

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA. BOUMERDES



Faculté des Sciences
Département de biologie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER**

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Écologie et Environnement

Option : Biodiversité et Environnement

Thème

**Évaluation des impacts potentiels des changements
climatiques sur les ressources en eau superficielles
dans la région de Seybouse**

Présenté par :

- M^r. BAAZIZ Mohamed Abderrahim
- M^r. TOUMI Abdenour
- M^r. BENCHOUK Mohamed-Ibrahim

Membres de jury :

M ^{me} FOUZIA S.	MAA (UMBB)	Présidente
M ^{me} CHERFOUH N.	MAA (UMBB)	Promotrice
M ^{me} GUERRACHE N.	MCB (UMBB)	Examinatrice

Année universitaire 2020-2021

REMERCIEMENTS

Gloire soit rendu à Dieu tout puissant créateur de toutes choses, le très miséricordieux pour tous ses bienfaits dont il nous a comblé et de nous avoir donné le courage et la force pour réaliser ce modeste travail.

Nous remercions dans un premier lieu notre chef de spécialité Mr. FATEH KARIM AMGHAR. Comme nous tenons aussi à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs de la spécialité «Biodiversité et environnement » qui nous ont enseigné, et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études, Mme BENHBILES ; Mr BELOUT ; Mr LATRECHE et spécialement « Mme. CHERFOUH NAFISA » pour ses orientations, et ses conseils précieux qui nous ont aidés à concrétiser ce travail.

Nos remerciements s'étendent également à «Mr. KOUBA YACINE» ; pour son orientation et son aide.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à la source qui déborde, la personne si tendre si adorable qui m'a donné la vie, celle qui m'a éclaircie le chemin, ma mère « ASSIA ». A mon cher père « FATEH », aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour et l'affection dont il ne cesse combler, celui qui m'a planté l'art de la réussite. Que Dieu procure la bonne santé et la longue vie à mes parents. A les meilleures sœurs du monde « RANIA et son mari YACINE, MOUNA et son mari HOUSSEM, ma petite adorée OULFA » A mon cher neveu ANES, mes princesses AFNAN et LOUJAIN. À tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'études.

Enfin une pensée très spéciale envers mes collègues de promotion 2^{ème} année MASTER groupe 2 et surtout mon frère ANIS ; Abdenour TOUMI ; BEN CHOUK MOHAMED mes amis WASSIM BOUDALI, OUSSAMA SGHIR, IMADE AMMARI pour leurs soutiens.

MOHAMED ABDERRAHIM BAAZIZ

Dédicace

Au nom de Dieu le tout puissant et le très miséricordieux par la grâce duquel on a pu réaliser ce travail que je dédie en signe de Respect, de Reconnaissance et D'Amour à :

Mes très chers parents et pour leur affection,

Leur soutien et leur confiance

Mon grand- père et Ma grand mère.

Mon cher frère,

Mes très chères sœurs,

Tous mes collègues pour leurs aide : Toumi Abdenour, Baaziz Mohamed Abderrahim.

Mes amis : Oussama, Halim et Ilyes et à toute la promotion de Biodiversité et Environnement

BENCHOUK Mohamed-Ibrahim

Dédicaces

A la fontaine qui ne se lasse pas de donner à celle qui tisse mon bonheur avec les fils tissés de son cœur A ma chère mère.

Qui conque s'efforce et misérable de jouir du confort et du contentement À celui qui ne m'a rien épargné À l'homme qui a combattu le monde pour nous À mon père.

Aux yeux dont je tire la force, à la femme qui a volé mon cœur, la compagne de vie et de lutte, ma femme de ma vie.

Pour un morceau de mon âme et la raison de mon bonheur, mon fils
Ghaith.

Mon bras droit et mon grand frère Sofiane, tu m'as donné beaucoup.

A mes frères : Oussama la plus pure du monde, Riadh le don de Dieu pour nous, Assil ma petite princesse.

TOUMI Abdennour

الملخص :

إن الحوض الهيدرولوجي لولاية سيدي بوسعيد عرف تغير مناخي بالأخص في طبيعة الأمطار المتساقطة خلال الفترة الممتدة ما بين 1970 إلى غاية 2020 و يتجلى هذا الأخير بوضوح من خلال اختبارات كشف الانقطاعات التي تم تطبيقها على السلاسل الزمنية للأمطار لسنوات متعددة. تمت دراسة وتحليل 20 محطة قياس الأمطار تابعة للوكالة الوطنية للموارد المائية والديوان الوطني للأرصاد الجوية للجزائر. النتائج المتحصلة عليها من خلال هذه الدراسة تبين عدم ثبات السلاسل الزمنية للأمطار المدروسة و تضع في الواجهة فرضية توسع المنطقة الشمالية للتقارب بين الأقاليم المدارية و هذا من منطلق عدم استقرار تساقط كميات الأمطار المدروسة. إن اختبار Pettit و اختبار معامل kendall تظهر الانقطاعات في جميع السلاسل الزمنية للأمطار وبالأخص في المنطقة الشمالية الشرقية للحوض، ان اختبار معامل kendall يبين أن 80% من مجمل محطات قياس

الكلمات المفتاحية: التغير- الأمطار-الاختبار-الاستقرار-الميل

Résumé

Le bassin versant de la Seybouse a connu une variabilité climatique notamment pluviométrique de 1970 à 2020 qui été mise en évidence par des tests de détection de rupture appliqués aux séries des pluies pluri annuelles. Vingt quatre (20) postes pluviométriques de l'agence nationale des ressources hydriques et de l'office national de la météorologie d'Alger ont été analysés. Les résultats obtenus indiquent le non stationnarité des séries des pluies étudiées et mettent en relief l'hypothèse de l'expansion de la partie Nord de la zone de convergence intertropicale traduite par l'instabilité des pluies étudiées. Les tests de Pettitt et les test des rangs de kendall marquent des ruptures sur toutes les séries des pluies. le test de rang de kendall indique que 80% d'ensemble des stations ont une tendance à la hausse.

Mots clé : variabilité- pluviométrie- test- stationnarité- tendance

Abstract

Seybouse Water shed is subject to climate changes especially rainfalls from 1970 to 2020 which was highlighted by breakage detection tests applied to the annual multi-rain series. Twenty four rainfall stations of the National Agency of Water Resources and Meteorological administration in Algeria were analyzed. The purpose of the present paper is to study the rainfall variability. The results indicate the non-stationary rainfall series studied and to face the hypothesis of the expansion of the northern part of the inter-tropical convergence zone resulting in instability of the studied rainfall. Pettitt and Kendall tests observe the rupture on all series of rains, mainly on the North East basin. In contrast, in the southern part Kendall test indicates that 80% of all stations have a tendency to increase

Keywords : variability- rainfall- test- stationnarity- trend.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
les Objectifs de l'étude	4

CHAPITRE I : CADRE PHYSIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

1. Cadre de l'étude	6
2. Présentation de la zone d'étude	6
2.1. Cadre géographique	6
2.2. Le relief	7
2.2.1. L'Atlas Tellien	7
2.2.2. Les Hautes Plaines Constantinoises	9
2.2.3. L'Atlas Saharien oriental au relief dissymétrique	9
2.3. Cadre géologique :	10
2.3.1. Le Paléozoïque :	12
2. 3.2. Le Mésozoïque :	12
2. 3.3. Le Cénozoïque :	13
2. 3.4. Le Quaternaire :	13
2.4. La Paléogéomorphologie:	15

CHAPITRE II : Démarche méthodologique

1. Critique et sélection des stations pluviométriques	17
1.1. Etat du réseau pluviométrique	17
1.2 Sources des données utilisées	17
1.3. Choix des stations pluviométriques	17
1.4. Historique du fonctionnement des stations :	18
1.5. Contrôle des données pluviométriques	20
1.6. Comblement des données manquantes	20
1.7. Homogénéisation des données	21
1.7.1. Test de <u>Wilcoxon</u>	21
1.7.2. Analyse statistique des séries pluviométriques par l'ajustement à une loi statistique	24
2. Détection des Cassures dans les séries pluviométriques :	26
2.1. Les méthodes d'approches utilisées:	26
2.1.1. Aperçu sur les différentes méthodes utilisées pour la détection des cassures	26
2.1.2. Aperçu sur les différentes méthodes utilisées pour l'étude Spatio-temporelle des pluies	29
Conclusion:	32

CHAPITRE III : Analyse et discussion

1. Application et résultats des tests non paramétriques sur la pluviométrie annuelle pour la période 1936-2004	34
2. Application et résultats des tests non paramétriques sur la pluviométrie annuelle pour la période 2005-2020	36
3. Application et résultats des tests non paramétriques sur la pluviométrie saisonnière pour la période 19 36-2004	39
4. Application et résultats des tests non paramétriques sur la pluviométrie saisonnière pour la période 2005-2020	40
Conclusion	42
Conclusion générale	44
Références bibliographiques	

LISTE DES FIGURES

Figure 1	la consommation d'eau dans le monde	2
Figure 2	la pression sur les ressources en eau dans le monde	3
Figure 3	Carte de répartition des pluies annuelles (1913-1938)	6
Figure 4	Bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord et situation de la zone d'étude	7
Figure 5	Carte du relief de la région d'étude	8
Figure 6	Carte bioclimatique de la région d'étude	10
Figure 7	Contexte géologique de la basse plaine de la Seybouse (Vila, 1980)	11
Figure 8	Coupes géologiques	14
Figure 9	Ajustement des pluies annuelles pour la station de Annaba	25
Figure 10	Ajustement des pluies annuelles pour la station de Constantine	26
Figure 11	Test de Mann-Kendall progressive appliqué à la station de Boukhamouza	35
Figure 12	Test de Mann-Kendall progressive appliqué à la station de Annaba ville	35
Figure 13	Test de Mann-Kendall progressive appliqué à la station de Tamlouka	38
Figure 14	Test de Mann-Kendall progressive appliqué à la station de Mechrouha	38
Figure 15	Test de Mann-Kendall progressive appliqué à la station de Bourdjsabath	42
Figure 16	Test de Mann-Kendall progressive appliqué à la station de Boukhamouza	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Etat du réseau pluviométrique	18
Tableau 2	Les stations retenues dans l'étude pour la période 1936-2005	19
Tableau 3	Les stations retenues dans l'étude pour la période 2005-2020	19
Tableau 4	Application du Test de Wilcoxon sur les pluies annuelles de la période 1936-2005	22
Tableau 5	Application du Test de Wilcoxon sur les pluies annuelles de la période 2005-2020	22
Tableau 6	Application du Test de Wilcoxon sur les pluies annuelles de la période 1936-2005	23
Tableau 7	Application du Test de Wilcoxon sur les pluies mensuelles de la période 1936-2005	23
Tableau 8	Classement en fonction de la probabilité associée au test de Pettitt	29
Tableau 9	Classement en fonction de l'indice standardisé de précipitation "SPI"	30
Tableau 10	Classement en fonction de l'indice standardisé de précipitation corrigé "SPIC"	30
Tableau 11	Résultats du test de Mann Kendall et Spearman appliqués aux valeurs des pluies annuelles des 10 stations (1936-2004)	34
Tableau 12	Résultats du test de Mann Kendall et Spearman appliqués aux valeurs des pluies annuelles des 10 stations (1936-2004)	36
Tableau 13	Résultats du test de Mann Kendall, Spearman et Pettitt appliqués aux valeurs des pluies annuelles des 10 stations (2005-2020)	37
Tableau 14	Résultats de l'application du test de Mann Kendall aux valeurs saisonnières des stations retenues dans l'étude pour la période 1936-2004	39
Tableau 15	Résultats de l'application du test de Spearman aux valeurs saisonnières des stations retenues dans l'étude pour la période 1936-2004	39
Tableau 16	Résultats de l'application du test de Pettitt aux valeurs saisonnières des stations retenues dans l'étude pour la période 1936-2004	40
Tableau 17	Résultats de l'application du test de Mann-Kendall et Spearman aux valeurs saisonnières de stations retenues dans l'étude pour la période 2005-2020	41
Tableau 18	Résultats de l'application du test de Pettitt aux valeurs saisonnières de stations retenues dans l'étude pour la période 2005-2020	41

Introduction générale

Introduction générale

L'eau joue un rôle essentiel dans la réalisation des objectifs du millénaire. Pendant que les populations continuent de s'accroître et que les économies se développent, la compétition pour l'eau entre les différents utilisateurs s'intensifie, ce qui induit une pression excessive sur l'environnement. Le ratio ressources en eau par habitant ne cesse de baisser dans beaucoup de régions du monde et se situe au dessous du seuil de pauvreté hydrique. Au problème de manque de ressources et à l'acuité des conflits d'usage s'ajoute une dégradation préoccupante des eaux du fait que les rejets domestiques et industriels ne sont pas traités et du fait de l'utilisation des produits chimiques en agriculture



Photo.1 : la pollution des eaux de surface

source : internet.2010



Photo.2. le problème de l'alimentation en eau potable de la population est ancien

Il existe aujourd'hui, partout dans le monde, des preuves indubitables qui montrent que les systèmes naturels sont touchés par les changements climatiques régionaux, et plus particulièrement par l'augmentation de la température. Il est quasi certain que le réchauffement observé, et causé par l'homme, contribue notamment à la fonte des glaciers, à la modification du débit des cours d'eau, au réchauffement des eaux, au début plus précoce des floraisons, aux périodes de végétation plus longue où à la migration des plantes et des animaux vers des latitudes plus septentrionales où à des altitudes plus élevées dans de nombreuses régions du monde (GIEC.2007b).

Selon l'étude réalisée par le Centre International des Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéen (CIHEAM), le bassin méditerranéen, que ce soit au Nord, à l'Est ou au Sud, fera face à de sérieuses crises hydrauliques à l'horizon 2025. Cette thèse a été présentée par Pierre Blanc, chercheur au CIHEAM, lors de l'université d'été des universitaires Euromed qui s'est tenue à Casablanca.

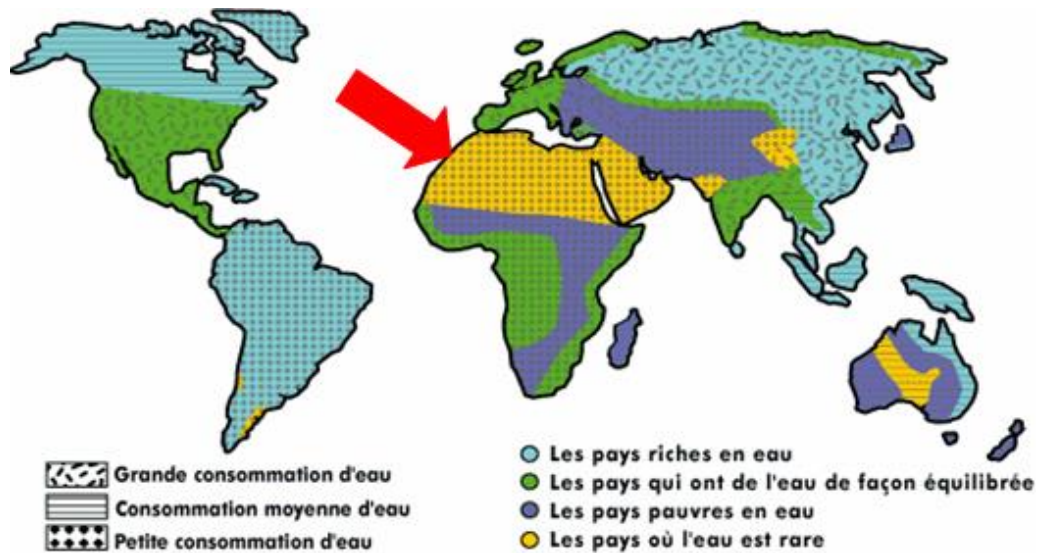


Figure.1. la consommation d'eau dans le monde

Source : internet.2010

Du fait que l'Algérie soit située dans le bassin méditerranéen, elle reste une région très vulnérable aux changements climatiques et catastrophes naturelles. Les scientifiques estiment que des pluies et des orages comme ceux qui ont caractérisé les régions de Bab El Oued le (samedi 10 Novembre 2001 et qui ont fait 1200 morts et 180 disparus ainsi que de nombreux blessés) et Ghardaia (1er Octobre 2008 40 décès) seront de plus en plus fréquents et violents et dangereux. Le XXI^e siècle sera caractérisé par une augmentation des températures, de l'ordre de 4° (pour l'Algérie il est prévu une augmentation de l'ordre de 1° à 1,5° à l'horizon 2020) et une diminution des saisons de pluies



photo.3 : Inondations à Alger en 1906

Source : internet.2010

Une bonne partie des ressources hydriques vient des eaux de surface très dépendantes de la pluie. Dans l'Algérie orientale, plusieurs chercheurs se sont intéressés, depuis plusieurs années, à l'étude de cet élément du climat et à sa variabilité spatiale et temporelle (Mebarki.A 1984, 2006 et Ghachi 1986,). Ces études sont réalisées par des hydrologues. En dépit de l'abondance des travaux de recherche sur la pluie certains aspects de cet élément climatique méritent encore d'être mieux connus comme notamment l'impact du déficit pluviométrique sur l'environnement d'une manière générale.

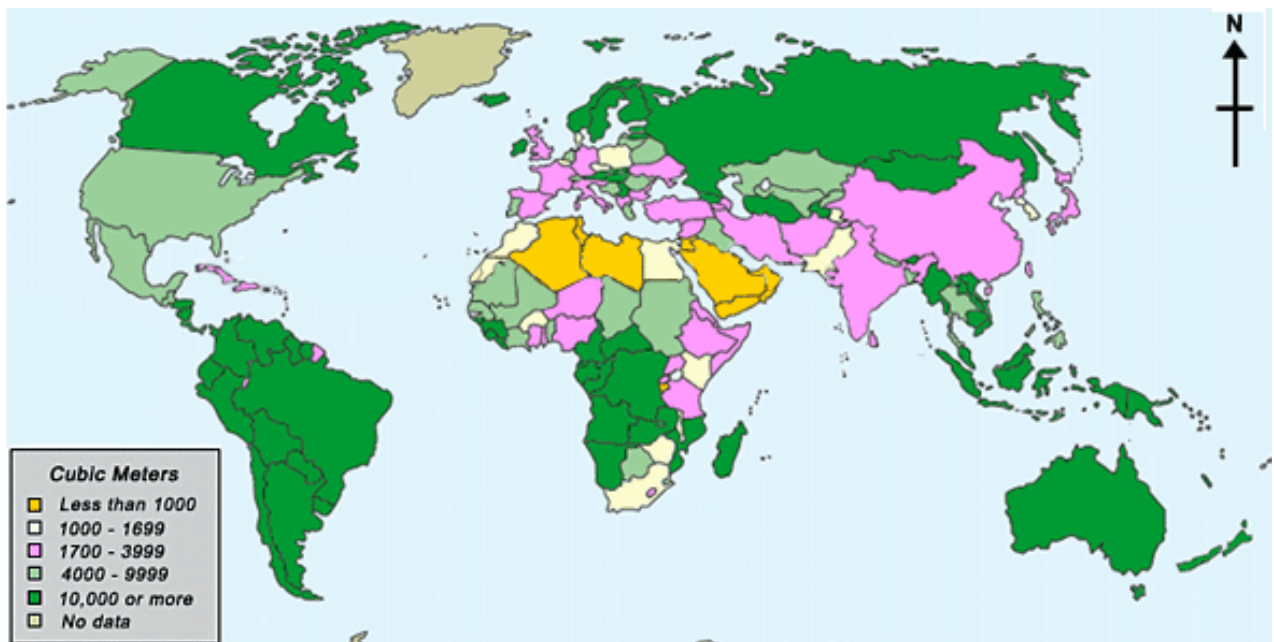


Fig.2. la pression sur les ressources en eau dans le monde

source : internet.2010

les Objectifs de l'étude

Les principaux objectifs de l'étude sont :

- Constitution d'une banque de données fiables
- répondre aux différentes questions :
 1. Ya t-il un changement dans la pluviométrie annuelle ?
 2. Ya t-il un changement dans la pluviométrie mensuelle ?
 3. Quelles sont les méthodes utilisées pour la détermination de la variabilité spatio-temporelle des pluies ?

Cette étude a pris comme motif essentiel l'étude de ce fléau par ces causes et ses conséquences basées sur l'utilisation des méthodes statistiques afin d'analyser et d'interpréter les résultats obtenus.

Nous avons subdivisé notre travail en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude du cadre physique de la zone d'étude
- Le deuxième chapitre est consacré aux données et méthodes d'approches ;
- Le troisième chapitre est réservé à l'analyse des résultats obtenus ;

Chapitre I

**Cadre physique
De la zone d'étude**

1.Cadre de l'étude

Comme cadre spatial nous avons choisi une partie de l'Algérie orientale ; le bassin versant de Seybouse . Cette région représente la région la plus arrosée du pays (**Fig,3**) et détient, de ce fait, la plus importante des ressources en eau de surface. Avec un écoulement annuel moyen pouvant dépasser les 200-300 mm sur les bassins telliens, elle s'oppose nettement à l'Algérie occidentale où la semi-aridité dominante ne permet que des écoulements médiocres, en majorité inférieurs à 50 mm par an (Mébarki.2005).

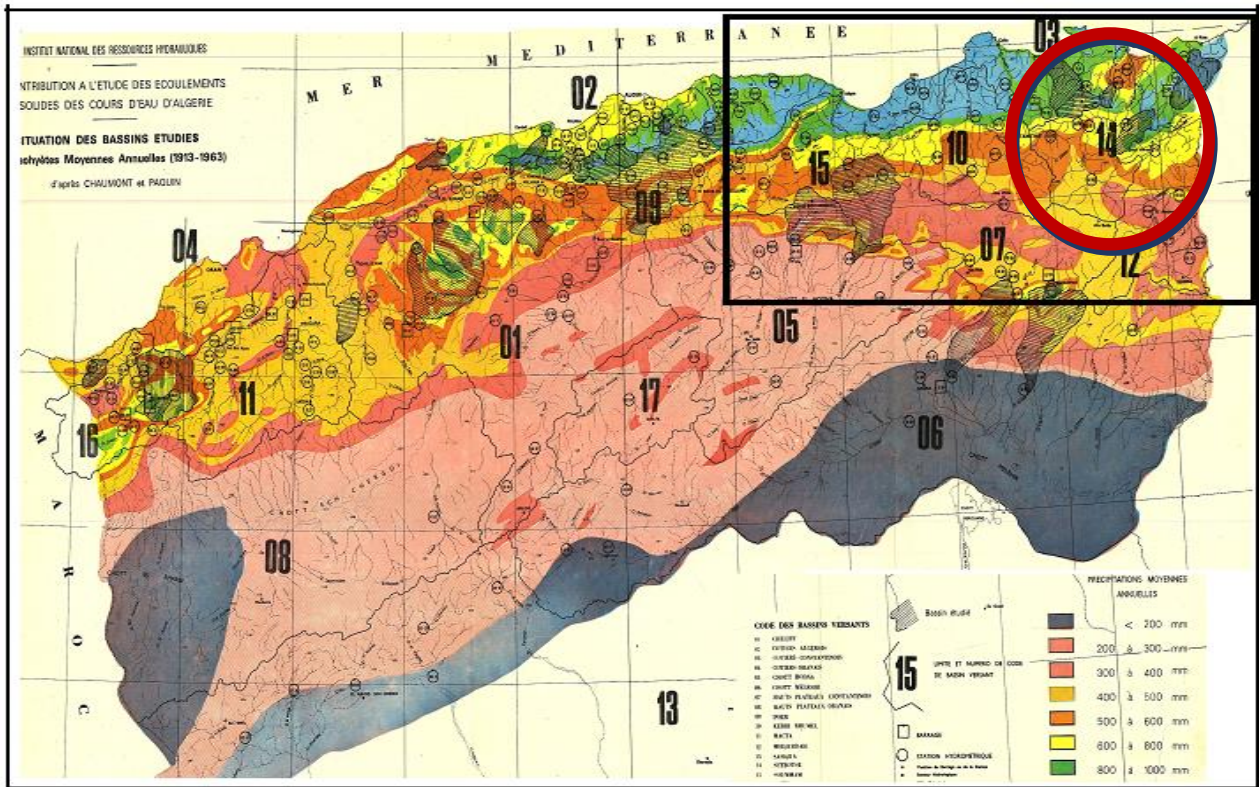


Figure.3. Carte de répartition des pluies annuelles (1913-1938)

Source : Seltzer.1949

2. Présentation de la zone d'étude

2.1.Cadre géographique

La région hydrographique Constantinoise-Seybouse-Mellegue couvrant une superficie de 44719 Km² (ANRH.1974), est la région la plus orientale de l'Algérie du Nord, située entre la région Algérois- Hodna- Soummam et la Tunisie. Elle est bordée par la mer Méditerranée et au sud par le bassin du Sahara. La région englobe cinq grands bassins (**Fig.4**) : Le Kebir Rhumel (10) superficie (8815Km²),la Seybouse (14) (6475km²), la Medjerdah-Mellegue (12) (7785km²), les Hauts-Plateaux (07) (9578Km²), les côtiers constantinois (03) (11566km²), composé par le côtier Constantinois Ouest 03A) (2870 Km²), le côtier Constantinois Centre (03B) (4129Km²) et le côtier Constantinois Est (03C) (4567Km²). Dans le cadre de cette recherche ; la délimitation de la région d'étude est basée sur la limite des bassins versants, notés déjà en haut.

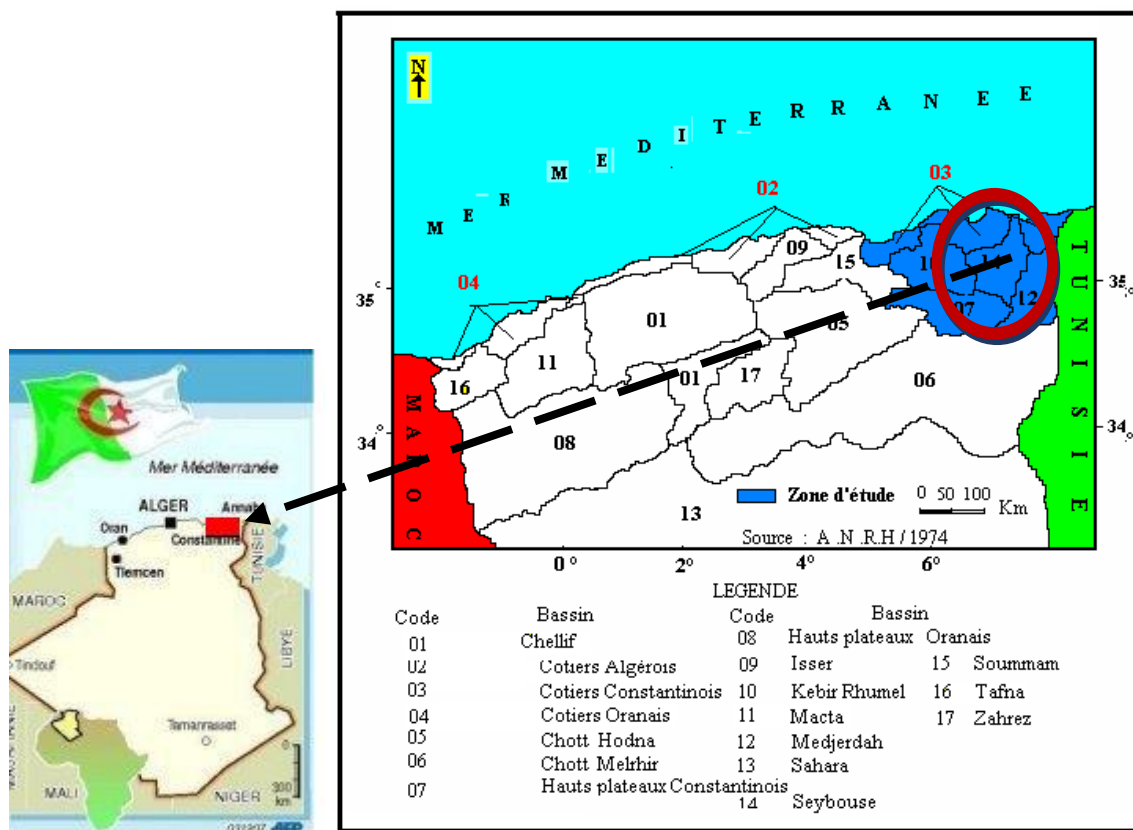


Figure..4. Bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord et situation de la zone d'étude

2.2. Le relief

Nous n'avons pas l'intention de faire une étude très détaillée du milieu naturel de l'Algérie orientale, mais nous tenterons de dégager les grandes caractéristiques du relief pour permettre l'étude et l'interprétation de la variation des précipitations en fonction de l'altitude (gradient pluviométrique). Le cadre physique de la zone d'étude est caractérisé par l'hétérogénéité des grandes unités naturelles. L'Atlas Tellien de l'Est est moins morcelé, moins massif que celui de l'Ouest, il est aussi plus humide et plus chaud. Les Hautes Plaines de l'Est sont moins arides. Du Nord au Sud, l'Algérie orientale peut être subdivisée en trois ensembles orographiques différents (Fig.5) dans chaque ensemble, une dissymétrie assez nette apparaît entre l'Ouest et l'Est

2.2.1. L'Atlas Tellien

L'Atlas Tellien de l'Algérie Orientale est très montagneux, et domine une côte le plus souvent élevée, découpée et creusée de très beaux golfes, aussi ces plaines littorales. De l'extrémité ; les plaines de *Bône* (Annaba), et du lac *Fetzara*, qui entourent le massif de *l'Edough*, aussi elles s'élèvent les montagnes de la Kabylie orientale, celles qui s'étendent du golfe de Bejaia à la région de Skikda (*Philippe ville*), dominée au Sud par la chaîne numidique (1462 m au *Djebel M'sid Aicha*). Les Bibans sont relayés par le massif du *Guergour* et les Monts des *Ferjioua* (Nord-Est de Sétif), auxquels font suite les Monts dits de Constantine, puis la Medjerda avec l'arrière pays Annabien

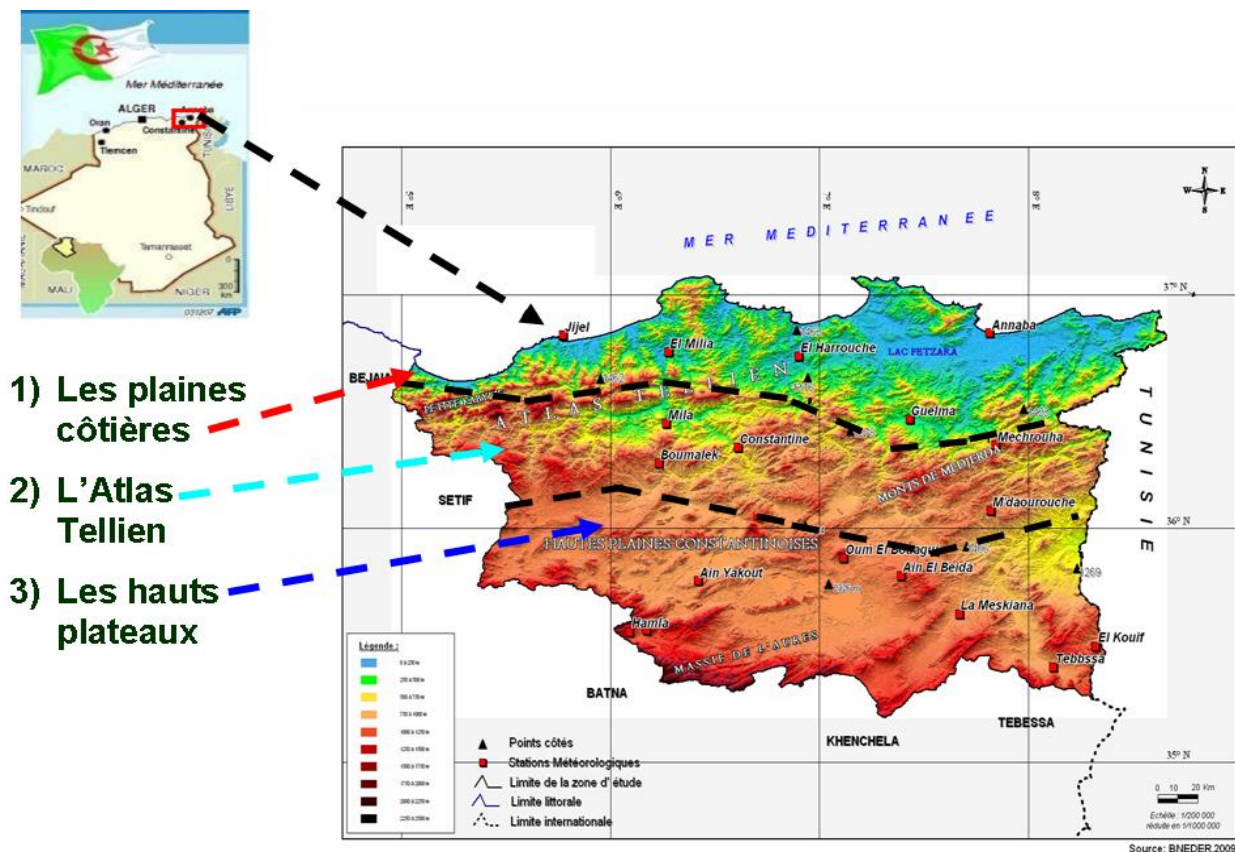


Figure..5. Carte du relief de la région d'étude

Presque partout le relief est complexe, les massifs sont mal délimités et la nomenclature reste imprécise. Des formes dominent ou côtoient les reliefs les plus jeunes, des vestiges de surfaces d'aplanissement où une sub-égalité des crêtes, des inversions de relief en structure modérément plissée, présence de marécages dans les basses plaines témoignent d'un climat moins sec qu'en Ouest. Les plaines côtières se succèdent d'Est en Ouest, en unités isolées les unes des autres, par massifs maritimes, les trois massifs d'El-Aouana, de Bougarroun et de l'Edough ont des positions en saillant dans la mer méditerranée, qu'ils dominent par des versants raides (Sabaa.2010). Les plaines de Guerbès, de Fetzara et d'Annaba, en forme de croissant autour du Djebel l'Edough, sont jalonnées respectivement par la basse vallée du Khébir-Ouest, le lac Fetzara, la basse Seybouse et la Mafragh. Il s'agit partout ailleurs de petites plaines côtières correspondant aux basses vallées des Oueds : Skikda (Oued Safsaf), Collo (Oued Gebli), El Ancer-Belghimouz (Oued El Kébir), Jijel (Oued Djendjen) et Souk El-Tenine (Oued Agrioun). Un bourrelet montagneux tellien qui longe depuis Bejaia, jusqu'à la frontière Tunisienne, sur 300Km² environ, la mer méditerranée, qu'elle surplombe par endroits à la faveur de grandes falaises. Cette chaîne dédoublée (Tell interne et Tell externe), doit son caractère montagnard moins à l'altitude qu'aux vallées et au climat. Une série de petits cours d'eau parallèles et cours descendent du flanc Nord des Djebels Bien arrosés, et se précipitent en pentes raides vers la méditerranée. Des cours d'eau telliens plus importants, avant d'atteindre la mer enraillent vigoureusement le relief, à l'image de l'Oued Agrioun, qui emprunte les fameuses gorges de Kherrata dans la chaîne des Babors (point culminant 2004m).

2.2.2. Les Hautes Plaines Constantinoises

A l'Est de la cuvette et les Monts du Hodna, de vastes Hautes Plaines étendues séparent l'Atlas Tellien qui les domine faiblement, d'un Atlas Saharien qui se soulève fortement dans l'Aurès, et qui va des Monts de Nememcha aux Monts du Hodna, leur altitude se tient entre 800 et 1000 mètres, et elles sont parsemées de massifs et de chaînes de montagnes, qui s'élèvent entre 1100 et 1700 mètres ; les montagnes y couvrent 1/5 de la surface. Généralement elles sont topographiquement perchées par rapport aux plaines littorales ou sahariennes, mais toujours dominées par les chaînes Nord et Sud où, le réseau hydrographique méditerranéen mord largement dans leurs marges Nord, et surtout aux extrémités ; Est (Oued Medjerda) et Ouest (Oued Boussellam), et la végétation naturelle est plus méditerranéenne que steppique. Les dépressions fermées avec leurs Sebchas se localisent au Sud, on citera le Chott Hodna, plus décalé vers le Sud Ouest, se trouve géographiquement dans le prolongement de la région inter atlasique Algéro-Oranaise. Les massifs et les collines qui accidentent les Hautes Plaines, sont dans le prolongement des chaînes méridionales, et s'apparentent à leur structure atlasique relativement simple, le Nord et le Nord-Ouest sont dominés par des massifs isolés, au Sud et au Sud-Est les reliefs s'allongent.

2.2.3. L'Atlas Saharien oriental au relief dissymétrique

C'est un ensemble caractérisé par une très grande diversité de reliefs et de structures plissées, avec des massifs volumineux, mais relativement ouverts, Encadrant et dominant vigoureusement les hautes plaines Constantinoises au Sud ; les Monts du Hodna, du Belezma, de l'Aurès et des Nememcha, offrent une plus grande diversité physique et humaine. Le gros pâtre de l'Aurès porte les deux sommets les plus élevés de l'Algérie, le Chélia (2329 mètres), et le Kef Mahmel (2321mètres) ; le Belezma, il se caractérise par des alignements Sud-Ouest Nord-Est ; où gros anticlinaux et larges synclinaux perchés se succèdent. Les Monts du Hodna qui jouxtent l'Aurès à l'Ouest, forment en diagonale les Hautes Plaines, et font la jonction entre l'Atlas Saharien et la chaîne Tellienne culminent à 2094 mètres au Djebel Touggourt et à 1890 mètres au pic du Boutaleb, tandis qu'à l'Est de l'Aurès, les altitudes s'abaissent en direction de la Tunisie. Leur versant Sud dominant Chott Hodna, est à l'origine d'une série d'Oueds temporaires, qui alimentent la dépression lacustre, l'Oued Ksob mord un peu plus au Nord des Hautes Plaines de Bordj-Bouarrerdj. Les Hautes Plaines Constantinoises se tiennent en effet entre 800 et 1100 mètres , alors que la dépression du Hodna s'enfonce à 400 mètres, celle des Ziban à 200 mètres, et celles des Chotts au-dessous du niveau de la mer. Vues du Sud les chaînes méridionales de l'Algérie de l'Est, surgissent entre 1000 et 2000 mètres. La ligne de partage des eaux est reportée le plus souvent jusqu'en bordure des Hautes Plaines, c'est-à-dire dans des régions relativement pluvieuses.

Globalement, on peut identifier quatre zones climatiques dans la région (**Fig6**).

- 1) La région côtière montagneuse humide : une large bande côtière où la précipitation moyenne annuelle varie entre 800 mm et 1600 mm.
- 2) Région montagneuse humide : zone des pentes montagneuses de l'Atlas Tellien qui font au Sud y compris les montagnes de Constantine. La précipitation moyenne annuelle est entre 600 mm et 800 mm.

- 3) Région des steppes semi humide : c'est la zone des collines située entre les pentes de l'Atlas Tellien qui font face au Sud et le plateau des chotts. La pluie moyenne annuelle est entre 400 mm et 600 mm.
- 4) La région des plateaux semi aride : elle couvre essentiellement les Hauts-Plateaux Constantinois et le plateau des Chotts au sud de cette zone, les monts de l'Aurès et de Tébessa. La précipitation moyenne annuelle varie entre 300 mm et 400 mm.

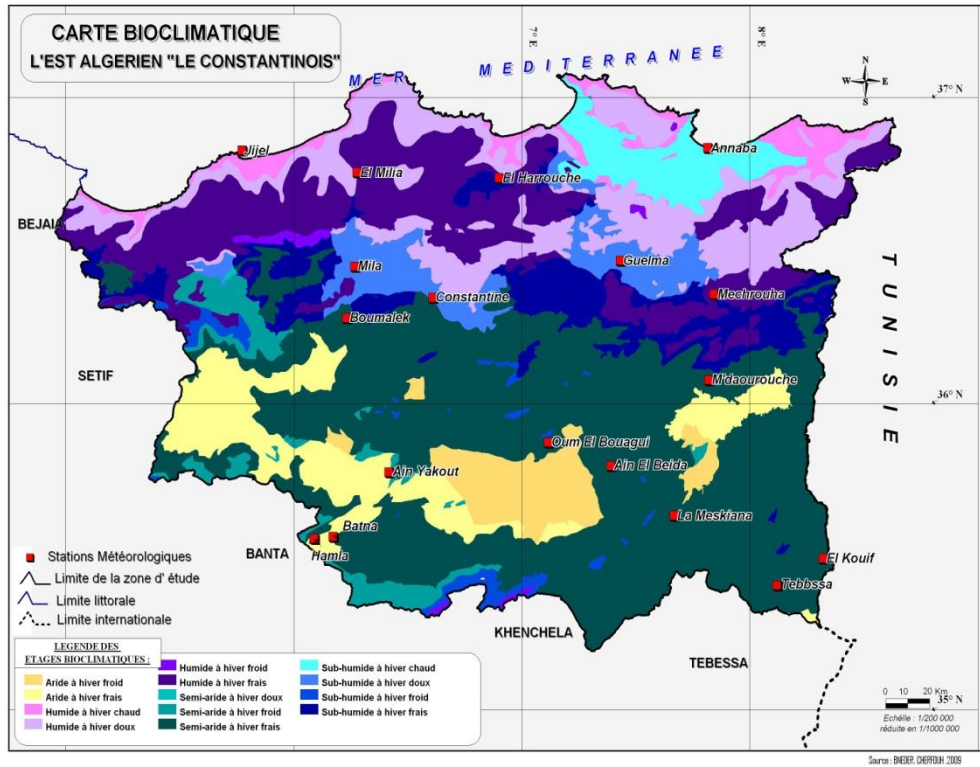


Figure.6. Carte bioclimatique de la région d'étude

2.3.Cadre géologique :

Le cadre géologique du bassin versant de Seybouse conditionne les écoulements des eaux souterraines et des eaux superficielles. Nous voulons montrer ici la complexité géologique des diverses formations lithologiques qui contribuent à expliquer la nature des réservoirs, des zones imperméables et des zones en voie de dissolution.

Les études géologiques qui ont été faites sur la région (Joleaud, 1936 ; Hilly, 1962 ; Vila, 1980 ; Lahondère 1987 ; J. Ilavsky. 1987 ; Gleizes, 1988 ; Hammor, 1992), montrent l'existence de deux types de terrains métamorphique et sédimentaires L'échelle stratigraphique de ces terrains se répartit du Paléozoïque au Quaternaire (fig. 7)

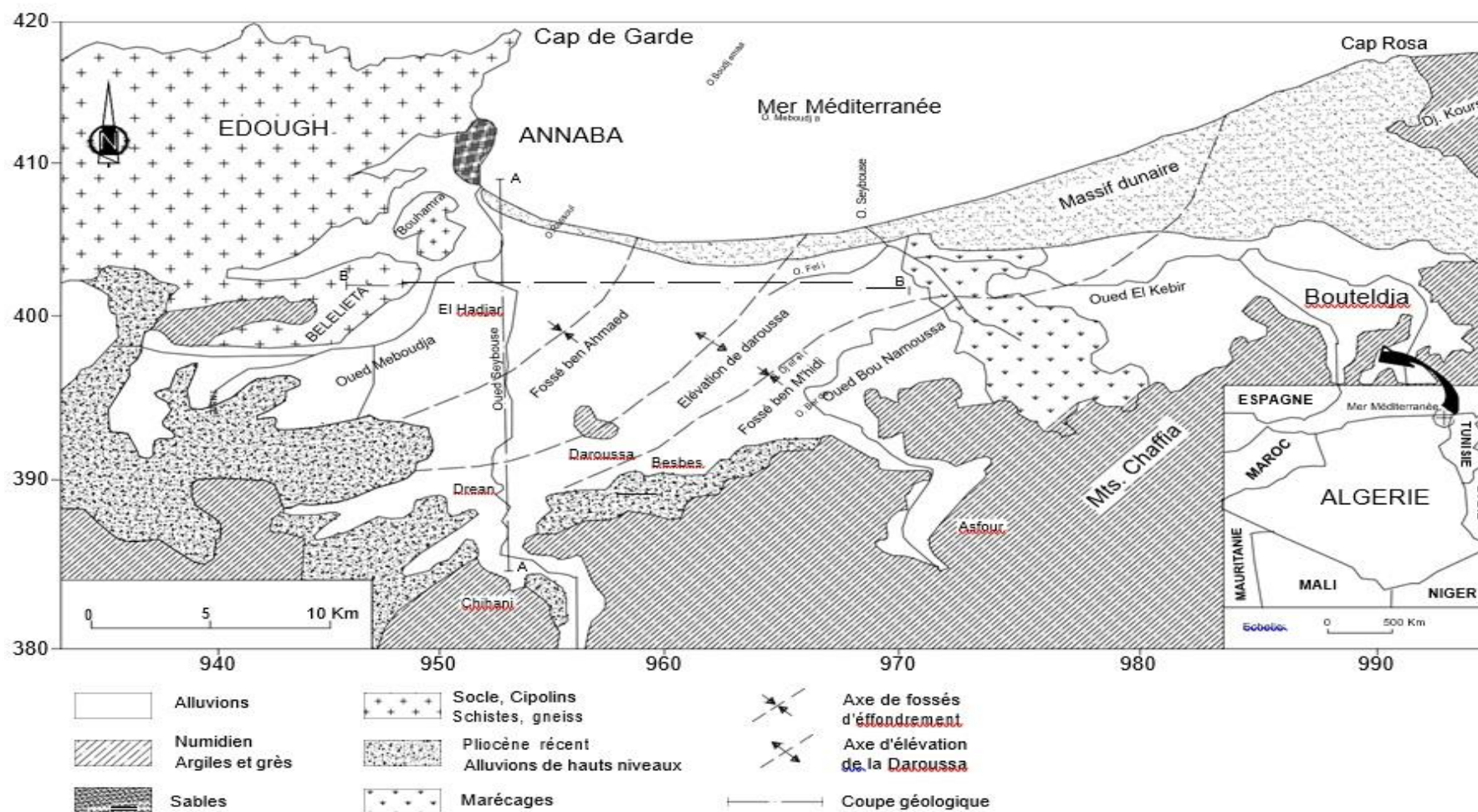


Figure.7. Contexte géologique de la basse plaine de la Seybouse (Vila, 1980)

2.3.1. Le Paléozoïque :

Le socle d'âge primaire affleure à l'ouest dans le massif de Dj. Edough, Belelieta et Bouhamra, constitué par des roches cristallophylliennes qui se superposent en trois séries :

*Série inférieure, représentée par des gneiss riches en biotite et sillimanite d'une épaisseur moyenne de 70 m, cette formation constitue le cœur de l'anticlinal du massif de l'Edough ;

*La série intermédiaire, caractérisée par des schistes et des micaschistes riches en biotite, muscovite et du grenat et parfois avec des feldspaths souvent visibles à l'œil nu. Cette série contient des marbres qui s'intercalent dans les formations des micaschistes sous forme de skarns ;

*Série supérieure, constituée par un ensemble de gneiss ocellés, schistes satinés, micaschistes, grenats et amphibolites.

Ces trois séries du point de vue hydrogéologique sont peu importantes, sauf pour le gneiss altéré ou le cipolin fissuré qui peuvent constituer le siège d'une nappe d'eau souterraine mais toujours à faible potentiel hydraulique.

Les accidents tectoniques connus jusqu'à ce jour dans le massif de l'Edough permettent de déceler deux familles d'accidents :

*Une première famille, dont l'orientation est NW-SE. La direction la plus fréquente de ces accidents varie de N 120° E à N 150° E.

*La seconde famille, qui semble être conjuguée à la première, est dirigée NE-SW.

2. 3.2. Le Mésozoïque :

Le secondaire affleure également en dehors de la région d'étude, dans la partie sud, au niveau de

la région de Guelma et de Bouchegouf, située à une quarantaine de km au sud du secteur étudié. Il est constitué par :

*Le Trias, formé par une association de dolomies, calcaires dolomitiques et de gypse

*Le Jurassique, représenté par des dolomies noires et des schistes calcaireux ;

*Le Crétacé qui comporte des calcaires dolomitiques riches en foraminifères et des débris de rudistes.

Seul le Crétacé supérieur (Sénonien) est représenté dans la région, il occupe presque la totalité des monts de la Cheffia. Il est caractérisé par un faciès schisteux plus au moins argileux. Parfois il s'agit aussi d'un passage de calcaire avec alternance de marnes ou de microbrèches épais de 5 à 10 cm. Quelques forages de reconnaissance répartis dans la cuvette de la Cheffia et réalisés dans le cadre d'une étude géologique au droit de l'emplacement du barrage et de la galerie d'amenée ont recoupé ces faciès.

2. 3.3. Le Cénozoïque :

Constitué par :

- L'Eocène inférieur, représenté par une série transgressive formée par des calcaires massifs à faciès épiniéristique ;

- L'Oligocène, qui comporte des niveaux argileux numidiennes rencontrés dans toute la partie Sud de la région d'étude. Ce faciès argileux, de couleur verdâtre, brunâtre ou bleu sombre, comprend parfois des intercalations de lentilles gréseuses pouvant aller à 30 cm d'épaisseur. Localement, quartzueux et renfermant parfois de petits nodules de pyrite, l'ensemble des formations peut atteindre plus de 100m d'épaisseur. Ces argiles, formant la base de la série numidienne, ont été datées de l'Oligocène moyen à supérieur (Lahondère, 1987). Au-dessus de ces formations argileuses viennent se superposer les grès numidiens en position allochtone d'âge aquitanien (Rouvier in Ramdani, 1996), à grains hétérométriques allant du grain grossier au grain fin. Ces grès, épais de près de 150m, sont bien représentés au sud de la région d'étude.

- Le Mio-Pliocène, constitue le remplissage graveleux et sablo-argileux du bassin de laplaine d'Annaba. Ces formations sont d'origine continentale, elles incluent des horizons graveleux et des niveaux de travertins qui constituent le réservoir de la nappe des graviers.

Ces formations sont liées aux dépôts des fosses d'effondrement. En effet, la prospection par sismique réflexion a mis en évidence l'existence de deux fosses (SONATRACH, 1969 ; Strojexport, 1975) :

- La fosse de Ben-Ahmed, orientée S-N,

- La fosse de Ben-M'hidi, orientée SW-NE.

Ces deux fosses sont séparées par le haut fond de Daroussa (ou élévation de Daroussa). Cet effondrement s'est produit au cours du Mio-Pliocène. Ces dépôts qui le remplissent forment une série continentale argilo-sableuse avec des lits de conglomérats constituant le réservoir de la nappe captive des plaines de Annaba-Bouteldja.

2. 3.4. Le Quaternaire :

D'après L. Joleaud (1936) trois niveaux sont distingués (fig.8):

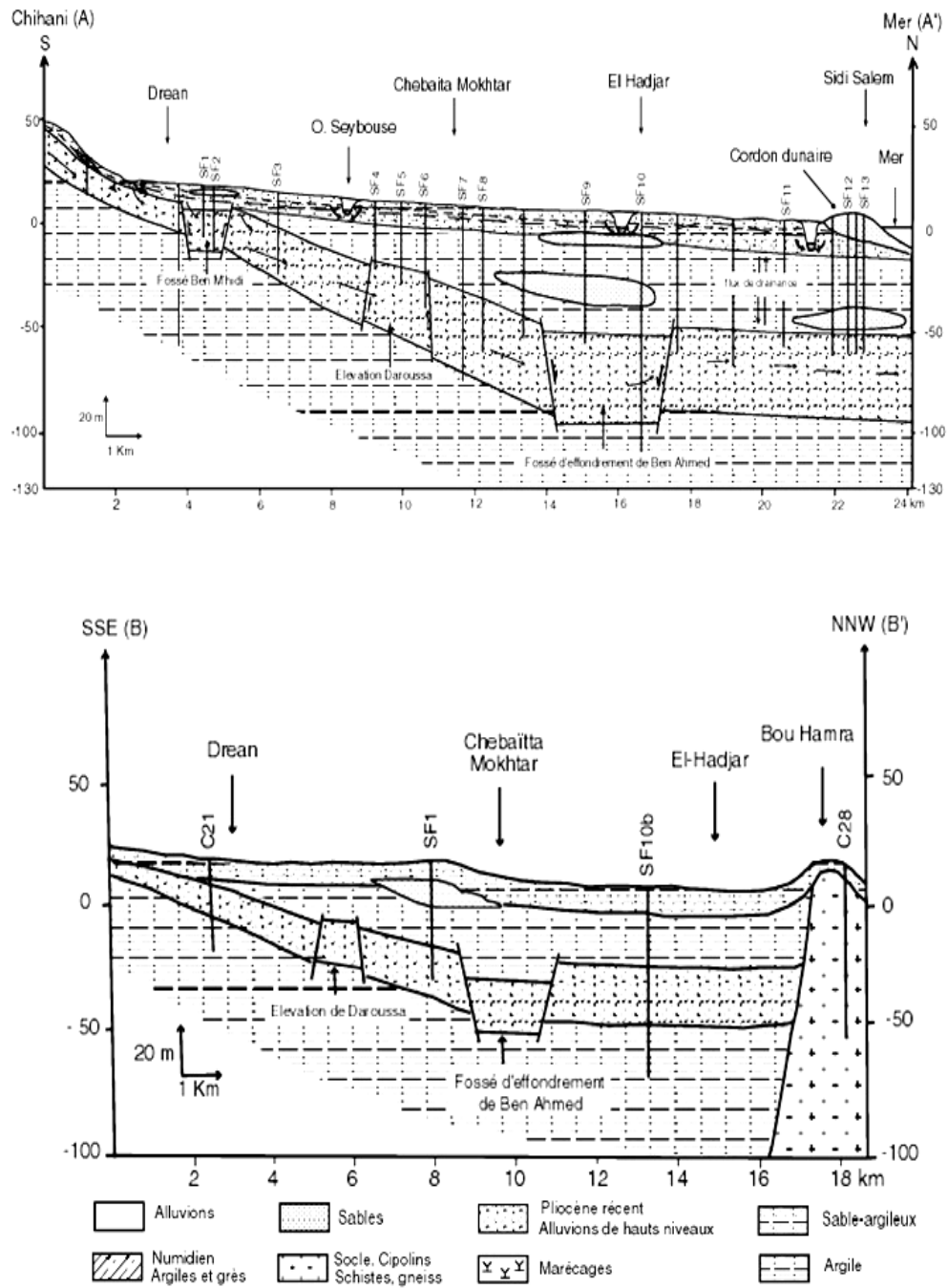


Figure.8. Coupes géologiques

- Le Quaternaire ancien (haute terrasse), constitué par des formations alluviales (argile, limon, sable, gravier et galets) et formant un réservoir d'eau superficielle, son altitude varie entre 75 et 150 m ;

- Le Quaternaire moyen correspond à la basse terrasse de 20 à 50 m, constitué par des argiles, et des sables. Elle supporte des terres cultivées. Cette terrasse se développe sur toute la région surtout au niveau de la vallée de l'oued Seybouse

- Le Quaternaire récent, correspond au sable des cordons dunaires littoraux et aux limons alluvionnaires de la Seybouse.

- Quaternaire actuel, Les alluvions sont représentées par des dépôts du lit actuel de l'Oued, généralement de matériaux variés, argiles, sables et des cailloux, résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued.

Cette description géologique a fait apparaître que dans la zone d'étude, seules les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituer des réservoirs d'eau importants. Par contre, les formations du Primaire et celle du Tertiaire (Eocène inférieur et Oligocène), qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploitées.

2.4.La Paléogéomorphologie:

La Seybouse draine un ensemble de régions très hétérogènes. Aux Hautes Plaines, aux reliefs assez simples et aux écoulements lents et parfois nuls, succède l'Atlas tellien fortement accidenté de structures très complexes où le réseau hydrographique est tantôt adapté, tantôt inadapté à la structure. Les oueds sont à débits irréguliers. Le profil en long, irrégulier et tendu, assure l'évacuation rapide des eaux. Cependant l'existence des dépressions et bassins renfermant des nappes alluviales traversées et reliées par la Seybouse, permet de régulariser l'écoulement saisonnier de cet oued, vu la part importante des précipitations d'hiver reçues par cette chaîne montagneuse. A la sortie de cette dernière, la Seybouse pénètre dans la plaine de Annaba en perdant sa torrencialité et en abandonnant une grande partie de sa charge solide. Les faibles pentes, le cordon dunaire et les champs d'inondation très vastes favorisent largement la stagnation des eaux et rendent l'écoulement fluvial difficile.

Chapitre 2

Démarche méthodologique

1. Critique et sélection des stations pluviométriques

Introduction

Le premier pas à franchir dans les études de phénomènes complexes comme la pluie est l'analyse de données disponible. Il est important que les séries de données soient homogènes, longues ayant un fonctionnement plus ou moins régulier et ne doivent pas contenir un grand nombre de lacunes.

1.1. Etat du réseau pluviométrique

Les données pluviométriques exploitées dans cette étude sont celles des pluies mensuelles et les températures, fournies par l'ANRH et l'ONM. Les données pluviométriques disponibles sont hétérogènes que ce soit du point de vue de la fiabilité que de la durée des séries d'observation. Le premier travail a donc consisté à définir une période la plus longue possible où l'on peut disposer de données suffisantes en qualité et en quantité.

1.2 Sources des données utilisées

Les séries de données utilisées dans cette étude sont fournies par les services de l'Office National de la Météorologie (ONM) de Dar-El-Beida, et de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Bir Mourad Rais et de l'Agence Nationale des Barrage et de transfert (ANBT).

Il s'agit des données de :

- * précipitations à l'échelle annuelle, mensuelle et journalière ;
- * températures (pour quelques stations)

Les données des pluies s'étend sur une période de 91 années (1913-2004),

Des lacunes dans les données existent au sein d'une même année (mois manquants) et pour certaines années les données sont inexistantes, particulièrement durant la période 1963-1968. Certaines stations ont été non fonctionnelles ou ont un fonctionnement aléatoire. Les années présentant des mois lacunaires ont été comblées .

1.3.Choix des stations pluviométriques

La donnée existante dans la région Seybouse, concerne une trentaine de stations pluviométriques (tableau.1). Nous disposons d'une donnée globale qui s'étend de 1908 à 2004.

Tableau.1 - Etat du réseau pluviométrique.

Code	Nom de station	coordonnées géographiques			Période d'observation	Nombre d'année observée (ans)
		X (km)	Y (km)	Z (m)		
140308	Ain regada	893,14	338,3	750	2005-2015	
140609	El Kerma	944,6	395,5	14	2005-2015	
140403	Heliopolis	729.05	370.85	340	2000-2010	
O31410	Annaba ville			3	1936-2020	
O31503	Bouhadjar	984,2	369,68	300	1908-2004	
140302	Bordl Sabat	889,1	355,08	520	1908-2004	
140507	Ain saboube	961,4	362,2	290	2005-2020	
O70707	Ain El Beida	923.7	287.7	998	1913-2004	
O70716	Oum El Bouagui	898,55	295,05	950	1936-2004	
140503	Hammam N'bails	943,7	347,5	478	2005-2020	
140612	Bou areou	953,05	400,65	8	2005-2020	
140502	Mechroha	961,15	351,85	748	2005-2020	
140203	Abdi mabroul	921,95	339,8	950	2005-2020	
140204	Tamlouka	899.45	326.70	740	2005-2020	
140303	Bourdjsabath	889.95	353.35	516	2005-2020	
100608	Constantine	850,35	345,5	650	1936-2020	
140205	Ain Makhlof	908,8	337,4	830	1957-1999	
140407	Guelma	924,1	361,4	280	1936-2004	
140607	Boukhamouza	951,7	376,45	40	2005-2020	
140505	Bouchegouf	949.2	362.4	800	1947-2006	

Où :

X : Longitude.

Y : Latitude.

Z : Altitude (en m)

1.4. Historique du fonctionnement des stations :

Pour traiter la pluviométrie, il est nécessaire de donner une idée sur la durée de fonctionnement des stations afin de sélectionner le nombre des stations et la période d'étude.

Dans notre étude nous avons retenu les séries pluviométriques caractérisées par une longue période d'observation ,nous avons écarté toutes les stations qui présentent beaucoup de lacunes.

Il s'agissait de faire un choix entre des séries relativement longues mais émanant d'un nombre réduit de stations : une période allant du 1^{er} septembre 1936 au 31 août 2004 (série comparative, (celle utilisée dans l'étude de la variabilité spatio-temporelle des pluies).), et des séries plus courtes mais permettant d'intégrer à l'étude le plus grand nombre de stations : une période allant du 1^{er} septembre 2005 au 31 août 2020 (série normale), couverte par 10 stations pour un total de 20 stations .

Les caractéristiques des stations pluviométriques retenues dans l'étude sont indiquées dans le tableau .2 pour la première période (1936-2004) et dans le tableau.3 pour la deuxième période (2005-2020) .

Tableau2. Les stations retenues dans l'étude pour la période 1936-2004

Code	Nom de station	coordonnées géographiques			Période d'observation
		X (km)	Y (km)	Z (m)	
O31410	Annaba ville			3	1936-2020
O31503	Bouhadjar	984,2	369,68	300	1908-2004
140302	Bordl Sabat	889,1	355,08	520	1908-2004
O70707	Ain El Beida	923.7	287.7	998	1913-2004
O70716	Oum El Bouagui	898,55	295,05	950	1936-2004
100608	Constantine	850,35	345,5	650	1936-2020
140407	Guelma	924,1	361,4	280	1936-2004

Tableau.3. Les stations retenues dans l'étude pour la période 2005-2020

Code	Nom de station	coordonnées géographiques			Période d'observation
		X (km)	Y (km)	Z (m)	
O31410	Annaba ville			3	1936-2020
140507	Ain saboube	961,4	362,2	290	2005-2020
140503	Hammam N'bails	943,7	347,5	478	2005-2020
140612	Bou areou	953,05	400,65	8	2005-2020
140502	Mechroha	961,15	351,85	748	2005-2020
140203	Abdi mabroul	921,95	339,8	950	2005-2020
140204	Tamlouka	899.45	326.70	740	2005-2020
140303	Bourdjsabath	889.95	353.35	516	2005-2020
100608	Constantine	850,35	345,5	650	1936-2020
140607	Boukhamouza	951,7	376,45	40	2005-2020

1.5. Contrôle des données pluviométriques

Toutes les séries pluviométriques des différentes stations de la région d'étude présentent des lacunes à l'échelle annuelle et mensuelle.

1.6. Comblement des données manquantes

Le comblement des lacunes des fichiers climatologiques se fait souvent en remplaçant les données manquantes par des statistiques de position telles que les moyennes ou les médianes. Certaines méthodes recherchent une relation linéaire entre une série de données Y_t d'une station présentant des lacunes et une série X_t d'une autre station dite de référence, qui est plus complète et proche de la première du point de vue distance. Le résultat est une équation de régression de la forme $Y_t = a + bX_t$ et le rattrapage au temps t de la donnée Y_t se fait grâce à la donnée X_t . Cette démarche est trop simple pour être efficace et souvent dite peu fiable et fastidieuse (ANRH, 1993). L'Analyse en Composantes Principales (ACP) se prête mieux à cette tâche.

La matrice de départ se présente sous la forme $X(m,n)$ où m est le nombre de lignes (temps) et n le nombre de colonnes (variables ou stations) ; avec des données manquantes symbolisées dans notre cas par des **-99** générée soit par une absence de mesures, un défaut de transmission ou une erreur de retranscription etc.

$$[X] = \begin{bmatrix} x(1,1) & -99 & \dots & x(1,n) \\ -99 & x(2,2) & \dots & -99 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -99 & x(m,2) & \dots & x(m,n) \end{bmatrix}$$

Nous remplaçons ensuite les **-99** par la moyenne de la colonne qui leur correspondent (moyenne de la $j^{i\text{ème}}$ variable est notée $mean(j)$).

$$[X] = \begin{bmatrix} x(1,1) & mean(2) & \dots & x(1,n) \\ mean(1) & x(2,2) & \dots & mean(n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ mean(1) & x(m,2) & \dots & x(m,n) \end{bmatrix}$$

Ainsi nous effectuons une première analyse en composante principale. A l'aide du "Scree test" nous choisissons un nombre M^* de composantes pour la troncature, et nous reconstituons ainsi avec une certaine marge d'erreur les données d'origines équations (5) ou (6) ; puis nous remettons les données qui ne sont pas à combler et ceci pour toutes les étapes ou itérations qui suivent. Nous obtiendrons pour la première itération la matrice suivante où les valeurs rattrapées sont notées $x_1(m,n)$:

$$[X] = \begin{bmatrix} x(1,1) & x_1(1,2) & \dots & x(1,n) \\ x_1(2,1) & x(2,2) & \dots & x_1(2,n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1(m,1) & x(m,2) & \dots & x(m,n) \end{bmatrix}$$

Ensuite, nous effectuons une autre ACP, et reconstituons une seconde fois les données déjà rattrapées dans l'itération précédente, c'est donc la deuxième itération et ainsi de suite jusqu'à une $n^{i\text{ème}}$ itération. Il est donc nécessaire de choisir le nombre M^* de composantes principales à utiliser et le nombre n d'itérations adéquats.

Signalons que si nous utiliserons toutes les composantes principales sans troncature, nous ne rattrapons que les moyennes que nous avons nous même mis à la place des lacunes.

1.7. Homogénéisation des données

Il est important de vérifier l'homogénéité des séries d'observation, c'est-à-dire que toutes les valeurs d'une même série sont issues d'un même échantillon.

Plusieurs tests statistiques sont utilisés pour s'assurer de l'homogénéité d'une série de données. On utilise ici le test de **Wilcoxon**, pour tester l'homogénéité de la série et pour corriger les valeurs erronées.

1.7.1. Test de Wilcoxon

A partir de 2 séries de mesures de variables continues, X et Y, sur les mêmes individus, de taille respectivement N1, N2 telles que : $N1 < N2$.le test de Wilcoxon basé sur le principe suivant :

« si l'échantillon X est issu de même population que l'échantillon Y : l'échantillon (XUY) l'est aussi »

La méthode consiste à :

- Classer la série composée de (N1+N2) valeurs par ordre croissant.
- Nous attribuons à chaque valeur classée par ordre croissant un rang correspondant.
- Nous calculerons la somme des éléments, du premier échantillon dans la série commune.

$$W_x = \sum | \text{rang} |$$

Avec : W_x : somme des rangs de sous série X

Si une valeur se répète plusieurs fois, nous lui associons le rang moyen correspondant Wilcoxon a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95% si :

$$W_{\min} < W_x < W_{\max}$$

Avec :

$$W_{\min} = \frac{(N1 + N2 + 1)N1 - 1}{2} - 1,96 \sqrt{\frac{N1N2(N1 + N2 + 1)}{12}}$$

$$W_{\max} = (N1 + N2 + 1) N1 - W_{\min}$$

Avec $U_{1-\alpha/2}$ représente la valeur de la variable centrée réduite de la loi normale correspondant à $1-\alpha/2$ (au niveau de confiance de 95% nous avons $U_{1-\alpha/2} = 1,96$)

1.7.1.1. Résultats de l'application du Test d'homogénéité de Wilcoxon :

Les résultats obtenus sont mentionnés dans les tableaux ci-dessous

Tableau .4. Application du Test de Wilcoxon sur les pluies annuelles de la période 1936-2004 :

station	Code de la station	Taille		Σ rang	W_{\min}	W_{\max}	Résultats
		1ère échant (N1)	2ème échant (N2)	W_x			
O31410	Annaba ville	38	51	2060	1523,13	2213,11	Homogène
O31503	Bouhadjar	38	51	2041	1523,13	2213,11	Homogène
140302	Bordl Sabat	38	51	1749	1523,13	2213,11	Homogène
O70707	Ain El Beida	38	51	1699	1523,13	2213,11	Homogène
O70716	Oum El Bouagui	38	51	2005	1523,13	2213,11	Homogène
100608	Constantine	38	51	2095	1523,13	2213,11	Homogène
140407	Guelma	38	51	2042	1523,13	2213,11	Homogène

Tableau .5. Application du Test de Wilcoxon sur les pluies annuelles de la période 2005-2020 :

station de Ain Yakout (070306)	Taille		Σ rang	W_{\min}	W_{\max}	Résultats
	1ère échant (N1)	2ème échant (N2)	W_x			
Septembre	40	52	1707	1564,65	2155,35	Homogène
Octobre	40	52	1866	1564,65	2155,35	Homogène
Novembre	40	52	2030	1564,65	2155,35	Homogène
Décembre	40	52	1882	1564,65	2155,35	Homogène
Janvier	40	52	2027	1564,65	2155,35	Homogène
Février	40	52	2034	1564,65	2155,35	Homogène
Mars	40	52	1880	1564,65	2155,35	Homogène
Avril	40	52	1928	1564,65	2155,35	Homogène
Mai	40	52	2044	1564,65	2155,35	Homogène
Juin	40	52	1797	1564,65	2155,35	Homogène
Juillet	40	52	1645	1564,65	2155,35	Homogène
Aout	40	52	1787	1564,65	2155,35	Homogène

Tableau .6. Application du Test de Wilcoxon sur les pluies annuelles de la période 1936-2004 :

Nom de la station	Code de la station	Taille		Σ rang W_x	W_{\min}	W_{\max}	Résultats
		1ère échant (N1)	2ème échant (N2)				
Jijel	030301	30	38	1220	841,81	1228,199	Homogène
El Harrouche	030801	30	38	1186	841,81	1228,199	Homogène
Annaba ville	031410	30	38	1165	841,81	1228,199	Homogène
Ain El Beida	070707	30	38	909	841,81	1228,199	Homogène
Batna	070316	30	38	936	841,81	1228,199	Homogène
Ain Yakout	070306	30	38	1078	841,81	1228,199	Homogène
Oum El Bouagui	070716	30	38	1219	841,81	1228,199	Homogène
Hamla	070308	30	38	1046	841,81	1228,199	Homogène
El- Milia	100706	30	38	1166	841,81	1228,199	Homogène
Constantine	100608	30	38	958	841,81	1228,199	Homogène
Mila	100606	30	38	1049	841,81	1228,199	Homogène
Boumalek	100401	30	38	1049	841,81	1228,199	Homogène
Tébessa	120301	30	38	1063	841,81	1228,199	Homogène
M'daourouche	120403	30	38	928	841,81	1228,199	Homogène
El Kouif	120504	30	38	1184	841,81	1228,199	Homogène
La Meskiana	120201	30	38	941	841,81	1228,199	Homogène
Mechrouha	140502	30	38	1158	841,81	1228,199	Homogène
Guelma	140407	30	38	1059	841,81	1228,199	Homogène

Tableau .7. Application du Test de Wilcoxon sur les pluies mensuelles de la période 1936-2004 :

station de Batna (070316)	Taille		Σ rang W_x	W_{\min}	W_{\max}	Résultats
	1ère échant (N1)	2ème échant (N2)				
Septembre	33	36	1015	956,84	1353,16	Homogène
Octobre	33	36	1184	956,84	1353,16	Homogène
Novembre	33	36	1114	956,84	1353,16	Homogène
Décembre	33	36	1140	956,84	1353,16	Homogène
Janvier	33	36	1183	956,84	1353,16	Homogène
Février	33	35	1143	944,27	1332,73	Homogène
Mars	33	36	1038	956,84	1353,16	Homogène
Avril	33	36	1210	956,84	1353,16	Homogène
Mai	33	36	1131	956,84	1353,16	Homogène
Juin	33	36	1190	956,84	1353,16	Homogène
Juillet	33	36	1186	956,84	1353,16	Homogène
Aout	33	36	1112	956,84	1353,16	Homogène

1.7.2. Analyse statistique des séries pluviométriques par l'ajustement à une loi statistique

Le but de l'analyse statistique des séries pluviométriques est l'ajustement de la distribution des pluies annuelles à une loi théorique afin de pouvoir calculer l'estimation d'une valeur quelconque de la pluie pour toute probabilité choisie, ainsi que de calculer les paramètres d'ajustement. Pour cela on a choisi la méthode de l'ajustement graphique qui consiste à porter dans un graphique les valeurs des pluies en fonction de leur fréquence expérimentale.

1.7.2.1. L'ajustement à une loi normale

On a ajusté les séries à une normale ou loi de Gauss .c'est une distribution continue qui permet l'ajustement des distributions expérimentales discontinues par une courbe normale continue, elle est utilisée pour mieux cerner l'irrégularité des précipitations, elle fait ressortir les anomalies.

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

Avec :

U : variable réduite de Gauss $u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma x}$

X :]-∞, +∞[

\bar{X} : Moyenne de la série pluviométrique $\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$

X_i : totaux mensuels

N : nombre de mois d'observation

δx : écart-type de la série pluviométrique $\delta x = \sqrt{\frac{\sum (xi - x)^2}{N}}$

F(x) : fonction de répartition donnée par les tables de Gauss.

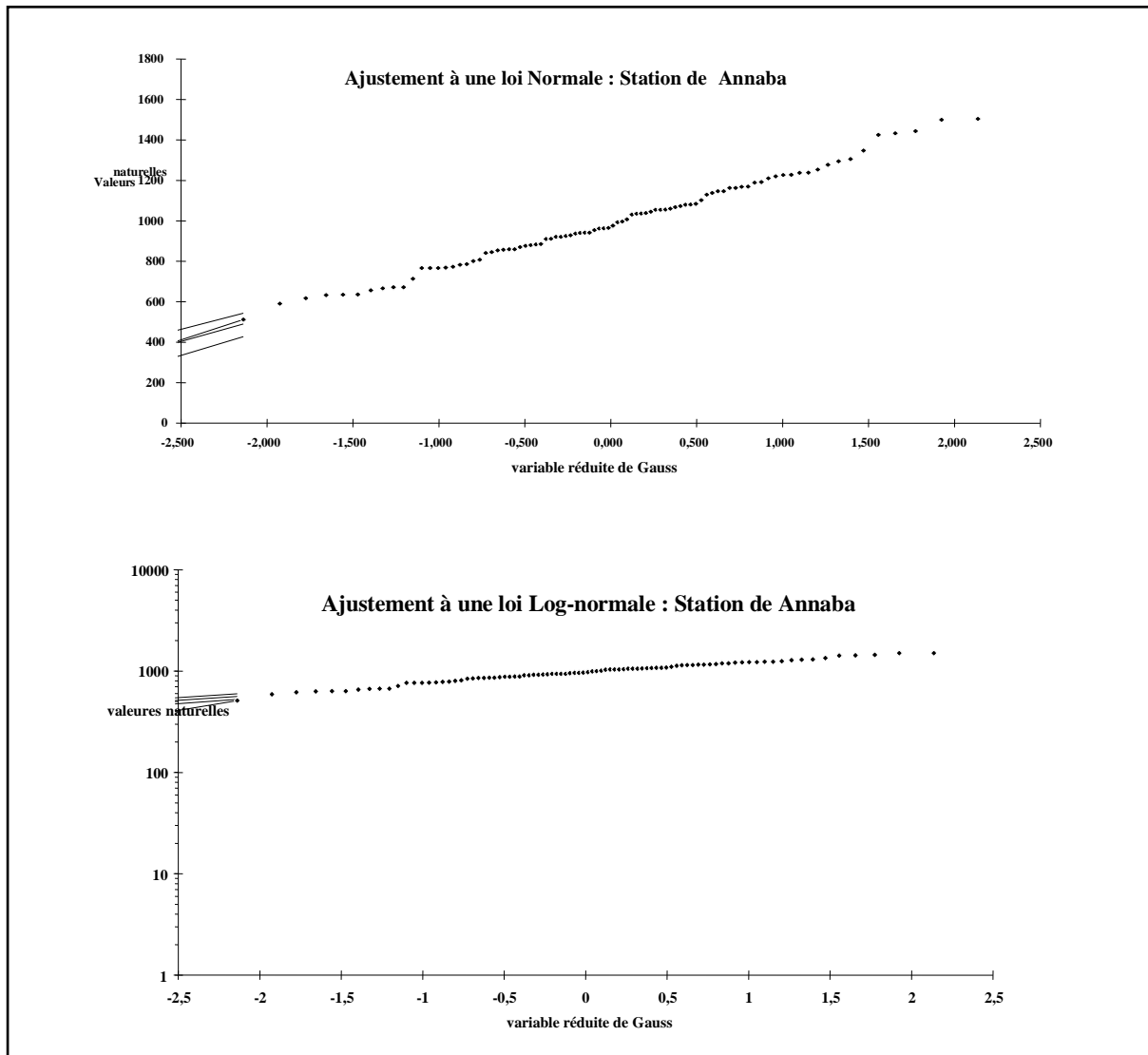


Fig.9. Ajustement des pluies annuelles pour la station de Annaba

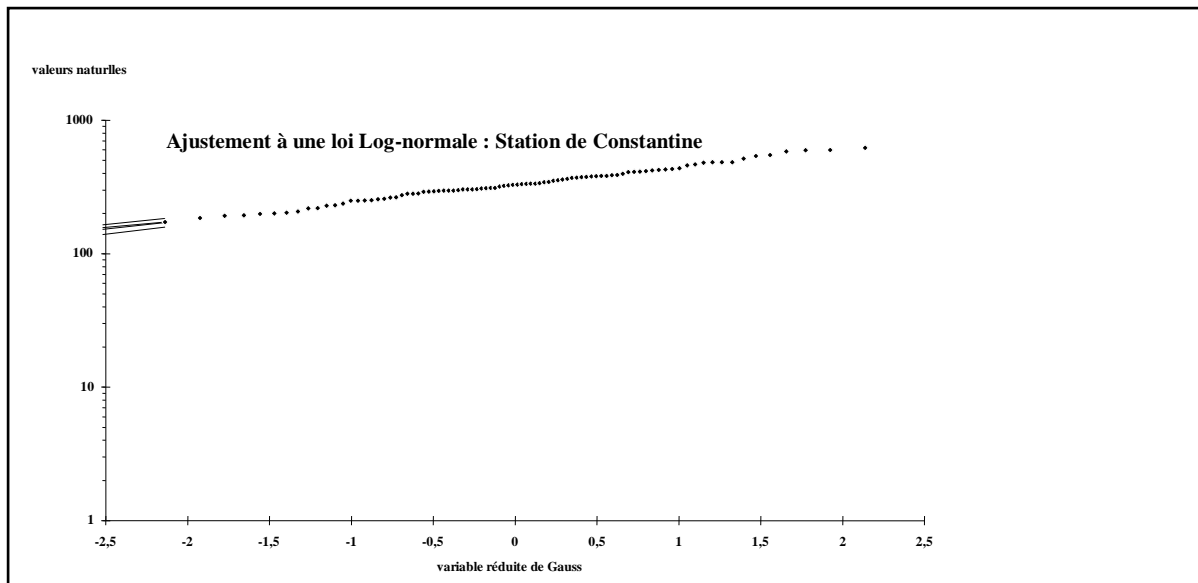


Fig.10. Ajustement des pluies annuelles pour la station de Constantine

2. Détection des Cassures dans les séries pluviométriques :

2.1. Les méthodes d'approches utilisées:

2.1.1. Aperçu sur les différentes méthodes utilisées pour la détection des cassures

Pour détecter l'existence d'une éventuelle tendance dans nos séries, de données pluviométriques nous avons utilisé différents tests non paramétriques de *Spearman et Mann-Kendall* qui nous permettent de franchir des contraintes imposées par d'autres méthodes paramétriques et qui ont montré leur efficacité dans ce genre d'applications (Sheng et al. 2002). Des exemples d'utilisation du test de Mann-Kendall dans la détection des tendances

dans les séries hydrométéorologiques incluent les travaux de Hirsh et al., (1982), Van Belle et Hughes (1984), Cailas et al., (1986) ; Hipel et al., (1988) ; Taylor et Loftis (1989) ; Demaree et Nicolis (1990) ; Gan (1998) ; Lins et Slack (1999) ; Douglas et al., (2000) ; Zhang et al., (2000,2001) ; Yue et al., (2002) et d'autres. Le test de Spearman par contre n'a pas été aussi largement utilisé que celui de Mann Kendall. Cependant, cette non popularité n'est certainement pas due à la supériorité du test de Mann Kendall, les travaux de Sheng et al., (2002) ont montré que les deux tests sont aussi puissant l'un que l'autre dans la détection des cassures .

De plus, le test de Mann-Kendall appliqué dans un sens progressif se prête particulièrement bien pour situer l'époque à partir de laquelle la tendance s'est manifestée. Afin de conforter les résultats des deux premiers tests, nous avons utilisé un troisième test non paramétrique, le

test de *Pettitt*, en l'occurrence, qui présente aussi la particularité de localiser le moment (la date) de la rupture de la moyenne au sein de la série avec un niveau de signification qui traduit l'importance réelle du *changement détecté*.

2.1.1.1. Test de Spearman

Le test de Spearman est un test non paramétrique basé sur la théorie des rangs qui peut être utilisé pour détecter les tendances monotones dans les temporelles (Lehmann, 1975; Sneyers, 1990). Le test de Spearman a été utilisé pour l'analyse de tendances hydrométéorologiques telles que les travaux de Pilon et al. (1985), McLeod et al. (1991), and Hipel and Mc. Leod, (1994). Pour ce test, les observations originales x_i , $i=1, \dots, N$ sont remplacées par le rang y_i qui leur est attribué lorsqu'on les range par ordre croissant et la statistique du test est le coefficient de corrélation r_s entre les séries i et y_i , coefficient qui peut se calculer au moyen de la formule :

$$r_s = 1 - \frac{6}{N(N^2 - 1)} \sum (y_i - i)^2$$

sous l'hypothèse nulle, la distribution de cette quantité est asymptotiquement normale avec :

$$E(r_s) = 0 \quad \text{et} \quad \text{var}(r_s) = \frac{1}{N-1}$$

après avoir calculé r_s , il convient de déterminer à l'aide de la table de la loi normale réduite la probabilité α_1 telle que :

$$\alpha_1 = P(|u| > |u(r_s)|)$$

$$u(r_s) = r_s \sqrt{N-1}$$

et l'hypothèse nulle est acceptée ou rejetée au niveau α_0 selon que $\alpha_1 > \alpha_0$ ou $\alpha_1 < \alpha_0$.

Dans le cas de valeurs significatives de $|r_s|$ on conclut à une tendance croissante ou décroissante.

2.1.1.2. Test de Mann-Kendall

Le test de Mann-Kendall est un test non paramétrique qui consiste à associer un nombre n_i à chaque x_i (x_i étant une séquence de données, $i=1, 2, \dots, N$) comptabilisant les éléments x_j tel que $i > j$ et $x_i > x_j$. La statistique de Mann-Kendall s'écrit alors :

$$t = \sum_{i=1}^N n_i$$

Celle-ci, sous l'hypothèse nulle de l'absence de rupture (ou de tendance), suit, pour N large, une loi de répartition normale de moyenne et de variance :

$$E(t) = \frac{N(N-1)}{4}$$

$$\text{var}(t) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72}$$

Sa forme réduite est alors :

$$U(t) = \frac{t - E(t)}{\sqrt{\text{var}(t)}}$$

l'hypothèse nulle sera alors rejetée pour des amplitudes importantes de la statistique réduite. L'application progressive du test (dans le sens direct et rétrograde), décrite par Sneyers (1975), permet de déterminer de manière détaillée les périodes où des groupes de valeurs supérieures ou inférieures à la moyenne apparaissent.

2.1.1.3. Test de Pettitt

Le test de Pettitt est non-paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney (Pettitt, 1979). L'absence d'une rupture dans la série (x_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. Pettitt définit la variable $U_{t,N}$:

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^N D_{ij}$$

où $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$ avec $\text{sgn}(Z) = 1$ si $Z > 0$, 0 si $Z = 0$ et -1 si $Z < 0$.

Il propose de tester l'hypothèse nulle en utilisant la statistique K_N définie par le maximum en valeur absolue de $U_{t,N}$ pour t variant de 1 à N-1.

A partir de la théorie des rangs, Pettitt montre que si k désigne la valeur de K_N prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur k est donnée par :

$$\text{Pr ob}(K_N > k) \approx 2 \exp(-6k^2 / (N^3 + N^2))$$

Pour un risque α de première espèce donné, si la probabilité de dépassement estimée est inférieure à α , l'hypothèse nulle est rejetée. La série comporte alors une rupture au moment τ où est observé K_N .

Un classement qualitatif peut être effectué en tenant compte des valeurs de la probabilité associée à la statistique du test. Il est donné dans le tableau 8

Tableau. 8. Classement en fonction de la probabilité associée au test de Pettitt

Probabilité associée	Classes
< 1%	Rupture très significative
Entre 1 et 5%	Rupture significative
Entre 5 et 20%	Rupture peu significative
> 20%	Série homogène

2.1.2. Aperçu sur les différentes méthodes utilisées pour l'étude Spatio-temporelle des pluies

Pour l'étude de la variabilité Spatio-temporelle des pluies annuelles nous avons choisi plusieurs méthodes

2.1.2.1 : La Méthode fréquentielle

Pour l'étude de la variabilité temporelle des pluies annuelles nous avons choisi la méthode de l'analyse fréquentielle. Nous avons sélectionné 10 stations possédant de longues séries d'observations (1936-2004), bien réparties sur l'ensemble de la zone d'étude. Les pluies sont classées dans l'ordre ascendant suivant une probabilité au non-dépassement.

- les années contenues dans la **classe 1** de fréquences inférieures à **0,15** sont considérées comme des années très sèches
- celles de la **2^e classe**, de fréquence comprise entre **0,15** et **0,35** sont des années sèches ;
- celles de la **3^e classe**, de fréquence comprise entre **0,35** et **0,65** sont des années normales ;
- celles de la **4^e classe**, de fréquence comprise entre **0,65** et **0,85** sont des années humides ;
- celles de la dernière classe de fréquence > **0,85** sont des années très humides ou très pluvieuses.

2.1.2.2 : l'Indice standardisé de précipitation

L'indice standardisé de précipitation "SPI" (*Standardised Precipitation Index*) a été développé en 1993 (Bergaoui 2001) en vue de caractériser les déficits pluviométriques pour une période donnée. Il reflète l'impact de la sécheresse sur la distribution des différentes

ressources en eau. Cet indice est calculé surtout lorsque la précipitation n'est pas normalement distribuée, notamment pour des périodes inférieures à 12 mois. Il est exprimé mathématiquement comme suit :

$$SPI = (P_i - P_m) / \alpha$$

Cette classification proposée par Mckee et al (1993) classe les périodes de temps selon les valeurs de l'SPI comme le montre ce tableau

Tableau. 9. Classement en fonction de l'indice standardisé de précipitation "SPI"

Valeurs du SPI	Classes
Plus de 2,0	Extrêmement humide
1,5 à 1,99	Sévèrement humide
1,0 à 1,49	Modérément humide
-0,99 à 0,99	Proche de la normale
-1,0 à -1,49	Modérément sèche
-1,5 à -1,99	Sévèrement sèche
Moins de -2,0	Extrêmement sèche

Une nouvelle classification nommée *SPI corrigé* (SPI_c). On constate que cette nouvelle classification est identique pour les deux zones et pour les différentes échelles de temps ce qui donne la possibilité de comparaison entre les différentes régions et les différentes échelles de temps. Cette nouvelle classification est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau. 10. Classement en fonction de l'indice standardisé de précipitation corrigé " SPI_c "

Classes	Classification selon l' SPI_c
Extrêmement humide	Plus de 2
Sévèrement humide	1 à 1,99
Modérément humide	0,31 à 0,99
Normale	-0,30 à 0,30
Modérément sèche	-0,31 à -0,99
Sévèrement sèche	-1 à -1,99
Extrêmement sèche	Moins de -2

Pour plus de détails on se reportera à l'Annexe 3 présentant un extrait de calcul du SPI et Indice Fréquentiel

2.1.2.3 : Etude de la variabilité de la structure des pluies

L'étude de l'évolution et de la variabilité de la structure des pluies dans le but de voir quelle est la tranche de pluies qui a été touchée par une diminution ou bien une augmentation ? Pour répondre à cette question nous avons partagé la série des pluies des stations retenues en deux sous séries, et ce en général en fonction de l'année de la rupture (1970), puis nous avons calculé les paramètres statistiques qui caractérisent la variabilité pour les deux périodes suivantes : **1936-2004** et **2004-2020**

Les paramètres statistiques calculés sont : la moyenne, la médiane, l'écart-type, le coefficient de variation, le maximum, le minimum et l'étendue

I.2.1.2.4 : la Méthode de la moyenne mobile calculée au pas de temps de cinq années :

Cette méthode est la plus utilisée en climatologie, son principe consiste à associer à chaque valeur Y_1 de la série, une nouvelle valeur Z_1 telle que par exemple :

$$Z_3 = \frac{Y_1 + Y_2 + (Y_3) + Y_4 + Y_5}{5}$$

La valeur obtenue est attribuée à l'année centrale, il y a superposition de chaque calcul avec le précédent, la seule justification de cette méthode tient dans la mise en évidence d'une unité de variation pour l'ensemble des stations, ce qui réduit l'influence des variations accidentelles et élimine l'effet des fluctuations de très courtes périodes.

2.1.2.5 : Méthode des écarts centrés réduits

Nous avons utilisé l'indice pluviométrique défini et employé par Nicholson (Héléné, 1995). Il s'agit d'une variable centrée réduite, calculée à partir des hauteurs annuelles des précipitations d'après la formule suivante :

$$i = (X_i - X) / \delta$$

Où :

i : indice pluviométrique.

X_i : hauteur annuelle précipitée de l'année i au poste considéré (mm).

X : hauteur moyenne annuelle précipitée sur la période d'étude au poste considéré en (mm).

δ : écart type des hauteurs précipitées sur la période d'étude en (mm).

2.1.2.6 : le déplacement des isohyètes

Les isohyètes sont des lignes de même pluviosité (isovaleurs de pluies annuelles, mensuelles, journalières, etc.). Grâce aux valeurs pluviométriques acquises aux stations du bassin et aux stations avoisinantes, on peut tracer le réseau d'isohyètes. Le tracé des isohyètes n'est pas unique comme celui des courbes de niveau. Il doit être dessiné avec le maximum de vraisemblance compte tenu de la région, du réseau de la qualité de la mesure, etc. il existe aujourd'hui des méthodes automatiques qui effectuent le tracé d'isovaleurs par des moyens statistiques élaborés (technique de Krigeage).

Lorsque les courbes isohyètes sont tracées, la pluie moyenne peut être calculée de la manière suivante :

$$P_{moy} = \sum (i=1 \text{ à } k) A_i P_i / A \quad \text{avec } P_i = h_i + h_{(i+1)} / A$$

P_{moy} : précipitation moyenne du bassin.

A : surface entre deux isohyètes i et $i+1$.

K : nombre total d'isohyètes

P_i : moyenne des hauteurs « h » de précipitations entre deux isohyètes (i et $i+1$)

Conclusion:

Ce travail nous a permis en premier lieu de présenter les données pluviométriques, en ce qui concerne le choix des stations pluviométriques, leurs périodes de fonctionnement, leurs répartitions spatiales, leurs âges, et l'étude de la qualité des données par le test de WILCOXON qui a confirmé la fiabilité des données. Les séries des données pluviométriques ont été ensuite comblées à l'aide de la méthode de la régression linéaire simple en fonction des meilleurs coefficients de corrélation.

L'analyse des lois d'ajustement a démontré que la loi log-normale est la plus adaptée pour les pluies annuelles au niveau des plaines côtières.

Pour détecter l'existence d'une éventuelle tendance dans nos séries de données pluviométriques nous avons utilisé différents tests non paramétriques de *Spearman et Mann-Kendall*

Chapitre 3

Analyse et discussion

Pour détecter l'existence d'éventuelles tendances dans une série de données pluviométriques, différents tests peuvent être utilisés. Afin de conforter les résultats des tests, nous avons utilisé un test non paramétrique, le test de Pettitt, en l'occurrence, qui présente aussi la particularité de localiser le *moment de la rupture de la moyenne au sein de la série* avec un niveau de signification qui traduit l'importance réelle du changement détecté.

1. Application et résultats des tests non paramétriques sur la pluviométrie annuelle pour la période 1936-2004 :

Les tests de Spearman et de Mann-Kendall appliqués aux séries de données pluviométriques annuelles des stations choisies sur une période de 1936-2004, ont détecté une tendance à la baisse significative au niveau de 95%. Pour 5 stations seulement sur 20 stations étudiées (2 stations dans la 1 ère tranche et 3 dans la 2ème tranche) . Ce résultat ne traduit donc pas un comportement régional spécifique. **Le tableau.11** . présente les résultats des deux tests,

Tableau. .11. Résultats du test de Mann Kendall et Spearman appliqués aux valeurs des pluies annuelles des 10 stations (1936-2004)

Stations	Codes	Résultats du Test de Mann Kendall	Résultats du Test de Spearman
Annaba ville	O31410	Tendance à la baisse	Tendance à la baisse
Ain saboube	140507	tendance nulle	tendance nulle
Hammam N'bails	140503	tendance nulle	tendance nulle
Bou areou	140612	tendance nulle	tendance nulle
Mechroha	140502	tendance nulle	tendance nulle
Abdi mabroul	140203	tendance nulle	tendance nulle
Tamlouka	140204	tendance nulle	tendance nulle
Bourdjsabath	140303	tendance nulle	tendance nulle
Constantine	100608	Tendance à la baisse	Tendance à la baisse
Boukhamouza	140607	tendance nulle	tendance nulle

L'analyse de ce tableau et figure montre que à l'échelle annuelle la partie de la région d'étude qui regroupe les villes de : Tébesa, Oum Ain saboube , Hammam N'bails, Bou areou , Mechroha, Abdi mabroul , Bourdjsabath, Boukhamouza , a connu un tendance nulle des pluies, et seulement deux stations qui ont enregistré une baisse de pluies : Annaba ville et Constantine.

La représentation graphique des stations montrent des variations assez significatives de la statistique indiquant la présence de période sèches. L'intersection entre les deux courbes permet de situer approximativement le début du phénomène.

la représentation graphique est faite pour une station qui représente une tendance à la baisse et une autre station qui représente une tendance nulle .

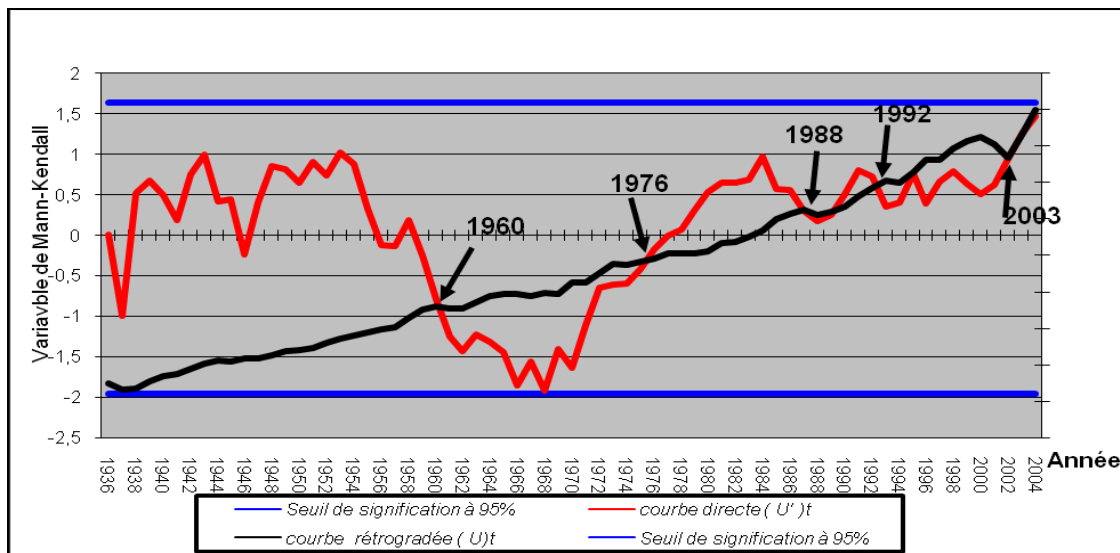


Figure.11. Test de Mann-Kendall progressive appliqué à la station de Boukhamouza

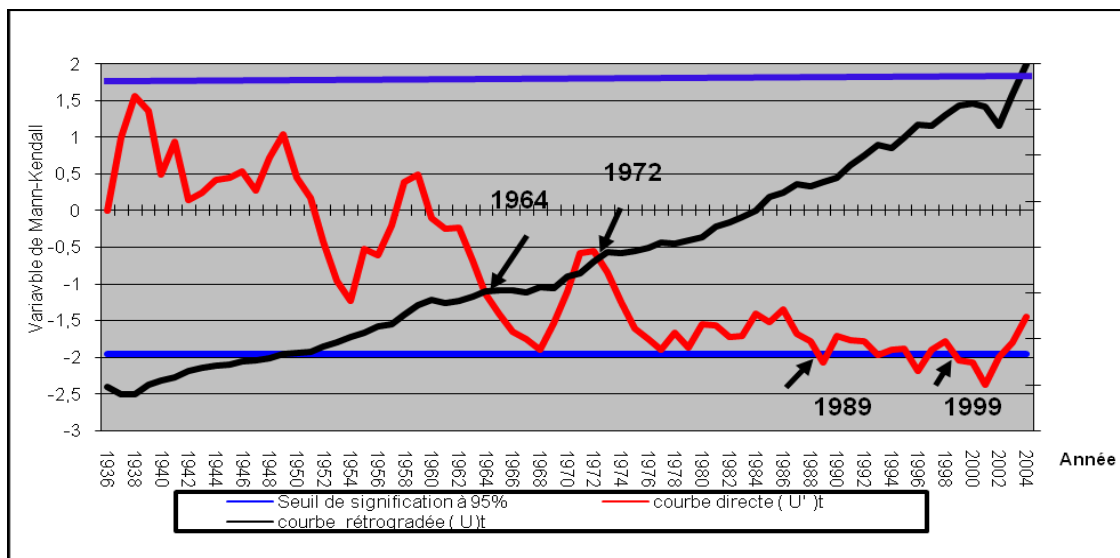


Figure.12. Test de Mann-Kendall progressive appliqué à la station de Annaba ville

Le test de Pettitt peut en outre déceler l'année de l'apparition de la rupture dans les séries chronologiques. Les résultats sont représentés sur le tableau 12

Tableau.12. Résultats du test de Mann Kendall et Spearman appliqués aux valeurs des pluies annuelles des 10 stations (1936-2004)

Stations	Code	Résultats de Pettitt	Année de rupture
Annaba ville	O31410	Rupture très significative	1964-1965
Ain saboube	140507	Rupture très significative	1940-1941
Hammam N'bails	140503	Série homogène	-
Bou areou	140612	Série homogène	-
Mechroha	140502	Série homogène	-
Abdi mabroul	140203	Rupture très significative	1951-1952
Tamlouka	140204	Rupture peu significative	'1960-1961
Bourdjsabath	140303	Rupture peu significative	'1940-1941
Constantine	100608	Série homogène	-
Boukhamouza	140607	Série homogène	-

L'analyse de l'ensemble des séries à l'aide du test de Pettitt a permis de confirmer les résultats obtenus au début et de localiser les années des ruptures détectées avec différents probabilités de signification .Nous avons obtenu une rupture très significative de la stationnarité pour 3stations, 2 stations ont une rupture de stationnarité peu significative, et 5stations montrent une stationnarité. En effet , les résultats montrent qu'une rupture (diminution de la pluviométrie) au sein des séries chronologiques s'observe majoritairement de la fin des année 1952 jusqu'au début des année 1980. .

2. Application et résultats des tests non paramétriques sur la pluviométrie annuelle pour la période 2005-2020 :

Les tests de Spearman et de Mann-Kendall appliqués aux séries de données pluviométriques annuelles des 10 stations choisies sur une période de 2005-2020 ont donné les résultats suivants :

Tableau.13. Résultats du test de Mann Kendall , Spearman et Pettitt appliqués aux valeurs des pluies annuelles des 10 stations (2005-2020)

Station	Codes	Résultats du Test de Mann Kendall	Résultats du Test de Spearman	Résultats de Pettitt	Année de rupture
Annaba ville	O31410	Tendance à la baisse	Tendance à la baisse	Rupture très significative	1958
Ain saboube	140507	Tendance nulle	Pas de tendance	Série homogène	-
Hammam N'bails	140503	Tendance nulle	Tendance à la baisse	Rupture très significative	1952
Bou areou	140612	Tendance nulle	Tendance nulle	Série homogène	-
Mechroha	140502	Tendance nulle	Tendance nulle	Rupture peu significative	1942
Abdi mabroul	140203	Tendance à la baisse	Tendance à la baisse	Rupture très significative	1991
Tamlouka	140204	Tendance à la baisse	Tendance à la baisse	Rupture très significative	1968
Bourdjsabath	140303	Tendance à la baisse	Tendance à la baisse	Rupture très significative	1981
Constantine	100608	Tendance nulle	Tendance nulle	Série homogène	-
Boukhamouza	140607	Tendance à la baisse	Tendance à la baisse	Rupture très significative	1984

Les résultats de l'application des tests sur la pluviométrie annuelle de la période 2005-2020 mettent en évidence ce qui suit :

* Les résultats de Mann-Kendall et Spereaman montrent q'une tendance à la baisse pour six stations et qu'il n'y a pas de tendance pour quatre stations.

* pour le test de Pettitt, nous avons obtenu une rupture très significative de la stationnarité pour la majorité des stations(7) , 2stations ont une rupture de stationnarité peu significative , et 3 stations montrent une stationnarité.

*le test de Pettitt indique une année de rupture variable pour la majorité des stations, cette rupture s'observe majoritairement de la fin des années 1956 jusqu'au début des années 1990.

L'application du test de Mann-Kendall progressif dans le sens direct et rétrograde aux séries a révèlè en générale une tendance à la baisse pour la majorité des stations .

L'utilisation des tests de Mann-Kendall et Pettitt dans une étude chronologique , ne peuvent pas détecter plus d'une tendance. Alors qu'on voit dans les figures 13 et 14 que les stations peuvent avoir plusieurs années de cassure.

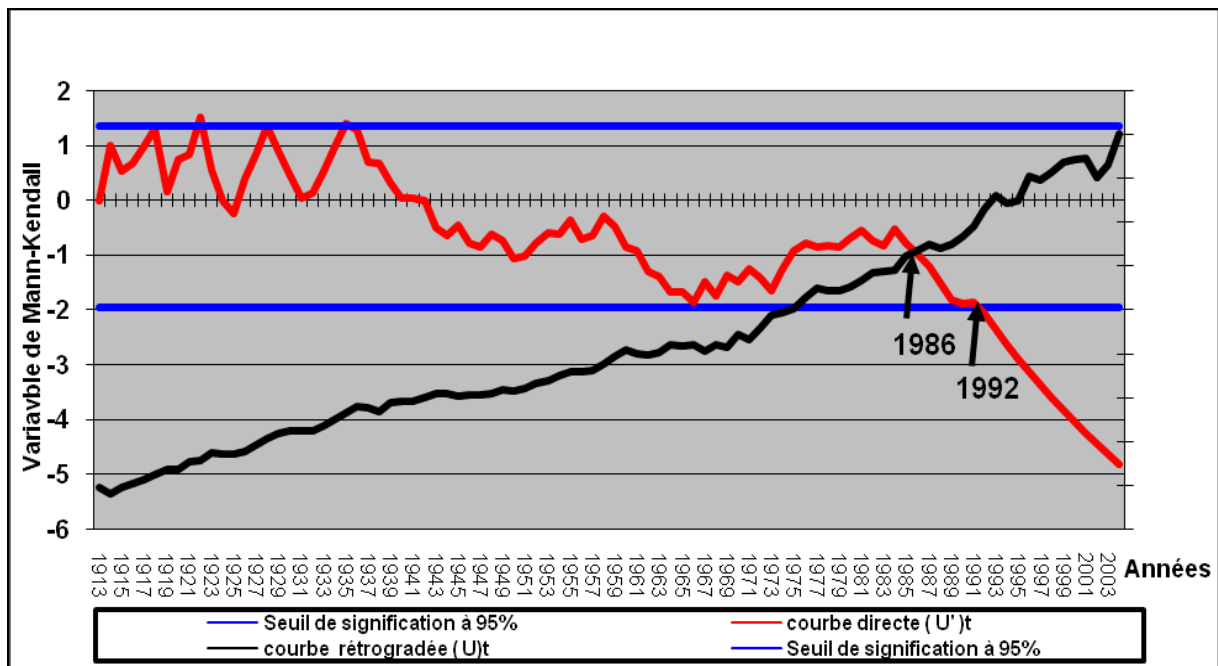


Figure.13 .Test de Mann-Kendall progressive appliqué à la station de Tamlouka

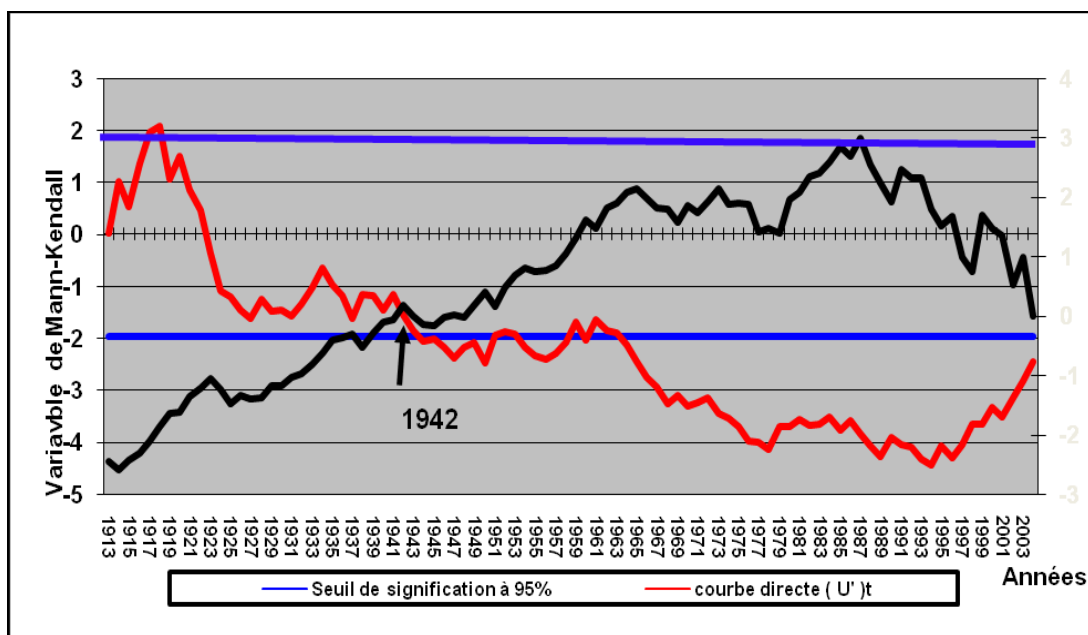


Figure.14 .Test de Mann-Kendall progressive appliqué à la station de Mechrouha

3. Application et résultats des tests non paramétriques sur la pluviométrie saisonnière pour la période 19 36-2004 :

L’application des trois tests de Mann-Kendall, Spearman et Pettitt aux pluies saisonnières sont représentés respectivement dans les tableaux.13, 14 et 15.

Les deux tests de Mann-Kendall et Pettitt ont été utilisés pour détecter les tendances monotones dans les séries pluviométriques saisonnières. les résultats sont représentés dans le tableau 13.

Tableau.14. Résultats de l’application du test de Mann Kendall aux valeurs saisonnières des stations retenues dans l’étude pour la période 1936-2004

Station	Annuelle	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Annaba ville	+	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse
Ain saboube	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Hamam N'bails	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Bou areou	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Mechroha	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Abdi mabroul	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Tamlouka	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Bourdjsabath	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Constantine	+	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse
Boukhamouza	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle

Observation : (+) Tendance détecté, (-) Absence de tendance

Tableau.15. Résultats de l’application du test de Spearman aux valeurs saisonnières des stations retenues dans l’étude pour la période 1936-2004

Station	Annuelle	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Annaba ville	+	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse
Ain saboube	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Hamam N'bails	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Bou areou	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Mechroha	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Abdi mabroul	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Tamlouka	+	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse
Bourdjsabath	+	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse
Constantine	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Boukhamouza	+	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse

D’après les tableaux 13 et 14, l’application des tests de Mann-Kendall et Spearman aux valeurs saisonnières a confirmé les résultats trouvés par Sheng et al., (2002) , qui indiquent que les deux tests sont équivalents dans la détection des tendances dans les séries chronologiques.

Tableau.16. Résultats de l’application du test de Pettitt aux valeurs saisonnières des stations retenues dans l’étude pour la période 1936-2004

Station	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Annaba ville	R. très signif	R. très signif	R.trés signif	R. significative
Ain saboube	R. très signif	Série homogène	Série homogène	Série homogène
Hammam N'bails	R. très signif	R. significative	R. très signif	R.trés signif
Bou areou	Série homogène	Série homogène	Série homogène	Série homogène
Mechroha	R peu signif	R peu signif	R peu signif	R peu signif
Abdi mabroul	R.trés signif	R.trés signif	R.trés signif	R.trés signif
Tamlouka	R.trés signif	R.trés signif	R.trés signif	R.trés signif
Bourdjsabath	R très sign	R signif	R. très signif	R. très signif
Constantine	Série homogène	Série homogène	Série homogène	Série homogène
Boukhamouza	R signif	R.trés signif	R.trés signif	R.trés signif

La tendance à la baisse a été surtout observée pendant les saisons hivernales mais pour quelques stations : Annaba ville, Hammam N'bails, Mechroha , Abdi mabroul , Tamlouka, Bourdjsabath et Boukhamouza

4. Application et résultats des tests non paramétriques sur la pluviométrie saisonnière pour la période 2005-2020:

L’application des trois tests de Mann-Kendall, Spearman et Pettitt aux valeurs saisonnières sont représentés respectivement dans les tableaux.16 et 17.

Tableau .17. Résultats de l'application du test de Mann-Kendall et Spearman aux valeurs saisonnières de stations retenues dans l'étude pour la période 2005-2020

Station	Annuelle	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Annaba ville	+	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse
Ain saboube	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Hammam N'bails	-	Tendance nulle	Tend. à la baisse	Tendance nulle	Tendance nulle
Bou areou	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Mechroha	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Abdi mabroul	+	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse
Tamlouka	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Bourdjsabath	+	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse
Constantine	-	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle	Tendance nulle
Boukhamouza	+	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse	Tend. à la baisse

Observation : (+) Tendence détecté, (-) Absence de tendence

La tendence à la baisse a été surtout observée pendant les saisons du Printemps et Hiver

Tableau .18. Résultats de l'application du test de Pettitt aux valeurs saisonnières de stations retenues dans l'étude pour la période 2005-2020

Station	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Annaba ville	Rupture T. S (1961)	Rupture S	Rupture T. S	Rupture P. S
Ain saboube	Série homogène	Série homogène	Série homogène	Série homogène
Hammam N'bails	Série homogène	Rupture T. S (1961)	Série homogène	Série homogène
Bou areou	Série homogène	Série homogène	Série homogène	Série homogène
Mechroha	Série homogène	Série homogène	Rupture S (1964)	Rupture P. S
Abdi mabroul	Rupture T. S (1995)	Rupture S	Rupture T. S	Rupture T. S
Tamlouka	Série homogène	Série homogène	Série homogène	Série homogène
Bourdjsabath	Rupture S (1976)	Rupture T. S	Rupture T. S	Rupture T. S
Constantine	Série homogène	Série homogène	Série homogène	Série homogène
Boukhamouza	Rupture P. S (1984)	Rupture T. S	Rupture P. S	Rupture P.S

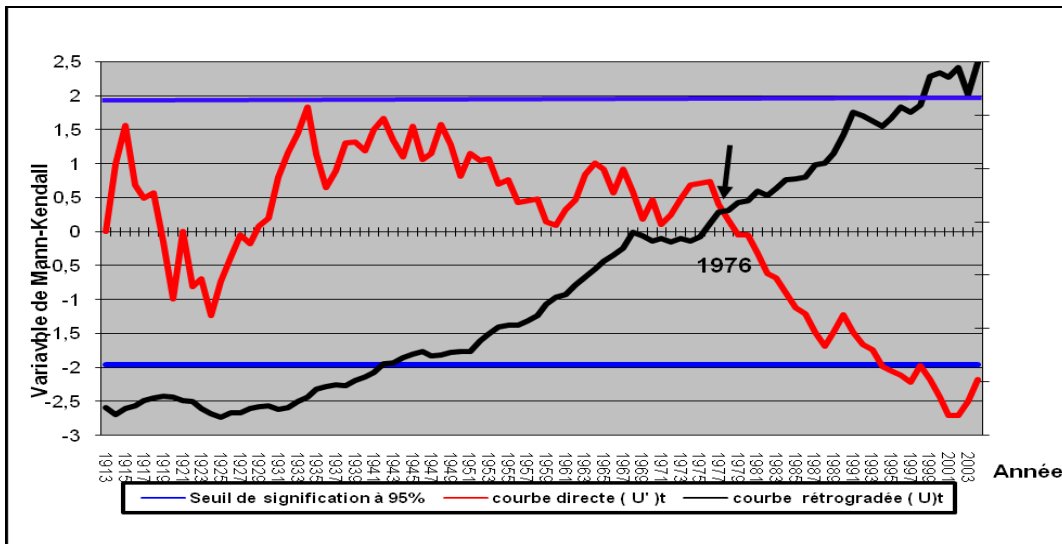


Figure.15 .Test de Mann-Kendall progressive appliqué à la station Bourdjsabath

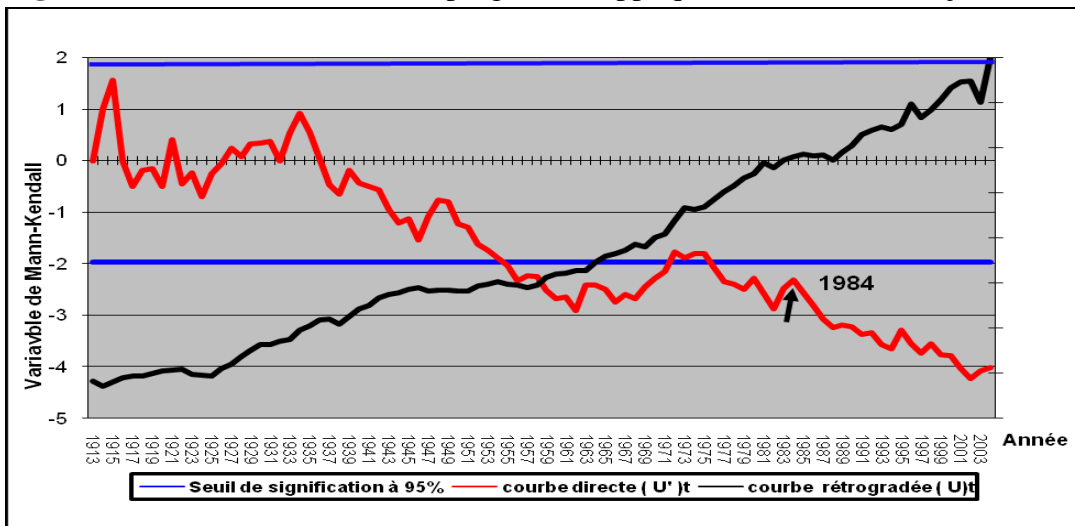


Figure.16. Test de Mann-Kendall progressive appliqué à la station de Boukhamouza

L’analyse de ces tableaux et figures montre une tendance à la baisse significative au niveau de 95% pour la saison d’hiver et du printemps mais seulement pour quelques.

Conclusion :

Les résultats obtenus indiquent que la majorité des stations montrent une tendance vers la diminution au cours des trente dernières années. On peut attribuer la diminution des pluies mensuelles aux diminutions des pluies hivernales ou au prolongement de la saison sèche ou aux diminutions des pluies précoces ou tardives. Les résultats ont montré que les pluies saisonnières ont connu une diminution des pluies. Nous pouvons dire que la diminution des pluies annuelles dans la région est essentiellement due aux diminutions des pluies hivernales.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Par ce travail nous pensons avoir contribué à cerner les problèmes pluviométriques d'une partie de l'Est Algérien (la région de Seybouse)

Nous nous sommes efforcés tout d'abord de caractériser les principaux facteurs physiques et géographiques agissant sur la pluviométrie phase primordiale pour l'alimentation de l'écoulement superficiel et souterrain d'un système aussi vaste et aussi contrasté que celui de l'Algérie orientale.

La zone d'étude est située dans le bassin versant de la Seybouse, le réseau hydrographique est composé de deux oueds principaux (oued Seybouse et oued Meboudja)

La région de Annaba est constituée essentiellement de deux formations géologiques qui affleurent le long de la région d'étude, les roches sédimentaires constituées de sables, argiles, graviers présentes sur l'ensemble du terrain.

L'étude géomorphologique fait ressortir la très grande diversité lithologique qui obligatoirement, entraîne des conséquences sur la stabilité du régime des eaux souterraines.

La région étudiée est caractérisée par un climat méditerranéen

L'étude de la qualité des données pluviométriques, nous a permis de déceler de nombreuses insuffisances relatives à la continuité des observations (problèmes de lacunes) et à l'importance des erreurs.

Toutefois, les séries ainsi comblées et contrôlées, nous avons procédé à leurs homogénéisation par les tests de Wilcoxon, Après, nous avons entamé, l'ajustement des données pluviométriques à des lois de distribution appropriées.

Pour déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, nous avons utilisé les tests statistiques de Man-Kendal, de Pettit, de Spearman, les résultats obtenus sur les 10 stations montrent que pour la quasi-totalité des stations, une rupture (diminution de la pluviométrie annuelle) dans les séries étudiées apparaît entre 1970 et 1980 avec un seuil de signification variable d'une station à une autre. Ces résultats confirment l'apparition d'un déficit pluviométrique à partir de l'année 1975.

L'étude comporte un nombre important de figures et tableaux de pluies à différentes échelles de temps (annuelles, saisonnières).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ACHIT.M, MEDDIM ; (2008) : *Impact de la variabilité climatique sur les apports liquides des du bassin versant de l'Oued Mina (Nord-Ouest de l'Algérie).* XIX^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie. PP 44-50

AIT MOUHOU.B.DJ ; (1998) : *Contribution à l'étude de la sécheresse sur le littoral Algérien par le biais de traitement des données pluviométriques et simulation.* Thèse de magister, Ecole National Polytechnique.320 pages.

AGOUMLA, NAJLA, RAHIB.H ; (1991) : *Changement climatique, évolution régionale.* Revue Marocaine de Génie Civil. PP. 1-15.

BAHOU.A ; (2001) : *La sécheresse au Maroc : rapport avec la circulation atmosphérique et impacts sur la production agricole.* Thèse de doctorat d'Etat (en arabe), Université Hassen II, Faculté des lettres et Sciences Humaines de Mohammadia, Maroc, 3 volumes, 700 pages.

COTE.M ; (1983) : *L'eau en Algérie, mise en œuvre et utilisation,* colloque sur l'eau. Institut des Sciences de la Terre. Université de Constantine. 14 pages.

DIB.A ; (1981) : *La pluviométrie dans le Nord-Est Algérien, approche statistique et aspects régionaux.* Thèse de 3^{ème} cycle, université des sciences et médicale de Grenoble.204 Pages.

DJABRI.L, GHREIB.L, HANLA ; (2004) : *Mise en évidence des changements climatiques à l'aide des variations enregistrées à Tébessa sur un siècle de mesure.* Communication présentée au Séminaire National Environnement et Industrie en jeux et défis. Université Badji Mokhtar. Annaba. 12 pages.

DJELLOULI.Y. (2003) : *Les inondations catastrophiques de novembre 2001 à Alger.* Revue de l'Association Internationale de Climatologie. Vol. 15. PP.320-328.

DUBAND.D ;(1990) : *Réflexion sur l'utilisation des longues séries d'observations climatologiques dans le cadre de l'étude du climat et de son évolution.* Revue la houille blanche, n°6.PP.398-407.

GHACHIA ; (1986) : *Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie.* O.P.U. Alger 508. Pages.

HENIA.L ; (1993) : *Climat et bilan de l'eau en Tunisie : Essai de régionalisation climatique par les bilans hydriques,* publications de l'Université de Tunis, 391 pages.

HENIA.L ; (2001) : *Les grandes sécheresses en Tunisie au cours de la dernière période séculaire.* Eau et environnement Tunisie et milieux méditerranéens, ENS. Editions, Lyon. PP.25-36

MEDDI. M et HUMBERT. J.P (1993) : *Segmentation des séries annuelles de débits de grands fleuves Africains.* Bulletin du CIEH. 11. Pages.

MATARIA, BOUREGBA.A (2004) : *Y'a-t-il un changement du climat sur l'Oranie ?* Communication présentée au séminaire national Environnement et Industrie : en jeux et défis.

MATARIA, DOUGUEDROIT.A (1995) : *Chronologie des précipitations et des sécheresses dans l'ouest Algérien.* Conférence afro-asiatique sur l'irrigation et drainage. PP.7-14.Alger.

MATARIA ; (1997) : *Sécheresse en zone semi-aride cas : L'ouest Algérien.* Colloque sur la gestion de l'eau en zone semi-aride. Adrar.

MEDJERAB.A ; DAOUD.K ; (1993) : *La tendance des pluies annuelles dans l'Ouest Algérien.* Textes réunis par Henia. L. La variabilité du climat et stratégies d'adaptation humaines en Tunisie. Publication de la Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis. Série colloque, 7^{ème} vol. PP .203-230.

MEDJERAB.A ; (2005) : *Etude pluviométrique de l'Algérie Nord-Occidentale, approche statistique et cartographie automatique.* Thèse de Doctorat d'Etat. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. FST-GAT.1200 pages et annexes.

MEDJERAB.A. CHERFOUH.N ; (2009) : *Evaluation préliminaires des impacts potentiels des changements climatiques sur les ressources en eau superficielles dans l'Algérie orientale.* Colloque international eaux et Environnement 9 au 11 novembre 2009 – Marrakech- Maroc.

MEDJERAB.A CHERFOUH.N (2009) : *Y a-t-il- un changement climatique en Algérie cas : L'Algérie orientale.* Journées scientifiques de la faculté des Sciences de la terre, de la Géographie et Aménagement du Territoire, 7 et 8 novembre 2009

MEDJERAB.A. CHERFOUH.N ; (2009) : *L'urbanisation et les risques climatiques en Algérie : inquiétudes actuelles et futures,* Colloque international sur les risques climatiques 24 au 29 octobre 2010- Fez. Maroc.

MEBARKIA ; (2005) : *Hydrologie des bassins de l'Est- Algérien, ressources en eau, aménagement et environnement.* Thèse de Doctorat d'Etat, option : hydrologie. Université Salah Mentouri de Constantine.360 pages.

ROGNON.P ; (1996) : *Sécheresse et aridité : leur impact sur la désertification au Maghreb.* *Revue sécheresse*, Vol.7.N°4.PP.287-297.

OURABIA.N ; ZEGHMAR.N ; (2001) : *L'étude de l'impact de la sécheresse climatique sur l'environnement de l'Ouest Algérien.* Mémoire de fin d'études. Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du Territoire. U.S.T.H.B.130 Pages.

SABRIA, MEDJERAB.A ; (2009) : *La canicule de l'été 2003 : un événement météorologique exceptionnel dans l'Algérie orientale.* Colloque de l'Association Internationale de Climatologie. 1- 5 septembre. Cluj. Roumanie. 6 pages.

SELTZER.P ; (1946) : *Le climat de l'Algérie.* Travaux de l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe (I.M.P.G.A) de l'Algérie. 140. Pages

SELTZER.P ; (1937) : *La carte pluviométrique de l'Algérie (moyenne 1914-1934)*. Travaux de l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe (I.M.P.G.A) de l'Algérie.

SERHANE.M.R et al ; (1991) : *Contribution à l'étude Intensité Durée Fréquence des pluies de courtes durées dans le bassin versant de la Tafna*. Mémoire de fin d'études. Institut de génie civil. U.S.T.H.B.140 pages.

SAKISS.N ; (1994) : *Contribution à l'étude des variations climatiques en Tunisie : cas de la pluviométrie et de la température*, in *La variabilité du climat et l'homme en Tunisie*, textes réunis par L. HENIA, Publication de l'Université de Tunis, Série colloque 7e, volume III, PP.39-62.