



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Hydraulique  
Ouvrages hydrauliques

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :  
**Bochra Ababsa**

Le : samedi 23 juin 2018

## Etude de l'évolution des précipitations dans la région de Guelma

---

### Jury :

M.	Labadi Abdallah Seddik	Pr	Université de Biskra	Président
M.	Msameh abdelhamid	Pr	Université de Biskra	Examineur
M.	Benkhalel Abelkader	Pr	Université de Biskra	Rapporteur

# *Remerciements*

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à **M<sup>R</sup> BENKHALED Abdelkader** pour avoir accepté de m'encadrer en ce sujet ainsi pour ses orientations, ses judicieux conseils et ses disponibilité durant toute la période de notre projet. J'adresse aussi mes vifs remerciements aux membres des jurys pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.

Que tous ce qui a participés de près ou de loin dans l'élaboration de ce mémoire trouvent ici l'expression de mes vifs remerciements.

Je voudrais aussi exprimer ma vive reconnaissance envers tous les enseignants de département d'hydraulique ainsi que tous ceux qui ont participé à ma formation.

# *Dédicaces*

*Avec l'aide de dieu tout puissant on a pu achever ce modeste  
travail que je dédie*

*A mon père et ma mère le grand cœur sur la  
terre de m'avoir aidé avec leurs conseils et leur soutien moral, en  
espérant que dieu leur donne la santé.*

*A mes frères et ma sœur*

*A tous les étudiants d'hydraulique*

*A mes amis et tous ceux qui m'aiment*



## **Résumé**

Le but de ce mémoire est analyser l'évolution du régime pluviométrique de la région de Guelma, ce travail s'est basé sur l'étude de séries de données de quelques stations pluviométriques réparties sur la région de Guelma utilisant les techniques statistiques.

Pour aborder notre sujet, nous avons analysé la corrélation entre les séries de données des stations voisines, Ensuite, nous avons fait un Comblement des lacunes pour les série contenant des lacunes en utilisant trois méthodes différentes, et analyse la stabilité de la pluie et son interruption en utilisant les tests suivants : Test de tendance Mann-Kendall, Tests de détection des ruptures.

**Mot-clé:** Précipitations, évènements extrêmes, approche statistique, région de Guelma, Est de l'Algérie.

## **ملخص**

الغرض من هذه المذكرة هو تحليل تطور هطول الأمطار في منطقة قالمة , يستند هذا العمل على دراسة سلاسل المعطيات لبعض محطات رصد الأمطار الموزعة عبر منطقة قالمة باستخدام التقنيات الإحصائية .

لعلاج موضوعنا قمنا بتحليل الترابط بين سلاسل المعطيات للمحطات القريبة من بعضها ثم قمنا بتعبئة السلاسل التي تحتوي على فجوات بثلاث طرق مختلفة وتحليل استقرارية هطول الأمطار وانقطاعها وذلك باستخدام الاختبارات التالية: اختبار الاتجاه مان كيندال و اختبارات الكشف عن الانفصال.

## **الكلمات المفتاحية:**

الأمطار, الأحداث المتطرفة, النهج الإحصائي, منطقة قالمة, الشرق الجزائري .

## **Abstract**

The purpose of this thesis is to analyze the evolution of the rainfall regime of the Guelma region- this work was based on the study of data series of some rainfall stations spread over the region of Guelma using statistical techniques.

To treat our subject, we analyzed the correlation between the data series for stations close to each other, then we filled the strings with gaps in three different ways, Analysis of precipitation using the following tests: Mann-Kendall trend test, Break detection tests.

**Keywords:** Precipitation, extreme events, statistical approach, Guelma region, Eastern Algeria.

## Sommaire

Introduction générale .....	1
<b>Chapitre 1 : Considérations générales sur le cycle de l'eau</b>	
1 .1.Définition .....	3
1.2. Précipitation.....	5
1. 3. Formation des précipitations.....	5
1.4. Les type des précipitations.....	5
1.4.1. Les précipitations convectives.....	5
1.4.2. Les précipitations orographiques.....	5
1.4. 3. Les précipitations cycloniques.....	5
<b>Chapitre 2 : Méthodes statistiques d'étude de l'évolution des précipitations</b>	
2.1. Généralités .....	8
2.2. Test de tendance.....	8
2.3. Tests de rupture.....	9
2.3.1. Changement de moyenne.....	9
2.3.2. Test non paramétrique de Pettitt.....	9
2.3.3. Test paramétrique de Buishand.....	10
<b>Chapitre 3 : Région d'étude</b>	
3.1. Situation géographique.....	11
3.2. Hydrogéologie.....	11
3.3. Géologie .....	12
3.4. Relief .....	12.

3.5. Climatologie.....	14
3.5.1. La température.....	14
3.5.2. Les précipitations.....	14
3.5. 3. Humidité.....	15

#### **Chapitre 4 : Etude de l'évolution des précipitations**

4.1. Choix des stations et Collecte des données.....	16
4.2. Prétraitement des données pluviométriques .....	18
4.3. Critique de la qualité des données et détection des anomalies.....	18
4.4. Recherche de double cumule entre les stations.....	27
4.5. Comblement des lacunes des stations pluviométriques de la région de Guelma .....	33
4.6. Etude de l'évolution de la pluviométrie .....	34
4.7. Synthèse des résultats.....	83
4.7.1. Synthèse des résultats du Test de stationnarité Spearman.....	83
4.7.2. Synthèse des résultats de Test de tendance de Mann-Kendall.....	84
4.7.3. Synthèse des résultats du Test de rupture.....	84
Commentaire .....	85

## Liste des figures

Figure N°1.1 : Le cycle hydrologique .....	4
Figure N° 1.2 : Les précipitations convectives.....	6
Figure N° 1.3 : Les précipitations orographiques.....	6
Figure N° 1.4 : Les précipitations cycloniques.....	7
Figure N° 3.1. : Situation géographique de la région étudiée (Encadré en noir).....	11
Figure N° 3.2 : DEM de la Wilaya de Guelma.....	13
Figure N° 3.3 : Carte de relief de la région de Guelma (MOUCHARA 2009).....	13
Figure N°3.4 : Carte des précipitations annuelles moyennes de la région de Guelma.....	15
Figure N°3.4 : Carte des précipitations annuelles moyennes de la région de Guelma.....	15
Figure N°4.1 : Carte des stations de la région de Guelma.....	16
Figure N°4.2 : Corrélation entre les pluies à Pont Bouchet et les pluies à Ain Barda.....	18
Figure N°4.3 : Corrélation entre les pluies à Pont Bouchet et les pluies à Kef Mourad.....	20
Figure N°4.4 : Corrélation entre les pluies à Ain Barda et les pluies à Kef Mourad.....	20
Figure N°4.5 : Corrélation entre les pluies à Héliopolis et les pluies à Guelma lycée .....	21
Figure N°4.6: Corrélation entre les pluies à Bordj Sabth et les pluies à Rass El agba.....	23
Figure N°4.7 : Corrélation entre les pluies à Ain Makhlouf et les pluies à Rass El agba.....	23
Figure N°4.8 : Corrélation entre les pluies à Bouchegouf et les pluies à Hammam N'bails ...	24
Figure N°4.9: Corrélation entre les pluies à Bouchegouf et les pluies à Machroha.....	25
Figure N°4.10: Corrélation entre les pluies à Settara et les pluies à kasr Sbahi.....	25
Figure N°4.11 : Corrélation entre les pluies à Settara et les pluies à Ain Babouche.....	26
Figure N°4.12 : Double cumuls entre la station de Pont Bouchet et Ain barda.....	28
Figure N°4.13 : Double cumuls entre la station de Pont Bouchet et Ain Barda.....	28

Figure N°4.14 : Double cumuls entre la station d'Ain Barda et Kef Mourad.....	29
Figure N°4.15 : Double cumuls entre la station de Héliopolis et Guelma lycée Ben Mohamed.....	29
Figure N°4.16 : Double cumuls entre la station de Borj Sabth et Ras El Agba.....	30
Figure N°4.17 : Double cumuls entre la station d'Ain Makhoulf et Ras El Agba.....	30
Figure N°4.18 : Double cumuls entre la station de Bouchegouf et Hammam N'bails .....	31
Figure N°4.19: Double cumuls entre la station de Bouchegouf et Machroha.....	31
Figure N°4.20 : Double cumuls entre la station de Settara et Ksar Sbahi.....	32
Figure N°4.21 : Double cumuls entre la station de Settara et Ksar Sbahi.....	32
Figure N°4.22 : Box plot des pluies annuelles à la station 140631.....	35
Figure N°4.23 : Histogramme des pluies à la station 140631.....	36
Figure N°4.24 : Régression linéaire de station 140631 .....	37
Figure N°4.25: Répartition des pluies annuelles à la station 140631.....	37
Figure N°4 .26 : Résultats graphiques du test de MannKendall.....	38
Figure N°4.27 : Résultat graphique du Test de Pettitt.....	39
Figure N°4.30 : Résultat graphique du Test d'homogénéité normal standard (SNHT).....	40
Figure N°4.31 : Résultat graphique du Test de Buishand.....	41
Figure N°4.32: Box plot des pluies annuelles à la station 140505.....	42
Figure N° 4.33 : Régression linéaire des pluies annuelles à la station 140505.....	42
Figure N° 4.34: Répartition des pluies annuelles à la station 140631.....	43
Figure N°4.35 : Résultat graphique du Test de Mann-Kendall.. .....	44
Figure N°4.36 : Résultat graphique du Test de Pettitt.....	45
Figure N°4.37 : Résultat graphique du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) .....	46



Figure N°4.38 : Résultat graphique du Test de Buishand.....	47
Figure N°4.39 : Box plot des pluies annuelles à la station 140403 .....	49
Figure N°4.40 : Histogramme des pluies à la station 140505.....	49
Figure N°4.41 : Régression linéaire des pluies annuelles à la station 140403.....	50
Figure N°4.42 : Répartition des pluies annuelles à la station 1400403.....	51
Figure N°4.43 : Résultat graphique du test de Mann-Kendall.....	52
Figure N°4.44 : Résultat graphique du test de Pettitt.....	53
Figure N°4.45 : Résultat graphique du test d'homogénéité normal standard (SNHT).....	54
Figure N°4.45 : Résultat graphique du Test de Buishand .....	55
Figure N°4.46 : Box plot des pluies annuelles à la station 140412.....	56
Figure N°4.48: Régression linéaire des pluies annuelles à la station 140412.....	56
Figure N°4.49 : Répartition des pluies annuelles à la station 1400412.....	57
Figure N°4.50 : Résultat graphique du test de tendance de Mann-Kendall.....	58
Figure N°4.51 : Résultat graphique du test de tendance de Pettitt.....	59
Figure N°4.52: Résultat graphique du test d'homogénéité normal standard (SNHT).....	60
Figure N°4.53 : Résultat graphique du test de Buishand.....	61
Figure N°4.54 : Graphique Box plot des pluies station 140302.....	62
Figure N°4.55 : Graphique Histogramme station 140302.....	63
Figure N°4.56 : Régression linéaire des pluies station 140302.....	63
Figure N°4.57: Répartition des pluies annuelles à la station 140302.....	65
Figure N°4.58 : Résultat graphique du test de tendance de Mann-Kendall.....	67
Figure N°4.59: Résultat graphique du Test de Pettitt.....	68
Figure N°4.60: Résultat graphique du Test d'homogénéité normal standard (SNHT).....	69

Figure N°4.61: Résultat graphique du Test de Buishand.....	69
Figure N°4.62: Box plot des pluies annuelles à la station 140205.....	70
Figure N°4.63: Histogramme des pluies à la station 140205.....	70
Figure N°4.64 : Régression linéaire des pluies annuelles à la station 140205.....	71
Figure N° 4.64: Répartition des pluies annuelles à la station 140205.....	72
Figure N°4.65: Résultat graphique du test de tendance de Mann-Kendall.....	73
Figure N°4.66 : Résultat graphique du test de Pettitt.....	74
Figure N°4.67: Résultat graphique du test d'homogénéité normal standard (SNHT).....	75
Figure N°4.68: Résultat graphique du test de Buishand.....	76
Figure N°4.69: Box plot des pluies annuelles à la station 140105.....	77
Figure N°4.70: Histogramme des pluies à la station 140105.....	77
Figure N°4.71: Régression linéaire des pluies annuelles à la station 140105.....	78
Figure N° 4.72: Répartition des pluies annuelles à la station 140105.....	79
Figure N°4.73: Résultat graphique du test de Mann-Kendall.....	80
Figure N°4.73: Résultat graphique du test de Pettitt.....	81
Figure N°4.74: Résultat graphique du test d'homogénéité normal standard (SNHT) .....	82
Figure N°4.75: Résultat graphique du test Buishand.....	83

## Liste des tableaux

Tableau N° 3.1 : Coordonnés de la station météorologique de Guelma.....	14
Tableau N° 3.2 : Température moyenne mensuelle de la station de Guelma (1994-2008).....	14
Tableau N°4.1 : Coordonnées et caractéristique des stations étudiée.....	17
Tableau N°4.2: Données pluviométriques de la station du Pont Bouchet.....	18
Tableau N°4.3 : les pluies dans les deux stations.....	19
Tableau N°4.4 : Résultat de corrélation avant comblement.....	33
Tableau N°4.5 : Résultat de corrélation après comblement.....	34
Tableau N°4.6 : Statistiques descriptives (Données quantitatives).....	34
Tableau N°4 .7 : Résultat du test de tendance de Mann-Kendall / Test bilatéral (Station140631) .....	38
Tableau N°4.8 : Résultats du Test de Pettitt (Station 140631).....	39
Tableau N°4.9 : Résultats du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140631)	
Tableau N°4.10 : Résultats du Test de Buishand (Station 140631).....	39
Tableau N°4.11 : Statistiques descriptives (Données quantitatives).....	41
Tableau N°4.12 : Résultat du test de tendance de Mann-Kendall / Test bilatéral (Station 1400505).....	41
Tableau N°4.13 : Résultat du Test de Pettitt (Station 140505).....	44
Tableau N°4.14 : Résultat du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140505) .....	45
Tableau N°4.15: Résultat du Test de Buishand (Station 140505).....	46
Tableau N°4.16 : Statistiques descriptives (Données quantitatives).....	47

Tableau N°4.17 : Résultat du test de tendance de Mann-Kendall / Test bilatéral (Station 140304).....	48
Tableau N°4.18 : Résultat du Test de Pettitt (Station 1400403).....	51
Tableau N° 4.19: Résultat du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140403)	
Tableau N°4.20 : Résultat du Test de Buishand (Station 140403).....	52
Tableau N°4.21: Statistiques descriptives (Données quantitatives).....	53
Tableau N° 4.22 : Résultat du Test de tendance de Mann-Kendall / Test bilatéral (Station 14041).....	54
Tableau N° 4.23 : Résultat du Test de Pettitt (Station 140412).....	55
Tableau N° 4.24 : Résultat du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140412).....	58
Tableau N° 4.25 : Résultat du Test de Buishand (Station 140412).....	59
Tableau N°4.26 : Statistiques descriptives (Données quantitatives).....	60
Tableau N°4.27 : Résultat du Test de tendance de Mann-Kendall (station 140302).....	61
Tableau N°4.28 : Résultat du Test de Pettitt (Station 140302).....	62
Tableau N°4.29: Résultat du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140302).....	65
Tableau N°4.30: Résultat du Test de Buishand (Station 140302).....	66
Tableau N°4.31 : Statistiques descriptives (Données quantitatives).....	67
Tableau N°4.33: Résultats du Test de tendance de Mann-Kendall (140205).....	68
Tableau N°4.34 : Résultat du Test de Pettitt (Station 140205).....	69
Tableau N° 4.35: Résultat du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140205).....	72
Tableau N°436: Résultat du Test de Buishand (Station 140205) .....	73
Tableau N°4.37: Statistiques descriptives (Données quantitatives).....	74

Tableau N°4.38 : Résultat du Test de tendance de Mann-Kendall (Station 140105).....	75
Tableau N° 4.39: Résultats du Test de Pettitt (Station 140105).....	76
Tableau N°4.39: Résultats du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140105).....	79
Tableau N°4.40: Résultats du Test de Buishand (Station 140105) .....	80
Tableau N°4.41: Synthèse de résultat de stationnarité Spearman.....	83
Tableau N°4.42: Synthèse de résultat de test de rupture.....	84
Tableau N°4.43: Résultat de vérification de résultat de Test de rupture.....	84

# **Introduction générale**

# **Chapitre - 1-**

## **Considérations générales sur le cycle de l'eau**

**Chapitre-2-**  
**Méthodes statistiques**  
**d'étude de l'évolution des**  
**précipitations**



# **CHAPITRE -3-**

## **Région d'étude**

## **Chapitre -4-**

# **Etude de l'évolution des précipitations**

# **Conclusion générale**

# **Références bibliographiques**

- MARC MORELL, 1999, Acquisition et constitution d'une information hydrologique de base .
- BELARBI Fadila, 2010, Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la TAFNA, Université ABOU BEKR BELKAID, Telemcen .
- N. Croiset, B. Lopez (BRGM), HYPE : Outil d'analyse statistique des séries temporelles d'évolution de la qualité des eaux souterraines, Centre scientifique et technique Direction de l'Eau de l'Environnement et des Ecotechnologies, France.
- Abdelkader KHALDI , 2005, Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida",these de doctorat, Université d'Oran
- hind meddi ,mohamed meddi, 2009 , Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie, Article de recherche

Site internet :

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/pluviales/chap6.pdf>

<https://precipitationgeo.weebly.com/>

<https://www.fondation-maif.fr/up/pj/engees-rf.pdf>

# Introduction général

---

## **Introduction générale**

La pluviométrie est un facteur écologique essentiel. Avec la température, elle conditionne les climats terrestres, la nature et le fonctionnement des écosystèmes, leur productivité primaire, etc. Elle est, très probablement, le facteur le plus important conditionnant le développement des sociétés humaines et un enjeu géopolitique qui, bien qu'il soit souvent passé sous silence, est fondamental.

D'un autre côté, les pluies provoquent aussi des catastrophes. Il est donc nécessaire d'étudier les phénomènes qui y sont liés tels que les précipitations, qui conduisent à des catastrophes naturelles telles que les inondations.

La région de Guelma est considérée une région à risque en matière d'inondations. Les connaissances de base pour appréhender le risque inondation concernent la fréquence et l'intensité des pluies en particulier.

Ce mémoire de fin d'études propose d'étudier l'évolution des précipitations pour l'évaluation du risque inondation. L'approche qui est utilisée concerne les aspects relatifs aux changements observés sur les séries de pluies disponibles. Ces aspects ont été abordés à travers les techniques et méthodes statistiques qu'on retrouve dans la littérature spécifique.

L'étude s'articule sur quatre chapitres :

### **Chapitre 1: Considérations générales sur le cycle de l'eau**

Dans ce chapitre, nous définis le cycle de l'eau dans la vie et la définition les précipitations, Formation les précipitations.

### **Chapitre 2 : Méthodes d'étude de l'évolution des précipitations**

Ce chapitre est consacré à des rappels sur les principes des tests statistiques : Test de tendance , Tests de rupture

### **Chapitre 3 : Région d'étude**

Ce chapitre est réservé à la présentation de la région étudiée ; la situation géographique, la Structure géologique, hydrogéologie .....

## **Chapitre 4 : Etude de l'évolution des précipitations**

Dans cette partie nous avons Choisie des stations et Collecté des données, en fait un Prétraitement des données pluviométriques, en Critique de la qualité des données et détection des anomalies

### 1.1. Définition

Entre terre et ciel, la même eau est en circulation permanente depuis des milliards d'années.

Apparue il y a 3 à 4 milliards d'années, l'eau est presque aussi ancienne que la Terre. Depuis, son volume est resté globalement stable. C'est toujours la même eau qui circule et se transforme permanence dans l'atmosphère, à la surface et dans le sous-sol de notre Terre.

L'eau est l'élément essentiel qui permet la vie sur notre planète. L'eau peut apparaître dans trois phases différentes : solide, liquide et gazeuse.

L'eau décrit dans la nature un cycle continu complexe qui est influencé par des facteurs divers. Le soleil réchauffe la surface de la terre d'une manière inégale. Par conséquent les masses d'air dans l'atmosphère commencent à circuler.

Les précipitations, l'écoulement et l'infiltration sont provoqués par les forces de gravitation. Les forces d'attraction du soleil et de la lune entraînent des circulations d'eau dans les océans qui, de leur part, ont une influence sur notre climat.

Le rayonnement solaire réchauffe la surface terrestre avec ses plans d'eau et fait évaporer une partie de l'eau précipitée et retourner vers l'atmosphère.

Le terme d'évaporation désigne les pertes en eau des nappes d'eau libres sous forme de vapeur (lacs, retenues, mares) ; alors que l'évapotranspiration regroupe les pertes du sol : absorption de l'eau par le couvert végétal ou animal, et restitution à l'atmosphère par transpiration.

Lors de la montée dans l'atmosphère, ces masses d'air humide se refroidissent progressivement, ce qui entraîne la condensation de la vapeur d'eau et la création de nuages.

L'eau dans les nuages tombe sous forme de précipitation (pluie ou neige) sur la surface terrestre.

L'eau migre sous forme :

- d'écoulements de surface rapides (rivières, ravines...), transitant parfois par des zones de stockage naturel (étangs, mares...) ou artificiel (retenues...)
- d'écoulements souterrains intervenant après infiltration ; ces eaux sont souvent stockées en profondeur dans des réservoirs constitués de roches poreuses et perméables formant les aquifères.



## Chapitre 1 : Considérations générales sur le cycle de l'eau

Si elles ne sont pas utilisées par l'homme, les eaux souterraines parviennent finalement à la mer.

Le cycle de l'eau se poursuit : c'est le milieu marin qui, par évaporation humidifie les masses d'air véhiculées par l'alizé.

Par condensation, il y a formation de nuages, et éventuellement précipitation.

Etablir le bilan en eau d'une région sur une période donnée, c'est chiffrer les quantités d'eau qui entrent et sortent des différents bassins versants qui la composent.

Le bilan hydrologique d'un bassin versant peut s'exprimer schématiquement par la formule suivante :

$$P = E + Q + I + U + dR,$$

Avec :

P = précipitation ;

E = évaporation + évapotranspiration (Morell,1999)

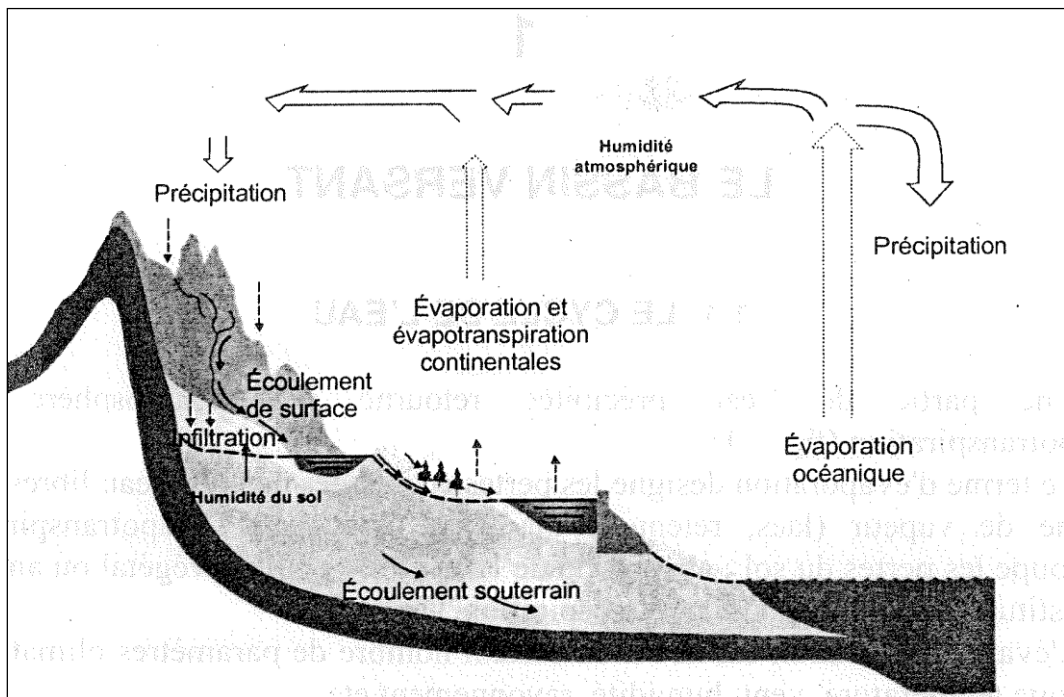


Figure N°1.1 : Le cycle hydrologique (morell ,1999)

### 1.2. Précipitation

Les précipitations toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, Les précipitation d'une région sont intimement liées au climat. Des régions sont plus arrosées que d'autres et des mois qui sont plus pluvieux que d'autres.

### 1.3. Formation des précipitations

La pluie résulte de l'évaporation de l'humidité qui existe dans la nature et plus particulièrement des grandes étendues d'eau (lacs, mers...). Cette vapeur d'eau s'élève et, au contact d'air plus froid, se condense autour de noyaux de condensation (poussières, pollens, aérosols...) et donne des nuages. Des nuages séparées les unes des autres d'une distance moyenne de 1mm à se condenser à une vitesse moyenne de 1cm/s, permettant d'accueillir un volume supérieur de million de fois à volume original.

Lorsque la condensation est trop importante et que les gouttes d'eau alors formées sont trop lourdes (environ 0,5 mm de diamètre), elles tombent, formant ainsi une pluie, si les conditions météorologiques s'y prêtent. Des variations de température sur le parcours de la pluie peuvent ainsi occasionner d'autres formes de précipitation : neige, grêle, grésil...

Le grossissement de ces gouttelettes se fait par deux mécanismes à savoir:

1- A haute altitude les gouttelettes liquides cohabitent avec des cristaux, ceux-ci ont une vapeur saturante plus faible et un transfert d'eau s'opère entre les gouttelettes liquides et les cristaux de glace.

2- Le mécanisme de coalescence : c'est le grossissement des gouttelettes par collision c'est-à-dire ; deux gouttelettes s'entre choc et n'enforment qu'une. (BELARBI 2010)

### 1.4. Les type des précipitations

Il existe différents types de précipitations : les précipitations convectives, les précipitations orographiques et les précipitations frontales

#### 1.4.1. Les précipitations convectives

Ce type de précipitation est le résultat du réchauffement de l'air à l'interface avec le sol; l'air en se réchauffant se dilate et s'élève, produisant ainsi de forts courants verticaux ascendants L'air se refroidit ensuite au cours de l'ascension et la précipitation se produit lorsque le point de condensation est atteint. . Les précipitations par convection peuvent prendre la forme d'une faible averse ou d'un orage de très forte intensité.

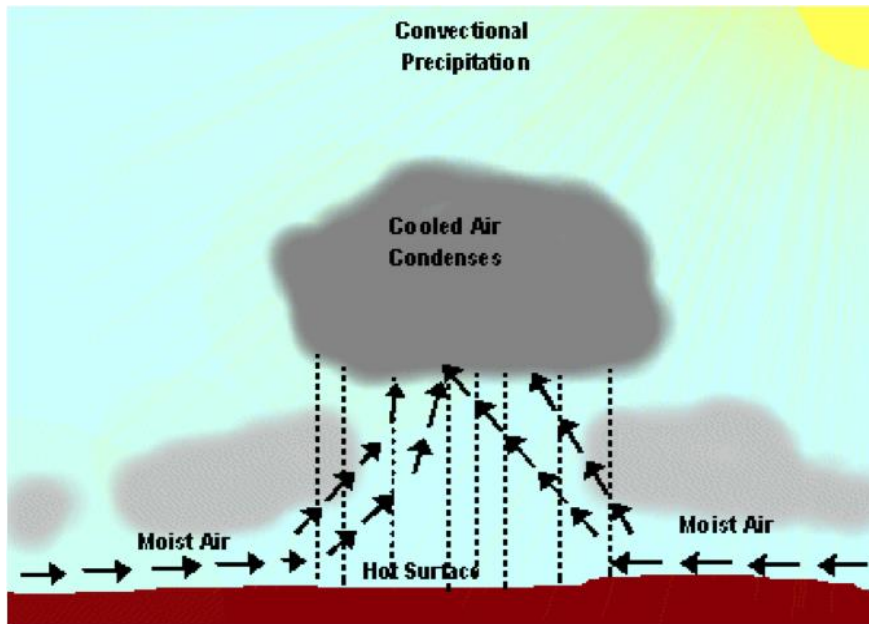


Figure N° 1.2 : Les précipitations convectives

#### 1.4.2. Les précipitations orographiques

Dans ce cas-ci, la précipitation survient lorsque l'air chargé d'humidité est poussé par le vent contre une zone montagneuse et qu'il est alors élevé mécaniquement, ce qui produit un refroidissement. L'autre versant de la zone montagneuse tend à être plus sec et chaud.

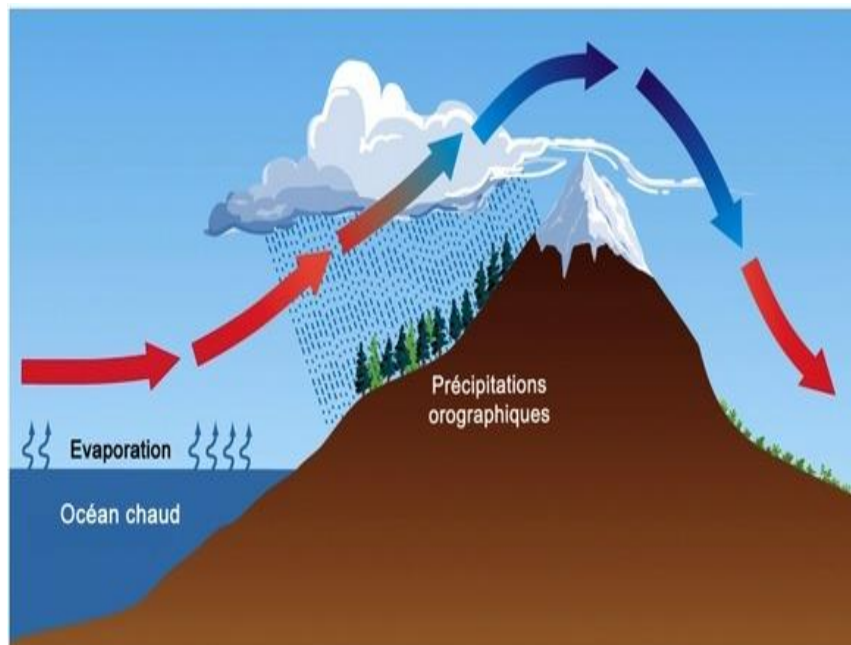


Figure N° 1.3 : Les précipitations orographiques

#### 1.4.3. Les précipitations cycloniques

## Chapitre 1 : Considérations générales sur le cycle de l'eau

---

Ces de précipitations sont engendrés au voisinage des surfaces de contact entre deux masses d'air de température et d'humidité différentes, que l'on appelle un front. La masse d'air chaud est toujours soulevée en altitude par la masse d'air froid. Suivant que la masse d'air chaud suive ou précède la masse d'air froid on trouve un front chaud ou froid.

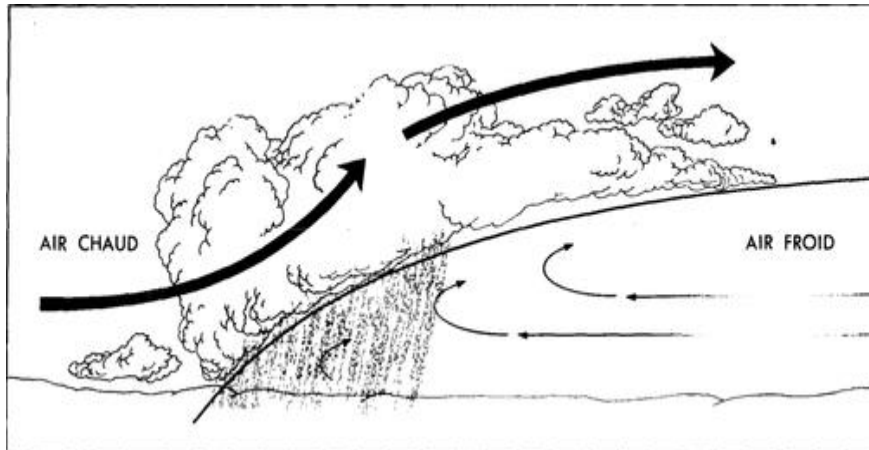


Figure N° 1.4 : Les précipitations cycloniques

### 2.1. Généralités

Une hypothèse statistique est simplement une assertion au sujet d'une population que l'on peut mettre à l'épreuve en tirant un échantillon au hasard. Une utilisation courante des statistiques est la notion de test, un test est un mécanisme qui permet de trancher entre deux hypothèses au vu des résultats d'un échantillon : soient  $H_0$  (l'hypothèse nulle) et  $H_1$  (l'hypothèse alternative) ces deux hypothèses, dont une et une seule est vraie.

### 2.2. Test de tendance

Le test de Mann-Kendall est associé au calcul de la pente de Sen. Il est appliqué sur les toutes les chroniques non stationnaires disposant d'au moins 10 analyses.

La tendance est dite significative d'un point de vue statistique lorsque la p-value du test est inférieure à 5%.

Le test de Mann-Kendall (Kendall, 1938, repris par Renard, 2006)

L'hypothèse  $H_0$  testée est l'absence de tendance.

La statistique calculée est définie comme suit :

$S = \sum_{i=1}^{n-1} sgn[(y_j - y_i)(x_j - x_i)]$  où la fonction  $sgn$  est la définie par :  $sgn(X) = 1$  pour  $X > 0$  ;  $sgn(X) = 0$  pour  $X = 0$  et  $sgn(X) = -1$  pour  $X < 0$ .

Mann (1945) et Kendall (1975) ont démontré que :

$$E(S) = 0$$

$$Var(S) = n(n-1)(2n+5)/18$$

Dès que l'échantillon contient une dizaine de données, la loi de la statistique de test  $Z$  ci dessous peut-être approché par une gaussienne centrée-réduite.

$$Z = \frac{s-1}{(Var(S))^{1/2}} \text{ Si } S > 0$$

$$Z = 0 \text{ Si } S = 0$$

$$Z = \frac{s+1}{(Var(S))^{1/2}} \text{ Si } S < 0$$

S'il y a des ex-æquo dans la série, la variance de  $S$  est corrigée de la façon suivante :

$$Var(S) = 1/18 [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(p-1)(2p+5)]$$

Où  $t_p$  est le nombre d'égalités impliquant  $p$  valeurs.

### 2.3. Tests de rupture

Deux types de rupture sont recherchés : une rupture dans la moyenne et une inversion dans la tendance.

#### 2.3.1. Changement de moyenne

Pour rechercher un changement de moyenne dans la chronique, deux tests d'homogénéité peuvent être appliqués. Si les données sont normalement distribuées, le test appliqué est le test paramétrique de Buishand. Dans le cas contraire, on applique le test non paramétrique de Pettitt.

Si une rupture significative est détectée, les moyennes arithmétiques sur les tronçons pré- et Post-rupture sont calculées.

#### 2.3.2. Test non paramétrique de Pettitt

Le test de Pettitt est un test non paramétrique qui dérive du test de Mann-Whitney. Ce test est appliqué sur les chroniques non stationnaires disposant d'au moins 3 données et dont la distribution est non normale.

La rupture est dite significative d'un point de vue statistique lorsque la p-value du test est inférieure à 5%.

- **Le test de Pettitt (Pettitt, 1979)**

Le test de Pettitt est non paramétrique. Il dérive du test de Mann-Whitney. L'hypothèse nulle est l'absence de rupture dans la chronique. Elle est testée par la statistique  $U_{t,n}$  considérée pour l'ensemble des valeurs de  $t$  telles que  $1 \leq t \leq n$  :

$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n D_{ij}$  Où :  $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$  où  $X_i$  est le vecteur des données trié par date et la fonction  $\text{sgn}$  est définie par :

$\text{sgn}(X) = 1$  pour  $X > 0$  ;  $\text{sgn}(X) = 0$  pour  $X = 0$  et  $\text{sgn}(X) = -1$  pour  $X < 0$

On utilise alors la variable  $K_n$  pour tester  $H_0$  telle que  $K_n = \max |U_{t,n}|$ .

Si  $k$  correspond à la valeur de  $K_n$ , la probabilité de dépassement de la valeur  $k$  est donnée par :

$$\Pr(K_n > k) \sim 2 \exp\left[-\frac{6k^2}{(n^3 + N^2)}\right]$$

Si  $\alpha$  est supérieur à cette probabilité,  $H_0$  est rejetée. La série présente alors une rupture au temps  $t$  définissant  $K_n$ .

**2.3.3. Test paramétrique de Buishand**

Le test de Buishand est un test paramétrique. Il est appliqué pour les chroniques disposant d'au moins 10 valeurs et dont la distribution est normale. Ce test suppose un non changement de la variance de la série.

- **Le test de Buishand (Buishand, 1982, 1984)**

L'hypothèse  $H_0$  est l'absence de rupture dans la chronique.

Ce test est construit à partir des écarts cumulés à la moyenne jusqu'à un rang  $k$ :

$$S_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})$$

La statistique de test est obtenue par la division des valeurs  $S_k$  par la déviation standard :

$$Z = \max\left(\frac{|S_k|}{\sqrt{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}}\right)$$

Une valeur de  $Z$  élevée est un signe d'une rupture dans la chronique. La significativité du test est calculé en comparant la valeur de  $Z$  à des valeurs critiques.

Les valeurs critiques prises en compte sont celles évaluées par Buishand (1982) par la génération de séquences aléatoires. Ces valeurs sont données comme suit :

N	Z au niveau de confiance		
	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
10	1,5	1,05	1,14
20	1,10	1,10	1,22
30	1,12	1,12	1,24
40	1,13	1,13	1,26
50	1,14	1,14	1,27
100	1,17	1,17	1,29
$\infty$	1,22	1,22	1,36

### 3.1. Situation géographique

La région de Guelma dont fait partie le secteur étudié est située au Nord-est de l'Algérie à 60 km environ de la Méditerranée. Elle est limitée au Nord par la wilaya d'Annaba, au Nord-est par la wilaya d'El Tarf, au Sud-est par la wilaya de Souk Ahras et Oum-El Bouagui, à l'Ouest par la wilaya de Constantine et au Nord-Ouest par la wilaya de Skikda.

La région de Guelma est située à 600km à l'Est d'Alger et à 70 Km à l'ENE de Constantine (Fig. 1). Elle se caractérise par des reliefs montagneux, qui occupent environ 60 % de la région.

Le climat de la région de Guelma est humide, la pluviométrie est de l'ordre de 450 à 600 mm/an. Le principal oued de la région est l'Oued

Seybouse. Ce dernier traverse le bassin de Guelma d'Ouest en Est. (BOUKROUH)

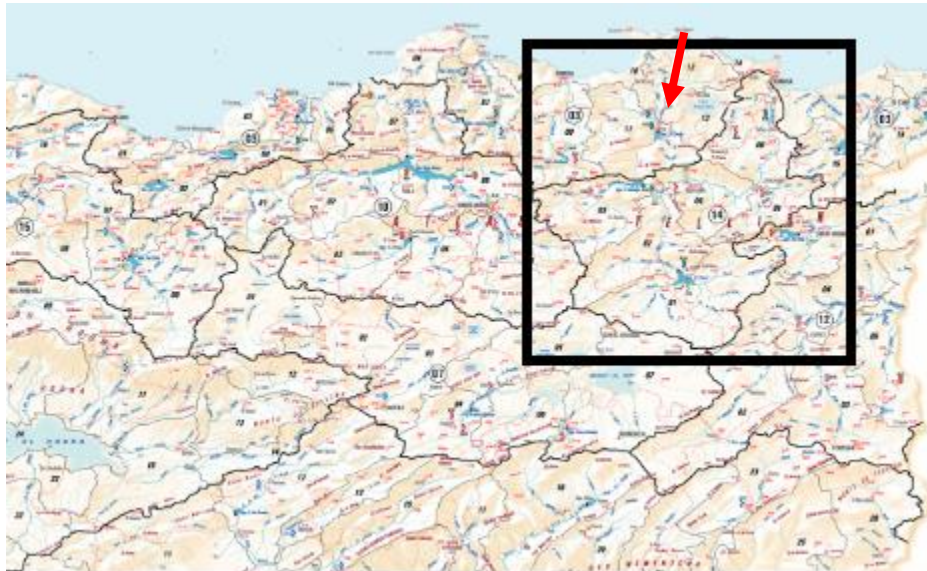


Figure N° 3.1. : Situation géographique de la région étudiée (Encadré en noir)

### 3.2. Hydrogéologie

Le territoire de la Wilaya de Guelma comporte globalement quatre zones (ou sous bassins versants) hydrogéologiques distincts ; zones des plaines de Guelma et Bouchegouf, les nappes captives du champ de Guelma s'étendent sur près de 40 Km le long de la vallée de la Seybouse et sont alimentées par les infiltrations et les ruissellements qui déversent dans l'Oued Seybouse, la zone des Djebels au Nord et Nord-ouest, elle s'étend sur toute la partie Nord de la région du territoire de la Wilaya. Elle regroupe toute la partie de l'Oued Zénati et la partie Nord de la région de Guelma. En dehors de la plaine, une grande partie de cette zone est constituée d'argiles rouges Numidiennes sur lesquelles reposent des grès peu perméables.



La zone des plaines et collines de Tamlouka pour cette région que les structures synclinales du crétacé supérieur peuvent contenir des nappes actives alimentées par des infiltrations sur les calcaires qui n'ont pas une bonne perméabilité quand ils sont profonds. La zone des Djebels surplombant les Oueds Sédrata et Hélia, elle se caractérise par la présence de hautes dalles calcaires du crétacé supérieur qui sont perchées sur des marnes.

### 3.3. Géologie

La région de Guelma fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie Nord orientale. Cet ensemble qui s'étend de la région de Constantine à la frontière Algéro-Tunisienne a une longueur d'environ 200 kilomètres. Sa structure, trop complexe, est due essentiellement à des mouvements tectoniques tertiaires, surtout miocènes. (VILA, J.M., 1980). Le bassin de Guelma, se trouvant dans la partie nord orientale du grand bassin néogène constantinois se particularise par une sédimentation de type évaporitique. Les dépôts évaporitiques du bassin de Guelma sont essentiellement représentés par du sel gemme et du gypse. Un forage de recherche effectué par l'ORGM a traversé plus de 566 mètres de sel gemme.

La région de Guelma dont fait partie le secteur étudiée est situé à 600km à l'Est d'Alger et à 70 Km à l'ENE de Constantine. Elle se caractérise par des reliefs montagneux, qui occupent environ 60 % de la région.

Sur le plan minier, la région de Guelma recèle un potentiel en substances utiles non négligeable dont les plus importantes sont : Gypse, Roches pour agrégats, Barytine, Dolomie, Calcaires, Kaolins et Halloysites, Phosphorites, Argiles, Soufre.

### 3.4. Relief

La géographie de la wilaya est caractérisée par un relief diversifié (Figure \*\*) dont on retient essentiellement une importante couverture forestière et le passage de la Seybouse qui constitue le principal cours d'eau. Les mouvements tectoniques du Plio-Quaternaire ont joué un rôle important dans la morphogenèse de la région. (Brahmia. 2017)

Ce relief se décompose comme suit :

**Montagnes:** 37,82 % dont les principales sont :

1 – Mahouna (Ben Djerrah) : 1.411 M d'Altitude

2 – Houara (Ain Ben Beidha) : 1.292 M d'Altitude

3 – Taya (Bouhamdane) : 1.208 M d'Altitude

## Chapitre 3 : Région d'étude

4 – D'bagh (Hammam Debagh): 1.060 M d'Altitude

**Plaines et Plateaux:** 27,22 %

**Collines et Piémonts:** 26,29 %

**Autres:** 8,67 %

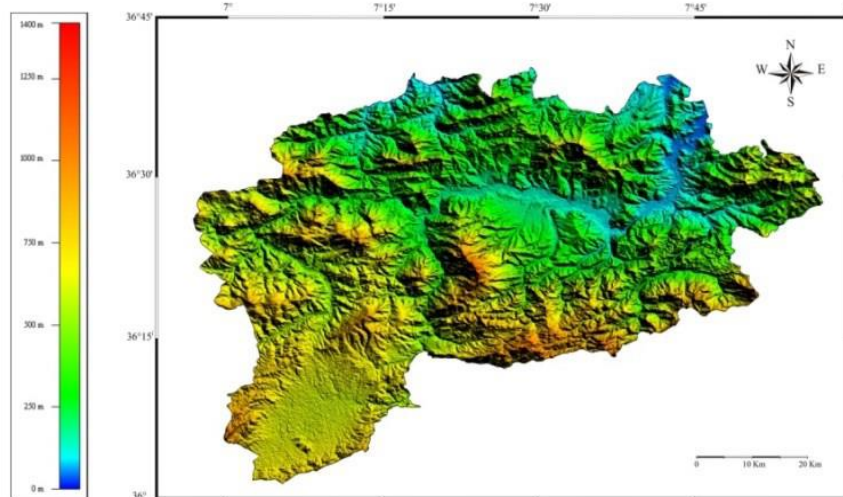


Figure N° 3.2 : DEM de la Wilaya de Guelma

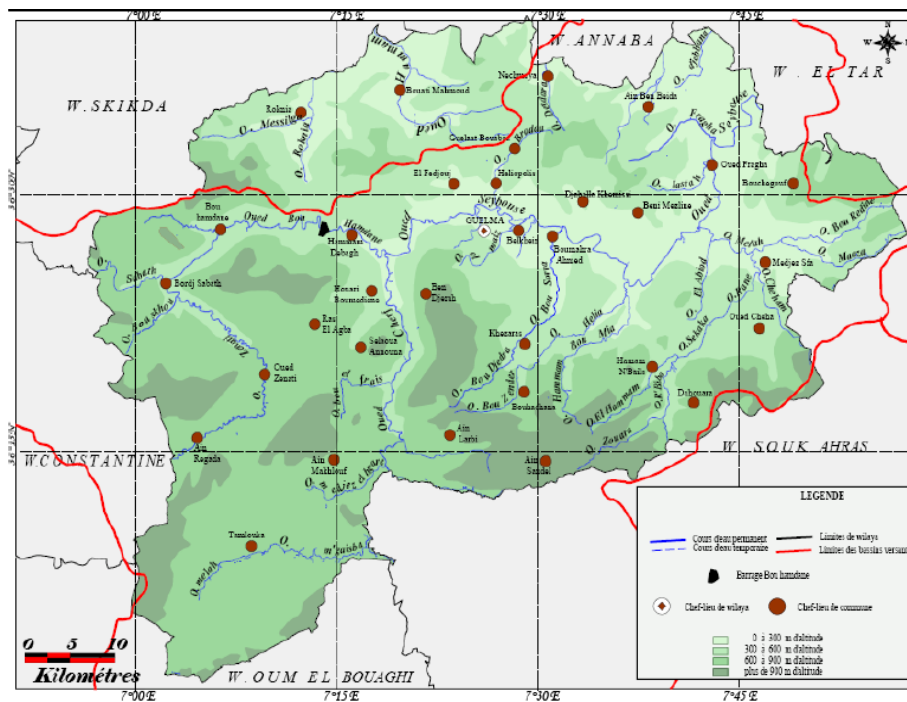


Figure N° 3.3 : Carte de relief de la région de Guelma (Mouchara, 2009)

### 3.5. Climatologie

Le territoire de la Wilaya se caractérise par un climat subhumide au centre et au Nord et semi aride vers le Sud. Ce climat est doux et pluvieux en hiver et chaud en été. La température qui varie de 4° C en hiver à 35.4°C en été, est en moyenne de 17,3° C. (ANDI, 2013)

#### 3.5.1. La température

La température est un facteur climatique qui régit les conditions du déficit d'écoulement. Les données de température en notre possession concernent la station de Guelma et Ain Larbi qui est la limite sud-est de notre terrain.

Les données de températures moyennes mensuelles sont obtenues de la station météorologique de Guelma (Tableau 3.1) pour une période de 15 ans. Les résultats sont représentés dans le (Tableau 3.2)

**Tableau N° 3.1**Coordonnés de la station météorologique de Guelma.

<b>Latitude</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Longitude</b>	<b>Période d'observation</b>
36° 28' N	227	07° 28' E	1994-2008

**Tableau N° 3.2 :** Température moyenne mensuelle de la station de Guelma (1994-2008)  
(MAHDJOUB 2017)

<b>Mois</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Avr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jui</b>	<b>Août</b>
<b>T (°C)</b>	23.56	19.83	14.33	10.87	9.76	10.19	12,46	14,84	19,65	24.25	27.16	27.51

#### 3.5.2. Les précipitations

La répartition des précipitations à Guelma est marquée par une durée de sécheresse durant l'été, avec un minimum de 2.6mm enregistré en juillet. Le reste des saisons est marqué par des précipitations considérables. Le total annuel est de 688.3 mm avec un maximum de 137.7mm enregistré en décembre. Près de 57% de la pluviométrie est enregistrée pendant la saison humide (BERRANEM 2012).

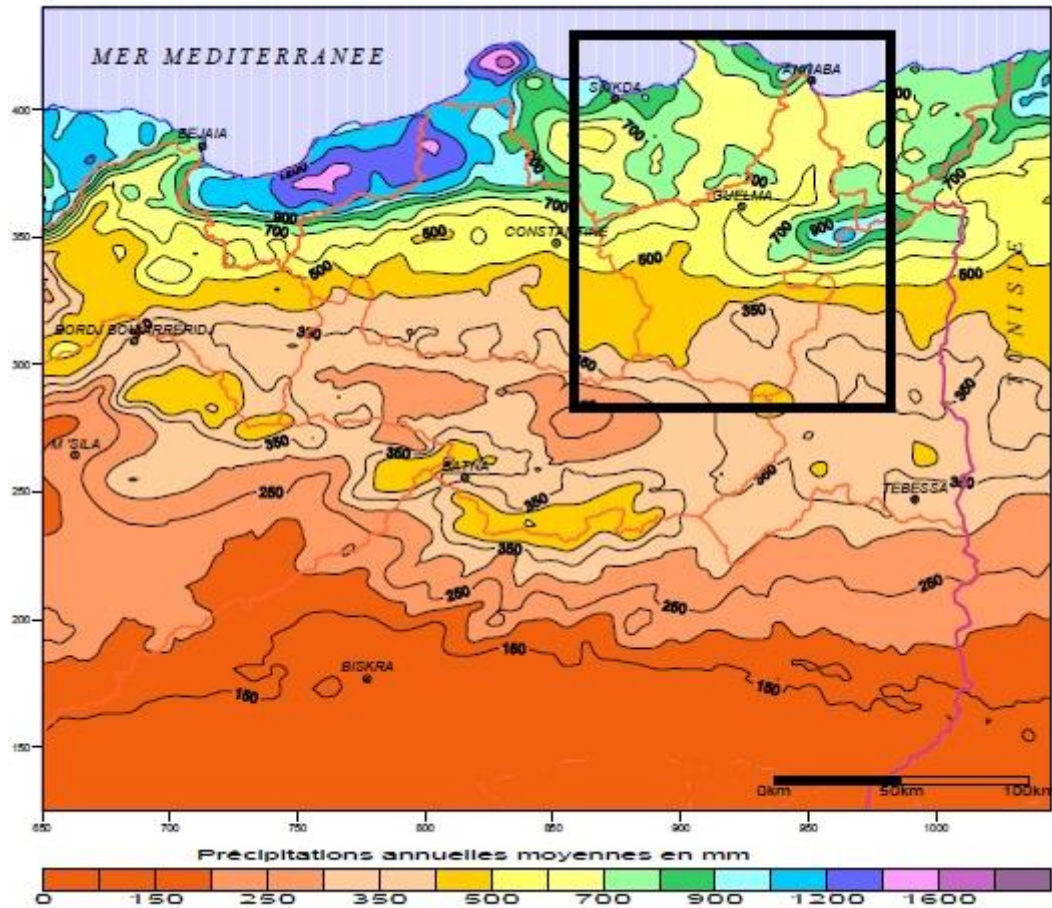


Figure N°3.4 : Carte des précipitations annuelles moyennes de la région de Guelma

(Établie d'après A.N.R.H., 1993 : données moyennes de 60 ans, périodes du 1er septembre 1921 Au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989(MEBARKI)

### 3.5. 3. Humidité

La moyenne mensuelle de l'humidité relative dépasse les 68.3 % avec une moyenne maximale de 94.2% et une moyenne minimale de 29.1%. Les valeurs des humidités moyennes maximales laissent penser à un climat humide ou sub- humide. D'après le calcul d'indice d'aridité de Martonne  $Im = P / Tm + 10$

**Im = 24.70, où  $20 < IDM < 30$**

Donc le climat de Guelma est un climat sub- humide. (ERRANEM 2012).

### 4.1. Choix des stations et Collecte des données

Le réseau pluviométrique du grand bassin d'Oued Seybouse comporte plusieurs stations pluviométriques. La carte de la figure 4.1 présente la situation des 16 stations pluviométriques retenues dans l'étude.

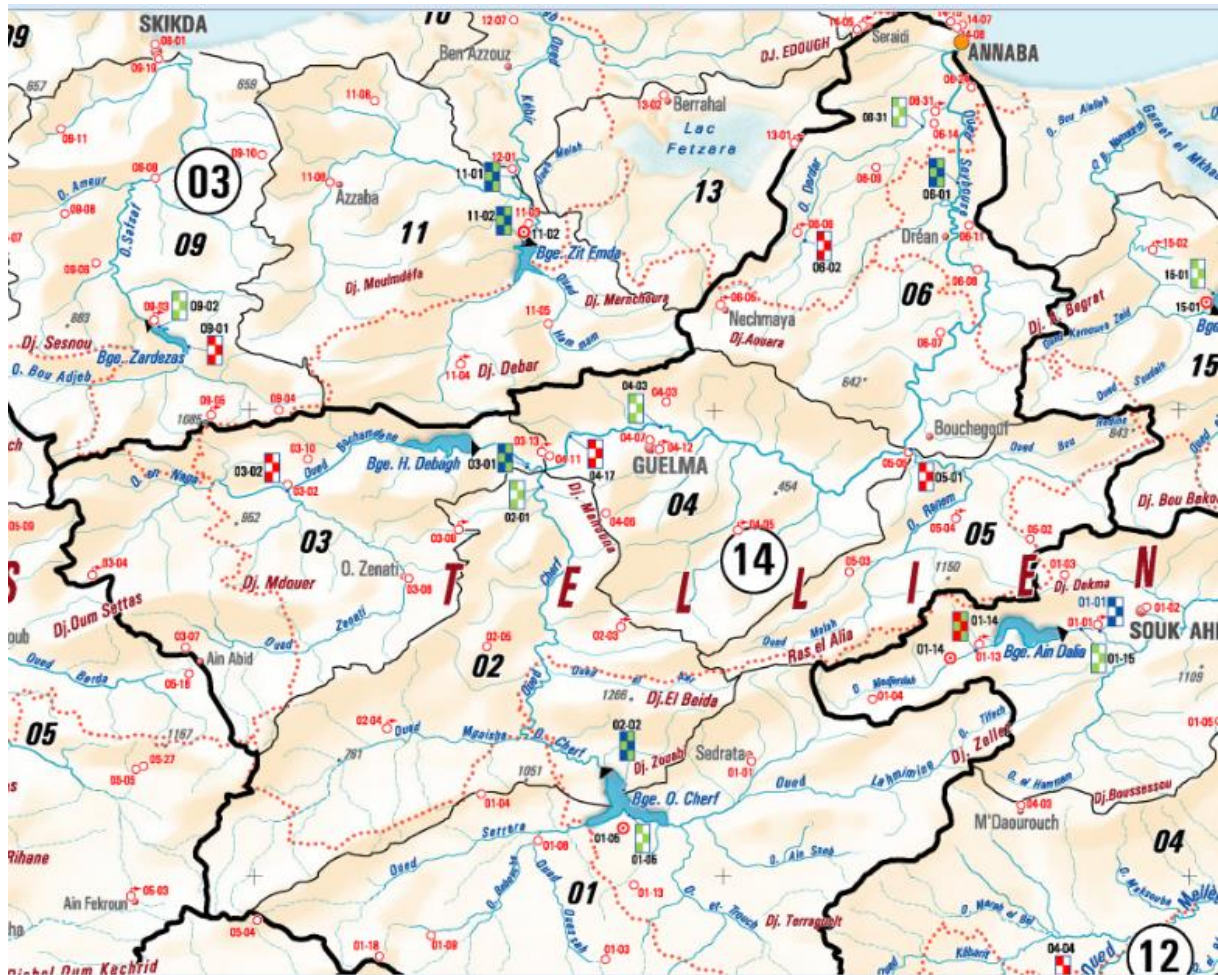


Figure N°4.1 : Carte des stations de la région de Guelma

Pour la région de Guelma, nous avons pu disposer des données des stations pluviométriques. Le tableau ci-dessous résume la situation étudiée.

## Chapitre 4 : Etude de l'évolution des précipitations

**Tableau N°4.1 : Coordonnées et caractéristique des stations étudiée**

Code	Nom des stations	Coordonnées			Période d'observation	Lacunes	Type d'appareil
		X	Y	Z			
140631	Pont Bouchet	950,25	402,8	3	1976-2003	Pas de lacunes	Pluviographe
140611	Kef Mourad	953,8	361,4	19	1969-2003	Pas de lacunes	Pluviomètre
140606	Ain Berda	937,66	387,75	75	1946-2003	1955-1958 1968-1969	Pluviographe
140505	Bouchgouf	949,15	362,2	110	1947-2003	1962-1967 1984-1985	Pluviomètre
140403	Héliopolis	922,15	366,85	280	1967-2003	Pas de lacunes	Pluviomètre
140412	Guelma Lycée Ben Mahmoud	924,1	361,4	280	1972-2003	Pas de lacunes	Pluviographe
140503	Hammam N'bails	943,7	347,5	460	1947-2003	1955-1967	Pluviomètre
140302	Bordj Sabath	889,1	35,1	525	1973-2003	Pas de lacunes	Pluviomètre
140105	Settara	922,39	318,34	740	1971-2003	1084-1985	Pluviomètre
140309	Ras El Agba	905,7	30,9	740	1971-2000	1976-1977	Pluviographe
140502	Mechroha	961,1	351,55	750	1935-2003	1943-1947 1963-1967	Pluviomètre
140103	Berriche	922.0	300.54	800	1948-2003	1956-1971 1991-1993	Pluviomètre
140304	Aria	870,85	343,1	807	1967-1999	1980-1985 1994-1997	Pluviographe
140205	Ain Makhlouf	908,8	337,4	830	1957-2000	Pas de lacunes	Pluviomètre
140104	Ksar Sbahi	910,5	319,0	860	1932-1999	19943-1947 1952-1971 1977-1978	Pluviomètre
140109	Ain Babouche	905,0	303,1	860	1971-2003	Pas de lacunes	Pluviomètre

Une collecte des données a été effectuée par nos soins et qui a consisté à rechercher toute l'information pluviométrique disponible de la région étudiée. Un exemple de données collectées est présenté au tableau 4.1.

**Tableau N°4.2: Données pluviométriques de la station du Pont Bouchet**

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	TOTAL	Nombre de mois/année
1964 1965														
1965 1966														
1966 1967														
1967 1968								20	12	52	0	15	99,0	5
1968 1969	26	5	37	151	107	40	71	39	19	9	22,5	8	534,5	12
1969 1970	117	84	17	219	56	59	94	95	36	0	0	0	777,0	12
1970 1971	5	71	11	33,4	53,5	45,1	28,8	14,5	20,2	0	7,8	3	293,3	12
1971 1972	82,1	108	27,9	31,8	234,2	50,7	55,9	103,7	41,5	25,5	7	0	768,3	12
1972 1973	35,5	74,2	1,4	122,3	139,5	93,5	240,7	31,7	0	24,6	0,8	7,1	771,3	12
1973 1974	46,7	57,2	0,8	71,5	15,8	85,7	59	67,5	6	0	0,9	0	402,1	12
1974 1975	14,9	77,1	47,2	48,8	19	114	67,2	5	81,7	0	0	10,4	485,2	12
1975 1976	9,5	2,6	84,1	59,3	72,5	82,6	80,3	56,2	110	25,4	22,2	13,3	618,0	12
1976 1977	78,7	134,9	162,5	42,6	49	13,7	22,1	80,5	44,3	50,8	0	39,5	718,6	12
1977 1978	15,9	7,1	81,4	11,3	87,3	94,5	61,4	89,8	32,8	11,4	0	1	493,9	12
1978 1979	0	80,4	47	36,6	35,1	93,4	76,1	182,7	7,9	45,6	3,3	6,3	614,4	12
1979 1980	59,4	17,9	88,1	16	41,5	38,8	82,3	66,5	62,1	0,8	0	1,6	475,0	12
1980 1981	60,9	29,2	48,7	172,7	89,8	82,8	52,8	17,5	14	30,5	0	5,4	604,3	12
1981 1982	7,3	26,4	18,6	77,7	83	69,9	143,8	62,1	30,4	1,4	0	0,6	521,2	12
1982 1983	18,2	68	117,6	103,7	38	20,6	71,2	12,8	19,3	7,8	2,3	4	483,5	12
1983 1984	21,2	85,4	112,6	67,5	206,5	263	68,8	53,7	12,6	12,6	0	0,8	904,7	12
1984 1985	34,5	148,3	13,9	292,4	60	66,7	126,6	27,9	57,1	0	0	0	827,4	12
1985 1986	41,7	59,5	11	16,4	128,4	39,6	75,8	42,4	14,3	8,1	0	2,8	440,0	12
1986 1987	34,3	102,1	114,2	161,7	74,4	137	79,3	44	93,8	0,6	27	2,5	871,3	12
1987 1988	3,2	15	60,4	16,2	80,2	37,6	50,3	11,1	42,7	65,4	0	0,3	382,4	12
1988 1989	29,2	1,2	46,2	137,8	34	76	66,5	53,8	7	28,5	36,9	25,6	545,2	12

### 4.2. Prétraitement des données pluviométriques

En vue d'une meilleure analyse des données pluviométriques des stations retenues dans l'étude, nous avons jugé utile d'effectuer un contrôle préliminaire de ces données. Pour cela, nous avons procédé par sous bassin et selon les étapes suivantes :

- **Corrélations entre les stations d'un même sous bassin**
- **Doubles cumuls entre les stations d'un même sous bassin**

Ce travail a pour finalité la constitution de séries fiables, qui serviront à identifier l'évolution de la pluviométrie dans la région de Guelma.

### 4.3. Critique de la qualité des données et détection des anomalies

#### •La corrélation entre les stations

#### 4.3.1. Le sous bassin Oued Seybouse Maritime 14 06 :

##### 4.3.1.1. Corrélation entre les stations Pont Bouchet et Ain Barda :

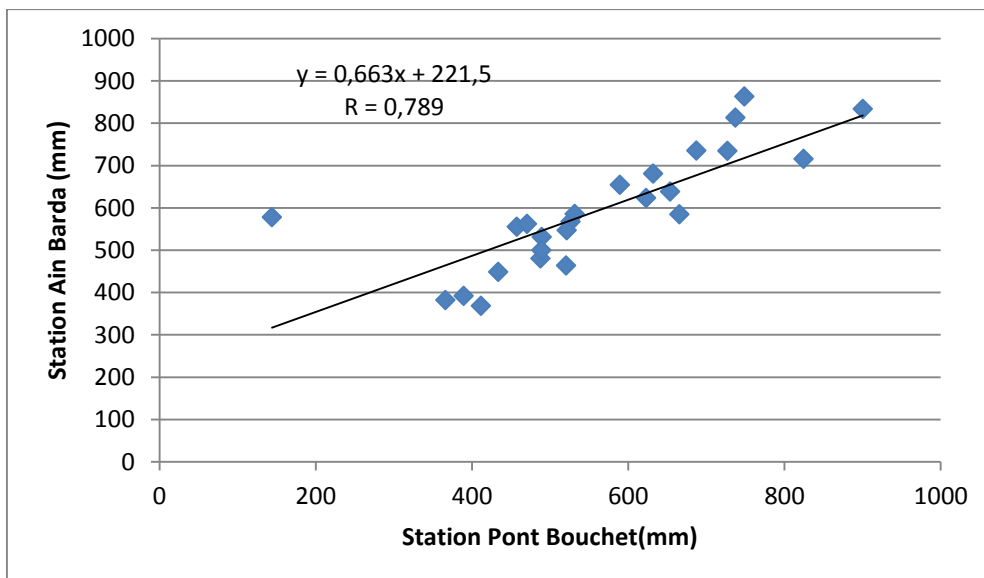
Nous avons considéré que la station de Pont Bouchet est une station de référence pour le sous bassin 14 06, parce que elle assez longue et ne présente pas de lacunes.

**Tableau N°4.3 : les pluies dans les deux stations**

<b>Années Hydrologique.</b>	<b>Pluie de la station de Pont Bouchet (mm)</b>	<b>Pluie de la station d'Ain Barda (mm)</b>
1977-1978	457,5	555,5
1978-1979	589,2	654,5
1979-1980	520,3	464,1
1980-1981	143,9	577,6
1981-1982	665,4	585,1
1982-1983	526,2	567,1
1983-1984	824,6	715 ,9
1984-1985	900,2	833,4
1985-1986	433,7	448,4
1986-1987	737,4	813,6
1987-1988	366,1	382,1
1988-1989	487,8	480,1
1989-1990	489,5	530,9
1990-1991	653,6	638,6
1991-1992	622,9	623,7
1992-1993	632,1	680,6
1993-1994	488,8	500
1994-1995	531,7	585,5
1995-1996	726,8	734,6
1996-1997	389,5	391,8
1997-1998	748,6	863
1998-1999	687,3	735
1999-2000	470,5	562,1
2000-2001	521,4	547,1
2001-2002	411,5	368,2



La figure 4.2 montre la corrélation entre les pluies à Pont Bouchet et les pluies à Ain Barda.

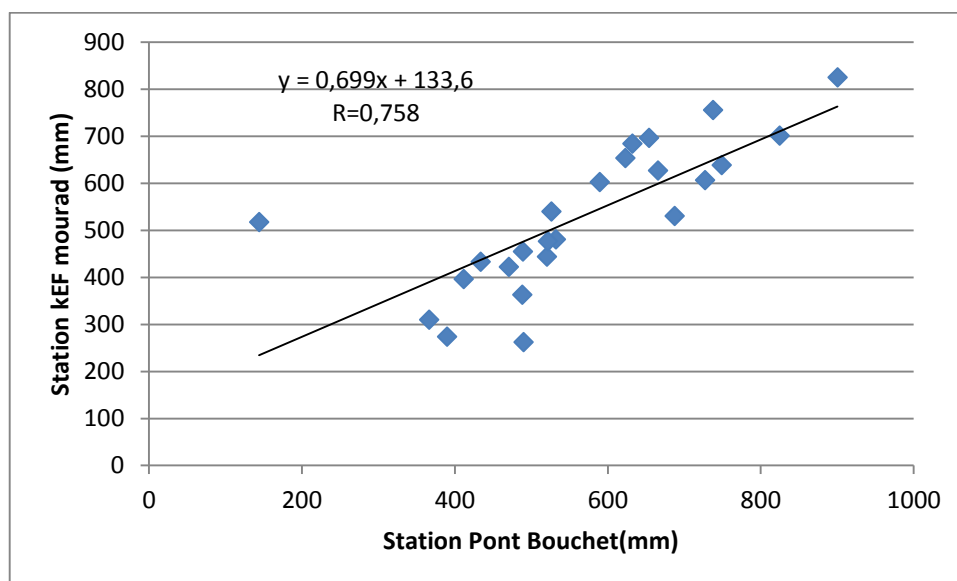


**Figure N°4.2 : Corrélation entre les pluies à Pont Bouchet et les pluies à Ain Barda**

Dans ce graphe, le coefficient de corrélation est  $R=0,789$ . Ce résultat confirme par la forte corrélation qui existe entre les deux stations, qui rappellent le, sont situées dans le même sous bassin et donc la même zone climatique.

### 4.3.1.2. Corrélation entre les stations Pont Bouchet et Kef Mourad :

La figure 4.3 montre la corrélation entre les pluies à Pont Bouchet et les pluies à Kef Mourad.



**Figure N°4.3 : Corrélation entre les pluies à Pont Bouchet et les pluies à Kef Mourad**

Le graphique précédent montre que la corrélation est forte entre les deux stations ( $R=0,758$ ).

### 4.3.1.3. Corrélation entre les stations Ain Barda et Kef Mourad :

La figure 4.4 montre la corrélation entre les pluies à Ain Barda et les pluies à Kef Mourad.

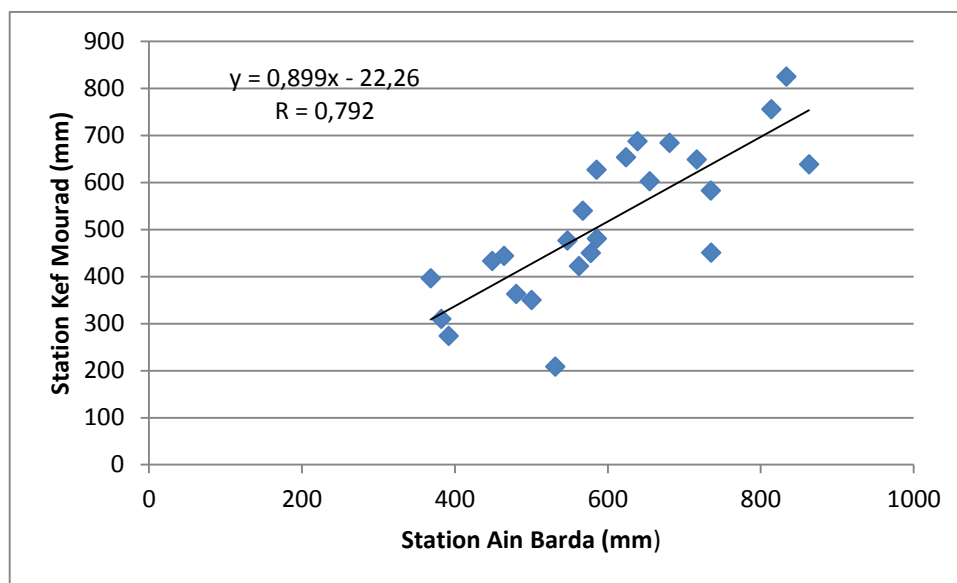


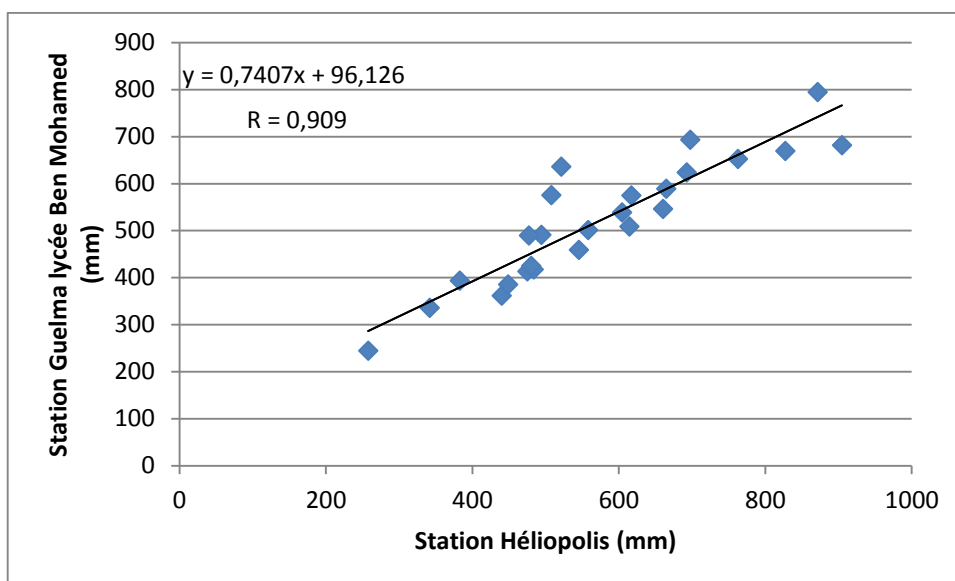
Figure N°4.4 : Corrélation entre les pluies à Ain Barda et les pluies à Kef Mourad

Dans ce graphique les points indiquent une corrélation linéaire positive forte. Le coefficient  $R=0,792$ .

### 4.3.2. Le sous bassin Oued Seybouse moyenne 1404 :

#### 4.3.2.1. Corrélation entre la station Héliopolis et la station Guelma lycée Ben Mohamed :

On considère que la station Héliopolis(140403) est la station de référence, du fait qu'elle possède une longue période d'observation (1967-2003) et ne présente pas de lacunes. La figure 4.5 montre la corrélation entre les pluies à Héliopolis et les pluies à Guelma lycée Ben Mohamed.



**Figure N°4.5 : Corrélation entre les pluies à Héliopolis et les pluies à Guelma lycée**

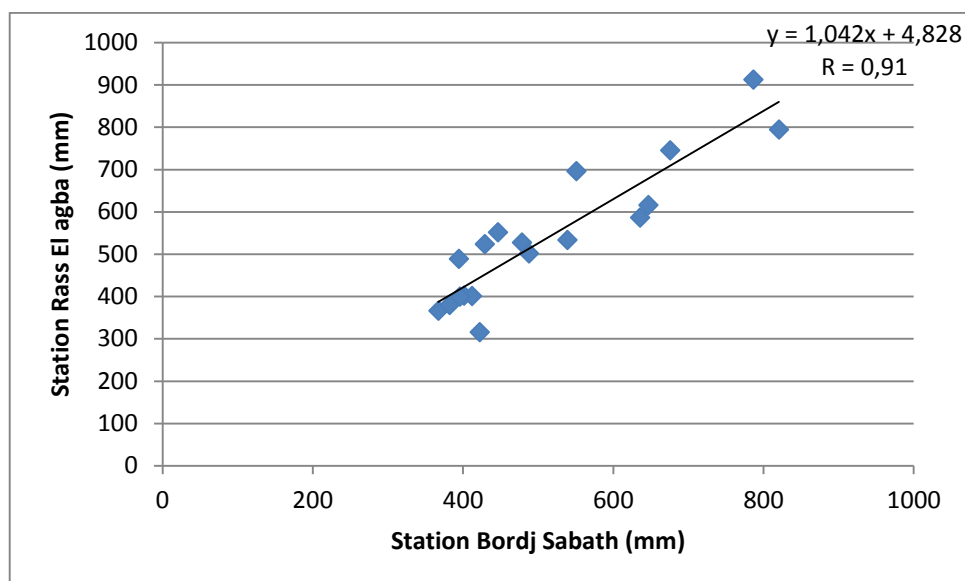
Dans cette figure, le coefficient de corrélation est  $R=0,909$ , qui signifie une très forte relation fonctionnelle entre les pluies de ces deux stations à l'échelle annuelle.

### 4.3.3. Le sous bassin Oued Bouhamane 1403:

#### 4.3.3.1. Corrélation entre la station Bordj Sabth et Rass El agba :

On considère que la station Bordj Sabth (14 03 02) est la station de référence car elle se situe au centre du sous bassin, ne présente pas des lacunes et les données s'étalent sur une assez longue période d'observation (1973-2003).

La figure 4.6 montre la corrélation entre les pluies à Bordj Sabth et les pluies à Rass El agba (14 0309) .Cette dernière se situe à la limite des sous bassins 14 03 et 14 02.



**Figure N°4.6: Corrélation entre les pluies à Bordj Sabth et les pluies à Rass El agba**

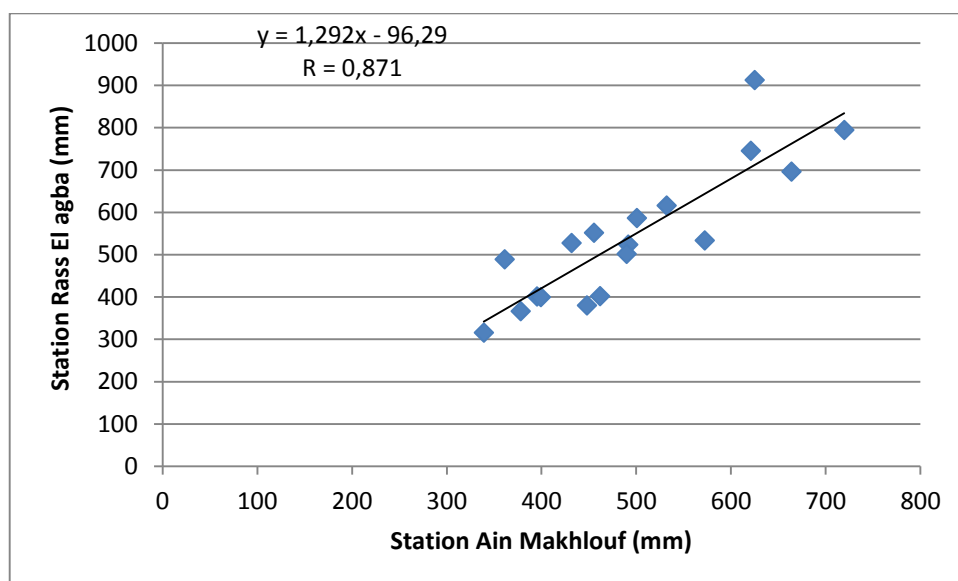
La figure montre une très forte corrélation entre les pluies aux deux stations. ( $R=0,91$ ).

### 4.3.4. Le sous bassin Oued Cheref Aval 14 02:

#### 4.3.4. 1.La corrélation entre les stations Ain Makhlouf et Rass El agba :

Nous avons considéré que la station Ain Makhlouf (14 02 05) est une station référence car elle e présent pas des lacunes. Elle est se trouve au centre de garvité du sous bassin.

La figure 4.7 montre la corrélation entre les pluies à Ain Makhlouf et les pluies à Rass El agba (14 03 09).



**Figure N°4.7 : Corrélation entre les pluies à Ain Makhlouf et les pluies à Rass El agba**

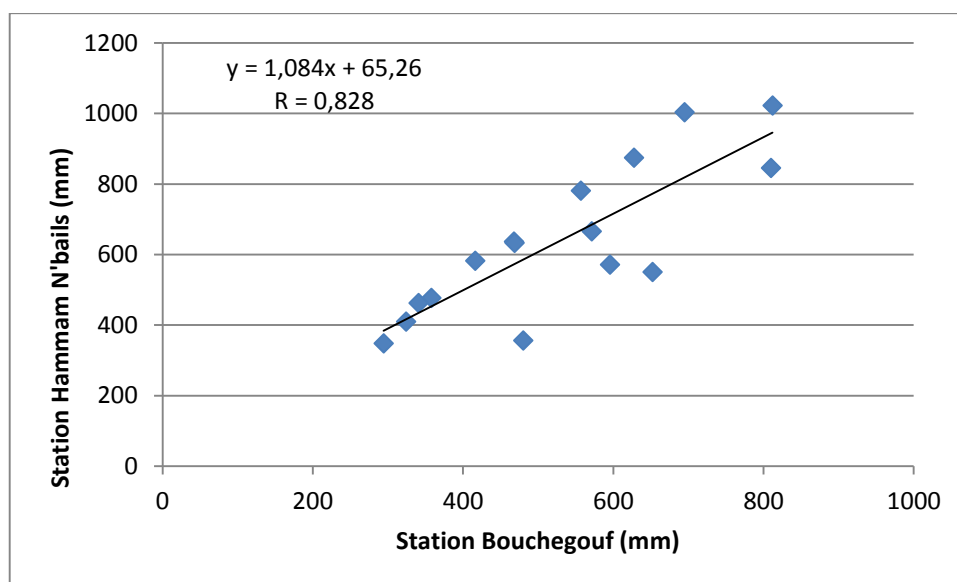
Dans cette figure, on note un coefficient de corrélation  $R=0,871$ , signifiant ainsi la présence d'une relation fonctionnelle assez forte entre les deux stations.

### 4.3.5. Le sous bassin Oued Melah 14 05:

#### 4.3.5.1. La corrélation entre les stations Bouchegouf et Hammam N'bails :

Nous avons considéré que la station de Bouchegouf (14 05 05) est une station référence. La figure X montre la corrélation entre les pluies à Ain Makhoulfet les pluies à Rass El agba (14 03 09).

La figure 4.8 montre la corrélation entre les pluies à Bouchegouf et les pluies à Hammam N'bails (14 05 03).



**Figure N°4.8 : Corrélation entre les pluies à Bouchegouf et les pluies à Hammam N'bails**

Le graphique de corrélation indique une forte relation entre les pluies aux deux stations ( $R=0,828$ ).

4.3.5.2. La corrélation entre les stations Bouchegouf et Machroha :

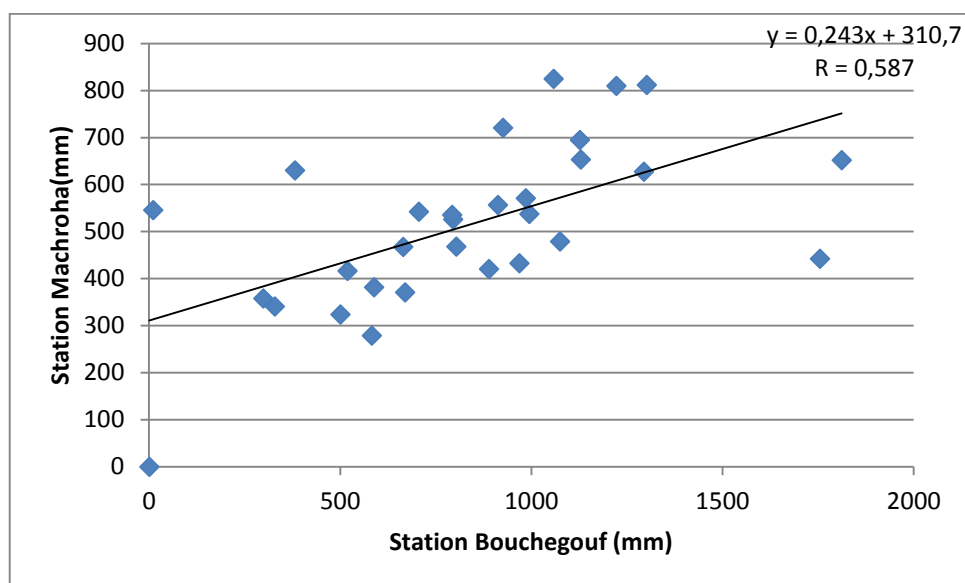


Figure N°4.9: Corrélation entre les pluies à Bouchegouf et les pluies à Machroha

Dans ce graphe ci-dessus les points sont pas dans le même droit est le coefficient de corrélation est très faible  $R=0,587$  donc l'ajustement n'est pas considérer.

4.3.6. Le sous bassin Oued Cheref amont 1401 :

Nous avant considéré que la station de Settara est une station référence car elle ne présente pas de lacunes.

4.3.6.1. La corrélation entre les stations Settara et Ksar Sbahi :

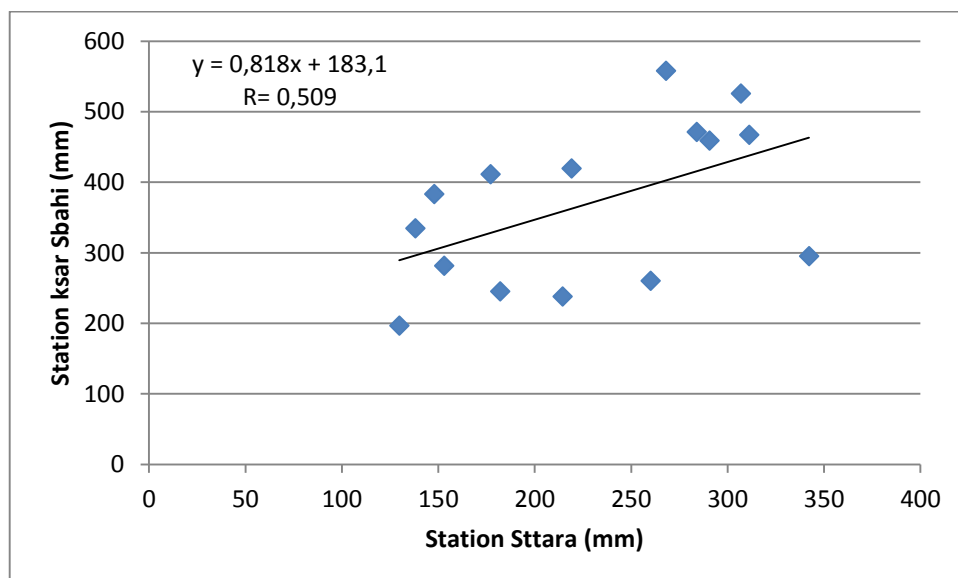
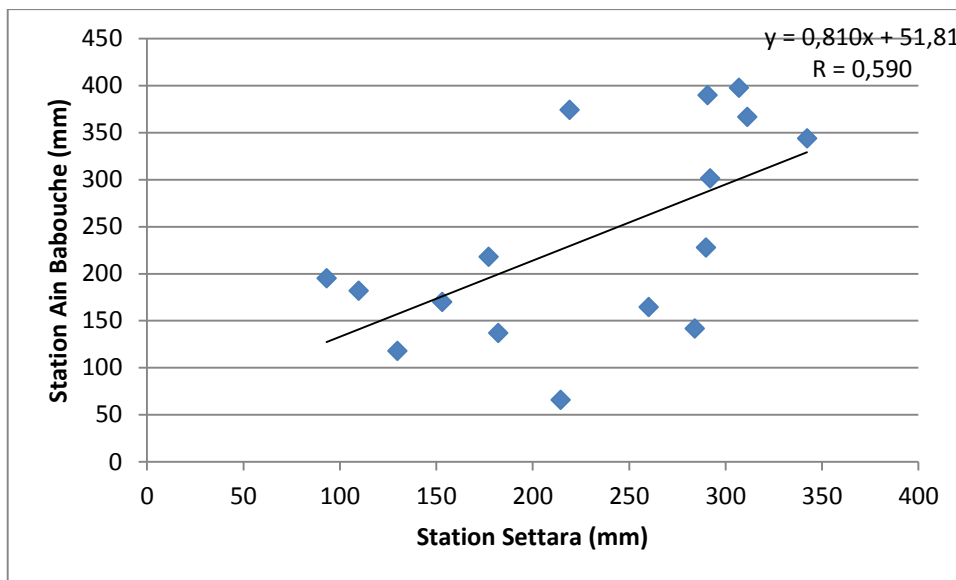


Figure N°4.10: Corrélation entre les pluies à Settara et les pluies à ksar Sbahi

Dans ce graphe l'ajustement de corrélation n'est pas considéré parce que le coefficient de corrélation est faible  $R=0,509$ .

**4.3.6.2. La corrélation entre les stations Settara et Ain Babouche :**



**Figure N°4.11 : Corrélation entre les pluies à Settara et les pluies à Ain Babouche**

Dans ce graphe l'ajustement de corrélation est faible puisque les points ne sont pas dans le même droit et le coefficient de corrélation  $R=0,590$ .

**4.4. Recherche de double cumule entre les stations.**

**4.4.1. Le sous bassin Oued Seybouse Maritime 1406:**

**4.4.1.1. Double cumuls entre les pluies à Pont Bouchet et les pluies à Ain Barda :**

Dans le tableau ci-dessous sont représentées les pluies aux stations Pont Bouchet et Ain Barda. Nous avons retenu la station de Pont Bouchet (14 06 31) comme étant la station de référence et la station d'AinBerda (14 06 06), une station dont nous désirons contrôler sa fiabilité.

Années	Pluie de la station de Pont Bouchet (mm)	Pluie de la station d'Ain Barda (mm)	Cumuls de la station de Pont Bouchet	Cumuls de la station d'Ain Barda
1977-1978	457,5	555,5	457,5	555,5
1978-1979	589,2	654,5	1046,7	1210

## Chapitre 4 : Etude de l'évolution des précipitations

1979-1980	520,3	464,1	1567	1674,1
1980-1981	143,9	577,6	1710,9	2251,7
1981-1982	665,4	585,1	2376,3	2836,8
1982-1983	526,2	567,1	2902,5	3403,9
1983-1984	824,6	715,9	3727,1	4119,8
1984-1985	900,2	833,4	4627,3	4953,2
1985-1986	433,7	448,4	5061	5401,6
1986-1987	737,4	813,6	5798,4	6215,2
1987-1988	366,1	382,1	6164,5	6597,3
1988-1989	487,8	480,1	6652,3	7077,4
1989-1990	489,5	530,9	7141,8	7608,3
1990-1991	653,6	638,6	7795,4	8246,9
1991-1992	622,9	623,7	8418,3	8870,6
1992-1993	632,1	680,6	9050,4	9551,2
1993-1994	488,8	500	9539,2	10051,2
1994-1995	531,7	585,5	10070,9	10636,7
1995-1996	726,8	734,6	10797,7	11371,3
1996-1997	389,5	391,8	11187,2	11763,1
1997-1998	748,6	863	11935,8	12626,1
1998-1999	687,3	735	12623,1	13361,1
1999-2000	470,5	562,1	13093,6	13923,2
2000-2001	521,4	547,1	13615	14470,3
2001-2002	411,5	368,2	14026,5	14838,5

Le graphique suivant illustre la méthode des doubles cumuls. On constate qu'il n'y a pas de cassure et par conséquent les deux stations sont homogènes.



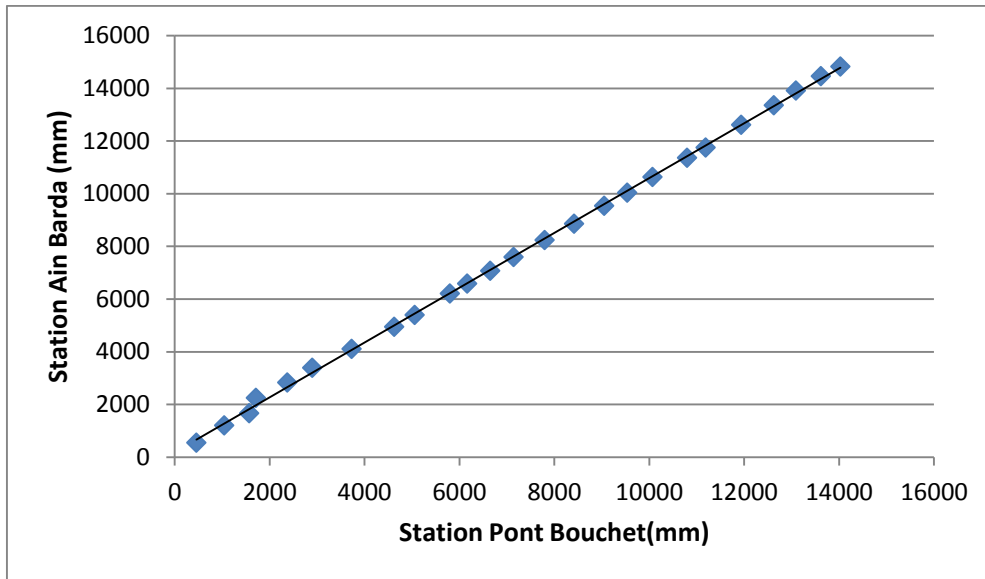


Figure N°4.12 : Double cumuls entre la station de Pont Bouchet et Ain barda

4.4.1.2. Double cumuls entre les pluies à Pont Bouchet et les pluies à Kef Mourad :

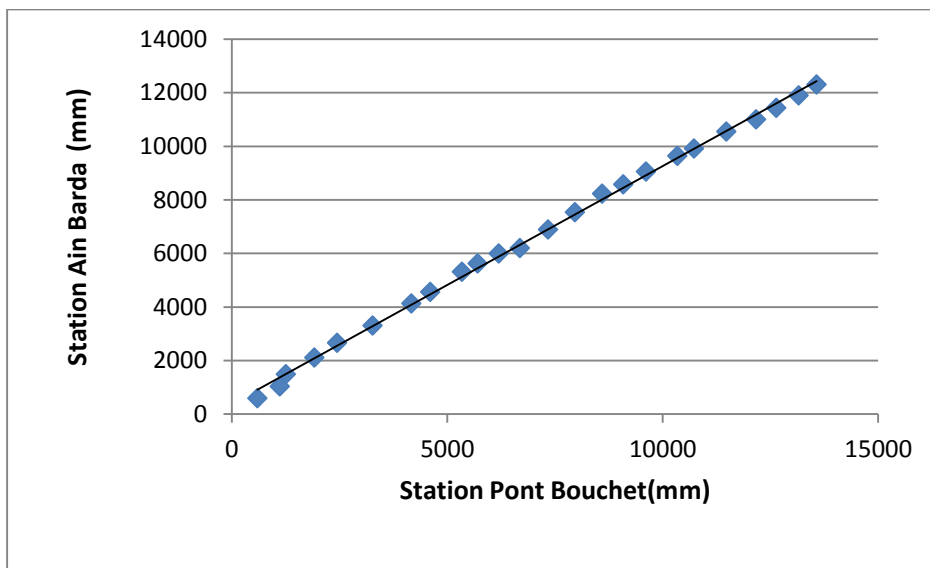


Figure N°4.13 : Double cumuls entre la station de Pont Bouchet et Ain Barda

4.4.1.3. Double cumuls entre les pluies à Ain Barda et les pluies à Kef Mourad :

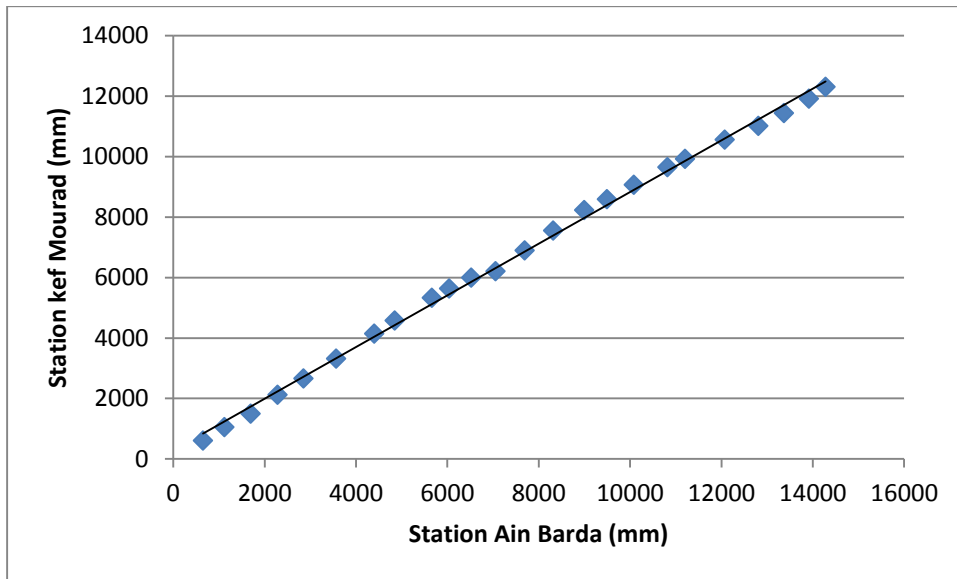


Figure N°4.14 : Double cumuls entre la station d'Ain Barda et Kef Mourad

4.4.2. Sous bassin Oued Seybouse moyenne 1404 :

4.4.2.1. Double cumuls entre les pluies à Héliopolis et les pluies à Guelma lycée Ben Mohamed :

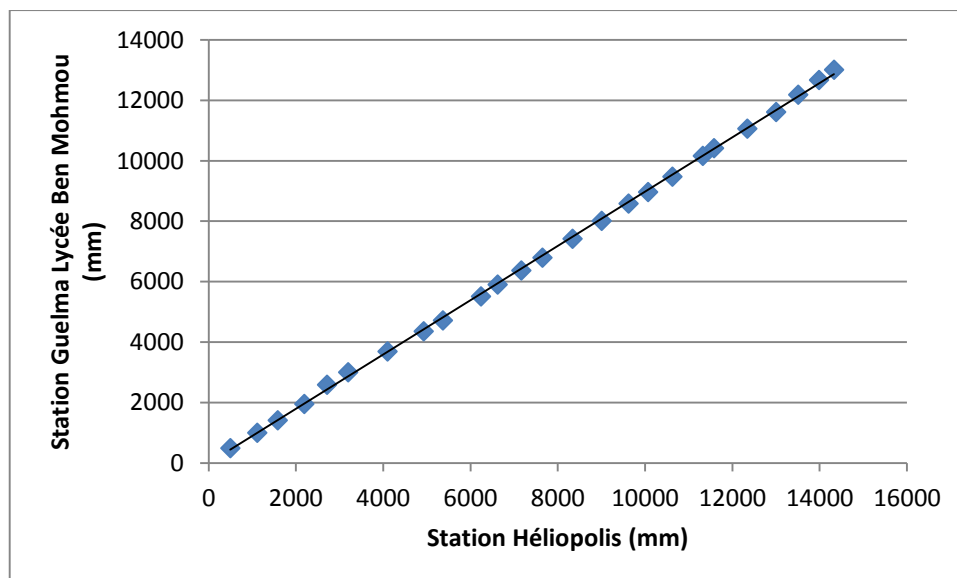


Figure N°4.15 : Double cumuls entre la station de Héliopolis et Guelma lycée Ben Mohamed

4.4.3. Sous bassin Oued Bouhamane 1403:

4.4.3.1. Double cumuls entre les pluies à Bordj Sabth et les pluies à Rass El agba:

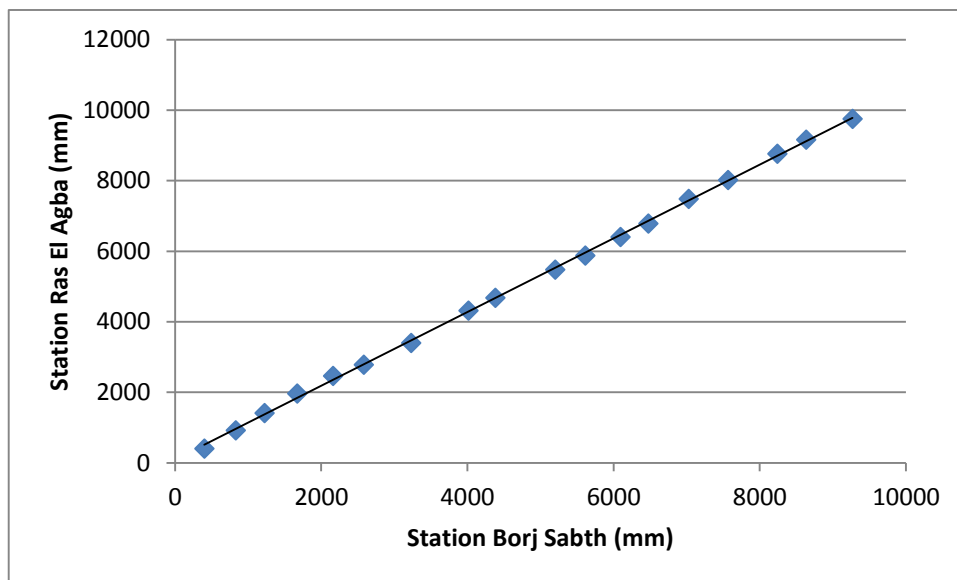


Figure N°4.16 : Double cumuls entre la station de Borj Sabth et Ras El Agba

4.4.4. Le sous bassin Oued Cheref Aval 1402:

4.4.4.1. Double cumuls entre les pluies à Ain Makhoulf et les pluies à Rass El agba :

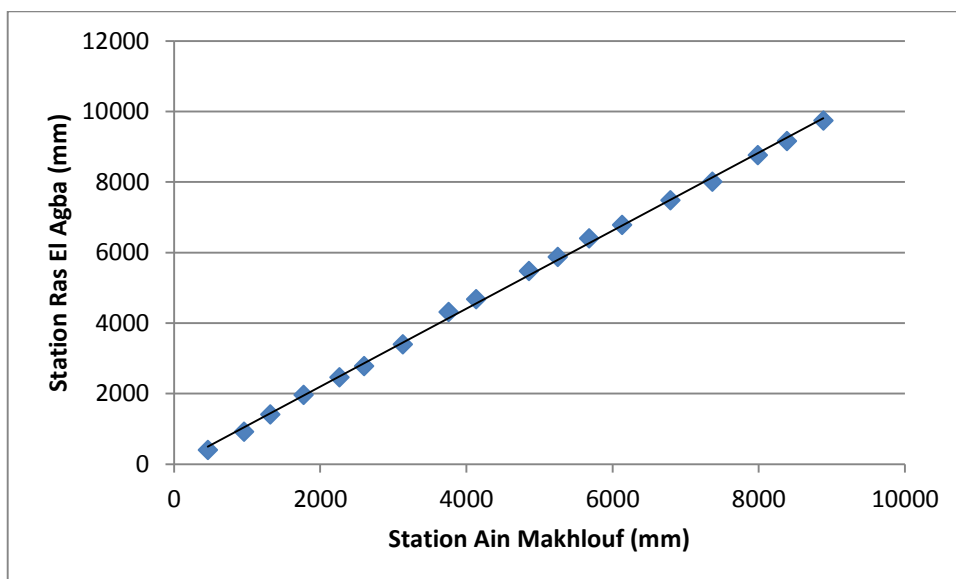


Figure N°4.17 : Double cumuls entre la station d'Ain Makhoulf et Ras El Agba

4.4.5. Le sous bassin Oued Melah 1405:

4.4.5.1. Double cumuls entre les pluies à Bouchegouf et les pluies à Hammam N'bails :

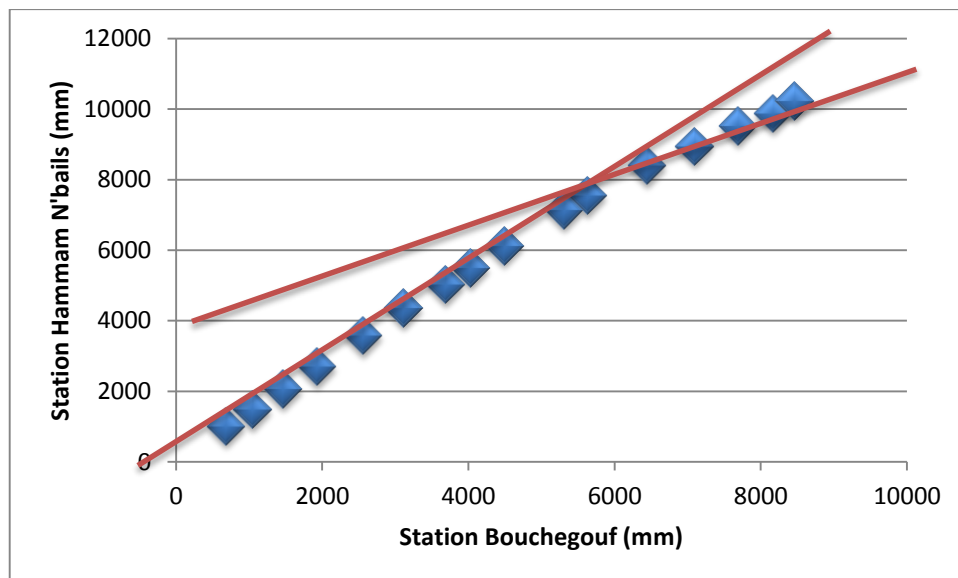


Figure N°4.18 : Double cumuls entre la station de Bouchegouf et Hammam N'bails

Le résultat graphique montre une cassure des doubles cumuls à partir de l'année 1995-1996. La correction des données concerne la période 1996- 1997.

4.4.5.2. Double cumuls entre les pluies à Bouchegouf et les pluies à Machroha :

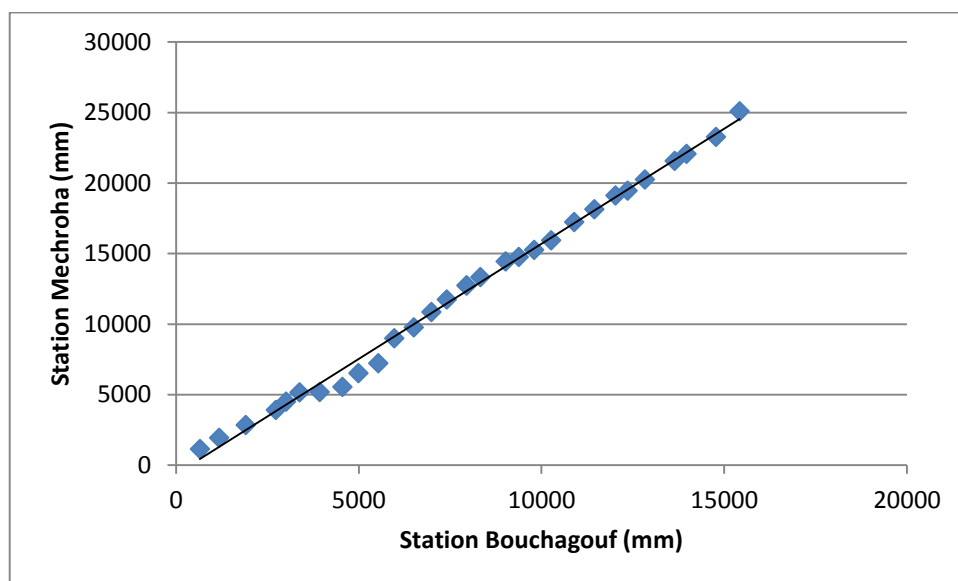


Figure N°4.19: Double cumuls entre la station de Bouchegouf et Machroha

Dans le graphe ci-dessus on observe une cassure à partir de l'année 1974-1975. On enregistre durant l'année 1975-1976, 10,5mm à la station Machroha alors que la station Bouchagouf la pluie est de 545,5 mm. Ce problème se répercute sur les cumuls suivants jusqu'à l'année 1979/1980.

### 4.4.6. Le sous bassin Oued cheref amont 1401:

#### 4.4.6.1. Double cumuls entre les pluies à Settara et les pluies à Ksar Sbahi :

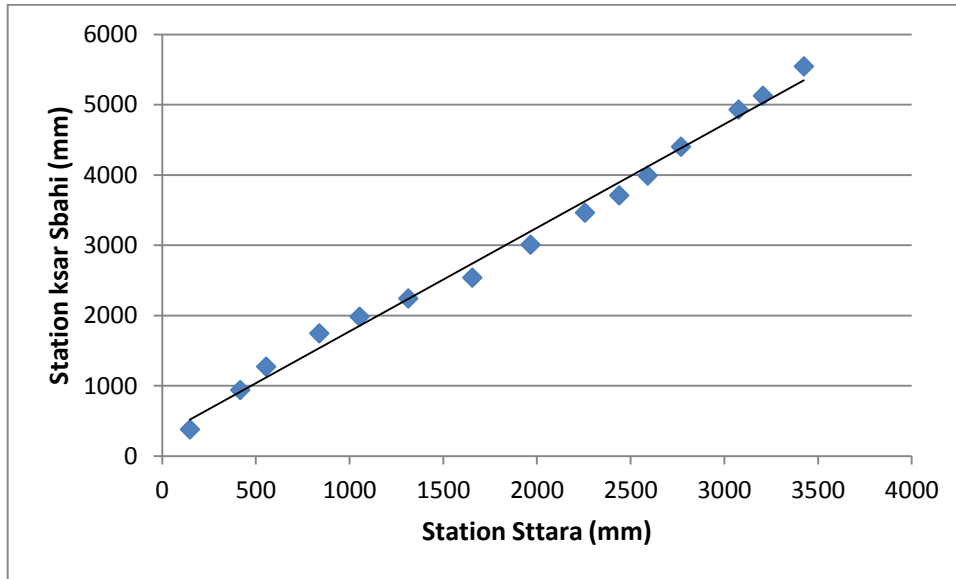


Figure N°4.20 : Double cumuls entre la station de Settara et Ksar Sbahi

#### 4.4.6.2. Double cumuls entre les pluies à Settara et les pluies à Ain Babouche :

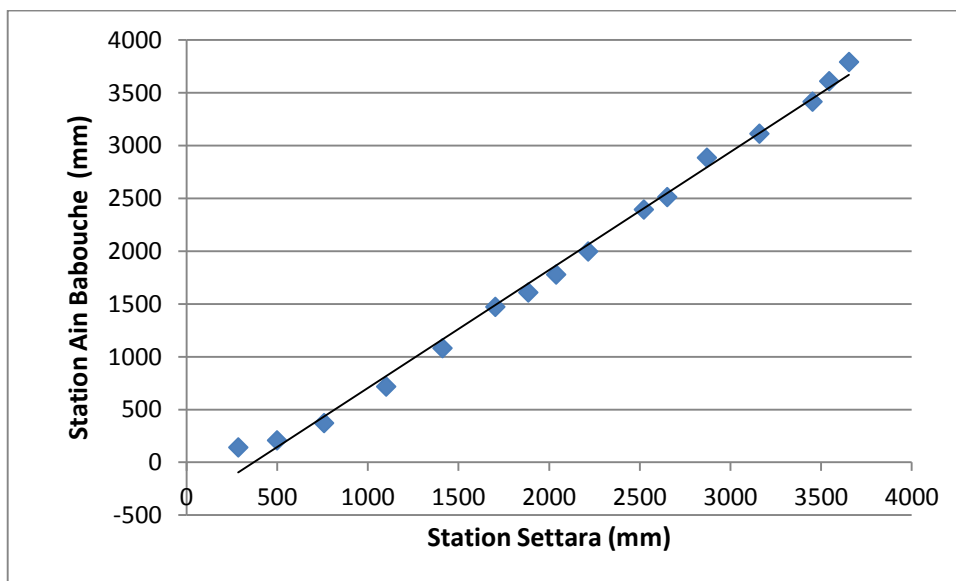


Figure N°4.21 : Double cumuls entre la station de Settara et Ksar Sbahi

**4.5. Comblement des lacunes des stations pluviométriques de la région de Guelma**

L'homogénéisation des données dans cette étude s'est focalisée sur le comblement des lacunes. Nous avons testé la corrélation avant comblement entre les stations deux à deux sur des périodes communes. Les résultats sont donnés au tableau N° 4.4. Il est à rappeler que la station de référence ne présente pas de lacunes.

**Tableau N°4.4 : Résultat de corrélation avant comblement**

<b>Station de référence</b>	<b>Station à combler</b>	<b>Coefficient de corrélation</b>
140302	140309	0,910
140104	140109	0,693
140403	140412	0,908
140505	140502	0,587
140505	140503	0,828
140631	140611	0,750

L'ensemble des résultats montre de bonnes corrélations à l'exception des stations du sous bassin 05, Lors du comblement des données, nous avons utilisé trois méthodes :

Méthode 01 : remplacer la valeur manquante par celle de la station la plu proche

Méthode 02 : remplacer la valeur manquante par la moyenne des stations voisines

Méthode 03 : remplacer la valeur manquante par la moyenne avant et après lacune

Le tableau ci-dessous résume les résultats du coefficient de corrélation entre les stations :

**Tableau N°4.5 : Résultat de corrélation après comblement**

<b>Station de référence</b>	<b>Station à combler</b>	<b>Méthode 01</b>	<b>Méthode 02</b>	<b>Méthode 03</b>
140302	140309	<b>0,925</b>	0,912	0,903
140104	140109	<b>0,742</b>	0,727	0,692
140403	140412	<b>0,904</b>	0,893	0,886
140505	140502	<b>0,551</b>	0,525	0,536
140505	140503	0,868	0,849	<b>0,897</b>
140631	140611	0,750	0,749	<b>0,758</b>

On constate que la méthode 01 (remplacer la valeur manquante par celle de la station la plu proche) apporte une amélioration sur le coefficient de corrélation des stations concernées par le comblement : 140309 ; 140109 ; 140412 ; 140502

Sur la base de ces résultats nous avons constitué les séries à analyser.

### 4.6. Etude de l'évolution de la pluviométrie

L'étude de l'évolution des précipitations concernera les stations suivantes :

1. 140403
2. 140631
3. 140505
4. 140302
5. 140205
6. 140105
7. 140412

Dans se qui suit nous allons :

- Déterminer les paramètres statistiques des séries considérées
- Etudier la répartition spatiotemporelle de la pluviométrie dans la région de Guelma
- Etudier l'évolution de la pluviométrie selon une approche statistique

#### 4.6.1. Station Pont Bouchet140631 :

##### 4.6.1.1. Statistiques descriptives

Les valeurs statistiques (Données quantitatives) de la station Pont Bouchet(140631) sont données dans le tableau ci-dessous :

**Tableau N°4.6 : Statistiques descriptives (Données quantitatives)**

Statistique	Station 140505
Nb. d'observations	24
Minimum	143,900
Maximum	900,200
Amplitude	756,300
1er Quartile	483,475

## Chapitre 4 : Etude de l'évolution des précipitations

Médiane	528,950
3ème Quartile	670,875
Moyenne	565,375
Ecart-type (n-1)	165,777
Coefficient de variation	0,287

Le Box Plot est montré à la figure N°4.22

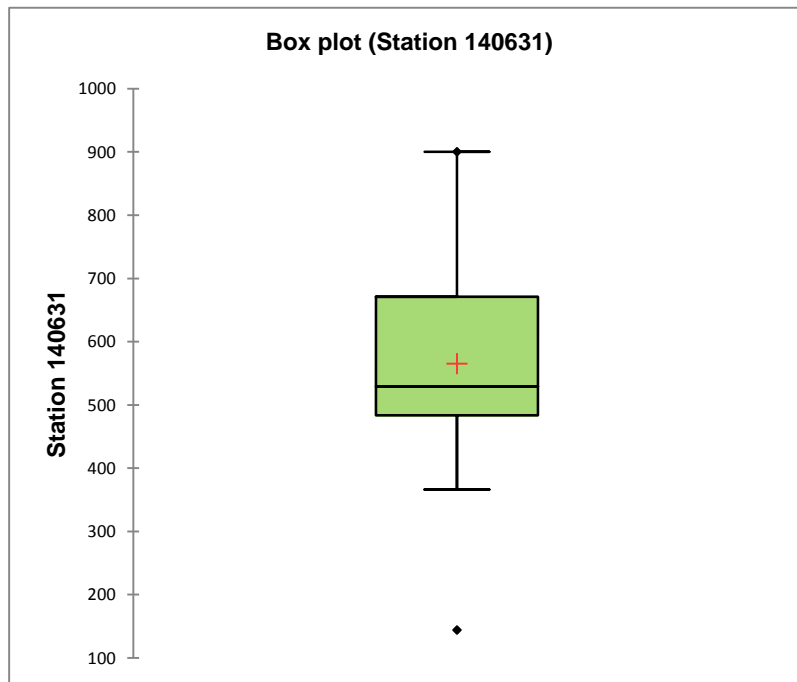
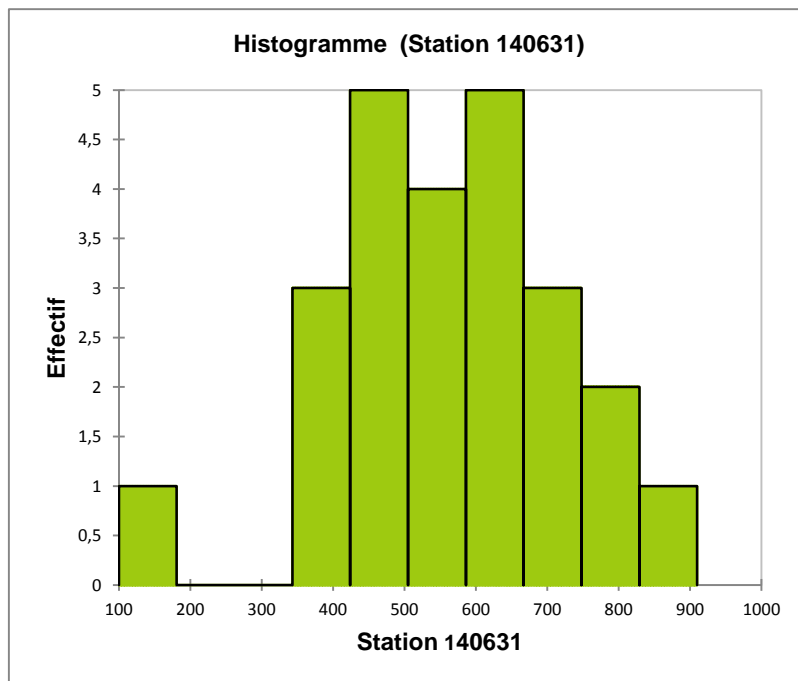


Figure N°4.22 : Box plot des pluies annuelles à la station 140631



L'Histogramme des fréquences est montré à la figure 4.23



**Figure N°4.23 : Histogramme des pluies à la station 140631**

La majorité des valeurs de pluies sont comprises entre les classes 300-400 à 600-700 mm.

### 4.6.1.2. Régression linéaire

La régression est une méthode qui aide à connaître la tendance dans une série chronologique. Elle permet de détecter les anomalies dans les séries chronologiques.

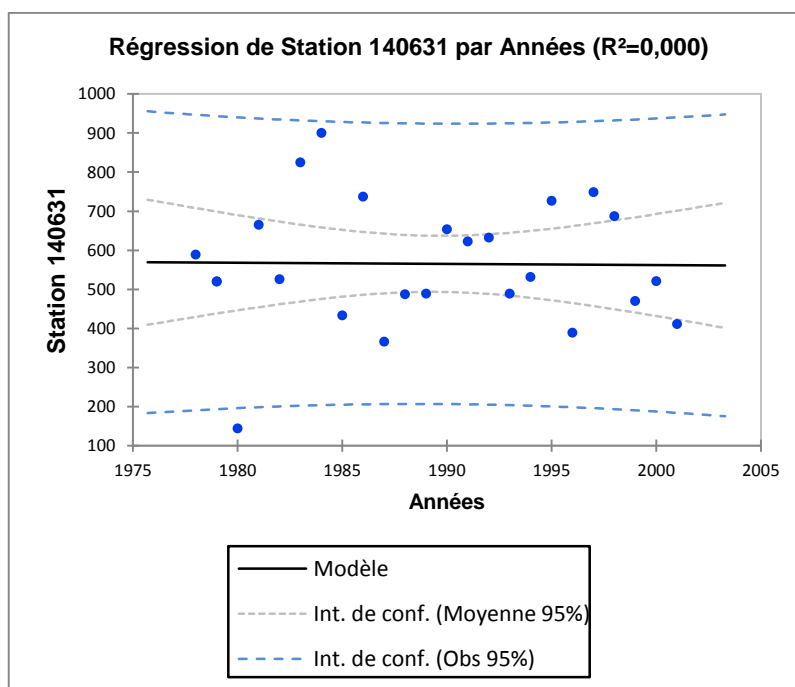


Figure N°4.24 : Régression linéaire de station 140631

Le résultat de la régression linéaire montre une valeur anomalie, 143,90 mm enregistrée durant l'année 1980.

#### 4.2.6.1.3. Répartition temporelle de la pluviométrie dans la région de Guelma

La figure 4.25 montre une variabilité modérée de la pluie annuelle à la station 140631. Les deux années successives (1983-1984) et (1984-1985) ont enregistrées les plus fortes pluies. A l'opposé, l'année (1980-1981) a été l'année la plus déficitaire en pluie.

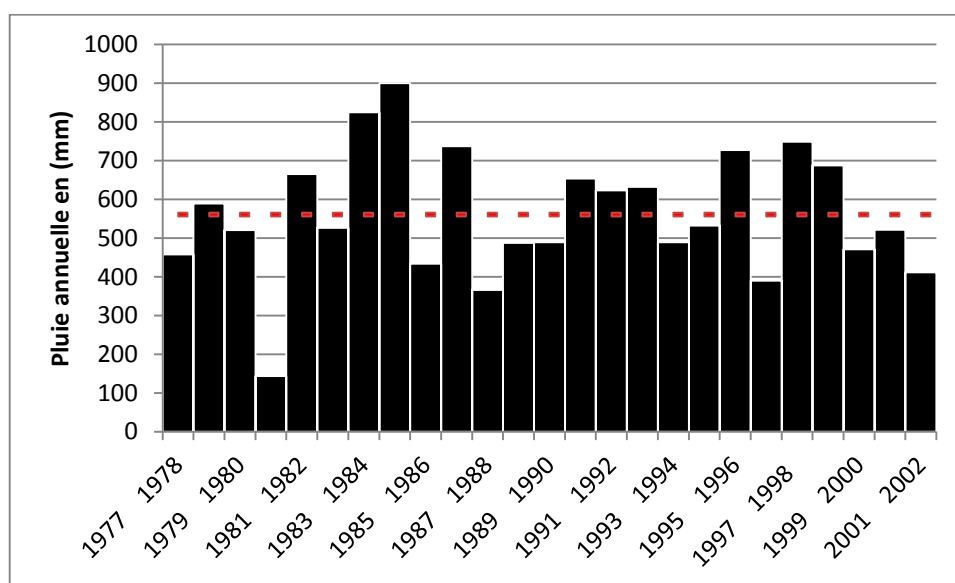


Figure N°4.25: Répartition des pluies annuelles à la station 140631

### 4.6.1.4. Approche statistique de l'évolution de la pluviométrie à la station considérée

Plusieurs méthodes sont utilisées pour analyser l'évolution de la pluviométrie dans une région. Parmi ces méthodes, il y a les techniques statistiques qui sont plus performantes et significatives de cette évolution. Dans ce mémoire nous avons utilisé les tests les plus courants : le test de Mann Kendall pour l'étude de la tendance, les tests de Pettitt, Buishand, SNHT et Van Leuven pour la détection des ruptures dans les séries chronologiques.

#### 4.6.1.4.1. Test de tendance de Mann-Kendall

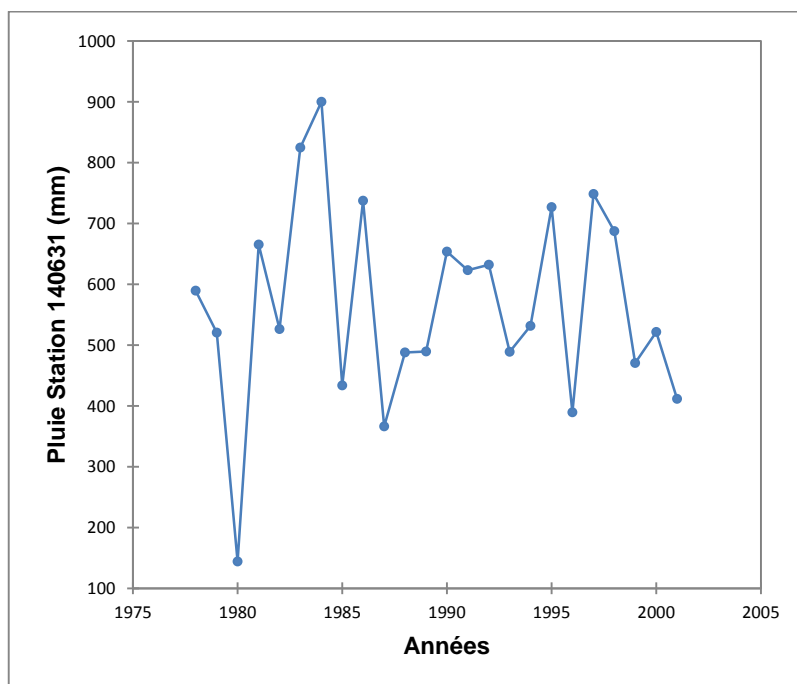
Hypothèses :

$H_0$  : Il n'y a pas de tendance dans la série

$H_1$  : Il y a de tendance dans la série

**Tableau N°4 .7** : Résultat du test de tendance de Mann-Kendall / Test bilatéral  
(Station 140631)

Tau de Kendall	-0,043
S	-12,000
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,788</b>
Alpha	0,05



**Figure N°4 .26** : Résultats graphiques du test de MannKendall

4.6.1.4.2. Tests de détection des ruptures

Les Hypothèses de vérification de l'homogénéité des données de pluie sont :

$H_0$  : La série est homogène

$H_1$  : La série n'est pas homogène

➤ Test de Pettitt

Tableau N°4.8 : Résultats du Test de Pettitt (Station 140631)

K	33,000
T	1998
p-value (bilatérale)	0,901
Alpha	0,05

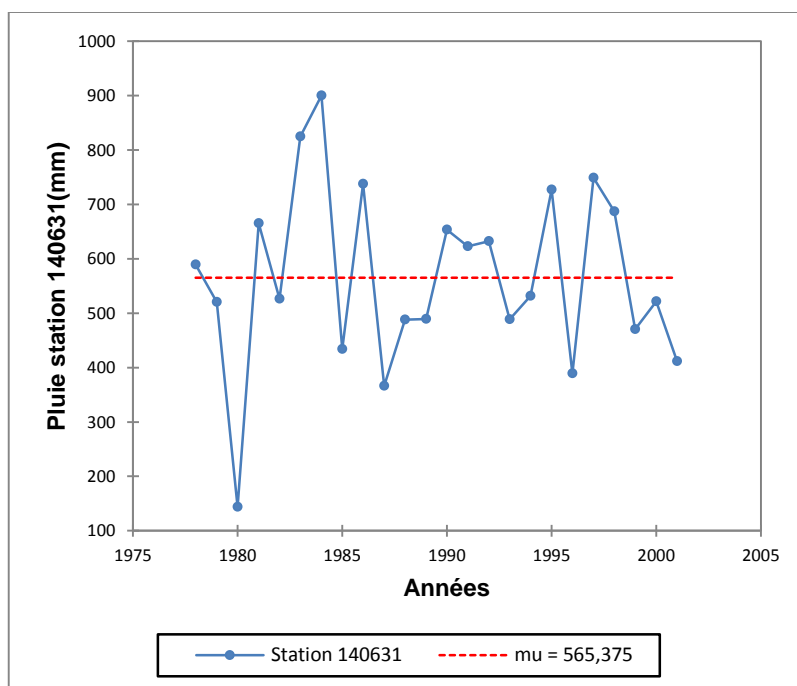


Figure N°4.27 : Résultat graphique du Test de Pettitt

➤ Test d'homogénéité normal standard (SNHT)

Les résultats des tests sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.9 : Résultats du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140631)

T0	2,717
T	1980

<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,618</b>
Alpha	0,05

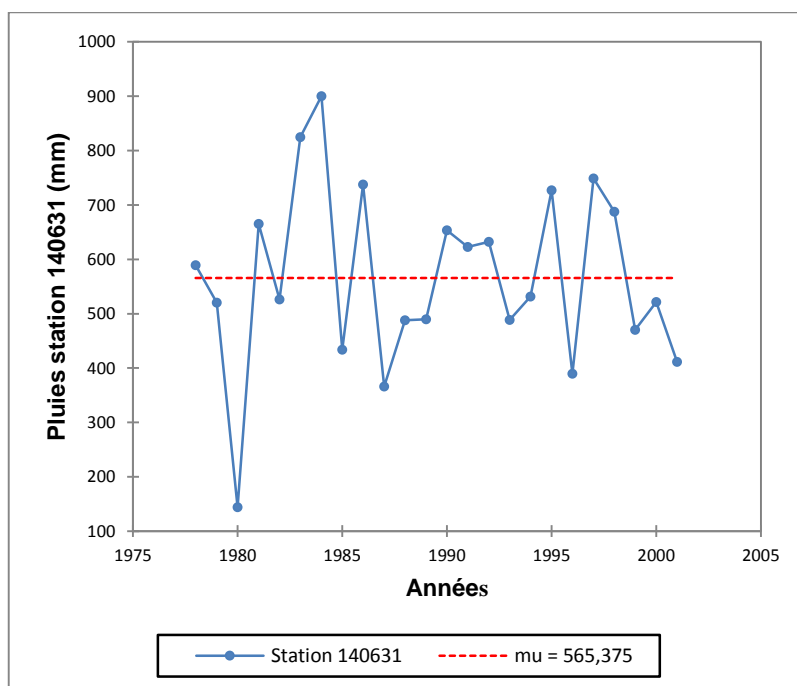


Figure N°4.30 : Résultat graphique du Test d'homogénéité normal standard (SNHT)

➤ Test de Buishand

Les résultats des tests sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.10 : Résultats du Test de Buishand (Station 140631)

Q	2,728
t	1980
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,817</b>
alpha	0,05

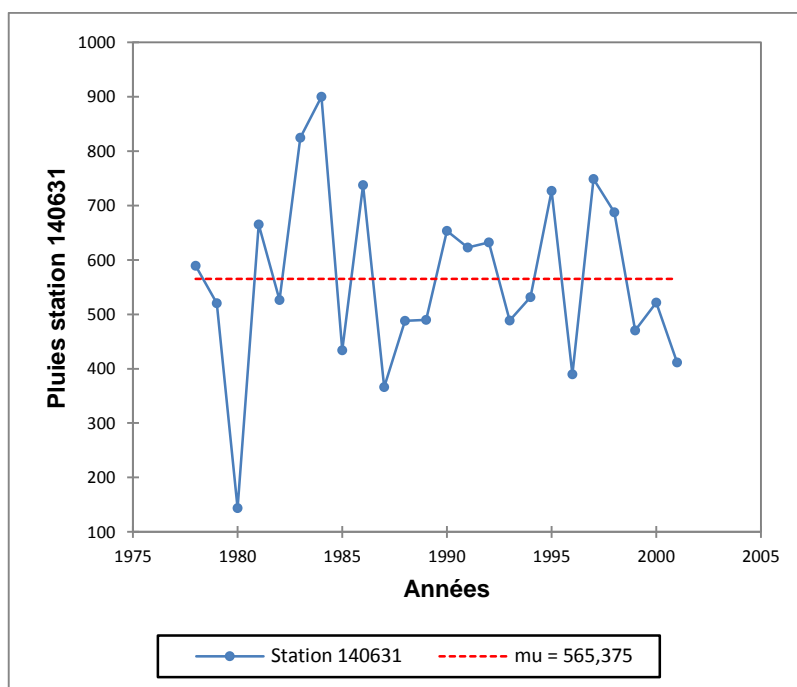


Figure N°4.31 : Résultat graphique du Test de Buishand

#### 4.6.2. Station Bouchgouf 150505

##### 4.2.1. Statistiques descriptives

Les valeurs statistiques (Données quantitatives) de la station Bouchgouf (1400505) sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°4.11 : Statistiques descriptives (Données quantitatives)

Statistique	Station 140505
Nb. d'observations	33
Minimum	279,300
Maximum	825,000
Amplitude	545,700
1er Quartile	416,200
Médiane	525,800
3ème Quartile	627,500
Moyenne	519,939
Ecart-type (n-1)	149,696
Coefficient de variation	0,284

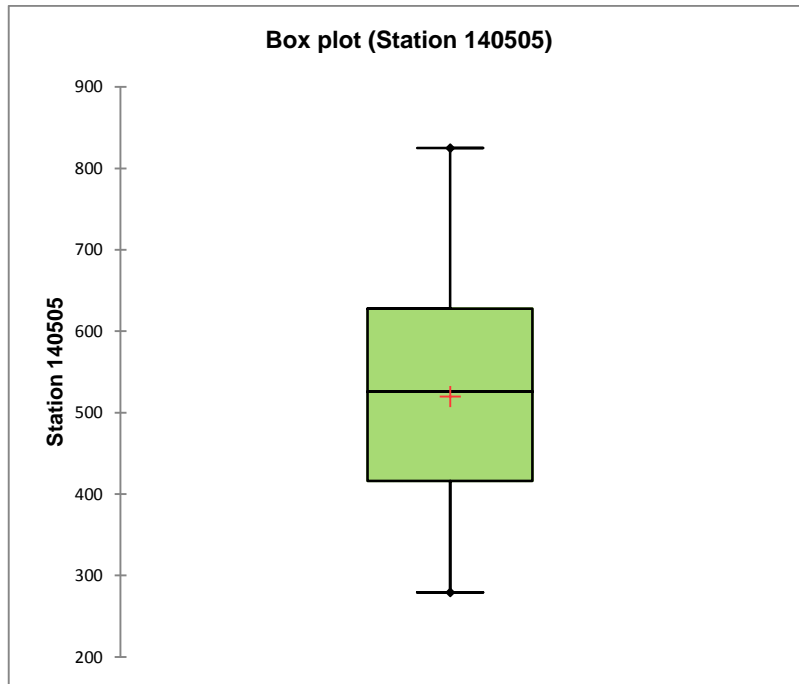


Figure N°4.32: Box plot des pluies annuelles à la station 140505

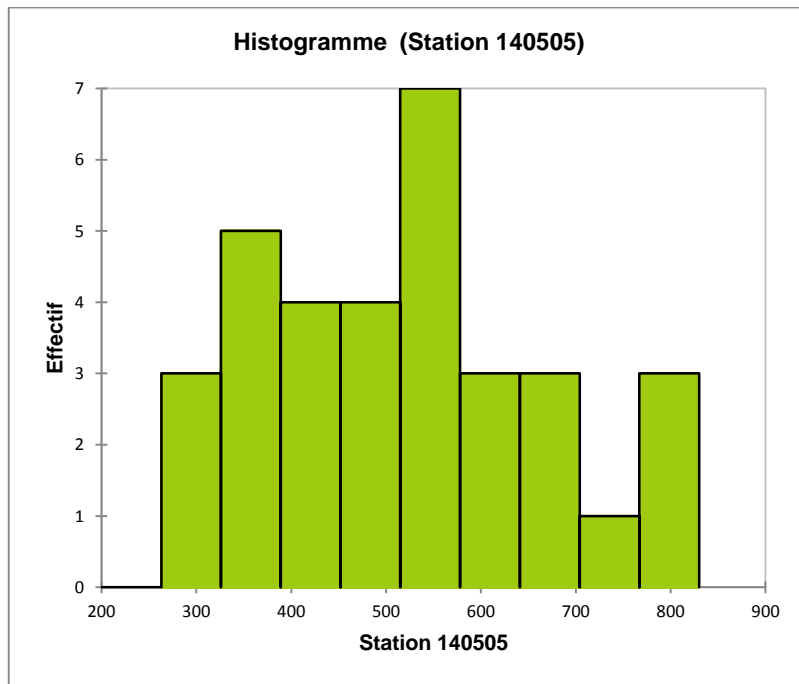


Figure N°5.10 : Histogramme des pluies à la station 140505

La majorité des valeurs de pluies sont comprises entre les classes 300-400 à 500-600 mm.

### 4.6.2.2. Régression linéaire

La régression est une méthode qui aide à connaître la tendance dans une série chronologique. Elle permet de détecter les anomalies dans les séries chronologiques.

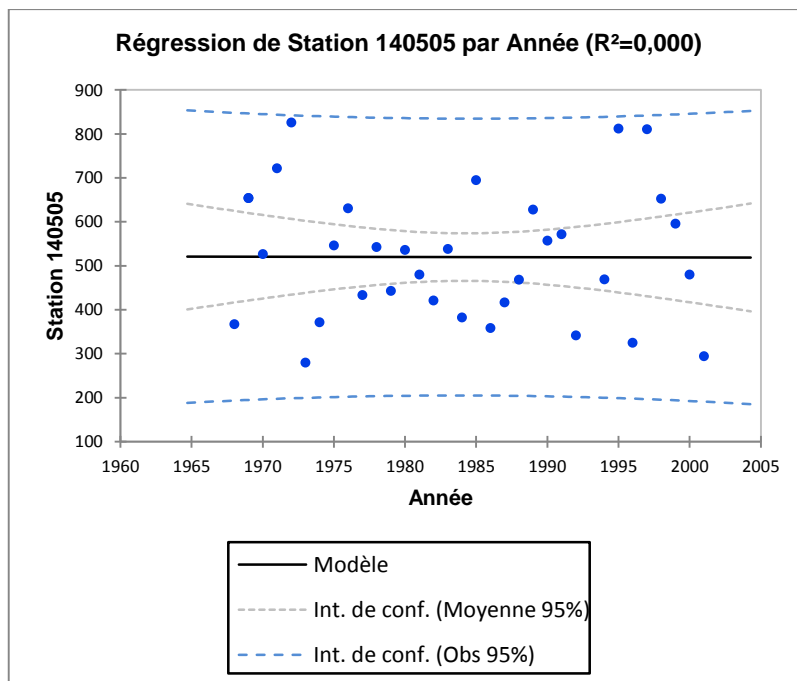


Figure N° 4.33 : Régression linéaire des pluies annuelles à la station 140505

Le résultat de la régression linéaire ne montre pas des valeurs anormales.

### 4.6.2.3. Répartition temporelle de la pluviométrie dans la région de Guelma

La figure 4.34 montre une variabilité modérée de la pluie annuelle à la station 140505. L'année (1958-1959) ont enregistrées les plus fortes pluies. A l'opposé, l'année (1972-1973) a été l'année la plus déficitaire en pluie.



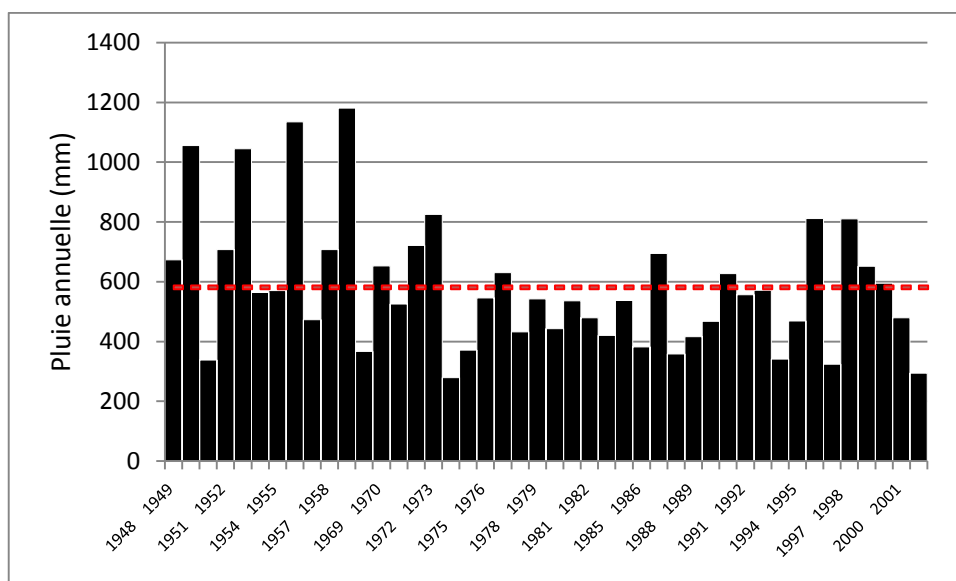


Figure N° 4.34: Répartition des pluies annuelles à la station 140631

#### 4.6.2.4. Approche statistique de l'évolution de la pluviométrie à la station considérée

##### 4.6.2.4.1. Test de tendance de Mann-Kendall

Hypothèses :

$H_0$  : Il n'y pas de tendance dans la série

$H_1$  : Il y de tendance dans la série

Les résultats de tests sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.12 : Résultat du test de tendance de Mann-Kendall / Test bilatéral  
(Station 1400505)

Tau de Kendall	-0,015
S	-8,000
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,914</b>
Alpha	0,05

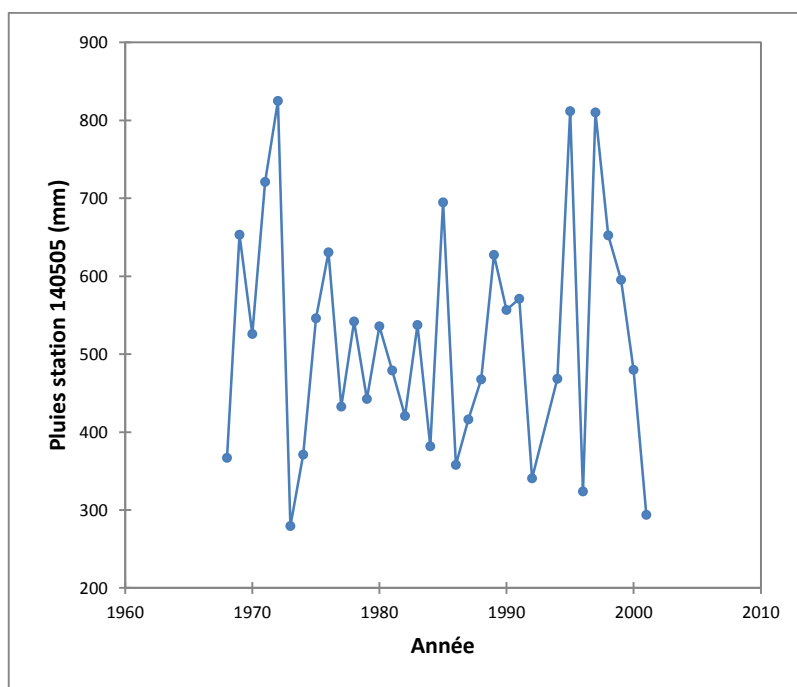


Figure N°4.35 : Résultat graphique du Test de Mann-Kendall

#### 4.6.2.4.2. Tests de détection des ruptures

Les Hypothèses de vérification de l'homogénéité des données de pluie sont :

$H_0$  : La série est homogène

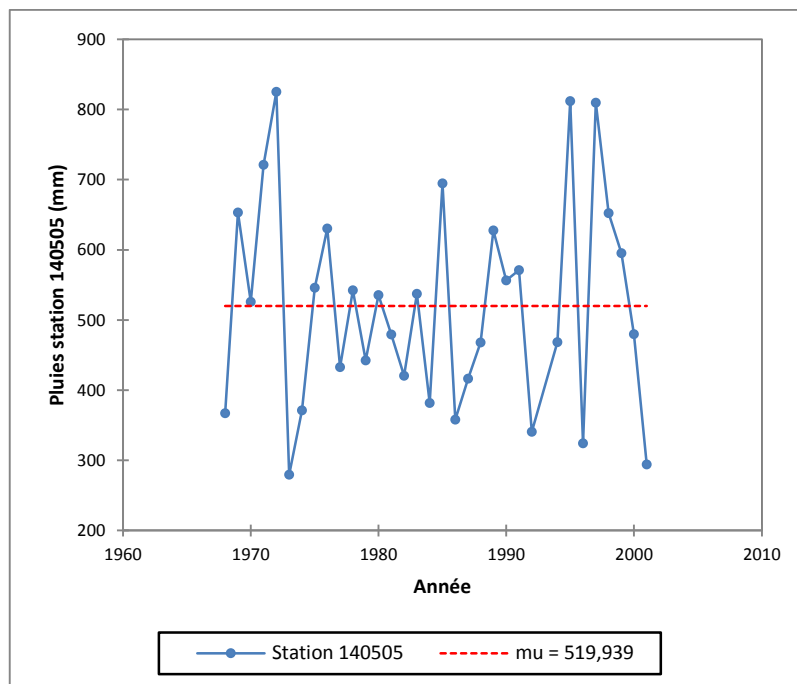
$H_1$  : La série n'est pas homogène

➤ Test de Pettitt

Les résultats de tests sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.13 : Résultat du Test de Pettitt (Station 140505)

K	58,000
T	1972
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,849</b>
Alpha	0,05



**Figure N°4.36 : Résultat graphique du Test de Pettitt**

- Test d'homogénéité normal standard (SNHT)

Les résultats de tests sont reportés dans le tableau suivant :

**Tableau N°4.14 : Résultat du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140505)**

T0	2,549
t	1972
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,740</b>
alpha	0,05

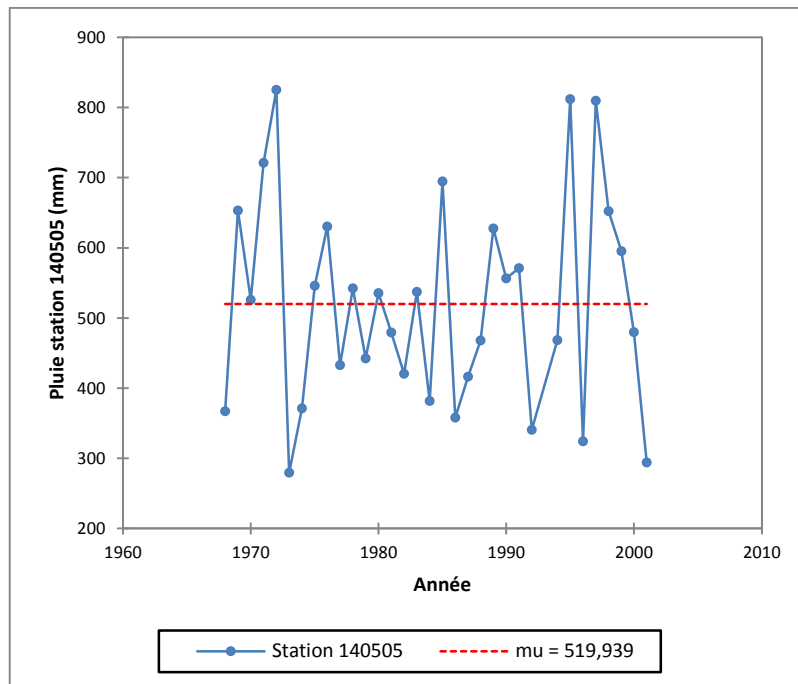


Figure N°4.37 : Résultat graphique du Test d'homogénéité normal standard (SNHT)

➤ Test de Buishand

Les résultats de tests sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.15: Résultat du Test de Buishand (Station 140505)

Q	3,340
t	1972
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,786</b>
alpha	0,05

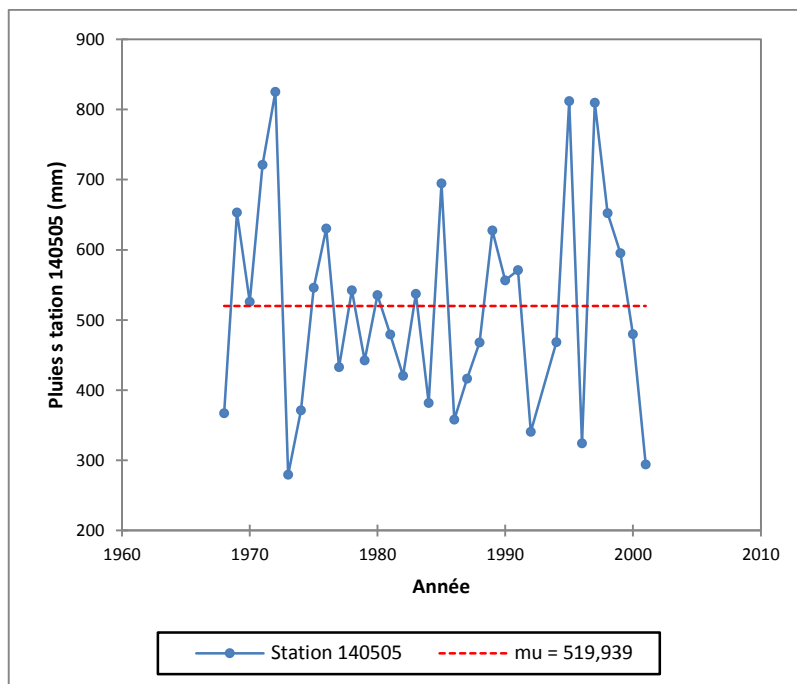


Figure N°4.38 : Résultat graphique du Test de Buishand

### 4.6.3. Station Héliopolis150403

#### 5.6.3.1. Statistiques descriptives

Les valeurs statistiques (Données quantitatives) de la station Héliopolis (140403) sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°4.16 : Statistiques descriptives (Données quantitatives)

Statistique	Station 140505
Nb. d'observations	34
Minimum	257,300
Maximum	904,700
Amplitude	647,400
1er Quartile	477,750
Médiane	551,500
3ème Quartile	696,025
Moyenne	579,262
Ecart-type (n-1)	163,301
Coefficient de variation	0,278

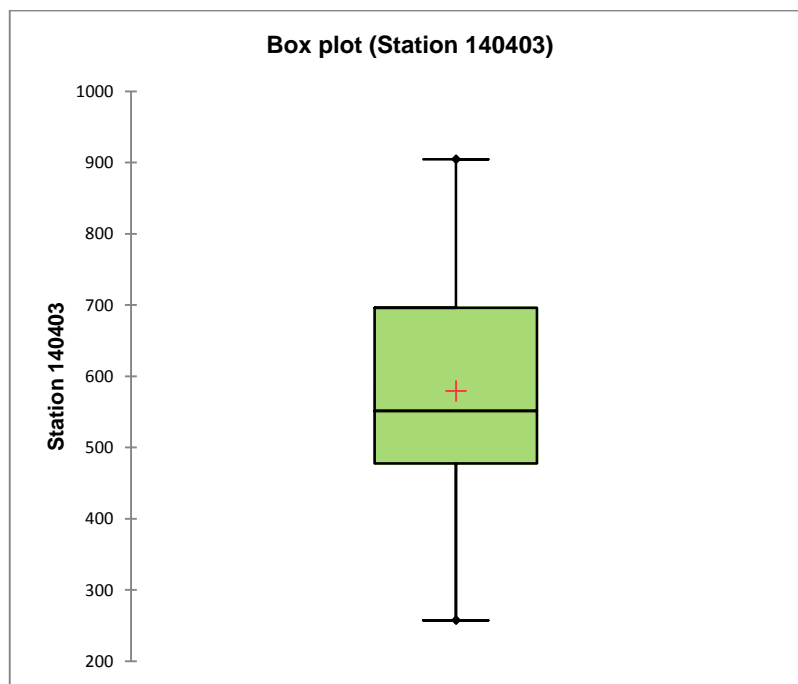


Figure N°4 .39 : Box plot des pluies annuelles à la station 140403

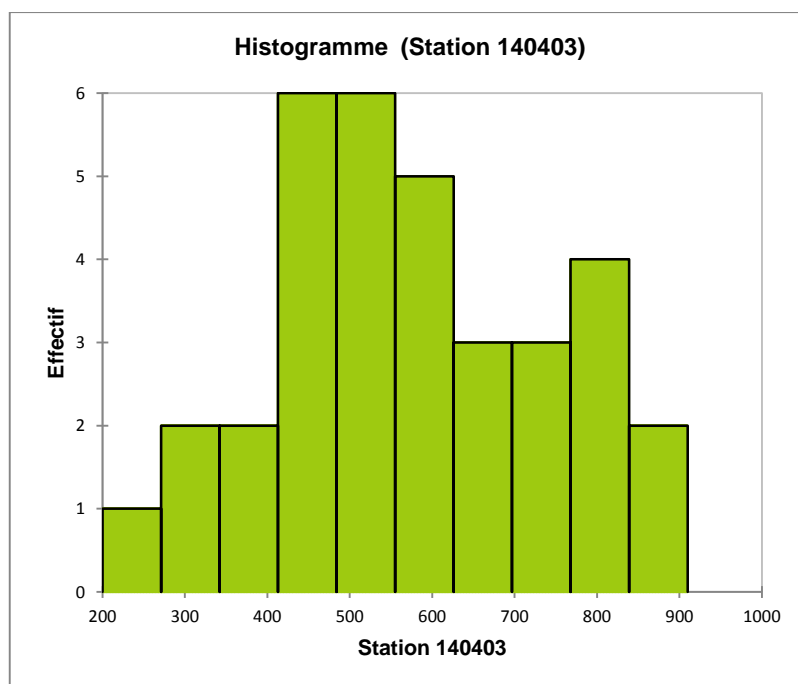


Figure N°4.40 : Histogramme des pluies à la station 140505

La majorité des valeurs de pluies sont comprises entre les classes 400-500 à 500-600 mm.

### 4.6.3.2. Régression linéaire

La régression est une méthode qui aide à connaître la tendance dans une série chronologique, elle permet de détecter dans la série chronologique.

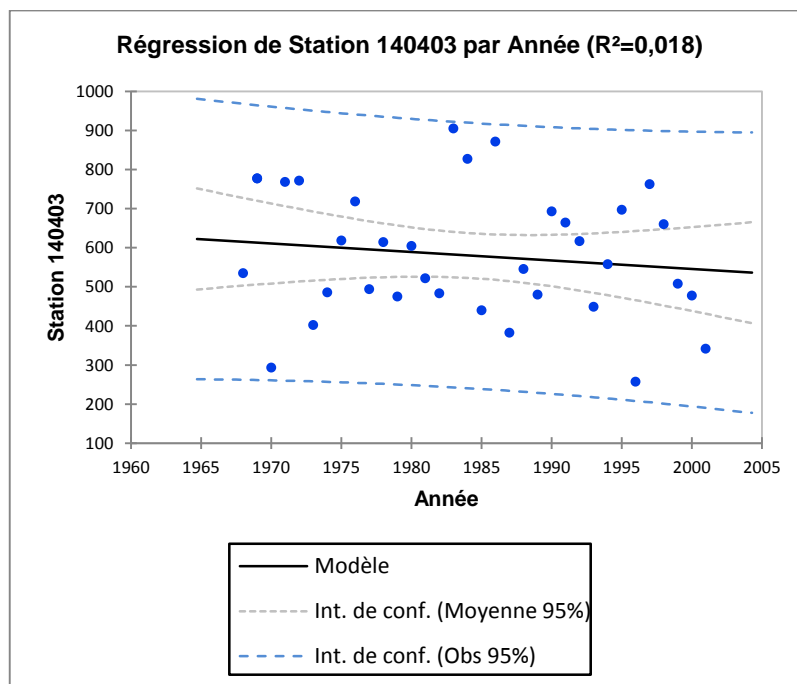


Figure N°4.41 : Régression linéaire des pluies annuelles à la station 140403

Le résultat présenté par le graphique de régression linéaire des pluies annuelles a montré pas des anomalies

### 4.6.3.3. Répartition temporelle de la pluviométrie dans la région de Guelma

La figure 4.42 montre une variabilité modérée de la pluie annuelle à la station 140403. L'année (1983-1984) ont enregistrées les plus fortes pluies. A l'opposé, l'année (1995-1996) a été l'année la plus déficitaire en pluie.

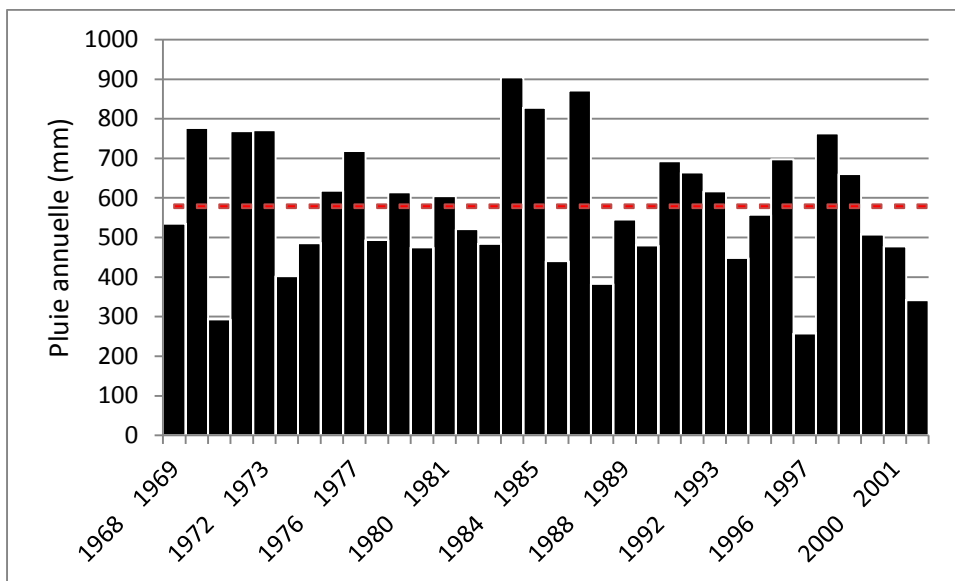


Figure N°4.42 : Répartition des pluies annuelles à la station 140403

#### 4.6.3.4. Approche statistique de l'évolution de la pluviométrie à la station considérée

##### 4.6.3.4.1. Test de tendance de Mann-Kendall

Les hypothèses du test sont les suivantes :

$H_0$  : Il n'y pas de tendance dans la série

$H_1$  : Il y a de tendance dans la série

Les résultats de tests sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.17 : Résultat du test de tendance de Mann-Kendall / Test bilatéral  
(Station 140403)

Tau de Kendall	-0,109
S	-61,000
Var(S)	0,000
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,377</b>
Alpha	0,05



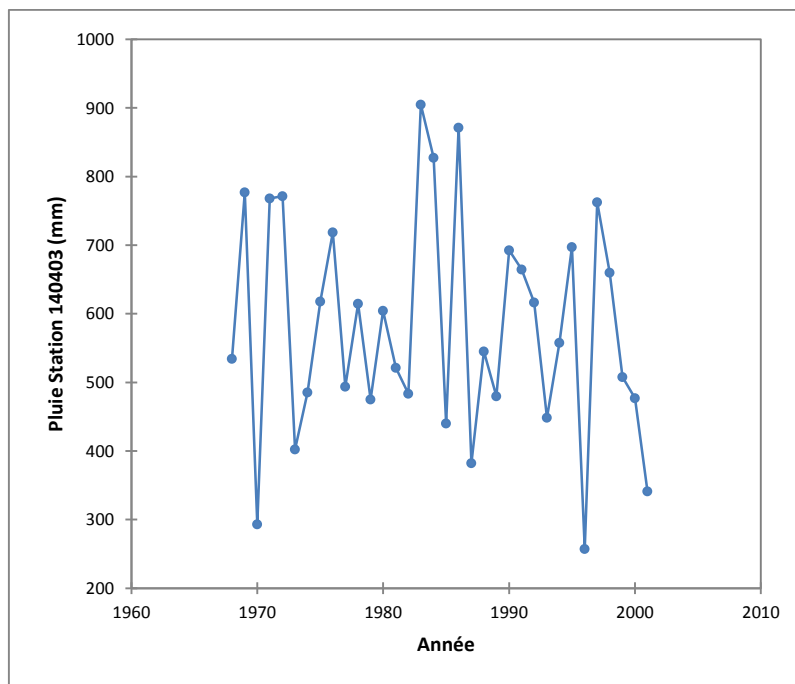


Figure N°4.43 : Résultat graphique du test de Mann-Kendall

#### 4.6.3.4.2. Tests de détection des ruptures

Les Hypothèses de vérification de l'homogénéité des données de pluie sont :

$H_0$  : La série est homogène

$H_1$  : La série n'est pas homogène

➤ Test de Pettitt

Les résultats de tests sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.18 : Résultat du Test de Pettitt (Station 140403)

K	65,000
T	1986
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,803</b>
alpha	0,05

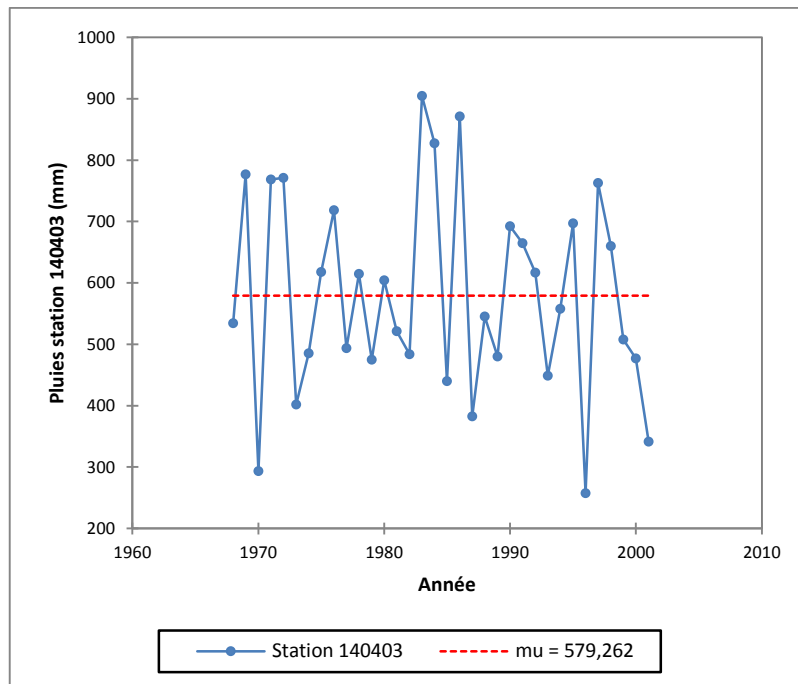


Figure N°4.44 : Résultat graphique du test de Pettitt

- Test d'homogénéité normal standard (SNHT)

Les résultats de tests sont reportés dans le tableau suivant :

**Tableau N° 4.19:** Résultat du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140403)

T0	2,324
T	1998
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,786</b>
Alpha	0,05

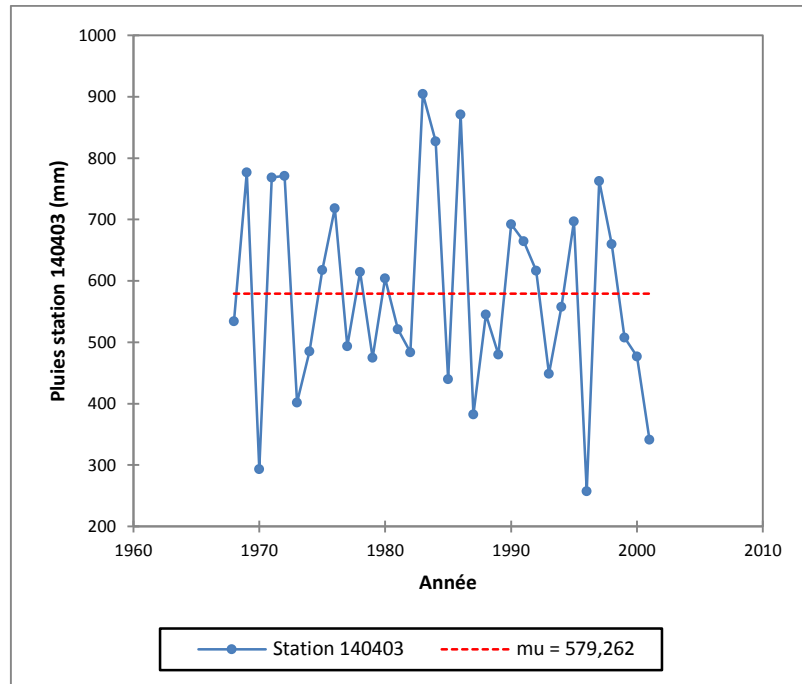


Figure N°4.45 : Résultat graphique du test d'homogénéité normal standard (SNHT)

➤ Test de Buishand

Les résultats de tests sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.20 : Résultat du Test de Buishand (Station 140403)

Q	3,717
t	1986
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,687</b>
alpha	0,05

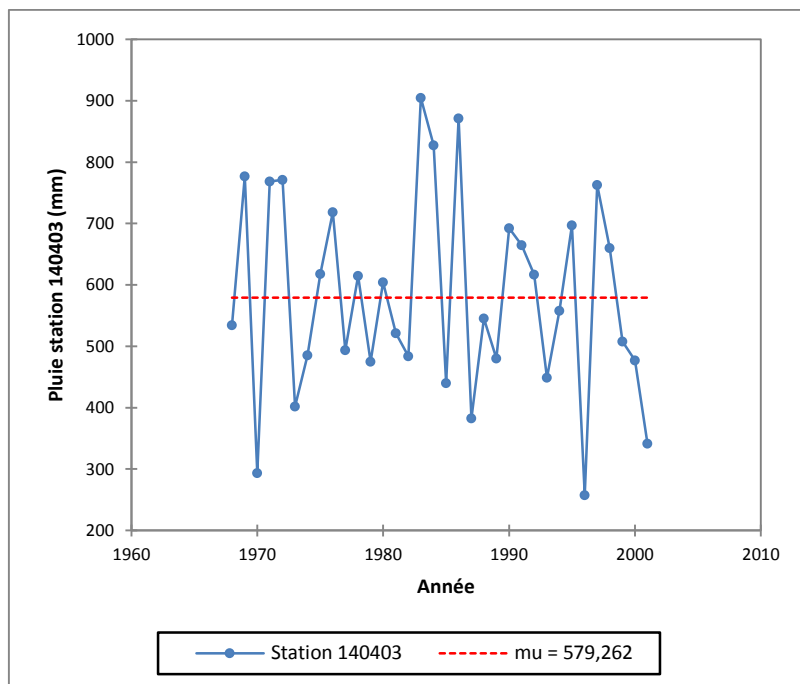


Figure N°4.45 : Résultat graphique du Test de Buishand

#### 4.6.4. Station Guelma lycée Ben Mahmoud 150412

##### 4.6.4.1. Statistiques descriptives

Les valeurs statistiques (Données quantitatives) de la station lycée Ben Mahmoud (140412) sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°4.21: Statistiques descriptives (Données quantitatives)

Statistique	Station 140505
Nb. d'observations	25
Minimum	245,300
Maximum	795,300
Amplitude	550,000
1er Quartile	418,100
Médiane	509,400
3ème Quartile	624,500
Moyenne	520,584
Ecart-type (n-1)	131,173
Coefficient de variation	0,247

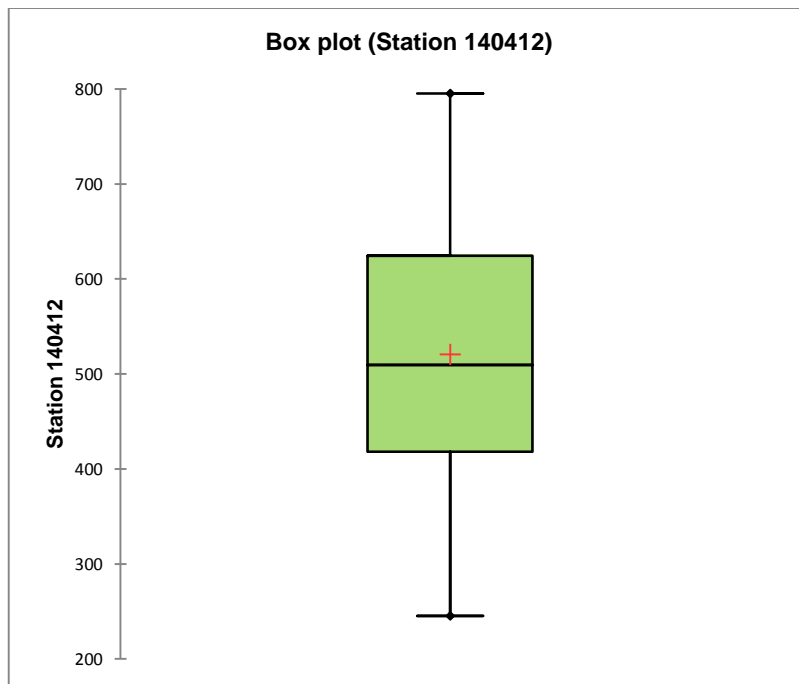


Figure N°4.46 : Box plot des pluies annuelles à la station 140412

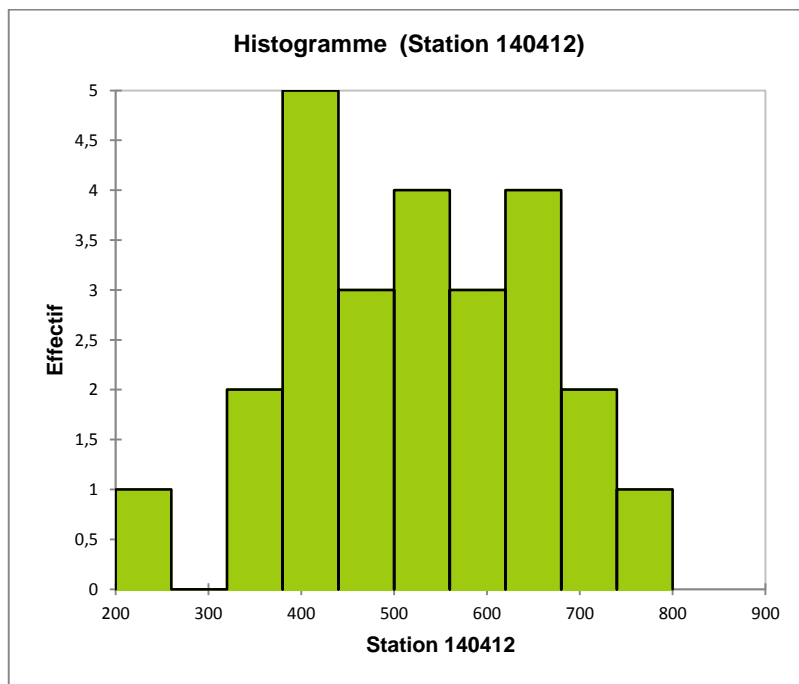
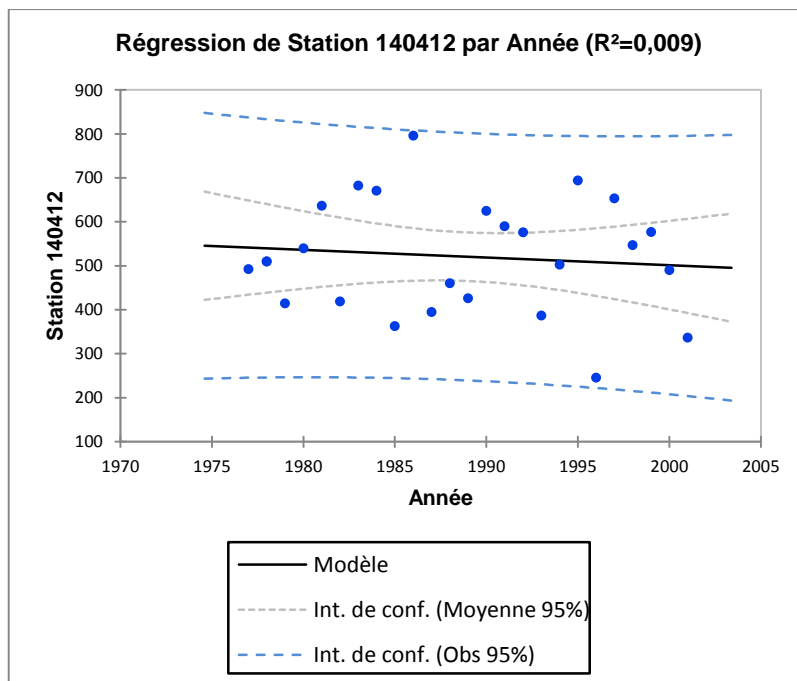


Figure N°4.47 : Histogramme des pluies à la station 140412

La majorité des valeurs de pluies sont comprises entre les classes 400-500 à 600-700 mm.

### 4.6 .4.2. Régression linéaire

La régression est une méthode qui aide à connaître la tendance dans une série chronologique. Elle permet de détecter les anomalies dans les séries chronologiques.



**Figure N°4.48: Régression linéaire des pluies annuelles à la station 140412**

Le résultat présenté par le graphique de régression linéaire de pluies moyenne a montré pas d'anomalie.

### 4.6.4.3. Répartition temporelle de la pluviométrie dans la région de Guelma

La figure 4.49 montre une variabilité modérée de la pluie annuelle à la station 140412. L'année (1986-1987) a enregistré les plus fortes pluies. A l'opposé, l'année (1996-1997) a été l'année la plus déficitaire en pluie.

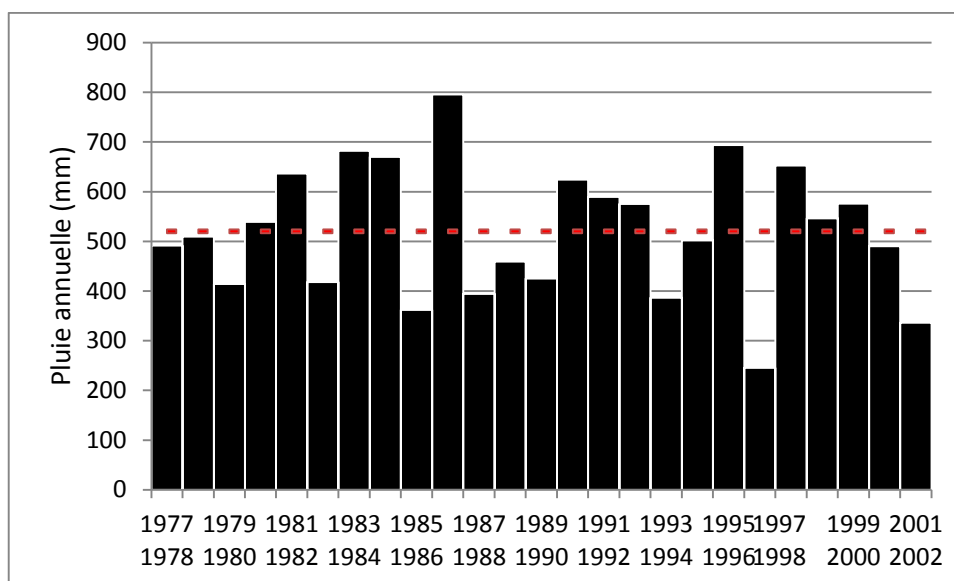


Figure N°4.49 : Répartition des pluies annuelles à la station 1400412

#### 4.6.4.4. Approche statistique de l'évolution de la pluviométrie à la station considérée

##### 4.6.4.4.1. Test de tendance de Mann-Kendall

Hypothèses :

$H_0$  : Il n'y a pas de tendance dans la série

$H_1$  : Il y a de tendance dans la série

Les résultats de test sont reportés dans le tableau suivant :

**Tableau N° 4.22** : Résultat du Test de tendance de Mann-Kendall / Test bilatéral  
(Station 140412)

Tau de Kendall	-0,047
S	-14,000
Var(S)	0,000
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,764</b>
alpha	0,05

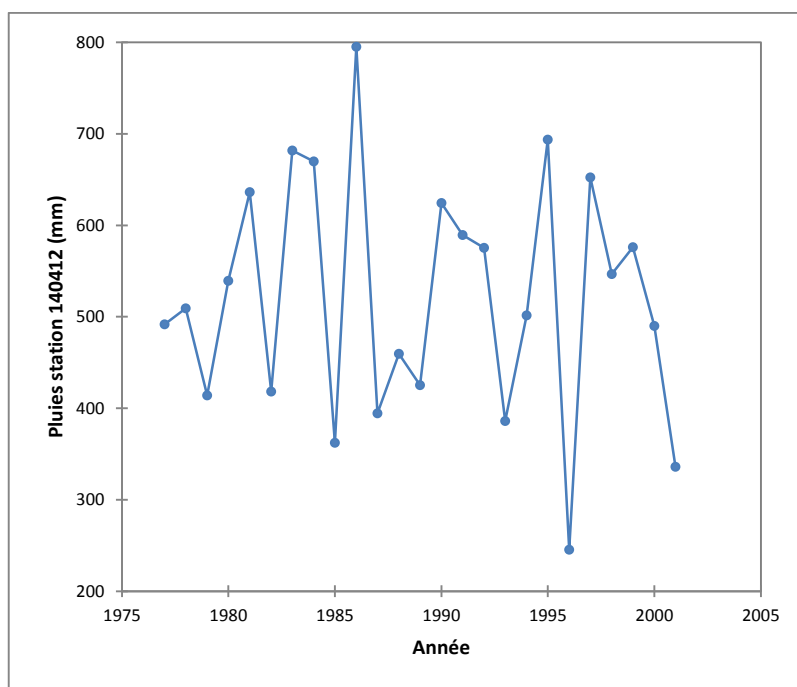


Figure N°4.50 : Résultat graphique du test de tendance de Mann-Kendall

#### 4.6.4.4.2. Tests de détection des ruptures

Les Hypothèses de vérification de l'homogénéité des données de pluie sont :

$H_0$  : La série est homogène

$H_1$  : La série n'est pas homogène

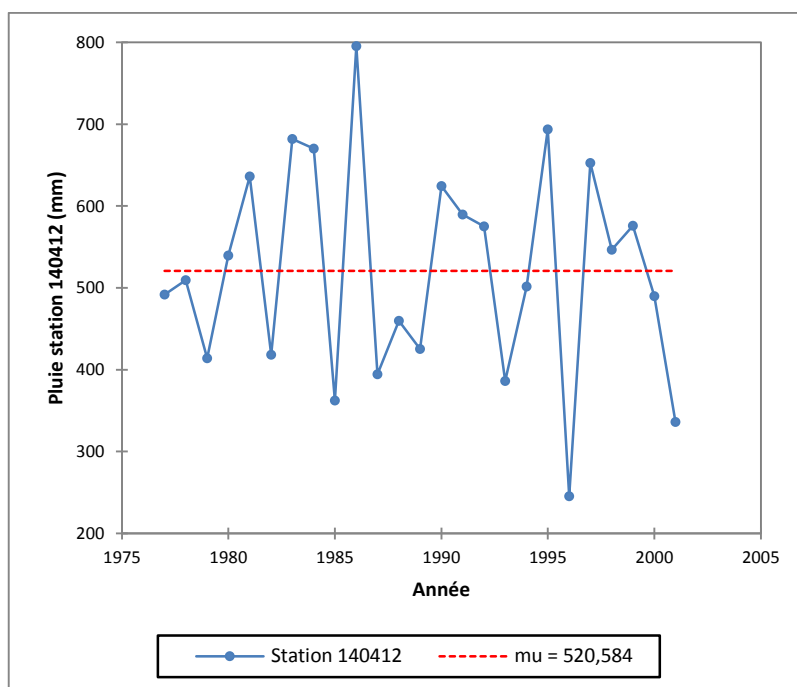
➤ Test de Pettitt

Les résultats de test sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N° 4.23 : Résultat du Test de Pettitt (Station 140412)

K	28,000
t	1986
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,978</b>
alpha	0,05





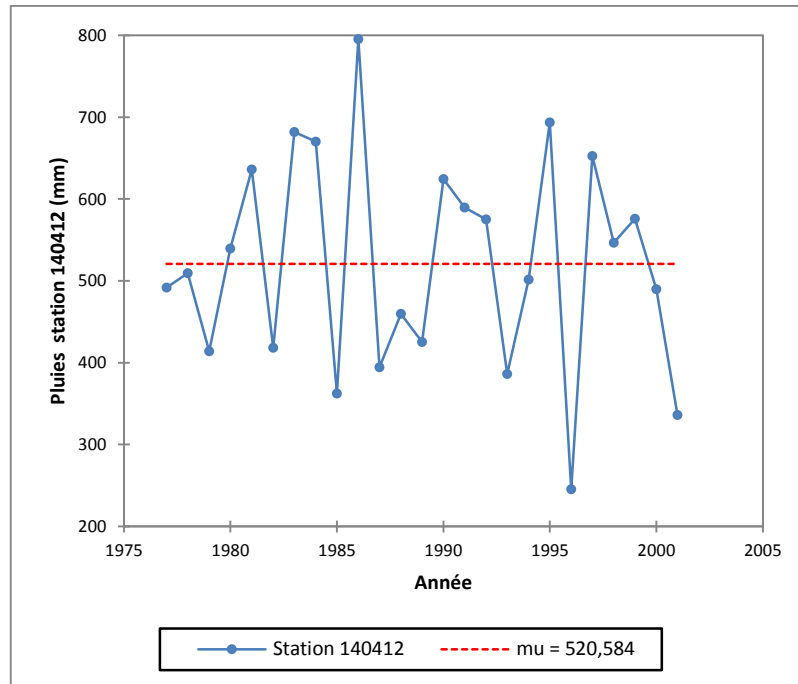
**Figure N°4.51 : Résultat graphique du test de tendance de Pettitt**

➤ Résultat du Test d'homogénéité normal standard (SNHT)

Les résultats de test sont reportés dans le tableau suivant :

**Tableau N° 4.24 : Résultat du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140412)**

T0	2,063
t	2000
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,774</b>
alpha	0,05



**Figure N°4.52: Résultat graphique du test d'homogénéité normal standard (SNHT)**

➤ Test de Buishand

Les résultats de test sont reportés dans le tableau suivant :

**Tableau N° 4.25 : Résultat du Test de Buishand (Station 140412)**

Q	2,430
t	1986
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,903</b>
alpha	0,05

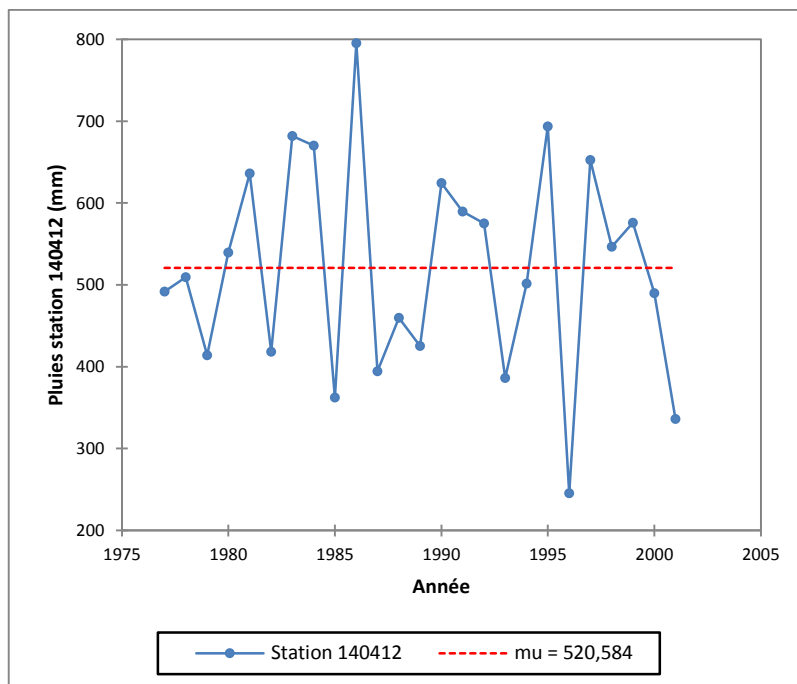


Figure N°4.53 : Résultat graphique du test de Buishand

#### 4.6.5. Station Bordj Sabath 140302

##### 4.6.5.1. Statistiques descriptives

Les valeurs statistiques (Données quantitatives) de la station Bordj Sabath (140302) sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°4.26 : Statistiques descriptives (Données quantitatives)

Statistique	Station 140302
Nb. d'observations	28
Minimum	309,100
Maximum	820,500
Amplitude	511,400
1er Quartile	419,798
Médiane	491,950
3ème Quartile	578,100
Moyenne	514,629
Ecart-type (n-1)	124,603
Coefficient de variation	0,238

Le Box plot de station (140302)

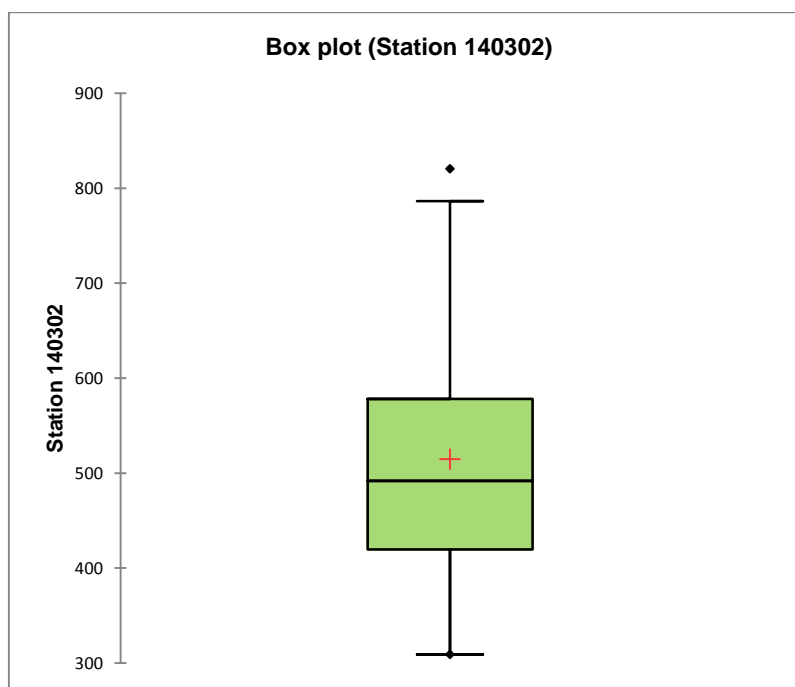


Figure N°4.54 : Graphique Box plot des pluies station 140302

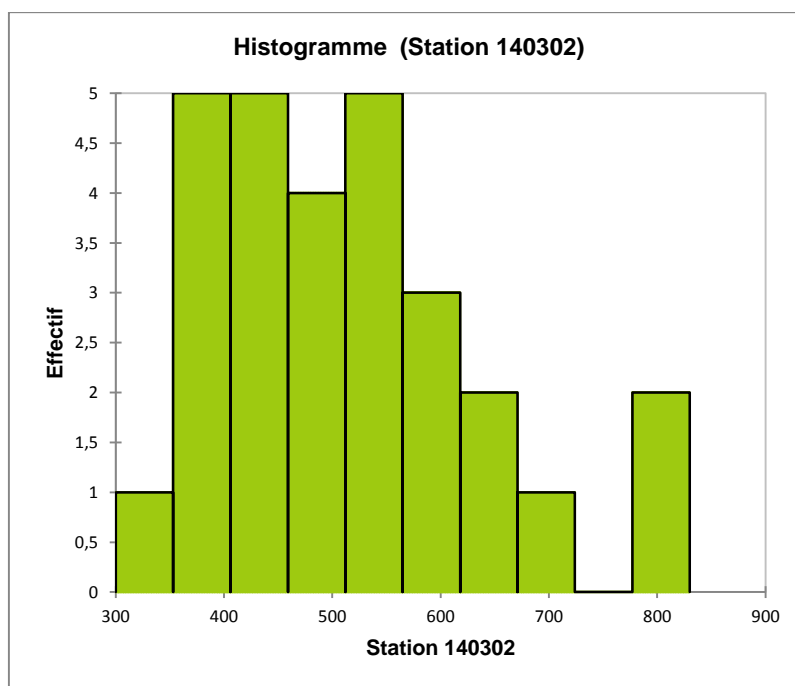


Figure N°4.55 : Graphique Histogramme station 140302

La majorité des valeurs de pluies sont comprises entre les classes 300-400 à 400-500 à 500-600 mm.

### 4.6.5.2. Régression linéaire

La régression est une méthode qui aide à connaître la tendance dans une série chronologique, elle permet de détecter dans la série chronologique.

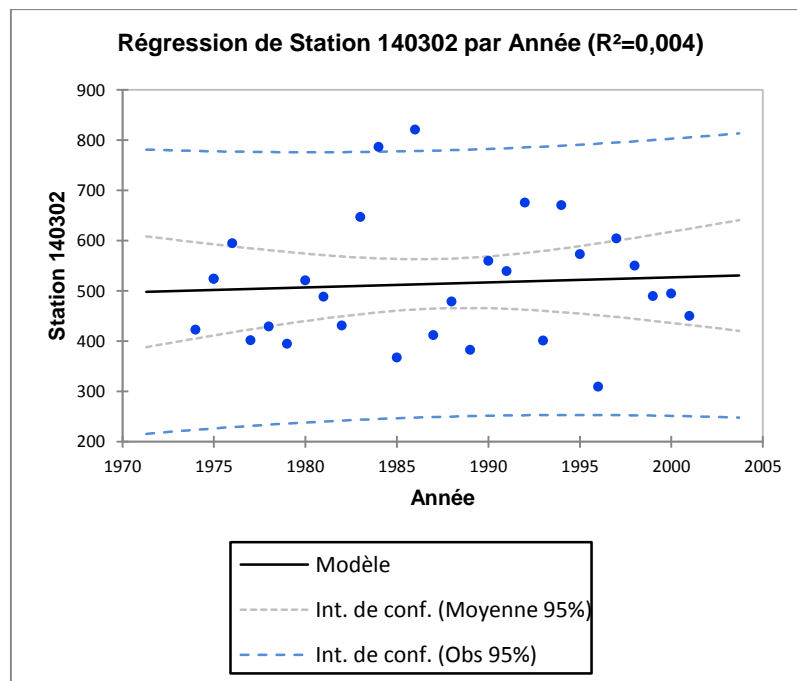


Figure N° 4.56 : Régression linéaire des pluies station 140302

Les résultats présentés par le graphique de régression linéaire ont montré qu'il y a deux valeurs anomales durant l'année 1986, 820,5mm et l'année 1984, 786,2 mm.

### 4.6.5.3. Répartition temporelle de la pluviométrie dans la région de Guelma

La figure 4.57 montre une variabilité modérée de la pluie annuelle à la station 140302. L'année (1986-1987) a enregistré les plus fortes pluies. A l'opposé, l'année (1996-1997) a été l'année la plus déficitaire en pluie.

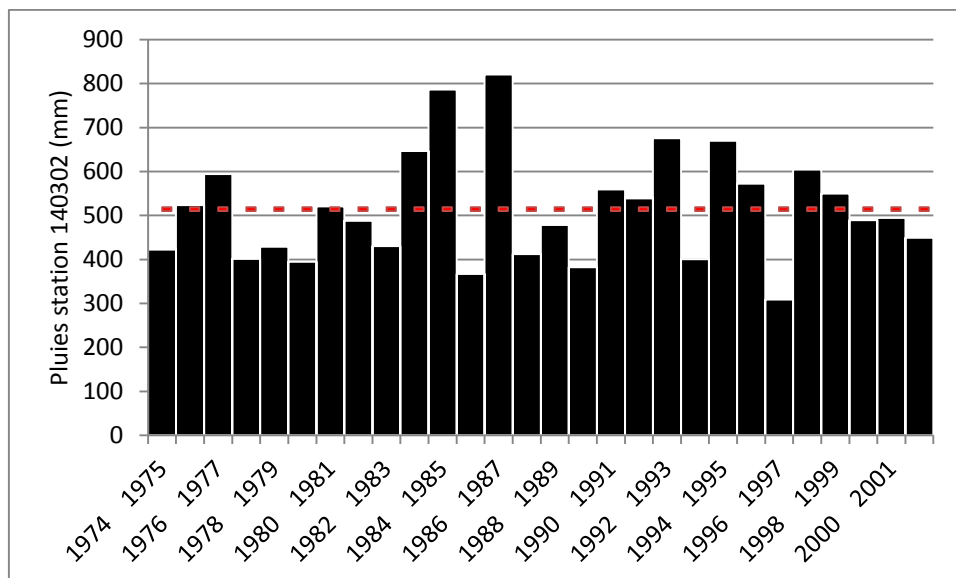


Figure N°4.57: Répartition des pluies annuelles à la station 140302

#### 4.6.5.4. Approche statistique de l'évolution de la pluviométrie à la station 140302

##### 4.6.5.4.1. Test de tendance de Mann-Kendall

Ce test est utilisé pour rechercher l'existence ou non de tendance dans une série chronologique

Les Hypothèses du test sont les suivantes :

$H_0$  : Il n'y a pas de tendance dans la série

$H_1$  : Il existe une tendance dans la série

Les résultats de test sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.27 : Résultat du Test de tendance de Mann-Kendall (station 140302)

Tau de Kendall	0,069
S	26,000
Var(S)	0,000
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,625</b>
alpha	0,05

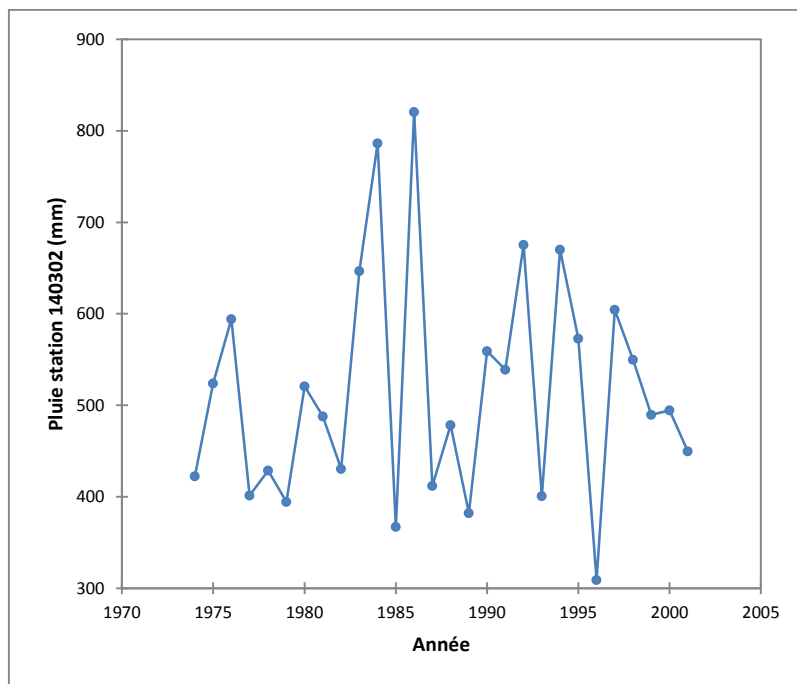


Figure N°4.58 : Résultat graphique du test de tendance de Mann-Kendall

#### 4.6.5.4.2. Tests de détection des ruptures

Les Hypothèses de vérification de l'homogénéité des données de pluie sont :

$H_0$  : La série est homogène

$H_1$  : La série n'est pas homogène

➤ Test de Pettitt :

Les résultats de test sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.28 : Résultat du Test de Pettitt (Station 140302)

K	51,000
t	1982
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,742</b>
alpha	0,05

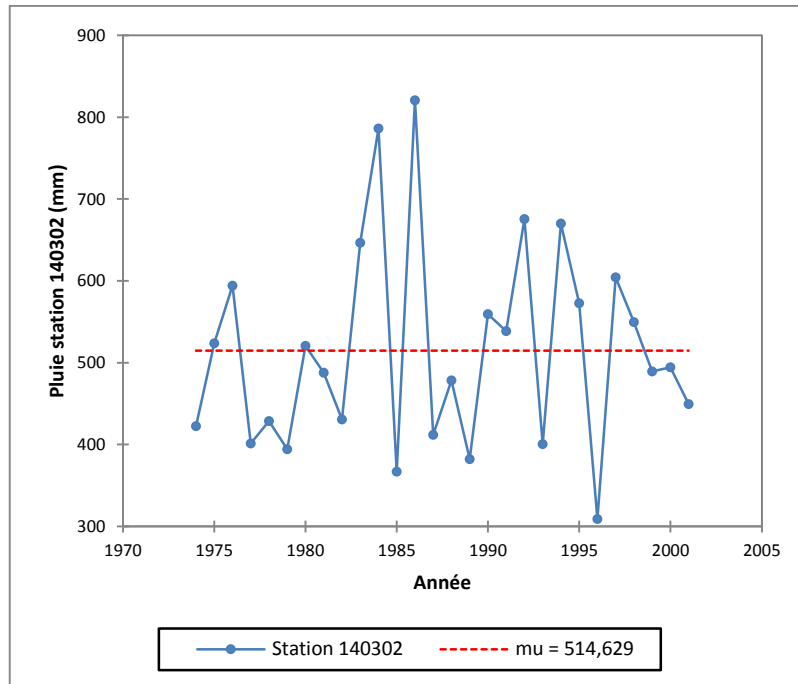


Figure N°4.59: Résultat graphique du Test de Pettitt

➤ Test de SNHT ou Test d'homogénéité normal standard :

Les résultats de test sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.29: Résultat du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140302)

T0	1,930
T	1982
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,823</b>
Alpha	0,05



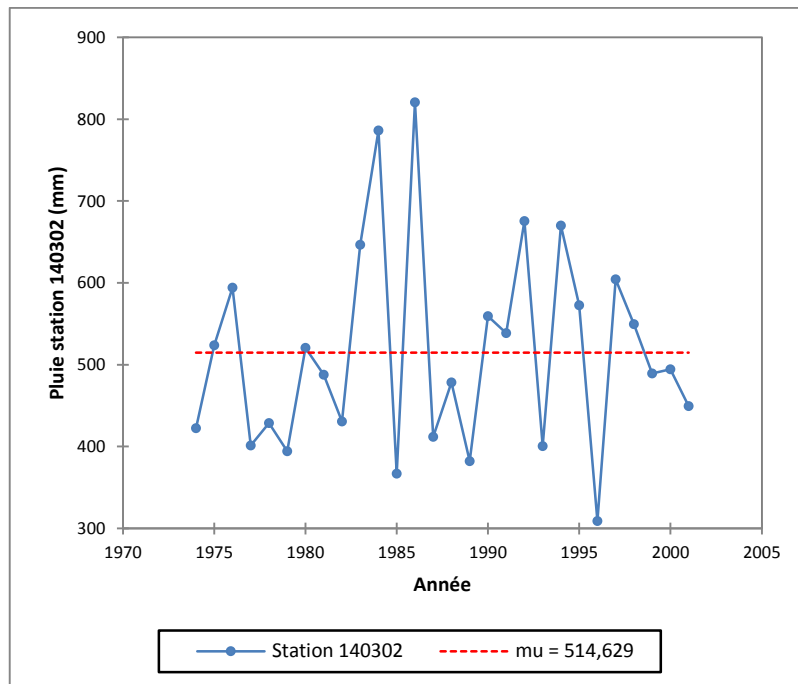


Figure N°4.60: Résultat graphique du Test d'homogénéité normal standard (SNHT)

➤ Test de Buishand

Les résultats de test sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.30: Résultat du Test de Buishand (Station 140302)

Q	3,496
t	1982
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,651</b>
alpha	0,05

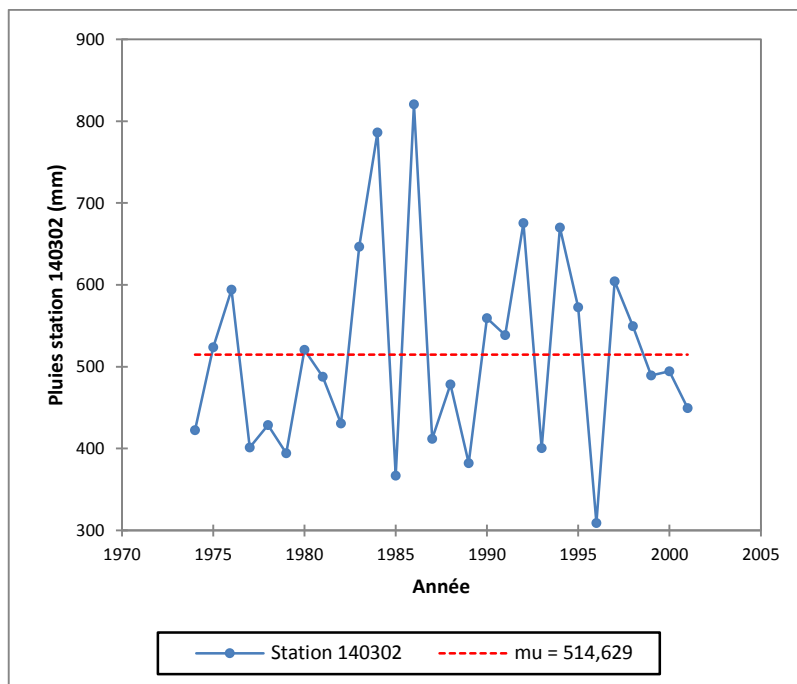


Figure N°4.61: Résultat graphique du Test de Buishand

#### 4.6.6. Station Ain Makhoulf 150205

##### 4.6.6.1. Statistiques descriptives

Les valeurs statistiques (Données quantitatives) de la station Ain Makhoulf (140205) sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°4.31 : Statistiques descriptives (Données quantitatives)

Statistique	Station 140205
Nb. d'observations	45
Minimum	93,100
Maximum	1121,500
Amplitude	1028,400
1er Quartile	403,900
Médiane	500,400
3ème Quartile	620,700
Moyenne	510,498
Ecart-type (n-1)	202,034
Coefficient de variation	0,391

Le Box plot de la station (140205)

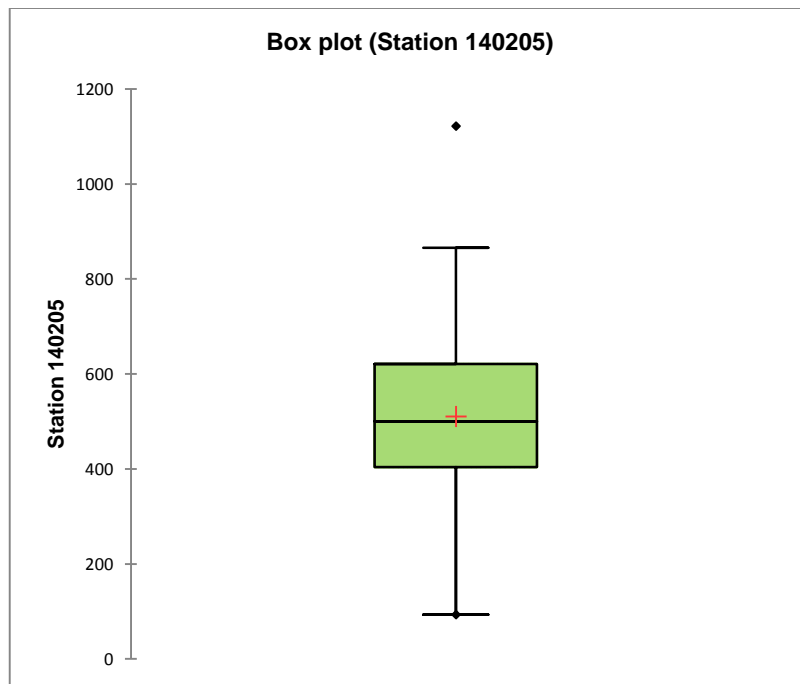


Figure N°4.62: Box plot des pluies annuelles à la station 140205

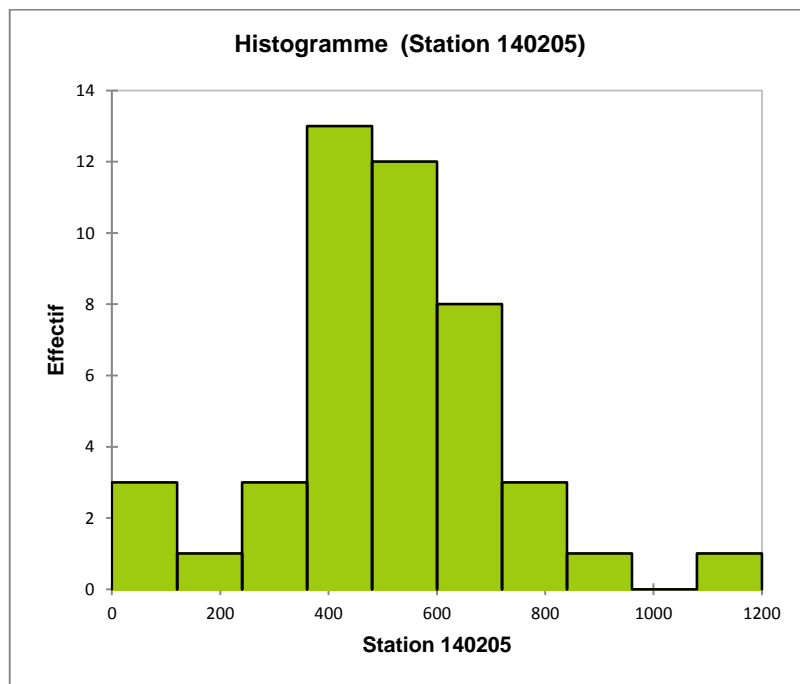


Figure N°4.63: Histogramme des pluies à la station 140205

La majorité des valeurs de pluies sont comprises entre les classes 400-600 à 600-800 mm

### 4.6.6.2. Régression linéaire

La régression est une méthode qui aide à connaître la tendance dans une série chronologique. Elle permet de détecter les anomalies dans les séries chronologiques.

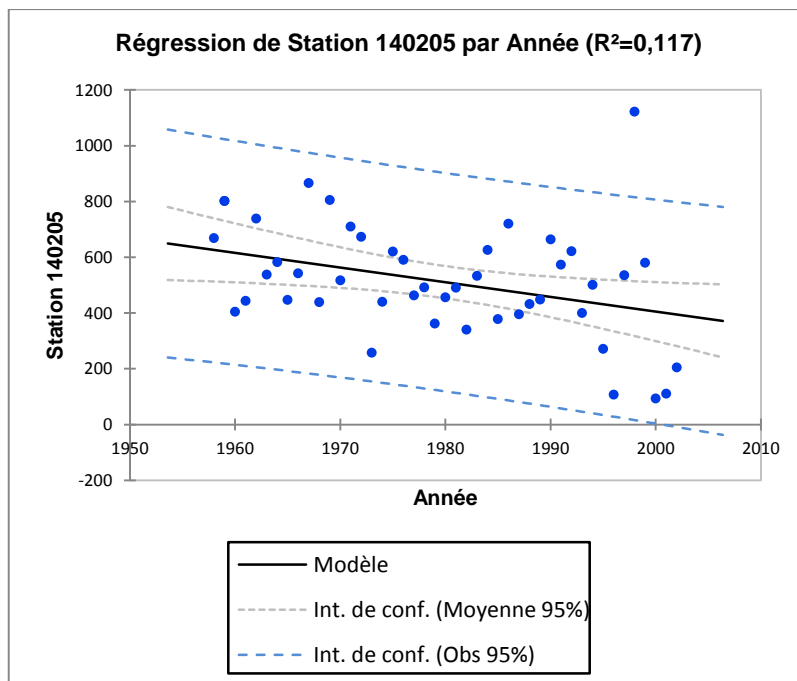


Figure N°4.64 : Régression linéaire des pluies annuelles à la station 140205

Le résultat présenté par le graphique de régression linéaire des pluies a montré une seule anomalie durant l'année 1998, 1121,5 mm.

### 4.6.6.3. Répartition temporelle de la pluviométrie dans la région de Guelma

La figure 4.64 montre une variabilité modérée de la pluie annuelle à la station 140205. L'année (1967-1968) a enregistré les plus fortes pluies. A l'opposé, l'année (1995-1996) a été l'année la plus déficitaire en pluie.

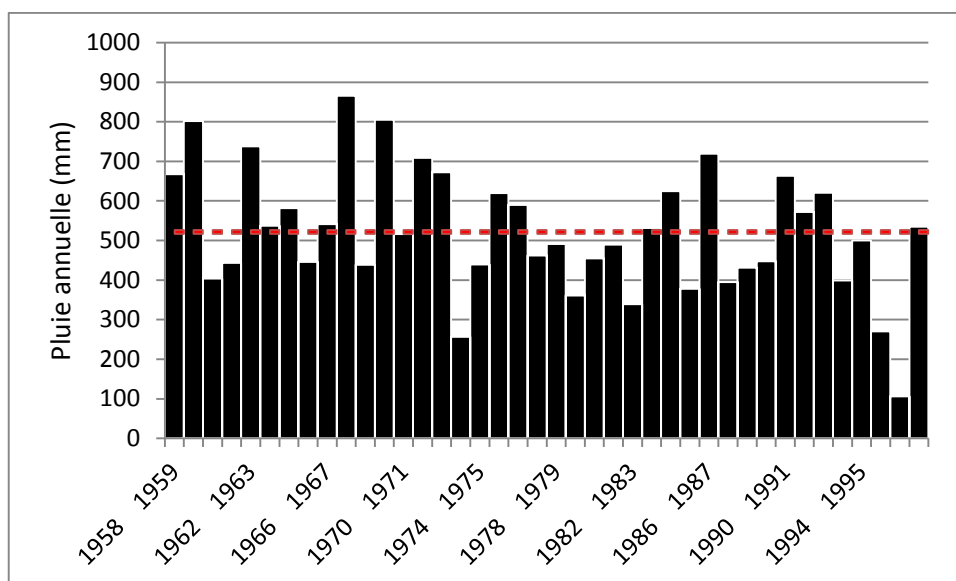


Figure N° 4.64: Répartition des pluies annuelles à la station 140205

#### 4.6.6.4. Approche statistique de l'évolution de la pluviométrie à la station considérée

##### 4.6.6.4.1 Test de tendance de Mann-Kendall

Les hypothèses du test sont les suivantes :

$H_0$  : Il n'y a pas de tendance dans la série

$H_1$  : Il y a de tendance dans la série

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.33: Résultats du Test de tendance de Mann-Kendall (140205)

Tau de Kendall	-0,240
S	-238,000
Var(S)	0,000
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,020</b>
alpha	0,05

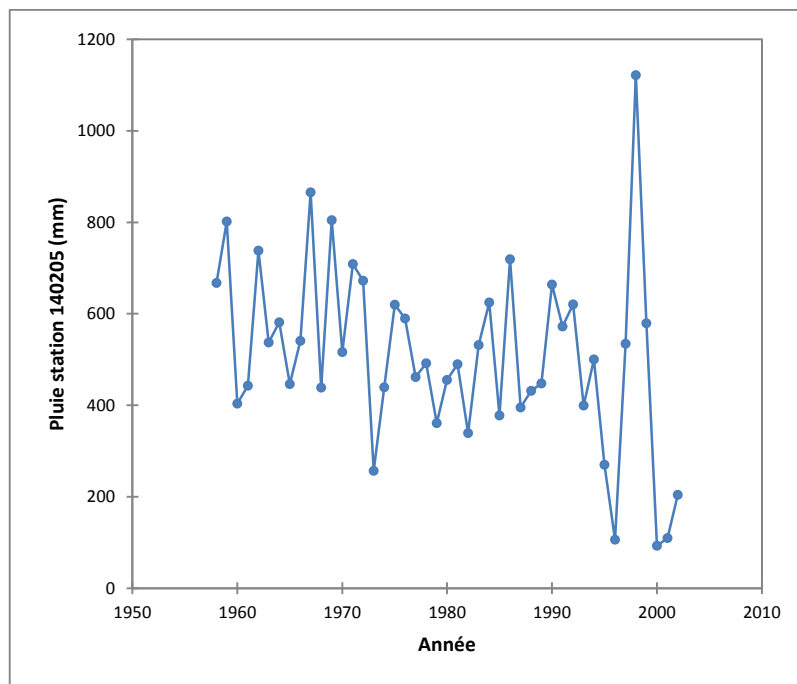


Figure N°4.65: Résultat graphique du test de tendance de Mann-Kendall

#### 4.6.6.4.2. Tests de détection des ruptures

Il est à noter que ces tests sont cruciaux pour détecter d'éventuels changements dans les séries chronologiques. Les hypothèses à vérifier pour les trois tests sont les suivantes :

$H_0$  : Il n'y a pas de tendance dans la série

$H_1$  : Il y a de tendance dans la série

➤ Test de Pettitt

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.34 : Résultat du Test de Pettitt (Station 140205)

K	216,000
t	1972
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,060</b>
alpha	0,05

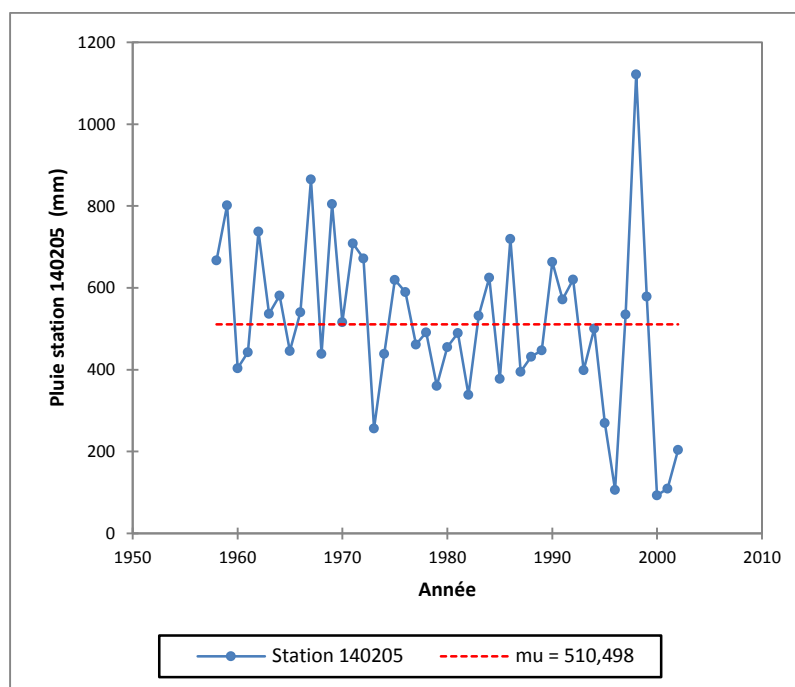


Figure N°4.66 : Résultat graphique du test de Pettitt

➤ Test d'homogénéité normal standard (SNHT)

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N° 4.35: Résultat du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140205)

T0	11,066
T	1999
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,009</b>
alpha	0,05

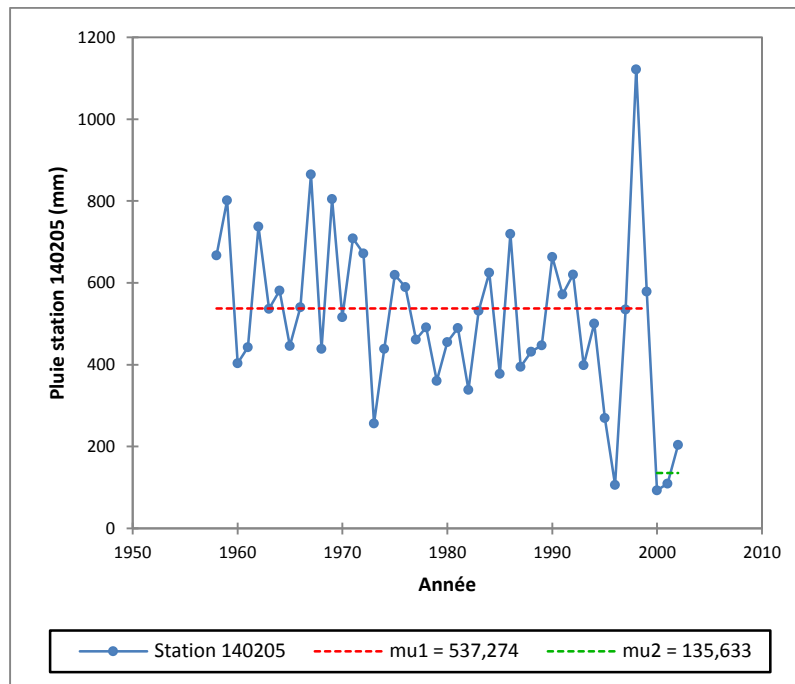


Figure N°4.67: Résultat graphique du test d'homogénéité normal standard (SNHT)

➤ Test de Buishand

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°436: Résultat du Test de Buishand (Station 140205)

Q	7,549
t	1972
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,104</b>
alpha	0,05



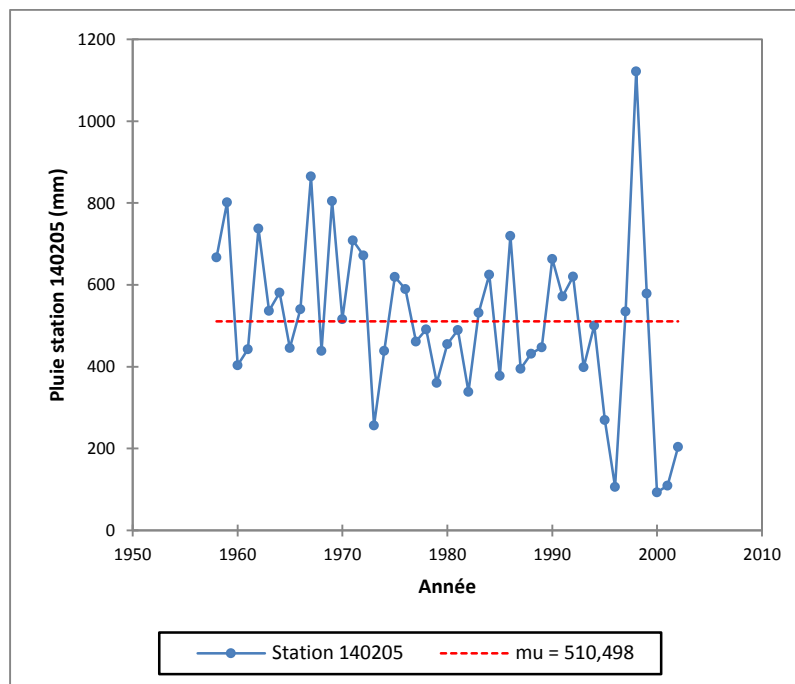


Figure N°4.68: Résultat graphique du test de Buishand

#### 4.6.7. Station Settara 150105

##### 4.6.7.1. Statistiques descriptives

Les valeurs statistiques (Données quantitatives) de la station Settara (140205) sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°4.37: Statistiques descriptives (Données quantitatives)

Statistique	Station 140105
Nb. d'observations	20
Minimum	93,100
Maximum	342,100
Amplitude	249,000
1er Quartile	151,700
Médiane	216,700
3ème Quartile	289,925
Moyenne	220,605
Ecart-type (n-1)	76,144
Coefficient de variation	0,336

Le Box plot station 140105

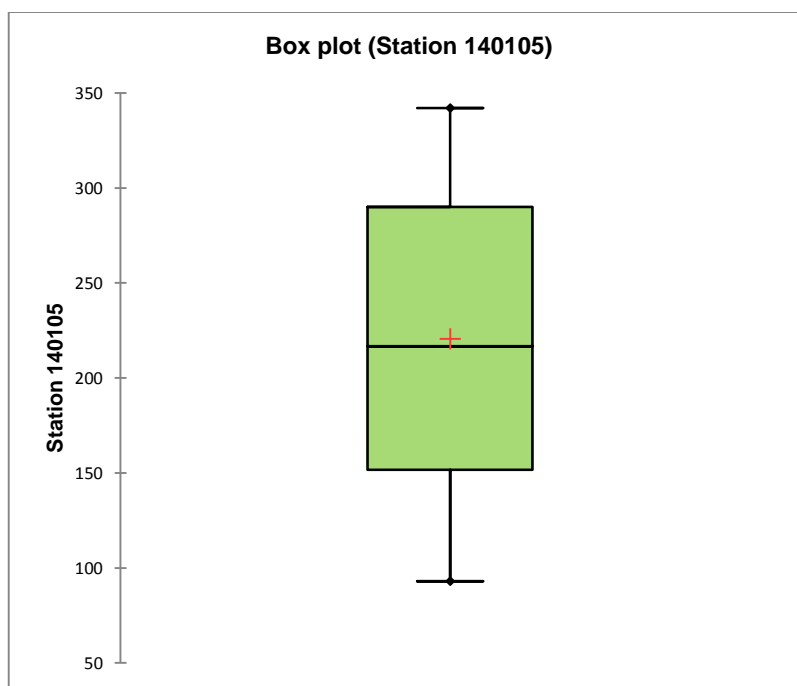


Figure N°4.69: Box plot des pluies annuelles à la station 140105

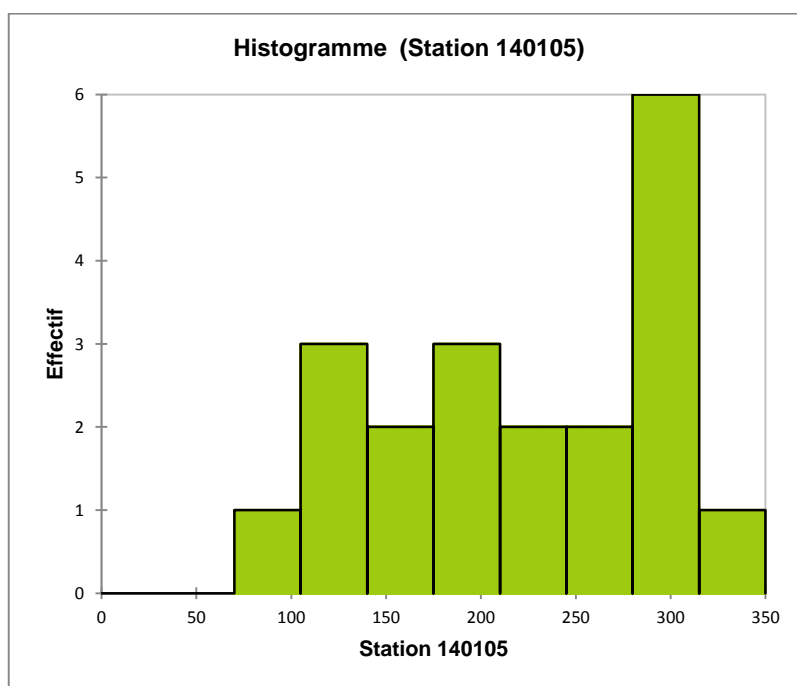


Figure N°4.70: Histogramme des pluies à la station 140105

La majorité des valeurs de pluies sont comprises à 100-200 à 200-350 mm.

### 4.6.7.2. Régression linéaire

La régression est une méthode qui aide à connaître la tendance dans une série chronologique, elle permet de détecter dans la série chronologique.

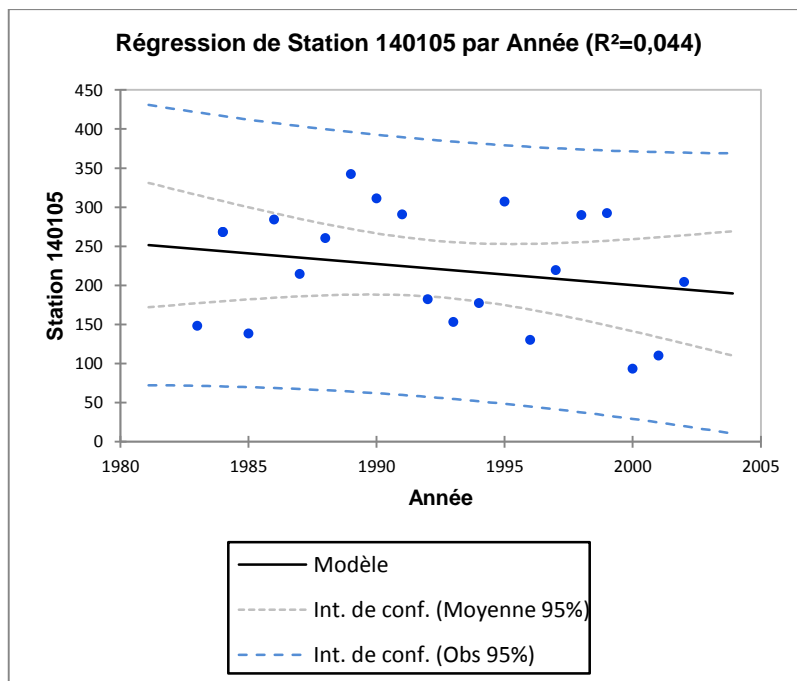


Figure N°4.71: Régression linéaire des pluies annuelles à la station 140105

Le résultat de la régression linéaire ne montre pas des valeurs anormales.

### 4.6.7.3. Répartition temporelle de la pluviométrie dans la région de Guelma

La figure 4.72 montre une variabilité modérée de la pluie annuelle à la station 140105. L'année (1989-1990) a enregistré les plus fortes pluies. A l'opposé, l'année (2000-2001) a été l'année la plus déficitaire en pluie

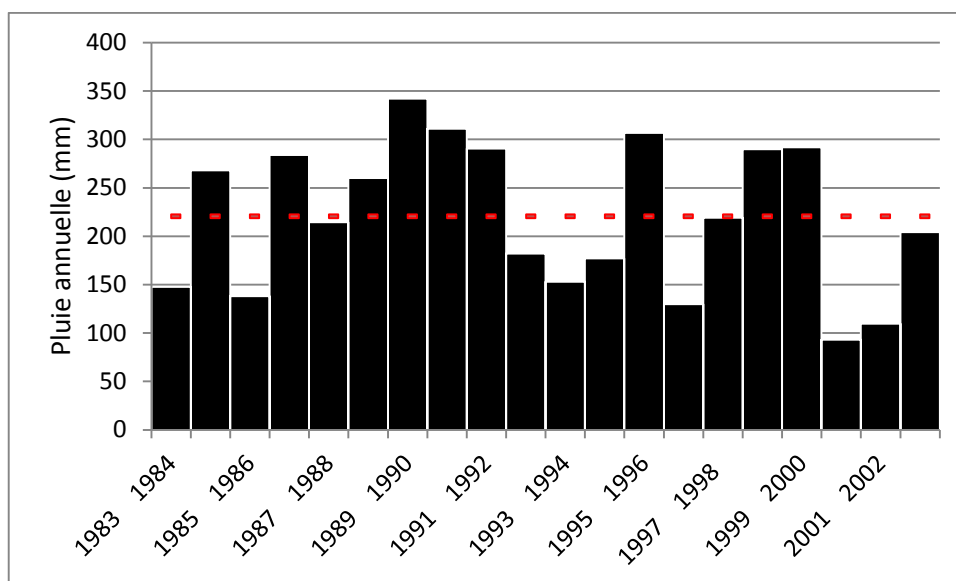


Figure N° 4.72: Répartition des pluies annuelles à la station 140105

#### 4.6.7.4. Approche statistique de l'évolution de la pluviométrie à la station considérée

##### 4.6.7.4.1. Test de tendance de Mann-Kendall

Les hypothèses du test sont les suivantes :

$H_0$  : Il n'y pas de tendance dans la série

$H_1$  : Il y a de tendance dans la série

Les résultats de test sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.38 : Résultat du Test de tendance de Mann-Kendall (Station 140105)

Tau de Kendall	-0,116
S	-22,000
Var(S)	0,000
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,501</b>
Alpha	0,05

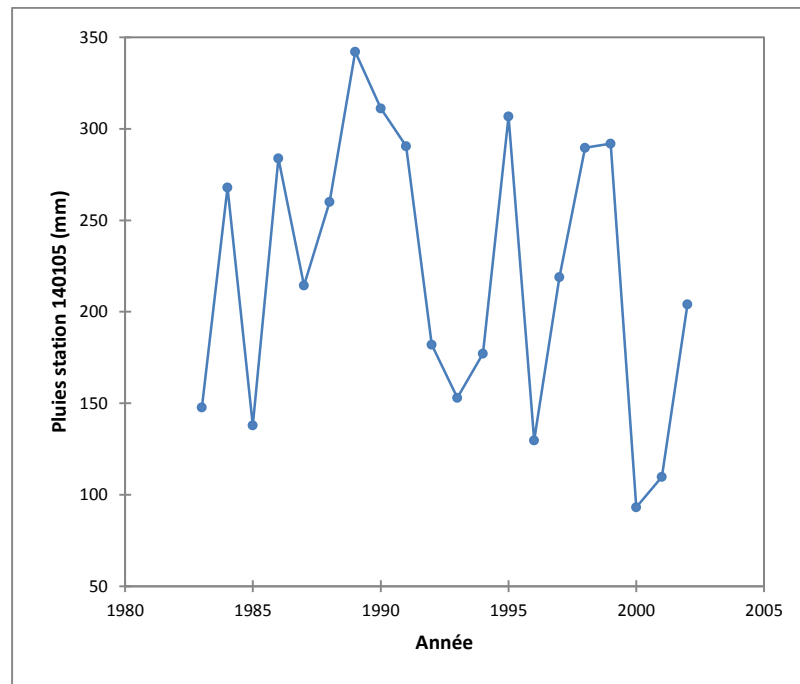


Figure N°4.73: Résultat graphique du test de Mann-Kendall

### 4.6.7.4.2. Tests de détection des ruptures

Les hypothèses à vérifier pour les trois tests sont les suivant :

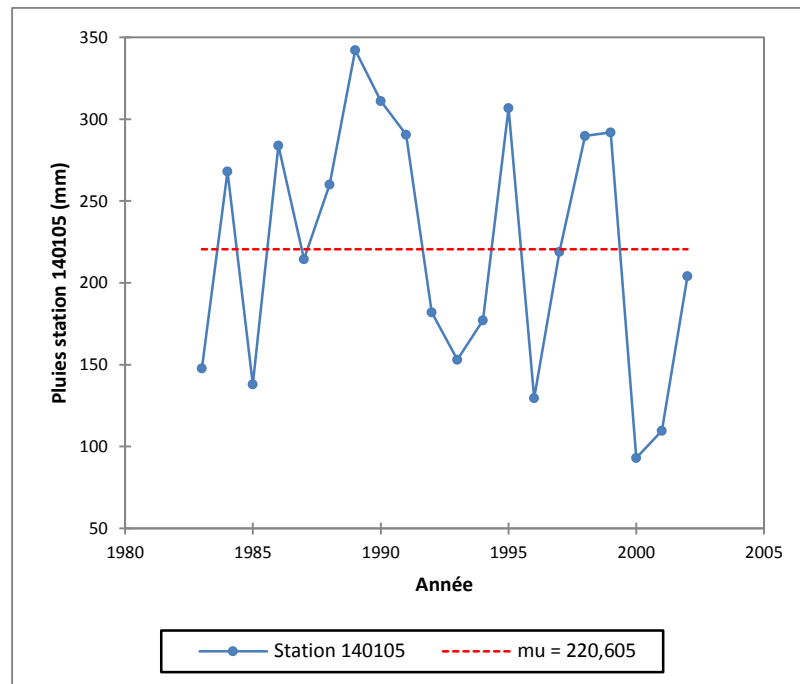
$H_0$  : La série est homogène

$H_1$  : La série n'est pas homogène

Les résultats de test sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N° 4.39: Résultats du Test de Pettitt (Station 140105)

K	39,000
t	1999
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,451</b>
alpha	0,05



**Figure N°4.73: Résultat graphique du test de Pettitt**

- Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140105)

Les résultats de test sont reportés dans le tableau suivant :

**Tableau N°4.39: Résultats du Test d'homogénéité normal standard (SNHT) (Station 140105)**

T0	4,395
T	1999
<b>p-value (bilatérale)</b>	<b>0,229</b>
Alpha	0,05

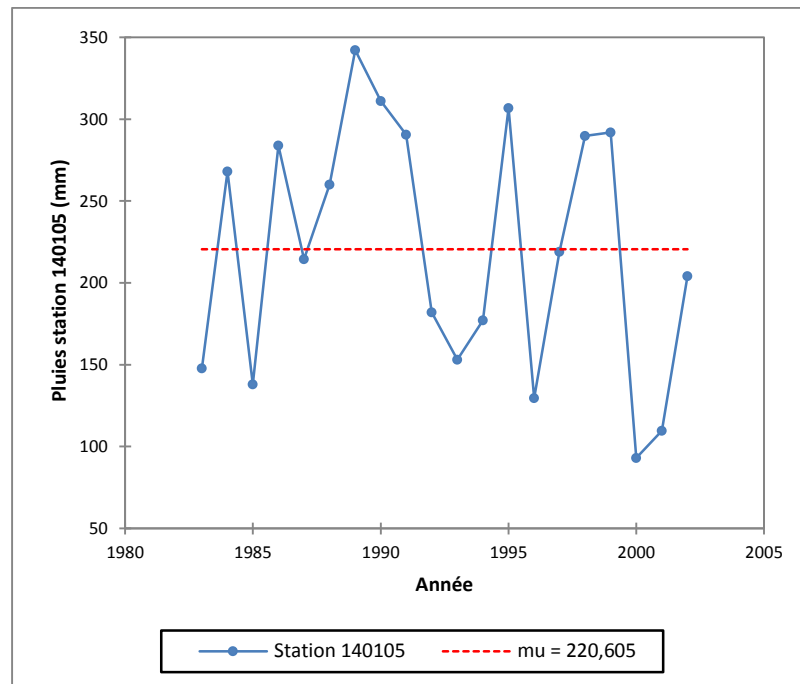


Figure N°4.74: Résultat graphique du test d'homogénéité normal standard (SNHT)

➤ Test de Buishand

Les résultats de test sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°4.40: Résultats du Test de Buishand (Station 140105)

Q	3,645
t	1991
<b>p-value (bilatérale)</b>	0,386
alpha	0,05

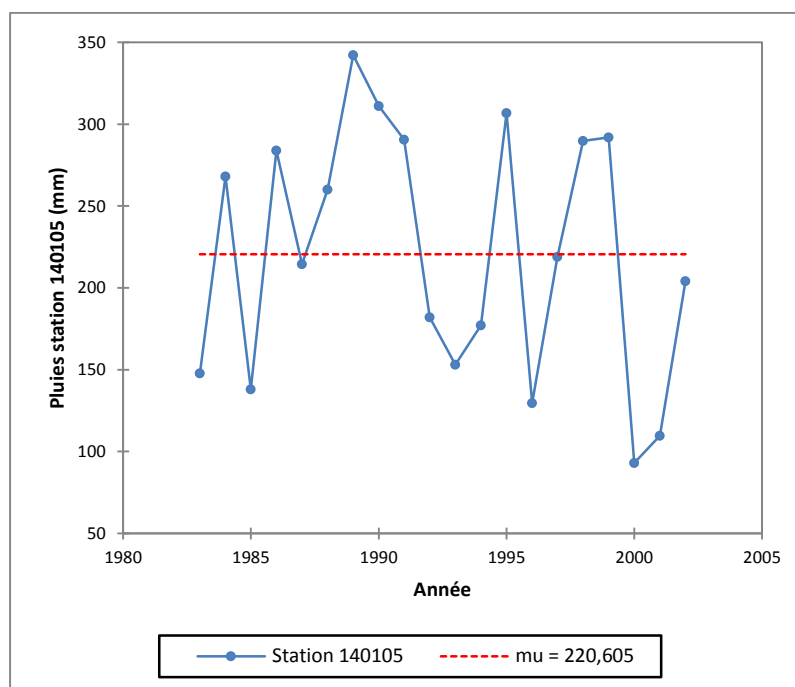


Figure N°4.75: Résultat graphique du test Buishand

4.7. Synthèse des résultats :

4.7.1. Synthèse des résultats du test de tendance

La synthèse de résultat de stationnarité Spearman est reportée dans le tableau suivant :

Tableau N°4.41: Synthèse de résultat de stationnarité Spearman

Station	Test de tendance		
	Mann Kendall	Spearman	Décision
140631	$ K  = 0.771 ; p = 0.441$	-0,34352191	Pas de tendance
140505	$ K  = 0.500 ; p = 0.617$	-0,09864232	Pas de tendance
140412	$ K  = 1.14 ; p = 0.256$	-0,32167295	Pas de tendance
140403	$ K  = 0.311 ; p = 0.756$	-0,83969466	Pas de tendance
140302	$ K  = 0.375 ; p = 0.707$	0,68427423	Pas de tendance
140205	$ K  = 0.889 ; p = 0.374$	-2,47481679	Pas de tendance
140105	$ K  = 0.00 ; p = 1.000$	-0,72490518	Pas de tendance



**4.7.2. Synthèse des résultats du Test de rupture**

La synthèse de résultat de stationnarité de test de rupture est reportée dans le tableau suivant :

**Tableau N°4.42: Synthèse de résultat de test de rupture**

Station	Test de rupture		
	Pettitt	SNHT	Buishand
<b>140631</b>	K  = 33,00 ; p = 0,901	T <sub>0</sub>   = 2,717 ; p = 0,618	Q  = 2,728 ; p = 0,817
<b>140505</b>	K  = 58,00 ; p = 0,849	T <sub>0</sub>   = 2,549 ; p = 0,740	Q  = 3,340 ; p = 0,786
<b>140403</b>	K  = 65,00 ; p = 0,803	T <sub>0</sub>   = 2,324 ; p = 0,786	Q  = 3,717 ; p = 0,687
<b>140412</b>	K  = 28,00 ; p = 0,978	T <sub>0</sub>   = 2,063 ; p = 0,774	Q  = 2,430 ; p = 0,903
<b>140302</b>	K  = 51,00 ; p = 0,742	T <sub>0</sub>   = 1,930 ; p = 0,823	Q  = 3,496 ; p = 0,651
<b>140205</b>	K  = 216,00 ; p = 0,060	T <sub>0</sub>   = 11,066 ; p = 0,009	Q  = 7,549 ; p = 0,104
<b>140105</b>	K  = 39,00 ; p = 0,451	T <sub>0</sub>   = 4,395 ; p = 0,229	Q  = 3,645 ; p = 0,386

**4.7.3. Conclusion des tests de rupture**

**Tableau N°4.43: Résultat de vérification de résultat de Test de rupture**

Station	Test de rupture					
	Pettitt		SNHT		Buishand	
	Rupture	Année de rupture	Rupture	Date	Rupture	Année de rupture
<b>140631</b>	Pas de rupture	/	Pas de rupture	/	Pas de rupture	/
<b>140505</b>	Pas de rupture	/	Pas de rupture	/	Pas de rupture	/
<b>140403</b>	Pas de rupture	/	Pas de rupture	/	Pas de rupture	/

## Chapitre 4 : Etude de l'évolution des précipitations

<b>140412</b>	Pas de rupture	/	Pas de rupture	/	Pas de rupture	/
<b>140302</b>	Pas de rupture	/	Pas de rupture	/	Pas de rupture	/
<b>140205</b>	Pas de rupture	/	Il y a une rupture	1999	Pas de rupture	/
<b>140105</b>	Pas de rupture	/	Pas de rupture	/	Pas de rupture	/

### Commentaire

Après notre étude sur les séries de pluie annuelles, qui ont utilisé plusieurs tests statistiques par Logiciel XLSTAT qui basé sur les tests suivant :

- Test de tendance de Mann-Kendall
- Tests de détection des ruptures

Le résultat obtenu après utilisation du Test de tendance de Mann-Kendall sur les séries ont montré que :

- ✓ Il n'y a pas de la tendance dans les stations (140631-140505-140403-140412-140302-140105), pour la station (140205) il existe une tendance.

Le résultat obtenu après utilisation du Test de rupture sur les séries ont montré que :

Test de Pettitt :

- ✓ Il n'y a pas de rupture dans toutes les séries des stations

Test de SNHT :

- ✓ Il existe une rupture seulement dans la série de station (140205) en 1999

Test de Buishand :

- ✓ Il n'y a pas de rupture dans toutes les séries des stations

### Conclusion

L'étude des précipitations est importante pour l'évaluation du risque inondation. La région de Guelma est considérée une région à risque en matière d'inondations.

Ce travail que nous avons présenté s'est intéressé à déterminer les éventuels changements observés sur les séries pluviométriques de la région de Guelma. L'analyse a concerné seize stations répartis sur six sous bassin de la région de Guelma.

Les outils utilisés dans cette analyse de l'évolution sont essentiellement statistiques tels que les tests de tendance et les tests de détection des ruptures dans les séries chronologiques.

Une partie importante de ce travail a concerné le contrôle des données où nous avons constaté des lacunes dans les séries d'observation. Le comblement de ces lacunes a permis d'obtenir des séries plus homogènes. .

Les tests de tendance (Mann Kendall, Spearman) ont permis de confirmer la stationarité de la totalité des séries chronologiques. Autrement, les précipitations annuelles aux stations considérées ne présentent pas une tendance significative

Les résultats des tests de rupture (Pettitt, SNHT, Buishand) ont permis de conclure à l'homogénéité des séries considérées à l'exception de la station 140205.

Ces résultats, aussi indicatifs qu'ils soient, sont en fait réalisés sur des périodes d'observation différentes pour l'ensemble des stations. De plus ces changements pour qu'ils soient bien observables nécessitent de périodes plus longues que celles dont nous disposons.