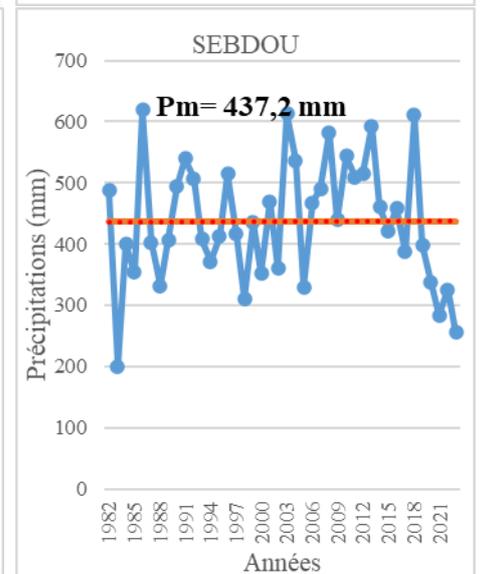
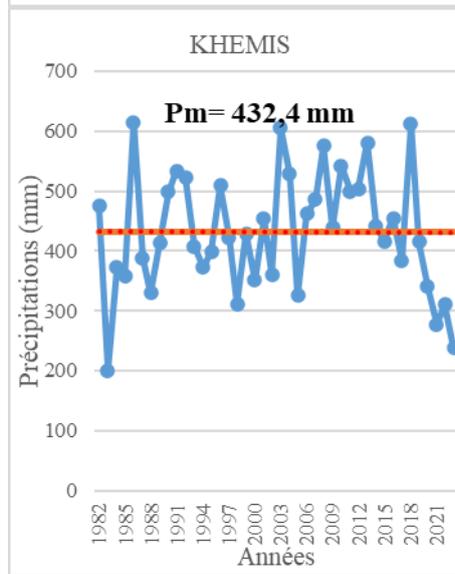
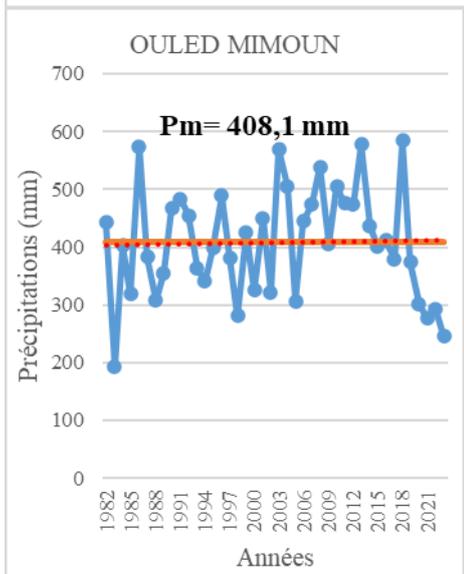
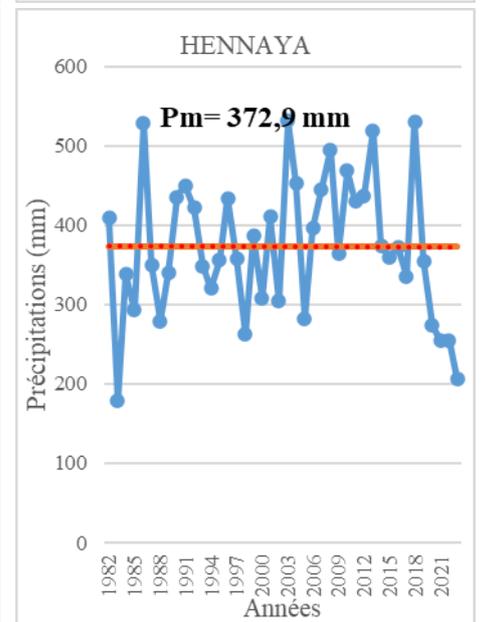
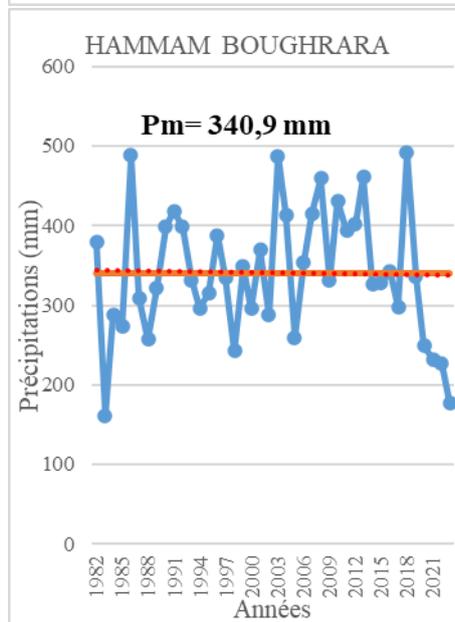
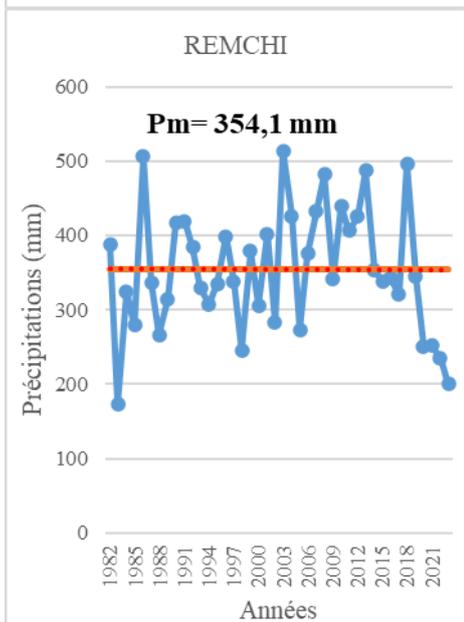
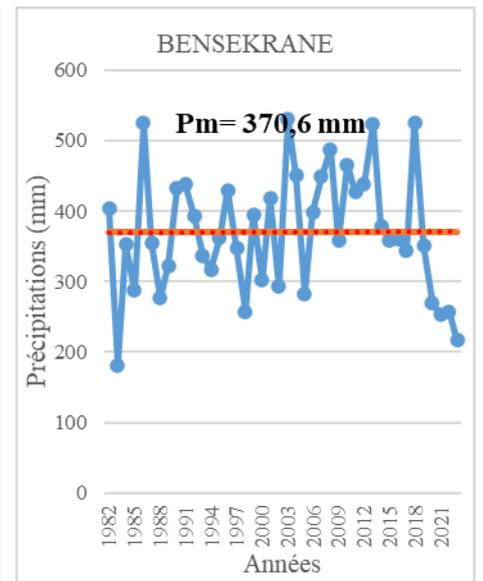
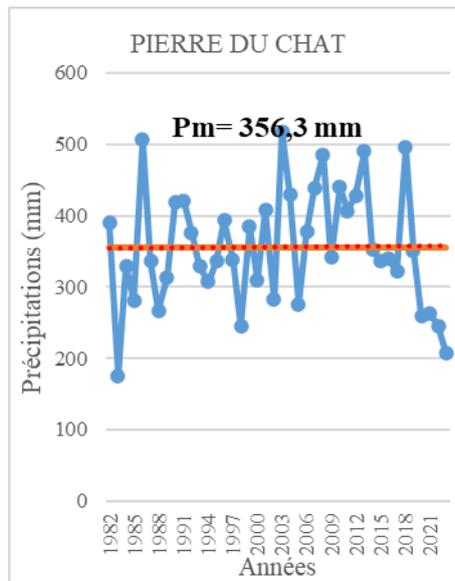
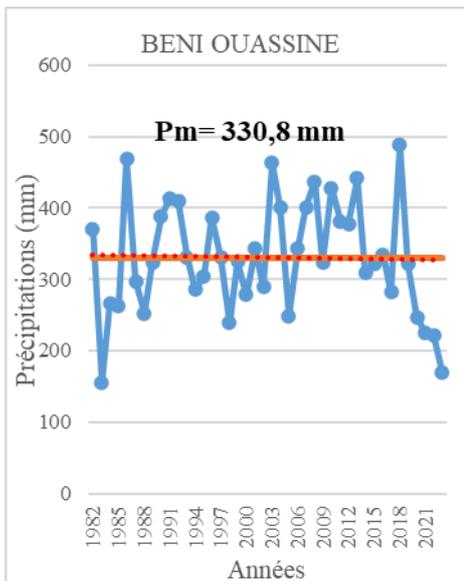
- 2018 a été une année particulièrement humide, avec 13 stations (dont Tenes, Saida, Chelif, Nedroma, Mefrouch, Tlemcen, Chouly, Sidi Medjahed, Sabra, Lalla Maghnia, Beni Ouassine, Hammam Boughrara et Ouled Mimoun) enregistrant des conditions de forte humidité.
- 2013 est aussi marquée par des conditions humides, avec 11 stations (telles que Achaacha, Relizane, Ghriss, Tiaret, Oued Rhiou, Sidi Ali Benyoub, Sidi Bel Abbes, Mostaganem, Arzew, Senia et Oran Port) enregistrant une humidité élevée.
- 2003 est identifiée comme une année humide pour 9 stations (y compris Beni Saf, Boukiou, Hennaya, Ghazaouet, Ain Temouchent, Marsa Ben M'Hidi, Pierre Du Chat, Bensekrane et Remchi).
- 1986 a été une année notablement humide pour les stations de Beni Bahdel, Khemis, Sebdu, et Lalla Setti.

Les données montrent une variabilité significative des conditions climatiques d'année en année dans la région, avec certaines années étant exceptionnellement sèches et d'autres exceptionnellement humides. La station de Tenes en 2023 étant une exception pour l'année la plus sèche suggère une particularité locale ou un événement climatique spécifique affectant uniquement cette station. La répartition des années humides sur plusieurs années (2018, 2013, 2003, 1986) et sur différentes stations montre que les conditions de forte humidité peuvent se produire irrégulièrement et ne sont pas limitées à une seule période.









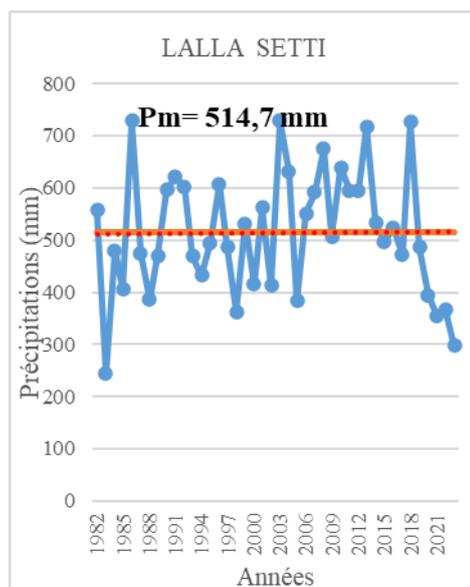


Figure III.2: Variations spatio-temporelles annuelles des précipitations des stations sélectionnées (1982- 2023)

### III.2.2. Précipitations moyennes mensuelles

La variation des précipitations moyennes mensuelles enregistrées au niveau des différentes stations durant la période 1982 à 2023, sont représentées dans le tableau III.3 :

Tableau III.3: Variations des précipitations moyennes mensuelles (1982 – 2023)

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
TENES	63,5	42,6	49,7	46,8	35,1	5,6	1,8	2,4	21,3	43,4	80,8	63,8
ACHAACHA	60,7	35,1	36,8	30,3	30,6	6,4	1,8	2,5	22,2	43,0	95,1	69,0
CHELIF	46,7	40,3	37,1	36,2	28,5	6,4	1,9	2,4	18,5	36,0	66,2	52,6
RELIZANE	54,5	37,9	33,2	32,9	29,7	5,6	0,9	1,7	14,8	29,2	63,6	56,3
TIARET	66,7	49,2	49,2	42,0	39,4	14,4	2,9	6,2	19,4	34,5	71,1	61,7
OUED RHIOU	52,3	38,2	35,5	30,9	32,6	7,3	0,9	2,5	19,4	34,5	79,1	59,1
GHRISS	60,8	44,1	37,4	34,8	33,1	10,1	0,9	5,3	20,0	31,0	77,8	70,4
SAIDA	43,1	34,9	36,4	34,3	26,7	10,2	4,8	8,2	21,2	34,5	46,1	34,5
SIDI ALI BENYOUB	57,7	43,9	35,4	31,8	29,8	11,8	2,5	4,5	21,0	33,7	55,0	52,8
SIDI BEL ABBES	63,4	42,7	35,5	36,9	29,8	8,3	1,6	3,5	16,7	36,6	54,3	58,4
MOSTAGANEM	52,1	37,6	30,5	29,6	23,0	4,7	0,8	1,6	14,5	27,1	62,2	54,0
ARZEW	49,1	31,6	28,1	23,6	21,9	4,5	0,8	2,5	15,2	29,7	66,4	53,2
SENIA	50,9	41,4	41,2	37,2	27,1	4,5	1,6	2,5	17,6	27,8	56,8	43,6
BENI SAF	49,9	39,3	25,6	25,2	20,4	5,3	0,0	0,9	17,1	33,0	61,9	50,3
GHAZAOUET	53,7	34,5	33,3	31,8	24,4	5,7	1,2	2,3	20,2	38,2	55,7	50,2
ORAN PORT	50,8	38,8	38,8	34,1	25,3	4,4	1,6	2,5	16,5	27,8	56,7	43,3
AIN TEMOUCHENT	58,5	48,1	31,6	31,6	22,8	6,3	0,7	2,5	14,7	32,8	57,2	50,3
NEDROMA	50,7	42,6	40,5	38,7	27,8	6,5	1,4	2,6	21,1	32,1	53,3	47,6
MARSA BEN M'HIDI	46,7	34,5	28,4	35,9	24,9	4,9	0,3	1,4	23,5	33,3	38,3	43,0
BOUKIOU	52,1	41,6	33,9	31,3	23,7	6,0	1,4	2,6	20,0	34,1	59,8	49,2
MEFROUCH	76,7	61,1	57,0	42,4	40,7	13,9	3,1	4,6	26,5	39,7	77,0	66,6
TLEMCEN	61,3	51,5	45,5	38,1	32,2	9,6	2,3	3,6	22,0	32,9	61,3	54,6
BENI BAHDEL	75,6	60,1	58,8	42,9	39,3	12,3	3,1	4,8	26,5	38,8	75,9	66,7

<b>CHOULY</b>	64,5	52,3	47,2	36,3	35,8	13,5	3,2	4,6	24,4	36,2	65,1	57,2
<b>SIDI MEDJAHED</b>	44,3	40,3	41,0	36,1	25,0	6,8	2,2	3,7	20,1	26,8	47,4	39,8
<b>SABRA</b>	57,1	47,5	46,6	38,8	31,5	8,8	2,3	3,7	22,0	31,0	58,2	51,1
<b>LALLA MAGHNA</b>	43,6	40,8	39,5	38,1	25,5	6,6	2,1	3,7	18,7	28,1	46,5	40,5
<b>BENI OUASSINE</b>	42,6	40,0	38,8	38,8	25,5	6,6	2,1	3,6	19,8	28,2	45,4	39,5
<b>PIERRE DU CHAT</b>	52,5	44,3	32,4	30,8	22,8	6,0	0,7	2,6	19,1	34,4	60,3	50,5
<b>BENSEKRANE</b>	56,4	48,7	35,5	33,5	25,3	7,6	1,5	3,5	17,7	33,2	57,5	50,3
<b>REMCHI</b>	52,1	44,2	33,2	31,4	22,9	6,7	1,4	2,6	18,9	33,1	59,0	48,6
<b>HAMMAM BOUGHRARA</b>	46,7	41,1	37,5	35,3	24,7	6,0	1,4	2,7	18,8	31,0	52,3	43,4
<b>HENNAYA</b>	54,0	46,5	39,4	35,4	27,1	7,5	2,2	3,6	19,8	31,9	56,6	48,8
<b>OULED MIMOUN</b>	61,5	49,4	41,8	33,3	32,4	11,4	2,4	3,7	22,2	34,3	60,9	54,8
<b>KHEMIS</b>	62,4	48,3	51,4	39,2	35,5	10,9	3,1	4,9	25,9	32,3	63,6	55,1
<b>SEBDOU</b>	61,4	51,5	48,9	36,0	36,7	12,0	3,3	5,9	26,0	34,3	66,5	54,8
<b>LALLA SETTI</b>	77,6	61,7	57,6	43,9	40,7	13,2	3,1	4,6	26,5	39,7	77,9	68,2

La figure III.3, montre des histogrammes qui représentent la variation des précipitations moyennes mensuelles des stations sélectionnées, où nous pouvons remarquer que :

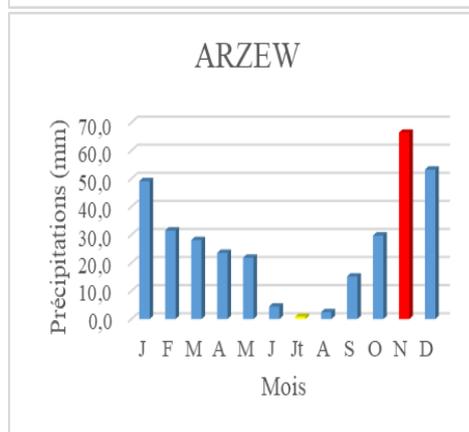
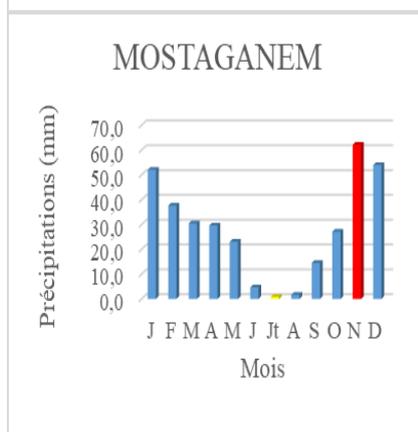
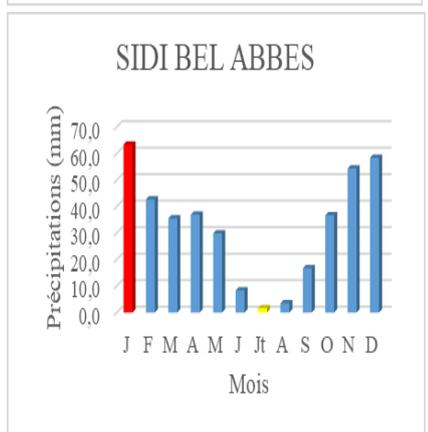
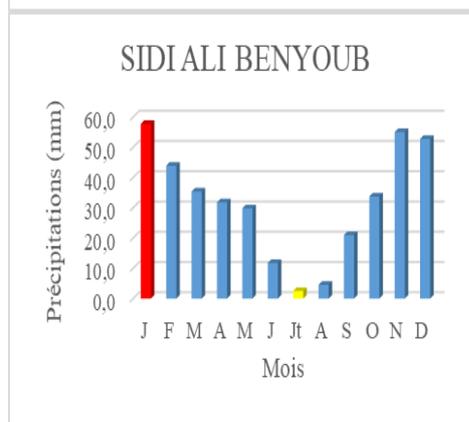
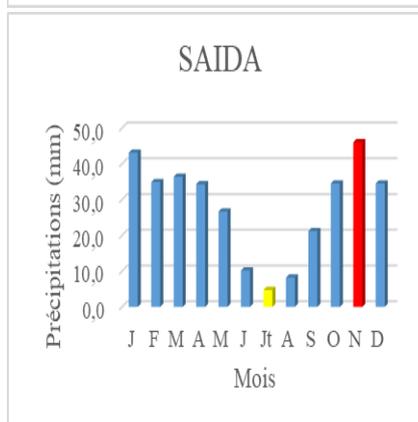
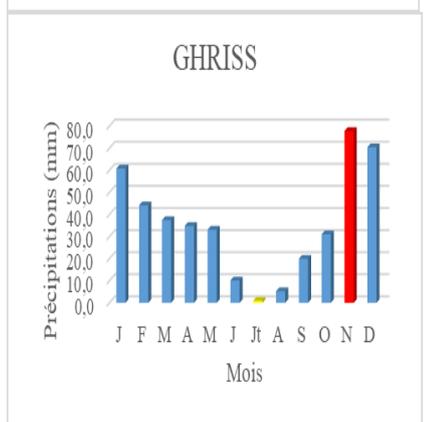
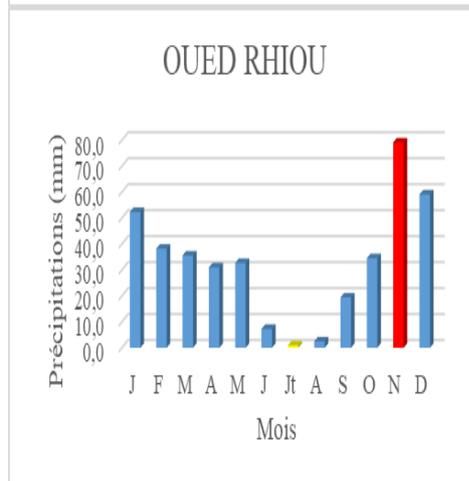
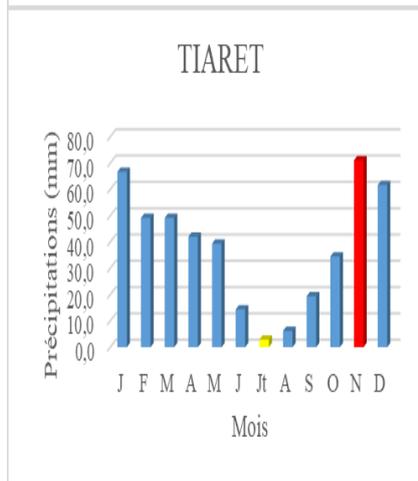
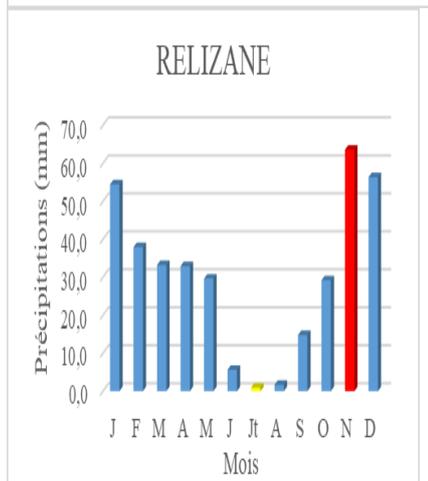
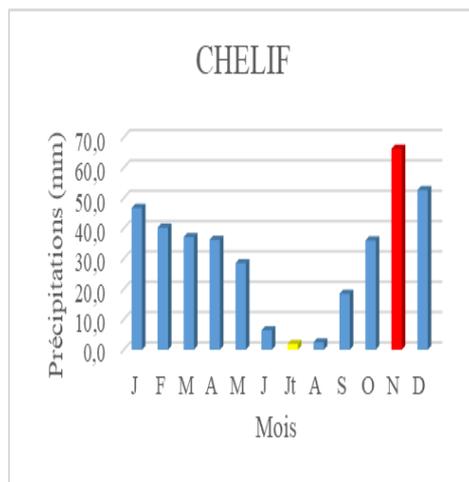
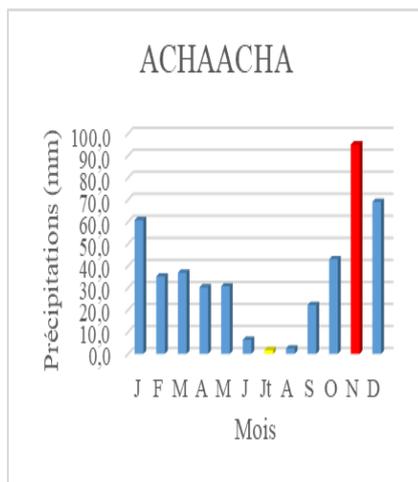
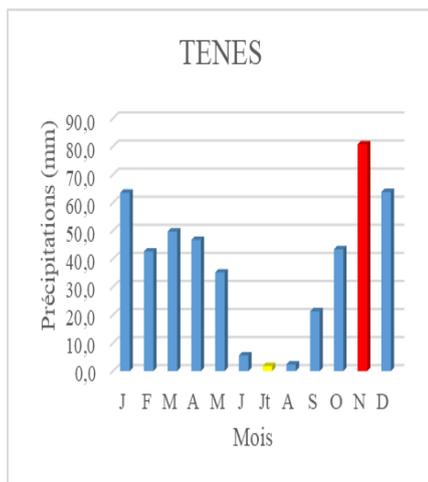
Pour la plupart des stations, le mois le plus pluvieux est Novembre, à l'exception des stations suivantes : Sidi Ali Benyoub, Sidi Bel Abbes, Ain Temouchent, Marsa Ben M'hidi, Tlemcen et Ouled Mimoun, où Janvier est le mois le plus pluvieux.

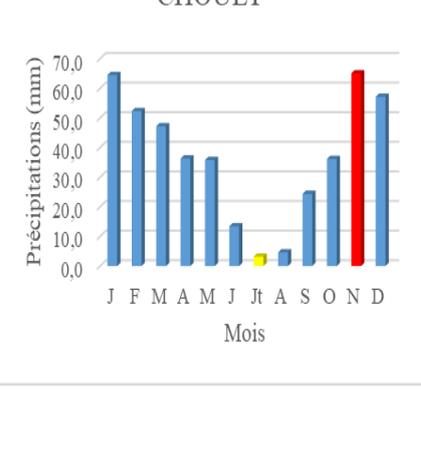
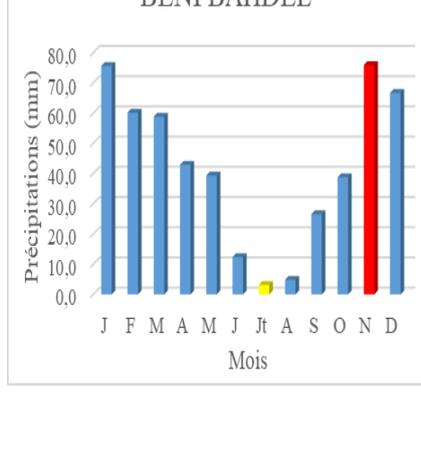
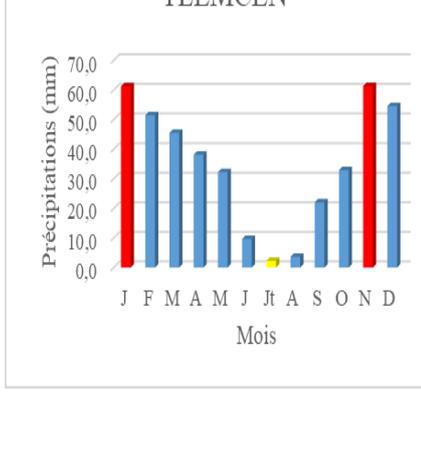
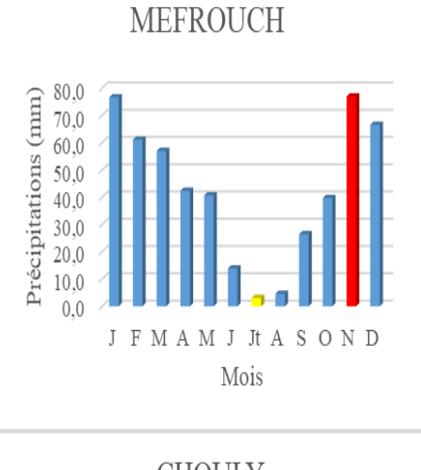
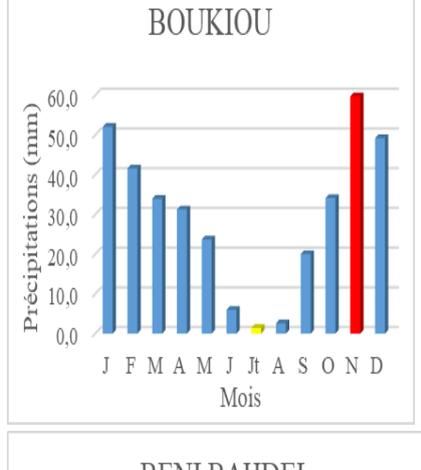
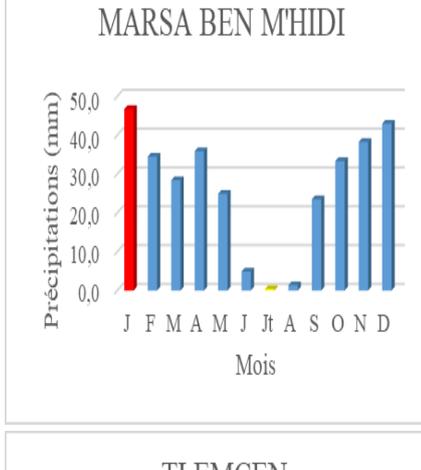
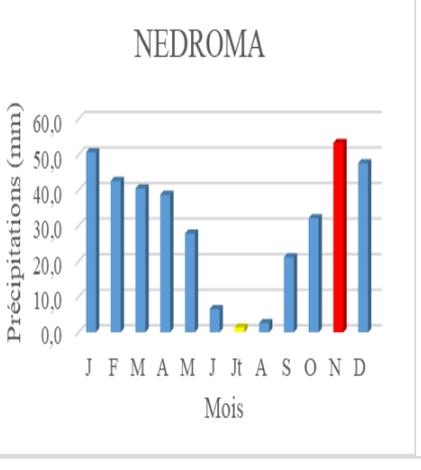
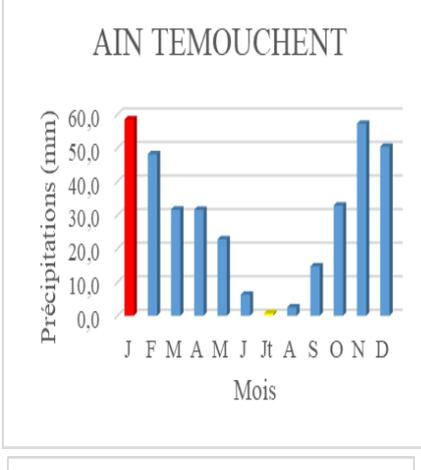
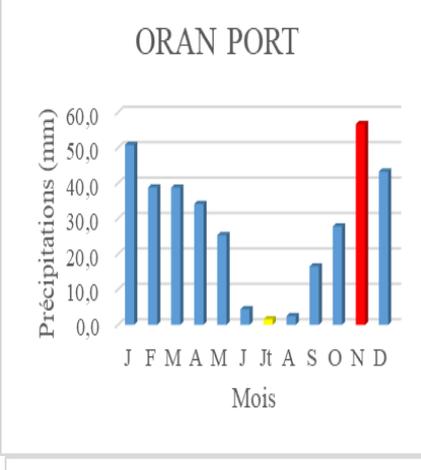
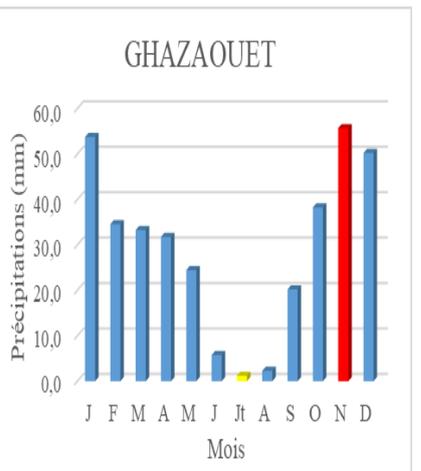
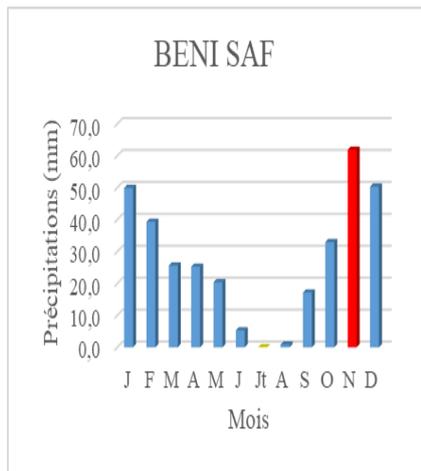
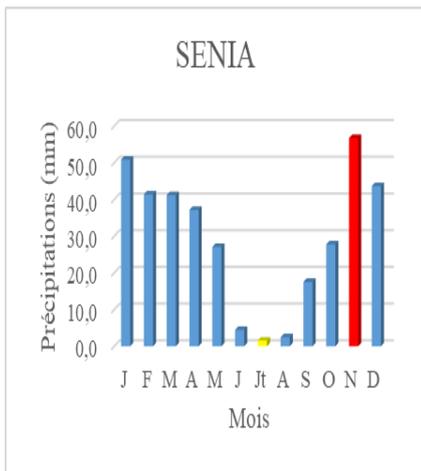
Juillet est le mois le plus sec pour toutes les stations reflétant les conditions arides typiques de l'été dans la région.

La période généralement pluvieuse s'étend de Novembre à Mai, où durant ces mois, la région reçoit la majeure partie de ses précipitations annuelles. Cela inclut l'automne, l'hiver et le début du printemps, périodes où les systèmes météorologiques favorisent davantage les précipitations.

Tandis que la période sèche va de Juin à Août. Ces mois d'été sont caractérisés par des précipitations minimales où les conditions climatiques sont dominées par des températures élevées et un air sec, typiques du climat méditerranéen semi-aride de la région.

La répartition des précipitations avec des hivers humides et des étés secs est typique des climats méditerranéens. Ce type de climat est caractérisé par des pluies concentrées en automne et en hiver, avec des étés chauds et secs. Les exceptions observées dans certaines stations (où janvier est le mois le plus pluvieux) montrent des variations locales dues à des facteurs topographiques, l'altitude ou des particularités géographiques qui peuvent influencer les régimes de précipitations.





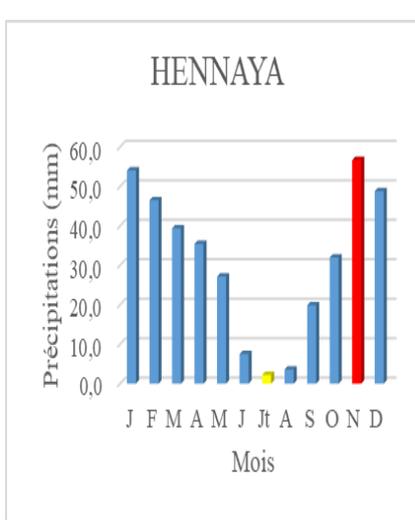
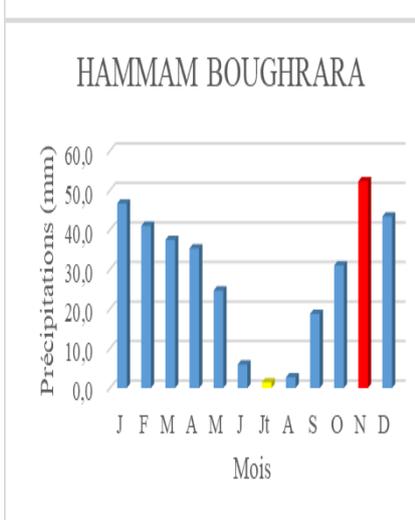
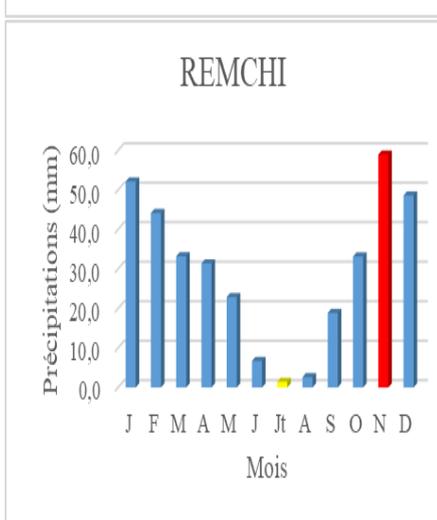
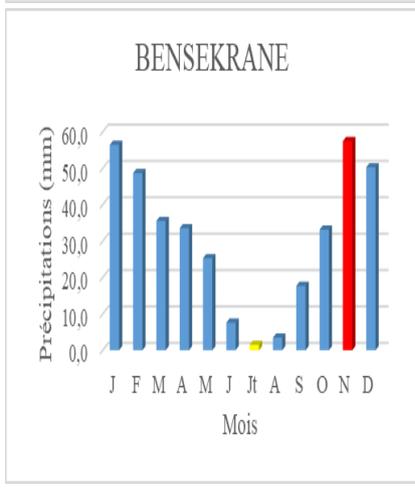
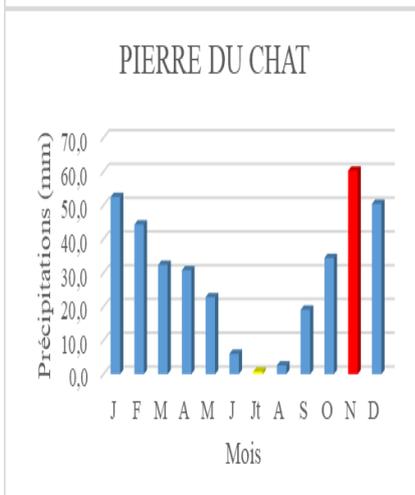
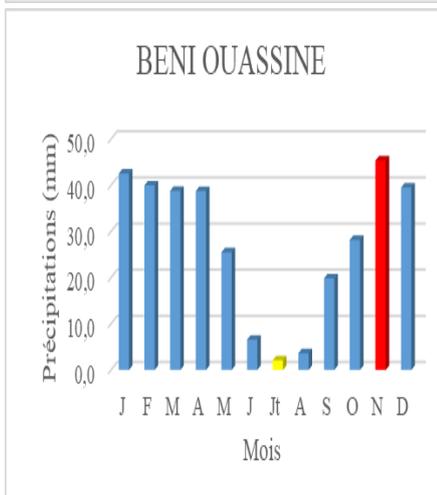
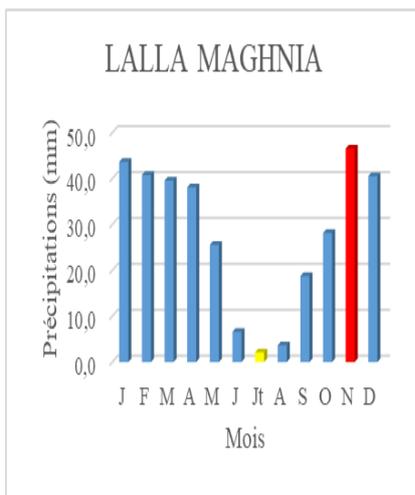
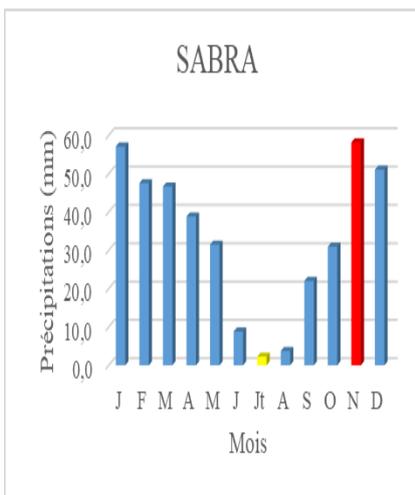
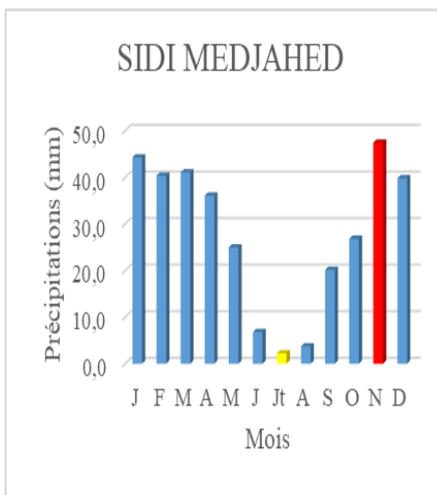




Figure III.3: Variation des précipitations moyennes mensuelles (1982 – 2023)

### III.2.3. Visualisation de la variation des précipitations moyennes annuelles par la Boîte à Moustaches (boxplot)

Une boîte à moustache est un graphique utilisé pour représenter la distribution des données et pour visualiser la variation de celles-ci. Dans notre cas, la figure III.4 montre les précipitations annuelles pour les différentes stations que nous avons classées par ordre croissant des altitudes. Nous y observons :

- Stations à basses altitudes : Les stations situées à des altitudes plus basses enregistrent des précipitations moyennes inférieures à 400 mm. Cela signifie que les zones plus proches du niveau de la mer ou situées dans les plaines reçoivent moins de pluie en moyenne.
- Stations à hautes altitudes : Les stations situées à des altitudes plus élevées enregistrent des précipitations moyennes supérieures à 400 mm. Les régions montagneuses ou en hauteur tendent à recevoir plus de précipitations. Cela peut être dû à l'effet orographique, où l'air ascendant sur les montagnes se refroidit et libère son humidité sous forme de pluie ou de neige.

L'observation de la tendance sur la période 1982 à 2023 suggère des changements dans les précipitations au fil du temps. Cela peut inclure des variations annuelles dues à des phénomènes climatiques naturels (comme El Niño ou La Niña) (Nouaceur et al., 2013, Timi et al. 2023), ainsi que des tendances à long terme potentiellement influencées par le changement climatique.

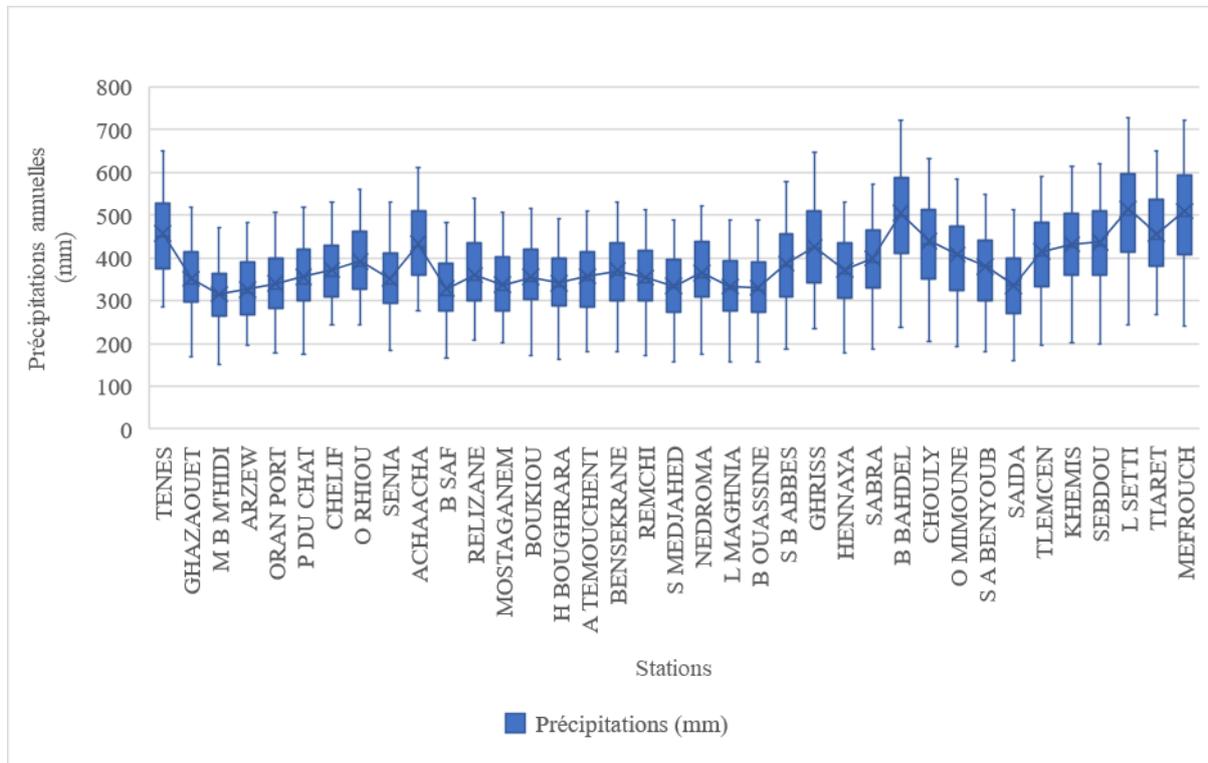


Figure III.4: Boîte à Moustaches des précipitations annuelles durant la période 1982 – 2023

#### III.2.4. Test de rupture (Test de Pettitt)

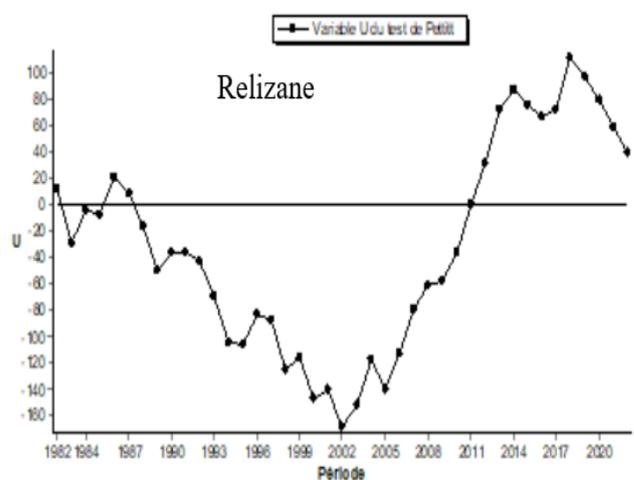
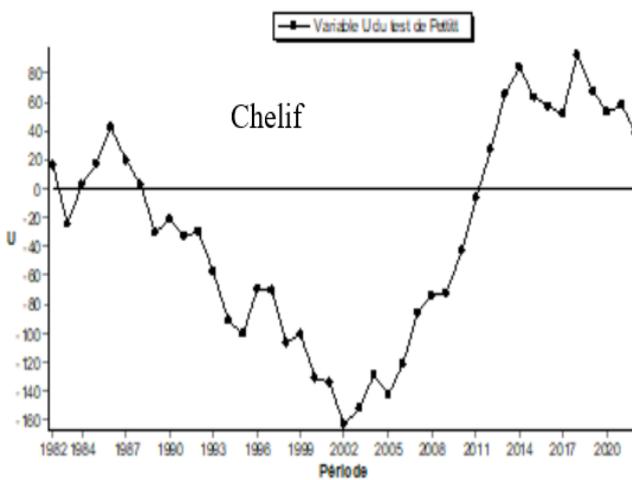
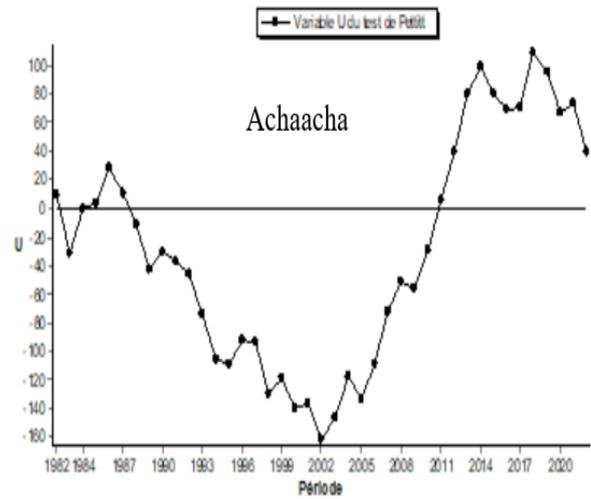
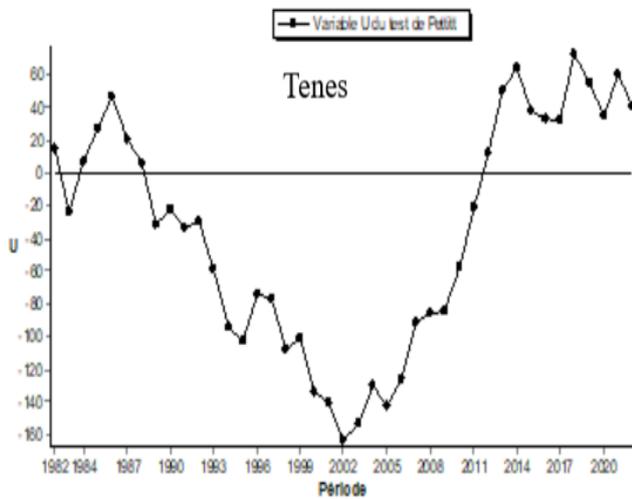
Le test de Pettitt est souvent utilisé pour détecter un changement abrupt dans une série chronologique. C'est un test non paramétrique, qui ne requiert aucune hypothèse sur la distribution des données. Il dérive du test de Mann-Whitney, se basant sur les rangs, et est utilisé pour détecter le moment où un changement survient [14]. Nous avons utilisé le logiciel Khronostat 1.01.

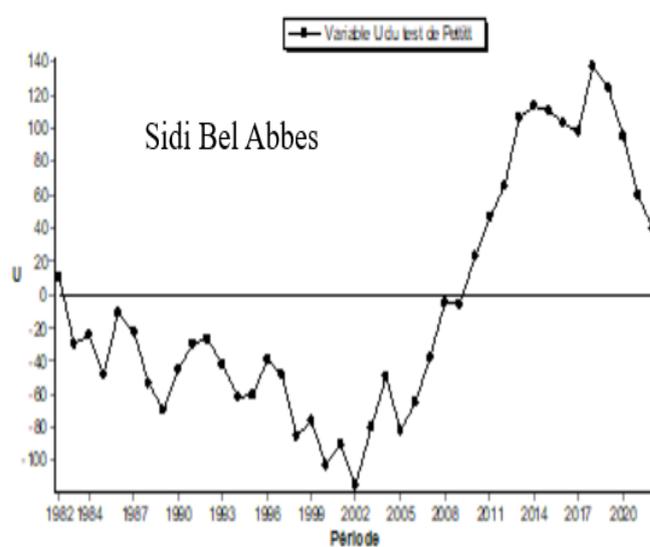
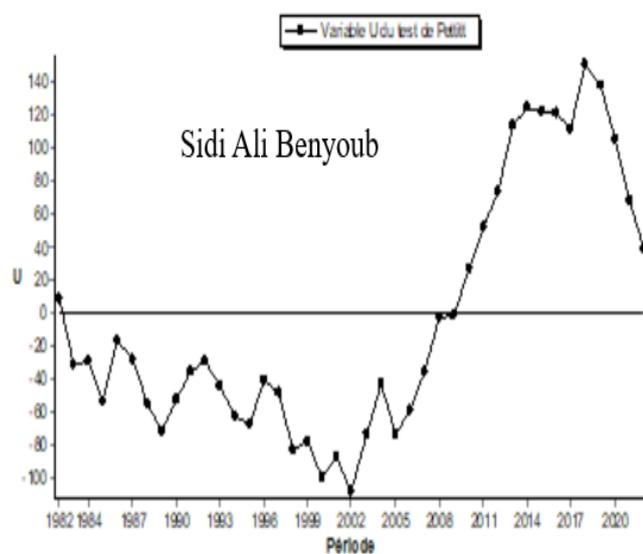
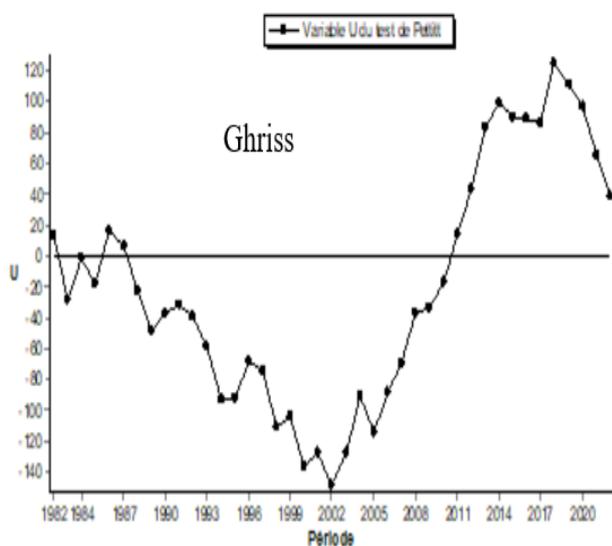
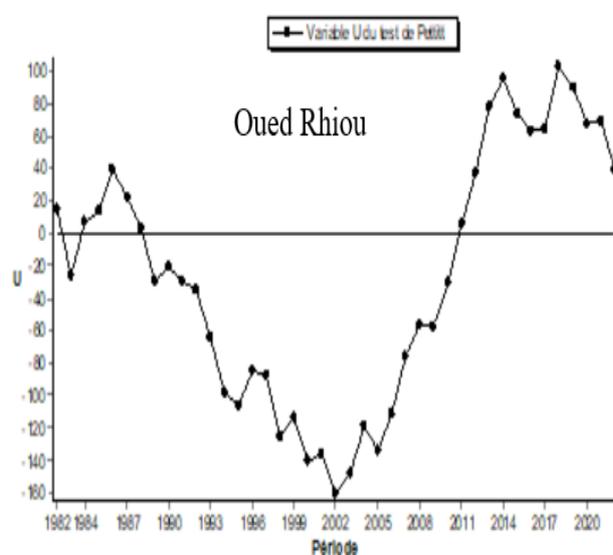
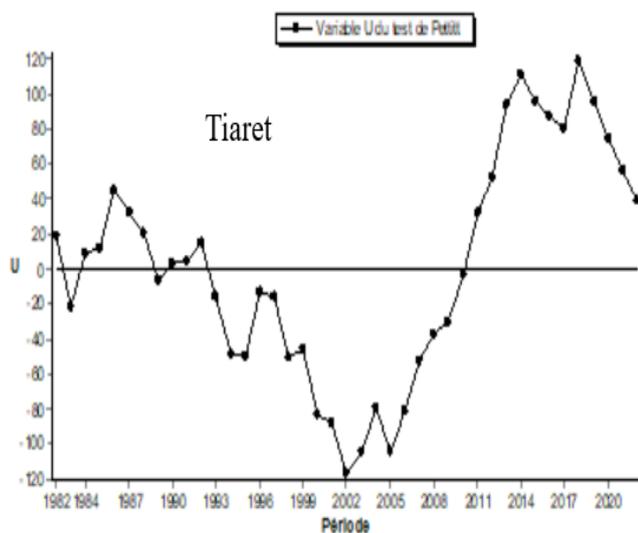
Le logiciel Khronostat offre une variété de tests statistiques conçus pour détecter les changements de comportement dans une série temporelle, en mettant l'accent sur la détection des ruptures [15].

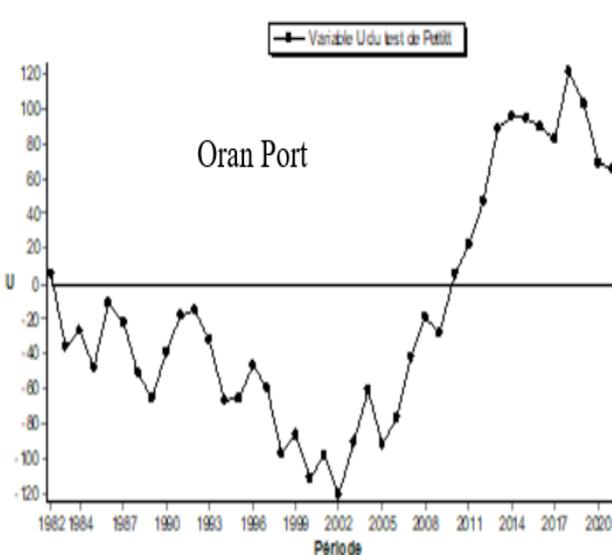
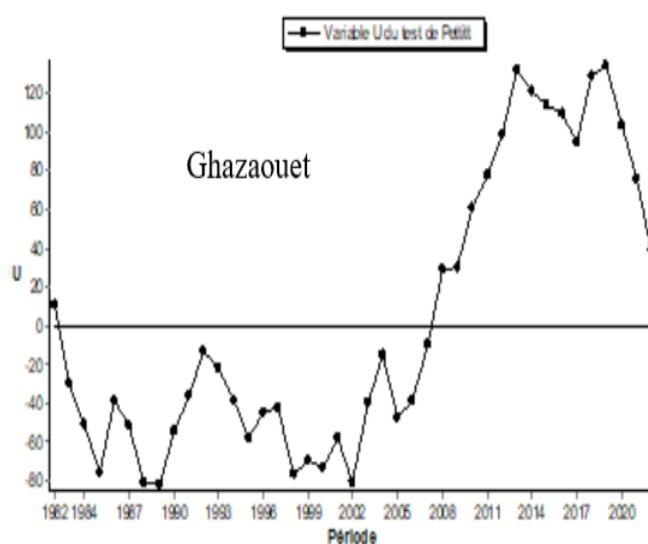
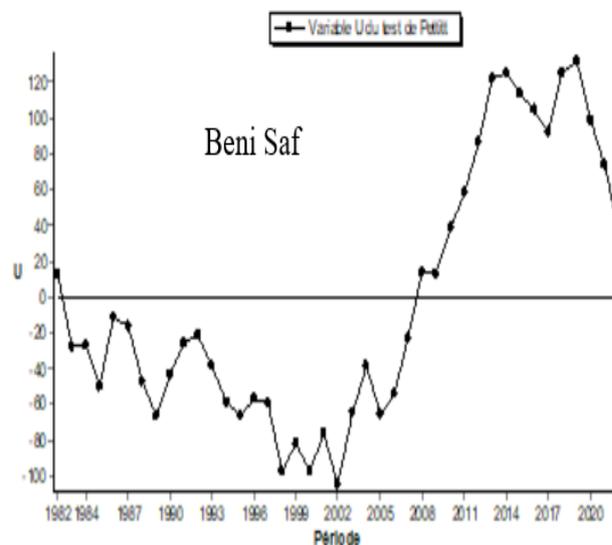
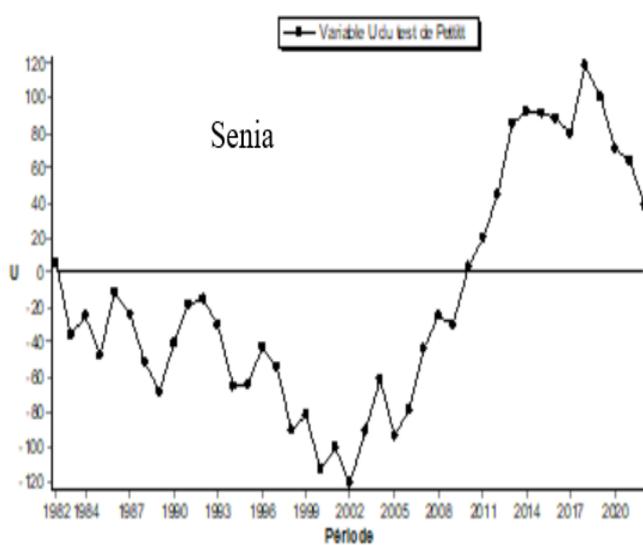
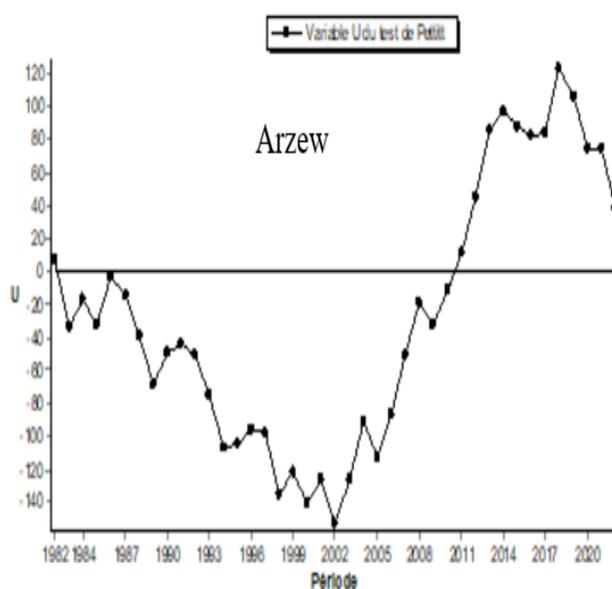
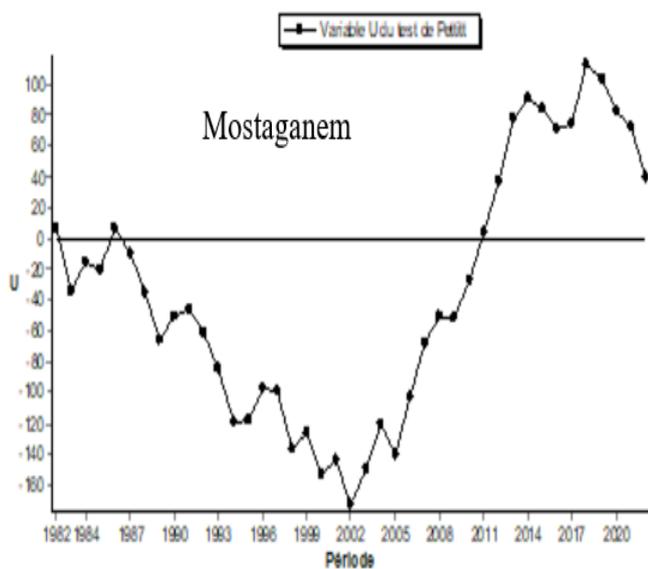
Nous avons utilisé le test de Pettitt pour examiner nos données, ce qui a permis de déterminer les années de rupture spécifiques pour chaque station. Ces résultats sont présentés dans le tableau III.4 et la figure III.5:

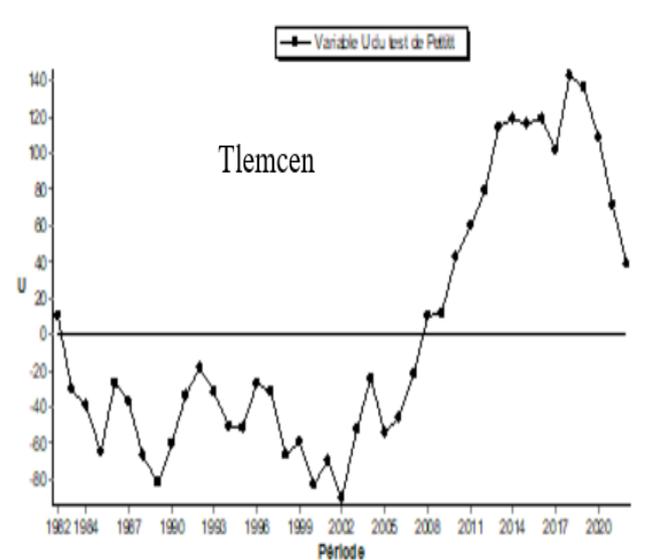
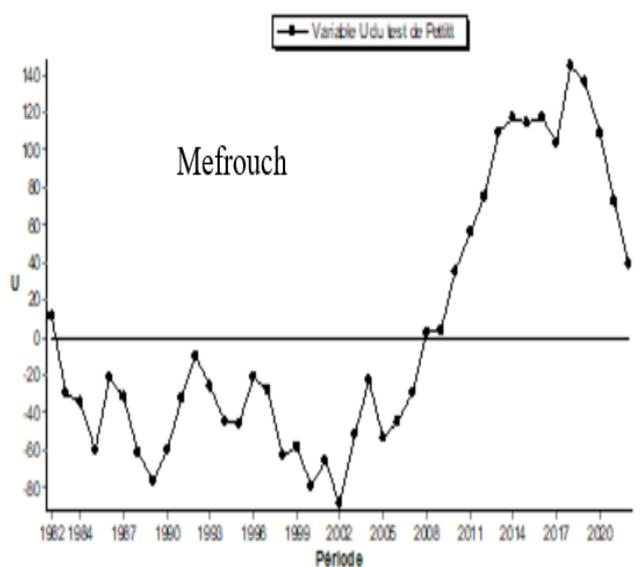
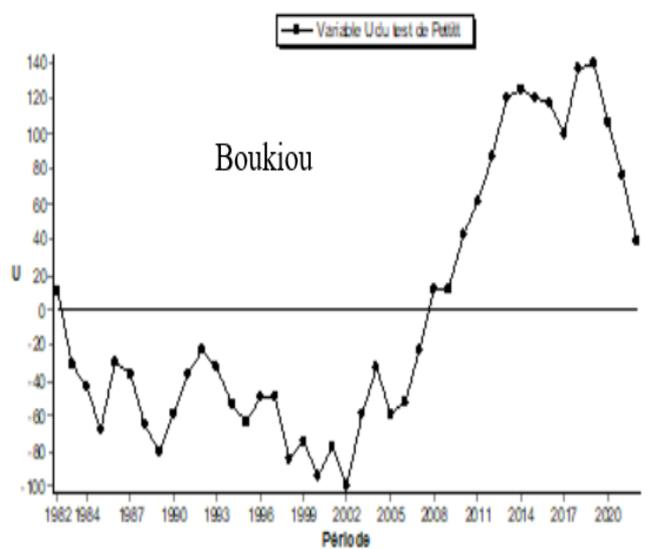
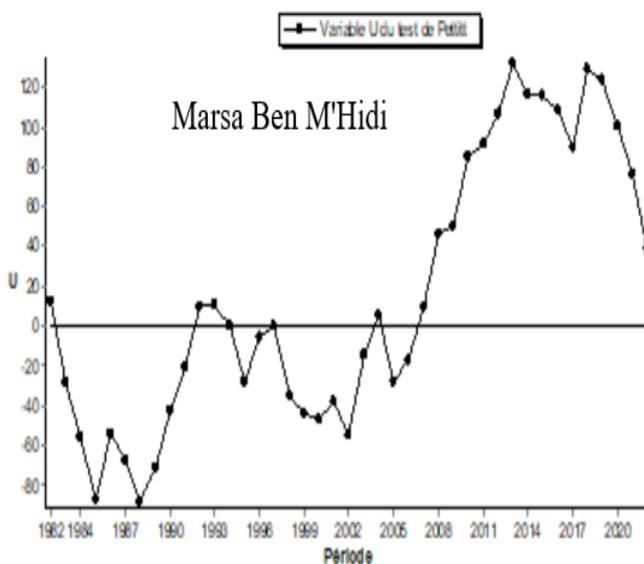
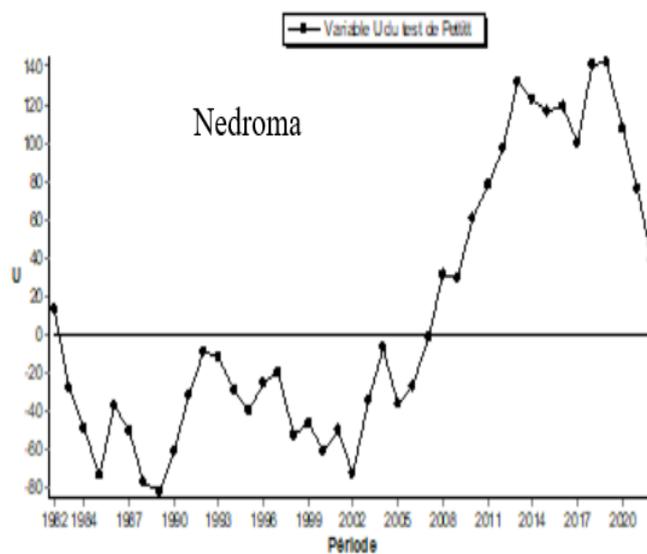
Tableau III.4: Détection des ruptures des séries de précipitations annuelles des stations sélectionnées (1982 -2023)

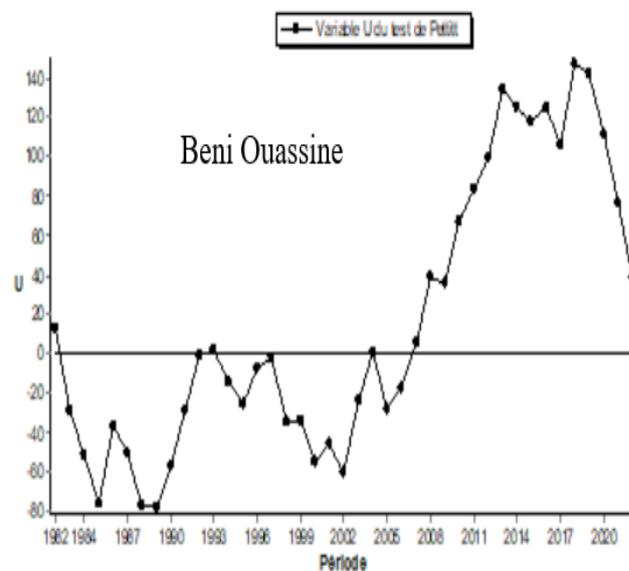
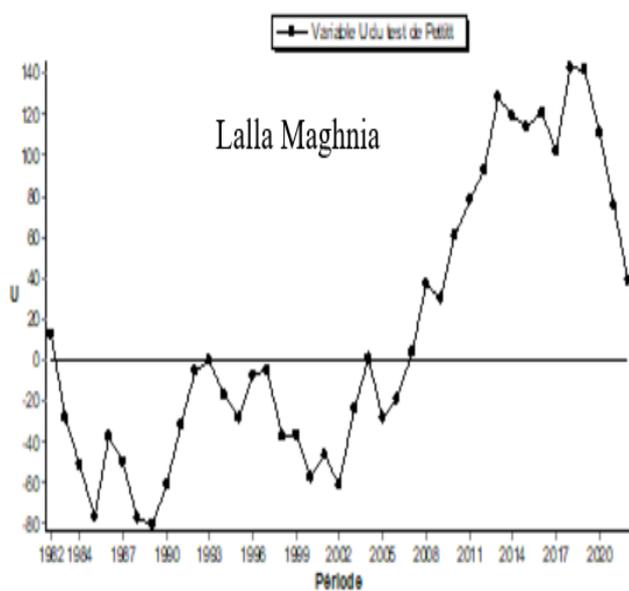
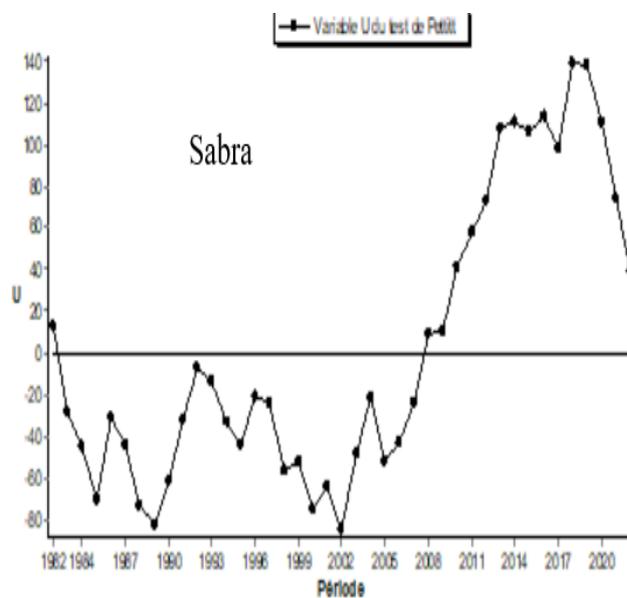
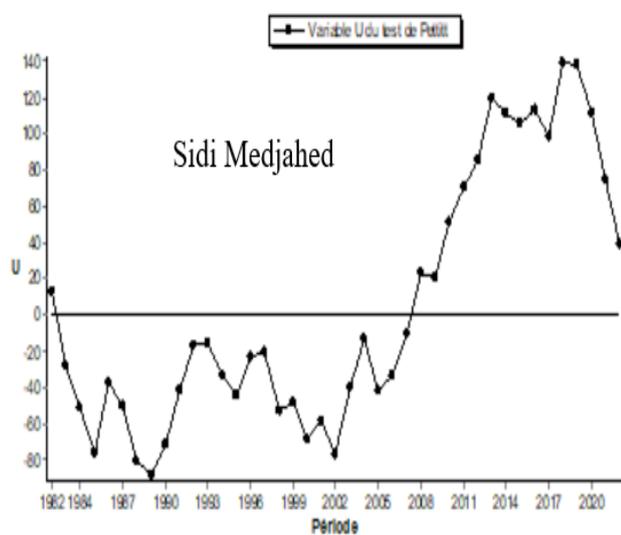
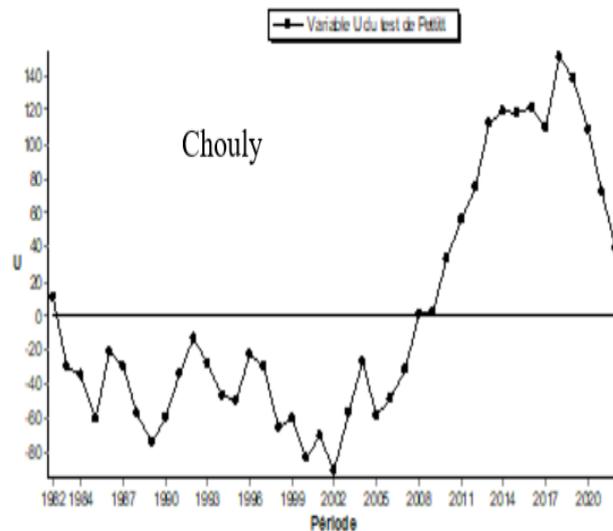
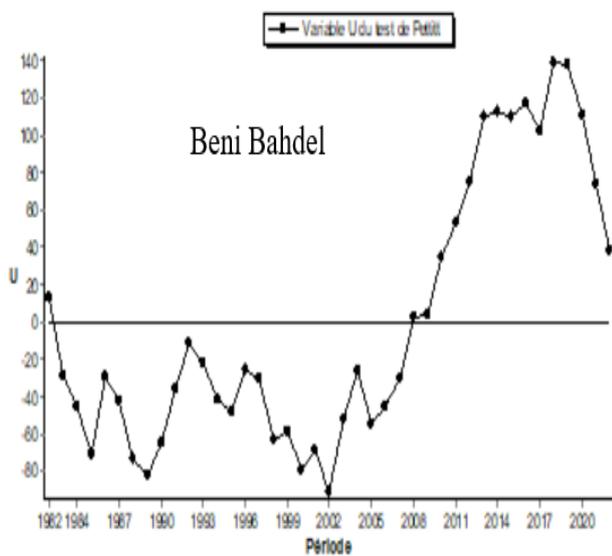
Stations	Années de rupture	Stations	Années de rupture	Stations	Années de rupture
TENES	2002	BENI SAF	2002	LALLA MAGHNA	1989
ACHAACHA	2002	GHAZAOUET	1989/2002	BENI OUASSINE	1989
CHELIF	2002	ORAN PORT	2002	PIERRE DU CHAT	2002
RELIZANE	2002	AIN TEMOUCHENT	2002	BENSEKRANE	2002
TIARET	2002	NEDROMA	1982	REMCHI	2002
OUED RHIOU	2002	MARSA BEN M'HIDI	1988	H. BOUGHRARA	2002
GHRISS	2002	BOUKIOU	2002	HENNAYA	2002
SAIDA	2002	MEFROUCH	2002	OULED MIMOUN	2002
SIDI ALI BENYOUB	2002	TLEMCEN	2002	KHEMIS	2002
SIDI BEL ABBES	2002	BENI BAHDEL	2002	SEBDOU	2002
MOSTAGANEM	2002	CHOULY	2002	LALLA SETTI	2002
ARZEW	2002	SIDI MEDJAHED	1989		
SENIA	2002	SABRA	2002		

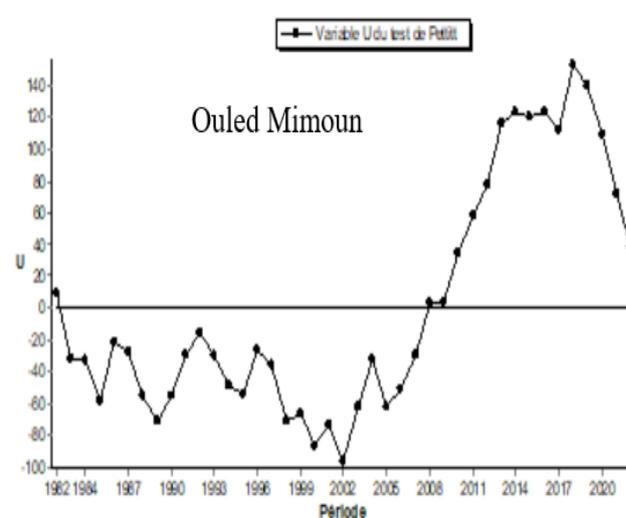
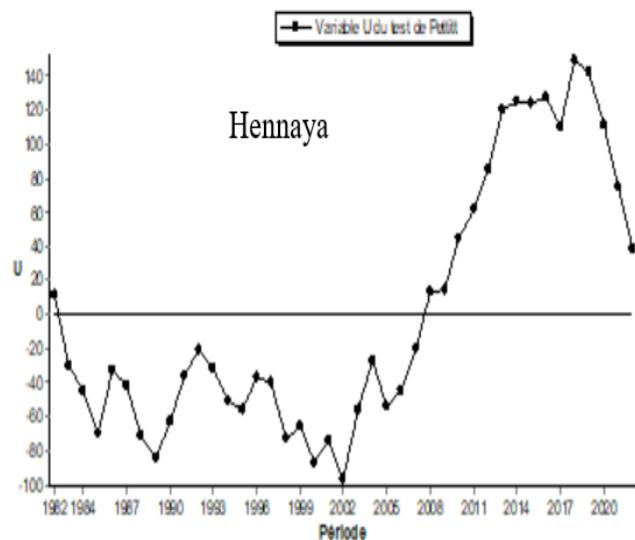
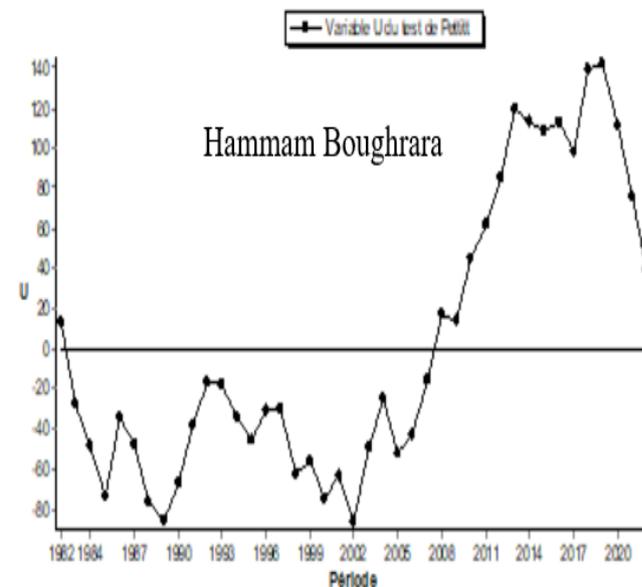
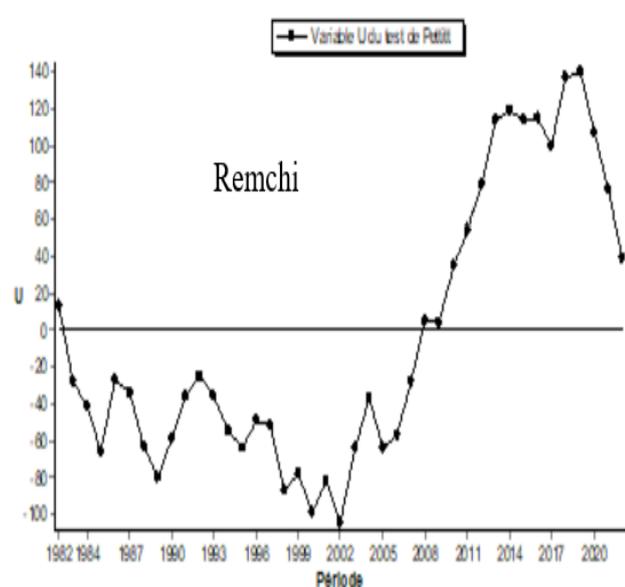
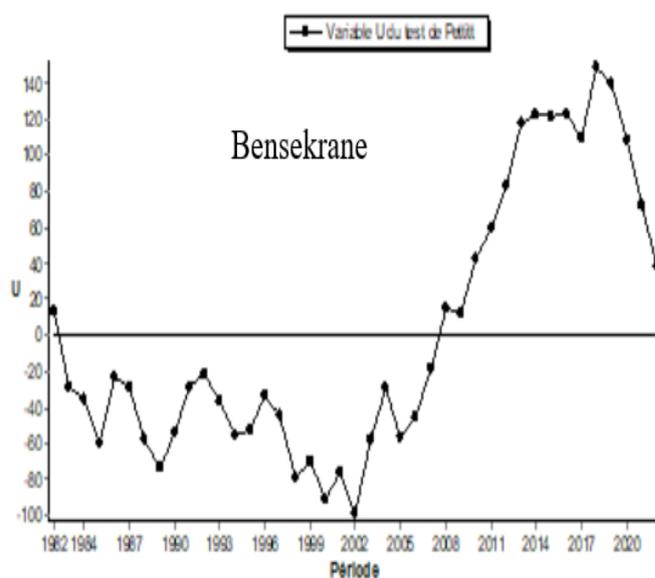
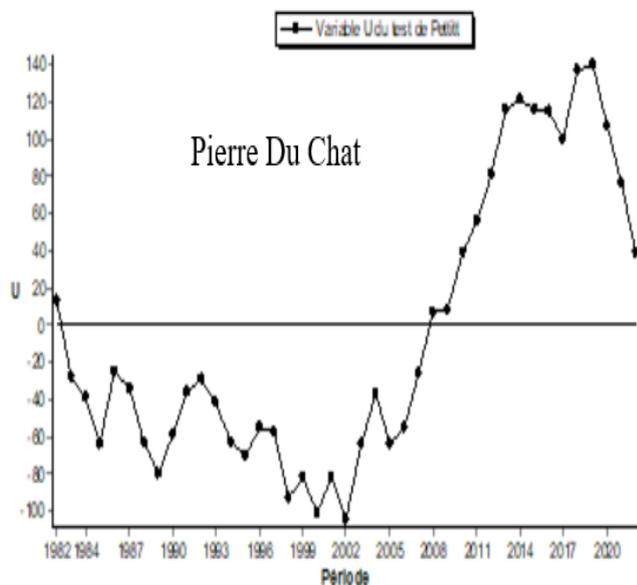












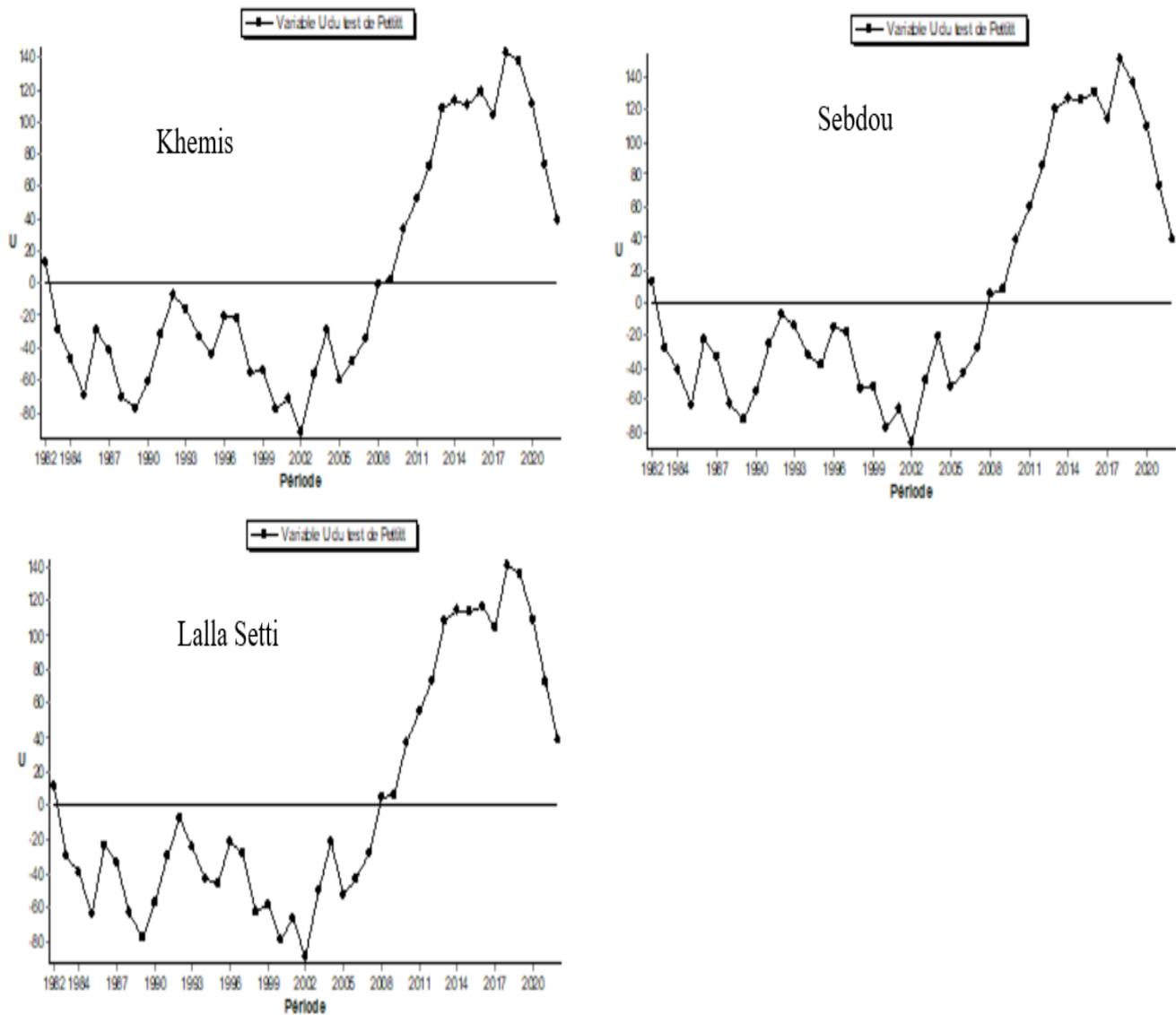


Figure III.5: Evolution de la variable U du test de Pettitt des précipitations annuelles des stations sélectionnées (1982 – 2023).

L'analyse des résultats du test de Pettitt montre des ruptures à deux périodes distinctes dans les séries de précipitations pour la période de 1982 à 2023 : une rupture commune en 2002 pour la majorité des stations, et une rupture en 1989 pour les stations de Ghazaouet, Nedroma, Sidi Medjahed, Maghnia, et Beni Ouassine. A l'exception la station Marsa Ben M'Hidi qui a marqué une rupture en 1988.

Les années autour de 2002 ont été marquées par des variations climatiques significatives, souvent attribuées au réchauffement climatique ce qui a pu entraîner des changements dans les régimes de précipitations, augmentant la fréquence des événements extrêmes comme les sécheresses ou les inondations. En effet, l'Algérie a accusé un retour de la pluie à partir de 2002 après l'épisode marqué par la prépondérance des conditions de sécheresse durant les années 1987-2002 (Nouaceur et al., 2015),

### III.3. Etude des températures

Les données de température utilisées ont été tirées du site TerraClimate, sur la période allant de 1982 à 2023.

#### III.3.1. Températures moyennes annuelles

Les données des températures moyennes annuelles enregistrées dans diverses stations sélectionnées sont présentées dans le tableau III.5 pour la période de 1982 à 2023

Tableau III.5: Températures moyennes annuelles des différentes stations pluviométriques sélectionnées (1982 – 2023)

N°	NOM	Tm	N°	NOM	Tm
1	TENES	18,70	20	BOUKIOU	18,89
2	ACHAACHA	18,40	21	MEFROUCH	14,63
3	CHELIF	19,18	22	TLEMCEN	16,22
4	RELIZANE	19,05	23	BENI BAHDEL	14,88
5	TIARET	15,50	24	CHOULY	15,07
6	OUED RHIOU	19,22	25	SIDI MEDJAHED	17,84
7	GHRISS	17,81	26	SABRA	16,27
8	SAIDA	17,01	27	LALLA MAGHNIA	18,02
9	SIDI ALI BENYOUB	16,04	28	BENI OUASSINE	17,99
10	SIDI BEL ABBES	17,23	29	PIERRE DU CHAT	18,58
11	MOSTAGANEM	18,36	30	BENSEKRANE	18,48
12	ARZEW	18,43	31	REMCHI	18,90
13	SENIA	18,08	32	HAMMAM BOUGHRARA	18,59
14	BENI SAF	19,02	33	HENNAYA	17,90
15	GHAZAOUET	19,18	34	OULED MIMOUN	15,91
16	ORAN PORT	18,16	35	KHEMIS	15,28
17	AIN TEMOUCHENT	18,27	36	SEBDOU	15,37
18	NEDROMA	17,52	37	LALLA SETTI	14,70
19	MARSA BEN M'HIDI	18,59			

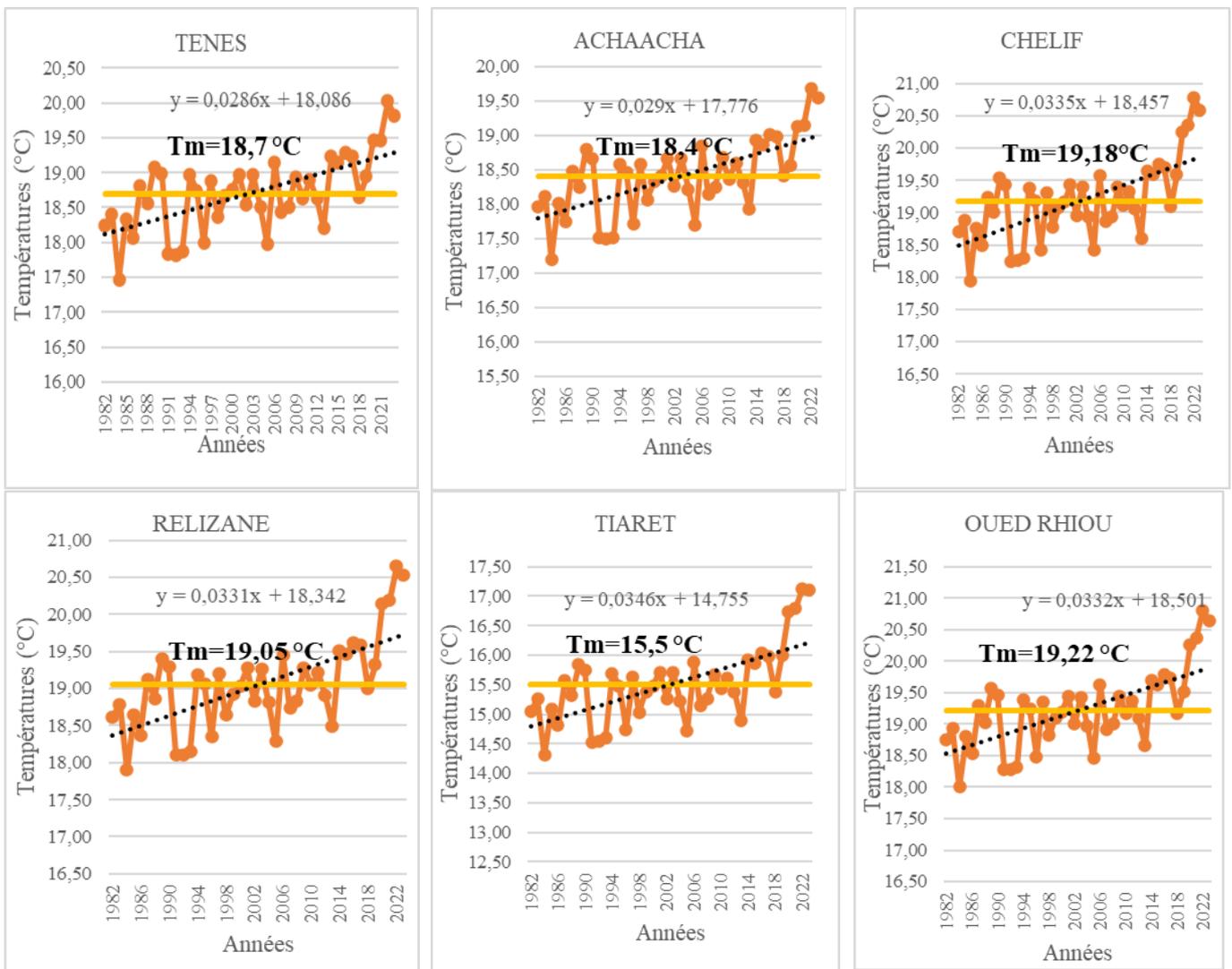
La figure III.6, présente l'évolution des températures annuelles dans différentes stations sur une période de 41 ans, de 1982 à 2023. Les lignes horizontales indiquent les températures moyennes annuelles (jaune) et les lignes discontinues (pointillées) la courbe de tendance. Les années où les températures annuelles dépassent la moyenne sont considérées comme relativement des périodes chaudes, tandis que celles où les températures sont inférieures à la moyenne sont considérées comme des périodes froides.

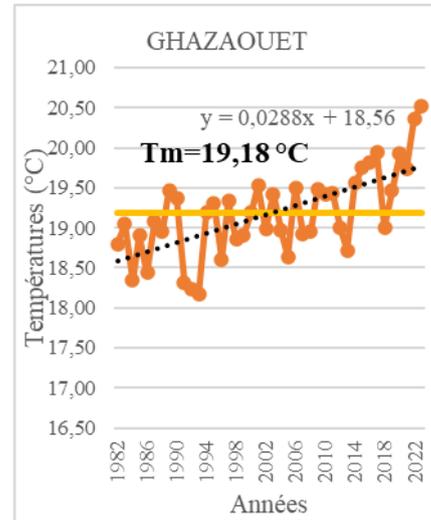
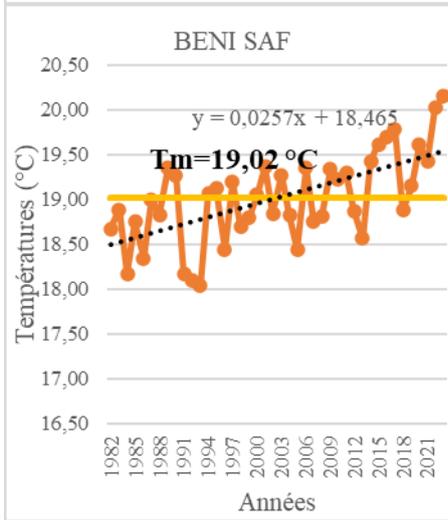
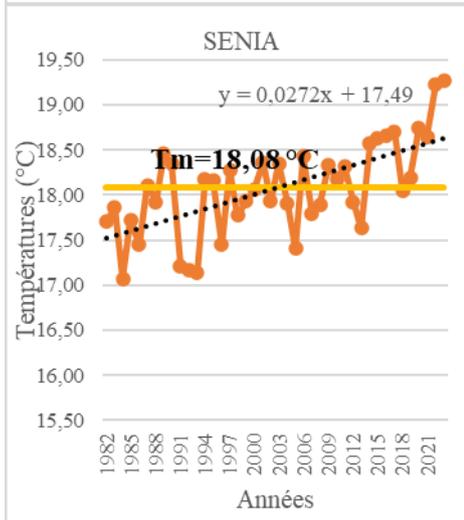
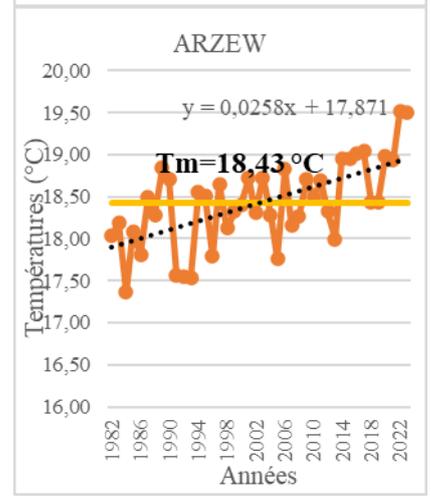
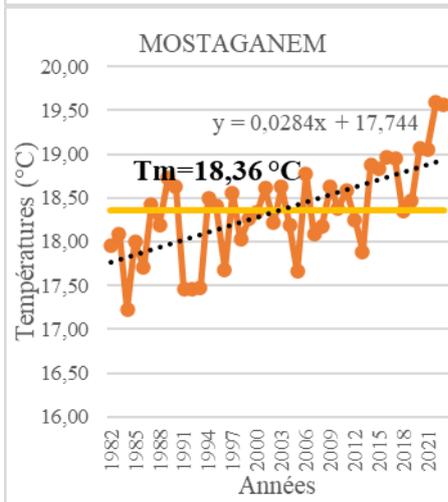
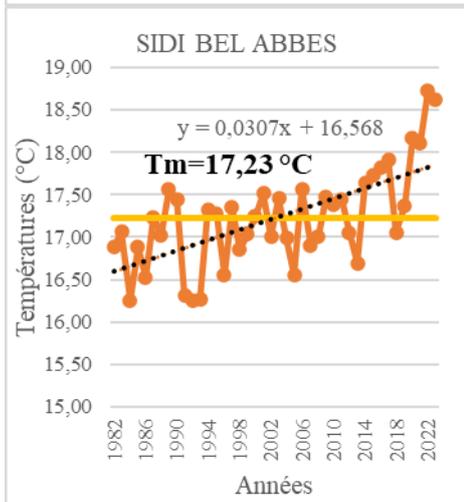
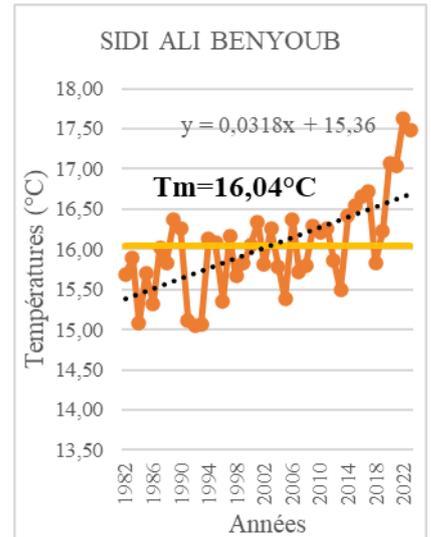
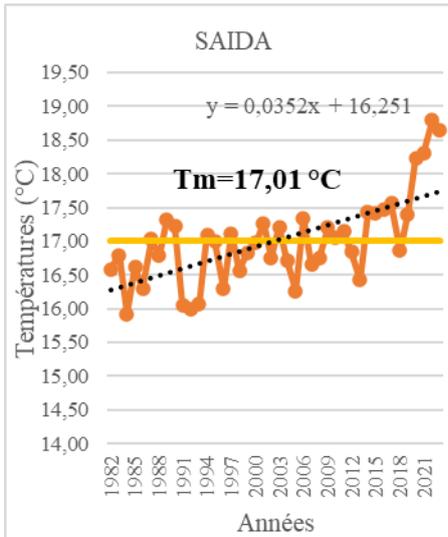
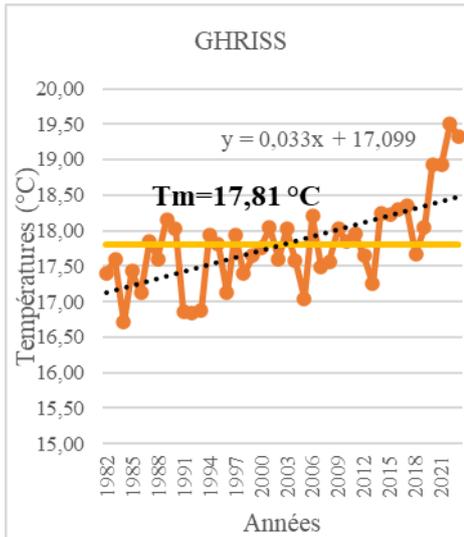
Les résultats spatio-temporels montrent une évolution significative des températures annuelles dans les stations étudiées, avec des périodes identifiables de chaleur et de froid, une influence marquée de l'altitude sur les températures, et une tendance globale au réchauffement. Ces observations sont importantes pour comprendre les impacts locaux du changement climatique et pour développer des stratégies d'adaptation appropriées.

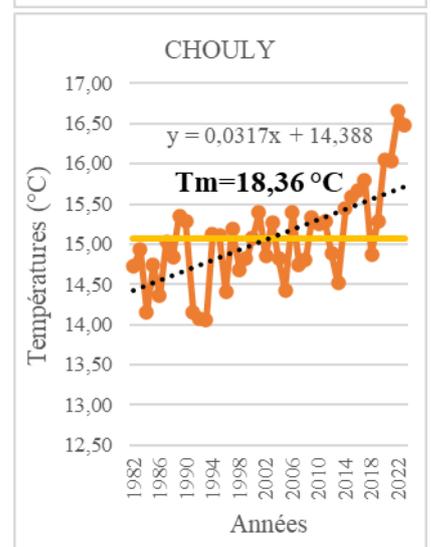
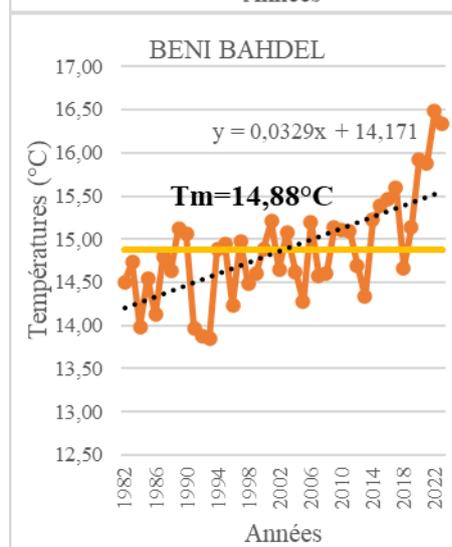
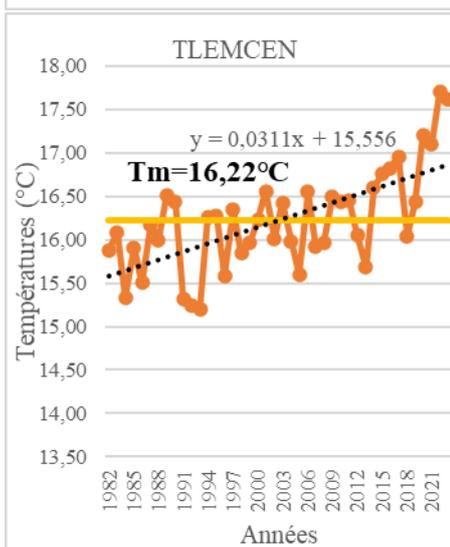
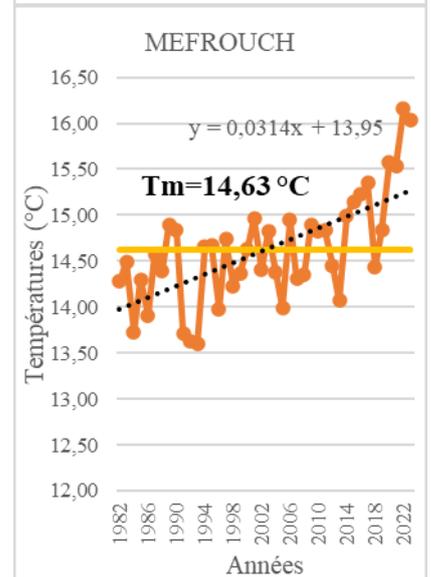
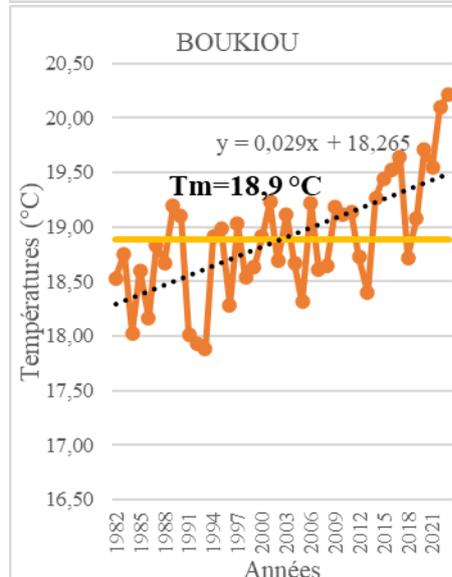
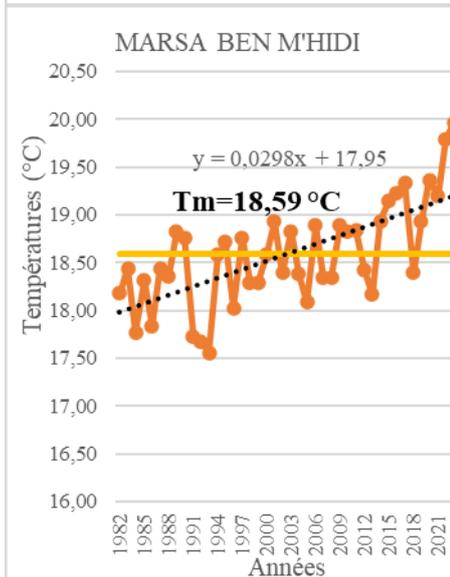
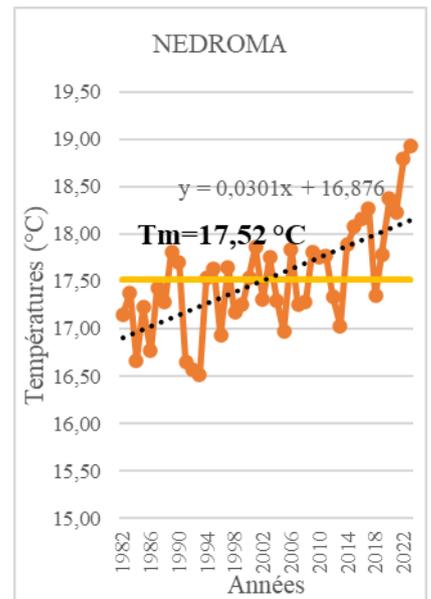
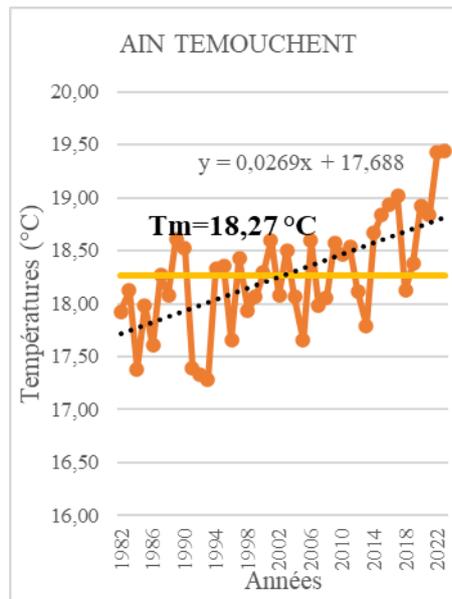
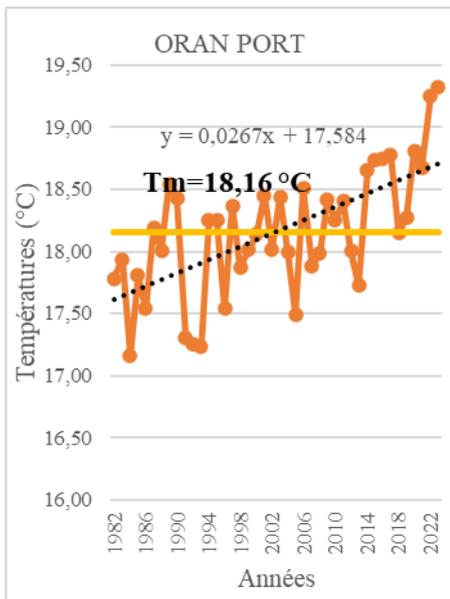
On observe que la période chaude s'étale entre 2020/2023, tandis que la période froide s'étend de 1984 à 1993.

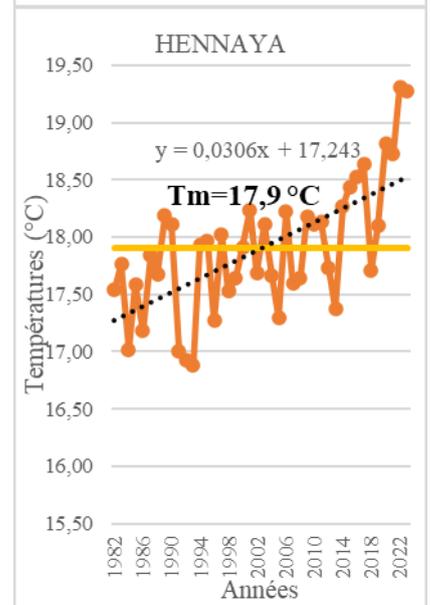
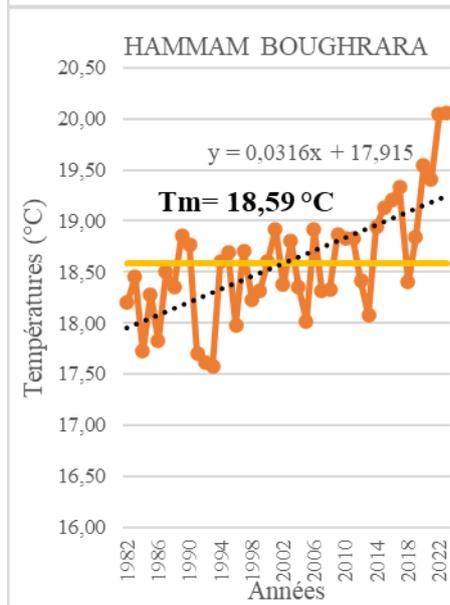
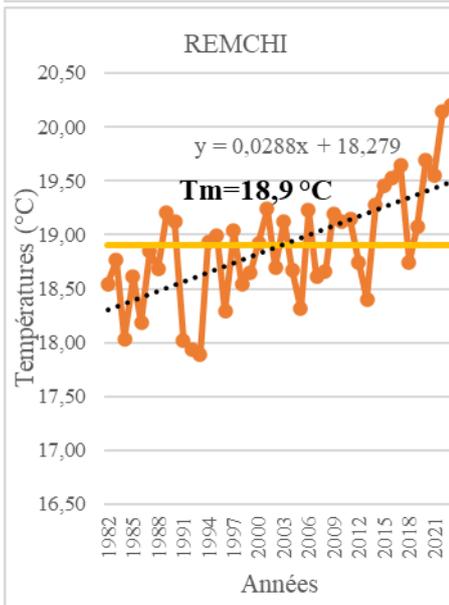
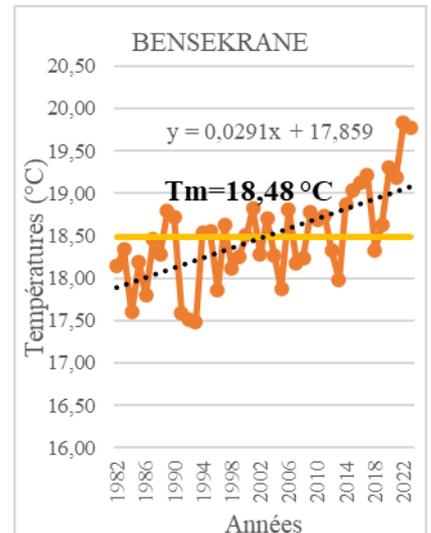
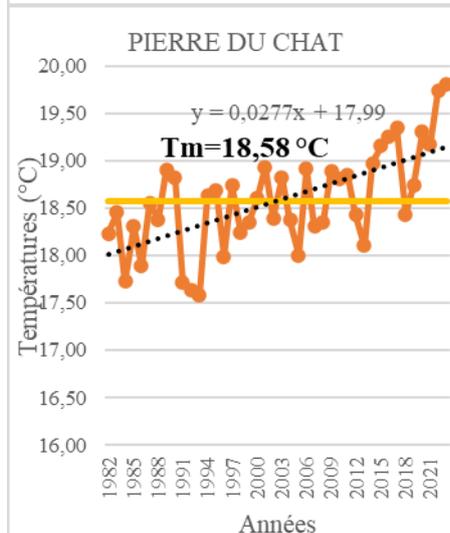
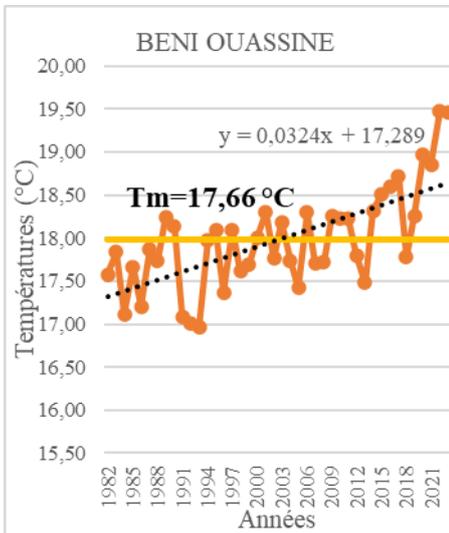
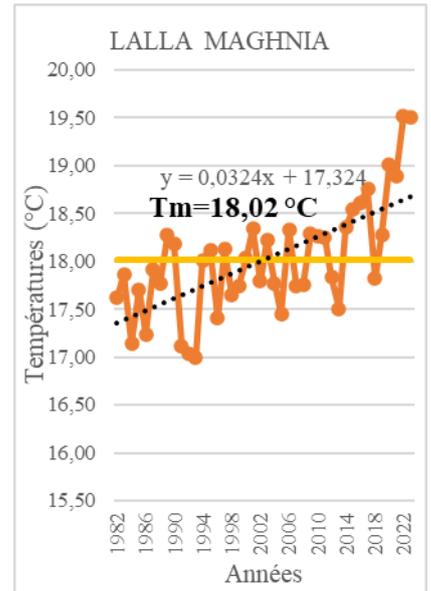
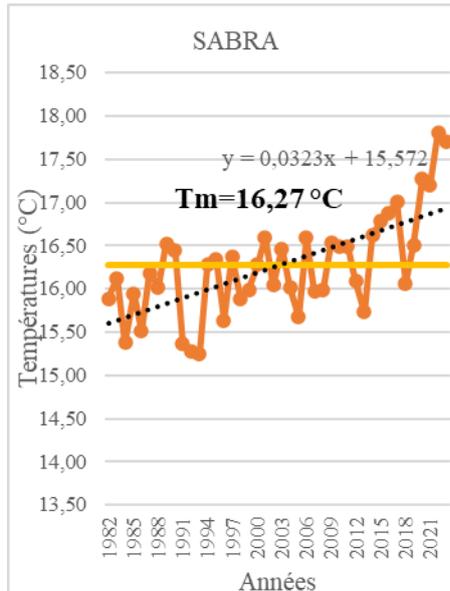
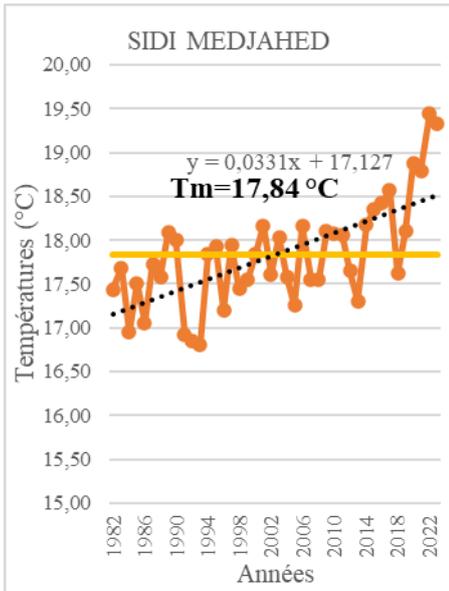
Les plus faibles moyennes de température sont observées au niveau des stations Tiaret, Sidi Ali Benyoub, Meffrouch, Tlemcen Béni Bahdel. Cela peut être attribué à la topographie de la région, pouvant influencer la circulation atmosphérique.

Nous notons également que les températures affichent une tendance à la hausse, augmentant d'environ 0,03°C au cours de la période considérée. Bien que cette augmentation semble être faible, elle indique une tendance à la hausse des températures sur une longue période. Les variations climatiques naturelles peuvent masquer des augmentations plus substantielles sur le court terme, mais une tendance constante même faible sur plusieurs décennies est significative. En effet, les petits changements dans la température moyenne peuvent affecter la fréquence et l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes. Ce résultat est cohérent avec la tendance globale observée par les scientifiques du climat.









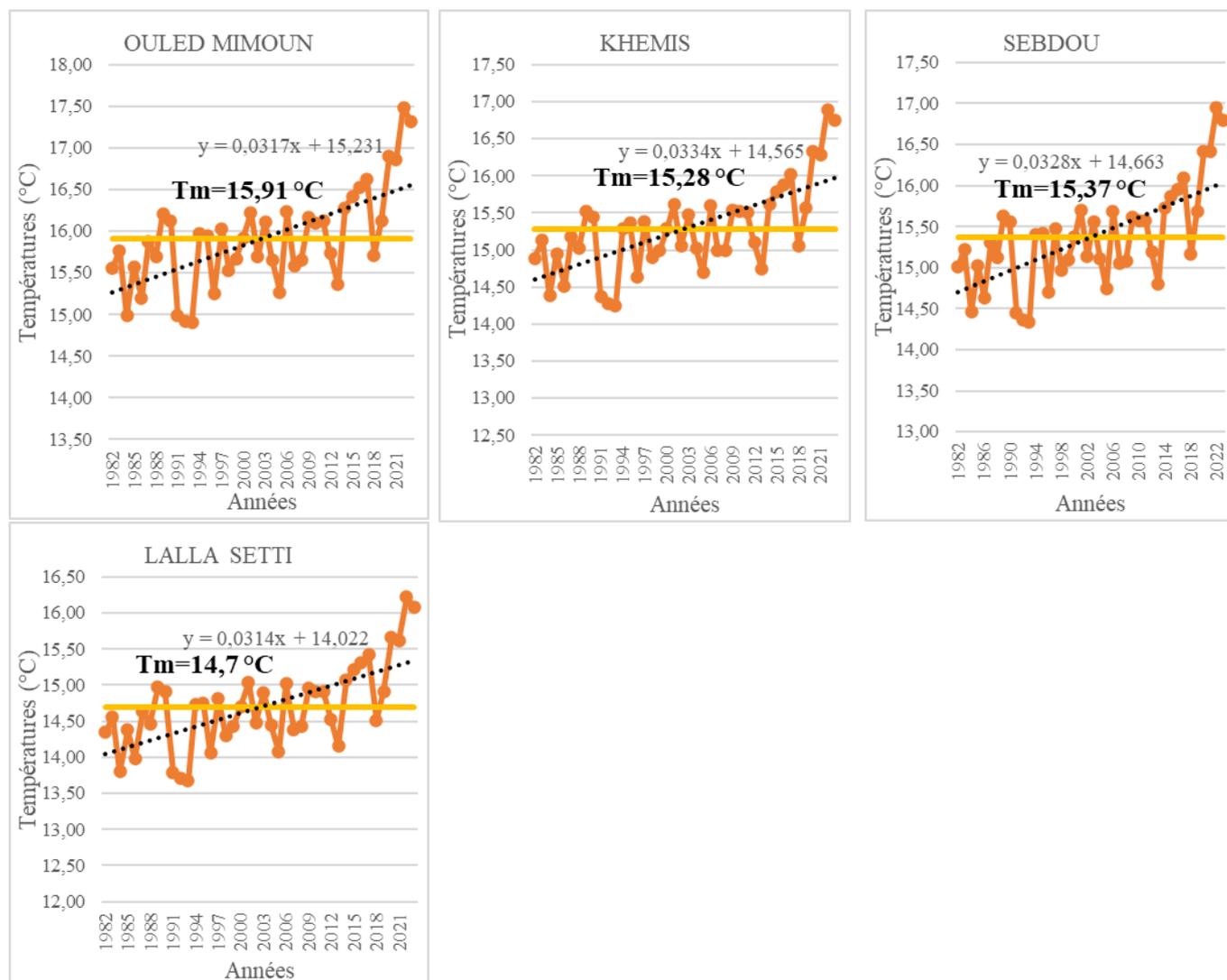


Figure III.6: Variations annuelles des températures des stations sélectionnées (1982 - 2023)

### III.3.2. Températures moyennes mensuelles

La variation des températures moyennes mensuelles enregistrées au niveau des différentes stations durant la période 1982 à 2023, sont représentées dans le tableau III.6:

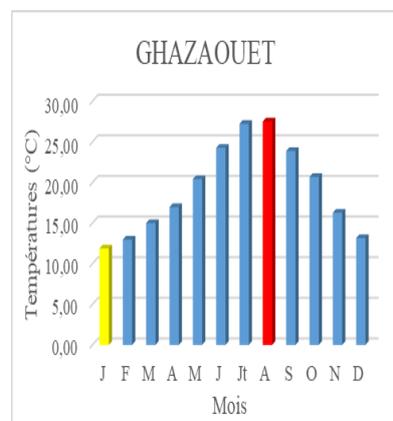
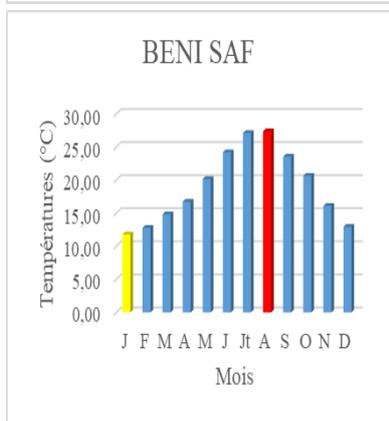
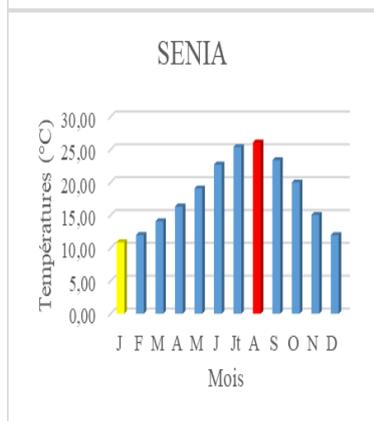
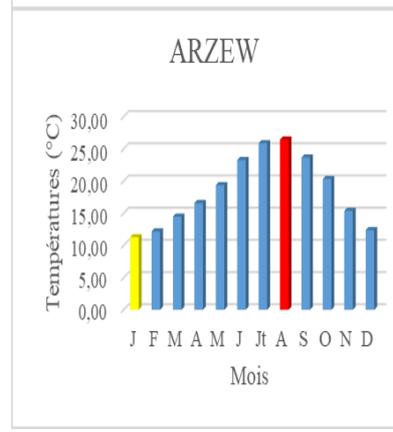
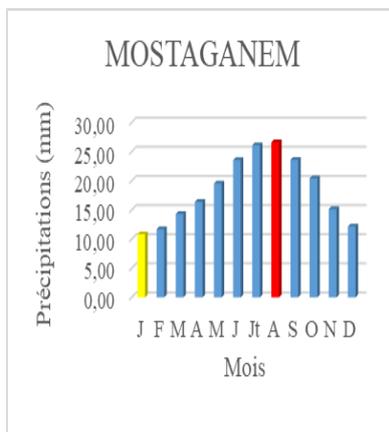
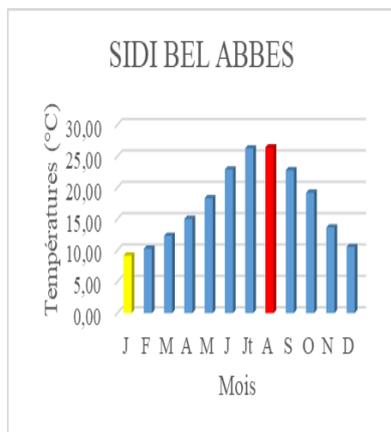
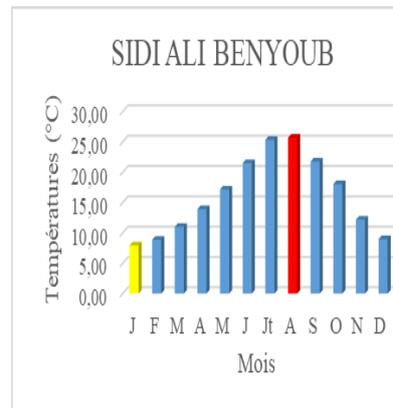
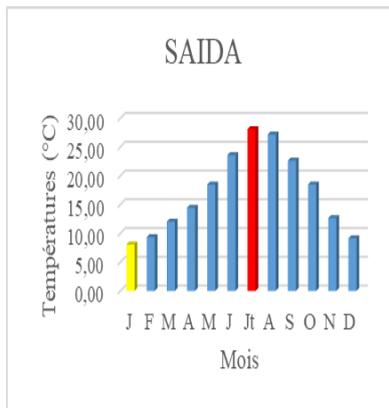
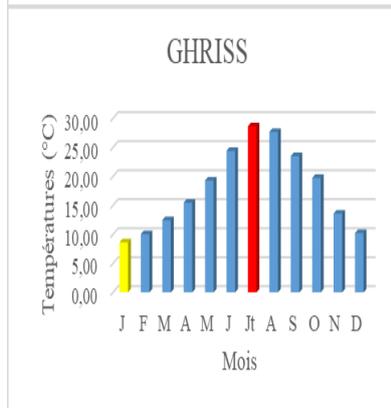
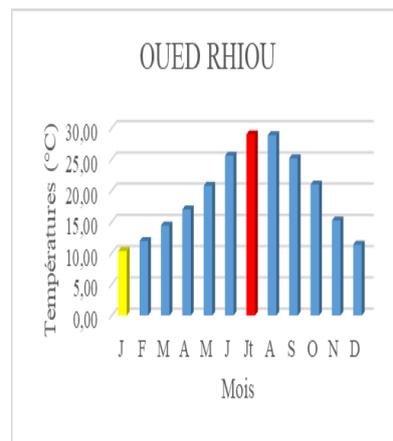
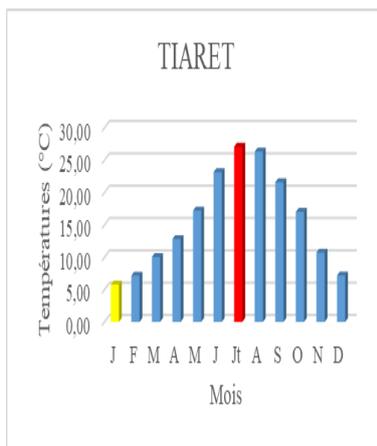
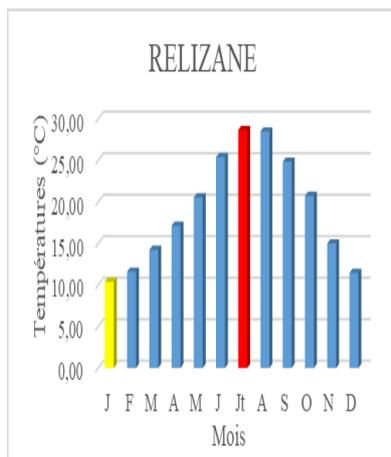
Tableau III.6: Variations des températures moyennes mensuelles des stations sélectionnées

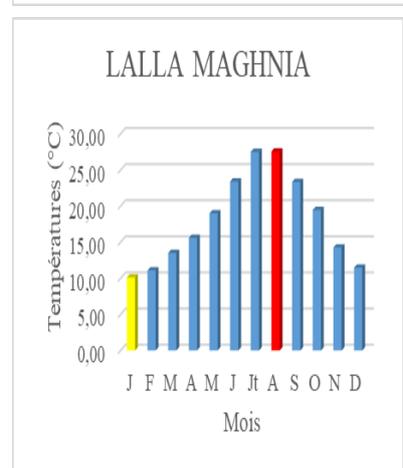
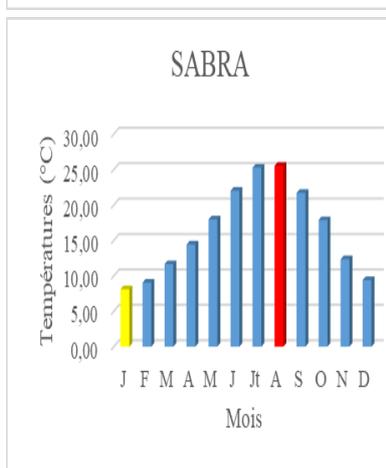
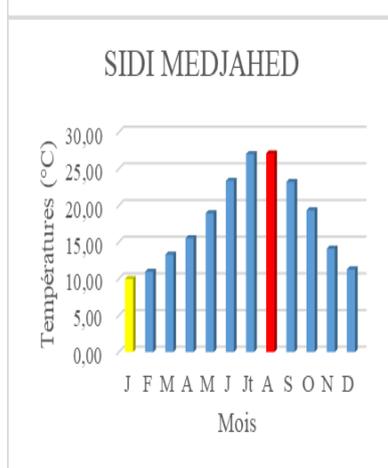
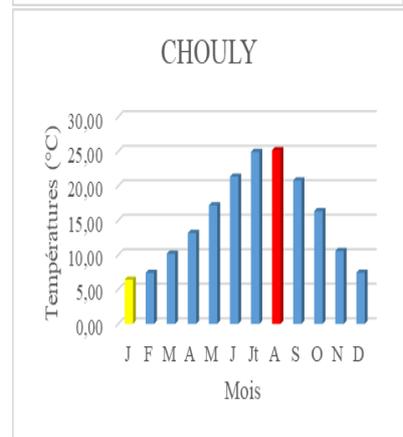
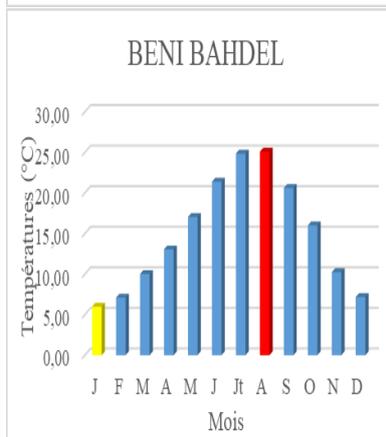
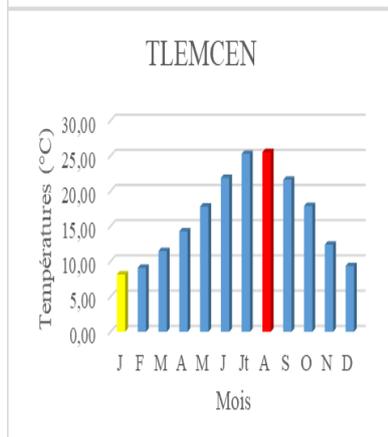
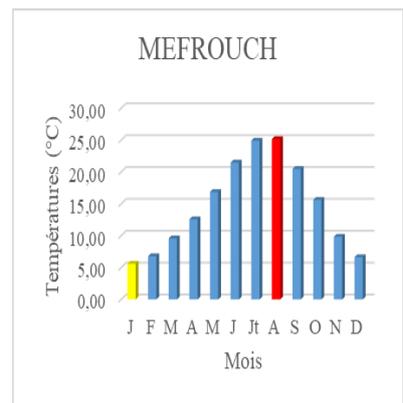
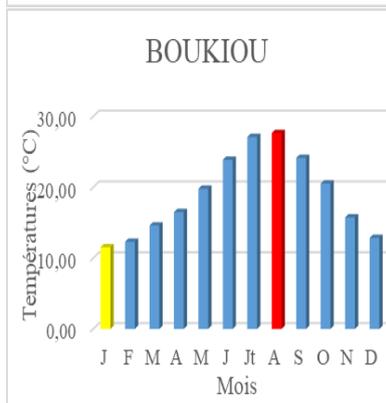
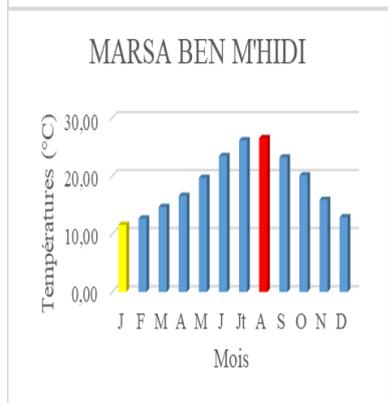
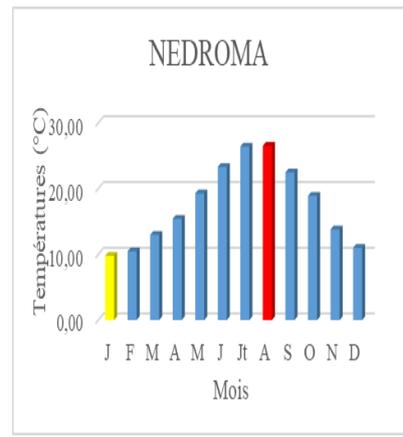
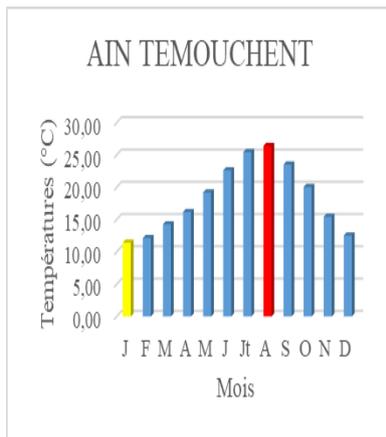
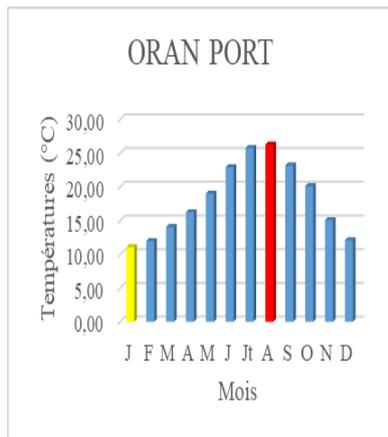
Stations	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
TENES	11,01	12,09	14,17	16,35	19,83	24,06	26,87	27,20	24,13	20,77	15,58	12,34
ACHAACHA	10,73	11,66	14,05	16,18	19,64	23,89	26,62	26,99	23,72	20,45	15,03	11,86
CHELIF	10,32	11,90	14,18	16,70	20,65	25,41	29,05	28,98	25,36	20,91	15,17	11,50
RELIZANE	10,39	11,61	14,25	17,15	20,57	25,41	28,69	28,51	24,84	20,75	15,01	11,47
TIARET	5,77	7,15	10,03	12,80	17,21	23,15	27,08	26,34	21,58	17,02	10,70	7,18
OUED RHIYOU	10,33	11,94	14,43	16,99	20,77	25,57	28,99	28,86	25,17	20,96	15,22	11,37
GHRISS	8,64	10,05	12,46	15,47	19,31	24,41	28,64	27,67	23,50	19,74	13,59	10,23
SAIDA	8,07	9,33	12,02	14,44	18,48	23,60	28,10	27,15	22,64	18,48	12,65	9,14
S. BENYOUB	7,93	8,88	11,01	13,93	17,18	21,52	25,36	25,70	21,79	18,05	12,20	8,98
S. BEL ABBES	9,16	10,26	12,31	15,00	18,32	22,89	26,26	26,41	22,76	19,18	13,65	10,54
MOSTAGANEM	10,82	11,68	14,29	16,38	19,53	23,55	26,10	26,61	23,59	20,42	15,13	12,16

ARZEW	11,25	12,17	14,47	16,57	19,35	23,27	25,88	26,44	23,65	20,32	15,37	12,36
SENIA	10,88	12,00	14,07	16,33	19,08	22,72	25,37	26,06	23,38	20,00	15,05	11,98
BENI SAF	11,79	12,78	14,84	16,72	20,16	24,19	27,13	27,37	23,55	20,63	16,10	12,93
GHAZAOUET	11,87	12,96	14,99	16,97	20,42	24,26	27,21	27,51	23,87	20,67	16,28	13,15
ORAN PORT	11,07	11,99	14,07	16,25	19,00	22,94	25,78	26,29	23,20	20,12	15,08	12,10
A.TEMOUCHENT	11,43	12,14	14,25	16,18	19,21	22,62	25,46	26,40	23,51	20,04	15,43	12,54
NEDROMA	9,77	10,47	12,97	15,41	19,27	23,31	26,40	26,52	22,47	18,91	13,81	10,99
M.BEN M'HIDI	11,55	12,64	14,64	16,57	19,65	23,42	26,13	26,51	23,17	20,08	15,87	12,86
BOUKIOU	11,54	12,30	14,60	16,50	19,80	23,89	27,10	27,65	24,15	20,53	15,75	12,85
MEFROUCH	5,60	6,78	9,58	12,57	16,86	21,48	24,92	25,15	20,47	15,62	9,84	6,63
TLEMCEN	8,14	9,08	11,47	14,29	17,80	21,87	25,29	25,53	21,61	17,87	12,38	9,35
BENI BAHDEL	5,99	7,10	10,01	13,05	17,05	21,39	24,86	25,08	20,61	16,00	10,25	7,17
CHOULY	6,40	7,40	10,17	13,17	17,18	21,34	24,92	25,16	20,78	16,35	10,55	7,42
SIDI MEDJAHED	9,96	10,96	13,29	15,52	18,94	23,36	27,00	27,09	23,21	19,33	14,11	11,28
SABRA	8,10	9,02	11,64	14,41	17,97	22,00	25,26	25,52	21,70	17,86	12,34	9,38
L. MAGHNIA	10,11	11,09	13,50	15,59	18,99	23,41	27,50	27,55	23,34	19,45	14,25	11,46
BENI OUASSINE	10,17	11,17	13,48	15,56	18,89	23,25	27,26	27,43	23,33	19,45	14,31	11,53
PIERRE DU CHAT	11,49	12,23	14,51	16,42	19,65	23,22	25,95	26,82	23,90	20,42	15,68	12,74
BENSEKRANE	10,88	11,64	13,86	15,99	19,37	23,74	27,56	27,71	23,80	19,96	15,06	12,24
REMCHI	11,61	12,35	14,60	16,52	19,80	23,88	26,96	27,59	24,21	20,52	15,78	12,95
H. BOUGHRARA	10,93	11,81	14,22	16,29	19,63	23,90	27,37	27,58	23,79	20,16	15,17	12,27
HENNAYA	10,02	10,83	13,14	15,56	19,06	23,35	27,20	27,33	23,34	19,47	14,21	11,32
OULED MIMOUN	7,76	8,59	10,72	13,79	17,18	21,52	25,51	25,68	21,65	17,74	11,95	8,85
KHEMIS	6,31	7,74	10,58	13,45	17,54	21,72	24,91	25,33	21,15	16,43	10,73	7,48
SEBDOU	6,45	7,88	10,58	13,61	17,21	21,66	25,54	25,41	21,15	16,58	10,82	7,54
LALLA SETTI	5,70	6,90	9,68	12,70	16,92	21,46	24,90	25,14	20,55	15,70	9,95	6,77

Nous constatons (fig.III.7) que dans toutes les stations sélectionnées, le mois le plus chaud est Août, tandis que le mois le plus froid est Janvier. Cette observation peut être expliquée par le fait que ces stations se situent dans l'hémisphère nord, où Août correspond généralement à la période estivale, marquée par des températures plus élevées. En revanche, Janvier est habituellement un mois d'hiver, avec des températures plus basses.







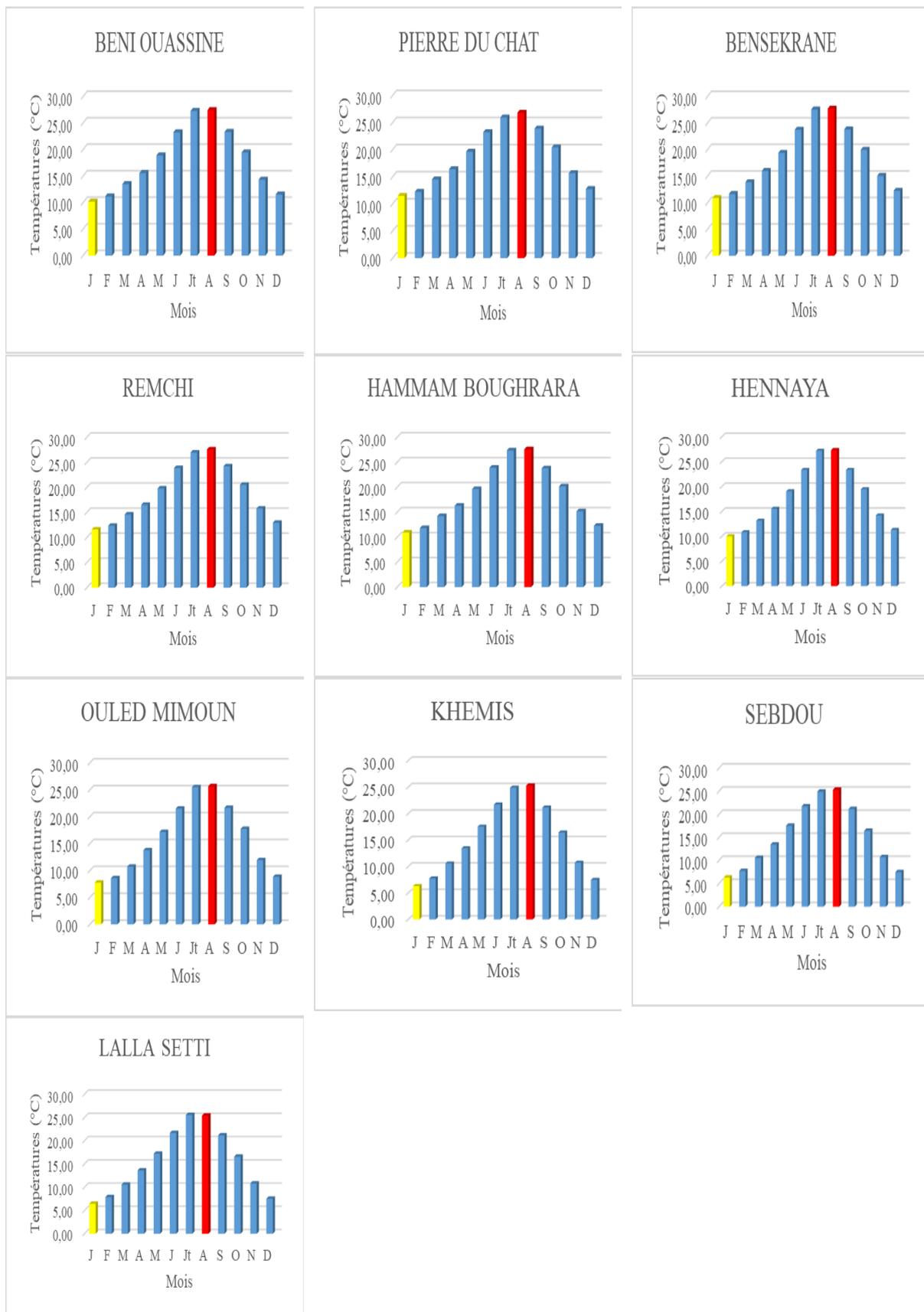


Figure III.7: Variation des températures moyennes mensuelles (1982 – 2023)

**III. 3.3. Visualisation de la variation des températures moyennes annuelles par la Boite à Moustaches (boxplot)**

La figure III.8, représente la boîte à moustache des températures annuelles durant la période 1982 à 2023 de notre région d'étude, on remarque que :  
 La zone d'étude enregistre une diminution des températures vers les hautes altitudes que nous pouvons attribuer à la réduction de la pression atmosphérique et à la diminution de l'absorption de chaleur solaire et l'effet de la condensation.

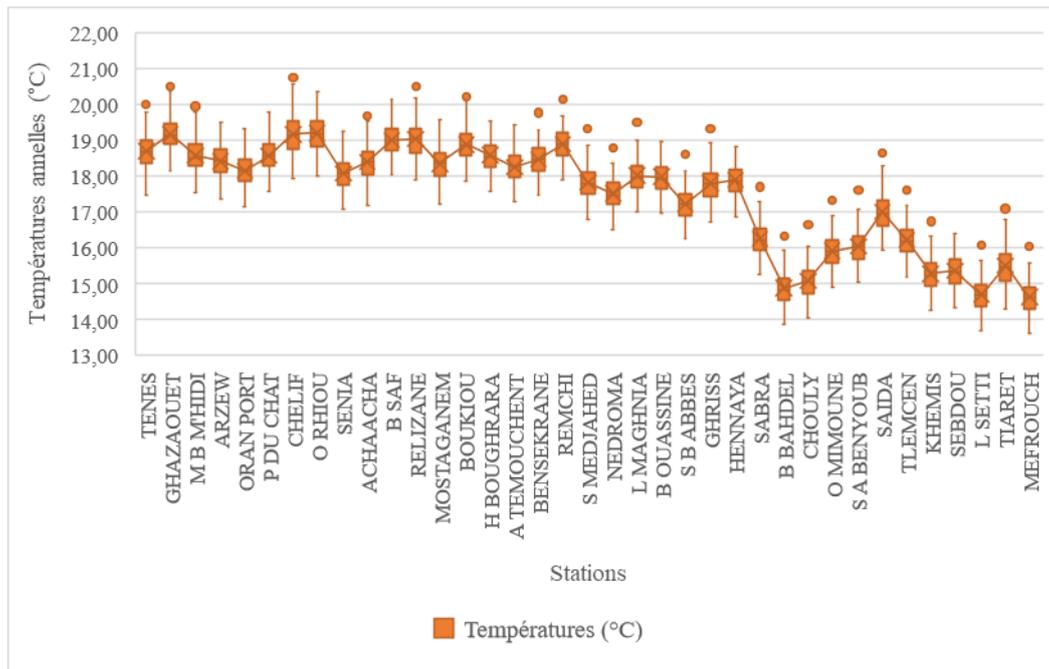


Figure III.8: Boîte à moustaches des températures annuelles durant la période 1982 – 2023

**III.4. Etude de climat**

Pour caractériser le type de climat de la région étudiée, nous avons choisi d'utiliser le diagramme pluviothermique de Gaussen et Bagnouls et avons également calculé les indices climatiques les plus couramment utilisés.

**III.4.1. Diagramme pluviothermique de Bagnouls et Gaussen**

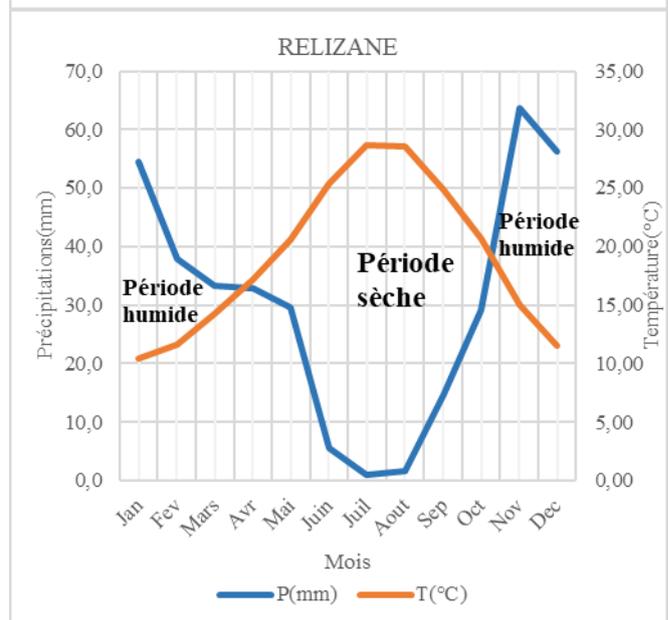
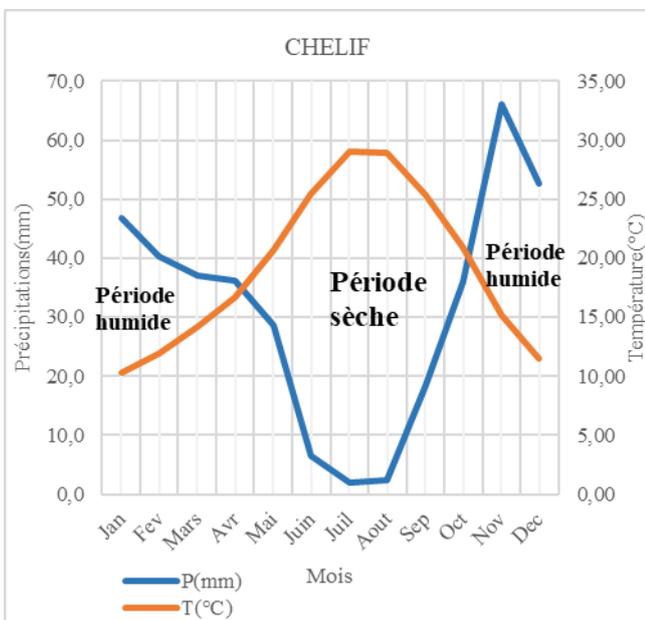
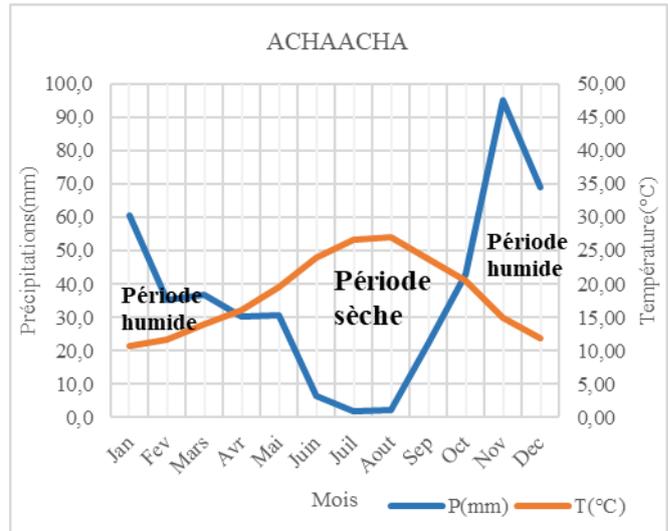
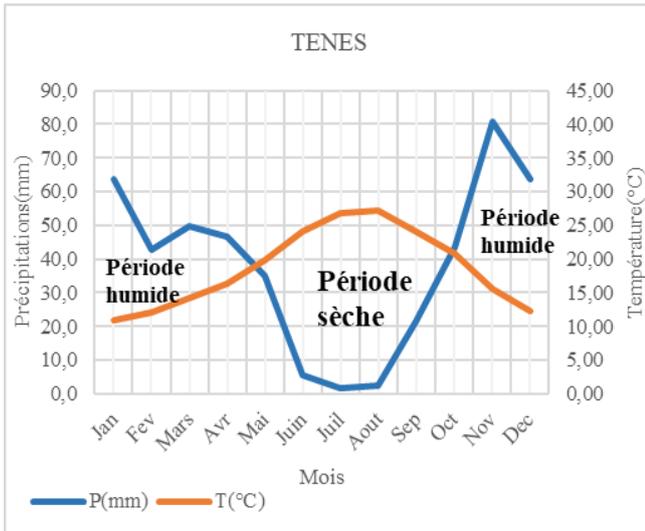
Ce diagramme représente graphiquement les variations des précipitations et des températures moyennes mensuelles. Ces données sont tracées sur deux axes parallèles en fonction des mois, avec une échelle des précipitations étant le double de celle des températures.

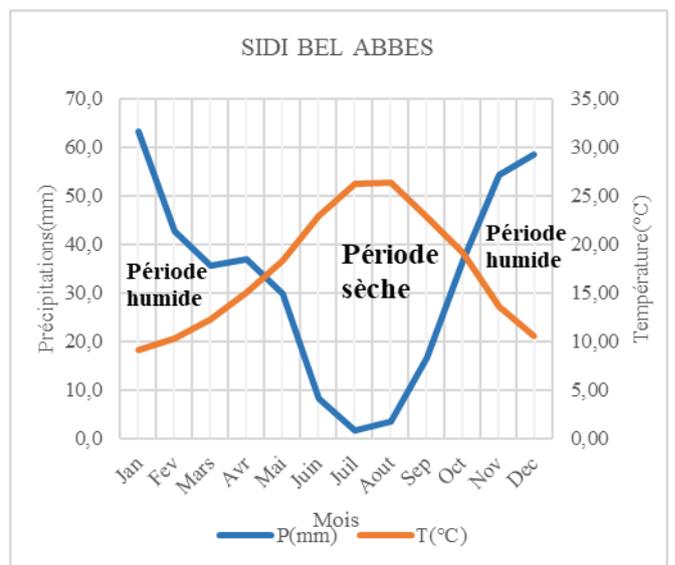
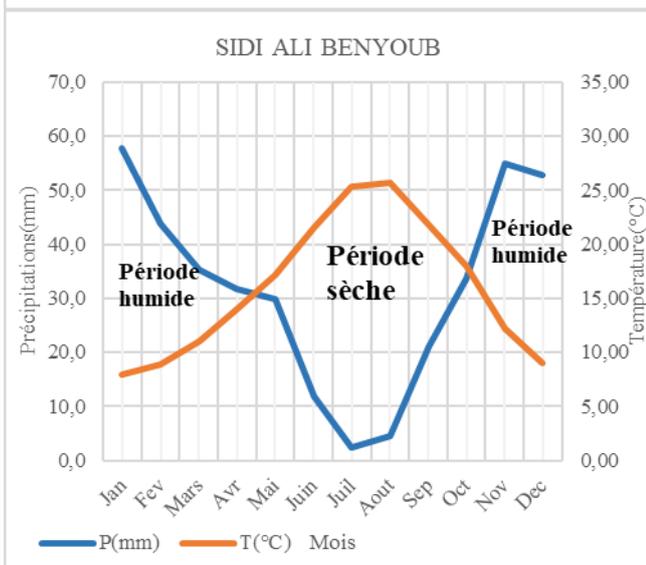
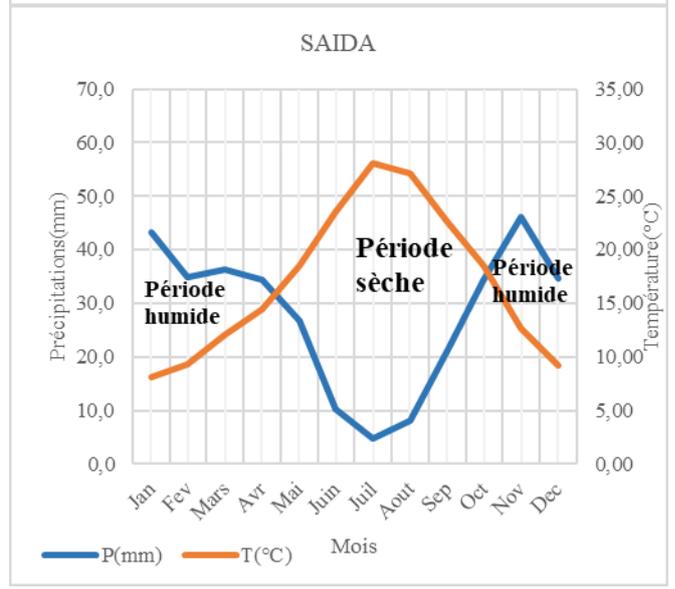
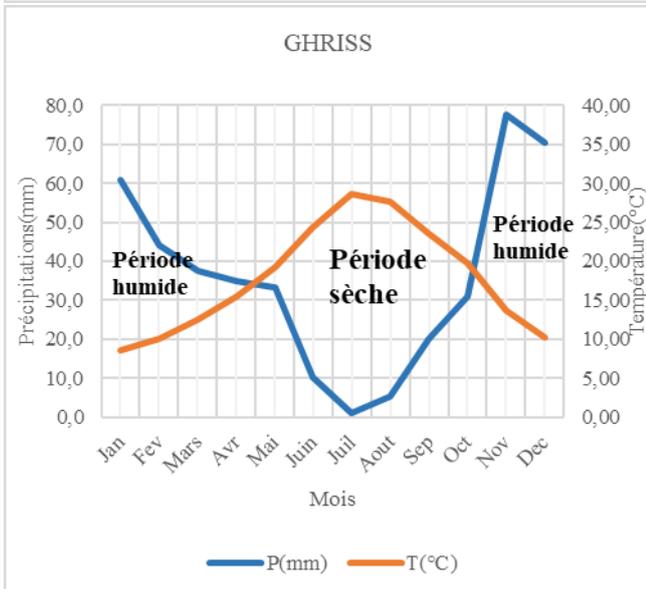
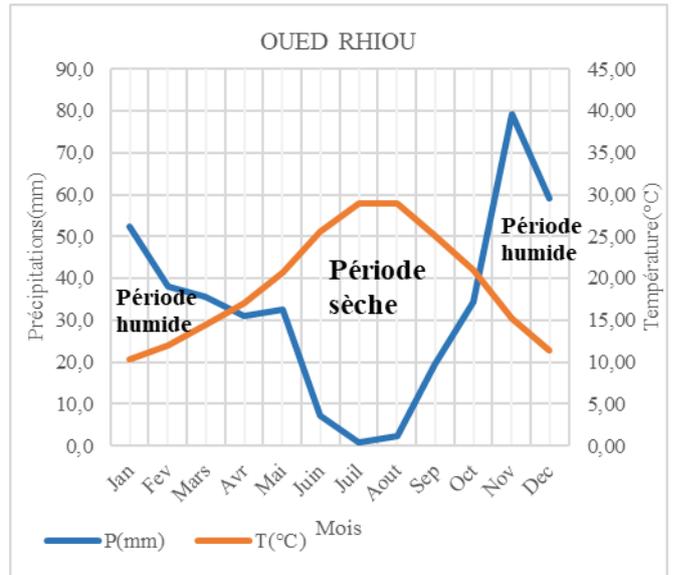
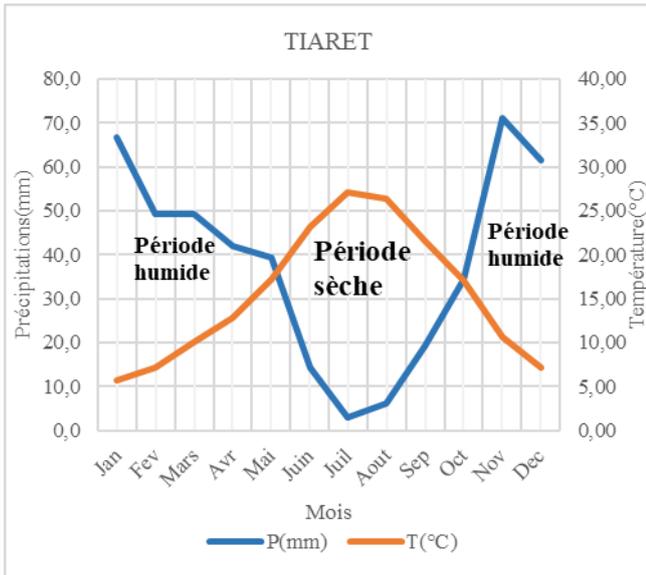
L'examen de la figure III.9, met en évidence deux périodes distinctes :

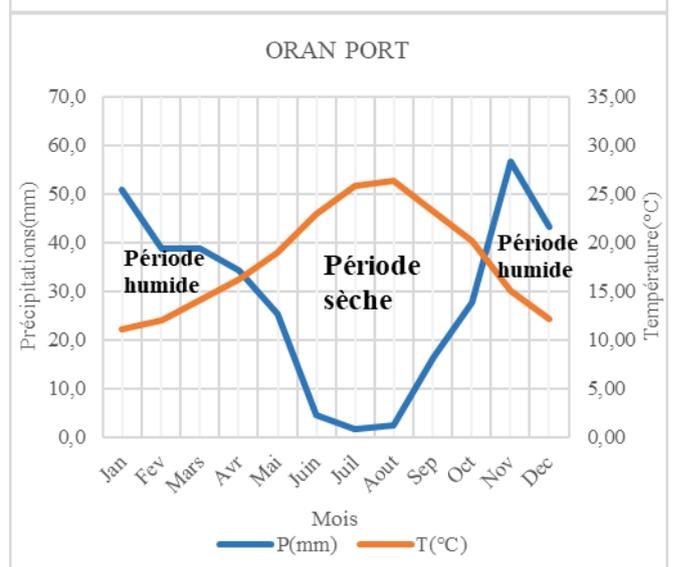
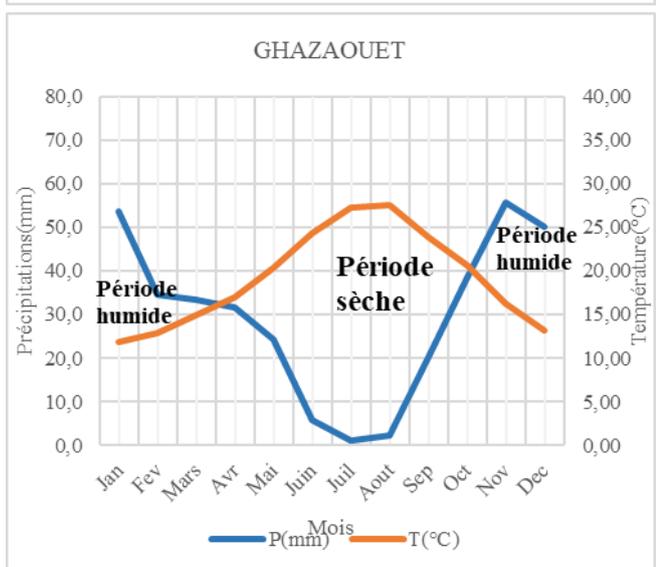
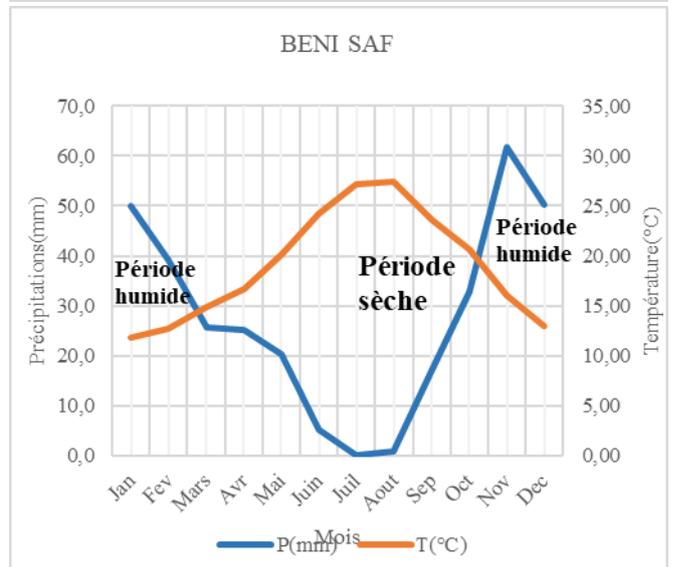
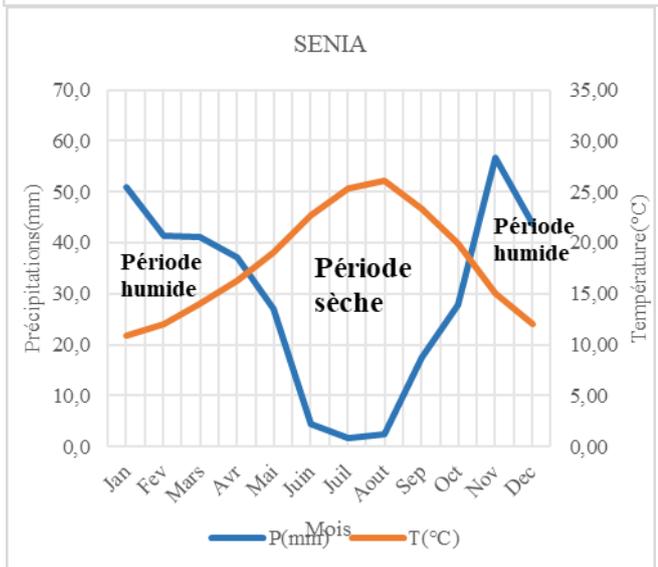
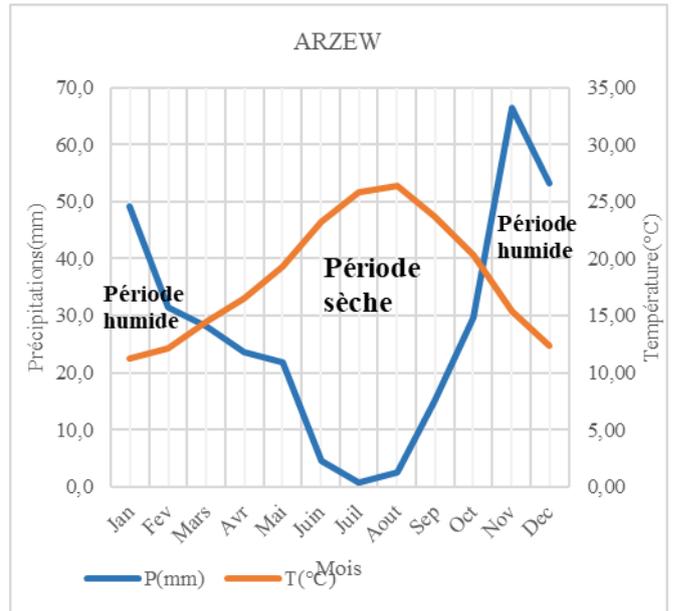
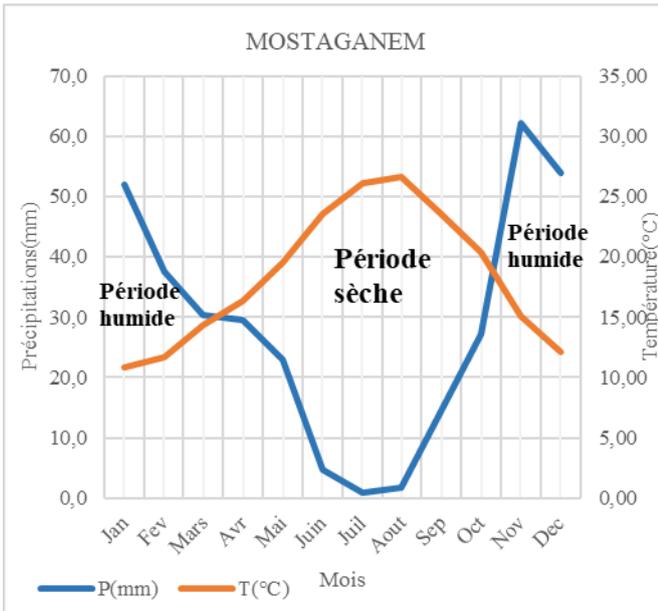
- ❖ Période sèche : Cette période est caractérisée par une courbe des précipitations située en dessous de la courbe des températures ( $P < 2T$ ). Pour la plupart des stations, cette période sèche s'étend de Mai à Octobre. (Tenes, Tiaret, Ghriss, Saida, Sidi Ali Benyoub, Sidi Bel Abbes, Senia, Nedroma, Tlemcen, Beni Bahdel, Chouly, Sidi Medjahed, Sabra, Lalla Maghnia, Beni Ouassine, Khemis, Hennaya, Ouled Mimoun et Sebdo), certaines stations ont une période sèche s'étendant de Avril à Octobre

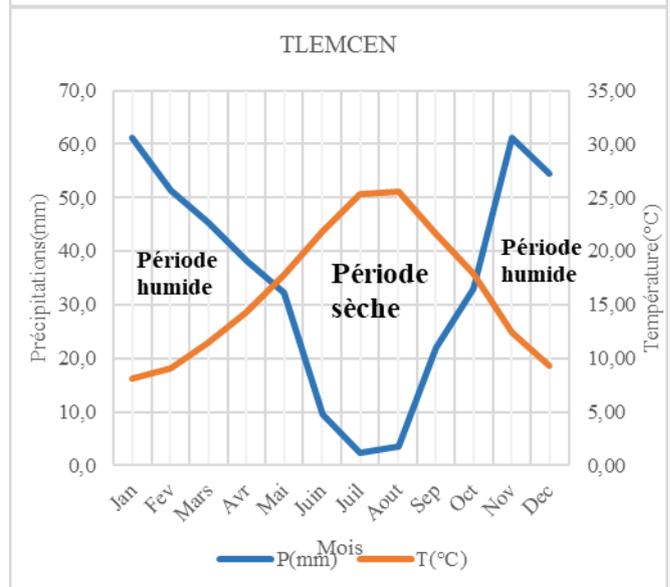
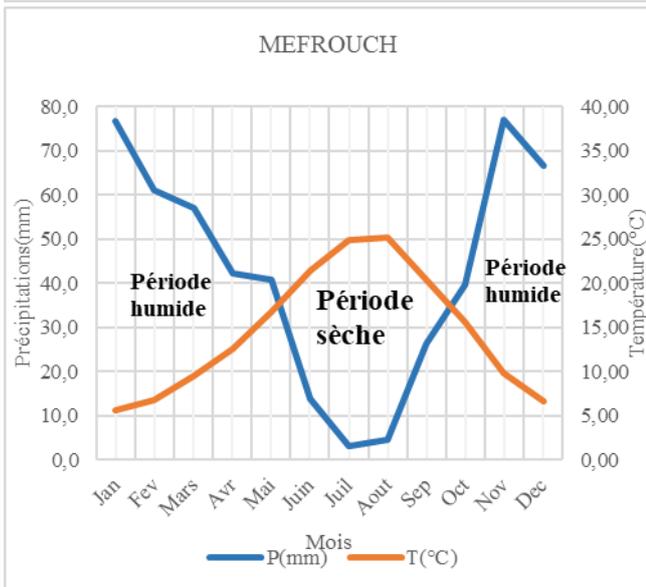
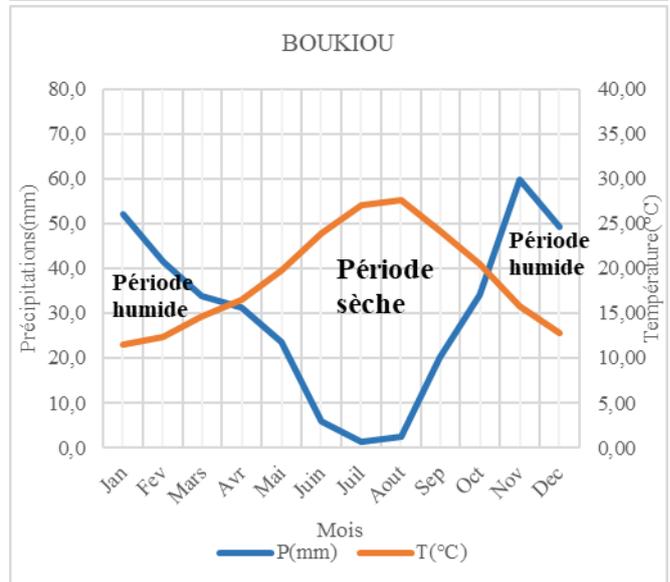
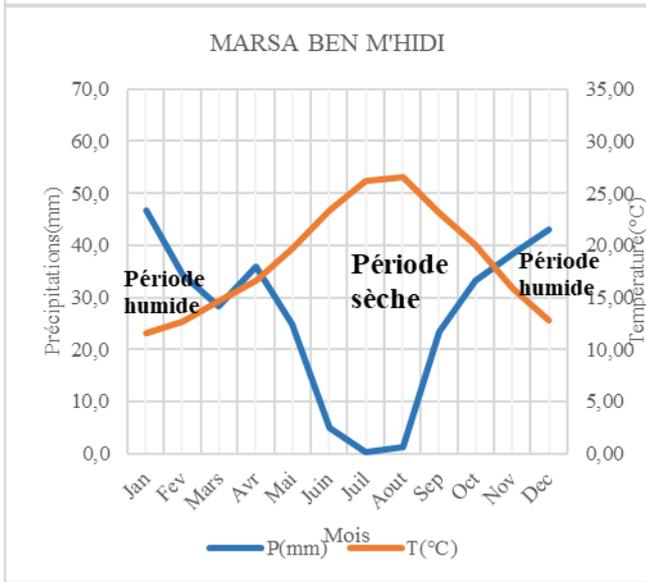
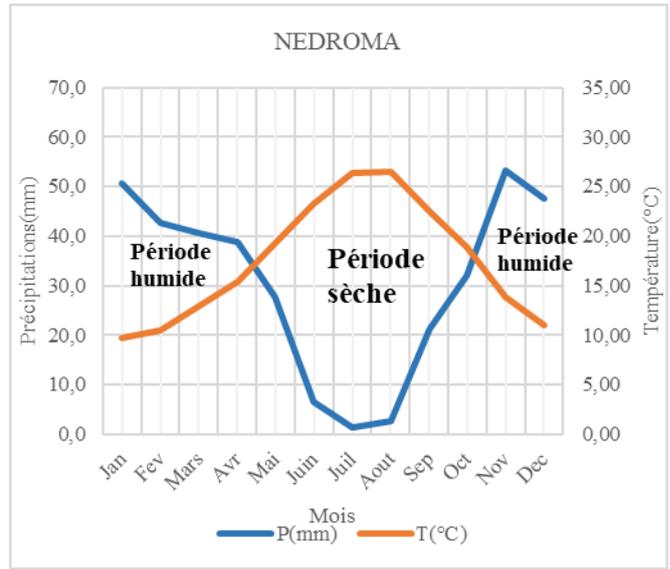
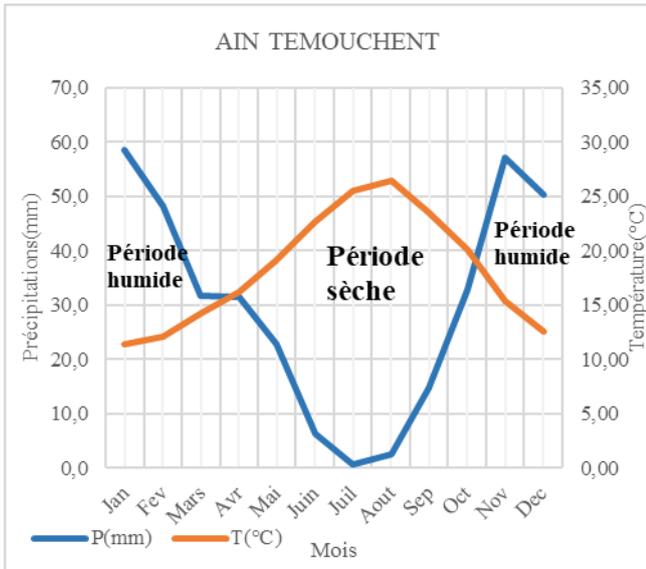
(Achaacha, Chelif, Relizane, Oued Rhiou, Mostaganem, Oran Port, Ain Temouchent, Boukiou, Bensekrane, Pierre Du Chat, Remchi et Hammam Boughrara). Autres stations ont une période sèche qui se déroule de Mai à Septembre (Mefrouch et Lalla Setti). Quant au reste des stations (Arzew, Beni Saf et Marsa Ben M'Hidi), elles présentent une période sèche qui se déroule de Mars à Octobre. La période sèche correspond à un déficit en eau.

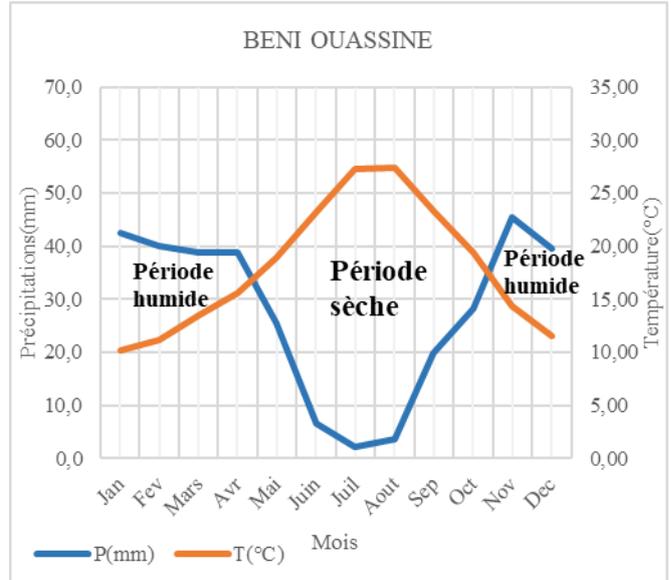
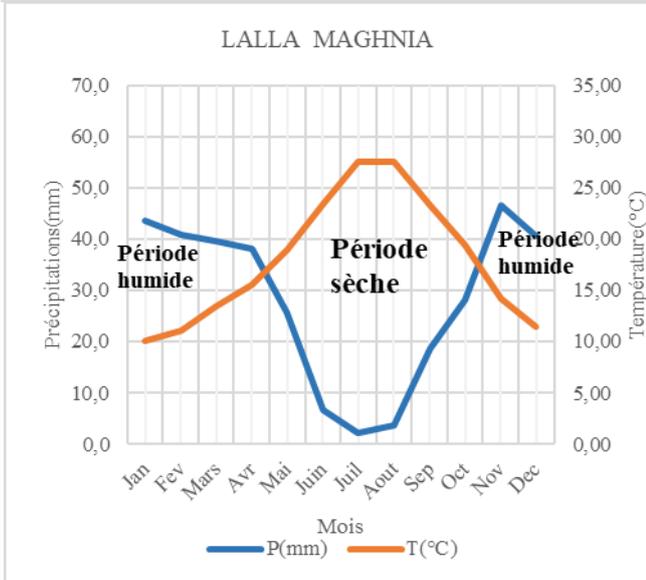
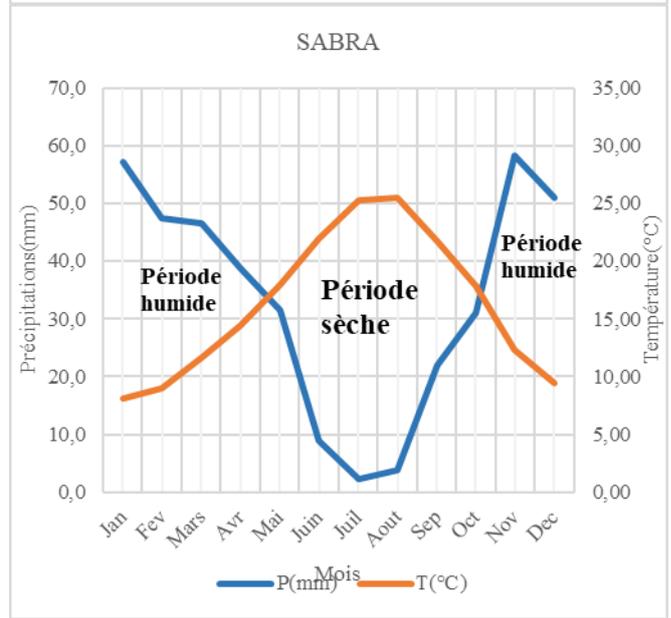
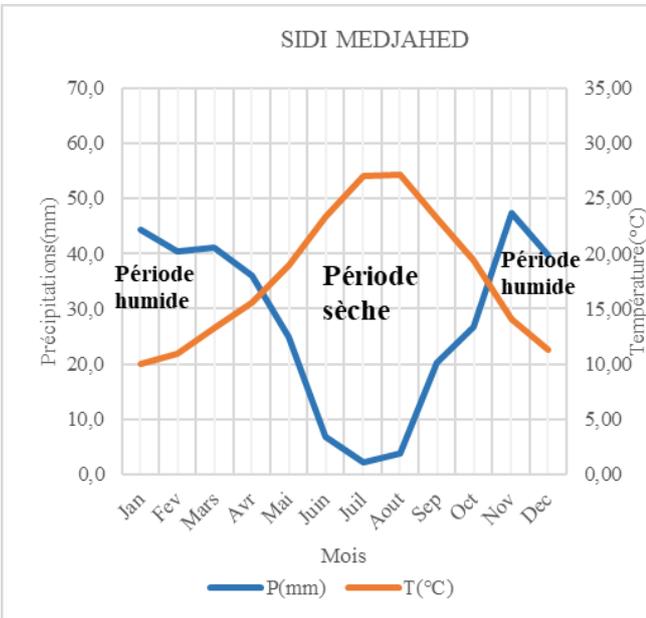
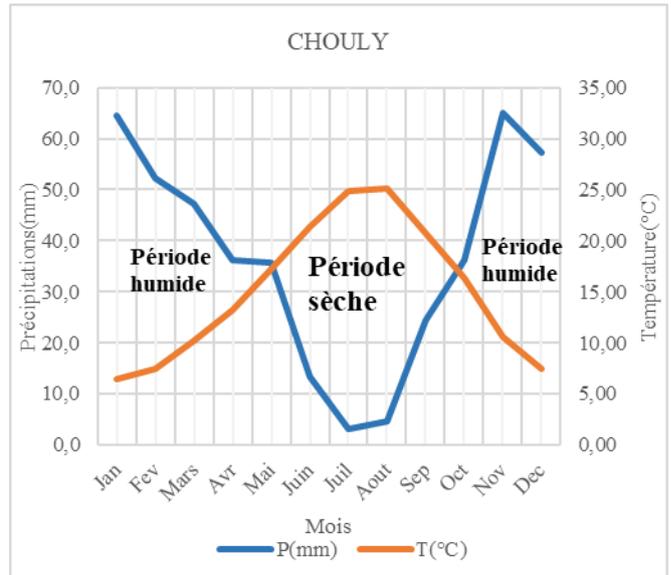
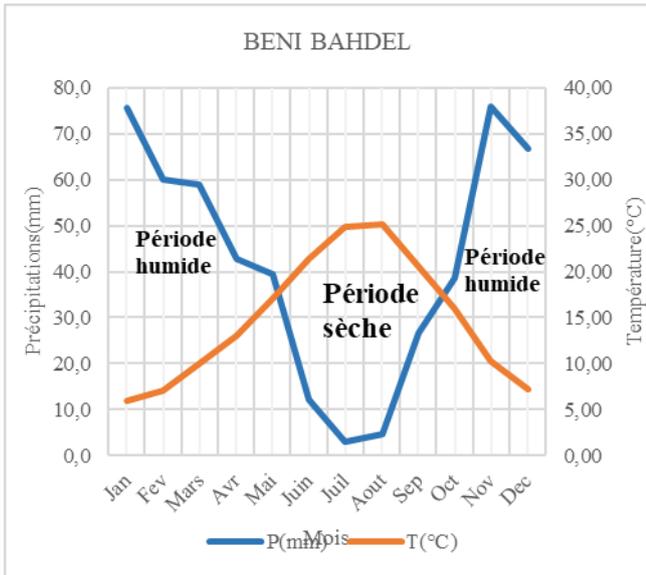
- ❖ Période humide : lorsque la courbe des précipitations dépasse la courbe des températures ( $P > T$ ), donc elle couvre les mois restants de l'année pour chaque station pluviométrique. Durant cette période on assiste à un excédent en eau.

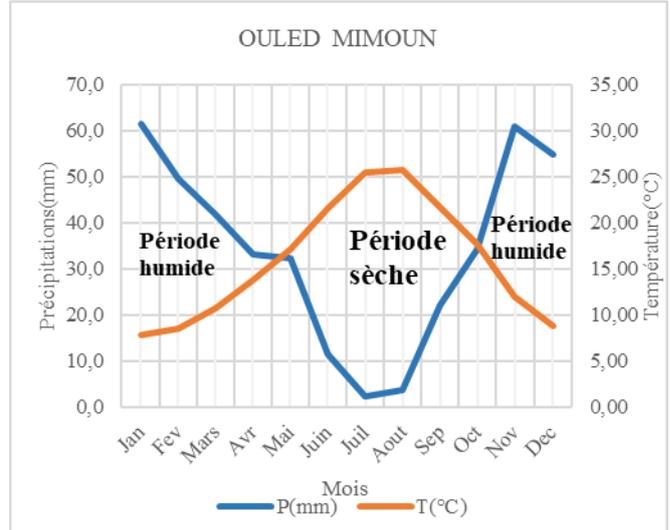
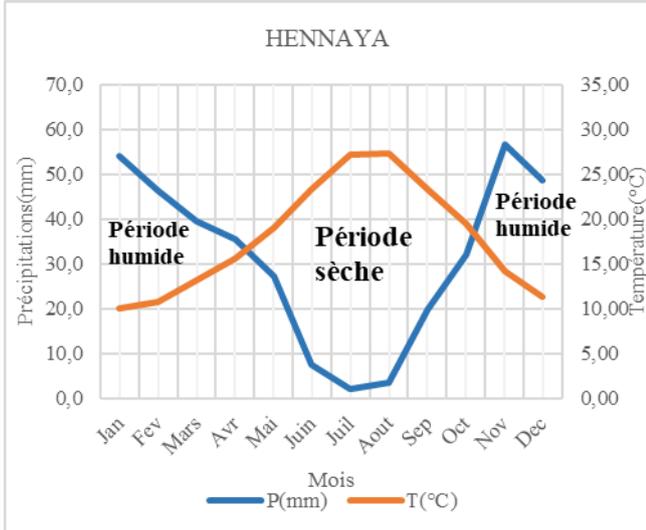
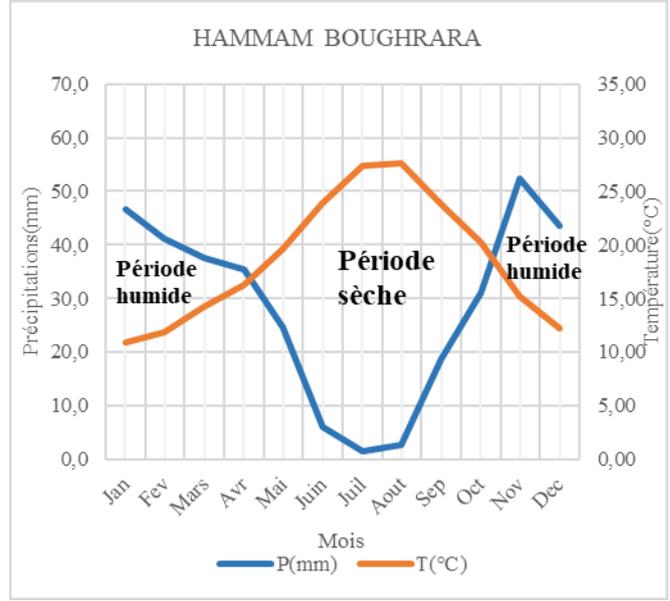
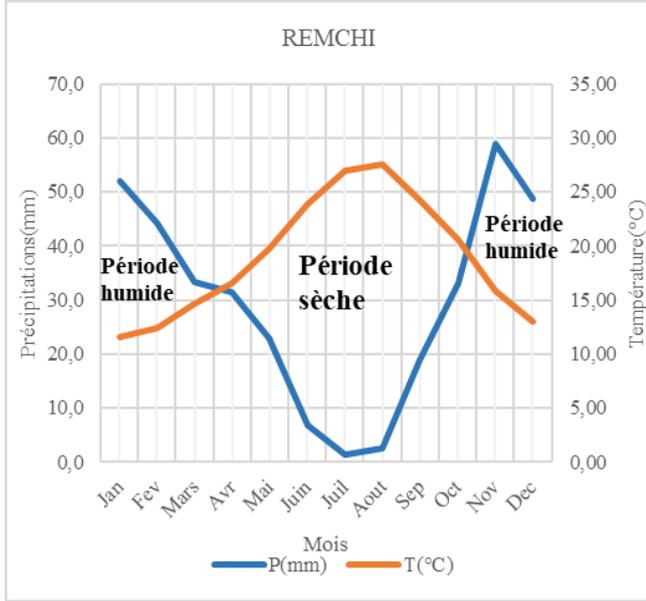
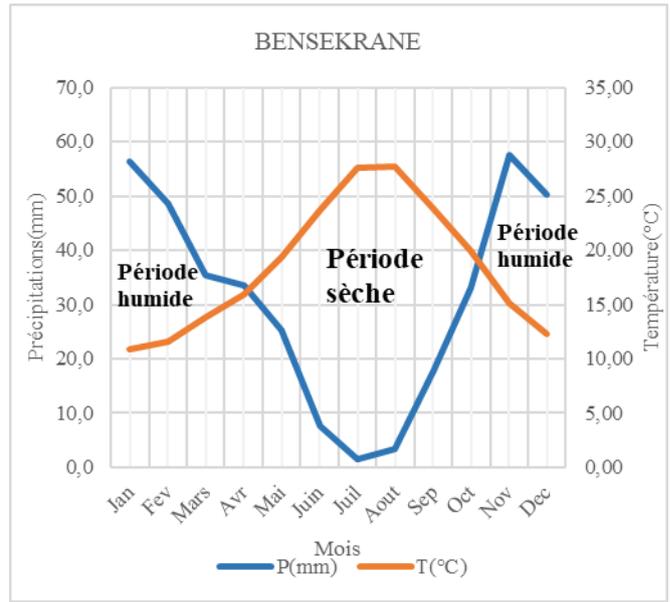
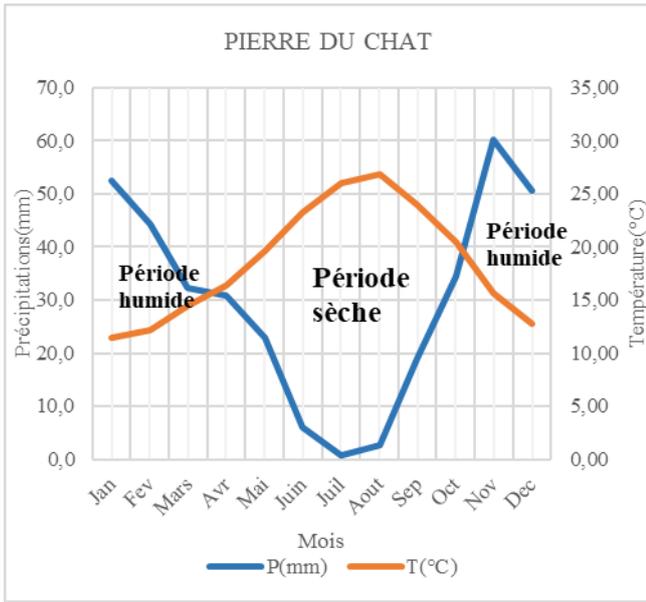












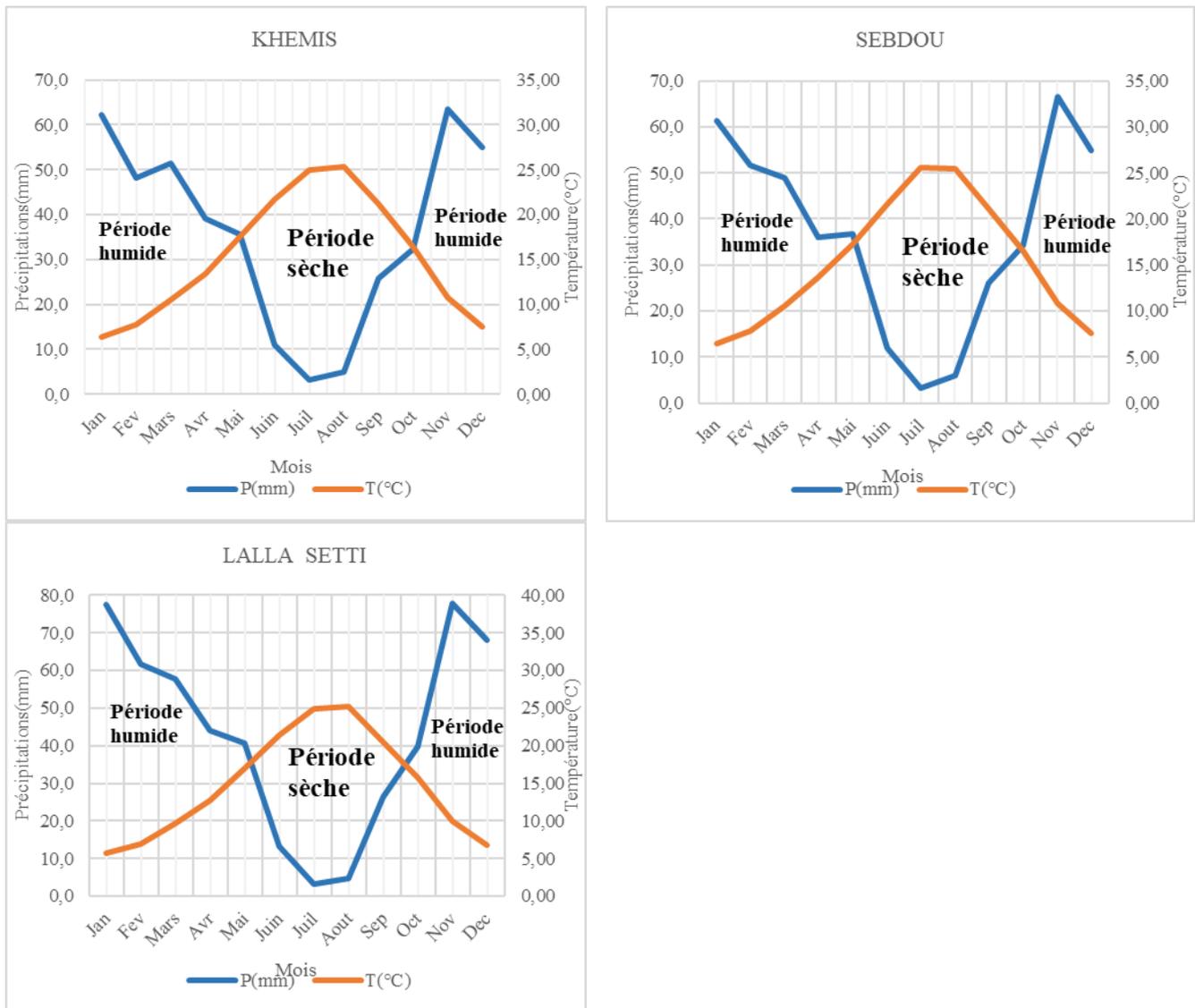


Figure III.9: Diagramme pluviothermique des stations de mesure (1982 – 2023)

**III.4.2. Indice d’aridité de De. Martonne (Lebourgeois, 2010)**

Cet indice, noté "I" et établi par le géographe De Martonne, mesure l'aridité à l'échelle annuelle et mensuelle en prenant en compte à la fois les données pluviométriques et celles des températures pour la même période (Chebbah et al, 2018). Une région présentant des indices d'aridité élevés est associée à une variabilité accrue des ressources en eau. (Pellicone et al, 2019).

**a- Indice d’aridité annuel de De. Martonne**

Il est donné par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{10+T} \quad (\text{Eq. III.1})$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Pour caractériser les différents types de climats, De Martonne a suggéré la classification suivante :

Tableau III.7: Classification du climat selon De Martonne

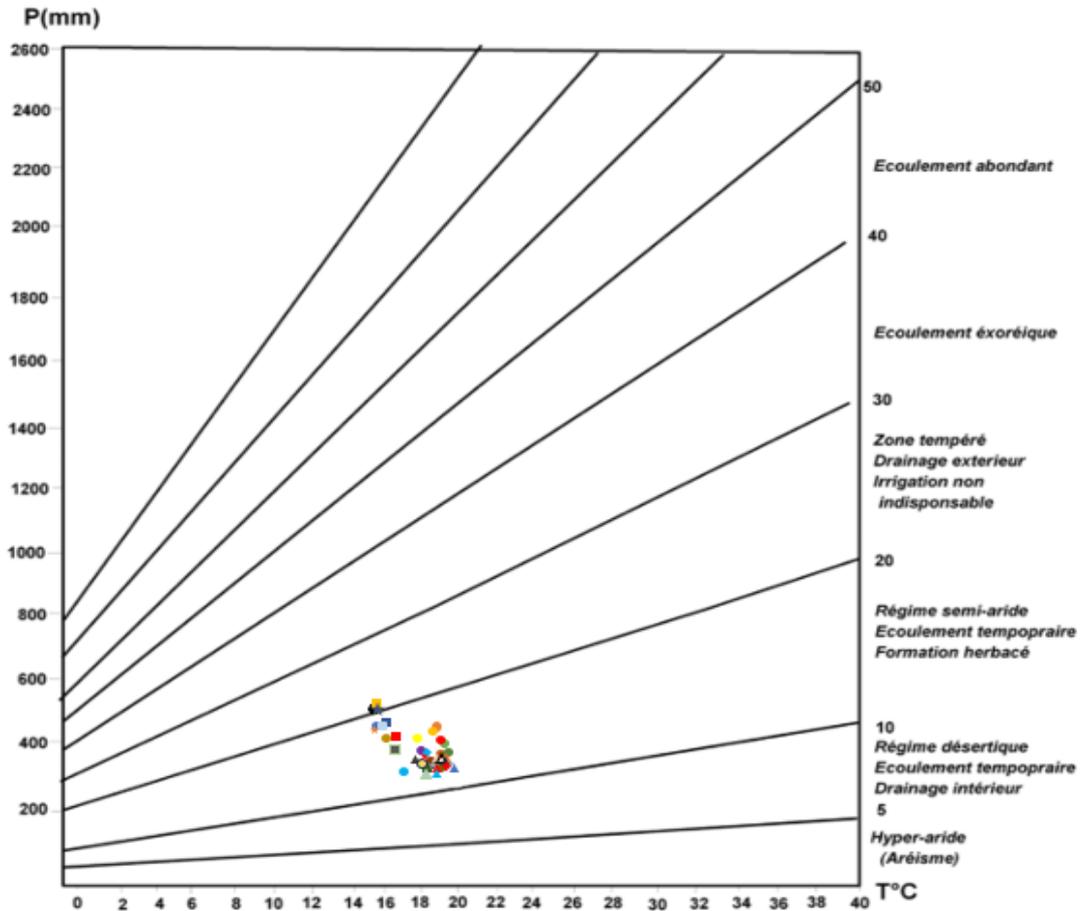
Valeur de I	I<5	5<I<7,5	7,5<I<10	10<I<20	20<I<30	I>30
Type du climat	Hyperaride	Désertique	Steppique	Semi-aride	Tempéré	Humide

Les résultats de calcul de l'indice d'aridité sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.8 : Indices de De Martonne des stations de mesure des précipitations (1982 – 2023)

Station	I	Station	I	Station	I
TENES	15,9	BENI SAF	11,3	LALLA MAGHNIA	11,9
ACHAACHA	15,3	GHAZAOUET	12,0	BENI OUASSINE	11,8
CHELIF	12,8	ORAN PORT	12,1	PIERRE DU CHAT	12,5
RELIZANE	12,4	AIN TEMOUCHENT	12,6	BENSEKRANE	13,0
TIARET	17,9	NEDROMA	13,3	REMCHI	12,3
OUED RHIOU	13,4	MARSA BEN M'HIDI	11,0	HAMMAM BOUGHRARA	11,9
GHRISS	15,3	BOUKIOU	12,3	HENNAYA	13,4
SAIDA	12,4	MEFROUCH	20,7	OULED MIMOUN	15,7
SIDI ALI BENYOUB	14,6	TLEMCEN	15,8	KHEMIS	17,1
SIDI BEL ABBES	14,2	BENI BAHDEL	20,3	SEBDOU	17,2
MOSTAGANEM	11,9	CHOULY	17,6	LALLA SETTI	20,8
ARZEW	11,5	SIDI MEDJAHED	12,0		
SENIA	12,5	SABRA	15,2		

Selon la classification de De Martonne, la majorité des stations étudiées se caractérisent par un climat semi-aride. Toutefois, certaines exceptions ont été observées pour les stations de Beni Bahdel, Mefrouch et Lalla Setti, qui présentent un climat relativement tempéré. Cette classification est corroborée par les valeurs moyennes annuelles de température et de précipitations présentées dans l'abaque de De Martonne (fig. III.10).



- Tenes ● Achaacha ● Chelif ● Relizane ● Tiaret ● Oued Rhio ● Ghriss ● Saida ● Sidi Ali Benyoub ●
- Sidi Bel Abbes ● Mostaganem ● Arzew ● Senia ● Beni Saf ● Ghazaouet ● Oran Port ● Ain Temouchent ●
- Nedroma ● Marsa Ben M'Hidi ● Boukiou ● Mefrouch ● Tlemcen ● Beni Bahdel ● Chouly ● Sidi Medjahed ●
- Sabra ● Lalla Maghnia ● Beni Ouassine ● Pierre du chat ● Bensekrane ● Remchi ● Hammam Boughrara ●
- Hennaya ● Ouled Mimoun ● Khemis ● Sebdu ● Lalla Setti ●

Figure III.10: Classification du climat selon l'abaque de Martonne

**b- Indice d'aridité mensuel de De Martonne**

Il est donné par la formule suivante :

$$i = \frac{12 p}{10+t} \quad (\text{Eq. III.2})$$

p : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

t : Température moyenne mensuelle (°C).

Nous présentons dans le tableau III.9 la classification du climat mensuel pour les différentes stations de notre région d'étude sur la période 1982 à 2023. Les données montrent que la période humide de la région s'étend de Novembre à Février durant laquelle, les précipitations sont les plus abondantes et dépassent les taux d'évaporation et les températures moyennes, créent des conditions favorables à l'humidité. De Mars à Mai et d'Octobre à Novembre, la région connaît un climat semi-aride où les précipitations sont modérées et

commencent à diminuer par rapport à la période humide. Les températures sont plus élevées, mais pas encore à leur maximum, et l'évapotranspiration commence à augmenter. Par contre, de Juin à Août, un climat hyperaride prédomine. Ce dernier cas est marqué par des températures élevées et des précipitations très faibles ou nulles, pouvant entraîner des conditions de sécheresse extrême.

Tableau III.9: Résultats de calcul de l'indice mensuel de De Martonne.

Stations	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
TENES	36,28	23,16	24,68	21,29	14,12	1,97	0,58	0,78	7,50	16,92	37,89	34,28
ACHAACHA	35,16	19,47	18,38	13,87	12,40	2,26	0,57	0,80	7,89	16,95	45,60	37,89
CHELIF	27,59	22,06	18,42	16,29	11,18	2,18	0,58	0,74	6,26	13,99	31,56	29,37
RELIZANE	32,04	21,06	16,45	14,54	11,64	1,90	0,28	0,52	5,09	11,40	30,51	31,48
TIARET	50,74	34,43	29,47	22,11	17,38	5,22	0,93	2,05	7,37	15,34	41,21	43,07
OUED RHIOU	30,89	20,89	17,46	13,76	12,73	2,45	0,28	0,76	6,62	13,37	37,64	33,19
GHRISS	39,15	26,42	20,01	16,41	13,56	3,54	0,29	1,69	7,16	12,52	39,58	41,78
SAIDA	28,65	21,67	19,84	16,84	11,25	3,64	1,50	2,65	7,80	14,54	24,41	21,65
SIDI ALI BENYOUB	38,63	27,89	20,21	15,93	13,16	4,48	0,85	1,52	7,92	14,43	29,75	33,36
SIDI BEL ABBES	39,69	25,27	19,11	17,72	12,64	3,03	0,54	1,14	6,11	15,07	27,57	34,13
MOSTAGANEM	30,02	20,83	15,04	13,46	9,36	1,67	0,28	0,54	5,18	10,71	29,69	29,22
ARZEW	27,74	17,08	13,79	10,64	8,94	1,62	0,28	0,82	5,41	11,77	31,41	28,54
SENIA	29,22	22,59	20,54	16,96	11,18	1,64	0,53	0,83	6,32	11,11	27,19	23,82
BENI SAF	27,47	20,72	12,36	11,33	8,11	1,86	0,00	0,27	6,13	12,91	28,44	26,33
GHAZAOUET	29,48	18,06	15,97	14,13	9,64	2,01	0,39	0,73	7,15	14,96	25,43	26,04
ORAN PORT	28,95	21,17	19,32	15,61	10,48	1,60	0,53	0,82	5,96	11,06	27,14	23,51
AIN TEMOUCHENT	32,76	26,09	15,66	14,48	9,36	2,31	0,25	0,83	5,27	13,12	27,00	26,80
NEDROMA	30,76	24,99	21,16	18,28	11,40	2,36	0,45	0,86	7,81	13,34	26,87	27,20
MARSA BEN M'HIDI	26,01	18,28	13,82	16,20	10,08	1,75	0,11	0,45	8,50	13,30	17,76	22,55
BOUKIOU	29,01	22,38	16,56	14,15	9,54	2,12	0,46	0,83	7,04	13,42	27,85	25,84
MEFROUCH	58,98	43,72	34,92	22,54	18,18	5,30	1,07	1,58	10,42	18,60	46,57	48,04
TLEMCEN	40,52	32,35	25,44	18,83	13,91	3,63	0,77	1,23	8,37	14,17	32,87	33,83
BENI BAHDEL	56,73	42,19	35,27	22,33	17,45	4,72	1,08	1,65	10,40	17,89	44,96	46,60
CHOULY	47,20	36,10	28,09	18,81	15,81	5,15	1,10	1,58	9,50	16,47	38,01	39,39
SIDI MEDJAHED	26,60	23,10	21,14	16,96	10,35	2,44	0,73	1,21	7,27	10,97	23,60	22,43
SABRA	37,84	29,97	25,87	19,09	13,52	3,31	0,77	1,26	8,34	13,34	31,26	31,62
LALLA MAGHNIA	26,04	23,19	20,19	17,85	10,57	2,37	0,68	1,17	6,74	11,46	23,01	22,64
BENI OUASSINE	25,32	22,67	19,83	18,20	10,58	2,37	0,67	1,16	7,14	11,47	22,39	22,03
PIERRE DU CHAT	29,31	23,93	15,85	13,98	9,23	2,17	0,24	0,84	6,75	13,58	28,17	26,62
BENSEKRANE	32,44	27,00	17,88	15,48	10,33	2,69	0,47	1,10	6,28	13,28	27,52	27,13
REMCHI	28,95	23,71	16,20	14,22	9,21	2,38	0,46	0,83	6,62	13,03	27,45	25,41
HAMMAM BOUGHRARA	26,78	22,58	18,58	16,13	10,00	2,11	0,46	0,87	6,67	12,35	24,94	23,39
HENNAYA	32,38	26,78	20,41	16,63	11,21	2,69	0,71	1,15	7,14	13,01	28,08	27,45
OULED MIMOUNE	41,54	31,91	24,23	16,78	14,32	4,35	0,81	1,23	8,40	14,84	33,29	34,87
KHEMIS	45,87	32,66	29,96	20,05	15,48	4,14	1,06	1,66	9,97	14,65	36,81	37,81
SEBDOU	44,82	34,59	28,51	18,32	16,19	4,54	1,10	1,99	10,00	15,47	38,34	37,49
LALLA SETTI	59,33	43,84	35,14	23,20	18,12	5,02	1,06	1,58	10,40	18,54	46,87	48,83

### III.4.3. Indice de Lang

#### a- Indice de Lang annuel

Il est donné par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T} \quad (\text{Eq. III.3})$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Tableau III.10: Classification climatique annuel d'après Lang

Valeur de I	Zone
0-20	Désert
20-40	Aride
40-60	Semi-aride (Steppe et la savane)
60-100	Semi-humide (Forêt clair)
100-160	Humide (Grandes forêts)
>160	Hyper humide (prairies et toundras)

Le tableau III.11, présente la classification du climat selon l'indice de Lang pour les différentes stations de notre région d'étude durant la période de 1982 à 2023. Les résultats montrent que notre région se classe principalement dans les zones désertiques et arides.

Tableau III.11: Résultats de calcul de l'indice annuel de Lang.

Station	I	Station	I	Station	I
TENES	24,4	BENI SAF	17,3	LALLA MAGHNIA	18,5
ACHAACHA	23,6	GHAZAOUET	18,3	BENI OUASSINE	18,4
CHELIF	19,4	ORAN PORT	18,8	PIERRE DU CHAT	19,2
RELIZANE	18,9	AIN TEMOUCHENT	19,6	BENSEKRANE	20,0
TIARET	29,5	NEDROMA	20,8	REMCHI	18,7
OUED RHIOU	20,4	MARSA BEN M'HIDI	16,9	HAMMAM BOUGHRARA	18,3
GHRISS	23,9	BOUKIOU	18,8	HENNAYA	20,8
SAIDA	19,7	MEFROUCH	34,8	OULED MIMOUN	25,6
SIDI ALI BENYOUB	23,7	TLEMCEN	25,6	KHEMIS	28,3
SIDI BEL ABBES	22,5	BENI BAHDEL	33,9	SEBDOU	28,4
MOSTAGANEM	18,4	CHOULY	29,2	LALLA SETTI	35,0
ARZEW	17,7	SIDI MEDJAHED	18,8		
SENIA	19,5	SABRA	24,5		

#### b- Indice de Lang mensuel

Il est donné par la formule suivante :

$$i = \frac{p}{t} \quad (\text{Eq. III.4})$$

p : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

t : Températures moyennes mensuelles (°C).

Tableau III.12: Classification climatique mensuelle d'après Lang.

i	Zone
0-1	Déserts
1-2	Aride
2-3	Semi-aride
3-4	Déficient
4-5	Semi-humide
5-6	Humide
>6	Hyper humide

D'après les résultats présentés dans le tableau III.13 nous distinguons généralement l'appartenance à des zones différentes :

- **En Janvier**, les stations météorologiques de Tenes, Achaacha, Relizane, Oued Rhiou, Saida, Ain Temouchent, Nedroma, Bensekrane, et Hennaya connaissent un climat humide. Les stations de Chelif, Mostaganem, Arzew, Senia, Beni Saf, Ghazaouet, Oran Port, Marsa Ben M'hidi, Boukiou, Sidi Medjahed, Lalla Maghnia, Beni Ouassine, Pierre du Chat, Remchi, et Hammam Bougghrara ont un climat semi-humide. Les autres stations ont un climat hyper humide.
- **En Février**, la plupart des stations météorologiques, notamment Tenes, Achaacha, Chelif, Relizane, Oued Rhiou, Saida, Mostaganem, Senia, Beni Saf, Oran Port, Ain Temouchent, Boukiou, Sidi Medjahed, Lalla Maghnia, Beni Ouassine, Pierre du Chat, Remchi, et Hammam Bougghrara, ont un climat déficient. Cependant, Arzew, Ghazaouet, et Marsa Ben M'hidi connaissent un climat semi-aride. Gheriss, Sidi Ali Benyoub, Sidi Bel Abbes, Nedroma, Bensekrane, et Hennaya ont un climat semi-humide, tandis que les autres stations ont des conditions climatiques variées avec des niveaux d'humidité différents.
- **Mars** : Certaines, telles que Tenes, Gheriss, Saida, Sidi Ali Benyoub, Nedroma, Tlemcen, Sidi Medjahed et Ouled Mimoun, connaissent un climat déficient. Pendant ce temps, Achaacha, Chelif, Relizane, Sidi Bel Abbes, Mostaganem, Senia, Ghazaouet, Oran Port, Ain Temouchent, Boukiou, Lalla Maghnia, Beni Ouassine, Pierre du Chat, Bensekrane, Remchi, Hammam Bougghrara et Hennaya affichent des conditions semi-arides. D'autre part, des endroits comme Lalla Setti, Beni Bahdel et Mefrouch connaissent un climat humide. Autres stations comme Arzew, Beni Saf et Marsa Ben M'hidi ont un climat aride Tandis que, les autres stations météorologiques présentent des conditions semi-humides.
- **Avril** : Les stations de Tiaret, Mefrouch, Beni Bahdel et Lalla Setti affichent un climat déficient, tandis qu'Achaacha, Relizane, Oued Rhiou, Mostaganem, Arzew, Beni Saf, Ghazaouet, Ain Temouchent, Boukiou, Pierre du Chat et Remchi connaissent des conditions arides. Les autres stations présentent un climat semi-aride.
- **Mai** : les stations de Tiaret, Mefrouch, Beni Bahdel, Chouly, Khemis, Sebdu et Lalla Setti connaissent un climat semi-aride, tandis que toutes les autres stations enregistrent un climat aride.

- **De Juin à Août** : Le climat est désertique pendant cette période d'Eté.
- **Septembre** : un mois avec un climat aride pour les stations : Marsa Ben M'Hidi, Mefrouch, Tlemcen, Beni Bahdel, Chouly, Sabra, OuledMimoune, Khemis, Sebdu et Lalla setti. Et un climat désert pour les stations restantes
- **Octobre** : les stations de Tenes, Achaacha, Tiaret, Mefrouch, Beni Bahdel, Chouly, Sebdu et Lalla Setti connaissent un climat semi-aride, tandis que les autres stations enregistrent des conditions arides
- **Novembre** : connais des climats variants. Que la station Marsa Ben Mhidi a un climat semi-aride. D'autres stations (Tenes, Oued Rhiou, Ghriss, Ouled Mimoun et Khemis) ont un climat humide. 7 stations (Achaacha, Tiaret, Mefrouch, Beni Bahdel, Chouly, Sebdu et Lalla Setti) ont un climat hyper humide. Tandis que les stations restantes ont un climat déficient
- **Décembre** : Certaines stations telles que Tenes, Achaacha, Oued Rhiou, Sidi Ali Benyoub, Sidi Bel Abbes, Tlemcen et Sabra connaissent un climat humide. Les stations de Tiaret, Ghriss, Mefrouch, Beni Bahdel, Chouly, Ouled Mimoun, Khemis, Sebdu et Lalla Setti présentent des conditions hyperhumides. En revanche, Chelif, Relizane, Mostaganem, Arzew, Ain Temouchent, Nedroma, Bensekrane et Hennaya ont un climat semi-humide. Les autres stations connaissent des conditions climatiques déficientes.

Tableau III.13: Résultats de calcul de l'indice annuel de Lang.

Stations	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
TENES	5,77	3,53	3,51	2,86	1,77	0,23	0,07	0,09	0,88	2,09	5,18	5,17
ACHAACHA	5,66	3,01	2,62	1,87	1,56	0,27	0,07	0,09	0,93	2,10	6,33	5,82
CHELIF	4,53	3,38	2,62	2,17	1,38	0,25	0,07	0,08	0,73	1,72	4,36	4,58
RELIZANE	5,24	3,27	2,33	1,92	1,44	0,22	0,03	0,06	0,59	1,41	4,24	4,91
TIARET	11,55	6,88	4,90	3,28	2,29	0,62	0,11	0,24	0,90	2,03	6,64	8,59
OUED RHIOU	5,07	3,20	2,46	1,82	1,57	0,28	0,03	0,09	0,77	1,65	5,20	5,20
GHRISS	7,04	4,39	3,01	2,25	1,72	0,42	0,03	0,19	0,85	1,57	5,72	6,88
SAIDA	5,35	3,74	3,03	2,38	1,44	0,43	0,17	0,30	0,94	1,87	3,64	3,78
SIDI ALI BENYOUB	7,28	4,94	3,21	2,28	1,74	0,55	0,10	0,18	0,96	1,87	4,51	5,88
SIDI BEL ABBES	6,92	4,16	2,89	2,46	1,63	0,36	0,06	0,13	0,73	1,91	3,98	5,54
MOSTAGANEM	4,81	3,22	2,13	1,81	1,18	0,20	0,03	0,06	0,62	1,33	4,11	4,44
ARZEW	4,37	2,59	1,94	1,42	1,13	0,19	0,03	0,09	0,64	1,46	4,32	4,30
SENIA	4,67	3,45	2,93	2,28	1,42	0,20	0,06	0,10	0,75	1,39	3,77	3,64
BENI SAF	4,23	3,08	1,72	1,51	1,01	0,22	0,00	0,03	0,73	1,60	3,84	3,89
GHAZAOUET	4,53	2,67	2,22	1,87	1,20	0,24	0,04	0,08	0,85	1,85	3,42	3,82
ORAN PORT	4,59	3,24	2,75	2,10	1,33	0,19	0,06	0,09	0,71	1,38	3,76	3,58
AIN TEMOUCHENT	5,12	3,97	2,22	1,95	1,19	0,28	0,03	0,10	0,63	1,64	3,71	4,01
NEDROMA	5,19	4,07	3,12	2,51	1,44	0,28	0,05	0,10	0,94	1,70	3,86	4,33
MARSA BEN M'HIDI	4,05	2,73	1,94	2,17	1,27	0,21	0,01	0,05	1,01	1,66	2,41	3,34
BOUKIOU	4,51	3,38	2,32	1,89	1,20	0,25	0,05	0,09	0,83	1,66	3,79	3,83
MEFROUCH	13,70	9,02	5,95	3,37	2,41	0,65	0,12	0,18	1,29	2,54	7,83	10,04
TLEMCEN	7,53	5,66	3,97	2,67	1,81	0,44	0,09	0,14	1,02	1,84	4,95	5,83
BENI BAHDEL	12,62	8,47	5,88	3,29	2,31	0,58	0,13	0,19	1,29	2,42	7,40	9,30

CHOULY	10,08	7,07	4,64	2,76	2,08	0,63	0,13	0,18	1,17	2,21	6,17	7,71
SIDI MEDJAHED	4,44	3,68	3,09	2,32	1,32	0,29	0,08	0,14	0,87	1,39	3,36	3,53
SABRA	7,05	5,26	4,01	2,69	1,75	0,40	0,09	0,15	1,02	1,73	4,72	5,44
LALLA MAGHNIA	4,32	3,67	2,93	2,44	1,34	0,28	0,08	0,13	0,80	1,45	3,26	3,53
BENI OUASSINE	4,19	3,58	2,88	2,49	1,35	0,28	0,08	0,13	0,85	1,45	3,17	3,43
PIERRE DU CHAT	4,57	3,63	2,23	1,88	1,16	0,26	0,03	0,10	0,80	1,69	3,84	3,96
BENSEKRANE	5,19	4,18	2,56	2,10	1,31	0,32	0,05	0,13	0,74	1,66	3,82	4,11
REMCHI	4,49	3,58	2,28	1,90	1,15	0,28	0,05	0,09	0,78	1,62	3,74	3,75
HAMMAM BOUGHRARA	4,27	3,48	2,64	2,17	1,26	0,25	0,05	0,10	0,79	1,54	3,45	3,54
HENNAYA	5,39	4,29	3,00	2,28	1,42	0,32	0,08	0,13	0,85	1,64	3,99	4,31
OULED MIMOUN	7,92	5,75	3,90	2,41	1,89	0,53	0,09	0,14	1,02	1,93	5,10	6,19
KHEMIS	9,88	6,24	4,86	2,91	2,02	0,50	0,12	0,19	1,22	1,96	5,93	7,36
SEBDOU	9,52	6,54	4,62	2,65	2,13	0,55	0,13	0,23	1,23	2,07	6,15	7,27
LALLA SETTI	13,62	8,95	5,95	3,46	2,40	0,61	0,12	0,18	1,29	2,53	7,83	10,08

#### III.4.4. Indice d'aridité d'Angström

En 1936, Angström propose une modification de l'indice de De Martonne. Il précise que l'indice d'aridité est proportionnel à la durée des précipitations, ce qui le lie directement à la somme des précipitations et inversement proportionnel à une fonction exponentielle de la température (Khedim, 2021). Il est donné par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{1,07^T} \quad (\text{Eq. III.5})$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Tableau III.14: Résultats de calcul de l'indice mensuel de Lang.

Station	I	Station	I	Station	I
TENES	128,9	BENI SAF	90,8	LALLA MAGHNIA	98,6
ACHAACHA	124,8	GHAZAOUET	96,0	BENI OUASSINE	98,0
CHELIF	101,9	ORAN PORT	99,7	PIERRE DU CHAT	101,3
RELIZANE	99,3	AIN TEMOUCHENT	103,8	BENSEKRANE	106,1
TIARET	160,0	NEDROMA	111,5	REMCHI	98,6
OUED RHIOU	106,9	MARSA BEN M'HIDI	89,6	H. BOUGHRARA	96,9
GHRIS	127,7	BOUKIOU	99,1	HENNAYA	111,1
SAIDA	106,0	MEFROUCH	189,3	OULED MIMOUN	139,1
SIDI ALI BENYOUB	128,3	TLEMCEN	138,4	KHEMIS	153,8
SIDI BEL ABBES	120,9	BENI BAHDEL	184,5	SEBDOU	154,6
MOSTAGANEM	97,6	CHOULY	158,8	LALLA SETTI	190,4
ARZEW	93,9	SIDI MEDJAHED	100,1		
SENIA	103,6	SABRA	132,6		

La modification de l'indice de De Martonne par Angström, en rendant l'indice d'aridité proportionnel à la durée des précipitations et inversement proportionnel à une fonction exponentielle de la température, fournit une évaluation plus nuancée et précise de l'aridité régionale. Cela renforce l'importance de considérer la variabilité temporelle des précipitations et l'impact des températures dans les études climatiques.

### III.4.5. Indice pluviométrique d'Angot

Cet indice analyse la relation entre les prélèvements effectués pendant la saison chaude et ceux de la saison froide sur une année donnée. Pour ce faire, il prend en compte les sommes des prélèvements mensuels en fonction des conditions de température (Kouassi et al., 2022). Il est calculé selon la formule suivante :

$$I = \frac{\sum P (6 \text{ mois les plus chauds})}{\sum P (6 \text{ mois les plus froids})} \quad (\text{Eq. III.6})$$

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

Tableau III.15 : Classification selon l'indice d'Angot

I	Caractérisation
I < 1	Période froide plus arrosée que la période chaude
I > 1	Période chaude plus arrosée que la période froide

Les résultats de calcul de cet indice sont présentés dans le tableau III.16, où nous remarquons que la période froide plus arrosée que la période chaude se déroule toute en long de la période 1982 à 2023 dans toutes les stations pluviométriques de notre région d'étude. Les précipitations sont significativement plus élevées pendant la période froide (généralement automne et hiver) comparativement à la période chaude (printemps et été). Cette tendance est constante sur toute la durée de l'étude, de 1982 à 2023.

Tableau III.16: Résultats de calcul de l'indice d'Angot.

Station	I	Station	I	Station	I
TENES	0,32	BENI SAF	0,30	LALLA MAGHNA	0,34
ACHAACHA	0,33	GHAZAOUET	0,36	BENI OUASSINE	0,35
CHELIF	0,34	ORAN PORT	0,30	PIERRE DU CHAT	0,32
RELIZANE	0,29	AIN TEMOUCHENT	0,29	BENSEKRANE	0,31
TIARET	0,34	NEDROMA	0,34	REMCHI	0,32
OUED RHIOU	0,33	MARSA BEN M'HIDI	0,39	H. BOUGHRARA	0,33
GHRIS	0,31	BOUKIOU	0,33	HENNAYA	0,33
SAIDA	0,46	MEFROUCH	0,34	OULED MIMOUNE	0,35
SIDI ALI BENYOUB	0,37	TLEMCEN	0,33	KHEMIS	0,35
SIDI BEL ABBES	0,33	BENI BAHDEL	0,33	SEBDOU	0,37
MOSTAGANEM	0,27	CHOULY	0,36	LALLA SETTI	0,33
ARZEW	0,30	SIDI MEDJAHED	0,34		
SENIA	0,30	SABRA	0,33		

### III.4.6. Coefficient pluviométrique relatif d'Angot

Ce coefficient permet de définir les mois pluvieux et les mois non pluvieux (Khedim, 2021), il est donné par la formule suivante :

$$CPR = \frac{MPMR}{MPMF} \quad (\text{Eq. III.7})$$

MPMR : Moyenne pluviométrique mensuelle réelle.

MPMF : Moyenne pluviométrique mensuelle fictive, est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$MPMF = \frac{TPA}{365} n_j \quad (\text{Eq. III.8})$$

TPA : Total pluviométrique annuel (mm).

$n_j$  : Nombre des jours du mois considéré.

Angot distingue deux classifications climatiques

Tableau III.17 : Classification selon le coefficient pluviométrique relatif d'Angot

CPR	Mois
<1	Non pluvieux
>1	Pluvieux

Pour déterminer le coefficient de pluviométrie réelle (CPR), nous devons calculer la moyenne pluviométrique mensuelle fictive (MPMF), laquelle fluctue en fonction du nombre de jours de chaque mois.

Tableau III.18: Résultats de calcul de MPMF

Stations	P an	31 jours	30 jours	28 jours
TENES	456,9	38,8	37,6	35,0
ACHAACHA	433,5	36,8	35,6	33,3
CHELIF	372,9	31,7	30,7	28,6
RELIZANE	360,3	30,6	29,6	27,6
TIARET	456,6	38,8	37,5	35,0
OUED RHIOU	392,3	33,3	32,2	30,1
GHRISS	426,0	36,2	35,0	32,7
SAIDA	334,9	28,4	27,5	25,7
SIDI ALI BENYOUB	379,9	32,3	31,2	29,1
SIDI BEL ABBES	387,8	32,9	31,9	29,7
MOSTAGANEM	337,7	28,7	27,8	25,9
ARZEW	326,5	27,7	26,8	25,0
SENIA	352,0	29,9	28,9	27,0
BENI SAF	328,8	27,9	27,0	25,2
GHAZAOUET	351,3	29,8	28,9	26,9
ORAN PORT	340,6	28,9	28,0	26,1
AIN TEMOUCHENT	357,3	30,3	29,4	27,4
NEDROMA	365,0	31,0	30,0	28,0
MARSA BEN M'HIDI	315,0	26,8	25,9	24,2
BOUKIOU	355,7	30,2	29,2	27,3
MEFROUCH	509,2	43,3	41,9	39,1
TLEMCEN	414,9	35,2	34,1	31,8
BENI BAHDEL	504,9	42,9	41,5	38,7
CHOULY	440,3	37,4	36,2	33,8
SIDI MEDJAHED	334,5	28,4	27,5	25,7
SABRA	398,6	33,9	32,8	30,6
LALLA MAGHNIA	333,8	28,3	27,4	25,6
BENI OUASSINE	330,8	28,1	27,2	25,4

PIERRE DU CHAT	356,3	30,3	29,3	27,3
BENSEKRANE	370,6	31,5	30,5	28,4
REMCHI	354,1	30,1	29,1	27,2
H. BOUGHRARA	340,9	29,0	28,0	26,2
HENNAYA	372,9	31,7	30,6	28,6
OULED MIMOUN	408,1	34,7	33,5	31,3
KHEMIS	432,4	36,7	35,5	33,2
SEBDOU	437,2	37,1	35,9	33,5
LALLA SETTI	514,7	43,7	42,3	39,5

D’après le tableau ci-dessous on considère que les mois de Mai à Septembre sont des mois non pluvieux, pour la plupart des stations, tandis que les autres mois de l’année sont des mois pluvieux, durant la période 1982 à 2023 de notre région d’étude.

Tableau III.19: Résultats de calcul de CPR

Stations	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
TENES	1,64	1,22	1,28	1,25	0,90	0,15	0,05	0,06	0,57	1,12	2,08	1,70
ACHAACHA	1,65	1,06	1,00	0,85	0,83	0,18	0,05	0,07	0,62	1,17	2,58	1,94
CHELIF	1,47	1,41	1,17	1,18	0,90	0,21	0,06	0,08	0,60	1,14	2,09	1,72
RELIZANE	1,78	1,37	1,09	1,11	0,97	0,19	0,03	0,05	0,50	0,95	2,08	1,90
TIARET	1,72	1,40	1,27	1,12	1,02	0,38	0,07	0,16	0,52	0,89	1,83	1,64
OUED RHIOU	1,57	1,27	1,07	0,96	0,98	0,23	0,03	0,07	0,60	1,04	2,37	1,83
GHRISS	1,68	1,35	1,03	1,00	0,92	0,29	0,03	0,15	0,57	0,86	2,15	2,01
SAIDA	1,52	1,36	1,28	1,25	0,94	0,37	0,17	0,29	0,77	1,21	1,62	1,25
SIDI ALI BENYOUB	1,79	1,51	1,10	1,02	0,92	0,38	0,08	0,14	0,67	1,05	1,71	1,69
SIDI BEL ABBES	1,92	1,43	1,08	1,16	0,91	0,26	0,05	0,11	0,52	1,11	1,65	1,83
MOSTAGANEM	1,82	1,45	1,06	1,07	0,80	0,17	0,03	0,06	0,52	0,95	2,17	1,94
ARZEW	1,77	1,26	1,01	0,88	0,79	0,17	0,03	0,09	0,56	1,07	2,39	1,98
SENIA	1,70	1,53	1,38	1,29	0,91	0,15	0,05	0,08	0,61	0,93	1,90	1,51
BENI SAF	1,79	1,56	0,92	0,93	0,73	0,20	0,00	0,03	0,63	1,18	2,21	1,86
GHAZAOUET	1,80	1,28	1,11	1,10	0,82	0,20	0,04	0,08	0,70	1,28	1,87	1,74
ORAN PORT	1,76	1,48	1,34	1,22	0,88	0,16	0,05	0,09	0,59	0,96	1,96	1,55
AIN TEMOUCHENT	1,93	1,76	1,04	1,08	0,75	0,21	0,02	0,08	0,50	1,08	1,89	1,71
NEDROMA	1,63	1,52	1,31	1,29	0,90	0,22	0,04	0,08	0,70	1,04	1,72	1,59
MARSA BEN M'HIDI	1,75	1,43	1,06	1,39	0,93	0,19	0,01	0,05	0,91	1,25	1,43	1,66
BOUKIOU	1,72	1,52	1,12	1,07	0,78	0,20	0,05	0,09	0,69	1,13	1,98	1,68
MEFROUCH	1,77	1,56	1,32	1,01	0,94	0,33	0,07	0,11	0,63	0,92	1,78	1,59
TLEMCEN	1,74	1,62	1,29	1,12	0,91	0,28	0,06	0,10	0,65	0,93	1,74	1,60
BENI BAHDEL	1,76	1,55	1,37	1,03	0,92	0,30	0,07	0,11	0,64	0,90	1,77	1,61
CHOULY	1,73	1,55	1,26	1,00	0,96	0,37	0,09	0,12	0,67	0,97	1,74	1,58
SIDI MEDJAHED	1,56	1,57	1,44	1,31	0,88	0,25	0,08	0,13	0,73	0,94	1,67	1,45
SABRA	1,69	1,55	1,38	1,19	0,93	0,27	0,07	0,11	0,67	0,91	1,72	1,56
LALLA MAGHNIA	1,54	1,59	1,39	1,39	0,90	0,24	0,07	0,13	0,68	0,99	1,64	1,48
BENI OUASSINE	1,51	1,58	1,38	1,43	0,91	0,24	0,07	0,13	0,73	1,00	1,62	1,45
PIERRE DU CHAT	1,73	1,62	1,07	1,05	0,75	0,21	0,02	0,09	0,65	1,14	1,99	1,72
BENSEKRANE	1,79	1,71	1,13	1,10	0,80	0,25	0,05	0,11	0,58	1,05	1,83	1,65
REMCHI	1,73	1,63	1,10	1,08	0,76	0,23	0,05	0,09	0,65	1,10	1,96	1,67
H. BOUGHRARA	1,61	1,57	1,29	1,26	0,85	0,21	0,05	0,09	0,67	1,07	1,81	1,55
HENNAYA	1,71	1,62	1,24	1,16	0,86	0,24	0,07	0,11	0,65	1,01	1,79	1,59
OULED MIMOUNE	1,77	1,58	1,21	0,99	0,94	0,34	0,07	0,11	0,66	0,99	1,76	1,63

KHEMIS	1,70	1,46	1,40	1,10	0,97	0,31	0,08	0,13	0,73	0,88	1,73	1,55
SEBDOU	1,65	1,54	1,32	1,00	0,99	0,33	0,09	0,16	0,72	0,92	1,79	1,52
LALLA SETTI	1,78	1,56	1,32	1,04	0,93	0,31	0,07	0,11	0,63	0,91	1,78	1,61

### III.4.7. Moyenne pluviométrique relative

Donnée par la formule suivante :

$$MPR = \frac{P}{p} \quad (\text{Eq. III.9})$$

P : Total pluviométrique annuel en valeur relative, qui est de 100 %.

p : Total pluviométrique mensuel en valeur relative.

Tableau III.20: Classification des mois

X	Mois
X<8,3	Non pluvieux
X>8,3	Pluvieux

D’après les résultats obtenus dans le tableau III.21, nous remarquons que pour la plupart des stations on a des mois non pluvieux de Mai à Septembre, tandis que les mois restants sont des mois pluvieux durant la période 1982 à 2023 dans notre région d’étude.

Tableau III.21: Résultats de calcul de la Moyenne pluviométrique mensuelle

Stations	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
TENES	13,91	9,33	10,88	10,23	7,69	1,23	0,39	0,53	4,67	9,50	17,68	13,97
ACHAACHA	14,01	8,11	8,50	6,98	7,07	1,47	0,40	0,57	5,11	9,92	21,94	15,92
CHELIF	12,53	10,80	9,95	9,72	7,65	1,72	0,51	0,65	4,95	9,66	17,75	14,11
RELIZANE	15,12	10,53	9,22	9,13	8,23	1,56	0,25	0,46	4,10	8,11	17,65	15,63
TIARET	14,60	10,78	10,77	9,20	8,63	3,15	0,63	1,36	4,25	7,56	15,57	13,50
OUED RHIU	13,33	9,73	9,06	7,89	8,32	1,85	0,23	0,63	4,94	8,79	20,16	15,06
GHRIS	14,27	10,36	8,79	8,18	7,77	2,38	0,22	1,24	4,69	7,28	18,26	16,53
SAIDA	12,88	10,42	10,87	10,24	7,97	3,04	1,42	2,45	6,33	10,31	13,75	10,31
SIDI ALI BENYOUB	15,19	11,56	9,31	8,36	7,85	3,10	0,66	1,19	5,52	8,88	14,49	13,89
SIDI BEL ABBES	16,34	11,00	9,16	9,52	7,69	2,14	0,42	0,89	4,30	9,45	14,01	15,06
MOSTAGANEM	15,42	11,14	9,02	8,76	6,82	1,38	0,25	0,49	4,30	8,03	18,41	15,98
ARZEW	15,05	9,66	8,61	7,22	6,69	1,37	0,25	0,76	4,64	9,10	20,33	16,29
SENIA	14,45	11,76	11,71	10,57	7,69	1,27	0,45	0,71	4,99	7,89	16,12	12,40
BENI SAF	15,17	11,96	7,78	7,67	6,20	1,61	0,00	0,26	5,21	10,02	18,81	15,31
GHAZAOUET	15,29	9,83	9,47	9,04	6,96	1,63	0,34	0,65	5,75	10,89	15,85	14,30
ORAN PORT	14,93	11,39	11,38	10,02	7,44	1,29	0,47	0,73	4,84	8,15	16,65	12,71
AIN TEMOUCHENT	16,37	13,47	8,86	8,84	6,38	1,76	0,21	0,71	4,12	9,19	16,01	14,09
NEDROMA	13,88	11,68	11,10	10,61	7,62	1,79	0,38	0,72	5,79	8,80	14,60	13,04
MARSA BEN M'HIDI	14,83	10,95	9,01	11,39	7,91	1,55	0,11	0,43	7,46	10,58	12,15	13,64
BOUKIOU	14,64	11,70	9,54	8,79	6,66	1,68	0,40	0,73	5,63	9,59	16,80	13,84
MEFROUCH	15,05	12,00	11,19	8,33	7,99	2,73	0,61	0,91	5,20	7,80	15,12	13,08
TLEMCEN	14,76	12,40	10,97	9,19	7,77	2,32	0,55	0,88	5,31	7,93	14,77	13,15
BENI BAHDEL	14,97	11,91	11,65	8,50	7,79	2,44	0,62	0,95	5,26	7,68	15,03	13,21

CHOULY	14,65	11,89	10,72	8,25	8,14	3,06	0,73	1,05	5,54	8,21	14,78	12,98
SIDI MEDJAHED	13,23	12,06	12,27	10,78	7,46	2,03	0,67	1,11	6,02	8,01	14,18	11,89
SABRA	14,32	11,92	11,70	9,74	7,90	2,21	0,57	0,94	5,53	7,77	14,60	12,81
LALLA MAGHNIA	13,07	12,21	11,84	11,41	7,65	1,97	0,63	1,10	5,61	8,43	13,93	12,13
BENI OUASSINE	12,87	12,09	11,73	11,72	7,70	1,98	0,63	1,10	6,00	8,51	13,72	11,95
PIERRE DU CHAT	14,73	12,44	9,09	8,64	6,40	1,69	0,21	0,73	5,35	9,66	16,91	14,16
BENSEKRANE	15,23	13,14	9,59	9,05	6,82	2,04	0,40	0,94	4,77	8,95	15,51	13,57
REMCHI	14,72	12,47	9,38	8,87	6,46	1,90	0,40	0,74	5,33	9,36	16,65	13,72
H. BOUGHRARA	13,70	12,04	11,00	10,36	7,24	1,75	0,42	0,80	5,51	9,10	15,34	12,74
HENNAYA	14,49	12,46	10,56	9,50	7,28	2,01	0,59	0,96	5,32	8,57	15,19	13,08
OULED MIMOUNE	15,07	12,12	10,25	8,15	7,95	2,80	0,58	0,90	5,43	8,41	14,92	13,42
KHEMIS	14,42	11,17	11,88	9,06	8,21	2,53	0,71	1,13	5,98	7,46	14,71	12,73
SEBDOU	14,05	11,79	11,18	8,24	8,39	2,74	0,74	1,34	5,94	7,83	15,21	12,53
LALLA SETTI	15,08	11,99	11,20	8,52	7,90	2,56	0,60	0,90	5,14	7,71	15,14	13,25

### III.4.8. Indice de Couagne

Cet indice permet de mesurer l'influence continentale sur le climat (Khedim, 2021). Il s'écrit de la manière suivante :

$$R = \frac{\sum CPR(6 \text{ mois les plus chauds})}{\sum CPR(6 \text{ mois les plus froids})} \quad (\text{Eq. III.10})$$

CPR: Coefficient pluviométrique relatif d'Angot

Tableau III.22: Classification des climats selon l'indice de Couagne

Valeur de R	Type de climat
R<1	Non continental
1<R<7,5	Semi-continental
R>7,5	Continental

Les valeurs calculées de l'indice de Couagne durant la période 1982 à 2023 pour les différentes stations de la région d'étude suggèrent que les précipitations ne varient pas drastiquement entre les saisons chaudes et froides, confirmant un climat non continental.

Tableau III.23: Résultats de calculs de l'indice de Couagne

Stations	R	Stations	R	Stations	R
TENES	0,31	BENI SAF	0,30	LALLA MAGHNIA	0,33
ACHAACHA	0,32	GHAZAOUET	0,35	BENI OUASSINE	0,34
CHELIF	0,33	ORAN PORT	0,29	PIERRE DU CHAT	0,31
RELIZANE	0,29	AIN TEMOUCHENT	0,28	BENSEKRANE	0,31
TIARET	0,34	NEDROMA	0,33	REMCHI	0,31
OUED RHIOU	0,32	MARSA BEN M'HIDI	0,38	H. BOUGHRARA	0,32
GHRIS	0,30	BOUKIOU	0,32	HENNAYA	0,32
SAIDA	0,45	MEFROUCH	0,33	OULED MIMOUNE	0,35
SIDI ALI BENOUB	0,37	TLEMCEN	0,32	KHEMIS	0,35
SIDI BEL ABBES	0,33	BENI BAHDEL	0,32	SEBDOU	0,36
MOSTAGANEM	0,27	CHOULY	0,36	LALLA SETTI	0,32
ARZEW	0,29	SIDI MEDJAHED	0,33		
SENIA	0,29	SABRA	0,33		

### **III.5. Conclusion**

L'étude climatique du Nord-ouest algérien, couvrant la période de 1982 à 2023, révèle des caractéristiques distinctives en termes de précipitations, de températures, et de variabilité climatique.

La majorité des stations étudiées sont classées comme ayant un climat semi-aride, avec des exceptions comme Beni Bahdel, Mefrouch, et Lalla Setti qui présentent un climat tempéré. La période humide s'étend principalement de Novembre à F tandis que les mois de Juillet et Août sont marqués par des conditions hyperarides. Les mois intermédiaires (Mars à Mai et Octobre à Novembre) présentent un climat semi-aride.

L'analyse des résultats du test de Pettitt a révélé certaines ruptures climatiques dont une est commune détectée en 2002 dans la plupart des séries de précipitations, sauf pour certaines stations (Ghazaouet, Marsa Ben Mhidi, Sidi Medjahed, Maghnia, et Beni Ouassine), où une rupture a été détectée en 1989.

On conclue aussi une saisonnalité marquée par des précipitations plus importantes durant la période froide (Novembre à Février) que celles de la période chaude.

Cette étude fournira les données nécessaires pour développer une analyse spatio-temporelle complète et informative qui enrichira le chapitre suivant.

*Chapitre IV*  
*Etude de la sécheresse*

#### **IV. Introduction**

La sécheresse a eu un impact significatif sur les populations à travers les époques, se positionnant comme l'une des catastrophes naturelles les plus marquantes. Elle se décline en quatre principaux types : météorologique, agricole, hydrologique et socio-économique. Bien que ces types ne surviennent pas simultanément, la sécheresse météorologique joue un rôle fondamental en initiant les autres formes. Ce type de sécheresse se caractérise par une diminution ou une répartition inégale, voire une absence totale de précipitations dans une région spécifique pendant une période définie (Stour et al, 2008).

Pour élaborer des indicateurs de sécheresse, il est essentiel de se référer aux définitions de ce phénomène. Selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM), la sécheresse est caractérisée comme une période prolongée de conditions arides qui se produit dans le cadre du cycle climatique naturel et peut se manifester dans n'importe quelle région du globe. De manière similaire, le Centre national d'atténuation de la sécheresse de l'Université du Nebraska (NDMC) propose une définition axée sur les déficits pluviométriques impactant les rendements des cultures. Selon cette définition, la sécheresse se réfère à une période prolongée de précipitations insuffisantes, entraînant des dommages significatifs pour les cultures et une baisse conséquente des rendements (Lebdi et al, 2023).

Les changements climatiques en cours se sont traduits par une irrégularité dans les niveaux de précipitations, avec une période de sécheresse persistante depuis plusieurs années. Cette instabilité climatique, marquée par une diminution des précipitations, a été l'objet de nombreuses études (Belarbi et al., 2017, Djellouli et al., 2016, 2017, 2019, Otmane et al., 2018, Bendjema et al., 2019, Bougara et al., 2020, Amiar et al., 2023, etc...).

L'indice de sécheresse requiert la collecte de milliers de données sur les précipitations, la couverture neigeuse, le débit des rivières, etc. La valeur de cet indice est interprétée en fonction d'une classification de la sévérité de l'événement, de sa position, et permet d'identifier la probabilité d'occurrence des différentes classes de sévérité (allant d'anormalement humide à anormalement sèche en passant par une situation moyenne).

Les scientifiques ont mis au point divers indices pour suivre et quantifier les épisodes de sécheresse. Parmi les plus connus, on peut citer :

- L'indice standardisé des précipitations (SPI) qui quantifie le déficit ou l'excédent pluviométrique par rapport à la moyenne sur différentes échelles de temps (mois, saisons, années).
- L'indice de l'écart à la moyenne (Em) qui mesure l'écart des précipitations par rapport à la normale sur une période donnée.
- L'indice de pluviosité (Ip) qui rapporte les précipitations d'une période à la moyenne de cette même période.
- L'indice de déficit pluviométrique (En) qui exprime le déficit de précipitations en pourcentage par rapport à la normale.

Ces indices permettent d'identifier les différents types de sécheresse (météorologique, agricole, hydrologique), d'en évaluer l'intensité, la durée et l'étendue spatiale, ainsi que la probabilité de récurrence. Ils constituent des outils précieux pour le suivi et la gestion des sécheresses à différentes échelles, du local au global.

Au cours de ce chapitre, nous mènerons une analyse des indices de sécheresse en vue de leur calcul et de leur interprétation. Ce processus comprend la collecte et le traitement de données relatives aux précipitations et températures. Le résultat de cette analyse permettra de générer des cartographies détaillées des indices de sécheresse, fournissant ainsi une compréhension spatio-temporelle approfondie des conditions de sécheresse dans la région étudiée.

#### IV.1. Application de la loi normale (loi de Gauss) à la série des précipitations annuelles des stations choisies pour la période 1982 à 2023

Pour calculer les indices de sécheresse il faut tout d'abord vérifier si la série d'étude pour chaque station suit la loi normale, pour cela on doit calculer le coefficient de variation, qui est définie comme le rapport de l'écart type (mm) par la précipitation moyenne annuelle pour chaque station choisie dans notre région d'étude.

$$Cv = \frac{\delta}{P_m} \quad (\text{Eq. IV.1})$$

Où :

$\delta$ : Ecart type des précipitations de la série.

$P_m$  : Précipitations moyennes annuelles (mm).

$Cv$  : Coefficient de variation

Tableau IV.1: Paramètres de position ( $P_m$ ) et de dispersion ( $\delta$ ,  $Cv$ ), des précipitations des stations (1982 – 2023).

Stations	$P_m$	$\delta$	$Cv$	Stations	$P_m$	$\delta$	$Cv$
TENES	456,9	97,2	0,21	BOUKIOU	355,7	83,5	0,23
ACHAACHA	433,5	91,2	0,21	MEFROUCH	509,2	117,7	0,23
CHELIF	372,9	77,9	0,21	TLEMCEN	414,9	96,5	0,23
RELIZANE	360,3	78,1	0,22	BENI BAHDEL	504,9	117,3	0,23
TIARET	456,6	96,9	0,21	CHOULY	440,3	102,2	0,23
OUED RHIOU	392,3	81,7	0,21	SIDI MEDJAHED	334,5	79,5	0,24
GHRIS	426,0	95,8	0,22	SABRA	398,6	93,1	0,23
SAIDA	334,9	80,6	0,24	LALLA MAGHNIA	333,8	79,9	0,24
SIDI ALI BENYOUB	379,9	89,7	0,24	BENI OUASSINE	330,8	79,4	0,24
SIDI BEL ABBES	387,8	90,1	0,23	PIERRE DU CHAT	356,3	82,4	0,23
MOSTAGANEM	337,7	73,3	0,22	BENSEKRANE	370,6	87,0	0,23
ARZEW	326,5	71,1	0,22	REMCHI	354,1	83,2	0,24
SENIA	352,0	76,7	0,22	H. BOUGHRARA	340,9	81,4	0,24
BENI SAF	328,8	74,1	0,23	HENNAYA	372,9	87,6	0,24
GHAZAOUET	351,3	81,9	0,23	OULED MIMOUN	408,1	95,4	0,23
ORAN PORT	340,6	73,8	0,22	KHEMIS	432,4	100,2	0,23
AIN TEMOUCHENT	357,3	80,1	0,22	SEBDOU	437,2	100,4	0,23
NEDROMA	365,0	86,1	0,24	LALLA SETTI	514,7	119,0	0,23
MARSA BEN M'HIDI	315,0	73,5	0,23				

Dans l'ensemble des stations de la région, le coefficient de variation est inférieur à 0,5 ( $Cv < 0,5$ ), ce qui signifie que la série des précipitations annuelles pour chaque station de la période 1982 à 2023 suit une distribution normale (loi de Gauss) (voir figures de l'ajustement à une loi normale en annexe). Cela nous permet de calculer les indices de sécheresse.

## IV.2. Indice standardisé des précipitations (SPI)

La classification du SPI (Standardized Precipitation Index) permet de quantifier les précipitations sur une période donnée en comparant la quantité de précipitations enregistrées à des valeurs historiques moyennes. Le SPI est utilisé pour identifier et évaluer la sévérité des événements de sécheresse ou d'humidité anormale. Il classe les conditions en différentes catégories, allant de très humide à extrêmement sec, en passant par des niveaux intermédiaires tels que modérément humide, près de la normale et modérément sec (tableau IV.2). Les valeurs de SPI négatives indiquent des conditions de sécheresse, tandis que les valeurs positives signalent des conditions plus humides que la normale. Cette classification aide à comprendre la variabilité des précipitations et à prendre des décisions en matière de gestion de l'eau et d'agriculture.

Il est calculé par la formule suivante :

$$SPI = \frac{P_i - P_m}{\delta} \quad (\text{Eq. IV.2})$$

Avec :

$P_i$  : Précipitations annuelles de l'année  $i$  (mm).

$P_m$  : Moyennes des précipitations annuelles (mm).

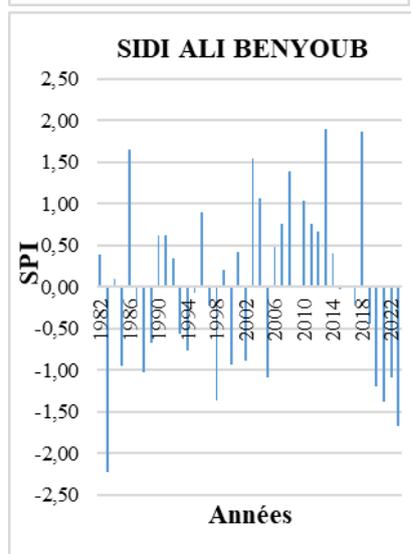
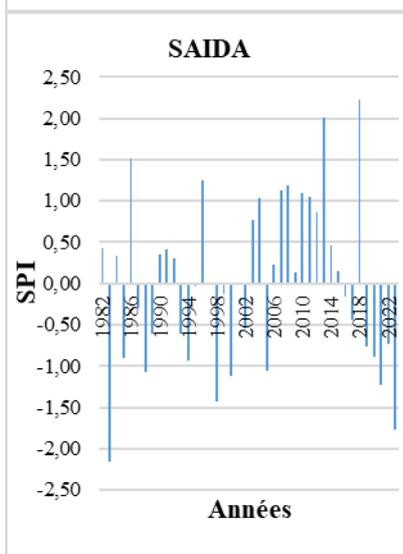
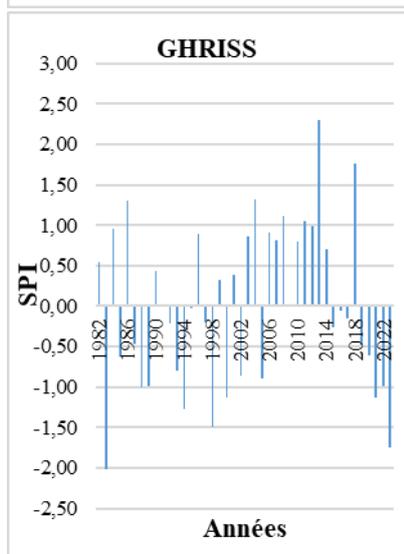
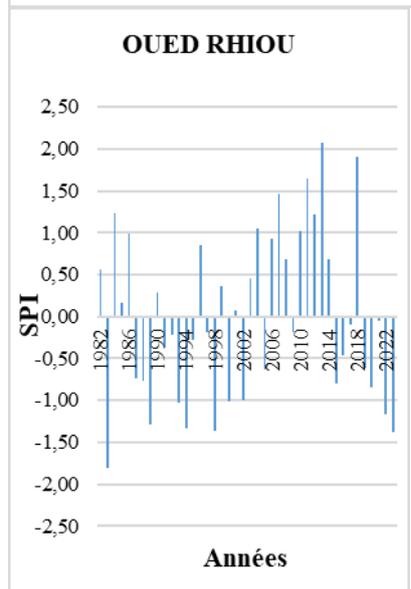
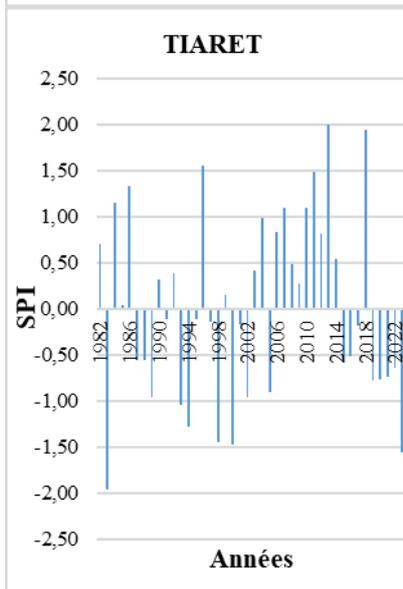
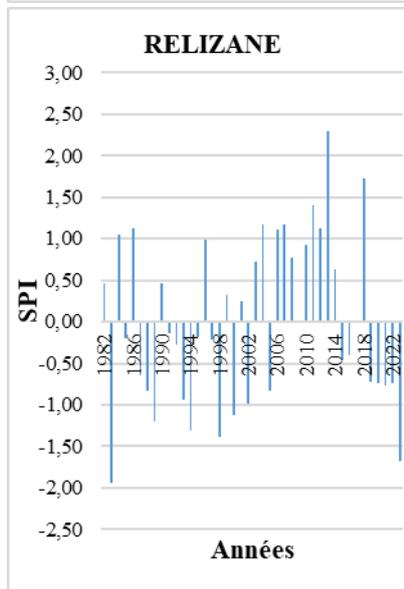
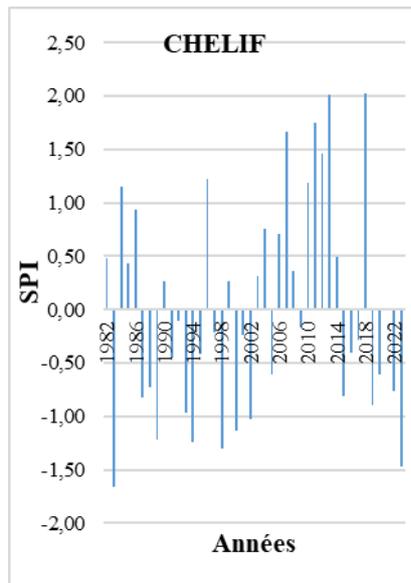
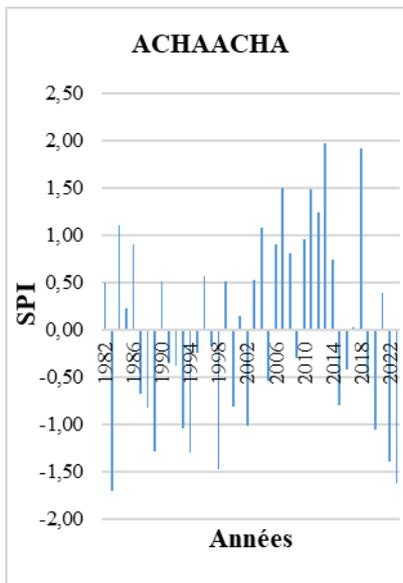
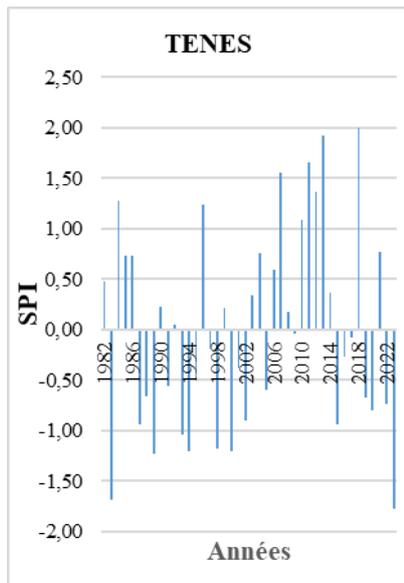
$\delta$  : Ecart type des précipitations de la série.

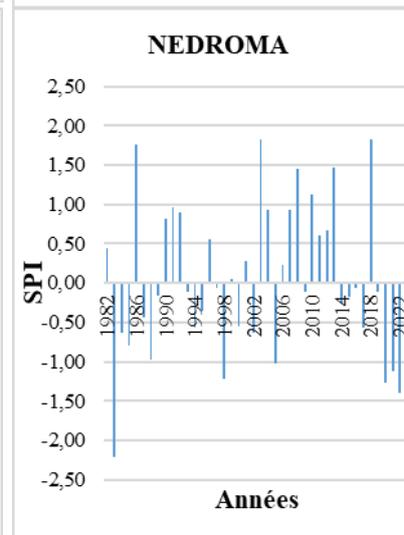
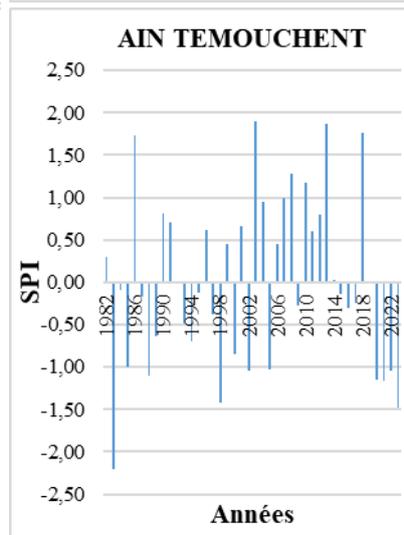
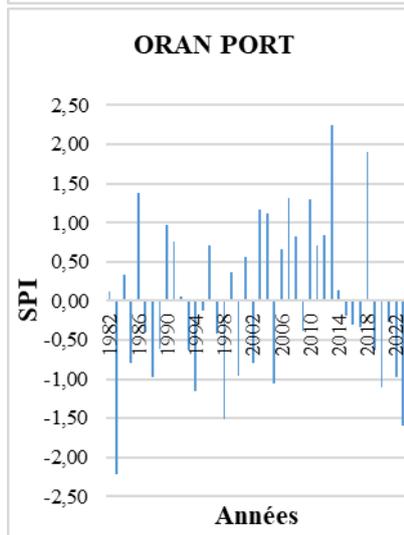
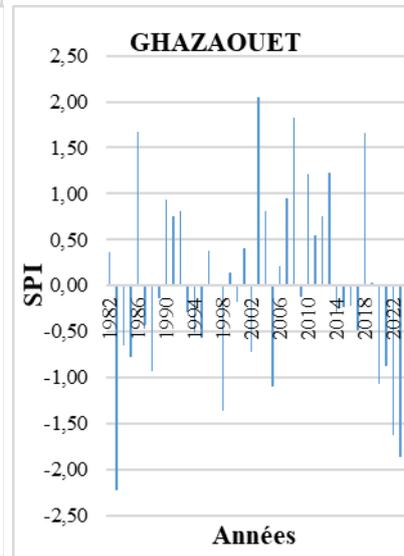
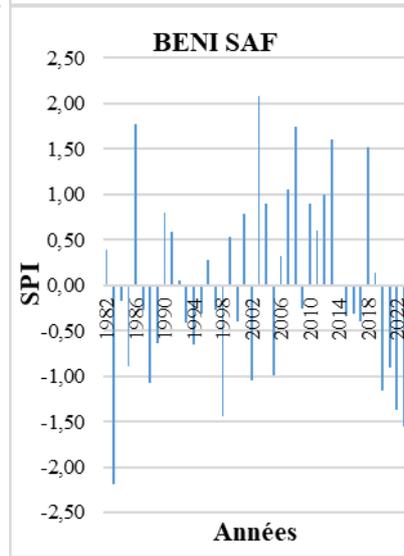
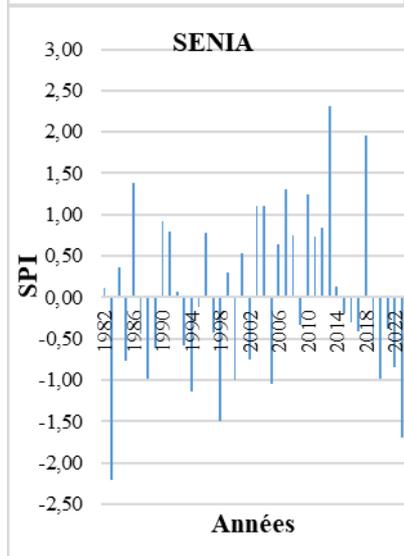
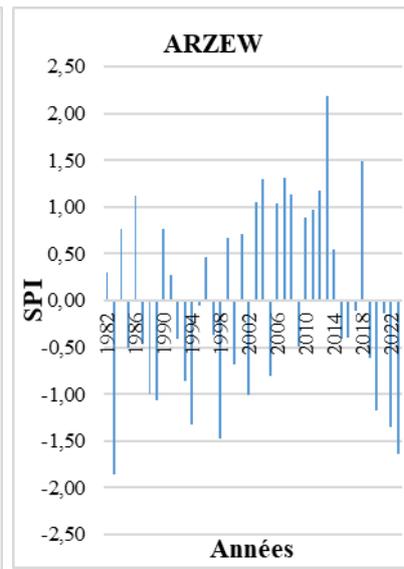
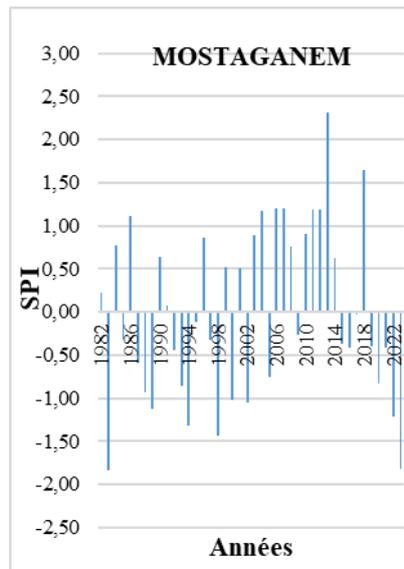
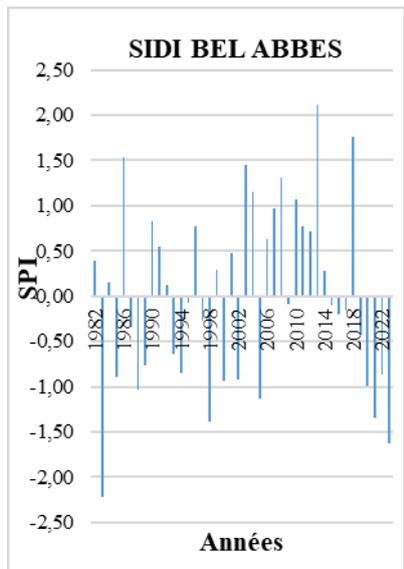
Tableau IV.2 : Classification de SPI (Thomas B. McKee et al., 1993 *in* Mesli et al., 2020)

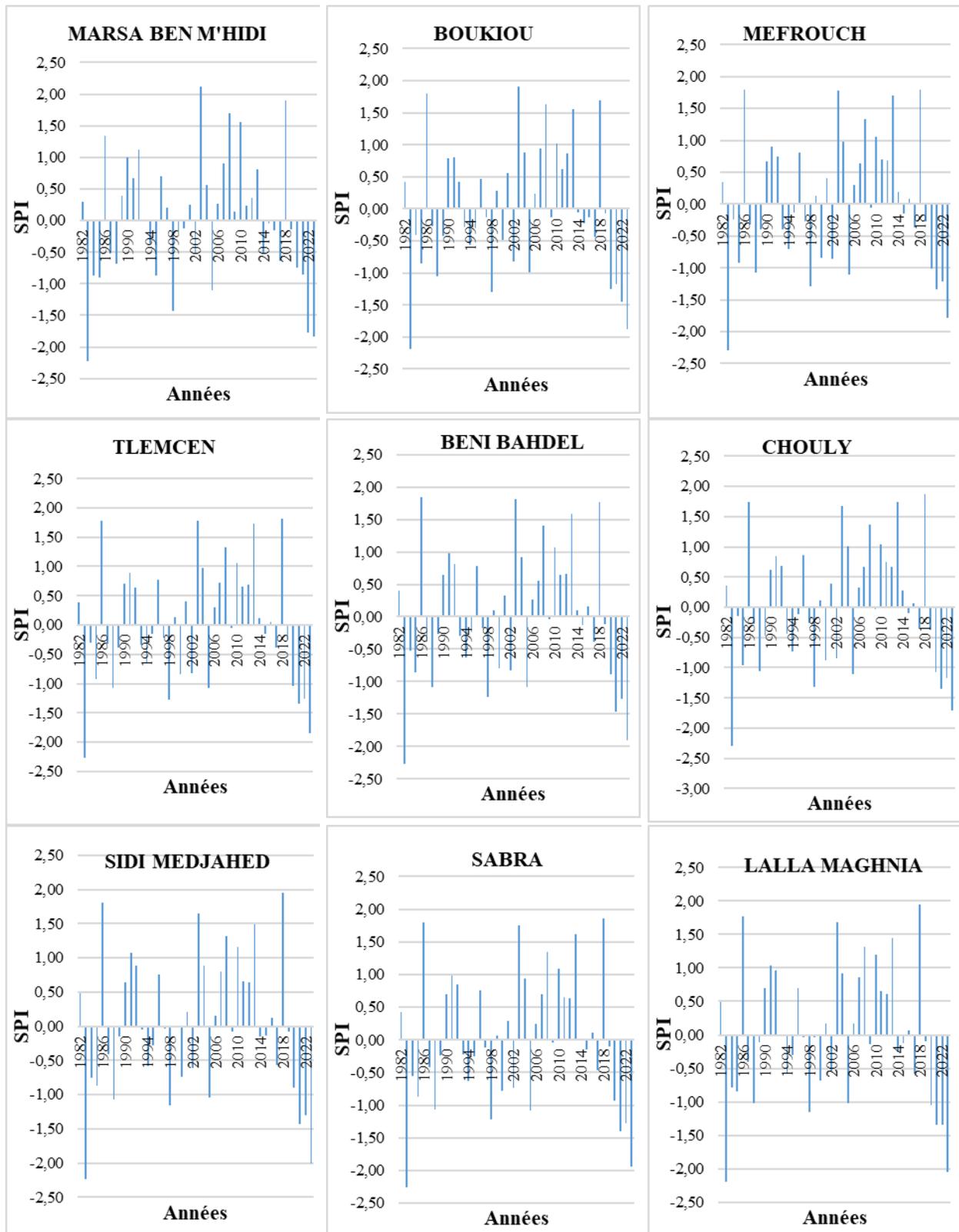
Classe	Descripteur
$SPI > 2$	Humidité extrême
$1 < SPI < 2$	Humidité forte
$0 < SPI < 1$	Humidité modérée
$-1 < SPI < 0$	Sécheresse modérée
$-2 < SPI < -1$	Sécheresse sévère
$SPI < -2$	Sécheresse extrême

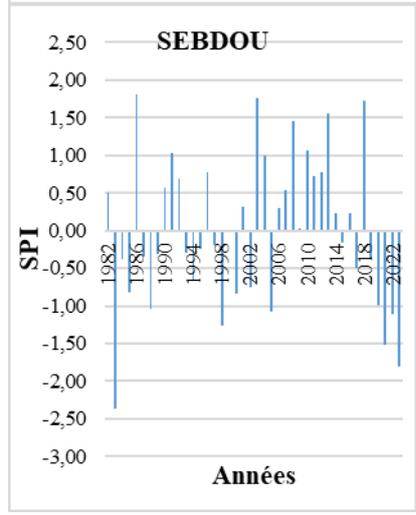
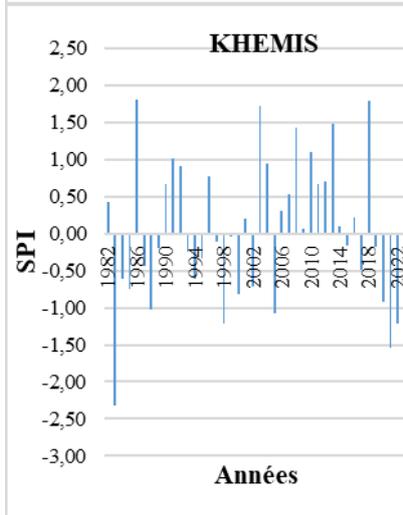
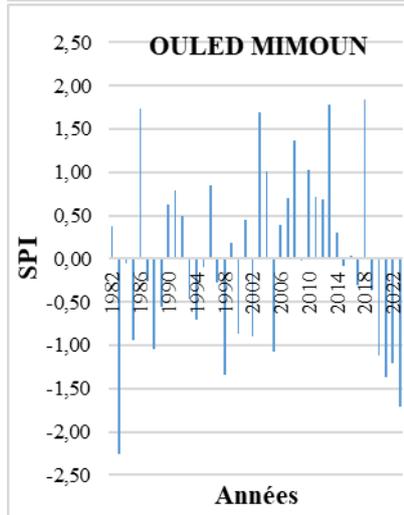
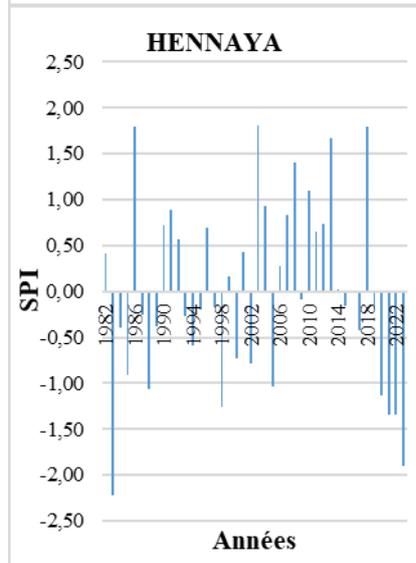
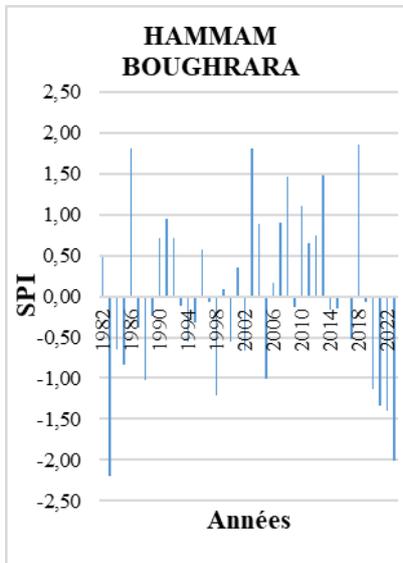
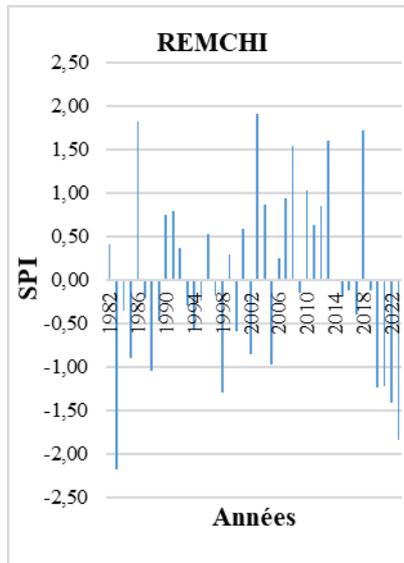
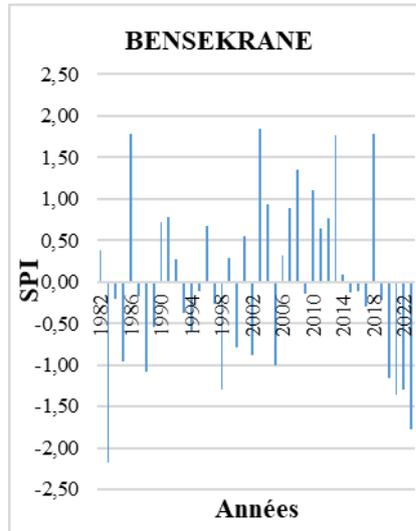
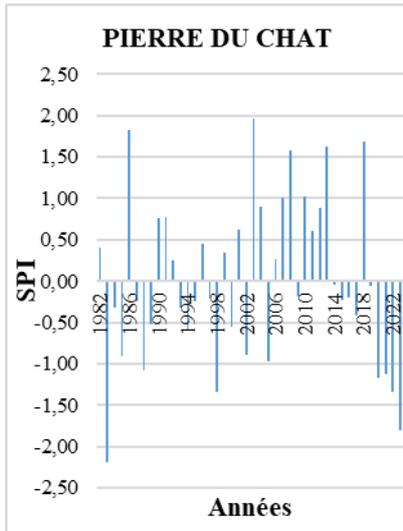
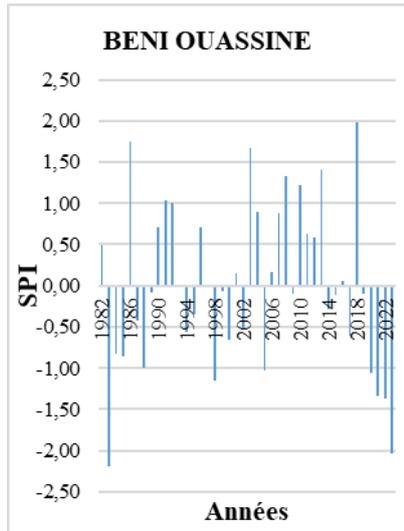
L'examen de la figure IV.1, révèle que les années 1983, 1987-1989, 1993-1995, 1997-1998, ainsi que les périodes 2015-2016 et 2019-2023 ont été marquées par des sécheresses de diverses intensités, allant de modérées à extrêmes. En revanche, les années 1986, 1996, 1999, 2003-2004, 2006-2008 et 2010-2014 ont connu des conditions plus humides. La sécheresse la plus sévère a été enregistrée en 1983 dans toutes les stations, suivie d'une autre période de sécheresse extrême en 2023.

Cette analyse met en évidence les fluctuations climatiques sur plusieurs décennies, illustrant les périodes de sécheresse et d'humidité. Les années de sécheresse identifiées montrent des épisodes où les précipitations étaient significativement inférieures à la normale, affectant potentiellement l'approvisionnement en eau et l'agriculture. Les années caractérisées par des conditions humides ont, par contre, enregistré des précipitations supérieures à la normale, pouvant améliorer les réserves d'eau et les rendements agricoles. Les années 1983 et 2023 se distinguent par des sécheresses particulièrement sévères, impliquant des impacts significatifs sur l'environnement et les ressources en eau.









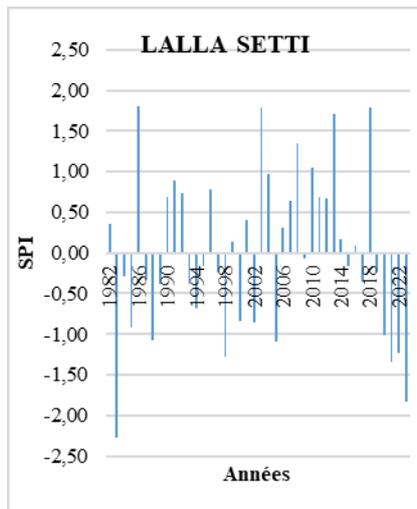


Figure IV.1: Indice standardisé des précipitations (SPI) des stations (1982 – 2023)

### IV.3. Indice de l'écart à la moyenne (Em)

Il sert à évaluer le déficit annuel en précipitations en comparant la hauteur de précipitations d'une année donnée,  $P_i$ , à la moyenne annuelle de précipitations de la série,  $P_m$ . Cette différence est représentée par la formule (Tatar et al, 2015) :

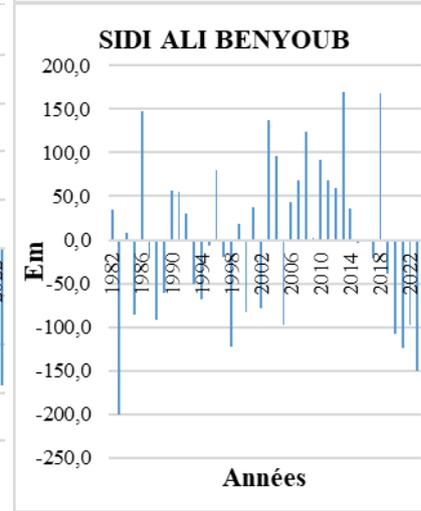
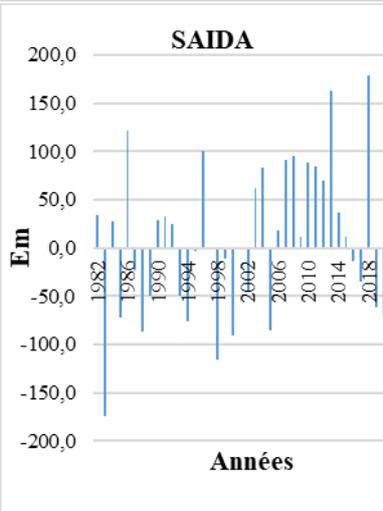
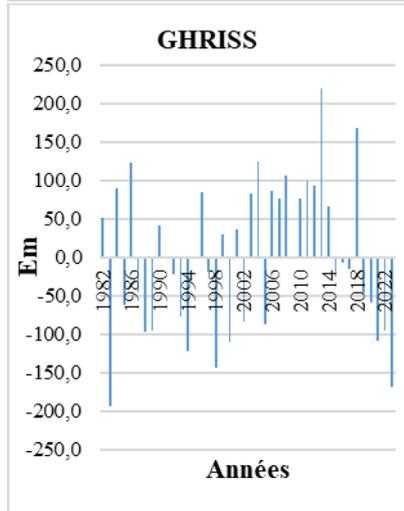
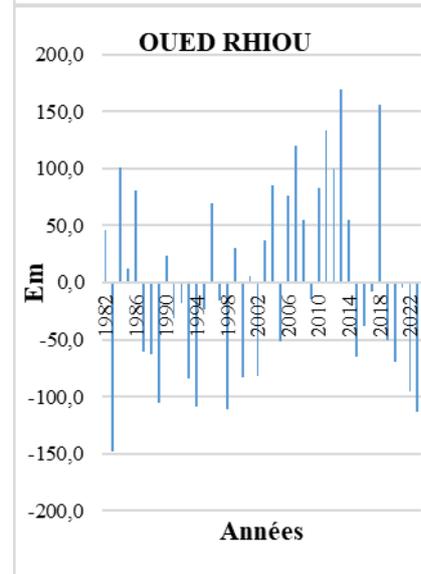
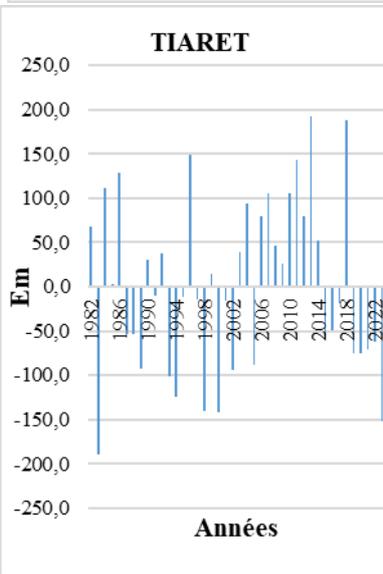
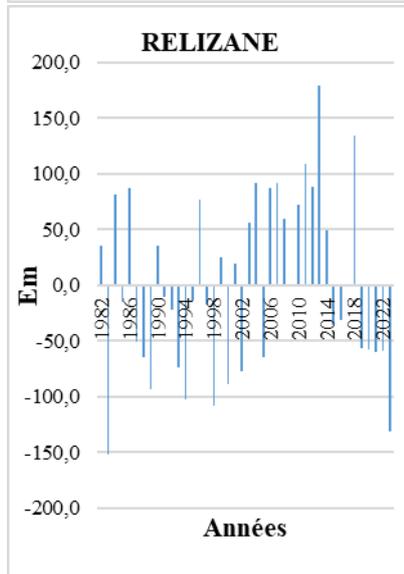
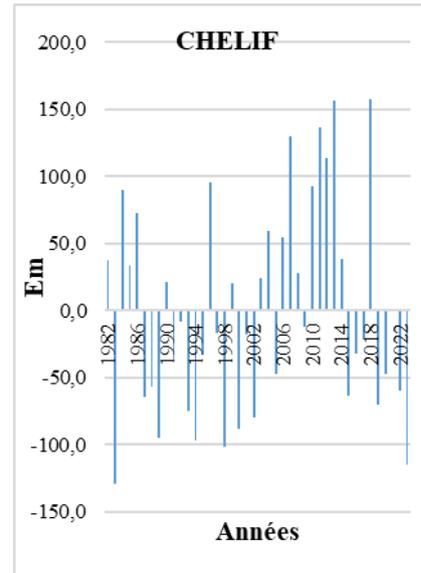
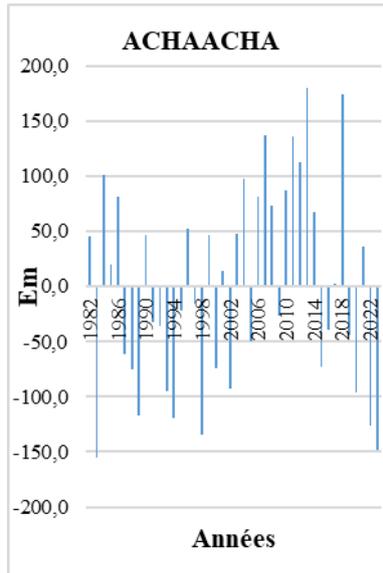
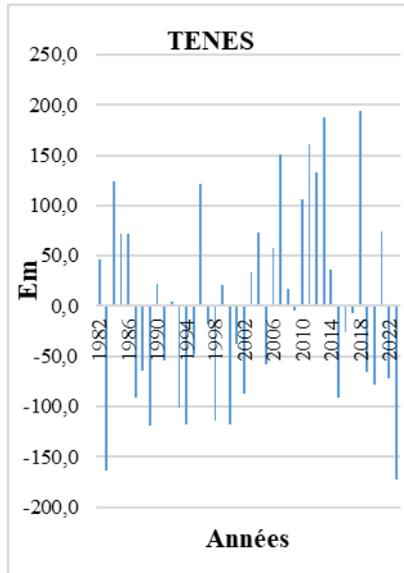
$$Em = P_i - P_m \quad (\text{Eq. IV.3})$$

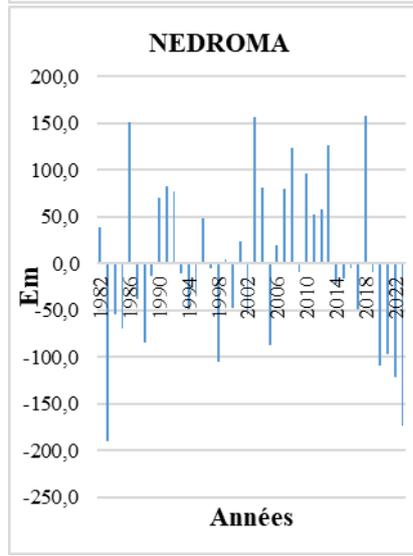
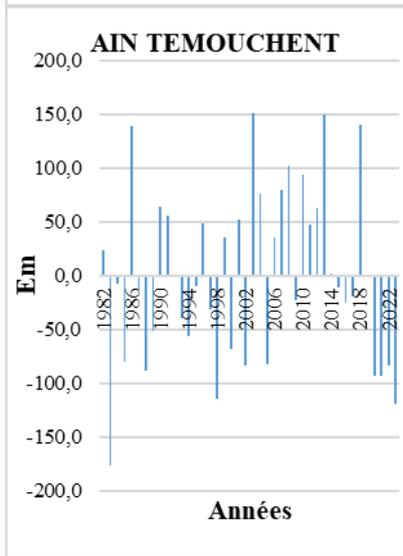
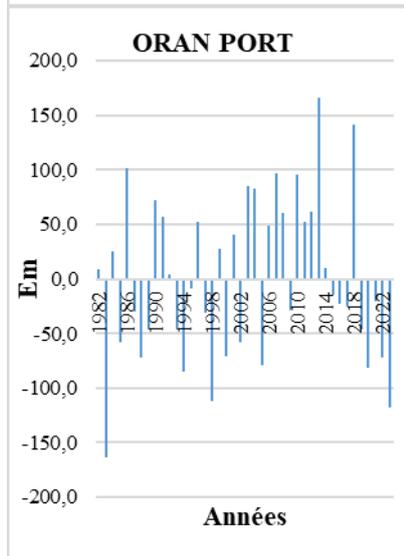
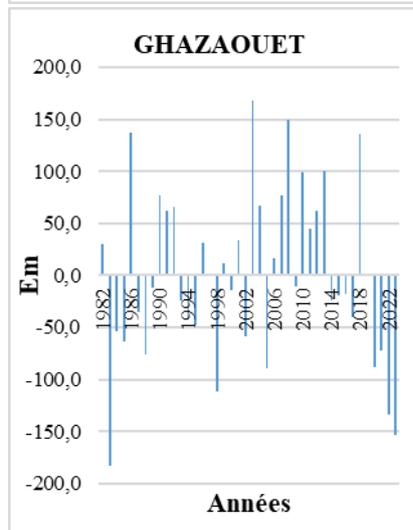
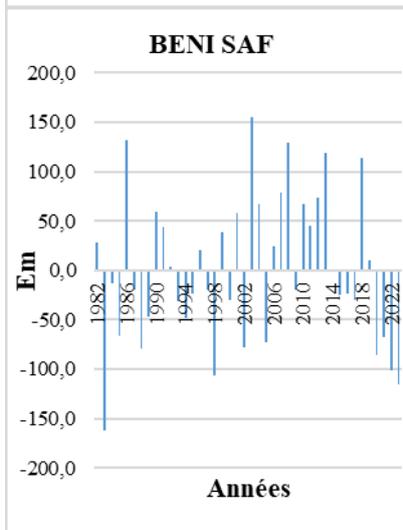
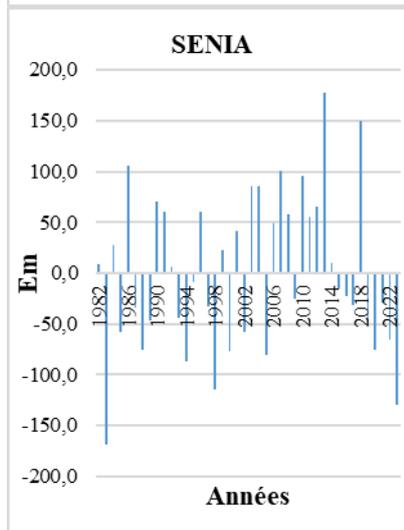
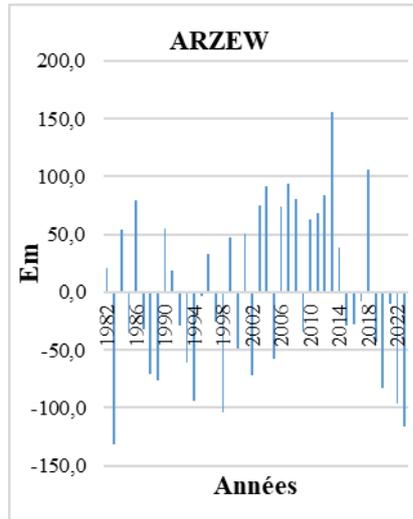
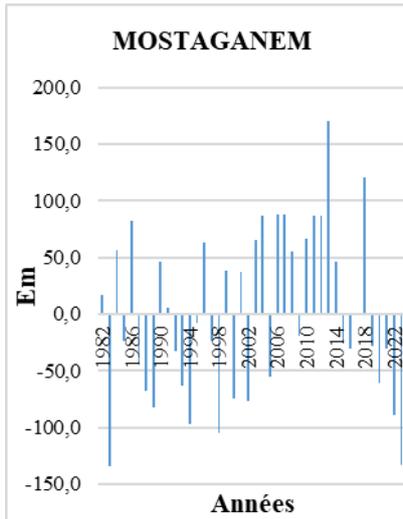
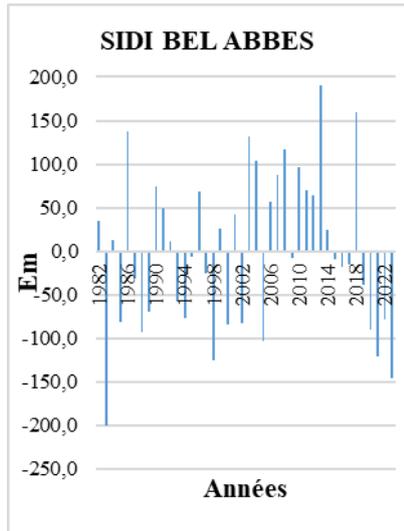
Tableau IV.3 : Classification de Em (Tatar et al., 2015)

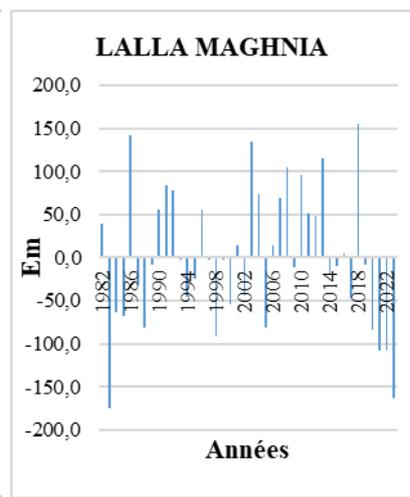
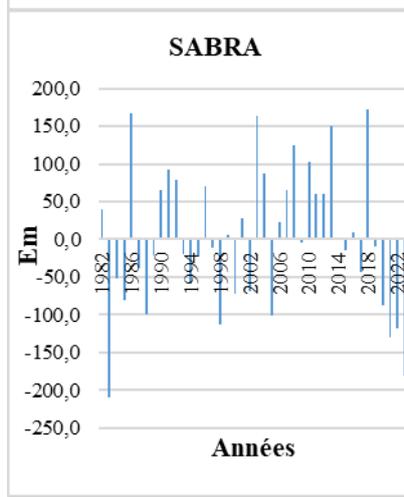
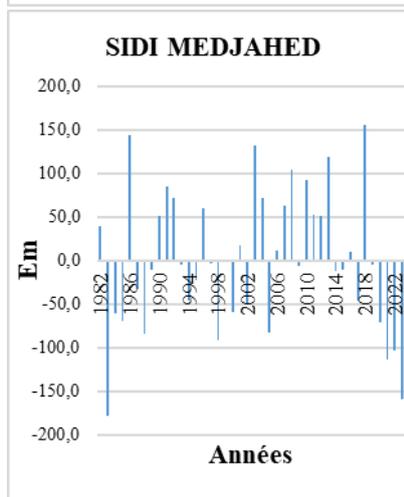
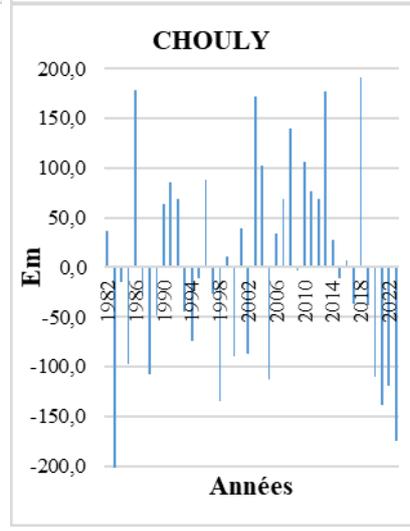
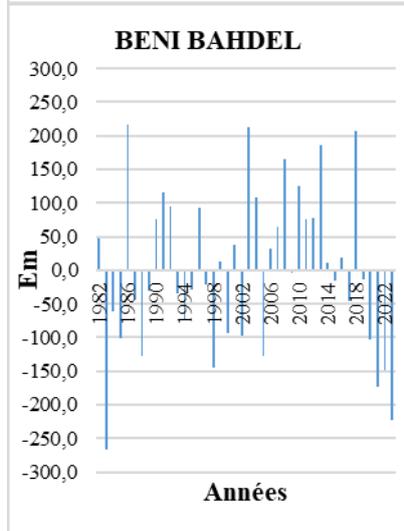
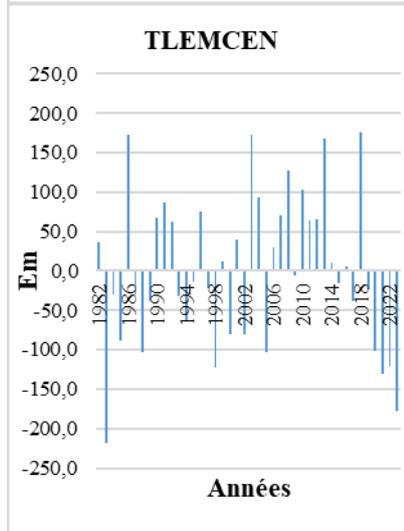
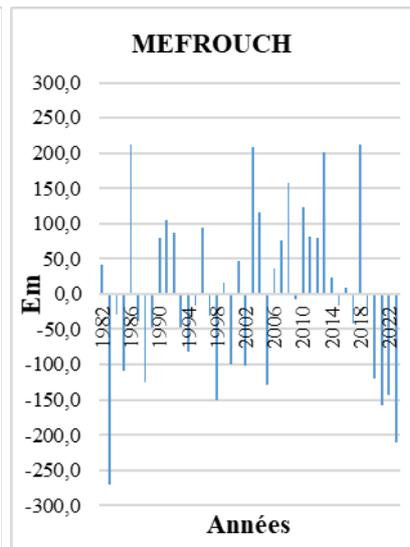
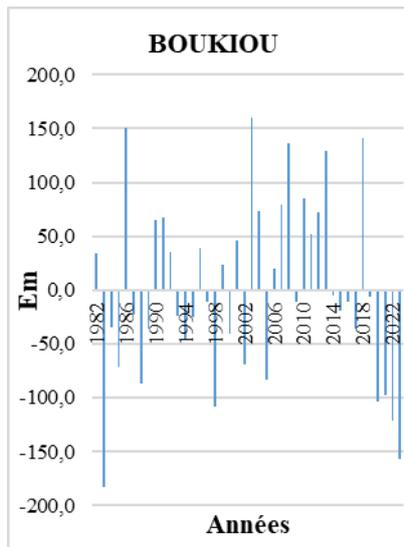
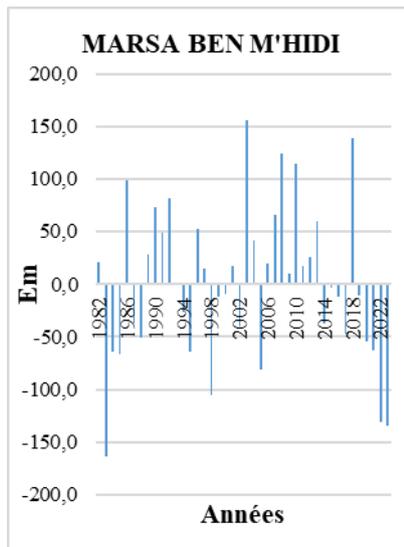
Valeur de Em	Type
$Em > 0$	Année humide
$Em < 0$	Année sèche

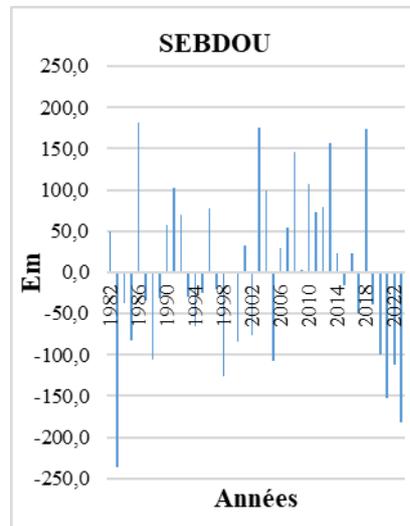
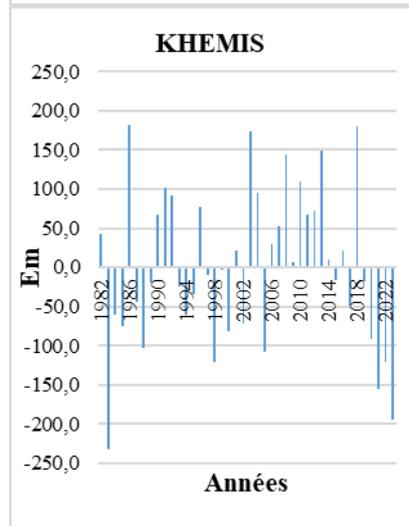
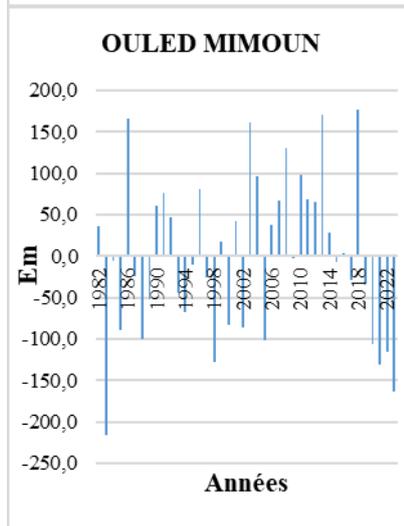
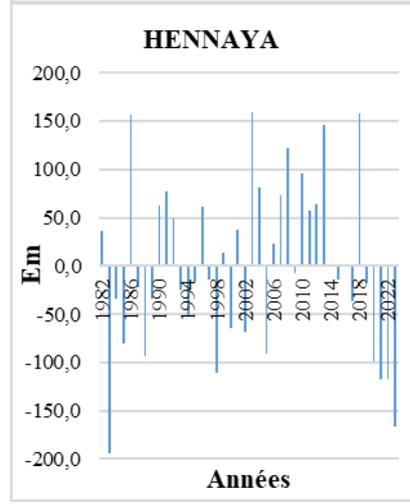
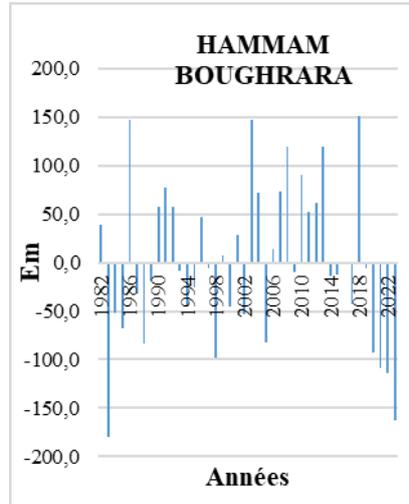
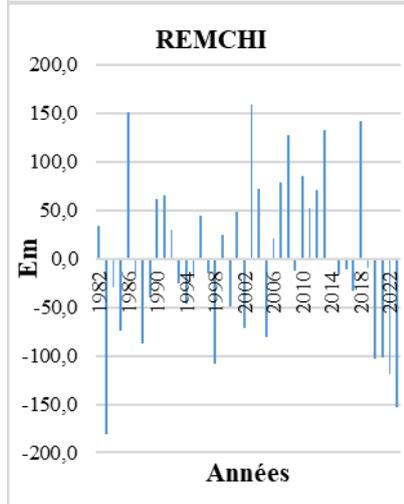
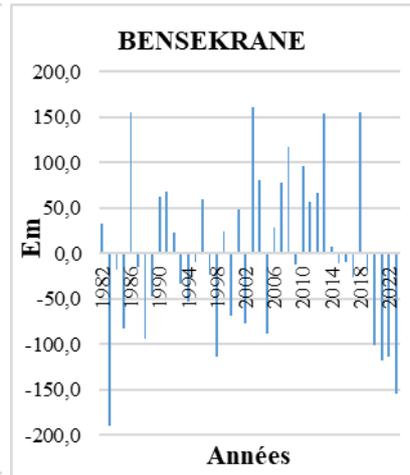
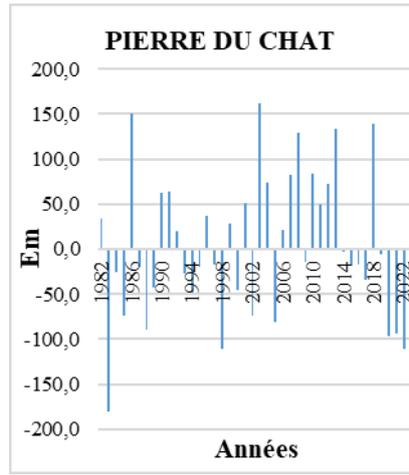
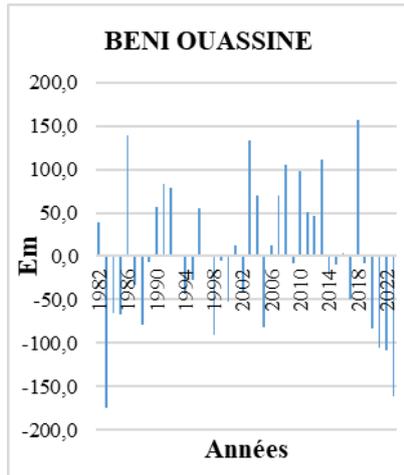
Une année est considérée comme déficitaire lorsque les précipitations sont inférieures à la moyenne, tandis qu'elle est excédentaire lorsque les précipitations dépassent cette moyenne. Cet indice facilite la visualisation et la détermination du nombre ainsi que de la séquence des années déficitaires (Jouilil et al 2013).

Selon l'Indice de l'écart à la moyenne (Em), qui permet d'évaluer les écarts entre les précipitations annuelles et la moyenne historique, plusieurs années ont été identifiées comme étant sèches ou humides. Les années sèches, où les précipitations sont inférieures à la moyenne, incluent les périodes de 1987 à 1989, 1993 à 1995, 1997 à 1998, ainsi que les années isolées comme 2000, 2002 et 2005, ainsi que la période s'étendant de 2019 à 2023. Toute fois, les années humides, caractérisées par des précipitations excédentaires par rapport à la moyenne, sont 1982, 1986, 1990, 1996, 2003, 2004, 2006 à 2008, 2010 à 2014, ainsi que l'année 2018. Cette analyse permet de mieux comprendre la variation des précipitations au fil des années et d'identifier les tendances sèches ou humides sur la période étudiée (fig.IV.2).









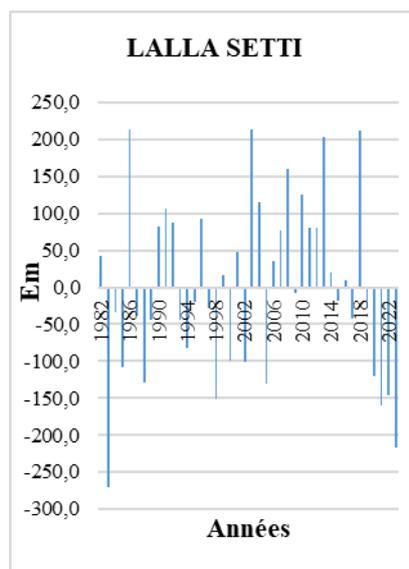


Figure IV.2 : Indice de l'écart à la moyenne (Em) (1982 – 2023).

#### IV.4. Indice de pluviosité (Ip)

L'Indice de pluviosité (Ip), défini comme le rapport entre les précipitations annuelles (Pi) et la moyenne des précipitations annuelle (Pm) sur toute la série, est un outil utilisé pour distinguer les années humides des années sèches. La formule correspondante est : (Tatar et al, 2015).

$$I_p = \frac{P_i}{P_m} \quad (\text{Eq. IV.4})$$

Tableau IV.4 : Classification de Ip

Valeur de Ip	Type
$I_p < 1$	Année sèche
$I_p > 1$	Année humide

L'accumulation des indices sur plusieurs années successives permet de distinguer les tendances générales, en minimisant les variations mineures d'une année à l'autre. Une augmentation de cette somme indique une tendance « humide », tandis qu'une diminution indique une tendance « sèche » (Tatar et al, 2015).

L'indice de pluviosité (Ip) présente des résultats parallèles à ceux de l'indice de l'écart à la moyenne (Em) (fig.IV.3).

❖ **Années sèches :**

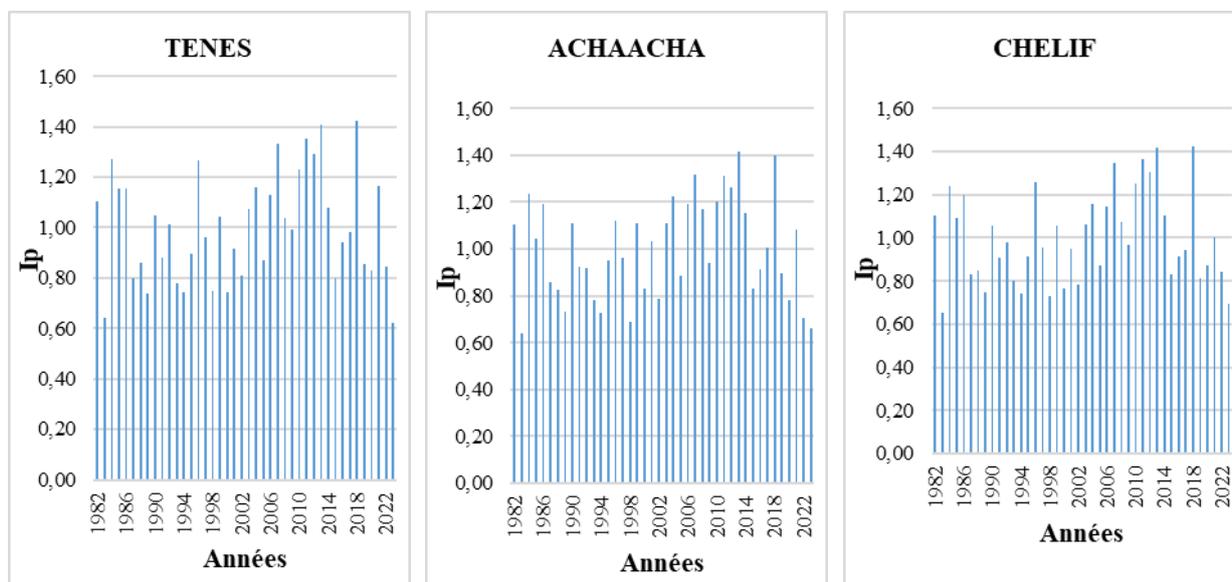
Sur la période d'étude de 1982 à 2023, l'indice de pluviosité révèle plusieurs années marquées par des conditions de sécheresse. Ces années comprennent 1983, 1987 à 1989 exception la station de Marsa Ben M'Hidi en 1989, 1993, 1995, 1997, 1998, 2000, 2002, 2005, 2015, et de 2019 à 2023, à l'exception de la région de Tenees Achaacha Chélif en 2021. En 1985, une exception remarquable a été observée à Tenes Achaacha Chélif, ainsi qu'à Tiaret et Oued Rhiou. En 1991, seules les stations du bassin algérois et de Chélif ont connu une année de sécheresse. En 2009, des exceptions ont été notées dans des stations telles que Tiaret, Saida, Sidi Ali Benyoub, Marsa Ben M'hidi, Khemis et Sebdou. De même, en 2016, des conditions

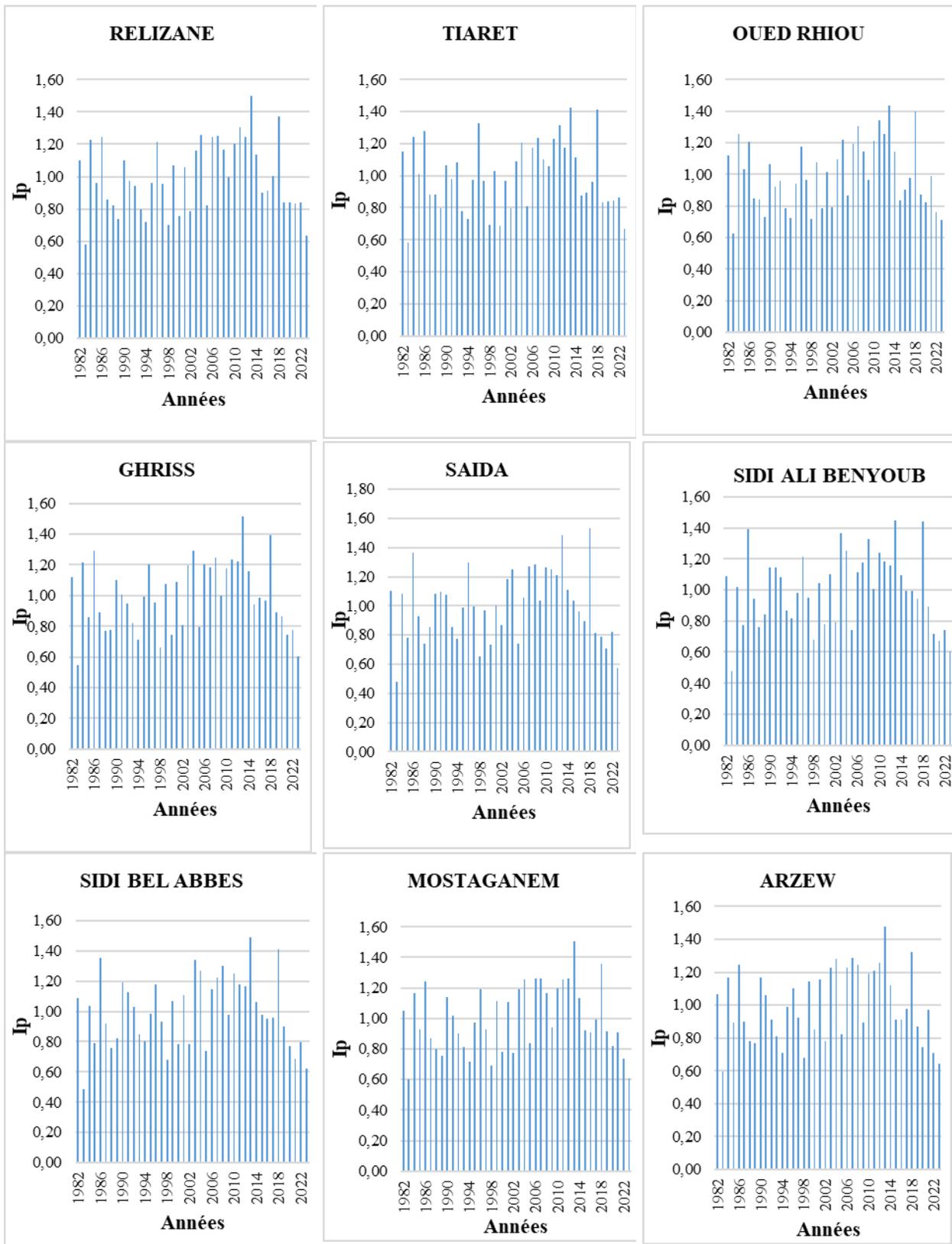
de sécheresse ont été observées dans plusieurs stations, notamment Mefrouch, Tlemcen, Beni Bahdel, Chouly, Sidi Medjahed, Sabra, Lalla Maghnia, Beni Ouassine, Hammam Boughrara, Hennaya, Ouled Mimoun, Khemis, Sebdu, et Lalla Setti.

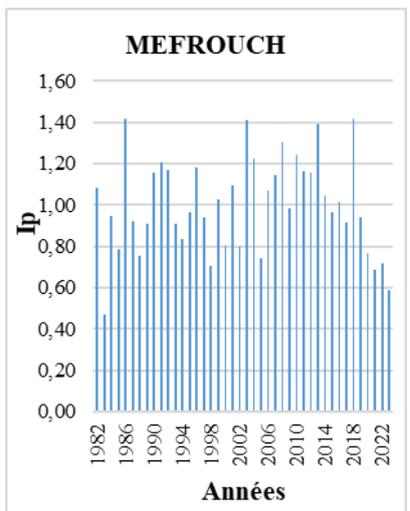
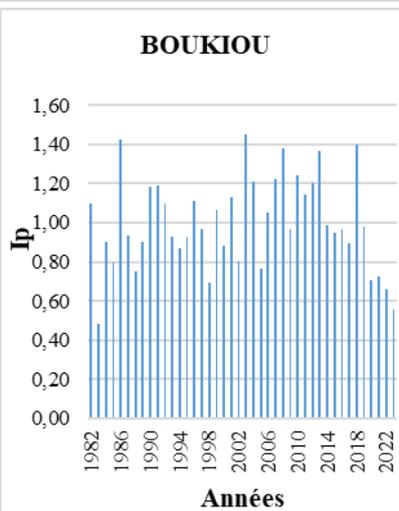
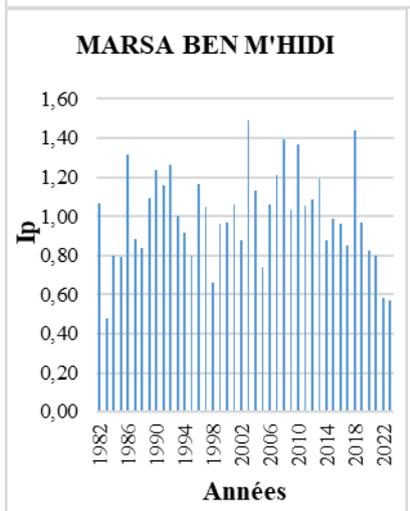
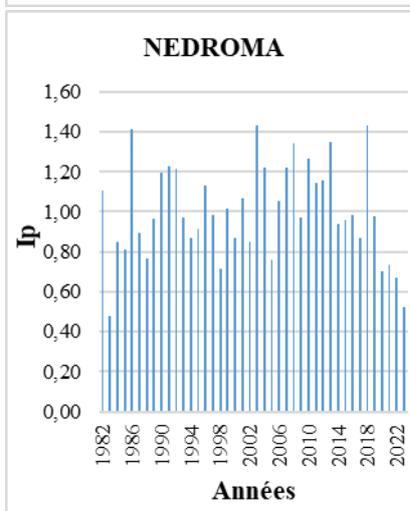
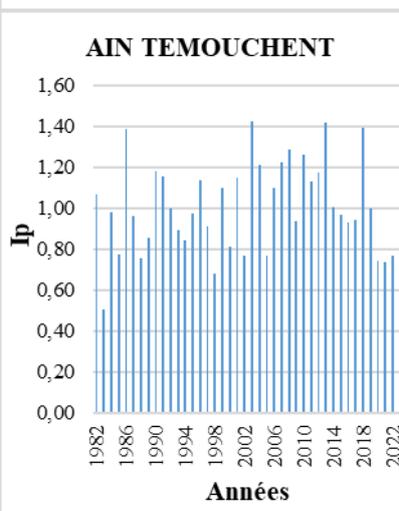
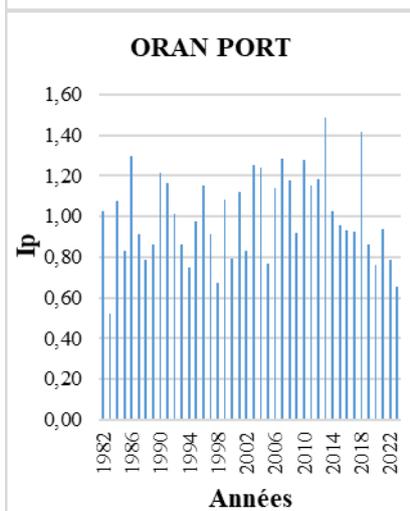
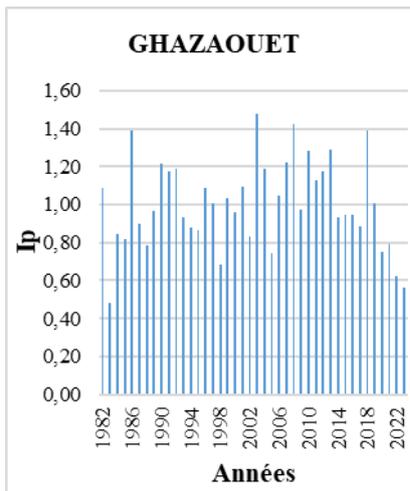
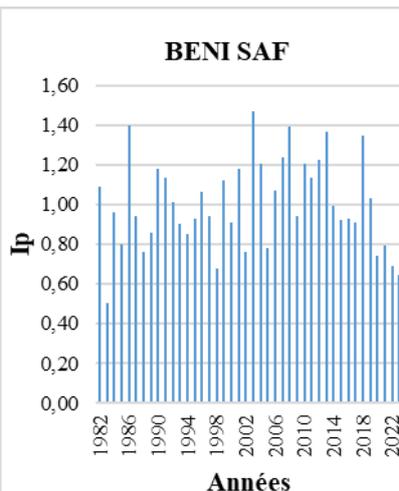
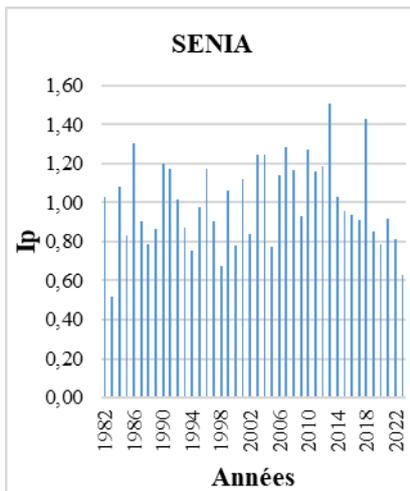
❖ Années humides :

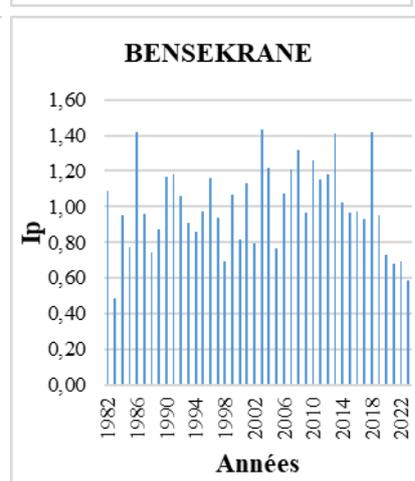
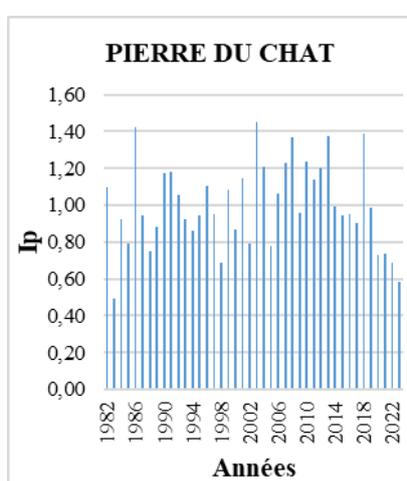
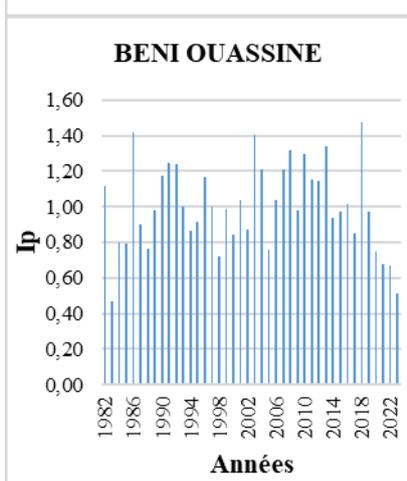
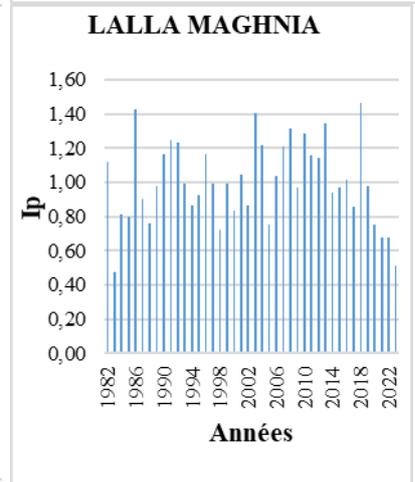
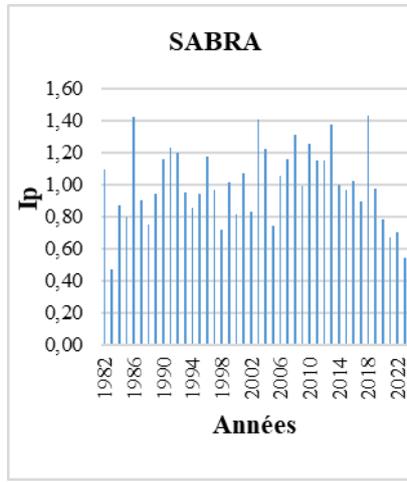
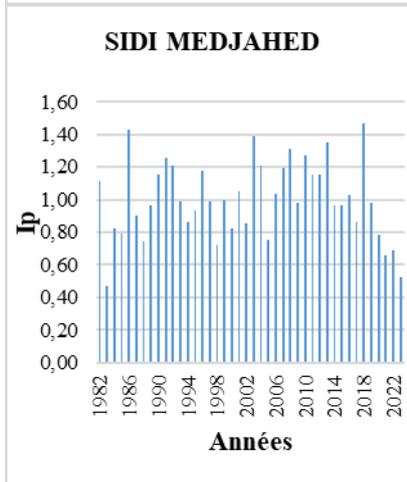
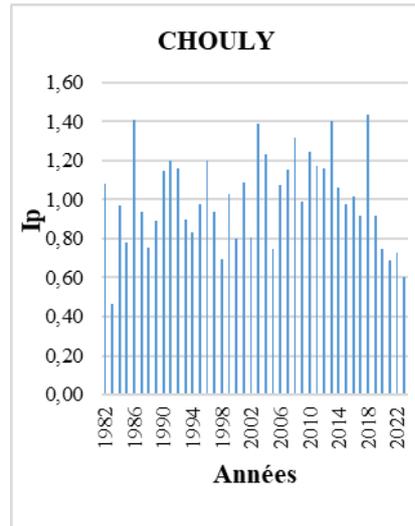
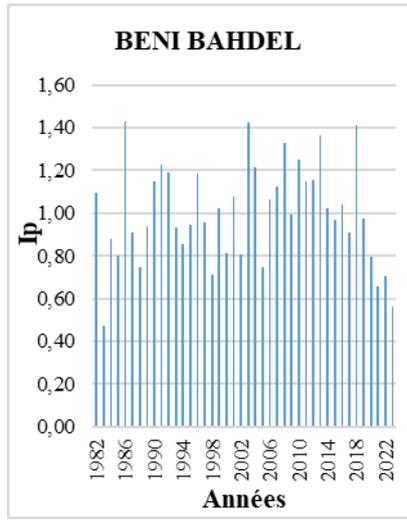
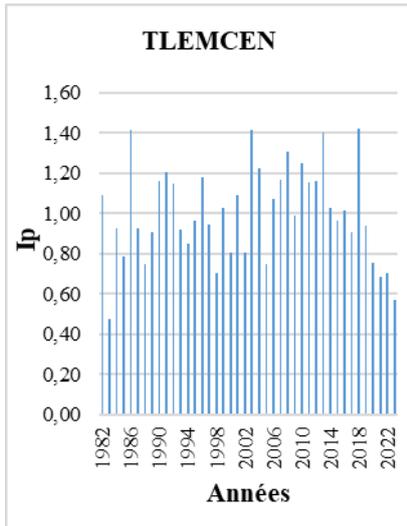
L'analyse de l'indice de pluviosité sur la période 1982-2023 met en évidence plusieurs années caractérisées par des conditions humides. Ces années incluent 1982, 1986, 1990, 1996, 2003, 2004, de 2006 à 2008, ainsi que 2018.

- De 2010 à 2014, la plupart des années ont été humides, à l'exception des stations de Beni Saf, Ghazaouet, Nedroma, Marsa Ben M'hidi, Boukiou, Sidi Medjahed, Sabra, Lalla Maghnia, Beni Ouassine, Pierre du Chat, Remchi et Hammam Boughrara en 2014.
- En 2021, des conditions humides ont été observées dans les stations de Tenes, Achaacha, et Chélif.
- En 1985, des précipitations abondantes ont été enregistrées uniquement dans les stations de Tenes, Achaacha, Chélif, Tiaret, et Oued Rhiou.
- L'année 1992 a également été marquée par des conditions humides, à l'exception des stations Achaacha, Chélif, Relizane, Oued Rhiou, Ghriss, Mostaganem, Arzew, et Ain Temouchent. En 1999, des précipitations importantes ont été enregistrées, sauf dans les stations de Saida, Marsa Ben M'hidi, Sidi Medjahed, Lalla Maghnia, Beni Ouassine, Khemis, et Sebdu.
- En 2009, les conditions humides ont prévalu, à l'exception des stations de Tiaret, Saida, Sidi Ali Benyoub, Marsa Ben M'hidi, Khemis, et Sebdu.
- En 2019, seules les régions de Beni Saf et Ghazaouet ont bénéficié de conditions humides.









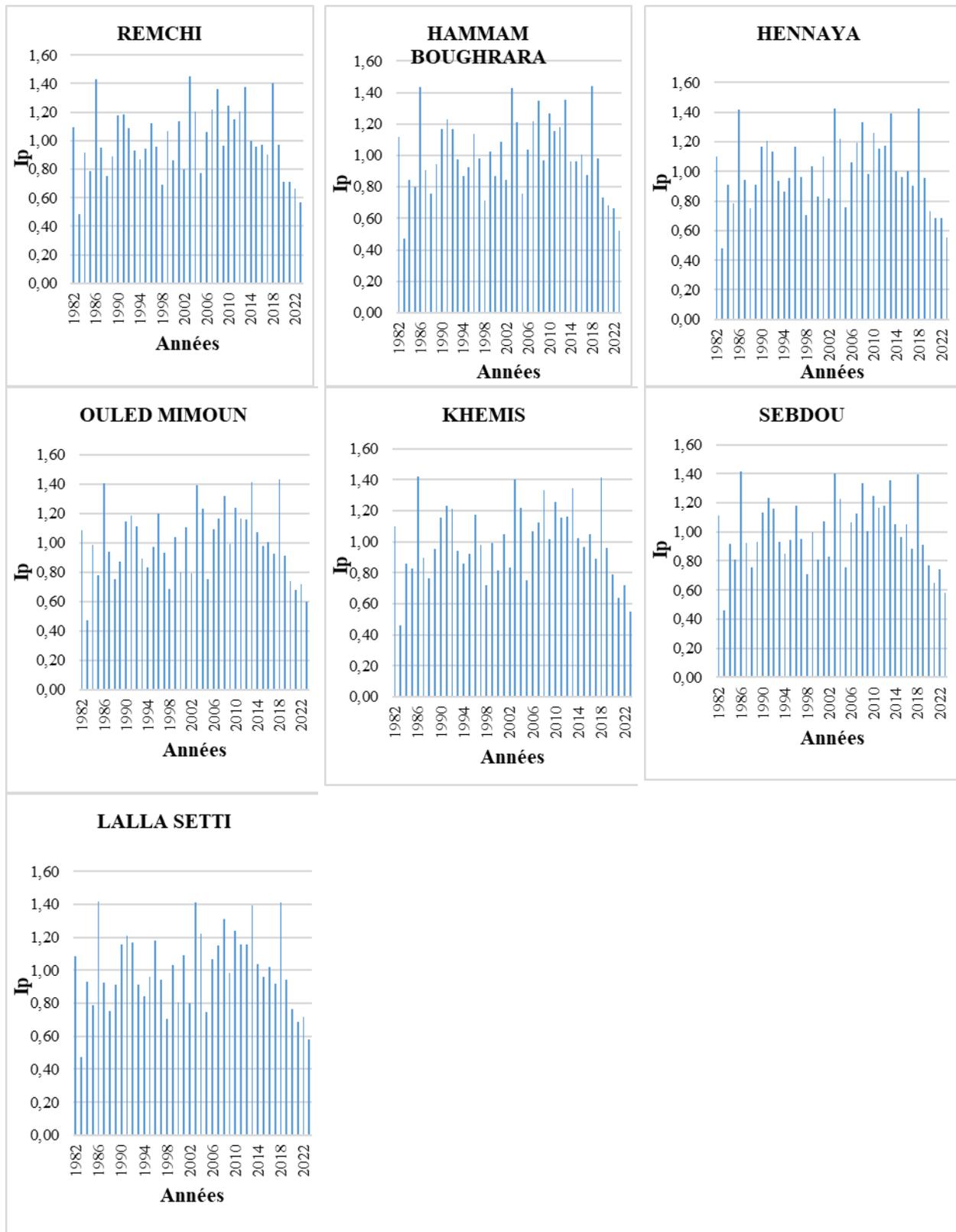


Figure IV.3 : Indice de pluviosité Ip (1982 – 2023)

#### IV.5. Indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale (En))

Dans l'analyse d'une série de relevés pluviométriques, on utilise l'écart proportionnel à la moyenne pour situer chaque observation (Jouilil et al., 2013).

Ce concept se traduit mathématiquement par la formule suivante :

$$En = \frac{Pi - Pm}{Pm} \times 100 \quad (\text{Eq. IV.5})$$

Où :

En : Indice de l'écart à la normale (en pourcentage).

Pi : Précipitations annuelles (mm).

Pm : Précipitations moyennes annuelles de la série (mm).

Tableau IV. 5 : Classification de En

Valeur de En	Type
En > 0	Année humide
En < 0	Année sèche

Cet indice, également connu sous le nom d'indice de déficit pluviométrique, est un outil permettant d'identifier et de suivre le nombre d'années déficitaires dans une série de relevés pluviométriques. Comme pour l'indice de pluviosité, la somme des indices sur plusieurs années successives permet de déterminer les grandes tendances. Lorsque la somme des écarts augmente, cela indique une tendance humide, tandis qu'une diminution de la somme des écarts suggère une tendance sèche. (Tatar et al., 2015)

D'après la figure IV.4, on observe les résultats suivants :

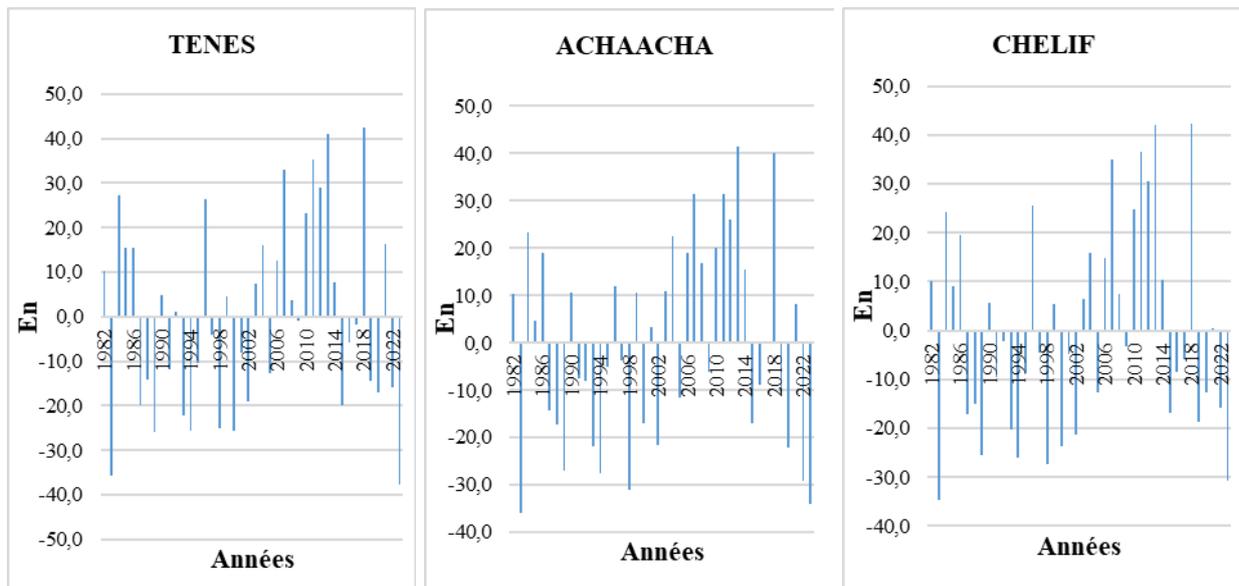
❖ Années sèches :

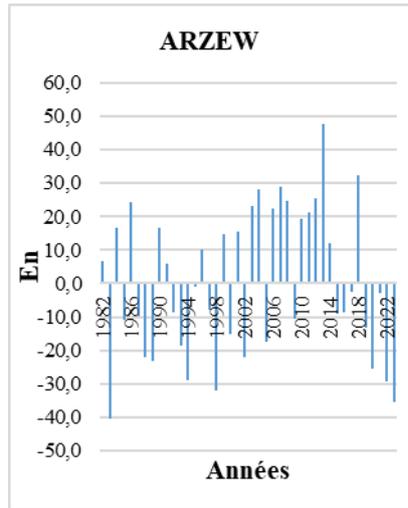
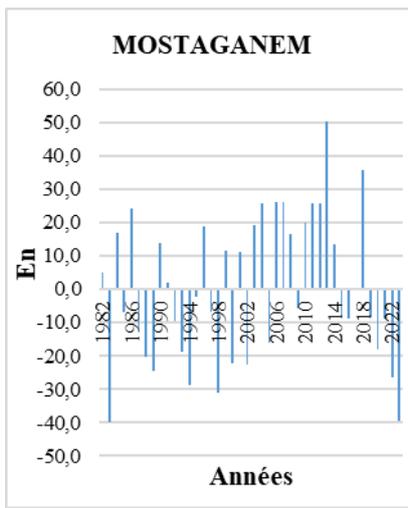
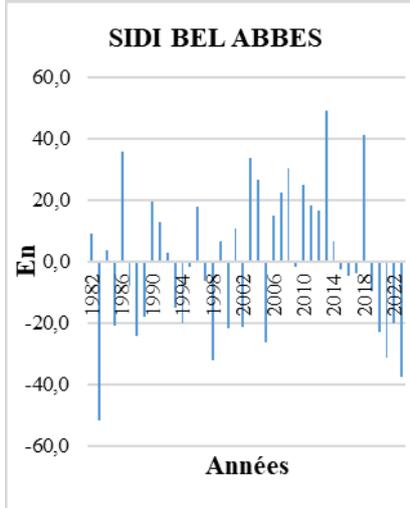
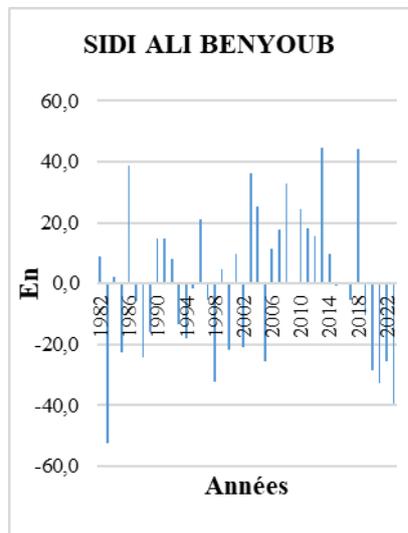
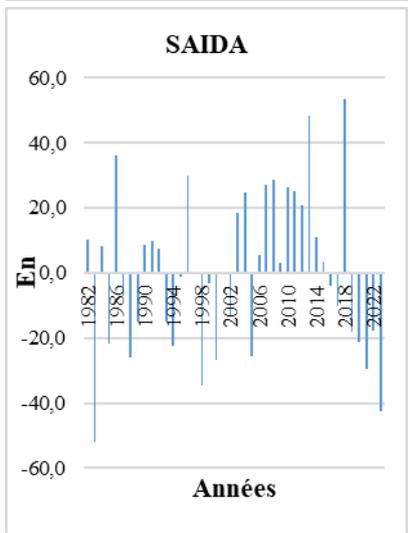
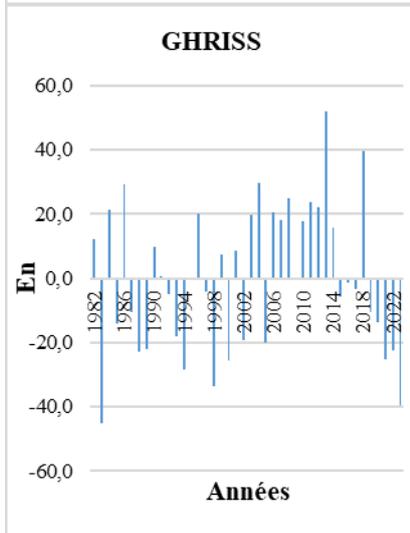
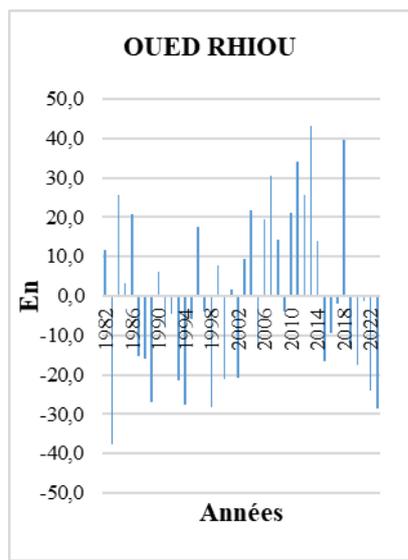
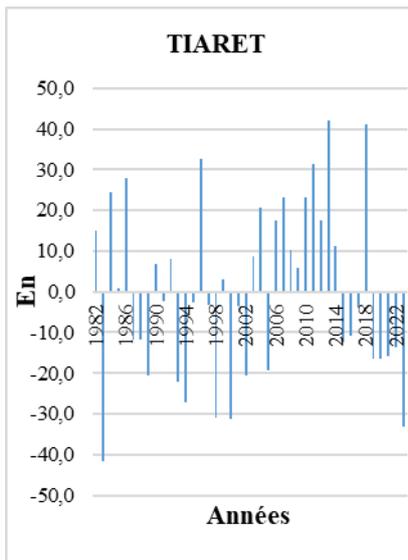
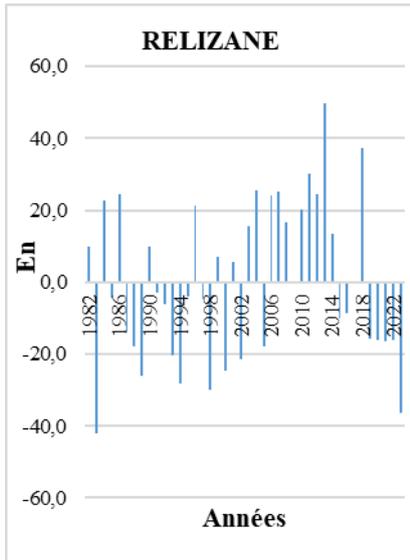
- 1983, 1987 à 1989 exception la station de Marsa Ben M'Hidi en 1989, 1993, 1995, 1997, 1998, 2000, 2002, 2005, 2015, et de 2019 à 2023, à l'exception de la région de Tenes, Achaacha, et Chélif en 2021.
- En 1985, une exception a été observée à Tenes, Achaacha, Chélif, ainsi qu'à Tiaret et Oued Rhiou.
- En 1991, seules les stations du bassin algérois et de Chélif ont connu une année de sécheresse.
- En 2009, des exceptions ont été notées dans des stations telles que Tiaret, Saida, Sidi Ali Benyoub, Marsa Ben M'hidi, Khemis et Sebdou.
- De même, en 2016, des conditions de sécheresse ont été observées dans plusieurs stations, notamment Mefrouch, Tlemcen, Beni Bahdel, Chouly, Sidi Medjahed, Sabra, Lalla Maghnia, Beni Ouassine, Hammam Boughrara, Hennaya, Ouled Mimoun, Khemis, Sebdou, et Lalla Setti.

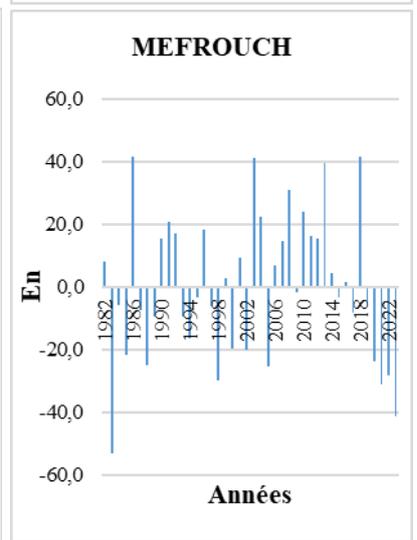
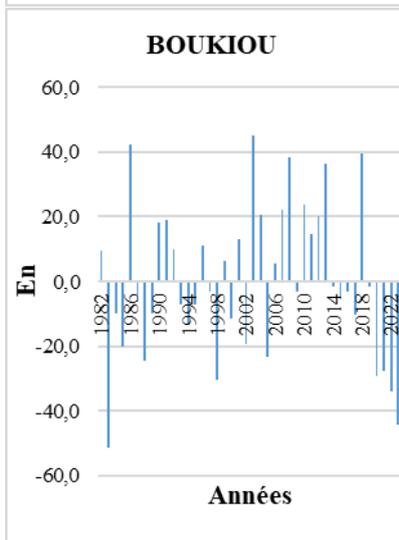
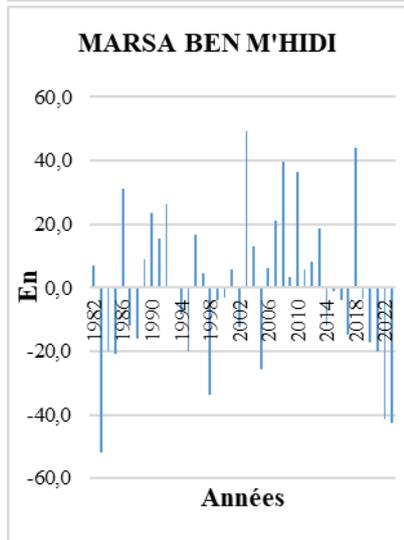
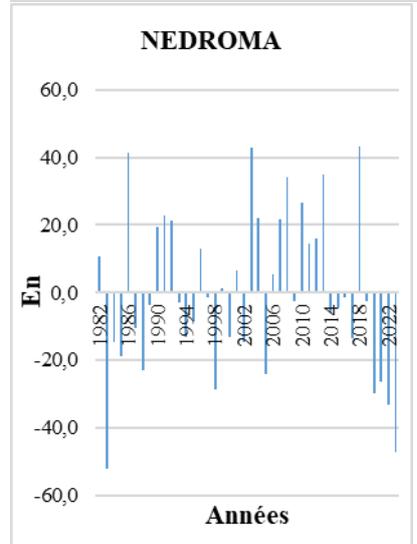
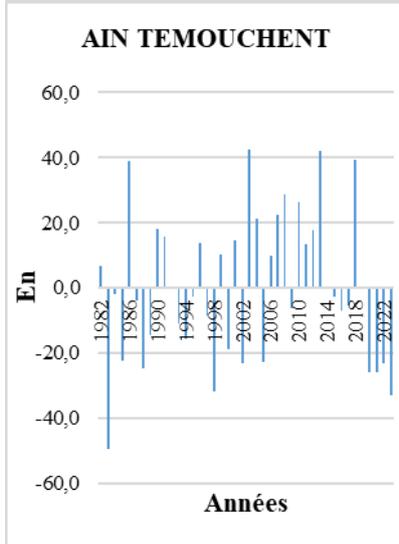
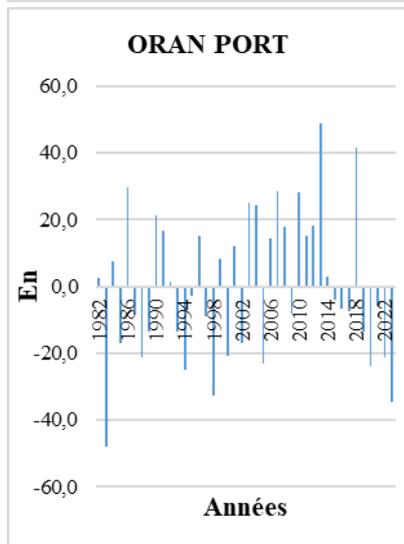
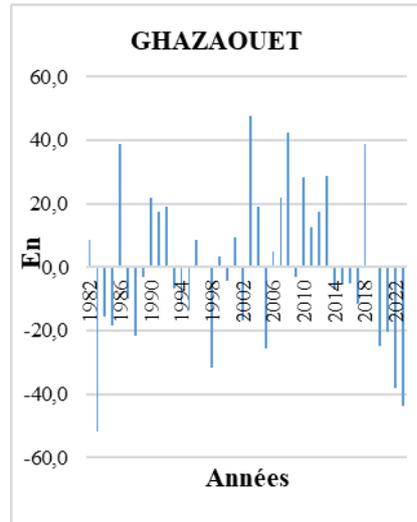
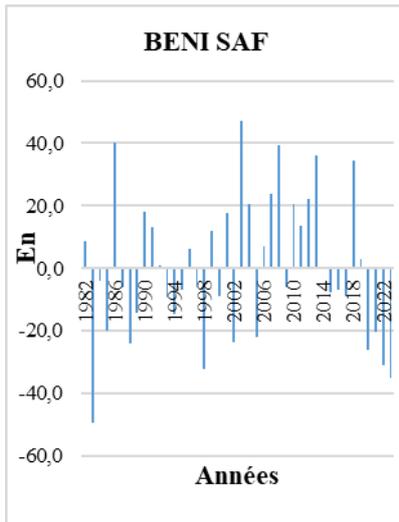
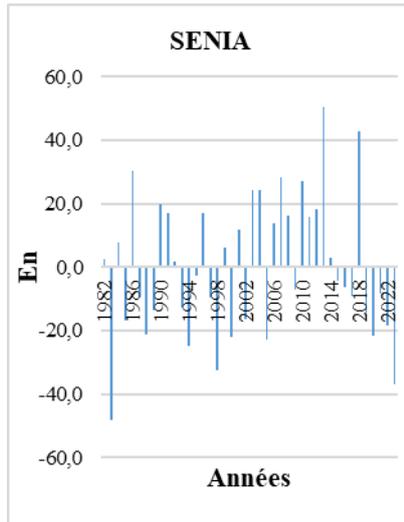
❖ Années humides :

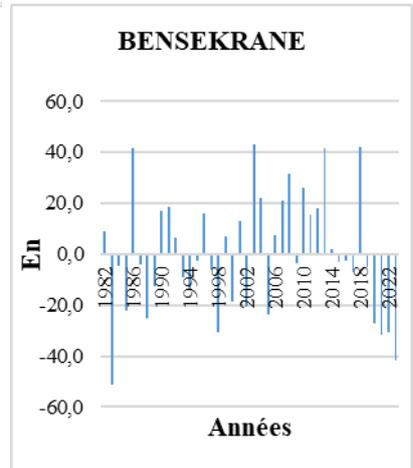
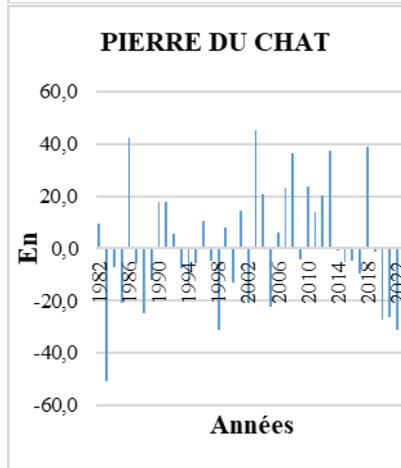
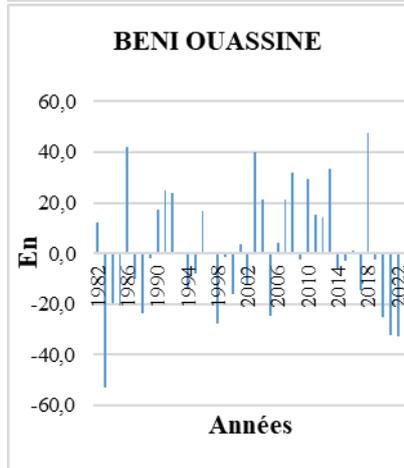
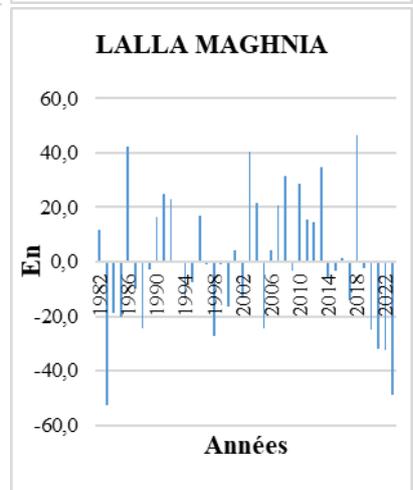
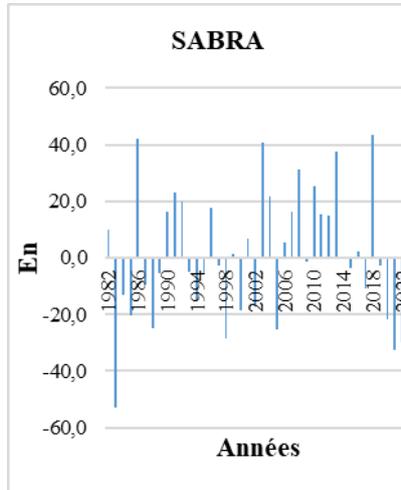
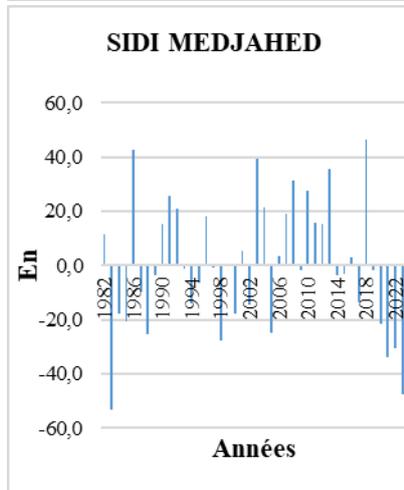
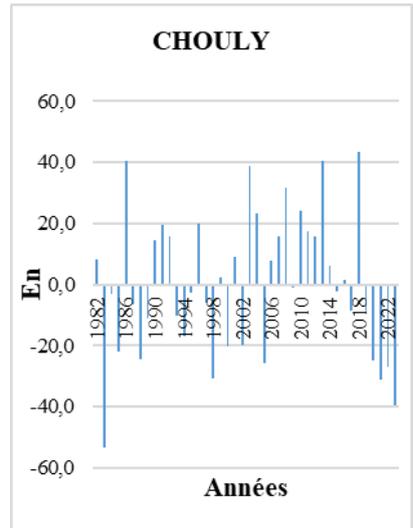
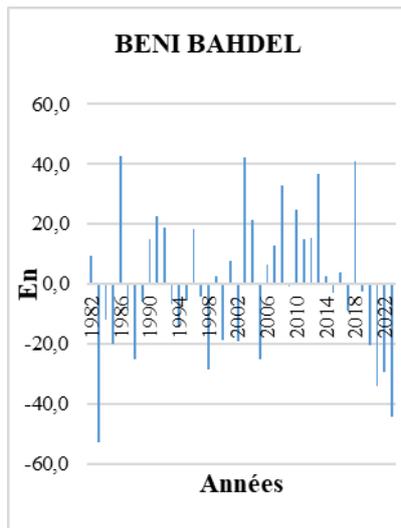
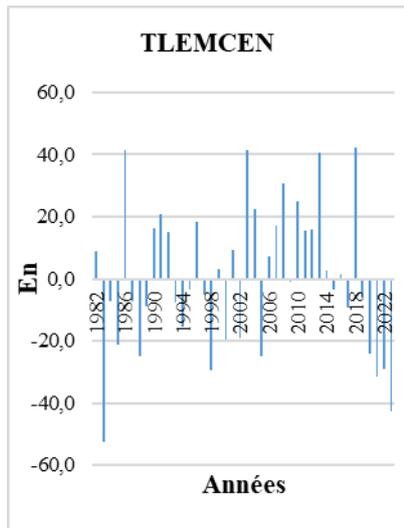
- 1982, 1986, 1990, 1996, 2003, 2004, de 2006 à 2008, ainsi que 2018.

- De 2010 à 2014, la plupart des années ont été humides, à l'exception des stations de Beni Saf, Ghazaouet, Nedroma, Marsa Ben M'hidi, Boukiou, Sidi Medjahed, Sabra, Lalla Maghnia, Beni Ouassine, Pierre du Chat, Remchi et Hammam Bougrara en 2014.
- En 2021, des conditions humides ont été observées dans les stations de Tenes, Achaacha, et Chélif.
- En 1985, des précipitations abondantes ont été enregistrées uniquement dans les stations de Tenes, Achaacha, Chélif, Tiaret, et Oued Rhiou.
- L'année 1992 a également été marquée par des conditions humides, à l'exception des stations Achaacha, Chélif, Relizane, Oued Rhiou, Ghriss, Mostaganem, Arzew, et Ain Temouchent.
- En 1999, des précipitations importantes ont été enregistrées, sauf dans les stations de Saida, Marsa Ben M'hidi, Sidi Medjahed, Lalla Maghnia, Beni Ouassine, Khemis, et Sebdu.
- En 2009, les conditions humides ont prévalu, à l'exception des stations de Tiaret, Saida, Sidi Ali Benyoub, Marsa Ben M'hidi, Khemis, et Sebdu.
- En 2019, seules les régions de Beni Saf et Ghazaouet ont bénéficié de conditions humides.









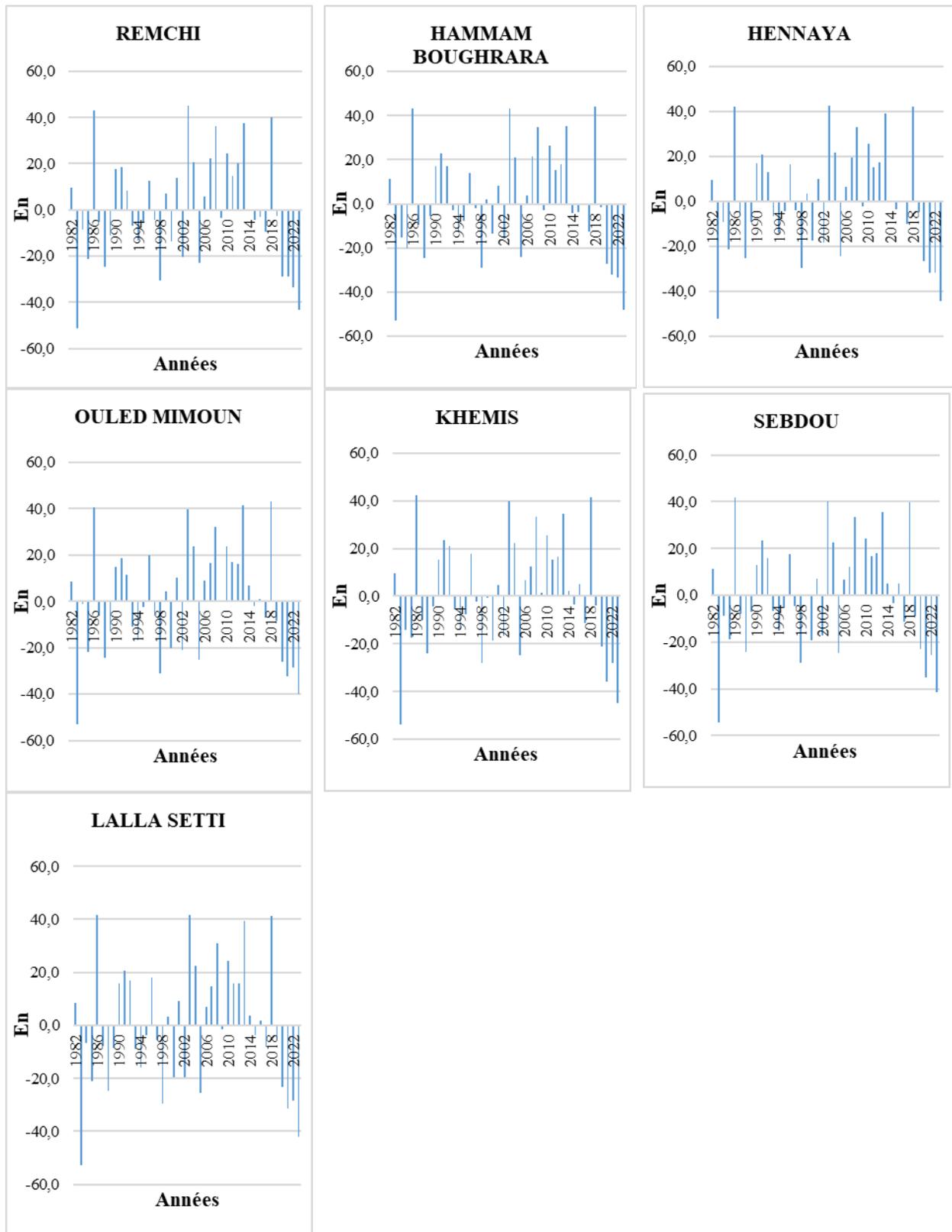


Figure IV.4 : Indice de l'écart à la normale (En) (1982 – 2023)

#### **IV.6. Conclusion**

L'étude des indices de sécheresse, incluant le SPI, l'Em, l'Ipet l'En, met en évidence des similitudes visibles dans les tendances de ces indices entre 1982 et 2023 dans le Nord-ouest algérien. Ces indices, chacun mesurant des aspects différents de la sécheresse, permettent une évaluation approfondie des variations de pluviosité au cours des décennies.

Ces indices de sécheresse utilisés fournissant un aperçu complet des conditions hydriques dans la région. Leur analyse révèle des tendances concordantes, signalant des périodes marquées par des conditions sèches ou humides.

Entre 1982 et 2023, la région a connu des variations significatives de ses conditions de pluviosité. Les années caractérisées par une sécheresse prononcée incluent 1983, la période de 1987 à 1989, 1993, 1995, 1997, 1998, 2000, 2002, 2005, 2015, ainsi que la période continue de 2019 à 2023. Ces années sont identifiées par des indices de sécheresse élevés, indiquant un déficit de précipitations et des conditions d'humidité du sol extrêmement faibles.

Cependant, certaines années se distinguent par des conditions exceptionnellement humides. Par exemple, 1982, 1986, 1990, 1996, 2003, 2004, la période de 2006 à 2008, et 2018 montrent des valeurs d'indices de sécheresse basses, correspondant à des périodes de précipitations abondantes et une disponibilité accrue de l'eau.

L'analyse plus fine des années telles que 1985 et 2016 révèle des anomalies dans les tendances générales. Par exemple, bien que 1985 soit une année généralement sèche, certaines données locales montrent des niveaux de précipitations supérieurs à la moyenne pour des périodes courtes, créant des contrastes marqués. De même, 2016 présente une situation où les indices montrent des variations interannuelles significatives, avec des périodes sèches sévères suivies de phases de récupération hydrique rapide.

Ces interprétations des indices de sécheresse sont d'une grande importance pour comprendre les dynamiques climatiques régionales et anticiper les impacts sur l'agriculture, les ressources en eau et la gestion environnementale dans le Nord-Ouest algérien. Les données collectées sur ces indices fournissent une base solide pour des stratégies d'adaptation et de mitigation face aux changements climatiques et à leurs effets sur les cycles hydrologiques de la région.

Pour une meilleure compréhension nous tenterons dans le chapitre suivant, de transformer ces résultats de ces indices en cartes détaillées et informatives permettant de cerner la gestion des conditions hydriques dans le Nord-ouest algérien sur la période étudiée.

*Chapitre V*  
*Cartographie de la*  
*variabilité pluviométrique*  
*annuelle*

## **V. Introduction**

Pour visualiser de manière plus précise la variation spatio-temporelle des précipitations dans la région nord-ouest de l'Algérie sur une période de 41 ans, nous avons analysé les données de 37 stations pluviométriques. Cette étude repose sur une collecte exhaustive des données pluviométriques de la zone, couvrant la période allant de 1982 à 2023. En utilisant le logiciel ArcGIS 10.5, nous avons procédé à des interpolations par des techniques telles que le krigeage et l'IDW. Cela nous a permis de produire des cartes thématiques illustrant les indices climatiques et de sécheresse pour chaque décennie de la période étudiée.

### **V.1. Variabilité des précipitations moyennes annuelles**

#### **a. Echelle annuelle :**

L'analyse de la variabilité des précipitations moyennes annuelles dans le Nord-ouest de l'Algérie, sur la période de 1982 à 2023, révèle des tendances significatives marquées par des disparités régionales distinctes. Cette région, caractérisée par un climat relativement humide, présente des précipitations annuelles moyennes variant généralement entre 350 mm et plus de 500 mm.

Les zones montagneuses, telles que celles de l'Atlas Tellien, enregistrent les précipitations les plus élevées. Cette augmentation des précipitations est principalement due à l'effet orographique, où l'air humide ascendant rencontre les montagnes, se refroidit et condense pour former des précipitations. Les localités situées dans ces régions bénéficient de cette dynamique, enregistrant souvent des précipitations annuelles supérieures à 500 mm. Par exemple, des villes comme Tlemcen et Chlef, situées à des altitudes plus élevées, connaissent des précipitations significativement plus importantes que les zones situées en plaine.

Les régions situées sur les hauts plateaux, avec des altitudes intermédiaires, présentent des précipitations moyennes annuelles comprises entre 350 mm et 500 mm. Ces zones bénéficient également de l'effet orographique, bien que de manière moins prononcée que les montagnes plus élevées. La variabilité des précipitations dans ces régions peut être influencée par des facteurs tels que la variabilité interannuelle du climat et les anomalies climatiques régionales. Des villes telles que Sidi Bel Abbès et Mascara représentent typiquement ces conditions climatiques intermédiaires.

Par contre, les zones sahariennes du pays, qui s'étendent dans le Sud de la région nord-ouest, connaissent des niveaux de précipitations annuelles considérablement plus faibles, souvent inférieurs à 100 mm par an. Ces régions arides sont caractérisées par un climat désertique, avec des précipitations rares et irrégulières. La transition vers des conditions plus arides est également observée dans les zones de transition entre le Tell et le Sahara, où les précipitations diminuent rapidement avec la distance croissante du littoral méditerranéen et l'augmentation de l'influence désertique.

La distribution spatiale des précipitations dans le Nord-ouest algérien (fig.V.1) est influencée par une combinaison de facteurs, notamment l'altitude, la latitude et la proximité de la mer. Les régions côtières, telles que Marsa Ben M'Hidi, Beni Saf, Senia, Arzew, Oran Port et Mostaganem, caractérisées par une altitude plus basse, enregistrent généralement des niveaux de précipitations moins élevés. Bien que la proximité de la mer Méditerranée puisse modérer

les températures et apporter une certaine humidité, l'altitude plus basse de ces régions tend à limiter les quantités de précipitations reçues. En effet, la mer Méditerranée joue un rôle prépondérant dans le régime des précipitations de la région. Elle agit comme une source d'humidité, mais son influence diminue rapidement avec l'altitude et la distance. Les vents dominants de la mer apportent de l'humidité aux régions côtières, mais cette humidité se dissipe rapidement à mesure que l'air se déplace vers l'intérieur et rencontre des altitudes plus élevées.

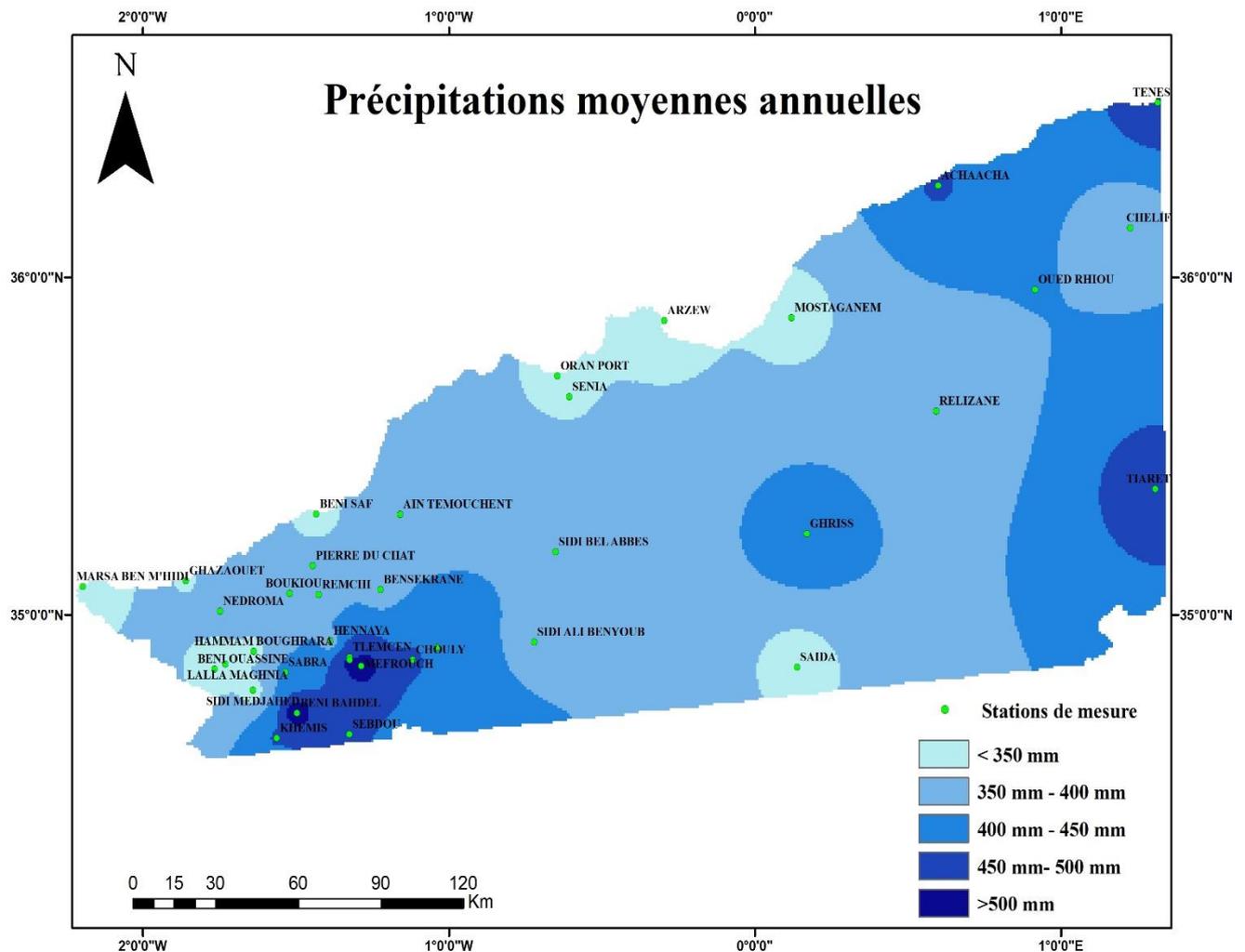


Figure V.1 : Carte des précipitations moyennes annuelles

**b. Echelle décennale**

La cartographie de la variabilité des précipitations moyennes au cours des décennies de 1982 à 2023, révèle les tendances suivantes :

❖ **1982-1992**

Durant cette décennie, les conditions météorologiques ont été marquées par une sécheresse persistante, principalement concentrée dans les plaines du Tell.

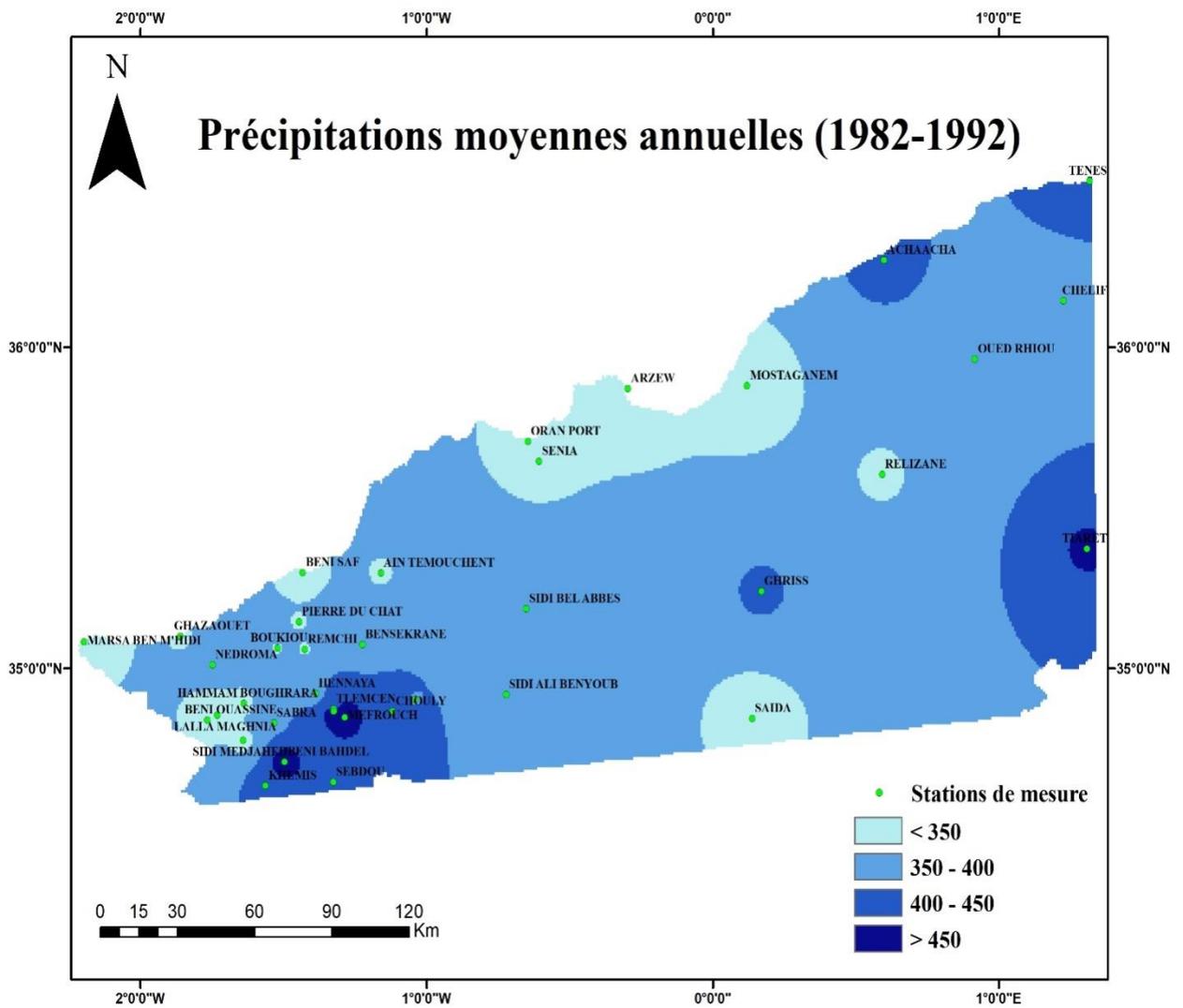


Figure V.2 : Carte des précipitations moyennes annuelles de 1982 à 1992

❖ 1993-2003

Pendant la période de 1993 à 2003, une déficience en précipitations a été constatée à travers toute la région, en particulier dans les zones de l'Atlas Tellien et sur les zones côtières.

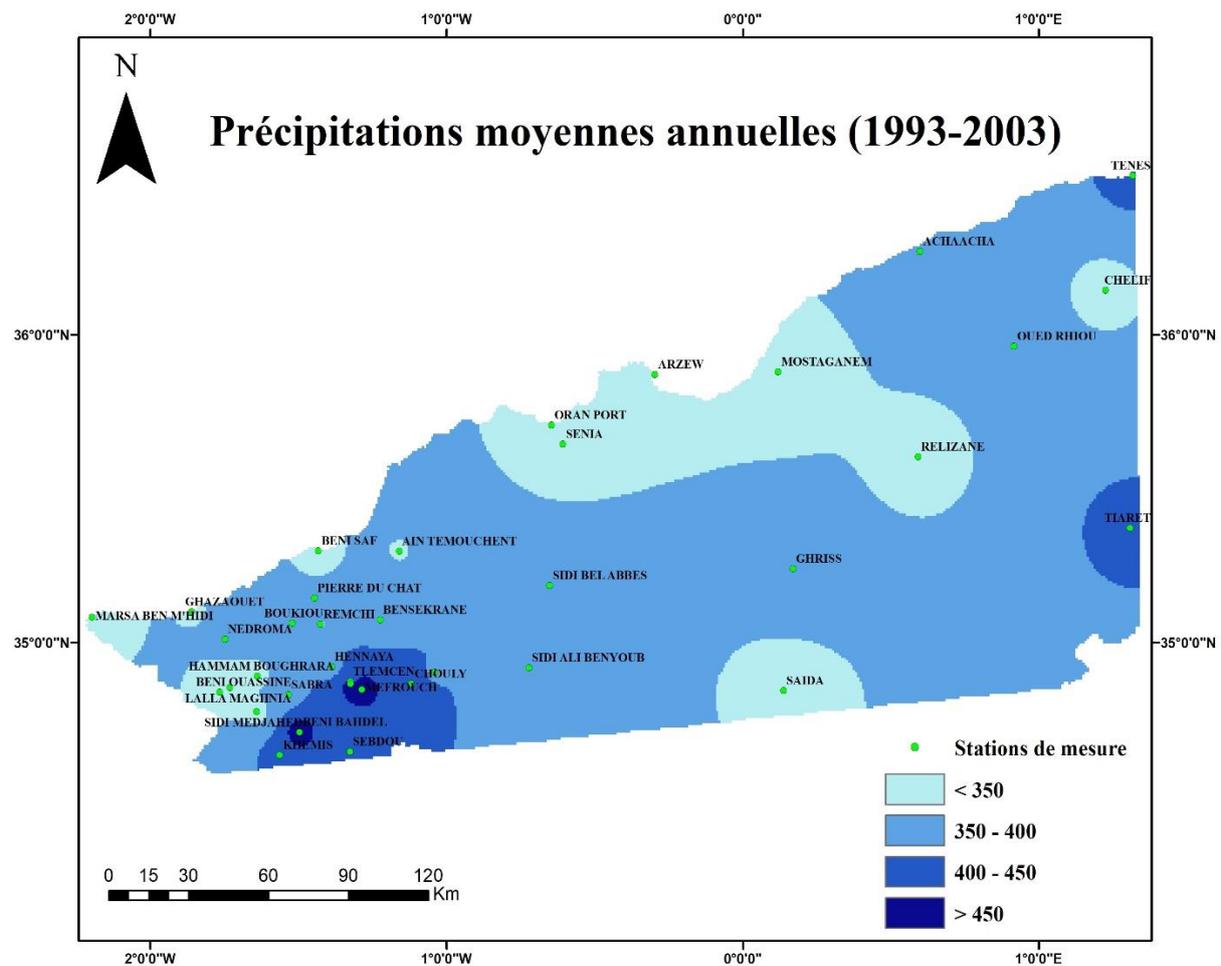


Figure V.3 : Carte des précipitations moyennes annuelles de 1993 à 2003

❖ **2004-2014**

Au cours de cette décennie, une augmentation significative des précipitations a été observée, marquant des années plus humides.



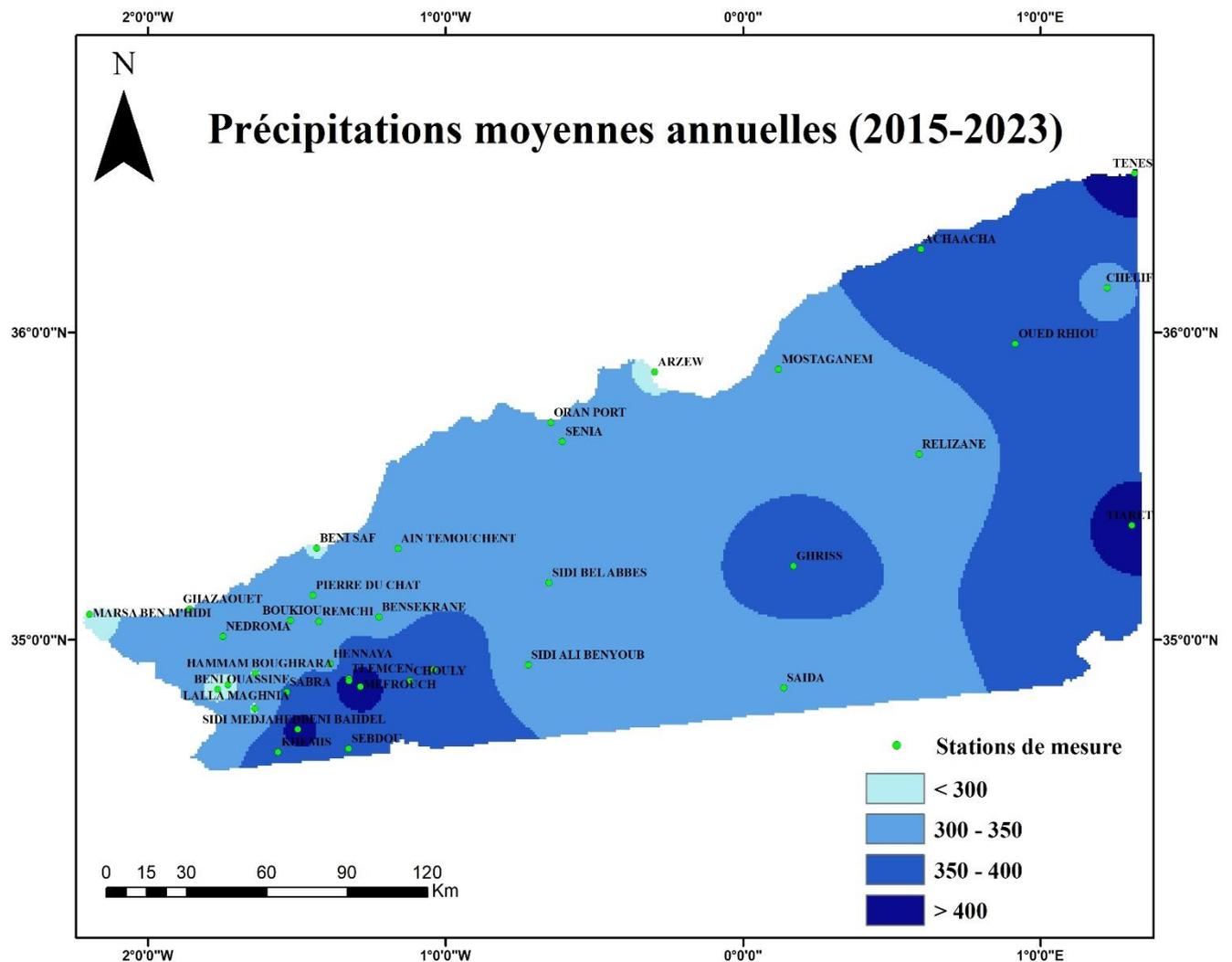


Figure V.5 : Carte des précipitations moyennes annuelles de 2015 à 2023

## V.2. Variabilité des températures moyennes annuelles

### a. Echelle annuelle

L'analyse de la variabilité des températures moyennes annuelles dans le Nord-ouest de l'Algérie révèle des schémas distincts selon les régions géographiques :

- ❖ Les régions les plus chaudes : les températures moyennes annuelles dépassent généralement les 19°C. Ces régions se trouvent principalement le long des zones côtières et dans les plaines du Tell. Le climat y est caractérisé par des températures élevées tout au long de l'année, en raison de la proximité de la mer Méditerranée et de l'exposition directe au soleil. Par exemple, les villes côtières comme Oran et Mostaganem connaissent des températures modérées mais persistantes, contribuant à un climat chaud et agréable.
- ❖ Les régions modérément chaudes : les températures moyennes annuelles dans ces régions sont comprises entre 17°C et 19°C. Ces zones sont principalement situées dans les hauts plateaux et les zones montagneuses de l'Atlas Tellien. La combinaison

de l'altitude et de la latitude crée un climat plus tempéré, avec des variations saisonnières plus marquées. Des villes comme Tlemcen et Sidi Bel Abbès en sont des exemples typiques, bénéficiant d'étés chauds et d'hivers plus frais.

- ❖ Les régions les plus froides : Ces régions enregistrent des températures moyennes annuelles inférieures à 15°C et se situent principalement dans les zones montagneuses élevées des hauts plateaux et de l'Atlas Tellien. L'altitude élevée et la distance par rapport à la mer Méditerranée contribuent à des conditions climatiques plus froides. Des localités comme Djebel Babor et Chréa sont représentatives de ces zones, où les hivers peuvent être rigoureux et les étés relativement frais.

La distribution spatiale des températures dans le Nord-ouest algérien (fig.V.6) est influencée par une combinaison de facteurs, dont l'altitude, la latitude, la topographie et la proximité de la mer. Cette diversité climatique crée des environnements variés, allant des régions côtières chaudes et ensoleillées aux sommets montagneux plus frais, offrant ainsi une richesse de paysages et de microclimats dans cette partie du pays.

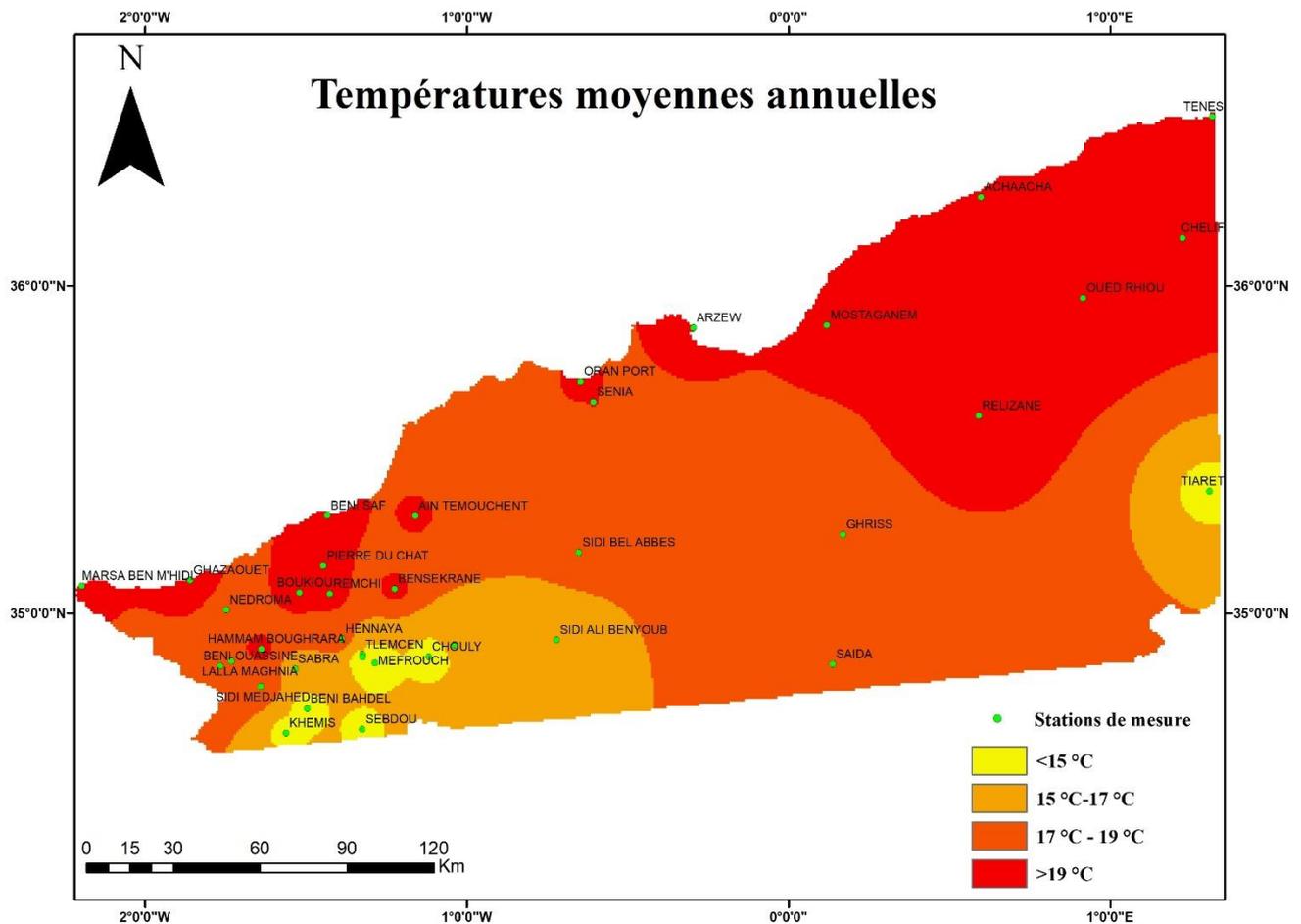


Figure V.6 : Carte des températures moyennes annuelles.

**b. Echelle décennale**  
 ❖ **1982-1992**

Les plaines littorales et les plateaux intérieurs sont caractérisés par les températures les plus élevées, tandis que les reliefs montagneux présentent les températures les plus basses.

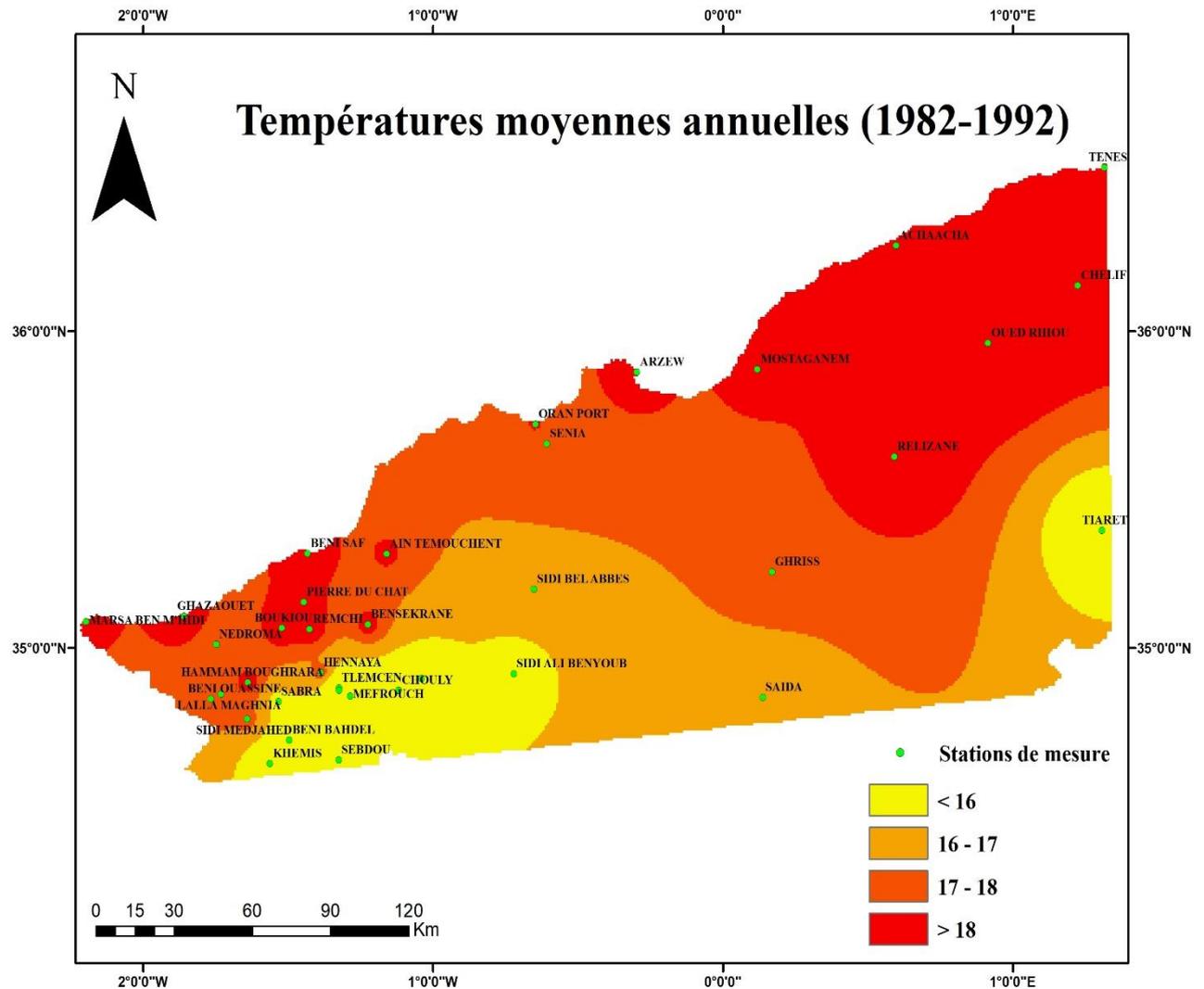


Figure V.7 : Carte des températures moyennes annuelles de 1982 à 1992.

❖ **1993-2003**

Durant cette décennie, la région a enregistré une augmentation des températures, particulièrement notable dans les zones telliennes et côtières.



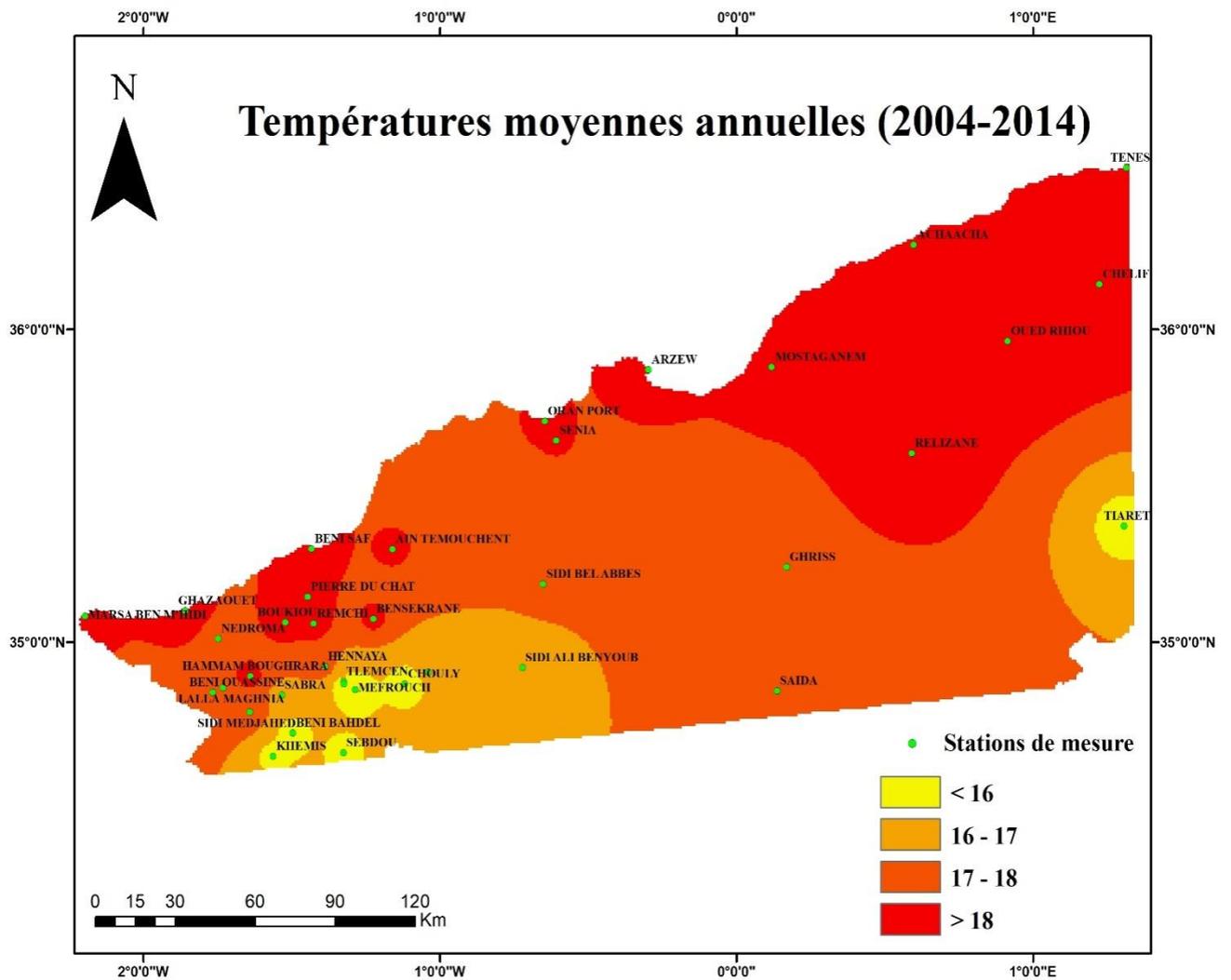


Figure V.9 : Carte des températures moyennes annuelles de 2004 à 2014.

❖ **2015-2023**

Les plaines littorales et les plateaux intérieurs représentent les zones les plus chaudes, tandis que les reliefs montagneux affichent les températures les plus basses.

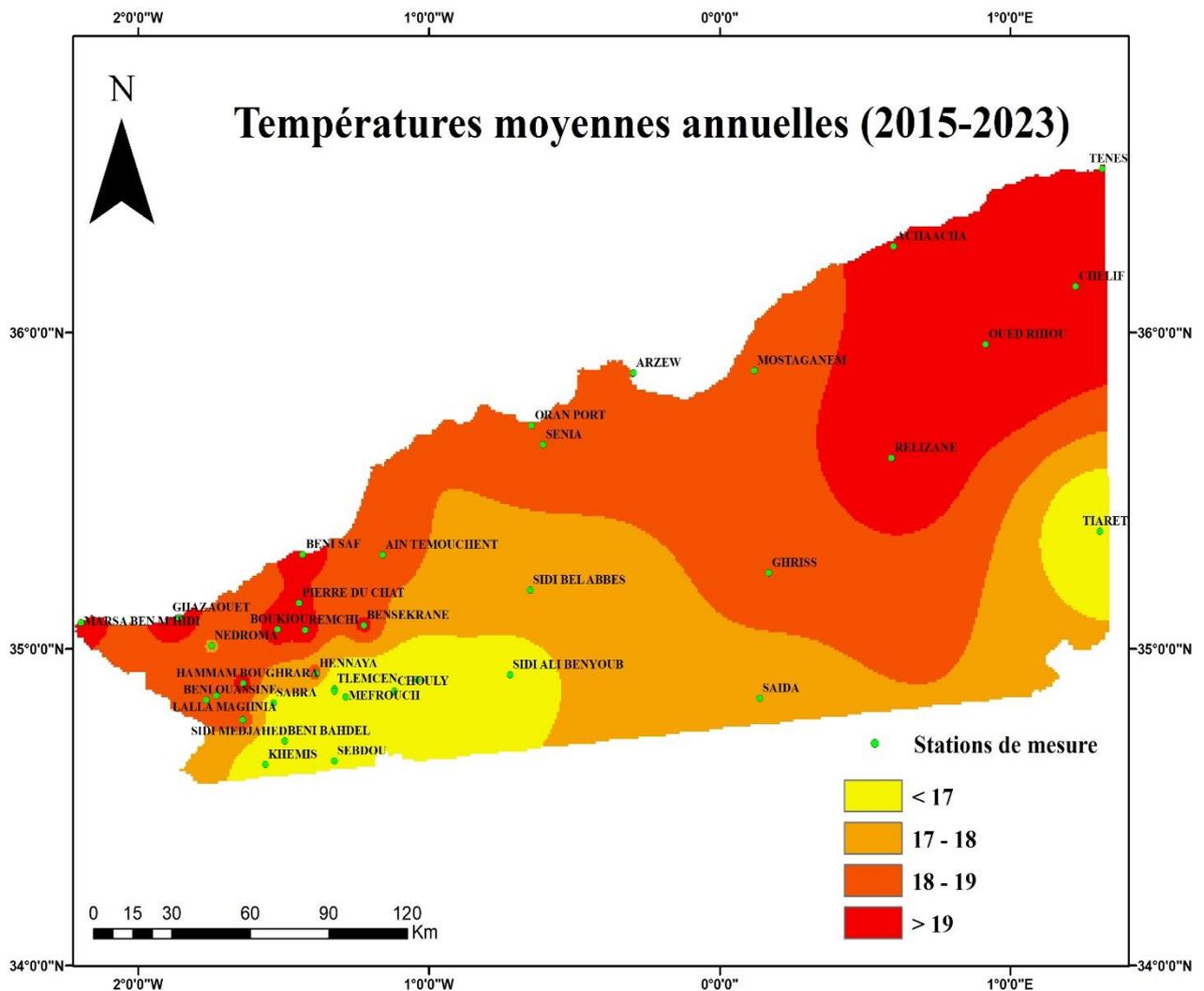


Figure V.10 : Carte des températures moyennes annuelles de 2015 à 2023.

### V.3. Indices climatiques

#### V.3.1. Indice d'aridité annuel de De. Martonne

L'analyse de la carte de l'Indice de De. Martonne (fig.V.11) fait apparaître que la majorité des stations étudiées affichent un climat semi-aride. Cependant, certaines exceptions telles que Beni Bahdel, Mefrouch et Lalla Setti se distinguent en présentant un climat relativement tempéré. Ces zones se caractérisent par des conditions climatiques distinctes des régions environnantes.

Les plaines du Tell, identifiées comme les zones les plus arides, sont marquées par des précipitations limitées et des conditions de sécheresse prédominantes. Cette aridité est due à plusieurs facteurs tels que l'altitude basse, la proximité de la mer et le climat méditerranéen. En effet, les plaines du Tell sont situées à des altitudes relativement basses, ce qui limite l'effet orographique qui pourrait autrement augmenter les précipitations. De même, bien que proches de la mer, ces régions ne bénéficient pas suffisamment de l'humidité maritime en raison de la topographie et des régimes de vent. Ajoutant à ça, l'effet du climat méditerranéen qui contribue à une saison sèche prolongée, accentuant les conditions de sécheresse.

Les localités comme Marsa Ben M'hidi, Beni Saf, Senia, Arzew, Oran Port et Mostaganem exemplifient ce climat aride, où les ressources en eau sont souvent limitées et l'agriculture dépend largement de l'irrigation.

À l'inverse, les zones montagneuses de l'Atlas Tellien se distinguent par un climat relativement plus humide. Les localités comme Beni Bahdel, Mefrouch et Lalla Setti présentent des caractéristiques climatiques uniques qui les séparent des régions voisines.

Les montagnes de l'Atlas Tellien, par leur altitude, créent des conditions favorables aux précipitations. L'air ascendant se refroidit et condense, entraînant des précipitations plus fréquentes et abondantes. En même temps, l'effet Orographique accentue les précipitations dans les zones montagneuses, en particulier sur les versants exposés aux vents dominants chargés d'humidité. Aussi, les variations topographiques et l'orientation des vallées créent des microclimats distincts, souvent plus tempérés que les plaines environnantes.

Ces zones humides jouent un rôle d'équilibre dans l'écosystème régional, en soutenant une biodiversité plus riche et en offrant des ressources en eau plus abondantes pour l'agriculture et les communautés locales.

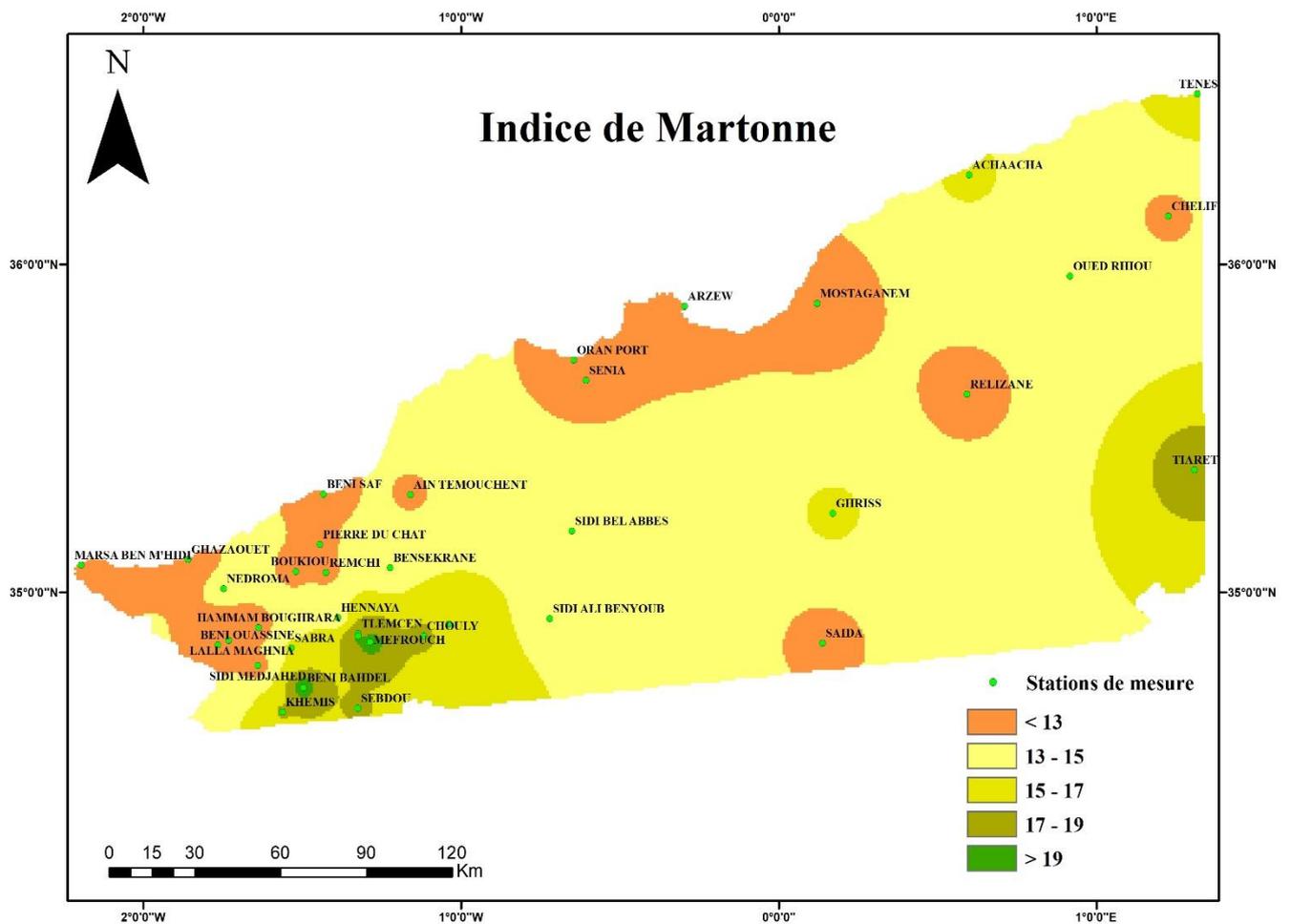


Figure V.11: Carte de l'indice de De Martonne

### V.3.2. Indice de Lang annuel

La carte de l'indice de Lang annuel (fig.V.12) indique que la zone d'étude est principalement caractérisée comme une région aride. Cet indice, qui mesure le rapport entre les précipitations annuelles et la température moyenne annuelle, permet de distinguer les différents niveaux d'aridité et d'humidité.

Les régions du Tell, identifiées comme les plus arides selon l'indice de Lang, incluent plusieurs localités et caractéristiques géographiques :

- Marsa Ben M'hidi, Beni Saf, Senia, Arzew, Oran Port et Mostaganem : Ces villes côtières et leurs environs sont typiquement arides, avec des précipitations annuelles limitées et des températures élevées tout au long de l'année.
- Plaines et Vallées du Tell : Les plaines du Tell, en particulier, présentent des conditions de sécheresse persistante, avec des sols souvent pauvres en matière organique et une végétation clairsemée.

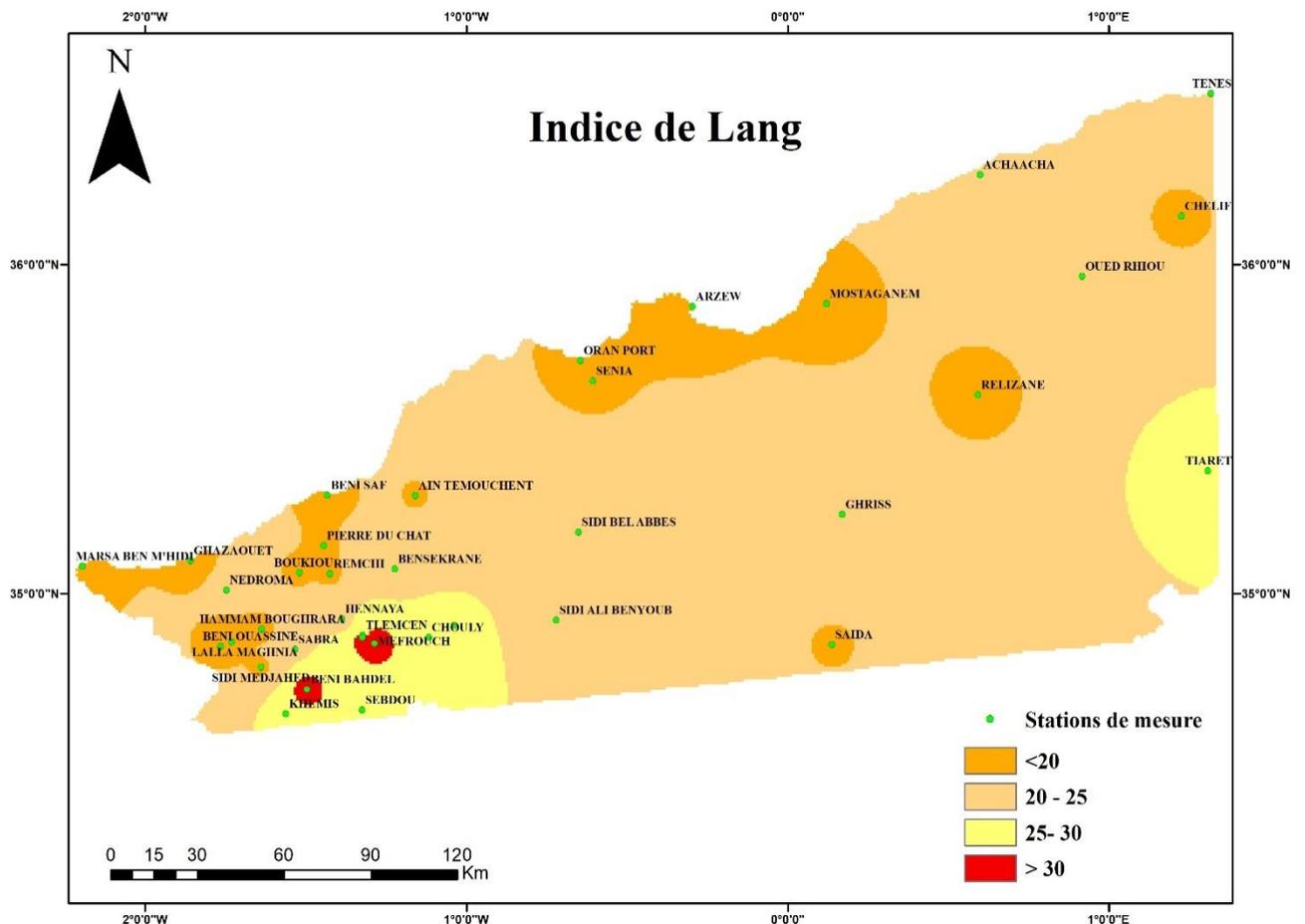


Figure V.12: Carte de l'indice annuel de Lang



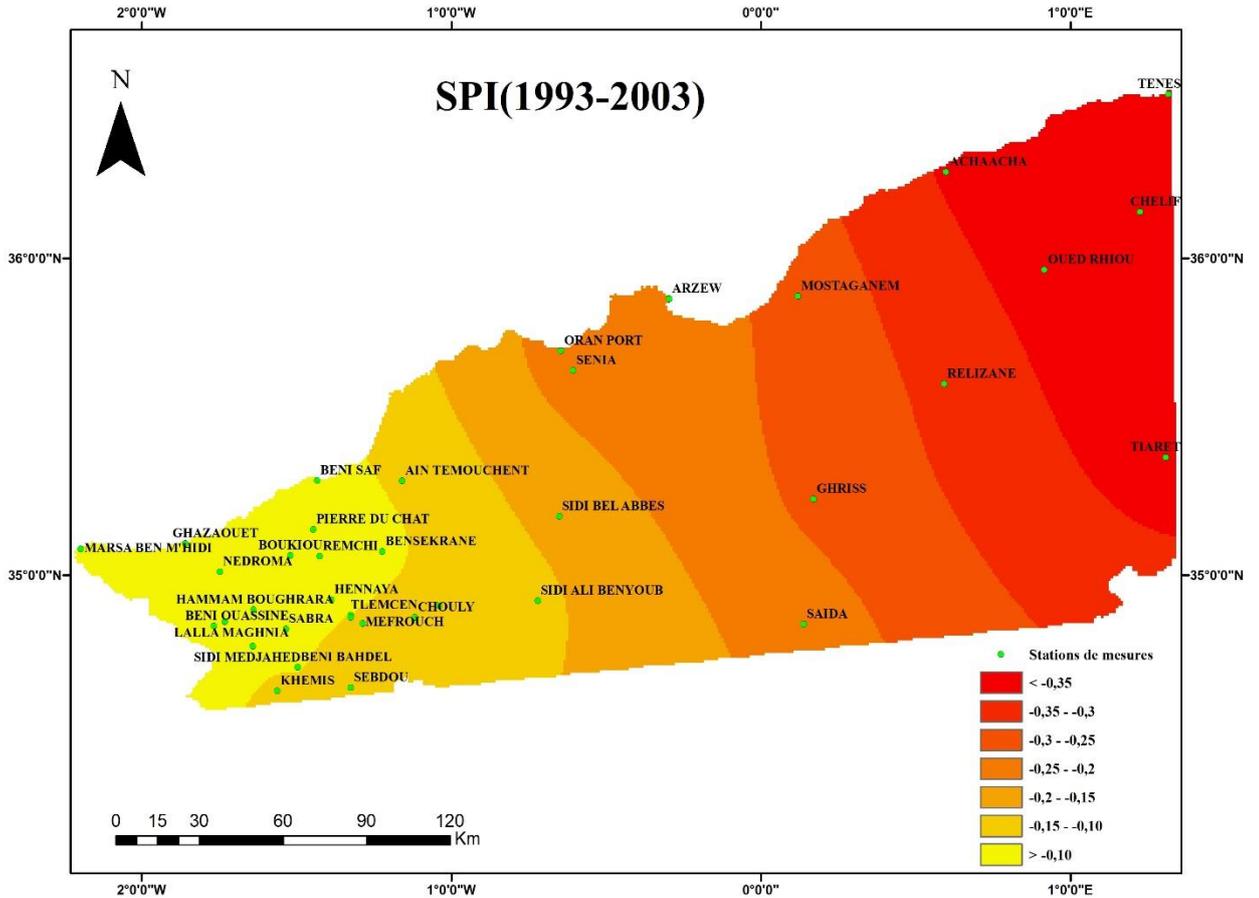


Figure V.14: Indice standardisé des précipitations (SPI) de 1993 à 2003

❖ **2004-2014 : Humidité Modérée**

La période 2004-2014 a été marquée par une tendance vers l'excès de précipitations, avec des indices pluviométriques compris entre 0 et 1. Ces valeurs du SPI indiquent une période de relative humidité modérée dans la région, permettant une certaine récupération des nappes phréatiques et une amélioration des conditions agricoles.

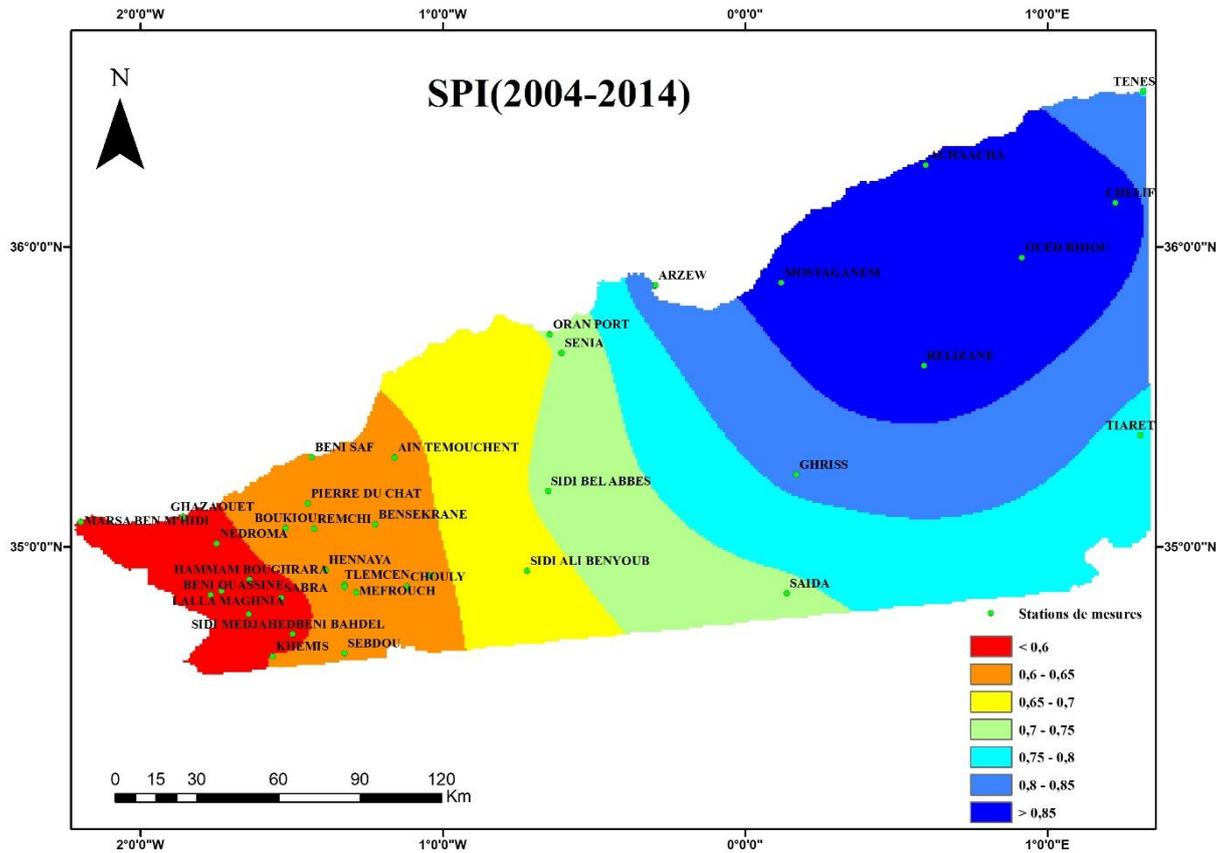


Figure V.15: Indice standardisé des précipitations (SPI) de 2004 à 2014

❖ **2015-2023 : Sécheresse Extrême**

Enfin, de 2015 à 2023, une nouvelle phase de sécheresse s'est manifestée, avec des valeurs d'Indice SPI inférieures à -2, témoignant d'une sécheresse extrême affectant la région.

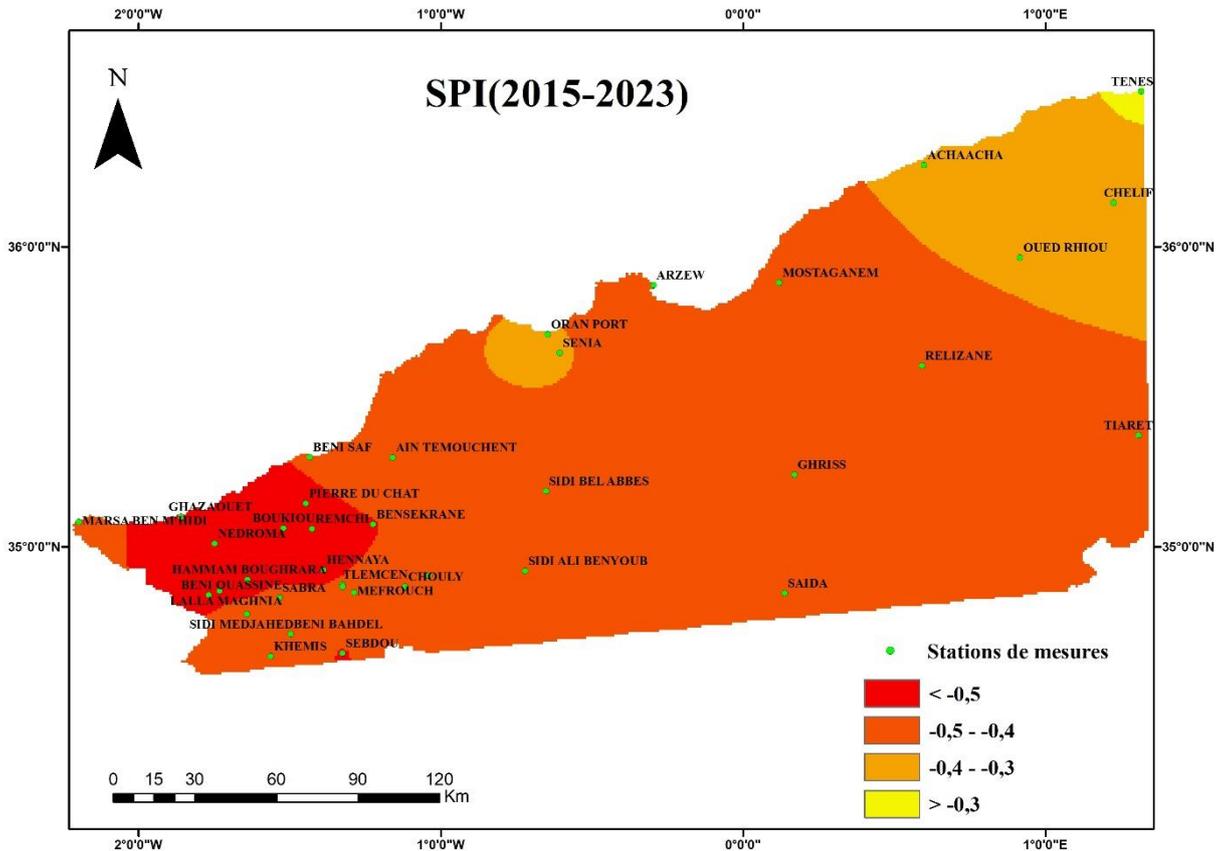


Figure V.16: Indice standardisé des précipitations (SPI) de 2015 à 2023

L'analyse décennale de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) révèle des fluctuations significatives des précipitations dans le nord-ouest de l'Algérie de 1982 à 2023. Les périodes alternants entre sécheresse modérée, déficience généralisée en précipitations, humidité modérée, et sécheresse extrême montrent la variabilité climatique

### a.2. Échelle Annuelle

Une analyse des valeurs de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) à l'échelle annuelle révèle des tendances intéressantes concernant la distribution des précipitations dans le Nord-ouest de l'Algérie sur la période de 1982 à 2023 (fig.V.17)).

L'examen des valeurs annuelles du SPI indique une tendance vers des valeurs proches de zéro, ce qui suggère une sécheresse modérée persistante au fil des années. Cependant, cette sécheresse n'est pas uniformément répartie sur l'ensemble de la région, mais affecte de manière disproportionnée l'est plutôt que l'ouest de la zone d'étude.

La sécheresse modérée affectant principalement l'est de la région se manifeste par des valeurs du SPI qui oscillent autour de zéro, mais qui tendent parfois vers des valeurs négatives. Cette disparité souligne la vulnérabilité particulière de l'est à des conditions climatiques plus sèches. En comparaison, l'ouest de la région semble être relativement moins affecté par la sécheresse, avec des valeurs du SPI plus proches de la normale. Cette partie de la région bénéficie de conditions climatiques légèrement meilleures.

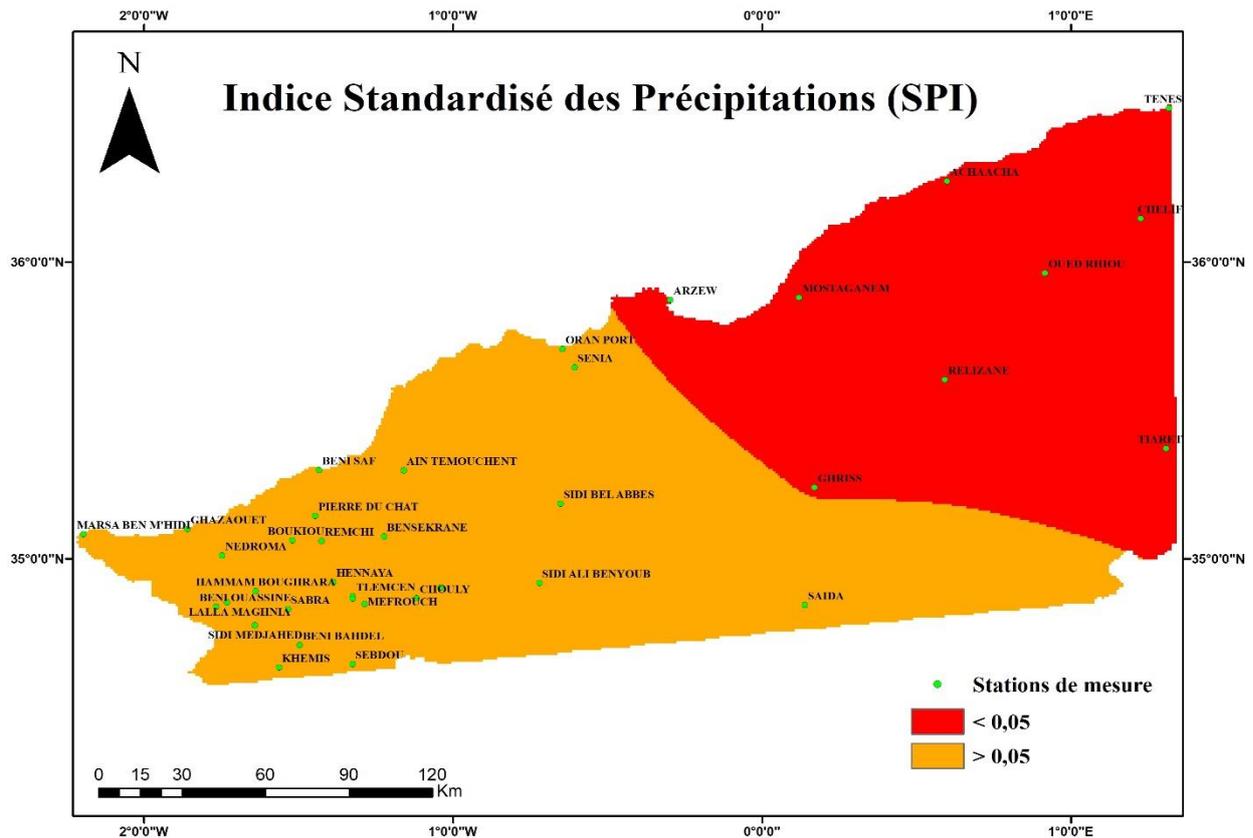


Figure V.17: Indice standardisé des précipitations (SPI) de 1982 à 2023

## b. Indice de l'écart à la moyenne (Em)

### b.1. Echelle décennale

L'analyse de l'Indice de l'écart à la moyenne (Em) pour les décennies de 1982 à 2023, révèle les variations significatives dans les précipitations par rapport à la moyenne attendue. Voici les observations détaillées par période :

#### ❖ 1982-1992 : Décennie de Sécheresse

Cette décennie est caractérisée par des années sèches, où les précipitations ont été en deçà de la moyenne attendue. La représentation cartographique de l'Em montre des valeurs négatives indiquant une déficience en précipitations.

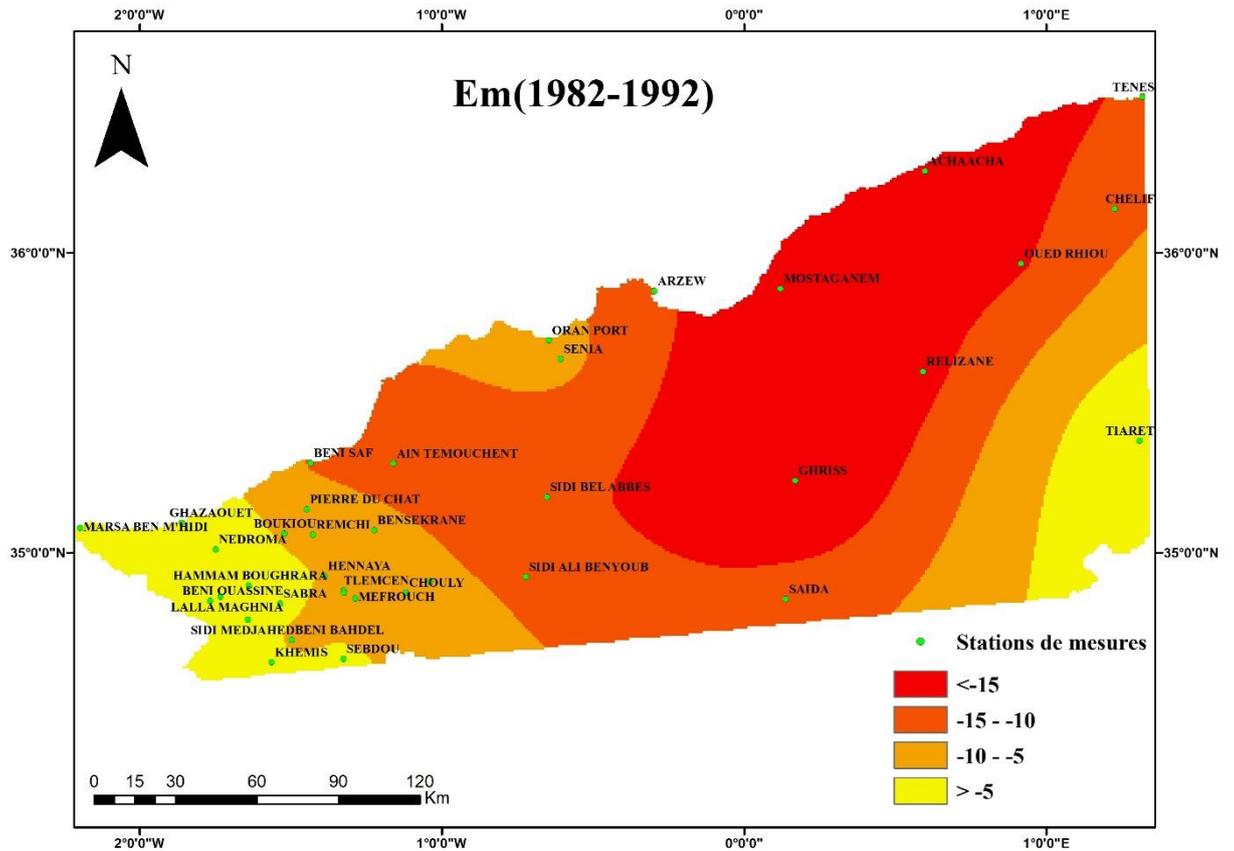


Figure V.18: Indice de l'écart à la moyenne Em de 1982 à 1992

❖ **1993-2003 : Période de Continuité de Sécheresse**

De manière similaire à la décennie précédente, cette période est également marquée par des années sèches, avec des précipitations inférieures à la normale. Les valeurs de l'Em continuent à indiquer un déficit pluviométrique.

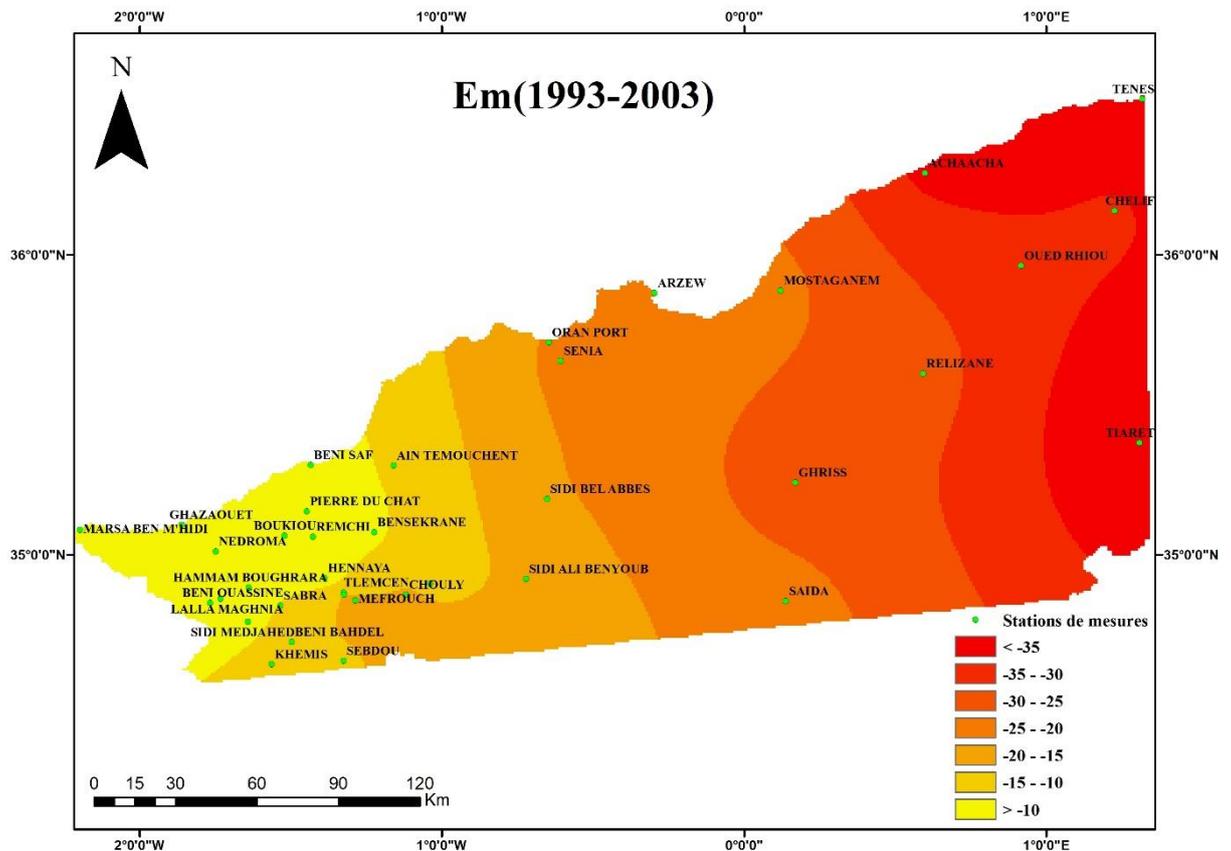


Figure V.19: Indice de l'écart à la moyenne Em de 1993 à 2003

❖ **2004-2014 : Conditions Plus Humides**

Cette décennie est caractérisée par des conditions plus humides, avec des précipitations excédentaires par rapport à la moyenne. Les valeurs positives de l'Em indiquent une augmentation des précipitations, ce qui a contribué à la recharge des nappes phréatiques et à une amélioration des conditions agricoles. Les années plus humides ont permis une certaine récupération des écosystèmes affectés par les deux décennies précédentes de sécheresse.

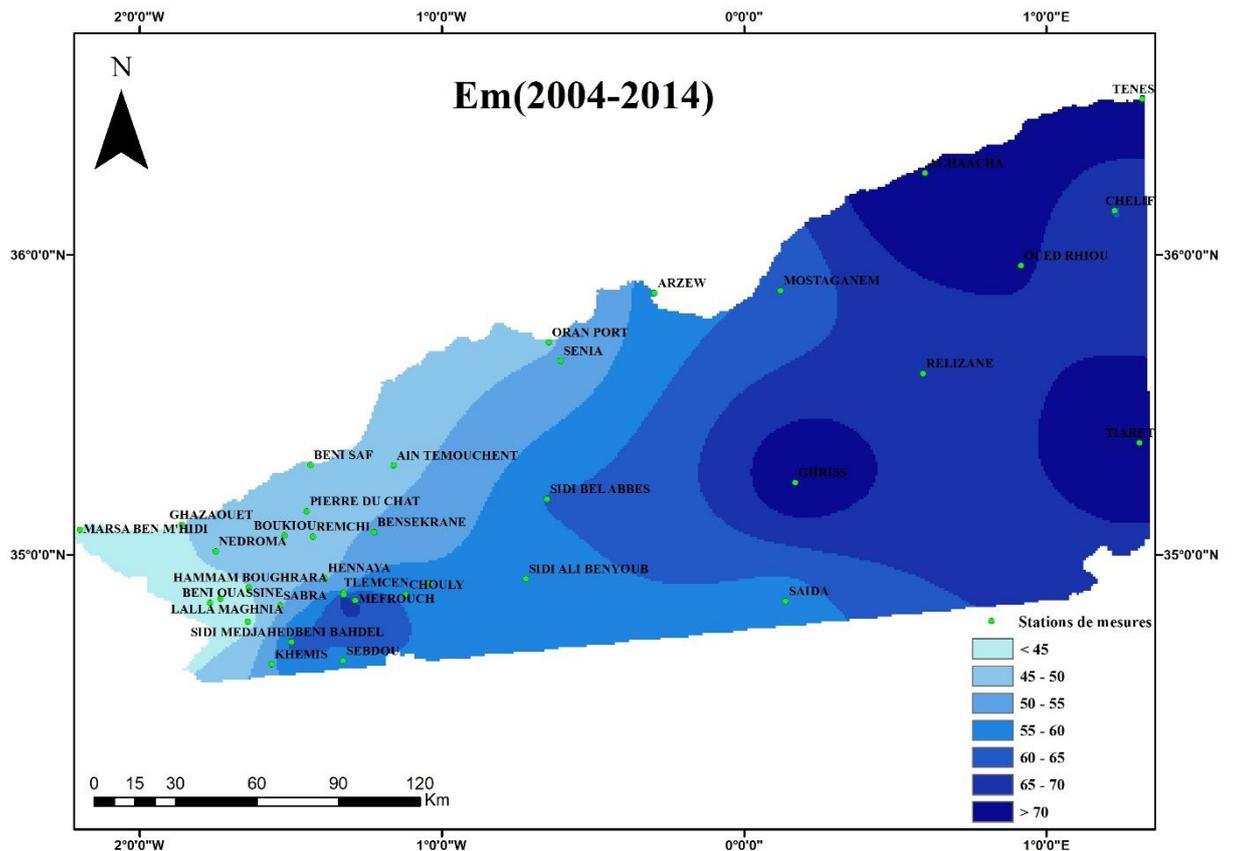


Figure V.20: Indice de l'écart à la moyenne Em de 2004 à 2014

❖ **2015-2023 : Retour à la Sécheresse**

En revanche, la période 2015-2023 est marquée par un retour à des années sèches, où les précipitations ont été en deçà de la moyenne. Les valeurs de l'Em redevenues négatives indiquent une reprise des conditions de sécheresse.

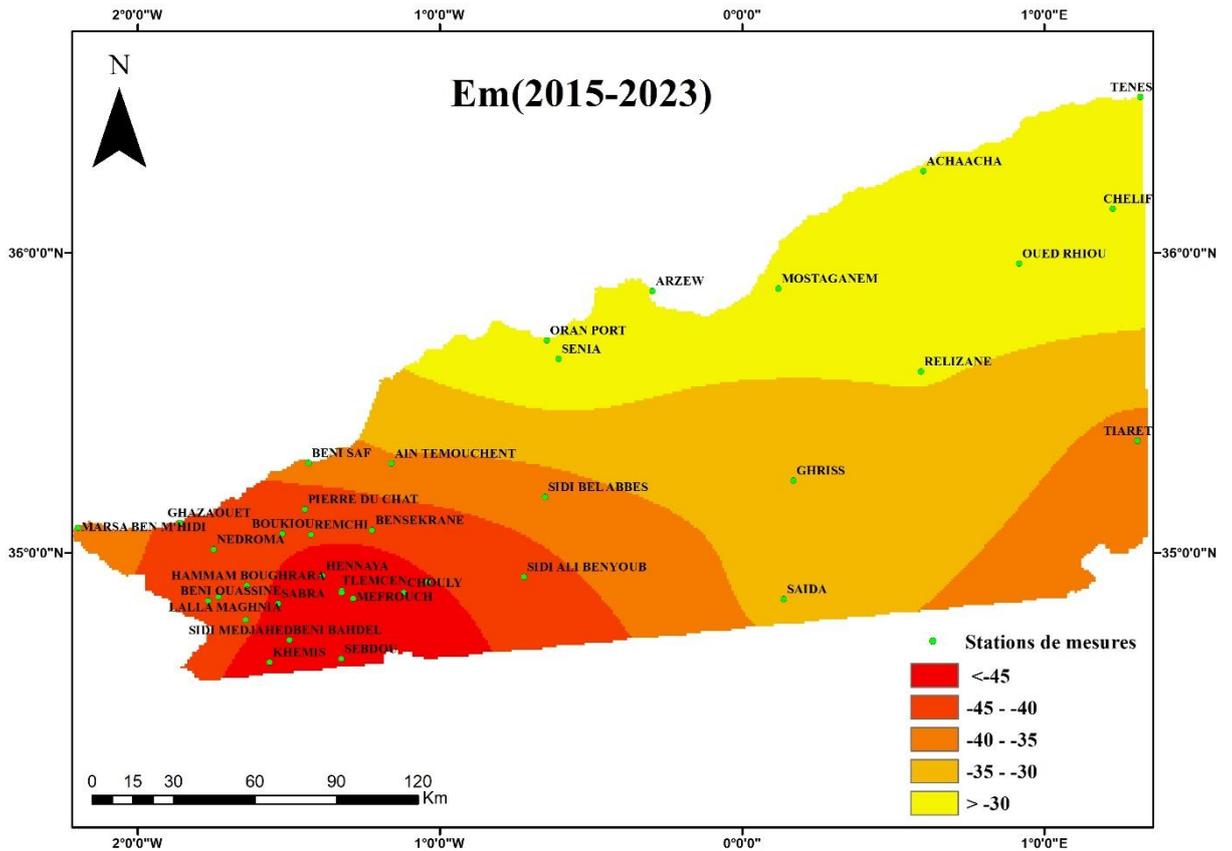


Figure V.21: Indice de l'écart à la moyenne Em de 2015 à 2023

## b.2 Echelle annuelle

L'analyse de l'Indice de l'écart à la moyenne (Em) montre une variation significative dans les niveaux d'humidité au sein de la région nord-ouest algérienne au cours de la période spécifiée. Les résultats cartographiques (fig.V.22) indiquent que les zones montagneuses et de Tell présentent des années plus humides par rapport aux zones côtières.



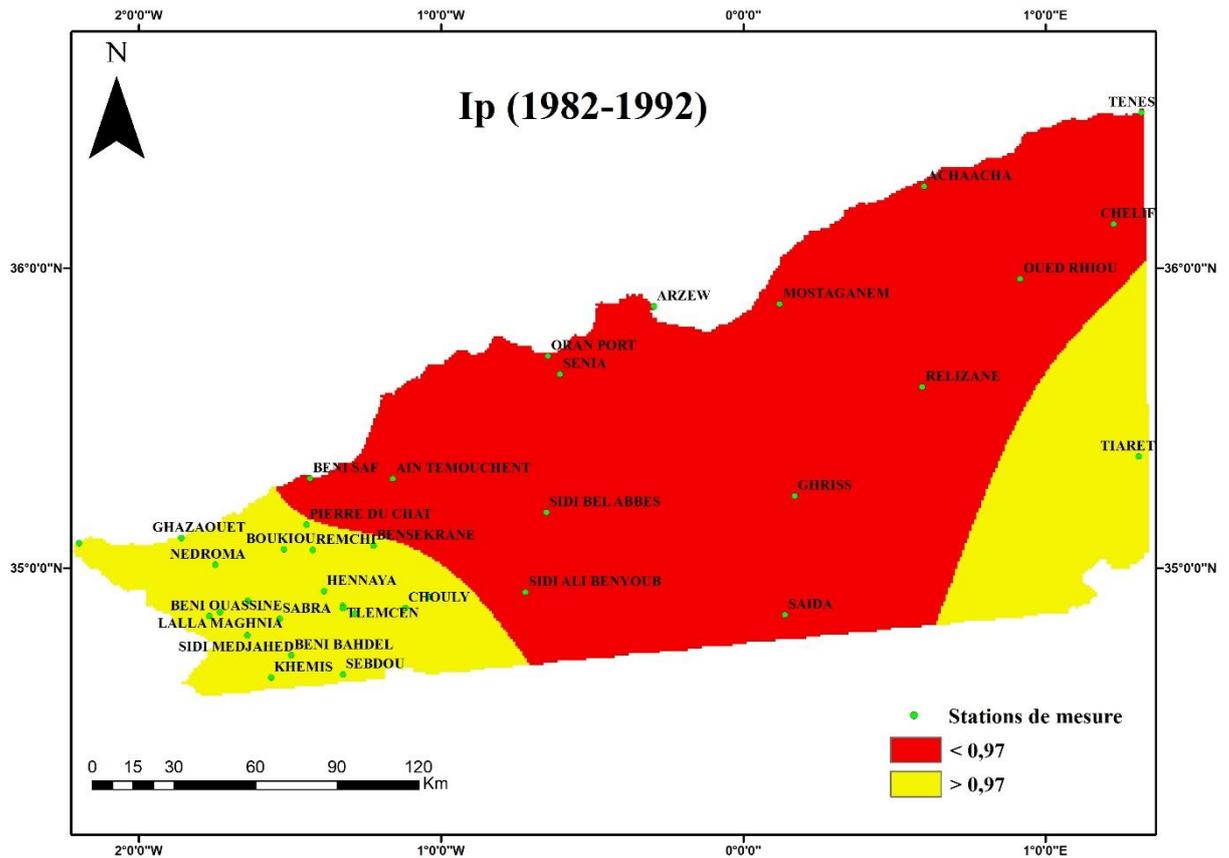


Figure V.23 : Carte de l'indice de pluviosité Ip de 1982 à 1992

❖ 1993-2003 : Continuité de la Sécheresse

De manière similaire à la décennie précédente, cette période est également marquée par des années sèches, avec des niveaux de précipitations toujours en dessous de la moyenne. Les valeurs négatives de l'Ip persistent, soulignant la persistance de la sécheresse.

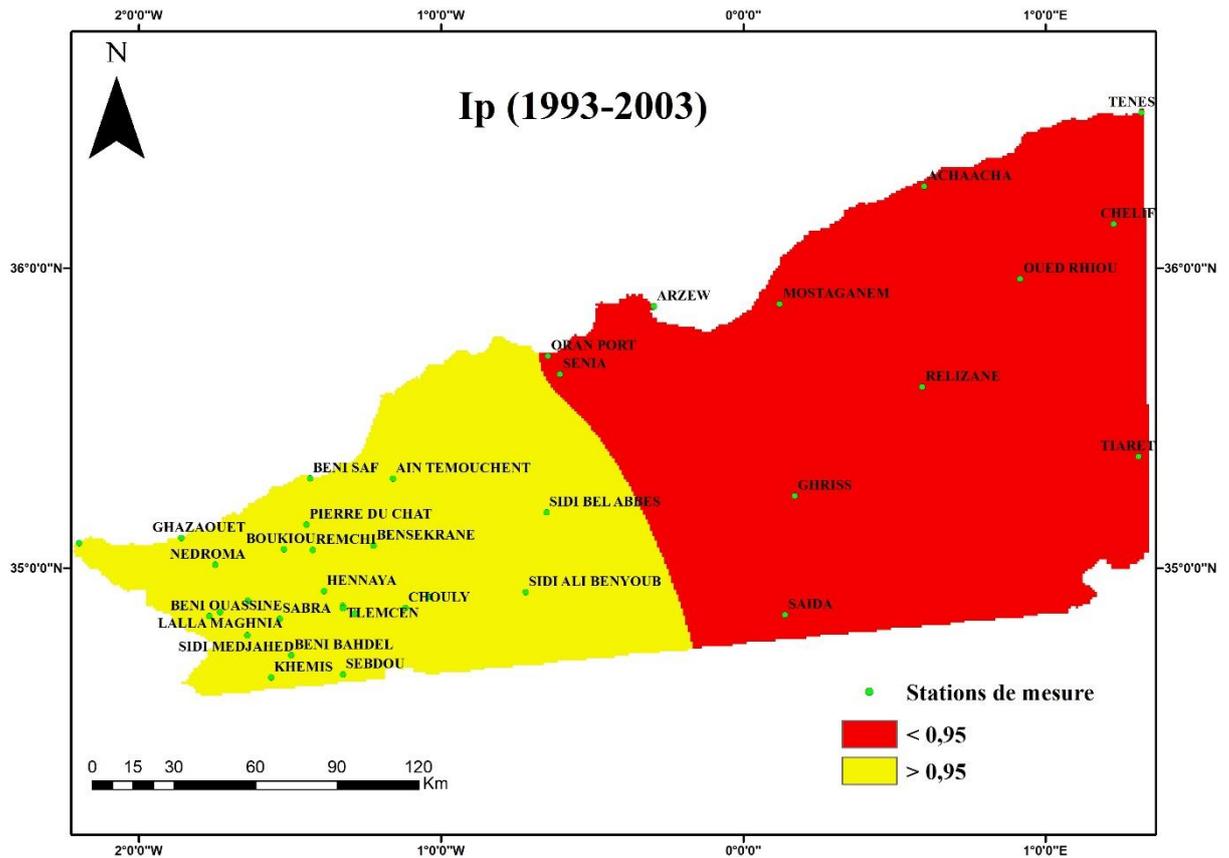


Figure V.24 : Carte de l'indice de pluviosité Ip de 1993 à 2003

❖ **2004-2014 : Conditions Plus Humides**

Une amélioration significative est observée au cours de cette décennie, caractérisée par des conditions plus humides. Les niveaux de précipitations excèdent la moyenne attendue, comme l'indiquent les valeurs positives de l'Ip sur la carte.

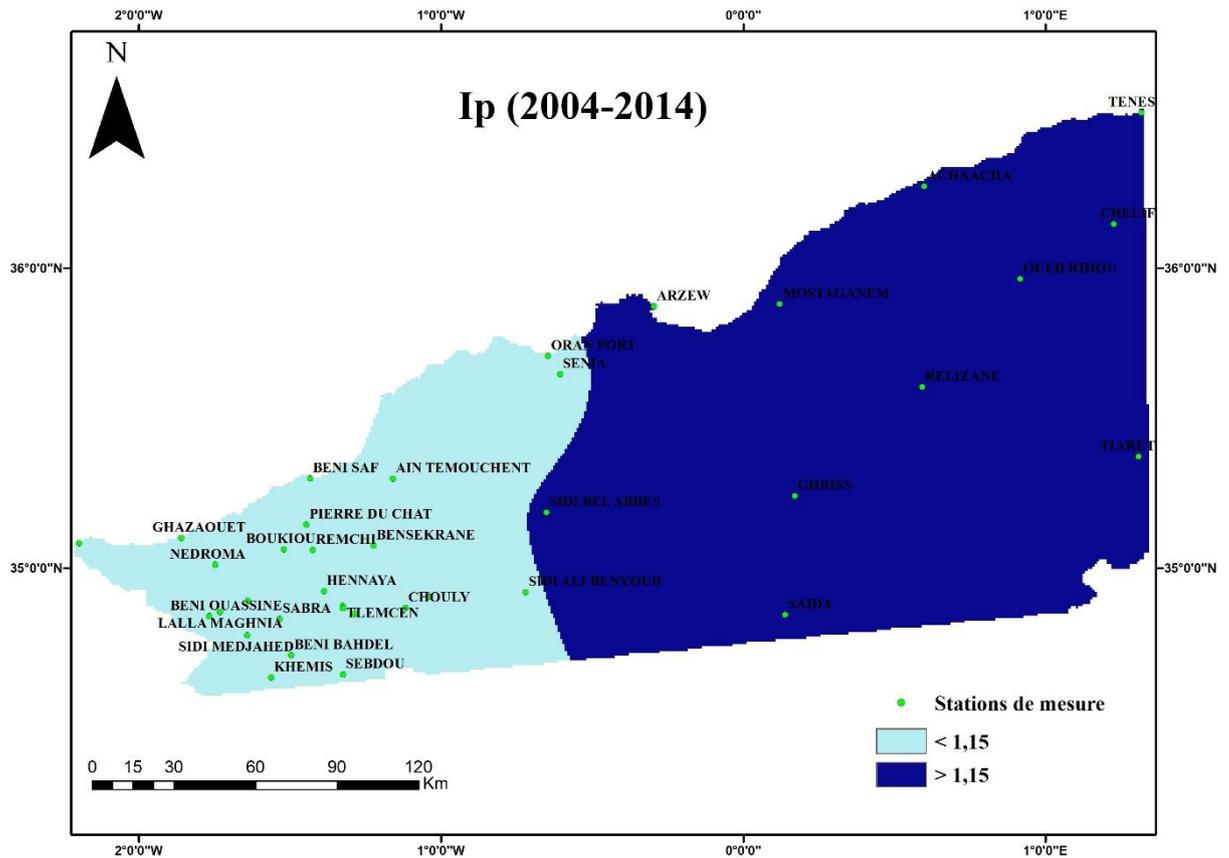


Figure V.25 : Carte de l'indice de pluviosité Ip de 2004 à 2014

❖ **2015-2023 : Retour à la Sécheresse**

Quant à la période de 2015 à 2023, elle est à nouveau caractérisée par des années sèches, avec des niveaux de précipitations inférieurs à la moyenne. Les valeurs négatives de l'Ip reflètent une pluviosité déficitaire.

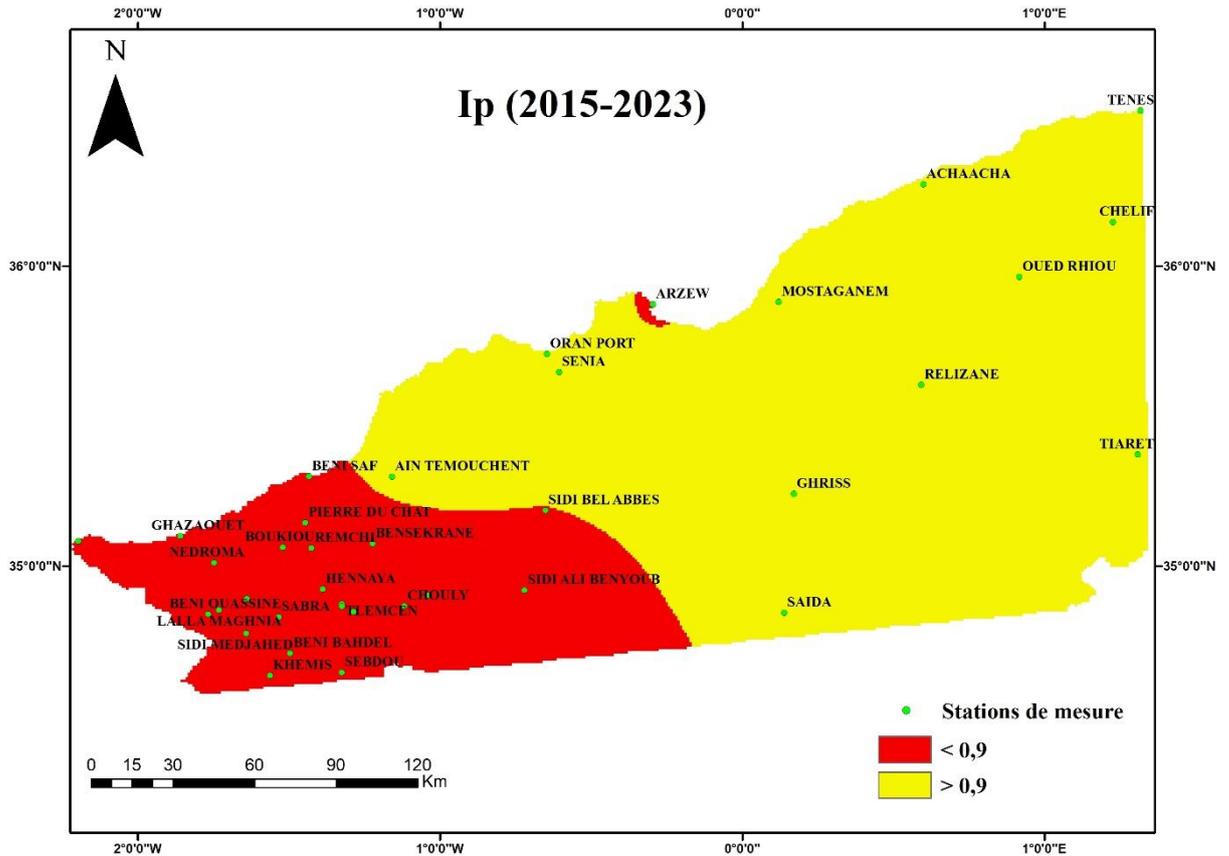


Figure V.26 : Carte de l'indice de pluviosité Ip de 2015 à 2023

### c.2. Echelle annuelle

Une évaluation de l'Indice de pluviosité (Ip) (fig.V.27) illustre une tendance vers des valeurs proches de 1, ce qui correspond à des années caractérisées par une faible humidité pour la région d'étude.

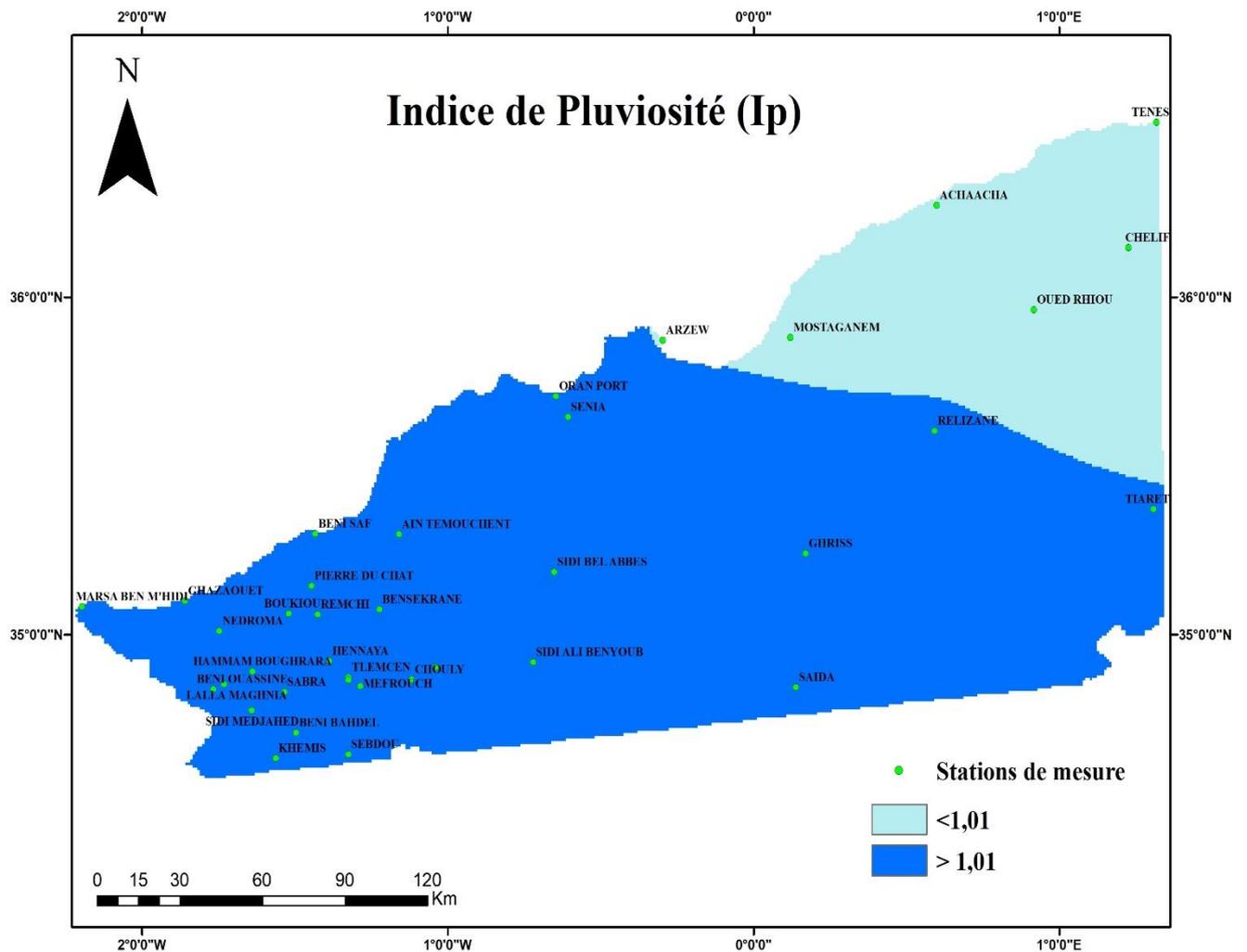


Figure V.27: Indice de pluviosité  $I_p$  de 1982 à 2023

#### d. Indice de l'Écart à la Normale (En)

##### d.1. Echelle décennale

L'analyse de l'Indice de l'Écart à la Normale (En) pour les décennies de 1982 à 2023 offre un aperçu des variations des précipitations dans la région nord-ouest algérien. Voici les observations spécifiques pour chaque période :

##### ❖ 1982-1992 : Sécheresse Persistante

Durant cette décennie, la région a été confrontée à des années sèches, marquées par des niveaux de précipitations inférieurs à la moyenne attendue. Les valeurs négatives de l'En sur la carte indiquent une pluviosité déficitaire.

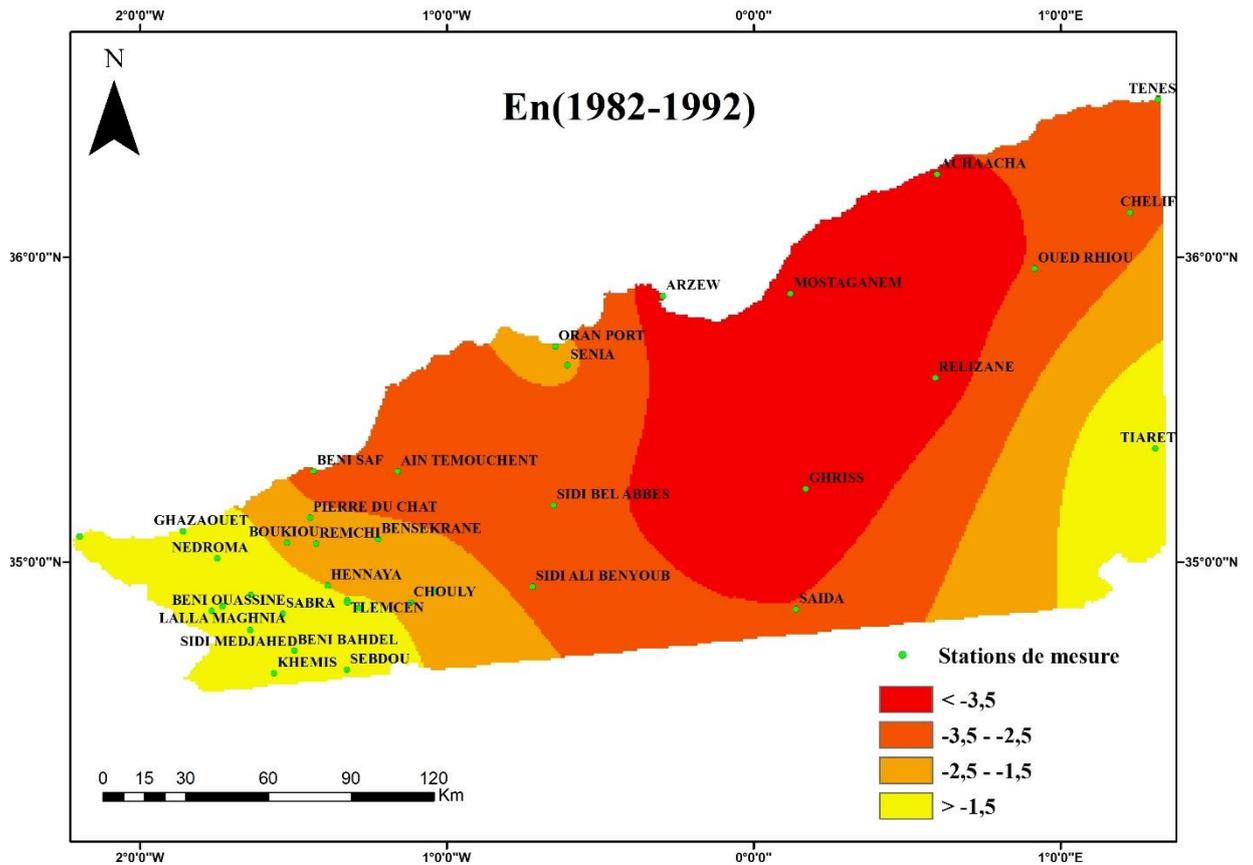


Figure V.28: Carte de l'Indice de l'écart à la normale (En) de 1982 à 1992

❖ **1993-2003 : Continuité de la Sécheresse**

De manière similaire à la décennie précédente, cette période est également caractérisée par des années sèches, avec des précipitations en dessous de la normale. Les valeurs négatives de l'En persistent, soulignant la persistance de la sécheresse.

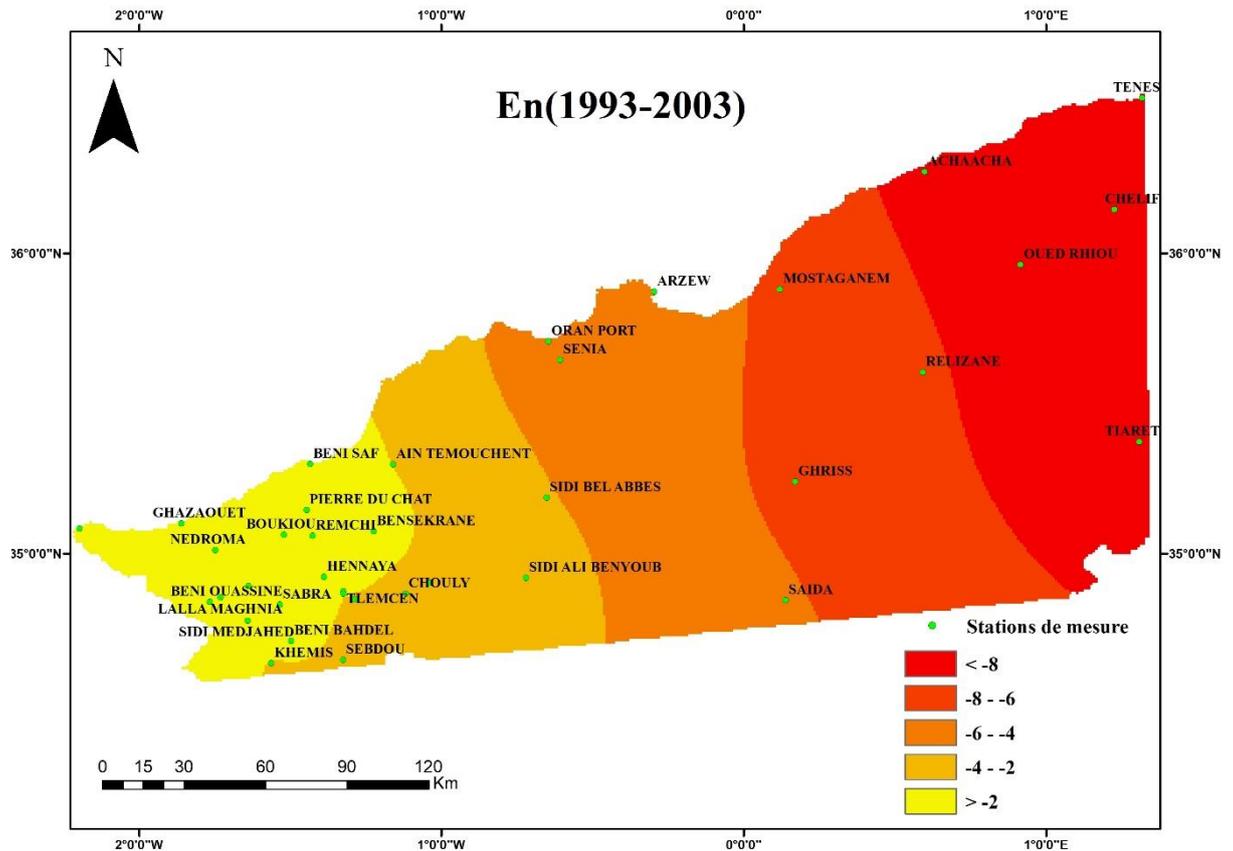


Figure V.29: Carte de l'Indice de l'écart à la normale (En) de 1993 à 2003

❖ **2004-2014 : Conditions Plus Humides**

En revanche, les années entre 2004 et 2014 sont marquées par des conditions plus humides, avec des niveaux de précipitations excédentaires par rapport à la normale. Les valeurs positives de l'En sur la carte reflètent une pluviosité excédentaire.

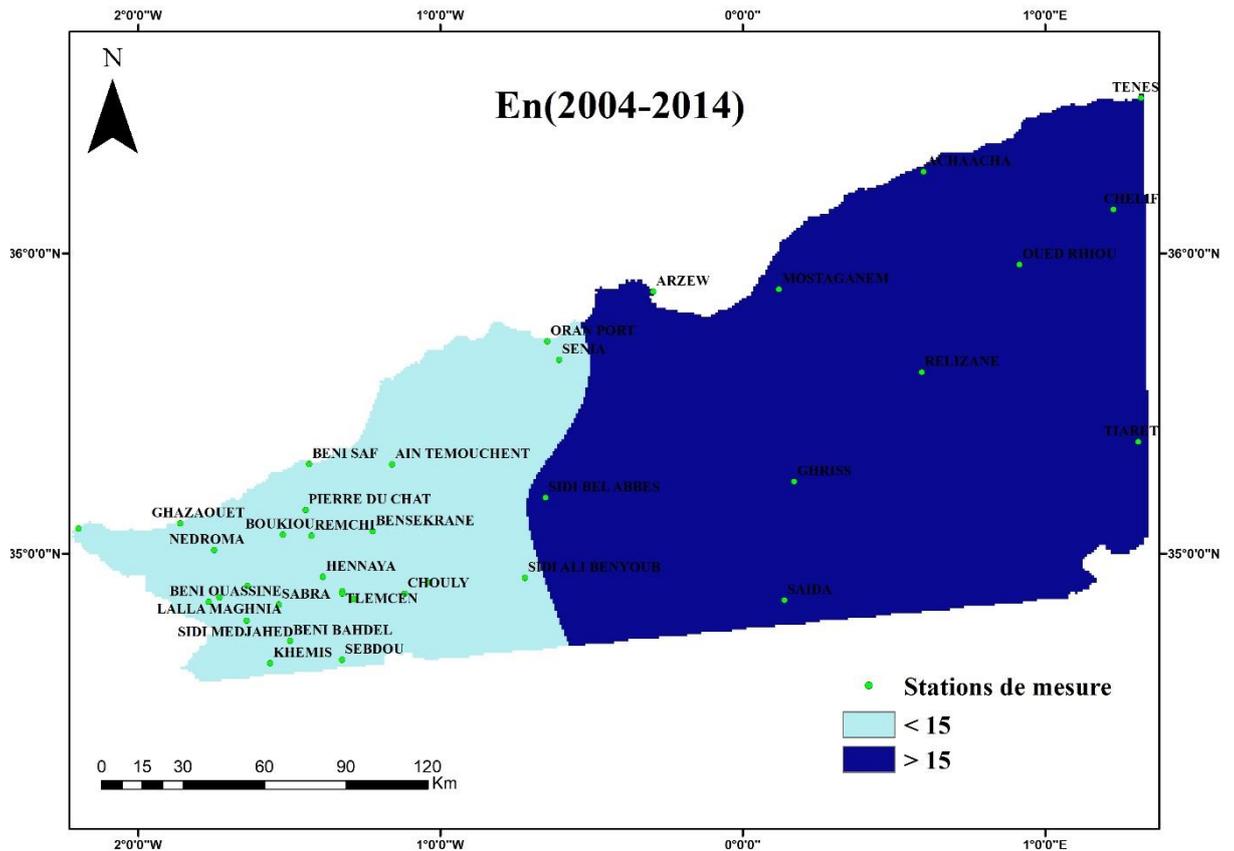


Figure V.30: Carte de l'Indice de l'écart à la normale (En) de 2004 à 2014

❖ **2015-2023 : Retour à la Sécheresse**

Cependant, la période entre 2015 et 2023 est de nouveau caractérisée par des années extrêmement sèches, avec des précipitations inférieures à la normale. Les valeurs négatives de l'En réapparaissent, signalant une reprise de la sécheresse.

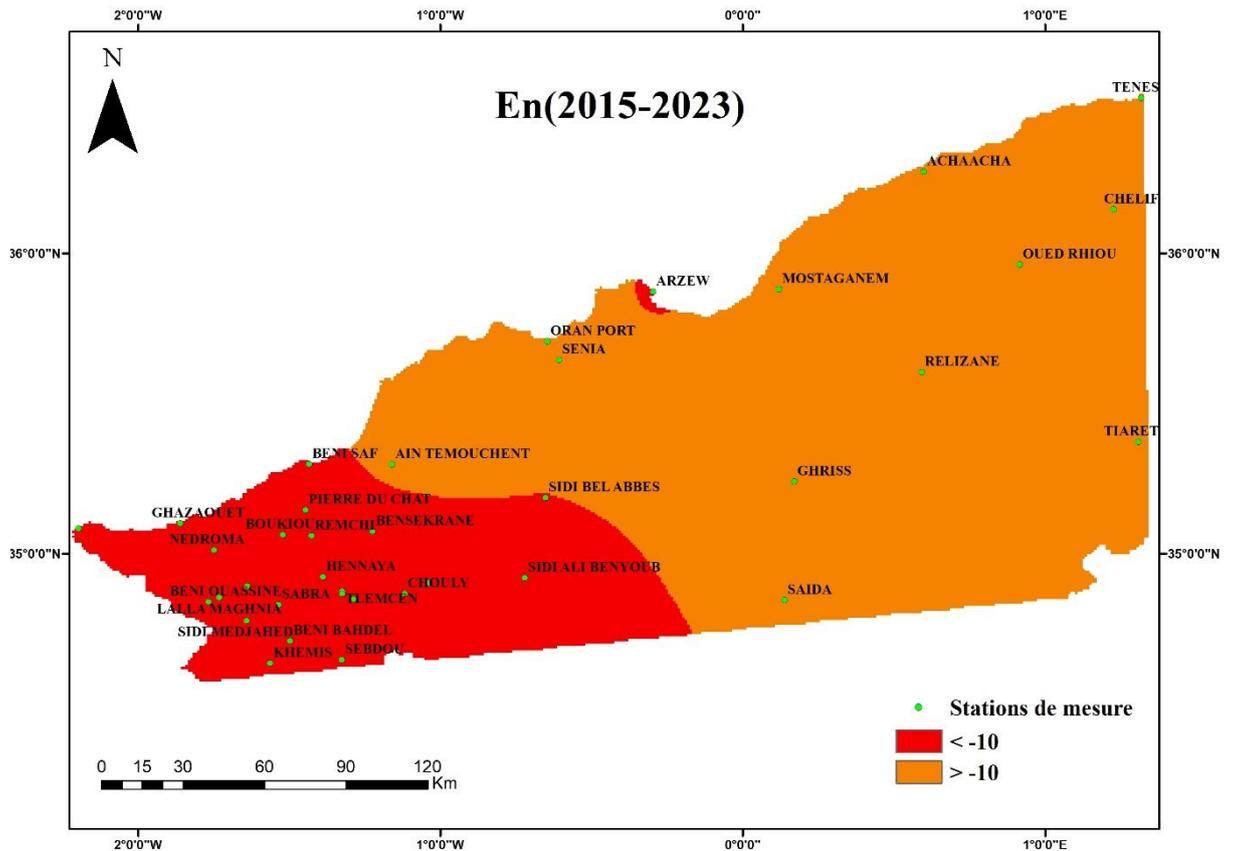


Figure V.31: Carte de l'Indice de l'écart à la normale (En) de 2015 à 2023

#### d.2. Echelle annuelle

L'analyse de l'Indice de l'écart à la normale (En) révèle des valeurs positives, indiquant que les années sont caractérisées par des conditions plus humides dans l'ouest de la région par rapport à l'est. Cette différenciation spatiale dans les niveaux de précipitations met en lumière une tendance où les zones occidentales de la région nord-ouest algérienne ont bénéficié de quantités de précipitations supérieures à la normale au cours de la période étudiée, tandis que les zones orientales ont connu des conditions relativement sèches (fig.V.32).

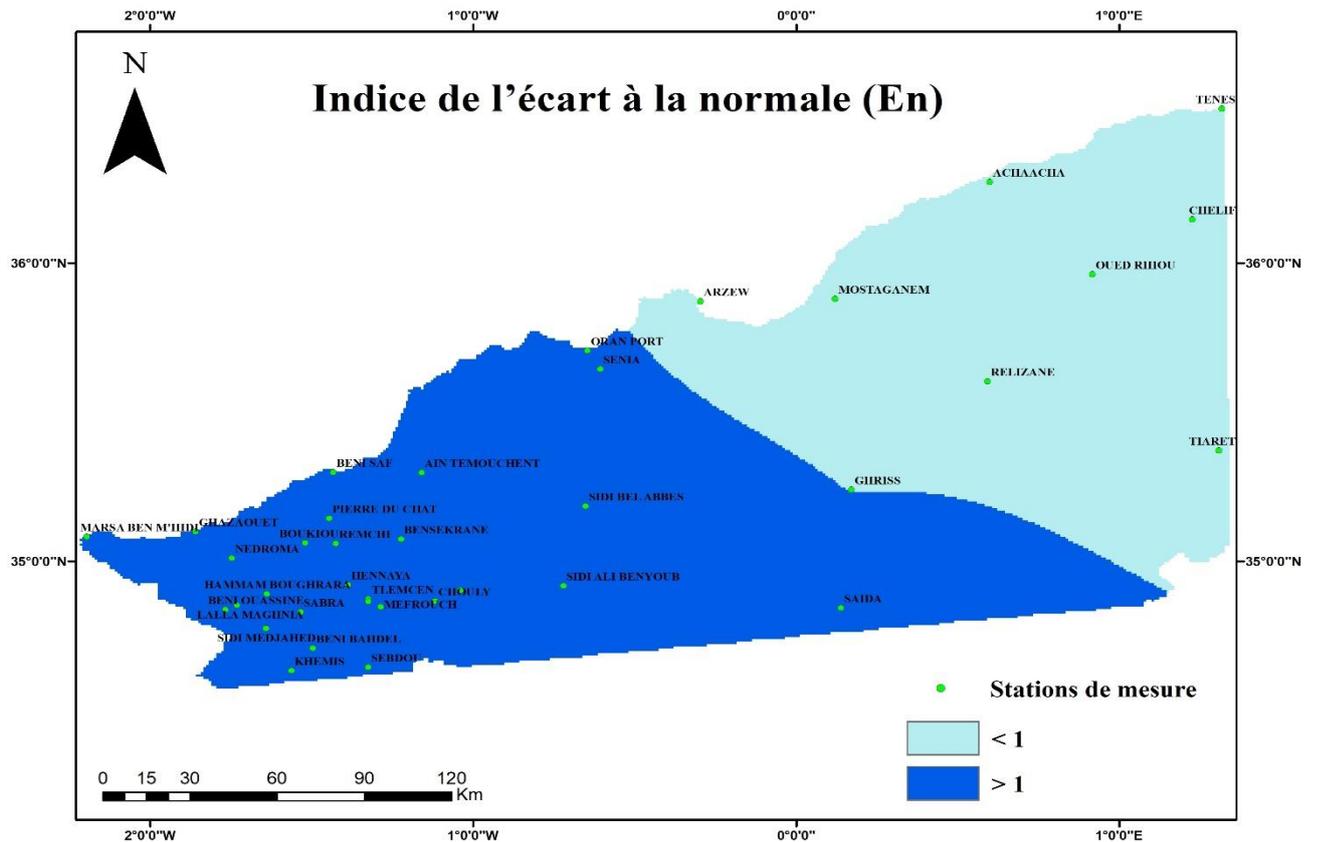


Figure V.32: Indice de l'écart à la normale (En) de 1982 à 2023

#### V.4. Test de Pettitt

Après l'application du test de Pettitt pour détecter les ruptures, les résultats ont divisé la série chronologique en deux périodes distinctes :

##### V.4.1. Précipitations moyennes annuelles avant la rupture (1982 à 2002)

La carte des précipitations moyennes annuelles de 1982 à 2002 (fig.V.33), met en évidence plusieurs tendances importantes dans la région nord-ouest algérienne. Nous pouvons dégager les observations suivantes :

Les données montrent que les précipitations sont généralement faibles le long des côtes et à l'Ouest de la région, avec des chiffres inférieurs à 350 mm par an. Ces zones côtières sont caractérisées par des conditions climatiques plus arides, ce qui limite les quantités de précipitations reçues.

La carte révèle une augmentation des précipitations dans les zones du Tell, où elles varient généralement entre 350 et 400 mm par an. Les plaines du Tell bénéficient de précipitations légèrement plus importantes que les zones côtières, mais elles restent relativement modestes par rapport aux zones montagneuses.

La carte souligne particulièrement l'importance des précipitations dans les zones montagneuses telles que Mefrouch, Lalla Setti, Khemis et Beni Bahdel. Ces régions en altitude bénéficient de niveaux de précipitations plus élevés, dépassant souvent les 400 mm

par an. Les montagnes agissent comme des barrières physiques qui favorisent la condensation et la formation de précipitations, ce qui explique les quantités plus importantes observées dans ces zones.

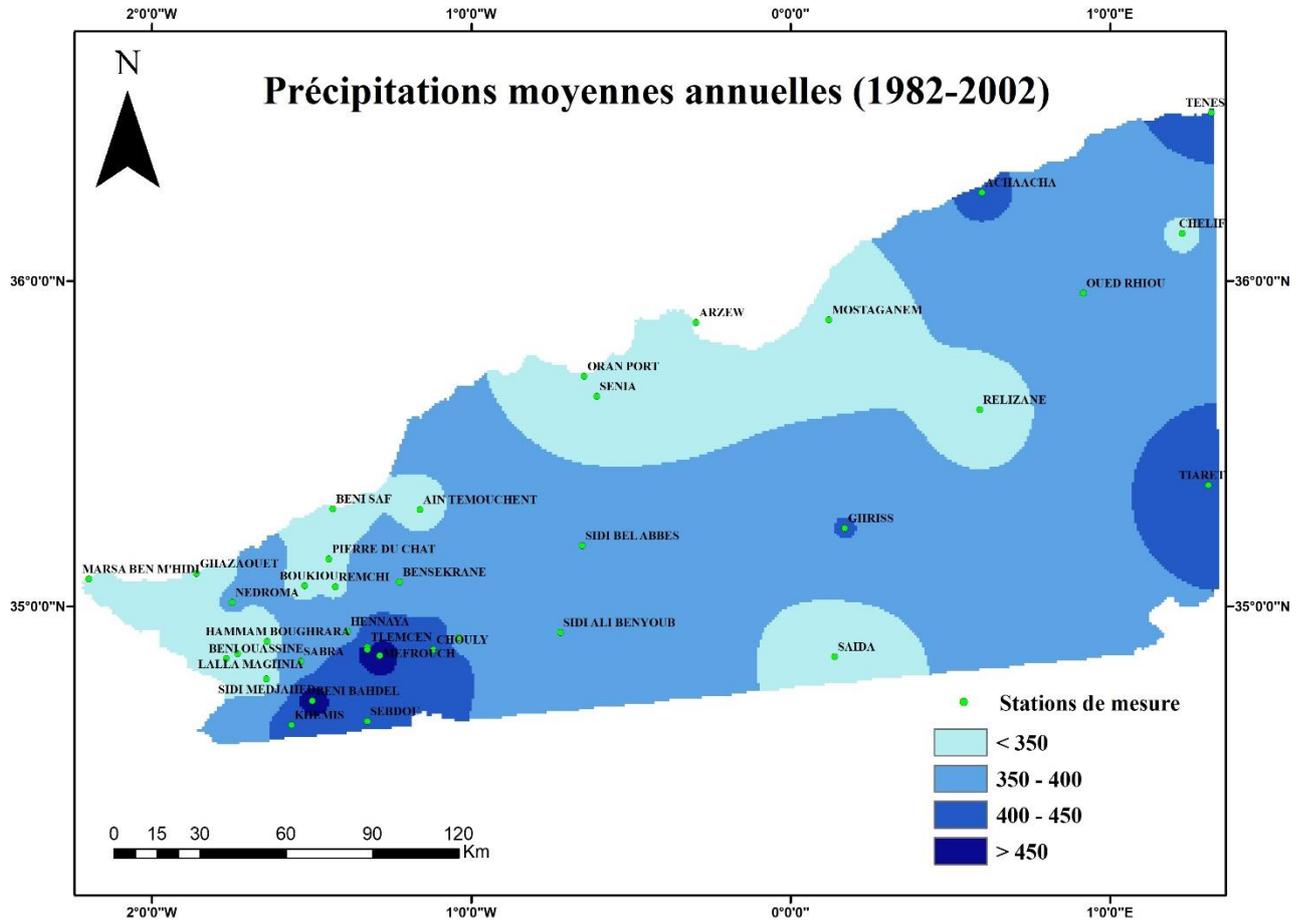


Figure V.33: Carte des précipitations moyennes annuelles avant la rupture (1982-2002)

#### V.4.2. Précipitations moyennes annuelles après la rupture (2003 à 2023) :

L'analyse des données sur les précipitations sur la période de 2003 à 2023 (fig.V.34) souligne une tendance à l'augmentation significative des précipitations par rapport à la période précédente (1982-2002). On observe une tendance à l'augmentation des précipitations dans la région du Tell au cours de cette période. Les régions montagneuses présentent des niveaux de précipitations très élevés au cours de la période de 2003 à 2023, dépassant souvent les 500 mm par an. Ces régions montagneuses, telles que Mefrouch, Lalla Setti, Khemis et Beni Bahdel, bénéficient de quantités importantes de précipitations, ce qui peut contribuer à la recharge des aquifères, à l'écoulement des cours d'eau.

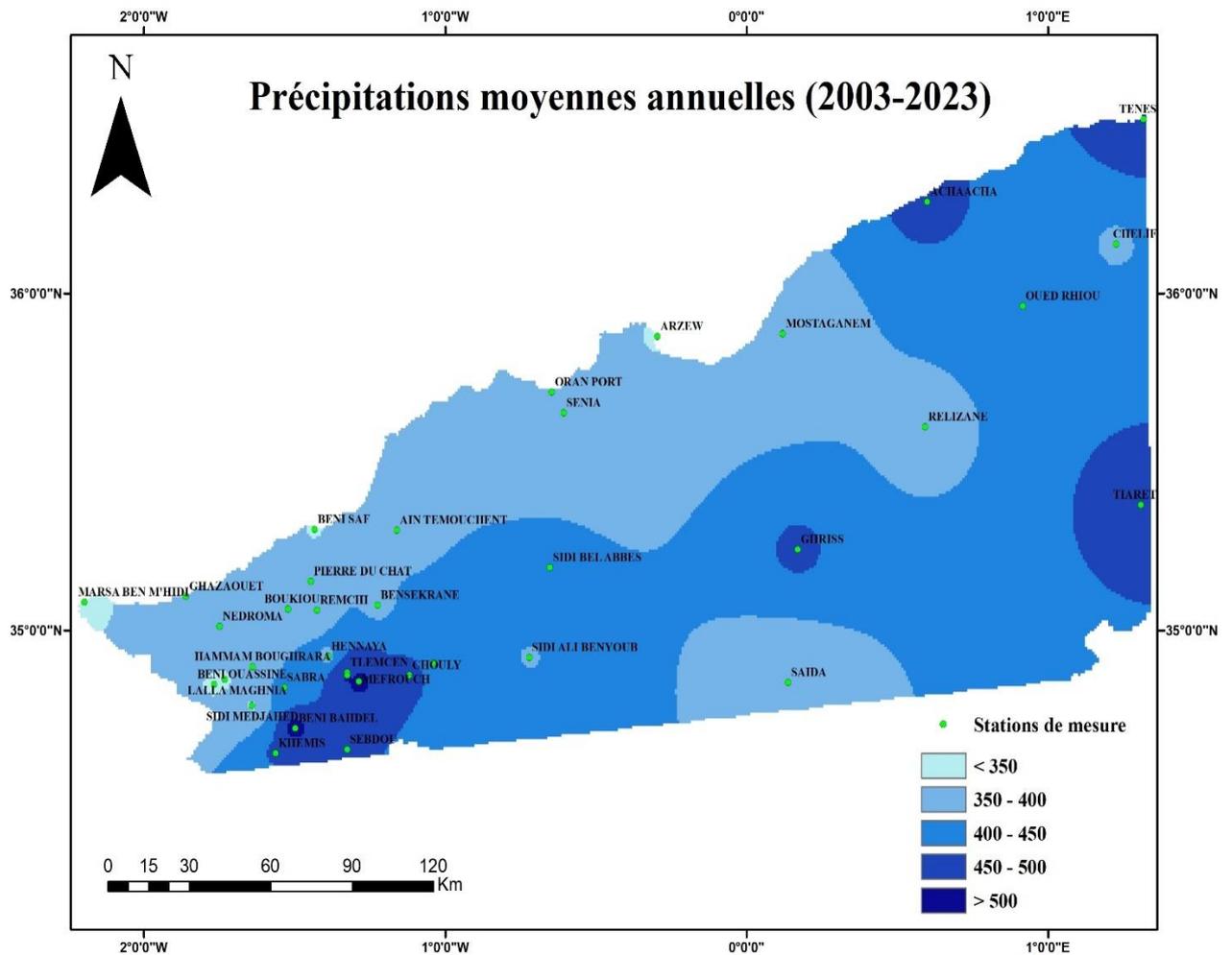


Figure V.34: Carte des précipitations moyennes annuelles après la rupture (2003-2023)

## V.5. Conclusion

Dans le Nord-ouest de l'Algérie, les précipitations annuelles varient de 350 à plus de 500 mm, avec des niveaux plus élevés dans les zones montagneuses et des niveaux plus bas dans les régions sahariennes, influencées par des facteurs tels que l'altitude, la latitude et la proximité de la mer Méditerranée, ce qui modère les précipitations dans les régions côtières mais limite les quantités reçues en raison de leur altitude plus basse.

L'analyse des températures annuelles en Algérie révèle des variations géographiques distinctes, avec des régions côtières et de plaines plus chaudes, affichant des températures moyennes annuelles dépassant 19°C, tandis que les hauts plateaux et les zones montagneuses présentent des températures entre 17°C et 19°C, et les régions montagneuses les plus élevées enregistrent des températures inférieures à 15°C.

En examinant les données climatiques de la région nord-ouest de l'Algérie sur une période étendue allant de 1982 à 2023, nous avons pu obtenir des informations précieuses grâce à différentes méthodes d'indice. L'utilisation de l'Indice de Martonne a permis de caractériser la région comme étant principalement semi-aride, à l'exception de quelques stations telles que Beni Bahdel, Mefrouch et Lalla Setti, qui présentent un climat tempéré.

L'évaluation de l'indice de Lang a révélé que le nord-ouest algérien est largement une zone désertique et aride, soulignant les défis potentiels liés à la disponibilité de l'eau et à la gestion des ressources dans cette région.

En utilisant des indices tels que l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI), l'Indice de l'écart à la moyenne (Em), l'indice de pluviosité (Ip) et l'Indice de l'écart à la normale (En), nous avons pu identifier des tendances climatiques significatives. Il est ainsi apparu que le nord-ouest a connu des périodes sèches au cours de plusieurs décennies, tandis qu'une période humide s'est manifestée de manière notable de 2004 à 2014. Il est également notable qu'au cours des années de la série, des périodes d'humidité ont été observées, notamment dans les zones de Tell et les zones montagneuses.

# *Conclusion générale*

### **Conclusion générale**

Au fil des décennies récentes, le climat de la Terre a connu des changements significatifs, notamment dans la répartition des précipitations à travers le globe. Les précipitations sont essentielles pour les écosystèmes naturels et humains, et leur modification impacte profondément la société et l'environnement. La sécheresse, résultant d'un déficit prolongé en eau, a affecté de nombreux écosystèmes et populations au cours de cette période. Observée au cours des dernières décennies, la sécheresse est principalement due aux facteurs structurels du climat et peut perdurer pendant des décennies voire indéfiniment dans des régions normalement humides. Sa sévérité varie selon les conditions géographiques et climatiques locales.

La région Nord-ouest de l'Algérie se distingue par sa remarquable diversité géographique, climatique et culturelle. Elle offre une gamme étendue de paysages, allant des magnifiques côtes méditerranéennes aux majestueuses montagnes de l'Atlas blidéen et oranais. Les plaines fertiles du Chélif ainsi que les vallées des oueds, telles que la Tafna et la Macta, contribuent également à la richesse de cette zone. Cette région présente une multitude de formations et de structures géologiques, comprenant les Atlas Tellien et Saharien, ainsi que des plaines et des plateaux. Elle abrite également plusieurs bassins versants, notamment les bassins versants algérois, oranais, de la Macta, du Chélif et de la Tafna, ajoutant encore à sa diversité et à son importance géographique.

L'analyse de la variabilité des précipitations moyennes annuelles dans le Nord-ouest de l'Algérie, sur la période de 1982 à 2023, révèle des tendances significatives marquées par des disparités régionales distinctes. La plupart des stations étudiées ont un climat semi-aride, sauf quelques-unes comme Beni Bahdel, Mefrouch et Lalla Setti qui ont un climat tempéré. La saison des pluies va principalement de Novembre à Février, tandis que Juillet et Août sont très arides. Les mois intermédiaires (Mars à Mai et Octobre à Novembre) ont un climat semi-aride. Les précipitations annuelles varient généralement entre 350 mm et plus de 500 mm, avec des niveaux plus élevés dans les zones montagneuses et des niveaux plus bas dans les régions sahariennes. La distribution spatiale des précipitations est influencée par divers facteurs, notamment l'altitude, la latitude et la proximité de la mer Méditerranée.

L'analyse des températures moyennes annuelles révèle des variations géographiques distinctes. Les régions côtières et les plaines sont plus chaudes, affichant des températures moyennes annuelles dépassant 19°C, tandis que les hauts plateaux et les zones montagneuses présentent des températures comprises entre 17°C et 19°C. Les régions montagneuses les plus élevées enregistrent des températures moyennes annuelles inférieures à 15°C. Cette variation est influencée par des facteurs tels que l'altitude et la distance par rapport à la mer.

L'analyse des indices climatiques, tels que l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI), l'Indice de l'écart à la moyenne (Em), l'Indice de pluviosité (Ip) et l'Indice de l'écart à la normale (En), a permis de caractériser la sécheresse et de comprendre ses variations spatio-temporelles. Le test de Pettitt a révélé des ruptures climatiques, dont une commune détectée

## *Conclusion générale*

---

en 2002 dans la plupart des séries de précipitations, sauf dans certaines stations où une rupture a été détectée en 1989. Globalement, les précipitations sont plus abondantes pendant la saison froide (Novembre à Février) que pendant la saison chaude.

Les périodes de sécheresse, telles que celles de 1983, la période de 1987 à 1989, 1993, 1995, 1997, 1998, 2000, 2002, 2005, 2015, ainsi que la période continue de 2019 à 2023, se caractérisent par des indices de sécheresse élevés. À l'inverse, les années exceptionnellement humides, comme 1982, 1986, 1990, 1996, 2003, 2004, la période de 2006 à 2008, et 2018, affichent des indices bas.

Au cours des dernières décennies, des changements notables dans les schémas de précipitations et de températures ont été observés, créant ainsi des défis considérables pour les précieux écosystèmes et les habitants de la région. Dans cette optique, des recommandations sont essentielles pour nous guider dans la lutte contre les effets dévastateurs du changement climatique. Pour y remédier nous proposons :

- Poursuivre cette étude en multipliant le nombre de stations de mesure des paramètres climatiques pour surveiller les tendances des précipitations et des températures dans le Nord-ouest de l'Algérie. Cela permettrait de mieux comprendre l'évolution des conditions climatiques et de prévoir les périodes de sécheresse et de pluies abondantes.
- Utiliser des modèles climatiques avancés pour prédire les futurs scénarios climatiques. Ces modèles pourraient aider à estimer les impacts potentiels des changements climatiques sur les précipitations et les températures, fournissant des informations importantes pour la planification à long terme.
- Évaluer les impacts socio-économiques de la variabilité climatique, en particulier en ce qui concerne l'agriculture, l'eau potable et les infrastructures. Cela pourrait aider à identifier les secteurs les plus vulnérables et à développer des stratégies d'adaptation ciblées.
- Renforcer la sensibilisation aux changements climatiques et à leurs impacts potentiels peut encourager une meilleure gestion des ressources naturelles.

En suivant ces perspectives et recommandations, il est possible de mieux comprendre et gérer les impacts de la variabilité climatique dans le Nord-ouest de l'Algérie, assurant ainsi la durabilité des écosystèmes et des communautés humaines.

*Références  
bibliographiques*

- **ABATZOGLOU JT, DOBROWSKI SZ, PARKS SA, HEGEWISCH KC. (2018)** Terra Climate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. Scientific Data (doi:10.1038/sdata.2017.191)
- **ABH (Agence des bassins hydrographiques) (2006).** Bilan des ressources en eau en Algérie. Rapport. Disponible à : [http:// www.abhoranie.dz/bdd/reseau.htm#bge](http://www.abhoranie.dz/bdd/reseau.htm#bge)
- **ALGHAMDI A S. (2023).** Climatology and Changes in Temperature Seasonality in the Arabian Peninsula. *Revue Atmosphere* 2024, 15, 26. <https://doi.org/10.3390/atmos15010026>
- **AMIAR S. (2021).** Modélisation hydrologique pluie – débit et l’impact du changement climatique sur le cycle de l’eau. Cas Oued Cheliff. Bassin versant du Haut et Moyen Cheliff. Thèse Doctorat. Univ Tlemcen. 244p
- **AMIAR S., BOUANANI A., BABA HAMED K. (2023).** Characterization and Regionalization of the Drought in the Upper and Middle Cheliff Watershed. Algeria. *International Journal of Water Research*. Volume 5 Issue 1 ISSN: 2694-4049. DOI: <https://doi.org/10.36266/IJWR/143>.
- **AMMARI A. (2015).** Aperçue sur l’application de la théorie de l’information dans la mesure des débits fluviaux. Ecole Nationale Supérieure d’Hydraulique. Blida.1er Séminaire National sur l’Eau et l’Environnement dans les Régions Arides Ouargla le 19 et 20 Avril 2015.
- **BELARBI, H., TOUAIBIA, B., BOUMECHRA, N., AMIAR, S., & BAGHLI, N. (2017).** Sécheresse et modification de la relation pluie–débit : cas du bassin versant de l’Oued Sebdou (Algérie Occidentale). *Hydrological Sciences Journal*, 62(1), 124-136.
- **BENALI KHODJA M., METOUCHI A., HALLAL D., KHELFI M., ÖNSOY H., TOUMI S., (2022).** Spatiotemporal characterization of the annual rainfall variability in the Isser Watershed (Algeria). *Revue Arabian Journal of Geosciences* (2022). 20p. DOI: 10.1007/s12517-021-09408-x
- **BENDJEMA L., BABA-HAMED K., BOUANANI A. (2019).** Characterization of the climatic drought indices application to the Mellah catchment, North-East of Algeria. *Journal of Water and Land Development*. No. 43 (X–XII) p. 28–40. DOI: 10.2478/jwld-2019-0060.
- **BENSMIRA, Z., BOUJU, S., BENCHABEN, H., BENSMIRA, M., PENIN, M. L., & NOUS, C. (2020).** Les stratégies d’adaptation des agro-éleveurs de la steppe algérienne face au changement climatique (cas de la région de Ras El Ma). *Les Cahiers d’Outre-Mer*, 205-236.
- **BOUANANI A., BABA HAMED K., FANDI W. (2013).** Production et transport des sédiments en suspension dans l’oued Sikkak (Tafna, NW). *Revue des Sciences de l’Eau* 26(2) :119. DOI : 10.7202/1016063ar. pp 119-132.
- **BOUANANI A., BABA HAMED K., MANIA J., (2003).** Variations climatiques et conséquences hydrologiques : cas du bassin versant de la Tafna (NW Algérie). *Journal de l’Eau et de l’Environnement*. ENSH n°3, ISSN 1112-3834, décembre 2003. p.33-37.
- **BOUGARA H., BABA HAMED K., BORGEMEISTER C., TISCHBEIN B., KUMAR N. (2020).** Analyzing Trend and Variability of Rainfall in The Tafna Basin

- (Northwestern Algeria). *Journal Atmosphere* 2020-11-347. DOI: 10.3390/atmos11040347.
- **CHAUMONT M. & PAQUIN C. (1971).** Notice de la carte pluviométrique de l'Algérie septentrionale au 1/500 000. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 24 p.
  - **CHEBBAH, L., & KABOUR, A. (2018).** Impact de la retenue d'un barrage sur le régime climatique local : cas de Beni Haroun (Est Algérien). *Larhyss Journal*, 33, 51-69.
  - **CHITOUR C et al., (2021).** Projet de Livre blanc sur l'impact des changements climatiques en Algérie. Edition Sonatrach. Ministère de l'Energie et des Energies Renouvelables. 276 pp
  - **DJELLOULI F (2017).** Persistance de la variabilité climatique et occurrence de la sécheresse : La modélisation « Pluie-Débit » outil d'identification. Application à un bassin versant d'oued El Hammam (Nord-ouest algérien). Thèse doctorat. Univ Tlemcen. 203p.
  - **DJELLOULI F., BOUANANI A., BABA HAMED K(2016).** Climate change: assessment and monitoring of meteorological and hydrological drought of wadi El Hammam basin (NW- Algeria). *Journal of Fundamental and Applied Sciences.*, 2016, 8(3), 1037-1053. DOI:<http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v8i3.20>.
  - **DJELLOULI F., BOUANANI A., BABA HAMED K. (2016).** Efficiency of some meteorological drought indices in different time scales, case study: wadi Louza basin (NW-Algeria). *Journal of Water and Land Development*. No. 31. pp 33-41. DOI: 10.1515/jwld-2016-0034.
  - **DJELLOULI F., BOUANANI A., BABA HAMED K. (2019).** Caractérisation de la sécheresse et du comportement hydrologique au niveau du bassin versant de l'oued Louza (Algérie occidentale). *Revue Techniques Sciences Méthodes TSM*. 2019 (6), pp 23-34.
  - **FACI M., BENZIOUCHE S E., MADUREIRA H., OUBADI M., (2021).** Variability of meteorological drought and some consequences on date palm cultivation in Biskra (Algeria). *Revue International Journal of Forest, Soil and Erosion*
  - **FOSSOU, R. M. N., LASM, T., SORO, N., SORO, T., SORO, G., DE LASME, O. Z., BAKA D., ONETIE O.Z. & OROU, R. (2015).** Variabilité climatique et son impact sur les ressources en eaux souterraines : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro au centre est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). *Revue Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°21, Mars 2015, pp. 97-120
  - **GHENIM A., MEGNOUNIF A., (2013).** Analyse des précipitations dans le Nord-Ouest algérien. Paru dans *Sécheresse*, 2013, Volume 24, Numéro 2
  - **HALLOUZ, F., ALIRAHMANI, S., MEDDI, M., & MAHE, G. (2016).** Variabilité climatique et événements extrêmes et l'impact sur les ressources en eau et les flux sédimentaires dans le Nord-Ouest d'Algérie. In *2ème Conférence Internationale sur l'hydrologie des grands bassins Fluviaux d'Afrique-FRIEND/ISI/IAHS*.
  - **HAMMAR Y., DJEBBAR Y., KHOULDIA W. (2014).** Caractérisation de la Variabilité Climatique : Cas du Bassin Versant de La Medjerda (Nord-Est Algérien) = Characterization of Climate Variability : Case of Watershed Medjerda (North East of Algeria). *Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie*, 6–23.

- **IPCC, 2007: Climate Change 2007:** Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp
- **JOUILIL, I., BITAR, K., SALAMA, H., AMRAOUI, A., MOKSSIT, A., & TAHIRI, M. (2013).** Sécheresse météorologique au bassin hydraulique OUM ER RBIA durant les dernières décennies. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (12).
- **KHEDIM I. (2021)** - Contribution à l'étude des débits maximums par l'utilisation des formules empiriques dans le bassin versant de l'Oued Lakhdar (ex. Chouly) (TAFNA NORD OUEST ALGERIEN). Mémoire Master. Univ Tlemcen. 141 p.
- **KHOUALDIA W., DJEBBAR Y., HAMMAR Y., (2014).** Caractérisation de la Variabilité Climatique : Cas du Bassin Versant de La Medjerda (Nord-Est Algérien). *Revue Sci. Technol., Synthèse* 29 : 6-23 (2014)
- **KOUASSI, A. M., KOUAO, J. M., & KOUAKOU, K. E. (2022).** Caractérisation intra-annuelle de la variabilité climatique en Côte d'Ivoire. *Bulletin de l'association de géographes français. Géographies*, 99(99-2), 289-306.
- **LEBDI, F. ET MAKI, A. (2023).** La sécheresse au Maghreb : diagnostic, impacts et perspectives pour le renforcement de la résilience du secteur agricole. Tunis. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc7126fr>
- **MEDDI H., MEDDI M (2007).** Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-ouest de l'Algérie. *Revue Geographia Technica*, no.2. 50-55p
- **MEDDI H., MEDDI M (2009).** Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. *Revue Sécheresse* vol. 20, n° 1, janvier-février-mars 2009. DOI : 10.1684/sec.2009.0169
- **MEDDI M., TALIA A., MARTIN C. (2009).** Évolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, 61-84.
- **MEDDI M., TALIA A., MARTIN C., (2009).** Évolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie). 61-84 p. DOI : [10.4000/physio-geo.686](https://doi.org/10.4000/physio-geo.686)
- **MERABTI A., MEDDI M., MARTINS A., PEREIRA L S., (2017).** Comparing SPI and RDI Applied at Local Scale as Influenced by Climate. *Revue Water Resource Management* (2017). DOI: 10.1007/s11269-017-1855-7
- **MESLI S., AZZOUZ S N., (2020).** Application des indices de sécheresse dans le bassin versant de la basse Mekerra (région de Sidi Bel Abbes). Mémoire Master. Univ Tlemcen. 320 p
- **NOUACEUR Z., LAIGNEL B., (2015).** Caractérisation des événements pluviométriques extrêmes sur la rive sud du bassin méditerranéen : Études du cas du « quart nord-est » algérien. XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège 2015.
- **NOUACEUR Z., LAIGNEL B., TURKI I., (2013).** Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien. *Revue Physio-Géo. Varia*. Vol 7. DOI : 10.4000/physio-geo.3671.

- **OTMANE A. (2019).** Impacts de la variabilité climatique sur l'hydrologie et la gestion des ressources en eau du bassin versant de l'Oued Mekerra (Nord-ouest algérien). Thèse de Doctorat. Univ. Tlemcen. 303p.
- **OTMANE A., BABA HAMED K., BOUANANI A., KEBIR L.W. (2018).** Mise en évidence de la sécheresse par l'étude de la variabilité climatique dans le bassin versant de l'oued Mekerra (Nord-Ouest algérien). *Revue Techniques Sciences et Méthodes* N°9. pp 23-36.
- **PELLICONE, G., CALOIERO, T., & GUAGLIARDI, I. (2019).** The De Martonne aridity index in Calabria (Southern Italy). *Journal of Maps*, 15(2), 788–796. <https://doi.org/10.1080/17445647.2019.1673840>
- **RHISSA AG B (2018).** Etude de changement climatique au Nord-Est algérien. Mémoire Master. Univ ANNABA MOKHTAR B. 85p
- **SAFAR-ZITOUN M (2019).** Plan National Sécheresse Algérie Lignes directrices en vue de son opérationnalisation. 88p
- SELTZER P. (1967). Le climat de l'Algérie. Travaux de l'Institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie. Univ. Alger Éditeur « La Typo-litho". 219p.
- **SHIRAVAND H., BAYAT A., (2023).** Vulnerability and drought risk assessment in Iran based on fuzzy logic and hierarchical analysis. *Revue Theoretical and Applied Climatology* (2023). DOI: 10.1007/s00704-022-04323-x
- **STOUR, L., & AGOUMI, A. (2008).** Sécheresse climatique au Maroc durant les dernières décennies. *Hydroécologie appliquée*, 16, 215-232.
- **TATAR H., REGAD N., (2015).** Variabilité climatique et ressources en eau en milieu semi-aride : cas des bassins versant des Oueds Chemora, Reboa et Gueiss (hauts plateaux constantinois, Algérie), p. 19
- **TERRA N. (2016).** Y a-t-il un changement climatique dans le Nord-ouest de l'Algérie ? ; Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB)
- **TIMI K. BABA HAMED K. BOUANANI A. (2023).** Quantification des modes de variabilité des précipitations au niveau de sous-bassin versant de l'oued Chouly et ses liens avec NAO. Colloque International "Water, Climate Change, Agriculture and Territorial Development" Setif . 01 - 04 Octobre 2023.
- **ZEROUAL, A., TOUAIBIA, B., & AMMARI, A. (2010).** Application des réseaux de neurones en insuffisance de jaugeage pour le tarage : cas du Côtier Algérois. *Global change: Facing risks and threats to water resources*, 6, 409-417.
- **ZETTAM, A. (2018).** Transfert des nitrates du bassin versant de la Tafna (Nord-Ouest de l'Algérie) vers la mer Méditerranée-approche couplant mesures, modélisation et changement d'échelle vers les grands bassins versants Nord africains (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT ; Université Abou Bekr Belkaid (Tlemcen, Algérie).

# *Webographie*

- [1] <https://www.un.org/fr/climatechange/what-is-climate-change> consulté le 10/02/2024
- [2] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Changement\\_climatique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Changement_climatique) consulté le 15/02/2024
- [3] <https://youmatter.world/fr/histoire-changement-climatique-comment-sciences-arrivee-la/> consulté le 04/02/2024
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Intergovernmental\\_Panel\\_on\\_Climate\\_Change](https://en.wikipedia.org/wiki/Intergovernmental_Panel_on_Climate_Change) consulté le 01/02/2024
- [5] <https://youmatter.world/fr/rapport-giec-2022-2023-resume-complet-conclusions/> consulté le 03/02/2024
- [6] <https://www.hellocarbo.com/blog/reduire/rapport-du-giec/> consulté le 01/02/2024
- [7] <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/glossaire/variabilite-climatique> consulté le 09/02/2024
- [8] <https://comitemeac.com/dossiers-2/dossiers/capsules-energetiques-introduction/quels-sont-les-parametres-qui-influencent-le-climat/> consulté le 10/02/2024
- [9] <https://www.ompe.org/secheresse-mondiale/> consulté le 11/02/2024
- [10] <https://www.la-croix.com/environnement/secheresse> consulté le 11/02/2024
- [11] <https://www.visiondumonde.fr/je-m-informe/actualites-et-blog/nos-actualites/quelles-reponses-apporter-face-a-la-secheresse/> consulté le 11/02/2024
- [12] <https://gifex.com/fr/fichier/climat-de-l-algerie/> consulté le 15/02/2024
- [13] [https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ologie\\_de\\_l%27Alg%C3%A9rie](https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ologie_de_l%27Alg%C3%A9rie) consulté le 25/05/2024
- [14] <https://www.xlstat.com/fr/solutions/fonctionnalites/tests-d-homogeneite> consulté le 16/05/2024
- [15] <http://www.hydrosciences.org/index.php/2020/09/04/khronostat/> consulté le 16/05/2024

# *Annexes*

## Annexes

Annexe III.1 : Précipitations moyennes mensuelles (1982 – 2023)

Stations	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
TENES	63,5	42,6	49,7	46,8	35,1	5,6	1,8	2,4	21,3	43,4	80,8	63,8
ACHAACHA	60,7	35,1	36,8	30,3	30,6	6,4	1,8	2,5	22,2	43,0	95,1	69,0
CHELIF	46,7	40,3	37,1	36,2	28,5	6,4	1,9	2,4	18,5	36,0	66,2	52,6
RELIZANE	54,5	37,9	33,2	32,9	29,7	5,6	0,9	1,7	14,8	29,2	63,6	56,3
TIARET	66,7	49,2	49,2	42,0	39,4	14,4	2,9	6,2	19,4	34,5	71,1	61,7
OUED RHIOU	52,3	38,2	35,5	30,9	32,6	7,3	0,9	2,5	19,4	34,5	79,1	59,1
GHRISS	60,8	44,1	37,4	34,8	33,1	10,1	0,9	5,3	20,0	31,0	77,8	70,4
SAIDA	43,1	34,9	36,4	34,3	26,7	10,2	4,8	8,2	21,2	34,5	46,1	34,5
S.A. BENYOUB	57,7	43,9	35,4	31,8	29,8	11,8	2,5	4,5	21,0	33,7	55,0	52,8
SIDI BEL ABBES	63,4	42,7	35,5	36,9	29,8	8,3	1,6	3,5	16,7	36,6	54,3	58,4
MOSTAGANEM	52,1	37,6	30,5	29,6	23,0	4,7	0,8	1,6	14,5	27,1	62,2	54,0
ARZEW	49,1	31,6	28,1	23,6	21,9	4,5	0,8	2,5	15,2	29,7	66,4	53,2
SENIA	50,9	41,4	41,2	37,2	27,1	4,5	1,6	2,5	17,6	27,8	56,8	43,6
BENI SAF	49,9	39,3	25,6	25,2	20,4	5,3	0,0	0,9	17,1	33,0	61,9	50,3
GHAZAOUET	53,7	34,5	33,3	31,8	24,4	5,7	1,2	2,3	20,2	38,2	55,7	50,2
ORAN PORT	50,8	38,8	38,8	34,1	25,3	4,4	1,6	2,5	16,5	27,8	56,7	43,3
A. TEMOUCHENT	58,5	48,1	31,6	31,6	22,8	6,3	0,7	2,5	14,7	32,8	57,2	50,3
NEDROMA	50,7	42,6	40,5	38,7	27,8	6,5	1,4	2,6	21,1	32,1	53,3	47,6
M. BEN M'HIDI	46,7	34,5	28,4	35,9	24,9	4,9	0,3	1,4	23,5	33,3	38,3	43,0
BOUKIOU	52,1	41,6	33,9	31,3	23,7	6,0	1,4	2,6	20,0	34,1	59,8	49,2
MEFROUCH	76,7	61,1	57,0	42,4	40,7	13,9	3,1	4,6	26,5	39,7	77,0	66,6
TLEMCEN	61,3	51,5	45,5	38,1	32,2	9,6	2,3	3,6	22,0	32,9	61,3	54,6
BENI BAHDEL	75,6	60,1	58,8	42,9	39,3	12,3	3,1	4,8	26,5	38,8	75,9	66,7
CHOULY	64,5	52,3	47,2	36,3	35,8	13,5	3,2	4,6	24,4	36,2	65,1	57,2
SIDI MEDJAHED	44,3	40,3	41,0	36,1	25,0	6,8	2,2	3,7	20,1	26,8	47,4	39,8
SABRA	57,1	47,5	46,6	38,8	31,5	8,8	2,3	3,7	22,0	31,0	58,2	51,1
L. MAGHNIA	43,6	40,8	39,5	38,1	25,5	6,6	2,1	3,7	18,7	28,1	46,5	40,5
BENI OUASSINE	42,6	40,0	38,8	38,8	25,5	6,6	2,1	3,6	19,8	28,2	45,4	39,5
PIERRE DU CHAT	52,5	44,3	32,4	30,8	22,8	6,0	0,7	2,6	19,1	34,4	60,3	50,5
BENSEKRANE	56,4	48,7	35,5	33,5	25,3	7,6	1,5	3,5	17,7	33,2	57,5	50,3
REMCHI	52,1	44,2	33,2	31,4	22,9	6,7	1,4	2,6	18,9	33,1	59,0	48,6
H. BOUGHRARA	46,7	41,1	37,5	35,3	24,7	6,0	1,4	2,7	18,8	31,0	52,3	43,4
HENNAYA	54,0	46,5	39,4	35,4	27,1	7,5	2,2	3,6	19,8	31,9	56,6	48,8
OULED MIMOUN	61,5	49,4	41,8	33,3	32,4	11,4	2,4	3,7	22,2	34,3	60,9	54,8
KHEMIS	62,4	48,3	51,4	39,2	35,5	10,9	3,1	4,9	25,9	32,3	63,6	55,1
SEBDOU	61,4	51,5	48,9	36,0	36,7	12,0	3,3	5,9	26,0	34,3	66,5	54,8
LALLA SETTI	77,6	61,7	57,6	43,9	40,7	13,2	3,1	4,6	26,5	39,7	77,9	68,2

## *Annexes*

Annexe III.2 : Températures moyennes mensuelles (1982 – 2023)

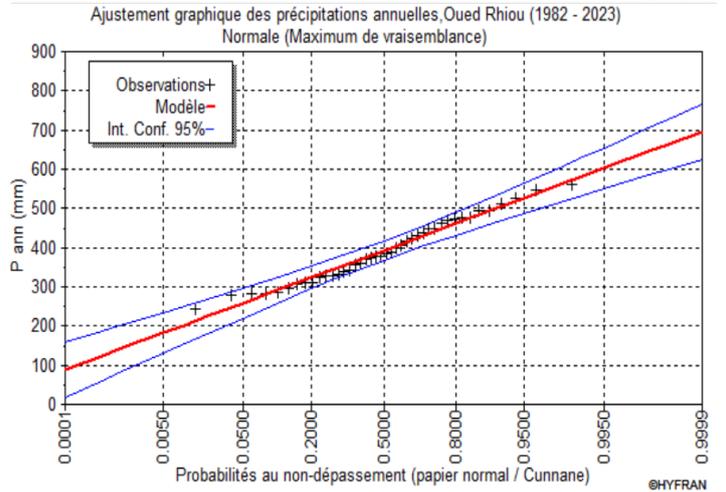
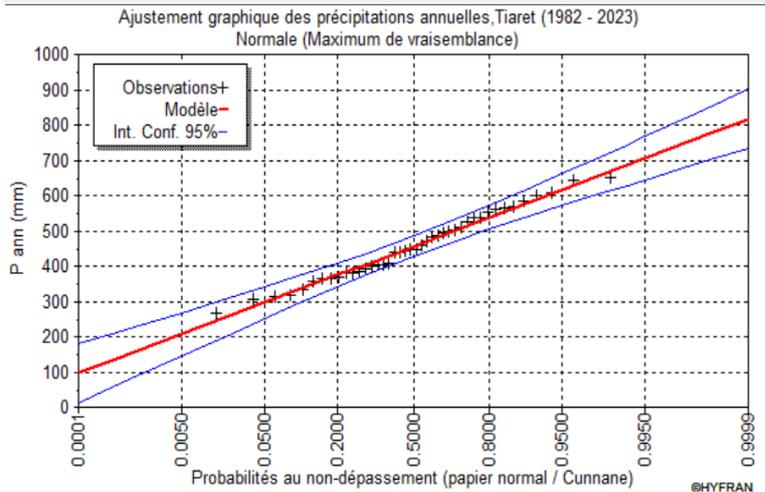
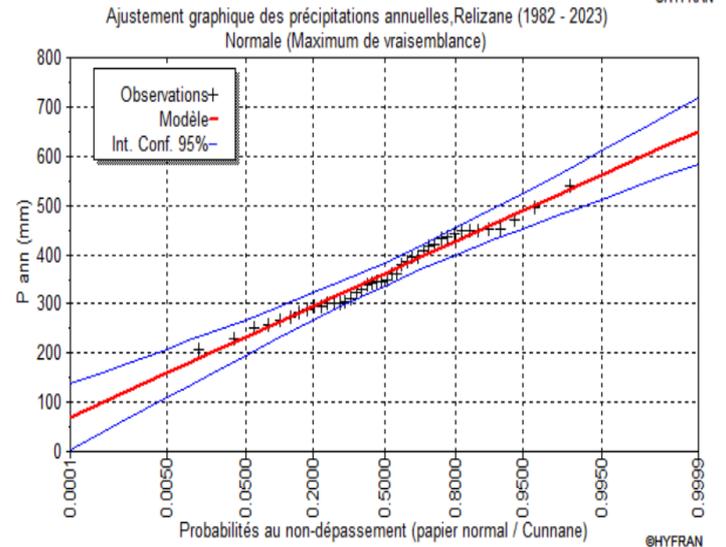
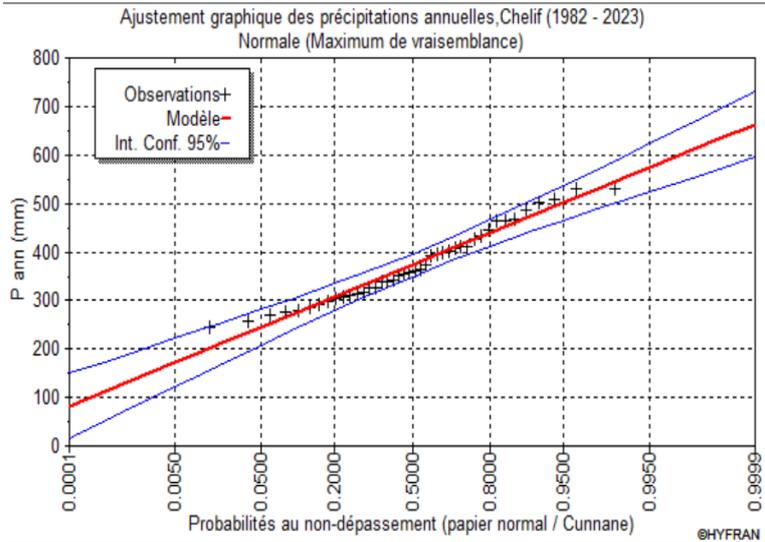
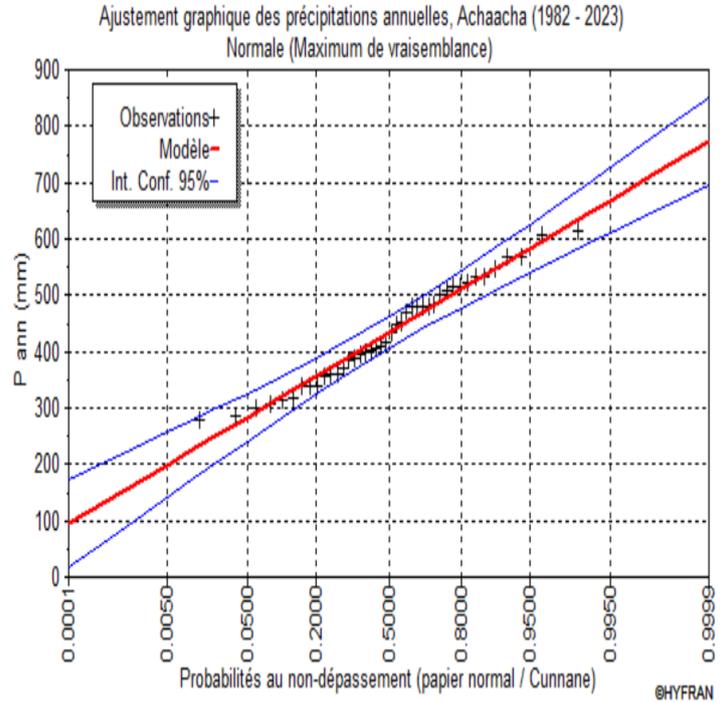
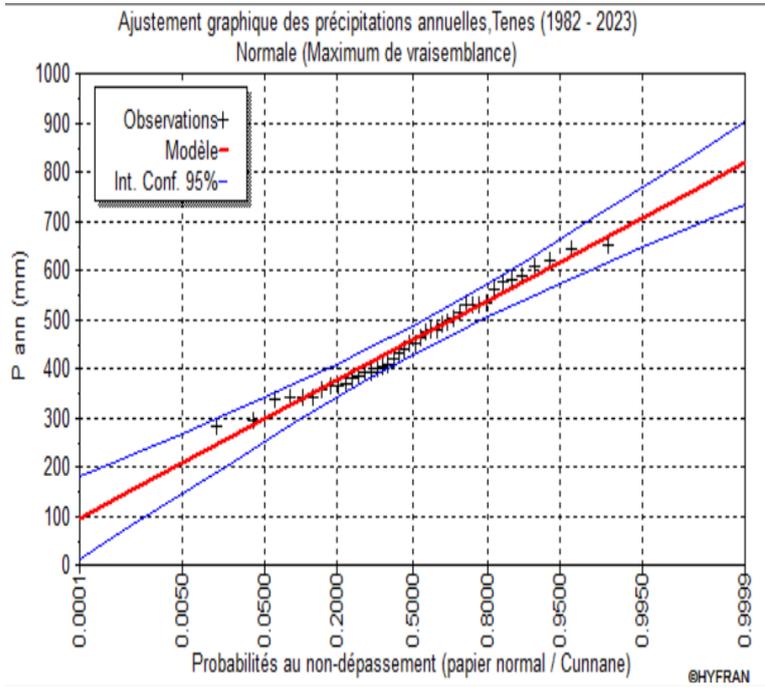
Stations	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
TENES	11,01	12,09	14,17	16,35	19,83	24,06	26,87	27,20	24,13	20,77	15,58	12,34
ACHAACHA	10,73	11,66	14,05	16,18	19,64	23,89	26,62	26,99	23,72	20,45	15,03	11,86
CHELIF	10,32	11,90	14,18	16,70	20,65	25,41	29,05	28,98	25,36	20,91	15,17	11,50
RELIZANE	10,39	11,61	14,25	17,15	20,57	25,41	28,69	28,51	24,84	20,75	15,01	11,47
TIARET	5,77	7,15	10,03	12,80	17,21	23,15	27,08	26,34	21,58	17,02	10,70	7,18
OUED RHIOU	10,33	11,94	14,43	16,99	20,77	25,57	28,99	28,86	25,17	20,96	15,22	11,37
GHRISS	8,64	10,05	12,46	15,47	19,31	24,41	28,64	27,67	23,50	19,74	13,59	10,23
SAIDA	8,07	9,33	12,02	14,44	18,48	23,60	28,10	27,15	22,64	18,48	12,65	9,14
SIDI ALI BENYOUB	7,93	8,88	11,01	13,93	17,18	21,52	25,36	25,70	21,79	18,05	12,20	8,98
SIDI BEL ABBES	9,16	10,26	12,31	15,00	18,32	22,89	26,26	26,41	22,76	19,18	13,65	10,54
MOSTAGANEM	10,82	11,68	14,29	16,38	19,53	23,55	26,10	26,61	23,59	20,42	15,13	12,16
ARZEW	11,25	12,17	14,47	16,57	19,35	23,27	25,88	26,44	23,65	20,32	15,37	12,36
SENIA	10,88	12,00	14,07	16,33	19,08	22,72	25,37	26,06	23,38	20,00	15,05	11,98
BENI SAF	11,79	12,78	14,84	16,72	20,16	24,19	27,13	27,37	23,55	20,63	16,10	12,93
GHAZAOUET	11,87	12,96	14,99	16,97	20,42	24,26	27,21	27,51	23,87	20,67	16,28	13,15
ORAN PORT	11,07	11,99	14,07	16,25	19,00	22,94	25,78	26,29	23,20	20,12	15,08	12,10
A. TEMOUCHENT	11,43	12,14	14,25	16,18	19,21	22,62	25,46	26,40	23,51	20,04	15,43	12,54
NEDROMA	9,77	10,47	12,97	15,41	19,27	23,31	26,40	26,52	22,47	18,91	13,81	10,99
M. BEN M'HIDI	11,55	12,64	14,64	16,57	19,65	23,42	26,13	26,51	23,17	20,08	15,87	12,86
BOUKIOU	11,54	12,30	14,60	16,50	19,80	23,89	27,10	27,65	24,15	20,53	15,75	12,85
MEFROUCH	5,60	6,78	9,58	12,57	16,86	21,48	24,92	25,15	20,47	15,62	9,84	6,63
TLEMCEN	8,14	9,08	11,47	14,29	17,80	21,87	25,29	25,53	21,61	17,87	12,38	9,35
BENI BAHDEL	5,99	7,10	10,01	13,05	17,05	21,39	24,86	25,08	20,61	16,00	10,25	7,17
CHOULY	6,40	7,40	10,17	13,17	17,18	21,34	24,92	25,16	20,78	16,35	10,55	7,42
SIDI MEDJAHED	9,96	10,96	13,29	15,52	18,94	23,36	27,00	27,09	23,21	19,33	14,11	11,28
SABRA	8,10	9,02	11,64	14,41	17,97	22,00	25,26	25,52	21,70	17,86	12,34	9,38
LALLA MAGHNA	10,11	11,09	13,50	15,59	18,99	23,41	27,50	27,55	23,34	19,45	14,25	11,46
BENI OUASSINE	10,17	11,17	13,48	15,56	18,89	23,25	27,26	27,43	23,33	19,45	14,31	11,53
PIERRE DU CHAT	11,49	12,23	14,51	16,42	19,65	23,22	25,95	26,82	23,90	20,42	15,68	12,74
BENSEKRANE	10,88	11,64	13,86	15,99	19,37	23,74	27,56	27,71	23,80	19,96	15,06	12,24
REMCHI	11,61	12,35	14,60	16,52	19,80	23,88	26,96	27,59	24,21	20,52	15,78	12,95
H. BOUGHRARA	10,93	11,81	14,22	16,29	19,63	23,90	27,37	27,58	23,79	20,16	15,17	12,27
HENNAYA	10,02	10,83	13,14	15,56	19,06	23,35	27,20	27,33	23,34	19,47	14,21	11,32
OULED MIMOUNE	7,76	8,59	10,72	13,79	17,18	21,52	25,51	25,68	21,65	17,74	11,95	8,85
KHEMIS	6,31	7,74	10,58	13,45	17,54	21,72	24,91	25,33	21,15	16,43	10,73	7,48
SEBDOU	6,45	7,88	10,58	13,61	17,21	21,66	25,54	25,41	21,15	16,58	10,82	7,54
LALLA SETTI	5,70	6,90	9,68	12,70	16,92	21,46	24,90	25,14	20,55	15,70	9,95	6,77

## *Annexes*

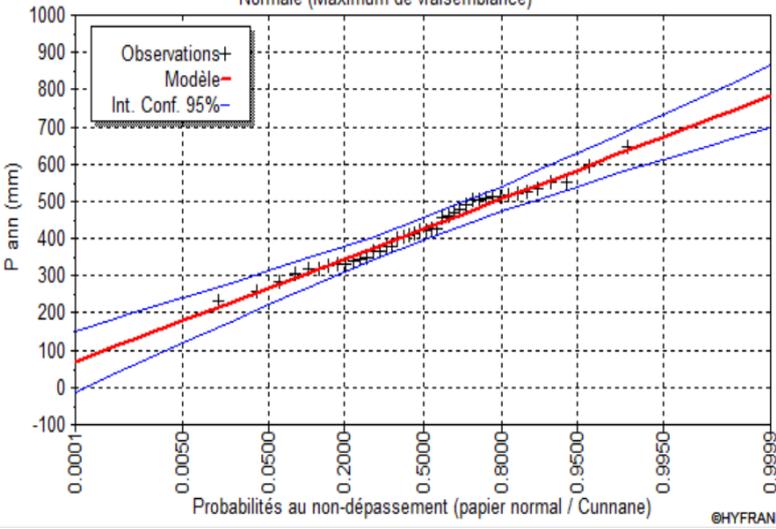
Annexe III.3 : Résultats de calculs les 6 mois les plus chauds et les 6 mois les plus froids pour l'indice d'Angot

Stations	$\Sigma P$ mois chauds	$\Sigma P$ mois froids
TENES	109,7	347,2
ACHAACHA	106,4	327,1
CHELIF	93,8	279,1
RELIZANE	81,9	278,4
TIARET	116,8	339,8
OUED RHIOU	97,2	295,2
GHRISS	100,5	325,5
SAIDA	105,6	229,3
SIDI ALI BENYOUB	103,3	276,5
SIDI BEL ABBES	96,6	291,2
MOSTAGANEM	71,9	265,9
ARZEW	74,6	251,9
SENIA	81,0	271,1
BENI SAF	76,6	252,2
GHAZAOUET	92,1	259,2
ORAN PORT	78,0	262,5
AIN TEMOUCHENT	79,9	277,4
NEDROMA	91,6	273,4
MARSA BEN M'HIDI	88,3	226,7
BOUKIOU	87,9	267,9
MEFROUCH	128,5	380,7
TLEMCEN	102,8	312,2
BENI BAHDEL	124,9	380,0
CHOULY	117,6	322,6
SIDI MEDJAHED	84,6	248,9
SABRA	99,3	299,3
LALLA MAGHНИЯ	84,8	249,0
BENI OUASSINE	85,8	245,0
PIERRE DU CHAT	85,6	270,7
BENSEKRANE	88,6	282,0
REMCHI	85,6	268,5
HAMMAM BOUGHRARA	84,6	256,3
HENNAYA	92,2	280,7
OULED MIMOUNE	106,4	301,7
KHEMIS	112,6	319,8
SEBDOU	118,0	319,2
LALLA SETTI	127,7	387,0

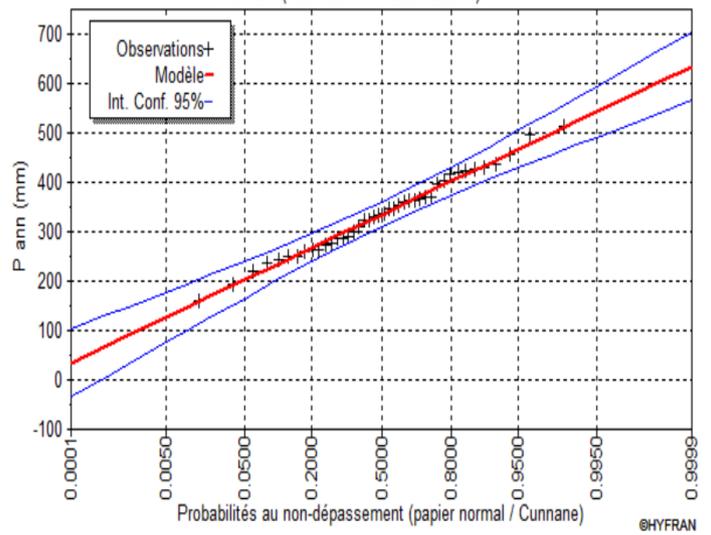
## Annexe IV.1 : Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi de distribution normale.



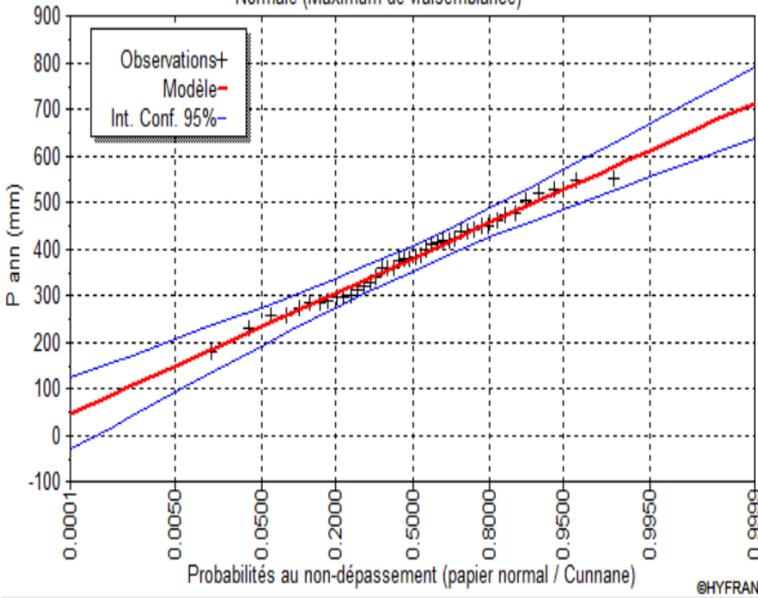
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Ghriiss (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



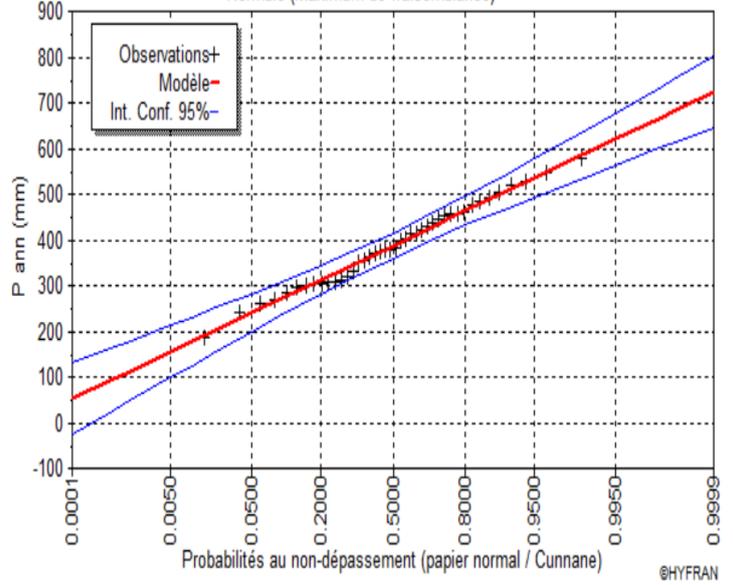
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Saida (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



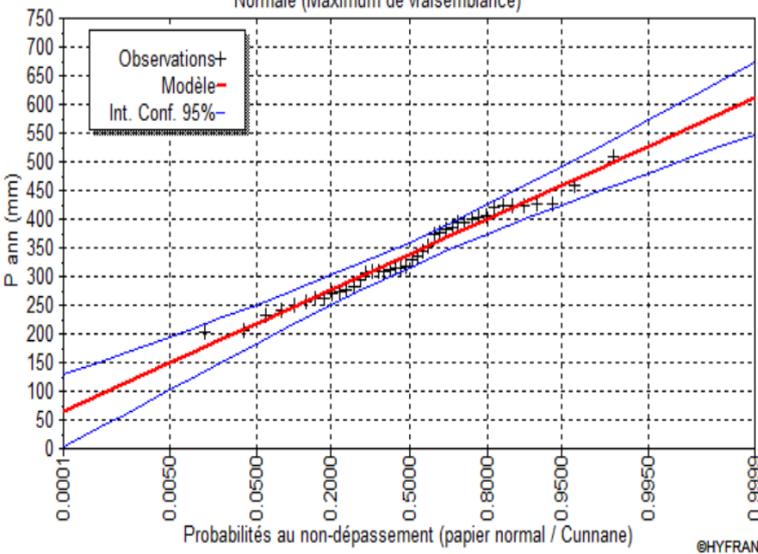
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Sidi Ali Benyoub (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



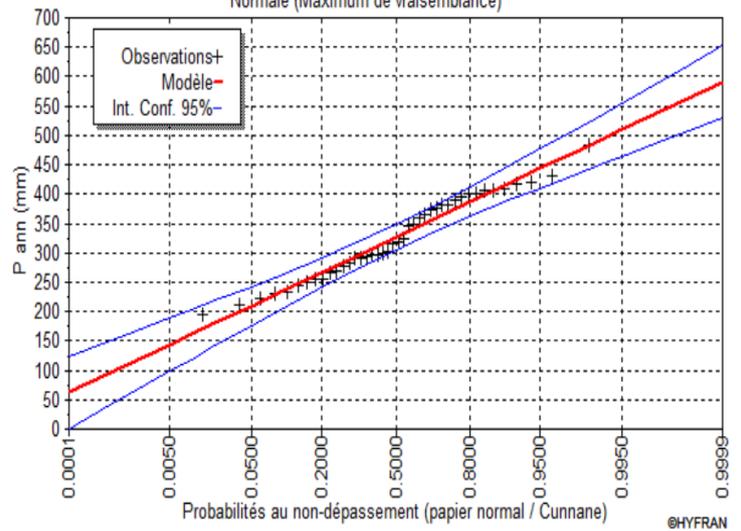
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Sidi Bel Abbes (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



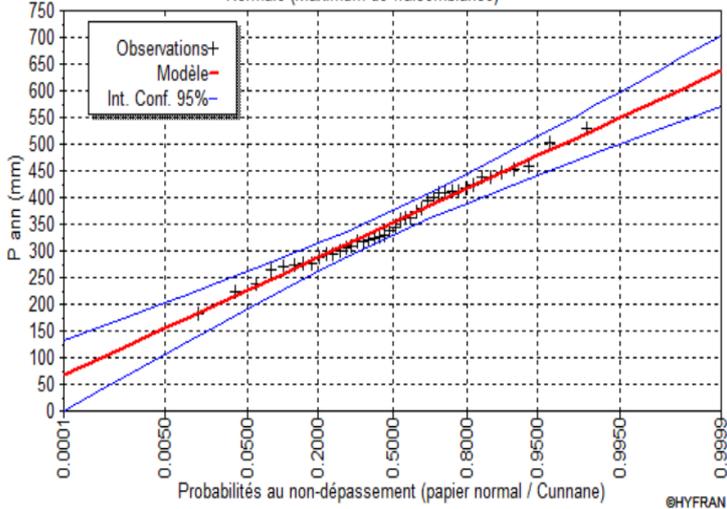
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Mostaganem (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



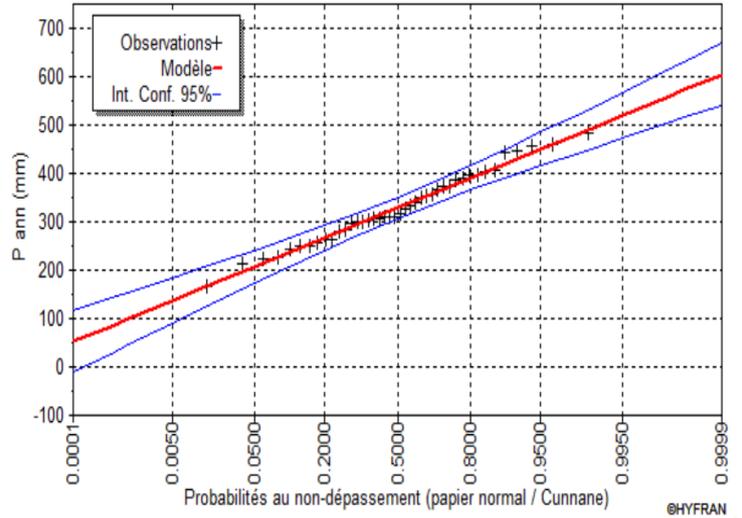
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Arzew (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



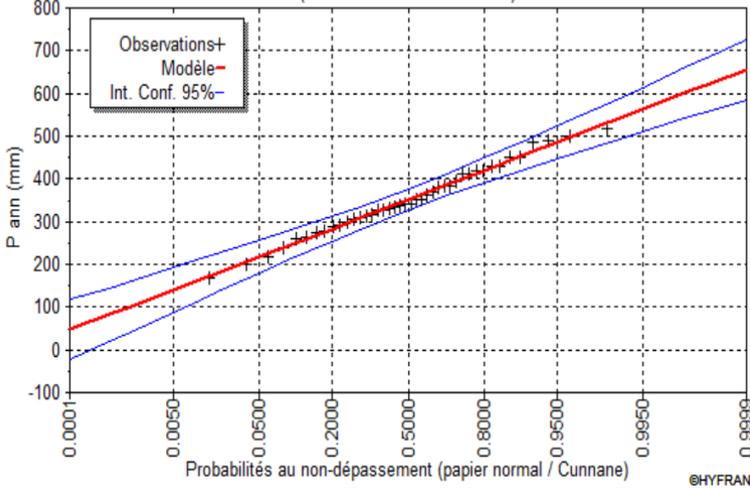
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Senia (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



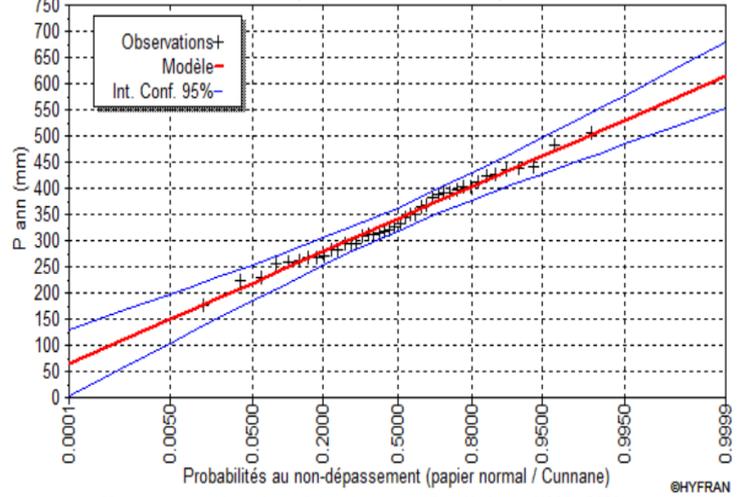
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Beni Saf (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



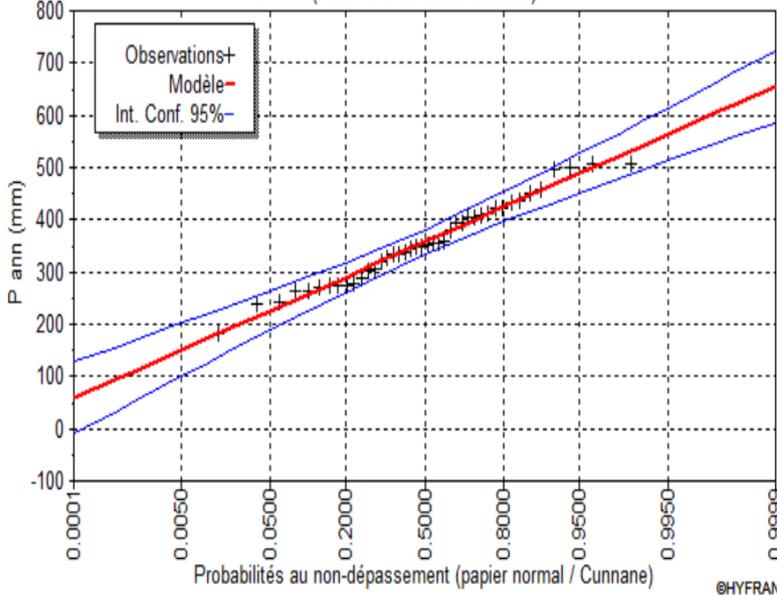
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Ghazaouet (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



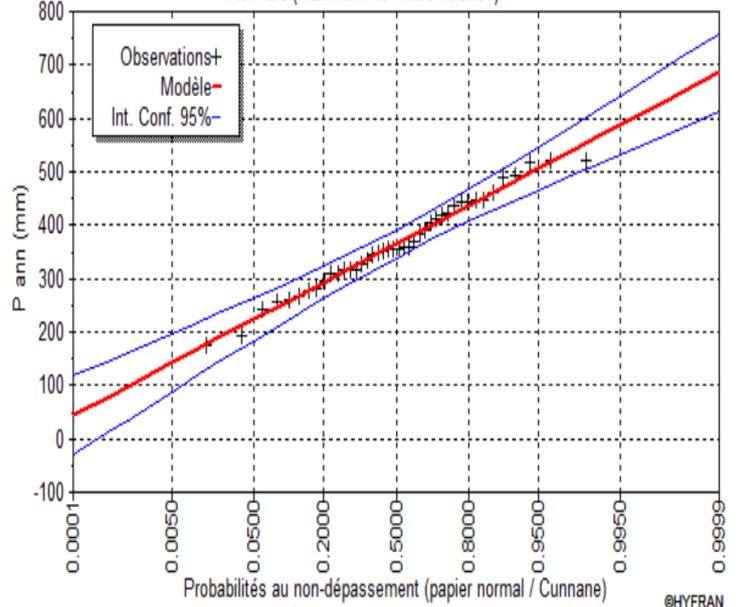
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Oran Port (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



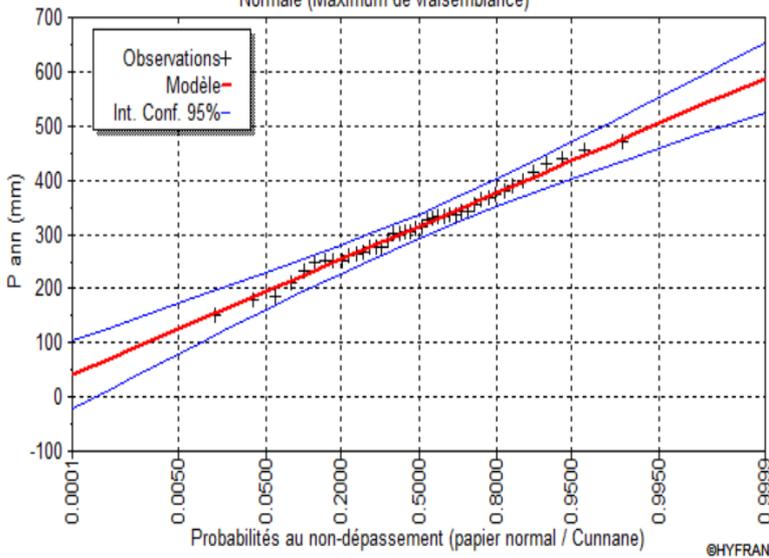
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Ain Temouchent (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



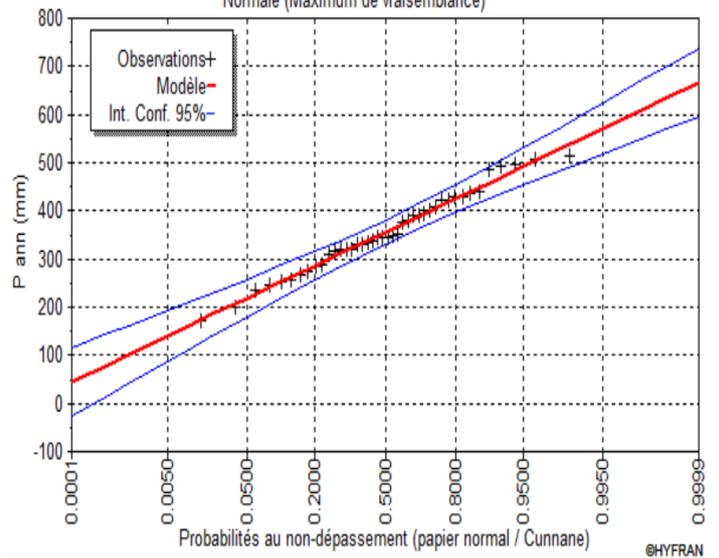
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Nedroma (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



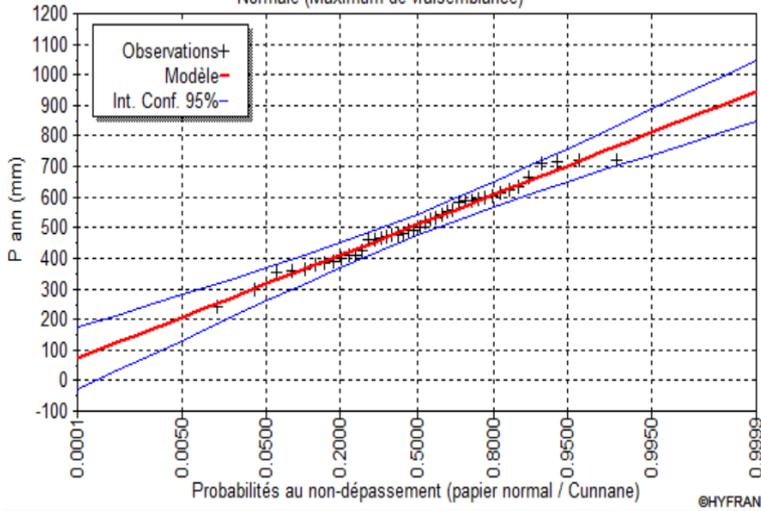
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Marsa Ben M'Hidi (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



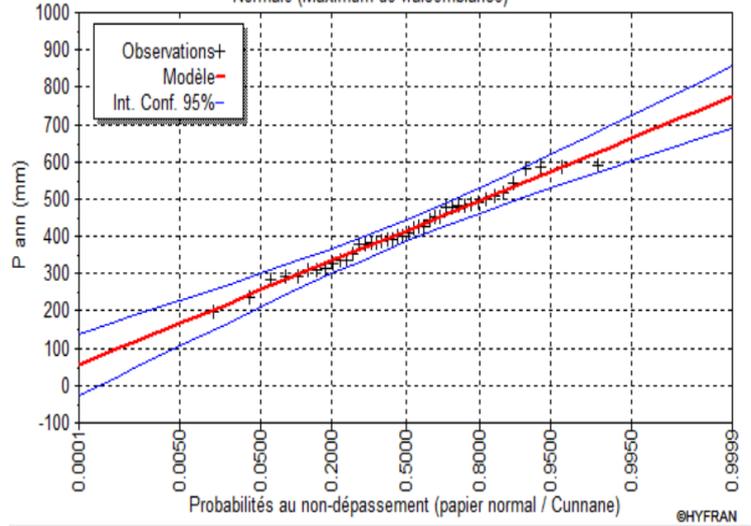
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Boukiou (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



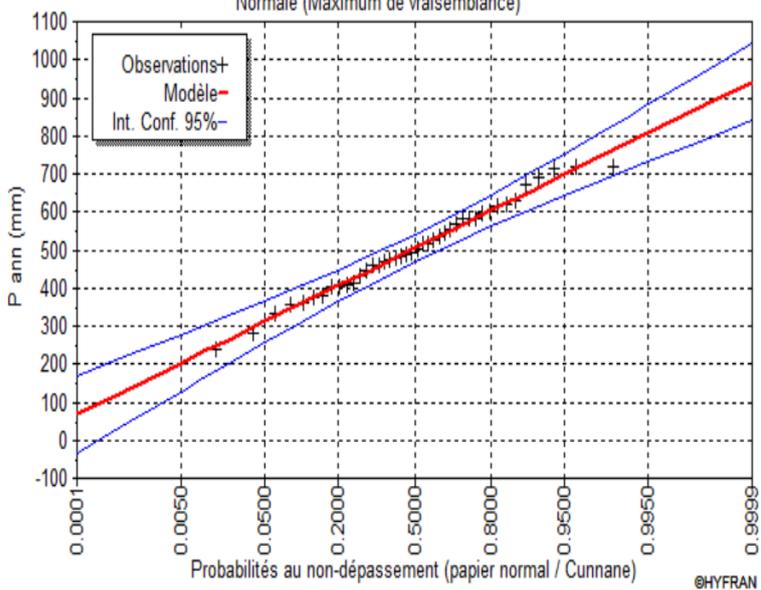
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Mefrouch (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



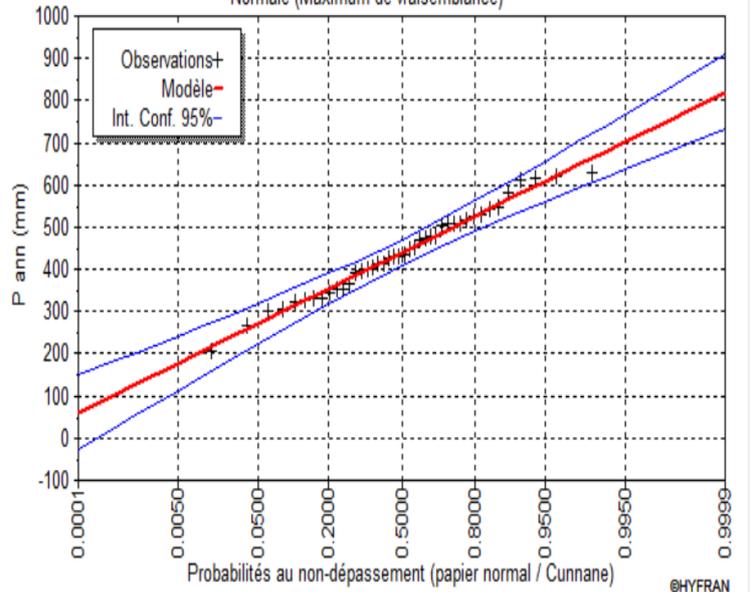
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Tlemcen (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



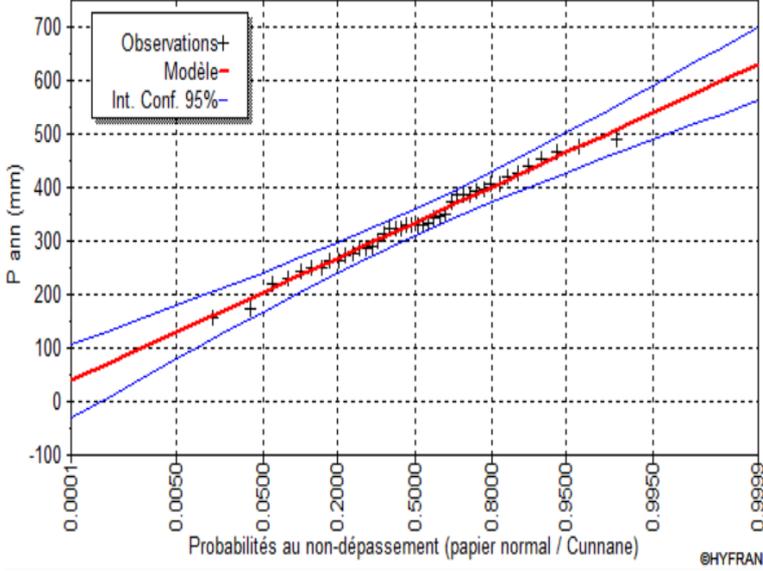
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Beni Bahdel (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



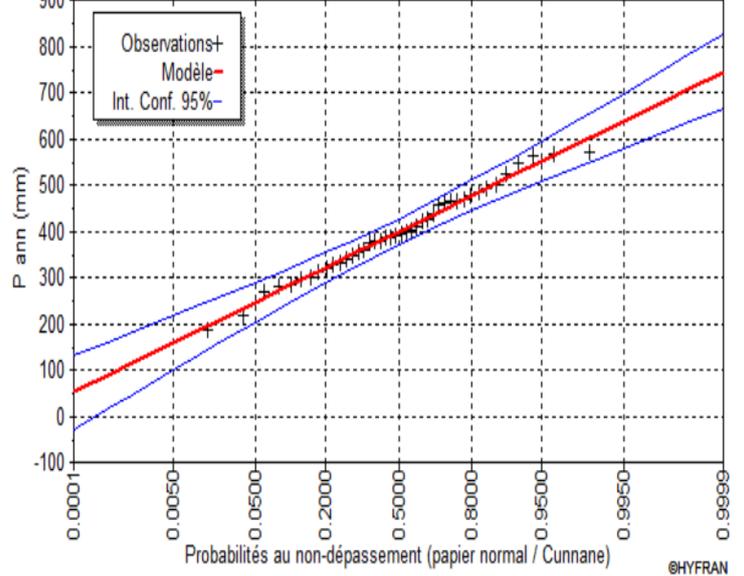
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Chouly (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



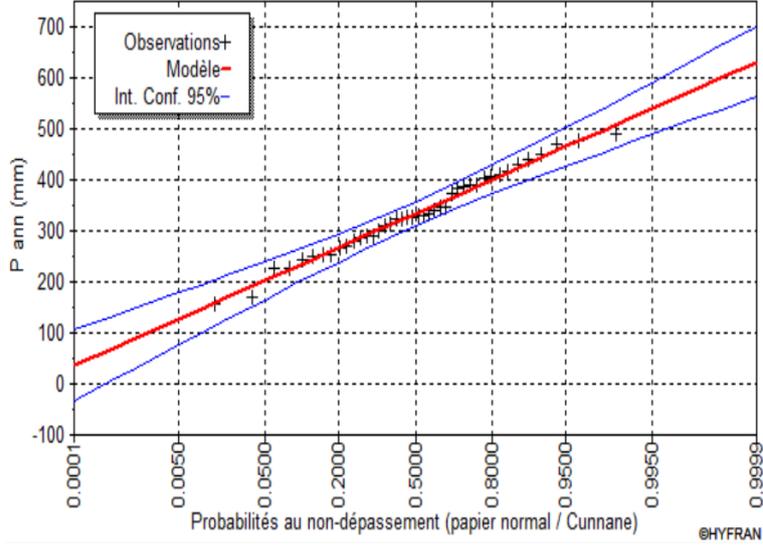
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Sidi Medjahed (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



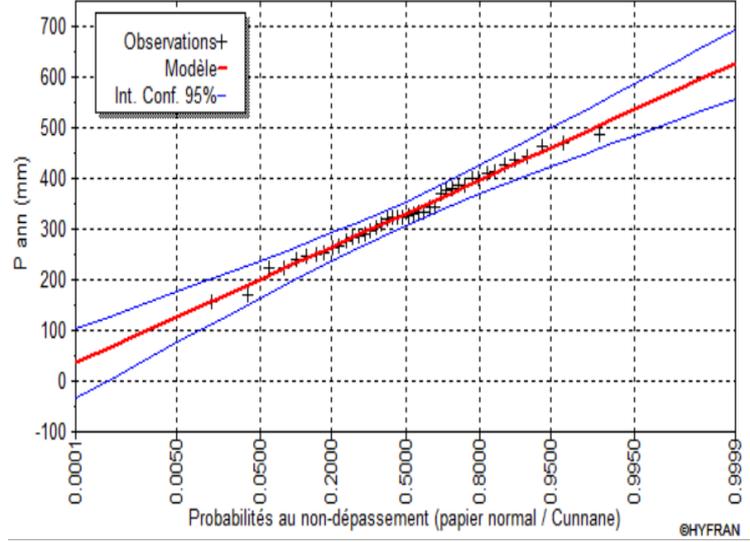
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Sabra (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



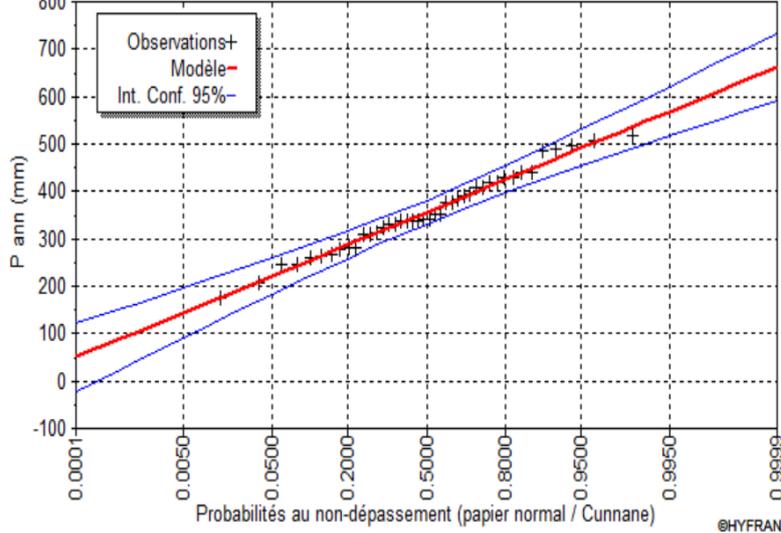
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Lalla Maghnia (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



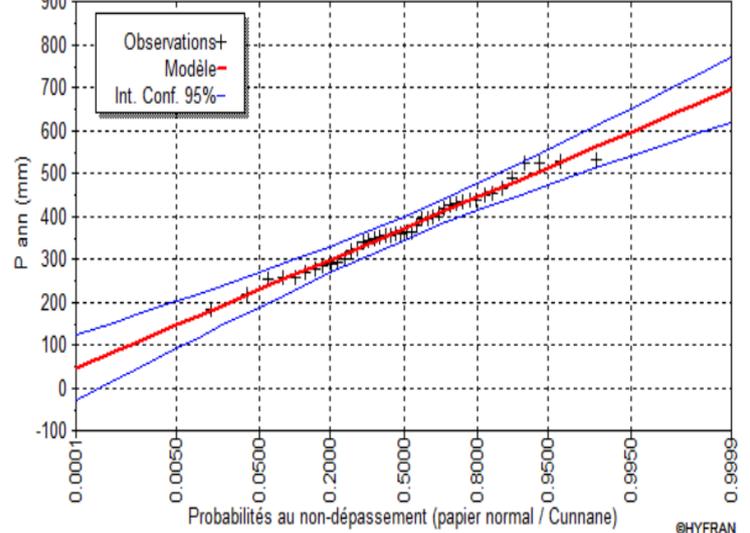
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Beni Ouassine (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)

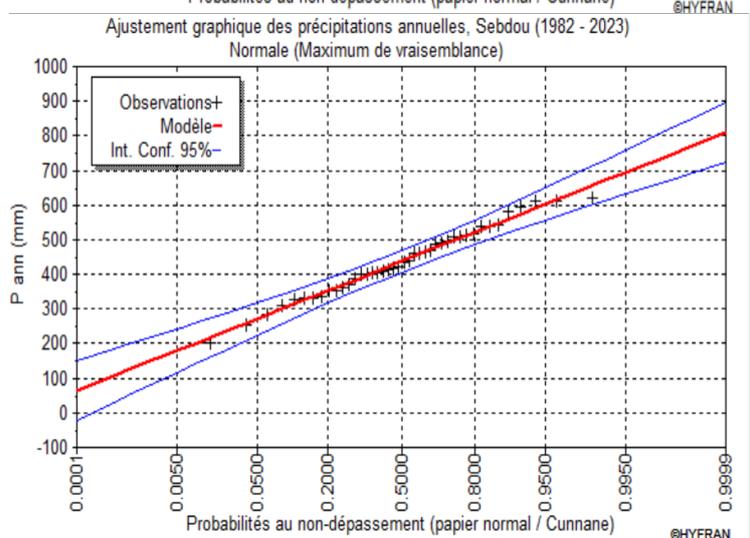
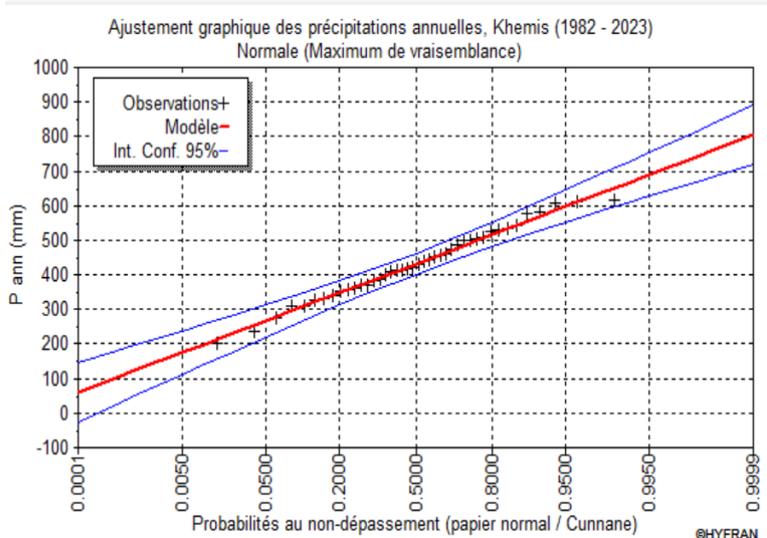
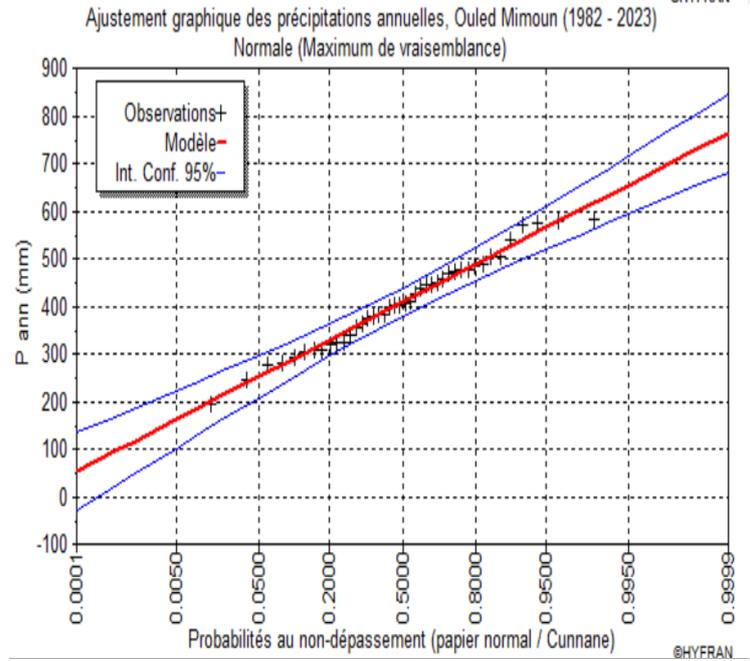
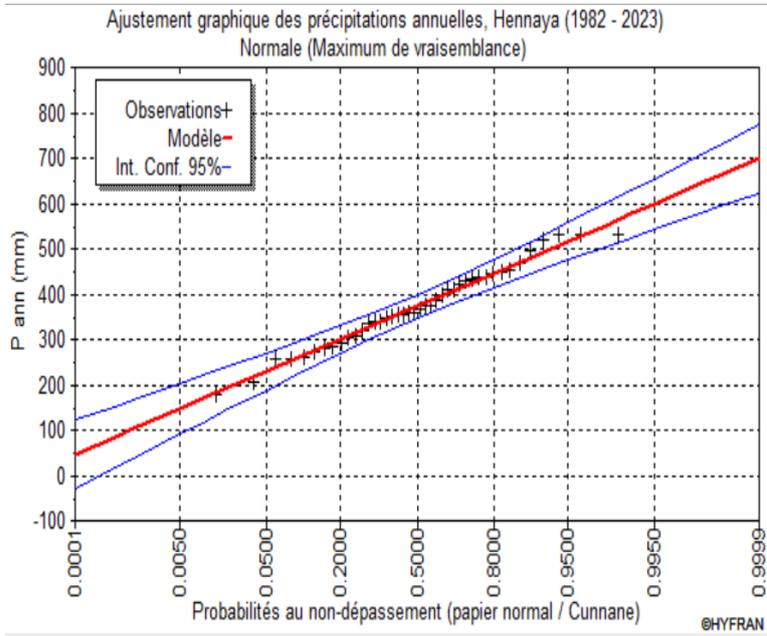
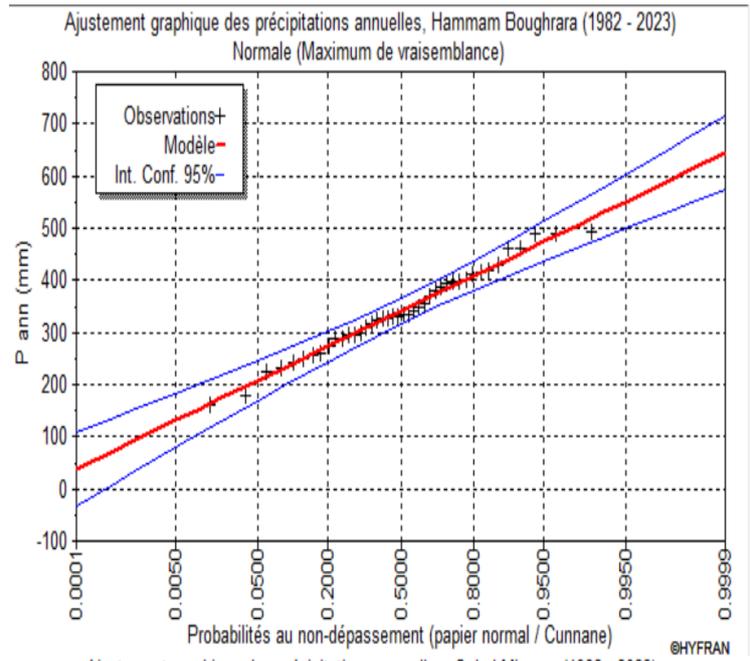
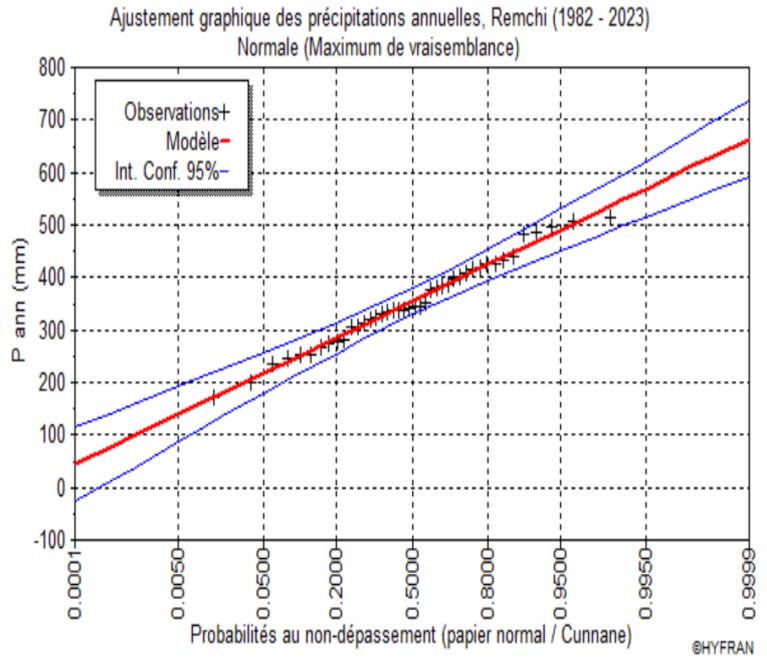


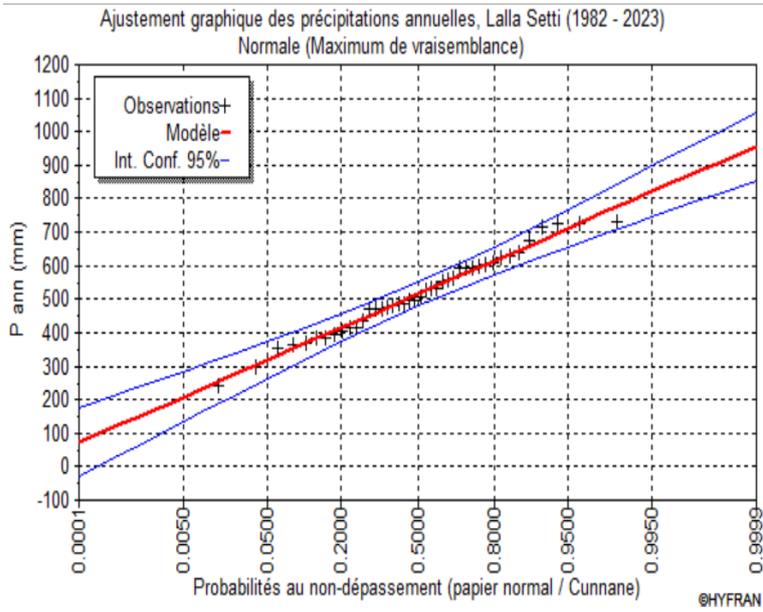
Ajustement graphique des précipitations annuelles, Pierre Du Chat (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)



Ajustement graphique des précipitations annuelles, Bensekrane (1982 - 2023)  
Normale (Maximum de vraisemblance)







## Annexes

Annexe IV.2 : Résultats de Calcul de SPI (1982-1997)

Stations	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
TENES	0,48	-1,68	1,28	0,73	0,73	-0,93	-0,66	-1,22	0,23	-0,56	0,05	-1,04	-1,21	-0,49	1,24	-0,19
ACHAACHA	0,49	-1,71	1,11	0,22	0,90	-0,68	-0,83	-1,28	0,51	-0,36	-0,39	-1,04	-1,30	-0,25	0,57	-0,18
CHELIF	0,48	-1,66	1,16	0,43	0,94	-0,82	-0,73	-1,21	0,27	-0,45	-0,11	-0,96	-1,24	-0,42	1,23	-0,21
RELIZANE	0,46	-1,94	1,04	-0,19	1,12	-0,64	-0,83	-1,20	0,46	-0,13	-0,28	-0,94	-1,30	-0,18	0,98	-0,22
TIARET	0,70	-1,96	1,15	0,03	1,32	-0,56	-0,55	-0,96	0,31	-0,11	0,38	-1,04	-1,28	-0,12	1,54	-0,15
OUED RHIYOU	0,57	-1,81	1,23	0,16	0,99	-0,74	-0,77	-1,29	0,29	-0,38	-0,21	-1,03	-1,34	-0,29	0,85	-0,19
GHRISS	0,54	-2,01	0,95	-0,63	1,30	-0,47	-1,01	-0,99	0,44	0,02	-0,22	-0,80	-1,27	-0,02	0,90	-0,19
SAIDA	0,43	-2,16	0,34	-0,90	1,51	-0,29	-1,07	-0,62	0,36	0,41	0,30	-0,62	-0,94	-0,04	1,24	-0,01
SIDI ALI BENYOUB	0,38	-2,23	0,09	-0,95	1,64	-0,24	-1,02	-0,68	0,62	0,62	0,33	-0,57	-0,76	-0,07	0,90	-0,22
SIDI BEL ABBES	0,39	-2,22	0,15	-0,89	1,53	-0,35	-1,04	-0,77	0,83	0,55	0,12	-0,65	-0,86	-0,07	0,76	-0,28
MOSTAGANEM	0,22	-1,84	0,77	-0,33	1,12	-0,59	-0,93	-1,13	0,64	0,08	-0,45	-0,86	-1,32	-0,11	0,87	-0,32
ARZEW	0,30	-1,86	0,76	-0,50	1,11	-0,46	-1,00	-1,07	0,77	0,27	-0,40	-0,86	-1,33	-0,05	0,47	-0,36
SENIA	0,12	-2,21	0,36	-0,77	1,39	-0,44	-0,98	-0,62	0,92	0,79	0,07	-0,58	-1,14	-0,12	0,78	-0,43
BENI SAF	0,39	-2,19	-0,18	-0,89	1,78	-0,27	-1,07	-0,63	0,81	0,59	0,05	-0,42	-0,65	-0,31	0,28	-0,27
GHAZAOUET	0,36	-2,23	-0,66	-0,78	1,67	-0,43	-0,93	-0,14	0,93	0,75	0,81	-0,29	-0,52	-0,57	0,38	0,02
ORAN PORT	0,12	-2,22	0,34	-0,79	1,38	-0,40	-0,98	-0,62	0,98	0,76	0,05	-0,63	-1,15	-0,12	0,71	-0,42
AIN TEMOUCHENT	0,30	-2,20	-0,09	-1,00	1,74	-0,17	-1,10	-0,64	0,81	0,70	-0,02	-0,49	-0,69	-0,12	0,61	-0,39
NEDROMA	0,45	-2,21	-0,63	-0,80	1,76	-0,44	-0,98	-0,16	0,82	0,97	0,90	-0,12	-0,56	-0,36	0,55	-0,06
MARSA BEN M'HIDI	0,29	-2,23	-0,86	-0,90	1,34	-0,51	-0,68	0,39	1,00	0,66	1,12	0,00	-0,36	-0,86	0,71	0,20
BOUKIOU	0,41	-2,19	-0,41	-0,85	1,81	-0,27	-1,04	-0,43	0,78	0,81	0,42	-0,29	-0,56	-0,30	0,47	-0,13
MEFROUCH	0,35	-2,29	-0,24	-0,93	1,80	-0,32	-1,07	-0,40	0,67	0,90	0,74	-0,40	-0,70	-0,14	0,80	-0,27
TLEMCEN	0,38	-2,26	-0,31	-0,92	1,78	-0,31	-1,07	-0,39	0,70	0,89	0,64	-0,33	-0,66	-0,15	0,78	-0,22
BENI BAHDEL	0,41	-2,27	-0,52	-0,86	1,84	-0,38	-1,09	-0,26	0,64	0,98	0,81	-0,30	-0,63	-0,24	0,79	-0,18
CHOULY	0,36	-2,29	-0,14	-0,95	1,75	-0,28	-1,05	-0,47	0,62	0,84	0,68	-0,44	-0,73	-0,11	0,86	-0,26
SIDI MEDJAHED	0,49	-2,24	-0,76	-0,88	1,80	-0,41	-1,06	-0,14	0,64	1,07	0,89	-0,05	-0,59	-0,28	0,76	-0,04
SABRA	0,42	-2,26	-0,56	-0,87	1,80	-0,41	-1,07	-0,23	0,69	0,99	0,85	-0,22	-0,63	-0,25	0,76	-0,12
LALLA MAGHNA	0,50	-2,20	-0,78	-0,85	1,77	-0,41	-1,02	-0,11	0,70	1,04	0,97	-0,02	-0,57	-0,31	0,70	-0,03
BENI OUASSINE	0,50	-2,20	-0,82	-0,85	1,75	-0,42	-0,99	-0,08	0,72	1,04	1,00	0,01	-0,56	-0,34	0,70	0,01
PIERRE DU CHAT	0,41	-2,19	-0,32	-0,90	1,82	-0,25	-1,08	-0,52	0,76	0,77	0,25	-0,33	-0,59	-0,24	0,45	-0,21
BENSEKRANE	0,39	-2,18	-0,20	-0,96	1,78	-0,17	-1,08	-0,55	0,72	0,79	0,27	-0,38	-0,61	-0,11	0,68	-0,27
REMCHI	0,41	-2,18	-0,36	-0,90	1,82	-0,21	-1,05	-0,47	0,75	0,79	0,36	-0,30	-0,56	-0,23	0,53	-0,18
HAMMAM BOUHRARA	0,48	-2,21	-0,64	-0,83	1,81	-0,39	-1,03	-0,23	0,71	0,95	0,71	-0,11	-0,55	-0,32	0,58	-0,08
HENNA YA	0,41	-2,22	-0,39	-0,91	1,79	-0,26	-1,07	-0,38	0,71	0,88	0,56	-0,27	-0,60	-0,19	0,70	-0,17
OULED MIMOUN	0,37	-2,26	-0,06	-0,94	1,74	-0,26	-1,05	-0,55	0,63	0,79	0,49	-0,47	-0,71	-0,10	0,85	-0,28
KHEMIS	0,42	-2,31	-0,60	-0,75	1,82	-0,44	-1,03	-0,19	0,66	1,01	0,91	-0,25	-0,60	-0,33	0,77	-0,10
SEBDOU	0,50	-2,36	-0,37	-0,83	1,81	-0,34	-1,05	-0,30	0,57	1,02	0,70	-0,29	-0,65	-0,25	0,77	-0,20
LALLA SETTI	0,36	-2,28	-0,29	-0,91	1,80	-0,33	-1,08	-0,38	0,69	0,90	0,73	-0,38	-0,69	-0,16	0,79	-0,24

## Annexes

Annexe IV.3 : Résultats de Calcul de SPI (1998-2013)

Stations	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
TENES	-1,18	0,21	-1,21	-0,38	-0,90	0,34	0,76	-0,60	0,60	1,55	0,18	-0,04	1,09	1,66	1,37	1,93
ACHAACHA	-1,47	0,51	-0,81	0,15	-1,02	0,52	1,07	-0,55	0,90	1,50	0,80	-0,30	0,96	1,49	1,24	1,97
CHELIF	-1,31	0,26	-1,13	-0,23	-1,02	0,31	0,76	-0,61	0,71	1,67	0,36	-0,16	1,19	1,75	1,46	2,01
RELIZANE	-1,38	0,32	-1,13	0,25	-0,99	0,73	1,17	-0,83	1,12	1,17	0,76	-0,01	0,93	1,40	1,13	2,29
TIARET	-1,45	0,15	-1,47	-0,17	-0,97	0,41	0,98	-0,90	0,82	1,10	0,48	0,28	1,09	1,48	0,82	1,99
OUED RHIOU	-1,37	0,37	-1,02	0,07	-1,00	0,45	1,05	-0,64	0,93	1,47	0,68	-0,18	1,02	1,64	1,23	2,08
GHRISS	-1,49	0,32	-1,14	0,38	-0,86	0,87	1,31	-0,90	0,91	0,81	1,11	-0,01	0,80	1,05	0,98	2,30
SAIDA	-1,43	-0,13	-1,12	0,01	-0,54	0,77	1,03	-1,06	0,23	1,12	1,19	0,14	1,09	1,04	0,86	2,01
SIDI ALI BENYOUB	-1,37	0,20	-0,93	0,42	-0,88	1,54	1,07	-1,09	0,48	0,76	1,39	0,02	1,03	0,76	0,66	1,89
SIDI BEL ABBES	-1,39	0,29	-0,94	0,47	-0,92	1,45	1,15	-1,14	0,63	0,97	1,30	-0,08	1,07	0,78	0,71	2,12
MOSTAGANEM	-1,43	0,53	-1,02	0,51	-1,05	0,89	1,18	-0,75	1,20	1,20	0,75	-0,26	0,91	1,19	1,19	2,32
ARZEW	-1,47	0,67	-0,69	0,71	-1,00	1,05	1,29	-0,81	1,03	1,32	1,14	-0,49	0,89	0,97	1,17	2,19
SENIA	-1,49	0,29	-1,01	0,54	-0,76	1,11	1,11	-1,05	0,64	1,31	0,75	-0,33	1,24	0,73	0,85	2,32
BENI SAF	-1,44	0,53	-0,40	0,79	-1,05	2,08	0,90	-0,98	0,32	1,06	1,74	-0,26	0,90	0,61	0,99	1,61
GHAZAOUET	-1,37	0,14	-0,18	0,41	-0,72	2,05	0,81	-1,09	0,21	0,95	1,82	-0,13	1,21	0,54	0,76	1,23
ORAN PORT	-1,51	0,37	-0,96	0,55	-0,79	1,16	1,12	-1,06	0,65	1,31	0,83	-0,39	1,29	0,70	0,84	2,25
AIN TEMOUCHENT	-1,42	0,45	-0,84	0,66	-1,04	1,89	0,95	-1,03	0,44	1,00	1,27	-0,28	1,17	0,59	0,79	1,87
NEDROMA	-1,22	0,06	-0,56	0,28	-0,63	1,82	0,94	-1,02	0,23	0,92	1,44	-0,11	1,12	0,61	0,67	1,47
MARSA BEN M'HIDI	-1,44	-0,16	-0,13	0,24	-0,53	2,11	0,56	-1,11	0,27	0,90	1,70	0,14	1,56	0,24	0,36	0,81
BOUKIOU	-1,30	0,28	-0,49	0,55	-0,83	1,92	0,88	-1,00	0,24	0,95	1,63	-0,13	1,02	0,63	0,87	1,55
MEFROUCH	-1,29	0,13	-0,85	0,41	-0,86	1,78	0,98	-1,10	0,30	0,64	1,34	-0,06	1,05	0,70	0,68	1,71
TLEMCEN	-1,27	0,13	-0,84	0,40	-0,83	1,78	0,97	-1,07	0,31	0,73	1,32	-0,05	1,06	0,66	0,68	1,74
BENI BAHDEL	-1,24	0,10	-0,80	0,33	-0,83	1,82	0,92	-1,08	0,27	0,55	1,40	-0,03	1,07	0,65	0,67	1,58
CHOULY	-1,32	0,11	-0,87	0,38	-0,85	1,68	1,00	-1,10	0,33	0,67	1,37	-0,04	1,05	0,75	0,67	1,74
SIDI MEDJAHED	-1,16	-0,02	-0,74	0,22	-0,61	1,65	0,89	-1,04	0,15	0,80	1,31	-0,07	1,16	0,65	0,64	1,49
SABRA	-1,22	0,06	-0,79	0,29	-0,73	1,75	0,94	-1,08	0,24	0,69	1,34	-0,05	1,09	0,65	0,64	1,61
LALLA MAGHNA	-1,15	-0,04	-0,68	0,17	-0,55	1,69	0,91	-1,02	0,17	0,86	1,32	-0,13	1,20	0,65	0,61	1,45
BENI OUASSINE	-1,15	-0,07	-0,66	0,15	-0,52	1,67	0,89	-1,03	0,16	0,89	1,33	-0,10	1,22	0,64	0,59	1,40
PIERRE DU CHAT	-1,34	0,35	-0,56	0,62	-0,90	1,96	0,89	-0,98	0,26	1,00	1,58	-0,18	1,02	0,61	0,88	1,62
BENSEKRANE	-1,30	0,29	-0,79	0,55	-0,89	1,84	0,93	-1,01	0,33	0,90	1,35	-0,15	1,10	0,65	0,77	1,76
REMCHI	-1,31	0,30	-0,58	0,58	-0,86	1,92	0,87	-0,97	0,25	0,94	1,54	-0,14	1,03	0,63	0,86	1,60
HAMMAM BOUHRARA	-1,21	0,09	-0,56	0,35	-0,66	1,80	0,89	-1,00	0,17	0,91	1,46	-0,13	1,11	0,65	0,75	1,47
HENNAYA	-1,26	0,16	-0,74	0,43	-0,78	1,81	0,92	-1,03	0,27	0,83	1,40	-0,09	1,09	0,65	0,74	1,67
OULED MIMOUN	-1,33	0,18	-0,87	0,44	-0,90	1,69	1,01	-1,07	0,39	0,70	1,37	-0,02	1,02	0,72	0,69	1,78
KHEMIS	-1,21	-0,03	-0,81	0,21	-0,72	1,72	0,95	-1,07	0,30	0,53	1,43	0,06	1,10	0,67	0,71	1,48
SEBDOU	-1,26	-0,02	-0,84	0,32	-0,75	1,75	0,99	-1,07	0,30	0,54	1,45	0,03	1,06	0,72	0,78	1,56
LALLA SETTI	-1,27	0,14	-0,84	0,40	-0,85	1,80	0,97	-1,10	0,31	0,64	1,34	-0,06	1,05	0,68	0,68	1,71

## Annexes

Annexe IV.4 : Résultats de Calcul de SPI (2014-2023)

Stations	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
TENES	0,37	-0,93	-0,27	-0,08	2,00	-0,67	-0,80	0,77	-0,74	-1,78
ACHAACHA	0,74	-0,80	-0,43	0,02	1,91	-0,48	-1,05	0,39	-1,39	-1,62
CHELIF	0,50	-0,81	-0,41	-0,28	2,02	-0,90	-0,61	0,02	-0,76	-1,47
RELIZANE	0,63	-0,46	-0,40	0,01	1,73	-0,72	-0,74	-0,76	-0,74	-1,67
TIARET	0,53	-0,58	-0,51	-0,19	1,93	-0,78	-0,77	-0,74	-0,65	-1,56
OUED RHIOU	0,68	-0,79	-0,46	-0,10	1,91	-0,62	-0,85	-0,06	-1,16	-1,38
GHRISS	0,70	-0,26	-0,06	-0,15	1,76	-0,48	-0,61	-1,13	-1,00	-1,75
SAIDA	0,45	0,15	-0,16	-0,43	2,22	-0,76	-0,88	-1,23	-0,74	-1,76
SIDI ALI BENYOUB	0,41	-0,03	-0,02	-0,23	1,87	-0,44	-1,20	-1,38	-1,08	-1,68
SIDI BEL ABBES	0,28	-0,11	-0,20	-0,17	1,77	-0,42	-0,99	-1,34	-0,87	-1,62
MOSTAGANEM	0,63	-0,36	-0,41	-0,02	1,65	-0,39	-0,83	-0,41	-1,21	-1,81
ARZEW	0,55	-0,41	-0,39	-0,11	1,48	-0,61	-1,17	-0,14	-1,35	-1,63
SENIA	0,14	-0,19	-0,30	-0,41	1,96	-0,67	-0,99	-0,38	-0,85	-1,69
BENI SAF	-0,02	-0,34	-0,31	-0,40	1,52	0,14	-1,16	-0,91	-1,37	-1,56
GHAZAOUET	-0,30	-0,24	-0,22	-0,49	1,66	0,03	-1,07	-0,88	-1,63	-1,87
ORAN PORT	0,13	-0,19	-0,31	-0,34	1,91	-0,63	-1,10	-0,28	-0,97	-1,60
AIN TEMOUCHENT	0,02	-0,13	-0,31	-0,24	1,76	-0,01	-1,15	-1,16	-1,04	-1,48
NEDROMA	-0,25	-0,18	-0,07	-0,57	1,83	-0,11	-1,27	-1,12	-1,40	-2,01
MARSA BEN M'HIDI	-0,51	-0,05	-0,16	-0,63	1,89	-0,15	-0,74	-0,85	-1,78	-1,83
BOUKIOU	-0,06	-0,23	-0,14	-0,43	1,69	-0,07	-1,25	-1,17	-1,45	-1,88
MEFROUCH	0,20	-0,14	0,08	-0,36	1,80	-0,27	-1,02	-1,34	-1,22	-1,79
TLEMCEN	0,11	-0,15	0,05	-0,39	1,82	-0,25	-1,04	-1,35	-1,26	-1,84
BENI BAHDEL	0,10	-0,13	0,17	-0,39	1,77	-0,11	-0,88	-1,47	-1,27	-1,90
CHOULY	0,27	-0,10	0,07	-0,36	1,87	-0,37	-1,08	-1,35	-1,17	-1,71
SIDI MEDJAHED	-0,16	-0,13	0,12	-0,57	1,96	-0,07	-0,90	-1,43	-1,29	-2,01
SABRA	-0,01	-0,15	0,10	-0,46	1,86	-0,11	-0,94	-1,40	-1,27	-1,95
LALLA MAGHANIA	-0,26	-0,13	0,06	-0,59	1,95	-0,10	-1,05	-1,34	-1,35	-2,04
BENI OUASSINE	-0,28	-0,12	0,05	-0,62	1,98	-0,10	-1,05	-1,33	-1,37	-2,04
PIERRE DU CHAT	-0,04	-0,23	-0,20	-0,41	1,69	-0,06	-1,17	-1,13	-1,34	-1,80
BENSEKRANE	0,09	-0,13	-0,11	-0,30	1,79	-0,21	-1,15	-1,35	-1,30	-1,77
REMCHI	-0,01	-0,19	-0,12	-0,40	1,71	-0,12	-1,24	-1,23	-1,42	-1,85
HAMMAM BOUHRARA	-0,17	-0,16	0,01	-0,52	1,85	-0,07	-1,13	-1,33	-1,41	-2,01
HENNAYA	0,02	-0,15	0,00	-0,42	1,80	-0,20	-1,13	-1,34	-1,34	-1,89
OULED MIMOUN	0,30	-0,08	0,03	-0,30	1,85	-0,36	-1,11	-1,38	-1,21	-1,71
KHEMIS	0,09	-0,16	0,22	-0,48	1,80	-0,17	-0,92	-1,55	-1,21	-1,94
SEBDOU	0,23	-0,15	0,22	-0,50	1,73	-0,38	-1,00	-1,52	-1,11	-1,81
LALLA SETTI	0,16	-0,16	0,08	-0,36	1,78	-0,24	-1,01	-1,35	-1,23	-1,82

Annexe IV.5 : Résultats de Calcul de SPI

Stations	1982/1992	1993/2003	2004/2014	2015/2023	Annuel
TENES	-0,14	-0,44	0,80	-0,28	0,04
ACHAACHA	-0,18	-0,39	0,89	-0,38	0,04
CHELIF	-0,16	-0,43	0,88	-0,36	0,04
RELIZANE	-0,19	-0,35	0,89	-0,42	0,05
TIARET	-0,02	-0,41	0,79	-0,43	0,05
OUED RHIOU	-0,18	-0,41	0,90	-0,39	0,04
GHRISS	-0,19	-0,30	0,82	-0,41	0,05
SAIDA	-0,15	-0,25	0,74	-0,40	0,05
SIDI ALI BENYOUB	-0,13	-0,16	0,67	-0,47	0,05
SIDI BEL ABBES	-0,15	-0,19	0,71	-0,44	0,05
MOSTAGANEM	-0,22	-0,30	0,87	-0,42	0,04
ARZEW	-0,19	-0,26	0,84	-0,48	0,05
SENIA	-0,12	-0,25	0,70	-0,39	0,05
BENI SAF	-0,15	-0,08	0,62	-0,49	0,05
GHAZAOUET	-0,06	-0,06	0,55	-0,52	0,05
ORAN PORT	-0,13	-0,25	0,70	-0,39	0,05
AIN TEMOUCHENT	-0,15	-0,13	0,62	-0,42	0,05
NEDROMA	-0,03	-0,07	0,55	-0,54	0,05
MARSA BEN M'HIDI	-0,03	-0,02	0,45	-0,48	0,05
BOUKIOU	-0,09	-0,06	0,60	-0,55	0,05
MEFROUCH	-0,07	-0,13	0,58	-0,47	0,06
TLEMCEN	-0,08	-0,11	0,59	-0,49	0,06
BENI BAHDEL	-0,06	-0,11	0,55	-0,47	0,06
CHOULY	-0,09	-0,14	0,61	-0,47	0,06
SIDI MEDJAHED	-0,06	-0,08	0,53	-0,48	0,05
SABRA	-0,06	-0,10	0,55	-0,48	0,06
LALLA MAGHNA	-0,03	-0,07	0,52	-0,51	0,05
BENI OUASSINE	-0,03	-0,07	0,52	-0,51	0,05
PIERRE DU CHAT	-0,11	-0,07	0,61	-0,52	0,05
BENSEKRANE	-0,11	-0,09	0,61	-0,50	0,05
REMCHI	-0,09	-0,06	0,60	-0,54	0,05
H. BOUGHRARA	-0,06	-0,06	0,55	-0,53	0,05
HENNAYA	-0,08	-0,08	0,59	-0,52	0,05
OULED MIMOUN	-0,10	-0,14	0,63	-0,48	0,06
KHEMIS	-0,05	-0,12	0,57	-0,49	0,06
SEBDOU	-0,06	-0,13	0,60	-0,50	0,06
LALLA SETTI	-0,07	-0,12	0,58	-0,48	0,06

## Annexes

Annexe IV.6 : Résultats de Calcul de Em (1982 - 1997)

Stations	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
TENES	46,93	-163,37	124,03	71,33	71,23	-90,77	-64,47	-118,97	22,53	-54,07	4,93	-100,77	-117,47	-47,57	120,83	-18,17
ACHAACHA	45,01	-155,79	100,81	20,01	81,81	-61,89	-75,39	-116,89	46,41	-32,39	-35,39	-95,19	-118,99	-22,39	51,71	-16,39
CHELIF	37,59	-129,31	90,19	33,69	72,99	-64,21	-56,51	-94,61	21,09	-35,41	-8,61	-75,11	-96,81	-32,81	95,69	-16,51
RELIZANE	35,62	-151,78	81,62	-15,08	87,62	-50,18	-64,78	-93,48	35,72	-10,48	-21,58	-73,18	-101,88	-14,08	76,82	-17,28
TIARET	68,28	-190,12	111,48	3,18	127,98	-53,82	-53,72	-93,12	30,48	-10,82	36,98	-100,92	-124,12	-11,52	149,48	-14,32
OUED RHIOU	46,26	-147,74	100,86	12,76	81,26	-60,04	-62,84	-105,74	23,96	-30,94	-17,44	-83,94	-109,04	-23,34	69,26	-15,24
GHRISS	51,93	-192,57	90,93	-60,67	124,33	-45,27	-96,77	-94,57	42,13	2,13	-20,67	-77,07	-121,47	-2,27	86,03	-18,47
SAIDA	34,28	-174,52	27,18	-72,52	121,68	-23,62	-86,52	-49,62	28,78	33,08	24,48	-49,72	-75,62	-3,52	100,38	-1,02
SIDI ALI BENYOUNB	34,25	-199,75	8,15	-85,45	147,35	-21,55	-91,95	-60,75	56,05	55,55	30,05	-50,95	-68,45	-6,45	80,65	-19,95
SIDI BEL ABBES	35,00	-200,00	13,30	-80,50	137,80	-31,10	-93,50	-69,20	74,90	49,20	11,20	-58,20	-77,30	-6,30	68,90	-25,20
MOSTAGANEM	16,45	-134,75	56,55	-23,85	82,05	-42,95	-68,15	-82,85	46,75	6,05	-32,95	-62,85	-96,85	-8,25	63,45	-23,75
ARZEW	21,40	-132,10	54,40	-35,60	79,30	-32,50	-71,30	-76,10	54,80	19,20	-28,70	-61,20	-94,30	-3,40	33,30	-25,80
SENIA	8,87	-169,43	27,27	-58,73	106,27	-33,63	-75,13	-47,33	70,57	60,37	5,57	-44,63	-87,33	-9,23	60,17	-32,93
BENI SAF	28,79	-162,31	-13,31	-65,81	131,69	-20,31	-79,41	-46,91	59,79	43,49	3,49	-31,01	-48,01	-23,01	20,99	-20,11
GHAZAOUET	29,60	-182,50	-53,90	-64,00	137,00	-35,10	-76,20	-11,30	76,50	61,60	66,40	-23,70	-42,50	-47,00	30,80	1,60
ORAN PORT	9,05	-163,55	24,85	-58,25	101,55	-29,65	-72,25	-46,05	72,05	56,35	3,95	-46,25	-84,85	-9,15	52,05	-30,65
AIN TEMOUCHENT	24,40	-176,50	-7,10	-80,20	139,20	-13,60	-87,90	-51,30	65,00	56,00	-1,20	-39,00	-55,60	-9,50	49,00	-31,00
NEDROMA	38,48	-190,02	-54,12	-68,82	151,38	-38,02	-84,42	-13,62	70,68	83,18	77,68	-10,12	-48,42	-31,12	47,78	-5,52
MARSA BEN M'HIDI	21,38	-163,62	-63,42	-66,22	98,38	-37,62	-50,22	28,58	73,58	48,78	82,28	-0,32	-26,32	-63,42	52,08	14,38
BOUKIOU	34,58	-182,92	-34,62	-71,32	150,98	-22,62	-87,22	-35,52	65,28	67,48	35,08	-24,42	-47,02	-25,42	39,28	-10,52
MEFROUCH	41,26	-269,94	-28,34	-109,04	211,66	-38,14	-125,64	-46,74	78,96	105,76	87,06	-46,74	-82,24	-16,44	94,26	-31,24
TLEMCEN	36,85	-218,05	-29,55	-88,75	172,05	-29,95	-103,45	-37,35	67,55	86,35	62,15	-32,15	-63,35	-14,55	75,35	-21,35
BENI BAHDEL	47,55	-266,65	-60,95	-101,25	216,15	-44,55	-127,85	-31,05	75,25	115,05	95,25	-35,15	-73,75	-28,05	92,15	-20,55
CHOULY	36,41	-234,29	-14,39	-97,49	178,81	-29,09	-107,79	-48,19	63,41	86,01	69,41	-44,79	-74,59	-11,39	88,31	-26,59
SIDI MEDJAHED	38,60	-178,20	-60,20	-69,60	143,20	-32,90	-84,60	-11,40	51,10	85,20	70,70	-4,30	-46,70	-22,10	60,10	-3,10
SABRA	39,46	-210,54	-51,74	-80,94	167,56	-38,34	-99,74	-21,54	64,66	91,86	78,86	-20,34	-58,64	-23,04	70,66	-11,44
LALLA MAGHNA	39,94	-175,56	-62,66	-67,76	141,64	-32,46	-81,36	-8,66	55,74	83,34	77,44	-1,96	-45,36	-24,46	55,84	-2,46
BENI OUASSINE	39,53	-174,67	-65,17	-67,57	138,63	-33,47	-78,67	-6,27	56,83	82,43	79,23	0,73	-44,17	-27,17	55,73	0,93
PIERRE DU CHAT	33,55	-180,65	-26,15	-74,35	150,25	-20,45	-88,85	-42,85	62,75	63,75	20,55	-27,15	-48,45	-19,65	37,35	-17,35
BENSEKRANE	33,50	-189,60	-17,60	-83,10	154,80	-15,20	-94,00	-47,60	63,00	68,40	23,10	-33,10	-52,90	-9,20	59,20	-23,10
REMCHI	34,15	-181,55	-29,75	-74,75	151,75	-17,75	-87,55	-39,45	62,35	65,45	30,15	-24,95	-46,85	-19,45	44,35	-15,35
HAMMAM BOUGHRARA	39,17	-179,53	-52,43	-67,93	147,37	-31,63	-83,73	-19,13	57,67	77,67	57,87	-9,13	-44,93	-25,93	47,17	-6,13
HENNAYA	36,24	-194,36	-34,36	-79,76	156,64	-22,46	-93,36	-33,36	62,64	77,14	49,24	-23,96	-52,36	-17,06	61,24	-14,66
OULED MIMOUN	35,21	-215,69	-5,69	-89,79	165,61	-24,89	-100,19	-52,59	59,91	75,61	46,91	-44,39	-67,69	-9,79	80,81	-26,29
KHEMIS	42,17	-231,83	-60,43	-75,33	182,17	-43,73	-103,13	-19,13	66,57	101,07	91,17	-24,73	-60,23	-33,43	76,77	-10,13
SEBDOU	50,29	-237,01	-37,51	-83,11	182,19	-34,21	-105,41	-30,51	57,19	102,59	70,09	-29,31	-65,31	-24,61	77,49	-20,21
LALLA SETTI	43,08	-271,12	-33,92	-108,42	214,18	-39,62	-128,12	-44,72	81,78	106,78	86,88	-44,82	-81,92	-19,12	93,48	-28,72

## Annexes

### Annexe IV.7 : Résultats de Calcul de Em (1998 - 2013)

Stations	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
TENES	-114,57	20,63	-117,37	-37,37	-87,07	33,43	73,53	-58,17	57,93	150,83	17,33	-4,37	105,63	161,33	132,73	187,13
ACHAACHA	-134,19	46,31	-74,09	13,71	-92,99	47,31	97,91	-49,89	81,81	136,41	73,21	-27,09	87,11	135,61	112,91	179,41
CHELIF	-101,81	20,59	-88,11	-18,11	-79,81	24,09	59,39	-47,31	54,99	130,19	28,09	-12,41	92,79	136,09	113,79	156,49
RELIZANE	-107,78	25,22	-88,18	19,72	-77,28	56,72	91,72	-64,58	87,22	91,32	59,62	-0,78	72,42	109,22	88,02	178,92
TIARET	-140,72	14,18	-142,22	-16,02	-93,72	39,48	94,48	-87,62	79,58	106,18	46,28	26,68	105,28	143,48	79,28	192,48
OUED RHIOU	-111,54	29,86	-83,34	6,06	-81,34	36,66	85,56	-51,94	76,26	119,76	55,46	-14,84	83,06	133,86	100,06	169,86
GHRISS	-142,87	31,03	-109,07	36,73	-82,67	83,13	125,83	-86,27	86,93	77,53	106,13	-1,17	76,23	100,13	94,03	220,63
SAIDA	-115,62	-10,52	-90,02	1,08	-43,82	62,28	83,38	-85,82	18,18	90,68	95,58	10,98	88,28	84,18	69,68	162,38
SIDI ALI BENYOUB	-123,15	17,75	-83,45	37,55	-79,05	137,95	96,05	-97,35	43,35	67,75	124,35	1,75	92,25	68,55	59,55	169,65
SIDI BEL ABBES	-125,10	26,00	-84,70	42,20	-83,10	131,00	103,60	-102,70	57,00	87,30	117,40	-7,60	96,80	69,90	64,30	190,60
MOSTAGANEM	-104,75	38,65	-74,75	37,05	-76,75	65,05	86,45	-54,95	87,95	87,75	55,35	-18,95	66,85	87,15	87,25	169,85
ARZEW	-104,40	47,80	-49,00	50,50	-71,40	74,90	91,90	-57,50	73,60	93,80	80,80	-34,70	63,10	68,90	83,50	155,70
SENIA	-114,23	22,57	-77,23	41,17	-58,03	85,07	85,07	-80,53	48,77	100,27	57,77	-25,53	95,07	55,77	64,97	177,57
BENI SAF	-106,61	38,99	-29,91	58,49	-77,81	154,39	67,09	-73,01	23,79	78,29	129,29	-19,31	67,09	44,89	73,49	119,29
GHAZAOUET	-111,80	11,50	-14,80	33,30	-59,20	167,50	66,70	-89,60	17,10	77,40	149,20	-10,30	99,30	44,30	61,90	100,80
ORAN PORT	-111,55	27,55	-70,65	40,95	-58,45	85,55	82,35	-78,55	48,25	96,85	60,95	-28,45	95,55	51,85	61,85	166,15
AIN TEMOUCHENT	-113,90	36,40	-67,50	52,50	-83,50	151,50	76,10	-82,10	35,50	80,00	102,10	-22,20	94,00	47,60	63,40	149,70
NEDROMA	-104,92	4,88	-48,22	23,88	-54,22	156,98	80,68	-87,92	20,18	79,38	124,38	-9,82	96,48	52,38	57,88	126,88
MARSA BEN M'HIDI	-105,72	-12,02	-9,42	17,98	-39,12	155,48	41,08	-81,42	19,68	66,28	124,68	10,28	114,88	17,78	26,28	59,38
BOUKIOU	-108,32	23,28	-40,72	46,28	-68,92	159,98	73,38	-83,12	19,68	79,08	135,98	-10,52	85,18	52,28	72,48	129,48
MEFROUCH	-151,24	15,46	-99,84	47,76	-101,34	208,96	115,06	-129,34	35,66	75,36	157,26	-7,44	123,66	82,26	79,86	200,86
TLEMCEN	-122,65	12,75	-80,85	38,95	-79,95	172,05	93,35	-103,55	29,85	70,45	127,85	-5,05	102,75	63,95	65,95	167,55
BENI BAHDEL	-145,05	12,25	-94,05	38,45	-97,65	213,25	108,35	-126,75	31,45	64,35	164,75	-4,05	125,45	76,35	78,05	185,45
CHOULY	-134,99	11,01	-89,09	39,21	-86,99	171,41	102,71	-112,89	34,01	68,51	139,91	-3,89	106,81	76,41	68,81	177,61
SIDI MEDJAHED	-92,40	-1,80	-59,20	17,10	-48,50	131,50	70,90	-82,90	11,80	63,30	104,40	-5,90	92,00	51,90	50,70	118,20
SABRA	-113,14	5,26	-73,14	27,26	-68,24	162,86	87,36	-100,74	22,16	64,56	124,86	-4,54	101,76	60,66	59,56	149,76
LALLA MAGHNA	-91,66	-2,86	-54,56	13,84	-44,26	134,94	72,94	-81,76	13,54	69,14	105,44	-10,66	96,04	51,84	48,54	115,74
BENI OUASSINE	-91,27	-5,27	-52,57	12,13	-41,47	132,63	70,53	-81,47	12,83	70,33	105,93	-7,77	97,23	50,73	47,03	111,13
PIERRE DU CHAT	-110,25	28,55	-45,85	51,15	-73,75	161,75	73,55	-80,45	21,55	82,45	129,95	-14,85	84,25	50,25	72,35	133,65
BENSEKRANE	-113,50	24,80	-68,90	48,20	-77,30	160,30	81,20	-87,60	28,30	77,90	117,10	-12,80	95,90	56,50	67,00	153,40
REMCHI	-108,65	24,85	-48,65	48,35	-71,85	159,65	72,45	-80,95	21,15	78,35	128,25	-11,95	85,95	52,65	71,35	133,35
HAMMAM BOUGHRARA	-98,43	7,47	-45,53	28,57	-53,63	146,87	72,47	-81,73	13,47	73,67	118,87	-10,23	90,07	52,57	60,67	119,87
HENNAYA	-110,36	13,64	-64,46	37,64	-68,66	158,94	80,94	-90,46	23,54	72,74	122,44	-7,86	95,94	57,04	64,64	146,44
OULED MIMOUN	-127,19	17,21	-82,89	42,21	-85,79	161,41	96,11	-102,09	36,91	66,91	130,81	-2,09	97,31	68,21	65,91	169,61
KHEMIS	-121,33	-3,43	-81,33	21,07	-72,03	172,87	95,67	-107,33	29,97	53,17	143,47	5,97	110,27	67,07	71,47	148,77
SEBDOU	-126,31	-1,51	-84,11	32,09	-75,71	175,79	99,69	-107,61	29,99	53,99	145,99	2,79	106,89	72,59	78,39	156,29
LALLA SETTI	-151,52	16,48	-99,82	47,98	-101,22	213,58	115,88	-130,52	36,38	76,58	159,88	-7,42	124,98	81,08	80,68	203,48

## Annexes

Annexe IV.8 : Résultats de Calcul de Em (2014 - 2023)

Stations	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
TENES	35,73	-90,77	-26,57	-7,57	194,43	-65,57	-77,97	74,93	-71,87	-172,67
ACHAACHA	67,11	-73,29	-38,89	1,91	173,91	-44,19	-95,79	35,51	-126,89	-147,99
CHELIF	38,89	-63,01	-31,71	-21,91	157,59	-70,11	-47,51	1,59	-59,41	-114,61
RELIZANE	49,02	-36,28	-31,08	1,12	134,82	-56,48	-57,58	-59,58	-58,18	-130,88
TIARET	51,38	-56,32	-49,62	-18,32	187,18	-75,82	-74,82	-71,62	-62,82	-151,52
OUED RHIOU	55,26	-64,74	-37,54	-8,04	155,76	-50,74	-69,04	-4,74	-94,94	-112,84
GHRISS	67,03	-24,97	-5,77	-13,97	168,53	-45,67	-57,97	-107,77	-95,47	-167,87
SAIDA	36,48	12,08	-13,22	-34,82	178,88	-61,32	-71,02	-99,12	-59,62	-142,32
SIDI ALI BENYOUB	36,65	-2,95	-1,45	-20,65	167,65	-39,55	-107,85	-124,25	-97,05	-150,65
SIDI BEL ABBES	25,00	-9,60	-18,20	-14,90	159,10	-38,20	-89,30	-120,90	-78,60	-146,30
MOSTAGANEM	45,95	-26,55	-30,35	-1,75	120,95	-28,75	-61,05	-30,05	-88,85	-133,05
ARZEW	39,00	-29,10	-28,00	-7,80	105,60	-43,30	-83,40	-9,70	-96,00	-116,10
SENIA	10,47	-14,93	-22,73	-31,53	150,37	-51,13	-75,93	-29,03	-65,13	-129,53
BENI SAF	-1,41	-25,01	-23,21	-29,61	112,99	10,09	-85,71	-67,11	-101,71	-115,61
GHAZAOUET	-24,60	-19,80	-18,30	-39,90	136,10	2,10	-87,80	-72,20	-133,30	-153,00
ORAN PORT	9,75	-14,25	-23,05	-24,85	141,05	-46,35	-81,35	-20,65	-71,75	-117,95
AIN TEMOUCHENT	2,00	-10,50	-24,80	-19,40	141,10	-0,90	-92,50	-93,30	-83,30	-118,50
NEDROMA	-21,72	-15,72	-5,62	-49,12	157,68	-9,42	-109,12	-96,62	-120,92	-173,22
MARSA BEN M'HIDI	-37,82	-3,32	-11,92	-46,62	139,18	-10,72	-54,72	-62,82	-130,62	-134,82
BOUKIOU	-4,92	-18,82	-11,42	-36,22	140,98	-5,82	-104,02	-97,82	-121,22	-157,22
MEFROUCH	23,06	-17,04	9,26	-42,04	212,06	-31,64	-119,74	-157,74	-143,34	-210,14
TLEMCEN	10,95	-14,95	5,25	-37,65	175,25	-24,35	-100,65	-130,35	-121,35	-177,45
BENI BAHDEL	12,05	-15,35	19,45	-45,75	207,15	-12,75	-103,35	-172,35	-148,45	-222,75
CHOULY	27,51	-10,49	7,01	-36,79	190,81	-37,99	-110,19	-138,09	-119,69	-174,49
SIDI MEDJAHED	-12,40	-10,60	9,60	-45,60	155,60	-5,70	-71,50	-113,40	-102,90	-159,80
SABRA	-1,34	-14,04	9,66	-42,84	172,66	-10,14	-87,14	-130,24	-118,34	-181,34
LALLA MAGHNA	-20,46	-10,26	4,84	-46,86	155,54	-7,96	-83,76	-107,26	-107,76	-163,36
BENI OUASSINE	-21,97	-9,57	4,13	-48,87	157,03	-8,27	-83,77	-105,77	-108,87	-161,77
PIERRE DU CHAT	-3,05	-18,95	-16,35	-34,05	139,35	-4,95	-96,45	-93,35	-110,65	-148,35
BENSEKRANE	7,90	-11,10	-9,50	-26,50	155,40	-18,60	-100,30	-117,70	-113,00	-153,90
REMCHI	-0,65	-16,05	-10,25	-33,45	142,65	-9,75	-102,95	-102,45	-118,45	-153,85
HAMMAM BOUHRARA	-13,63	-12,63	1,17	-42,73	150,47	-5,53	-92,23	-108,63	-114,53	-163,23
HENNAYA	1,54	-13,46	0,24	-36,86	157,64	-17,66	-99,26	-117,86	-117,86	-166,06
OULED MIMOUN	28,41	-7,79	3,21	-28,89	176,01	-34,39	-106,09	-131,29	-115,79	-162,99
KHEMIS	9,37	-15,73	22,27	-48,13	180,17	-17,53	-91,73	-155,33	-121,53	-194,13
SEBDOU	22,79	-15,21	22,39	-50,21	173,49	-38,51	-100,01	-152,91	-111,81	-181,91
LALLA SETTI	19,48	-18,72	9,98	-42,72	212,28	-28,32	-119,72	-160,62	-146,82	-216,92

## *Annexes*

Annexe IV.9 : Résultats de Calcul de Em

<b>Stations</b>	<b>1982/1992</b>	<b>1993/2003</b>	<b>2004/2014</b>	<b>2015/2023</b>	<b>Annuel</b>
TENES	-13,69	-42,31	78,15	-27,07	3,98
ACHAACHA	-16,70	-35,92	81,32	-35,08	3,80
CHELIF	-12,10	-33,52	68,27	-27,68	3,15
RELIZANE	-15,16	-27,38	69,28	-32,68	3,70
TIARET	-2,11	-40,04	76,13	-41,52	4,64
OUED RHIOU	-14,51	-33,27	73,85	-31,87	3,60
GHRISS	-18,10	-28,82	78,82	-38,99	4,70
SAIDA	-12,49	-20,56	59,45	-32,28	4,26
SIDI ALI BENYOUB	-11,65	-14,33	60,23	-41,87	4,87
SIDI BEL ABBES	-13,90	-17,44	63,78	-39,66	4,88
MOSTAGANEM	-16,15	-22,15	63,70	-31,05	3,29
ARZEW	-13,38	-18,46	59,82	-34,20	3,22
SENIA	-9,58	-19,52	53,60	-29,96	4,13
BENI SAF	-10,99	-5,79	46,31	-36,10	3,96
GHAZAOUET	-4,72	-4,93	44,75	-42,90	4,45
ORAN PORT	-9,27	-18,68	51,50	-28,79	3,99
AIN TEMOUCHENT	-12,11	-10,06	49,64	-33,57	4,30
NEDROMA	-2,51	-6,28	47,16	-46,90	4,63
MARSA BEN M'HIDI	-2,56	-1,50	32,82	-35,16	3,99
BOUKIOU	-7,35	-5,14	49,91	-45,73	4,46
MEFROUCH	-8,47	-14,79	68,75	-55,60	6,58
TLEMCEN	-7,47	-10,52	56,73	-47,36	5,32
BENI BAHDEL	-7,55	-12,56	65,04	-54,91	6,50
CHOULY	-8,83	-14,41	62,32	-47,77	5,71
SIDI MEDJAHED	-4,38	-6,31	42,00	-38,26	4,35
SABRA	-5,49	-9,27	51,28	-44,64	5,14
LALLA MAGHNIA	-2,76	-5,73	41,84	-40,76	4,28
BENI OUASSINE	-2,65	-5,43	41,32	-40,63	4,26
PIERRE DU CHAT	-9,31	-5,78	49,97	-42,63	4,41
BENSEKRANE	-9,48	-7,77	53,17	-43,91	4,62
REMCHI	-7,90	-5,32	50,00	-44,95	4,43
HAMMAM BOUGHRARA	-4,96	-4,87	45,10	-43,10	4,38
HENNAYA	-6,89	-7,28	51,54	-45,68	4,74
OULED MIMOUN	-9,60	-12,95	59,64	-45,33	5,26
KHEMIS	-4,58	-12,35	57,08	-49,07	5,65
SEBDOU	-5,95	-12,88	60,16	-50,52	5,78
LALLA SETTI	-8,48	-14,15	69,13	-56,84	6,61

## Annexes

Annexe IV.10 : Résultats de Calcul de Ip (1982-1997)

Stations	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
TENES	1,10	0,64	1,27	1,16	1,16	0,80	0,86	0,74	1,05	0,88	1,01	0,78	0,74	0,90	1,26	0,96
ACHAACHA	1,10	0,64	1,23	1,05	1,19	0,86	0,83	0,73	1,11	0,93	0,92	0,78	0,73	0,95	1,12	0,96
CHELIF	1,10	0,65	1,24	1,09	1,20	0,83	0,85	0,75	1,06	0,91	0,98	0,80	0,74	0,91	1,26	0,96
RELIZANE	1,10	0,58	1,23	0,96	1,24	0,86	0,82	0,74	1,10	0,97	0,94	0,80	0,72	0,96	1,21	0,95
TIARET	1,15	0,58	1,24	1,01	1,28	0,88	0,88	0,80	1,07	0,98	1,08	0,78	0,73	0,97	1,33	0,97
OUED RHIOU	1,12	0,62	1,26	1,03	1,21	0,85	0,84	0,73	1,06	0,92	0,96	0,79	0,72	0,94	1,18	0,96
GHRISS	1,12	0,55	1,21	0,86	1,29	0,89	0,77	0,78	1,10	1,00	0,95	0,82	0,71	0,99	1,20	0,96
SAIDA	1,10	0,48	1,08	0,78	1,36	0,93	0,74	0,85	1,09	1,10	1,07	0,85	0,77	0,99	1,30	1,00
SIDI ALI BENYOUB	1,09	0,47	1,02	0,78	1,39	0,94	0,76	0,84	1,15	1,15	1,08	0,87	0,82	0,98	1,21	0,95
SIDI BEL ABBES	1,09	0,48	1,03	0,79	1,36	0,92	0,76	0,82	1,19	1,13	1,03	0,85	0,80	0,98	1,18	0,94
MOSTAGANEM	1,05	0,60	1,17	0,93	1,24	0,87	0,80	0,75	1,14	1,02	0,90	0,81	0,71	0,98	1,19	0,93
ARZEW	1,07	0,60	1,17	0,89	1,24	0,90	0,78	0,77	1,17	1,06	0,91	0,81	0,71	0,99	1,10	0,92
SENIA	1,03	0,52	1,08	0,83	1,30	0,90	0,79	0,87	1,20	1,17	1,02	0,87	0,75	0,97	1,17	0,91
BENI SAF	1,09	0,51	0,96	0,80	1,40	0,94	0,76	0,86	1,18	1,13	1,01	0,91	0,85	0,93	1,06	0,94
GHAZAOUET	1,08	0,48	0,85	0,82	1,39	0,90	0,78	0,97	1,22	1,18	1,19	0,93	0,88	0,87	1,09	1,00
ORAN PORT	1,03	0,52	1,07	0,83	1,30	0,91	0,79	0,86	1,21	1,17	1,01	0,86	0,75	0,97	1,15	0,91
AIN TEMOUCHENT	1,07	0,51	0,98	0,78	1,39	0,96	0,75	0,86	1,18	1,16	1,00	0,89	0,84	0,97	1,14	0,91
NEDROMA	1,11	0,48	0,85	0,81	1,41	0,90	0,77	0,96	1,19	1,23	1,21	0,97	0,87	0,91	1,13	0,98
MARSA BEN M'HIDI	1,07	0,48	0,80	0,79	1,31	0,88	0,84	1,09	1,23	1,15	1,26	1,00	0,92	0,80	1,17	1,05
BOUKIOU	1,10	0,49	0,90	0,80	1,42	0,94	0,75	0,90	1,18	1,19	1,10	0,93	0,87	0,93	1,11	0,97
MEFROUCH	1,08	0,47	0,94	0,79	1,42	0,93	0,75	0,91	1,16	1,21	1,17	0,91	0,84	0,97	1,19	0,94
TLEMCEN	1,09	0,47	0,93	0,79	1,41	0,93	0,75	0,91	1,16	1,21	1,15	0,92	0,85	0,96	1,18	0,95
BENI BAHDEL	1,09	0,47	0,88	0,80	1,43	0,91	0,75	0,94	1,15	1,23	1,19	0,93	0,85	0,94	1,18	0,96
CHOULY	1,08	0,47	0,97	0,78	1,41	0,93	0,76	0,89	1,14	1,20	1,16	0,90	0,83	0,97	1,20	0,94
SIDI MEDJAHED	1,12	0,47	0,82	0,79	1,43	0,90	0,75	0,97	1,15	1,25	1,21	0,99	0,86	0,93	1,18	0,99
SABRA	1,10	0,47	0,87	0,80	1,42	0,90	0,75	0,95	1,16	1,23	1,20	0,95	0,85	0,94	1,18	0,97
LALLA MAGHNA	1,12	0,47	0,81	0,80	1,42	0,90	0,76	0,97	1,17	1,25	1,23	0,99	0,86	0,93	1,17	0,99
BENI OUASSINE	1,12	0,47	0,80	0,80	1,42	0,90	0,76	0,98	1,17	1,25	1,24	1,00	0,87	0,92	1,17	1,00
PIERRE DU CHAT	1,09	0,49	0,93	0,79	1,42	0,94	0,75	0,88	1,18	1,18	1,06	0,92	0,86	0,94	1,10	0,95
BENSEKRANE	1,09	0,49	0,95	0,78	1,42	0,96	0,75	0,87	1,17	1,18	1,06	0,91	0,86	0,98	1,16	0,94
REMCHI	1,10	0,49	0,92	0,79	1,43	0,95	0,75	0,89	1,18	1,18	1,09	0,93	0,87	0,95	1,13	0,96
HAMMAM BOUGHRARA	1,11	0,47	0,85	0,80	1,43	0,91	0,75	0,94	1,17	1,23	1,17	0,97	0,87	0,92	1,14	0,98
HENNAYA	1,10	0,48	0,91	0,79	1,42	0,94	0,75	0,91	1,17	1,21	1,13	0,94	0,86	0,95	1,16	0,96
OULED MIMOUN	1,09	0,47	0,99	0,78	1,41	0,94	0,75	0,87	1,15	1,19	1,11	0,89	0,83	0,98	1,20	0,94
KHEMIS	1,10	0,46	0,86	0,83	1,42	0,90	0,76	0,96	1,15	1,23	1,21	0,94	0,86	0,92	1,18	0,98
SEBDOU	1,12	0,46	0,91	0,81	1,42	0,92	0,76	0,93	1,13	1,23	1,16	0,93	0,85	0,94	1,18	0,95
LALLA SETTI	1,08	0,47	0,93	0,79	1,42	0,92	0,75	0,91	1,16	1,21	1,17	0,91	0,84	0,96	1,18	0,94

## Annexes

Annexe IV.11 : Résultats de Calcul de Ip (1998-2013)

Stations	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
TENES	0,75	1,05	0,74	0,92	0,81	1,07	1,16	0,87	1,13	1,33	1,04	0,99	1,23	1,35	1,29	1,41
ACHAACHA	0,69	1,11	0,83	1,03	0,79	1,11	1,23	0,88	1,19	1,31	1,17	0,94	1,20	1,31	1,26	1,41
CHELIF	0,73	1,06	0,76	0,95	0,79	1,06	1,16	0,87	1,15	1,35	1,08	0,97	1,25	1,36	1,31	1,42
RELIZANE	0,70	1,07	0,76	1,05	0,79	1,16	1,25	0,82	1,24	1,25	1,17	1,00	1,20	1,30	1,24	1,50
TIARET	0,69	1,03	0,69	0,96	0,79	1,09	1,21	0,81	1,17	1,23	1,10	1,06	1,23	1,31	1,17	1,42
OUED RHIOU	0,72	1,08	0,79	1,02	0,79	1,09	1,22	0,87	1,19	1,31	1,14	0,96	1,21	1,34	1,26	1,43
GHRISS	0,66	1,07	0,74	1,09	0,81	1,20	1,30	0,80	1,20	1,18	1,25	1,00	1,18	1,24	1,22	1,52
SAIDA	0,65	0,97	0,73	1,00	0,87	1,19	1,25	0,74	1,05	1,27	1,29	1,03	1,26	1,25	1,21	1,48
SIDI ALI BENYOUB	0,68	1,05	0,78	1,10	0,79	1,36	1,25	0,74	1,11	1,18	1,33	1,00	1,24	1,18	1,16	1,45
SIDI BEL ABBES	0,68	1,07	0,78	1,11	0,79	1,34	1,27	0,74	1,15	1,23	1,30	0,98	1,25	1,18	1,17	1,49
MOSTAGANEM	0,69	1,11	0,78	1,11	0,77	1,19	1,26	0,84	1,26	1,26	1,16	0,94	1,20	1,26	1,26	1,50
ARZEW	0,68	1,15	0,85	1,15	0,78	1,23	1,28	0,82	1,23	1,29	1,25	0,89	1,19	1,21	1,26	1,48
SENIA	0,68	1,06	0,78	1,12	0,84	1,24	1,24	0,77	1,14	1,28	1,16	0,93	1,27	1,16	1,18	1,50
BENI SAF	0,68	1,12	0,91	1,18	0,76	1,47	1,20	0,78	1,07	1,24	1,39	0,94	1,20	1,14	1,22	1,36
GHAZAOUET	0,68	1,03	0,96	1,09	0,83	1,48	1,19	0,74	1,05	1,22	1,42	0,97	1,28	1,13	1,18	1,29
ORAN PORT	0,67	1,08	0,79	1,12	0,83	1,25	1,24	0,77	1,14	1,28	1,18	0,92	1,28	1,15	1,18	1,49
AIN TEMOUCHENT	0,68	1,10	0,81	1,15	0,77	1,42	1,21	0,77	1,10	1,22	1,29	0,94	1,26	1,13	1,18	1,42
NEDROMA	0,71	1,01	0,87	1,07	0,85	1,43	1,22	0,76	1,06	1,22	1,34	0,97	1,26	1,14	1,16	1,35
MARSA BEN M'HIDI	0,66	0,96	0,97	1,06	0,88	1,49	1,13	0,74	1,06	1,21	1,40	1,03	1,36	1,06	1,08	1,19
BOUKIOU	0,70	1,07	0,89	1,13	0,81	1,45	1,21	0,77	1,06	1,22	1,38	0,97	1,24	1,15	1,20	1,36
MEFROUCH	0,70	1,03	0,80	1,09	0,80	1,41	1,23	0,75	1,07	1,15	1,31	0,99	1,24	1,16	1,16	1,39
TLEMCEN	0,70	1,03	0,81	1,09	0,81	1,41	1,22	0,75	1,07	1,17	1,31	0,99	1,25	1,15	1,16	1,40
BENI BAHDEL	0,71	1,02	0,81	1,08	0,81	1,42	1,21	0,75	1,06	1,13	1,33	0,99	1,25	1,15	1,15	1,37
CHOULY	0,69	1,03	0,80	1,09	0,80	1,39	1,23	0,74	1,08	1,16	1,32	0,99	1,24	1,17	1,16	1,40
SIDI MEDJAHED	0,72	0,99	0,82	1,05	0,85	1,39	1,21	0,75	1,04	1,19	1,31	0,98	1,28	1,16	1,15	1,35
SABRA	0,72	1,01	0,82	1,07	0,83	1,41	1,22	0,75	1,06	1,16	1,31	0,99	1,26	1,15	1,15	1,38
LALLA MAGHNIA	0,73	0,99	0,84	1,04	0,87	1,40	1,22	0,76	1,04	1,21	1,32	0,97	1,29	1,16	1,15	1,35
BENI OUASSINE	0,72	0,98	0,84	1,04	0,87	1,40	1,21	0,75	1,04	1,21	1,32	0,98	1,29	1,15	1,14	1,34
PIERRE DU CHAT	0,69	1,08	0,87	1,14	0,79	1,45	1,21	0,77	1,06	1,23	1,36	0,96	1,24	1,14	1,20	1,38
BENSEKRANE	0,69	1,07	0,81	1,13	0,79	1,43	1,22	0,76	1,08	1,21	1,32	0,97	1,26	1,15	1,18	1,41
REMCHI	0,69	1,07	0,86	1,14	0,80	1,45	1,20	0,77	1,06	1,22	1,36	0,97	1,24	1,15	1,20	1,38
HAMMAM BOUGHRARA	0,71	1,02	0,87	1,08	0,84	1,43	1,21	0,76	1,04	1,22	1,35	0,97	1,26	1,15	1,18	1,35
HENNAYA	0,70	1,04	0,83	1,10	0,82	1,43	1,22	0,76	1,06	1,20	1,33	0,98	1,26	1,15	1,17	1,39
OULED MIMOUN	0,69	1,04	0,80	1,10	0,79	1,40	1,24	0,75	1,09	1,16	1,32	0,99	1,24	1,17	1,16	1,42
KHEMIS	0,72	0,99	0,81	1,05	0,83	1,40	1,22	0,75	1,07	1,12	1,33	1,01	1,26	1,16	1,17	1,34
SEBDOU	0,71	1,00	0,81	1,07	0,83	1,40	1,23	0,75	1,07	1,12	1,33	1,01	1,24	1,17	1,18	1,36
LALLA SETTI	0,71	1,03	0,81	1,09	0,80	1,41	1,23	0,75	1,07	1,15	1,31	0,99	1,24	1,16	1,16	1,40

## Annexes

Annexe IV.12 : Résultats de Calcul de Ip (2014-2023)

Ip	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
TENES	1,08	0,80	0,94	0,98	1,43	0,86	0,83	1,16	0,84	0,62
ACHAACHA	1,15	0,83	0,91	1,00	1,40	0,90	0,78	1,08	0,71	0,66
CHELIF	1,10	0,83	0,91	0,94	1,42	0,81	0,87	1,00	0,84	0,69
RELIZANE	1,14	0,90	0,91	1,00	1,37	0,84	0,84	0,83	0,84	0,64
TIARET	1,11	0,88	0,89	0,96	1,41	0,83	0,84	0,84	0,86	0,67
OUED RHIYOU	1,14	0,83	0,90	0,98	1,40	0,87	0,82	0,99	0,76	0,71
GHRISS	1,16	0,94	0,99	0,97	1,40	0,89	0,86	0,75	0,78	0,61
SAIDA	1,11	1,04	0,96	0,90	1,53	0,82	0,79	0,70	0,82	0,58
SIDI ALI BENYOUB	1,10	0,99	1,00	0,95	1,44	0,90	0,72	0,67	0,74	0,60
SIDI BEL ABBES	1,06	0,98	0,95	0,96	1,41	0,90	0,77	0,69	0,80	0,62
MOSTAGANEM	1,14	0,92	0,91	0,99	1,36	0,91	0,82	0,91	0,74	0,61
ARZEW	1,12	0,91	0,91	0,98	1,32	0,87	0,74	0,97	0,71	0,64
SENIA	1,03	0,96	0,94	0,91	1,43	0,85	0,78	0,92	0,81	0,63
BENI SAF	1,00	0,92	0,93	0,91	1,34	1,03	0,74	0,80	0,69	0,65
GHAZAOUET	0,93	0,94	0,95	0,89	1,39	1,01	0,75	0,79	0,62	0,56
ORAN PORT	1,03	0,96	0,93	0,93	1,41	0,86	0,76	0,94	0,79	0,65
AIN TEMOUCHENT	1,01	0,97	0,93	0,95	1,39	1,00	0,74	0,74	0,77	0,67
NEDROMA	0,94	0,96	0,98	0,87	1,43	0,97	0,70	0,74	0,67	0,53
MARSA BEN M'HIDI	0,88	0,99	0,96	0,85	1,44	0,97	0,83	0,80	0,59	0,57
BOUKIOU	0,99	0,95	0,97	0,90	1,40	0,98	0,71	0,73	0,66	0,56
MEFROUCH	1,05	0,97	1,02	0,92	1,42	0,94	0,76	0,69	0,72	0,59
TLEMCEN	1,03	0,96	1,01	0,91	1,42	0,94	0,76	0,69	0,71	0,57
BENI BAHDEL	1,02	0,97	1,04	0,91	1,41	0,97	0,80	0,66	0,71	0,56
CHOULY	1,06	0,98	1,02	0,92	1,43	0,91	0,75	0,69	0,73	0,60
SIDI MEDJAHED	0,96	0,97	1,03	0,86	1,47	0,98	0,79	0,66	0,69	0,52
SABRA	1,00	0,96	1,02	0,89	1,43	0,97	0,78	0,67	0,70	0,55
LALLA MAGHNIA	0,94	0,97	1,01	0,86	1,47	0,98	0,75	0,68	0,68	0,51
BENI OUASSINE	0,93	0,97	1,01	0,85	1,47	0,98	0,75	0,68	0,67	0,51
PIERRE DU CHAT	0,99	0,95	0,95	0,90	1,39	0,99	0,73	0,74	0,69	0,58
BENSEKRANE	1,02	0,97	0,97	0,93	1,42	0,95	0,73	0,68	0,70	0,58
REMCHI	1,00	0,95	0,97	0,91	1,40	0,97	0,71	0,71	0,67	0,57
HAMMAM BOUGHRARA	0,96	0,96	1,00	0,87	1,44	0,98	0,73	0,68	0,66	0,52
HENNAYA	1,00	0,96	1,00	0,90	1,42	0,95	0,73	0,68	0,68	0,55
OULED MIMOUN	1,07	0,98	1,01	0,93	1,43	0,92	0,74	0,68	0,72	0,60
KHEMIS	1,02	0,96	1,05	0,89	1,42	0,96	0,79	0,64	0,72	0,55
SEBDOU	1,05	0,97	1,05	0,89	1,40	0,91	0,77	0,65	0,74	0,58
LALLA SETTI	1,04	0,96	1,02	0,92	1,41	0,94	0,77	0,69	0,71	0,58

## Annexes

Annexe IV.13 : Résultats de Calculs de Ip

Stations	1982/1992	1993/2003	2004/2014	2015/2023	Annuel
TENES	0,97	0,91	1,17	0,94	1,01
ACHAACHA	0,96	0,92	1,19	0,92	1,01
CHELIF	0,97	0,91	1,18	0,93	1,01
RELIZANE	0,96	0,92	1,19	0,91	1,01
TIARET	1,00	0,91	1,17	0,91	1,01
OUED RHIOU	0,96	0,92	1,19	0,92	1,01
GHRISS	0,96	0,93	1,19	0,91	1,01
SAIDA	0,96	0,94	1,18	0,90	1,01
SIDI ALI BENYOUB	0,97	0,96	1,16	0,89	1,01
SIDI BEL ABBES	0,96	0,96	1,16	0,90	1,01
MOSTAGANEM	0,95	0,93	1,19	0,91	1,01
ARZEW	0,96	0,94	1,18	0,90	1,01
SENIA	0,97	0,94	1,15	0,91	1,01
BENI SAF	0,97	0,98	1,14	0,89	1,01
GHAZAOUET	0,99	0,99	1,13	0,88	1,01
ORAN PORT	0,97	0,95	1,15	0,92	1,01
A. TEMOUCHENT	0,97	0,97	1,14	0,91	1,01
NEDROMA	0,99	0,98	1,13	0,87	1,01
MARSA BEN M'HIDI	0,99	1,00	1,10	0,89	1,01
BOUKIOU	0,98	0,99	1,14	0,87	1,01
MEFROUCH	0,98	0,97	1,14	0,89	1,01
TLEMCEN	0,98	0,97	1,14	0,89	1,01
BENI BAHDEL	0,99	0,98	1,13	0,89	1,01
CHOULY	0,98	0,97	1,14	0,89	1,01
SIDI MEDJAHED	0,99	0,98	1,13	0,89	1,01
SABRA	0,99	0,98	1,13	0,89	1,01
LALLA MAGHNIA	0,99	0,98	1,13	0,88	1,01
BENI OUASSINE	0,99	0,98	1,12	0,88	1,01
PIERRE DU CHAT	0,97	0,98	1,14	0,88	1,01
BENSEKRANE	0,97	0,98	1,14	0,88	1,01
REMCHI	0,98	0,98	1,14	0,87	1,01
HAMMAM BOUGHRARA	0,99	0,99	1,13	0,87	1,01
HENNAYA	0,98	0,98	1,14	0,88	1,01
OULED MIMOUN	0,98	0,97	1,15	0,89	1,01
KHEMIS	0,99	0,97	1,13	0,89	1,01
SEBDOU	0,99	0,97	1,14	0,88	1,01
LALLA SETTI	0,98	0,97	1,13	0,89	1,01

## Annexes

Annexe IV.14 : Résultats de Calcul de En (1982-1997)

Stations	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
TENES	10,3	-35,8	27,1	15,6	15,6	-19,9	-14,1	-26,0	4,9	-11,8	1,1	-22,1	-25,7	-10,4	26,4	-4,0
ACHAACHA	10,4	-35,9	23,3	4,6	18,9	-14,3	-17,4	-27,0	10,7	-7,5	-8,2	-22,0	-27,4	-5,2	11,9	-3,8
CHELIF	10,1	-34,7	24,2	9,0	19,6	-17,2	-15,2	-25,4	5,7	-9,5	-2,3	-20,1	-26,0	-8,8	25,7	-4,4
RELIZANE	9,9	-42,1	22,7	-4,2	24,3	-13,9	-18,0	-25,9	9,9	-2,9	-6,0	-20,3	-28,3	-3,9	21,3	-4,8
TIARET	15,0	-41,6	24,4	0,7	28,0	-11,8	-11,8	-20,4	6,7	-2,4	8,1	-22,1	-27,2	-2,5	32,7	-3,1
OUED RHIYOU	11,8	-37,7	25,7	3,3	20,7	-15,3	-16,0	-27,0	6,1	-7,9	-4,4	-21,4	-27,8	-5,9	17,7	-3,9
GHRISS	12,2	-45,2	21,3	-14,2	29,2	-10,6	-22,7	-22,2	9,9	0,5	-4,9	-18,1	-28,5	-0,5	20,2	-4,3
SAIDA	10,2	-52,1	8,1	-21,7	36,3	-7,1	-25,8	-14,8	8,6	9,9	7,3	-14,8	-22,6	-1,1	30,0	-0,3
SIDI ALI BENYOUB	9,0	-52,6	2,1	-22,5	38,8	-5,7	-24,2	-16,0	14,8	14,6	7,9	-13,4	-18,0	-1,7	21,2	-5,3
SIDI BEL ABBES	9,0	-51,6	3,4	-20,8	35,5	-8,0	-24,1	-17,8	19,3	12,7	2,9	-15,0	-19,9	-1,6	17,8	-6,5
MOSTAGANEM	4,9	-39,9	16,7	-7,1	24,3	-12,7	-20,2	-24,5	13,8	1,8	-9,8	-18,6	-28,7	-2,4	18,8	-7,0
ARZEW	6,6	-40,5	16,7	-10,9	24,3	-10,0	-21,8	-23,3	16,8	5,9	-8,8	-18,7	-28,9	-1,0	10,2	-7,9
SENIA	2,5	-48,1	7,7	-16,7	30,2	-9,6	-21,3	-13,4	20,0	17,1	1,6	-12,7	-24,8	-2,6	17,1	-9,4
BENI SAF	8,8	-49,4	-4,0	-20,0	40,0	-6,2	-24,2	-14,3	18,2	13,2	1,1	-9,4	-14,6	-7,0	6,4	-6,1
GHAZAOUET	8,4	-51,9	-15,3	-18,2	39,0	-10,0	-21,7	-3,2	21,8	17,5	18,9	-6,7	-12,1	-13,4	8,8	0,5
ORAN PORT	2,7	-48,0	7,3	-17,1	29,8	-8,7	-21,2	-13,5	21,2	16,5	1,2	-13,6	-24,9	-2,7	15,3	-9,0
AIN TEMOUCHENT	6,8	-49,4	-2,0	-22,4	39,0	-3,8	-24,6	-14,4	18,2	15,7	-0,3	-10,9	-15,6	-2,7	13,7	-8,7
NEDROMA	10,5	-52,1	-14,8	-18,9	41,5	-10,4	-23,1	-3,7	19,4	22,8	21,3	-2,8	-13,3	-8,5	13,1	-1,5
MARSA BEN M'HIDI	6,8	-51,9	-20,1	-21,0	31,2	-11,9	-15,9	9,1	23,4	15,5	26,1	-0,1	-8,4	-20,1	16,5	4,6
BOUKIOU	9,7	-51,4	-9,7	-20,0	42,4	-6,4	-24,5	-10,0	18,4	19,0	9,9	-6,9	-13,2	-7,1	11,0	-3,0
MEFROUCH	8,1	-53,0	-5,6	-21,4	41,6	-7,5	-24,7	-9,2	15,5	20,8	17,1	-9,2	-16,2	-3,2	18,5	-6,1
TLEMCEN	8,9	-52,5	-7,1	-21,4	41,5	-7,2	-24,9	-9,0	16,3	20,8	15,0	-7,7	-15,3	-3,5	18,2	-5,1
BENI BAHDEL	9,4	-52,8	-12,1	-20,1	42,8	-8,8	-25,3	-6,2	14,9	22,8	18,9	-7,0	-14,6	-5,6	18,3	-4,1
CHOULY	8,3	-53,2	-3,3	-22,1	40,6	-6,6	-24,5	-10,9	14,4	19,5	15,8	-10,2	-16,9	-2,6	20,1	-6,0
SIDI MEDJAHED	11,5	-53,3	-18,0	-20,8	42,8	-9,8	-25,3	-3,4	15,3	25,5	21,1	-1,3	-14,0	-6,6	18,0	-0,9
SABRA	9,9	-52,8	-13,0	-20,3	42,0	-9,6	-25,0	-5,4	16,2	23,0	19,8	-5,1	-14,7	-5,8	17,7	-2,9
LALLA MAGHNIA	12,0	-52,6	-18,8	-20,3	42,4	-9,7	-24,4	-2,6	16,7	25,0	23,2	-0,6	-13,6	-7,3	16,7	-0,7
BENI OUASSINE	12,0	-52,8	-19,7	-20,4	41,9	-10,1	-23,8	-1,9	17,2	24,9	24,0	0,2	-13,4	-8,2	16,8	0,3
PIERRE DU CHAT	9,4	-50,7	-7,3	-20,9	42,2	-5,7	-24,9	-12,0	17,6	17,9	5,8	-7,6	-13,6	-5,5	10,5	-4,9
BENSEKRANE	9,0	-51,2	-4,7	-22,4	41,8	-4,1	-25,4	-12,8	17,0	18,5	6,2	-8,9	-14,3	-2,5	16,0	-6,2
REMCHI	9,6	-51,3	-8,4	-21,1	42,9	-5,0	-24,7	-11,1	17,6	18,5	8,5	-7,0	-13,2	-5,5	12,5	-4,3
HAMMAM BOUHRARA	11,5	-52,7	-15,4	-19,9	43,2	-9,3	-24,6	-5,6	16,9	22,8	17,0	-2,7	-13,2	-7,6	13,8	-1,8
HENNAYA	9,7	-52,1	-9,2	-21,4	42,0	-6,0	-25,0	-8,9	16,8	20,7	13,2	-6,4	-14,0	-4,6	16,4	-3,9
OULED MIMOUN	8,6	-52,9	-1,4	-22,0	40,6	-6,1	-24,6	-12,9	14,7	18,5	11,5	-10,9	-16,6	-2,4	19,8	-6,4
KHEMIS	9,8	-53,6	-14,0	-17,4	42,1	-10,1	-23,8	-4,4	15,4	23,4	21,1	-5,7	-13,9	-7,7	17,8	-2,3
SEBDOU	11,5	-54,2	-8,6	-19,0	41,7	-7,8	-24,1	-7,0	13,1	23,5	16,0	-6,7	-14,9	-5,6	17,7	-4,6
LALLA SETTI	8,4	-52,7	-6,6	-21,1	41,6	-7,7	-24,9	-8,7	15,9	20,7	16,9	-8,7	-15,9	-3,7	18,2	-5,6

## Annexes

Annexe IV.15 : Résultats de Calcul de En (1998-2013)

Stations	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
TENES	-25,1	4,5	-25,7	-8,2	-19,1	7,3	16,1	-12,7	12,7	33,0	3,8	-1,0	23,1	35,3	29,1	41,0
ACHAACHA	-31,0	10,7	-17,1	3,2	-21,5	10,9	22,6	-11,5	18,9	31,5	16,9	-6,2	20,1	31,3	26,0	41,4
CHELIF	-27,3	5,5	-23,6	-4,9	-21,4	6,5	15,9	-12,7	14,7	34,9	7,5	-3,3	24,9	36,5	30,5	42,0
RELIZANE	-29,9	7,0	-24,5	5,5	-21,5	15,7	25,5	-17,9	24,2	25,3	16,5	-0,2	20,1	30,3	24,4	49,7
TIARET	-30,8	3,1	-31,1	-3,5	-20,5	8,6	20,7	-19,2	17,4	23,3	10,1	5,8	23,1	31,4	17,4	42,2
OUED RHIOU	-28,4	7,6	-21,2	1,5	-20,7	9,3	21,8	-13,2	19,4	30,5	14,1	-3,8	21,2	34,1	25,5	43,3
GHRISS	-33,5	7,3	-25,6	8,6	-19,4	19,5	29,5	-20,3	20,4	18,2	24,9	-0,3	17,9	23,5	22,1	51,8
SAIDA	-34,5	-3,1	-26,9	0,3	-13,1	18,6	24,9	-25,6	5,4	27,1	28,5	3,3	26,4	25,1	20,8	48,5
SIDI ALI BENYOUB	-32,4	4,7	-22,0	9,9	-20,8	36,3	25,3	-25,6	11,4	17,8	32,7	0,5	24,3	18,0	15,7	44,7
SIDI BEL ABBES	-32,3	6,7	-21,8	10,9	-21,4	33,8	26,7	-26,5	14,7	22,5	30,3	-2,0	25,0	18,0	16,6	49,1
MOSTAGANEM	-31,0	11,4	-22,1	11,0	-22,7	19,3	25,6	-16,3	26,0	26,0	16,4	-5,6	19,8	25,8	25,8	50,3
ARZEW	-32,0	14,6	-15,0	15,5	-21,9	22,9	28,1	-17,6	22,5	28,7	24,7	-10,6	19,3	21,1	25,6	47,7
SENIA	-32,4	6,4	-21,9	11,7	-16,5	24,2	24,2	-22,9	13,9	28,5	16,4	-7,3	27,0	15,8	18,5	50,4
BENI SAF	-32,4	11,9	-9,1	17,8	-23,7	47,0	20,4	-22,2	7,2	23,8	39,3	-5,9	20,4	13,7	22,3	36,3
GHAZAOUET	-31,8	3,3	-4,2	9,5	-16,9	47,7	19,0	-25,5	4,9	22,0	42,5	-2,9	28,3	12,6	17,6	28,7
ORAN PORT	-32,8	8,1	-20,7	12,0	-17,2	25,1	24,2	-23,1	14,2	28,4	17,9	-8,4	28,1	15,2	18,2	48,8
AIN TEMOUCHENT	-31,9	10,2	-18,9	14,7	-23,4	42,4	21,3	-23,0	9,9	22,4	28,6	-6,2	26,3	13,3	17,7	41,9
NEDROMA	-28,7	1,3	-13,2	6,5	-14,9	43,0	22,1	-24,1	5,5	21,7	34,1	-2,7	26,4	14,3	15,9	34,8
MARSA BEN M'HIDI	-33,6	-3,8	-3,0	5,7	-12,4	49,4	13,0	-25,8	6,2	21,0	39,6	3,3	36,5	5,6	8,3	18,8
BOUKIOU	-30,5	6,5	-11,4	13,0	-19,4	45,0	20,6	-23,4	5,5	22,2	38,2	-3,0	23,9	14,7	20,4	36,4
MEFROUCH	-29,7	3,0	-19,6	9,4	-19,9	41,0	22,6	-25,4	7,0	14,8	30,9	-1,5	24,3	16,2	15,7	39,4
TLEMCEN	-29,6	3,1	-19,5	9,4	-19,3	41,5	22,5	-25,0	7,2	17,0	30,8	-1,2	24,8	15,4	15,9	40,4
BENI BAHDEL	-28,7	2,4	-18,6	7,6	-19,3	42,2	21,5	-25,1	6,2	12,7	32,6	-0,8	24,8	15,1	15,5	36,7
CHOULY	-30,7	2,5	-20,2	8,9	-19,8	38,9	23,3	-25,6	7,7	15,6	31,8	-0,9	24,3	17,4	15,6	40,3
SIDI MEDJAHED	-27,6	-0,5	-17,7	5,1	-14,5	39,3	21,2	-24,8	3,5	18,9	31,2	-1,8	27,5	15,5	15,2	35,3
SABRA	-28,4	1,3	-18,3	6,8	-17,1	40,9	21,9	-25,3	5,6	16,2	31,3	-1,1	25,5	15,2	14,9	37,6
LALLA MAGHNA	-27,5	-0,9	-16,3	4,1	-13,3	40,4	21,9	-24,5	4,1	20,7	31,6	-3,2	28,8	15,5	14,5	34,7
BENI OUASSINE	-27,6	-1,6	-15,9	3,7	-12,5	40,1	21,3	-24,6	3,9	21,3	32,0	-2,3	29,4	15,3	14,2	33,6
PIERRE DU CHAT	-30,9	8,0	-12,9	14,4	-20,7	45,4	20,6	-22,6	6,0	23,1	36,5	-4,2	23,6	14,1	20,3	37,5
BENSEKRANE	-30,6	6,7	-18,6	13,0	-20,9	43,3	21,9	-23,6	7,6	21,0	31,6	-3,5	25,9	15,2	18,1	41,4
REMCHI	-30,7	7,0	-13,7	13,7	-20,3	45,1	20,5	-22,9	6,0	22,1	36,2	-3,4	24,3	14,9	20,1	37,7
HAMMAM BOUHRARA	-28,9	2,2	-13,4	8,4	-15,7	43,1	21,3	-24,0	4,0	21,6	34,9	-3,0	26,4	15,4	17,8	35,2
HENNAYA	-29,6	3,7	-17,3	10,1	-18,4	42,6	21,7	-24,3	6,3	19,5	32,8	-2,1	25,7	15,3	17,3	39,3
OULED MIMOUN	-31,2	4,2	-20,3	10,3	-21,0	39,6	23,6	-25,0	9,0	16,4	32,1	-0,5	23,8	16,7	16,2	41,6
KHEMIS	-28,1	-0,8	-18,8	4,9	-16,7	40,0	22,1	-24,8	6,9	12,3	33,2	1,4	25,5	15,5	16,5	34,4
SEBDOU	-28,9	-0,3	-19,2	7,3	-17,3	40,2	22,8	-24,6	6,9	12,3	33,4	0,6	24,4	16,6	17,9	35,7
LALLA SETTI	-29,4	3,2	-19,4	9,3	-19,7	41,5	22,5	-25,4	7,1	14,9	31,1	-1,4	24,3	15,8	15,7	39,5

## Annexes

Annexe IV.16 : Résultats de Calcul de En (2014-2023)

Stations	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
TENES	7,8	-19,9	-5,8	-1,7	42,6	-14,4	-17,1	16,4	-15,7	-37,8
ACHAACHA	15,5	-16,9	-9,0	0,4	40,1	-10,2	-22,1	8,2	-29,3	-34,1
CHELIF	10,4	-16,9	-8,5	-5,9	42,3	-18,8	-12,7	0,4	-15,9	-30,7
RELIZANE	13,6	-10,1	-8,6	0,3	37,4	-15,7	-16,0	-16,5	-16,1	-36,3
TIARET	11,3	-12,3	-10,9	-4,0	41,0	-16,6	-16,4	-15,7	-13,8	-33,2
OUED RHIOU	14,1	-16,5	-9,6	-2,0	39,7	-12,9	-17,6	-1,2	-24,2	-28,8
GHRISS	15,7	-5,9	-1,4	-3,3	39,6	-10,7	-13,6	-25,3	-22,4	-39,4
SAIDA	10,9	3,6	-3,9	-10,4	53,4	-18,3	-21,2	-29,6	-17,8	-42,5
SIDI ALI BENYOUB	9,6	-0,8	-0,4	-5,4	44,1	-10,4	-28,4	-32,7	-25,6	-39,7
SIDI BEL ABBES	6,4	-2,5	-4,7	-3,8	41,0	-9,9	-23,0	-31,2	-20,3	-37,7
MOSTAGANEM	13,6	-7,9	-9,0	-0,5	35,8	-8,5	-18,1	-8,9	-26,3	-39,4
ARZEW	11,9	-8,9	-8,6	-2,4	32,3	-13,3	-25,5	-3,0	-29,4	-35,6
SENIA	3,0	-4,2	-6,5	-9,0	42,7	-14,5	-21,6	-8,2	-18,5	-36,8
BENI SAF	-0,4	-7,6	-7,1	-9,0	34,4	3,1	-26,1	-20,4	-30,9	-35,2
GHAZAOUET	-7,0	-5,6	-5,2	-11,4	38,7	0,6	-25,0	-20,6	-37,9	-43,6
ORAN PORT	2,9	-4,2	-6,8	-7,3	41,4	-13,6	-23,9	-6,1	-21,1	-34,6
AIN TEMOUCHENT	0,6	-2,9	-6,9	-5,4	39,5	-0,3	-25,9	-26,1	-23,3	-33,2
NEDROMA	-6,0	-4,3	-1,5	-13,5	43,2	-2,6	-29,9	-26,5	-33,1	-47,5
MARSA BEN M'HIDI	-12,0	-1,1	-3,8	-14,8	44,2	-3,4	-17,4	-19,9	-41,5	-42,8
BOUKIOU	-1,4	-5,3	-3,2	-10,2	39,6	-1,6	-29,2	-27,5	-34,1	-44,2
MEFROUCH	4,5	-3,3	1,8	-8,3	41,6	-6,2	-23,5	-31,0	-28,1	-41,3
TLEMCEN	2,6	-3,6	1,3	-9,1	42,2	-5,9	-24,3	-31,4	-29,2	-42,8
BENI BAHDEL	2,4	-3,0	3,9	-9,1	41,0	-2,5	-20,5	-34,1	-29,4	-44,1
CHOULY	6,2	-2,4	1,6	-8,4	43,3	-8,6	-25,0	-31,4	-27,2	-39,6
SIDI MEDJAHED	-3,7	-3,2	2,9	-13,6	46,5	-1,7	-21,4	-33,9	-30,8	-47,8
SABRA	-0,3	-3,5	2,4	-10,7	43,3	-2,5	-21,9	-32,7	-29,7	-45,5
LALLA MAGHNA	-6,1	-3,1	1,4	-14,0	46,6	-2,4	-25,1	-32,1	-32,3	-48,9
BENI OUASSINE	-6,6	-2,9	1,2	-14,8	47,5	-2,5	-25,3	-32,0	-32,9	-48,9
PIERRE DU CHAT	-0,9	-5,3	-4,6	-9,6	39,1	-1,4	-27,1	-26,2	-31,1	-41,6
BENSEKRANE	2,1	-3,0	-2,6	-7,1	41,9	-5,0	-27,1	-31,8	-30,5	-41,5
REMCHI	-0,2	-4,5	-2,9	-9,4	40,3	-2,8	-29,1	-28,9	-33,4	-43,4
HAMMAM BOUGHRARA	-4,0	-3,7	0,3	-12,5	44,1	-1,6	-27,1	-31,9	-33,6	-47,9
HENNAYA	0,4	-3,6	0,1	-9,9	42,3	-4,7	-26,6	-31,6	-31,6	-44,5
OULED MIMOUN	7,0	-1,9	0,8	-7,1	43,1	-8,4	-26,0	-32,2	-28,4	-39,9
KHEMIS	2,2	-3,6	5,2	-11,1	41,7	-4,1	-21,2	-35,9	-28,1	-44,9
SEBDOU	5,2	-3,5	5,1	-11,5	39,7	-8,8	-22,9	-35,0	-25,6	-41,6
LALLA SETTI	3,8	-3,6	1,9	-8,3	41,2	-5,5	-23,3	-31,2	-28,5	-42,1

## Annexes

Annexe IV. 17 : Résultats de calcul de En

Stations	2023	1982/1992	1993/2003	2004/2014	2015/2023	Annuel
TENES	-37,8	-3,0	-9,3	17,1	-5,9	0,9
ACHAACHA	-34,1	-3,9	-8,3	18,8	-8,1	0,9
CHELIF	-30,7	-3,2	-9,0	18,3	-7,4	0,8
RELIZANE	-36,3	-4,2	-7,6	19,2	-9,1	1,0
TIARET	-33,2	-0,5	-8,8	16,7	-9,1	1,0
OUED RHIOU	-28,8	-3,7	-8,5	18,8	-8,1	0,9
GHRISS	-39,4	-4,2	-6,8	18,5	-9,2	1,1
SAIDA	-42,5	-3,7	-6,1	17,8	-9,6	1,3
SIDI ALI BENYOUB	-39,7	-3,1	-3,8	15,9	-11,0	1,3
SIDI BEL ABBES	-37,7	-3,6	-4,5	16,4	-10,2	1,3
MOSTAGANEM	-39,4	-4,8	-6,6	18,9	-9,2	1,0
ARZEW	-35,6	-4,1	-5,7	18,3	-10,5	1,0
SENIA	-36,8	-2,7	-5,5	15,2	-8,5	1,2
BENI SAF	-35,2	-3,3	-1,8	14,1	-11,0	1,2
GHAZAOUET	-43,6	-1,3	-1,4	12,7	-12,2	1,3
ORAN PORT	-34,6	-2,7	-5,5	15,1	-8,5	1,2
AIN TEMOUCHENT	-33,2	-3,4	-2,8	13,9	-9,4	1,2
NEDROMA	-47,5	-0,7	-1,7	12,9	-12,8	1,3
MARSA BEN M'HIDI	-42,8	-0,8	-0,5	10,4	-11,2	1,3
BOUKIOU	-44,2	-2,1	-1,4	14,0	-12,9	1,3
MEFROUCH	-41,3	-1,7	-2,9	13,5	-10,9	1,3
TLEMCEN	-42,8	-1,8	-2,5	13,7	-11,4	1,3
BENI BAHDEL	-44,1	-1,5	-2,5	12,9	-10,9	1,3
CHOULY	-39,6	-2,0	-3,3	14,2	-10,8	1,3
SIDI MEDJAHED	-47,8	-1,3	-1,9	12,6	-11,4	1,3
SABRA	-45,5	-1,4	-2,3	12,9	-11,2	1,3
LALLA MAGHNIA	-48,9	-0,8	-1,7	12,5	-12,2	1,3
BENI OUASSINE	-48,9	-0,8	-1,6	12,5	-12,3	1,3
PIERRE DU CHAT	-41,6	-2,6	-1,6	14,0	-12,0	1,2
BENSEKRANE	-41,5	-2,6	-2,1	14,3	-11,8	1,2
REMCHI	-43,4	-2,2	-1,5	14,1	-12,7	1,3
H. BOUGHRARA	-47,9	-1,5	-1,4	13,2	-12,6	1,3
HENNAYA	-44,5	-1,8	-2,0	13,8	-12,3	1,3
OULED MIMOUN	-39,9	-2,4	-3,2	14,6	-11,1	1,3
KHEMIS	-44,9	-1,1	-2,9	13,2	-11,3	1,3
SEBDOU	-41,6	-1,4	-2,9	13,8	-11,6	1,3
LALLA SETTI	-42,1	-1,6	-2,7	13,4	-11,0	1,3

## Résumé

Au fil des dernières décennies, les changements climatiques ont exacerbé les phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les fortes précipitations, les inondations et les périodes de sécheresse, émergeant comme l'un des principaux défis pour le développement à l'échelle locale, régionale et internationale. Dans le contexte algérien, la gestion de l'eau représente un défi constant, avec une demande croissante. Ce travail vise à évaluer la sécheresse dans la région du Nord-ouest algérien, caractérisée par un climat semi-aride, sur une période de 41 ans, de 1982 à 2023. L'objectif principal de cette étude est d'analyser et de cartographier les tendances et les variations des précipitations dans la région étudiée en utilisant des indices de sécheresse météorologique et en caractérisant spatio-temporellement les données pluviométriques à travers des cartes d'indices. Cette évaluation repose sur des données collectées auprès de 37 stations pluviométriques réparties dans la région.

Les résultats montrent une augmentation significative de la fréquence et de la sévérité de la sécheresse au cours des décennies 1982-1992, 1993-2003 et 2015-2023, tandis que la période de 2004 à 2014 apparaît comme la moins vulnérable. L'année 1983 est identifiée comme la plus sèche de la région. Par ailleurs, la cartographie régionale par l'utilisation du logiciel ArcGis pour interpoler les indices de sécheresse dans la région d'étude nous a permis d'analyser de manière plus approfondie les tendances et les schémas de sécheresse sur la période d'étude, il est apparu que le Nord-ouest a connu des périodes de sécheresse sur plusieurs décennies, tandis qu'une période humide significative s'est étendue de 2004 à 2014. Face à ce défi complexe, l'utilisation d'indicateurs de sécheresse s'avère essentielle pour guider les décisions à long terme en matière de gestion des ressources hydriques.

**Mots clés :** Nord-ouest algérien, variabilité climatique, tests statistiques, indices, sécheresse, variation spatio-temporelle

## ملخص

على مر العقود الأخيرة، زادت تغيرات المناخ من حدة الظواهر الجوية الشديدة، مثل الأمطار الغزيرة، والفيضانات، وفترات الجفاف، مما جعلها أحد التحديات الرئيسية للتنمية على المستوى المحلي، والإقليمي، والدولي. في السياق الجزائري، تمثل إدارة المياه تحدياً دائماً، مع الطلب المتزايد. يهدف هذا العمل إلى تقييم الجفاف في منطقة شمال غرب الجزائر، التي تتميز بمناخ شبه جاف، على مدى 41 عاماً، من 1982 إلى 2023. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحليل وتعريف الاتجاهات والتغيرات في الهطول في المنطقة المدروسة باستخدام مؤشرات الجفاف الجوي وتوصيف البيانات المطرية مكانياً وزمانياً من خلال خرائط المؤشرات. يعتمد هذا التقييم على البيانات المجمعة من 37 محطة مطرية موزعة في المنطقة.

تُظهر النتائج زيادة كبيرة في تكرار وشدة الجفاف خلال العقود 1982-1992، 1993-2003، و 2015-2023، في حين تظهر الفترة من 2004 إلى 2014 كأقل ضعفاً. تُحدد العام 1983 كأكثر عام جفافاً في المنطقة. بالإضافة إلى ذلك، تسمح التصوير الجغرافي للمنطقة باستخدام برنامج لتحويل مؤشرات الجفاف في المنطقة المدروسة لنا بتحليل أعمق للاتجاهات وأنماط الجفاف على مدى فترة الدراسة، حيث بدت شمال ArcGis غرب الجزائر قد شهدت فترات جفاف على مدى عدة عقود، في حين امتدت فترة رطوبة مهمة من عام 2004 إلى 2014. أمام هذا التحدي المعقد،.. يثبت أن استخدام مؤشرات الجفاف ضروري لتوجيه القرارات طويلة الأجل في إدارة الموارد المائية.

**كلمات مفتاحية:** شمال غرب الجزائر، تغيرات المناخ، اختبارات إحصائية، مؤشرات، جفاف، تغير مكاني-زمني.

## Abstract

Over the past few decades, climate change has exacerbated extreme weather phenomena such as heavy rainfall, floods, and periods of drought, emerging as a major challenge for development at the local, regional, and international levels. In the Algerian context, water management remains a constant challenge, with increasing demand. This work aims to assess drought in the North-west region of Algeria, characterized by a semi-arid climate, over a period of 41 years, from 1982 to 2023. The main objective of this study is to analyze and characterize the trends and variations in precipitation in the study area using meteorological drought indices and spatially and temporally characterizing rainfall data through index maps. This assessment relies on data collected from 37 rainfall stations distributed in the region. The results show a significant increase in the frequency and severity of drought during the decades 1982-1992, 1993-2003, and 2015-2023, while the period from 2004 to 2014 appears to be the least vulnerable. The year 1983 is identified as the driest year in the region. Additionally, regional mapping using ArcGis software to interpolate drought indices in the study area has allowed for a deeper analysis of drought trends and patterns over the study period, revealing that the North-west has experienced drought periods over several decades, while a significant wet period extended from 2004 to 2014. Faced with this complex challenge, the use of drought indicators proves essential to guide long-term decisions in water resource management.

**Keywords:** Northwestern Algeria, climate variability, statistical tests, indices, drought, spatiotemporal variation