

Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :  
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies  
Département des Sciences et Technologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : *Hydraulique Urbain*

Par :

**SEBROU Abdel Hadi**

**HOUAS Ahmed**

**Thème**

**ANALYSE DES TENDANCES A LONG TERMES DE LA  
PLUVIOMETRIE DANS DIFFERENTES REGIONS  
CLIMATIQUES DE L'ALGERIE**

Soutenu publiquement le : 20/06/2018

Devant le jury :

<b>Mr:/ MECHERI Bachir</b>	Maitre Assiste A	Univ. Ghardaïa	<b>Président</b>
<b>Mr:/ BOUTTELLI Med Hichem</b>	Maitre Assiste A	Univ. Ghardaïa	<b>Examineur</b>
<b>Mr:/ CHOUIREB Mustafa</b>	Doctorant	Univ. Ghardaïa	<b>Examineur</b>
<b>Dr. BOULMAIZ Tayeb</b>	Maître Conférence B	Univ. Ghardaïa	<b>Encadreur</b>

Année universitaire 2017/2018

## Remerciment



Nous voudrions présenter nos remerciements à notre encadreur ***Dr. Boulmaiz Tayeb***. Nous voudrions également lui témoigner notre gratitude pour sa patience et son soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port.

Nous remercions aussi *Mr. Ouled Belkhir El Cheikh* et *Mr. Achour Mansour* pour leur aide pendant la réalisation de cette mémoire.

Nous remercions aussi *Mr. Abdel Azzize Sebrou* pour leur encouragement et leur aide au cours de la réalisation de ce travail.

En guise de reconnaissance, Nous tiens à témoigner nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de notre Mémoire de fin d'étude et à l'élaboration de ce modeste travail.

Je remercie Aussi Les Membres de Jury, Mr. MECHRI, Mr. BOUTTELLI, Mr. CHORIEB Pour Accepter d'examiner mon Travail.

Enfin, Nous n'oserions oublier de remercier tout le corps professoral d'Université de Ghardaïa, Spécialement les Enseignants de Spécialité d'Hydraulique pour le travail énorme qu'il effectue pour nous créer les conditions les plus favorables pour le déroulement de nos études.

*Merci ... .*

## Résumé

Les précipitations sont une composante clé du cycle hydrologique et sa variabilité spatio-temporelle est essentielle du point de vue scientifique et pratique. Cette étude est centrée sur l'analyse des tendances de précipitations de plusieurs stations situées dans trois régions climatique en Algérie (Méditerranéen, Semi-aride et Aride). Les données pluviométriques de d'une période allant de 1975 à 2009 mesurées dans 19 stations ont été utilisées pour plusieurs échelles temporelles (mensuelle, saisonnière, annuelles et extrêmes). Les tests non paramétriques de Mann-Kendall et l'estimateur de la pente de Sen ont été utilisés pour identifier l'existence de tendances et la magnitude de cette dernière. Les résultats montrent que, bien qu'il y ait une différence de tendances positives et négatives entre les trois régions, les régions méditerranéenne et aride ne connaissent aucune tendance significative à l'échelle saisonnière, annuelle. Par contre, on trouve dans les pluies journalières maximales (par année) des tendances positives dans la région semi-aride pour les mêmes échelles. Pour la pluie de la région aride (Ghardaïa), elle connaît des tendances décroissantes pour la plupart des mois. Les résultats de comparaison des tendances entre les trois régions climatiques montrent que les mois de juillet et aout ne connaissent aucune tendance pour les trois régions. Les indices des changements climatiques établis par le groupe d'experts (ETCCDI) ont été introduits dans l'analyse des tendances pour le bassin versant de Seybouse. Les tendances trouvées montrent qu'il y a une augmentation de la plupart des indices concernant les pluies extrêmes et une diminution des jours secs consécutifs. Les résultats de cette étude pourraient s'avérer utiles dans la préparation de stratégies d'atténuation et d'adaptation au changement climatique dans l'agriculture pluviale et les systèmes d'approvisionnement en eau dans ces régions.

Mots clés : Précipitation, Analyse des tendances, ETCCDI, Algérie, Changement climatique, Mann-Kendall.

## Abstract

Precipitation is a key component of the hydrological cycle and its spatiotemporal variability is essential from a scientific and practical point of view. This study focuses on the analysis of precipitation trends of several stations located in three climatic regions in Algeria (Mediterranean, Semi-arid and Arid). Rainfall data from 1975 to 2009 measured in 19 stations were used for several time scales (monthly, seasonal, year-round and extreme). The Non-parametric Mann-Kendall tests and the Sen slope estimator were used to identify the existence of trends and the magnitude of trends. The results show that, although there is a difference in positive and negative trends between the three regions, the Mediterranean and arid regions do not experience any significant trend at the seasonal, annual level. On the other hand, we find in the maximum daily rainfall (per year) positive trends in the semi-arid region for the same scales. For the rain of the arid region (Ghardaia), it knows declining trends for most months. The trend comparison results between the three climatic regions show that the months of July and August show no trend for the three regions. The Climate Change Indices established by the expert group (ETCCDI) were introduced in the trend analysis for the Seybouse watershed. The trends found show that there is an increase in most extreme rainfall indices and a decrease in consecutive dry days. The results of this study may prove useful in the preparation of mitigation and adaptation strategies for climate change in rainfed agriculture and water supply systems in these regions.

Keywords: Precipitation, Trend Analysis, ETCCDI, Algeria, Climate Change, Mann-Kendall.



## المخلص

هطول الأمطار هو أحد المكونات الرئيسية للدورة الهيدرولوجية وتغير اختلافه الزمني ضروري من وجهة نظر علمية وعملية. تركز هذه الدراسة على تحليل اتجاهات هطول الأمطار في عدة محطات تقع في ثلاث مناطق مناخية في الجزائر (البحر الأبيض المتوسط، شبه الجافة و الجافة). واستخدمت بيانات الأمطار من عام 1975 إلى عام 2009، المقاسة في 19 محطة، لعدة مقاييس زمنية (شهرية، موسمية، على مدار العام، قيم قصوى). واستخدمت اختبارات مان-كيندال غير المعلمية ومقدار منحدر "سين" لتحديد وجود الاتجاهات ومقدار الاتجاهات. تظهر النتائج أنه على الرغم من وجود اختلاف في الاتجاهات الإيجابية والسلبية بين المناطق الثلاث، فإن منطقة البحر المتوسط والمناطق القاحلة لا تشهد أي اتجاه هام على المستوى الموسمي والسنوي. من ناحية أخرى، نجد في اتجاهات هطول الأمطار اليومية القصوى (في السنة) في المنطقة شبه القاحلة لنفس المقاييس. بالنسبة لامطار المنطقة القاحلة (غرداية)، فإنها تعرف اتجاهات سلبية لمعظم الشهور. تظهر نتائج مقارنة الاتجاهات بين المناطق المناخية الثلاثة أن شهري جويلية و اوت لا يظهران أي اتجاه تغير للمناطق الثلاثة. تمت معاينة مؤشرات تغير المناخ التي أنشأها فريق الخبراء المناخ في تحليل الاتجاهات في حوض مياه سييوس. حيث بينت الاتجاهات الموجودة أن هناك زيادة في معظم مؤشرات هطول الأمطار القصوى وانخفاض في أيام الجفاف المتتالية. قد تكون نتائج هذه الدراسة مفيدة في إعداد استراتيجيات التخفيف من اثار تغير المناخ والتكيف معه في الزراعة وأنظمة إمدادات المياه في هذه المناطق.

الكلمات المفتاحية: الهطول، تحليل الاتجاهات، مؤشرات، الجزائر، تغير المناخ، مان-كيندال.



Je dédié ce travail a,

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

A ma chère seulement petite sœur *Wafoufa*, pour leur encouragement permanent, et leur soutien moral,

A mes chers frères, *Abdel Hakim, Azeddine, Farouk* pour leur appui et leur encouragement,

A Mes Collègues de spécialité d'Hydraulique Urbain, Spécialement, *El Arbi, Djalal, Fathi, AbdelRazek, Mohamed, Yacine*, pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

A mes Amies, *Okba, Karim, Hamida*.

A Mes enseignants.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

*Abd El Hadi ... .*



Je dédié ce travail a,

Mes parents :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

A Mes Collègues de spécialité d'Hydraulique Urbain, Spécialement, *El Arbi, Djalal, Fathi, AbdelRazek, Mohamed, Yacine*, pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

A Mes enseignants

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

*Ahmed ... .*

## Liste des tableaux

### Chapitre 2 : La tendance et les indices de variation de pluie et leurs applications

*Tableau 1: Les indices De Précipitations Selon l'ETCCDI.*

### Chapitre 3 : Présentation de la zone d'étude et les données Pluviométriques

*Tableau 2: Répartition des pluies interannuelles.*

*Tableau 3: Liste des 17 bassins hydrographiques de l'Algerie (source ANRH).*

*Tableau 4: Caracteristiques géographiques et les données disponibles des stations pluviométriques de la zone d'étude.*

### Chapitre 4 : Méthodes Utilisées

*Tableau 5: Les 10 indices qui concernent la précipitation.*

### Chapitre 5 : Résultats et Discussion

*Tableau 6: Stations comblées par la méthode des moindres carrées .*

*Tableau 7: Résultats de l'Autocorrélation.*

*Tableau 8: résultats de la pente de Sen pour la pluie mensuelle.*

*Tableau 9: Résultats de pente de Sen pour la pluie saisonnée.*

*Tableau 10: Résultats de P-value, Z, Pente de Sen pour la Pluie annuelle.*

*Tableau 11: Résultats de P-value, Z, Pente de Sen pour la Pluie Journalier Maximale annuelle.*

*Tableau 11: Résultats de l'autocorrélation pour les indices.*

*Tableau 13 : Résultats de Pente de Sen pour les Indices.*

*Tableau 14 : Tableau de distribution normal standard*

*Tableau 15 : Résultats de P-Value pour la pluie mensuelle.*

*Tableau 16 : Résultats de Z pour la pluie mensuelle.*

*Tableau 17 : Les résultats de P-value pour la pluie saisonnée.*

*Tableau 18: Résultat de Z pour la pluie saisonnée.*

*Tableau 19: Résultats de P-Value pour les Indices.*

*Tableau 20: Résultats de Z pour les Indices.*

## Listes des figures

## Chapitre 2 : Tendances et indices de variation de pluie

*Figure 1. Différents Type de Corrélation* ..... 20

## Chapitre 3 : présentation de la zone d'étude et les données pluviométriques

*Figure 2. Situation géographique de la zone d'étude* ..... 26

*Figure 3. Les Principaux Reliefs d'Algérie (Site Carte-Algérie)*..... 28

*Figure 4. Relief de la zone d'étude*..... 29

*Figure 5. Classification des différentes zones climatiques sur la zone d'étude*..... 31

*Figure 6. Carte représentative du pourcentage d'aridité de la zone d'étude*..... 32

*Figure 7. L'analyse des variations des températures mensuelles (Source GLDAS)*..... 35

*Figure 8. Découpage de l'Algérie en régions hydrographiques (Source ABHCSM)*..... 38

*Figure 9. Situation géographique des postes pluviométriques de la zone d'étude*..... 40

*Figure 10. Distribution des statistiques des pluies mensuelles à travers les trois régions étudiées*..... 41

## Chapitre 4 : Méthodes Utilisées

*Figure 11. Coefficient de Corrélation*..... 45

*Figure 12. Droite de régression*..... 47

*Figure 13. Exemple de résultat de Corrélogramme à la pluie mensuelle de station*

*"140403" au mois de Février* ..... 51

*Figure 14. Organigramme de la méthodologie suivie pour la détection des tendances*.... 55

## Chapitre 5 : Résultats et Discussions

<i>Figure 15. Variation de la pluie annuelles des deux stations .....</i>	59
<i>Figure 16. Variation de la pluie journalière maximale (par année) de deux Stations.....</i>	59
<i>Figure 17. Variation de la pluie annuelle après comblement des lacunes .....</i>	60
<i>Figure 18. Variation de la pluie journalière maximale (par année) après comblement des lacunes .....</i>	60
<i>Figure 19. Données pluviométriques disponible dans le bassin hydrographique (14).....</i>	61
<i>Figure 20. Résultats de Climatol pour les pluies mensuelles .....</i>	62
<i>Figure 21. Carte des résultats des tendances pour les pluies mensuelles.....</i>	65
<i>Figure 22. Carte des résultats des tendances pour les pluies saisonnières .....</i>	68
<i>Figure 23. Carte des résultats des tendances pour les pluies annuelles.....</i>	70
<i>Figure 24. Carte des résultats des tendances pour les pluies journalières maximales annuelles.....</i>	72
<i>Figure 25. Situation géographique des stations de bassin versant de Seybouse.....</i>	74
<i>Figure 26. Carte des résultats des tendances pour les indices (ETCCDI).....</i>	76
<i>Figure 27. La distribution des tendances de pluie mensuelle pour les trois régions climatiques.....</i>	78
<i>Figure 28. La distribution des tendances de pluie saisonnières pour les trois régions climatiques.....</i>	79
<i>Figure 29. La distribution des tendances de pluie annuelle pour les trois régions climatiques.....</i>	80
<i>Figure 30. La distribution des tendances de pluie journalière maximale (par année) pour les trois régions climatiques.....</i>	80

## Annexes

---

<i>Figure 31. Variation de la pluie annuelle au niveau des stations du Bassin Versant de Medjerda (12).....</i>	<i>99</i>
<i>Figure 32. Variation de la pluie annuelle au niveau des stations du Bassin Versant de Seybouse (14).....</i>	<i>100</i>
<i>Figure 33. Variation de la pluie annuelle au niveau des stations du Bassin Versant de Chott Mélrhir (06).....</i>	<i>101</i>
<i>Figure 34: Variation de la pluie annuelle au niveau des stations du Bassin Versant de Sahara (13).....</i>	<i>102</i>
<i>Figure 35. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120101.....</i>	<i>103</i>
<i>Figure 36. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120104.....</i>	<i>103</i>
<i>Figure 37. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120105.....</i>	<i>103</i>
<i>Figure 38. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120301.....</i>	<i>104</i>
<i>Figure 39. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120302.....</i>	<i>104</i>
<i>Figure 40. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120304.....</i>	<i>104</i>
<i>Figure 41. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120307.....</i>	<i>105</i>
<i>Figure 42. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140403.....</i>	<i>105</i>
<i>Figure 43. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140412.....</i>	<i>105</i>
<i>Figure 44. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140502.....</i>	<i>106</i>
<i>Figure 46. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140505.....</i>	<i>106</i>
<i>Figure 46. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140606.....</i>	<i>106</i>
<i>Figure 47. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140609.....</i>	<i>107</i>
<i>Figure 48. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140611.....</i>	<i>107</i>

---



---

<i>Figure 49. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140631.....</i>	<i>107</i>
<i>Figure 50. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 605660 .....</i>	<i>108</i>
<i>Figure 51. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 060302.....</i>	<i>108</i>
<i>Figure 52. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 061416.....</i>	<i>108</i>

## Liste des abréviations

ABHCSM : Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue.

ACF: fonction d'autocorrélation (Autocorrelation function).

Albert Klein Tank: Prof. Dr. Albert Klein Tank leads the R&D department on Observations and Data Technology.

ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques.

AR4: Quatrième rapport d'évaluation (Fourth Assessment Report).

CCI: Commission for Climatology.

CCNUCC : la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques.

CDD : Jours secs consécutifs (Consecutive dry days).

CLIVAR: the Climate Variability.

CWD : Jours humides consécutifs (Consecutive wet days).

ET : Équipe d'experts (Expert Team).

ETCCDI: Équipe d'experts sur la détection des changements climatiques et les indices (Expert Team on Climate Change Detection and Indices).

G7 : groupe des 7 pays les plus riches : USA, Japon, Allemagne, France, Grande Bretagne, Canada, Italie.

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat.

GLDAS: Global Land Data Assimilation Système.

IPCC : Groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques (Intergouvernemental Panel on Climate Change).

KNMI: L'Institut météorologique royal des Pays-Bas (The Royal Netherlands Meteorological Institute).

Matlab: Matrix Laboratory.

Mk: le test de Mann-Kendall (Mann-Kendall test).

MMK: test de Mann-Kendall Modifier.

ONM: office National de la Météorologique.

PRCPTOT : Précipitation totale annuelle de la journée humide (Annual totale wet-day precipitation).

R10 : Nombre de jours de fortes précipitations (Number of heavy precipitation days).

R20 : Nombre de jours de précipitations très lourds (Number of very heavy precipitation days).

R95p : Jours très humides (Very wet days).

R99p : Jours extrêmement humides ( Exteremely wet days).

Rx1day : Max 1-Jour Précipitation mensuelles (Max 1-day precipitation amount).

Rx5day : Max 5-Jours Précipitations Mensuelles (Max 5-day precipitation amount).

SAR: Deuxième rapport d'évaluation (Second Assessment Report).

SAS: Système d'analyse statistique (Statistical Analysis System).

SDII : Indice d'intensité quotidienne simple (Simple daily intensity index).

SMHN : Services météorologiques et hydrométéorologiques nationaux.

SNHT: le test d'homogénéité normal standard (Standard Normal Homogeneity Test).

SPSS: le paquet statistiques pour les sciences sociales (Statistical Package for the Social Sciences).

STARDEX: Réduction d'échelle statistique et régionale des extrêmes pour les régions européennes (Statistical and Regional Dynamical Downscaling Of Extremes for European Regions).

TAR: Troisième rapport d'évaluation (Third Assessment Report).

UNFCCC: Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (United Nations Framework Convention on Climate Change).

WG: Groupe de travail (Working Group).

**S** : La statistique de test de Mann-Kendall.

**Var** : La variance.

**Z<sub>s</sub>** : la statistique de test normale standard .

**C<sub>α</sub>** : L'intervalle de confiance.

**Q<sub>moy</sub>** : Pente moyenne.

**sgn** : La fonction signe (signum).

**P-Value** : valeur de probabilité (Probabilité value).

**r** : Coefficient de corrélation.

**n** : Le nombre de points de données.

**Mm** : millimètre.

**°C** : degré Celsius.

**$\bar{y}$**  : La moyenne de  $y_i$ .

**$\bar{x}$**  : La moyenne de  $x_i$ .

# SOMMAIRE

<b>Introduction générale</b>	1
<b>Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique</b>	
<b>1.1 Introduction</b>	4
<b>1.2 Le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat)</b>	4
<b>1.3 Evolution des précipitations dans le monde selon le GIEC</b>	5
<b>1.4 Précipitation dans la région méditerranéenne</b>	6
<b>1.5 Précipitations dans les régions Arides et Semi-Arides</b>	8
<b>1.5.1 Répartition spatiale</b>	8
<b>1.5.2 Les variabilités dans le temps</b>	9
<b>1.6 Détection des tendances ou les points de changement</b>	10
<b>1.7 Tests de détection de point de changement (Robson A.J. et al., 2004)</b>	10
<b>1.7.1 Test de Pettitt</b>	10
<b>1.8 Tests de détection d'une tendance</b>	11
<b>1.9 Tests d'homogénéité</b>	15
<b>1.10 Corrélation</b>	17
<b>1.11 Les indices de changement climatiques (ETCCDI)</b>	18
<b>1.12 Conclusion</b>	21
<b>Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude et les données pluviométriques</b>	
<b>2.1 Introduction</b>	22
<b>2.2 Présentation de la zone d'étude</b>	22
<b>2.2.1 Situation géographique</b>	24
<b>2.2.2 Le relief</b>	27
<b>2.2.3 Le climat</b>	33
<b>2.2.4 L'hydrographie</b>	35
<b>2.3 Données pluviométriques utilisées</b>	39
<b>2.4 Conclusion</b>	40
<b>Chapitre 3 : Materials et Méthodes</b>	
<b>3.1 Introduction</b>	40
<b>3.2 Matlab (Matrix Laboratory)</b>	40
<b>3.3 R</b>	40
<b>3.4 ArcGis</b>	41
<b>3.5 Méthodes utilisées</b>	41
<b>3.5.1 Méthodes utilisées pour combler les lacunes</b>	50

<b>3.6 Conclusion</b>	51
<b>Chapitre 4 : Résultats et Discussions</b>	
<b>4.1 Introduction</b>	51
<b>4.2 Méthodes de comblement des lacunes</b>	51
<b>4.2.1 Méthode des moindres carrées</b>	54
<b>4.2.2 Le paquet de Climatol</b>	55
<b>4.3 L'analyse de l'autocorrélation</b>	57
<b>4.4 Tests de détections d'une tendance</b>	57
<b>4.4.1 Pluie Mensuelles</b>	60
<b>4.4.2 Pluie saisonnière</b>	62
<b>4.4.3 Pluie Annuelle</b>	64
<b>4.4.4 Les Valeurs Extrêmes</b>	71
<b>4.5 Comparaison entre les résultats des tendances</b>	71
<b>4.6 Conclusion</b>	75
<b>Conclusion Générale</b>	77
<b>Références Bibliographiques</b>	80
<b>Annexe 1 : Distribution normal Standard</b>	86
<b>Annexe 2 : REsultats des statistiques des tendances de MK</b>	87
<b>Annexe 3 : Variations de la pluie a l'échelles annuelles et saisonnières au niveau de stations étudié .</b>	92

## Introduction générale

Le changement climatique est un phénomène qui fait encore largement parler de lui compte tenu des fluctuations qui touchent le climat terrestre, et leur conséquence sur le mode de vie de l'humanité que ce soit au niveau sanitaire, social, agricole... etc. Ce phénomène tient son importance du fait qu'il touche des secteurs sensibles dont les conséquences peuvent déboucher sur une catastrophe à l'échelle planétaire qui ramené ainsi à la question du devenir de genre humain. Durant cette dernière décennie, la communauté internationale est de plus en plus préoccupée par l'évolution du climat et ses conséquences socio-économiques et environnementales. Depuis le milieu du 20<sup>ème</sup> siècle des tendances à la diminution des précipitations et à l'augmentation de la température sont observées, et qui se poursuivent en ce début du 21<sup>ème</sup> siècle. Elles sont mises en évidence par plusieurs études (Matari et al. 2007 ; GIEC, 2007 ; Xoplaki E., 2004 ; Amraoui L., 2009 ...etc.).

Dans le monde, de nombreuses études ont été menées pour la détection de ces changements. C'est dans cette lancée que les séries de données chronologiques sont soumises aux tests de tendance et de détection de ruptures. Les méthodes graphiques (droite de régression des moindres carrés) ont été utilisées et les tests statistiques choisis de manière à confirmer ou infirmer les résultats des méthodes graphiques. Les études sur le changement climatique montrent qu'au Maghreb le réchauffement climatique est plus important que la moyenne, si au niveau mondial on a évalué la hausse de 0.70°C au 20<sup>ème</sup> siècle, elle a été située entre 1.5°C et 2°C selon les régions au Maghreb, on a pu aussi évaluer une baisse des précipitations qui a été située entre 10 et 20% (Morell M., 1998 ,2008).

Les effets du changement et de la variabilité climatiques ont été analysés par de nombreux chercheurs dans divers domaines géophysiques. La plupart des études antérieures concernant les tendances climatologiques à long terme ont porté sur la température de l'air de surface et les précipitations. Les revues de recherches récentes pertinentes incluent, par exemple : (Hassani ,2008).

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les habitants et les écosystèmes. Les zones arides sont particulièrement touchées par les sécheresses

récurrentes et prolongées et la question de l'eau représente un véritable enjeu au cours de ce siècle.

Depuis de nombreuses années, plusieurs études ont été entamées à cet égard. L'analyse des précipitations sur de longues séries est devenue la préoccupation de plusieurs institutions et chercheurs scientifiques. Le bassin méditerranéen a été sujet de travaux très intéressants essentiellement sur la variabilité interannuel des précipitations.

Différentes méthodes sont utilisées pour caractériser le régime pluviométrique. Des tests statistiques sont aussi utilisée pour démontré la stationnarité, l'homogénéité et la détections d'une tendance dans une série pluviométrique

Donat et al. (2014) ont étudié les changements temporels des températures et précipitations extrêmes dans les régions arabes à partir des données journalières de 61 stations en utilisant les indices ETCCDI (Karl et al. 1999, Peterson and et al 2001). Les résultats ont montré une tendance cohérente après la moitié du 20eme siècle à travers toute la région

Suite aux différents travaux consacrés à l'étude du régime pluviométrie en Algérie. Notre travail de recherche vient compléter les résultats et conclusions déjà aboutis précédemment.

Une question pertinente sera traitée au cours de ce travail : quelle sont les tendances des précipitations dans les trois régions climatiques (méditerranée, aride et semi-aride) de l'Algérie au cours de la période 1975/2009 ?

Pour se faire, nous faisons appel aux méthodes les plus utilisés dans l'analyse du régime pluviométriques telles que : les méthodes de comblement des lacunes (Corrélation, Moindre carrées), les tests de détections d'une tendance (Mann-Kendall, test d'estimation de la pente de Sen).

Nous divisons notre travail en quatre chapitres :



Le première chapitre aura pour objet principal d'impliques le lecteur de ce document dans le sujet, à travers une étude bibliographique, sur l'évolution du climat dans les trois régions climatiques en Algérie.

Dans le deuxième chapitre, une présentation des différents tests et méthodes utilisés dans la détermination du régime pluviométriques et leurs applications, ainsi que les indices du changement climatique qui concerne la précipitation (ETCCDI).

Nous exposerons dans le troisième chapitre la zone d'étude et ses caractéristiques géographiques et climatiques, ainsi que les données pluviométriques utilisées dans cette étude.

Le quatrième chapitre concerne la présentation des différents logiciels, méthodes et tests statistiques utilisés dans ce travail.

Le dernier chapitre (cinquième), mettra en valeur la discussion et l'analyse des résultats concernant la tendance des précipitations et ses indices au cours de la période 1975/2009.

## **1.1 Introduction**

Le climat n'a cessé de fluctuer à toutes les échelles de temps. Cependant les variations qu'a connu le climat à l'échelle du globe ces dernières années semblent préoccuper plusieurs chercheurs en particulier ceux du groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

La recherche sur les indicateurs de changement ou de variabilité climatique est devenue une priorité pour beaucoup de chercheurs. Dans le monde, de nombreuses études ont été menées pour la détection de ces changements. C'est dans cette lancée que les séries de données chronologiques sont soumises aux tests de tendance et de détection de ruptures. Les méthodes graphiques (droite de régression des moindres carrés) ont été utilisées et les tests statistiques choisis de manière à confirmer ou infirmer les résultats des méthodes graphiques (Taïbi 2011).

## **1.2 Le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat**

Le GIEC est une organisation qui a été mise en place en 1988, à la demande du G7 (groupe des 7 pays les plus riches : USA, Japon, Allemagne, France, Grande Bretagne, Canada, Italie), par l'Organisation Météorologique Mondiale et l'Unesco. Son appellation anglaise est IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Le rôle du GIEC est "d'expertiser l'information scientifique, technique et socio-économique qui concerne le risque de changement climatique provoqué par l'homme" (Jancovici., 2008).

Le GIEC a déjà publié quatre "Rapports d'évaluation". Le Rapport de 1990 a débouché sur la signature, au sommet de Rio (1992), de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (UNFCCC-CCNUCC) et celui de 1995 [Second Assessment Report (SAR)] Sur l'adoption du protocole de Kyoto deux ans plus tard. Le troisième rapport [Third Assessment Report (TAR)] a été publié en 2001, au moment où le président George Bush a décidé de ne pas ratifier Kyoto. Le quatrième [Assessment Report (AR4)] sortit en 2007, a encadré les négociations sur l'avenir du protocole de Kyoto qui expire le 31 décembre 2012. Le 5e rapport a été publié en 2014.

Les membres du GIEC se sont réunis en une séance plénière du 11 au 13 avril 2016 au Kenya. A cette occasion, le lancement des travaux pour un 6ème rapport a été validé (Gecguyane., 2017).

Chaque nouveau rapport apporte soit une confirmation soit un complément de ce qui a été déjà fait où observé auparavant.

### **1.3 Evolution des précipitations dans le monde selon le GIEC**

Entre 1900 et 2005, les précipitations ont fortement augmenté dans l'est de l'Amérique du nord et du sud, dans le nord de l'Europe et dans le nord de l'Asie, tandis qu'elle diminuait au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud. Il est probable que la sécheresse a progressé à l'échelle du globe depuis les années 1970.

Il est très probable que les journées froides, les nuits froides et le gel ont été moins fréquents sur la plus grande partie des terres émergées depuis cinquante ans et que le nombre de journées chaudes et de nuits chaudes a au contraire augmenté. De plus, la fréquence des phénomènes ci-après s'est probablement accrue : vagues de chaleur sur la majeure partie des terres émergées, fortes précipitations dans la plupart des régions et, depuis 1975, élévations extrêmes du niveau de la mer dans le monde entier.

La hauteur annuelle de précipitations pour les terres émergées a continué d'augmenter aux latitudes moyennes et élevées de l'hémisphère nord (très probablement à un rythme de 0.5 à 1% par décennie), sauf en Asie orientale. Dans les zones subtropicales (de 10° à 30° de latitude nord), les pluies à la surface des terres émergées ont en moyenne diminué (Probablement d'environ 0.3% par décennie), bien qu'on ait noté des signes d'inversion de cette tendance ces dernières années.

Les mesures de la hauteur de précipitations à la surface du sol en zone tropicale indiquent une augmentation probable d'environ 0.2 à 0.3% par décennie au 20ème siècle.

La mesure directe de la hauteur de précipitation et de nouvelles analyses par modèle de précipitation présumées mettant en évidence une augmentation correspondant des pluies sur de grandes parties des océans tropicaux. Il existe une forte corrélation entre l'augmentation des précipitations sur les terres émergées aux latitudes moyennes à élevées de l'hémisphère nord et l'augmentation à long terme de la nébulosité totale. Contrairement à ce qui a été observé dans l'hémisphère nord, aucune variation systématique comparable de la hauteur de précipitation moyenne selon l'altitude n'a été détectée dans l'hémisphère sud (GIEC, 2001).

#### **1.4 Précipitation dans la région méditerranéenne**

Le climat méditerranéen c'est une transition entre le climat aride des régions du Nord de l'Afrique et le climat tempéré des régions d'Europe se distingue essentiellement par des étés chauds et secs et une forte irrégularité des pluies.

Une pluviométrie annuelle, comprise entre 600 mm et 1000 mm pour les pays du Nord et proche de 400 mm pour certains pays du sud

L'un des aspects les plus critiques de la région méditerranéenne est le cycle hydrologique et sa variabilité par rapport aux variations planétaires du climat.

La topographie du bassin méditerranéen est complexe avec un forçage thermique et orographique influençant la structure des systèmes météorologiques et les circulations régionales, L'équilibre entre les précipitations et l'évaporation influe sur la circulation et la qualité des eaux de la mer méditerranée (Mariotti et al, 2002).

La variabilité des précipitations des saisons humides de la région méditerranéenne influe sur le bilan hydrologique de la zone et joue un rôle essentiel dans la gestion régionale de l'agriculture, les ressources en eau, les écosystèmes, l'environnement, l'économie ainsi que le développement social.

L'analyse des tendances des précipitations pour la période 1950 à 1999, relève que les précipitations de la saison humide ont augmenté en méditerranée depuis le milieu du 20<sup>ème</sup>

siècle avec un maximum enregistré dans les années 1960 puis on diminue dès lors. A l'exception de quelques périodes humides survenues dans les années soixante-dix, début des années quatre-vingt et fin des années quatre-vingt-dix, la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle montre une tendance générale à la baisse de 2,2mm/mois/décade. En particulier, la période fin quatre-vingt début quatre-vingt-dix, qui a connu une sécheresse générale sur de larges parties de la méditerranée (Xoplaki E. et al., 2000).

Xoplaki et al(2004) ont constaté que les plus grandes quantités de précipitations durant la saison humide de la méditerranée sont observées au moins d'Octobre à mars mais avec de fortes variabilités malgré la grande variabilité spatio-temporelle des précipitations peuvent être liées aux fluctuations de circulation atmosphériques générale telles que les courants-jets les trajectoires des tempêtes avec des changements dans la thermodynamique de l'atmosphère.

Jacobeit (2000) et Giorgi (2002) ont analysé la variabilité saisonnière des précipitations et son évolution tout au long de la méditerranée sur la période 1901-1998, indique une tendance négative de précipitation pour hiver en accord avec les conclusions de IPCC (Folland et al.2001). GIEC (Jacobeit(2000) et Giorgi (2002) in Xoplaki E., 2004).

Le Grand Maghreb situé au sud du bassin méditerranée a connu des variations pluviométriques importantes. Au Maroc, les études réalisées par la direction de météorologie nationale (Benassi M., 2001), ont mis en évidence les changements que le climat du pays a connus durant les dernières décennies, notamment le phénomène de la sécheresse. La période trentenaire 1971-2000 a enregistré une diminution de la pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 15%. Depuis 1961,1982-1983,1983-1984 et 1994-1995 ont été les années hydrologiques de sécheresses les plus sévères que le Maroc ait connus.

En outre, le régime pluviométrique interannuel a connu une tendance à la baisse avec une légère augmentation des pluies en début de la saison et un déclin de celles du reste de la saison surtout le printemps.

En Mauritanie, l'analyse de la pluviométrie depuis plus de cinquante ans (1942-2005) a révélé d'une manière très significative les deux périodes caractéristiques de la région

sahélienne, une période largement excédentaire de 1942 à 1969 et une période de sécheresse pendant les années 70 et 80. En plus de ces phases, la dernière décennie (1994-2005) est caractérisée par une situation très particulière ou oscillent de courtes périodes d'excès pluviométriques (Nouaceur Z., 2009).

L'examen des précipitations par l'Office National Météorologique (ONM) en Algérie pour les périodes 1931-1960 montrent une diminution des pluies en automne et en hiver sur le nord, alors qu'au printemps, la pluviométrie est plus importante à l'Ouest, au Centre et au Sud du pays et il y a diminution des précipitations à l'Est (Boucherf D., 2007).

L'examen de l'évolution des pluies par la comparaison des normales de pluie saisonnières des deux périodes 1931-1960 et 1961-1990 effectué pour plusieurs stations météorologiques maghrébines ( Alger, Oran, Annaba, Casablanca, Agadir, Ouarzazate, Tunis, Gabes ) indique des évolutions assez contrastées d'une région à une autre. En termes de ruissellement, il est relevé une tendance négative des apports chronologiques au cours des deux dernières décennies dans la majorité des bassins hydrographiques du Maghreb, à l'exemple du bassin de l'Oum Er Rebia (Maroc).

## **1.5 Précipitations dans les régions Arides et Semi-Arides**

La caractéristique des zones arides et semi-arides étant l'irrégularité et la faiblesse des pluies, il ne s'y rencontre que peu d'eau superficielle (Guilloteau, J., 1959).

### **1.5.1 Répartition spatiale (UNESCO., 1977)**

Au niveau de la répartition spatiale des précipitations, l'aridité croissante est signalée par les isohyètes, qui traduisent des moyennes calculées à partir de séries statistiques plus ou moins longues selon les stations considérées. Mais si l'on considère une seule saison des pluies, on peut noter de très fortes irrégularités dans l'espace:

- ainsi, entre les stations de Dakar et de Bakel (Sénégal), situées toutes deux sur l'isohyète 500 mm, on a enregistré en 1972 un écart de 270 mm.

- sur de plus courtes distances, entre Atar et Akjoujt (Mauritanie), séparées par environ 150 km et placées dans des conditions climatiques comparables, on a constaté en 1970 une différence de 160 mm, soit nettement plus que la moyenne annuelle de chacune de ces deux stations (Académie des Sciences d'outre-Mer 1975).

### 1.5.2 Les variabilités dans le temps (UNESCO., 1977)

Les variations dans le temps se situent à la fois au niveau de la répartition saisonnière et à celui de la répartition interannuelle.

Une carte de la variabilité interannuelle des précipitations à la surface du fait ressortir, au moins dans leurs grandes lignes, les régions arides et semi-arides. On peut y constater que la variabilité des pluies croît d'une manière générale avec l'aridité. Ainsi la variabilité relative (rapport de l'écart moyen relativement au total moyen annuel de précipitations, multiplié par 100) est beaucoup plus élevée dans le Sahara central (79 % à Djanet, 92 % à Adrar) ou sur les côtes de la Mer Rouge (127 % à Qseir) que sur les marges septentrionales du Sahara (40 % à Biskra, 30 % à Colomb Béchar).

Les valeurs absolues sont encore plus démonstratives, surtout dans certains cas extrêmes: ainsi à Swakopmund, sur le littoral du Namib, on a observé sur 25 ans une année 148 mm de pluie et une autre année 1mm. Enfin la singularité d'une station donnée par rapport à d'autres, même géographiquement proches, peut se manifester aussi bien pendant les années "excédentaires" que durant les années sèches: ainsi, en 1957, en plein milieu d'une période de pluies excédentaires sur l'ensemble du Niger, il n'est tombé que 64 mm à Agadès, pour une pluviosité moyenne de 164 mm, c'est-à-dire moins que pendant les années ultra-sèches de 1971 et de 1972 où l'on a enregistré respectivement 94 mm et 74 mm; par contre, en 1958, 297 mm de pluie sont tombés à Agadès.

La répartition des précipitations à l'intérieur de la saison des pluies, qui a une incidence directe sur les cultures non irriguées, constitue un élément supplémentaire de variation. Ainsi à Aritunga, au centre du désert australien, sous le tropique du Capricorne, où la moyenne des précipitations du mois de mars est de 52 mm, on a recueilli 340 mm en mars 1910 et seulement 5 mm en mars 1911. Deux années présentant des totaux annuels comparables (600 mm en 1956

et en 1957 à Zinder, Niger) offrent très souvent des saisons de pluies de structure très différente: en 1956, les précipitations ne sont tombées qu'à partir du mois de juin (33 mm) et 535 mm ont été enregistrés en juillet-août; en 1957, au contraire, d'importantes quantités d'eau sont tombées dès le mois de mai (78 mm) et le mois de juin (101 mm), et 388 mm seulement ont été enregistrés en juillet-août, soit au total des pluies beaucoup mieux réparties dans le temps.

## **1.6 Détection des tendances ou les points de changement (Robson A.J et al ,2004)**

Un changement dans une série de données peut se produire par plusieurs manières, il peut être progressif (tendance), brutal (changement), ou prendre une forme plus complexe. Ce changement peut affecter la moyenne, la variance et tout autre aspect des données.

Les méthodes basées sur les tests non-paramétriques, en particulier les méthodes de re-échantillonnage devraient être plus utilisées. Ces méthodes sont recommandées parce qu'elles conviennent particulièrement aux données hydrologiques, qui sont souvent fortement asymétriques, saisonnières et auto-corrélées. Les techniques de re-échantillonnage sont flexibles, robustes et puissantes, et ne nécessitent aucune hypothèse sur la forme de distribution des données, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire que les données soient normalement distribuées. Un exemple de cette méthode ; les tests basés sur le rang qui utilisent le rang des valeurs des données et non par les valeurs réelles.

La plupart des tests sur le rang supposent que les données sont indépendantes et identiquement distribuées. Ces tests présentent l'avantage d'être robustes et simple à utiliser, mais, généralement, ils sont moins puissants que les tests basés sur une approche paramétrique (Robson A.J et al, 2004).

## **1.7 Tests de détection de point de changement (Robson A.J.et al., 2004)**

### **1.7.1 Test de Pettitt**

Ce test est considéré comme robuste au changement d'une série chronologique et relativement puissant, comparé par exemple au test de Wilcoxon-Mann-Whitney et au test de Mann-Kendall utilisé pour une tendance.



### **1.7.2 Test de Wilcoxon-Mann-Whitney / Mann-Whitney**

C'est un test basé sur le rang, qui cherche les différences entre deux groupes d'échantillons indépendants (Siegele & Castellan, 1988 ; WMO, 1988 ; Hesel & Hirsch ,1992) il est calculé pour le sous-ensemble de la série afin de détecter le point de changement dans la moyenne.

### **1.7.3 Test des déviations cumulées**

Ce test peut être utilisé pour détecter la présence d'un saut (changement brutale) dans la moyenne d'une série de données. Il est basé sur la somme des écarts par rapport à la moyenne et suppose la normalité.

### **1.7.4 Test de Kruskal-Wallis**

Basé sur le range, il permet de tester si plusieurs échantillons indépendants sont de la même population. Ce test peut être perçu comme une généralisation du test de de Wilcoxon-Mann-Whitney a plus de deux échantillons.

### **1.7.5 Test t de Student**

C'est un test paramétrique standard pour vérifier si deux échantillons ont des moyennes différent. Suppose que les données soient normalement distribuées, pour détecter le point de changement.

### **1.7.6 Test du rapport de vraisemblance de Worsley**

Ce test est similaire au t de Student, mais peut être utilise lorsque le point de changement est inconnu. Il exige la normalité.

## **1.8 Tests de détection d'une tendance**

### **1.8.1 Le rho de Spearman**

Il s'agit d'un test basé sur le rang, c'est le coefficient de corrélation de Spearman qui permet d'étudier l'existence de relation entre deux variables.

### **1.8.2 Test de Mann-Kendall et la pente de Sen**

Les tests de Mann-Kendall et de Sen ont été utilisés pour les analyses de tendance. Le Test de Mann-Kendall permet de détecter la présence d'une tendance significative dans les séries des indices et permet également de déterminer le signe de cette tendance (à la hausse ou à la baisse). Le test de Sen, pour sa part, détermine s'il y a tendance et, le cas échéant, estimer la valeur de la pente de la droite de régression représentant le mieux cette tendance. Il convient de noter que les résultats de ces deux tests concordent dans la très grande majorité des cas (Alain M., 2011).

### 1.8.3 Test de Mann-Kendall

La statistique de test de Mann-Kendall  $S$  (Mann, 1945; Kendall, 1975) est calculée comme :

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

Où  $n$  est le nombre de points de données,  $x_i$  et  $x_j$  sont les valeurs de données dans les séries temporelles  $i$  et  $j$  ( $j > i$ ), respectivement et  $\text{sgn}(x_j - x_i)$  est la fonction de signe comme suit:

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

La variance est calculée comme

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

Où  $n$  est le nombre de points de données,  $m$  est le nombre de groupes liés et  $t_i$  indique le nombre de liens d'étendue  $i$ . Un groupe lié est un ensemble de données d'échantillonnage ayant la même valeur. Dans les cas où la taille de l'échantillon  $n > 10$ , la statistique de test normale standard  $Z_s$  est calculée en utilisant l'équation

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{si } S > 0. \\ 0, & \text{si } S = 0. \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{si } S < 0. \end{cases}$$

Les valeurs positives de  $Z_s$  indiquent des tendances croissantes alors que les valeurs négatives de  $Z_s$  montrent des tendances décroissantes. Les tendances des tests se font au niveau spécifique de  $\alpha$ . Quand  $|Z_s| > Z_{1-\alpha/2}$  l'hypothèse nulle est rejetée et une tendance significative existe dans les séries chronologiques  $Z_{1-\alpha/2}$  est obtenu à partir du tableau de distribution normal standard.

Le test statistique de Mann-Kendall a été fréquemment utilisé pour quantifier l'importance des tendances dans les séries chronologiques hydrométéorologiques (Douglas et al. 2000; Yue et al. 2002; Partal et Kahya, 2006; Modarres et Silva, 2007; Tabari Et Marofi, 2011; Tabari et al. 2011b).

#### 1.8.4 La pente de Sen

Sen (1968) a développé la procédure non paramétrique pour estimer la pente de tendance dans l'échantillon de  $N$  paires de données:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \text{ for } i = 1, \dots, N$$

Avec  $i$  : les membres des couples .

Où  $x_j$  et  $x_k$  sont les valeurs de données aux fois  $j$  et  $k$  ( $j > k$ ), respectivement. S'il n'y a qu'une donnée dans chaque période,  $N = \frac{n(n-1)}{2}$  où  $n$  est le nombre de périodes. S'il y a plusieurs observations en une ou plusieurs périodes, alors  $N < \frac{n(n-1)}{2}$ , où  $n$  est le nombre total d'observations.

Les valeurs  $N$  de  $Q_i$  sont classées de plus petites à plus grandes et la moyenne de la pente ou l'estimateur de pente de Sen est calculée comme

$$Q_{\text{moy}} = \begin{cases} Q_{\left[\frac{N+1}{2}\right]}, & \text{si } N \text{ est impaire} \\ \frac{Q_{[(N)/2]} + Q_{[(N+1)/2]}}{2}, & \text{si } N \text{ est paire} \end{cases}$$

Le  $Q_{\text{moy}}$  sign reflète la réflexion de la tendance des données, alors que sa valeur indique la pente de la tendance. Pour déterminer si la pente médiane est statistiquement différente de zéro, on devrait obtenir l'intervalle de confiance de  $Q_{\text{moy}}$  à une probabilité spécifique. L'intervalle de confiance autour de la pente du temps (Hollander et Wolfe, 1973; Gilbert, 1987) peut être calculé comme suit:

$$C_{\alpha} = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{Var}(s)}$$

Où  $\text{Var}(S)$  est défini dans l'équation (1) et  $Z_{1-\alpha/2}$  est obtenu à partir du tableau de distribution normal standard.

Ensuite,  $M_1 = \frac{N - C_{\alpha}}{2}$  et  $M_2 = \frac{N + C_{\alpha}}{2}$  sont calculés. Les limites inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance,  $Q_{\text{min}}$  et  $Q_{\text{max}}$  sont le  $M_1$  le plus grand et le  $(M_2+1)$  le plus grand des estimations de la pente ordonnée  $N$  (Gilbert, 1987).

La pente  $Q_{\text{moy}}$  est statistiquement différente de zéro si les deux limites ( $Q_{\text{min}}$  et  $Q_{\text{max}}$ ) ont un signe similaire.

L'estimateur de la pente de Sen a été largement utilisé dans les séries chronologiques hydrométéorologiques (Lettenmaier et al. 1994; Yue and Hashino, 2003; Yunling and Yiping, 2005; Partal et Kahya, 2006; ElNesr et al. 2010; Tabari et Marofi, 2011; Tabari et al. 2011a).

## 1.9 Régression linéaire

Le test statistique d'une régression linéaire est la pente de la régression. C'est l'un des tests les plus communs pour la détection d'une tendance, il suppose que les données soient normalement distribuées (Robson A.J. et al, 2004).

## **1.10 Tests d'homogénéité (Ondo J.C. et al, 1997, Beaulieu C. et al, 2007)**

Dans une analyse des séries chronologiques, il est important de vérifier l'hypothèse que les observations de la chronique sont identiquement distribuées, cela revient encore à vérifier que les observations de la chronique sont homogènes. La vérification de cette hypothèse est nécessaire avant d'entreprendre toute étude d'inférence statistique.

Le caractère d'homogénéité des observations d'une série chronologique est donc une hypothèse fondamentale dans une étude statistique, et mérite d'être traitée avec beaucoup de sérieux.

### **1.10.1 Test du Khi-deux**

Le test du Khi-deux ( $X^2$ ) est un test non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse  $H_0$  selon laquelle les données observées sont engendrées par un modèle faisant intervenir une loi de probabilité, ou une famille de loi de probabilité.

### **1.10.2 Test de Kolmogorov-Smirnov**

Le test de Kolmogorov-Smirnov est un test non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse  $H_0$  selon laquelle les données observées sont engendrées par une loi de probabilité théorique considérée comme étant un modèle convenable. Mais contrairement au test du Khi-deux, la loi théorique doit ici être continue et entièrement spécifiée, sans paramètre inconnu.

### **1.10.3 Test de Cramer Von Mises**

Le test de Cramer Von Mises a les mêmes applications que le test de Kolmogorov. La différence entre ces deux tests réside dans le fait que pour le test de Kolmogorov seul l'écart maximum entre la distribution empirique et la distribution d'ajustement est en considération, alors que l'indicateur d'écart du test de Cramer Von Mises prend mieux en compte l'ensemble des données en ce sens que la somme des écarts intervient. Le test de Kolmogorov est donc beaucoup plus sensible à l'existence de point aberrant dans un échantillon que le test de Cramer Von Mises.

### **1.10.4 Le test de Mann-Whitney**

Ce test est décrit par Lachance (1996) .il permet de faire des inférences sur les médianes des deux populations.

Au niveau des hypothèses, il implique que les deux populations dont sont issus les sous-échantillons aient des distributions de même forme et que ces sous-échantillons soient indépendants. Lorsque les données des sous-échantillons ne proviennent pas des populations distribuées normalement, le test de Mann-Whitney sert à tester l'homogénéité des observations de l'échantillon en utilisant les moyennes empiriques. Ce test non paramétrique a une efficacité beaucoup plus élevée que les tests d'homogénéité basent sur la fonction de répartition empirique.

### **1.10.5 Test de normalité**

C'est un test paramétrique décrit par Lachance (1996).il s'applique dans le cas de grandes échantillons ( $n_1 \geq 30$ ).

### **1.10.6 Test de Student**

Le test de Student est un test paramétrique qui permet de comparer les moyennes de deux échantillons statistiques.

L'hypothèse prenable de ce test est que les deux populations sont distribuées normalement.

### **1.10.7 Test d'homogénéité normale standard (SNHT)**

Le test standard d'homogénéité normale (Alexandersson., 1986) est l'un des tests d'homogénéité les plus largement utilisés. L'hypothèse nulle, est que les données sont des quantités aléatoires indépendantes et normalement distribuées, et l'alternative est qu'un décalage progressif de la moyenne (une rupture) est présent. Le SNHT est un test de rapport de vraisemblance qui est généralement effectué sur une série de référence composite. Il existe maintenant des variantes de ce test pour tenir compte de plus d'une discontinuité, tester des tendances inhomogènes plutôt que de simples ruptures, et inclure l'invariance du changement (Alexandersson et Moberg., 1997). Le SNHT pour une seule rupture est capable de localiser la

période (mois ou année) où une rupture est probable, et la détecte facilement au début et à la fin d'une série (Ducré-Robitaille et al 2003, Wijngaard et al. 2003).

Si les données de l'échantillon proviennent d'une population normale, les tests paramétriques sont plus efficaces que les tests non paramétriques. Si par contre les données de l'échantillon ne proviennent pas d'une population normale, il est préférable d'utiliser les tests non paramétriques. Dans cette catégorie de test, le test de Mann-Whitney a une efficacité beaucoup plus élevée que les tests d'homogénéités basent sur la fonction de répartition empirique et les autres tests d'homogénéités.

### 1.10 Corrélation

Dans le domaine des sciences appliquées (l'hydrologie, par exemple), il est fréquent d'observer des phénomènes où il y a lieu de soupçonner l'existence d'une liaison entre deux variables : la température et la dilatation d'un métal, précipitations et les débits etc.

Cette liaison est appelée corrélation. On dit qu'il y a corrélation entre deux variables observées lorsque les variations des deux variables se produisent dans le même sens (corrélation positive), ou lorsque les variations sont de sens contraires (corrélation négative).

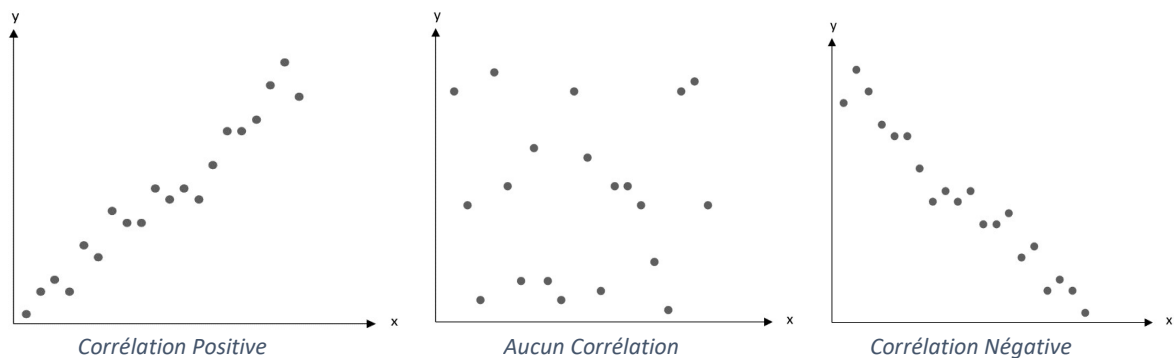


Figure 1. Différents Type de Corrélacion

L'existence d'une corrélation entre deux variables peut être décelé graphiquement .il s'agit reporter les couples d'observations  $(x_i, y_i)$  sur un graphique en prenant pour abscisse la variable  $x$ , et pour ordonnée la variable  $y$ . Chaque point de graphique représente simultanément

la valeur  $x_i$ , et la valeur  $y_i$ . Le graphique résultant constitue un nuage de point appelé : diagramme de dispersion.

On peut calculer l'indice qui mesure l'intensité de la liaison linéaire entre deux variables c'est le coefficient de corrélation  $r$ , qui est un nombre sans dimension.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Où  $n$  est le nombre de couples d'observations  $(x_i, y_i)$ .

La valeur de  $r$  peut varier entre -1 (corrélation négative et parfaite) et +1 (corrélation positive et parfaite). Plus les points sont étroitement alignés selon une droite, plus la valeur du coefficient de corrélation sera élevée et s'approchant de +1 ou -1 selon le cas.

### 1.11 Les indices de changement climatiques (ETCCDI) (Sillmann., 2013)

Il existe un consensus général dans la communauté climatique selon lequel toute modification de la fréquence ou de la gravité des événements climatiques extrêmes aurait des répercussions profondes sur la nature et la société. Il est donc très important d'analyser les événements extrêmes. La surveillance, la détection et l'attribution des changements dans les extrêmes climatiques nécessitent habituellement des données de résolution quotidienne.

Cependant, la compilation, la fourniture et la mise à jour d'un ensemble de données quotidiennes à pleine résolution globalement complet et facilement disponible sont une tâche très difficile. En partie, parce que tous les Services météorologiques et hydrométéorologiques nationaux (SMHN) n'ont pas la capacité ou le mandat de distribuer librement les données quotidiennes qu'ils collectent. Par conséquent, l'ET (Expert Team) et son prédécesseur, le Groupe de travail CCI (Commission for Climatology) / CLIVAR (the Climate Variability) WG (Working Group) sur la détection des changements climatiques, ont coordonné un effort international pour développer, calculer et analyser une suite d'indices afin que les individus, les



pays et les régions puissent calculer les indices De la même manière, de sorte que leurs analyses s'inscrivent parfaitement dans l'image globale (Karl et al., 1999, Peterson et co-auteurs 2001).

On espère que la participation à cet effort permettra à toutes les parties intéressées, y compris les contributeurs de l'indice, de bénéficier d'un suivi amélioré des changements avec une couverture spatiale plus large actuellement indisponible.

Le WG (Working Group) a approuvé une liste de 40 indices. Certains des indices sont utilisés plus fréquemment que d'autres. Différents groupes de recherche peuvent définir différents indices pour leurs besoins particuliers. Par exemple, les indices de température basés sur le percentile (par exemple, le nombre de jours de température quotidienne supérieure à 90 percentile) définis par le projet STARDEX (Statistical And Regional Dynamical Downscaling Of Extremes For European Regions) sont très différents de ceux définis par l'ET (Expert Team).

Albert Klein Tank (Prof. Dr. Albert Klein Tank leads the R&D department on Observations and Data Technology) of KNMI (The Royal Netherlands Meteorological Institute) a respecté une liste des indices utilisés par différents chercheurs.

L'ET a récemment revu ses définitions d'indices. Au total, 27 indices ont été considérés comme des indices de base. Ils sont basés sur les valeurs quotidiennes de la température ou la quantité quotidienne de précipitations. Certains sont basés sur des seuils fixes qui sont pertinents pour des applications particulières. Dans ces cas, les seuils sont les mêmes pour toutes les stations. Les autres indices sont basés sur des seuils qui varient d'un endroit à l'autre. Dans ces cas, les seuils sont généralement définis comme un percentile de la série de données pertinentes.

Pour surveiller de manière fiable et détecter les changements climatiques, les indices doivent contenir des variations uniquement liées aux processus climatiques. Il faut tenir compte de deux aspects lors de la construction de ces indices. Tout d'abord, les données quotidiennes d'origine devraient être homogènes, c'est-à-dire être exemptes de variations non liées au climat.

Deuxièmement, la méthode de construction des indices ne devrait pas introduire de variation supplémentaire.

*Tableau 1: Les indices De Précipitations Selon l'ETCCDI*

<b>ID</b>	<b>Nom de l'indice</b>	<b>Définition</b>	<b>Unité</b>
Rx1day	Max 1-Jour Précipitation mensuelles	Précipitation mensuelle maximale de 1 jour	Mm
Rx5day	Max 5-Jours Précipitations Mensuelles	Précipitation consécutive maximale de 5 jours par mois	Mm
R10	Nombre de jours de fortes précipitations	Nombre annuel de précipitations $\geq 10$ mm	Jours
R20	Nombre de jours de précipitations très lourds	Nombre annuel de précipitations $\geq 20$ mm	Jours
CDD	Jours secs consécutifs	Nombre maximum de jours consécutifs lors des précipitations $< 1$ mm	Jours
CWD	Jours humides consécutifs	Nombre maximum de jours consécutifs lors des précipitations $\geq 1$ mm	Jours
R95P	Jours très humides	Précipitations annuelles totales par jours $> 95^e$ percentile	Mm
R99P	Jours extrêmement humides	Précipitation totale annuelle des jours $> 99^e$ percentile	Mm
PRCPTOT	Précipitation totale annuelle de la journée humide	Précipitations totales annuelles de jours $\geq 1$ mm	Mm
SDII	Indice d'intensité quotidienne simple	Le rapport entre les précipitations totales annuelles et le nombre de jours de pluie ( $\geq 1$ mm)	Mm/Jour

## 1.12 Conclusion

Le climat et plus exactement les précipitations ont connu des variations importantes, une baisse des précipitations sont observés depuis la moitié des années 1970 à l'échelle du globe et à l'échelle régionale

La variation d'une série de données chronologiques peut être déterminée par plusieurs tests statistiques en fonction du changement recherché brutal ou progressif. Les tests les utilisée pour la détection d'une tendance ou d'une rupture sont le plus souvent non paramétriques car ils ne tiennent pas compte de la normalité de la série de données, comme le test de Pettitt et le test de Kendall.

## **2.1 Introduction**

Le domaine d'étude concerne les parties Sud, Centre et nord de l'Algérie, Plus précisée, les quatre bassins hydrographiques (Seybouse, Medjerda, Chott Melrhir, Sahara), une présentation de ses caractéristiques géographiques, climatologiques et hydrographiques sera donnée dans ce chapitre. Nous exposerons aussi des données pluviométriques utilisées pour la réalisation de notre travail.

## **2.2 Présentation de la zone d'étude**

### **2.2.1 Situation géographique**

La zone d'étude (Figure 2) se trouve limitée par les parallèles 29° et 37° et par les longitudes 0° Ouest et 9° Est.

Elle concerne les quatre bassins hydrographiques suivants :

- Chott Melrhir (06).
- Medjerda (12).
- Seybouse (14).
- Sahara (13).

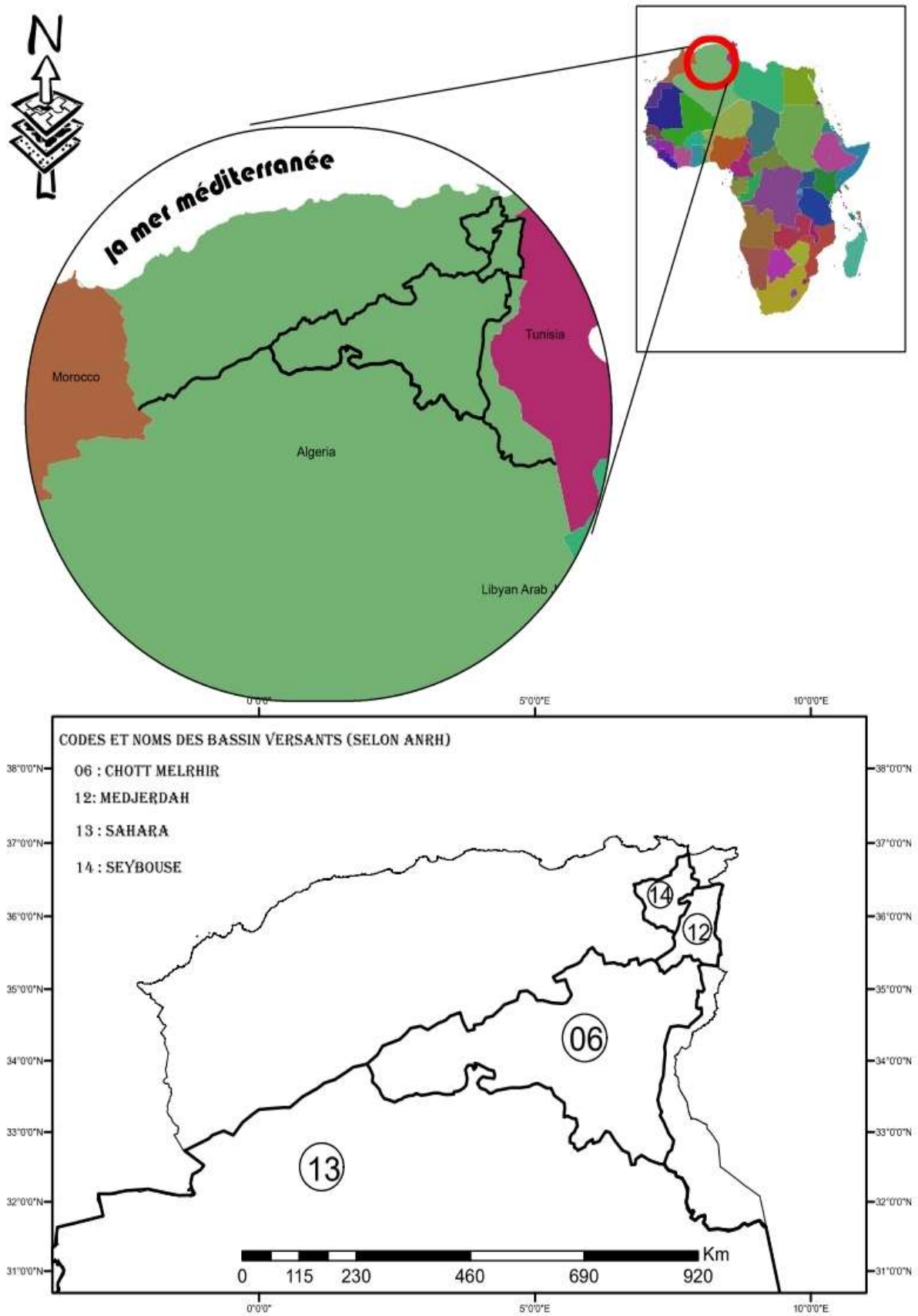


Figure 2. Situation géographique de la zone d'étude

## **2.2.2 Le relief**

Le relief est le résultat d'une conjugaison de plusieurs facteurs et particulièrement par l'évolution géologique et par l'action de l'érosion a une grande échelle (des milliers ou des millions d'années). Dans ce contexte l'Algérie est divisée en trois ensembles distincts.

Au nord, l'Atlas tellien forme avec l'Atlas saharien, plus au Sud, Deux ensembles de relief parallèles se rapprochant en allant vers l'Est, et entre lesquels s'intercalent de vastes plaines et hauts plateaux (Figure 3). Les deux Atlas tendent à se confondre dans l'Est de l'Algérie, ou l'on retrouve les vastes chaines montagneuse des Aurès (Batna, khenchla, Oum-El-Baouaghi, Ain M'Lila, Souk-Ahras, Guelma, Biskra, etc.) et de la Nmemcha (Tébessa) qui occupent la totalité de l'Est algérienne point le plus culminant est le mont chelia à 2328 mètres d'altitude (Taibi., 2011).

### **2.2.2.1 L'atlas tellien**

La bande tellienne large de 80 à 190 km, s'étende sur environ 1200 km de long couvrant ainsi la quasi-totalité de la zone littorale. Elle est forme de chaines de montagnes qui se succèdent d'Ouest en Est (l'Ouarsenis, le Chenoua, le Djurdjura, les Babors et les Bibans,..). Au Nord, on reconcentre le massif cristallin de l'Edough. Au Sud, se dressent les monts du Titteri relayés par le massif de Guergour et les monts de Ferdjioua (Nord-Est de Sétif). Ces derniers sont prolongés par les monts de Constantine et de la Medjerda. L'Ouest tellien, se trouve domine par les massifs du Dahra, Ouarsenis et Trara.

Entre tous ces massifs s'intercalent les plaines du Cheliff et de Sidi Bel Abbes à L'ouest, la Mitidja au centre et Seybouse à l'Est. Au Nord de l'Atlas tellien et en bordure de la mer s'étende le Sahel.

### **2.2.2.2 Les hauts plateaux**

Entre les massifs tellien et l'Atlas saharien, s'étende un ensemble de plaines et de hauts plateaux offrant un paysage de steppes, d'une altitude variant entre 600 et 1000 m .A l'ouest du pays, elles s'étirent sur près de 500 km sur une largeur de 100 à 200 km. A l'Est, elles s'étendent sur une largeur de 200 km environ avec un relief un peu plus élève qu'à l'Ouest (entre 800 et 1000 m).le climat caractérisant cette région est de type semi-aride.

Des étendues d'eau salée, qu'on appelle « les chotts », caractérisant cette partie. Le point le plus bas d'Algérie, atteint au Chott Melrhir, descend à -40 m.

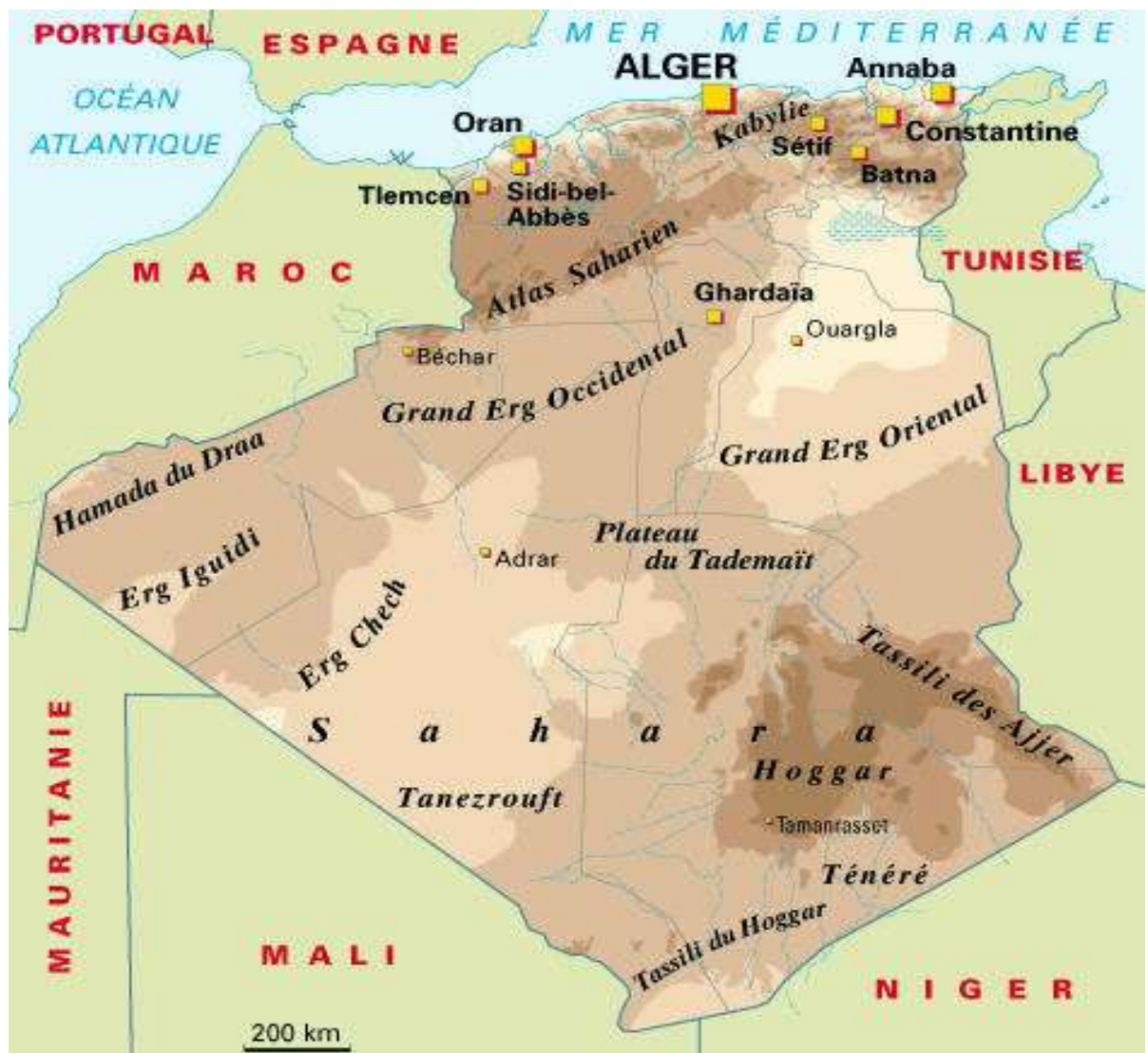


Figure 3. Les Principaux Reliefs d'Algérie (Site Carte-Algérie)

La (Figure 4) représente les élévations de notre zone d'étude selon les données disponibles.



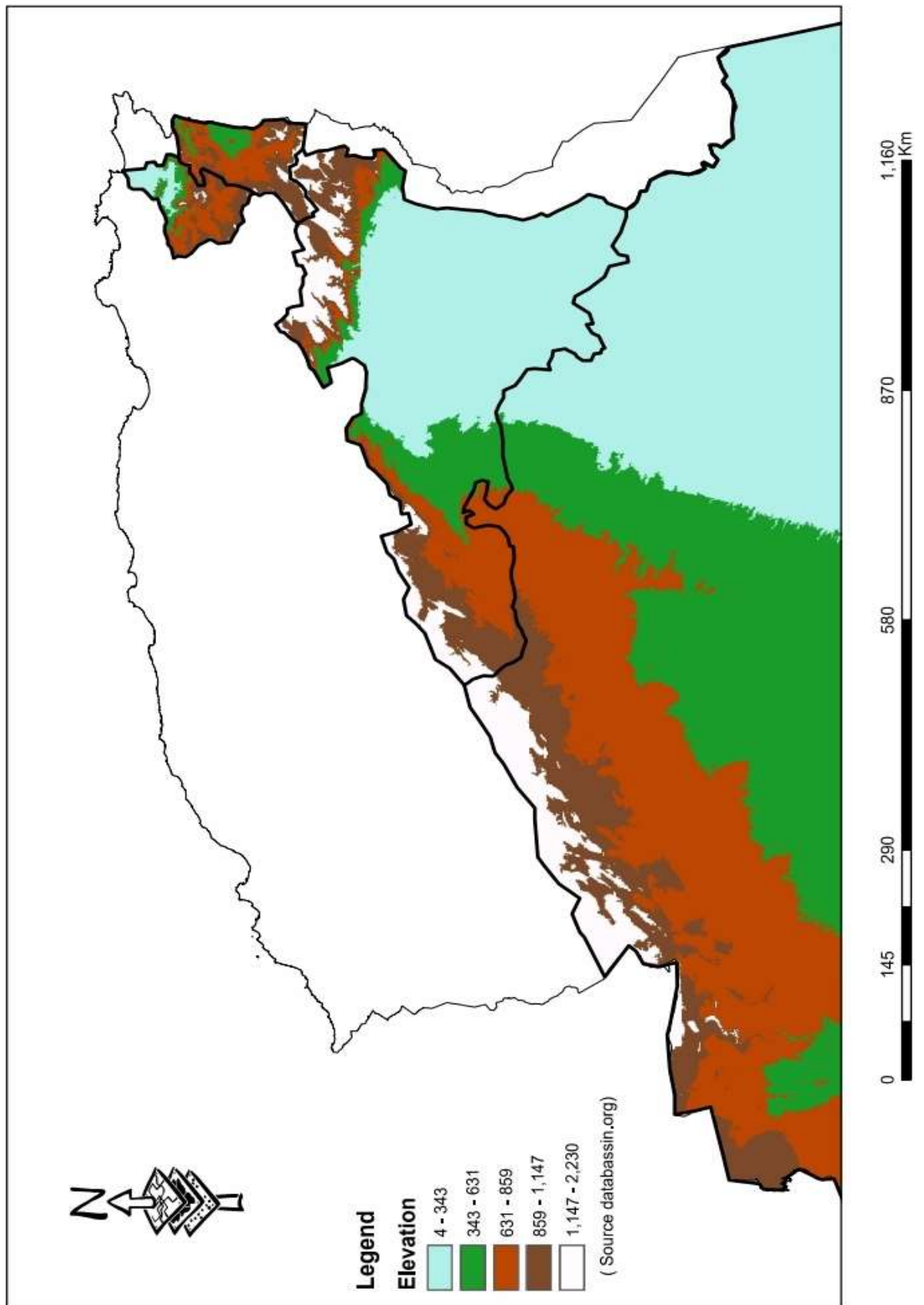


Figure 4. Relief de la zone d'étude.



### **2.2.3 Le climat**

L'Algérie fait partie de la zone subtropicale de l'Afrique du Nord. Le climat en Algérie diffère d'une région à une autre. Au Nord, il est de type méditerranéen et englobe principalement le littoral.

Entre l'atlas tellien et l'atlas saharien où culminent les hauts plateaux, le climat est de type continental avec des étés chauds et sec et des hivers humides et frais.

Le climat est désertique vers le Sud au-delà de la chaîne montagneuse de l'atlas saharien. (Météo Algérie, 2018).

La (Figure 5) représente les différents types des zones climatiques, alors que la (Figure 6) représente le pourcentage d'aridité de notre zone d'étude.

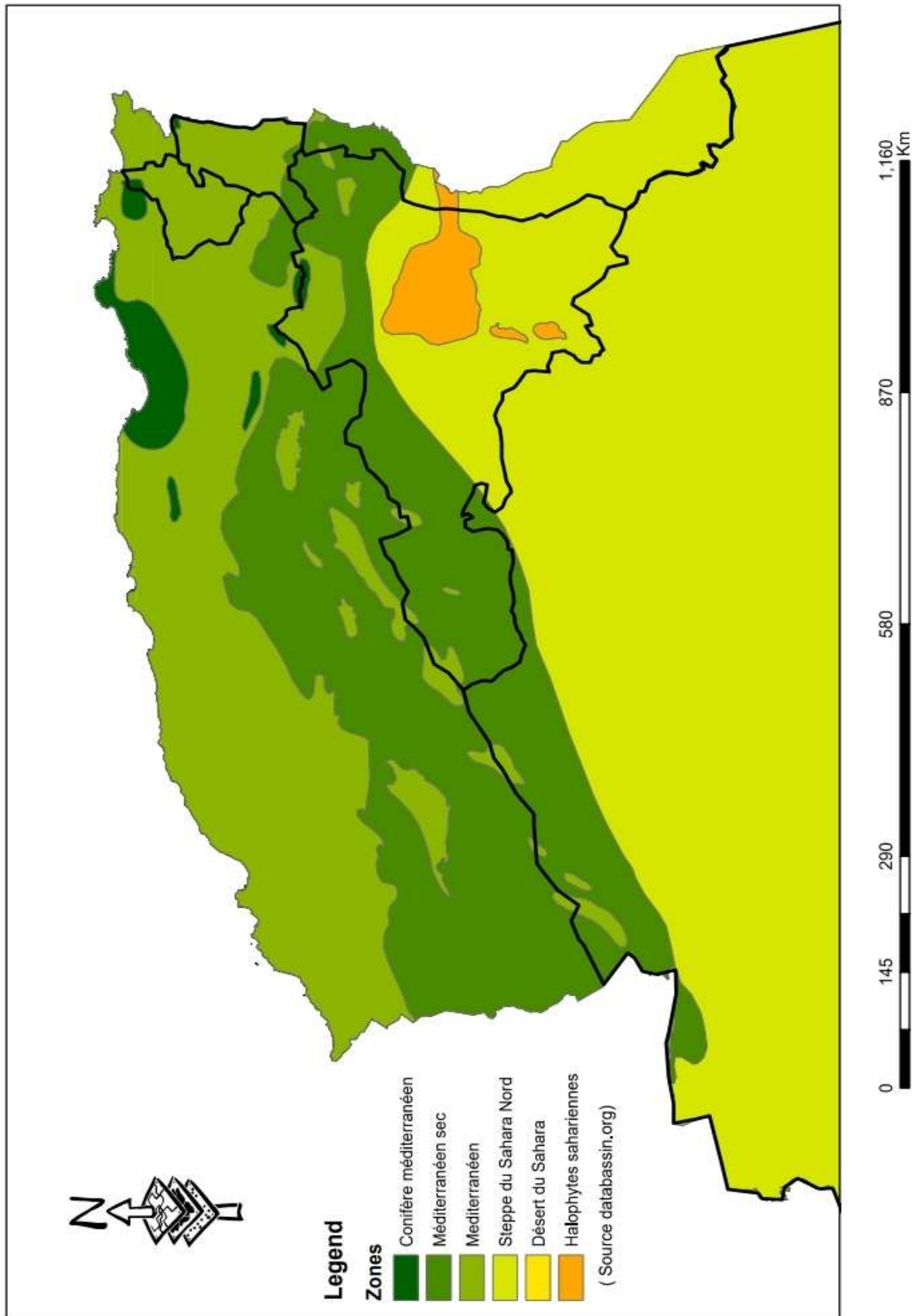


Figure 5. Classification des différentes zones climatiques sur la zone d'étude.

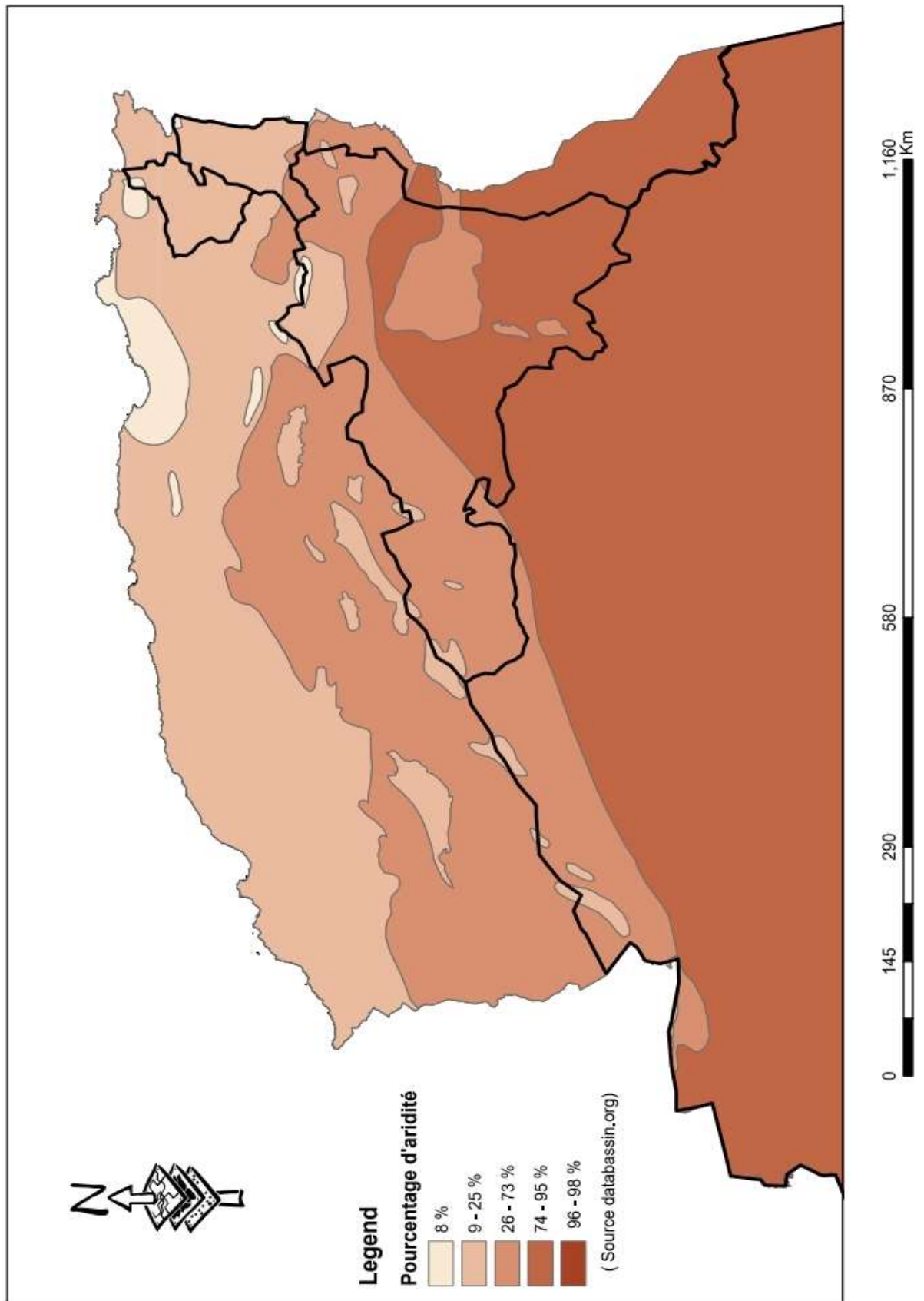


Figure 6. Carte représentative du pourcentage d'aridité de la zone d'étude.

### 2.2.3.1 La pluie

Les précipitations sont caractérisées par une variabilité très marquante entre le Nord et le Sud et entre l'Est et l'Ouest. A la décroissance des pluies du Nord au Sud se superpose une décroissance de l'Est à l'Ouest. En effet, la région Est du pays est plus pluvieuse par rapport à la région Ouest. La tranche de pluie annuelle décroît à mesure que l'on avance aussi vers le Sud et l'Ouest. Au Sud de l'atlas saharien, les précipitations annuelles tombent à moins de 100 mm, cette valeur étant habituellement considérée comme marquant le début du désert (Taibi 2012).

Le (Tableau 2) présente la répartition des pluies interannuelle sur les quatre bassins hydrographiques.

*Tableau 2: Répartition des pluies interannuelles*

Bassin	Station code	Nom	Période	Pluie interannuelle (mm)
Seybouse	140403	Héliopolis	1971-2008	367.22
	140412	Guelma	1971-2008	399.27
	140502	Mechroha	1971-2008	253.23
	140505	Bouchegouf	1971-2008	542.83
	140606	Ain Berda	1971-2008	617.56
	140609	El kerma	1971-2008	514.51
	140611	Kef Mourad	1971-2008	201.67
	140631	Pont Bouchet	1971-2008	613.17
Medjerda	120101	Souk Ahres	1971-2008	533.97
	120104	Khemissa	1971-2008	482.82
	120105	Toura	1971-2008	745.62
	120301	Tébessa	1971-2008	324.47
	120302	Boukhadra	1971-2008	279.16
	120304	Hammamet	1971-2008	323.33
	120307	Bekkaria	1971-2008	356.26
Chott Melrhir	061416	Biskra	1974-2009	128.02
	060302	El Houita	1969-2007	117.26
Sahara	605660	Ghardaïa	1975-2016	75.19
	130402	Ouargla	1976-2009	43.44

D'après le tableau on remarque une variabilité de pluie entre le Nord et le Sud. Au Nord, les précipitations annuelles varient entre 201.67 et 745,62 mm. Au Centre de l'Algérie, la pluie annuelle est environ de 100 mm, alors que la pluie annuelle dans les régions Sud est inférieure à 70 mm.

### **2.2.3.2 La température**

Les températures moyennes annuelles et mensuelles réagissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (isolation, déficit hygrométrique, pression barométrique, etc.). L'influence de la mer, comme facteur attiédissant en hiver et rafraichissant en été, est assez marquée sur les régions du littoral. de même, les contrastes saisonniers sont bien marqués entre l'hiver et l'été. (Taibi., 2012)

Les minima thermique sont généralement atteints au mois de janvier alors que les maxima sont atteints en juillet et aout.

Pour obtenir les données de température moyenne annuelle nous avons choisi le satellite de GLDAS (Global Land Data Assimilation Système) qui est disponible dans le site de Giovanni.

Ce satellite a mesuré les données climatologiques mensuelles dans la période (1948-2010).

L'analyse des variations des températures mensuelles, sur une série d'observations de 37 Ans (1971 à 2009) sur les quatre bassins hydrographiques (Seybouse, Medjerda, Chott Melrhir et Sahara), (Figure 7), montre que la température maximal atteints au mois de Juin et Aout alors que la température minimal est atteint au mois de janvier pour tous les quatre bassins hydrogéologiques.

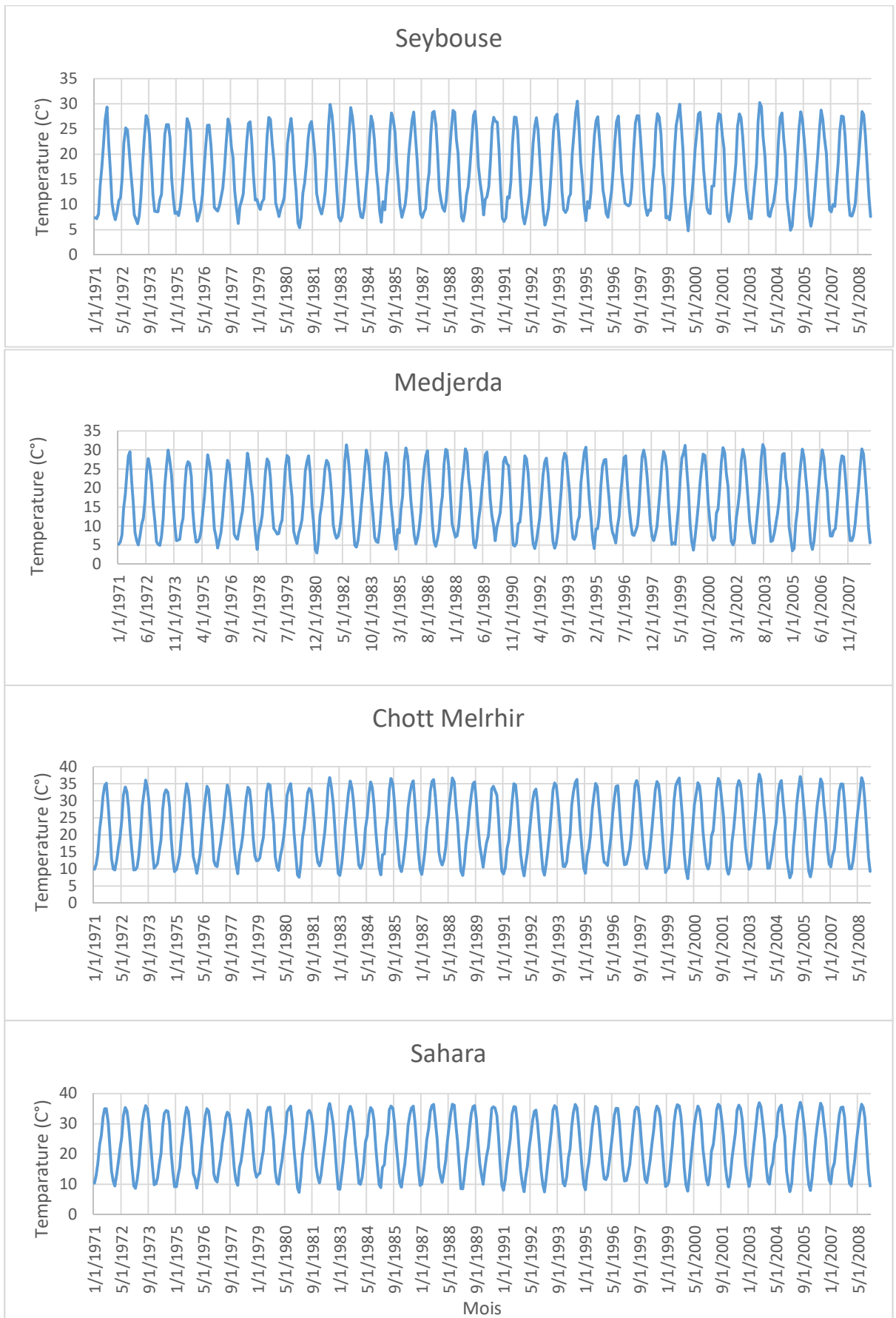


Figure 7. L'analyse des variations des températures mensuelles (Source GLDAS)

### 2.2.3.3 le Sirocco

Le Sirocco est un vent violent du Sud .le plus souvent, il est chargé de particules de sable extrêmement tenues.il se produit en toute saison, mais il est beaucoup plus fréquent pendant le printemps, l'été et l'automne que pendant l'hiver (Taibi 2012).

### 2.2.4 L'hydrographie

Au nord de la ligne de crête de l'atlas, le Nord Algérien, couvre d'ouest en Est, 4 grandes régions (bassins) hydrographiques :

Région 1 : Oranais-Chott Chergui (bassins hydrographiques 16, 04, 11,08).

Région 2 : Chellif-Zahrez (bassins hydrographiques 01,17 et la cote de Ténès 02A).

Région 3 : Algérois-Soummam-Hodna (bassins hydrographiques 03, 07, 10,14 et 12).

Ces 4 régions hydrographiques sont divisées en 16 bassins hydrographiques repartis en 2 catégories :

Les bassins tributaires de la Méditerranée, au nombre de 11, des oueds drainant l'Atlas Tellien (Les côtiers Algerios-02, côtiers Constantinois-03, et côtiers Orannais-04,le Tafna-16,la Macta-11,L'Isse-09,le Chellif-01,la Soummam-15,le Kebir Rhumel-10,le Seybouse-14 et la Medjerda-12)

Les bassins Endoréiques, au nombre de 4, des oueds dont l'écoulement se font vers les chotts (chott Chergui-08, chott Zahrez-17, chott Hodna-05, les hauts plateaux Constantinoise-07).

Le flanc Sud de l'atlas fait partie de la région 5 : le bassin du Chott Melrhir-06 et le bassin du Sahara-13.

Au total l'Algérie couvre 17 grands bassins hydrographiques. Ce découpage fut initié lors de l'étude générale intitulée Plan National de L'Eau (PNE) lancée en 1993. Les superficies de ces bassins sont approximativement comme suit :

Tableau 3 : Liste des 17 bassins hydrographiques de l'Algérie (Source site ANRH)

Bassins	Nom	Superficie en Km <sup>2</sup>
01	Chélif	43750
02	Côtiers Algérois	11958
03	Côtiers Constantinoise	11566
04	Côtiers Oranais	5831
05	Chott Hodna	25843
06	Chott Melrhir	68750
07	Hauts plateaux Constantinoise	9578
08	Chott Chergui (Hauts Plateaux Oranais)	52090
09	Isser	4149
10	Kebir Rhumel	8815
11	Macta	14389
12	Medjerda	7785
13	Sahara	2087995
14	Seybouse	6475
15	Soummam	9125
16	Tafna	7245
17	Zahrez	9141

La (Figure 8) représente le découpage de l'Algérie en régions hydrographiques selon Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue (ABHCSM).





Figure 8. Découpage de l'Algérie en régions hydrographiques (Source site ABHCSM)

### 2.3 Données pluviométriques utilisées

Pour notre travail, nous disposons de 19 Stations pluviométriques réparties sur les 4 bassins hydrographiques. Les stations sont recueillies au niveau de l'Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH) et l'Office National de Météo (ONM). Le Choix des stations repose sur les critères de qualité des données et de longueur des séries pluviométriques. Les périodes varient d'une station à une autre. Le (Tableau 4) représente les caractéristiques géographiques et les données disponibles des stations pluviométriques de la zone d'étude.

*Tableau 4 : caractéristiques géographiques et les données disponibles des stations pluviométriques de la zone d'étude.*

régions	No	Station code	Nom	Coordonnées (décimal)		Elévation	Période
				X	Y	(m)	
Méditerranéen	1	140403	Héliopolis	7.45	36.509	261	1971-2008
	2	140412	Guelma	7.44	36.458	270	1971-2008
	3	140502	Mechroha	7.84	36.363	646	1971-2008
	4	140505	Bouchegouf	7.71	36.456	110	1971-2008
	5	140606	Ain Berda	7.67	36.76	941	1971-2008
	6	140609	El kerma	7.67	36.75	940	1971-2008
	7	140611	Kef Mourad	7.77	36.69	21	1971-2008
	8	140631	Pont Bouchet	7.74	36.82	6	1971-2008
	9	120101	Souk Ahres	7.9	36.27	580	1971-2008
	10	120104	Khemissa	7.65	36.2	900	1971-2008
	11	120105	Toura	8.04	36.17	850	1971-2008
	12	120301	Tébessa	8.12	35.75	850	1971-2008
	13	120302	Boukhadra	7.95	35.45	900	1971-2008
	14	120304	Hammamet	8.19	35.36	875	1971-2008
	15	120307	Bekkaria	7.59	36.69	895	1971-2008
semi-aride	16	061416	Biskra	5.74	34.86	177	1974-2009
aride	17	060302	El Houita	2.45	33,65	916	1969-2007
	18	605660	Ghardaïa	3.81	32.4	460	1975-2016
	19	130402	Ouargla	5.27	31.55	154	1976-2009

La (Figure 9) représente la situation géographique des postes pluviométriques de la zone d'étude.

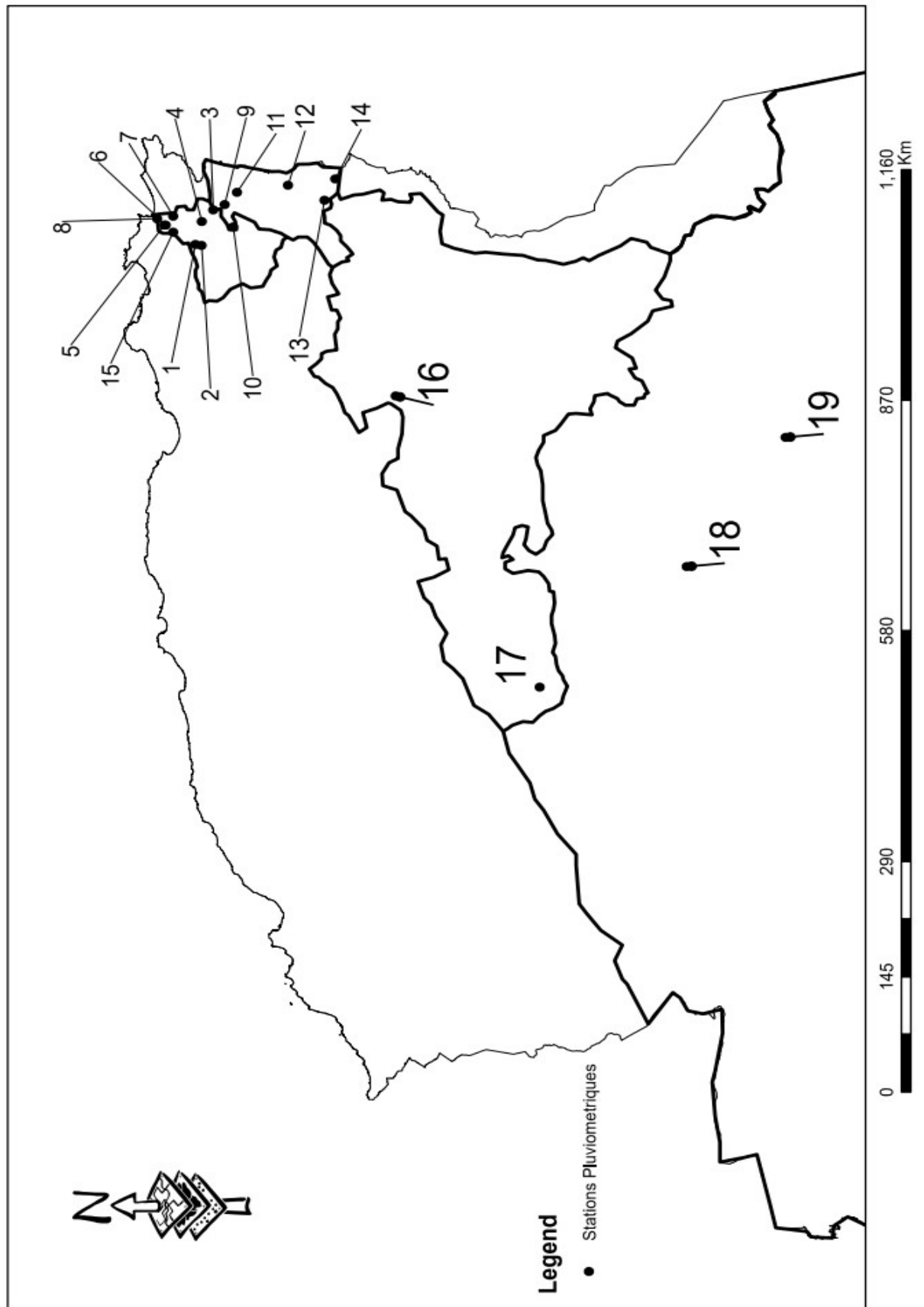


Figure 9. Situation géographique des postes pluviométriques de la zone d'étude

La (Figure 10) représente la distribution des statistiques des pluies mensuelles à travers les trois régions étudiées.

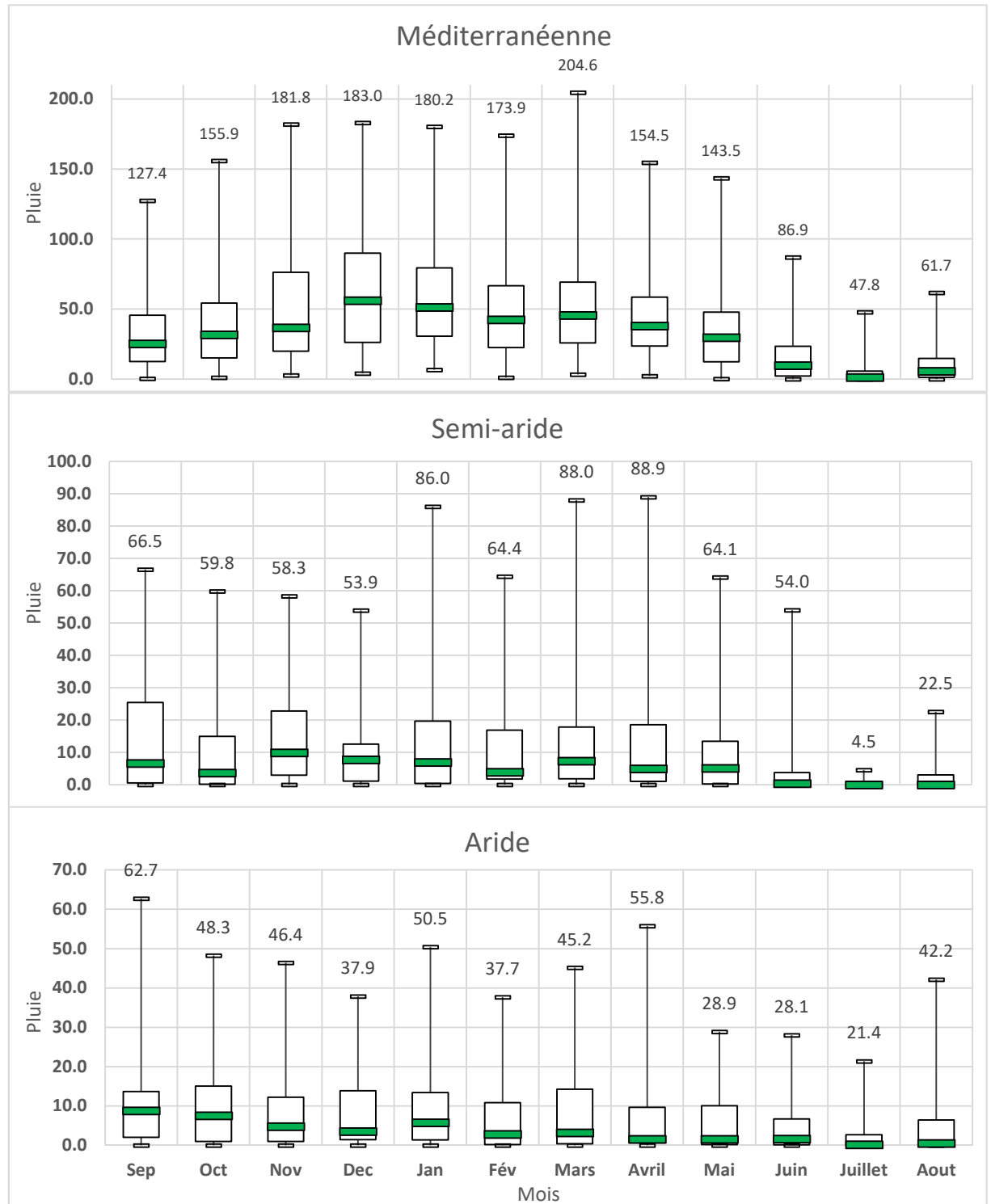


Figure 10. Distribution des statistiques des pluies mensuelles à travers les trois régions étudiées.

## **2.4 Conclusion**

La zone d'étude concerne le nord, centre et sud de l'Algérie qui se trouve limitées par les parallèles 29° et 37° et par les longitudes 0° Ouest et 9° Est. Les stations utilisées se situent sur quatre bassins versants. Les précipitations moyennes variant selon un gradient Est-Ouest et Nord-Sud. Les températures varient considérablement en passant du littoral aux hauts plateaux, les minima sont enregistrés en janvier et les maxima en juin et aout.

Le réseau climatologique retenu regroupe 19 postes pluviométriques repartis sur l'ensemble de la zone d'étude.

### 3.1 Introduction

Les méthodes retenues pour l'analyse du régime pluviométriques sont les méthodes de comblement des lacunes, les tests de détection d'une tendance. Ce qui suit, illustre dans les détails toutes les méthodes utilisées. En premier lieu, les logiciels utilisés pour l'accomplissement de ces travaux sont exposés, à savoir Matlab, R, et ArcGis. Ensuite, les méthodes utilisées pour combler les lacunes, les tests de détection d'une tendance sont détaillées.

### 3.2 Matlab (Matrix Laboratory)

Le logiciel Matlab est un logiciel de manipulation de données numériques et de programmation dont le champ d'application est essentiellement les sciences appliquées. Son objectif, par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique (Pierre, 2010).

### 3.3 R

R est un environnement intégré de manipulation de données, de calcul et de préparation de graphiques. Toutefois, ce n'est pas seulement un « autre » environnement statistique (comme SPSS [Statistical Package for the Social Sciences] ou SAS [Statistical Analysis System], par exemple), mais aussi un langage de programmation complet et autonome (Vincent, 2016).

### 3.4 ArcGis

ArcGIS est une plate-forme permettant aux organisations de créer, gérer, partager et analyser des données spatiales. Il se compose de composants de serveur, d'applications mobiles et de bureau et d'outils de développement. Cette plate-forme peut être déployée sur site ou dans le cloud (Amazon, Azure) avec ArcGIS Enterprise ou via ArcGIS Online, hébergée et gérée par Esri (Environmental Systems Research Institute).

ArcMap est l'application où vous affichez et explorez les jeux de données SIG pour votre zone d'étude, où vous attribuez des symboles et où vous créez des mises en page de carte

en vue de l'impression ou de la publication. ArcMap est aussi l'application que vous utilisez pour créer et modifier des jeux de données.

ArcMap représente les informations géographiques sous forme d'un ensemble de couches et autres éléments dans une carte. Les éléments cartographiques communs d'une carte incluent le bloc de données contenant les couches de carte pour une étendue donnée, une barre d'échelle, une flèche nord, un titre, un texte descriptif, une légende des symboles, pour ne citer que quelques exemples. (Arcgis.com)

### **3.5 Méthodes utilisées**

Nous avons devisé les méthodes retenues pour l'analyse du régime pluviométriques en deux catégories, la première catégorie inclus les méthodes utilisées pour combler les lacunes dans les séries pluviométriques, la deuxième catégorie comporte les tests de détections d'une tendance.

#### **3.5.1 Méthodes utilisées pour combler les lacunes**

##### **3.5.1.1 le paquet de Climatol**

Dans cette étude, Nous avons utilisé le logiciel de R Sous le paquet Climatol pour combler les lacunes dans certain station à partir des stations complète dite stations de références.

Climatol est un paquet R pour l'homogénéisation des séries climatologiques, développée par (José.,2016). Climatol est principalement consacré au problème de l'homogénéisation des séries climatologiques, c'est-à-dire à l'élimination des perturbations produites par les changements dans les conditions d'observation ou dans l'environnement proche pour ne refléter que les variations climatiques.

Ce paquet se basée sur deux méthodes, la régression de type 2, SNHT. Ces derniers sont intégrés sous des fonctions, la description de ces deux méthodes se trouve dans le document de paquet de climatol.

La fonction qui concerne de corrigé et combler automatiquement les séries climatologiques c'est la fonction « Homogen » (José.,2016).

La description et le manuel de l'utilisation de la fonction « Homogen » se trouve dans le document de paquet de Climatol.

### 3.5.1.2 Corrélation et droit de régression

#### 3.5.1.2.1 Corrélation

Une autre méthode statistique d'évaluation du degré d'affinité entre deux variables, est le coefficient de corrélation,  $r$ . les valeurs de  $r$  sont compris entre les limites  $-1$  et  $+1$ , dépendant de la corrélation entre les variables (Figure 11).en fait, plus la distribution des données observe tend vers une ellipse allongée, plus élevée est le degré de corrélation entre les variables, et par conséquent, plus grande est la valeur de  $r$  (positive ou négative). Des valeurs négatives de  $r$  indiquent simplement que le trace graphique des données décrite une ellipse inclinées vers la droite (Donald M.1972).

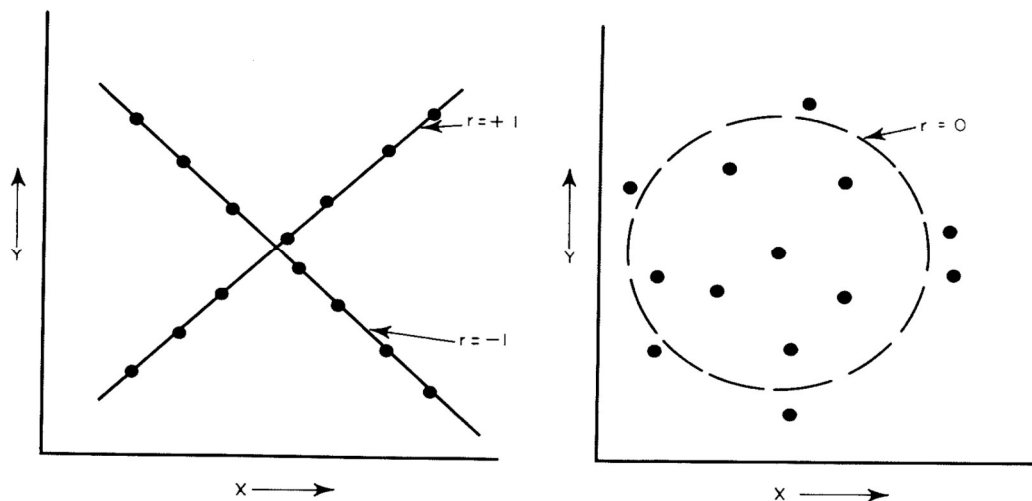


Figure 11. Coefficient de Corrélation

#### 3.5.1.2.2 Droite de régression

On va essayer d'établir l'équation de la liaison linéaire existante entre les deux variables  $x$  et  $y$ . la droite qui s'ajoute le mieux aux observation s'appelle la droite de régression. Cette



droite est un outil de prévision. On pourra estimer ou prévoir, à l'aide de cette équation, les valeurs d'une variable à partir de la valeur prises par l'autre variable (Abdel Waheb.,2012)

On choisit  $y$  comme variable dépendant ou expliquée et  $x$  comme variable indépendante ou explicative.

Soit un échantillon de  $n$  couples d'observations  $(x_i, y_i)$  et soit l'équation de la droite :

$$y_i = ax_i + b$$

Où  $b$  = ordonnée à l'origine,  $a$  = pente de la droite.  $Y$  représente la valeur estime (ou prévue) de la variable dépendante pour une valeur particulière  $x_i$  de la variable explicative (indépendante).

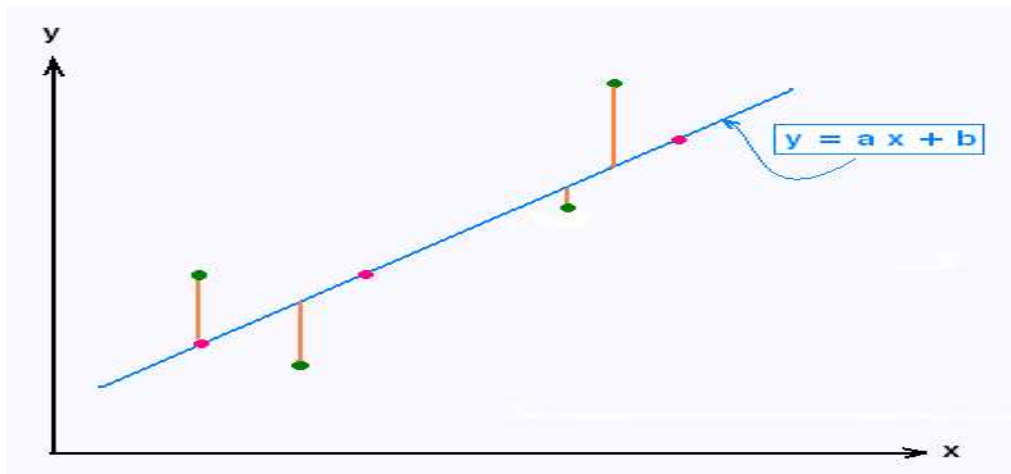


Figure 12. Droite de régression

La méthode de moindre carrée permet de déterminer les expressions de  $a$  et  $b$  de telle sorte que la somme  $S$  soit minimal.la droite ainsi obtenue est dite droit de moindre carre ou droite de régression.

$$a = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

$\bar{y}$  et  $\bar{x}$  Sont les moyennes de  $y_i$  et  $x_i$ .

### 3.5.2.1.1 L'Autocorrélation (Anderson 1941)

L'autocorrélation fait référence à la corrélation d'une série temporelle avec ses propres valeurs passées et futures. L'autocorrélation est parfois appelée "corrélation série", qui fait référence à la corrélation entre les membres d'une série de nombres disposés dans le temps. Les termes alternatifs sont «corrélation décalée» et «persistance». Les séries chronologiques géophysiques sont fréquemment autocorrélées en raison de l'inertie ou du processus de transfert dans le système physique. Par exemple, le drainage lent des réserves d'eau souterraine pourrait conférer une corrélation avec les débits annuels successifs d'une rivière.

L'autocorrélation complique l'application des tests statistiques en réduisant la taille effective de l'échantillon. L'autocorrélation peut également compliquer l'identification d'une covariance significative ou d'une corrélation entre des séries temporelles (par exemple, une précipitation avec une série d'anneaux d'arbres). Trois outils pour évaluer l'autocorrélation d'une série temporelle sont:

- le tracé de séries temporelles.
- le diagramme de dispersion retardé.
- la fonction d'autocorrélation.

#### 3.5.2.1.1.1 Fonction d'autocorrélation (Corrélogramme)

Un guide important de la persistance dans une série chronologique est donné par les séries de quantités appelées coefficients d'autocorrélation de l'échantillon, qui mesurent la corrélation entre les observations à différents moments. L'ensemble des coefficients d'autocorrélation disposés en fonction de la séparation dans le temps est la fonction d'autocorrélation de l'échantillon (ACF). La première étape pour comprendre la fonction d'autocorrélation est de comprendre le coefficient de corrélation produit-moment. Supposons  $N$  paires d'observations sur deux variables  $x$  et  $y$ . Le coefficient de corrélation entre  $x$  et  $y$  est donné par :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Où les sommations sont sur les N observations.

Une idée similaire peut être appliquée à des séries chronologiques pour lesquelles des observations successives sont corrélées. Au lieu de deux séries chronologiques différentes, la corrélation est calculée entre une série temporelle et la même série décalée d'une ou de plusieurs unités temporelles. Pour l'autocorrélation du premier ordre, le décalage est une unité de temps. Le coefficient d'autocorrélation de premier ordre est le coefficient de corrélation simple des premiers N-1 observations,  $x_t, t= 1,2, \dots, N-1$  et les prochains N-1 observations,  $x_t, t= 2,3, \dots, N$ .

La corrélation entre  $x_t$  et  $x_{t+1}$  est donnée par :

$$r_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (x_{(t)} - \bar{x}_{(1)})(x_{t+1} - \bar{x}_{(2)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} (x_{(t)} - \bar{x}_{(1)})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} (x_{t+1} - \bar{x}_{(2)})^2}}$$

Où  $\bar{x}_{(1)}$  est la moyenne des premières observations N-1 et  $\bar{x}_{(2)}$  est la moyenne des dernières observations N-1. Comme le coefficient de corrélation donné par l'équation précédente mesure la corrélation entre observations successives, c'est le coefficient d'autocorrélation ou de coefficient de corrélation en série.

Pour N raisonnablement grand, la différence entre les sous-périodes  $\bar{x}_{(1)}$  et  $\bar{x}_{(2)}$  peut être ignorée et peut être approchée par  $r_1$ .

Ou  $\bar{x} = \sum_{t=1}^N x_t$  est la moyenne globale.

Cette équation peut être généralisée pour estimer la corrélation entre des observations séparées par k ans :

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

La quantité  $r_k$  est appelée coefficient d'autocorrélation au décalage k. Le graphe de la fonction d'autocorrélation en fonction du décalage est également appelé corrélogramme.

Dans notre étude, nous avons utilisé le programme de R pour identifier l'autocorrélation à l'aide de la fonction ACF. La (Figure 13) représente le résultat de la fonction ACF (Corrélogramme) pour le mois de février de la station 140403 (Héliopolis).

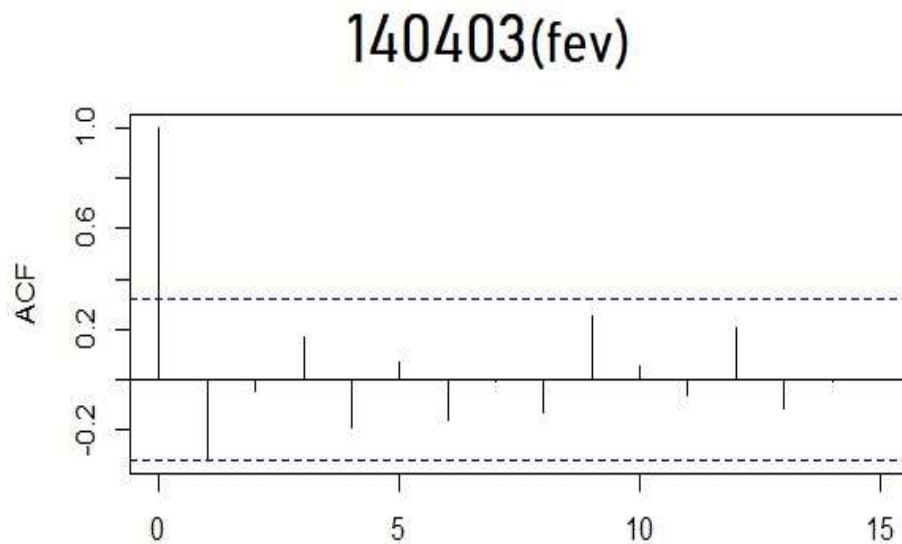


Figure 13. Exemple de résultat de Corrélogramme à la pluie mensuelle de station "140403" au mois de Février

D'après le résultat de fonction ACF à l'aide de logiciel de R, On remarque qu'il y a une autocorrélation au décalage 1.

L'existence d'une autocorrélation positive ou négative dans les données pluviométriques augmente la probabilité de détecter des tendances alors qu'elles n'existent pas. (Khaled et al 1998).

Les données de séries chronologiques sont souvent influencées par des observations ultérieures. Lorsque les données ne sont pas aléatoires et influencées par l'autocorrélation, les tests de Mann-Kendall modifiés doivent être utilisés dans les études de détection de tendance. Hamed et Rao (1998) ont proposé une approche de correction de la variance pour résoudre le problème de la corrélation sérielle dans l'analyse des tendances. La tendance est supprimée de la série et la taille effective de l'échantillon est calculée en utilisant des coefficients de corrélation en série significatifs.

La fonction de Matlab qui concerne le test modifié de Mann-Kendall est la fonction " Mann-Kendall Modified Test » qui développée par Fatichi (2009).

Pour notre étude nous avons utilisé le programme de Matlab avec des fonctions mathématiques pour le test de Mann-Kendall et la pente de Sen.

Les fonctions sont « Mann-Kendal Test » et " Mann-Kendall Modified Test » développée par Fatichi (2009) et la fonction de « Theil-Sen Robust Linear Régression » développée par Danziger (2015).

Les résultats de ces fonctions sont :

- P-Value : c'est la valeur de probabilité.
- Z: la statistique de test normale standard.
- M : c'est la pente de Sen.

Lorsque vous effectuez un test d'hypothèse dans les statistiques, une valeur P vous aide à déterminer l'importance de vos résultats. Les tests d'hypothèse sont utilisés pour tester la validité d'une allégation faite au sujet d'une population. Cette affirmation qui est à l'essai, en substance, s'appelle l'hypothèse nulle.

L'hypothèse alternative est celle que vous croiriez si l'hypothèse nulle était fausse. La preuve dans le procès est vos données et les statistiques qui vont avec. Tous les tests d'hypothèse

utilisent finalement une valeur p pour évaluer la force de la preuve (ce que les données vous disent sur la population). La valeur p est un nombre compris entre 0 et 1 et interprétée de la façon suivante:

- Une petite valeur p (typiquement  $\leq 0,05$ ) indique une forte preuve contre l'hypothèse nulle, donc vous rejetez l'hypothèse nulle.
- Une valeur p élevée ( $> 0,05$ ) indique une preuve faible par rapport à l'hypothèse nulle, de sorte que vous ne parvenez pas à rejeter l'hypothèse nulle.
- Les p-valeurs très proches de la valeur seuil (0,05) sont considérées comme marginales (peuvent aller dans les deux cas). Toujours signaler la valeur p afin que vos lecteurs puissent tirer leurs propres conclusions. (Dummies., 2018).

Pour notre étude nous avons étudié la tendance dans les trois niveaux de confiance (1%,5%,10%) :

- $p\text{-value} < 0.01$  indique une Forte tendance.
- $0.01 < P\text{-Value} < 0.05$  indique une moyenne tendance.
- $0.05 < P\text{-Value} < 0.1$  indique une faible tendance.
- $P\text{-Value} > 0.1$  Il n y a pas de tendance significative.

Pour faciliter le travail, et pour mieux comprendre la différence entre les deux tests (Mann-Kendall et Mann-Kendall modifiée), nous avons établir le plan suivante qui contient les étapes de travail :

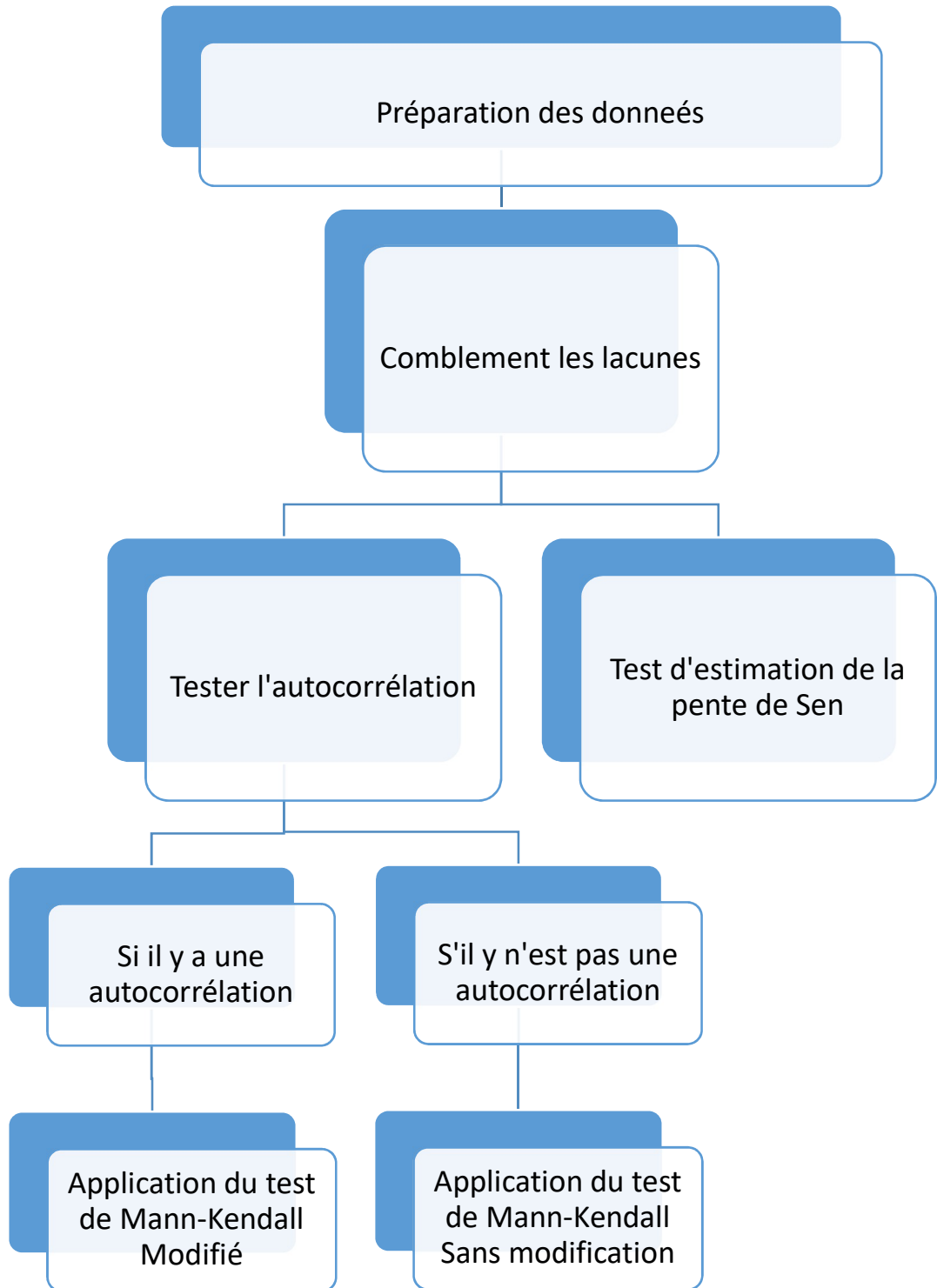


Figure 14. Organigramme de la méthodologie suivie pour la détection des tendances

Pour les indices de ETCCDI , Il peuvent être calculés à l'aide de logiciel de R sous le paquet « RCLimDex ».Le RCLimDex fournit une interface graphique conviviale pour calculer les 27 indices de base. Il effectue également un contrôle de qualité simple sur les données quotidiennes d'entrée. Il a été développé et maintenu par Xuebin Zhang et Yang Feng à la Division de la recherche climatique. Le logiciel a été utilisé pour la première fois lors de l'atelier sur l'Afrique du Sud qui s'est tenu au Cap, en Afrique du Sud, en juin 2004 et a été utilisé dans d'autres ateliers de l'ET.

### Conclusion

Les méthodes adoptées sont bien définies, les tests statistiques sont utilisés pour l'homogénéité des données pluviométriques et pour la détection d'une tendance. Les indices d'extrêmes (ETCCDI) permettent de suivre la variabilité des précipitations. Les logiciels utilisés permettent de faciliter le travail dans le domaine statistique.



## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats des deux méthodes (comblement de lacunes, tests de détection d'une tendance) comme décrite dans le chapitre 4.

En premier lieu, nous exposons les données pluviométriques avant et après application des méthodes de comblement de lacunes (méthode des moindres carrées et le paquet Climatol). Ensuite, nous présentons les résultats des tests de détection de tendances en appliquant le test de Mann-Kendall à trois échelles temporelles (Mensuelles, Saisonnes, Annuelles), ainsi que sur les pluies Extrêmes.

## 4.2 Méthodes de comblement des lacunes

Comme décrite dans le chapitre 4, nous avons utilisé deux méthodes pour combler les lacunes dans les séries pluviométriques de certaines stations, la méthode des moindres carrées et le paquet de Climatol.

### 4.2.1 Méthode des moindres carrées

Nous avons appliqué cette méthode sur deux stations de bassin hydrographie de Sahara (codé 13 par l'ANRH) qui se situent dans le même sous bassin (04), plus exactement dans la Wilaya de Ouargla. Le type de données ainsi que la période disponible de ces stations sont montrées dans le tableau (6).

*Tableau 6: Stations comblées par la méthode de moindres carrées*

Code	Données Disponibles	Période
130402	Annuelles, PJ max annuelle	1975 – 1994
130428	Annuelles, PJ max annuelle	1990 – 2009

La (Figure 15) et la (Figure 16) représentent respectivement les variations des pluies annuelles et maximales journalières (par année) au niveau des deux stations.

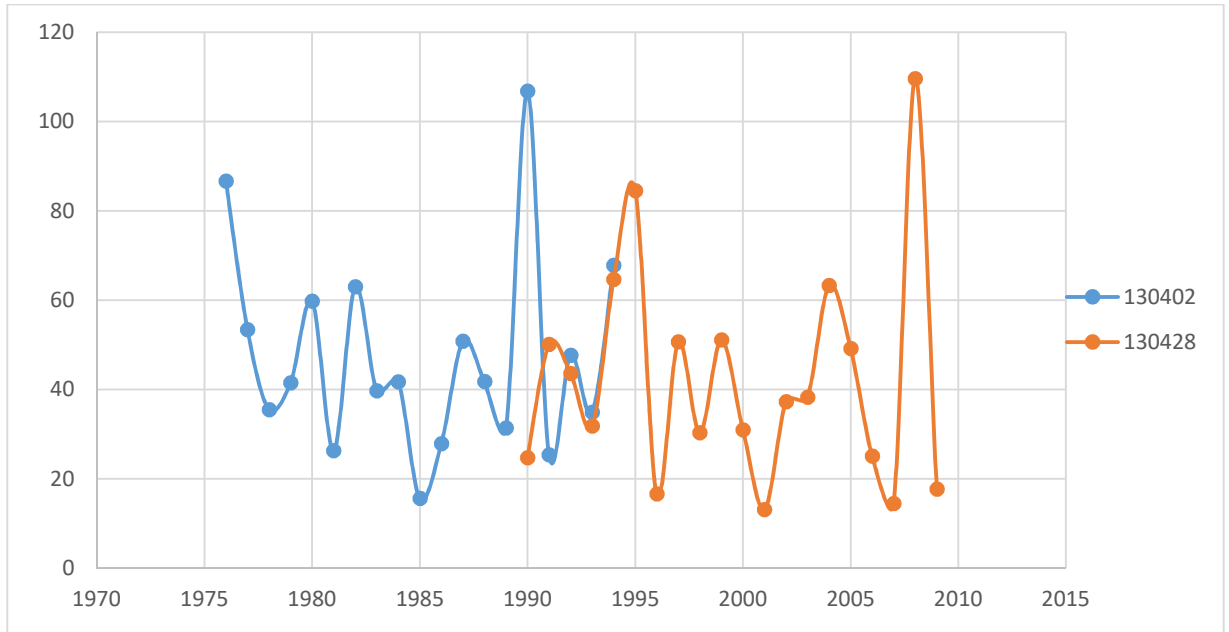


Figure 15: Variation de la pluie annuelles des deux stations

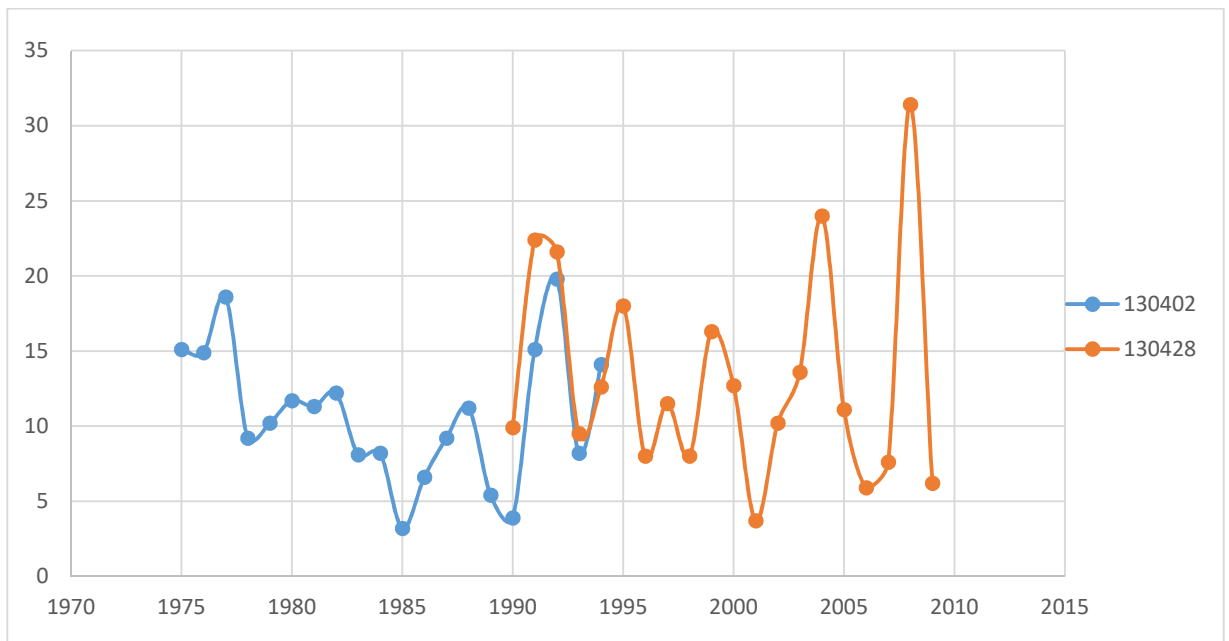


Figure 16. Variation de la pluie journalière maximale (par année) de deux Stations

Le coefficient de corrélation obtenu après l'analyse de corrélation des données de ces deux stations dans la période (1990-1994) est :

- Pour l'analyse de pluie annuelle :  $r = 0.68$ .
- Pour l'analyse de Pluie journalier maximal annuelles :  $r = 0.83$ .

D'après les deux valeurs de coefficient de corrélation, Nous avons conclu qu'il y a une relation entre les deux stations et nous pouvons donc appliquée la méthode des moindres carrés pour combler les lacunes de la station 130402 avec les données de la station 130428.

La (figure 17) et (figure 18) montre les variations des pluies annuelles et maximales journalières (par année) de la station 130402 après comblement de lacune en utilisant la méthode des moindres carrés.

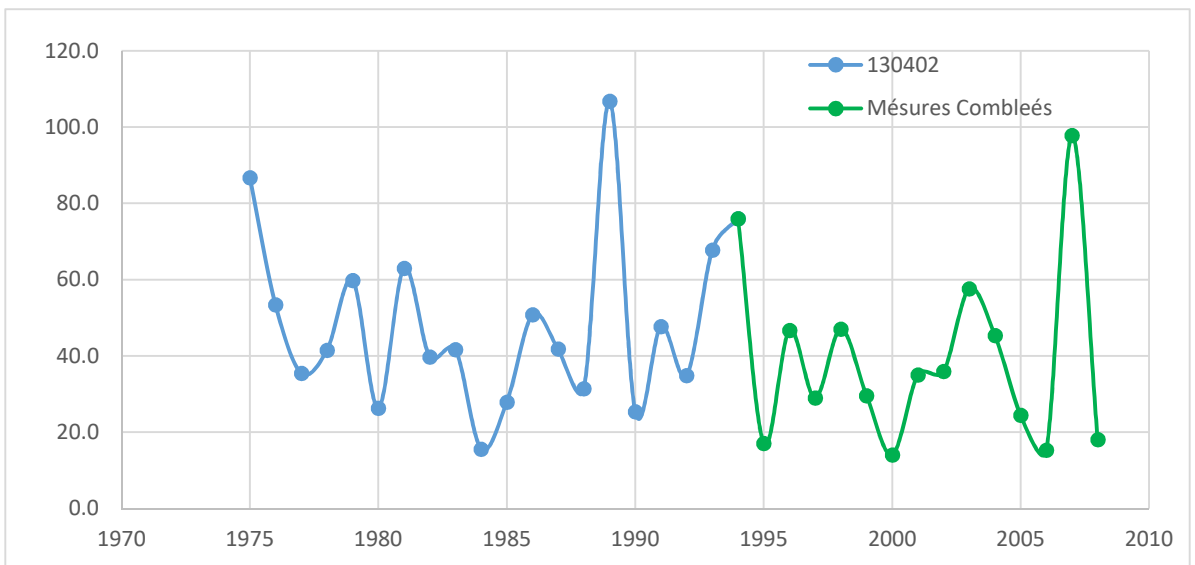


Figure 17. Variation de la pluie annuelle après comblement des lacunes

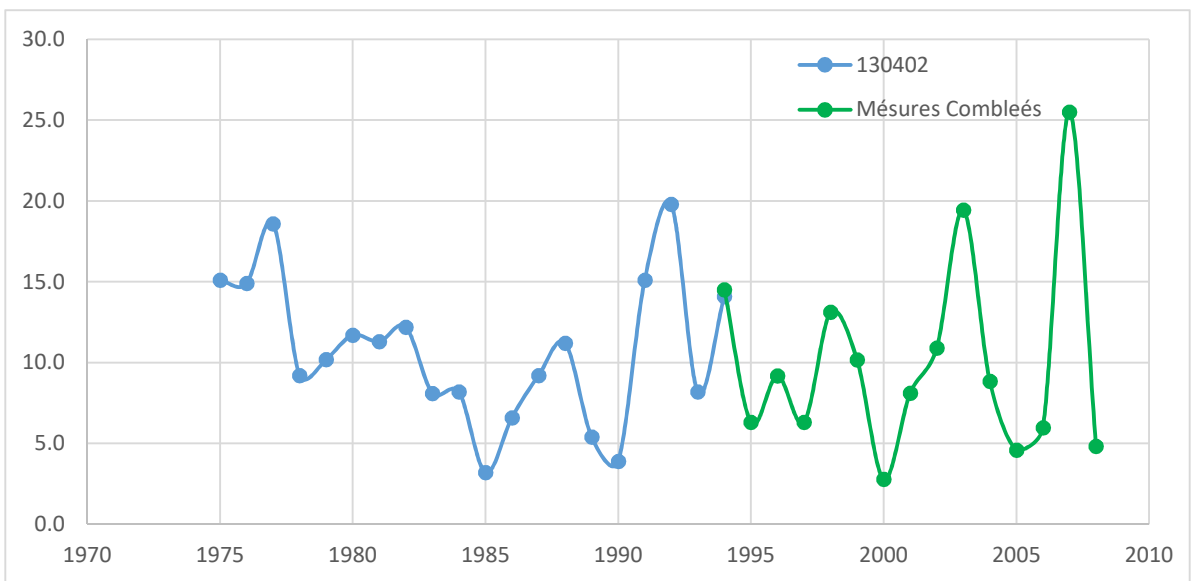


Figure 18. Variation de la pluie journalière maximale (par année) après comblement des lacunes

Donc, après l'utilisation de cette méthode, nous avons obtenu une série pluviométrique (130402) avec une période de 34 ans (1975-2009) que nous pouvons utiliser pour les tests de détections d'une tendance.

#### 4.2.2 Le paquet de Climatol

Dans cette étude, nous avons utilisé le paquet Climatol sous le logiciel R, comme c'est décrit dans le chapitre 4, sur les données pluviométriques mensuelles pour les stations de bassin hydrographique de Seybouse (14).

La (Figure 19) représente les données pluviométriques disponible dans le bassin hydrographique Seybouse. Ou les nombres dans l'axe y représentent les N° des stations comme décrite dans le (Tableau 3) du chapitre 3.

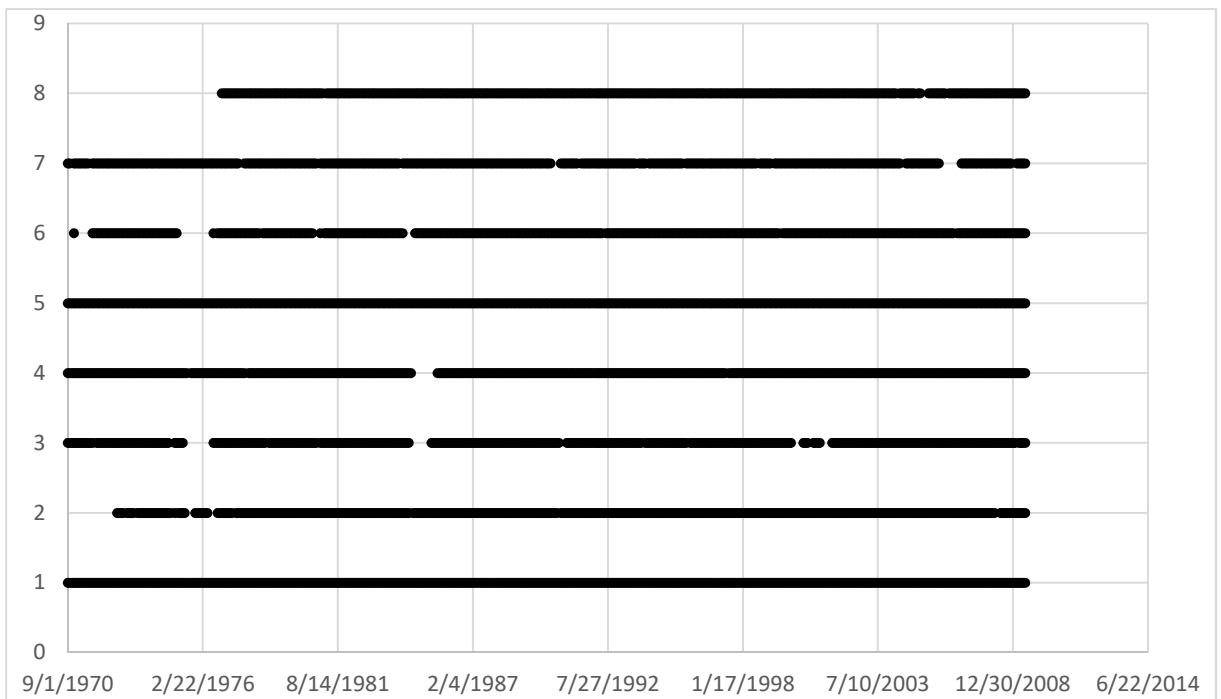


Figure 19. Données pluviométriques disponible dans le bassin hydrographique (14)

D'après la (Figure 19), nous remarquons qu'il y a deux stations avec des séries complètes (stations de référence), qui sont : la station de Héliopolis (140403) station de Ain Berda (140606). Le paquet Climatol va utiliser ces deux stations pour combler les autres stations. Les résultats de Climatol sont montrés dans la (Figure 20).

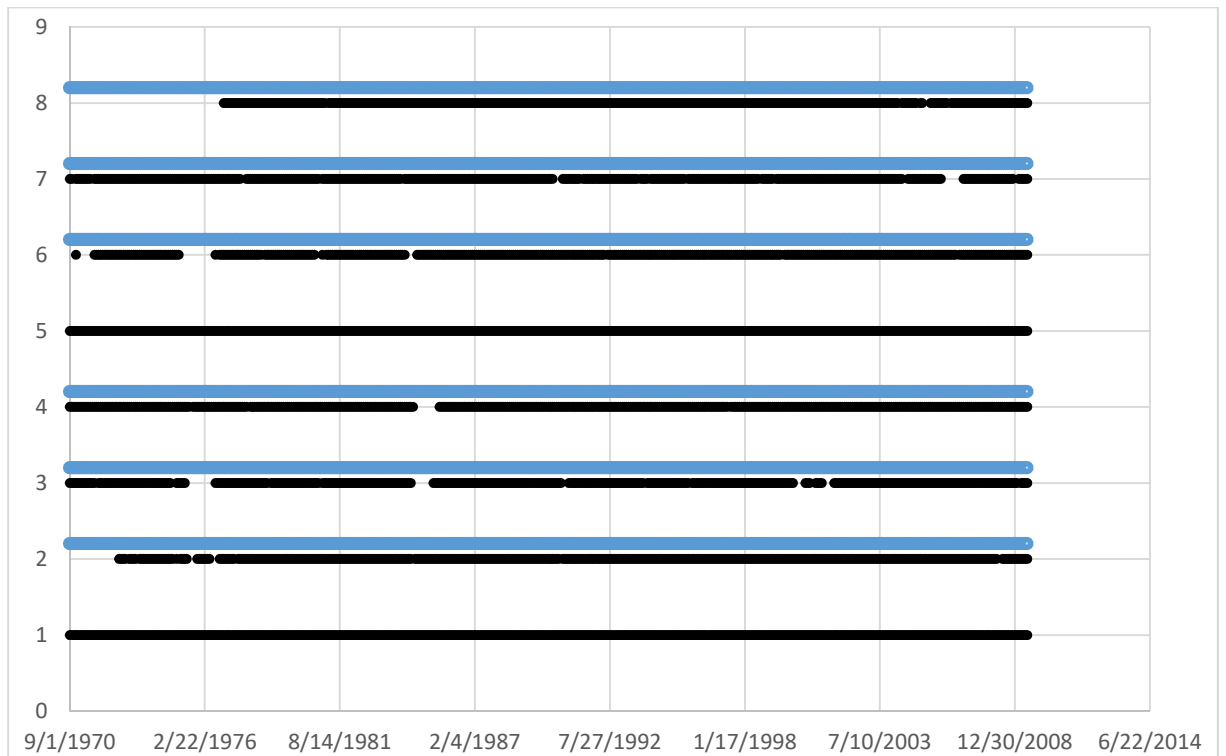


Figure 20. Résultats de Climatol pour les pluies mensuelles

Les lignes bleues représentent les données des stations après utilisation le paquet Climatol. On remarque que la plus longue période (7 ans) de comblement est dans la station n°8 (Pont Bouchet (140631)).

Après l'utilisation de paquet de Climatol, nous avons obtenu des séries pluviométriques complètes avec des périodes de 37 ans (1971-2008) que nous pouvons utiliser dans les tests de détections de tendances.

### 4.3 L'analyse de l'autocorrélation

L'analyse de l'existence d'une autocorrélation est très importante pour connaître le type de test de Mann-Kendall a utilisée comme décrite dans le chapitre 4.

Nous pouvons résumée les résultats de Corrélogramme de la fonction de ACF dans le (Tableau 7).

Tableau 7: Résultats de l'Autocorrélation

Station	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	An	PJMAX	Autom	Hiver	Print	Été
140403	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no
140412	no	<b>Oui</b>	no	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no
140502	no	no	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no	<b>Oui</b>	no
140505	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	<b>Oui</b>	no
140606	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no
140609	no	<b>Oui</b>	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no
140611	no	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no
140631	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	<b>Oui</b>	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no
120101	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>
120104	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	no	no	no	no
120105	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no
120301	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
120302	no	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
120304	no	no	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	<b>Oui</b>	no	no	<b>Oui</b>	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no
120307	no	no	no	no	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	no	no	no
061416	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	no
060302	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	no	no	<b>Oui</b>
605660	no	no	no	<b>Oui</b>	no	no	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no	no	no	no	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>	no
130402	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	no	no	/	/	/	/

**Oui** : représente la Présence de l'autocorrélation.

**No** : représente l'absence de l'autocorrélation.

#### 4.4 Tests de détections d'une tendance

Dans cette partie, nous avons organisé les résultats des tendances en appliquant le test de MK (ou test modifié de MK [MMK]) ainsi que la pente de Sen, à trois échelles temporelles (Mensuelles, Saisonnes, Annuelles), ainsi que sur les pluies Extrêmes.

##### 4.4.1 Pluie Mensuelles

Le (Tableau 8) représente les résultats des valeurs de test de pente de Sen.

Tableau 8: résultats de la pente de Sen pour la pluie mensuelle

Station	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
140403	0.1	-0.5	-0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	<u>-0.6</u>	0.2	<u>0.7</u>
140412	-0.1	-0.5	-0.5	-0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	-0.6	0.2	0.4
140502	0.2	0.0	0.2	<u>-0.5</u>	0.5	<u>0.2</u>	0.0	0.0	0.1	-0.2	0.0	<u>0.4</u>
140505	0.3	<b>-0.7</b>	-1.0	-0.2	0.2	-0.1	0.0	0.0	0.4	-0.6	0.4	1.1
140606	0.3	-0.2	<u>-1.2</u>	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.3	<u>-1.0</u>	0.1	1.7
140609	0.0	-0.3	<u>-0.9</u>	-0.4	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	-0.6	0.2	2.0
140611	-0.1	-0.1	<b>-0.4</b>	-0.2	-0.1	-0.3	0.0	0.0	0.2	-0.5	-0.1	0.0
140631	0.6	-0.4	-1.0	-0.5	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.2	<b>-1.1</b>	0.4	<b>1.9</b>
120101	0.4	-0.9	<b>-1.5</b>	-0.5	0.4	0.4	0.0	0.1	-0.2	-0.6	-0.1	1.6
120104	0.1	<b>-0.7</b>	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	-0.1	0.1	1.5
120105	-0.8	0.0	0.6	1.1	0.2	0.2	0.0	0.2	-0.5	-0.3	0.0	2.0
120301	-0.2	<b>-0.7</b>	-0.4	-0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.5
120302	0.1	-0.5	-0.3	-0.2	-0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
120304	-0.4	<b>-0.9</b>	<b>-0.9</b>	-0.4	<u>-0.5</u>	-0.2	0.0	0.1	-0.3	0.1	-0.2	0.3
120307	0.2	-0.6	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3
061416	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	-0.1	<u>0.3</u>
060302	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.0
605660	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.2	-0.2	-0.1
130402	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Avec:

- **Audacieux** : représente une forte tendance (au niveau de confiance de 1%).
- *Italique* : représente une moyenne tendance (au niveau de confiance de 5%).
- Souligner : représente une fiable tendance (au niveau de confiance de 10%).
- Normal : représente aucune tendance significative.

La (Figure 21) représente les résultats de test de détections des tendances à l'échelle mensuelle

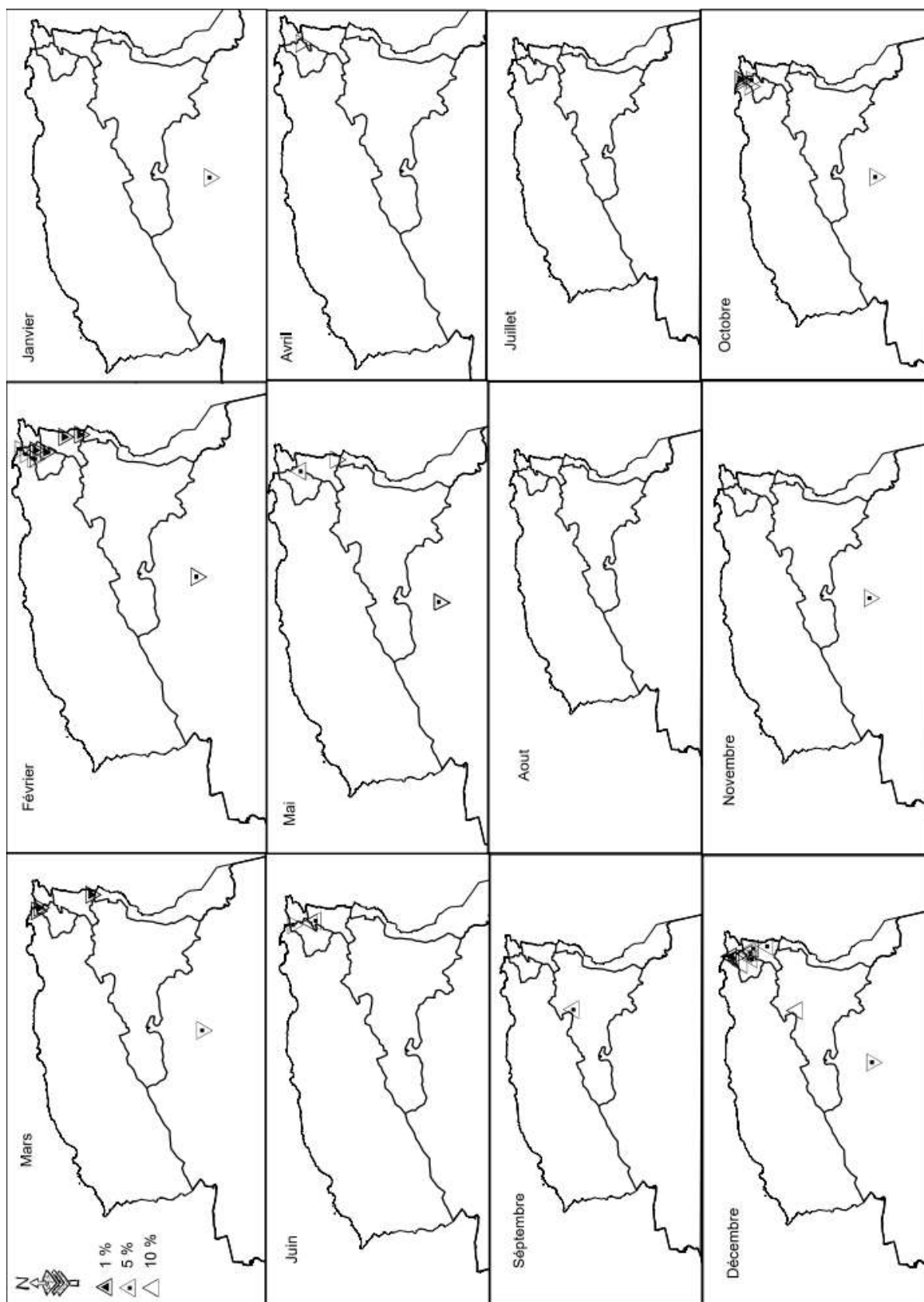


Figure 21. Carte des résultats des tendances pour les pluies mensuelles.



(La Figure 21) montre qu'à l'échelle mensuelle, les tendances observées au niveau des bassins versants Seybouse et Medjerda sont généralement similaires. Elles sont décroissantes aux mois de février, mars et octobre avec des différents degrés de significations. Par contre au mois de décembre, une tendance croissante est observée sur ces bassins. Les pentes de Sen (Tableau 8) pour les tendances négatives varient entre -0.5 et -1.5 alors que pour les tendances positives elles varient de 0.4 jusqu'à 2. Cependant, les pluies enregistrées dans la station de Ghardaïa (605660), connaissent des tendances décroissantes (moyennes) sur les sept mois de l'année allant du mois de octobre jusqu'au mois de mars en plus du mois de mai, avec des pentes variant de -0.1 à -0.2. Au niveau de la station de Biskra (061416), les tendances de précipitation ne sont observées qu'au mois de septembre (moyenne) et décembre (faible) avec des valeurs de pente respectives de 0.4 et 0.3. Enfin, les précipitations mensuelles mesurées dans le reste des stations (Laghouat et Ouargla) ne connaissent pas de tendances significatives selon le test de MK.

#### 4.4.2 Pluie saisonnière

Le (Tableau 9) représente les résultats de la pente de Sen pour la pluie saisonnière.

*Tableau 9: Résultats de pente de Sen pour la pluie saisonnée*

<b>Station</b>	<b>Automne</b>	<b>Hiver</b>	<b>Printemps</b>	<b>Été</b>
<b>140403</b>	-0.269	0.733	-0.267	0.047
<b>140412</b>	-0.275	0.175	-0.313	0.122
<b>140502</b>	-0.450	0.618	-0.150	0.400
<b>140505</b>	-0.380	1.235	-0.346	0.023
<b>140606</b>	-0.267	<u>2.325</u>	<u>-0.521</u>	0.111
<b>140609</b>	-0.254	1.969	<u>-1.338</u>	-0.071
<b>140611</b>	-0.450	-0.038	-0.630	-0.120
<b>140631</b>	-0.787	2.287	<u>-1.592</u>	0.232
<b>120101</b>	-0.633	1.822	-1.718	<u>0.785</u>
<b>120104</b>	0.186	0.525	0.214	0.140
<b>120105</b>	-0.875	1.104	3.072	0.808
<b>120301</b>	0.546	-0.631	<u>-1.400</u>	-0.114
<b>120302</b>	0.017	0.055	-1.160	0.074
<b>120304</b>	-0.485	-0.875	<u>-2.438</u>	-0.031
<b>120307</b>	0.381	-0.350	-0.991	0.139
<b>061416</b>	<b>0.535</b>	0.816	0.063	-0.041
<b>060302</b>	-0.143	0.382	-0.443	0.094
<b>0605660</b>	-0.116	<u>-0.320</u>	-0.134	0.057
<b>130402</b>	/	/	/	/

La (Figure 22) représente les résultats des tendances pour la pluie saisonnière.

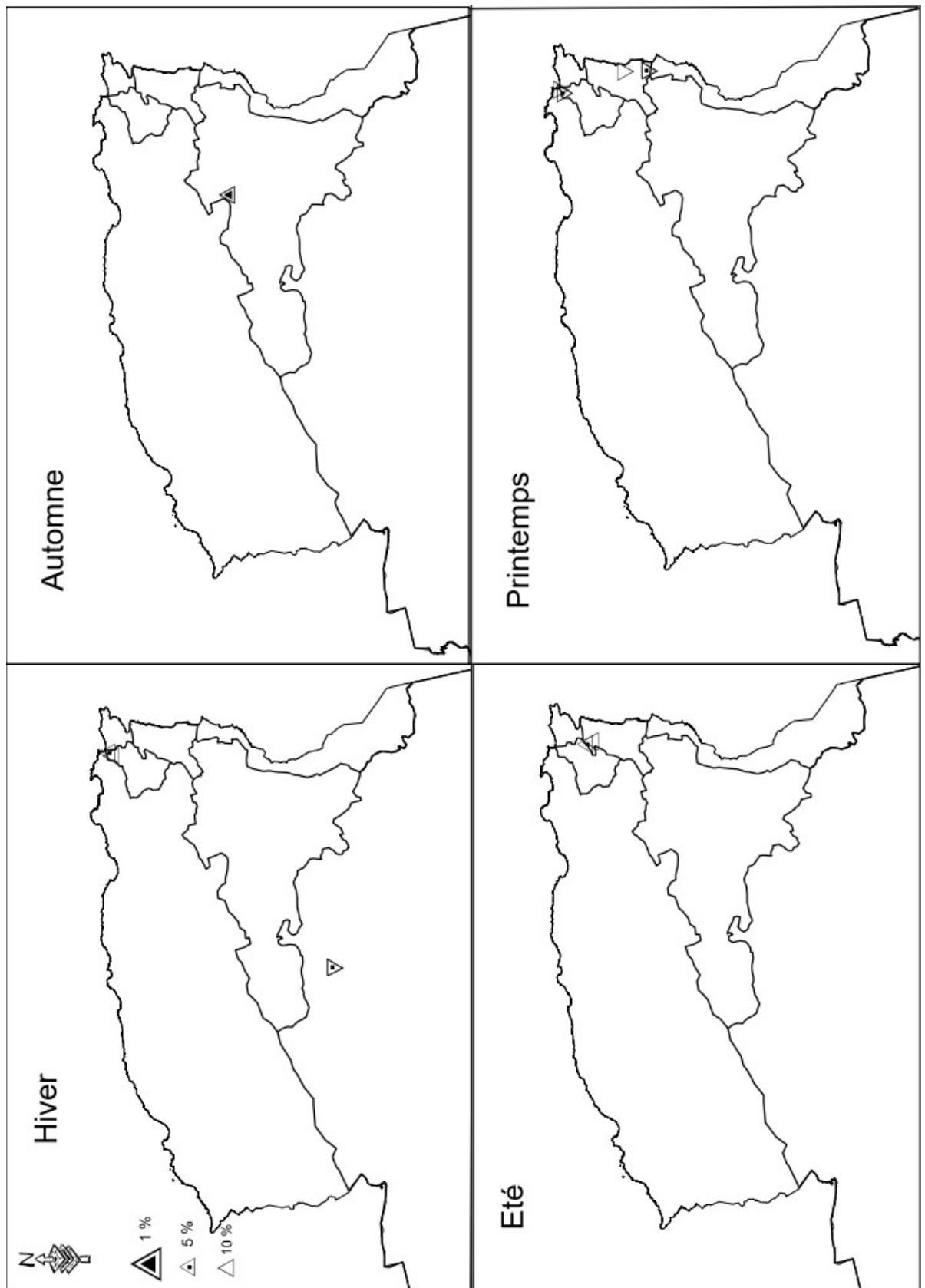


Figure 22. Carte des résultats des tendances pour les pluies saisonnières.

Pour la pluie saisonnière, la (Figure 22) montre qu'en automne, une forte tendance croissante est observée au niveau de la station de Biskra avec une pente de Sen égale à 0.5. En hiver, les pluies enregistrées dans les stations de bassin versant de Seybouse connaissent des tendances croissantes moyennes et faibles avec des pentes respectives de 2.2 et 2.3 mais aussi une faible tendance décroissante au niveau de la station de Ghardaïa avec une pente de -0.3. Au printemps, les pluies enregistrées au niveau des stations des bassins versants de Seybouse et Medjerda connaissent des tendances décroissantes (moyennes et faibles) avec des valeurs de pente entre -2.4 et -0.5. Par contre, des tendances croissantes (moyennes et faibles) avec des valeurs de pente 0.4 et 0.7 sont enregistrées en été dans les mêmes bassins versants (Seybous et Mejderda).

#### 4.4.3 Pluie Annuelle

Le (Tableau 10) représente les résultats de P-value, Z et la pente de Sen pour la pluie annuelle.

*Tableau 10: Résultats de P-value, Z, Pente de Sen pour la Pluie annuelle*

Station	P-Value	Z	Pente de Sen
140403	0.960	0.050	0.053
140412	0.744	-0.327	-0.335
140502	<b>0.008</b>	<b>2.640</b>	<b>16.486</b>
140505	0.960	0.050	0.125
140606	0.407	0.830	1.725
140609	1.000	0.000	-0.133
140611	0.218	-1.232	-1.414
140631	0.042	2.037	4.020
120101	0.900	0.126	0.230
120104	0.706	0.377	1.136
120105	0.530	0.629	2.908
120301	0.651	-0.453	-0.733
120302	0.763	-0.302	-0.797
120304	0.074	-1.785	-2.744
120307	0.801	-0.251	-0.223
061416	0.035	2.111	1.458
060302	0.672	-0.423	-0.336
605660	0.481	-0.704	-0.267
130402	0.123	-1.542	-0.569

La (Figure 23) représente les résultats des tendances pour la pluie annuelle.

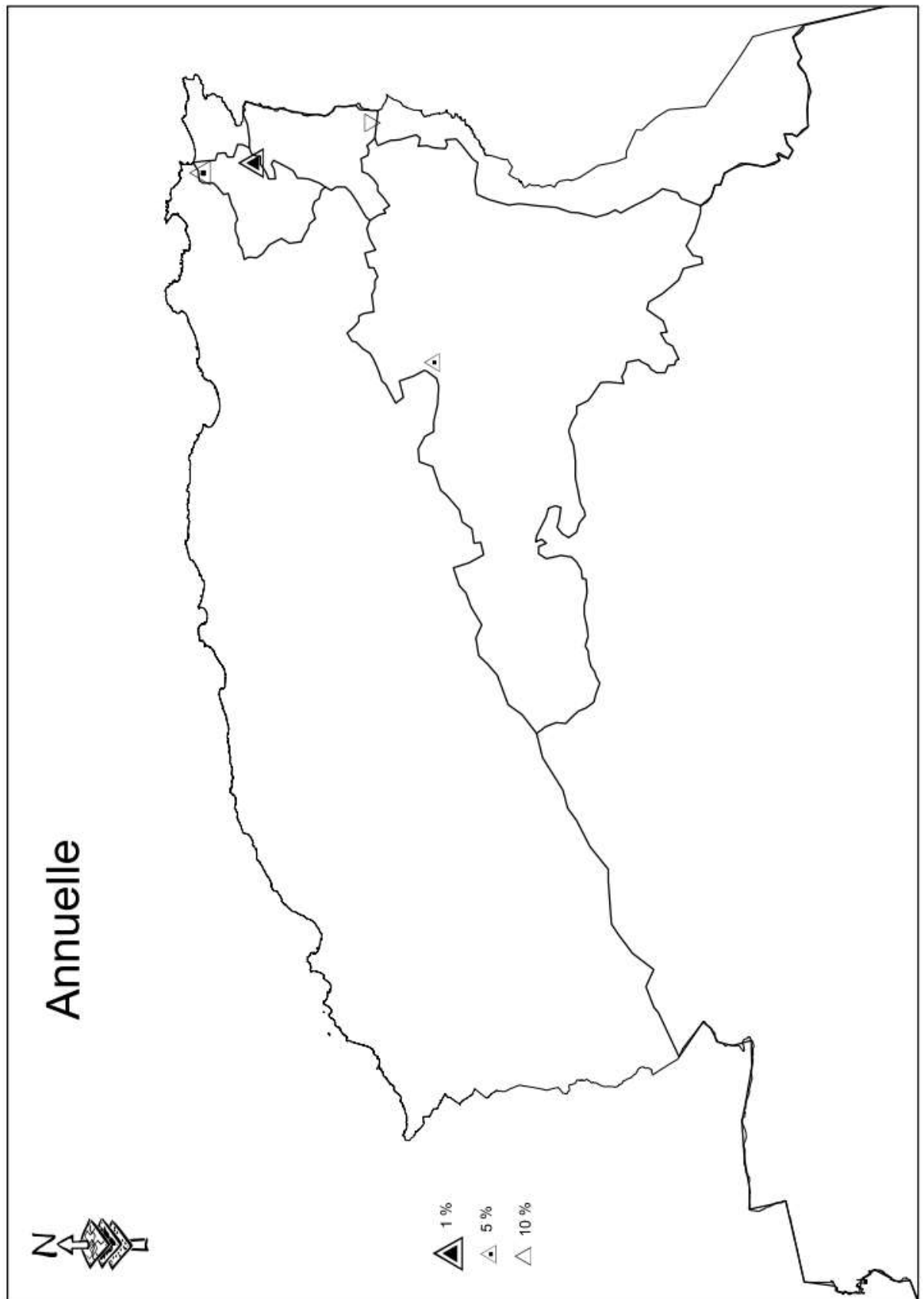


Figure 23. Carte des résultats des tendances pour les pluies annuelles.

La (Figure 23) représente les résultats des tendances à l'échelle annuelle, elle montre que les pluies enregistrées au niveau des deux stations de bassin versant de Seybouse connaissent des tendances croissantes (forte et moyenne) avec des valeurs de pente respective de 16.4 et 4. Le bassin versant de Medjerda connaît aussi une faible tendance décroissante avec une pente de -2.7. Par contre, la pluie enregistrée au niveau de station de bassin de Chott Melhir connaît une tendance croissante moyenne avec une valeur de pente de 1.4.

#### 4.4.4 Les Valeurs Extrêmes

Les valeurs extrêmes ont été partagées en deux catégories : les pluies journalières maximales annuelles et les indices de changement climatiques (ETCCDI).

##### 4.4.4.1 La pluie journalière maximale annuelle

La pluie journalière maximale utilise dans les pluparts des études de protection, que ce soit pour le dimensionnement : (réseaux pluvial, Aménagement des cours d'eau, évacuateur des crues, etc.). Le (Tableau 11) représente les résultats de p-value, Z et la pente de Sen. La (Figure 24) représente les résultats des tendances pour la pluie journalière maximale annuelle.

*Tableau 11: Résultats de P-value, Z, Pente de Sen pour la Pluie Journalier Maximale annuelle*

Station	P-Value	Z	Pente de Sen
140403	0.195	1.295	0.406
140412	0.020	2.328	0.564
140502	0.890	-0.138	-0.020
140505	0.379	0.880	0.268
140606	0.237	1.182	0.352
140609	0.285	1.069	0.269
140611	0.950	-0.063	-0.025
140631	0.403	0.837	0.366
120101	0.544	0.607	0.108
120104	0.186	1.322	0.425
120105	0.167	-1.383	-0.271
120301	0.871	-0.163	-0.027
120302	0.083	1.734	0.269
120304	0.094	-1.674	-0.353
120307	0.193	-1.30	-0.230
061416	0.307	1.022	0.262
060302	0.233	1.193	0.188
605660	0.907	-0.336	0.014
130402	0.125	-1.534	-0.150

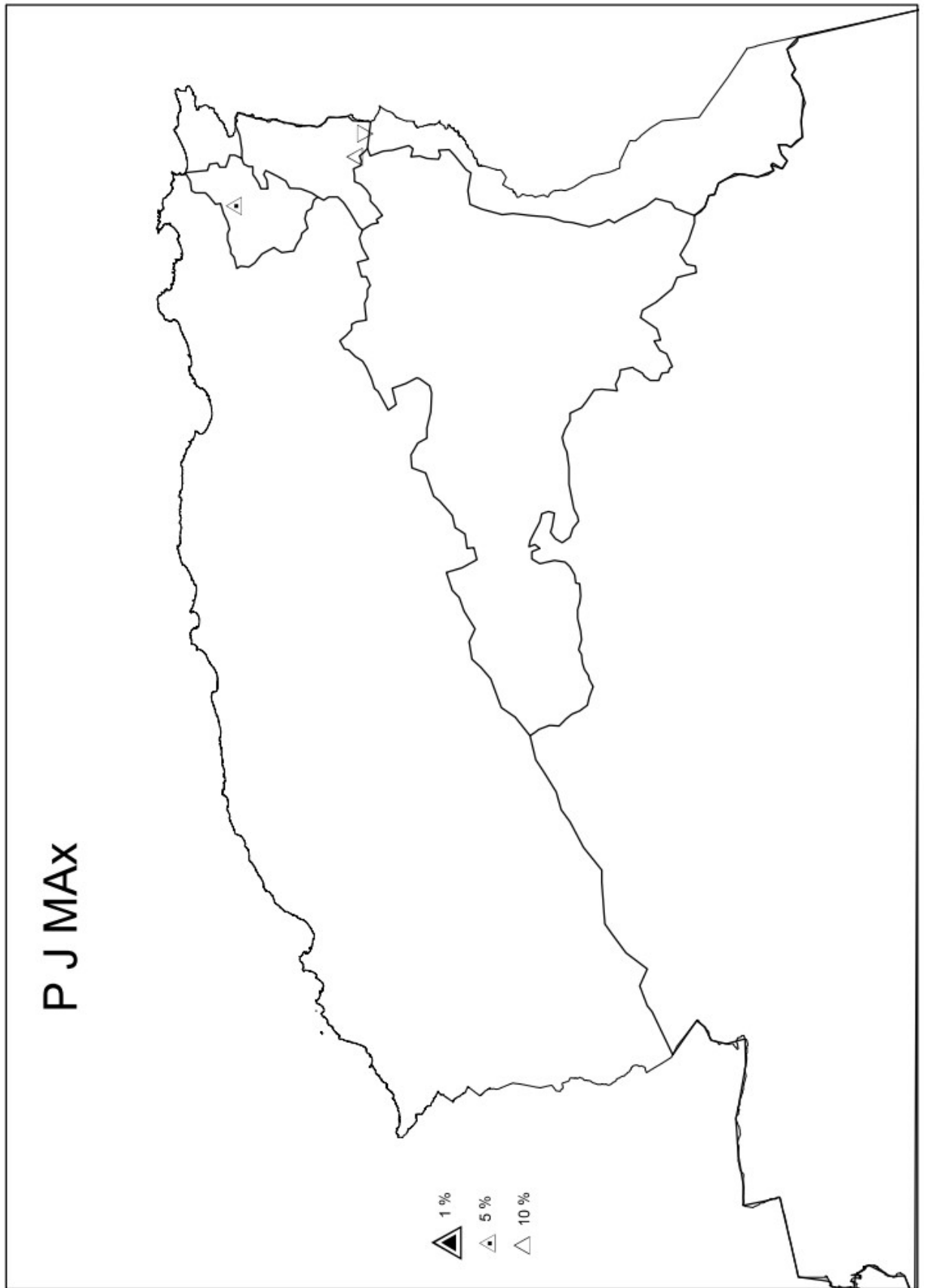


Figure 24. Carte des résultats des tendances pour les pluies journalières maximales annuelles.

La (Figure 24) montre que les pluies journalières maximales (par années) enregistrées au niveau des stations du bassin versant de Seybouse, une seule connaît une augmentation avec une pente de 0.5. Des faibles tendances sont aussi enregistrées au niveau des stations de bassin versant de Medjerda (croissante et décroissante) avec des pentes variant entre -0.3 et 0.2.

#### 5.3.4.2 Les indices (ETCCDI)

L'étude de la tendance des indices pluviométriques est effectuée que sur les données pluviométriques journalières des stations de bassin versant de Seybouse (Figure 25). Ce choix a été fait vu la disponibilité des pluies journalière qui se trouve seulement dans ce bassin versant.

Nous avons utilisé le paquet RCLimDex sous le logiciel R pour calculer ces indices (comme décrit dans le chapitre 4).

#### 4.4.4.2.1 L'autocorrélation

Le (Tableau 12) représente les résultats de l'autocorrélation pour les indices.

*Tableau 12: Résultats de l'autocorrélation pour les indices*

Station	cdd	cwd	prcptot	R10	R20	r95p	r99p	Rx1day	Rx5day	sdi
140403	no	no	no	no	no	no	Oui	no	no	no
140412	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
140502	no	Oui	Oui	Oui	Oui	no	no	no	Oui	Oui
140505	no	Oui	no	Oui	no	Oui	no	no	no	no
140606	no	no	Oui	no	no	no	no	no	no	no
140609	Oui	no	no	no	no	no	no	no	no	Oui
140611	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
140631	Oui	Oui	no	Oui	no	no	Oui	no	no	no



#### 4.4.4.2 Résultats des tendances pour les indices

Le (Tableau 13) représente les résultats de pente de Sen pour les indices.

*Tableau 13 : Résultats de Pente de Sen pour les Indices*

Station	cdd	cwd	prcptot	R10	R20	r95p	r99p	Rx1day	Rx5day	sdi
140403	-0.222	0	0.822	0.125	0	0.310	0	0.283	-0.025	0.025
140412	-0.364	0	1.843	0.111	0	0.711	0	<u>0.395</u>	0.250	0.017
140502	<u>-0.905</u>	-0.095	<b>16.486</b>	<b>0.875</b>	<b>0.400</b>	2.044	0	-0.120	0.682	<u>0.103</u>
140505	-0.417	0	0.358	0	0	1.158	0	0.160	0.181	0.004
140606	-0.333	0	1.850	0.100	0.053	1.600	0	0.300	0.464	0.021
140609	0	0	3.953	<i>0.226</i>	<b>0.182</b>	<i>3.563</i>	0	0.159	<i>1.041</i>	<b>0.124</b>
140611	0	0	-2.594	-0.150	-0.083	0.088	0	-0.050	0.213	-0.004
140631	<u>-0.692</u>	0	<i>4.020</i>	<b>0.250</b>	<b>0.143</b>	<i>3.636</i>	0	0.396	0.600	<i>0.053</i>

La (Figure 26) représente les résultats des tendances pour les indices (ETCCDI) qui concerne la pluie.

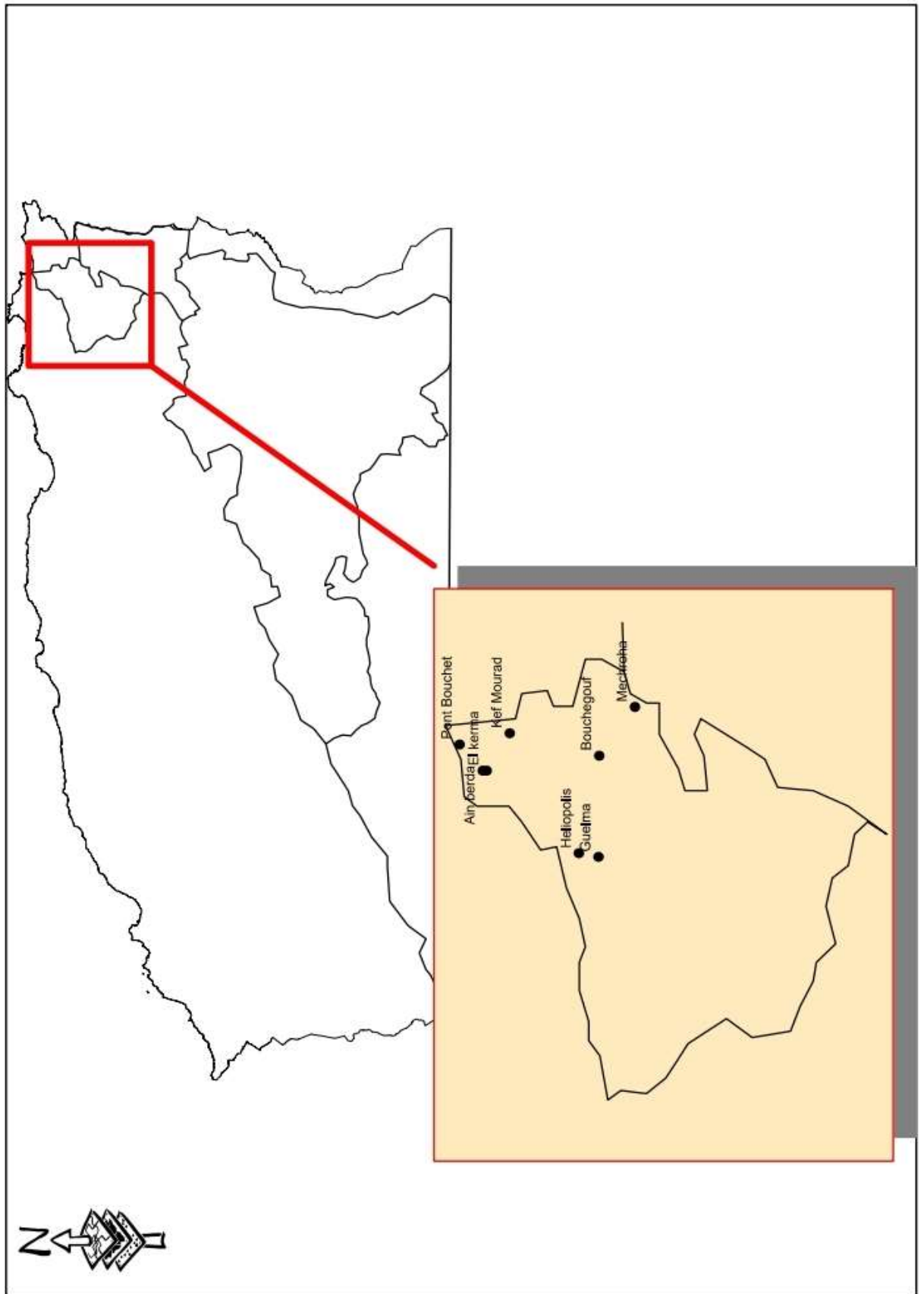


Figure 25. Situation géographique des stations de bassin versant de Seybouse.

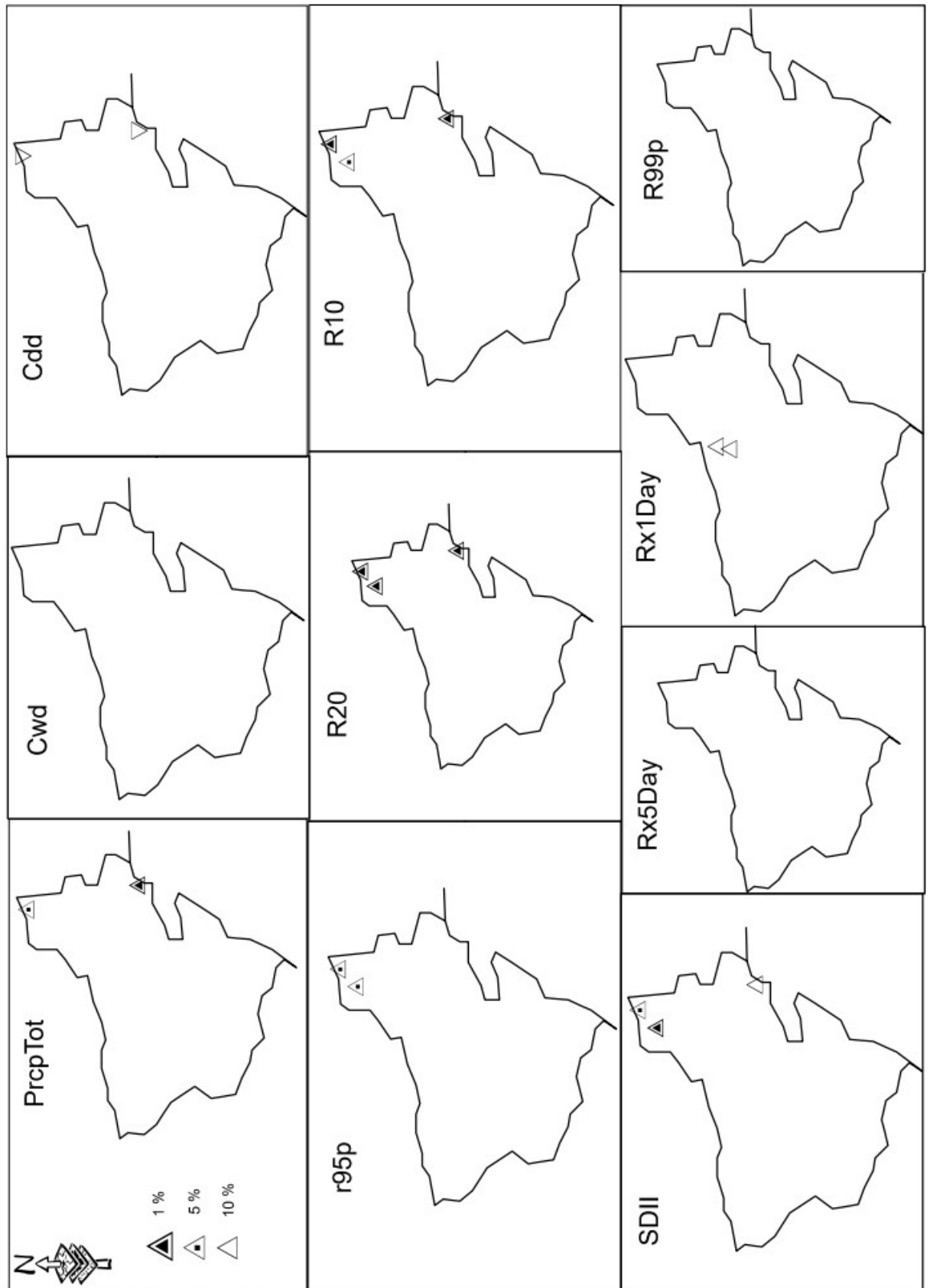


Figure 26. Carte des résultats des tendances pour les indices (ETCCDI).

D'après la (Figure 26) Les analyses des tendances pour les indices des évènements pluviométriques extrêmes des stations de bassin versant de Seybouse (14) montrent à première vue qu'il y a une augmentation de la plupart des indices (PRCPTOT, R95p, R20, R10, SDII, Rx1Day) avec des pentes de Sen variant entre 0.053 jusqu'à 16.14 (Tableau 13). On remarque que les trois stations (140631, 140609, 140502) ont des tendances (faibles et fortes) plus ou moins similaires pour les indices R10, R20 et SDII. Alors que les stations de Héliopolis et Guelma, la tendance (faible) est visible que pour l'indice de Rx1Day. Par contre il y a diminution au niveau des deux stations (140502, 140631) de l'indice CDD et qui pour rappel représente les jours secs consécutifs, avec des pentes respectives de -0.905 et -0.692. Les résultats montrent aussi qu'il n'y a pas de tendances significatives pour les indices Cwd, Rx5Day et R99p et pour les stations (140403, 140505, 140606, 140611).

Pour les analyses des indices pluviométriques qui sont effectuées sur les stations de bassin versant de Seybouse, on remarque une tendance croissante pour l'indice PRCPTOT, R10, R20, r95p,

SDII, RX1day, par contre pour l'indice de CDD, et une absence de tendance pour les indices de CWD, RX5day, r99p.

### 4.5 Comparaison entre les résultats des tendances

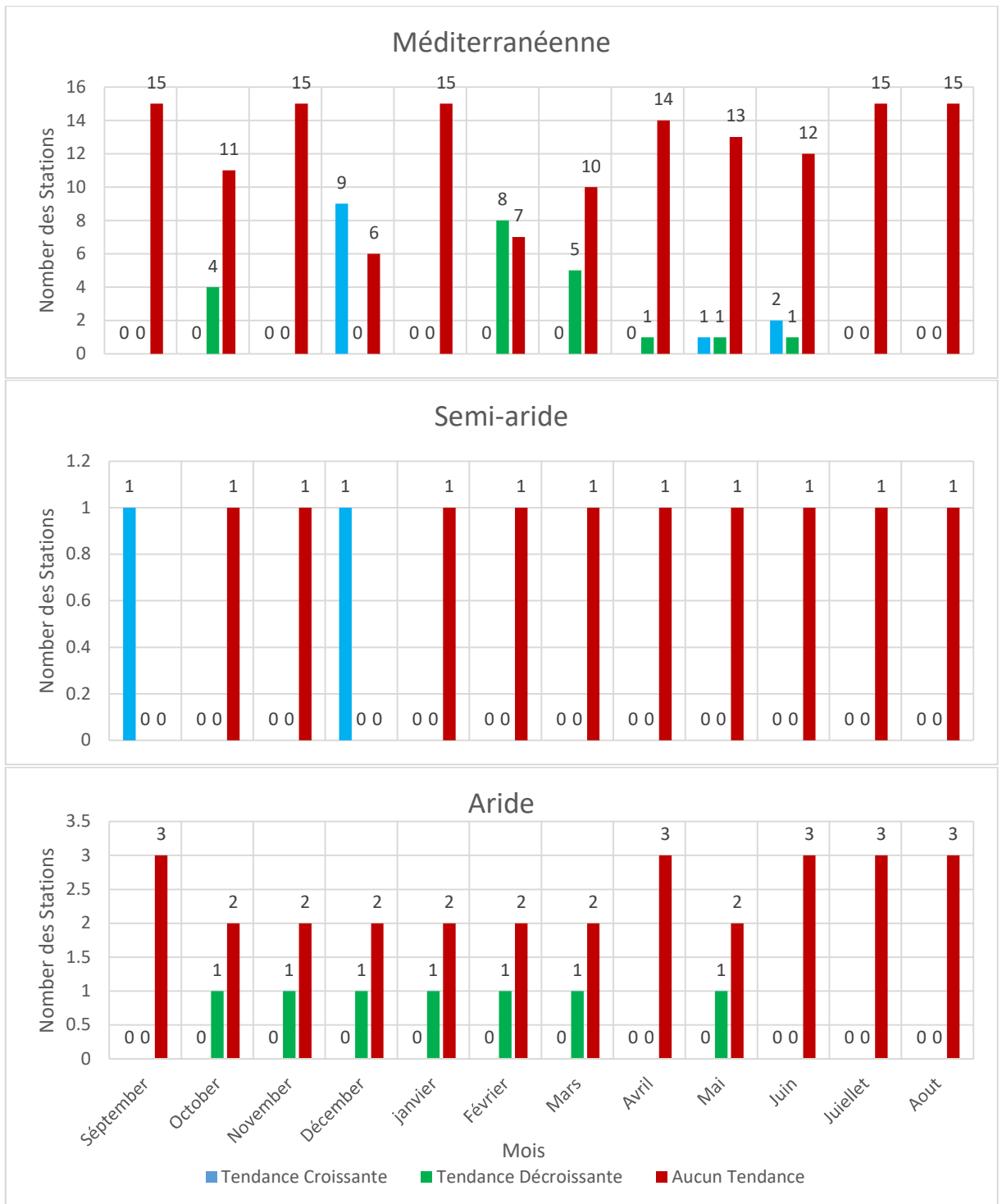


Figure 27. La distribution des tendances de pluie mensuelle pour les trois régions climatiques.

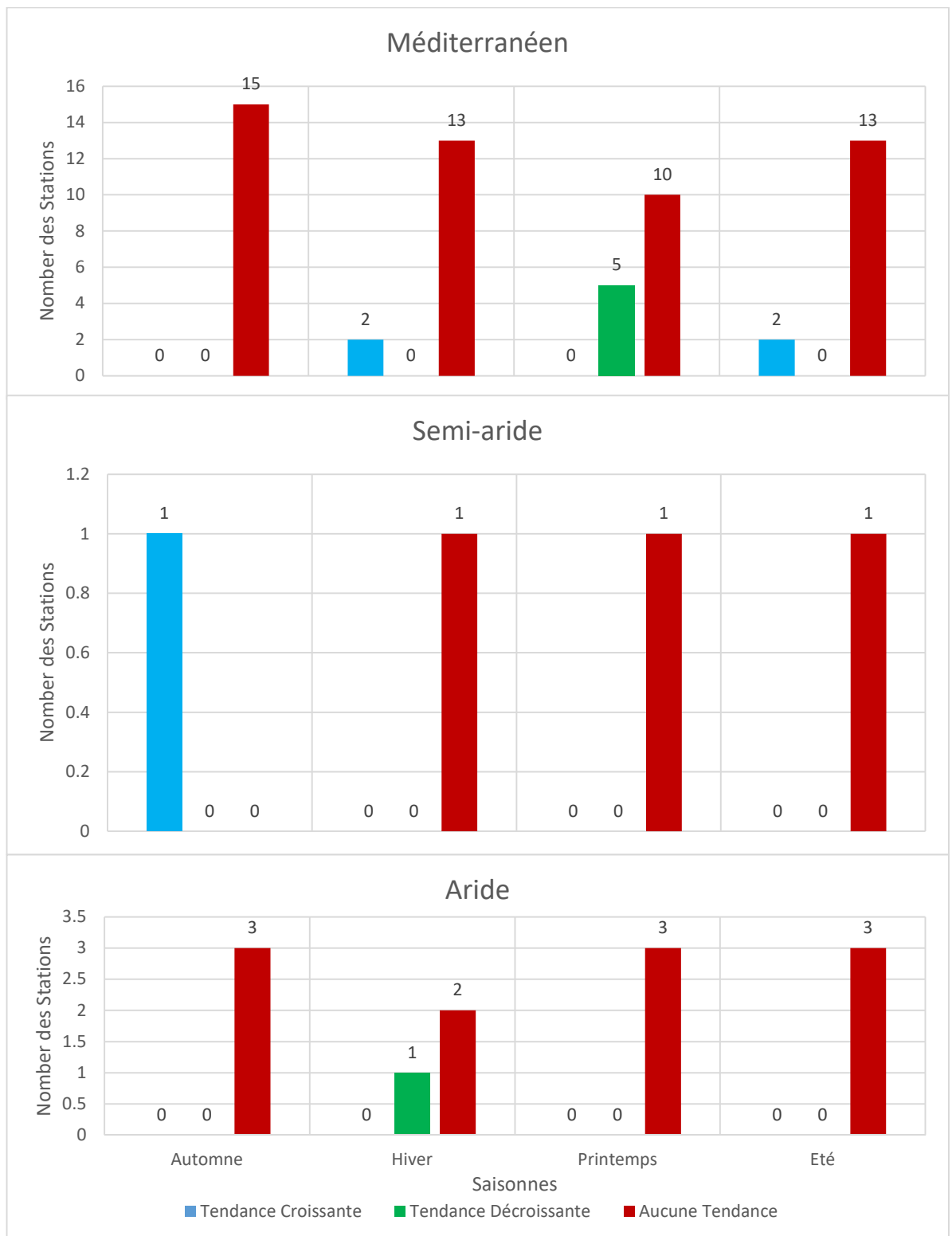


Figure 28. La distribution des tendances de pluie saisonnières pour les trois régions climatiques.

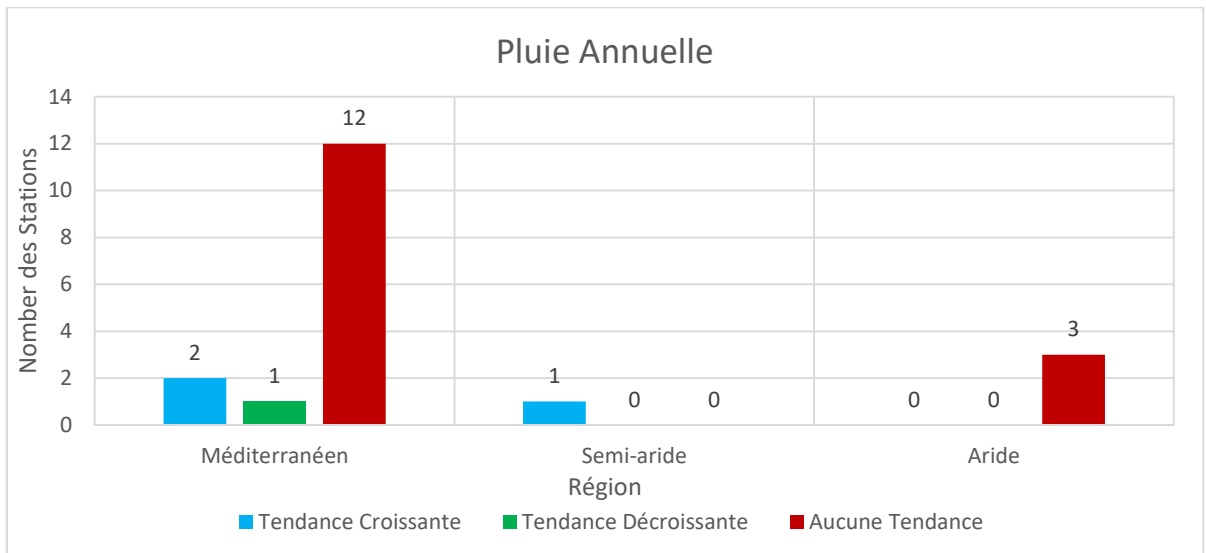


Figure 29. La distribution des tendances de pluie annuelle pour les trois régions climatiques.

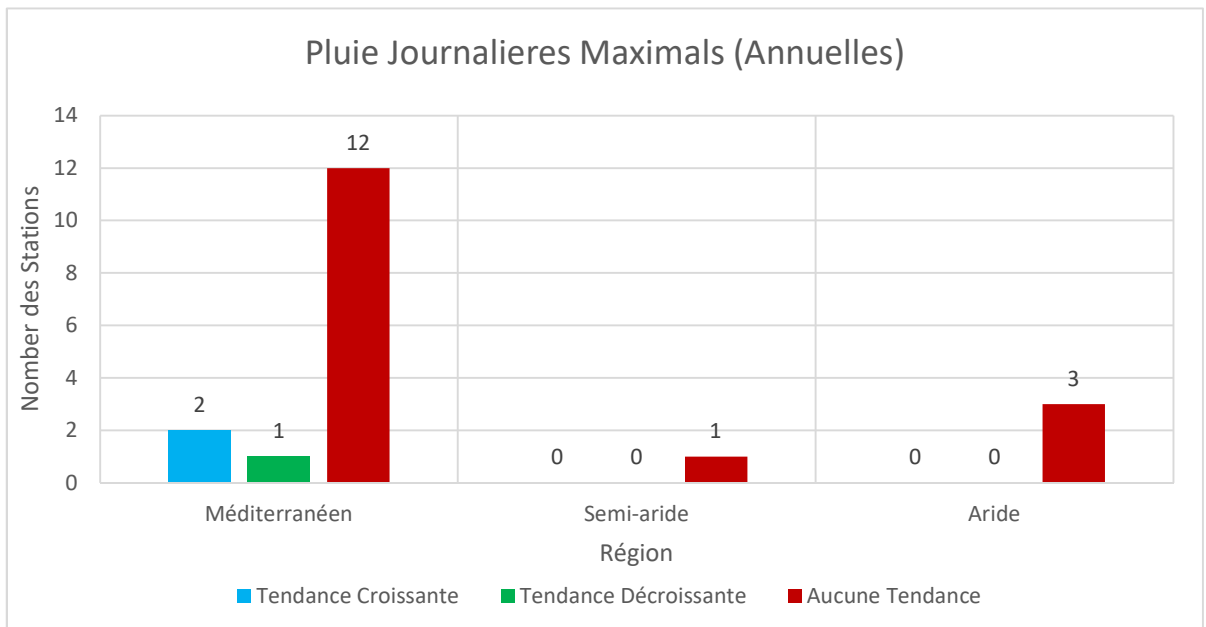


Figure 30. La distribution des tendances de pluie journalière maximale (par année) pour les trois régions climatiques.

En analysant la (Figure 27), on s'aperçoit qu'il n'y a pas de relation claire entre les tendances mensuelles dans les différentes régions climatiques sauf le fait qu'aucune tendance n'est détectée pour les mois de juillet et août.

Plusieurs stations de la région méditerranéenne connaissent une diminution des pluies durant les mois de février, mars et octobre. Cette diminution est observée dans la région aride spécifiquement dans la station de Ghardaïa (Figure 19) pendant les mois allant d'octobre jusqu'au mars en plus du mois de mai alors qu'une augmentation est observée au mois de décembre. Par contre des augmentations de la pluie sont remarquent au mois de décembre pour les deux régions (méditerranéenne et semi-aride) et au mois de septembre pour seulement la région semi-aride.

L'analyse de la (Figure 28) qui représente la distribution des tendances de pluie à l'échelle saisonnière montre qu'une tendance négative de la pluie est observée durant la saison du printemps pour la région méditerranéenne et la saison d'hiver pour la région aride. Toutefois, on remarque une tendance positive en automne pour la région semi-aride.

La (Figure 29) qui représente la distribution des tendances de pluie annuelle illustre une absence presque totale des tendances pour les régions méditerranéennes et arides, par contre on trouve une tendance positive dans la région semi-aride.

L'analyse de la distribution des tendances pour la pluie journalière maximale annuelle (Figure 30) montre que peu de stations de la région méditerranéenne connaissent des tendances.



## 4.6 Conclusion

L'utilisation des méthodes des comblements des lacunes comme la méthode des moindres carrées et certain paquet comme le paquet de Climatol permettent d'obtenir des séries pluviométriques complètes pour les analyses de détection des tendances. L'application de la méthode des moindres carrées sur les stations de bassin versant de Sahara (13) (130402, 130428) a permis de combler la station de 130402 à partir les données de la station 130428. Le paquet de Climatol qui permet de combler les lacunes sur plusieurs stations pluviométriques voisines, a été appliqué sur les stations de bassin versant de Seybouse (14) dans le but de combler ses stations à partir des stations de références.

L'analyse de la présence de l'autocorrélation est nécessaire pour connaître le type de test de Mann-Kendal à utiliser. Ce dernier permet de détecter s'il y a une tendance et de déterminer sa direction. Le test de l'estimation de la pente de Sen permet de connaître la valeur de cette tendance.

Les principaux résultats des tendances pour les trois régions climatiques (méditerranéen, semi-aride et aride) montre que :

- A l'échelle mensuelle, la station de la région aride (Ghardaïa) connaît des tendances décroissantes pour la plupart des mois.
- Les pluies aux mois de juillet et aout ne connaissent aucune tendance pour les trois régions climatiques.
- A l'échelle saisonnière, la majorité des stations des régions méditerranéen et aride ne connaissent aucune tendance significative, par contre, la station de la région semi-aride connaît une tendance en automne.
- A l'échelle annuelle, les résultats illustrent une absence presque totale des tendances pour les régions méditerranéennes et arides, par contre on trouve une tendance positive dans la région semi-aride.
- En analysant la pluie journalière maximale (par année), aucune tendance significative est détectée.

Les indices des changements climatiques (ETCCDI) qui concernent la pluie permet de détecter certain phénomène de changement climatique. L'analyse des tendances pour les indices pluviométriques sur les stations de bassin versant de Seybouse montre qu'il y a une augmentation de la plupart des indices (PRCPTOT, R95p, R20, R10, SDII, Rx1Day) avec une diminution pour l'indice de Cdd. Les indices de Cwd, RX5Day et R99p ne connaissent aucune tendance.

## Conclusion générale

Les variations climatiques à court et à long terme, résultant des causes naturelles et éventuellement d'activités humaines, cause essentielles pour l'homme de graves répercussions qu'elles peuvent exercer sur sa santé, l'agronomie et sur le développement économique.

Dans ce travail, une analyse des tendances de la pluviométrie pour les trois régions climatiques (méditerranéenne, aride et semi-aride) de l'Algérie a été effectuée sur une période d'observations allant de 1975 jusqu'à 2009. Pour ce faire, nous avons défini une méthodologie pour analyser le régime pluviométrique. Les méthodes des comblements des lacunes dans une série pluviométrique ont été effectuées par la méthode des moindres carrés. Le test de Mann-Kendal utilisé pour la recherche d'une tendance dans les séries temporelles des précipitations et enfin le test d'estimation de la pente de Sen permet d'évaluer la pente de cette tendance.

Nous avons utilisé la méthode des moindres carrés pour combler les lacunes aux stations de bassin versant de Sahara (13), ainsi que le paquet de Climatol pour les stations de bassin versant de Seybouse (14).

Avant d'appliquer les tests de détection des tendances (MK, MMK, pente de Sen) il est nécessaire de tester la présence de l'autocorrélation pour connaître le type de test de Mann-Kendal à utiliser. Ce dernier permet de détecter s'il y a une tendance et de déterminer sa direction. Le test de l'estimation de la pente de Sen permet de connaître la valeur de cette tendance.

Nous avons conclu qu'à l'échelle mensuelle, la station de la région aride (Ghardaïa) connaît des tendances décroissantes pour la plupart des mois, cette diminution va influencer sur les ressources en eau de la région.

Les régions méditerranéenne et aride ne connaissent aucune tendance significative à l'échelle saisonnière, annuelle. Contrairement à la région semi-aride où il y a une présence de tendances positives pour les mêmes échelles. Aussi, cette dernière région montre une même direction de tendance pour les pluies journalières maximales (par année).

En comparant les résultats des tendances entre les trois régions climatiques, on trouve une similitude par rapport au fait qu'il n'y a aucune tendance pour les mois de juillet et août.

Les indices des changements climatiques (ETCCDI) qui concernent la pluie peuvent être importants de savoir certaines variations de la pluie. Les résultats d'analyse des tendances pour ce dernier sur les stations de bassin versant de Seybouse montrent que les indices (PRCPTOT, R95p, R20, R10, SDII, Rx1Day) connaissent des tendances croissantes avec une diminution pour l'indice de Cdd, par contre, les indices de Cwd, RX5Day et R99p ne connaissent aucune tendance.

C'est dans ce sens qu'un intérêt général doit être accordé pour faire face à d'éventuelles périodes sèches dans le but de satisfaire les besoins en eau potable, de l'agriculture et de l'industrie face à une population qui ne cesse d'augmenter. Pour cela, des mesures d'adaptation doivent être prises en considération. Suite à la sécheresse, l'Algérie a connu un développement très important dans le secteur de l'eau, en outre, la construction de nouveaux barrages, la réutilisation des eaux non conventionnelles, la réalisation de plusieurs stations de dessalement le long du littoral algérien ainsi que les transferts hydriques. Ces efforts ne suffisent pas toujours, une sensibilisation du public est nécessaire pour protéger et préserver la ressource en eau et l'environnement.

L'utilisation d'une ou deux stations pluviométriques ne sont pas suffisantes pour étudier la variabilité de la pluie pour chaque région climatique en Algérie. Cette étude a pour but principal de montrer les approches utilisées pour la détection de tendances pluviométriques. De ce fait, les résultats des régions aride et semi-aride, où le nombre de stations n'est pas suffisant pour représenter la totalité de la région, peuvent être mieux appréhendés avec un réseau plus dense de stations pluviométriques. Pour une étude plus fiable en termes de représentation de la pluie, on propose soit l'augmentation du nombre de stations de mesures surtout pour la région saharienne ou l'utilisation des mesures satellitaires. Ces dernières doivent être évaluées avant utilisation pour assurer des résultats proches de celle des stations de mesure.

## Références Bibliographiques

- Abdel Waheb Sarie Ahmed**, (2002), Initiation à l'hydrologie de surface, p104.
- Alain Mailhot.**, (2011), tendance historiques de plusieurs indices agro-climatiques pour les régions agricoles du Québec, colloque en agro climatiques, p2.
- Alexandersson H.**, (1986), a homogeneity test applied to precipitation data. *J Climatol* 6:661–675.
- Alexandersson H, Moberg A.**, (1997), Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *Int J Climatol* 17(1):25–34
- Anderson, O.**, (1976), Time series analysis and forecasting: the Box-Jenkins approach: London, Butterworths, p. 182 pp.
- Abderrahmane Nekkache, Ghenim, Abdesselam Megnounif.**, (2013), 'Analyse des précipitations dans le Nord-Ouest algérien 'Sècheresse 2013 ; 24 : 107–14.
- Anderson, R.L.**, (1941), Distribution of the serial correlation coefficients: *Annals of Math. Statistics*, v. 8, no. 1, p. 1-13.
- ANRH.**, (2009). Impact des changements climatiques sur les ressources en eaux. Note de synthèse, 12p.
- Amraoui L., 2009.** Évolution hivernale des températures de surface en relation avec les pressions atmosphériques et les vents de surface en Afrique du Nord-Ouest et le proche océan pendant la période 1950-2008. *Geographia Technica*, numéro spécial, p. 41-46
- Beaulieu C., Ouarda T.B.M.J., Seidou O.**, (2007). Etude comparative de méthodes d'homogénéisation des tests des séries de précipitations. Rapport de recherche, institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Eau), Québec, 79p.
- Buishand T.A.**, (1983), some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of hydrology* 58, pp 11-27.

- Buishand T.A.**, (1984), Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. *Journal of hydrology* 73, pp 51-69.
- Benassi M.**, (2001). Drought and climate change in Morocco. Analysis of precipitation field and water supply. *Option Méditerranéennes, série A, n.80*, p 83-86.
- Bergaoui Z, Kingumbi A., Bourges J. Hubert P. et Kallel R.**, (2000). Étude de l'évolution des séries pluviométriques de la Tunisie Centrale, 8p.
- Boucherf D.**, (2007). Variabilité et changement climatique en Algérie. Acte des journées internationales sur l'impact des changements climatiques sur les régions arides et semi-Arides, p 109-124.
- Chatfield, C.**, (1975), the analysis of time series: Theory and practice, Chapman and Hall, London, 263 pp.
- Donald M. Gray.**, (1972), manuel des principes d'hydrologie, université de la Saskatchewan, Saskatoon, Canada.ch-12 p 21.
- Donat, M. G., et al.**(2014). "Changes in extreme temperature and precipitation in the Arab region: long-term trends and variability related to ENSO and NAO." *International Journal of Climatology* 34(3): 581-592.
- Douglas, E.M., Vogel, R.M., Kroll, C.N.**, (2000). Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *Journal of Hydrology* 240, 90–105.
- Ducré-Robitaille J-F, Vincent LA, Boulet G.**, (2003) Comparison of techniques for detection of discontinuities in temperature series. *Int J Climatol* 23(9):1087–1101.
- Elouissi, A., et al.**(2016). "Algerian rainfall innovative trend analysis and its implications to Macta watershed." *Arabian Journal of Geosciences* 9(4).
- ElNesr, M.N., Abu-Zreig, M.M., Alazba, A.A.**, (2010). Temperature trends and distribution in the Arabian Peninsula. *American Journal of Environmental Sciences* 6, 191–203.
- GIEC.**, (2001). Bilan 2001 Des changements climatiques : les éléments scientifiques, rapport de synthèse, n.3, 97p.

- GIEC.**, (2007). Bilan 2007 des changements climatiques. Rapport de synthèse n.4, 11p.
- Gilbert, R.O.**, (1987). Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. John Wiley & Sons, New York.
- Guijarro JA.**, (2014), Quality Control and Homogenization of Climatological Series. In Eslamian S (Ed.), Handbook of Engineering Hydrology, Vol. 1: Fundamentals and Applications. Francis and Taylor, CRC Group, USA, ISBN 9781466552357, 636 pp.
- Guilloteau, J.**, (1959), L'Eau dans les zones arides (commentaire d'un film fixe), 23 p.
- Hamlaoui-Moulai, L.**, et al.(2012). "Detecting hydro-climatic change using spatiotemporal analysis of rainfall time series in Western Algeria." Natural Hazards 65(3): 1293-1311.
- Hubert P., Carbonnel J-P. et Cchaouche A.**, (1989) Segmentation des séries hydrométéorologiques application à des séries de précipitation et de débits de l'Afrique de l'ouest. Journal of hydrology 110,349-367.
- Hamed, K. H., & Ramachandra Rao, A.**, (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology, 204(1–4), 182–196. [http://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](http://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X).
- Hollander, M., Wolfe, D.A.**, (1973). Nonparametric Statistical Methods. John Wiley & Sons, New York.
- Hassani M.I.**, 2008. Climat et ressources en eau au Maghreb. Tendances et impacts du changement global. Eaux et climat en Afrique, 24-28 Juin 2008 Kampala, Uganda
- Karl, T.R., N. Nicholls, and A. Ghazi.**, (1999): CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. Climatic Change, 42, 3-7.
- Kendal, M.G.**, (1975). Rank correlation methods. Griffin, London, UK .
- James K.Searcy, Clayton H.Hardison.**, (1960), Double-Mass Curve, manual of Hydrology: part 1. generale Surface-water Techniuques. Geological survey water-supply paper 1541-B.
- Lettenmaier, D.P., Wood, E.F., Wallis, J.R.**, (1994). Hydro-climatological trends in the continental United States, 1948–88. Journal of Climate 7, 586–607.

**Lubés-Niel H., Paturol J.E., Servat E., Masson J.M., (1998).** Variabilité climatiques et statistiques : étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques testes utilisées pour vérifier l'homogénéité des chroniques .Revue des sciences de l'eau, n.3, p 383-408.

**Mann,H.H., (1945).** Nonparametric tests against trends. Econometrical 13,245-259.

**Mariotti, A., M. V. Struglia, N. Zeng, and K.-M. Lau., (2002),** The hydrological cycle in the Mediterranean region and implications for the water budget of the Mediterranean Sea. J. Climate 15, 1674–1690,

**Matari A., Latrous H., El Mahi A., 2007.** Analyse de longues séries en vue du changement climatique. Actes des journées internationales sur l'impact des changements climatiques sur les régions arides et semi-arides, Biskra, p 15-25.

**Meddi, H., (2013).** "Annual Variability of Precipitation of the North West of Algeria." APCBEE Procedia 5: 373-377.

**Mrad Dounia, Djebbar Yassine, Abida Habib, Dairi Sabri., (2015).** Detection of trends and changes in monthly maximum daily rainfall in North Eastern Algeria "Laboratory of Research InfraRes. Univ. Souk Ahras, Algeria.

**Modarres, R., Silva, V.P.R., (2007).** Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. Journal of Arid Environments 70, 344–355.

**Nouaceur Z., (2009).** Evolution des précipitations depuis plus d'un demi-siècle en Mauritanie. Géographia Technica, numéro spécial, p 361-366.

**Ondo J.C., Ouarda T.B.M.J., Bobée B., (1997).** Revue bibliographique des tests d'homogénéités et d'indépendance. Rapport de recherche, institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Eau), Québec, 85p.

**Partal, T., Kahya, E., (2006).** Trend analysis in Turkish precipitation data. Hydrological Processes 20, 2011–2026.

**Pearson, K.,(1901) « On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space », Philosophical Magazine, vol. 2, n° 6, p. 559–572**



- Pettitt A.N.** (1979), A non-parametric approach to the change-point problem applied statistics, 28, n° 2, pp 126-135.
- Peterson, T.C., and Coauthors, (1998)**, Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Genève, Switzerland, 143pp.
- Pierre Bonnet.** (2010), Outils de Simulation, Université Lille 1, P2.
- Rao, A. R., Hamed, K. H., & Chen, H.-L.** (2003). No stationarities in hydrologic and environmental time series. <http://doi.org/10.1007/978-94-010-0117-5>
- Robson A.J., Zbigniew W. K.,** (2004). Change detection in hydrological records: a review of the methodology. *Journal des sciences hydrologiques*, Vol. 49, n.1, p7-19.
- Sen, P.K.,** (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63, 1379–1389.
- Siegel, S. & Castellan, N. J.,** (1988) *Non-parametric Statistics for the Behavioural Sciences*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Sillmann, J., V. V. Kharin, F. W. Zwiers, X. Zhang, and D. Bronaugh,** (2013),a: Climate extremes indices in the CMIP5 multi-model ensemble. Part 1: Model evaluation in the present climate. *J. Geophys.*
- Soldini, L. and G. Darvini** (2017). "Extreme rainfall statistics in the Marche region, Italy." *Hydrology Research* 48(3): 686-700.
- Spearman C.,** (1904). "The proof and measurement of association between two things". *American Journal of Psychology*. **15**: 72–101
- Sillmann, J., V. V. Kharin, F. W. Zwiers, X. Zhang, and D. Bronaugh,** (2013),b: Climate extremes indices in the CMIP5 multi-model ensemble. Part 2: Future projections. *J. Geophys.*
- Tabari, H., Marofi, S.,** (2011). Changes of pan evaporation in the west of Iran. *Water Resources Management* 25, 97–111.

**TABET-AOUL, M., 2008.** Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb, Les notes d’alerte du CIHIM n 48, juin 2008.

**Taibi Sabrina., (2011),** Analyse du régime climatique au nord de l’Algérie, école national supérieur d’agronomie Le Harrach Alger, p21.

**Tabari, H.,** Marofi, S., Aeini, A., Hosseinzadeh Talaee, P., Mohammadi, K., (2011), b. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology* 151 (2), 128–136.

**UNESCO** (Organisation des nations unies pour l’éducation, la science et la culture). (1977), 7, place de Fontenoy, 75700 Paris.

**Vannistem S.,** Demarée G., (1991). Detection et modélisation des sechresses au sahel: Proposition d’une nouvelle methodologie. *Hydrol. Continent.,* Vol.6, n.2, p 155-171.

**Vincent Goulet.,** (2016), Programmation en R,Ecole d’actuariat , université Laval, P2.

**WMO** (World Meteorological Organisation), (1988) Analysing Long Time Series of Hydrological Data with Respect to Climate Variability and Change. WCAP-3, WMO/TD no. 224, WMO, Geneva, Switzerland.

**Xoplaki E.,** Gonzalez-Rouco J.F., Luterbacher J., Wanner H.,(2004). Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamic and trend climate dynamic, n.23, p 63-78.

**Xoplaki E.,** Luterbacher J., Patrikas J., Maheras P., (2000). Les précipitations hivernales en Grèce et leur relation avec la circulation atmosphérique au niveau de 500hPa. *Climate research,* v.14, p 129-146.

**Yue, S.,** Hashino, M., (2003). Temperature trends in Japan: 1900–1996. *Theoretical and Applied Climatology* 75, 15–27.

**Yue, S.,** Pilon, P., Phinney, B., Cavadias, G., (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes* 16, 1807–1829.

**Yunling**, H., Yiping, Z., (2005). Climate change from 1960 to 2000 in the Lancang River Valley, China. *Mountain Research and Development* 25 (4), 341–348.

#### Site internet

- ([http://www.gecguyane.fr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=251:le-giec-lance-son-6eme-rapport-d-evaluation&catid=15&Itemid=339](http://www.gecguyane.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=251:le-giec-lance-son-6eme-rapport-d-evaluation&catid=15&Itemid=339)).
- Croire les scientifiques (1 décembre 2008), <https://jancovici.com/changement-climatique/croire-les-scientifiques/quest-ce-que-le-giec/> ».
- Météo Algérie, Climat en Algérie, <http://www.algerie-meteo.com/Climat.html>, 1/03/2018.
- What is Arcgis, 2018, <http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/latest/map/main/what-is-arcmap-.htm>
- Dummies,(2018).Deborah J Rumsey,Dummies,What a P-Value tells you about statistical data,2.<http://www.dummies.com/education/math/statistics/what-a-p-value-tells-you-about-statistical-data/>.

## Annexe 1 : Distribution normal standard

*Tableau 14 : Tableau de distribution normal standard*

$-z$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.50000	0.49601	0.49202	0.48803	0.48405	0.48006	0.47608	0.47210	0.46812	0.46414
0.1	0.46017	0.45621	0.45224	0.44828	0.44433	0.44038	0.43644	0.43251	0.42858	0.42466
0.2	0.42074	0.41683	0.41294	0.40905	0.40517	0.40129	0.39743	0.39358	0.38974	0.38591
0.3	0.38209	0.37828	0.37448	0.37070	0.36693	0.36317	0.35942	0.35569	0.35197	0.34827
0.4	0.34458	0.34090	0.33724	0.33360	0.32997	0.32636	0.32276	0.31918	0.31561	0.31207
0.5	0.30854	0.30503	0.30153	0.29806	0.29460	0.29116	0.28774	0.28434	0.28096	0.27760
0.6	0.27425	0.27093	0.26763	0.26435	0.26109	0.25785	0.25463	0.25143	0.24825	0.24510
0.7	0.24196	0.23885	0.23576	0.23270	0.22965	0.22663	0.22363	0.22065	0.21770	0.21476
0.8	0.21186	0.20897	0.20611	0.20327	0.20045	0.19766	0.19489	0.19215	0.18943	0.18673
0.9	0.18406	0.18141	0.17879	0.17619	0.17361	0.17106	0.16853	0.16602	0.16354	0.16109
1.0	0.15866	0.15625	0.15386	0.15151	0.14917	0.14686	0.14457	0.14231	0.14007	0.13786
1.1	0.13567	0.13350	0.13136	0.12924	0.12714	0.12507	0.12302	0.12100	0.11900	0.11702
1.2	0.11507	0.11314	0.11123	0.10935	0.10749	0.10565	0.10384	0.10204	0.10027	0.09853
1.3	0.09680	0.09510	0.09342	0.09176	0.09012	0.08851	0.08692	0.08534	0.08379	0.08226
1.4	0.08076	0.07927	0.07780	0.07636	0.07493	0.07353	0.07215	0.07078	0.06944	0.06811
1.5	0.06681	0.06552	0.06426	0.06301	0.06178	0.06057	0.05938	0.05821	0.05705	0.05592
1.6	0.05480	0.05370	0.05262	0.05155	0.05050	0.04947	0.04846	0.04746	0.04648	0.04551
1.7	0.04457	0.04363	0.04272	0.04182	0.04093	0.04006	0.03920	0.03836	0.03754	0.03673
1.8	0.03593	0.03515	0.03438	0.03363	0.03288	0.03216	0.03144	0.03074	0.03005	0.02938
1.9	0.02872	0.02807	0.02743	0.02680	0.02619	0.02559	0.02500	0.02442	0.02385	0.02330
2.0	0.02275	0.02222	0.02169	0.02118	0.02068	0.02018	0.01970	0.01923	0.01876	0.01831
2.1	0.01786	0.01743	0.01700	0.01659	0.01618	0.01578	0.01539	0.01500	0.01463	0.01426
2.2	0.01390	0.01355	0.01321	0.01287	0.01255	0.01222	0.01191	0.01160	0.01130	0.01101
2.3	0.01072	0.01044	0.01017	0.00990	0.00964	0.00939	0.00914	0.00889	0.00866	0.00842
2.4	0.00820	0.00798	0.00776	0.00755	0.00734	0.00714	0.00695	0.00676	0.00657	0.00639
2.5	0.00621	0.00604	0.00587	0.00570	0.00554	0.00539	0.00523	0.00509	0.00494	0.00480
2.6	0.00466	0.00453	0.00440	0.00427	0.00415	0.00403	0.00391	0.00379	0.00368	0.00357
2.7	0.00347	0.00336	0.00326	0.00317	0.00307	0.00298	0.00289	0.00280	0.00272	0.00264
2.8	0.00256	0.00248	0.00240	0.00233	0.00226	0.00219	0.00212	0.00205	0.00199	0.00193
2.9	0.00187	0.00181	0.00175	0.00170	0.00164	0.00159	0.00154	0.00149	0.00144	0.00140
3.0	0.00135	0.00131	0.00126	0.00122	0.00118	0.00114	0.00111	0.00107	0.00104	0.00100
3.1	0.00097	0.00094	0.00090	0.00087	0.00085	0.00082	0.00079	0.00076	0.00074	0.00071
3.2	0.00069	0.00066	0.00064	0.00062	0.00060	0.00058	0.00056	0.00054	0.00052	0.00050
3.3	0.00048	0.00047	0.00045	0.00043	0.00042	0.00040	0.00039	0.00038	0.00036	0.00035
3.4	0.00034	0.00033	0.00031	0.00030	0.00029	0.00028	0.00027	0.00026	0.00025	0.00024
3.5	0.00023	0.00022	0.00022	0.00021	0.00020	0.00019	0.00019	0.00018	0.00017	0.00017

## Annexe 2 : Résultats des statistiques des tendances de MK

Tableau 15 : Résultats de P-Value pour la pluie mensuelle

Station	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
140403	0.782	<i>0.013</i>	0.291	0.930	0.960	0.821	0.920	0.744	0.546	<u>0.054</u>	0.734	<u>0.066</u>
140412	0.850	<i>0.043</i>	0.223	0.763	0.580	0.677	0.772	0.530	0.379	0.163	0.615	0.333
140502	0.297	0.880	0.555	<u>0.054</u>	<i>0.026</i>	<u>0.061</u>	1.000	0.673	0.831	0.131	0.970	<u>0.056</u>
140505	0.744	<b>0.0001</b>	0.113	0.782	0.660	0.651	0.352	0.950	0.346	<i>0.036</i>	0.530	0.113
140606	0.660	0.588	<u>0.074</u>	0.792	0.821	0.303	0.687	0.280	0.359	<u>0.058</u>	0.860	<i>0.033</i>
140609	1.000	0.205	<u>0.076</u>	0.295	0.481	0.309	0.850	0.763	0.624	0.187	0.801	<i>0.011</i>
140611	0.572	0.763	<b>0.009</b>	0.200	0.386	<i>0.011</i>	0.576	0.960	0.414	0.110	0.715	0.801
140631	0.505	<i>0.036</i>	0.125	0.352	0.407	0.474	0.285	0.660	0.530	<b>0.004</b>	0.530	<b>0.002</b>
120101	0.538	0.135	<b>0.009</b>	0.202	0.359	<i>0.066</i>	0.870	0.339	0.651	0.209	0.890	<i>0.047</i>
120104	0.860	<b>0.0001</b>	0.980	0.792	0.900	0.633	0.428	0.850	0.421	0.792	0.792	<i>0.027</i>
120105	0.521	0.940	0.546	0.179	0.580	0.606	0.900	0.126	0.458	0.606	1.000	<i>0.026</i>
120301	0.309	<b>0.006</b>	0.152	0.521	0.811	0.920	0.811	0.841	0.213	0.443	0.801	<i>0.030</i>
120302	0.970	0.237	0.167	0.669	0.138	0.831	0.844	0.669	0.980	0.530	0.980	0.191
120304	0.253	<b>0.001</b>	<b>0.010</b>	0.110	<u>0.066</u>	0.412	0.725	0.400	0.538	0.811	0.173	0.119
120307	0.458	<i>0.032</i>	0.428	0.753	0.763	0.782	0.697	0.801	0.725	0.779	0.821	0.269
061416	0.282	0.549	0.683	0.775	0.663	0.764	0.744	0.540	<i>0.018</i>	0.178	0.146	<u>0.059</u>
060302	0.708	0.514	0.113	0.561	0.175	0.529	0.933	0.122	0.990	0.837	0.570	0.894
605660	<i>0.039</i>	<i>0.042</i>	<i>0.036</i>	0.380	<i>0.031</i>	0.410	0.983	0.278	0.329	<i>0.037</i>	<i>0.010</i>	<i>0.022</i>
130402	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Avec:

- **Audacieux** : représente une forte tendance (au niveau de confiance de 1%).
- *Italique* : représente une moyenne tendance (au niveau de confiance de 5%).
- Souligner : représente une fiable tendance (au niveau de confiance de 10%).
- Normal : représente aucune tendance significative.

Tableau 16 : Résultats de Z pour la pluie mensuelle

Station	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
140403	0.3	-2.5	-1.1	0.1	0.1	-0.2	0.1	0.3	0.6	<u>-1.9</u>	0.3	<u>1.8</u>
140412	-0.2	-2.0	-1.2	-0.3	0.6	-0.4	-0.3	0.6	0.9	-1.4	0.5	1.0
140502	1.0	0.2	0.6	<u>-1.9</u>	2.2	<u>1.9</u>	0.0	0.4	0.2	-1.5	0.0	<u>1.9</u>
140505	0.3	<b>-4.62</b>	-1.6	-0.3	0.4	-0.5	0.9	0.1	0.9	-2.1	0.6	1.6
140606	0.4	-0.5	<u>-1.8</u>	-0.3	-0.2	-1.0	0.4	1.1	0.9	<u>-1.9</u>	0.2	2.1
140609	0.0	-1.3	<u>-1.8</u>	-1.0	-0.7	-1.0	-0.2	-0.3	0.5	-1.3	0.3	2.5
140611	-0.6	-0.3	<b>-2.6</b>	-1.3	-0.9	-2.6	0.6	-0.1	0.8	-1.6	-0.4	-0.3
140631	0.7	-2.1	-1.5	-0.9	-0.8	-0.7	1.1	0.4	0.6	<b>-2.9</b>	0.6	<b>3.1</b>
120101	0.6	-1.5	<b>-2.6</b>	-1.3	0.9	1.8	0.2	1.0	-0.5	-1.3	-0.1	2.0
120104	0.2	<b>-3.9</b>	0.0	-0.3	0.1	0.5	-0.8	0.2	0.8	-0.3	0.3	2.2
120105	-0.6	0.1	0.6	1.3	0.6	0.5	0.1	1.5	-0.7	-0.5	0.0	2.2
120301	-1.0	<b>-2.7</b>	-1.4	-0.6	0.2	0.1	0.2	0.2	1.2	0.8	-0.3	2.2
120302	0.0	-1.2	-1.4	-0.4	-1.5	0.2	0.2	0.4	0.0	0.6	0.0	1.3
120304	-1.1	<b>-3.2</b>	<b>-2.6</b>	-1.6	<u>-1.8</u>	-0.8	0.4	0.8	-0.6	0.2	-1.4	1.6
120307	0.7	-2.1	-0.8	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	1.1
061416	1.1	-0.6	-0.4	0.3	-0.4	-0.3	-0.3	0.6	2.4	1.3	-1.5	<u>1.9</u>
060302	0.4	-0.7	-1.6	-0.6	-1.4	-0.6	0.1	1.5	0.0	0.2	-0.6	0.1
605660	-2.1	-2.0	-2.1	-0.9	-2.2	-0.8	0.0	1.1	1.0	-2.1	-2.6	-2.3
130402	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Tableau 17 : Les résultats de P-value pour la pluie saisonnée

<b>Station</b>	<b>Automne</b>	<b>Hiver</b>	<b>Printemps</b>	<b>Été</b>
<b>140403</b>	0.513	0.177	0.597	0.651
<b>140412</b>	0.831	0.801	0.552	0.555
<b>140502</b>	0.204	0.309	0.792	<i>0.024</i>
<b>140505</b>	0.763	0.400	0.667	0.850
<b>140606</b>	0.841	<u>0.060</u>	<u>0.054</u>	0.744
<b>140609</b>	0.753	0.175	<i>0.049</i>	0.706
<b>140611</b>	0.274	0.910	0.148	0.213
<b>140631</b>	0.466	<i>0.016</i>	<u>0.074</u>	0.400
<b>120101</b>	0.428	0.269	0.155	<u>0.081</u>
<b>120104</b>	0.841	0.744	0.890	0.597
<b>120105</b>	0.513	0.572	0.179	0.285
<b>120301</b>	0.386	0.253	<u>0.058</u>	0.841
<b>120302</b>	0.990	0.920	0.167	0.801
<b>120304</b>	0.563	0.163	<i>0.012</i>	0.960
<b>120307</b>	0.660	0.697	0.315	0.725
<b>061416</b>	<b>0.001</b>	0.105	0.902	0.522
<b>060302</b>	0.735	0.161	0.246	0.488
<b>605660</b>	0.573	<i>0.026</i>	0.274	0.374
<b>130402</b>	/	/	/	/

Tableau 18: Résultat de Z pour la pluie saisonnée

<b>Station</b>	<b>Automne</b>	<b>Hiver</b>	<b>Printemps</b>	<b>Été</b>
<b>140403</b>	-0.654	1.351	-0.529	0.453
<b>140412</b>	-0.214	0.252	-0.595	0.591
<b>140502</b>	-1.270	1.018	-0.264	2.250
<b>140505</b>	-0.302	0.842	-0.430	0.189
<b>140606</b>	-0.201	<u>1.877</u>	<u>-1.928</u>	0.327
<b>140609</b>	-0.314	1.358	<u>-1.968</u>	-0.377
<b>140611</b>	-1.094	-0.113	-1.446	-1.245
<b>140631</b>	-0.729	2.402	<u>-1.785</u>	0.842
<b>120101</b>	-0.792	1.106	-1.421	<u>1.747</u>
<b>120104</b>	0.201	0.327	0.138	0.528
<b>120105</b>	-0.654	0.566	1.345	1.069
<b>120301</b>	0.867	-1.144	<u>-1.898</u>	-0.201
<b>120302</b>	0.013	0.101	-1.383	0.251
<b>120304</b>	-0.578	-1.395	-2.502	-0.050
<b>120307</b>	0.440	-0.390	-1.006	0.352
<b>061416</b>	<b>3.227</b>	1.621	0.123	-0.640
<b>060302</b>	-0.339	1.403	-1.161	0.605
<b>605660</b>	-0.564	-2.233	-1.095	0.889
<b>130402</b>	/	/	/	/



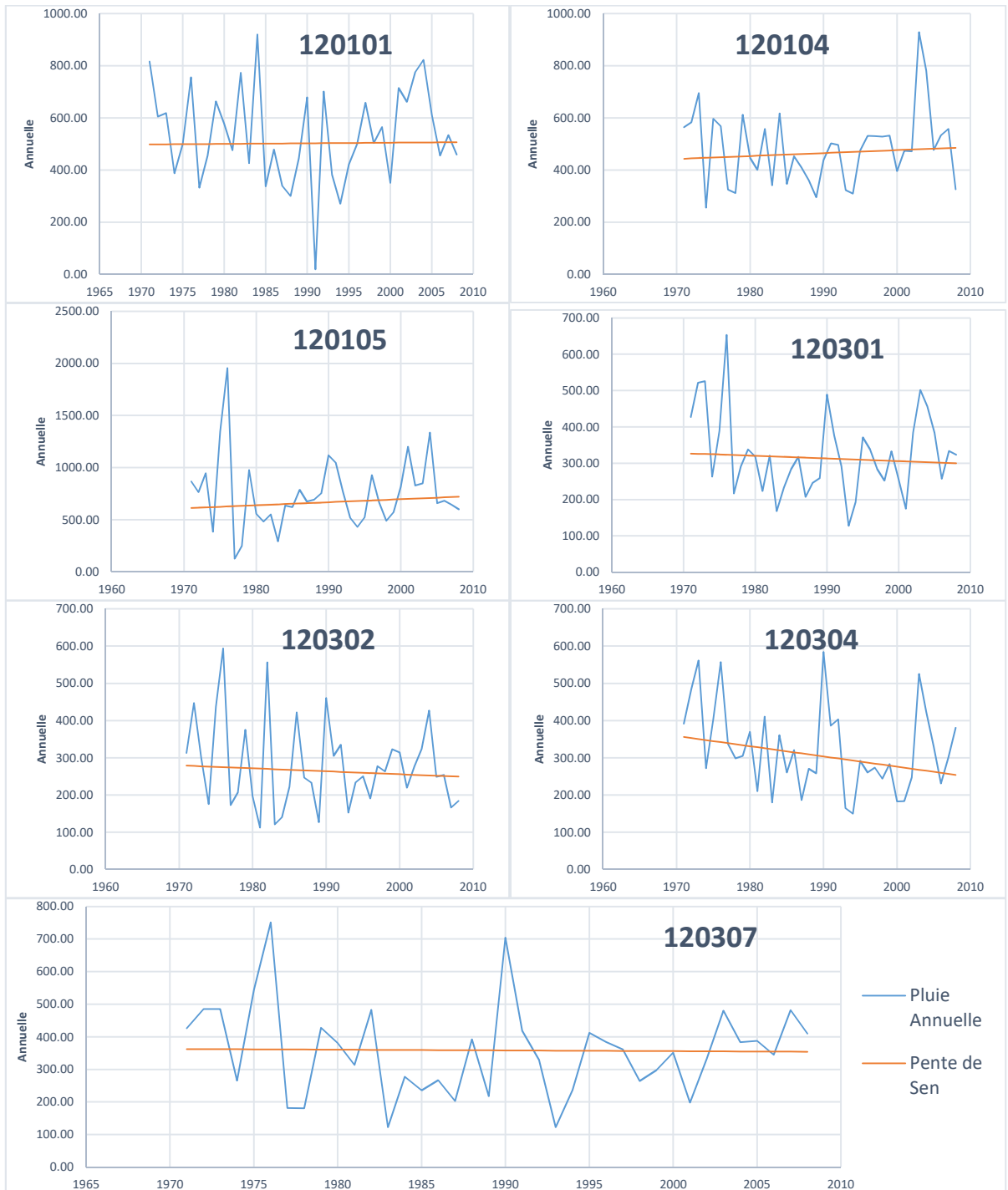
Tableau 19: Résultats des P-Value pour les Indices

Station	cdd	cwd	prcptot	R10	R20	r95p	r99p	Rx1day	Rx5day	sdi
140403	0.38	0.3	0.633	0.232	0.821	0.821	0.6	0.309	0.99	0.175
140412	0.16	0.7	0.428	0.285	0.407	0.321	0.1	<u>0.061</u>	0.60	0.386
140502	<u>0.08</u>	0.4	<b>0.008</b>	<b>0.003</b>	<b>0.010</b>	0.458	0.7	0.597	0.35	<u>0.084</u>
140505	0.15	1.0	0.900	0.697	0.792	0.519	0.8	0.513	0.72	0.763
140606	0.13	0.9	0.339	0.223	0.297	0.204	0.5	0.339	0.59	0.183
140609	0.99	0.6	0.145	<i>0.014</i>	<b>0.0004</b>	<i>0.010</i>	0.2	0.359	<i>0.04</i>	<b>0.00002</b>
140611	0.96	0.6	0.352	0.167	0.175	0.880	0.7	0.841	0.72	0.801
140631	<u>0.07</u>	0.9	<i>0.042</i>	<b>0.005</b>	<b>0.001</b>	<i>0.015</i>	0.5	0.209	0.30	<i>0.017</i>

Tableau 20: Résultats des Z pour les Indices

Station	cdd	cwd	prcptot	R10	R20	r95p	r99p	Rx1day	Rx5day	sdi
140403	-0.880	-1.106	0.478	1.194	0.226	0.226	0.503	<u>1.018</u>	-0.013	1.358
140412	-1.408	-0.352	0.792	1.069	0.830	0.993	1.634	<u>1.873</u>	0.528	0.867
140502	<u>-1.760</u>	-0.929	<b>2.640</b>	<b>3.005</b>	<b>2.577</b>	0.742	-0.415	-0.528	0.941	<u>1.729</u>
140505	-1.446	-0.044	0.126	0.390	0.264	0.646	0.214	0.654	0.352	0.302
140606	-1.509	-0.189	0.955	1.219	1.043	1.270	0.654	0.955	0.541	1.333
140609	0.016	-0.553	1.458	<i>2.452</i>	<b>3.520</b>	<i>2.565</i>	1.295	0.918	2.062	<b>4.325</b>
140611	-0.050	0.553	-0.930	-1.383	-1.358	0.151	-0.365	-0.201	0.352	-0.251
140631	<u>-1.835</u>	-0.138	<i>2.037</i>	<b>2.829</b>	<b>3.344</b>	<i>2.426</i>	0.673	1.257	1.043	2.389

**Annexe 3 : Variation de la pluie à l'échelle annuelle et saisonnière au niveau des stations étudiées.**



*Figure 31. Variation de la pluie annuelle au niveau des stations du Bassin Versant de Medjerda (12)*

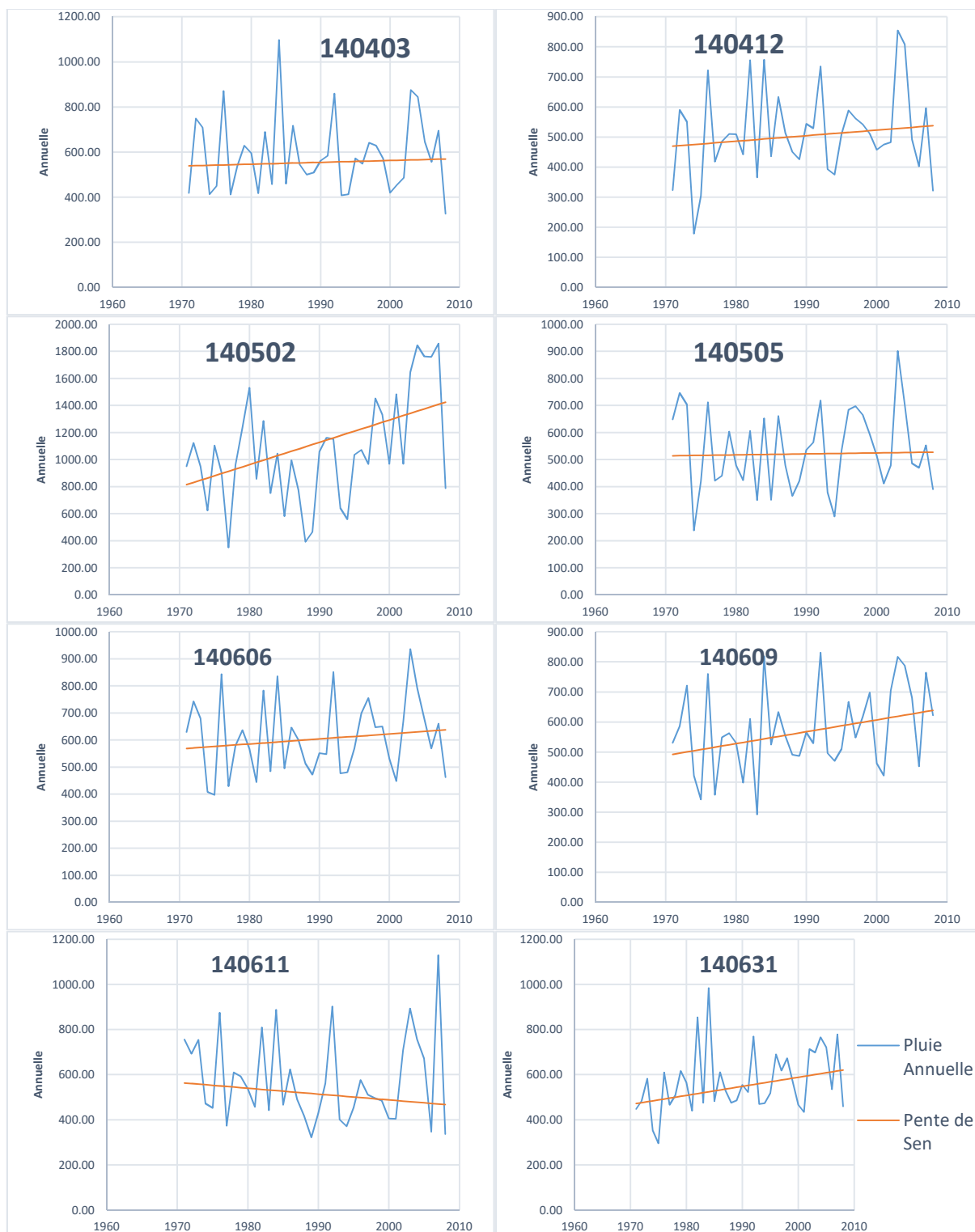
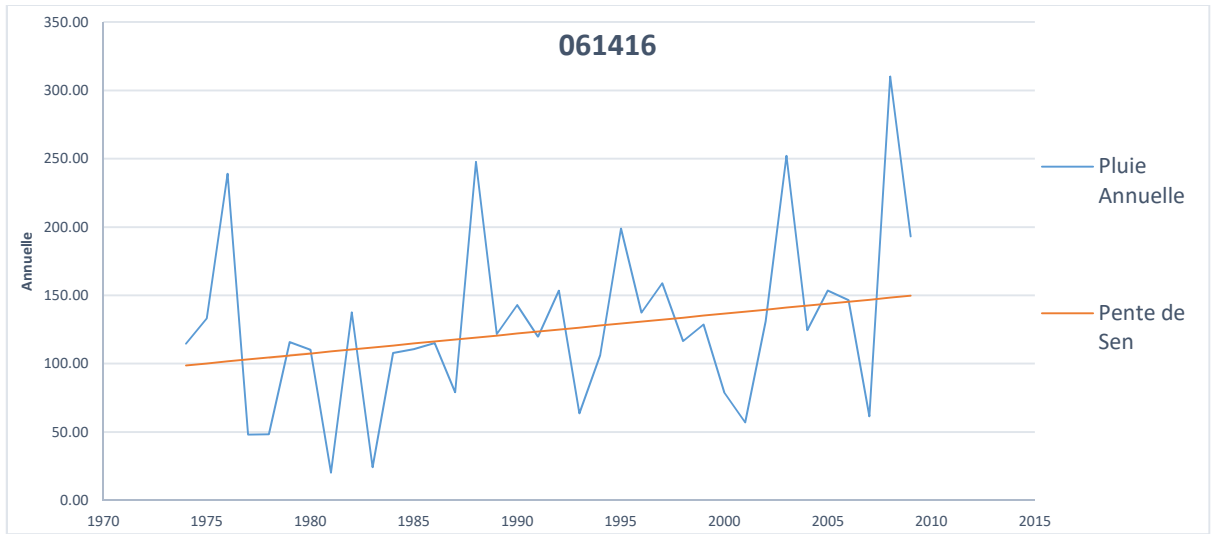


Figure 32. Variation de la pluie annuelle au niveau des stations du Bassin Versant de Seybouse (14)



*Figure 33. Variation de la pluie annuelle au niveau des stations du Bassin Versant de Chott Mélrhir (06)*

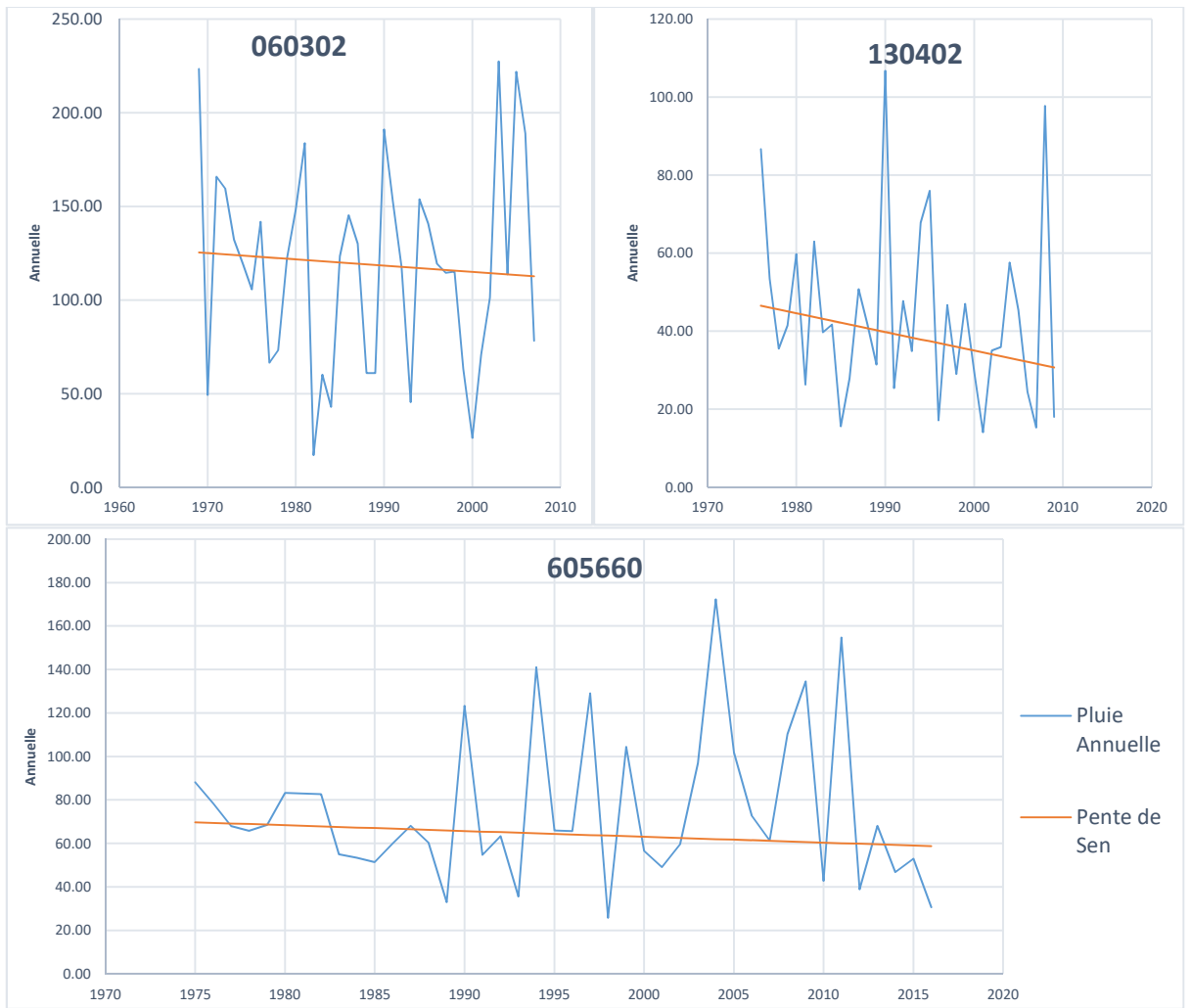


Figure 34: Variation de la pluie annuelle au niveau des stations du Bassin Versant de Sahara (13)

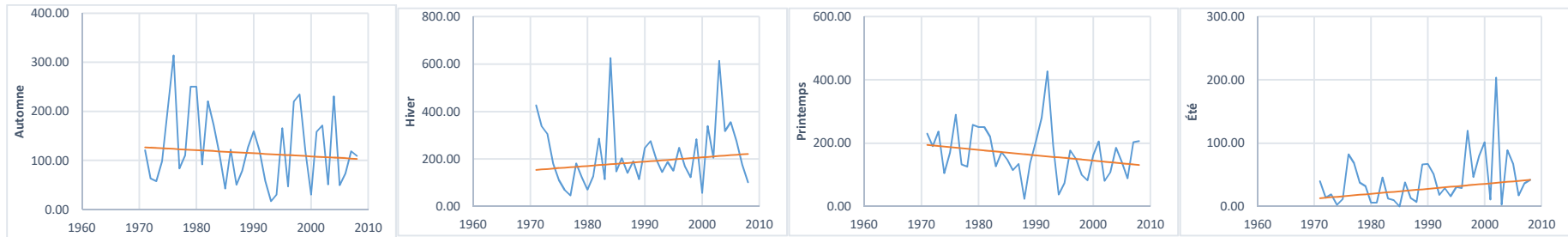


Figure 35. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120101

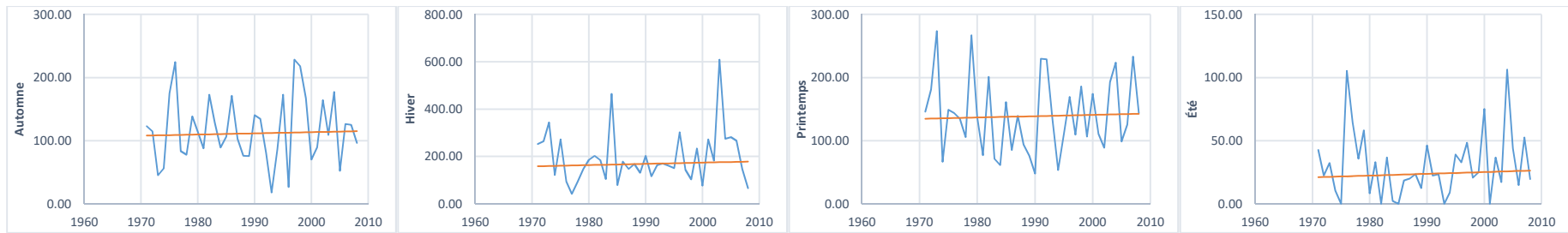


Figure 36. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120104

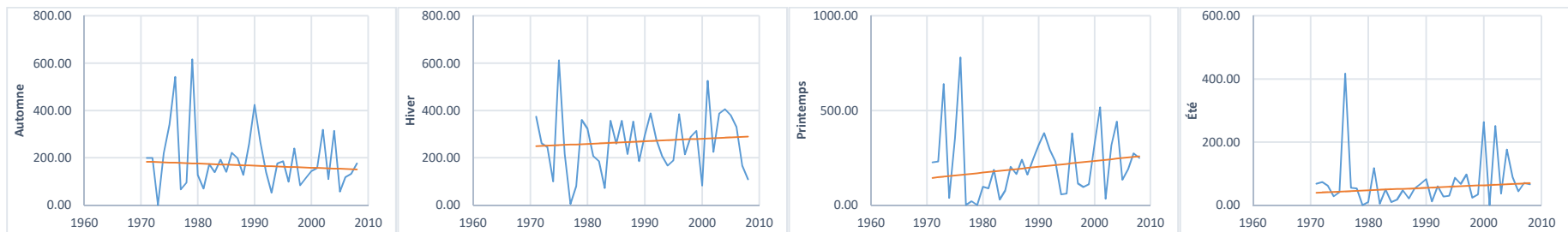


Figure 37. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120105

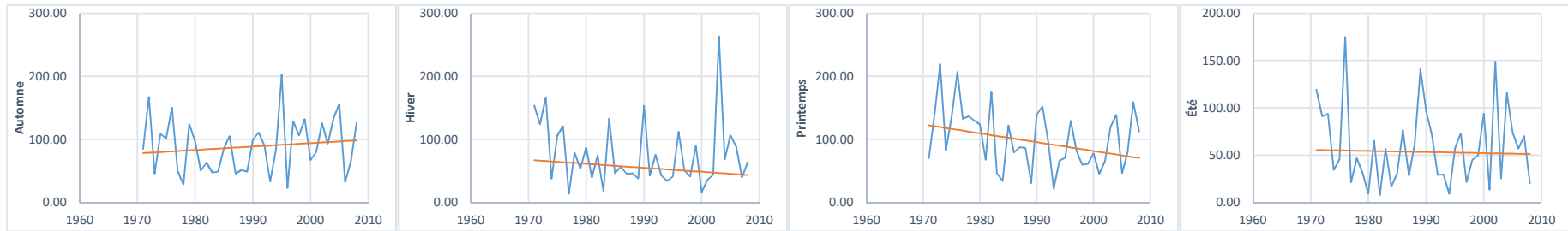


Figure 38. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120301

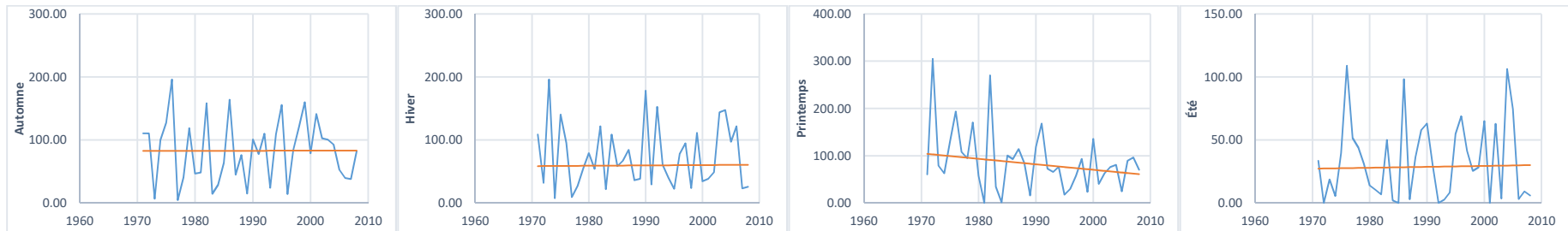


Figure 39. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120302

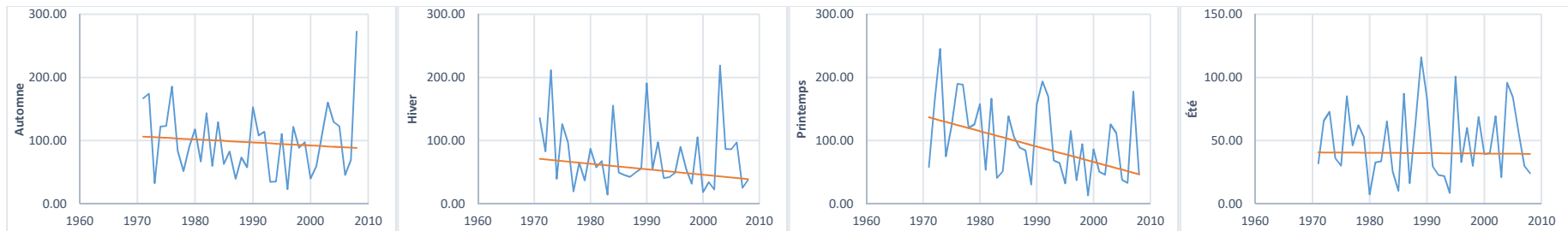


Figure 40. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120304

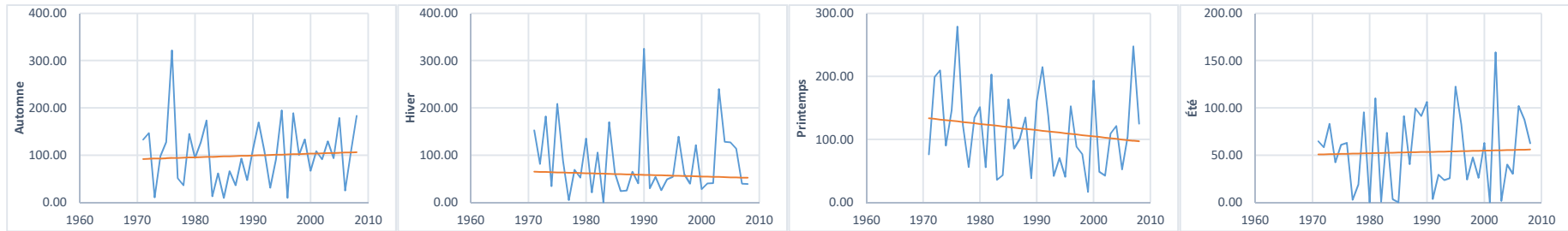


Figure 41. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 120307

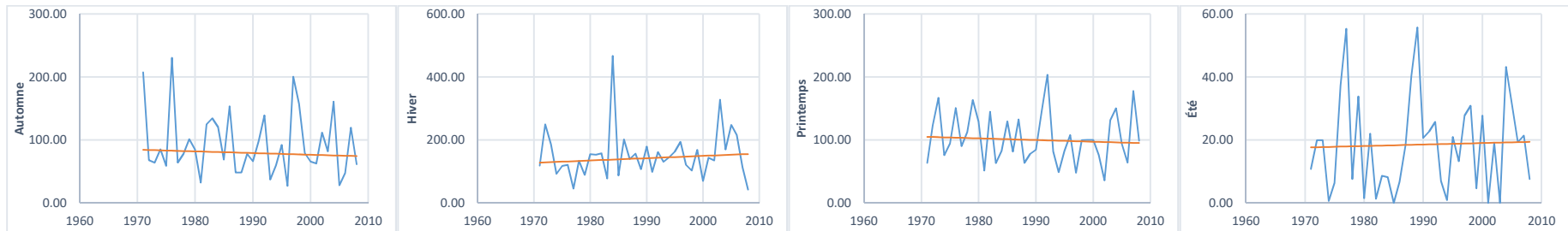


Figure 42. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140403

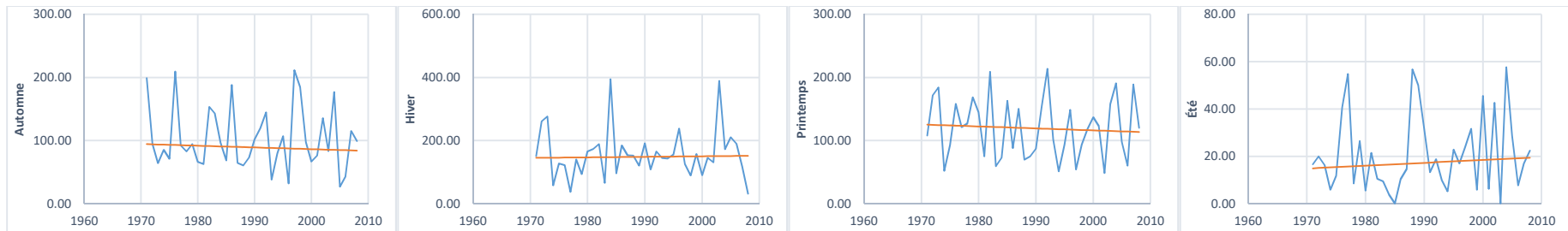


Figure 43. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140412



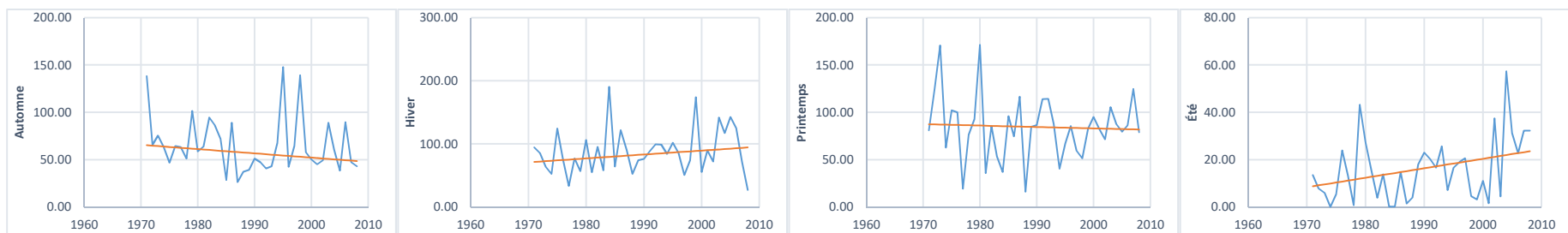


Figure 44. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140502

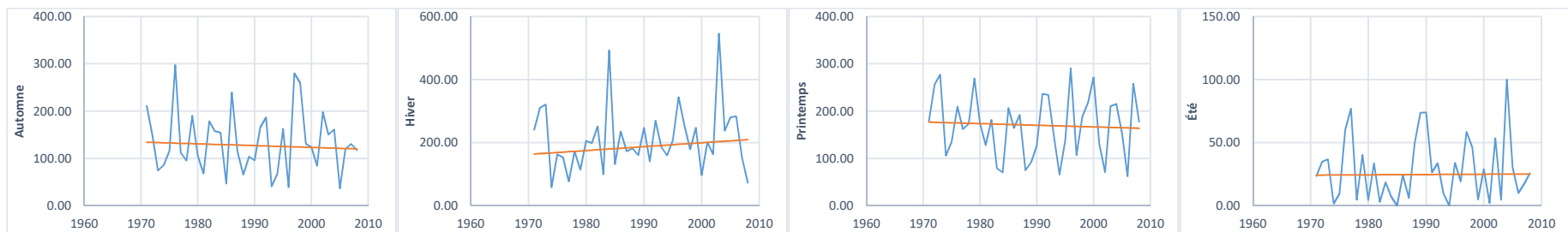


Figure 46. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140505

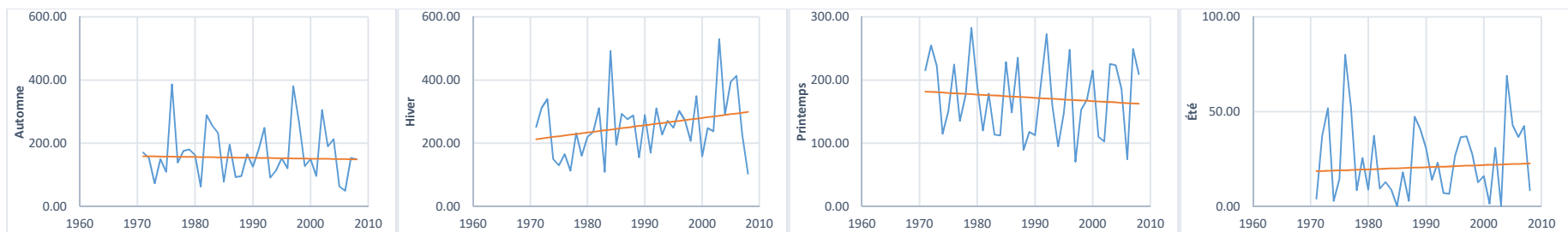


Figure 46. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140606

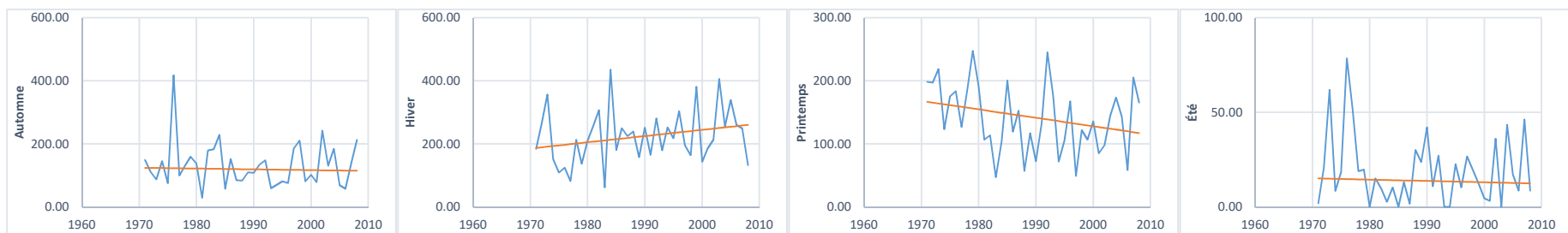


Figure 47. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140609

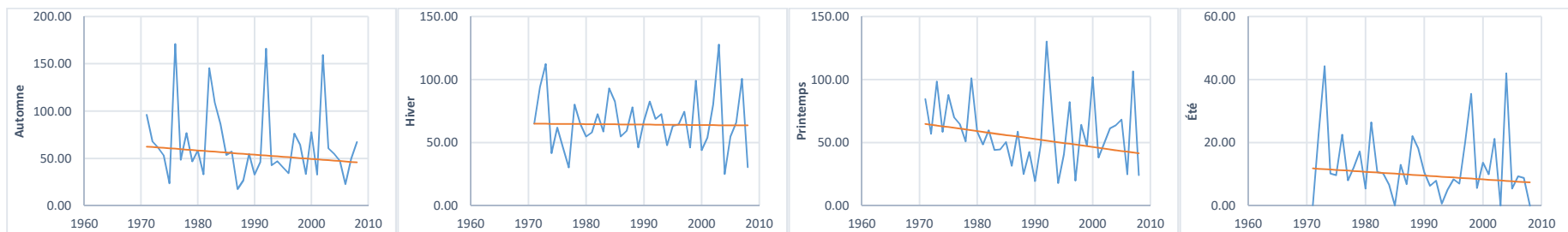


Figure 48. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140611

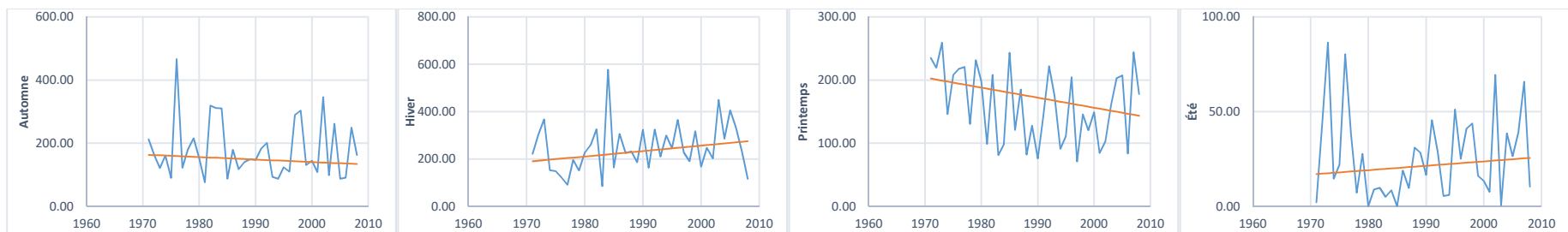


Figure 49. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 140631

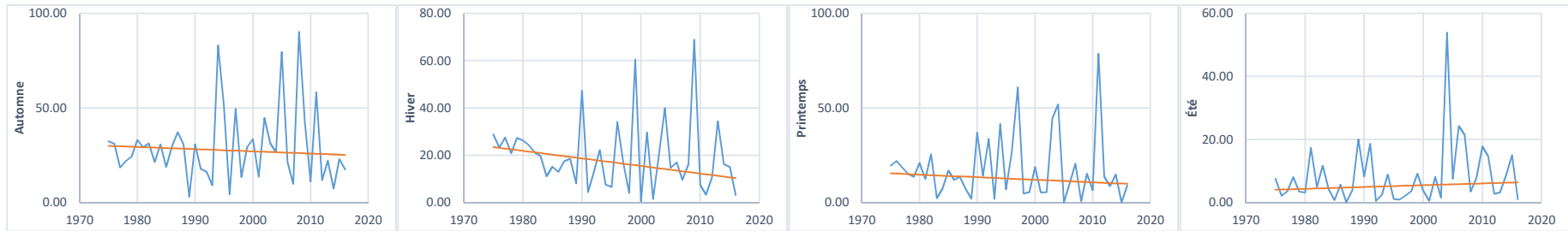


Figure 50. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 605660

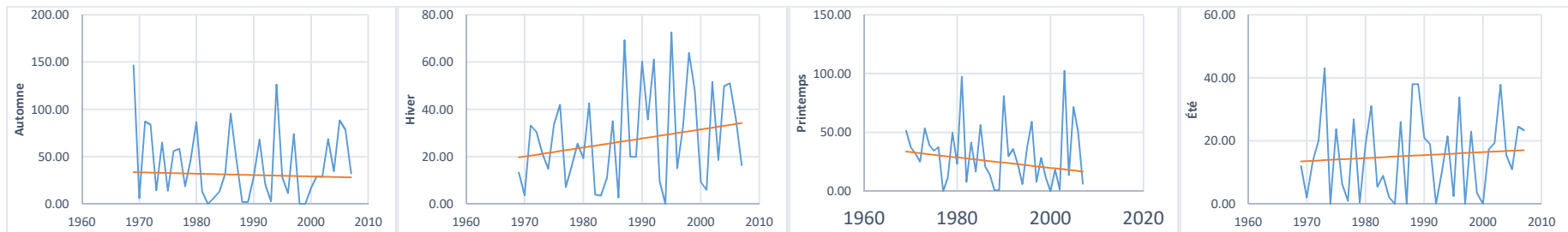


Figure 51. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 060302

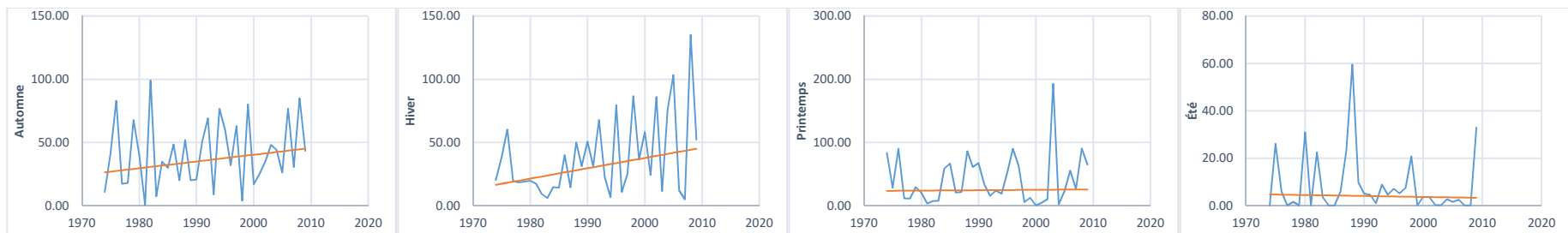


Figure 52. Variation de la pluie saisonnière au niveau de station de 061416

## Résumé

Les précipitations sont une composante clé du cycle hydrologique et sa variabilité spatio-temporelle est essentielle du point de vue scientifique et pratique. Cette étude est centrée sur l'analyse des tendances de précipitations de plusieurs stations situées dans trois régions climatiques en Algérie (Méditerranéenne, Semi-aride et Aride). Les données pluviométriques de d'une période allant de 1975 à 2009 mesurées dans 19 stations ont été utilisées pour plusieurs échelles temporelles (mensuelle, saisonnière, annuelle et extrêmes). Les tests non paramétriques de Mann-Kendall et l'estimateur de la pente de Sen ont été utilisés pour identifier l'existence de tendances et la magnitude de cette dernière. Les résultats montrent que, bien qu'il y ait une différence de tendances positives et négatives entre les trois régions, les régions méditerranéenne et aride ne connaissent aucune tendance significative à l'échelle saisonnière, annuelle. Par contre, on trouve dans les pluies journalières maximales (par année) des tendances positives dans la région semi-aride pour les mêmes échelles. Pour la pluie de la région aride (Ghardaïa), elle connaît des tendances décroissantes pour la plupart des mois. Les résultats de comparaison des tendances entre les trois régions climatiques montrent que les mois de juillet et août ne connaissent aucune tendance pour les trois régions. Les indices des changements climatiques établis par le groupe d'experts (ETCCDI) ont été introduits dans l'analyse des tendances pour le bassin versant de Seybouse. Les tendances trouvées montrent qu'il y a une augmentation de la plupart des indices concernant les pluies extrêmes et une diminution des jours secs consécutifs. Les résultats de cette étude pourraient s'avérer utiles dans la préparation de stratégies d'atténuation et d'adaptation au changement climatique dans l'agriculture pluviale et les systèmes d'approvisionnement en eau dans ces régions.

Mots clés : Précipitation, Analyse des tendances, ETCCDI, Algérie, Changement climatique, Mann-Kendall.

## المخلص

هطول الأمطار هو أحد المكونات الرئيسية للدورة الهيدرولوجية وتغير اختلافه الزمني ضروري من وجهة نظر علمية وعملية. تركز هذه الدراسة على تحليل اتجاهات هطول الأمطار في عدة محطات تقع في ثلاث مناطق مناخية في الجزائر (البحر الأبيض المتوسط، شبه الجافة و الجافة). واستخدمت بيانات الأمطار من عام 1975 إلى عام 2009، المقاسة في 19 محطة، لعدة مقاييس زمنية (شهرية، موسمية، على مدار العام، قيم قصوى). واستخدمت اختبارات مان-كيندال غير المعلمية ومقدار منحدر "سين" لتحديد وجود الاتجاهات ومقدار الاتجاهات. تظهر النتائج أنه على الرغم من وجود اختلاف في الاتجاهات الإيجابية والسلبية بين المناطق الثلاث، فإن منطقة البحر المتوسط والمناطق القاحلة لا تشهد أي اتجاه هام على المستوى الموسمي والسنوي. من ناحية أخرى، نجد في اتجاهات هطول الأمطار اليومية القصوى (في السنة) في المنطقة شبه القاحلة لنفس المقاييس. بالنسبة لامطار المنطقة القاحلة (غرداية)، فإنها تعرف اتجاهات سلبية لمعظم الشهور. تظهر نتائج مقارنة الاتجاهات بين المناطق المناخية الثلاثة أن شهري جويلية و اوت لا يظهران أي اتجاه تغير للمناطق الثلاثة. تمت معاينة مؤشرات تغير المناخ التي أنشأها فريق الخبراء المناخ في تحليل الاتجاهات في حوض مياه سيبوس. حيث بينت الاتجاهات الموجودة أن هناك زيادة في معظم مؤشرات هطول الأمطار القصوى وانخفاض في أيام الجفاف المتتالية. قد تكون نتائج هذه الدراسة مفيدة في إعداد استراتيجيات التخفيف من آثار تغير المناخ والتكيف معه في الزراعة وأنظمة إمدادات المياه في هذه المناطق.

الكلمات المفتاحية: الهطول، تحليل الاتجاهات، مؤشرات، الجزائر، تغير المناخ، مان-كيندال.