



**Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique**

Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des sciences appliquées

Département Génie Civil et Hydraulique



C : ...

R : ...

MEMOIRE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydriques

Thème :

**ETUDE STATISTIQUE DES PRECIPITATIONS ET DES TEMPERATURES
DE LA VILLE DE CONSTANTINE**

Présenté par :

SID Khaoula Saidat el-islam

Soutenu Publiquement le :

Devant le jury :

BOUTOUTAOU Djamel	Pr	U. K .M (Ouargla)	Président
SAGGAI Sofiane	Pr	U. K .M (Ouargla)	Examineur
OULHACI Dalila	MCA	U. K .M (Ouargla)	Encadreur

Année universitaire : 2022/2023



**Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique**

Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des sciences appliquées

Département Génie Civil et Hydraulique



C : ...

R : ...

MEMOIRE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydriques

Thème :

**ETUDE STATISTIQUE DES PRECIPITATIONS ET DES TEMPERATURES
DE LA VILLE DE CONSTANTINE**

Présenté par :

SID Khaoula Saidat el-islam

Soutenu Publiquement le :

Devant le jury :

BOUTOUTAOU Djamel	Pr	U. K .M (Ouargla)	Président
SAGGAI Sofiane	Pr	U. K .M (Ouargla)	Examineur
OULHACI Dalila	MCA	U. K .M (Ouargla)	Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

Je remercie Dieu le Tout-Puissant et Miséricordieux, de m'avoir appris ce que je ne savais pas et de m'avoir donné la santé, la persévérance et tout ce que j'ai pour faire le travail requis et écrire ce mémoire.

Mes sincères remerciements et mes salutations les plus vives vont à mon superviseur, le Dr Oulhaci Dalila, pour avoir suggéré le sujet, transmis ses connaissances et son expérience à la fois en climatologie et en hydrologie. Je la remercie aussi pour la confiance qu'elle m'a accordée, elle a été d'un grand soutien sans lequel il m'aurait été difficile de mener à bien ce travail.

Je tiens également à remercier le Pr. Boutoutaou Djamel pour ses conseils avisés, son orientation et ses encouragements et pour toutes les précieuses informations qu'il m'a fournies au cours de ce travail. Je le salue pour sa présence durant cette période difficile. Grâce à lui, j'ai beaucoup appris dans le domaine de l'hydrologie et des statistiques ce qui m'a permis de finaliser ce travail.

Pr.BOUTOUTAOU Djamel m'a fait l'immense honneur d'accepter de présider le jury et d'évaluer ce travail. C'est avec un grand plaisir que je lui adresse encore une fois mes sincères remerciements.

Il me fait grand plaisir d'exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude au Pr.Saggai Sofiane qui m'a honorée en acceptant d'examiner ce travail.

Mes sincères remerciements vont également à tous les enseignants du Département Génie Civil et Hydraulique de l'Université de Ouargla pour la formation qu'ils m'ont dispensée tout au long de mes études universitaires.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué un tant soit peu à la réalisation de ce travail.



Dédicaces

Je dédie cet humble travail à mes chers parents

Qui ont tout sacrifié pour ma réussite

Et aussi pour leur amour, leur tendresse

Et leur soutien tout au long de mes études.

A mes chers frères, pour leurs encouragements

Et leur soutien.

A tous les membres de la famille Sid

Et de la famille Khelfaoui,

A tous mes amis.

A tous mes collègues.

A mes professeurs, que Dieu les protège.

Khaoula

Résumé : Ces dernières années, le climat de l'Algérie est marqué par une diminution des précipitations et unhaussement des températures. Ce changement climatique a un impact direct sur les écosystèmes et les sociétés. Les études scientifiques montrent clairement que ces changements à l'œuvre depuis le début de la période industrielle sont sans commune mesure avec la variabilité naturelle du climat. Dans ce contexte cette étude a pour but de faire une étude statistique sur les données climatiques de 70 ans de précipitations et températures de Constantine. D'après le test Wilcoxon $W_{in} = 851.29$; $W_x = 985$ et $W_{max} = 1265.71$, pour les précipitations et $W_{in} = 840.45$, $W_x = 857$ et $W_{max} = 1247.55$ pour les températures, les deux séries des données de 70 années sont homogènes. Le quotient pluviothermique Q3 déterminé à l'aide de la formule de Stewart égal à 63.62 mm/k a permis de déduire que Constantine est caractérisée par un bioclimat semi-humide. Concernant l'ajustement des données, les résultats de la loi normale montrent clairement que pour les températures, les valeurs moyennes annuelles observées ne diffèrent pas sensiblement d'une année à une autre. Le coefficient de variation ($CV = 0.047$) étant faible confirme aussi que ces données s'ajustent bien à la loi de Gauss. Par contre concernant les données des précipitations elles s'ajustent bien à la loi de Galton avec un $CV = 0.04$. Pour le test de Kolmogorov Smirnov, les températures aussi s'ajustent bien à la loi de Gauss avec $\Delta_{max} = 0.07$ est $< \Delta$ théorique = 0.018. Et les données des précipitations, s'ajustent bien à la loi de Gauss car $\Delta_{max} < \Delta$ théorique ($0.07 < 0.018$).

Mots clés : Température, Précipitation, Loi de Gauss, loi de Gumbel, loi de Galton, test Wilcoxon, test de Kolmogorov Smirnov, Constantine.

ملخص: خلال السنوات الأخيرة، تميز مناخ الجزائر بانخفاض في هطول الأمطار وارتفاع في درجة الحرارة. هذا التغير المناخي له تأثير مباشر على النظم البيئية والمجتمعات. تظهر الدراسات العلمية بوضوح أن هذه التغييرات الناشئة منذ بداية الفترة الصناعية لا تقارن مع التقلب الطبيعي للمناخ. في هذا السياق، تهدف هذه الدراسة إلى إجراء دراسة إحصائية للبيانات المناخية لمدة 70 عامًا لهطول الأمطار ودرجات حرارة قسنطينة. طبقًا لاختبار Wilcoxon، $W_{in} = 851.29$ و $W_x = 985$ و $W_{max} = 1265.71$ ، لهطول الأمطار و $W_{in} = 840.45$ و $W_x = 857$ و $W_{max} = 1247.55$ ، لسلسلة البيانات لمدة 70 عامًا متجانسة. حصل هطول الأمطار Q3 الذي تم تحديده باستخدام صيغة ستيفارت التي تساوي 63.62 مم / ك، سمح باستنتاج أن قسنطينة تتميز بمناخ حيوي شبه رطب. فيما يتعلق بتعديل البيانات، تظهر نتائج القانون العادي بوضوح أنه بالنسبة لدرجات الحرارة، فإن القيم المتوسطة السنوية الملاحظة لا تختلف اختلافًا كبيرًا من سنة إلى أخرى. إن معامل الاختلاف ($CV = 0.047$) منخفض يؤكد أيضًا أن هذه البيانات تتلاءم جيدًا مع قانون Gauss. من ناحية أخرى، فيما يتعلق ببيانات هطول الأمطار، فإنها تتوافق جيدًا مع قانون جالتون مع $CV = 0.04$. بالنسبة لاختبار Kolmogorov Smirnov، تتوافق درجات الحرارة جيدًا أيضًا مع قانون Gauss مع $\Delta_{max} = 0.07$ هو >النظري $\Delta = 0.018$. وتتناسب بيانات الترسيب مع قانون غاوس جيدًا لأن $\Delta_{max} > \Delta$ (النظري $0.07 > 0.018$).
الكلمات المفتاحية: درجة الحرارة، الترسيب، قانون غاوس، قانون جومبل، قانون جالتون، اختبار ويلكسون، اختبار كولموغوروفسمير نوف، قسنطينة.

Abstract: In recent years, the climate in Algeria has been characterized by a decrease in precipitation and an increase in temperature. This climate change has a direct impact on ecosystems and societies. Scientific studies clearly show that these changes in work since the beginning of the industrial period are out of proportion to the natural variability of climate. In this context, this study aims to conduct a statistical study of climatic data for 70 years of rainfall and temperatures of Constantine. Based on Wilcoxon test, $W_{in} = 851.29$; $W_x = 985$ and $W_{max} = 1265.71$, for precipitation and $W_{in} = 840.45$, $W_x = 857$ and $W_{max} = 1247.55$ for temperature, the two 70-year data series are homogeneous. The precipitation Q3 determined using the Stewart formula equals 63.62 mm/k, allowed to conclude that Constantine is characterized by a semi-humid bio climate. In terms of adjusting the data, the normal law results clearly show that for temperatures, the observed annual mean values do not vary significantly from year to year. The low coefficient of variation ($CV = 0.047$) also confirms that these data fit well with Gauss's law. On the other hand, for the precipitation data, it agrees well with Galton's law with $CV = 0.04$. For the Kolmogorov Smirnov test, the temperatures also agree well with Gauss' law with $\Delta_{max} = 0.07$ being $<$ theoretical $\Delta = 0.018$. In addition, the sedimentation data fit Gauss's law well because $\Delta_{max} <$ theoretical Δ ($0.07 < 0.018$).

Keywords: temperature, precipitation, Gauss's law, Gumbel's law, Galton's law, Wilcoxon's test, Kolmogorov's test, Samir Nouf, Constantine.

Liste des figures

Chapitre II

Figure II. 1 Principales unité de mesure	12
Figure II. 2 Thermomètre.....	12
Figure II. 3 Thermomètre à maximum.....	13
Figure II. 4 Thermomètre à minimum	13
Figure II. 5 pluviomètre manuel.....	14
Figure II. 6 pluviomètre automatique	15
Figure II. 7 Pluviomètre électronique	16
Figure II. 8 pluviomètre	16
Figure II. 9 pluviographes à augets basculeur	17
Figure II. 10 pluviographes à sipbons.....	17
Figure II. 11 pluviographes(source IHFR).....	18
Figure II .12 Pluviographe	18
Figure II. 13 Carte de localisation de la wilaya de Constantine	18
Figure II. 14 Situation géographique de Constantine	18
Figure II. 15 Evolution des températures annuelles sur 70ans (1939-2008)	19
Figure II. 16 Variation annuelle des précipitation sur 70ans (1937-2008).....	20
Figure II. 17 Indice d'aridité annuel à constantine sur la période (1940-2010).....	22
Figure II. 18 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (1940-1944).....	23
Figure II. 19 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (1945-1949).....	23
Figure II. 20 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (1950-1954).....	23
Figure II. 21 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (1955-1959).....	23
Figure II. 22 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (1960-1964).....	24
Figure II. 23 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (1965-1969).....	24
Figure II.24 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (1970-1974).....	24
Figure II. 25 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (1975-1979).....	24
Figure II. 26 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (1980-1984).....	24
Figure II. 27 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (1985-1989).....	24
Figure II. 28 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (1990-1994).....	25
Figure II. 29 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (1995-1999).....	25
Figure II. 30 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (2000-2004).....	25
Figure II. 31 Indice d'aridité mensuel à constantine dans la période (2005-2009).....	25
Figure II.32 Diagramme ombrothermique de Gaussen de Constantine dans la période(1937-2010)	26
Figure II. 33 Climagramme pluviothermique d'emberger pour la station de Constantine	28

Chapitre IV

Figure IV. 1 La droite de Henry de précipitation pour la loi de Gauss	39
Figure IV. 2 La droite de Gumbel pour les précipitations	42
Figure IV. 3 La droite de Galton de la loi log-normale pour les précipitations	44

Figure IV. 4 La droite de Henry de la loi de Gauss pour les températures.....	49
Figure IV. 5 La droite de Gumbel pour les températures	52
Figure IV. 6 La droite de Gumbel pour les températures	54

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau II. 1 Classification des climats selon l'indice de Martonne	21
Tableau II. 2 Indice d'aridité Annuel pour une période quinquennale	22
Tableau II. 3 Indice d'aridité mensuel pour une période quinquennale	23
Tableau II. 4 Précipitation et Températures moyennes mensuelles (1937-2010)	25
Tableau II. 5 Températures moyennes des maximas et minimas (1937-2010)	27

Chapitre IV

Tableau IV. 1 Caractéristique statistique des pluies annuelles à Constantine (1937-2010)	36
Tableau IV. 2 Pluies Annuelles fréquentielles	37
Tableau IV. 3 Pluies fréquentielles des années humides et Années sèches	38
Tableau IV. 4 Pluies Annuelles	40
Tableau IV. 5 Pluies fréquentielles des années humides et Années sèches	41
Tableau IV. 6 Pluies Annuelles fréquentielles	43
Tableau IV. 7 Pluies fréquentielles des années humides et Années sèches	43
Tableau IV. 8 pluies fréquentielles de 3 lois	45
Tableau IV. 9 Pluies fréquentielles de 3 lois pour les années humides et Années sèches	45
Tableau IV. 10 Caractéristique statistique des températures annuelles à Constantine (1937-2010)	46
Tableau IV. 11 Températures Annuelles fréquentielles	50
Tableau IV. 12 Températures Annuelles fréquentielles des années humides et Années sèches ...	50
Tableau IV. 13 Température fréquentielles	50
Tableau IV. 14 Température fréquentielles des années humides et Années sèches	51
Tableau IV. 15 Températures Annuelles fréquentielles	53
Tableau IV. 16 Température fréquentielles des années humides et Années sèches	53
Tableau IV. 17 Température fréquentielles de 3 lois	55
Tableau IV. 18 Températures Annuelles fréquentielles des années humides et Années sèches de 3 lois	55
Tableau IV. 19 Test kolmogorov smirnov des précipitations pour la loi de Gauss	56
Tableau IV. 20 Test kolmogorov smirnov des précipitations pour la loi log-normale	58
Tableau IV. 21 Test kolmogorov smirnov des températures pour la loi de Gauss	60
Tableau IV. 22 Test kolmogorov smirnov des températures pour la loi log-normale	62

Sommaire

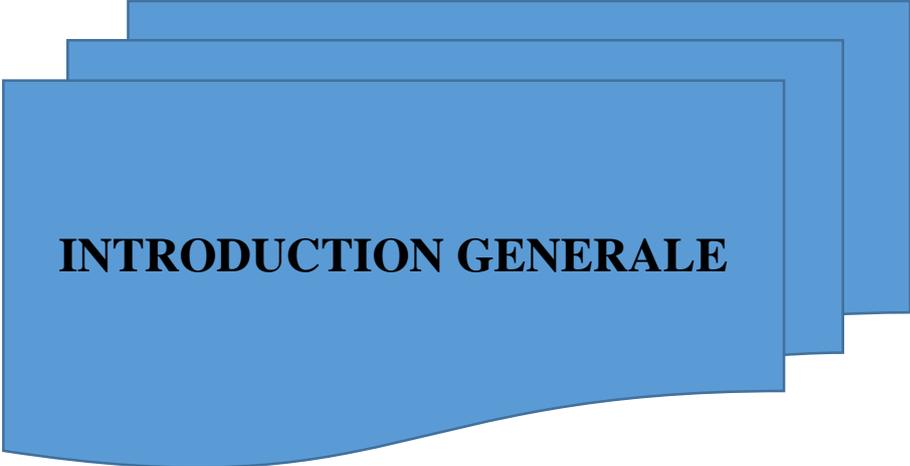
Table des matières

Remerciements	4
Dédicaces	5
.....	6
Liste des figures	7
Liste des tableaux	9
Sommaire	10
INTRODUCTION GENERALE	14
Chapitre I : Etude Bibliographique	2
Introduction	3
1. Définition de climat	3
1.1 Climat de l'Algérie	4
1.2 Météorologie	4
1.3 Température et précipitations	5
1.3.1 Impact de la température et/ou précipitations	5
1.3.2 Sécheresse	5
1.3.3 Cycle de l'eau	6
1.3.4 Enneigement	6
1.3.5 Inondations	6
2. Précipitations	6
2.1. Origine des précipitations	6
2.2 Définition	6
2.3 Formation et Mécanismes de formation des précipitations	7
2.4 Classification des précipitations	7
2.5 Régime des précipitations	8
3 Température	8
3. 1 Echanges thermiques	8
3.3 Historique de mesure	9

Conclusion	10
Chapitre II: Etude climatique	11
Introduction	11
I. Généralité sur précipitation et température	11
I.1 Température	11
1. Différentes unités de température	11
2. Température moyenne	11
3. Température maximale	11
4. Température minimale	11
5. Échelles de température	11
5.1. Échelle Fahrenheit	11
5.2.Échelle Celsius	11
5.4.Échelles centigrades	11
5.5.Échelle Rankine	12
6. Principales unités de mesure	12
6.1 Instruments de mesure	12
6.1.1 Thermomètres ordinaires	12
6.1.2 Thermomètres à maximum	13
6.1.3 Thermomètres à minimum	13
6.1.4 Thermomètre mouillé	14
6.2 La température du point de rosée	14
I.2 Précipitations	14
1. Les précipitations	14
2. Mesure des précipitations	14
II. Présentation des zones d'étude	18
1. Situation géographique et relief	18
2. Climat	19
2.1 Température moyenne	19
3. Les ressources hydrauliques : (Source : DPSB/DRE)	20

III. Synthèse climatique	20
A. Indice d'aridité De Martonne	20
B. Le quotient pluviothermique d'EMBERGER	26
C. Climat gramme d'Emberger	26
Conclusion du chapitre II	28
Chapitre III : Matériels et Méthodes	29
Introduction	31
III.1 Homogénéisation des séries des précipitations et températures : Test de Wilcoxon	31
III.2 Ajustement statistiques des données de mesure	32
III.2.1 Loi normale (loi de Gauss)	32
III.2.2 Loi des valeurs extrêmes (Loi de Gumbel)	34
III.2.3Loi de log-normale (Loi de Galton)	35
III.3.Test de Kolmogorov-Smirnov	36
Chapitre IV : Résultats et Discussions	37
Introduction	38
IV. 1 Homogénéisation des séries des précipitations et températures à l'aide du Test de Wilcoxon	38
IV.2 Ajustement des statistiques des précipitations aux lois statistiques :.....	38
IV.2.1 Loi normale (loi de Gauss)	38
IV.2.1.1.Etablissement de la droite de Henry	41
IV.2.2.Loi de Gumbel	43
IV.2.2.1Etablissement de la droite d'ajustement de Gumbel	43
IV.2.3 Loi de log-normale (loi de Galton)	46
IV.3Ajustement statistique des Températures aux lois statistiques	49
IV.3.1 Loi normale (loi de Gauss)	49
IV.3.2.Loi de Gumbel	53
IV.3.2.1Etablissement de la droite d'ajustement de Gumbel	54
IV.3.3 Loi de log-normale (loi de Galton)	56
IV.4.Récapitulation et interprétation des résultats	59

IV4.1. Précipitations	59
IV.4.1.1Loi de Gauss	59
IV.4.2.Loi de log-normale	61
IV.4.2. Températures	63
IV.4.2.1.Loi de Gauss	63
IV.4.2.2. Loi de log-normale	65
IV.5Interprétation	67
CONCLUSION GENERALE	68
REFERENCES BIBIOGRAPHIQUES	71
REFERENCES BIBIOGRAPHIQUES	72
ANNEXES	75



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le climat est un phénomène global et complexe qui a un impact sur l'ensemble des formes de vie de la planète. Il inclut un certain nombre de variables (la température, les précipitations, les vents) et se décrit comme un système où l'ensemble de ses variables sont liées. Le réchauffement climatique est un phénomène global de transformation du climat caractérisé par une augmentation générale des températures moyennes qui modifie durablement les équilibres météorologiques et les écosystèmes. Il peut provoquer des dérèglements climatiques comme la désertification et l'intensité des précipitations.

Des vérifications et suivis de l'évolution de plusieurs paramètres climatiques en particulier la température et les précipitations ont permis de valider l'hypothèse d'existence et de persistance du phénomène de changement climatique. En outre, des observations et des données ont été recueillies sur des phénomènes naturels qui commençaient à présenter des risques majeurs pour la société et l'humanité. Si on parle de sécheresse et d'inondations, de fonte accélérée des neiges ceci permet de se mettre d'accord sur l'existence du changement climatique.

Les effets du changement climatique sont parmi les défis actuels auxquels l'humanité doit faire face : Un réchauffement des températures, une forte variabilité des précipitations et une intensification des phénomènes extrêmes. Ainsi, les secteurs clés de l'économie et du développement notamment l'agriculture, l'environnement, les ressources en eau, sont menacés.

Selon le dernier rapport du Groupe Intergouvernemental des experts sur l'Évolution du Climat (GIEC), l'essentiel de l'accroissement observé de la température moyenne globale depuis le milieu du 20^e siècle est dû très probablement à l'augmentation observée des concentrations de gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique [1]. Toutes les projections futures du climat global (futur proche et lointain) prévoient une intensification du réchauffement moyen, en plus de la variabilité des précipitations et aussi une plus grande fréquence et une intensification des phénomènes extrêmes [1]. Les impacts de cette variabilité climatique varient d'une région du globe à une autre avec des conséquences socio-économiques particulièrement importantes dans les pays en développement [2]. En Afrique, une augmentation de la magnitude et de la fréquence des événements extrêmes est anticipée [3].

L'année 2017 a été la troisième année la plus chaude jamais enregistrée sur les terres continentales africaines depuis 1950, après 2010 (année la plus chaude) et 2016 (2^eme année la plus chaude) [4]. Au cours des neuf premiers mois de l'année 2017, la température moyenne sur le continent a été supérieure de 1.20°C à la moyenne de la période entre les années 1961 et 1990 (en comparaison, la température était de 1.41°C supérieure à la moyenne en 2010 et de 1.26°C en 2016) [4]. L'Afrique de l'Ouest observe déjà un réchauffement des températures de 1°C depuis 1950 [24]. Durant ces dernières années, le continent a observé des vagues de chaleur plus longues et plus intenses que durant les deux dernières décennies du 20^eme siècle [30]. Par ailleurs, 50% des projections climatiques régionales suggèrent que ces vagues de chaleur, qui sont inhabituelles dans les conditions climatiques actuelles, seront plus régulières d'ici à 2040 mais voire plus sévères sous le scénario RCP8.5 [5]

L'évolution du climat de la planète Terre, est au cours de ces dernières décennies marquée par un réchauffement dû à l'effet de serre dont l'une des majeures conséquences sur la circulation atmosphérique est la limitation des échanges méridiens et la diminution des flux de mousson à

INTRODUCTION GENERALE

L'équateur [1]. Il s'en suit des répercussions sur les régimes pluviométriques qui se traduisent par des événements hydro climatiques extrêmes. La récurrence de ces événements, depuis ces dernières années, constitue l'un des principaux facteurs qui affecte aussi bien la capacité de production des écosystèmes que la société humaine. [6]

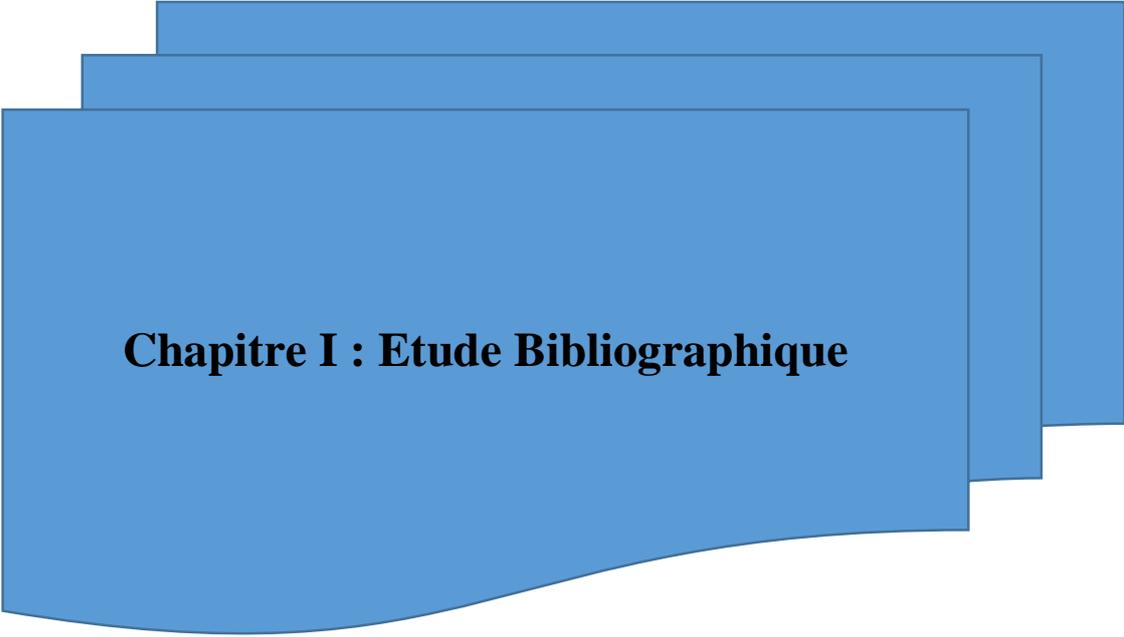
L'Algérie est l'une des régions les plus vulnérables face aux impacts et changement climatiques au cours du 21ème siècle. Le nord de l'Algérie a connu une variabilité à la baisse de la pluviométrie annuelle au cours du 20ème siècle. L'évolution récente du climat montre que le réchauffement dépasse la moyenne et qu'il se manifeste sous forme d'une sécheresse. En effet sur les 40 dernières années les températures moyennes annuelles ont subi une augmentation de 0.5°C. Ainsi les sécheresses de la même période sont encore plus remarquables compte tenu du déficit pluviométrique enregistré un peu partout sur le territoire. La baisse de la pluviométrie dans cette période est estimée à environ 10% de la moyenne. Ces événements climatiques extrêmes pourraient devenir plus fréquents et avoir des impacts irréversibles sur l'environnement. Le changement climatique est variable selon les régions. En outre, les précipitations et températures sont des données importantes dans plusieurs domaines (hydrologie, hydraulique urbaine et agricole....) car ils interviennent dans les calculs de plusieurs permettent (indice d'aridité, rayonnement solaire, évapotranspiration). Le sujet d'actualité est le changement climatique et ses répercussions sur l'environnement, l'être humain, la faune et la flore.

Dans le cadre de la recherche sur les changements climatiques, les problèmes récurrents sur lesquels les chercheurs butent sont soit l'absence totale de données sur une région d'étude soit la discontinuité des séries de données météorologiques quotidiennes, mensuelles ou annuelles. On peut aussi énumérer le manque de stations météorologiques comme un des problèmes significatifs.

Dans ce contexte l'objectif de ce travail est l'évolution de l'indice d'aridité et l'étude statistique de ces deux facteurs climatiques qui sont les précipitations et températures de Constantine. On utilise une série climatique (température et précipitations) observée de 70 ans (1939/ 2010), collectée auprès du service météorologique de la région de Constantine pour ce travail en testant quelques lois les plus couramment utilisées (normale, Gumbel et log-normale).

Le plan de travail est structuré comme suit :

- On commence, dans un premier chapitre, par une recherche bibliographie dans laquelle on donne un aperçu sur la climatologie et le climat ainsi que les facteurs climatiques de cette étude : température et précipitation ;
- Dans le deuxième chapitre, on étudiera le climat de la région d'étude et déterminera l'indice d'aridité de toute la période d'étude. On présentera aussi les matériels et les méthodes utilisés pour la détermination des précipitations et températures ;
- Le troisième chapitre sera consacré à la méthodologie de l'Homogénéisation des séries des données à l'aide du Test de Wilcoxon, ainsi que leur ajustement statistique à l'aide de quelques lois les plus couramment utilisées : Loi de Gauss, loi de Gumbel et la loi de Galton ;
- Le quatrième chapitre consistera en la récapitulation et l'interprétation des résultats ;
- On terminera par une conclusion générale et quelques recommandations.



Chapitre I : Etude Bibliographique

Introduction

La climatologie, branche de la météorologie et de la géographie physique, est l'étude du climat. C'est la succession des conditions météorologiques sur de longues périodes dans le temps. L'étude du temps à court terme est du domaine de la météorologie [7]. La climatologie est constituée d'une multitude de disciplines scientifiques (géographie, architecture, physique, etc. **Pinson (2016)**,

La connaissance de nombreux paramètres, à savoir la température à différentes altitudes, l'influence des gaz à effet de serre, l'humidité relative et l'évaporation océanique, est nécessaire pour produire des modèles climatiques numériques et anticiper les changements du climat que l'on peut prévoir à plus ou moins long terme (30 ans). [8]

Au début du siècle, la climatologie déterminait essentiellement des statistiques de différents paramètres comme la précipitation, température, vitesse des vents, etc. Les applications sont nombreuses [9]. Ces chiffres permettent d'expliquer les caractéristiques géographiques et environnementales, de construire des ouvrages et infrastructures, de faire des choix optimisés, etc. [10]

1. Définition de climat :

Le terme « climat » est apparu dans la langue française au XIIe siècle, comme dérivé du latin « climatisé » qui provient du grec « klima » qui désigne l'inclinaison de la Terre par rapport au Soleil. Les premiers découpages climatiques ont été établis selon l'inclinaison des rayons du Soleil par rapport à l'horizon. [9] (^{Yahiaoui, 2015}).

L'étude du climat est une branche de la météorologie et de la géographie physique. C'est la succession des conditions météorologiques sur de longues périodes dans le temps.

Au sens étroit du terme, le climat désigne généralement le « temps moyen » ; il s'agit plus précisément d'une description statistique en fonction de la moyenne et de la variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes variant de quelques mois à des milliers, voire à des millions d'années. Ces grandeurs sont le plus souvent des variables de surface telles que la température, les précipitations et le vent. Dans un sens plus large, le climat est la description statistique de l'état du système climatique.[11]

Le climat est défini comme un « ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné » d'après Larousse. [12]

En 1910, **Hanna** a défini le climat comme étant « l'ensemble des éléments météorologique qui caractéristique l'état moyen de l'atmosphère au-dessus d'un lieu » [13]. Ainsi au cours de l'année 1987 Gibbs a proposé une définition plus dynamique « la probabilité d'occurrence de divers états de l'atmosphère dans un lieu ou une région, au cours d'une certaine période donnée. [1]

Selon l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), le climat est la synthèse des conditions météorologiques d'une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère. Le climat inclut un certain nombre de variables (la température, les précipitations, les vents, etc.) et se décrit comme un système où l'ensemble de ses variables sont liées [14]

Selon le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), le climat désigne généralement le « temps moyen »; il s'agit plus précisément d'une description statistique du temps en termes de moyennes et de variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes de plusieurs années (30 ans en principe, d'après la définition de l'OM Organisation météorologique Mondiale-).[15]

Autrement dit, le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période donnée. Il est effectué à l'aide de valeurs moyennes établies à partir de mesures statistiques, mensuelles et annuelles, ainsi que sur la base de données atmosphériques locales : température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. [16]

Les facteurs qui influent sur le climat sont surtout les océans, le relief et la végétation.

1.1 Climat de l'Algérie :

Le climat de l'Algérie est essentiellement méditerranéen, c'est-à-dire caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers pluvieux. Mais sous ce qualificatif général, on est appelé à distinguer une grande diversité de climats régionaux, déterminés par la situation géographique et par l'orographie de l'Algérie. Celle-ci est bordée au Nord par la Méditerranée, relativement chaude en été, relativement fraîche en hiver, au Sud par le Sahara où la température est élevée en moyenne, mais très variable dans le temps ; il en résulte pour les différentes parties de l'Algérie, soumise à ces deux influences, des écarts de température considérables, et essentiellement variables d'une saison à l'autre (ce qui se traduit par une déformation des courbes isothermes). Les importantes chaînes de l'Atlas tellien et de l'Atlas saharien qui traversent le pays d'ouest en est contribuent pour leur part à différencier les climats en abaissant la température de l'air et en augmentant les précipitations aux dépens des régions situées plus au Sud. Cette diversité des climats régionaux et locaux entraîne la bigarrure de la carte agricole de l'Algérie. [17]

D'autre part, en Algérie, l'évolution récente du climat montre que le réchauffement est plus important que la moyenne. En effet, si au niveau mondial la hausse de température au 20ème siècle a été de 0.74°C, celle sur le Maghreb s'est située entre 1.5 et 2°C selon les régions, soit plus du double que la hausse moyenne planétaire. Quant à la baisse des précipitations, elle varie entre 10 et 20%. En outre, de nombreuses études montrent que les projections climatiques, élaborées par les modèles de circulation générale (MCG) actuels, sous-estiment la hausse des températures et la baisse des précipitations sur le Maghreb. Ce qui montre que les pays du Maghreb vont subir, plus que d'autres, les effets du changement climatique qui constitue, désormais, une préoccupation majeure pour la région. [17]

1.2 Météorologie

La météo (ou le temps) est ce qui se passe maintenant, ou est susceptible de se produire demain ou dans un avenir très proche (Ramamasy et Baas, 2007). Alors que la météorologie est la science étudiant les phénomènes atmosphériques et les lois qui les régissent en vue d'une meilleure prévision du temps et d'une prédiction avisée de ses conséquences sur l'environnement et les activités humaines (Mazoyer et al, 2002).

La distinction entre la discipline de la météorologie et de la climatologie s'est faite progressivement durant la première moitié du XX^{ème} siècle. La météorologie étudie les processus physiques qui déterminent l'évolution et rend compte des phénomènes essentiellement observés dans sa partie la plus basse. Ces phénomènes interactifs avec les milieux connexes de l'atmosphère (océan, cryosphère, biosphère, etc.) Sont analysés et traités à toutes les échelles du temps (Pinson, 2016). [18]

Les éléments météorologiques du climat sont les éléments de l'atmosphère qui contribuent à la formation des climats. Ainsi, le climat d'une région à une époque donnée d'évolution de la planète peut se définir par les valeurs des variables qui caractérisent le temps. Ces variables qui sont les facteurs météorologiques du climat sont essentiellement. [19]

- Les vents ;
- Radiation (rayonnement) solaire ;
- La température ;
- L'humidité de l'air ;
- Les précipitations (pluie et neige).[19]

1.3 Température et précipitations :

Aujourd'hui parmi les sujets d'actualité les plus brûlants qui portent inéluctablement sur le changement climatique et qui deviennent de plus en plus inquiétants sont la température et les précipitations. Donnons un aperçu sur la température et précipitation qui sont l'objet de cette étude.

1.3.1 Impact de la température et/ou précipitations :

La hausse croissante des températures est l'un des premiers indicateurs du changement climatique, il existe un seuil normal de température en fonction de chaque région du globe et de chaque période prise en compte, lorsque ce seuil reconnu normal est largement dépassé, cela constitue une preuve concrète de changement climatique, cette hausse de température se manifeste par un réchauffement général de la planète, celui-ci peut atteindre des proportions très élevées, la hausse de la température à la surface de l'eau de l'est de l'océan Pacifique est un cas concret de hausse de température, une preuve de changement climatique selon les experts mondiaux en climatologie, la hausse des températures est la conséquence directe de l'activité humaine engendrant une émission massive de gaz à effet de serre . [20]

1.3.2 Sécheresse :

La sécheresse est un phénomène qui se traduit par un assèchement des sols altérant le bon développement de la faune et de la flore, elle est due à un dérèglement du cycle normal de pluviosité, et donc à l'absence de l'eau. Les températures élevées sont aussi un élément qui accentue la sécheresse témoignant ainsi d'un sérieux changement ou d'une grande perturbation du climat. [20]

1.3.3 Cycle de l'eau :

La température de l'air et des océans est le premier paramètre qui, soumis à l'impact du changement climatique, va influencer sur le cycle de l'eau en modifiant les conditions d'alimentation du réservoir atmosphérique (taux d'évaporation, degré d'humidité de l'air). [21]

Ces modifications vont, dans un second temps, impacter la pluviométrie, avec, pour conséquence, des modifications spatiales et temporelles des régimes de précipitations qui caractérisent aujourd'hui le territoire. Une fois précipitée au sol, l'eau est soumise au phénomène d'évapotranspiration, qui, elle-aussi, sera impactée par les modifications climatiques prévisibles (notamment la température de l'air) ; Cela va engendrer une modification sur la pluie efficace, la quantité de ruissèlement et la quantité d'eau infiltrée. [22].

1.3.4 Enneigement :

La diminution de l'enneigement est un indicateur de changement climatique. En effet, lorsque les températures s'élèvent, la neige présente sur le sol fond beaucoup plus vite. L'épaisseur des flocons de neige et la durée de la période d'enneigement diminuent donc considérablement. [20]

1.3.5 Inondations :

Plusieurs raisons expliquent la survenance des inondations, mais parmi celles-ci, les chercheurs climatologues retiennent le changement climatique comme l'une des principales raisons ; Selon les récentes études, le réchauffement climatique aggrave les inondations et entraîne leur régularité, cela permet de considérer les inondations comme un indicateur de changement climatique. [20]

2. Précipitations :

2.1. Origine des précipitations :

Les précipitations se produisent lorsque la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère se condense en nuages et retombe sur terre. Elles constituent l'unique «entrée» des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants. Elles constituent un phénomène physique qui décrit le transfert d'eau dans sa phase liquide (pluie) ou solide (neige et grêle) entre l'atmosphère et le sol. Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. [24]

2.2 Définition :

Sous le terme de précipitations, on regroupe toutes les eaux météoriques qui arrivent au sol sous quelque forme que ce soit. Ce sont des gouttes d'eau ou de cristaux de glace formés après condensation qui deviennent trop lourds pour se maintenir en suspension dans l'air et tombent au sol. Ces hydrométéores (cristaux de glace ou gouttelettes d'eau), ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol ou s'évaporent en virga avant de l'atteindre.

Les précipitations se caractérisent par trois principaux paramètres : leur volume, leur intensité et leur fréquence qui varient selon les lieux et les périodes (jours, mois ou années).

Les types de précipitation sont donnés en fonction de la forme et de la taille des gouttelettes d'eau qui précipitent lorsque les bonnes conditions sont réunies. Ils peuvent être, bruine, averses, grêle, neige, grésil, pluies, et ainsi de suite. [24]

2.3 Formation et Mécanismes de formation des précipitations :

La formation des précipitations nécessite la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. La saturation est une condition essentielle à tout déclenchement de la condensation. Divers processus thermodynamiques sont susceptibles de réaliser la saturation des particules atmosphériques initialement non saturées et provoquer leur condensation :

- Saturation et condensation par refroidissement isobare (à pression constante) ;
- saturation et condensation par détente adiabatique ;
- saturation et condensation par apport de vapeur d'eau ;
- saturation par mélange et par turbulence. [25]

Pour qu'il y ait précipitations il faut encore que les gouttelettes ou les cristaux composant les nuages (les hydrométéores) se transforment en gouttes de pluie. Ce phénomène est lié l'accroissement de ces éléments dont la masse devient suffisante pour vaincre les forces d'agitation. Ce grossissement peut s'expliquer par les deux processus suivant :

- **L'effet de coalescence** : Il y a grossissement par choc et fusionnement avec d'autres particules. Du fait de la dispersion des vitesses, le cristal en se déplaçant, soit en chute libre soit par turbulence, entre en collision avec les gouttelettes surfondues ; la congélation de celles-ci augmente le volume du cristal. Il en est de même pour les gouttelettes de diamètre supérieur à 30 microns qui entrent en collision avec des gouttelettes de diamètre inférieur. Ce processus provoque un accroissement rapide de leur dimension et donc, de leur masse augmentant leur vitesse de chute. [25]
 - **L'effet Bergeron** : Dans la partie du nuage où la température est négative mais supérieure à -40°C , coexistent des cristaux de glace et des gouttelettes d'eau surfondues (eau liquide avec une $T^{\circ} < 0^{\circ}\text{C}$, l'eau pure ne se solidifie pas à 0°C mais en dessous de -40°C). Autour d'un cristal de glace, l'air est saturé à un taux d'humidité plus bas qu'autour d'une gouttelette d'eau surfondue. Suite à cette différence d'humidité, il apparaît un transfert de la vapeur d'eau des gouttelettes vers les cristaux. Par conséquent, les gouttelettes s'évaporent tandis qu'il y a condensation autour des cristaux. Lorsque la masse du cristal est suffisante, il précipite. S'il traverse une région à température positive suffisamment épaisse (souvent à partir de 300 m dans les nuages stables) et si la durée de chute le permet, il fond et donne lieu à de la pluie. Le même processus de grossissement a lieu entre deux gouttelettes à des températures différentes (la plus froide grossit au détriment de la plus chaude). [25]

2.4 Classification des précipitations : [26]

On peut classer les précipitations en :

- **Précipitations convectives** : Les précipitations convectives (ou averses) ne durent pas longtemps, mais sont d'une forte intensité. Ces précipitations se produisent par «l'instabilité

- convective de l'air » associée à la formation de nuages de types cumulus ou cumulonimbus (nuages d'orages). [26]

- **Précipitations orographiques** : Comme son nom l'indique (du grec oros, montagne), ce type de précipitations résulte de la rencontre entre une masse d'air chaude et humide et une barrière topographique particulière. Cela se produit lorsque l'air humide est poussé de :

- la mer vers une montagne et passe par une pente ascendante. Dans ce domaine se trouve le noyau de l'interaction entre la surface de la terre et l'atmosphère ; [26]

- **Précipitations frontales** : Les précipitations frontales ou de type cyclonique. Elles sont associées aux surfaces de contact entre deux masses d'air de température, de gradient thermique vertical, d'humidité et de vitesse de déplacement différents, que l'on nomme «fronts». [26]

2.5 Régime des précipitations :

En utilisant la seule donnée de précipitation dans une nomenclature climatique, on parvient à définir une répartition mondiale des différents régimes pluviométriques. Pour identifier et classer les diverses régions pluviométriques du globe, on a habituellement recouru aux précipitations moyennes mensuelles ou annuelles (évaluées sur une longue période) et à leurs variations. La précipitation moyenne annuelle établie sur un grand nombre d'années (hauteur moyenne des précipitations annuelles tombant à un endroit donné) est aussi appelée sa valeur normale, son module annuel ou sa valeur interannuelle [25].

3 Température :

Au cours des 130 dernières années, la température moyenne sur Terre a augmenté d'un degré Celsius. Cela peut paraître peu, mais à l'échelle mondiale, cela représente une menace sérieuse pour toute forme de vie présente sur la planète. La hausse d'un degré Celsius correspond à une moyenne mondiale, mais certaines régions, notamment l'Arctique, se réchauffent de façon plus marquée et bien plus vite. [27]

La température est un paramètre clé dans l'étude et la caractérisation des climats vu son rôle prédominant dans le rayonnement et le bilan énergétique, d'où son importance capitale dans les études qui touchent de près ou de loin le domaine du changement climatique.

De même, la température de l'air est un facteur qui a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d'écoulement (évapotranspiration) [28]

3.1 Echanges thermiques :

On distingue trois formes d'échanges thermiques :

- **La conduction** : La chaleur se propage à travers les corps, principalement les solides, sans mouvement de matière ;
- **La convection** : sous l'effet des différences de température, des masses de matières liquides ou gazeuses se mettent en mouvement et propagent ainsi la chaleur ;
- **Le rayonnement** : tout corps chauffé émet spontanément de l'énergie sous forme de radiations électromagnétiques. Inversement, ces radiations peuvent être absorbées et contribuer à chauffer un corps récepteur. [28]

3.2.1 Températures thermodynamiques :

La « température sèche » est la température de l'air mesurée à l'aide d'un thermomètre protégé de l'humidité et des radiations. La « température du thermomètre mouillé » est obtenue en humidifiant un thermomètre pour qu'il soit refroidi par évaporation de l'eau appliquée. Ce processus est d'autant plus rapide que l'air environnant est sec, si bien que la différence avec la température sèche fournit une mesure du taux d'humidité. La température « du point de rosée » est celle à laquelle l'air ambiant doit être rapporté, à pression constante, pour que son humidité augmente jusqu'à la saturation et que des gouttelettes de rosée se forment. [29]

3.2.2 Températures ressenties :

Notre sensation de la température, qui nous fait penser qu'un objet est plus chaud ou plus froid qu'un autre, demeure subjective. Il n'y a qu'à saisir par exemple un objet en bois et un objet en métal, tous deux à température ambiante, pour se rendre compte qu'ils fournissent une sensation bien différente. La main de l'homme n'est pas un bon thermomètre. En effet, ce n'est pas la température des objets que nous ressentons, mais le flux de chaleur que nous transmettons aux objets plus froids que nous, ou que nous recevons des objets plus chauds. Or ce flux peut être plus ou moins important selon la nature des matériaux (bois, métal, plastique...). Ainsi un métal froid sera-t-il senti plus froid qu'un morceau de bois à la même température, et à l'inverse, un métal chaud sera senti plus chaud. [29]

Comme, à l'extérieur, la sensation de froid ou de chaud dépend en partie de la force du vent et du taux d'humidité, on parle parfois, de façon impropre, de températures ressenties. Parce que le vent augmente les transferts de chaleur entre le corps et l'air environnant, il est senti par notre organisme comme équivalent à une baisse de température, on parle alors de « refroidissement éolien ». À l'inverse, par temps chaud, une forte humidité atmosphérique limite le taux d'évaporation de la sueur produite pour rafraîchir notre organisme. Notre température interne risque alors d'augmenter rapidement et d'entraîner des coups de chaleur, étourdissements, nausées et maux de tête ayant parfois des conséquences graves. [29]

Les différents services météorologiques effectuent systématiquement des mesures de la température de l'air au voisinage de la surface terrestre et jusqu'à 30 km d'altitude. Ils effectuent aussi régulièrement des mesures de température superficielle du sol et des océans, établissent des profils de température en profondeur, jusqu'à 500 m en milieu marin et 1 m sur les continents. [29]

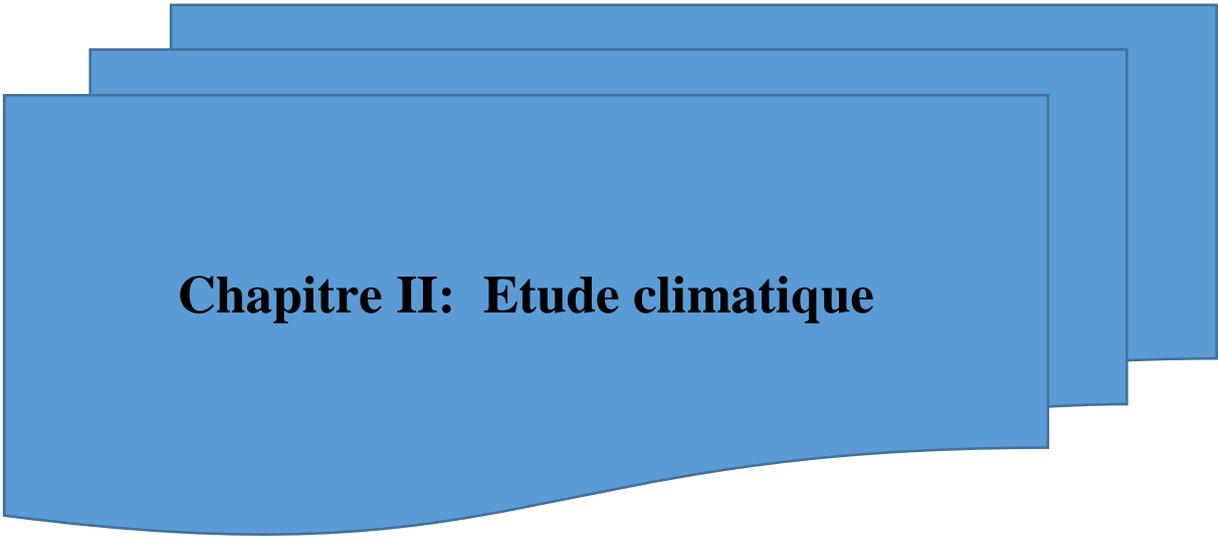
3.3 Historique de mesure :

Les premières mesures de la température à la surface du globe ont démarré en 1856, lorsque la société météorologique britannique a commencé à rassembler des données partout dans le monde. Afin de connaître la température antérieurement à cette date, les scientifiques avaient mis au point des méthodes de mesure « indirecte » à partir de données recueillies dans l'environnement naturel (événements historiques, cernes des arbres, coraux, glace, palynologie). Par exemple, les arbres produisent un anneau de croissance par année dont l'épaisseur dépend de la température et de l'aridité. Connaissant la largeur, la densité du bois, la composition isotopique en hydrogène et en oxygène des anneaux de croissance et les caractéristiques du site (glissements de terrain, chute de pierres,...), il est possible d'estimer les températures passées. De même, on peut utiliser les cernes

des coraux formés de carbonate de calcium (CaCO_3). La glace permanente de haute montagne ou des calottes polaires⁴ est composée d'hydrogène et d'oxygène. Le deutérium est un isotope⁵ de l'hydrogène. Comme il existe une relation entre la température locale et le rapport des isotopes $\text{O}16$ et $\text{O}18$, il est possible de reconstituer le climat de jadis. Grâce à ces techniques « indirectes », il est possible de reconstituer la température jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années. [30]

Conclusion :

Ce premier chapitre permet d'avoir des clarifications sur les facteurs climatiques étudiés dans ce travail. Les précipitations, qui sont toutes les eaux météoriques qui arrivent au sol sous quelque forme que ce soit. Ce sont des gouttes d'eau ou de cristaux de glace formés après condensation qui deviennent trop lourds pour se maintenir en suspension dans l'air et tombent au sol. Et la température qui est un paramètre clé dans l'étude et la caractérisation des climats vue son rôle prédominant dans le rayonnement et le bilan énergétique, d'où son importance capitale dans les études qui touchent d'un tant soit peu le domaine du changement climatique. De même, les précipitations et la température de l'air sont des facteurs qui ont une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de leurs impacts sur le déficit d'écoulement (évapotranspiration). [28]



Chapitre II: Etude climatique

Introduction

Dans ce chapitre on étudie le climat de la région d'étude Constantine et on détermine l'indice d'aridité. Des généralités (unités, instruments de mesure....) sur les températures et précipitations sont donc utiles et nécessaires.

I. Généralité sur précipitation et température :

I.1 Température :

1. Différentes unités de température :

La température est une grandeur intensive qui peut être mesurée de deux façons différentes :

- **A l'échelle atomique** : elle est liée à l'énergie cinétique moyenne des constituants de la matière ; [31]

- **Au niveau macroscopique** : certaines propriétés des corps dépendant de la température (volume massique, résistivité de l'électrique, etc.) peuvent être choisies pour construire des échelles de température. [31]

2. Température moyenne :

Est la représentation de l'ambiance thermique générale d'une période donnée (année, saison, mois, etc.). C'est le paramètre qui est fréquemment utilisé pour la modélisation des évolutions des écosystèmes ou des cultures sous l'influence du changement climatique. [32]

3. Température maximale : est un indicateur adapté pour suivre les fortes chaleurs, il est plutôt représentatif des débuts d'après-midi. [32]

4. Température minimale : est une caractéristique en générale, des fins de nuit, trouve notamment sa pleine importance en été où l'on sait qu'un repos physiologique pas trop perturbé nécessite une baisse suffisante des températures nocturne.

5. Échelles de température : Pour créer une échelle de température, les scientifiques de l'Antiquité ont recherché deux cas opposés, le « froid » et le « chaud ». [33]

5.1. Échelle Fahrenheit : En 1720, le scientifique allemand Gabriel Fahrenheit invente le thermomètre à mercure et l'utilise pour définir l'échelle Fahrenheit, dans laquelle 32°F correspondent à la température minimale et 212 °F au maximum. [32, 33,34]. Son symbole est «°F». Elle attribue une plage de 180°F entre la température de solidification de l'eau et sa température d'ébullition.

5.2.Échelle Celsius : en 1741, le physicien suédois Anders Celsius invente la gamme Celsius qui comprend cent intervalles appelés « degrés Celsius » (°C). Dans cette échelle, 0°C est la température la plus basse qui correspond au point de congélation de l'eau et 100 °C est la plus élevée et correspond au point d'ébullition de l'eau. [35, 32,33]

5.3.Échelle de Kelvin : à la fin du XIXe siècle, le scientifique britannique Lord Kelvin suggère l'idée de créer une échelle où le zéro serait le point le plus bas où la température ne pourrait pas baisser davantage : le zéro absolu (figureII.1). Les physiciens savaient que cette température existait à $-273,15^{\circ}\text{C}$, ce qui, une fois atteint, ne permettait pas aux atomes de bouger. Ainsi, le «zéro» a été pris à $-273,15^{\circ}\text{C}$. Cette nouvelle convention a été officialisée en 1960. [35, 32,33]

5.4.Échelles centigrades : L'échelle de mesure est telle que 0 et 100 sont fixés. Elle est appelée « centigrade » car les deux points de référence sont distants de 100°. Entre les deux, c'est la dilatation du mercure qui définit l'échelle. [36]

Par exemple dans l'échelle centigrade, le zéro correspond à la température de la glace fondante et 100 degrés centigrades correspond à la température d'ébullition de l'eau sous une pression de 1 atmosphère. [36]

5.5.Échelle Rankine : C'est une simple homothétie de l'échelle absolue avec un facteur 9/5.[36] Toutes ces unités de mesure sont récapitulées dans la figure II.1:

Plusieurs unités de mesure sont employées: Celsius (°C) ou centigrade, Fahrenheit (°F) et Kelvin (K)

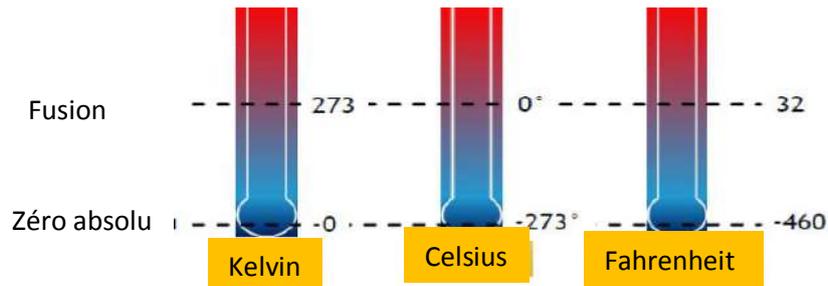


Figure II.1 Principales unités de mesure de la température

6. Principales unités de mesure :

6.1 Instruments de mesure :

Tous les appareils mesurant la température fonctionnent sur un principe similaire. Un élément de référence possède des caractéristiques connues qui varient selon la température. [30]

Les thermomètres fournissent une mesure de la température en utilisant des phénomènes comme la variation de la pression des gaz, la dilatation thermique des corps ou encore la variation des résistances électriques (figure II.2). [35]

Quel que soit le capteur mis en œuvre, la valeur de la température obtenue n'est représentative de celle de l'air que s'il y a équilibre thermique en permanence entre le détecteur et le milieu. En pratique, il est donc nécessaire, de jour, de protéger le capteur du rayonnement solaire et, la nuit, de minimiser les pertes énergétiques dues à son propre rayonnement infrarouge : on doit pour ceci utiliser impérativement un abri météorologique.[37]



Figure II.2 Thermomètre

La température de l'air ambiant est sujette à des fluctuations autour d'une valeur moyenne (de l'ordre de 1 à 2 °C en quelques secondes) qui n'ont que peu d'intérêt pour le météorologiste. Il est donc nécessaire soit de choisir des capteurs ayant des constantes de temps appropriées (supérieures à 30 s pour une vitesse de ventilation de 5 m · s⁻¹), soit d'effectuer un filtrage numérique des mesures. [37]

6.1.1 Thermomètres ordinaires :

Ce sont des thermomètres à mercure avec échelle gravée directement sur la tige. La plage de mesure va de - 31 à + 51°C avec division en demi-degré et chiffre toutes les 5 °C.

Ces thermomètres sont normalement utilisés dans la position verticale et sont maintenus par un support approprié de faible capacité thermique. Précision : de ± 0,2 °C à ± 0,5 °C. [37]

Les thermomètres à maximum possèdent un étranglement à l'entrée du tube capillaire (figure II.3). Lorsque la température décroît, il s'oppose au retour du mercure dans le réservoir. Le niveau d'affleurement de la colonne indique alors la température maximale. Le thermomètre à maximum est placé sur un support qui le maintient dans une position légèrement inclinée sur l'horizontale (de 2 à 4 degrés),

Le réservoir étant placé vers le bas et orienté vers l'intérieur de l'abri. Après chaque lecture (normalement à 6 h TU), l'appareil doit être amorcé. [37]

6.1.2 Thermomètres à maximum :

6.1.3 Thermomètres à minimum :

Les thermomètres à minimum utilisent le toluène ou l'alcool. Leur capillaire contient un petit index très léger en forme d'haltère, immergé dans le liquide. Cet index est entraîné par la tension superficielle du ménisque ; lorsque la température décroît, il s'immobilise au niveau du minimum atteint.

Ces thermomètres sont exposés dans une position inclinée, de 2 à 4 degrés par rapport à l'horizontale, dans des supports identiques à ceux des thermomètres à maximum (figure II.4). Le thermomètre à minimum est placé sur un support qui le maintient dans une position légèrement inclinée sur l'horizontale (de 2 à 4 degrés), le réservoir étant placé vers le bas et orienté vers l'intérieur de l'abri. Ils doivent être également réamorçés après chaque lecture (normalement à 18 h TU).

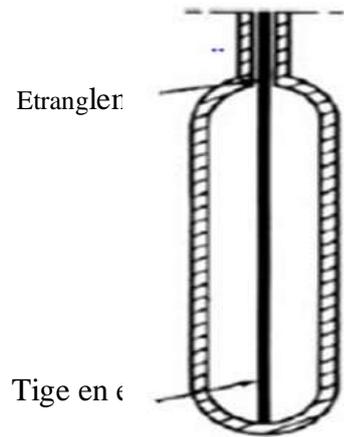


Figure II.3 : Thermomètre à maximum

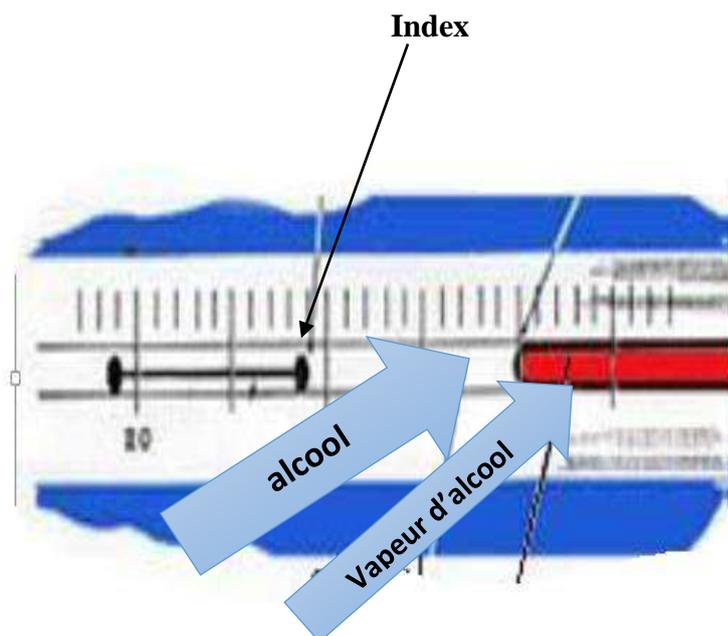


Figure II.4 : Thermomètre à minimum

En basculant le réservoir vers le haut, on ramène ainsi l'index en contact avec le ménisque. Ils présentent deux défauts : fractionnement des colonnes et distillation de l'alcool, qui se traduit par l'apparition de gouttes dans la partie supérieure du capillaire. On y remédie par centrifugation. [37]

6.1.4 Thermomètre mouillé :

Le thermomètre protégé de l'humidité et des radiations mesure la **température de l'air** classique. [38]

6.2 La température du point de rosée :

Ou température du thermomètre mouillé, est prise avec un thermomètre sur lequel de l'eau s'évapore. Classiquement, le thermomètre est recouvert d'une mousseline mouillée que l'on ventile (maintenant remplacé par une cellule à point de rosée). La perte d'énergie de l'évaporation dépend de l'humidité relative. De l'air de ce fait, la température du point de rosée est inférieure à celle de l'air, la rattrapant seulement lorsque l'air est saturé (100 % d'humidité). [38]

L'instrument utilisé pour mesurer simultanément températures sèche et humide est le psychromètre. Sur un diagramme de l'air humide, la courbe de température constante est une droite verticale [38].

I.2 Précipitations :

1. Les précipitations :

Sont les diverses chutes d'eau (pluie, neige, grêle) donc exprimées par des hauteurs (en mm). Leur mesure s'appelle la pluviométrie. Les précipitations solides (neige ou grêle) seront fondues pour être mesurées. En dehors des périodes de gel, le pluviomètre enregistreur peut être utilisé. Ce dernier mémorise chaque volume d'eau reçu.

2. Mesure des précipitations :

Pour mesurer les hauteurs de précipitations (on parle aussi de "lames de précipitations")

Deux principaux systèmes permettent à ce jour d'avoir une information pertinente sur les précipitations : les réseaux de pluviomètres et de pluviographes d'une part ; les radars météorologiques d'autre part. Les premiers offrent en chaque site instrumenté une mesure directe des précipitations au sol. Les mesures sont ponctuelles. Les seconds, basés sur une technique de détection à distance proposent une estimation indirectes des précipitations et en particulier de leur structure spatiale.

Les mesures de précipitations intéressent des secteurs d'activités assez divers mais principalement la météorologie, l'agriculture, l'hydrologie, *etc.* [39]

Des réseaux de mesures ont généralement été installés de longue date les précipitations sont mesurées par :

2.1 Pluviomètre :

Dont le principe consiste tout simplement à canaliser les précipitations pour en mesurer le volume ou la masse (manuellement ou automatiquement).

Le pluviomètre est un instrument de mesure qui sert à trouver la quantité de pluie tombée sur une région. (Figure II.5) ci-contre C'est un appareil très simple qui comporte une surface réceptrice limitée par



Figure II.5 pluviomètre

Une collerette cylindrique ; l'eau traversant cette surface est dirigée par un entonnoir vers un seau récepteur. Si durant un certain intervalle de temps Δt , on a récupéré un volume V à travers la surface réceptrice S , la hauteur de pluie $H_{\Delta t}$ tombée est $H_{\Delta t} = V/S$

Son utilisation présuppose que l'eau des précipitations est uniformément répartie sur la région et qu'elle n'est pas sujette à évaporation. [39]

Dans la pratique, on adjoint à chaque pluviomètre une éprouvette graduée (fonction de la surface réceptrice S) qui permet la lecture directe de $H_{\Delta t}$ en 1/10ème mm.

Il est constitué de deux parties importantes :

- un collecteur en forme d'entonnoir le plus large possible, afin de représenter une surface importante de collecte ;
- un contenant étalonné ou mécanisme qui reçoit cette eau.

Le collecteur doit être placé à une hauteur suffisante, généralement un mètre du sol, et à une distance de plusieurs mètres d'autres objets afin qu'on n'y retrouve pas d'eau provenant du rebond sur le sol ou ces objets. Les bords du collet du pluviomètre doivent être biseautés sur l'extérieur pour limiter l'incertitude provenant des gouttes ruisselant de l'extérieur du cône de collecte.

Dans la pratique, on adjoint à chaque pluviomètre une éprouvette graduée (fonction de la surface réceptrice S) qui permet la lecture directe de $H_{\Delta t}$ en 1/10ème mm.

L'O.M.M. préconise de faire les mesures à 1 m du sol et on voit se développer des appareils de 400 cm² en plastique dont le seau transparent est gradué et possède une éprouvette incorporée.

En général, les pluviomètres sont relevés par une observatrice une ou deux fois par jour à 6 h et 18 h TU

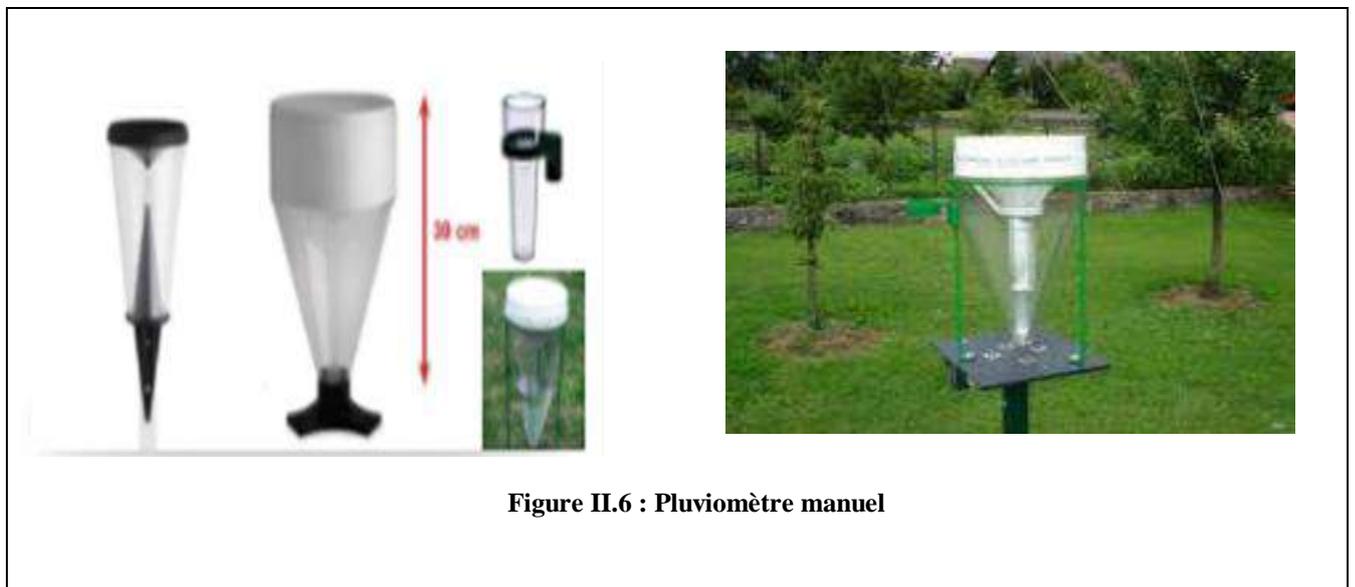


Figure II.6 : Pluviomètre manuel

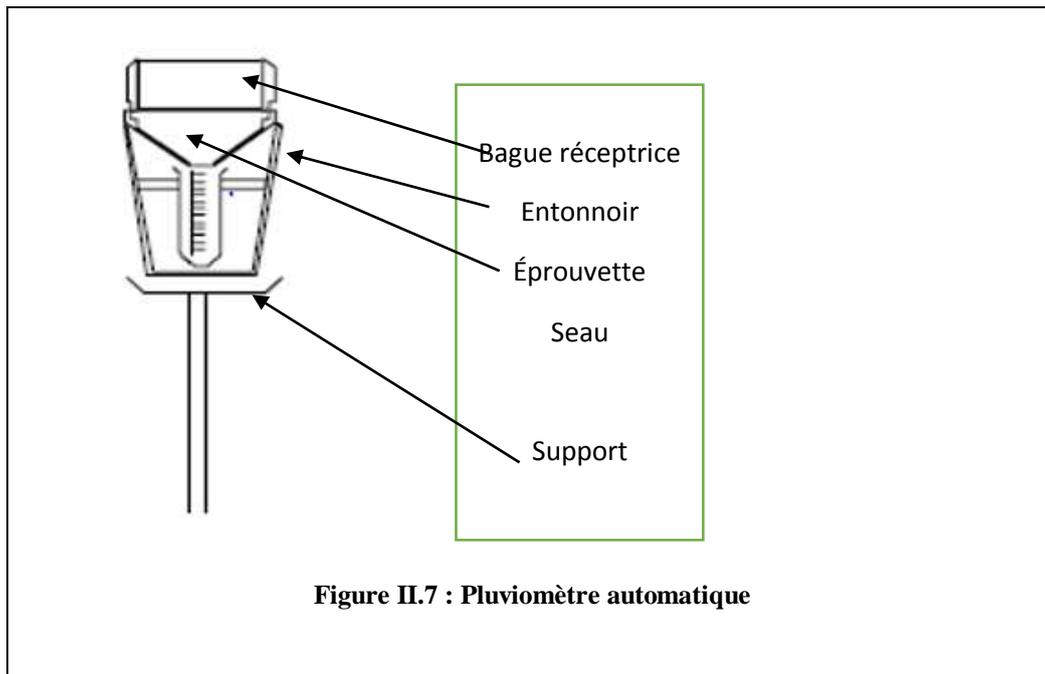


Figure II.7 : Pluviomètre automatique

2.2 Pluviomètre électronique :

Très simple d'utilisation et très complet, ce dispositif sans fil permet d'effectuer des relevés de pluviométrie et des prises de T° en intérieur et extérieur. (Figure II.8)

Le réservoir est équipé d'une sonde de T° et d'une bascule reliée à un capteur électronique qui lui permet de mesurer le niveau de précipitations avec précision.

Mesure sans fil des précipitations et de la T° extérieure.

Prise de T° intérieure.

- Affichage des précipitations sur les dernières heures, 6 derniers jours, 6 dernières semaines et 6 mois derniers ;
- Affichage de l'historique précipitation par histogramme avec valeurs mini / maxi. ;

Température en °C ou en °F : Plage de mesure de la T° intérieure : 0°C à +50°C. Plage de :

- mesure de la T° extérieure : -20°C à +60°C ;
- Enregistrement des valeurs de T° mini/maxi ;
- Calendrier et horloge ;
- Alarme de température ;

Précise les précipitations, à la fois en termes de quantité et de répartition temporelle. [40]



Figure II.8 Pluviomètre électronique

2.3 Pluviographe :

Les pluviomètres peuvent être reliés à des enregistreurs en continu de la hauteur d'eau des précipitations et sont alors appelés **pluviographes** (figure.II.9) et (figure II.10) .C'est un instrument destiné à l'enregistrement de la hauteur de pluie cumulée en fonction du temps. Deux types principaux ont eu un certain développement :

- les pluviographes à augets basculeurs (figure II.11)
- les pluviographes à siphons. (Figure II.12)

Actuellement, ces derniers tendent à être abandonnés.[40]



Figure II.9 : Pluviographes source (IHFR)

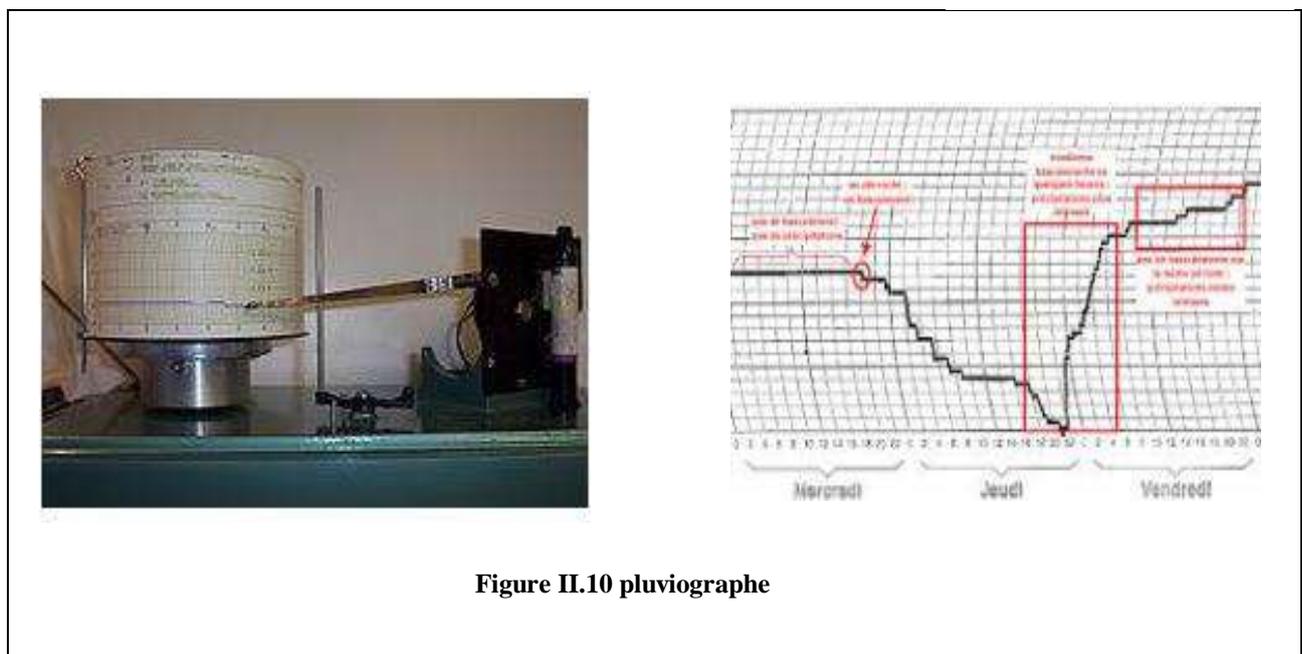


Figure II.10 pluviographe

Les pluviographes à augets basculeurs ont la partie captant commune avec les pluviomètres (figure II.10); ils en diffèrent par la partie réceptrice en aval de l'entonnoir. L'eau est dirigée par un court tube vers les augets de mesures. Ceux-ci sont disposés symétriquement par rapport à un axe de rotation horizontal. Dans la situation du schéma *ci-contre*, l'auget de gauche est en train de se remplir alors que celui de droite s'est déjà vidé.

Lors du remplissage, le centre de gravité de l'ensemble des deux augets se déplace vers la gauche jusqu'à dépasser la verticale de l'axe de rotation ; l'ensemble bascule alors vers la gauche et l'auget plein se vide alors que celui de droite est venu en position de remplissage.

Les augets sont tarés de façon à ce que le basculement se produise lorsqu'ils contiennent 20g d'eau. La partie captant ayant des surfaces de 2 000 cm², 1 000 cm² ou 400 cm², un basculement correspond à 0,1 mm, 0,2 mm ou 0,5 mm de pluie. (Les deux dernières surfaces sont celles préconisées par l'O.M.M.)

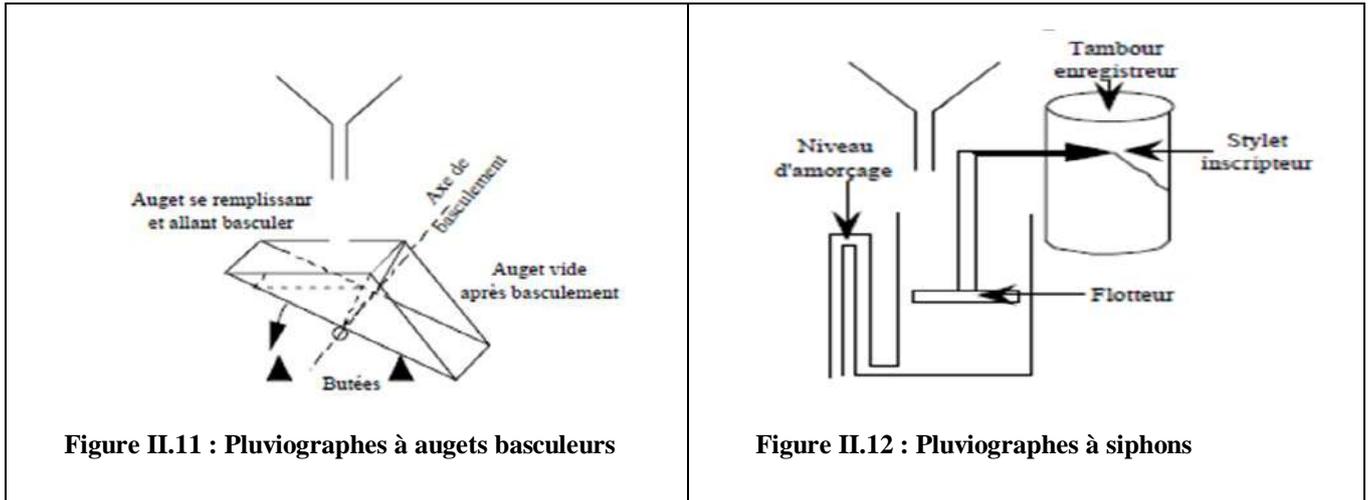


Figure II.11 : Pluviographes à augets basculeurs

Figure II.12 : Pluviographes à siphons

II. Présentation des zones d'étude :

1. Situation géographique et relief :

La wilaya de Constantine est située au centre de l'est algérien, à 245 km des frontières algéro-tunisiennes et à 414 km de la capitale Alger. Elle s'étend sur une superficie de 2.187 Km² et est limitée :

- Au nord, par la wilaya de Skikda ;
- A l'est, par la wilaya de Guelma ;
- A l'ouest, par la wilaya de Mila ;
- Au sud, par la wilaya d'Oum El Bouaghi. [41]

La ville de Constantine est située dans le nord-est de l'Algérie sur la latitude 36° 17' Nord par rapport à l'équateur et la longitude de 6°37', par rapport à Greenwich et s'élève sur une altitude moyenne de 675 m par rapport au niveau de la mer.

(Source : station météorologique Mohamed Boudiaf)

Elle est située dans la dépression Est entre les chaînes montagneuses de l'atlas tellien et l'atlas saharien Le climat est donc est influencé d'une part par la mer et d'autre part par le Sahara. [42]



Figure II.13 : Carte de localisation de la wilaya de Constantine

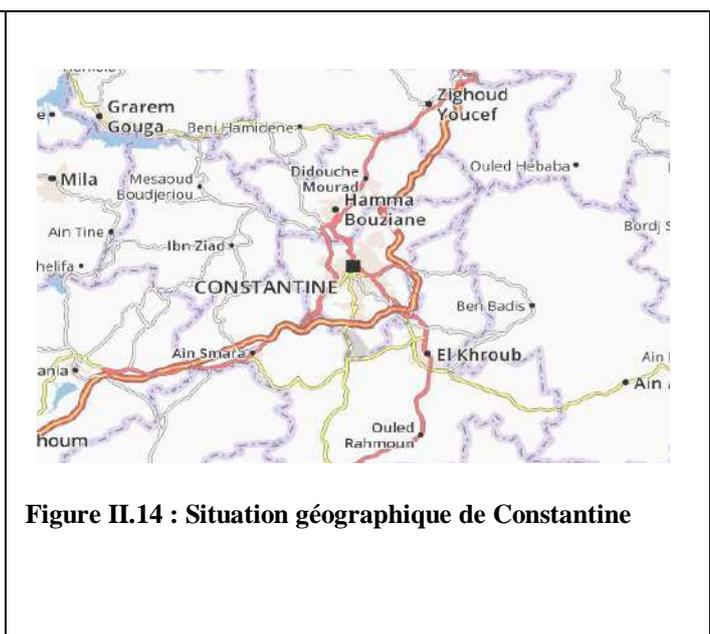


Figure II.14 : Situation géographique de Constantine

2. Climat:

Le climat de la wilaya de Constantine est caractérisé par des hivers froids et des étés chauds dus essentiellement à l'influence de la continentalité.

La moyenne pluviométrique annuelle varie de 350 à 700 mm selon les années, les précipitations sont très variables en allant du Nord au Sud. La moyenne annuelle des jours pluvieux est de 40 à 60 jours. Les pluies sont de printemps et d'automne et sont caractérisées par leur irrégularité ; la tranche pluvieuse n'est pas répartie d'une manière régulière dans l'espace et dans le temps.

Elles sont, souvent, sous forme de grandes averses ou d'ondées instantanées. Les gelées de printemps sont plus importantes que celles de l'hiver et durent en moyenne 17 jours par an.

En été, le Sirocco balaye la wilaya en moyenne 20 j/an. La succession année humide deux années sèches illustre bien la menace constante de l'aridité. [41]

2.1 Température moyenne :

A Constantine, la température moyenne du mois le plus froid (janvier) est de 7,3 °C, celle du mois le plus chaud (juillet) est de 26,5 °C. Voici les températures moyennes.

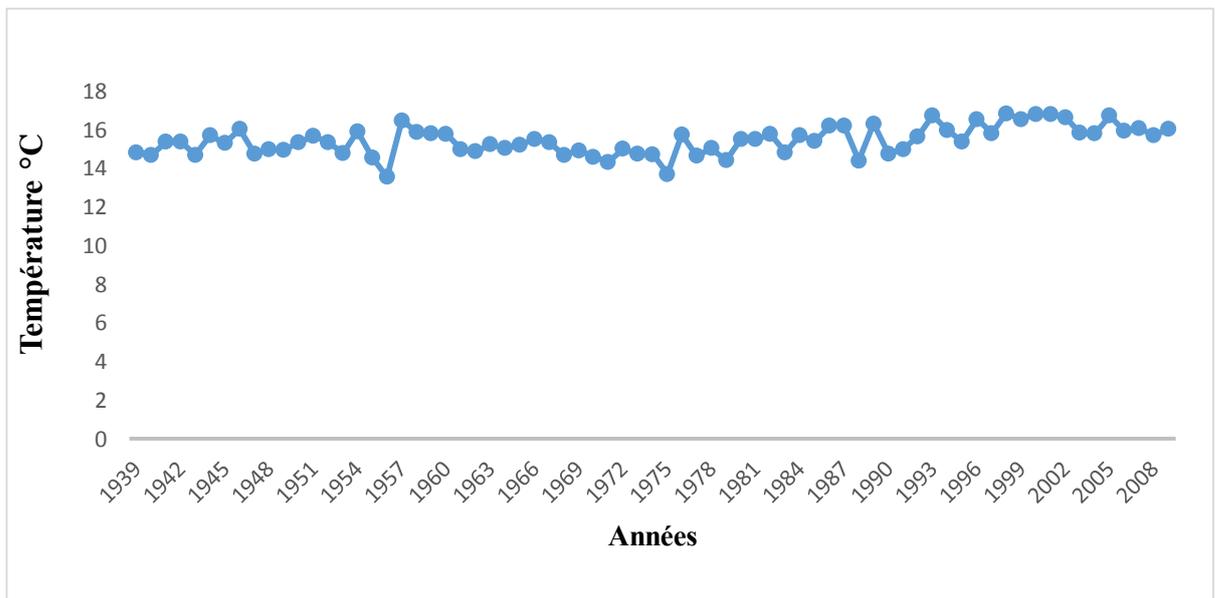


Figure II.15 : Evolution des températures annuelles sur 70 ans (1939-2008)

2.2. Précipitation annuelle :

A Constantine, les précipitations totalisent 485 millimètres par an : elles sont donc assez faibles. Au mois le moins pluvieux (juillet) elles s'élèvent à 11 mm, dans les mois les plus pluvieux (janvier, décembre) elles s'élèvent à 60 mm. Voici la moyenne des précipitations.

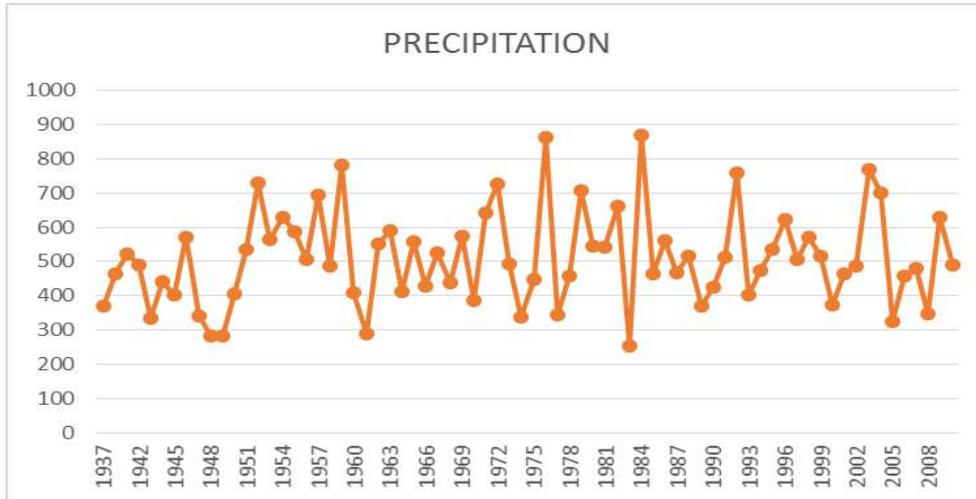


Figure II.16 : Variation annuelle des précipitations sur 70 ans (1937-2008)

3. Les ressources hydrauliques : (Source : DPSB/DRE) :

La wilaya de Constantine dispose d'une capacité totale en eau de 51.5 millions de m3/an dont 43.5 millions de m3 d'eaux souterraines et 08 millions de m3 d'eaux superficielles. [41]

L'Est algérien est une région variée, du point de vue climat, par rapport aux autres régions. Aussi, tout bilan hydrologique est influencé par les changements du climat, et surtout les Paramètres pluviométriques et évaporométriques. Les traitements des paramètres enregistrés par les stations climatiques et les paramètres calculés empiriquement permettent l'établissement d'un bilan hydrique qui détermine le fonctionnement du système hydrogéologique et spécialement l'alimentation des aquifères. [43]

III. Synthèse climatique :

La synthèse climatique est une étape indispensable qui consiste à la détermination des indices climatiques afin d'aboutir aux tendances du climat, ses caractéristiques et décrire ces variations. [6] La littérature en la matière est très riche en indices climatiques spécifiques à chaque région. Le plus souvent, on fait appel à l'utilisation de l'indice d'aridité de Martonne et du diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnols et celui d'Emberger qui illustrent la relation existante entre la température et la précipitation pour la classification des climats. [44]

A. Indice d'aridité De Martonne :

On détermine l'indice d'aridité annuel et l'indice d'aridité mensuel comme suit :

1. Indice d'aridité Annuel :

Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température. C'est-à-dire que l'évaporation est considérée comme une fonction linéaire de la température. En se basant sur des considérations essentiellement géographiques, De Martonne a défini comme fonction climatologique nouvelle l'indice d'aridité du climat par le quotient : [45]

$$I = \frac{P}{T+10} \tag{II.1}$$

Où :

P : Précipitations totale annuelle en mm ;

T : Température moyenne annuelle en °C.

2. Indice d'aridité mensuel :

Selon De Martonne l'indice peut également être appliqué pour chaque mois. La formule est similaire à la précédente, mais avec des valeurs moyennes mensuelles et en multipliant par douze. L'indice d'aridité mensuel est défini par la relation suivante :

$$I = \frac{12P}{T+10} \quad \text{(II.2)}$$

Où :

P : Précipitations moyenne mensuelle en mm;

T : Température moyenne mensuelle en °C.

Cet indice prend des valeurs d'autant plus élevées que le climat est plus humide et d'autant plus faibles que le climat est plus sec.

De Martonne a proposé la classification des climats en fonction des valeurs de l'indice comme présentés dans le (Tableau II.1) suivant :

Tableau II.1 : Classification des climats selon l'indice d'aridité de Martonne

Valeur de l'indice d'aridité de Martonne	Type du climat	Type de la végétation potentielle
0 à 5	Hyper aride	Désert absolu
5 à 10	Aride	Désert
10 à 20	Semi-aride	Steppe
20 à 30	Semi-humide	Prairies naturelles, forêts
30 à 40	Humide	Forêts
40 à 55	Humide	Forêts

On détermine

➤ **Indice d'aridité annuel**

On détermine d'abord l'indice d'aridité de toute la période à l'aide de la formule (II.1)

Pour la région de Constantine de la période 1937- 2010.

T : La température moyenne annuelle est 15.44°C ;

P : Les précipitations totales annuelles sont 510.1mm.

Tableau II.2 : Indice d'aridité Annuel pour une période quinquennale

Années	Indice d'Aridité Annuel
1940- 1944	17.88
1945 -1949	14.87
1950 -1954	22.53
1955 -1959	24.34
1960 -1964	17.91
1965 -1969	20.12
1970 -1974	20.95
1975 -1979	20.71
1980-1984	22.48
1985 -1989	18.55
1990-1994	20.1
1995 -1999	20.97
2000 -2004	21.29
2005-2009	17.2

L'indice d'aridité annuel pour toute la période d'étude est compris entre 14.87 et 24.34, donc le climat de Constantine est de type Semi-humide. Le minimum est 14.87 entre 1945 et 1949 et le maximum est 24.34 entre 1955et 1959.

On récapitule dans le tableau l'indice d'aridité pour une période de cinq (5) années pendant toute la période d'étude. Et on représente les résultats sur le graphe II.17.

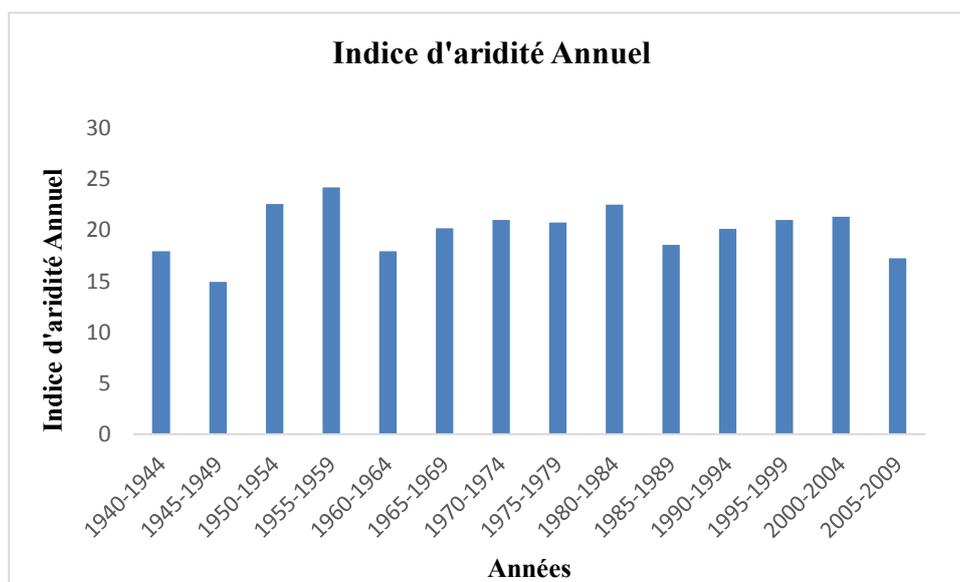


Figure II.17 Indice d'aridité Annuel à Constantine sur la période (1940-2010)

➤ **Indice d'aridité mensuel**

On détermine l'indice d'aridité mensuel de Martonne de la période 1937 à 2010 Constantine à l'aide de la formule : $I = \frac{12P}{(T+10)}$. Et on récapitule les valeurs dans l'Annexe 03 Pour des périodes quinquennales

Le tableau II.3. Représente la moyenne des indices mensuels pour toute la période 1937-2010

Le tableau II.3 et graphes pour toute la période 1939-2010 montrent que les indices d'aridité mensuels de Martonne sont compris entre 2.14 et 52.95. Le climat change énormément au cours de l'année.

Tableau II.3 : Indice d'aridité mensuel pour une période quinquennale

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P(mm)	35,88	39,48	51,58	79,29	67,69	53,24	52,73	52,34	41,86	20,18	6,34	11,72
T (° C)	21,18	16,65	11,35	7,97	6,97	7,96	10,11	12,77	17,16	22,16	25,51	25,6
I	13.81	17.78	28.99	52.95	47.87	35.57	31.46	27.58	18.49	7.53	2.14	3.95

Le climat est hyper aride en juillet et août, aride en juin, semi-aride en septembre et octobre, semi humide en novembre et Avril, humide en janvier et février, mars et hyper humide en décembre et mars.

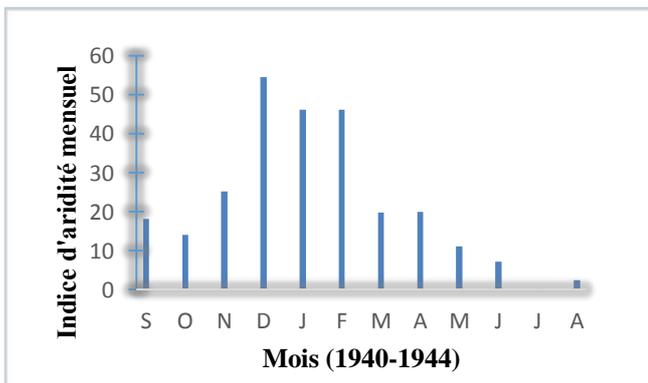


Figure II. 18 Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période(1940-1944)

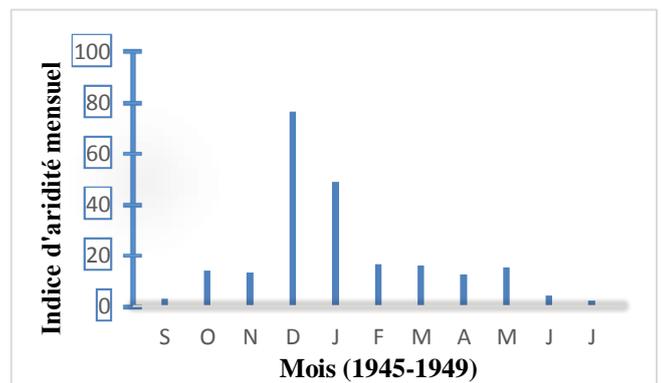


Figure II. 19Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (1945-1949)

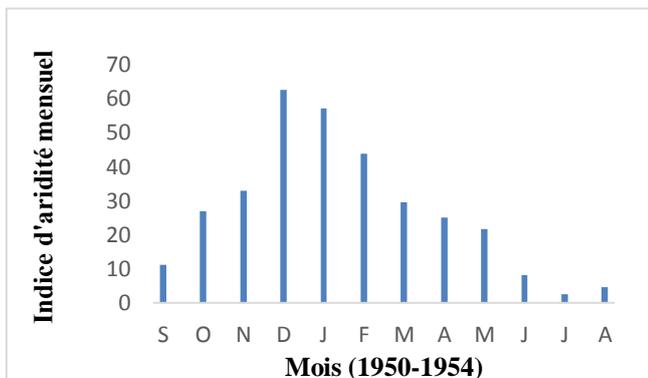


Figure II. 20 Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (1950-1954)

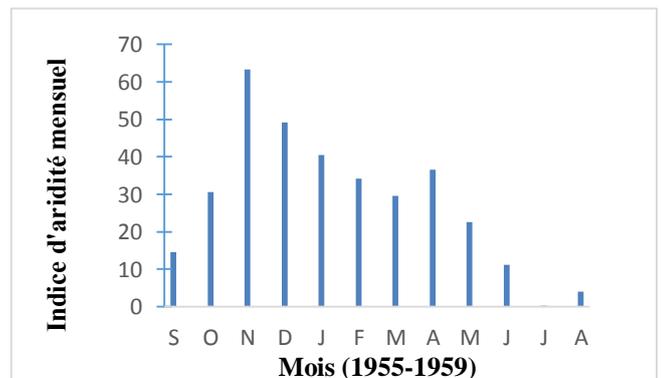


Figure II. 21 Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (1955-1959)

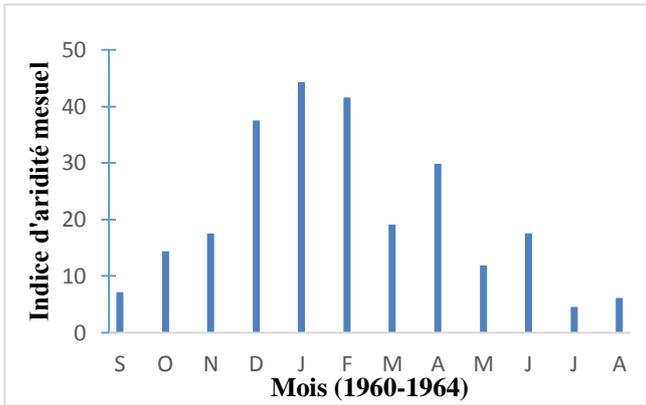


Figure II .22 Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (1960-1964)

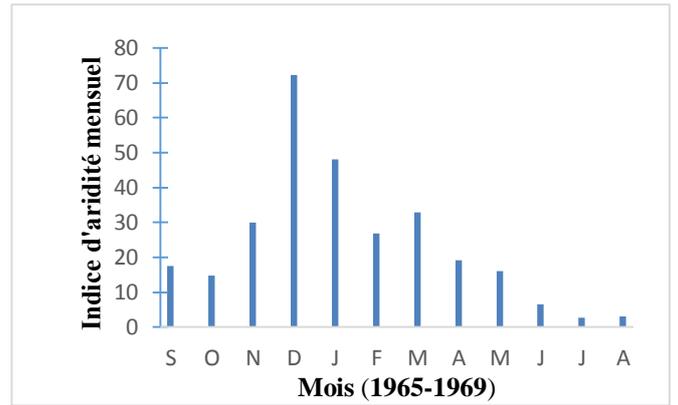


Figure II .23 Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (1965-1969)

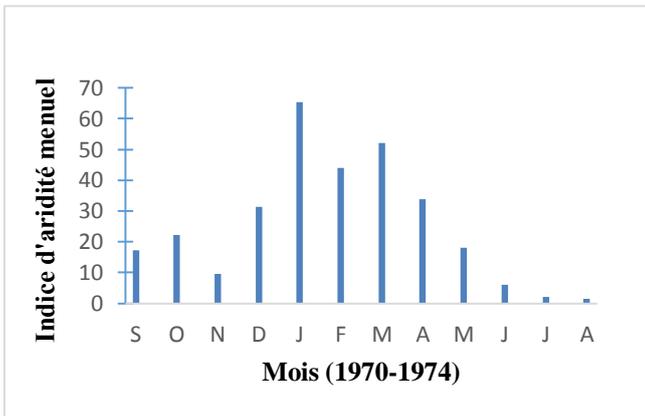


Figure II. 24 Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (1970-1974)

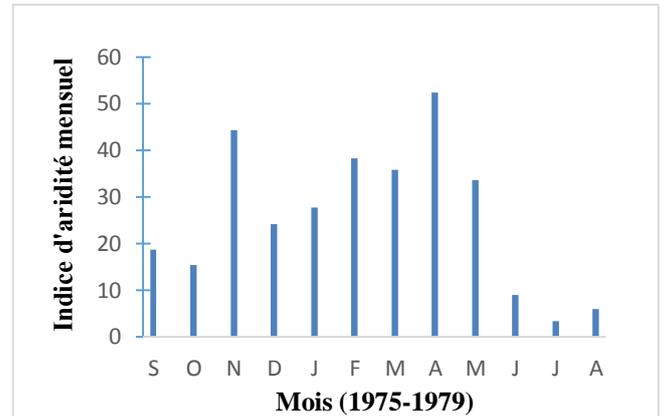


Figure II .25 Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (1975-1979)

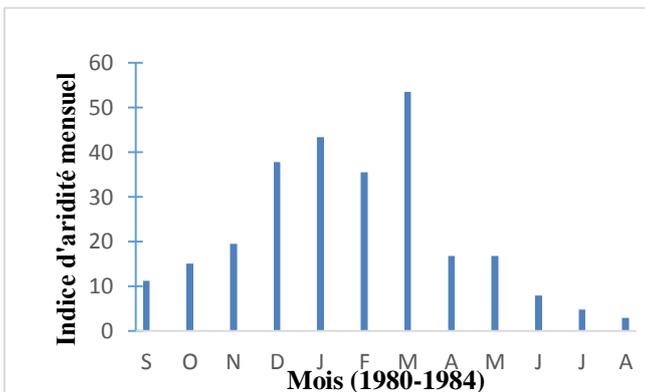


Figure II .26 Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (1980-1984)

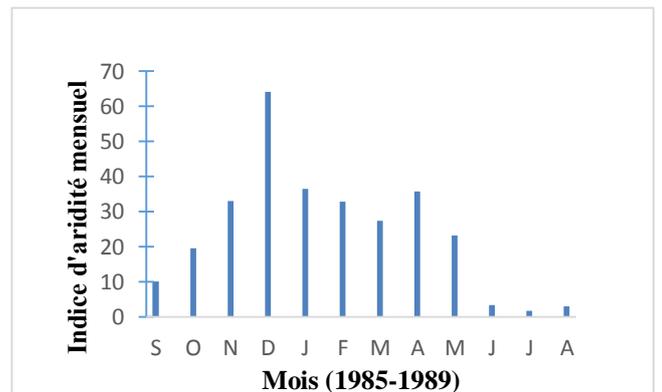


Figure II.27 Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (1985-1989)

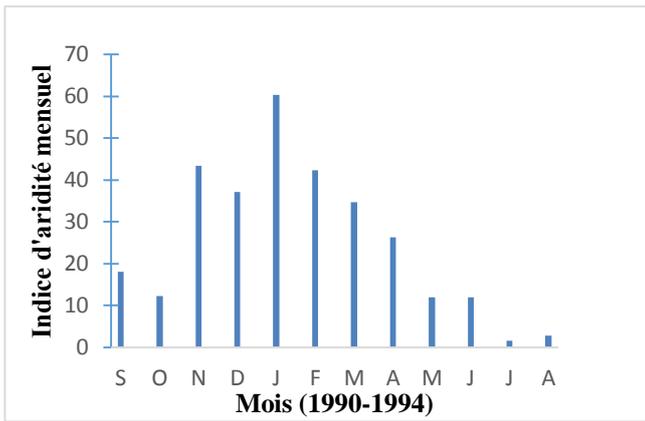


Figure II .28Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (1990-1994)

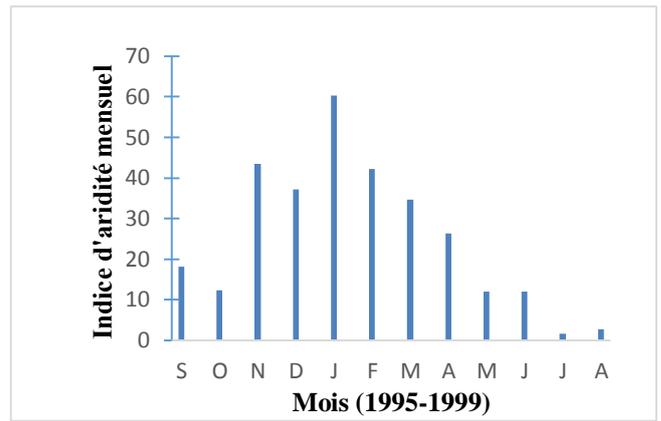


Figure II .29 Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (1995-1999)

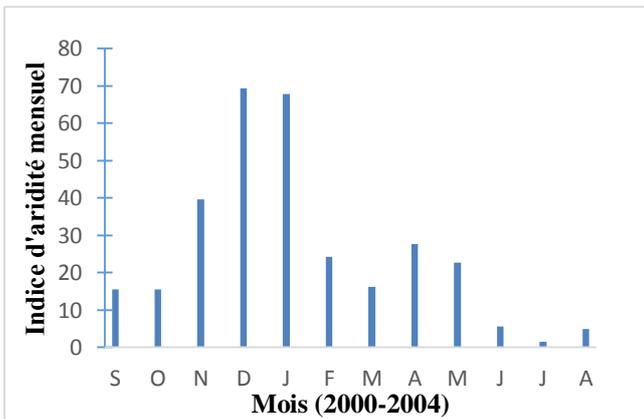


Figure II .30 Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (2000-2004)

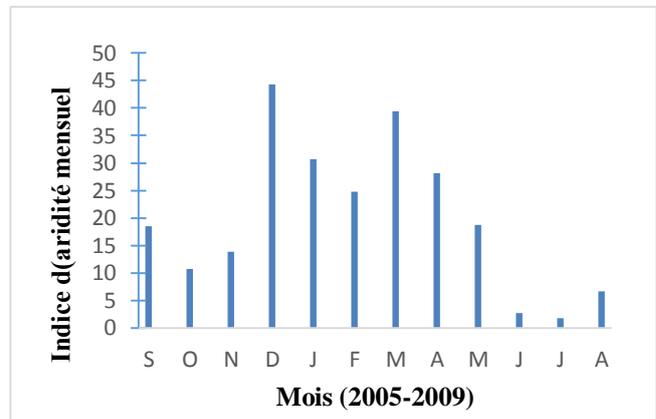


Figure II .31 Indice d'aridité mensuel à Constantine dans la période (2005-2009)

A. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnols :

Le diagramme ombrothermique de Gaussen Bagnols une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèches et humides de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T).

Si les précipitations moyennes mensuelles d'un mois sont inférieures ou égales au double des températures mensuelles de même mois ($P \leq 2T$), la période est dite sèche. [46]

Tableau II.4 : Précipitation et Températures moyennes mensuelles (1937-2010)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T(C°)	21.18	16.65	11.35	7.97	6.97	7.96	10.11	12.77	17.16	22.16	25.51	25.60
P(mm)	35.68	39.47	51.58	79.29	67.69	53.24	52.73	52.34	41.86	20.18	6.34	11.72

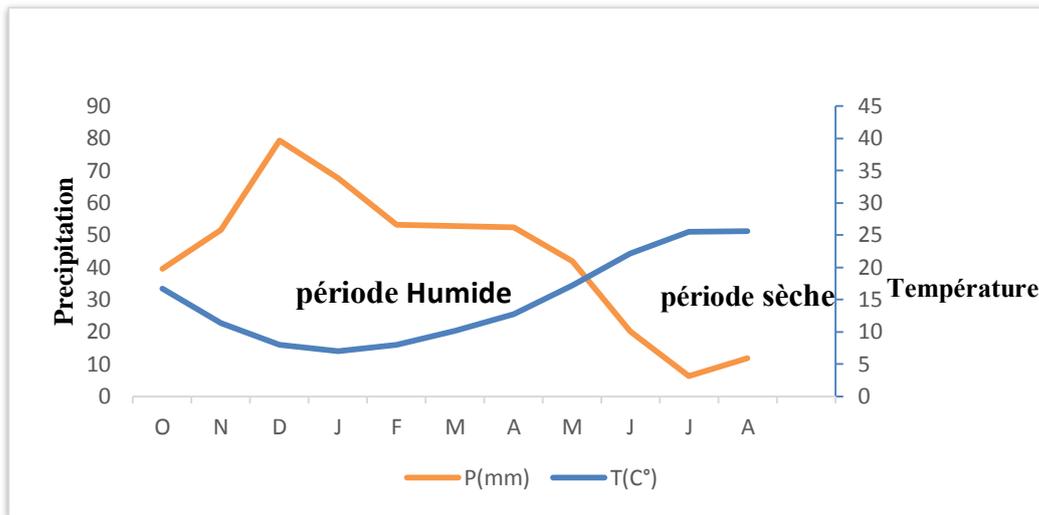


Figure II. 32 Diagramme ombrothermique de Gaussen de Constantine dans la période (1937-2010)

D'après ce diagramme (Figure II.32) on remarque que la région d'étude est caractérisée par une période humide et une période sèche

B. Le quotient pluviothermique d'EMBERGER

Emerger a établi un quotient pluviothermique « le Q2 » qui est spécifique au climat méditerranéen. Il est le plus utilisé en Afrique du Nord. Ce quotient a été formulé de la façon suivante $Q2 = 2000P / M^2 - m^2$. [47]

STEWART [46] a montré que pour l'Algérie et le Maroc, la dernière formule pouvait être simplifiée pour s'écrire :

$$Q3 = 3,43P / M - m$$

P : Précipitation moyenne annuelle en mm ;

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud °C ;

m : Moyenne des minima du mois le plus froid °C.

C. Climat gramme d'Emberger

Emberger a devisé les étages bioclimatiques comme suit : [48]

- Étage saharien (ou per-aride) ;
- Étage aride ;
- Étage semi-aride (ou mieux subaride) ;
- Étage subhumide ;
- Étage humide (quelques fois appelé humide inférieur) ;
- Étage per-humide (quelque fois appelé humide supérieur).

Tableau II.5 : Températures moyennes des maxima et minima (1937-2010) [49]

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Température moyenne minimale (°C)	2.1	13.3	8.4	5.5	2.7	3.9	7.1	9.5	13.4	18.7	22.3	23.4
Température moyenne maximale (°C)	25	20.8	13.4	11.5	10.3	11.5	14.9	15.9	21.7	25.8	28.4	29.6
Moyenne	13.5	17.05	10.9	8.5	6.5	7.7	11	12.7	17.55	22.25	25.35	26.5

Le tableau (II.5) des températures moyennes mensuelles, montre que le mois le plus chaud est le mois d'Aout avec une température moyenne de 26.5° C et le mois le plus froid est le mois de Janvier de 13.5° C.

La moyenne des maxima du mois le plus chaud °C est celle de Août M= 29.6°C et la moyenne des minima du mois le plus froid °C est celle de Septembre m= 2.1°C. Et la précipitation moyenne annuelle d'après le tableau est de P= 510.1mm

Remarque : les températures en Kelvin($T+273k$).

En appliquant la formule de Stewart pour le calcul du quotient pluviothermique pour l'Algérie nous obtenons Q3 est de 63.62 mm/k, le résultat obtenu par croisement des valeurs des coordonnées (m, Q3) permet de déduire que CONSTANTINE est caractérisée par un bioclimat semi-humide.

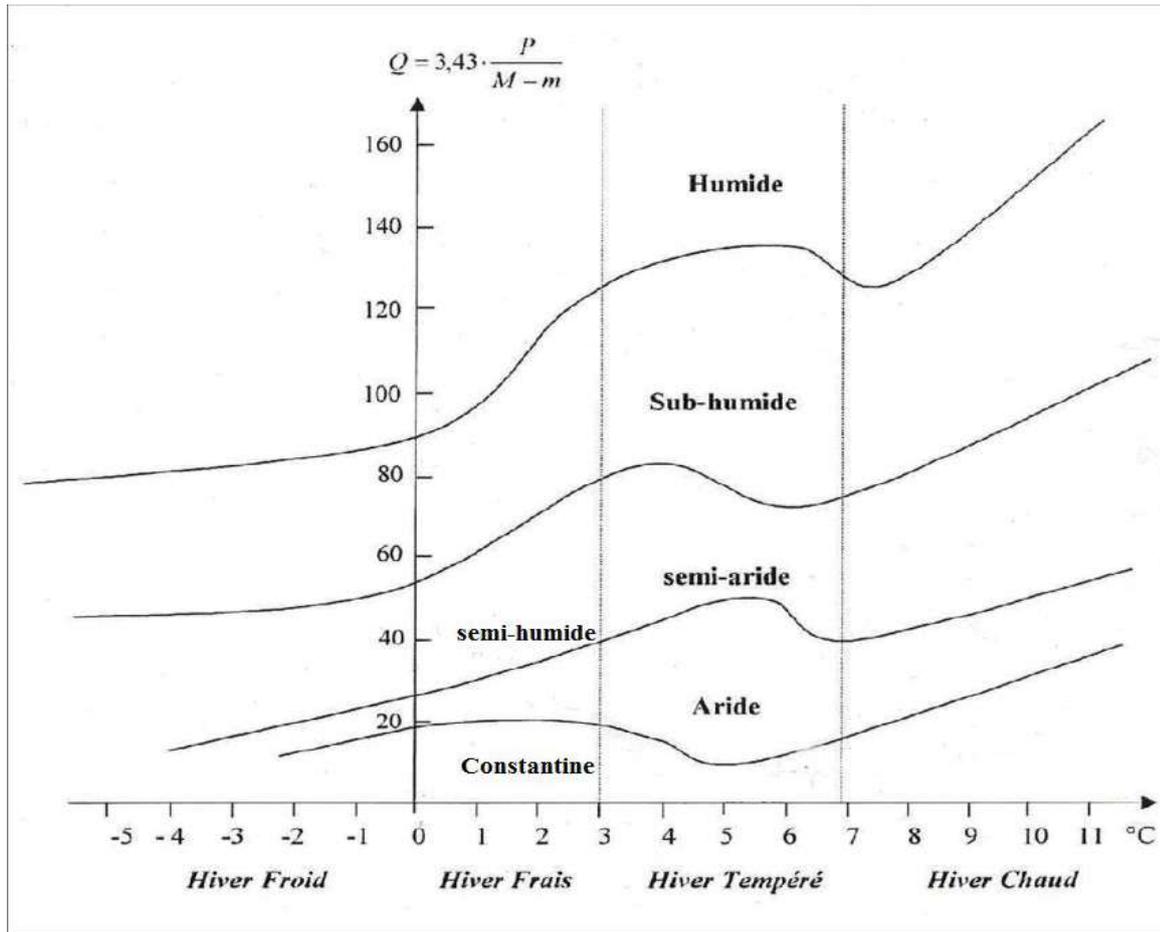


Figure II .33 Climagramme pluviothermique d'emberger pour la station de Constantine

Conclusion du chapitre II

Le climat de Constantine est hyper aride en juillet et août, aride en juin, semi-aride en septembre, octobre, novembre et mai, humide en février, mars et avril et hyper humide en décembre et janvier. La région d'étude est caractérisée par une période humide et une période sèche. Le mois le plus chaud est le mois d'Août avec une température moyenne de 26.5°C et le mois le plus froid est le mois Janvier de 6.5°C .

La moyenne des maxima du mois le plus chaud $^{\circ}\text{C}$ est celle de Août $M = 29.6^{\circ}\text{C}$ et la moyenne des minima du mois le plus froid $^{\circ}\text{C}$ est celle de Septembre $m = 2.1^{\circ}\text{C}$. Et la précipitation moyenne annuelle est égale à 510.1mm . L'étude montre que pour la période 1939-2010 que les indices d'aridité mensuels de Martonne sont compris entre 0.13 et 76.36. Le climat change énormément au cours de l'année.



Chapitre III : Matériels et Méthodes

Introduction

L’ajustement statistique des séries de données (températures et précipitations) consiste à calculer la probabilité pour qu’une précipitation ou température supérieure à une valeur donnée survienne un nombre de fois donnée pendant une durée donnée (5 ans, 10ans, 50ans, 100ans par exemple). Pour ce traitement statistique des données de mesures, on vérifie d’abord l’homogénéité des données.

III.1 Homogénéisation des séries des précipitations et températures : Test de Wilcoxon

L’homogénéisation des séries des précipitations et températures est basée sur le test statistique de Wilcoxon.

C’est un test non paramétrique qui utilise la série des rangs des observations au lieu de la série de leurs valeurs. Le test de Wilcoxon se base sur le principe suivant : Si l’échantillon x est issu d’une même population y, l’échantillon $x \cup y$ en est généralement aussi. (50)

On procède ainsi :

- Soit un série d’observation de longueur N à partir de laquelle on tire deux échantillons x et y : N1 et N2 sont respectivement les tailles de ces échantillons avec : $N_1 + N_2 = N$ et $N_1 < N_2$
- On classe ensuite les valeurs de la série par ordre croissant. Par la suite on ne s’intéresse qu’au rang de chacun des éléments des deux échantillons dans cette série. Si une valeur se répète plusieurs fois, on lui aussi associe le rang moyen correspondant.
- On calcule la somme (W_x) de rang des éléments du premier échantillon dans le série comme :

$$W_x = \sum Rang(X) \tag{III.1}$$

- Wilcoxon a démontré que dans le cas où les deux échantillons x et y constituant une série homogène la quantité (W_x) est comprise entre deux bornes (W_{max}) et (W_{min}) données par les formules suivantes :

$$W_{min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1) \cdot (N_1 - 1)}{2} - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{N_1 \cdot N_2 \cdot (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \tag{III.2}$$

$$W_{max} = (N_1 + N_2 + 1) \cdot N_1 - W_{min} \tag{III.3}$$

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ Représente la valeur de la variable centrée qui résulte de la loi normale correspondant à $1 - \frac{\alpha}{2}$ (au seuil de confiance de 95 %, on a $Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,96$).

La condition $W_{min} < W_x < W_{max}$ est vérifiée, la série est donc homogène

III.2 Ajustement statistiques des données de mesure :

Il existe plusieurs lois de distribution statistiques (lois théoriques de probabilité) pour ajuster une variable aléatoire (température et précipitation). Les plus utilisées sont la loi de Gauss (loi normale), la loi de Galton (loi log-normale) et loi de Gumbel (loi des valeurs extrêmes).

III.2.1 Loi normale (loi de Gauss):

Elle est souvent utilisée dans les applications pratiques de la théorie des probabilités. La particularité de cette loi est que c'est une « loi limite » vers laquelle tendent les autres lois de répartition. [51]

La loi normale est caractérisée par la densité de probabilité suivante :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(xi-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{III.4})$$

\bar{X} : Valeur moyenne

σX : Ecart-type de la variable aléatoire.

Le terme $\frac{x-\bar{x}}{\sigma} = z$ désigne l'écart de la valeur x à la moyenne, mesurée en écart type, appelé écart réduit ou variable normale réduite. On a alors :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$$

On dit alors que z est distribué suivant une loi normale centrée réduite de moyenne nulle et de variance 1 et notée par $N(O, 1)$. [51]

La fonction de probabilité de la loi normale est :

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2} dz$$

Les valeurs de $F(x)$ sont fournies par des tables de Gauss, en fonction de la variable réduite z . (Annexe N° 4)

Les valeurs de $F(x)$ désignent la fréquence au non dépassement FND

Pour l'ajustement de la loi de Gauss :

- On classe les valeurs observées par ordre croissant en attribuant à chacune des valeurs son numéro d'ordre « ni »
- On calcule la fréquence expérimentale au non dépassement FND par la formule :

$$F(x)=FND = \frac{ni-0,5}{n} * 100$$

- On calcule la moyenne arithmétique : C'est la valeur la plus utilisée en pratique pour caractériser l'ordre de grandeur d'un phénomène étudié. Elle est déterminée par la relation ;

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad \text{(III.5)}$$

\bar{X} : Valeur moyenne

x_i : Valeur « i » dans la série d'observation. Précipitations et températures

n: Nombre d'observations 72 pour les précipitations et 71 pour les températures

- On calcule l'Ecart type : L'écart type mesure la dispersion d'une série de valeurs autour de la moyenne. Si la variable X prend un nombre fini des valeurs $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ avec des probabilités respectives $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, l'écart type est calculé par la formule :

$$\text{Si } n \leq 30 \sigma_X = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{(III.6)}$$

$$\text{Si } n > 30 \sigma_X = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad \text{(III.7)}$$

- On calcule le coefficient de variation :

Le coefficient de variation est un coefficient sans dimension qui permet la comparaison entre plusieurs grandeurs de différentes unités de mesure. C'est le rapport entre l'écart type et de la moyenne.

$$Cv = \frac{\sigma_X}{\bar{X}} \quad \text{(III.8)}$$

On reporte les couples $(x_i, FND = \frac{n \cdot i - 0,5}{n} * 100$ sur papier Gauss (papier à échelle de probabilité de la loi normale) ;

- On détermine des valeurs fréquentielles (les quantiles) soit analytiquement soit graphiquement de la période de retour $T = 5, 10, 20, 100$ et 1000 ans (quantiles)

On cherche d'abord la fréquence au non dépassement « FND_T » par la formule :

$$FND_T = 1 - FD \quad \text{(III.9)}$$

Avec :

FD : Fréquence au dépassement déterminée par la formule :

$$FD = \frac{1}{T} \quad \text{(III.10)}$$

On tire de la table de Gauss (annexe 4) la variable réduite Z_T correspondant à cette fréquence.

On applique la formule (III.9)

- On détermine la droite de Henry (droite d'ajustement de la loi normale) :

$$X_t = \bar{X} + (Z_t \times \sigma_x) \quad \text{(III.11)}$$

On a les valeurs

\bar{X} : La valeur moyenne

σ_x : L'écart-type

Les valeurs de Z_t sont fournies par les tables de l'intervalle de Gauss en fonction de la fréquence au non dépassement « FND ».

On choisit arbitrairement deux (2) fréquences FND, inférieure et supérieure à 50 %, par exemple FND= 10 % et FND= 90 %. A partir de la table de Gauss (Annexe4), on tire les variables réduites Z_1 et Z_2 correspondant à ces fréquences (FND₁ et FND₂). Ou bien on choisit directement deux déterminées pour les périodes T= 5, 10, 20, 100 et 1000 ans

III.2.2 Loi des valeurs extrêmes (Loi de Gumbel) :

La loi de Gumbel a été établie spécialement pour l'étude de la distribution des fréquences de valeurs extrêmes (valeurs maximales et minimales de la variable hydrométéorologique). La Loi de Gumbel (ou Loi des valeurs extrêmes type 1) est donnée par la fonction de distribution :

$$F(X) = e^{-e^{-\alpha(x-x_0)}} \quad \text{(III.12)}$$

F(x) : fréquence au non dépassement

α et x_0 : coefficient d'ajustement.

Estimation des paramètres statistiques de la loi de Gumbel

L'estimation des coefficients α et x_0 par la méthode des moments en utilisant un système d'équations suivants :

$$\frac{1}{\alpha} = 0.780\sigma \quad \text{(III.13)}$$

$$X_0 = \bar{X} - 0,577 \frac{1}{\alpha} \quad \text{(III.14)}$$

Par un changement de variable $\alpha(x-x_0)= Y$, la loi de Gumbel s'écrit :

$$F(X) = F(Y)e^{-e^{-Y}} \quad \text{(III.15)}$$

F(Y) : fréquence au non dépassement, fonction de la variable réduite de Gumbel Y

Etablissement de la droite de Gumbel :

L'équation (III.14) représente la droite d'ajustement de la loi de Gumbel. Le tracé de cette droite s'effectue sur papier de probabilité de Gumbel.

$$X = \left(\frac{1}{\alpha}\right)y + X_0 \quad (\text{III.16})$$

La variable réduite de Gumbel Y est déterminée par la formule

$$y = -[\ln(-\ln(F(x)))] \quad (\text{III.17})$$

F(X) est égal à la fréquence de non dépassement FND déterminée par la formule :

$$FND = 1 - FD \quad (\text{III.18})$$

avec:

$$FD = \frac{1}{T} \quad (\text{III.19})$$

III.2.3 Loi de log-normale (Loi de Galton) :

On peut généraliser la loi de Gauss et la rendre dissymétrique par des changements des variables. Le changement de variable consiste à prendre comme variable gaussienne le logarithme de la variable étudiée. (51).

La loi log-normale se présente par la relation suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{1}{2}z^2} dz \quad (\text{III.20})$$

Avec $Z = \log(x-x_0) + b$

Z suit une loi normale, alors la distribution de x est dite log-normale.

Et a, b, x_0 sont des paramètres.

Avec x_0 est le paramètre de position

Si $a=1$, $b=0$ et $x_0=0$, on aura le cas d'ajustement d'une loi normale aux logarithmes de la variable étudiée.

Dans le cas d'ajustement d'une série de variables aléatoires à une loi log-normale les caractéristiques statistiques de cette série sont déterminées par les relations suivantes :

- valeur moyenne :

$$\overline{\ln X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln X_i \quad (\text{III.21})$$

- Ecart-type :

$$\sigma_{\ln x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - n (\overline{\ln X})^2}{n}} \quad (\text{III.22})$$

- Coefficient de variation :

$$Cv = \frac{\sigma_{\ln X}}{\overline{\ln X}} \quad (\text{III.23})$$

On calcule les valeurs FND pour extraire les valeurs « zt » en utilisant la relation suivante :

Détermination de la courbe fréquentielle (droite de Galton) :

$$(\ln x) = \overline{\ln x} + Z \ln x \quad (\text{III.24})$$

Les valeurs de **Z** sont fournies par les tables de l'intervalle de Gauss en fonction de la fréquence au non dépassement « FND » :

La fréquence au non dépassement « FND » par la formule :

$$\text{FND} = 100 - \text{FD} \quad (\text{III.25})$$

Avec :

FD : Fréquence au dépassement déterminée par la formule :

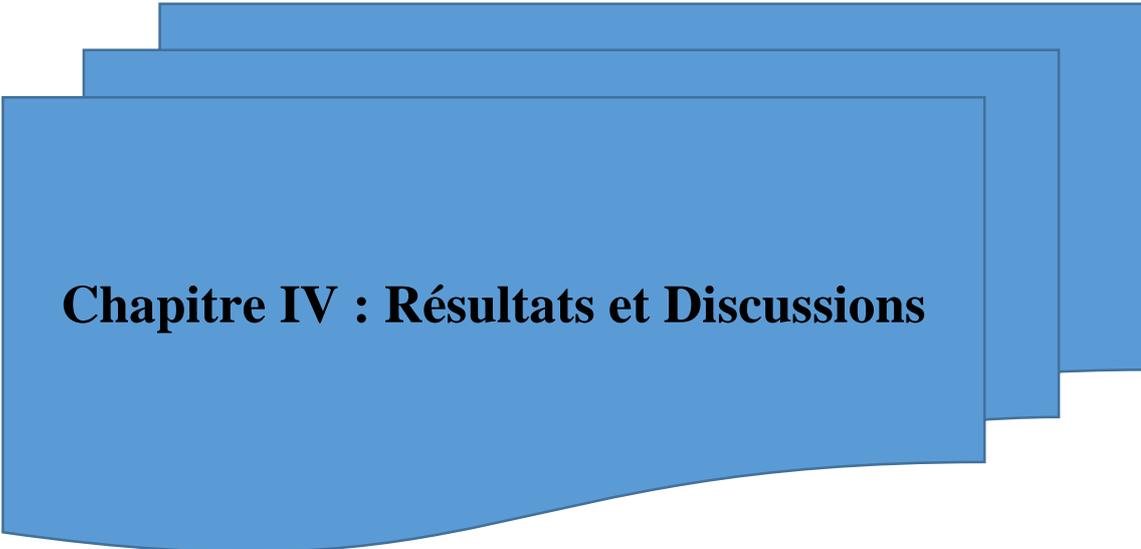
$$\text{FD} = \frac{1}{T} \times 100 \quad (\text{III.26})$$

III.3. Test de Kolmogorov-Smirnov:

Le Test de Kolmogorov-Smirnov est un test d'hypothèse utilisé pour déterminer si un échantillon suit bien une loi donnée. Il repose sur la différence entre une distribution observée et une distribution théorique.

Etapas de détermination

- On classe les valeurs par ordre croissant (m_i) ;
- On détermine FND (observée) $(m_i - 0.5)/N$;
- On détermine $Z_i = \frac{\overline{\ln X} - \ln x_i}{\sigma}$;
- On détermine FND (calculée) de la table de Gauss ;
- On détermine $\Delta = |\text{FND (observée)} - \text{FND (calculée)}|$;
- On prend Δ_{\max} ;
- D'après la table de Kolmogorov-Smirnov (annexe 5), on a $\Delta_{\text{théorique}}$ qui correspond au nombre total de la série est 95%.
- On compare Δ_{\max} et $\Delta_{\text{théorique}}$.
 - ✓ Si $\Delta_{\max} > \Delta_{\text{théorique}}$ les données de la série ne s'ajustent pas bien à la loi considérée.
 - ✓ Et au contraire si $\Delta_{\max} < \Delta_{\text{théorique}}$ les données de la série s'ajustent bien à la loi considérée.



Chapitre IV : Résultats et Discussions

Introduction

On récapitule dans ce chapitre les résultats de l'homogénéisation des séries des précipitations et températures à l'aide du Test de Wilcoxon ainsi que les résultats de l'ajustement statistiques des données de mesure.

IV. 1 Homogénéisation des séries des précipitations et températures à l'aide du Test de Wilcoxon

On porte les résultats de l'homogénéisation des séries à l'aide du Test de Wilcoxon des précipitations dans l'Annexe 2 ; et des températures dans l'Annexe 3. Suivants :

Pour les précipitations, d'après l'annexe 1, on a :

$$W_x = \Sigma rang(X) = 985$$

D'après la formule (III.2), on a $W_{min}=851.29$

D'après la formule (III.3), on a $W_{max}=1265.71$

$$851.29 < 985 < 1265.71$$

La condition $W_{min} < W_x < W_{max}$ est vérifiée, la série des précipitations est donc homogène.

Et pour les températures, d'après l'annexe .2, on a :

$$W_x = \Sigma rang(X) = 857$$

D'après la formule (III.2) $W_{min}=840.45$

D'après la formule (III.3) $W_{max}=1247.55$

$$840.45 < 857 < 1247.55$$

La condition $W_{min} < W_x < W_{max}$ est vérifiée, la série des précipitations est donc homogène

IV.2 Ajustement des statistiques des précipitations aux lois statistiques :**IV.2.1 Loi normale (loi de Gauss):**

La pluie moyenne déterminée par la formule (III.5) ; $\bar{p}=510.1$ mm

Les valeurs des pluies observées, des pluies classées par ordre croissant, de l'ordre « ni » et de la fréquence expérimentale au non dépassement FND déterminée par la formule (III.9) sont récapitulées dans le tableau IV.1

Tableau IV.1 Caractéristique statistique des pluies annuelles à Constantine (1937-2010)

Pluies annuelles	Pluies annuelles classées	ordre ni	F(p)=FND=(ni-0.5)/72	$(p_i - \bar{p})^2$	Pluies annuelles	Pluies annuelles classées	ordre ni	F(p)=FND=(mi-0.5)/72	$(p_i - \bar{p})^2$
369,4	254,9	1	0,694444	65127,04	447.7	494.6	37	50.694444	240.25
463,6	283,9	2	2,083333	51166,44	863.2	505.8	38	52.083333	18.49
523,9	283,9	3	3,472222	51166,44	334.3	507.9	39	53.472222	4.84
489,7	289,7	4	4,861111	48576,16	457.9	512.12	40	54.861111	4
335,5	326	5	6,25	33892,81	705.6	514.5	41	56.25	19.36
440,9	335,5	6	7,638889	30485,16	544.7	515.4	42	57.638888	28.09
404,1	338,6	7	9,027778	29412,25	543.2	523.9	43	59.027777	190.44
570,7	340,5	8	10,41667	28764,16	663.1	527.1	44	60.416666	289
340,5	344,3	9	11,80556	27489,64	254.9	534.9	45	61.805555	615.04
283,9	348,3	10	13,19444	26179,24	868.9	535.4	46	63.19444	640.09
283,9	369,4	11	14,58333	19796,49	465.3	543.2	47	64.583333	1095.61
405,2	371,7	12	15,97222	19154,56	560.5	544.7	48	65.97222	1197.16
534,9	374,7	13	17,36111	18333,16	469.1	552.9	49	67.31111	1831.84
730,9	387,4	14	18,75	15055,29	514.5	557.7	50	68.75	2265.76
564,4	403,4	15	20,13889	11384,89	371.7	560.5	51	69.027777	2540.16
629	404,1	16	21,52778	11236	426.7	564.4	52	71.52777	2948.49
588,6	405,2	17	22,91667	11004,01	512.1	570.7	53	72.916666	3672.36
505,8	408,1	18	24,30556	10404	757.7	571.2	54	74.305555	3733.21
692,9	413,7	19	25,69444	9292,96	403.4	575.8	55	75.694444	43.1649
487,4	426,7	20	27,08333	6955,56	472.5	588.6	56	77,083333	6162,25
782.1	429.2	21	28.47222	6544.81	535.4	591.6	57	78,416666	6642,25
408.1	439.7	22	29.86111	4956.16	621.5	621.5	58	79,861111	12409,96
289.7	440.9	23	31.25	2788.64	507.9	628.2	59	81,25	13947,61
552.9	447.7	24	32.63889	2788.64	571.2	629	60	82,638888	14137,21
591.6	457.9	25	34.02778	2724.84	515.4	641.7	61	84,027777	17318,56
413.7	458.8	26	35.41667	2631.69	374.7	663.1	62	85,416666	23409
557.7	463.6	27	36.80556	2162.25	463.8	692.9	63	86,805555	33415,84
429.2	463.8	28	38.19444	2413.69	485.8	701.8	64	88,194444	36748,89
527.1	465.3	29	39.58333	2007.04	768.7	705.6	65	8,96 ^E +01	38220,25
439.7	469.1	30	40.97222	1681	701.8	725	66	90,972222	46182,01
575.8	472.5	31	42.36111	1413.76	326	730.9	67	92,361111	48752,64
387.4	481.5	32	43.75	817.96	458.8	757.7	68	93,75	61305,76
641.7	485.8	33	45.13889	590.49	481.5	768.7	69	95,138888	66873,96
725	487.4	34	46.52778	515.29	348.3	782.1	70	96,527777	73984
494.7	489.7	35	47.916666	416.16	628.2	863.2	71	97,916666	124679,61
338.6	491.1	36	49.30555	361	491.1	868,9	72	99,305555	128737,44

- L'écart-type déterminé par la formule (III.7) ; $\sigma=136.52$ mm ;
- Le coefficient de variation déterminé par la formule (III.8) ; $CV=0.26$;
- On reporte les couples $(x_i, FND = \frac{ni-0,5}{n} * 100$ sur papier Gauss (papier à échelle de probabilité de la loi normale) (graphe IV.1)

Les valeurs des pluies annuelles fréquentielles pour :

FND₁ = 10%:

$$P_{10\%} = 510.1 + (136.52) Z_{10\%} = 335.76 \text{ mm}$$

FND₂ = 90%:

$$P_{90\%} = 510.1 + (136.52) Z_{90\%} = 684 \text{ mm}$$

On détermine des valeurs fréquentielles de la période de retour T= 5, 10, 20, 100 et 1000 ans (quantiles) analytiquement par l'équation de Henry (III.11)

On cherche d'abord la fréquence au non dépassement «FNDT» par la formule :

$$FND_T = 1-FD \quad \text{(III.9)}$$

Avec :

FD : Fréquence au dépassement déterminée par la formule :

$$FD = \frac{1}{T} \quad \text{(III.10)}$$

On tire de la table de Gauss (annexe 4) la variable réduite Z_T correspondant à cette fréquence.

On remplace dans l'équation de Henry Z_t par sa valeur.

Les valeurs de Z_t sont fournies par les tables de l'intervalle de Gauss en fonction de la fréquence au non dépassement « FND ».

On récapitule les caractéristiques et pluies annuelles fréquentielles dans le tableau IV.2

Tableau IV.2 Pluies Annuelles fréquentielles

$\bar{P} = 510,1 \text{ mm}$		$\sigma = 136,2$		$CV = 0.26$
Période de retour T	$FD = \frac{1}{T}$	FND = 1-T	Z _t	$P_T = \bar{P} + Z_T \sigma$
5 ans	0.2	0.8	0.84	624.50
10 ans	0.1	0.9	1.28	684.43
20 ans	0.05	0.95	1.64	733.96
50 ans	0.02	0.98	2.05	789.31
100 ans	0.01	0.99	2.33	827.45
1000 ans	0.001	0.999	3.01	920.02

Tableau IV.3 Pluies Annuelles fréquentielles des années humides et années sèches

Taux	Précipitation	
	Années humides	Années Sèches
P _{5ans}	624.78	395.69
P _{10ans}	684.43	335.76
P _{20ans}	733.96	286.73
P _{50ans}	789.31	230.89
P _{100ans}	828.45	192.75
P _{1000ans}	920.02	100.14

IV.2.1.1.Etablissement de la droite de Henry

Pour la détermination de la droite de Henry (droite d'ajustement de la loi normale), on choisit arbitrairement deux (2) points du tableau IV.2 (fréquences FND, P_T).

Le premier point (fréquences FND= 90, P_T= 684 mm) ; et le second (fréquences FND=10, P_T= 335.76 mm).

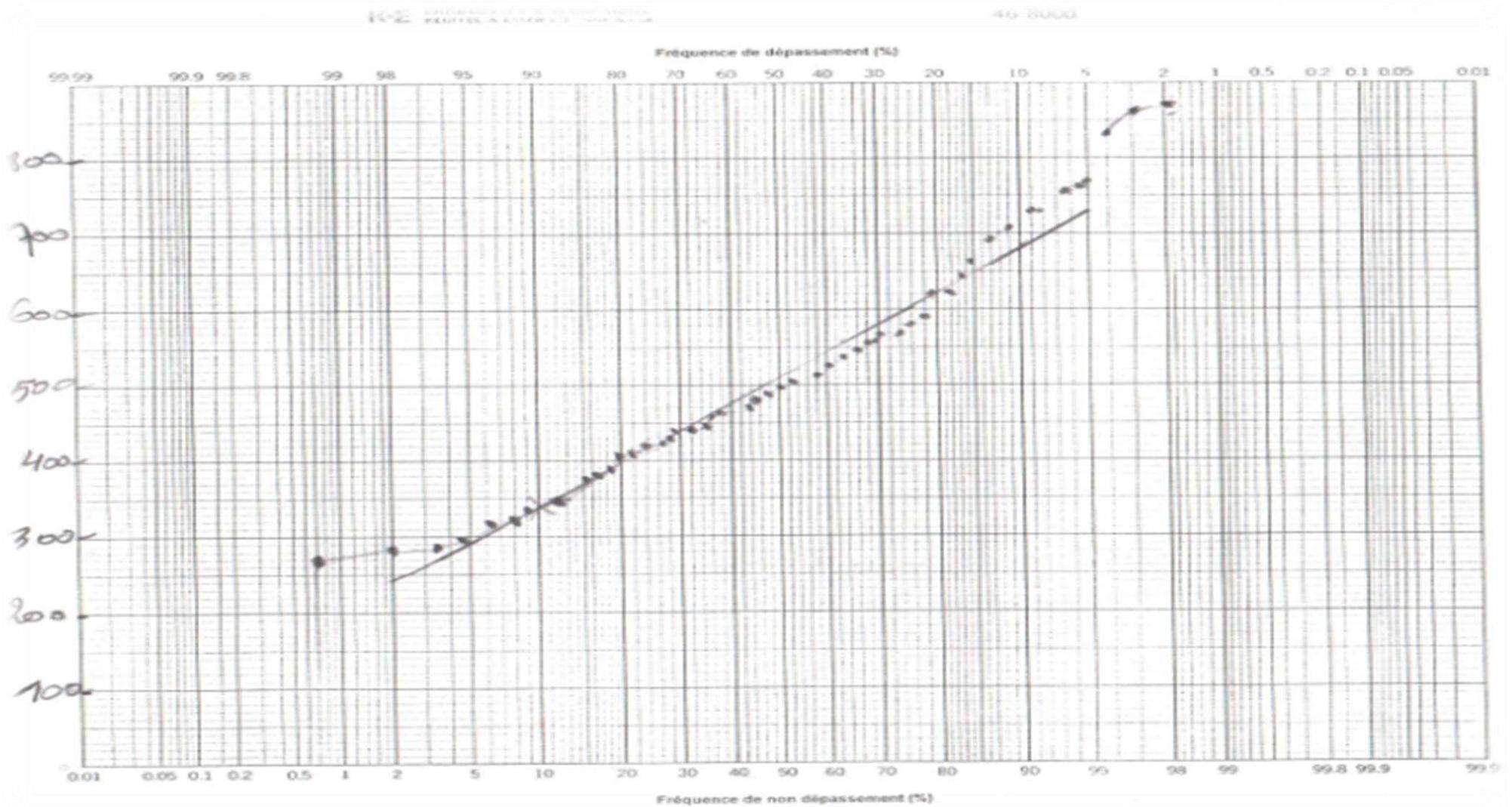


Figure IV.1 : La droite de Henry des précipitations pour la loi de Gauss

IV.2.2.Loi de Gumbel :

*Les caractéristiques statistiques de la série des pluies ont été déterminées dans le paragraphe précédent :

- La pluie moyenne déterminée par la formule (III.5) ; $\bar{p}=510.1$ mm
- L'écart-type déterminé par la formule (III.7) ; $\sigma=136.52$ mm
- Le coefficient de variation déterminé par la formule (III.8) ; $CV=0.26$

*On reporte les couples $(x_i, FND = \frac{ni-0,5}{n} * 100)$ sur papier Gumbel.

*on calcule des valeurs fréquentielles des pluies pour des périodes de retour T 5 10, 20, 50, 100 et 1000 ans.

On récapitule les caractéristiques et pluies annuelles fréquentielles dans le tableau IV.3

Tableau IV.4 pluies fréquentielles

$\sigma = 136,2 \quad \bar{P} = 510,1 \text{ mm} \quad CV=0.26$				
Période de retour T	$FD = \frac{1}{T}$	FND =1-T	Valeur de Y_T (II.17)	$P = 106,48 Y_T + 448,67$
5 ans	0.2	0.8	1.5	608.39
10 ans	0.1	0.9	2.25	688.25
20 ans	0.05	0.95	2.97	764.91
50 ans	0.02	0.98	3.9	863.94
100 ans	0.01	0.99	4.6	938.47
1000 ans	0.001	0.999	6.9	1183.38

IV.2.2.1Etablissement de la droite d'ajustement de Gumbel

Pour établir la droite d'ajustement de Gumbel (III.16), on détermine le coefficient d'ajustement par la formule (III.13)

$$\frac{1}{\alpha} = 106.48$$

et P_0 par la formule (III.14) : $P_0 = 448.67$

L'équation est donc :

$$P = 106,48 Y_T + 448,67$$

Tableau IV.5 pluies fréquentielles des années humides et années sèches

Taux	Precipitation	
	Années humides	Années Sèches
P _{5ans}	397.56	608.39
P _{10ans}	360.29	688.25
P _{20ans}	331.54	764.91
P _{50ans}	303.86	863.94
P _{100ans}	285.76	938.47
P _{1000ans}	243.16	1183.38

Le papier de probabilité de Gumbel comporte deux échelles probabilistes (axe des abscisses), la première, la fréquence au non dépassement $F(x) = \text{FND}$ en % et la deuxième, les variables réduites adimensionnelle de Gumbel Y . On peut donc tracer cette courbe par deux méthodes :

- **Première méthode :**

On remplace dans cette formule Y_T par deux valeurs numériques choisies arbitrairement. Par exemple :

$Y_T = 0$ et $Y_T = 1$. On obtient respectivement $P=448,67\text{mm}$ et $P= 555,14\text{mm}$.

On trace la courbe sur papier Gumbel avec les points (0 ; 448.96) et (1 ; 555.14)

- **Deuxième méthode :**

On choisit deux (2) périodes de retour du tableau IV.3 par exemple les points (5 ; 608.39) et (20 ; 666.95)

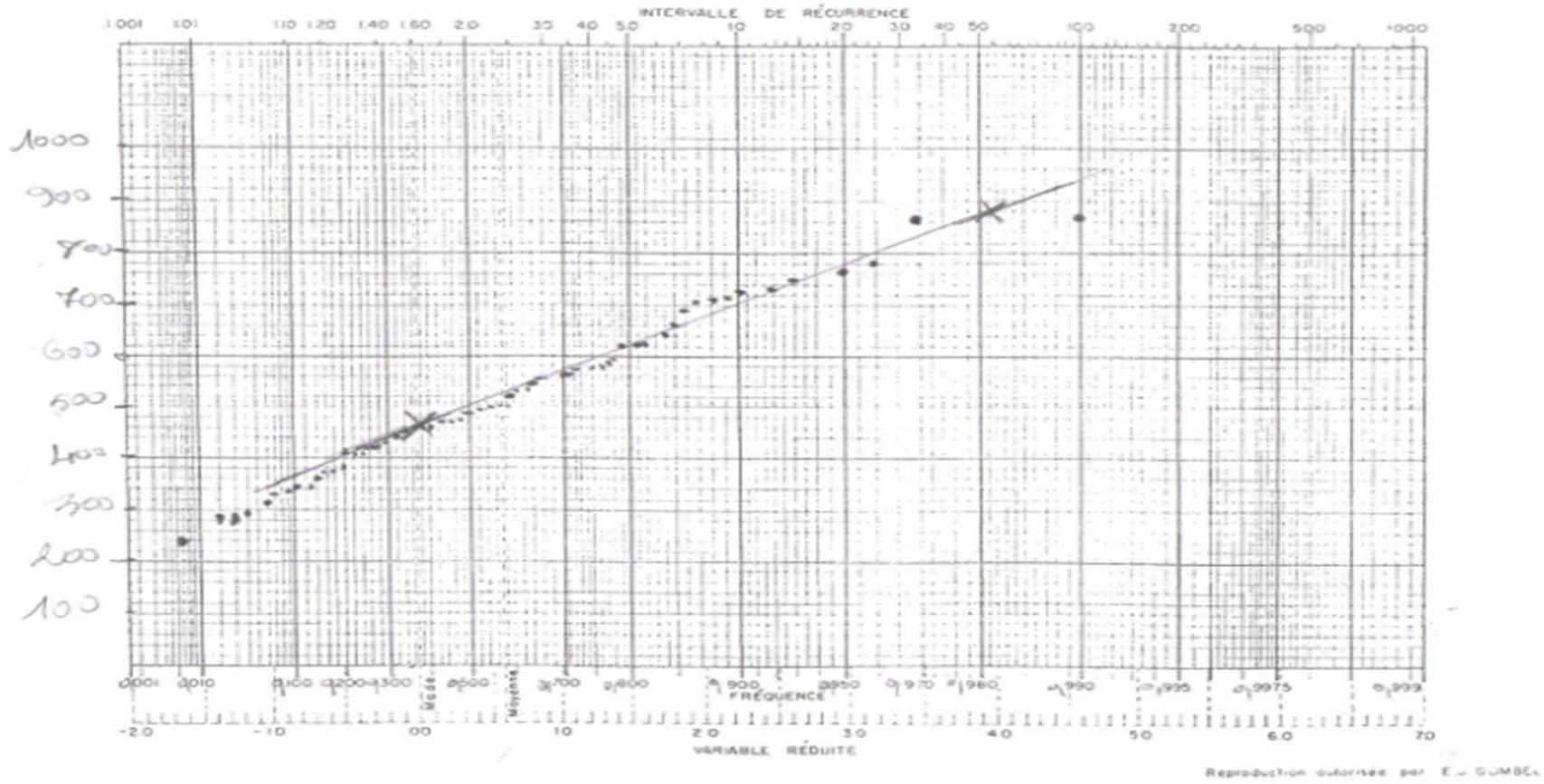


Figure IV.2 La droite de Gumbel pour les précipitations

IV.2.3 Loi de log-normale (loi de Galton) :

- Les caractéristiques de la série transformée en logarithmes :

Pour la pluie moyenne déterminée par la formule (III.21) : $\overline{\ln p} = 6.189 \text{ mm}$

Pour l'écart-type déterminé par la formule (III.22) : $\sigma_{\ln p} = 0.27 \text{ mm}$

Et pour le coefficient de variation déterminé par la formule (III.23) $cv = 0.04$

- On reporte sur le papier Gauss à échelle de probabilité de la loi log-normale (annexe 4)
- On récapitule les caractéristiques et pluies annuelles fréquentielles dans le tableau IV.4

Tableau IV.6 : pluies Annuelles fréquentielles

	$\overline{\ln p} = 6.189 \text{ mm}$	$\sigma_{\ln p} = 0.27 \text{ mm}$		$CV = 0.04$
Période de retour T	$FD = \frac{1}{T}$	$FND = 1 - T$	Zt	$(\ln x) = \overline{\ln x} + Z \ln x$
5 ans	0.2	0.8	0.84	611.43
10 ans	0.1	0.9	1.28	688.55
20 ans	0.05	0.95	1.64	758.85
50 ans	0.02	0.98	2.05	847.68
100 ans	0.01	0.99	2.33	914.25
1000 ans	0.001	0.999	3	1095.54

- La droite de Galton est déterminée par la formule (III.24)

Tableau IV.7 Pluies Annuelles fréquentielles des années humides et années sèches

Taux	Précipitation	
	Années humides	Années sèches
$P_{5\text{ans}}$	607.89	387.61
$P_{10\text{ans}}$	685.40	354.25
$P_{20\text{ans}}$	757.48	311.06
$P_{50\text{ans}}$	845.56	278.66
$P_{100\text{ans}}$	906.87	257.24
$P_{1000\text{ans}}$	1096.63	217.02

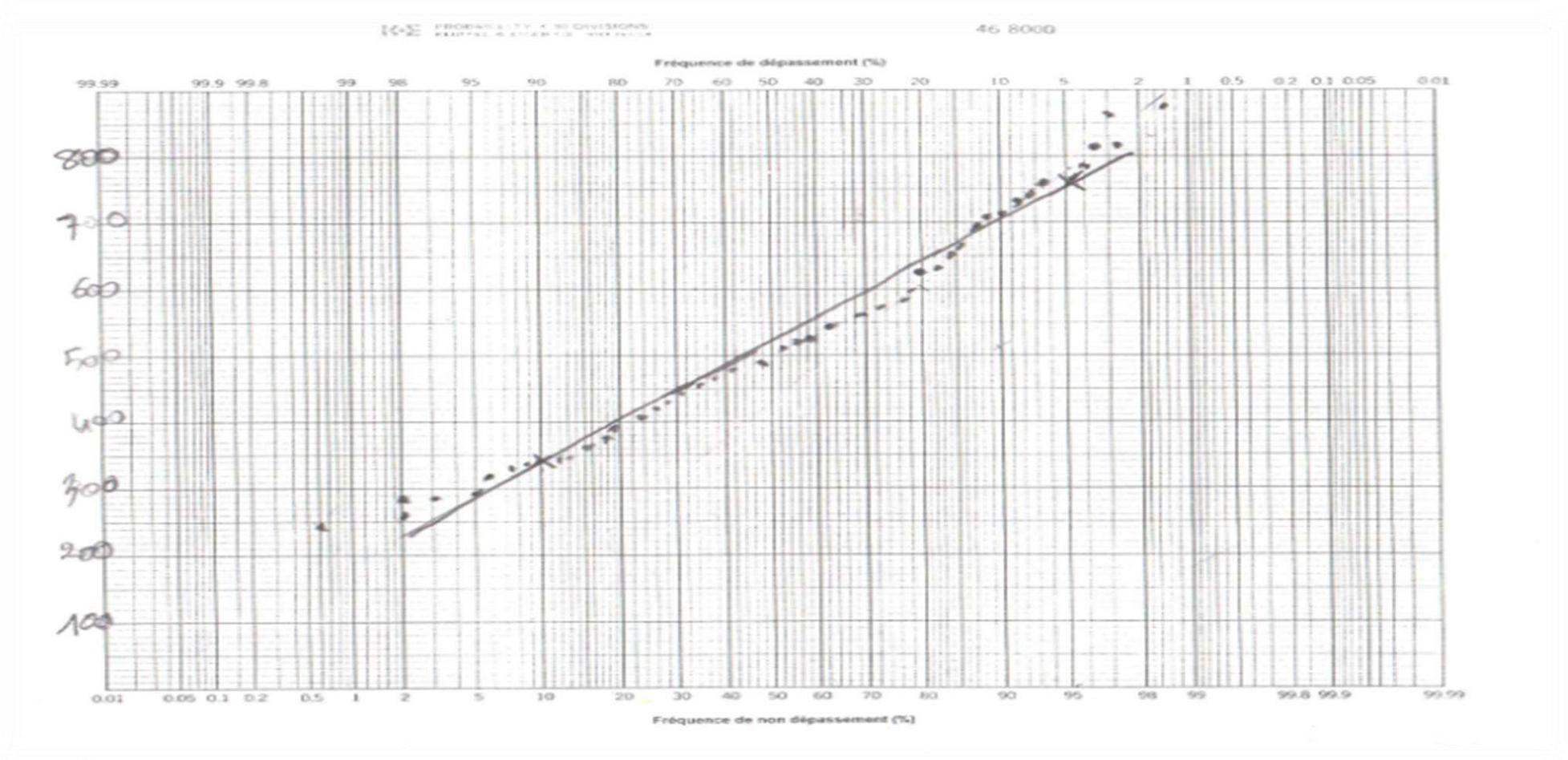


Figure IV.3 : Le droite de Galton de la loi log-normal pour les précipitations

Tableau IV.8: Pluies fréquentielles de 3 lois

PRECIPITATIONS				
	Loi de Gauss		Loi de Gumbel	Loi de log-normale :
	$\bar{P} = 510,1 \text{ mm}$	$\sigma = 136,2 \text{ mm}$	$cv=0.26$	$n_p=6.189 \text{ mm}$ et $\sigma_{lnp}=0.27 \text{ mm}$ $cv=0.04$
P _{5 ans}	624.50		608.39	611.43
P _{10 ans}	684.43		688.25	688.55
P _{20 ans}	733.96		764.91	758.85
P _{50 ans}	789.31		863.94	847.68
P _{100 ans}	827.45		938.47	914.25
P _{1000 ans}	920.02		1183.38	1095.54

Tableau IV.9: Pluies fréquentielles de 3 lois pour les années humides et Années sèches

Précipitation	La loi de Gauss		La loi de Gumbel		La loi de log-normal	
	Années humides	Années Sèches	Années sèches	Années Humides	Années sèches	Années humides
P _{5ans}	624.78	395.69	397.56	608.39	387.61	607.89
P _{10ans}	684.43	335.76	360.29	688.25	354.25	685.40
P _{20ans}	733.96	286.73	331.54	764.91	311.06	757.48
P _{50ans}	789.31	230.89	303.86	863.94	287.66	845.56
P _{1000ans}	828.45	192.75	285.76	938.47	257.24	906.87
P _{1000ans}	920.032	100.14	243.16	1183.38	217.02	1096.63

IV.3Ajustement statistique des Températures aux lois statistiques

On établit de la même manière l’ajustement statistique. Les résultats sont :

IV.3.1 Loi normale (loi de Gauss):

La température moyenne déterminée par la formule (III.5) : $T = 15.44$ mm

L’écart-type déterminé par la formule(III.7) : $\sigma T = 0.73$ mm

Le coefficient de variation déterminé par la formule (III.8) : $cv = 0.047$

Tableau IV.10 : Caractéristique statistique des températures annuelles à Constantine (1939-2010)

Températures annuelles	Températures annuelles classées	ordre ni	$F(p)=FND=(ni-0.5)/71$	$(ti - \bar{t})^2$	Températures annuelles	Températures annuelles classées	ordre ni	$F(p)=FND = (mi-0.5)/71$	$(ti - \bar{t})^2$
14,808333	13,559166	1	0,7042253	3,5416412	15,241666	15,016666	25	34,507042	0,1801364
14,691666	13,7	2	2,11267605	3,0313997	15,041666	15,041666	26	35,915492	0,1595402
15,383333	14,333333	3	3,5211267	1,2271282	15,216666	15,05	27	37,323943	0,152952
15,383333	14,408333	4	4,9295774	1,0665895	15,516666	15,216666	28	38,732394	0,0503665
14,7	14,416666	5	6,3380281	1,049446	15,358333	15,241666	29	40,140845	0,0397702
15,7	14,566666	6	7,7464788	0,7646188	14,675	15,308333	30	41,549295	0,0176247
15,308333	14,6	7	9,1549295	0,7074349	14,933333	15,341666	31	42,957746	0,0098853
16,041666	14,641666	8	10,563380	0,6390801	14,6	15,341666	32	44,366197	0,0098853
14,766666	14,675	9	11,971830	0,5868962	14,333333	15,358333	33	45,774647	0,0068489
15	14,691666	10	13,380281	0,5616376	15,016666	15,383333	34	47,183098	0,0033360
14,966666	14,7	11	14,788732	0,5492166	14,741666	15,383333	35	48,59154	0,0016885
15,341666	14,725	12	16,197183	0,5127871	14,725	15,4	36	50	0,0010731
15,691666	14,741666	13	17,605633	0,4891951	13,7	15,408333	37	51,40845	0,0034702
15,341666	14,758333	14	19,014084	0,4661587	15,758333	15,5	38	52,816901	0,0057115
14,791666	14,766666	15	20,422535	0,4548489	14,641666	15,516666	39	54,225352	0,0070406
15,925	14,791666	16	21,830985	0,4217526	15,05	15,525	40	55,633802	0,0436427
14,566666	14,808333	17	23,239436	0,400382	14,416666	15,65	41	57,042253	0,0627878

Tableau IV.10 : (suite) Caractéristique statistique des températures annuelles à Constantine (1939-2010)

13,559166	14,825	18	24,647887	0,3795687	15,525	15,691666	42	58,450704	0,0670335
16,483333	14,875	19	26,056338	0,3204596	15,5	15,7	43	59,859154	0,0759416
15,883333	14,933333	20	27,464788	0,2578184	15,775	15,716666	44	61,267605	0,0806040
15,8	14,966666	21	28,873239	0,2250789	14,825	15,725	45	62,676056	0,0806040
15,791666	14,991666	22	30,281690	0,2019827	15,725	15,758333	46	64,084507	0,100642
14,991666	14,991666 6	23	31,690140	0,2019827	15,408333	15,775	47	65,492957	0,111494
14,875	15	24	33,098591	0,1945617	16,208333	15,791666	48	66,901408	0,1229029
16,216666	15,8	49	68,309859	0,1288152	16,55	16,216666 7	61	85,211267	0,6015167
14,408333	15,8	50	69,718309	0,1288152	16,816666 7	16,316666 7	62	86,619718	0,7666317
16,316666	15,816666	51	71,126760	0,1410566	16,8	16,483333 3	63	88,028169	1,0862679
14,758333	15,833333	52	72,535211	0,1538536	16,65	16,55	64	89,436619	1,2296779
14,991666	15,833333	53	73,943661	0,1955777	15,833333 3	16,55	65	90,845070	1,2296779
15,65	15,925	54	75,352112	0,2341673	15,8	16,65	66	92,253521	1,4614596
16,75	15,933333	55	76,760563	0,2423019	16,725	16,725	67	93,661971	1,648420
15,966666	15,966666	56	78,169014	0,2762292	15,933333 3	16,75	68	95,070422	1,7132413
15,4	16,033333	57	79,577464	0,3507503	16,066666 7	16,8	69	96,478873	1,8466321
16,55	16,041666	58	80,985915	0,3606904	15,716666 7	16,816666 7	70	97,887323	1,8922069
15,816666	16,066666	59	82,39436	0,3913442	16,033333 3	16,841666 7	71	99,295774	1,9616106
16,841666	16,208333	60	83,80281	0,5886599					

Les valeurs des températures annuelles fréquentielles pour :

FND1 = 10% :

$$P_{10\%} = 15.44 + 0.73 Z_{10\%} = 14.50 \text{ °C}$$

FND2 = 90% :

$$P_{90\%} = 15.44 + 0.73 Z_{90\%} = 16.37 \text{ °C}$$

On détermine des valeurs fréquentielles de la période de retour $T = 5, 10, 20, 100$ et 1000 ans (quantiles) analytiquement par l'équation de Henry (III.11) :

On cherche d'abord la fréquence au non dépassement « FND_T » par la formule :

$$FND_T = 1 - FD \quad \text{(III.9)}$$

Avec :

FD : Fréquence au dépassement déterminée par la formule :

$$FD = 1/T \quad \text{(III.10)}$$

On tire de la table de Gauss (annexe 4) la variable réduite Z_T correspondant à cette fréquence.

On remplace dans l'équation de Henry Z_T par sa valeur.

Les valeurs de Z_T sont fournies par les tables de l'intervalle de Gauss en fonction de la fréquence au non dépassement « FND ».

On récapitule les caractéristiques et pluies annuelles fréquentielles dans le tableau IV.6

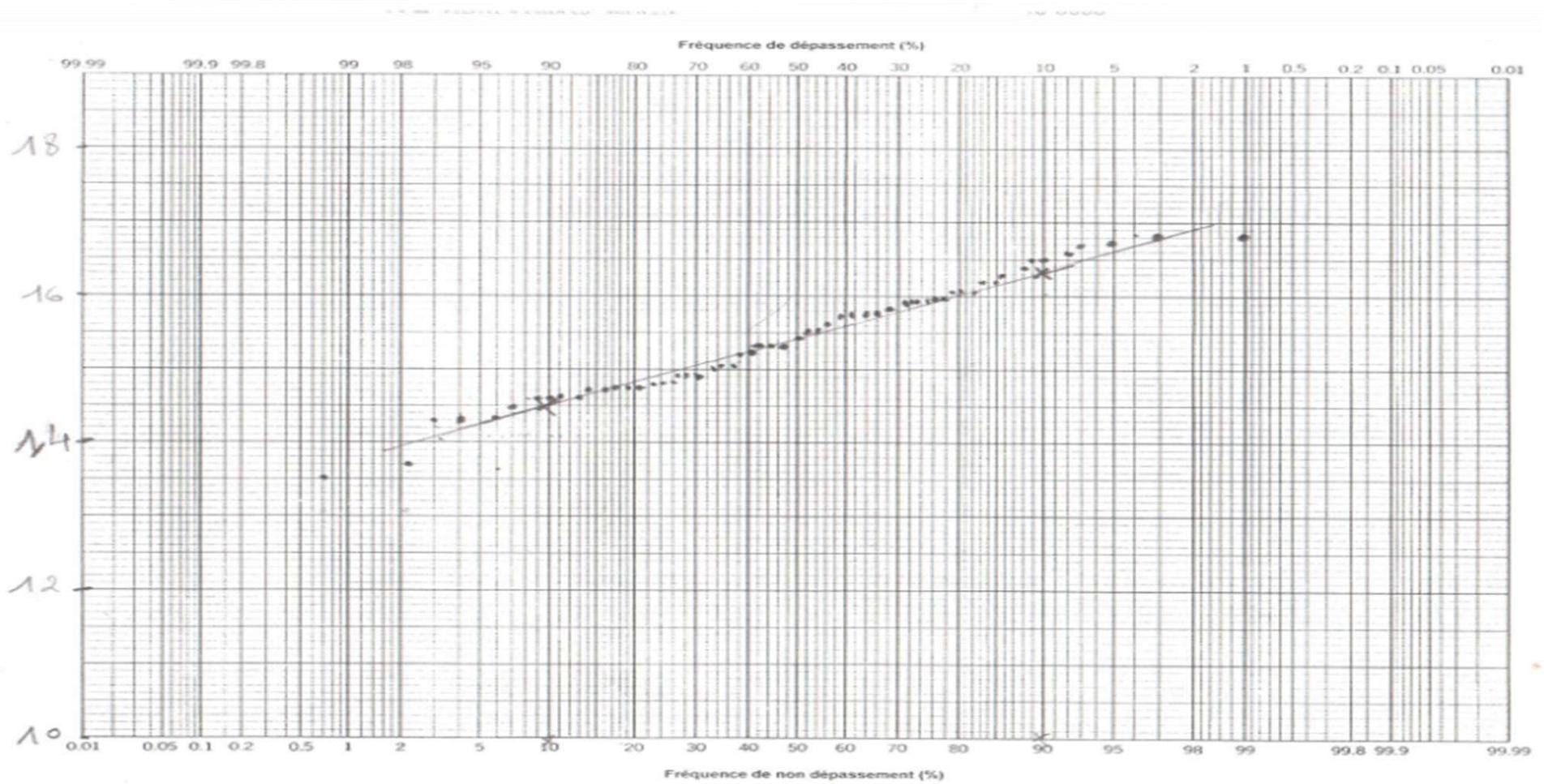


Figure IV.4 : La droite de Henry de la loi de Gauss pour les Températures

Premier point (fréquences FND= 90, $t_T= 16.37$ °C) ; et le second ((fréquences FND= 10, $t_T= 14.50$ °C)

Tableau IV.11 Températures Annuelles fréquentielles

$\bar{T} = 15.44^\circ\text{C}$		$\sigma = 0.73$	$CV=0.047$	
Période de retour T	$FD = \frac{1}{T}$	FND =1-T	Zt	$t_T = T + Z_T \sigma$
5 ans	0.2	0.8	0.84	16.05
10 ans	0.1	0.9	1.28	16.37
20 ans	0.05	0.95	1.64	16.64
50 ans	0.02	0.98	2.05	16.94
100 ans	0.01	0.99	2.33	17.14
1000 ans	0.001	0.999	3.01	17.64

Tableau IV.12 Températures Annuelles fréquentielles des années humides et années sèches

Taux	Température	
	Années sèches	Années humides
$T_{5\text{ans}}$	14.83	16.05
$T_{10\text{ans}}$	14.51	16.37
$T_{20\text{ans}}$	14.24	16.64
$T_{50\text{ans}}$	13.94	16.94
$T_{100\text{ans}}$	13.74	17.14
$T_{1000\text{ans}}$	13.24	17.64

IV.3.2.Loi de Gumbel :

*On reporte les couples (xi, $FND = \frac{ni-0,5}{n} \times 100$) sur papier Gumbel

*on calcule des valeurs fréquentielles des pluies pour des périodes de retour T 5 10, 20, 50, 100 et 1000 ans.

On récapitule les caractéristiques et pluies annuelles fréquentielles dans le tableau IV.10

Tableau IV.13 : Températures fréquentielles

Période de retour T	$\sigma = 0.73$ °C		$\bar{T} = 15.44^\circ\text{C}$	$cv=0.047$
	$FD = \frac{1}{T}$	FND =1-T	Valeur de Y_T (III.17)	$T = 0.5694 Y_T + 15.11$
5 ans	0.2	0.8	1.5	15.96
10 ans	0.1	0.9	2.25	16.39
20 ans	0.05	0.95	2.97	16.80
50 ans	0.02	0.98	3.9	17.33
100 ans	0.01	0.99	4.6	17.73
1000 ans	0.001	0.999	6.9	19.04

Tableau IV.14 Températures Annuelles fréquentielles des années humides et années sèches

Taux	Température	
	Années humide	Années sèches
T_{5ans}	15.96	14.84
T_{10ans}	16.39	14.64
T_{20ans}	16.80	14.48
T_{50ans}	17.33	14.34
T_{100ans}	17.73	14.24
$T_{1000ans}$	19.04	14.01

IV.3.2.1 Etablissement de la droite d'ajustement de Gumbel

Le papier de probabilité de Gumbel comporte deux échelles probabilistes (axe des abscisses), la première, la fréquence au non dépassement $F(x) = FND$ en % et la deuxième, les variables réduites adimensionnelle de Gumbel Y . On peut donc tracer cette courbe par deux méthodes :

- **Première méthode :**

On remplace dans cette formule Y_T par deux valeurs numériques choisies arbitrairement. Par exemple :

$Y_T = 0$ et $Y_T = 1$. On obtient respectivement $P = 15.11^\circ C$ et $P = 15.68^\circ C$.

On trace la courbe sur papier Gumbel avec les points (0 ; 15.11) et (1 ; 15.68)

- **Deuxième méthode :**

On choisit deux (2) périodes de retour du tableau III.10 par exemple les points (5 ; 15.96) et (20 ; 16.80)

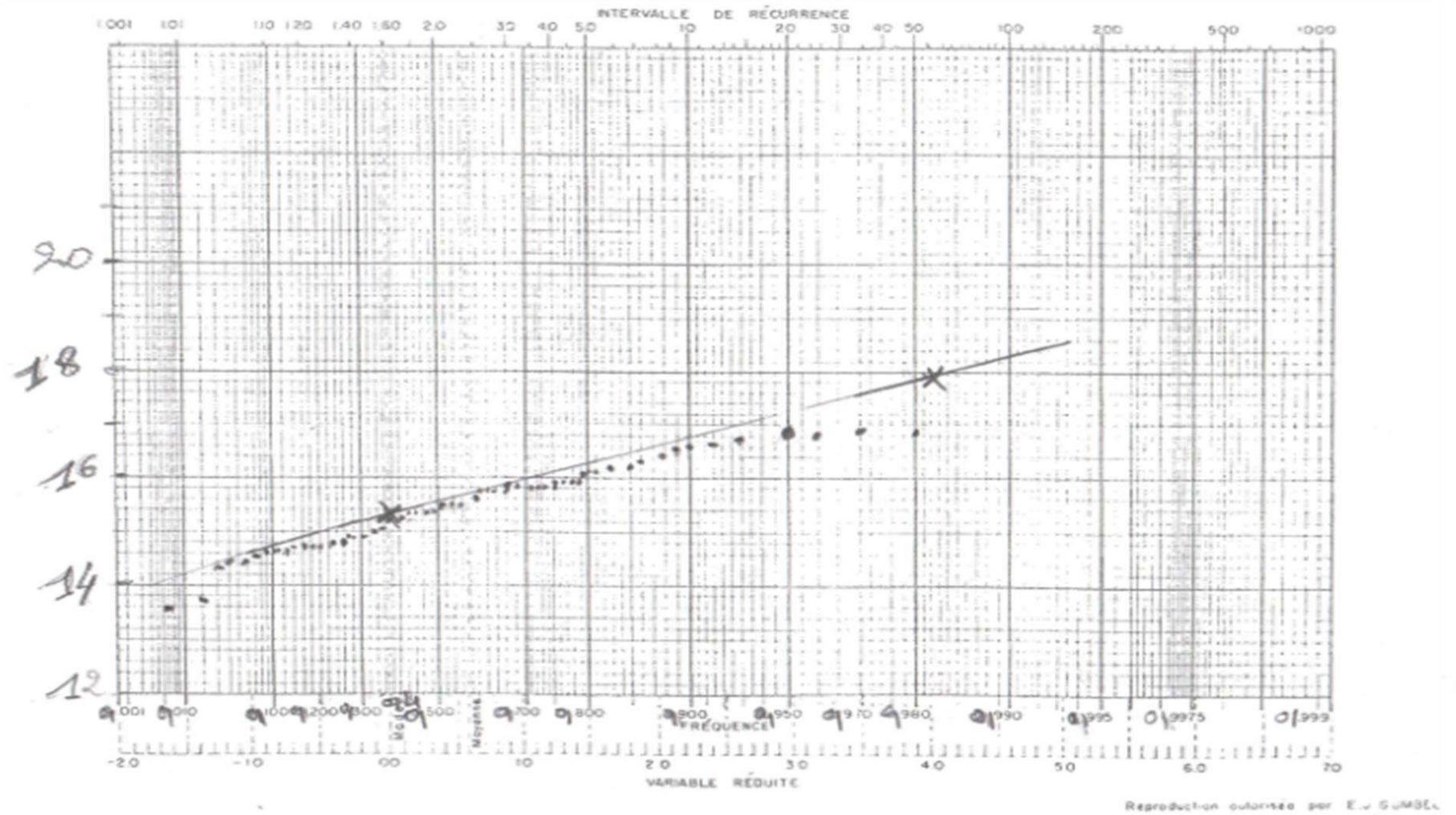


Figure IV.5 : La droit de Gumbel de Température

IV.3.3 Loi de log-normale (loi de Galton) :

- On reporte sur le papier Gauss à échelle de probabilité de la loi log-normale (annexe 4) ;
- On récapitule les caractéristiques et températures annuelles fréquentielles dans le tableau IV.9

Tableau IV.15 : Températures Annuelles fréquentielles

$\overline{\ln T} = 2.74^\circ\text{C}$		$\sigma_{\ln T} = 0.04^\circ\text{C}$		$CV = 0.015$
Période de retour T	$FD = \frac{1}{T}$	$FND = 1 - \frac{1}{T}$	Zt	$(\ln T) = \overline{\ln T} + Z \ln T$
5 ans	0.2	0.8	0.84	16.01
10 ans	0.1	0.9	1.28	16.30
20 ans	0.05	0.95	1.64	16.53
50 ans	0.02	0.98	2.05	16.81
100 ans	0.01	0.99	2.33	16.99
1000 ans	0.001	0.999	3.01	17.47

- La droite de Galton est déterminée par la formule (III.24)

Tableau IV.16 : Températures Annuelles fréquentielles des années humides et Années sèches

Taux	Température	
	Années humides	Années sèches
$T_{5\text{ans}}$	15.96	14.88
$T_{10\text{ans}}$	16.28	14.73
$T_{20\text{ans}}$	16.44	14.44
$T_{50\text{ans}}$	16.77	14.30
$T_{100\text{ans}}$	16.95	14.15
$T_{1000\text{ans}}$	17.46	13.74

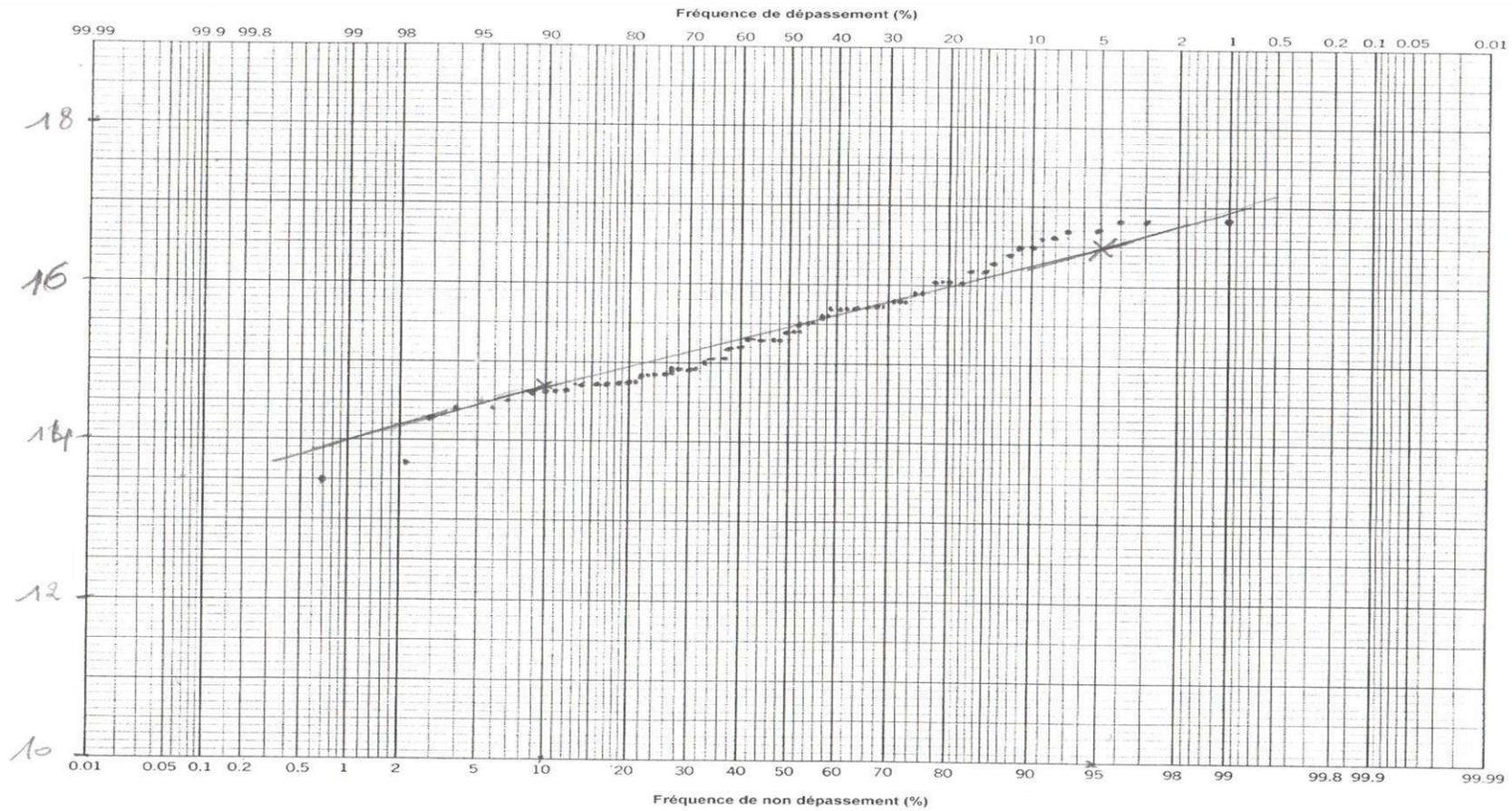


Figure IV.6 : la droit de Galton de Température pour la loi log-normal

Tableau IV.17 : Températures fréquentielles de 3 lois :

Températures			
	Loi de Gauss	Loi de Gumbel	Loi de log-normale :
	$\bar{T} = 15.44^{\circ}\text{C}$ $\sigma = 0.73^{\circ}\text{C}$ $cv = 0.047$		$\overline{\ln T} = 2.74^{\circ}\text{C}$ et $\sigma_{\ln T} = 0.04^{\circ}\text{C}$ $cv = 0.015$
T _{5 ans}	16.05	15.96	16.01
T _{10 ans}	16.37	16.39	16.30
T _{20 ans}	16.64	16.80	16.53
T _{50 ans}	16.94	17.33	16.81
T _{100 ans}	17.14	17.73	16.99
T _{1000 ans}	17.64	19.04	17.47

Tableau IV.18 : Températures Annuelles fréquentielles des années humides et Années sèches de 3 lois

Température	La loi de Gauss		La loi de Gumbel		La loi de log-normal	
	Années sèches	Années humides	Années sèches	Années humides	Années sèches	Années humides
T _{5ans}	14.83	16.05	14.84	15.96	14.88	15.96
T _{10ans}	14.51	16.37	14.64	16.39	14.73	16.28
T _{20ans}	14.24	16.64	14.48	16.80	14.44	16.44
T _{50ans}	13.94	16.94	14.34	17.33	14.30	16.77
T _{100ans}	13.74	17.14	14.24	17.73	14.15	16.95
T _{1000ans}	13.24	17.64	14.01	19.04	13.74	17.46

IV.4.Récapitulation et interprétation des résultats :

IV4.1. Précipitations :

IV.4.1.1Loi de Gauss :

Tableau IV.19 : Test de Kolmogorov Smirnov des précipitations pour la loi de Gauss :

valeur donnée	valeur classée	Ordre ni	$(\pi-p)^2$	F(x)*100	FND	Z Théorique	FND Théorique	FND-FND Théorique
369,4	254,9	1	65127,04	0,69444444	0,00694444	-1,8737151	0,03438	-0,02743556
463,6	283,9	2	80599,21	2,08333333	0,02083333	-1,6607929	0,04846	-0,02762667
523,9	283,9	3	80599,21	3,47222222	0,03472222	-1,6607929	0,04846	-0,01373778
489,7	289,7	4	83926,09	4,86111111	0,04861111	-1,6182085	0,0537	-0,00508889
335,5	326	5	106276	6,25	0,0625	-1,3516886	0,08851	-0,02601
440,9	335,5	6	112560,25	7,63888889	0,07638889	-1,2819383	0,10027	-0,02388111
404,1	338,6	7	114649,96	9,02777778	0,09027778	-1,2591776	0,10565	-0,01537222
570,7	340,5	8	115940,25	10,4166667	0,10416667	-1,2452276	0,10749	-0,00332333
340,5	344,3	9	118542,49	11,8055556	0,11805556	-1,2173274	0,11314	0,00491556
283,9	348,3	10	121312,89	13,1944444	0,13194444	-1,1879588	0,119	0,01294444
283,9	369,4	11	136456,36	14,5833333	0,14583333	-1,0330396	0,15151	-0,00567667
405,2	371,7	12	138160,89	15,9722222	0,15972222	-1,0161527	0,15625	0,00347222
534,9	374,7	13	140400,09	17,3611111	0,17361111	-0,9941262	0,16109	0,01252111
730,9	387,4	14	150078,76	18,75	0,1875	-0,9008810	0,18406	0,00344
564,4	403,4	15	162731,56	20,1388889	0,20138889	-0,7834067	0,2177	-0,01631111
629	404,1	16	163296,81	21,5277778	0,21527778	-0,7782672	0,22065	-0,00537222
588,6	405,2	17	164187,04	22,9166667	0,22916667	-0,7701909	0,22065	0,00851667
505,8	408,1	18	166545,61	24,3055556	0,24305556	-0,7488986	0,22965	0,01340556
692,9	413,7	19	171147,69	25,6944444	0,25694444	-0,7077826	0,24196	0,01498444
487,4	426,7	20	182072,89	27,0833333	0,27083333	-0,6123348	0,27093	-9,6667E-05
782,1	429,2	21	184212,64	28,4722222	0,28472222	-0,5939794	0,2776	0,00712222
408,1	439,7	22	193336,09	29,8611111	0,29861111	-0,5168869	0,30503	-0,00641889
289,7	440,9	23	194392,81	31,25	0,3125	-0,5080763	0,30854	0,00396
552,9	447,7	24	200435,29	32,6388889	0,32638889	-0,4581497	0,32636	2,8889E-05
591,6	457,9	25	209672,41	34,0277778	0,34027778	-0,3832599	0,35197	-0,01169222
413,7	458,8	26	210497,44	35,4166667	0,35416667	-0,3766519	0,35569	-0,00152333
557,7	463,6	27	214924,96	36,8055556	0,36805556	-0,3414096	0,36693	0,00112556
429,2	463,8	28	215110,44	38,1944444	0,38194444	-0,3399412	0,3707	0,01124444
527,1	465,3	29	216504,09	39,5833333	0,39583333	-0,3289280	0,37448	0,02135333
439,7	469,1	30	220054,81	40,9722222	0,40972222	-0,3010279	0,38209	0,02763222
575,8	472,5	31	223256,25	42,3611111	0,42361111	-0,2760646	0,39358	0,03003111
387,4	481,5	32	231842,25	43,75	0,4375	-0,2099853	0,42074	0,01676
641,7	485,8	33	236001,64	45,1388889	0,45138889	-0,1784141	0,43251	0,01887889
725	487,4	34	237558,76	46,5277778	0,46527778	-0,1666666	0,43644	0,02883778
494,6	489,7	35	239806,09	47,9166667	0,47916667	-0,1497797	0,44433	0,03483667
338,6	491,1	36	241179,21	49,3055556	0,49305556	-0,1395007	0,44828	0,04477556
447,7	494,6	37	244629,16	50,6944444	0,50694444	-0,1138032	0,4562	0,05074444
863,2	505,8	38	255833,64	52,0833333	0,52083333	-0,0315712	0,48803	0,03280333

Tableau IV.19 (suite) Test de Kolmogorov Smirnov des précipitations pour la loi de Gauss :

344,3	507,9	39	257962,41	53,4722222	0,53472222	-0,0161527	0,49601	0,03871222
457,9	512,1	40	262246,41	54,8611111	0,54861111	0,01468429	0,50399	0,04462111
705,6	514,5	41	264710,25	56,25	0,5625	0,03230543	0,51197	0,05053
544,7	515,4	42	265637,16	57,6388889	0,57638889	0,03891336	0,51197	0,06441889
543,2	523,9	43	274471,21	59,0277778	0,59027778	0,10132159	0,53983	0,05044778
663,1	527,1	44	277834,41	60,4166667	0,60416667	0,12481645	0,54776	0,05640667
254,9	534,9	45	286118,01	61,8055556	0,61805556	0,18208517	0,57142	0,04663556
868,9	535,4	46	286653,16	63,1944444	0,63194444	0,18575624	0,57142	0,06052444
465,3	543,2	47	295066,24	64,5833333	0,64583333	0,24302496	0,59483	0,05100333
560,5	544,7	48	296698,09	65,9722222	0,65972222	0,25403818	0,59871	0,06101222
469,1	552,9	49	305698,41	67,3611111	0,67361111	0,31424376	0,62172	0,05189111
514,5	557,7	50	311029,29	68,75	0,6875	0,34948605	0,63307	0,05443
371,7	560,5	51	314160,25	70,1388889	0,70138889	0,37004405	0,64431	0,05707889
426,7	564,4	52	318547,36	71,5277778	0,71527778	0,39867841	0,65173	0,06354778
512,1	570,7	53	325698,49	72,9166667	0,72916667	0,44493392	0,67003	0,05913667
757,7	571,2	54	326269,44	74,3055556	0,74305556	0,44860499	0,67003	0,07302556
403,4	575,8	55	331545,64	75,6944444	0,75694444	0,48237885	0,68439	0,07255444
472,5	588,6	56	346449,96	77,0833333	0,77083333	0,5763583	0,71566	0,05517333
535,4	591,6	57	349990,56	78,4722222	0,78472222	0,59838473	0,7224	0,06232222
621,5	621,5	58	386262,25	79,8611111	0,79861111	0,81791483	0,79103	0,00758111
507,9	628,2	59	394635,24	81,25	0,8125	0,8671072	0,80511	0,00739
571,2	629	60	395641	82,6388889	0,82638889	0,87298091	0,80785	0,01853889
515,4	641,7	61	411778,89	84,0277778	0,84027778	0,96622614	0,83147	0,00880778
374,7	663,1	62	439701,61	85,4166667	0,85416667	1,12334802	0,86864	-0,01447333
463,8	692,9	63	480110,41	86,8055556	0,86805556	1,34214391	0,90988	-0,04182444
485,8	701,8	64	492523,24	88,1944444	0,88194444	1,40748899	0,91924	-0,03729556
768,7	705,6	65	497871,36	89,5833333	0,89583333	1,43538913	0,92364	-0,02780667
701,8	725	66	525625	90,9722222	0,90972222	1,57782673	0,94179	-0,03206778
326	730,9	67	534214,81	92,3611111	0,92361111	1,62114537	0,94738	-0,02376889
458,8	757,7	68	574109,29	93,75	0,9375	1,81791483	0,96485	-0,02735
481,5	768,7	69	590899,69	95,1388889	0,95138889	1,89867841	0,97062	-0,01923111
348,3	782,1	70	611680,41	96,5277778	0,96527778	1,99706314	0,9767	-0,01142222
628,2	863,2	71	745114,24	97,9166667	0,97916667	2,59251101	0,9952	-0,01603333
491,1	868,9	72	754987,21	99,3055556	0,99305556	2,63436123	0,99573	-0,00267444
	510,1							0,07302556

D'après (tableau IV.19) de test Smirnov :

$$\Delta_{\max} = 0.07$$

D'après la table de Kolmogorov-Smirnov, on a $\Delta_{\text{théorique}} = \Delta_{\text{théorique}} = \frac{0.15755}{\sqrt{72}} = 0.018$

Alors ; $0.07 < 0.018$ donc la loi s'ajuste bien à la loi considérée.

IV.4.2.Loi de log-normale :

Tableau IV.20 : Test de Kolmogorov Smirnov des précipitations pour la loi log-normale :

valeur donnée	valeur classée	Ordre ni	F(x)*100	FND	LnQ	Z In Théorique	FND In Théorique	FND-FND théorique
369,4	254,9	1	0,694444	0,006944	5,540871	-2,4367	0,02068	0,01373
463,6	283,9	2	2,08333	0,02083	5,64862	-2,0377	0,2118	0,19096
523,9	283,9	3	3,47222	0,03472	5,64862	-2,0377	0,2118	0,17707
489,7	289,7	4	4,86111	0,04861	5,668845	-1,9628	0,025	0,02361
335,5	326	5	6,25	0,0625	5,78689	-1,5255	0,06426	0,00176
440,9	335,5	6	7,63888	0,076388	5,81562	-1,4191	0,07927	0,0028
404,1	338,6	7	9,02777	0,090277	5,82481	-1,3851	0,08379	0,00648
570,7	340,5	8	10,4166	0,10416	5,83041	-1,3640	0,0869	0,01724
340,5	344,3	9	11,8055	0,11805	5,84151	-1,3233	0,09342	0,02463
283,9	348,3	10	13,1944	0,13194	5,85306	-1,2805	0,1002	0,03167
283,9	369,4	11	14,58333	0,14583	5,911880	-1,0626	0,14457	0,00126
405,2	371,7	12	15,9722	0,159722	5,918087	-1,0396	0,15151	0,00821
534,9	374,7	13	17,3611	0,17361	5,92612	-1,0099	0,15866	0,01495
730,9	387,4	14	18,75	0,1875	5,95945	-0,8864	0,18943	0,00193
564,4	403,4	15	20,13888	0,20138	5,99992	-0,7365	0,2327	0,03131
629	404,1	16	21,52777	0,21527	6,00166	-0,7301	0,2327	0,01742
588,6	405,2	17	22,91666	0,229166	6,00438	-0,7200	0,23576	0,00659
505,8	408,1	18	24,3055	0,243055	6,011512	-0,6936	0,16109	-0,081965
692,9	413,7	19	25,6944	0,25694	6,0251	-0,6431	0,26109	0,00414
487,4	426,7	20	27,08333	0,270833	6,056081	-0,5286	0,30153	0,030696
782,1	429,2	21	28,4722	0,284722	6,06192	-0,5069	0,30854	0,023817
408,1	439,7	22	29,8611	0,29861	6,086092	-0,4174	0,3409	0,042288
289,7	440,9	23	31,25	0,3125	6,08881	-0,4073	0,34458	0,03208
552,9	447,7	24	32,63888	0,32638	6,10412	-0,3506	0,36317	0,03678
591,6	457,9	25	34,0277	0,340277	6,12665	-0,2672	0,39743	0,05715
413,7	458,8	26	35,4166	0,354166	6,12861	-0,2594	0,40129	0,047123
557,7	463,6	27	36,80555	0,368055	6,139022	-0,2214	0,41294	0,044884
429,2	463,8	28	38,194444	0,3819444	6,1394534	-0,2198	0,41683	0,03488
527,1	465,3	29	39,58333	0,395833	6,14268	-0,2078	0,42074	0,02490
439,7	469,1	30	40,97222	0,409722	6,150815	-0,1777	0,43251	0,0227877
575,8	472,5	31	42,3611	0,423611	6,158037	-0,1509	0,44038	0,01676
387,4	481,5	32	43,75	0,4375	6,17690	-0,0811	0,46812	0,03062
641,7	485,8	33	45,1388	0,45138	6,185797	-0,0481	0,48405	0,032661
725	487,4	34	46,5277	0,465277	6,189085	-0,0359	0,48803	0,022752
494,6	489,7	35	47,91666	0,479166	6,193792	-0,0185	0,49601	0,016843
338,6	491,1	36	49,3055	0,493056	6,196647	-0,0079	0,5	0,00694
447,7	494,6	37	50,6944	0,506944	6,203749	0,01831	0,50399	0,002954
863,2	505,8	38	52,08333	0,520833	6,226141	0,10124	0,53983	0,018996
344,3	507,9	39	53,47222	0,534722	6,230284	0,11659	0,5438	0,00907

Tableau IV.20 : (Suite) Test de Kolmogorov Smirnov des précipitations pour la loi log-normale :

705,6	514,5	41	56,25	0,5625	6,243195	0,16441	0,56356	0,00106
544,7	515,4	42	57,63888	0,57638	6,24494	0,17088	0,6749	0,09851
543,2	523,9	43	59,02777	0,590277	6,261300	0,23146	0,59095	0,000672
663,1	527,1	44	60,41666	0,604166	6,26739	0,25402	0,59871	0,00545
254,9	534,9	45	61,80555	0,618055	6,28207	0,30842	0,61791	0,000145
868,9	535,4	46	63,19444	0,63194	6,28301	0,31188	0,62172	0,010224
465,3	543,2	47	64,5833	0,64583	6,297477	0,36545	0,64058	0,005253
560,5	544,7	48	65,9722	0,65972	6,300235	0,37566	0,64431	0,01541
469,1	552,9	49	67,36111	0,67361	6,315177	0,43100	0,6664	0,00721
514,5	557,7	50	68,75	0,6875	6,323821	0,46302	0,67724	0,01026
371,7	560,5	51	70,1388	0,701388	6,328829	0,48157	0,68439	0,016998
426,7	564,4	52	71,5277	0,71527	6,335763	0,50725	0,69146	0,023817
512,1	570,7	53	72,9166	0,729166	6,346863	0,54836	0,7054	0,023766
757,7	571,2	54	74,3055	0,743055	6,34773	0,55161	0,70884	0,03421
403,4	575,8	55	75,6944	0,756944	6,35576	0,58131	0,71904	0,037904
472,5	588,6	56	77,0833	0,77083	6,37774	0,66274	0,74537	0,02546
535,4	591,6	57	78,47222	0,78472	6,38283	0,68157	0,75175	0,032972
621,5	621,5	58	79,86111	0,79861	6,432135	0,86419	0,80511	0,00649
507,9	628,2	59	81,25	0,8125	6,44285	0,90390	0,81594	0,00344
571,2	629	60	82,63888	0,826388	6,444131	0,90861	0,81594	0,010448
515,4	641,7	61	84,02777	0,840277	6,46412	0,98265	0,83646	0,003817
374,7	663,1	62	85,41666	0,85416	6,496925	1,10415	0,86433	0,010163
463,8	692,9	63	86,80555	0,868055	6,540885	1,26696	0,89617	0,02811
485,8	701,8	64	88,1944	0,88194	6,553648	1,31423	0,9049	0,022955
768,7	705,6	65	89,58333	0,89583	6,55904	1,33423	0,90824	0,01240
701,8	725	66	90,97222	0,90972	6,586171	1,43469	0,92364	0,013917
326	730,9	67	92,36111	0,92361	6,59427	1,46471	0,92785	0,00423
458,8	757,7	68	93,75	0,9375	6,63028	1,59808	94408	94407,06
481,5	768,7	69	95,13888	0,95138	6,64470	1,65146	0,95053	0,00085
348,3	782,1	70	96,5277	0,96527	6,66198	1,71547	0,95637	0,00890
628,2	863,2	71	97,9166	0,97916	6,76064	2,08089	0,98124	0,00207
491,1	868,9	72	99,3055	0,99305	6,767228	2,10527	0,98214	0,010915
72	510,1				6,19880			0,19096

D'après (tableau IV.20) de test Smirnov :

$$\Delta_{\max}=0.19$$

D'après la table de Kolmogorov-Smirnov, on a $\Delta_{\text{théorique}} = \Delta_{\text{théorique}} = \frac{0.15755}{\sqrt{72}} = 0.018$

Alors ; $0.19 > 0.018$ donc la loi ne s'ajuste pas bien à la loi considérée.

IV.4.2. Températures :

IV.4.2.1.Loi de Gauss :

Tableau IV.21 : Test de Kolmogorov Smirnov des températures pour la loi de Gauss

valeur données	valeur classée	ord re ni	(ti-t/)^2	F(x)*100	FND	Zt théorique	FND théorique	FND-FND théorique
14,80	13,559	1	3,541	0,70422	0,00704	-2,5779	0,00508	0,00196
14,69	13,7	2	3,031	2,11267	0,02112	-2,3850	0,00866	0,01246
15,38	14,33	3	1,227	3,52112	0,03521	-1,5174	0,06552	0,03030
15,38	14,40	4	1,066	4,92957	0,04929	-1,4147	0,07927	0,02997
14,7	14,41	5	1,049	6,33802	0,06338	-1,4033	0,08076	0,01737
15,7	14,56	6	0,764	7,74647	0,07746	-1,1978	0,11702	0,03955
15,30	14,6	7	0,707	9,15492	0,09154	-1,1521	0,12507	0,03352
16,04	14,641	8	0,639	10,5633	0,10563	-1,0951	0,13786	0,0322
14,76	14,67	9	0,586	11,9718	0,11971	-1,0494	0,14917	0,02945
15	14,69	10	0,561	13,3802	0,13380	-1,0266	0,15386	0,02005
14,96	14,7	11	0,549	14,7887	0,14788	-1,0151	0,1335	0,01438
15,34	14,72	12	0,512	16,1971	0,16197	-0,9809	0,16354	0,00156
15,691	14,74	13	0,489	17,6056	0,17605	-0,9581	0,17106	0,00499
15,34	14,75	14	0,466	19,0140	0,19014	-0,9352	0,17619	0,01395
14,79	14,76	15	0,454	20,4225	0,20422	-0,9238	0,17879	0,02543
15,925	14,79	16	0,421	21,8309	0,21830	-0,8896	0,18943	0,02887
14,56	14,80	17	0,400	23,2394	0,23239	-0,8667	0,19489	0,03750
13,55	14,82	18	0,379	24,6478	0,24647	-0,8439	0,20045	0,04602
16,48	14,87	19	0,320	26,0563	0,26056	-0,7754	0,22065	0,03991
15,88	14,93	20	0,257	27,4647	0,27464	-0,6955	0,2451	0,02954
15,8	14,96	21	0,225	28,8732	0,28873	-0,6498	0,26109	0,02764
15,791	14,99	22	0,201	30,2816	0,30281	-0,6156	0,27093	0,03188
14,991	14,99	23	0,201	31,6901	0,31690	-0,6156	0,27093	0,04597
14,875	15	24	0,194	33,0985	0,33098	-0,6042	0,27425	0,05673
15,241	15,01	25	0,180	34,5070	0,34507	-0,5814	0,28096	0,06411
15,041	15,04	26	0,159	35,9154	0,35915	-0,5471	0,2946	0,06455
15,216	15,05	27	0,152	37,3239	0,37323	-0,5357	0,29806	0,07517
15,516	15,21	28	0,050	38,7323	0,38732	-0,3074	0,38209	0,00523
15,35	15,24	29	0,039	40,1408	0,40140	-0,2731	0,39358	0,00782
14,67	15,308	30	0,017	41,5492	0,41549	-0,1818	0,42858	0,01308
14,93	15,34	31	0,009	42,9577	0,42957	-0,1361	0,44828	0,01870
14,6	15,341	32	0,009	44,3661	0,44366	-0,1361	0,44828	0,0046
14,333	15,358	33	0,006	45,7746	0,45774	-0,1133	0,4562	0,00154
15,016	15,38	34	0,003	47,1830	0,47183	-0,0791	0,4721	0,00026
14,74	15,38	35	0,003	48,5915	0,48591	-0,0791	0,4721	0,01381
14,72	15,4	36	0,001	50	0,5	-0,0562	0,48006	0,01994
13,7	15,40	37	0,001	51,408450	0,5140845	-0,0448	0,48405	0,0300345
15,75	15,5	38	0,003	52,8169	0,52816	0,08069	0,53188	0,00371
14,64	15,516	39	0,005	54,2253	0,54225	0,10352756	0,53983	0,00242
15,05	15,525	40	0,007	55,6338	0,55633	0,11494	0,5438	0,01253
14,41	15,65	41	0,043	57,0422	0,57042	0,28617	0,61026	0,03983

Tableau IV.21 : (suite) Test de Kolmogorov Smirnov des températures pour la loi de Gauss

15,52	15,69	42	0,062	58,4507	0,58450	0,34325	0,63307	0,04856
15,5	15,7	43	0,067	59,8591	0,59859	0,35466	0,63683	0,03823
15,77	15,716	44	0,075	61,2676	0,61267	0,37750	0,64431	0,03163
14,82	15,725	45	0,080	62,6760	0,62676	0,38891	0,64803	0,02126
15,72	15,75	46	0,100	64,0845	0,64084	0,43457	0,6664	0,02555
15,40	15,775	47	0,111	65,4929	0,65492	0,45740	0,67364	0,01871
16,20	15,79	48	0,122	66,9014	0,66901	0,48023	0,68439	0,01537
16,21	15,8	49	0,128	68,3098	0,68305	0,49165	0,6879	0,0048
14,40	15,8	50	0,128	69,7183	0,69718	0,49165	0,6879	0,00928
16,31	15,81	51	0,141	71,1267	0,71126	0,51448	0,69497	0,01629
14,75833	15,83	52	0,153	72,5352	0,72535	0,53731	0,70194	0,02341
14,99166	15,88	53	0,195	73,9436	0,73943	0,60581	0,72575	0,01368
15,65	15,925	54	0,234	75,3521	0,75352	0,66288	0,74537	0,00815
16,75	15,933	55	0,242	76,7605	0,76760	0,67430	0,74857	0,01903
15,96	15,96	56	0,276	78,1690	0,78169	0,71996	0,76115	0,02054
15,4	16,03	57	0,350	79,5774	0,79577	0,81129	0,79103	0,00474
16,55	16,041	58	0,360	80,9859	0,80985	0,82270	0,79389	0,01596
15,81	16,066	59	0,391	82,3943	0,82394	0,85695	0,80234	0,02160
16,84	16,208	60	0,588	83,8028	0,83802	1,05101	0,85314	0,01511
16,55	16,216	61	0,601	85,2112	0,85211	1,06243	0,85543	0,00331
16,81	16,31	62	0,766	86,6197	0,86619	1,19941	0,8298	0,03639
16,8	16,48	63	1,086	88,0281	0,88028	1,42772	0,9222	0,04191
16,65	16,55	64	1,229	89,4366	0,89436	1,51905	0,93448	0,04011
15,83	16,55	65	1,229	90,8450	0,90845	1,51905	0,93448	0,02602
15,8	16,65	66	1,461	92,2535	0,92253	1,65603	0,95053	0,02799
16,725	16,72	67	1,648	93,6619	0,93661	1,75877	0,95994	0,02332
15,933	16,75	68	1,713	95,0704	0,95070	1,79302	0,96327	0,01256
16,066	16,8	69	1,846	96,4788	0,96478	1,86151	0,96856	0,00377
15,716	16,81	70	1,892	97,8873	0,97887	1,88434	0,96995	0,00892
15,65	16,84	71	1,961	99,2957	0,99295	1,91859	0,97193	0,02102
71	15,44							0,07517

D'après (tableau IV.21) de test Smirnov :

$$\Delta_{\max}=0.07$$

D'après la table de Kolmogorov-Smirnov, on a $\Delta_{\text{théorique}} = \Delta_{\text{théorique}} = \frac{0.15564}{\sqrt{71}} = 0.018$

Alors ; $0.07 < 0.018$ donc la loi s'ajuste bien à la loi considérée.

IV.4.2.2. Loi de log-normale :

Tableau IV.22 : Test de Kolmogorov Smirnov des températures pour la loi log-normale :

valeur donnée	valeur classée	ordre ni	F(x)*100	FND	ln valeur classée	Zt ln théorique	FND théorique	FND-FND théorique
14,80833	13,55916	1	0,704225	0,007042	2,607062	-3,22092	0,00069	0,006352
14,69166	13,7	2	2,112676	0,021126	2,617395	-2,96259	0,00154	0,019586
15,38333	14,33333	3	3,521126	0,035211	2,662587	-1,83279	0,3362	0,3009887
15,38333	14,40833	4	4,929577	0,049295	2,667806	-1,70232	0,4457	0,3964042
14,7	14,41666	5	6,338028	0,063380	2,668384	-1,68787	0,0648	0,0014197
15,7	14,56666	6	7,746478	0,077464	2,678735	-1,42909	0,0778	0,0003352
15,30833	14,6	7	9,154929	0,091549	2,681021	-1,37195	0,08534	0,0062093
16,04166	14,64166	8	10,56338	0,105633	2,683871	-1,30071	0,0968	0,0088338
14,76666	14,675	9	11,97183	0,119718	2,686145	-1,24386	0,10749	0,0122283
15	14,69166	10	13,38028	0,133802	2,687280	-1,21548	0,11314	0,0206628
14,96666	14,7	11	14,78873	0,147887	2,687847	-1,20130	0,11507	0,0328173
15,34166	14,725	12	16,19718	0,16197	2,689546	-1,15882	0,12507	0,0369018
15,69166	14,74166	13	17,60563	0,176056	2,690677	-1,13054	0,12924	0,0468163
15,3416	14,75833	14	19,01408	0,190140	2,691807	-1,10229	0,13567	0,0544708
14,79166	14,76666	15	20,42253	0,204225	2,692372	-1,08818	0,15866	0,0455653
15,925	14,79166	16	21,83098	0,218309	2,694063	-1,04589	0,14917	0,0691398
14,56666	14,80833	17	23,23943	0,232394	2,695190	-1,01774	0,15625	0,0761443
13,55916	14,825	18	24,64788	0,246478	2,696314	-0,98962	0,16354	0,0829388
16,48333	14,875	19	26,05633	0,260563	2,699681	-0,90544	0,18406	0,0765033
15,88333	14,93333	20	27,46478	0,274647	2,703595	-0,80759	0,21186	0,0627878
15,8	14,96666	21	28,87323	0,288732	2,705825	-0,75185	0,22663	0,0621023
15,79166	14,99166	22	30,28169	0,302816	2,707494	-0,71013	0,23885	0,0639669
14,99166	14,99166	23	31,69014	0,316901	2,707494	-0,71013	0,23885	0,0780514
14,875	15	24	33,09859	0,330985	2,70805	-0,69624	0,2451	0,0858859
15,24166	15,01666	25	34,50704	0,345070	2,709160	-0,66847	0,25463	0,0904404
15,04166	15,04166	26	35,91549	0,359154	2,710824	-0,62689	0,26763	0,0915249
15,21666	15,05	27	37,32394	0,373239	2,711377	-0,61304	0,27093	0,1023094
15,51666	15,21666	28	38,73239	0,387323	2,722391	-0,33771	0,3707	0,0166239
15,35833	15,24166	29	40,14084	0,401408	2,724032	-0,29667	0,38591	0,0154984
14,675	15,30833	30	40,14084	0,415492	2,728397	-0,18756	0,42858	0,0130870
14,93333	15,34166	31	41,54929	0,415492	2,738,97	-0,13318	0,48803	0,0584525
14,6	15,34166	32	44,36619	0,443661	2,730572	-0,13318	0,48803	0,0443680

Tableau IV.22 : (Suite) Test de Kolmogorov Smirnov des températures pour la loi log-normale :

14.3333	15.35833	33	45.77464	0.457746	2.731658	-0.10603	0.46017	0.0024235
15.01666	15.38333	34	47.18309	0.471830	2.733284	-0.06537	0.47608	0.0042490
14.74166	15.3833	35	48.59154	0.485915	2.733284	-0.06537	0.47608	0.0042490
14.725	15.4	36	50	0.5	2.734336	-0.6537	0.48803	0.01197
13,7	15,40833	37	51,40845	0,514084	2,734908	-0,02478	0,49202	0,0220645
15,75833	15,5	38	52,81690	0,528169	2,740840	0,123505	0,54776	0,0195909
14,64166	15,51666	39	54,22535	0,542253	2,741914	0,150372	0,55962	0,0173664
15,05	15,525	40	55,63380	0,556338	2,742451	0,163795	0,56356	0,0072219
14,41666	15,65	41	57,04225	0,570422	2,750470	0,364277	0,64058	0,0701574
15,525	15,69166	42	58,45070	0,584507	2,753129	0,430749	0,6664	0,0818929
15,5	15,7	43	59,85915	0,598591	2,753660	0,444022	0,67003	0,0714384
15,775	15,71666	44	61,26760	0,612676	2,754721	0,470547	0,68082	0,0681439
14,825	15,725	45	62,67605	0,626760	2,755251	0,483799	0,68439	0,0576294
15,725	15,75833	46	64,08450	0,640845	2,757369	0,536738	0,70194	0,0610949
15,40833	15,775	47	65,49295	0,654929	2,758426	0,563165	0,71226	0,0573304
16,20833	15,79166	48	66,90140	0,669014	2,759482	0,589564	0,71904	0,0500259
16,21666	15,8	49	68,30985	0,683098	2,760009	0,602753	0,72575	0,0426514
14,40833	15,8	50	69,71830	0,697183	2,760009	0,602753	0,72575	0,0285669
16,31666	15,81666	51	71,12676	0,711267	2,761064	0,629110	0,73237	0,0211023
14,75833	15,83333	52	72,53521	0,725352	2,762117	0,655440	0,74215	0,0167978
14,99166	15,88333	53	73,94366	0,739436	2,765270	0,734263	0,7673	0,0278633
15,65	15,925	54	75,35211	0,753521	2,767890	0,799759	0,78524	0,0317188
16,75	15,93333	55	76,76056	0,767605	2,768413	0,812838	0,79103	0,0234243
15,9666	15,96666	56	78,16901	0,781690	2,770503	0,865085	0,80511	0,0234198
15,4	16,03333	57	79,57746	0,795774	2,774669	0,969252	0,83147	0,0356953
16,55	16,04166	58	80,98591	0,809859	2,775189	0,982242	0,83646	0,0266008
15,81666	16,06666	59	82,39436	0,823943	2,776746	1,021173	0,84614	0,0221963
16,84166	16,20833	60	83,80281	0,838028	2,785525	1,240642	0,89251	0,0544818
16,55	16,21666	61	85,21126	0,852112	2,786039	1,253492	0,89435	0,0422373
16,81666	16,31666	62	86,61971	0,866197	2,792187	1,407181	0,91924	0,0530428
16,8	16,48333	63	88,02816	0,880281	2,802349	1,661249	0,95154	0,0712583
16,65	16,55	64	89,43661	0,894366	2,806386	1,762157	0,9608	0,0664338
15,83333	16,55	65	90,84507	0,908450	2,806386	1,762157	0,9608	0,0523493
15,8	16,65	66	92,25352	0,922535	2,812410	1,912760	0,97193	0,0493947
16,725	16,725	67	93,66197	0,936619	2,816904	2,025120	0,97831	0,0416902
15,93333	16,75	68	95,07042	0,950704	2,818398	2,062461	0,9803	0,0295957
16,06666	16,8	69	96,47887	0,964788	2,821378	2,136977	0,98341	0,0186212
15,71666	16,81666	70	97,88732	0,978873	2,822370	2,161766	0,98461	0,0057367
15.65	16,84166	71	99,29577	0,992957	2,823855	2,198904	0,98574	0,0072177
71	15,44109				2,735899			0,39640423

D'après (tableauIV.22) de test Smirnov :

$$\Delta_{\max}=0.39$$

D'après la table de Kolmogorov-Smirnov, on a $\Delta_{\text{théorique}} = \Delta_{\text{théorique}} = \frac{0.15755}{\sqrt{72}} = 0.018$

Alors ; $0.39 > 0.018$ donc la loi ne s'ajuste pas bien à la loi considérée.

IV.5 Interprétation :

Le traitement pour l'homogénéité des séries collectées (1937/2010) à l'aide du test Wilcoxon a donné comme résultats pour les précipitations ($w_x=985$, $w_{\min}= 851.29$, $W_{\max}=1265.51$) et pour la température ($w_x=857$, $w_{\min}= 840.45$, $W_{\max}=1247.55$). Ce qui permet de conclure que les deux séries sont homogènes. Concernant l'ajustement, les résultats de la loi normale montrent clairement que pour la température les valeurs moyennes annuelles observées ne diffèrent pas sensiblement d'une année à une autre. Le coefficient de variation ($CV = 0.047$) confirme que cette variation est faible. Par conséquent on peut conclure que les valeurs des températures obéissent bien à la « **loi normale** ».

Concernant la pluie moyenne annuelle le coefficient de variation ($CV = 0.26$) est élevé de la « loi normale », ce qui lui donne une dissymétrie. Par contre, la « **loi log normale** » peut être acceptée ($CV= 0.04$). En plus, cette loi est recommandée pour les grandeurs physiques (débit, pluies, etc.) pour l'ajustement statique. [51]

Pour le test de Kolmogorov Smirnov, concernant les résultats les températures : pour la loi log-normale on a obtenu $\Delta_{\max}= 0.39$ et $\Delta_{\text{théorique}}=0.07$, c'est-à-dire que $\Delta_{\max} < \Delta_{\text{théorique}}$. Les données de la série ne s'ajustent donc pas à cette loi. Par contre, pour la loi normale $\Delta_{\max} = 0.07$ est $< \Delta_{\text{théorique}} = 0.018$, les données de la série s'ajustent bien à cette loi considérée () parce que

Et concernant la série des précipitations, les données ne s'ajustent pas bien à la loi log-normale car $\Delta_{\max} > \Delta_{\text{théorique}}$; ($0.19 > 0.07$). Par contre elles s'ajustent bien à la loi normale car $\Delta_{\max} < \Delta_{\text{théorique}}$ ($0.07 < 0.018$).



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Depuis toujours, le climat influence les ressources hydriques, et depuis longtemps cette influence a constitué une préoccupation fondamentale dans le domaine de l'agronomie. A côté de l'influence climatique, les ressources hydriques en régions méditerranéennes et arides subissent des agressions anthropiques multiples et sont menacées par une surexploitation sans prise en considération de leur conservation durable qui doit commencer par une évaluation quantitative de chaque ressource où une certaine carence est relevée. Ce changement climatique va se poursuivre et probablement s'accroître en dépit des mesures prises à l'échelle mondiale pour le réduire. Dans le cadre de la recherche sur les changements climatiques, les problèmes récurrents sur lesquels les chercheurs butent sont soit l'absence totale de données sur une région d'étude soit la discontinuité des séries de données météorologiques quotidiennes, mensuelles ou annuelles. On peut aussi énumérer le manque de stations météorologiques comme un des problèmes significatifs. Dans ce contexte l'objectif de ce travail est l'évolution de l'indice d'aridité et l'étude statistique de deux facteurs climatiques qui sont les précipitations et températures de Constantine. On utilise des séries climatiques (température et précipitations) observée de 70 ans (**1937/ 2010**), collectées auprès du service météorologique de la région de Constantine pour ce travail en testant quelques lois les plus couramment utilisées (loi normale, loi Gumbel et loi log-normale).

Dans la recherche bibliographique, on a traité de généralités liées au climat, au changement climatiques, leurs causes, conséquences et impacts sur les différents secteurs (santé, agricole et eau). On a aussi donné les facteurs climatiques de cette étude : Température et précipitations, ainsi que les matériels et les méthodes utilisés pour leurs déterminations.

On a, ensuite, étudié le climat de la région d'étude qui est Constantine en déterminant l'indice d'aridité de toute la période d'étude.

Pour atteindre l'objectif de l'étude, une collecte de facteurs climatiques notamment la température et les précipitations pour une période de 72 ans (1937-2010) a été réalisée.

La position géographique, morphologique et son altitude ont fait bénéficier Constantine d'un climat semi-humide car l'indice d'aridité annuel pour toute la période d'étude est compris entre 14.87 et 24.34. Mais une fluctuation importante au cours de l'année est constatée primo d'après l'indice d'aridité mensuel de Martonne compris entre 2.14 et 52.95 et secundo d'après le diagramme ombothermique qui montre aussi que la région d'étude est caractérisée par une période humide et une période sèche. Le climat est hyper aride en juillet et août, aride en juin, semi-aride en septembre, octobre, et mai, semi-humide, mars et avril humide en novembre et février et hyper humide en décembre et janvier.

Le traitement pour l'homogénéité des séries collectées (1937/2010) à l'aide du test Wilcoxon a donné comme résultats pour les précipitations ($w_x=985$, $w_{\min}=851.29$, $W_{\max}=1265.51$) et pour la température ($w_x=857$, $w_{\min}=840.45$, $W_{\max}=1247.55$). Ce qui permet de conclure que les deux séries sont homogènes.

On utilise les lois statistiques ; la loi de gauss et gumbel ; la pluie moyenne est

$\bar{p} = 510.1 \text{ mm}$ et l'écart-type $\sigma=136.52 \text{ mm}$, le coefficient $cv=0.26$ (pour la précipitation).

CONCLUSION GENERALE

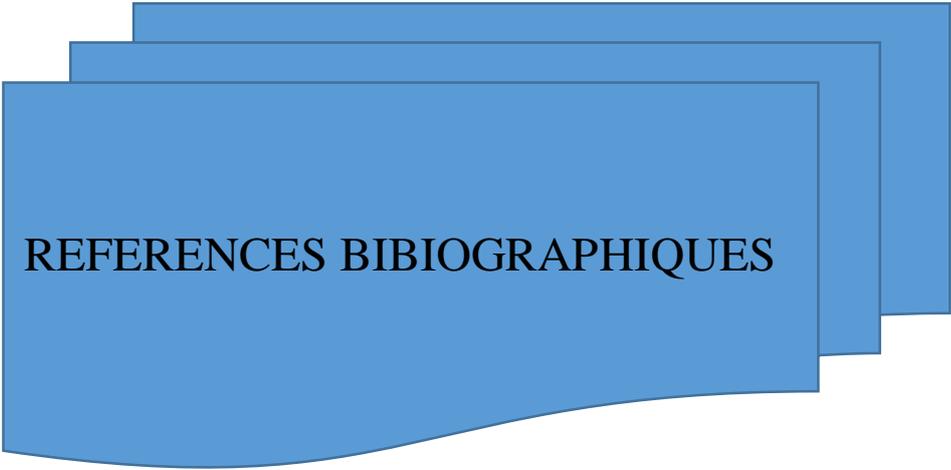
La loi log-normale ; la pluie moyenne est ; $\bar{p} = 6.189mm$ et l'écart-type $\sigma=0.27$ mm, le coefficient $cv=0.04$ (pour les précipitations).

On utilise les lois statistiques ; la loi de gauss et gumbel ; la pluie moyenne est ; $\bar{p} = 15.44$ °C et l'écart-type $\sigma=0.04$, le coefficient $cv=0.047$ (pour les températures). La loi log-normale ; la pluie moyenne est ; $\bar{p} = 2.47mm$ et l'écart-type $\sigma=0.04$ mm, le coefficient $cv=0.015$ (pour la précipitation)

Concernant la pluie moyenne annuelle le coefficient de variation ($CV = 0.26$) est élevé de la « loi normale », ce qui lui donne une dissymétrie. Par contre, la « **loi log normale** » peut être acceptée ($CV= 0.04$). En plus, cette loi est recommandée pour les grandeurs physiques (débit, pluies, etc.) pour l'ajustement statique. [51]

Pour le test de Kolmogorov Smirnov, concernant les résultats les températures : pour la loi log-normale on a obtenu $\Delta_{max} = 0.39$ et $\Delta_{théorique} = 0.07$, c'est-à-dire que $\Delta_{max} < \Delta_{théorique}$. Les données de la série ne s'ajustent donc pas à cette loi. Par contre, pour la loi normale

$\Delta_{max} = 0.07$ est $< \Delta_{théorique} = 0.018$, les données de la série s'ajustent bien à cette la loi considérée () parce que Et concernant la série des précipitations, les données ne s'ajustent pas bien à la loi log-normale car $\Delta_{max} > \Delta_{théorique}$; ($0.19 > 0.07$). Par contre elles s'ajustent bien à la loi normale car $\Delta_{max} < \Delta_{théorique}$ ($0.07 < 0.018$)



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] GIEC., (2007). "Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat" [Équipe de rédaction principale, PACHAURI, R.K. ET REISINGER, A. (publié sous la direction de GIEC, Genève, Suisse, p. 30.
- [2]SULTAN BENJAMIN, ROUDIER P., TRAORE S. (2015). "Les impacts du changement climatique sur les rendements agricoles en Afrique de l'Ouest". In : SULTAN BENJAMIN (ED.), LALOU RICHARD (ED.), Amadou Sanni M. (ed.), Oumarou A. (ed.), Soumaré M.A. (ed.). Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest. Marseille: IRD, p. 209-225. (Syntheses). ISBN 978-2-7099-2146-6.
- [3]NANGOMBE, S., ZHOU, T., ZHANG, W., WU, B., HU, S., ZOU, L., & LI, D. (2018). Record-breaking climate extremes in Africa under stabilized 1.5 °C and 2 °C global warming scenarios. *Nature Climate Change*, 8(5), 375-380. doi: 10.1038/s41558-018-0145-6
- [4]MORICE, C. P., J. J. KENNEDY, N. A. RAYNER, AND P. D. JONES (2012), "Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates": The HadCRUT4 data
- [5]ROUSSET NATHALIE, ARRUS RENE, (2006); "L'agriculture du Maghreb au défi du changement climatique : quelles stratégies d'adaptation face à la raréfaction des ressources hydriques " Communication à WATMED 3,3 conférence internationale sur les e Ressources en Eau dans le Bassin Méditerranéen, Tripoli (Liban), 1 -3 novembre 2006
- [6]GIEC (2020) : Rapport N° 5 de Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat en janvier 2020.
- [7] ANONYME, (2019)"Evaluation du potentiel démographique et de production des élevages camélins en fonction de différents paramètres et identification des trajectoires d'élevages dans la région de Ouargla". And M. (2019) 'FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES Mémoire Présenté par : Mme HADJERES Salima Melle RAOUANE Cherifa
- [8]BELTRANDO GERARD. (2000) "La climatologie : une science géographique. In : L'information géographique", volume 64, n°3, pp.241-261.doi : 10.3406/ingeo.2000.2705http://www.persee.fr/doc/ingeo_0020093_2000_num_64_3_2705Document généré le 16/10/2015
- [9]BENACER, M. ET AL. (2018). Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master Thème : "Le stress hydrique en Algérie : cas de la wilaya de Guelma."
- [10]Mohammed FACI, Impacts du changement climatique sur le cycle phénologique du palmier dattier,(Cas de DegletNour aux Ziban), Université Mohamed Khi der – Biskra, Faculté des sciences exactes, des sciences de la nature et de la vie, Mémoire de Doctorat,2020-2021.
- [11]DUMAS, P., RIBOLI-SASCO, L., SPYRATOS, V & KURITA, F., (2005), "Fonctionnement du système climatique, perturbations humaines, dérèglements dangereux", Pp17.FORMMES, sans date, p09
- [12]AIDOU, AHMED. (2000). "Fonctionnement Des Ecosystemes Mediterranean's."
- [15] BAGNOULS F AND GAUSSEN, HENRI. (1952). "Indices Xérothermique," 10–16.
- [16]Mahi. T, 2008 : "Impact du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques du Maghreb». Les notes d'alerte du CIHEAM n°48

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [17] Marc Morelle, 2001 in <http://www.meteo.nc>
- [19] LA BOÎTE CLIMAT Une trousse à outils d'apprentissage interactive sur le changement climatique, Programme des Nations Unies pour le développement 2019
- [20] MAATIAT Yasser ; BEN REKIA Sabrina ; Impact du Changement Climatique sur l'Évolution des Eaux Souterraines dans le Bassin Versant du Bas Chélif ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de Master ; université Djilali Bouna ma –kH émise Miliana, 2021 page08-10.
- [21] RAPPORT D'ÉTUDE 12/01/2010 ; DRS-10-103862-00411A ; Impact du changement climatique sur la stabilité des cavités souterraines : Etat des connaissances
- [22] ALIOUCHE Yaaqoub. 'Impact du changement climatique sur la fluctuation piézométrique de la nappe de la Mitidja ', Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah ,2015/2016
- [23] Touhami, 2017). Touhami M. (2017). Régionalisation et variabilité pluviométrique dans le Nord Centre-Ouest Algérien (Approche statistique). Mémoire de master, 2017.
- [24] Sadou S, Assoumane I. D. (2007). Impacts anthropiques sur le cycle de l'eau vers une approche durable, PFE pour l'obtention du diplôme d'ingénieur, département d'hydraulique, Tlemcen.
- [28] Vincent Luyet ; Avec la participation d'Henri Bossert, Benoît LeBocey, Jean François Roux, Jean Luc Berenguer, Stefano Solarino, Gabriela Schwarz-Zanetti, Martine Rebetez, Monica Ponzzone, Roberto Cremonini Février 2010
- [31] Mesures de températures ; Instrumentation CIRA ; 2006-2007
- [32] Vincent et ; Al. 2013). Vincent, trewin B., Villarroel C. (2013). Updated of température and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century : the HadEx2 datasse.
- [36] Hamza ABDERRAHIM, Ingénieur de la météorologie LES INSTRUMENTS METEOROLOGIQUES ; INSTITUT HYDROMETEOROLOGIQUE DE FORMATION ET DE RECHERCHE ; DEPARTEMENT DES INSTRUMENTS ; Oran, Mars 2007
- [38] Les calculs relatifs aux régimes pluviométriques. Fraction pluviométrique, écart pluviométrique relatif, coefficient pluviométrique relatif [article] René Musset Géo carrefour Année 1935 11-1 (Régime ...)
- [39] ALLAM, Salah. Contribution à une étude écologique de genre Phillyrea Dans la région de Tlemcen. 2014. PhD Thesis
- [40] Ministère de l'Industrie Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière ; MONOGRAPHIE WILAYA DE CONSTANTINE page03.
- [41] BEN4480) Mr BENLATRECHE Toufik, MEMOIRE DE MAGISTER ; U N I V E R S I T E M E N T O U R I . C O N S T A N T I N E, Effets thermo radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics, 2005-2006, page15.
- [42] LAI6873). LAIB ASSIA ; L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES HYDROSYSTEMES CONSTANTINOIS ; MEMOIRE DE MAGISTERE EN HYDROGEOLOGIE ; UNIVERSITE CONSTANTINE 1 ; FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ; 2014-2015.
- [43] HAFIANE, Ahmed Amine ; HADJRIOUA Bilal. Ressource en eau et aménagement hydroagricole dans la zone de Sidi-Khouiled. Mémoire de master, Université de Bejaia ,2015
- [44] MEDJERAB, A. Les situations météorologiques extrêmes, signe d'"un éventuel changement climatique : cas des vagues de froid sur le nord de l'Algérie .2013.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

[45] CHARRE, Joël. Dessine-moi un climat. Que penser du diagramme ombrothermique. Mappemonde, 1997, 2.97 : 29-31.

[46] BENABADJI, N ; BOUAZZA, M. Quelques modifications climatiques intervenues

Dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie-occidentale). Rev. Energ. Renn, 2000, 3: 117- 125.

[47] TABET, Slimane ; BENDERRADJI, Med EL. Le changement climatique en Algérie orientale et ses conséquences sur la végétation forestière. 2008

[48] MOKHTARI, Noureddine, et al. Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 2014, 2.1 : 50-66.

[49] O.N.M, National de Météorologie, données climatiques de la période 2008- 2017

[50] Livre sari Ahmed

[51] BOUTOUTAOU (D) 2006 .Méthode e calcul des débits de crues en Algérie Septentrionale. Séminaire national sur « Les ressources en eau et leurs utilisations ».

Références web site

[13] www.coalition-eau.org

[14] <https://www.ipcc.ch>

[18] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature>

[25] <https://www.meteocontact.fr/pour-aller-plus-loin/les-precipitations>

[26] <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre3/chapitre3.html>

[27] <https://www.meteorologiaenred.com/fr/lluvia-orografica.html>

[29] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature>

[30] <https://archi7.net/J34/index.php/notions/77-petite-histoire-des-echelles-de-temperature>

[33] https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature#cite_note-BIPM-9

[34] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-temperature-303/>

[35] http://www.bipm.fr/fr/si/si_brochure/chapter2/2-1/kelvin.html

[37] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature>



ANNEXES

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE 1: Indice d'aridité mensuel de Martonne

	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1940-1944	P (mm)	48.44	30.22	43.9	77.98	61.14	64.68	32.68	39.72	25.32	18.98	0.62	7.04
	T (° C)	21.86	15.7	10.84	7.14	5.86	6.62	9.84	13.9	17.3	21.78	25.4	25.62
	I	18.24	14.11	25.28	54.60	46.26	46.15	19.77	19.94	11.13	7.17	0.21	2.37
1945-1949	P (mm)	7.56	31.42	23.16	109.7	96.24	24.88	26.44	23.88	33.24	10.86	6.06	10.18
	T (° C)	22.06	16.88	11.1	7.2	7	8.04	9.82	12.82	16.26	22.06	24.32	25.04
	I	2.83	14.03	13.17	76.53	48.88	16.55	16	12.56	15.19	4.06	2.12	3.49
1950-1954	P (mm)	29.74	58	59.3	96.48	76.98	62.66	50.58	47.66	48	22.32	7.46	13.7
	T (° C)	21.84	15.94	11.64	8.52	6.16	7.2	10.5	12.9	16.52	23.04	25.7	25.06
	I	11.21	26.83	32.88	62.51	57.16	43.72	29.61	24.97	21.72	8.11	2.51	4.69
1955-1959	P (mm)	35.22	67.8	111.26	73.48	58.8	52.46	51.82	67.14	51.1	29.44	0.56	12.28
	T(° C)	18.86	16.54	11.1	7.92	7.4	8.42	11	12.06	17.14	21.56	24.7	26.4
	I	14.64	30.66	63.28	49.21	40.55	34.18	29.61	36.52	22.60	11.19	0.19	4.05
1960-1964	P (mm)	19.06	31.1	31.54	57.24	61.34	59.38	31.54	56.28	26.7	45.72	13.76	17.54
	T (°C)	21.72	16.04	11.62	8.3	6.6	7.12	9.84	12.64	16.82	21.36	25.78	24.42
	I	7.21	14.33	17.50	37.53	44.34	41.62	19.08	29.83	11.95	17.49	4.61	6.12
1965-1969	P (mm)	45.2	32.16	54.12	101.74	71.5	42.64	53.62	36	35.72	16.86	7.5	8.84
	T (°C)	20.98	16.16	11.74	6.92	7.84	9	9.52	12.62	16.64	20.64	24.24	25.38
	I	17.51	14.75	29.87	72.16	48.09	26.93	32.96	19.09	16.09	6.60	2.63	2.99
1970-1974	P (mm)	45.02	46.24	16.1	45.36	92.42	62.22	82.14	61.22	40.38	15.92	6.22	4.22
	T (°C)	21.24	14.9	10.36	7.32	6.98	7	8.9	11.78	16.74	21.36	24.88	24.74
	I	17.29	22.28	9.49	31.43	65.31	43.92	52.15	33.73	18.12	6.09	2.14	1.46

ANNEXE 1: (Suite) Indice d'aridité mensuel de Martonne

1975-1979	P (mm)	46.88	32.94	73.74	37.22	39.9	60.72	58.72	92.3	71.6	22.92	9.68	17.08
	T (°C)	20.08	15.56	10	8.5	7.28	9.02	9.72	11.16	15.58	20.68	24.3	24.68
	I	18.70	15.46	44.24	24.14	27.70	38.30	35.73	52.34	33.58	8.96	3.38	5.91
1980-1984	P (mm)	31.36	52.44	42.26	126.06	73.28	74.1	60.12	50.98	37.02	12.3	3.02	12.02
	T (°C)	21.24	14.9	10.36	7.32	6.98	7	8.9	11.78	16.74	21.36	24.88	24.74
	I	12.04	24.01	23.11	83.39	53.68	49.51	36.92	26.16	16.51	4.48	0.99	4.15
1985-1989	P (mm)	26.78	35.52	35.24	57.46	62.16	55.14	89.5	32.14	38.08	21.36	13.96	8.88
	T (°C)	18.78	18.4	11.8	8.24	7.22	8.66	10.06	13.08	17.22	22.44	25.76	26.38
	I	11.16	15	19.39	37.80	43.31	35.45	53.53	16.71	16.78	7.90	4.68	2.92
1990-1994	P (mm)	27.4	44.74	60.08	98.1	49.56	49.02	45.74	63.98	52.7	9.1	4.96	9.1
	T (°C)	22.46	17.44	11.9	8.36	6.32	7.9	10.1	11.5	17.4	21.94	25.64	26.52
	I	10.12	19.56	32.92	64.11	36.44	32.86	27.30	35.70	23.08	3.41	1.67	2.99
1995-1999	P (mm)	46.96	27.42	78.78	57.76	89.58	63.12	58.94	51.44	29.34	33.46	5.02	8.46
	T (°C)	21.14	16.74	11.78	8.64	7.82	7.92	10.4	13.52	19.32	23.44	26.1	26.96
	I	19.03	12.30	43.40	37.18	60.32	42.26	34.67	26.24	12	12	1.66	2.74
2000-2004	P (mm)	41.28	38.06	71.56	103.38	96.64	35.82	29.66	54.24	53.04	15.82	4.58	14.88
	T (°C)	21.78	19.28	11.64	7.9	7.08	7.78	12	13.58	18	24.02	27.02	26.48
	I	15.58	15.59	39.68	69.30	67.89	24.17	16.17	27.60	22.73	5.58	1.48	4.89
2005-2009	P (mm)	48.66	24.48	24.82	68.08	45.1	38.52	66.74	55.84	43.7	7.42	5.32	19.86
	T (°C)	21.54	17.36	11.44	8.44	7.66	8.62	10.34	13.8	17.96	23.04	26.92	26.04
	I	18.51	10.72	13.89	44.30	30.64	24.82	39.37	28.17	18.75	2.69	1.72	6.61

ANNEXES

Annexe .2 : Test d'homogénéité pour les précipitations

Année	Série	X	Y	XUY	Rang	Origine	Année	Série	X	Y	XUY	Rang	Origine
1937	369.4	254.9		254.9	1	X	1975	447.7	494.6		494.6	37	X
1940	463.6		283.9	283.9	2	Y	1976	863.2		505.8	505.8	38	Y
1941	523.9		283.9	283.9	3	Y	1977	344.3	507.9		507.9	39	X
1942	489.7		289.7	289.7	4	Y	1978	457.9	512.1		512.1	40	X
1943	335.5	326		326	5	X	1979	705.6	514.5		514.5	41	X
1944	440.9		335.5	335.5	6	Y	1980	544.7	515.4		515.4	42	X
1945	404.1	338.6		338.6	7	X	1981	543.2		523.9	523.9	43	Y
1946	570.7		340.5	340.5	8	Y	1982	663.1		527.1	527.1	44	Y
1947	340.5	344.3		344.3	9	X	1983	254.9		534.9	534.9	45	Y
1948	283.9	348.3		348.3	10	X	1984	868.9	535.4		535.4	46	X
1949	283.9		369.4	369.4	11	Y	1985	465.3	543.2		543.2	47	X
1950	405.2	371.7		371.7	12	X	1986	560.5	544.7		544.7	48	X
1951	534.9	374.7		374.7	13	X	1987	469.1		552.9	552.9	49	Y
1952	730.9	387.4		387.4	14	X	1988	514.5		557.7	557.7	50	Y
1953	564.4	403.4		403.4	15	X	1989	371.7	560.5		560.5	51	X
1954	629		404.1	404.1	16	Y	1990	426.7		564.4	564.4	52	Y
1955	588.6		405.2	405.2	17	Y	1991	512.1		570.7	570.7	53	Y
1956	505.8		408.1	408.1	18	Y	1992	557.7	571.2		571.2	54	X
1957	692.9		413.7	413.7	19	Y	1993	403.4	575.8		575.8	55	X
1958	487.4	426.7		426.7	20	X	1994	472.5		588	588	56	Y
1959	782.1		429.2	429.2	21	Y	1995	535.4		591.6	591.6	57	Y
1960	408.1	439.8		439.7	22	X	1996	621.5	621.5		621.5	58	X
1961	289.7		440.9	440.9	23	Y	1997	507.9	628.2		628.2	59	X
1962	552.9	447.7		447.7	24	X	1998	571.2		629	629	60	Y
1963	591.6	457.9		457.9	25	X	1999	515.4	641.7		641.7	61	X
1964	413.7	458.8		458.8	26	X	2000	374.7	663.1		663.1	62	X
1965	557.7		459.7	459.7	27	Y	2001	463.8		692.9	692.9	63	Y
1966	429.2		463.6	463.6	28	Y	2002	485.8	701.8		701.8	64	X
1967	527.1	463.8		463.8	29	X	2003	768.7	705.6		705.6	65	X
1968	439.7	465.3		465.3	30	X	2004	701.8	725		725	66	X
1969	575.8	469.1		469.1	31	X	2005	326		730.9	730.9	67	Y
1970	387.4	472.5		472.5	32	X	2006	458.8	757.7		757.7	68	X
1971	641.7	481.5		481.5	33	X	2007	481.5	768.7		768.7	69	X
1972	725	458.8		485.8	34	X	2008	348.3		782.1	782.1	70	Y
1973	494.6		487.4	487.4	35	Y	2009	628.2	863.2		863.2	71	X
1974	338.6	491.1		491.1	36	X	2010	491.1	868.9		868.9	72	X

ANNEXES

Annexe.3 : Test d'homogénéité pour les températures

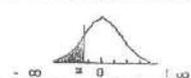
Année	Série	X	Y	XUY	Rang	Origine	Année	Série	X	Y	XUY	Rang	Origine
1939	14.80		13.55	13.55	1	Y	1975	13.7		15.40	15.40	37	Y
1940	14.69		13.7	13.7	2	Y	1976	15.75		15.5	15.5	38	Y
1941	15.38	14.33		14.33	3	X	1977	16.64	15.51		15.51	39	X
1942	15.38		14.40	14.40	4	Y	1978	15.05	15.525		15.525	40	X
1943	14.7		14.41	14.41	5	Y	1979	14.41	15.65		15.65	41	X
1944	15.7	14.56		14.56	6	X	1980	15.52		15.69	15.69	42	Y
1945	15.30		14.6	14.6	7	Y	1981	15.5		15.7	15.7	43	Y
1946	16.04		14.64	14.64	8	Y	1982	15.77	15.71		15.71	44	X
1947	14.76	14.675		14.675	9	X	1983	14.82	15.725		15.725	45	X
1948	15	14.69		14.69	10	X	1984	15.72		15.75	15.75	46	Y
1949	14.96		14.7	14.7	11	Y	1985	15.40		15.77	15.77	47	Y
1950	15.34		14.72	14.72	12	Y	1986	16.20		15.79	15.79	48	Y
1951	15.69		14.74	14.74	13	Y	1987	16.21		15.8	15.8	49	Y
1952	15.34	14.75		14.75	14	X	1988	14.40		15.8	15.8	50	Y
1953	14.79	14.76		14.76	15	X	1989	16.31		15.81	15.81	51	Y
1954	15.92	14.79		14.79	16	X	1990	14.75	15.83		15.83	52	X
1955	14.56		14.80	14.80	17	Y	1991	14.99	15.88		15.88	53	X
1956	13.55	14.825		14.825	18	X	1992	15.65		15.92	15.925	54	Y
1957	16.48	14.875		14.875	19	X	1993	16.75		15.93	15.93	55	Y
1958	15.88	14.93		14.93	20	X	1994	15.96	15.96		15.96	56	X
1959	15.8		14.96	14.96	21	Y	1995	15.4		15.96	15.96	57	Y
1960	15.79		14.99	14.99	22	Y	1996	16.55		16.03	16.03	58	Y
1961	14.99		14.99	14.99	23	Y	1997	15.81		16.04	16.04	59	Y
1962	14.87	15		15	24	X	1998	16.84		16.06	16.06	60	Y
1963	15.24		15.01	15.01	25	Y	1999	16.55		16.20	16.20	61	Y
1964	15.04	15.04		15.04	26	X	2000	16.81		16.31	16.31	62	Y
1965	15.21	15.05		15.05	27	X	2001	16.8	16.48		16.48	63	X
1966	15.51	15.21		15.21	28	X	2002	16.65		16.55	16.55	64	Y
1967	15.35	15.24		15.24	29	X	2003	15.83		16.55	16.55	65	Y
1968	14.67	15.30		15.30	30	X	2004	15.8		16.65	16.65	66	Y
1969	14.93	15.34		15.34	31	X	2005	16.72		16.72	16.725	67	Y
1970	14.6	15.34		15.34	32	X	2006	15.93		16.75	16.75	68	Y
1971	14.33	15.35		15.35	33	X	2007	16.06		16.8	16.8	69	Y
1972	15.01	15.38		15.38	34	X	2008	15.71		16.81	16.81	70	Y
1973	14.74		15.38	15.38	35	Y	2009	16.03		16.84	16.84	71	Y
1974	14.72		15.4	15.4	36	Y							

ANNEXES

Annexe.4 : Tableau de Gauss

ANNEXE 1 a

TABLE DE LA LOI



z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-3.0	0.00135	0.00097	0.00069	0.00048	0.00034	0.00023	0.00016	0.00011	7.2E-05	4.8E-05
-2.9	0.00187	0.00181	0.00175	0.00169	0.00164	0.00159	0.00154	0.00149	0.00144	0.00139
-2.8	0.00256	0.00248	0.0024	0.00233	0.00226	0.00219	0.00212	0.00205	0.00199	0.00193
-2.7	0.00347	0.00336	0.00326	0.00317	0.00307	0.00298	0.00289	0.0028	0.00272	0.00264
-2.6	0.00466	0.00453	0.0044	0.00427	0.00415	0.00402	0.00391	0.00379	0.00368	0.00357
-2.5	0.00621	0.00604	0.00587	0.0057	0.00554	0.00539	0.00523	0.00508	0.00494	0.0048
-2.4	0.0082	0.00798	0.00776	0.00755	0.00734	0.00714	0.00695	0.00676	0.00657	0.00639
-2.3	0.01072	0.01044	0.01017	0.0099	0.00964	0.00939	0.00914	0.00889	0.00866	0.00842
-2.2	0.0139	0.01355	0.01321	0.01287	0.01255	0.01222	0.01191	0.0116	0.0113	0.01101
-2.1	0.01786	0.01743	0.017	0.01659	0.01618	0.01578	0.01539	0.015	0.01463	0.01428
-2.0	0.02275	0.02222	0.02169	0.02118	0.02068	0.02018	0.0197	0.01923	0.01876	0.01831
-1.9	0.02872	0.02807	0.02743	0.0268	0.02619	0.02559	0.025	0.02442	0.02385	0.0233
-1.8	0.03593	0.03515	0.03438	0.03362	0.03288	0.03216	0.03144	0.03074	0.03005	0.02938
-1.7	0.04457	0.04363	0.04272	0.04182	0.04093	0.04006	0.0392	0.03836	0.03754	0.03673
-1.6	0.0548	0.0537	0.05262	0.05155	0.0505	0.04947	0.04846	0.04746	0.04648	0.04551
-1.5	0.0668	0.06552	0.06426	0.06301	0.06178	0.06057	0.05939	0.05821	0.05705	0.05592
-1.4	0.08076	0.07927	0.0778	0.07636	0.07493	0.07353	0.07215	0.07078	0.06944	0.06811
-1.3	0.0968	0.0951	0.09342	0.09176	0.09012	0.08851	0.08692	0.08534	0.08379	0.08226
-1.2	0.11507	0.11314	0.11123	0.10935	0.10749	0.10565	0.10383	0.10204	0.10027	0.09852
-1.1	0.13567	0.1335	0.13136	0.12924	0.12714	0.12507	0.12302	0.121	0.119	0.11702
-1.0	0.15866	0.15625	0.15386	0.15151	0.14917	0.14686	0.14457	0.14231	0.14007	0.13784
-0.9	0.18406	0.18141	0.17879	0.17619	0.17361	0.17106	0.16853	0.16602	0.16354	0.16109
-0.8	0.21186	0.20897	0.20611	0.20327	0.20045	0.19766	0.19489	0.19215	0.18943	0.18673
-0.7	0.24196	0.23885	0.23576	0.2327	0.22965	0.22663	0.22363	0.22065	0.2177	0.21476
-0.6	0.27425	0.27093	0.26763	0.26435	0.26109	0.25785	0.25463	0.25143	0.24825	0.2451
-0.5	0.30854	0.30503	0.30153	0.29806	0.2946	0.29116	0.28774	0.28434	0.28096	0.2776
-0.4	0.34458	0.3409	0.33724	0.3336	0.32997	0.32636	0.32276	0.31918	0.31561	0.31207
-0.3	0.38209	0.37828	0.37448	0.3707	0.36693	0.36317	0.35942	0.35569	0.35197	0.34827
-0.2	0.42074	0.41683	0.41294	0.40905	0.40517	0.40129	0.39743	0.39358	0.38974	0.38591
-0.1	0.46017	0.4562	0.45224	0.44828	0.44433	0.44038	0.43644	0.43251	0.42858	0.42465
0.0	0.5	0.49601	0.49202	0.48803	0.48405	0.48006	0.47608	0.4721	0.46812	0.46414

NORMALE (FND)

Cette table donne la valeur de la FND pour un $-3.9 \leq z \leq +3.9$. Les entrées en face de +3 et de -3 sont pour 3.0, 3.1, 3.2, etc., et -3.0, -3.1, -3.2, etc., respectivement.

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.5	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.51994	0.52392	0.5279	0.53188	0.53586
0.1	0.53983	0.5438	0.54776	0.55172	0.55567	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57535
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59095	0.59483	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409
0.3	0.61791	0.62172	0.62552	0.6293	0.63307	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173
0.4	0.65542	0.6591	0.66276	0.6664	0.67003	0.67364	0.67724	0.68082	0.68439	0.68793
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.7054	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.7224
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.7549
0.7	0.75804	0.76115	0.76424	0.7673	0.77035	0.77337	0.77637	0.77935	0.7823	0.78524
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79955	0.80234	0.80511	0.80785	0.81057	0.81327
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.82894	0.83147	0.83398	0.83646	0.83891
1.0	0.84134	0.84375	0.84614	0.84849	0.85083	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214
1.1	0.86433	0.8665	0.86864	0.87076	0.87286	0.87493	0.87698	0.8789	0.881	0.88298
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	0.89435	0.89617	0.89796	0.89973	0.90147
1.3	0.9032	0.9049	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91308	0.91466	0.91621	0.91774
1.4	0.91924	0.92073	0.9222	0.92364	0.92507	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408
1.6	0.9452	0.9463	0.94738	0.94845	0.9495	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95449
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.9608	0.96164	0.96246	0.96327
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96638	0.96712	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.9732	0.97381	0.97441	0.975	0.97558	0.97615	0.9767
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.9803	0.98077	0.98124	0.98169
2.1	0.98214	0.98257	0.983	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.985	0.98537	0.98574
2.2	0.9861	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98776	0.98809	0.9884	0.9887	0.98899
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.9901	0.99036	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158
2.4	0.9918	0.99202	0.99224	0.99245	0.99266	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.9943	0.99446	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.9952
2.6	0.99534	0.99547	0.9956	0.99573	0.99585	0.99596	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	0.99702	0.99711	0.9972	0.99728	0.99736
2.8	0.99744	0.99752	0.9976	0.99767	0.99774	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861
3.0	0.99865	0.9987	0.99875	0.9988	0.99885	0.9989	0.99894	0.99898	0.99903	0.99908

ANNEXE

Annexe.5 : Table de Kolmogorov Smirnov

n	P = .80	P = .90	P = .95	P = .98	P = .99
1	.90000	.95000	.97500	.99000	.99500
2	.68377	.77639	.84189	.90000	.92929
3	.56451	.63994	.70760	.78456	.82900
4	.49265	.56322	.62394	.68887	.73424
5	.44698	.50945	.56328	.62718	.66853
6	.41037	.46799	.51926	.57741	.61661
7	.38148	.43607	.48342	.53844	.57581
8	.35831	.40962	.45427	.50654	.54179
9	.33910	.38746	.43001	.47960	.51332
10	.32260	.36866	.40925	.45662	.48893
11	.30829	.35242	.39122	.43670	.46770
12	.29577	.33815	.37543	.41918	.44905
13	.28470	.32549	.36143	.40362	.43247
14	.27481	.31417	.34890	.38970	.41762
15	.26588	.30397	.33760	.37713	.40420
16	.25778	.29472	.32733	.36571	.39201
17	.25039	.28627	.31796	.35528	.38086
18	.24360	.27851	.30936	.34569	.37062
19	.23738	.27136	.30143	.33685	.36117
20	.23156	.26473	.29408	.32866	.35241
21	.22617	.25858	.28724	.32104	.34427
22	.22115	.25283	.28087	.31394	.33666
23	.21645	.24746	.27490	.30728	.32954
24	.21203	.24242	.26931	.30104	.32286
25	.20790	.23768	.26404	.29516	.31657
26	.20399	.23320	.25907	.28962	.31064
27	.20030	.22898	.25438	.28438	.30502
28	.19680	.22497	.24993	.27942	.29971
29	.19348	.22117	.24571	.27471	.29466
30	.19032	.21756	.24170	.27023	.28987
31	.18732	.21412	.23788	.26596	.28530
32	.18445	.21085	.23424	.26189	.28094
33	.18171	.20771	.23076	.25801	.27677
34	.17909	.20472	.22743	.25429	.27279
35	.17659	.20185	.22425	.25073	.26897
36	.17418	.19910	.22119	.24732	.26532
37	.17188	.19646	.21826	.24404	.26180
38	.16966	.19392	.21544	.24089	.25843
39	.16753	.19148	.21273	.23786	.25518
40	.16547	.18913	.21012	.23494	.25205
41	.16349	.18687	.20760	.23213	.24904
42	.16158	.18468	.20517	.22941	.24613
43	.15974	.18257	.20283	.22679	.24332
44	.15796	.18053	.20056	.22426	.24060
45	.15623	.17856	.19837	.22181	.23798
46	.15457	.17665	.19625	.21944	.23544
47	.15295	.17481	.19420	.21715	.23298
48	.15130	.17302	.19221	.21493	.23059
49	.14967	.17129	.19028	.21277	.22828
50	.14840	.16959	.18841	.21068	.22604
51	.14697	.16796	.18659	.20864	.22386
52	.14558	.16637	.18482	.20667	.22174
53	.14423	.16483	.18311	.20475	.21968
54	.14292	.16332	.18144	.20289	.21768
55	.14164	.16186	.17981	.20107	.21574
56	.14040	.16044	.17823	.19930	.21384
57	.13919	.15906	.17669	.19758	.21199
58	.13801	.15771	.17519	.19590	.21019
59	.13686	.15639	.17373	.19427	.20844
60	.13573	.15511	.17231	.19267	.20673
61	.13464	.15385	.17091	.19112	.20506
62	.13357	.15263	.16956	.18960	.20343
63	.13253	.15144	.16823	.18812	.20184
64	.13151	.15027	.16693	.18667	.20029
65	.13052	.14913	.16567	.18525	.19877
66	.12954	.14802	.16443	.18387	.19729
67	.12859	.14693	.16322	.18252	.19584
68	.12766	.14587	.16204	.18119	.19442
69	.12675	.14483	.16088	.17990	.19303
70	.12585	.14381	.15976	.17863	.19167
71	.12499	.14281	.15864	.17739	.19034
72	.12413	.14183	.15755	.17618	.18903
73	.12329	.14087	.15649	.17498	.18775
74	.12247	.13993	.15544	.17382	.18650
75	.12167	.13901	.15442	.17268	.18528
76	.12088	.13811	.15342	.17155	.18408
77	.12011	.13723	.15244	.17045	.18290
78	.11935	.13635	.15147	.16938	.18174
79	.11860	.13551	.15052	.16832	.18060
80	.11787	.13467	.14959	.16728	.17949
81	.11716	.13385	.14868	.16625	.17840
82	.11645	.13305	.14779	.16525	.17732
83	.11576	.13226	.14691	.16428	.17627
84	.11508	.13148	.14605	.16331	.17523
85	.11442	.13072	.14520	.16236	.17421
86	.11376	.12997	.14437	.16143	.17321
87	.11311	.12923	.14355	.16051	.17223
88	.11248	.12850	.14274	.15961	.17126
89	.11186	.12779	.14195	.15873	.17031
90	.11125	.12709	.14117	.15786	.16938
91	.11064	.12640	.14040	.15700	.16846
92	.11005	.12572	.13965	.15616	.16755
93	.10947	.12506	.13891	.15533	.16666
94	.10889	.12440	.13818	.15451	.16579
95	.10833	.12375	.13746	.15371	.16493
96	.10777	.12312	.13675	.15291	.16408
97	.10722	.12249	.13606	.15214	.16324
98	.10668	.12187	.13537	.15137	.16242
99	.10615	.12125	.13469	.15061	.16161
100	.10563	.12067	.13403	.14987	.16081
n > 100	1.073/√n	1.223/√n	1.358/√n	1.518/√n	1.629/√n

Résumé : Ces dernières années, le climat de l'Algérie est marqué par une diminution des précipitations et un haussement des températures. Ce changement climatique a un impact direct sur les écosystèmes et les sociétés. Les études scientifiques montrent clairement que ces changements à l'œuvre depuis le début de la période industrielle sont sans commune mesure avec la variabilité naturelle du climat. Dans ce contexte cette étude a pour but de faire une étude statistique sur les données climatiques de 70 ans de précipitations et températures de Constantine. D'après le test Wilcoxon $W_{in} = 851.29$; $W_x = 985$ et $W_{max} = 1265.71$, pour les précipitations et $W_{in} = 840.45$, $W_x = 857$ et $W_{max} = 1247.55$ pour les températures, les deux séries des données de 70 années sont homogènes. Le quotient pluviométrique Q3 déterminé à l'aide de la formule de Stewart égal à 63.62 mm/k a permis de déduire que Constantine est caractérisée par un bioclimat semi-humide. Concernant l'ajustement des données, les résultats de la loi normale montrent clairement que pour les températures, les valeurs moyennes annuelles observées ne diffèrent pas sensiblement d'une année à une autre. Le coefficient de variation ($CV = 0.047$) étant faible confirme aussi que ces données s'ajustent bien à la loi de Gauss. Par contre concernant les données des précipitations elles s'ajustent bien à la loi de Galton avec un $CV = 0.04$. Pour le test de Kolmogorov Smirnov, les températures aussi s'ajustent bien à la loi de Gauss avec $\Delta_{max} = 0.07$ est $< \Delta$ théorique $= 0.018$. Et les données des précipitations, s'ajustent bien à la loi de Gauss car $\Delta_{max} < \Delta$ théorique ($0.07 < 0.018$).

Mots clés : Température, Précipitation, Loi de Gauss, loi de Gumbel, loi de Galton, test Wilcoxon, test de Kolmogorov Smirnov, Constantine.

ملخص: خلال السنوات الأخيرة، تميز مناخ الجزائر بانخفاض في هطول الأمطار وارتفاع في درجة الحرارة. هذا التغيير المناخي له تأثير مباشر على النظم البيئية والمجتمعات. تظهر الدراسات العلمية بوضوح أن هذه التغييرات الناشطة منذ بداية الفترة الصناعية لا تقارن مع التقلب الطبيعي للمناخ. في هذا السياق، تهدف هذه الدراسة إلى إجراء دراسة إحصائية للبيانات المناخية لمدة 70 عامًا لهطول الأمطار ودرجات حرارة قسنطينة. طبقًا لاختبار Wilcoxon، $W_{in} = 851.29$ ، $W_x = 985$ و $W_{max} = 1265.71$ ، لهطول الأمطار و $W_{in} = 840.45$ ، $W_x = 857$ و $W_{max} = 1247.55$ لدرجات الحرارة، سلسلتا البيانات لمدة 70 عامًا متجانسة. حاصل هطول الأمطار Q3 الذي تم تحديده باستخدام صيغة ستيفورت التي تساوي 63.62 مم / ك، سمح باستنتاج أن قسنطينة تتميز بمناخ حيوي شبه رطب. فيما يتعلق بتعديل البيانات، تظهر نتائج القانون العادي بوضوح أنه بالنسبة لدرجات الحرارة، فإن القيم المتوسطة السنوية الملاحظة لا تختلف اختلافًا كبيرًا من سنة إلى أخرى. إن معامل الاختلاف ($CV = 0.047$) منخفض يؤكد أيضًا أن هذه البيانات تتلاءم جيدًا مع قانون Gauss. من ناحية أخرى، فيما يتعلق ببيانات هطول الأمطار، فإنها تتوافق جيدًا مع قانون جالتون مع $CV = 0.04$. بالنسبة لاختبار Kolmogorov Smirnov، تتوافق درجات الحرارة جيدًا مع قانون Gauss مع $\Delta_{max} = 0.07$ هو $> \Delta$ النظري $= 0.018$. وتتناسب بيانات الترسيب مع قانون غاوس جيدًا لأن $\Delta_{max} > \Delta$ (النظري $0.07 > 0.018$).

الكلمات المفتاحية: درجة الحرارة، الترسيب، قانون غاوس، قانون جومبل، قانون جالتون، اختبار ويلكسون، اختبار كولموغوروفسمير نوف، قسنطينة.

Abstract: The climate in Algeria in recent years has been characterized by a decrease in precipitation and an increase in temperature. This climate change has a direct impact on ecosystems and societies. Scientific studies clearly show that these changes in work since the beginning of the industrial period are out of proportion to the natural variability of climate. In this context, this study aims to conduct a statistical study of climatic data for 70 years of rainfall and temperatures of Constantine. Based on Wilcoxon test, $W_{in} = 851.29$; $W_x = 985$ and $W_{max} = 1265.71$, for precipitation and $W_{in} = 840.45$, $W_x = 857$ and $W_{max} = 1247.55$ for temperature, the two 70-year data series are homogeneous. The precipitation Q3 determined using the Stewart formula equals 63.62 mm/k, allowed to conclude that Constantine is characterized by a semi-humid bioclimate. In terms of adjusting the data, the normal law results clearly show that for temperatures, the observed annual mean values do not vary significantly from year to year. The low coefficient of variation ($CV = 0.047$) also confirms that these data fit well with Gauss's law. On the other hand, for the precipitation data, it agrees well with Galton's law with $CV = 0.04$. For the Kolmogorov Smirnov test, the temperatures also agree well with Gauss' law with $\Delta_{max} = 0.07$ being $<$ theoretical $\Delta = 0.018$. And the sedimentation data fit Gauss's law well because $\Delta_{max} <$ theoretical Δ ($0.07 < 0.018$).

Keywords: temperature, precipitation, Gauss's law, Gumbel's law, Galton's law, Wilcoxon's test, Kolmogorov's test, Samir Nouf, Constantine.