

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila**  
**Institut des Sciences et de Technologie**  
**Département de sciences et Techniques**



N° Ref : .....

*Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de*

**MASTER**

*Spécialité : Sciences Hydrauliques.*

**THEME**

**Caractérisation de la variabilité climatique : cas du  
bassin versant de l'Oued Rhumel amont (Nord-Est  
Algérien)**

*Présenté par :*

- *LAMRI Soumia*  
- *KARFA Imane*

*Soutenu devant le jury :*

*M. KEMOUKH Sami*  
*M. BERHAIL Sabri*  
*M. KEBLOUTI Mehdi*

*Président*  
*Promoteur*  
*Examineur*

*Année universitaire : 2016/2017*

# Remerciement

*Nous remercions Dieu, le Tout Puissant, le Miséricordieux, qui nous a donné le courage et la patience de mener à bien ce travail.*

*Nos sincères remerciements à notre encadreur Monsieur **Berhail Sabri** centre universitaire Mila, qui accepté de nous diriger durant ce travail, et qui par ses conseils, ses orientations nous a été d'un grand apport dans la finalisation de notre mémoire.*

*Nous voudrions remercier les membres de jury d'avoir acceptés l'examination de ce travail.*

*Nous réservons une pensée spéciale à tous les enseignants du Master qui ont su nous donner une formation didactique et appréciable durant tout notre cursus. Ce geste sera gravé à jamais dans nos mémoires.*

*Les remerciements ne seraient rien sans une mention particulière pour nos collègues et pour mes amies de longue date. Merci pour tous les moments qu'on a passé ensemble.*

*Enfin, nous remercions tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail*

**MERCI**

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A Mes très chères parents et mon mari qui sont toujours apportée son  
amour et son affection*

*ma mère : Fatima el zohra*

*mon père : Aboud*

*mon mari : Abdelali*

*Ma belle mère : Nabila*

*A mon encadreur, Mr B, Sabri ;*

*A Mes très chers frères : Amir , Imad et sa femme fatima elzohra et  
son fils Mouhamed ;*

*A Ma chère sœurs : Rania et Son mari Nour eddine*

*A mes amis : khadidja, Yasmin, Fatima, Soumia , Dalel , Amira*

*A Tous mes enseignants dès le primaire jusqu'à l'université ;*

*A Mes camarades;*

*A Mes très chers amis et mes collègues.*

*Imane*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A Mes très chères parents et mon mari qui sont toujours apportée son  
amour et son affection*

*Dalila , Sakina*

*Abdeallah, Ibrahim*

*mon mari : djamel*

*Ma belle mère : Saliha*

*Amon encadreur, Mr B, Sabri ;*

*A mon cher frère : Tarek et sa femme souad et son fils Abdenour ;*

*A mes chères sœurs : samia et laïla*

*A mes amis : Iman , Amira, Rachha, Mounia, Amani , Dalel , Amira*

*A Tous mes enseignants dès le primaire jusqu'à l'université ;*

*A Mes camarades;*

*A Mes très chers amis et mes collègues.*

*Soumia*

Sommaire

Remerciement : .....I  
Dédicace : ..... II  
Sommaire : .....IV  
Liste des tableaux : .....VIII  
Liste des figures : ..... X  
Résumé : .....XII  
Abstract : .....XIII  
ملخص:.....XIV

Introduction Générale : .....1

**Chapitre I : Généralités sur la formation des précipitations**

Introduction ..... 2  
I.1. Formation des précipitations ..... 2  
I.2. Les principaux systèmes précipitants ..... 4  
    I .2.1. Système précipitant convectifs : ..... 4  
    I .2.2. Système précipitant orographique : ..... 4  
    I .2.3. Système précipitant cycloniques ou frontaux : ..... 5  
I .3. Présentation du réseau météorologique ..... 6  
    I .3.1. Organisation des données : ..... 6  
    I .3.2. Les mesures de pluviométriques : ..... 7  
I .4. Etude de la Stationnarité..... 12  
    I .4.1. Définition de la stationnarité : ..... 12  
    I .4.2. Classification des tests de stationnarité : ..... 12  
    I .4.3. Les différents tests à signalé : ..... 13  
        I .4.3.1. Tests de détection d'un changement générale dans la distribution : ..... 13  
        I .4.3.2. Test de détection d'une rupture : ..... 13  
        I .4.3.3. Tests de tendance : ..... 13

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

II .1. Aperçu géographique .....	14
II .1.1. Le bassin versant de l'Oued Rhumel amont à Oued Athménia :.....	14
II .1.2. Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Rhumel amont : .....	15
II .1.3. Végétation et culture :.....	17
II .2. Cadre Géologique.....	18
II .2.1. Cadre structuro-géologique de l'Algérie du Nord :.....	18
II .2.1.1 Domaine interne.....	18
II .2.1.2. Domaine médian ou domaine des flyschs :.....	19
II .2.1.3. Domaine externe : .....	19
II .2.2. Géologie locale .....	20
II .2.2.1. Analyse litho-stratigraphique :.....	20
II .2.2.2. Analyse tectonique et structurale :.....	22
II .2.3. Les phases tectoniques : .....	23
Conclusion .....	24
II .3. Morphologie du bassin versant de l'Oued Rhumel à Oued Athménia .....	25
II .3.1. Introduction : .....	25
II .3.2. Caractéristiques physiques du bassin : .....	25
II .3.3. Caractéristiques morphométriques du bassin : .....	26
II .3.3.1. Indice de compacité : .....	26
II .3.3.2. Le rectangle équivalent :.....	27
II .3.3.3. Relief et courbe hypsométrique du bassin versant :.....	27
II .3.3.4. Indice de pentes : .....	29
II.4 Régime pluviométrique du bassin versant .....	31
II.4.1 critique des données hydro - pluviométrique : .....	31
II 4.2. Traitements statistiques des données hydro _ pluviométrique :.....	32
II.4.2.1 Station de bassin de l'Oued Rhumel-amont : .....	32
II 4.2.2 Précipitations moyennes annuelles : .....	32
II .4.2.3 Coefficient pluviométrique :.....	34
II .4.2.4 Précipitations moyennes saisonnières :.....	36
II .4.2.5 Précipitations moyennes mensuelles : .....	37
Conclusion .....	39

II .5. Hydro-climatologie .....	39
II .5.1 Caractéristiques hydrologiques : .....	39
II .5.1.1 Précipitation : .....	39
II .5.1.2 Température : .....	40
II.5.1.3 Climat : .....	41
II.5.1.4 Diagramme Ombrothermique : .....	42
II.5.2 Bilan Hydrique : .....	43
II.5.2.1 Evapotranspiration: .....	43
II.5.2.2 Ruissellement (R) : .....	47
II.5.2.3 Infiltration (I) : .....	47
Conclusion .....	48

### Chapitre III : Description du logiciel khronostat

Introduction .....	49
III.1. La station de bassin de l'Oued Rhumel amont .....	49
III.2. Méthode de détection de rupture dans les séries chronologiques .....	49
III.3. Choix du test .....	50
III.4. Caractère aléatoire des séries d'observations .....	50
III.5. La procédure .....	51
III.6. Méthodes statistiques utilisées .....	51
III.6.1 Tests de vérification du caractère aléatoire : .....	51
III.6.1.1 Test de corrélation sur le rang : .....	51
III.6.1.2. Ellipse de Bois : .....	52
III.6.2 Tests de détection de ruptures : .....	52
III.6.2.1. Test de Pettitt : .....	52
III.6.2.2. Procédure de segmentation de Hubert .....	53
III.6.2.3. Statistique U de Buishand : .....	53
III.6.2.4. Procédure Bayésienne de Lee et Heghinian : .....	54

### Chapitre IV : Résultats et discussions

Introduction .....	56
IV.1. Test de rupture des précipitations .....	56

IV.1.1. Indice Standardisé des précipitations :.....	56
IV.2. Détection des ruptures au sein des séries pluviométriques annuelles .....	59
IV.2.1. Test de corrélation sur le rang :.....	59
IV.2.2. Statistique U de Buishand :.....	59
IV.2.3. Ellipse de Bois : .....	60
IV.2.4. Test de PETTITT :.....	60
IV.3. Détection des ruptures au sein de séries pluviométriques saisonnières .....	63
Conclusion Générale .....	65
Références Bibliographiques .....	66

## Liste des Tableaux

N°	Intitulé	page
01	Les codes des sous bassins versant de l'Oued Kebir-Rhumel.	15
02	surface et périmètre du bassin versant de l'Oued Rhumel amont.	26
03	Répartition altimétrique du bassin versant l'Oued Rhumel amont.	28
04	Caractéristiques morphométriques de bassin versant de l'Oued Rhumel amont.	29
05	Classification de l'ORSTOM pour différents reliefs.	30
06	récapitulation des caractéristiques morphologiques de bassin versant de l'Oued Rhumel amont.	31
07	Les coordonnées Lambert de la station de Tadjenanet.	32
08	Répartitions des précipitations moyennes annuelles de la station Tadjenanet.	33
09	Evolution du coefficient pluviométrique (1981-2012).	35
10	Précipitations saisonnières (1981-2012).	36
11	L'écart type et le coefficient de variation des pluies mensuelles.	38
12	Précipitation moyennes mensuelles à la station de Tadjnanet (1987-2008).	39
13	Températures moyennes mensuelles de la station de Tadjnanet (1987-2008).	40
14	Indice mensuel d'aridité.	42
15	Résultat de l'ETR par la méthode de Turc.	44
16	Vérification de la condition $1/8\lambda < P (m) < 1/2\lambda$ .	44
17	Résultat de l'ETR par la méthode de Coutagne.	45
18	Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE de la station de Tadjnanet (1990-2013).	45

<b>19</b>	Résultats du ruissellement.	<b>47</b>
<b>20</b>	Résultats de l'infiltration.	<b>47</b>
<b>21</b>	Estimation de taux d'infiltration.	<b>48</b>
<b>22</b>	les coordonnées Lambert de la station de Tadjenanet.	<b>50</b>
<b>23</b>	Catégories de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs du SPI.	<b>56</b>
<b>24</b>	Valeurs annuelles de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) de la station Tadjenanet (1965/2012).	<b>57</b>
<b>25</b>	Fréquences (en %) des classes de l'Indice Standardisé des précipitations (SPI) de la station Tadjenanet (1950/2012).	<b>58</b>
<b>26</b>	Tests de détection de rupture appliqués à la série pluviométrique annuelle de Tadjenanet (1965/2012).	<b>63</b>
<b>27</b>	Résultats du test de Pettitt statistique appliqué à l'échelle saisonnière.	<b>63</b>

## Liste des figures

N°	Intitulé	page
01	Formation des gouttes nuageuses et des gouttes de pluies.	03
02	Taille et caractéristiques des gouttelettes.	03
03	Les différentes phases du système convectif.	04
04	Précipitations orographiques.	04
05	Front chaud et froid.	05
06	Nuage et précipitations associés à un front chaud et froid.	06
07	Pluviographe enregistreurs à auget basculeur.	09
08	Schémas représentatif des modifications des précipitations selon la forme du pluviomètre.	10
09	Erreurs de captation due à l'inclinaison de la pluie pour un terrain horizontal ou incliné.	11
10	localisation du bassin versant de l'Oued Rhumel amont.	14
11	Bloc diagramme du bassin versant de l'Oued Rhumel amont.	15
12	Réseau hydrographique du Haut Rhumel à O.Athménia.	16
13	La région d'étude vue à travers un Modèle Numérique du Terrain.	16
14	Occupation du sol du sous bassin versant Rhumel-amont.	17
15	Schéma structural de la méditerranée occidentale.	18
16	Carte géologique du sous bassin versant Rhumel Amont Extraite des cartes géologiques au 1/200000 Sétif-Constantine.	21
17	Carte géologique du sous bassin de l'Oued Rhumel amont.	22
18	Coupes géologiques à travers le Djebel Grouz et la haute vallée du Rhumel.	22
19	Schéma tectonique du sous bassin Haut Rhumel.	24

## Liste des figures

<b>20</b>	Courbe hypsométrique du sous bassin de l'Oued Rhumel amont.	<b>28</b>
<b>21</b>	Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Tadjnanet (1981-2012).	<b>33</b>
<b>22</b>	Les variations des coefficients pluviométriques à la station de Tadjnanet (1981-2012).	<b>35</b>
<b>23</b>	Histogramme des précipitations moyennes saisonnières interannuelles de la station de Tadjnanet (1981-2012).	<b>36</b>
<b>24</b>	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles interannuelles de la station de Tadjnanet (1981-2012).	<b>37</b>
<b>25</b>	Coefficient de variation des pluies mensuelles.	<b>38</b>
<b>26</b>	Variations des précipitations moyennes mensuelles pour la station de Tadjnanet (1987-2008).	<b>40</b>
<b>27</b>	Variations des températures moyennes mensuelles pour la station de Tadjnanet (1987-2008).	<b>41</b>
<b>28</b>	Diagramme Ombrothermique (1987-2008).	<b>42</b>
<b>29</b>	Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques.	<b>46</b>
<b>30</b>	Bilan de l'eau de C.W THORNTHWAITE de la station de Tadjnanet.	<b>46</b>
<b>31</b>	Variation temporelle des indices de pluie standardisés à la station de Tadjnanet (1965-2012).	<b>58</b>
<b>32</b>	Résultat du test de corrélation.	<b>59</b>
<b>33</b>	Résultat du test de Buishand.	<b>60</b>
<b>34</b>	Ellipse de bois.	<b>60</b>
<b>35</b>	Résultat du test de PETTITT.	<b>61</b>
<b>36</b>	L'évolution de la variable U du test de PETTITT.	<b>61</b>
<b>37</b>	Densité de probabilité 'aposteriori' de la position d'un changement.	<b>62</b>
<b>38</b>	procédure de LEE et HEGHINIAN.	<b>62</b>
<b>39</b>	Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (Automne, Hiver, Printemps et Eté) par le test de Pettitt.	<b>64</b>



### Résumé

Une modification des pluies va probablement entrainer une modification de la disponibilité des ressources en eau. Les impacts pour la population devraient donc être importants. Les ressources en eau font aussi l'objet d'une pression anthropique qui ne cesse de croître.

Dans le but d'une meilleure compréhension de cette variation pluviométrique du bassin, nous avons appliqué des tests statistiques de détection des ruptures avec le logiciel Khronostat sur une série pluviométrique allant de 1965 à 2012 enregistré à la station de Tadjanet du bassin versant l'Oued Rhumel amont, d'où une "rupture" peut être définie de façon générale par un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un moment donné le plus souvent inconnu. Une telle rupture marque une modification du régime pluviométrique ou hydrologique.

Les résultats annuels obtenus montrent qu'il y a des changements du régime pluviométrique après l'année 1979, avec une baisse de la hauteur moyenne pluviométrique de 20.40%. Pour les résultats saisonniers, on a enregistré une rupture de la stationnarité sur les totaux automnaux, observés au début et à la fin des années soixante-dix, ces résultats sont très proches de ceux trouvés auparavant pour les totaux pluviométriques annuels ou nous trouvons la même date de rupture identifiée en 1979 sur la série pluviométrique de Tadjanet.

Cette rupture, dans le sens d'une diminution de la pluviométrie annuelle, donne à réfléchir pour mieux gérer une ressource hydrique sans cesse décroissante face à une demande sans cesse en augmentation.

**Mots-clés :** Variabilité climatique, Oued Rhumel-amont, Stationnarité, Régime pluviométrique, Méthodes statistiques.

## **Abstract**

Changes in rainfall are likely to lead to changes in the availability of water resources. The impacts for the population should therefore be significant. Water resources are also subject to increasing anthropogenic pressure.

In order to better understand this rainfall variation in the basin, we applied statistical tests for detecting a break year with the Khronostat software on a rainfall series recorded from 1965 to 2012 at the Tadjanet station of the Oued Rhumel upstream catchment. Hence, a "break" can be defined generally by a change in the probability law of a time series at a given time that is most often unknown. Such a rupture marks a change in the rainfall or hydrological regime.

The results obtained of annual rainfall show that there are changes in the rainfall regime after 1979, with a decrease in average rainfall of 20.40%. For seasonal rainfall results, there was a breakdown of stationary on autumnal totals observed in the early and late 1970, these results are very similar to those found previously for the annual rainfall or we find the same date of rupture identified in 1979 on the series of rainfall at Tadjanet station.

This break in the direction of a decrease in annual rainfall gives us a better idea to better manage an ever-decreasing water resource in the face of an ever-increasing demand.

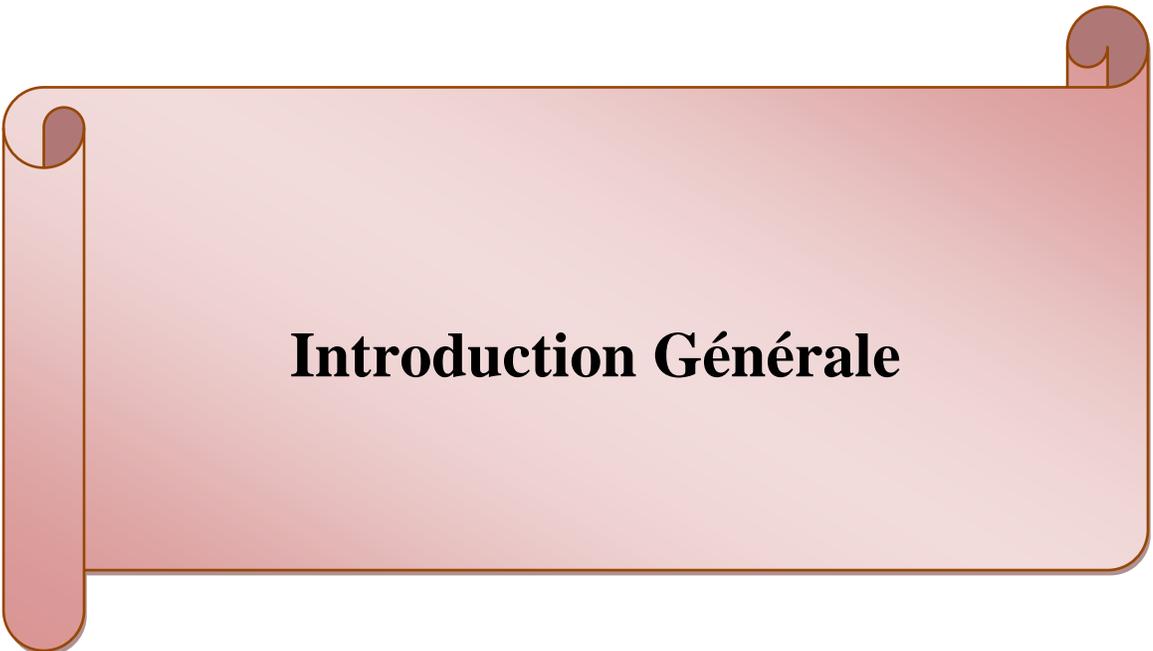
**Keywords:** Climatic variability, Rhumel-upstream catchment, Stationary, Rainfall regime, Statistical methods.

## ملخص

من المرجح أن تحدث تغييرا في توافر الموارد المائية تغير في هطول الأمطار. و لذلك ينبغي أن تكون آثار للسكان المهم. الموارد المائية هي أيضا موضوع الضغوط البشرية التي توقفت عن النمو. بهدف الفهم الجيد لهذا التغير في كمية أمطار الحوض، قمنا بتطبيق اختبارات إحصائية للتحقيق في النقص باستخدام برنامج " khronostat " على مجموعة أمطار 1965 - 2012 مسجلة في محطة تاجنانت في الحوض المصب في واد الرمال . تمزق عموما عن طريق تغيير في التوزيع الاحتمالي لسلسلة زمنية في وقت معين عادة غير معروف. هذا الكسر علامة تغير في هطول الأمطار أو النظام الهيدرولوجي النتائج السنوية المتحصل عليها تبين انه يوجد تغير في نضام تساقط الأمطار بعد عام 1979، مع انخفاض معدل الأمطار ب 20.40٪. بالنسبة للنتائج الموسمية سجلنا نقص في المياه الساكنة في النسب الخريفية لاحظناها في بداية ونهاية السبعينات هذه النتائج متقاربة جدا مع التي وجدت من قبل في النسب السنوية أين نجد نفس تاريخ النقص والمتمثل في 1979 بالنسبة لسلسلة الأمطار في تاجنانت.

هذا النقص ، بمعنى انخفاض الأمطار السنوية، يلزم بالتفكير في التسيير الجيد للموارد المائية بدون انقطاع مع العلم ان الطلب أيضا لا يكاد ينقطع.

**الكلمات المفتاحية :** التغيرات المناخية، منبع واد الرمال، نظامية ، المتوسط المناخي، الطرق الإحصائية.



# **Introduction Générale**

### *INTRODUCTION GENERALE*

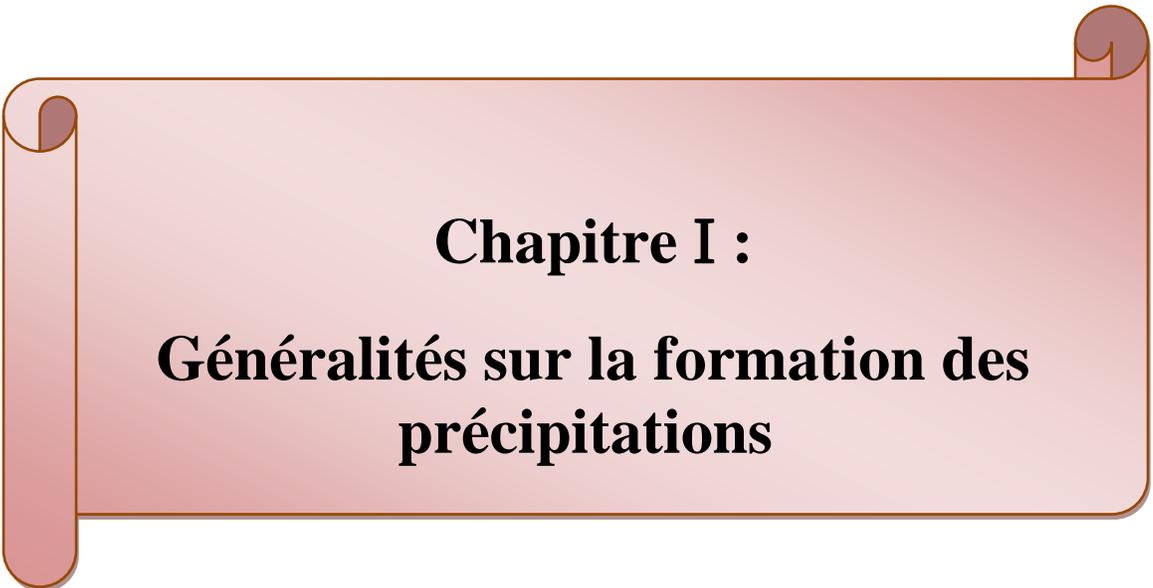
Depuis ces dernières décennies, les différents États accordent un intérêt croissant au changement climatique qui demeure une notion très vaste (réduction de la pluviométrie, augmentation de la température, effet de serre,...etc.

Plusieurs manifestations climatiques récentes de grande ampleur ont poussé la communauté mondiale à s'intéresser aux changements climatiques et à leurs impacts sur les ressources en eau. Parmi elles, on peut citer la sécheresse qui a affecté les pays du Maghreb, l'Algérie en particulier, depuis les années 1970. L'Algérie a connu durant son histoire de nombreuses périodes de sécheresses d'ampleur variable. Certaines ont eu des répercussions par fois dramatiques sur les conditions de vie de la population, notamment rurale ; les sécheresses les plus sévères et les plus persistantes sont celles relevées durant les années 1980 à 90 où le déficit pluviométrique a été estimé à 50% pour les régions du centre et de l'Ouest de l'Algérie. Et à 30% à l'Est.

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les populations que pour les écosystèmes. Elles sont faciles à mesurer. Autant de raisons qui font que la plupart des études et analyses portent sur les précipitations bien plus que sur d'autres paramètres du climat. Toutes les ressources sont conditionnées par les précipitations très irrégulières dans l'espace et dans le temps. La caractérisation de la tendance de la variabilité annuelle des précipitations est importante pour la prévision, la gestion des ressources hydriques, et l'étude des changements climatiques. Afin de mieux la caractériser, il est intéressant, de chercher à situer le changement temporel de la pluviométrie constatée depuis 47ans dans la chronologie pluviométrique de ce siècle, époque pour laquelle on dispose d'enregistrements dans le bassin versant de l'Oued Rhumel-amont Nord-Est de l'Algérie. Pour déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, nous avons utilisé un certain nombre de tests statistiques sur la station pluviométrique de Tadjanet pour une période allant de 1965 à 2012.

Notre travail s'organise autour de quatre chapitres :

- **CHAPITRE I:** Ce chapitre est consacré à des rappels théoriques sur les précipitations ; formation et type de précipitations, les erreurs commises pendant l'enregistrement des valeurs de celles-ci ;
- **CHAPITRE II:** Présente le bassin versant de l'Oued Rhumel-amont, en traitant les principales caractéristiques (situation, géologie, morphologie, climatologie, etc.) ;
- **CHAPITRE III:** est dédié à la description détaillée sur les tests statistiques de détection de rupture de stationnarité avec le logiciel Khronostat ;
- **CHAPITRE IV :** correspond à l'analyse de la stationnarité de la série pluviométrique et l'identification de la rupture au sein de cette dernière, aux échelles annuelle et saisonnière sur une période allant de 1965 à 2012 à la station de Tadjanet.



**Chapitre I :**  
**Généralités sur la formation des  
précipitations**

## Introduction

Les précipitations d'une région sont intimement liées au climat. Les précipitations varient dans le temps et dans l'espace. Des régions sont plus arrosées que d'autres et des mois qui sont plus pluvieux que d'autres.

### I.1. Formation des précipitations

La pluie est un phénomène associé aux systèmes nuageux, qui dépend des micro-physiques des nuages et aussi des mouvements atmosphériques à plus grandes échelles.

Les petites gouttes d'eau en suspension dans l'atmosphère constituent les nuages et sont appelées gouttelettes nuageuses. Les gouttes d'eau suffisamment grosses chutent et forment les gouttes de pluie.

La formation des gouttes d'eau dépend des changements d'état de l'eau présente dans l'atmosphère. La quantité d'eau présente et ses changements d'état sont liés aux mouvements verticaux au sein de l'atmosphère.

Lorsqu'une particule d'air relativement chaude et humide monte en altitude, les transformations thermodynamiques (dépression, refroidissement ...) qu'elle subit peuvent conduire à la saturation de l'air et la condensation de la vapeur. Celle-ci se manifeste par l'apparition de gouttelettes d'eau engendrée par la déposition de vapeur d'eau dans un premier temps autour des micros particules qu'on appelle noyau de condensation, puis sur les gouttelettes déjà formées.

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. Et collection c'est-à-dire : les plus grosses gouttelettes absorbent les plus petites l'ensemble ainsi formé compose le nuage. Lorsque les gouttelettes ont atteint une taille critique, elles chutent, elles ne sont appelées gouttes de pluie, elles peuvent encore grossir par collection de petites en suspension dans le nuage, la figure 1 schématise ces différents processus et la figure 2 donne la tailles caractéristiques de ces gouttelettes [1].

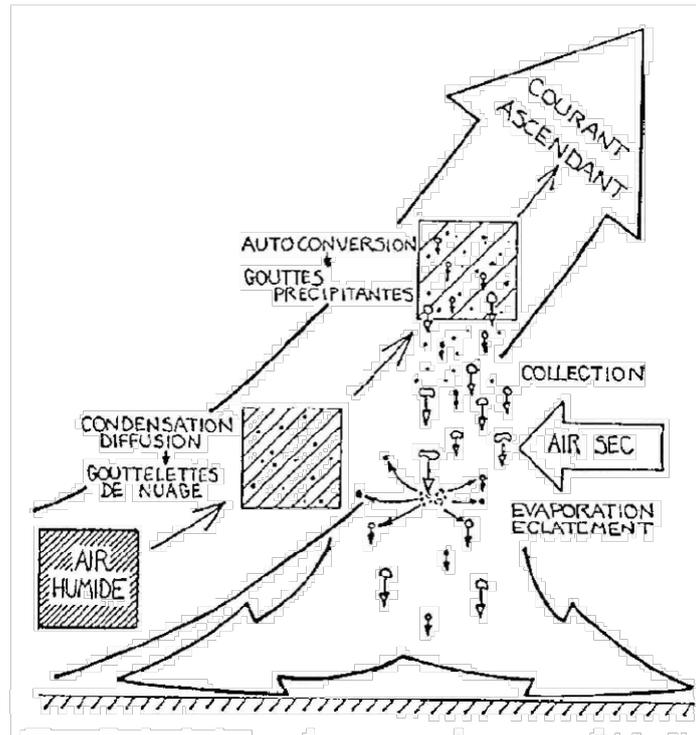


Figure 1 : Formation des gouttes nuageuses et des gouttes de pluies [1].

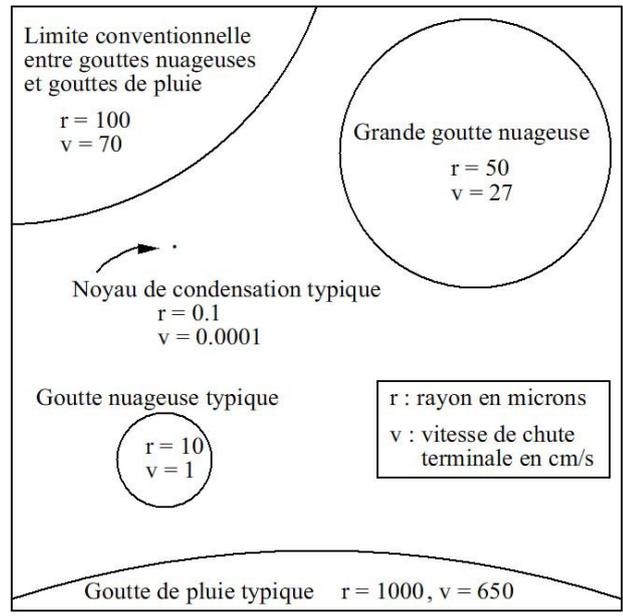


Figure 2 : Taille et caractéristiques des gouttelettes [1].

## I.2. Les principaux systèmes précipitants

Les systèmes précipitants sont le résultat de l'ascendance de masse d'air chaud et humide. On distingue trois types de mécanismes déclenchant ces mouvements verticaux, qui sont illustrés si après :

### I.2.1. Système précipitant convectifs :

Le système convectif apparaît lorsque deux masses d'air de températures différentes entrent en contact et plus particulièrement une masse d'air froide recouvre un sol plus chaud ou lorsque les basses couches sont chauffées par les radiations solaires, l'air de ces basses couches se dilate alors, s'allège et s'élève sous l'effet de la poussée d'ARCHIMÈDE elle s'élève en se refroidissant jusqu'au niveau de condensation, altitude à laquelle se forme la base du nuage. L'air continue de s'élever en se condensant ainsi jusqu'au niveau d'équilibre thermique, altitude du sommet du nuage. Celui-ci peut atteindre des altitudes de l'ordre de 12 km pour les situations les plus convectives. Ce système est décrit par 03 phases : développement, maturité et dissipation tel qu'il est représenté sur la figure 3.

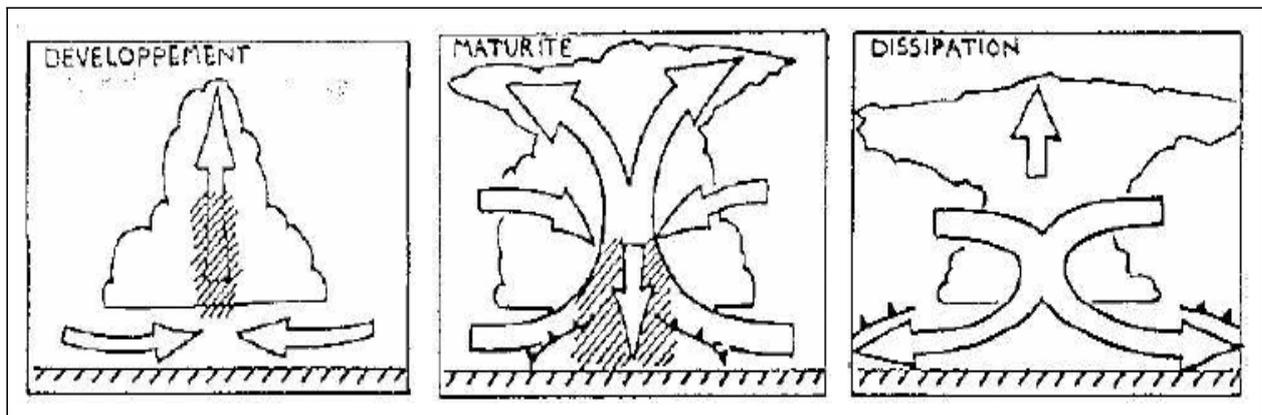


Figure 3 : Les différentes phases du système convectif [2].

### I.2.2. Système précipitant orographique :

La présence d'un relief (une chaîne de montagne par exemple) sur la trajectoire d'une masse d'air provoque l'élévation de celle-ci. Le refroidissement induit peut entraîner la formation d'une couverture nuageuse et déclencher des précipitations (Figure 4). Ce type de système est relié aux perturbations cycloniques [2].

Ces précipitations, d'intensité et d'extension variables, touchent principalement le versant situé au vent. Le versant sous le vent est au contraire plus sec, car l'humidité relative de la masse d'air et donc la pluie est moindre voire nulle lorsqu'elle descend sur le versant sous le vent.

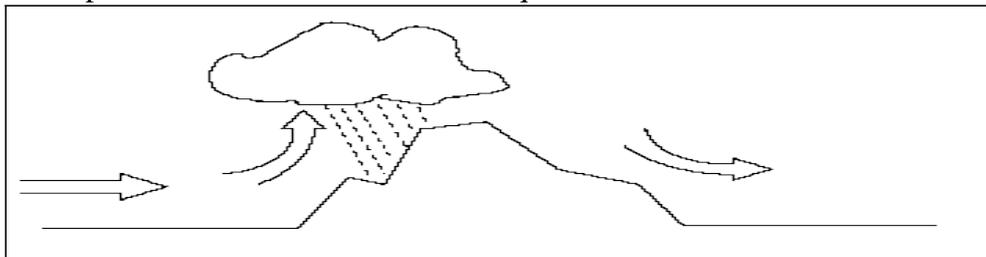


Figure 4 : Précipitations orographiques [2].

### I.2.3. Système précipitant cycloniques ou frontaux :

Ces systèmes précipitants 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 5).

Dans le cas d'un front froid, les nuages ont un développement vertical important et les précipitations sont intenses. Dans le cas d'un front chaud, les nuages ont une extension horizontale importante et les précipitations sont plus faibles que pour le front froid.

La figure 6 illustre ces deux cas [3].

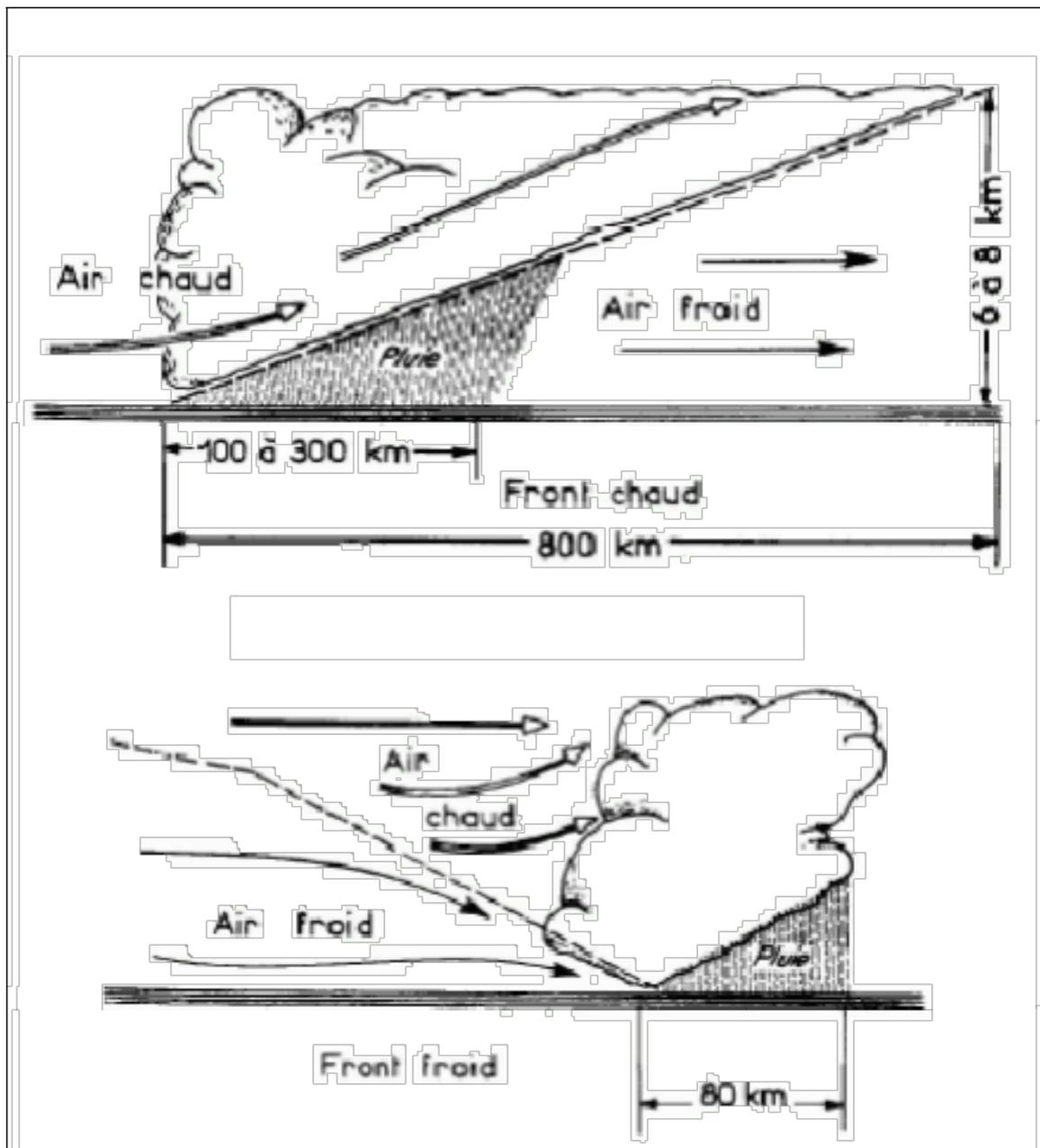


Figure 5 : Front chaud et froid [4].

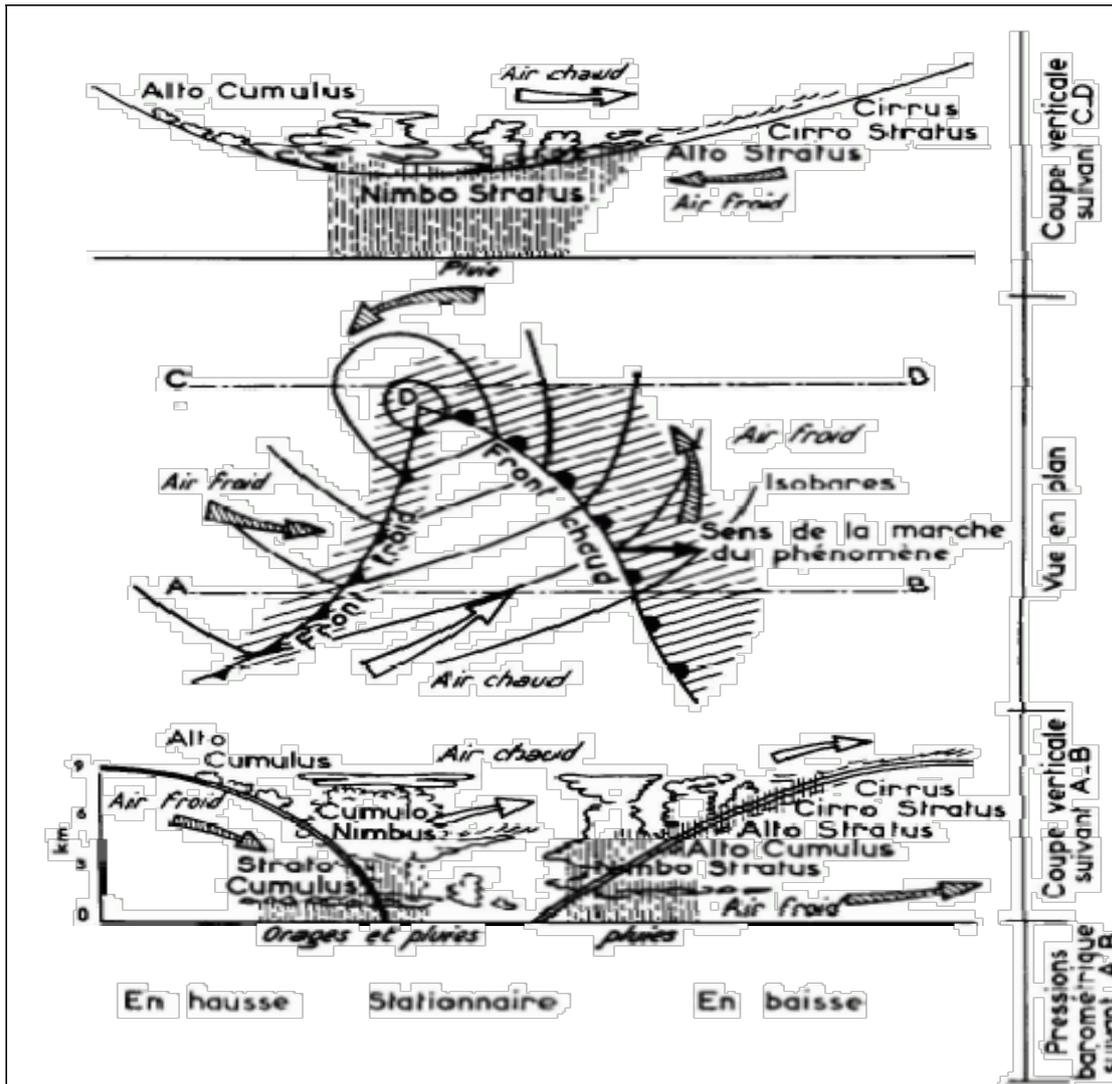


Figure 6 : Nuage et précipitations associés à un front chaud et froid [4].

### I.3. Présentation du réseau météorologique

#### I.3.1. Organisation des données :

L'observation est la base de la climatologie, c'est sur sa qualité et quantité que reposent les résultats de chaque analyse statistique et les conclusions qui en découlent. Le relevé météorologique au sol est le seul moyen dont dispose le météorologue pour mesurer les paramètres climatiques. Les observations effectuées en altitude ont apporté de nouvelles données, une nouvelle étape a été franchie avec l'utilisation du ballon sonde, du radar et du satellite météorologique [5]. Malgré les progrès, la mesure au sol est restée le moyen fondamental pour la précision météorologique. Dans les paragraphes qui suivent nous allons rappeler les principes de l'organisation des observations et les conditions requises pour obtenir de bonnes données.

##### a) Choix des emplacements :

L'emplacement de la station dépend de sa position en altitude, sa distance par rapport à la mer et

de la topographie des lieux. A une échelle plus fine les obstacles voisins ont également une influence, l'emplacement des stations doit être à l'abri de toutes influences extrêmes.

#### **b) Fréquence d'observation :**

D'après l'OMM (Office Mondial de Météorologie) les stations peuvent être classées comme suit :

- **Stations météorologiques principales (SMP) :** stations tenue par un personnel spécialisé qui effectue de nombreuses observations selon une périodicité horaire. Elle donne les mesures de la température, la précipitation, l'insolation, le vent, la nébulosité, l'humidité et la pression ;
- **Stations météorologiques auxiliaires (SMA) :** ce sont des stations tenues par un personnel autre que professionnel, qui prélève au moins trois observations par jour elle donne des données de précipitation et de température ;
- **Poste pluviométrique (PP) :** qui donne uniquement des mesures de précipitations.

#### **c) Choix des instruments de mesure et les conditions d'installation :**

Les conditions d'installation des instruments et le type de matériel d'observation doivent être aussi proches que possible de l'installation standard de l'OMM.

Les instruments de mesure doivent présentés les caractéristiques suivantes :

- la fidélité : la faculté pour l'appareil de mesure, d'indiquer toujours les mêmes valeurs ;
- la justesse : indication de valeurs justes et exactes ;
- la sensibilité : de faible variations de la grandeur à mesurer doivent apparaître nettement sur l'instrument de mesure ;
- la robustesse, la simplicité et la fiabilité : il est indispensable d'ajouter ses qualités vue les conditions particulières de fonctionnement et de manipulation (fonctionnement en plein air, manipulation fréquentes, mesures rapides, etc.).

D'après le règlement de l'OMM, les stations principales doivent être contrôlées aux moins une fois tous les deux ans, les auxiliaires et pluviométriques une fois tous les quatre ans.

#### **d) Degré de précision des mesures :**

Les mesures météorologiques peuvent être affectées d'erreurs systématiques et accidentelles. Les premières proviennent de l'instrument lui-même ou de la méthode de mesure, par contre les accidentelles sont d'origine multiple et souvent inconnue [6].

### **I.3.2. Les mesures de pluviométriques :**

La mesure des précipitations est simple à réaliser localement, mais une des plus complexe en météorologie, vue la forte hétérogénéité spatiale des précipitations, celles-ci sont exprimées en mm de hauteur d'eau et en intensité, mm/h. La quantité totale de précipitations atteignant le sol est représentée par l'épaisseur équivalente qu'aurait une lame d'eau uniforme sur une surface horizontale.

La hauteur des précipitations est exprimée en mm et indique la quantité en litre sur une surface de un mètre carré.

Il faut implanter ces capteurs avec attention, car, s'ils sont situés près d'obstacles comme des arbres ou des bâtiments, les perturbations occasionnées par ces obstacles sont sources d'erreurs.

Une règle commune est d'implanter le capteur à une distance minimale égale au double de la hauteur de l'obstacle.

Les recherches effectuées sur les perturbations occasionnées par le capteur lui-même montrent que celui-ci fait obstruction aux mouvements de l'air et que le collecteur de pluie de par sa forme en entonnoir, engendre des turbulences parasites. Le résultat est que la mesure de la pluie faite à un mètre de hauteur est généralement inférieure à la hauteur réelle précipitée au sol. Dans beaucoup de cas, ce phénomène n'est pas pris en compte, mais il peut être corrigé par une formule mathématique en fonction du sens et de la force du vent. On peut aussi mesurer la pluie au sol avec un pluviomètre type SNOWDON dont la grille autour de la bague réceptrice minimise les effets du vent.

On obtient des résultats corrects avec cette méthode mais elle n'est guère appliquée. La norme de l'OMM est de placer la bague collectrice à un mètre de la surface du sol.

Il est possible de mesurer les précipitations selon différentes méthodes : Il existe deux classes d'instrument permettant de mesurer la pluie :

- un pluviomètre, qui donne la pluie globale à une station pendant un temps donné. Le modèle le plus utilisé est le pluviomètre association ; cet appareil est couramment utilisé en Algérie et en France ; il a été très répandu par les soins de l'association scientifique de France d'où le nom de pluviomètre association [3]. Il est composé de trois parties :

1- un seau en zinc ou en polyester où s'accumule la pluie recueillie ;

2- un entonnoir en métal formant la surface réceptrice et comportant un trou assez petit pour diminuer les pertes par évaporation protégé par une tôle métallique fine ;

3- une bague circulaire à bords presque tranchants de 226mm de diamètre limitant la surface de réception de 400cm<sup>2</sup>.

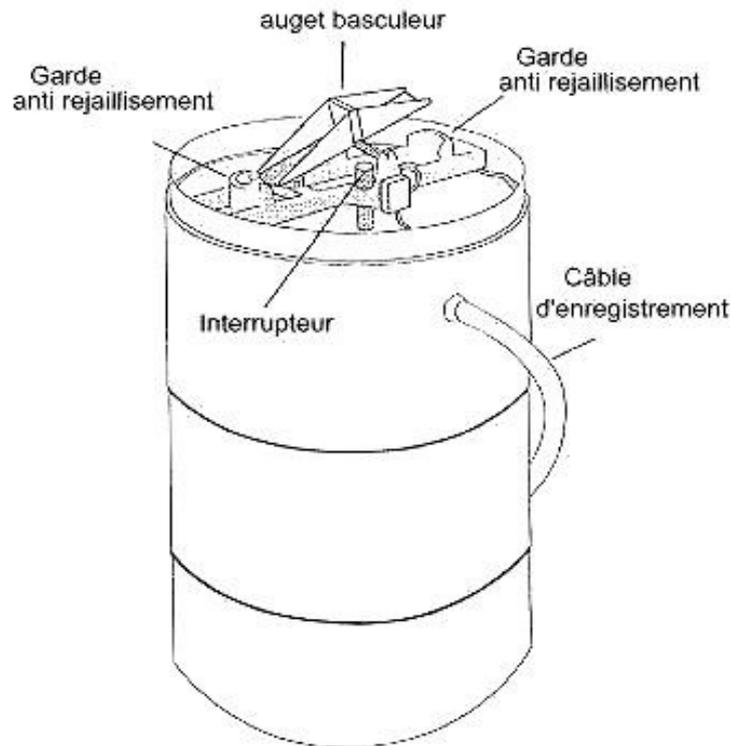
Ce pluviomètre est installé sur un support de telle façon que le niveau de la bague soit à une hauteur de 1.5m au-dessus d'un sol. Pour mesurer la hauteur d'eau tombée, on verse le contenu du seau dans une éprouvette graduée en millimètres et en dixièmes de millimètres [7].

- Un pluviographe, qui permet de faire l'analyse et la répartition des pluies dans le temps.

Le plus utilisé dans le réseau de l'ONM est le pluviographe à auget basculeur (figure 7) ; cet appareil comporte en dessous de son entonnoir de collecte d'eau, une pièce pivotante dont les deux compartiments peuvent recevoir l'eau tour à tour.

Il existe d'autres modèles de pluviographes :

- les pluviographes à siphon, l'eau collectée est stockée jusqu'à un seuil critique où un dispositif de siphonage s'amorce, évacuant l'eau recueillie ;
- les pluviographes à peser, le poids du récipient collecteur est enregistré en continu.



**Figure 7 :** Pluviographe enregistreurs à auget basculeur [7].

La mesure de précipitation entraîne de nombreuses erreurs et de caractères hétérogènes. Ces erreurs sont représentées essentiellement par deux types ; les erreurs instrumentales et les erreurs dues à l'environnement ;

**a- les erreurs instrumentales :**

L'erreur instrumentale se différencie par deux points principaux ; l'appareil de mesure lui-même et la méthode d'exploitation. En conséquence, chaque type d'appareil ou pour chaque méthode de mesure est relié à des imperfections que l'on essaye de contrôler ou diminuer et de corriger. Ces imperfections sont de caractères divers :

➤ **Profondeur de la bague du pluviomètre :**

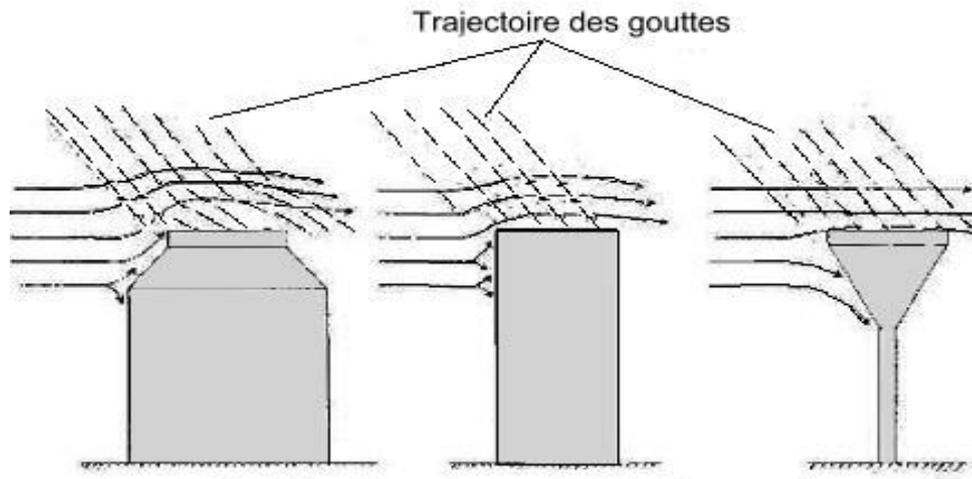
Plusieurs comparaisons ont été effectuées en utilisant de nombreux pluviomètres possédant une hauteur de bague différente.

Ces comparaisons furent effectuées en mesurant parallèlement le vent et les précipitations. Les résultats constatés sont :

- par vent fort, la bague la plus profonde soit mieux adaptée que la petite ;
- Par vent modéré, la profondeur de la bague ne semble pas établie ;
- Par vent faible, la bague la moins profonde indique les meilleurs résultats.

➤ **Influence de la forme du collecteur :**

La forme du pluviomètre a une influence déterminante sur la captation de l'eau. Des essais en soufflerie sur des pluviomètres de forme cylindrique à épaulement tronconique cylindrique pure et sur des pluviomètres association, ont démontrés que le troisième type de pluviomètre modifie le moins le champ aérodynamique autour du capteur cette modification est illustrée sur la (figure 8) [7].



**Figure. 8 :** Schémas représentatif des modifications des précipitations selon la forme du pluviomètre [7].

➤ **Influence de la rugosité de la paroi interne des pluviomètres :**

Le coefficient de rugosité de l'entonnoir qui dépend du matériau utilisé à sa fabrication, de sa pente et de sa propreté. Les principaux matériaux utilisés dans la fabrication des entonnoirs sont le zinc, le laiton, le cuivre et le polyester armé de fibres de verre. Les entonnoirs métalliques possèdent une rugosité qui permet une bonne rétention de l'eau, celle-ci est plus faible pour les entonnoirs en polyester.

**b- les erreurs dues aux méthodes de mesures :**

Elles incombent essentiellement à l'observateur, ces erreurs sont dues à :

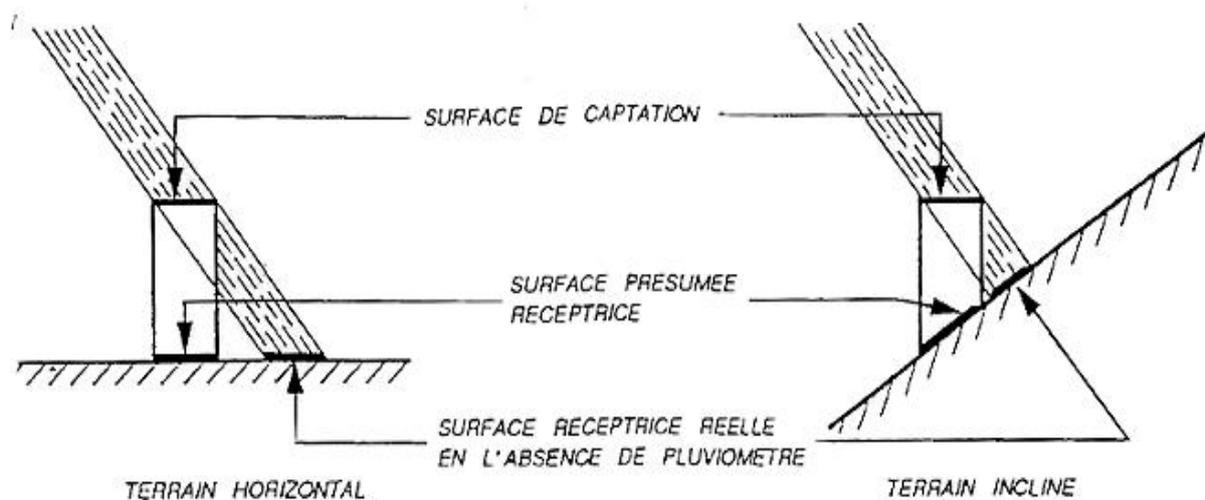
- Une pose défectueuse du diagramme sur le tambour d'enregistrement, ce qui causera la modification des coordonnées, cela engendre la difficulté de mesure à fine échelle ;
- Le mauvais entretien de la plume d'inscription pouvant provoquer des défauts d'enregistrement et des erreurs d'interprétation ;
- Une amplification incorrecte du stylet, modifie les valeurs extrêmes de la courbe d'enregistrement ;
- Des pertes par erreur de manœuvre au moment de lecture manuelle, renversement ou débordement des éprouvettes.

### c- les erreurs dues à l'environnement :

La mesure des paramètres climatiques dépend généralement des conditions d'installation de l'appareillage, la localisation de l'instrument lui-même par rapport au site, à l'environnement et à des facteurs climatiques régionaux :

#### ▪ Installation de l'appareillage :

Le pluviomètre est généralement installé sur un pied support ou un socle qui est fixé solidement au sol. Si cette opération n'est pas réalisée convenablement, on risque d'introduire des erreurs pendant le fonctionnement de l'appareillage, ces erreurs sont dues dans ce cas à la mauvaise horizontalité du socle, ce qui pourra modifier le calibrage du capteur. L'instabilité du support engendre des vibrations de l'appareillage, un revêtement du sol, non adéquat provoque une augmentation de l'évaporation due à l'intensification du rayonnement solaire. On peut citer comme autres paramètres provoquant des erreurs, les obstacles avoisinants qui influent tant par leurs dimensions que par leur proximité, donc, le pluviomètre doit être placé au lieu découvert, le plus loin possible des obstacles, il est conseillé de le mettre à une distance de moins 02 à 03 fois leur hauteur pour éviter les remous ou une simple turbulence (figure 9) [8].



**Figure 9 :** Erreurs de captation due à l'inclinaison de la pluie pour un terrain horizontal ou incliné [8].

#### ➤ La hauteur d'exposition des capteurs :

Le capteur d'un pluviomètre est situé à des hauteurs comprises suivant le sol et à 1.5 mètre au-dessus du sol. Si une exposition est trop élevée, elle ne correspond pas à la définition pluviométrique, si elle est trop basse elle provoque des erreurs par suite d'un rejaillement intensif sur les bords de la cuve de réception.

#### ➤ Les erreurs du au vent :

Le vent est le facteur le plus important et le plus difficile à contrôler. La déviation des filets d'air provoque un excédent ou un déficit dans la quantité d'eau réellement tombée. Il a une

interaction simultanée entre le vent et le pluviomètre. Le vent provoque des arrachements et de rejaillissement des gouttes de pluie sur le capteur. Ces conséquences sont d'autant plus accusées que la vitesse du vent est forte et que la vitesse de chute de précipitation est faible. Une des principales causes d'erreur dans la mesure des précipitations avec un pluviomètre est la variation de son coefficient de captation avec la vitesse du vent. La quantité d'eau captée peut ainsi être sous-estimée de 3 à 30%.

➤ **Les erreurs dues à l'évaporation :**

Une précipitation qui survient après une longue période d'ensoleillement ; les premières gouttes qui tombent s'évaporent à la surface du métal par ce que la température de celui-ci est supérieur à celle de l'air. Si la précipitation est faible et de courte durée elle risque d'être totalement ignorée, un équilibre sera rétabli au bout d'une période mais en contrepartie une quantité non négligeable est déjà perdue, d'où une perte qui risque d'entacher, particulièrement dans les zones arides.

Les pluviomètres métalliques provoquent beaucoup plus d'erreurs, dues à l'évaporation. Ceux en verre ou en plastiques semblent avoir un coefficient d'évaporation relativement faible et parfois négligeable, cela sont conseillés dans les zones chaudes.

Pour éviter les pertes par évaporation, le seau récepteur est rempli d'une quantité d'huile suffisante pour former une couche de 5 mm au-dessus de l'eau [8].

## **I.4. Etude de la Stationnarité**

### **I.4.1. Définition de la stationnarité :**

Une série chronologique est dite stationnaire si ses propriétés sont invariables dans le temps. La littérature hydrologique s'intéresse plus particulièrement à deux formes majeures de non stationnarité ; les tendances et les ruptures.

- Une rupture désigne une modification subite dans les propriétés d'un processus aléatoire ;
- Une tendance est un changement graduel dans les propriétés d'une variable aléatoire. On peut noter par ailleurs qu'une série peut présenter des fluctuations notables dans le temps sans qu'il y ait véritablement une direction privilégiée. Ces variations traduisent la variabilité intrinsèque des séries hydrologique et climatique.

La stationnarité est donc l'étude de changement des éléments climatiques d'une série chronologique [9].

### **I.4.2. Classification des tests de stationnarité :**

Les tests disponibles se focalisent sur des points très particuliers, il importe donc de choisir des tests qui s'approprient bien à la situation. Par exemple, un test de tendance en moyenne pourra aboutir à la conclusion qu'il n'y a pas de tendance en moyenne pour la série testée mais n'apportera aucune information concernant la variance ou la fréquence et la magnitude des extrêmes qui peuvent très bien avoir évolué. Certains tests détectent très bien un type donné de changement, d'autres s'attachent plus à mettre un simple changement dans la distribution sans en

préciser le type. Si l'on ignore la nature du changement, il semble judicieux d'utiliser plusieurs tests différents et de comparer les résultats obtenus [9,10].

### I.4.3. Les différents tests à signaler :

#### I.4.3.1. Tests de détection d'un changement générale dans la distribution :

Pour savoir si une série est stationnaire ou non, nous testerons les distributions avant ou après une date sont identiques. Dans ce cas nous pouvons appliqués des tests de comparaison de distribution :

- Test de  $\chi^2$ ;
- Test de KOLMOGROV- SMIRNOV.

#### I.4.3.2. Test de détection d'une rupture :

Les deux principaux tests à signaler dans ce cas (tests de comparaison en moyenne) sont :

- test de Student (test paramétrique) ;
- test de wilcoxon « test de Mann-Whitney » (test non paramétrique). On peut citer d'autres tests à savoir : test de Pettitt, test des écarts cumulés

#### I.4.3.3. Tests de tendance in [9] :

##### a) tes de la régression linéaire :

Il s'appuie sur un modèle de régression simple entre la série et le temps.

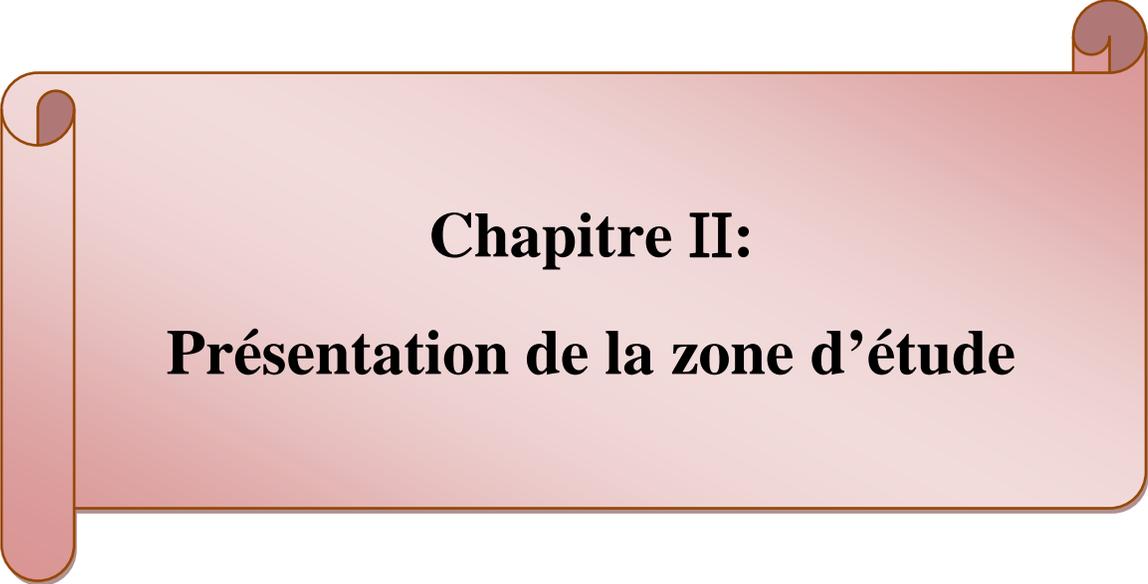
##### b) tests des coefficients sur le rang :

L'étude de corrélation sur le rang entre deux variables on distingue :

- Test de corrélation sur le rang de Kendall ;
- Test des changements de signe Kendall et Stuart ;
- test de coefficient de Spearman.

Il existe d'autres tests :

- procédure de Booth et Smith pour la détection d'une rupture en moyenne ;
- test de rupture dans un modèle de régression linéaire ;
- test de stationnarité en variance ;
- test de corrélation serial de Wald – Wolfowitz.



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

II .1. Aperçu géographique

II .1.1. Le bassin versant de l'Oued Rhumel amont à Oued Athménia :

Le sous bassin de l'Oued Rhumel amont est l'un des sept sous bassins du grand bassin versant Kebir Rhumel, alimentant le barrage du Hammam Grouz à Oued El Athmania. Le sous bassin couvre une superficie de 1120 Km et il est limité :

- Au Nord les monts de Benyahia Abderrahmane et Bouhatem ;
- Au Sud par les monts de Oueled khlouf et Ltaya ;
- A l'Ouest par Dj Ouled Hammou et dj Tavoudach à coté de Bir El Arch ;
- A l'Est par Dj Grouz et Dj Tikouya (Coté de Chelghoum Laid).

Ces principaux affluents sont O.Merdj elkebir, O.Boumrah, O.Timeslit, O.Maamra, O.Oufrich, O. Méhari, O.Boutouil, constituant l'amont d'oued Rhumel, le cours d'eau principal.

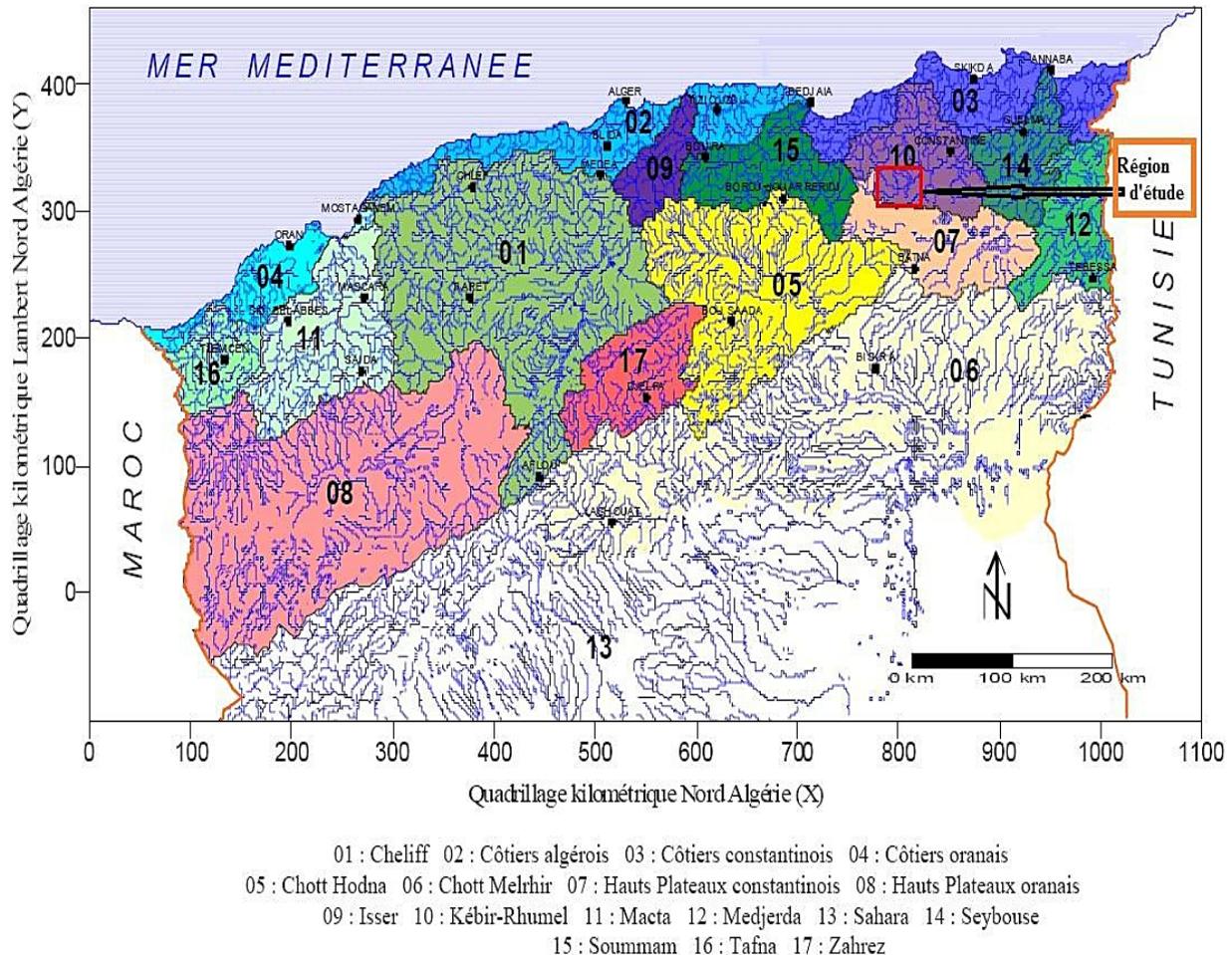


Figure 10 : localisation du bassin versant de l'Oued Rhumel amont [11].

D'après les services de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrique), le bassin versant de Kebir Rhumel est découpé en 7 sous bassin dont le sous bassin de l'Oued Rhumel amont à Oued Athménia qui constitue notre sujet d'étude ce bassin est codifié selon l'ANRH par le code 1003.

Tableau1: Les codes des sous bassins versant de l'Oued Kebir-Rhumel.

Code du sous bassin	Noms du sous bassin
10 01	Oued Dehamcha-Kebir Amont
10 02	Kebir Amont-Endja
10 03	Kebir Amont
10 04	Rhumel-Seguen
10 05	Boumerzoug
10 06	Rhumel-Smendou
10 07	Kebir –Martime

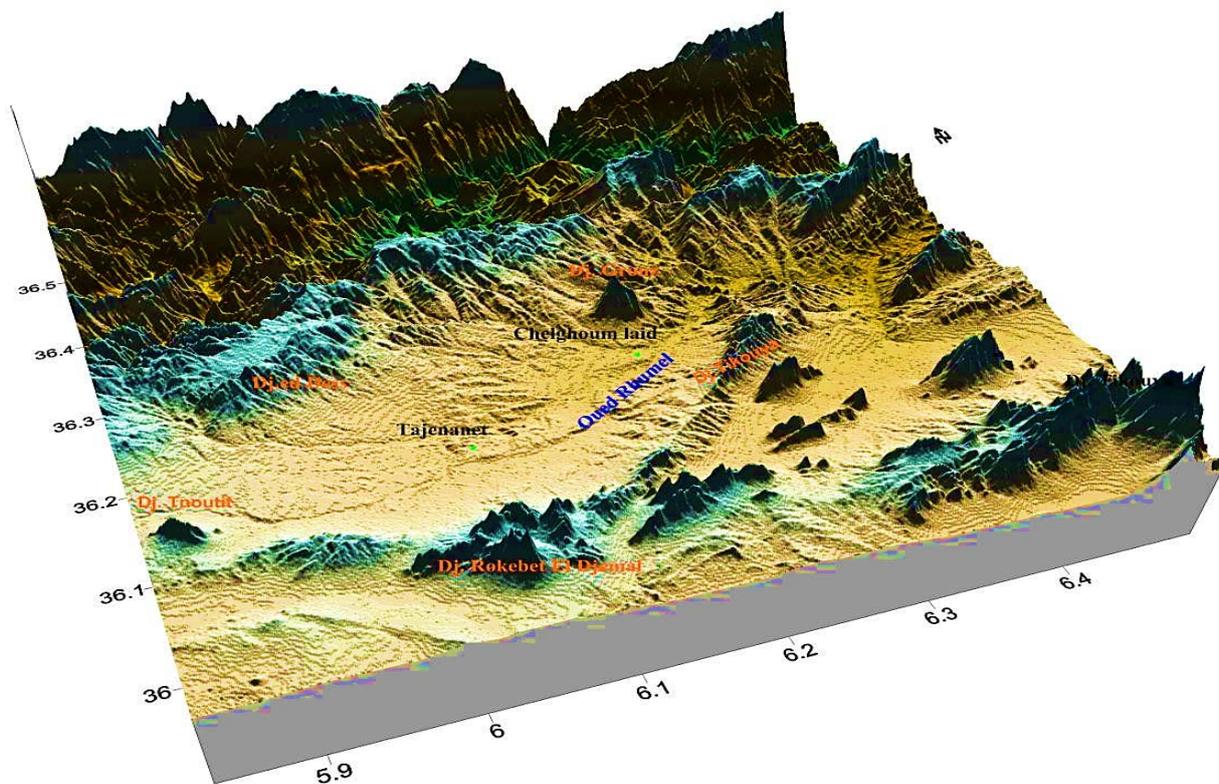


Figure 11 : Bloc diagramme du bassin versant de l'Oued Rhumel amont [12].

### II .1.2. Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Rhumel amont :

Le long de son parcours et avant d'atteindre la cluse de Hammam Grouz, Oued Rhumel reçoit plusieurs affluents tels que : Oued Dekri, Oued Aouskourt et Oued ElMahari (Figure 12), notant que tous ces oueds sont caractérisés par un écoulement permanent d'où il faut prévoir que la relation nappe -oued n'est pas exclue.

Le bassin hydrographique « 10-03 » se décompose globalement en 4 sous bassins :

- La zone hydrographique relativement inactive, au Sud de Tajenaner ;

- Le Rhumel-amont (de Belaa à Chelghoum Laid) avec son affluent Oued El Mehari ;
- L'Oued Dekri, l'affluent le plus important par ses capacités d'écoulement ;
- Le sous bassin constitué par les affluents de la zone Sud-est s'écoulant à partir d'une ligne de Dj Chebka-Toukouia.

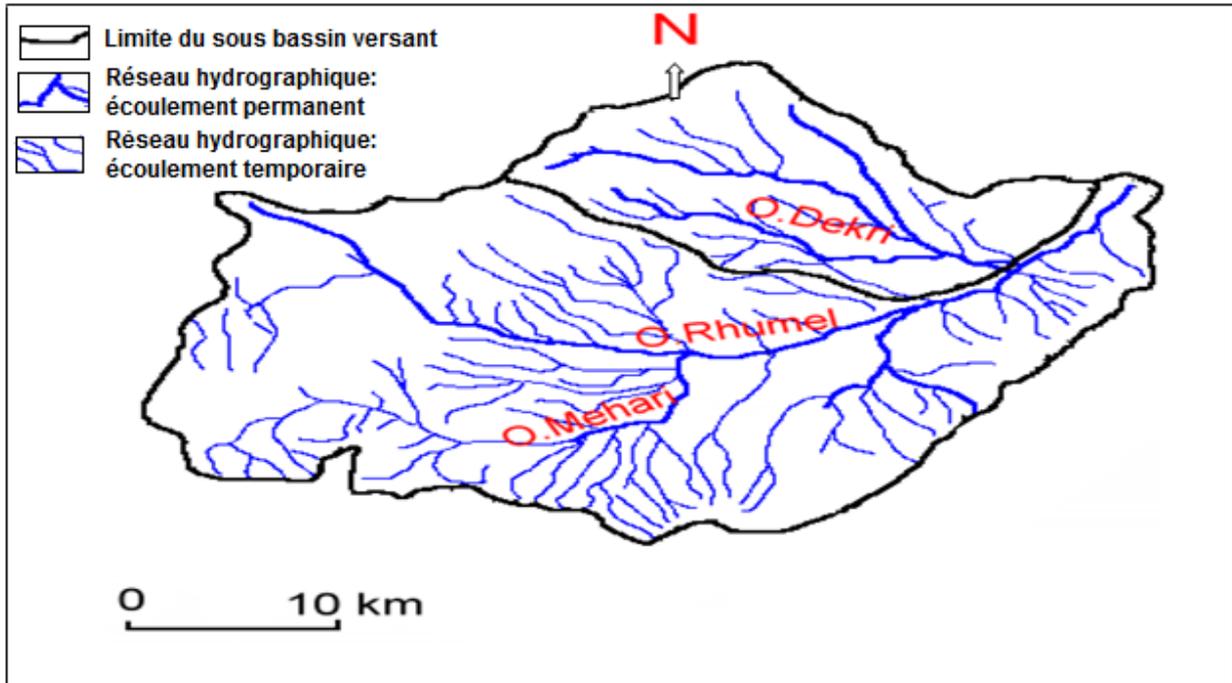


Figure 12 : Réseau hydrographique du Haut Rhumel à O. Athménia [12].

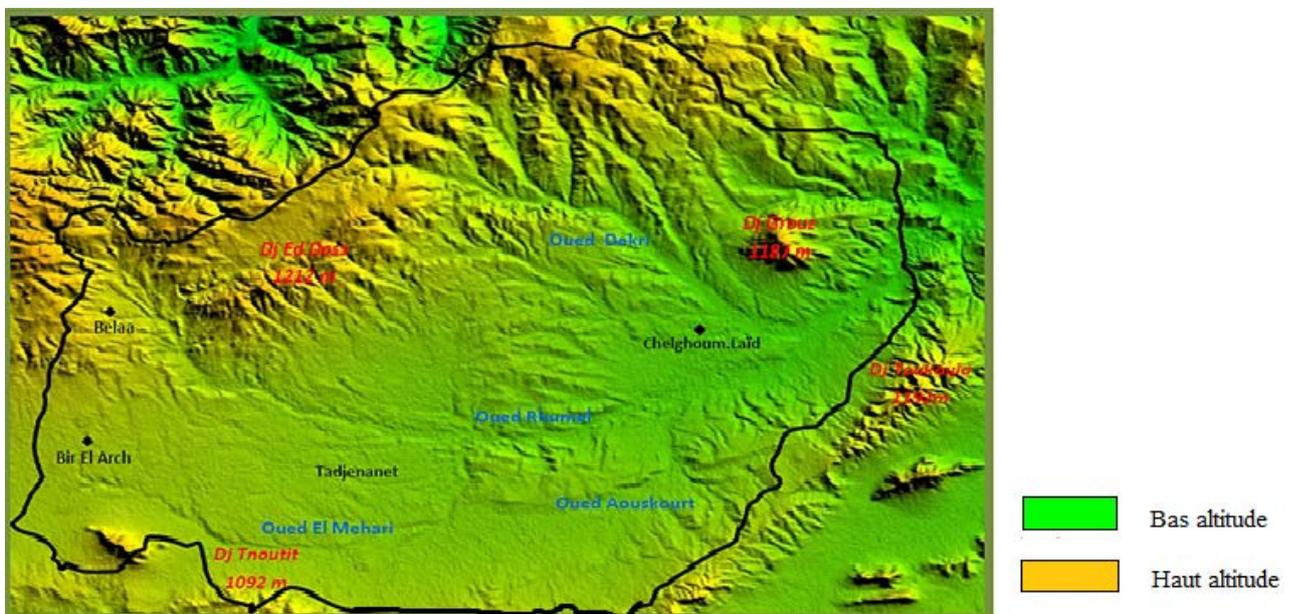


Figure 13 : La région d'étude vue à travers un Modèle Numérique du Terrain [12].

II .1.3. Végétation et culture :

L'aspect général de la région est typiquement celui des hautes plaines constantinoises : paysage faiblement vallonné, grandes étendues sans relief et de teinte générale rougeâtre avec peu ou pas de couvert végétal.

La zone n'est au printemps qu'un immense tapis vert moulant le relief ondulé. A l'automne après les labours, il n'y a plus qu'une seule couleur : le brun rougeâtre des marnes néogènes, interrompu par des taches claires ou grises de la croûte calcaire récente ou des marno-calcaires éocènes.

Le caractère semi-aride du climat conditionne le couvert végétal : les plaines sont vouées aux céréales (orge et blé) et aux cultures maraichères; la zone de prairies naturelles se réduit à la vallée du Rhumel. (Figure 14).

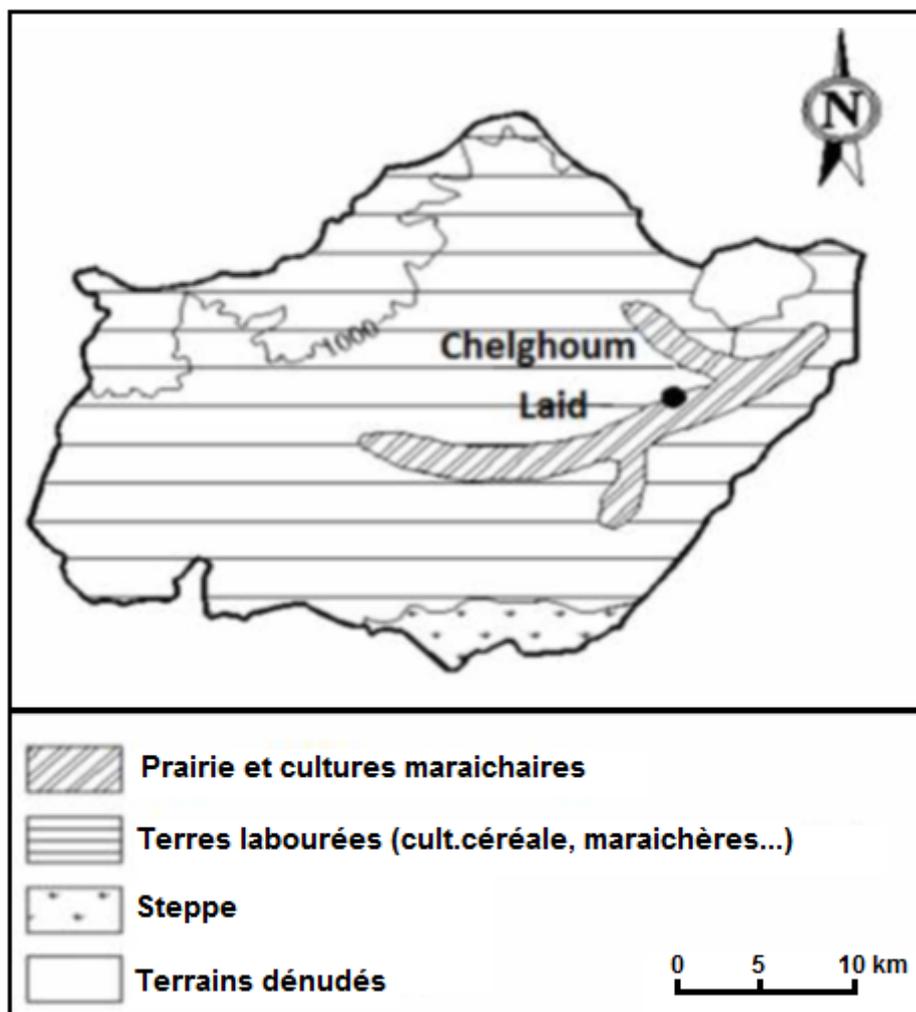


Figure 14 : Occupation du sol du sous bassin versant Rhumel-amont. [11]

## II .2. Cadre Géologique

### II .2.1. Cadre structuro-géologique de l'Algérie du Nord :

Du point de vue géologique, le sous bassin de l'Oued Rhumel amont correspond aux Monts de Constantine, mais fait déjà partie à l'Ouest des Hautes Plaines Sétifiennes, ces dernières sont positionnées dans l'ensemble de la chaîne alpine d'Algérie et plus précisément dans les zones externes, segment de la chaîne des Maghrébides qui représente la chaîne Alpine d'Afrique du Nord [12]. Cette chaîne s'articule sur le rift et constitue la chaîne Tello- Africaine.

Le cadre géologique du Nord algérien est d'une extrême complexité, il se caractérise par des structures en nappe à vergences Sud dominante et une unité remarquable, on y distingue de l'intérieur à l'extérieur (figure. 15) :

- Le domaine interne ;
- Le domaine médian ou domaine des flyschs allochtones ;
- Le domaine externe.

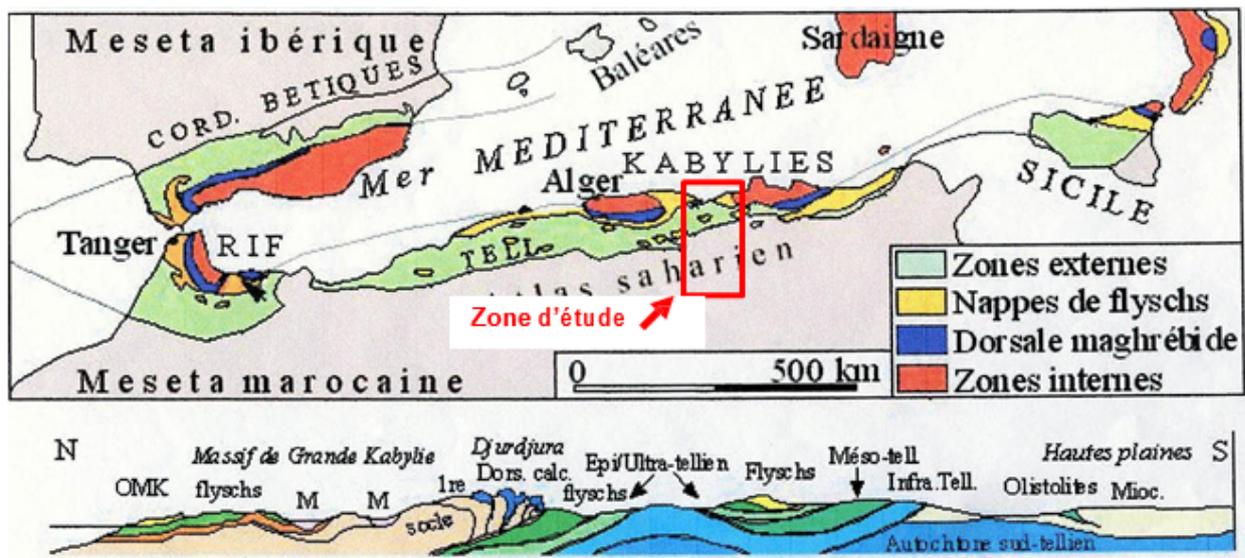


Figure 15 : Schéma structural de la méditerranée occidentale [13].

#### II .2.1.1 Domaine interne :

Il correspond aux massifs primaires de la Petite et la Grande Kabylie qui constituent le socle kabyle métamorphique, et la dorsale kabyle sédimentaire qui constitue la limite méridionale de la zone interne.

Ce domaine est également constitué de terrains paléozoïques et plus au Sud, de terrains méso-cénozoïques allant du Jurassique à l'Oligocène [14].

### II .2.1.2. Domaine médian ou domaine des flyschs :

Il se caractérise par des formations de plaines abyssales mises en place par des courants de turbidité. Ces flyschs sédimentés depuis le Crétacé inférieur jusqu'au début du Miocène constituent de grandes nappes de charriages.

Trois types de séries de flyschs ont été distingués :

- Flyschs mauritaniens ;
- Flyschs massy liens ;
- Flyschs numidiens.

### II .2.1.3. Domaine externe :

Il présente une grande diversification et occupe une position méridionale dans le bassin des Maghrébides. On y distingue successivement du Nord au Sud les subdivisions suivantes :

- les séries telliennes ;
- les séries de l'avant pays allochtone ;
- les séries de l'avant pays atlasique.

#### ▪ Les séries telliennes :

Ce sont des séries épaisses à dominante marneuse, issues probablement du sillon tellien.

Elles ont été subdivisées à leur tour en trois grandes séries :

- séries ultra-telliennes (épi telliennes) ;
- séries telliennes sensu-stricto (méso telliennes) ;
- séries péni telliennes (cata telliennes).

#### ▪ Les séries de L'Avant pays allochtone :

Selon [14], ces séries ont été regroupées en trois grandes familles :

- l'organisation sétifienne qui présente uniformément un caractère de plateforme subsidente ;
- l'organisation constantinoise : elle englobe les séries constantinoises au Nord et les séries

Des Sellaoua au Sud ;

- l'organisation Algéro-tunisienne : elle est propre aux confins algéro-tunisiens et à la Tunisie septentrionale.

#### ▪ Les séries de l'Avant pays atlasique :

Ce sont des séries secondaires très épaisses, leur sédimentation est très homogène. Elles se caractérisent par des faciès de plateforme subsidente envahie par une sédimentation gréseuse qui débute au Barrémien et se continue jusqu'à l'Albien.

## II .2.2. Géologie locale :

Une connaissance plus ou moins complète de la géologie locale consiste en une analyse litho-stratigraphique et structurale basée sur les renseignements géologiques qui ont été tirés des documents suivants :

- les cartes géologiques (Sétif-Constantine, 1/200.000) et leurs notices explicatives (figure. 16).
- La monographie de [15] : étude géologique de la région de Châteaudun du Rhumel.

La position des formations constitutives du bassin, objet de cette étude, est à cheval entre les séries péni telliennes et les formations néritiques.

Du point de vue stratigraphique, les terrains superficiels rencontrés sont d'origine continentale, en majeure partie lacustre formée dans des bassins bien limités, ainsi que des massifs rocheux carbonatés d'âge Crétacé à Eocène.

### II .2.2.1. Analyse litho-stratigraphique :

L'analyse litho-stratigraphique sera basée essentiellement sur les terrains affleurant et résumée dans une carte litho-stratigraphique (Synthétique) avec de bas en haut (figure. 17) :

#### ▪ Les formations Secondaires :

##### - Trias (t)

Affleurant au niveau de Dj Dess et Dj Toukouïa, le Trias est le terrain le plus ancien, essentiellement constitué d'argiles rouges à gypses avec quelques cristaux de quartz. Le Trias n'affleure jamais en situation normale, mais sous forme de pointements diapiriques nombreux jalonnant des accidents tectoniques, c'est le cas pour les deux affleurements au niveau du secteur d'étude.

##### - Jurassique (J)

Le Jurassique n'affleure nulle part dans la région d'étude, mais rien ne permet de supposer l'existence d'une lacune de sédimentation.

##### - Crétacé

#### • Barrémien (n4) :

Il affleure au Sud-ouest de la zone d'étude au niveau de Dj Tnoutit, alors qu'au niveau de Dj Grouz il n'affleure pas mais la coupe montre son existence. Il est constitué d'une série composée de calcaires, de dolomies et de grés avec de minces intercalations argileuses ou marneuses.

#### • Aptien (n5) :

Il n'affleure pas sur le terrain d'étude mais la coupe montre son existence (figure. 18) ; il est composé de calcaires avec intercalation marneuse en petits bancs.

• **Albien et Vraconien (an) :**

L'Albien et le Vraconien ne sont représentés qu'au niveau de Dj Grouz sous la barre carbonatée cénomaniennne, débutant par des marnes avec intercalation marno-calcaire, alors que le terme sommital est formé de dolomies macro-cristallines.

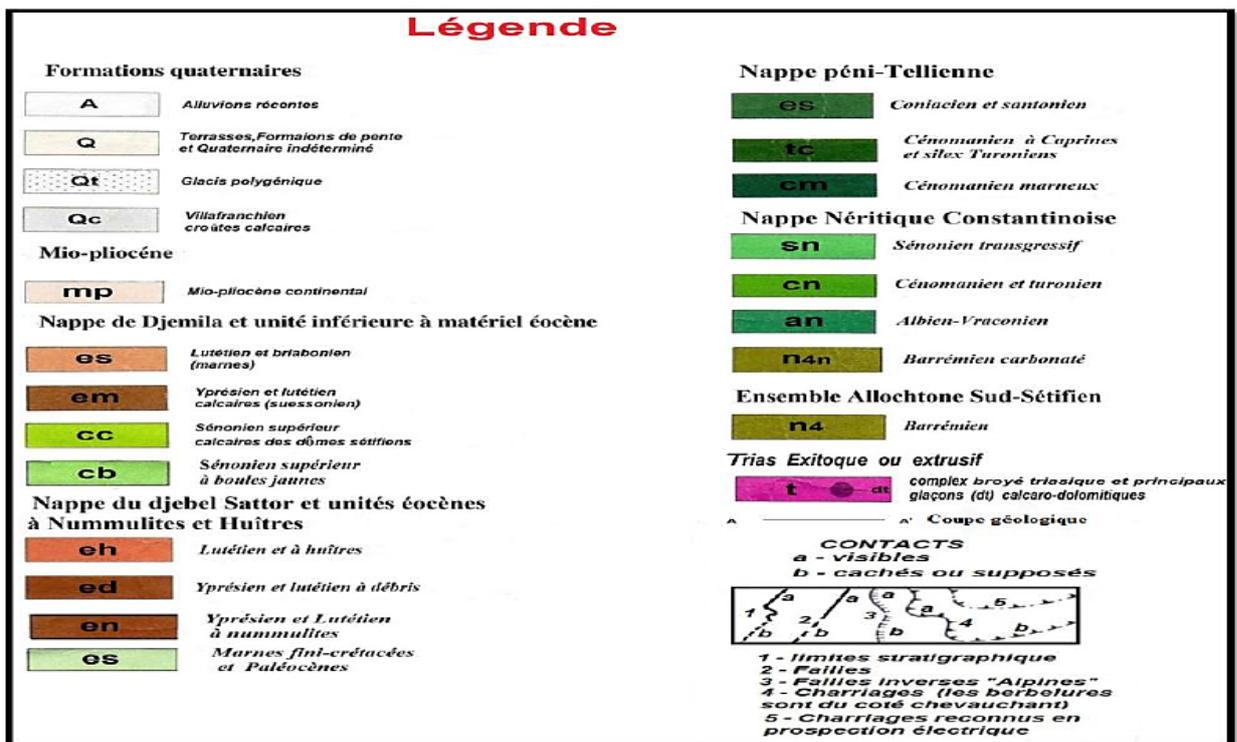
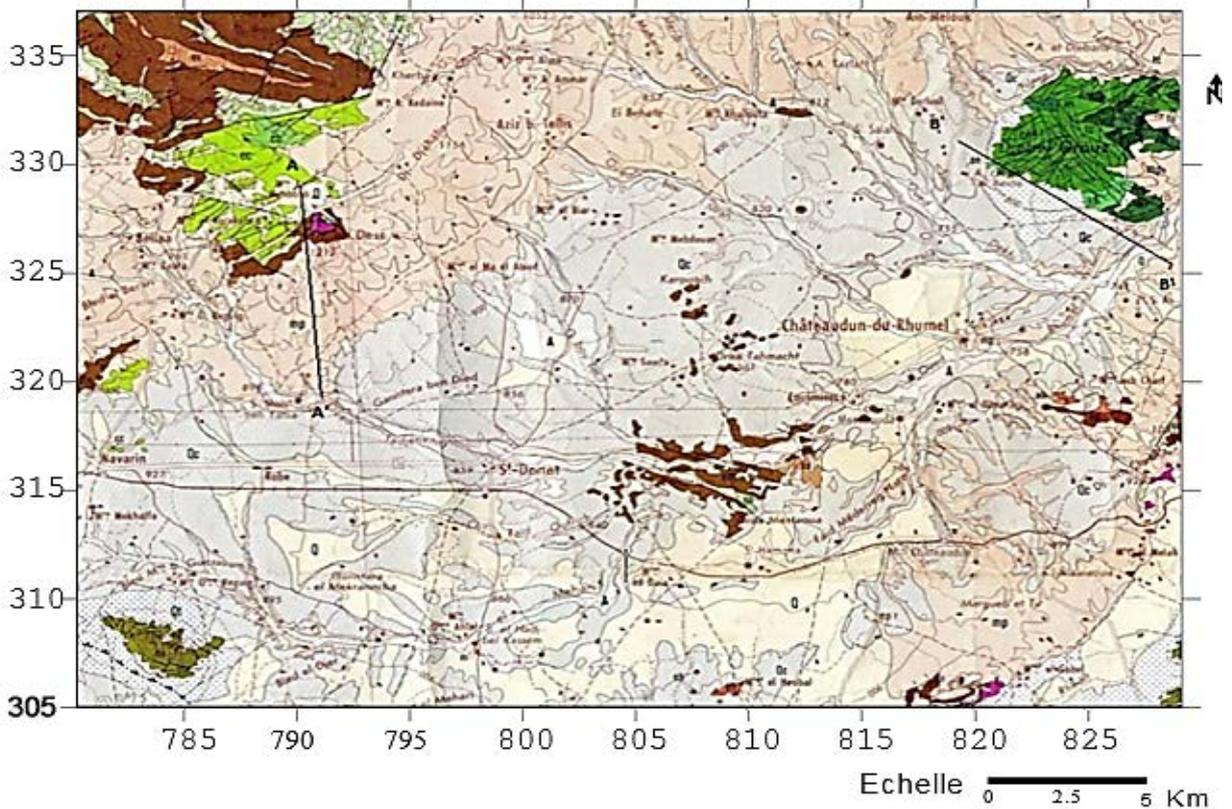


Figure 16 : Carte géologique du sous bassin versant Rhumel Amont Extraite des cartes géologiques au 1/200000 Sétif-Constantine [16].

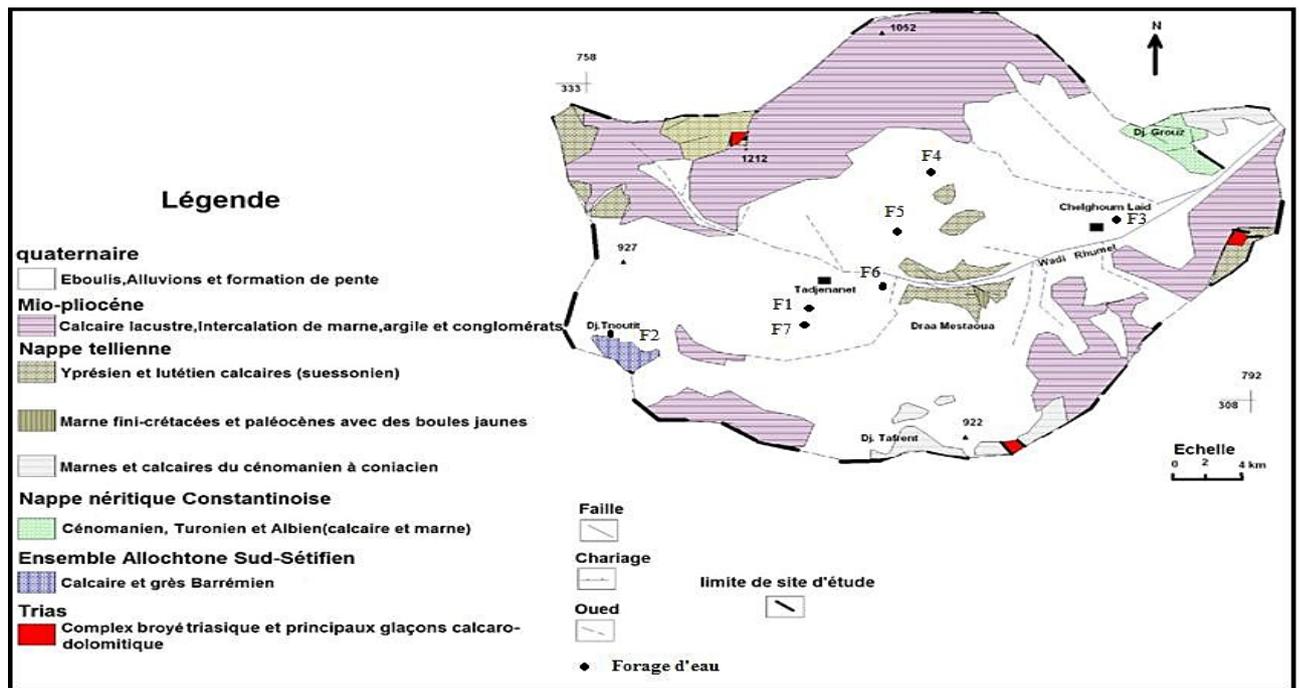


Figure 17 : Carte géologique du sous bassin de l'Oued Rhumel amont [14].

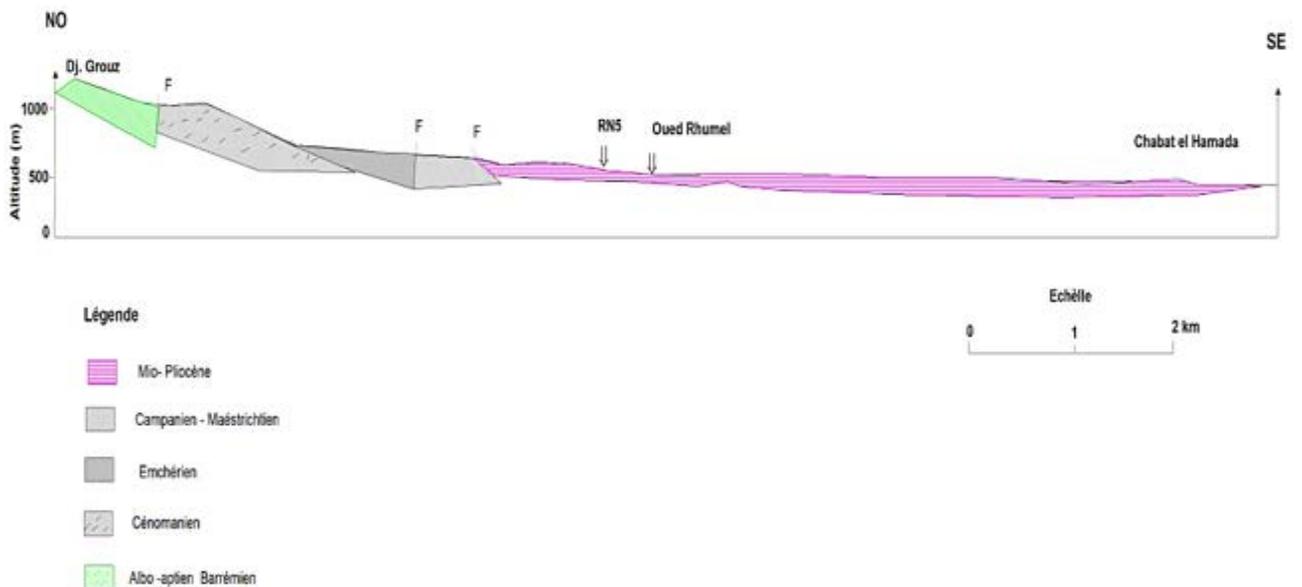


Figure 18 : Coupe géologique à travers le Djebel Grouz et la haute vallée du Rhumel [15].

### II .2.2.2. Analyse tectonique et structurale :

Dans l'ensemble considéré, la structure est commandée par la présence des massifs calcaires qui ont toujours joué lors des différentes phases de plissements le rôle de socle résistant.

Au niveau de la région d'étude, les plus importants sont :

**-Dj Grouz :**

Le Grouz est un massif très fracturé où le faciès calcaire est monotone avec une faune très peu abondante et une microfaune peu caractéristique.

Le dôme du Dj Grouz se trouve dans l'alignement de Dj Frikia – Chettaba (Nord-est du secteur), mais il n'en est pas le prolongement exact, se soulève à l'Ouest de la grande faille NW-SE, et le flanc Nord étend d'autre part effondré en compartiments successifs entre des failles Est-Ouest.

**- Dj Toukouia :**

L'anticlinal post-miocène du Dj Toukouia, masquant les structures antérieures à matériel crétacé supérieur-éocène. Il est jalonné de pointements de Trias diapir très important en liaison avec une zone de fracture profonde de même direction qui se prolonge au Nord-Est dans le synclinorium de Chettaba et se prolonge au-delà jusqu'à la région de Constantine.

**II .2.3. Les phases tectoniques :**

Deux phases principales peuvent être distinguées :

**a) Phase post-Numidienne et Post-Miocène inférieur**

C'est la plus violente de toutes celles ayant affecté au cours des temps géologiques les séries secondaires et tertiaires : les structures anciennes sont reprises et fortement accentuées. C'est comme une poussée s'exerçait en direction du Sud.

Dans la partie méridionale de la région, les compartiments surélevés sont fortement écaillés et ils chevauchent vers le Sud les compartiments abaissés ; les anticlinaux sont étirés en lame.

La zone de fracture SW-NE du Dj. Chebka, jalonnée de diapirs triasiques, est fortement marquée. Le soulèvement du dôme du Grouz s'accroît, entraînant l'effondrement, entre failles parallèle, des compartiments bordiers. Dans la partie septentrionale de la région (zone des plis de couverture) la série tertiaire est très intensément plissée et écaillée de son substratum secondaire. Malgré la désharmonie de structure très apparente entre les deux séries, des considérations de faciès empêchent de regarder l'une comme allochtone et ne permettent d'envisager que des chevauchements ou des déplacements peu importants.

Les plis de cette série tertiaire (Eocène inférieur) sont, de plus amenés jusqu'à une direction NW-SE sous l'influence de la poussée venue du nord.

Le chevauchement vers le sud de l'autochtone de la partie méridionale des chaînes telliennes, si marqué à l'Ouest de Sétif, se suit vers l'Est dans notre région où il est jalonné par la ligne de fracture bordant au Sud le massif d'Ouled Abd Ennour et le chevauchement de celui-ci vers le Sud.

La couverture ici beaucoup plus rigide, n'a pas permis un développement du chevauchement. La poussée générale s'exerçant en direction du Sud peut avoir comme origine la pression exercée par les nappes de charriage du Nord de Sétif se mettant en place sous l'effet de la gravité.

### b) Phase post-Pontienne et post-Pliocène

Elle affecte tous les terrains continentaux néogènes qui couvrent de vastes superficies dans notre région d'étude.

Une part prépondérante revient aux mouvements post-pliocènes mais il s'en est produit après le Pontien, et après le villafranchien (ces derniers peu sensibles et très localisés). Les plis sont en général à grand rayon de courbure et indépendants des structures anciennes. L'anticlinal essentiel est celui du Dj. Chebka qui se forme à la faveur de la zone de moindre résistance de la couverture, dirigée SW-NE et jalonnée par des pointements triasiques.

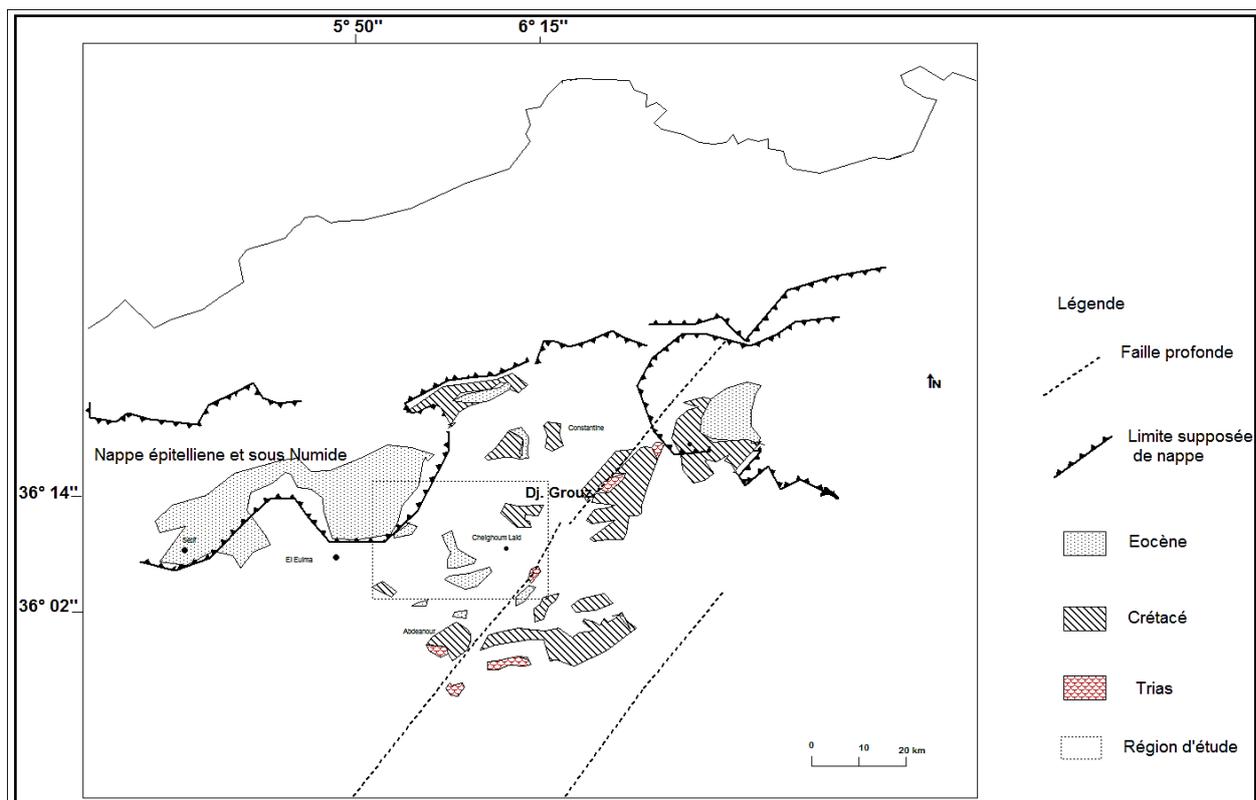


Figure 19 : Schéma tectonique du sous bassin Haut Rhumel [15].

### Conclusion

On a essayé à travers cette synthèse géologique de bien détailler la lithologie et la tectonique affectant le sous bassin du haut Rhumel afin de pouvoir mettre en évidence les différents niveaux qui peuvent présenter un intérêt hydrogéologique et de ce fait la colonne litho-stratigraphique et hydrogéologique montre les formations susceptibles d'être aquifères comme suit :

- **Les formations du Quaternaire** : sont des calcaires lacustres et des alluvions caillouteuses.
- **Les formations du Miocène supérieur et Pliocène** : sont des grès et des conglomérats.
- **Les formations de l'Eocène (Lutétien inférieur)** : qui sont des calcaires massifs et des calcaires marneux.

- **Les formations du Crétacé** : qui sont :

- Les calcaires et les dolomies du Barrémien ;
- Les calcaires de l'Aptien, l'Albien, le Cénomaniens et du Sénonien.

Aux formations perméables citées auparavant, s'ajoutent également les formations qui conditionnent l'existence d'aquifères et qui jouent le rôle d'une barrière étanche (substratum imperméable). Il s'agit des formations suivantes :

- Les argiles et les gypses à cristaux de quartz du Trias ;
- Les marnes et les marno-calcaires du Néocomien;
- Les marnes schisteuses du Sénonien;
- Les marnes du Dano-Montien;
- Les marno-calcaires du Thanétien et Yprésien ;
- Les marnes à calcaires gréseux du Lutétien supérieur ;
- Les marnes à intercalations calcareuses du Mio-Pliocène.

## **II .3. Morphologie du bassin versant de l'Oued Rhumel à Oued Athménia**

### **II .3.1. Introduction :**

Le bassin versant fonctionne comme un collecteur de précipitations qui vont se transformer en plusieurs types d'écoulements tout dépend des conditions climatiques, des caractéristiques morpho métriques (forme, relief, altitude, pente, réseau de drainage...etc.) et la nature du sol ainsi que le couvert végétal. Les caractéristiques qui interviennent de façon combinée pour expliquer les modalités de l'écoulement, s'approprient à une analyse quantitative.

### **II .3.2. Caractéristiques physiques du bassin :**

Le bassin versant est un objet complexe dont l'ensemble des caractéristiques (géométriques, géologiques, physiographiques, humaines, etc.) joueront un rôle non seulement dans la réponse hydrologique du bassin (régime des écoulements) mais aussi, en amont et pour certains d'entre elles (altitude), directement dans le processus de formation de la pluie. Il faut noter l'existence, à la surface du bassin versant, d'un système longitudinal, le réseau de drainage ou hydrographique, défini comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement.

Ce réseau est plus ou moins développé selon différents facteurs (géologie, climat, pente du terrain, etc.) il ne manque pas dans la littérature scientifique de paramètres quantifiés destinés à mesurer telle ou telle caractéristique des bassins versants. Ces facteurs d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment à aisément à partir de carte topographique ou en recourant à un modèle numérique de terrain.

### II .3.3. Caractéristiques morphométriques du bassin :

Pour mieux comprendre le comportement hydrologique du bassin versant de l'Oued Rhumel amont, il est impératif de connaître ces caractéristiques morphométriques (forme, relief, altitude, pente, densité de drainage) qui expliquent le cycle de transformation des pluies en écoulements et s'appêtent à une analyse quantifié.

➤ **La surface du bassin versant :**

La surface du bassin égale à 1120 km<sup>2</sup> environ.

➤ **Le périmètre du bassin versant :**

Le périmètre du bassin versant estimé à 140 km.

**Tableau 2 :** surface et périmètre du bassin versant de l'Oued Rhumel amont.

Superficie (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)
1120	140

#### II .3. 3.1. Indice de compacité :

La forme du bassin versant qui influe sur l'écoulement globale et l'allure de l'hydrogramme des pluies est exprimée par l'indice ou le coefficient de compacité.

De Gravellus donné par la formule suivante :

$$C = 0.28 P / \sqrt{S}$$

Avec :

C : Indice de compacité ;

P : Périmètre du bassin versant en km ;

S : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.

Ce coefficient est égal 1 lorsque le bassin versant est parfaitement circulaire. Il est égal à 1.12 dans le cas d'un bassin versant carré, et il peut atteindre la valeur 3 pour des bassins versants allongés.

Dans notre cas C=1.17 donc le bassin versant de l'Oued Rhumel amont caractérise par la forme allongée. Cette valeur favorise de temps de concentration d'eau de ruissellement.

### II .3.3.2. Le rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est défini comme étant le rectangle de longueur (L) et de largeur (l) qui a la même surface (S) même périmètre (P), même indice de compacité (C) et même hypsométrie que le bassin versant étudié.

Ce paramètre facilite la comparaison entre les bassins versants du point de vue de leur influence sur l'écoulement.

$$L = \frac{C \cdot \sqrt{S}}{1.128} \cdot \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{C} \right)^2} \right]$$

Avec :

C : indice de compacité ;

S : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup> ;

L : longueur du rectangle équivalent en km.

On obtient :

$$L = 43.87 \text{ km}$$

La largeur du rectangle "l" est déterminée en fonction de la surface du bassin versant "S" et la longueur du rectangle "L" :

$$l = \frac{C \cdot \sqrt{S}}{1.128} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{C} \right)^2} \right]$$

On obtient :

$$l = 25.54 \text{ Km.}$$

### II .3.3.3. Relief et courbe hypsométrique du bassin versant :

L'influence du relief sur l'écoulement de surface est chose évident il est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique du bassin.

Les courbes hypsométrique est une caractéristique topographique du bassin versant. Elle exprime la répartition de la surface totale en fonction des altitudes.

Les courbes hypsométrique est considère comme une sorte de profil du bassin et sa pente moyenne en m/km<sup>2</sup>.

Tableau 3 : Répartition altimétrique du bassin versant l'Oued Rhumel amont [12].

Classe d'altitude(m)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie (%)	Superficie cumulée (km <sup>2</sup> )	Superficie cumulée (%)
1200>	3.1815	0.284	3.1815	0.284
1200-1100	38.7147	3.45	41.9163	3.74
1100-1000	116.7052	10.42	158.622	14.16
1000-900	301.2668	26.89	459.8888	41.04
900-800	540.3624	48.23	1000.2512	89.27
800-700	120.2188	10.73	1120.4494	99.9
700-600	0.0206	0.013	1120.47	100

L'étude des classes d'altitude par tranches de 100 m (Tableau. 2) a permis de définir une superficie totale du bassin versant de l'Oued Rhumel amont d'ordre 1120 km<sup>2</sup>, dont le périmètre est d'ordre de 140 km.

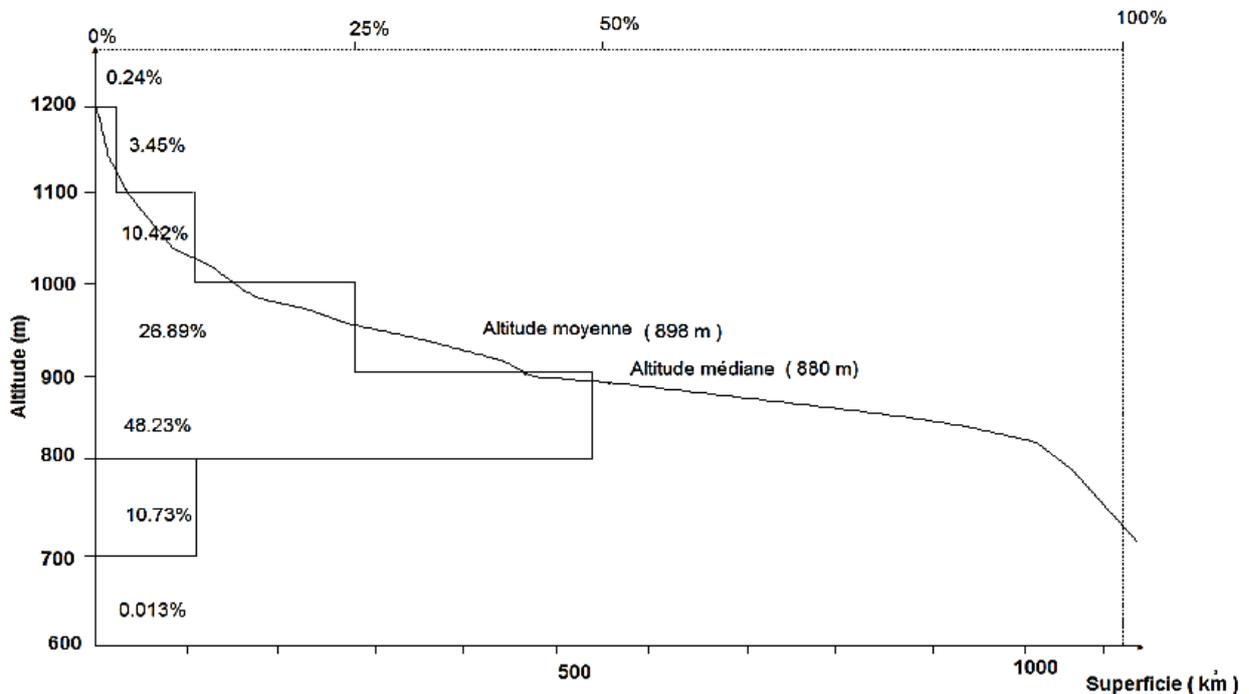


Figure 20 : Courbe hypsométrique du sous bassin de l'Oued Rhumel amont [12].

**Tableau 4 :** Caractéristiques morphométriques de bassin versant de l'Oued Rhumel amont [17].

Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Surface	S	1120	Km <sup>2</sup>
Périmètre	P	140	Km
Altitude minimale	H <sub>min</sub>	690	M
Altitude maximale	H <sub>max</sub>	1276	M
Altitude moyenne	H <sub>moy</sub>	898.54	M
Dénivelée simple	H <sub>5%</sub> - H <sub>95%</sub>	313	M
Densité de drainage	Dd	2.2	Km/km <sup>2</sup>

### II .3.3.4. Indice de pentes :

La détermination de la pente topographique permet la comparaison et la classification d'un bassin versant. Ces indices de la pente sont calculés à partir de la connaissance et de la répartition hypsométrique.

- **Indice de pente globale :**

Il est défini comme étant le rapport de la dénivelé simple et de la longueur du rectangle équivalent.

$$I_g = D/L$$

I<sub>g</sub> : Indice de pente globale en m/km ;

D : dénivelé simple séparant les altitudes ayant 5% et 95% de la surface du bassin ;

L : longueur du rectangle équivalent en km.

Ce qui donne :

$$I_g = 7.04 \text{ m/km.}$$

- **Indice de pente moyenne :**

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Elle ne tient compte pas de la forme de la courbe hypsométrique :

H<sub>max</sub> : altitude maximale du bassin (m) ;

H<sub>min</sub> : altitude minimale du bassin (m) ;

L : longueur du rectangle équivalent en (m).

Ce qui donne :

$$I_{moy} = 12.54 \text{ m.}$$

- **La dénivelé spécifique :**

La dénivelé spécifique ne dépend que de l'hypsométrie et de la forme du bassin versant.

Elle est estimée à partir de la formule suivante :

$$Ds = Ig\sqrt{S}$$

Ds : dénivelé spécifique en m ;

Ig : Indice de pente globale en m/km ;

Ds = 235.60.

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre Mer), la dénivelé spécifique du bassin de Oued Rhumel amont se trouve dans la classe R5, donc on a un relief assez fort.

**Tableau 5** : Classification de l'ORSTOM pour différents reliefs.

Classe	Type de relief	Intervalle de DS
R1	Relief très faible	Ds < 10 m
R2	Relief faible	10 m < Ds < 25 m
R3	Relief assez faible	25 m < Ds < 50 m
R4	Relief modéré	50 m < Ds < 100 m
R5	Relief assez fort	100 m < Ds < 250 m
R6	Relief fort	250 m < Ds < 500 m
R7	Relief très fort	Ds > 500 m

- **Temps de concentration :**

Le temps nécessaire à l'eau pour s'écouler depuis l'élément hydrologiquement le plus éloigné (en amont) du bassin versant jusqu'à l'exutoire est appelé temps de concentration du bassin. Pour sa détermination on utilise souvent la formule de GIANDOTTI car elle tient compte des paramètres morphologiques utilisés :

$$Tc = \frac{1.5L + 4\sqrt{S}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Tc : temps de concentration (heure) ;

L : Longueur du cours principal du thalweg (L=59km) ;

S : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;

H moy : altitude moyenne (m) ;

H min : altitude minimale (m).

Donc : Tc = 20h 44min.

- **Vitesse de ruissellement :**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$Vr = \frac{Lp}{Tc}$$

Lp : longueur de talweg principale en Km ;

Tc : temps de concentration en h.

D'où :  $V_r = 2,84$  Km/h.

Les caractéristiques du bassin versant de l'Oued Rhumel amont sont récapitulées dans le tableau suivant :

**Tableau 6 :** récapitulation des caractéristiques morphologiques de bassin versant de l'Oued Rhumel amont.

Paramètre	Valeur
Superficie (S) en km <sup>2</sup>	1120
Périmètre (P) en km	140
Indice de pente globale (Ig) m/km	7.04
Indice de pente moyenne (Imoy) m	12.54
Dénivelé spécifique (Ds) en m/km	235.60
Temps de concentration(Tc) Heure	20h 74
Vitesse de ruissellement (Vr)	2.84

## II.4 Régime pluviométrique du bassin versant

### II.4.1 critique des données hydro - pluviométrique :

Les données pluviométriques de la station de Tadjenanet été fournies par l'ANRH pour Une période allant de 1981-2012.

Les relevés pluviométriques journaliers font défaut, mais nous disposons des relevés mensuels ainsi qu'annuels.

La continuité et la durée de ces relevés variant selon la station de Tadjenanet, Certaines séries montrent des continuités importantes.

Les données des précipitations mensuelles en (mm) qui couvrent la période de septembre 1981 jusqu'au janvier 2012.

## II 4.2. Traitements statistiques des données hydro \_ pluviométrique :

Pour le traitement de ces données hydro pluviométriques, nous avons choisi de travailler à différents pas de temps pour aboutir à une comparaison aux échelles mensuels, saisonnière et annuels.

### II.4.2.1 Station de bassin de l'Oued Rhumel-amont :

Le bassin de l'Oued Rhumel-amont est pourvu de la station hydraulique dont les coordonnées sont les suivantes :

**Tableau 7 :** Les coordonnées Lambert de la station de Tadjenet.

Nom de la station	X (km)	Y (km)	Z (km)
TADJENANET	796.15	318	845

### Paramètre de la série pluviométrique :

- La moyenne annuelle :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

- L'écart type :

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

$X_i$  = précipitation annuelle en (mm) ;

$N$  = nombre d'année d'observation.

- La variance : c'est la puissance carrée de l'écart type.

$$V = \delta^2$$

- Le coefficient de variation :

$$CV = \frac{\delta}{\bar{X}}$$

### II 4.2.2 Précipitations moyennes annuelles :

La quantité d'eau reçue par le bassin versant est un élément de base importante pour caractériser son climat.

Les précipitations moyennes annuelles peuvent être déterminées par trois méthodes principales :

- La méthode de la moyenne arithmétique ;
- La méthode des polygones de THIESSEN ;
- La méthode d'isohyètes.

Pour notre cas nous avons utilisé la méthode arithmétique.

Cette méthode consiste à calculer la moyenne des arithmétiques des valeurs obtenues au niveau de la station étudiée.

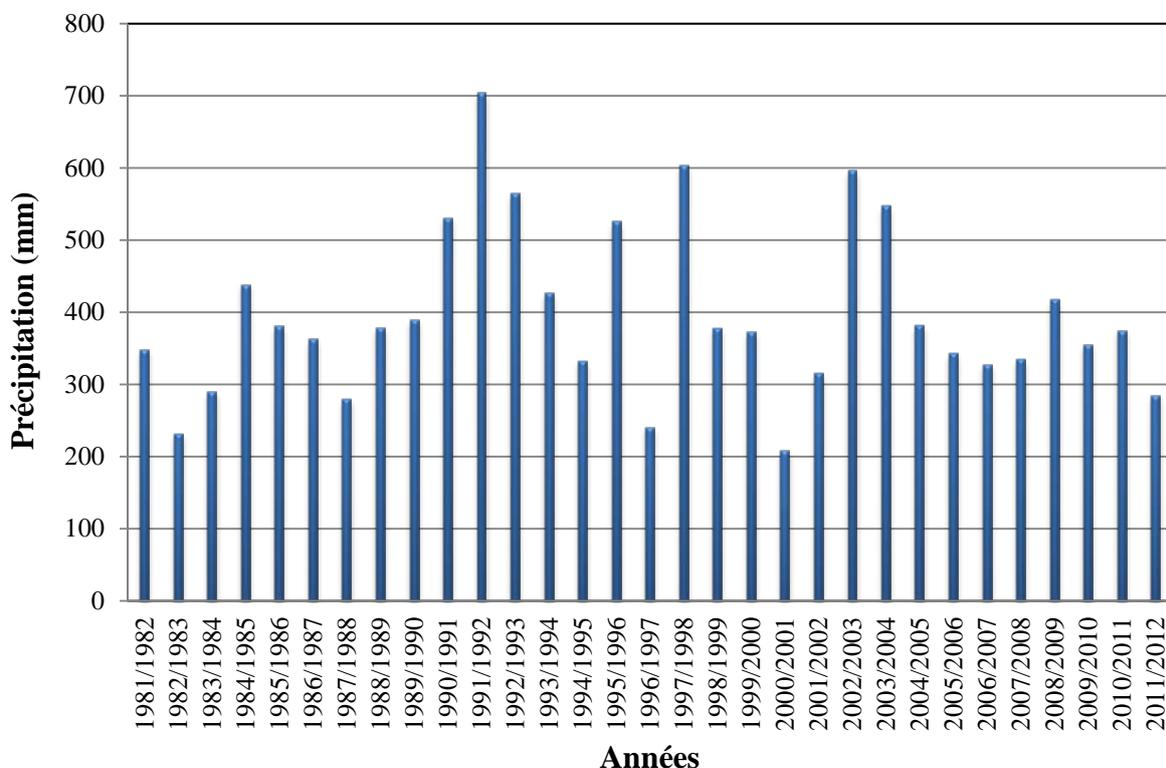
• **Méthode arithmétique :**

La méthode la plus simple consiste à calculer la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations, enregistrées sur la station de Tadjanet, son efficacité est meilleur pour petits bassins ou l'influence de l'altitude, de l'exposition de l'attitude sur les précipitations est Partout identique.

Les résultats de calcul des précipitations moyennes annuelles sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 8 :** Répartitions des précipitations moyennes annuelles de la station Tadjanet.

Station	Période d'observation	Précipitation moyenne annuelle
Tadjanet	1981/2012	396.08



**Figure 21 :** Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Tadjanet (1981-2012).

L'interprétation de l'histogramme fait sortir, que d'une manière générale la précipitation se caractérise par leur irrégularité interannuelle.

La figure 21 montre que les précipitations varient d'une année à l'autre pour la période (1981-2012) d'une moyenne interannuelle de 396.08 mm.

On observe des années pluvieuses dont la hauteur dépasse largement la moyenne à savoir Les années : 1984-1985, 1990-1991, 1991-1992, 1992-1993, 1993-1994, 1995-1996 ,1997-1998, 2002-2003, 2003-2004, 2008-2009.

Et d'autre de pluviosité très faible, telles : 1981-1982, 1982-1983, 1983-1984, 1985-1986, 1986-1987, 1987-1988, 1988-1989, 1989-1990, 1994-1995, 1996-1997, 1998-1999, 1999-2000, 2000-2001, 2001-2002, 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008, 2009-2010, 2010-2011, 2011-2012.

Les précipitations montrent donc une irrégularité interannuelle frappante.

Le maximum de pluviométrie a été observé en 1991-1992 avec une valeur de 705.20 mm, et alors que le minimum a été enregistré en 2001-2002 avec une valeur 208.80 mm.

#### II .4.2.3 Coefficient pluviométrique :

Le coefficient pluviométrique (CP) correspond à l'évolution interannuelle des précipitations et permet de différencier les années excédentaires ( $CP > 1$ ) des années déficitaires ( $CP < 1$ ). Le coefficient pluviométrique est donné par la formule suivante :

$$CP = \frac{P}{\bar{P}}$$

Avec :

P : Pluviométrie de l'année considérée.

$\bar{P}$  : Pluviométrie moyenne pour la période d'étude, qui est donnée par l'équation suivante :

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum P_i$$

$\bar{P} = 396.08$  mm.

Où :  $i = 1 \div 31$  et  $N = 31$ .

Tableau 9 : Evolution du coefficient pluviométrique (1981-2012).

Année	P (mm)	CP	Type de l'année	Année	P (mm)	CP	Type de l'année
1981-1982	349,40	0,88	D	1996-1997	241,00	0,61	D
1982-1983	231,40	0,58	D	1997-1998	603,60	1,52	E
1983-1984	290,40	0,73	D	1998-1999	378,20	0,95	D
1984-1985	439,00	1,11	E	1999-2000	373,80	0,94	D
1985-1986	381,20	0,96	D	2000-2001	208,80	0,53	D
1986-1987	363,50	0,92	D	2001-2002	316,10	0,80	D
1987-1988	279,20	0,70	D	2002-2003	597,00	1,51	E
1988-1989	379,10	0,96	D	2003-2004	547,90	1,38	E
1989-1990	389,60	0,98	D	2004-2005	381,80	0,96	D
1990-1991	531,60	1,34	E	2005-2006	342,80	0,87	D
1991-1992	705,20	1,78	E	2006-2007	328,10	0,83	D
1992-1993	565,00	1,43	E	2007-2008	334,30	0,84	D
1993-1994	427,30	1,08	E	2008-2009	417,60	1,05	E
1994-1995	332,40	0,34	D	2009-2010	355,70	0,90	D
1995-1996	526,40	1,33	E	2010-2011	375,30	0,95	D
/	/	/	/	2011-2012	285,70	0,72	D

E : excédentaire, D : déficitaire.

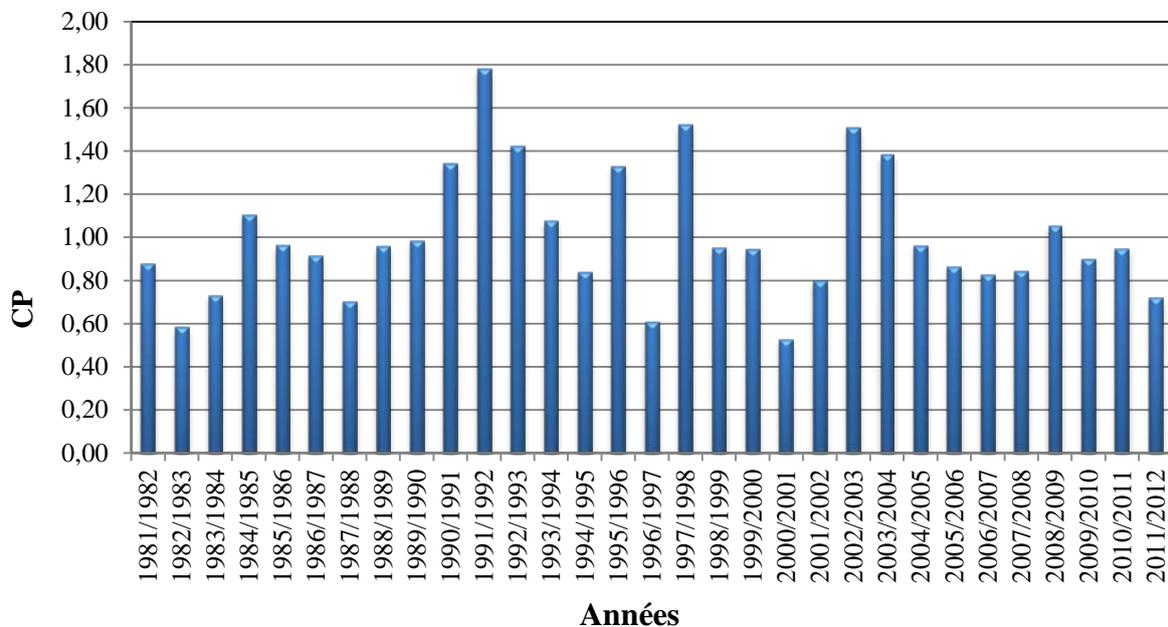


Figure 22 : Les variations des coefficients pluviométriques à la station de Tadjanet (1981-2012).

D'après ce diagramme, on remarque que les années déficitaires de la station de Tadjnanet sont légèrement supérieures que les années excédentaires (Figure 22).

II .4.2.4 Précipitations moyennes saisonnières :

Tableau 10 : Précipitations saisonnières (1981-2012).

Saison	Automne			Hiver		
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév
P.moy mensuelle	36.34	33.73	33.35	50.90	40.55	32.45
P.moy saisonnière	103.42			123.89		
Saison	Printemps			Eté		
Mois	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P.moy mensuelle	39.00	43.74	40.35	19.71	8.07	17.90
P.moy saisonnière	123.09			45.67		

Les précipitations saisonnières pour la période étudié, se caractérisent par toute les saisons de l'année participent aux précipitations annuelles, avec taux variable.

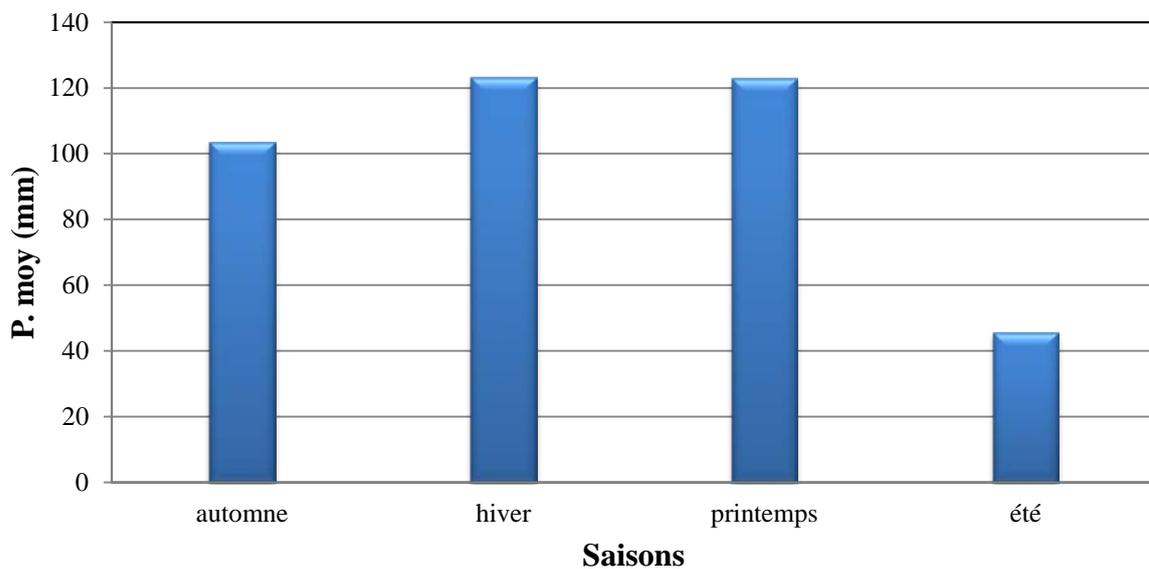
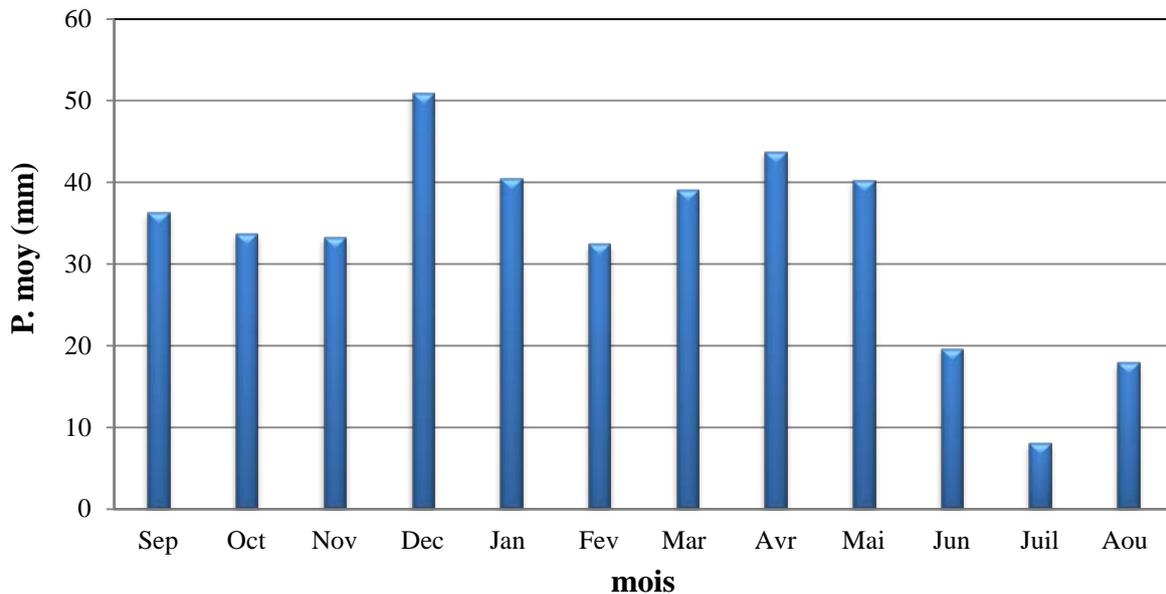


Figure 23 : Histogramme des précipitations moyennes saisonnières interannuelles de la station de Tadjnanet (1981-2012).

On observe que le l'hiver est la saison la plus pluvieuse avec précipitation maximale 123.09 mm est après le printemps, et l'automne. On remarque aussi que l'Eté qui consiste la saison sèche avec précipitation minimale de 45.67 mm (Figure 23).

## II .4.2.5 Précipitations moyennes mensuelles :



**Figure 24:** Histogramme des précipitations moyennes mensuelles interannuelles de la station de Tadjnanet (1981-2012).

D'après la figure 24, on remarque que les mois de Septembre, Octobre, Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, Avril, Mai dépassent la moyenne, par contre le mois de Juin, Juillet, Août qui correspondent l'inférieur à la moyenne mensuelle.

L'analyse de la figure relative à la variation des précipitations mensuelles montre que le début des précipitations est enregistré avec une précipitation maximale de mois de Décembre (50.90mm), alors que le minimum enregistré au mois de Juillet (8.07mm).

La précipitation moyenne mensuelle est obtenue de la manière suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i}{N}$$

Avec :

$P_i$  = la hauteur de la pluie mensuelle exprimée en mm ;

$N$  = nombre de mois au cours de l'année.

•**Ecart type :**

Il s'obtient de la manière suivante, et il exprime la variabilité du paramètre en question autour la moyenne.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (P - \bar{P})^2}{n}}$$

Avec :

$\delta$  : Ecart-type ;

P : Précipitation mensuelle ;

$\bar{P}$  : Précipitation moyenne mensuelle.

- **Coefficient de variation :**

Ce paramètre traduit l'ampleur de variation du paramètre entre le minimum et maximum, il est défini à l'aide de la formule suivante :

$$CV = \frac{\delta}{\bar{P}}$$

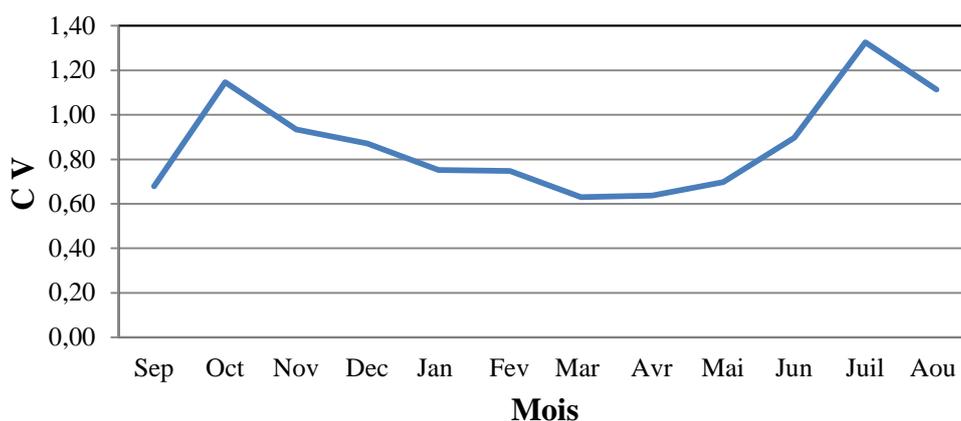
Avec :

$\delta$  : Ecart-type ;

$\bar{P}$  : Précipitation moyenne mensuelle.

**Tableau 11 :** L'écart type et le coefficient de variation des pluies mensuelles.

MOIS	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév
<b>ECART TYPE</b>	24,69	38,68	31,17	44,34	30,47	24,28
<b>CV</b>	0,68	1,15	0,93	0,87	0,75	0,75
MOIS	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
<b>ECART TYPE</b>	24,57	27,86	28,14	17,67	10,70	19,94
<b>CV</b>	0,63	0,64	0,70	1,90	1,33	1,11



**Figure 25 :** Coefficient de variation des pluies mensuelles.

Les coefficients de variations (Tableau 11) et (figure 25), varient entre 0.63 et 1.90 montre que les mois les plus secs enregistrent des coefficients supérieurs (Octobre et Juillet) en revanche les mois humide démontrent des coefficients de variations inférieurs.

## Conclusion

Les précipitations dans le bassin versant de Tadjnanet varient entre (200-700mm).

La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 396.08mm.

D'après les calculs des précipitations moyennes saisonnières on trouve que la saison la plus pluvieuse est l'hiver avec une précipitation maximale (50.90 mm) dans le mois de Décembre par contre l'Eté est la saison sèche avec une précipitation minimale (8.07mm) dans le mois de juillet.

## II .5. Hydro-climatologie

Toute étude hydrologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydro-climatique permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et circulation des eaux de surfaces et souterraines.

Ayant déterminé les caractéristiques du complexe physique du bassin versant De l'Oued Rhumel-amont, nous essayons d'étudier les facteurs climatiques de cette région.

De ce fait, l'analyse des facteurs climatiques s'impose. Elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat et enfin d'établir le bilan hydrique.

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, implique la connaissance des paramètres suivants : Les précipitations, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionnent ce bilan.

Cette étude climatique débouchera sur un calcul de bilan en exploitant les données météorologique disponible et utilisant la méthode adaptée à la région.

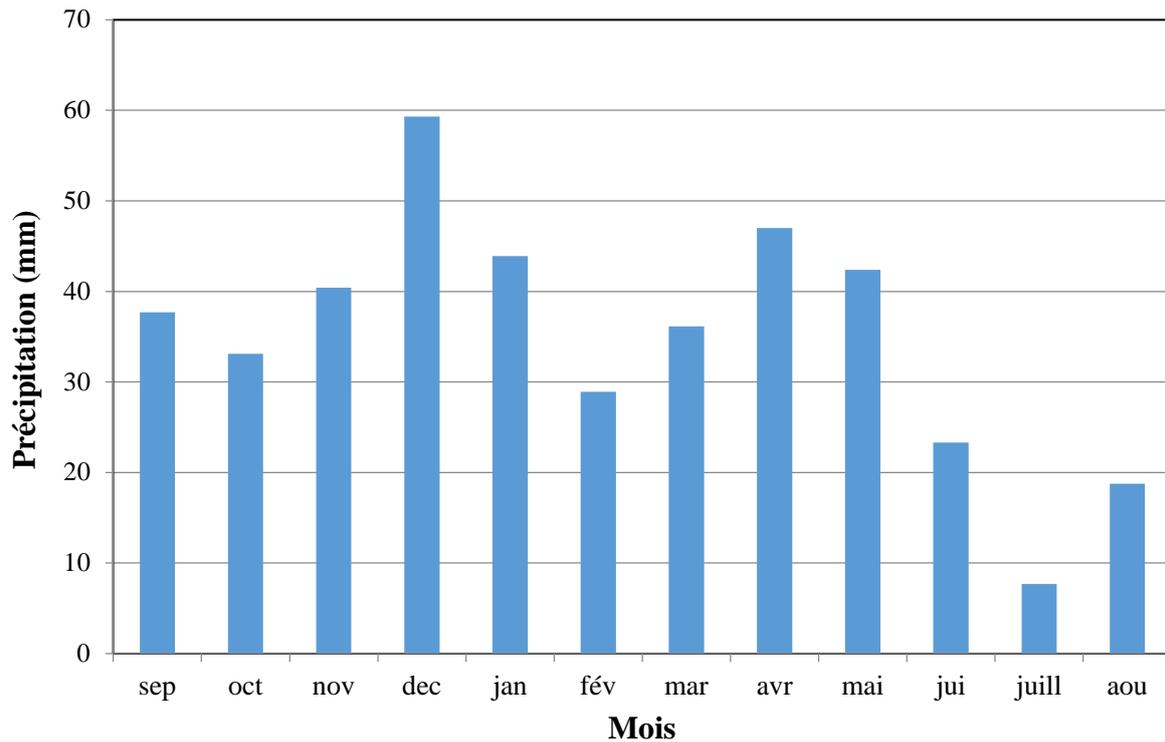
### II .5.1 Caractéristiques hydrologiques

#### II .5.1.1 Précipitation :

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle de l'eau. Elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et elles conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux.

**Tableau 12** : Précipitation moyennes mensuelles à la station de Tadjnanet (1987-2008).

MOIS	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév
<b>P(mm)</b>	37.70	33.09	40.42	59.29	43.90	28.92
MOIS	Mars	Avril	Mai	Jun	Juil	Août
<b>P (mm)</b>	36.13	46.99	42.38	23.30	7.67	18.77



**Figure 26 :** Variations des précipitations moyennes mensuelles pour la station de Tadjanet (1987-2008).

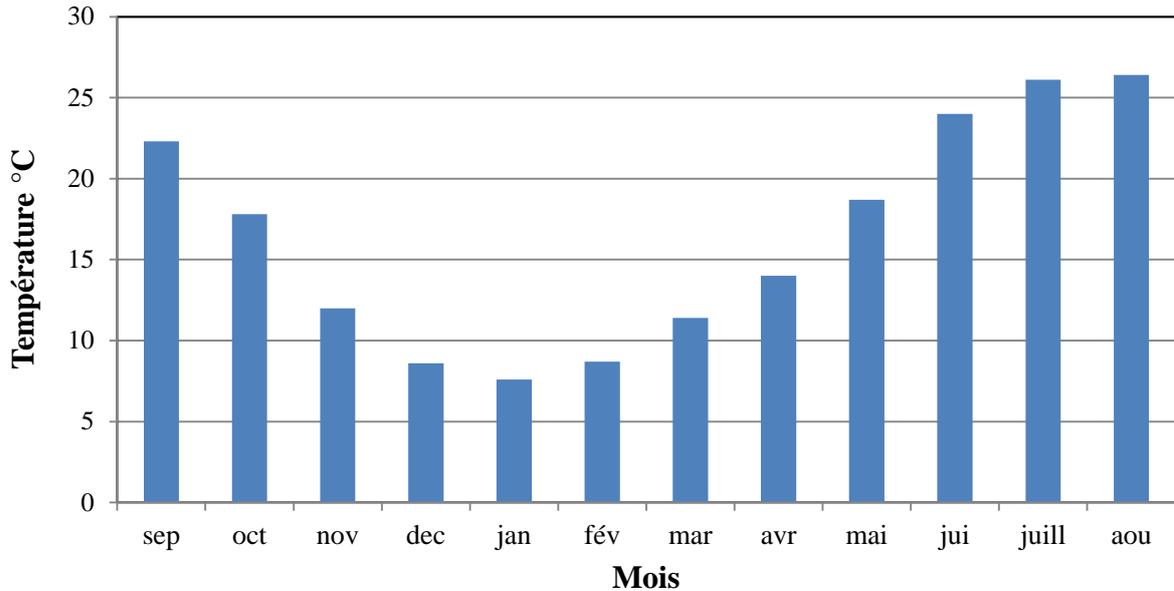
**II .5.1.2 Température :**

Les températures ont une grande influence sur l'écoulement ainsi que les données relatives à l'évaporation favorisant le déficit d'écoulement. Nous avons eu recours aux données à la station Tadjanet.

**Tableau 13 :** Températures moyennes mensuelles de la station de Tadjanet (1987-2008).

MOIS	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév
T (°c)	22.3	17.80	12	8.6	7.6	8.7
MOIS	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
T (°c)	11.4	14	18.7	24	26.1	26.4

Selon le tableau 13, on remarque le mois le plus froid est celui de janvier avec une température moyenne de l'ordre de 7.6 °C, et le mois le plus chaud est celui d'Aout avec une température moyenne de 26.4 °C.



**Figure 27 :** Variations des températures moyennes mensuelles pour la station de Tadjanet (1987-2008).

### II.5.1.3 Climat :

Joue un rôle capital dans le fonctionnement hydrologique du bassin versant. En plus des paramètres morphogénique de la connaissance des facteurs hydro climatologiques s'avère indispensable pour mieux comprendre les phénomènes d'écoulement superficiel et par là, le rôle régulateur du bassin versant des divers éléments du bilan hydrologique.

- **L'indice d'aridité annuelle :**

Pour déterminer le type du climat utilisant l'indice d'aridité " I " de Demartone qui donne les caractéristiques du climat régional.

Où :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

T : Température moyenne annuelle (C°) ;

I : Indice d'aridité annuelle.

Selon Demartonne :

$I < 5$  : le climat est hyper-aride ;

$5 < I < 7.5$  : le climat est désertique ;

$7.5 < I < 10$  : le climat est steppique ;

$10 < I < 20$  : le climat est semi-aride ;

$20 < I < 30$  : le climat est tempéré ;

$I > 30$  : le climat est humide.

La valeur obtenue pour le paramètre I est de 20.01, ce qui implique que le climat de la région est tempéré pour une température moyenne de 15.43°C et une précipitation de 418.53 mm.

• **L'indice d'aridité mensuel :**

L'indice mensuel (i), donné par la formule :

$$i = \frac{12P}{T + 10}$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

T : Température moyenne annuelle (C°) ;

i : Indice d'aridité mensuel.

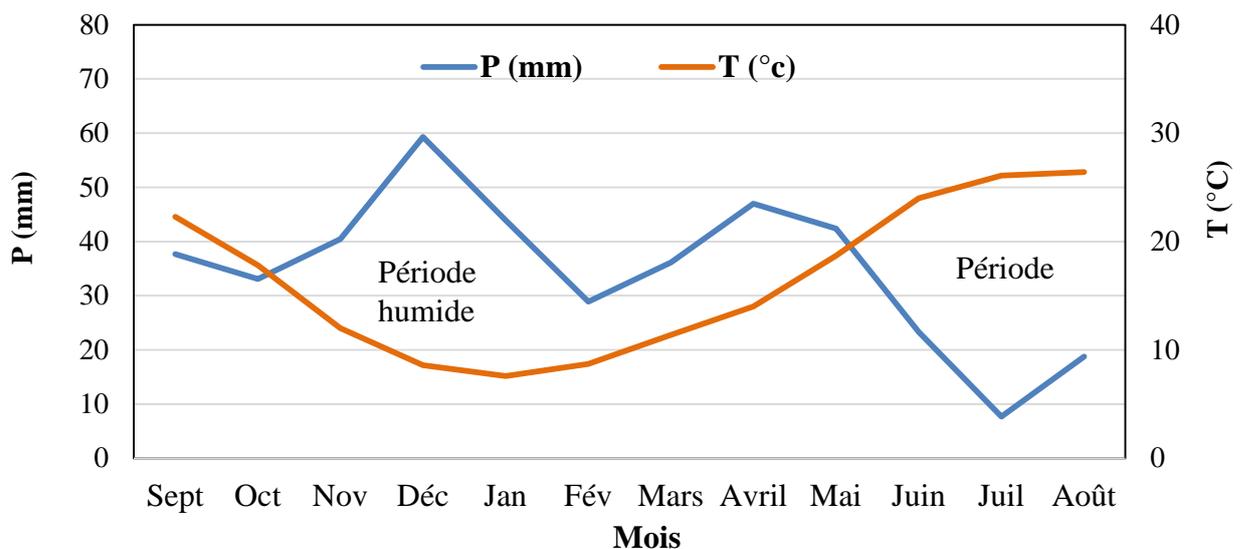
**Tableau 14 : Indice mensuel d'aridité.**

<b>MOIS</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Déc</b>	<b>Jan</b>	<b>Fév</b>
<b>T (°c)</b>	22.3	17.8	12	8.6	7.6	8.7
<b>P (mm)</b>	37.70	33.09	40.42	59.29	43.90	28.92
<b>i</b>	14.01	14.28	22.05	38.25	29.93	18.56
<b>MOIS</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>	<b>Juil</b>	<b>Août</b>
<b>T(°c)</b>	11.4	14	18.7	24	26.1	26.4
<b>P (mm)</b>	36.13	46.99	42.38	23.30	7.67	18.77
<b>i</b>	20.26	23.50	17.72	8.22	2.55	6.19

Le tableau montre une répartition mensuelle du climat. Le mois de Juillet présente un climat hyper-aride. Le mois d'Août présente un climat désertique. Le mois de Juin présente un climat steppique. Les mois de Septembre, octobre, février et mai jouissent d'un climat semi-aride. Les mois de Novembre, Janvier, Mars et Avril présentent un climat tempéré alors que le climat humide marque le reste des mois de l'année.

**II.5.1.4 Diagramme Ombrothermique :**

Le Diagramme Ombrothermique est la combinaison des températures et des précipitations mensuelles moyennes.



**Figure 28 :** Diagramme Ombrothermique (1987-2008).

Le Diagramme Ombrothermique illustré dans la figure 10 fait ressortir deux périodes :

- Une période sèche qui s'étend entre le mois de Juin jusqu'au mois de Septembre ;
- Une période humide qui dure huit mois donc du mois de Octobre jusqu'au mois de Mai.

## II.5.2 Bilan Hydrique :

Les rapports est perte ainsi que la connaissance des variations des réserves en eau dans la méthode du bilan hydrique s'applique principalement pour établir la relation entre partie, le bilan d'eau est calculé par l'évaluation de l'évapotranspiration. Disposant des C.W THORNTHWAITE basée sur notion de RFU (réserve facilement utilisable).

### II.5.2.1 Evapotranspiration:

Dans les études hydrogéologiques, les deux éléments principaux du bilan, évaporation et transpiration sont réunis en un seul :

L'évapotranspiration ou l'évaporation totale (ET) est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (phénomène physique) et de transpiration (phénomène biologique).

On distingue :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) concerne le milieu saturé ;
- L'évapotranspiration réelle (ETR) concerne le milieu non saturé.

#### ❖ Evapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évapotranspiration potentielle correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons utilisé la formule de THORNTHWAITE qui a établi une correction entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration mensuelle.

#### • Méthode de THORNTHWAITE :

$$ETP_C = 16 \left( 10 \times \frac{T}{I} \right)^a \times K$$

$$a = \left( \frac{1.61}{100} \right) I + 0.5$$

$$I = \sum_{1}^{12} i$$

$$i = \left[ \frac{T}{5} \right]^{1.51}$$

Avec :

$ETP_C$  : Evapotranspiration potentielle corrigée (mm) ;

t : Température moyenne mensuelle du mois (°C) ;

I : Indice thermique annuel ;

i : Indice thermique mensuel ;

K : Coefficient d'ajustement.

❖ **Evapotranspiration réelle (ETR) :**

On appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR), nous avons essayé d'estimer l'évapotranspiration réelle par les Méthodes suivantes :

- Méthode de TURC ;
- Méthode de COUTAGNE ;
- Méthode de THORNTHWAITE.

• **Méthode de TURC :**

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle (mm) ;

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

T : Température moyenne annuelle (°C) ;

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

**Tableau 15 :** Résultat de l'ETR par la méthode de Turc.

P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)
418.53	16.47	934.91	398.98

• **Méthode de COUTAGNE :**

$$ETR = P - \lambda P^2$$

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 T}$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle (mm) ;

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

T : Température moyenne annuelle (C°).

La formule de COUTAGNE est applicable pour les précipitations moyennes annuelles comprise entre  $1/8\lambda$  et  $1/2\lambda$ .

**Tableau 16 :** Vérification de la condition  $1/8\lambda < P (m) < 1/2\lambda$ .

$\lambda$	$1/8 \lambda$	P(m)	$1/2 \lambda$
0.322	0.388	0.418	1.553

**Tableau 17 :** Résultat de l'ETR par la méthode de Coutagne.

P (mm)	$\lambda$	ETR (mm)
418.53	0.322	361.74

• **Méthode de THORNTHWAITE :**

Les résultats de calcul du bilan d'eau par la méthode de THORNTHWAITE au niveau de la station de Tadjnanet sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 18 :** Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE de la station de Tadjnanet (1987-2008).

MOIS	P (mm)	T (°C)	I	K	ETP <sub>c</sub> (mm)	ETR (mm)	RFU (mm)	EXC (mm)	DA
SEP	37.70	22.3	9.56	1.03	103.57	37.7	00	00	65.87
OCT	33.09	17.8	6.80	0.96	66.53	33.09	00	00	33.44
NOV	40.42	12	3.75	0.84	30.05	30.05	11.50	00	00
DEC	59.29	8.6	2.27	0.83	16.63	16.63	54.16	00	00
JAN	43.90	7.6	1.88	0.86	13.71	13.71	84.35	00	00
FEV	28.92	8.7	2.31	0.84	16.77	16.77	96.50	00	00
MAR	36.13	11.4	3.47	1.03	32.17	32.17	100	0.46	00
AVR	46.99	14	4.73	1.10	48.25	48.25	98.74	00	00
MAI	42.38	18.7	7.33	1.22	88.04	88.04	53.08	00	00
JUIN	23.30	24	10.68	1.23	136.00	76.38	00	00	69.22
JUIL	7.67	26.1	12.13	1.25	160.05	7.67	00	00	152.38
AOU	18.77	26.4	12.34	1.17	155.17	18.77	00	00	136.40
ANNUEL	418.53	16.47	77.25	/	866.94	419.23	/	0.46	457.31

➤ **Interprétation du bilan d'eau de C.W. THORNTHWAITE pour la station de Tadjnanet :**

Le bilan d'eau établi par la méthode de THORNTHWAITE a montré que l'ETP<sub>c</sub> atteint son maximum au mois de juillet (160.05 mm) et son minimum au mois de janvier (13.71 mm). La reconstitution de la RFU s'effectue au mois D'octobre et atteint son maximum (100 mm) au mois de mars, puis elle commencée à être épuisée, vide complètement au mois de juin.

L'écoulement commence après que le RFU (100 mm) au mois de mars avec un maximum au mois de mars (0.46 mm) l'excédent égal à 0.46 mm représentant 0.10 % des précipitations annuelles, alors que l'ETR est de l'ordre de (419.23mm) présentant 100.23 % des précipitations annuelles.

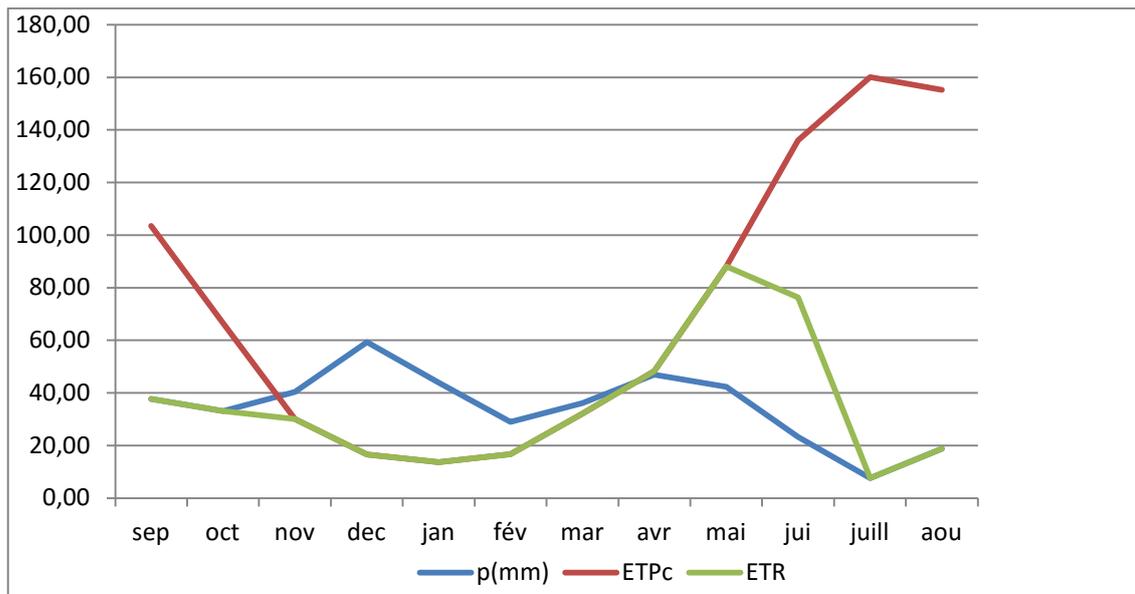


Figure 29 : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques.

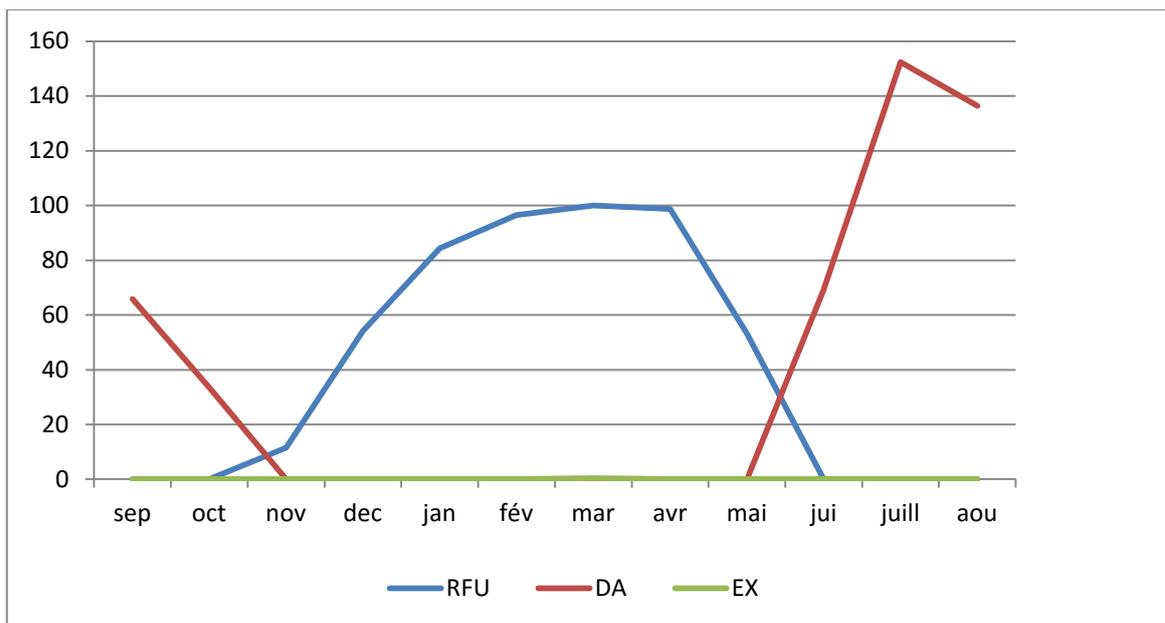


Figure 30 : Bilan de l'eau de C.W THORNTHWAITE de la station de Tadjanet.

**II.5.2.2 Ruissellement (R) :**

Le ruissellement dépend de plusieurs facteurs : nature du sol, pente et végétation, cette dernière a un rôle important dans la diminution du ruissellement. Le coefficient de ruissellement peut être calculé par deux formules :

- Tixeront Berkallof par Romantchouk (1974), pour P > 600 mm.

$$R = \frac{P^3}{3}$$

- Tixeront Berkallof, pour  $P < 600$  mm.

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2}$$

Avec :

R : Ruissellement (mm) ;

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

$$R(\%) = \frac{R \times 100}{P}$$

Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 19** : Résultats du ruissellement.

P (mm)	ETP (mm)	R (mm)	R (%)
418.53	866.94	32.51	7.77

### II.5.2.3 Infiltration (I) :

Pour déterminer l'infiltration on utilise l'équation du bilan hydrologique qui s'écrit :

$$P = ETR + R + I$$

Donc :

$$I = P - ETR - R$$

Avec :

I : Infiltration (mm) ;

R : Ruissellement (mm) ;

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

Si :  $I > 0$  Les entrées sont supérieures aux sorties.

$I < 0$  Les entrées sont inférieures aux sorties.

$$I(\%) = \frac{I \times 100}{P}$$

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau suivant :

**Tableau 20** : Résultats de l'infiltration.

P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)	I (%)
418.53	366.15	32.51	19.87	4.74

- **Taux d'infiltration ( $\tau$ ) :**

$$\tau = \frac{I}{PE}$$

Avec :

$$PE = P - ETR$$

$\tau$  : Taux d'infiltration (mm) ;

PE : Pluie efficace (mm) ;  
 I : Infiltration (mm) ;  
 P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;  
 ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

**Tableau 21** : Estimation de taux d'infiltration.

<b>P (mm)</b>	<b>ETR (mm)</b>	<b>I (mm)</b>	<b>PE (mm)</b>	<b><math>\tau</math>(mm)</b>
418.53	366.15	19.87	52.38	0.38

## Conclusion

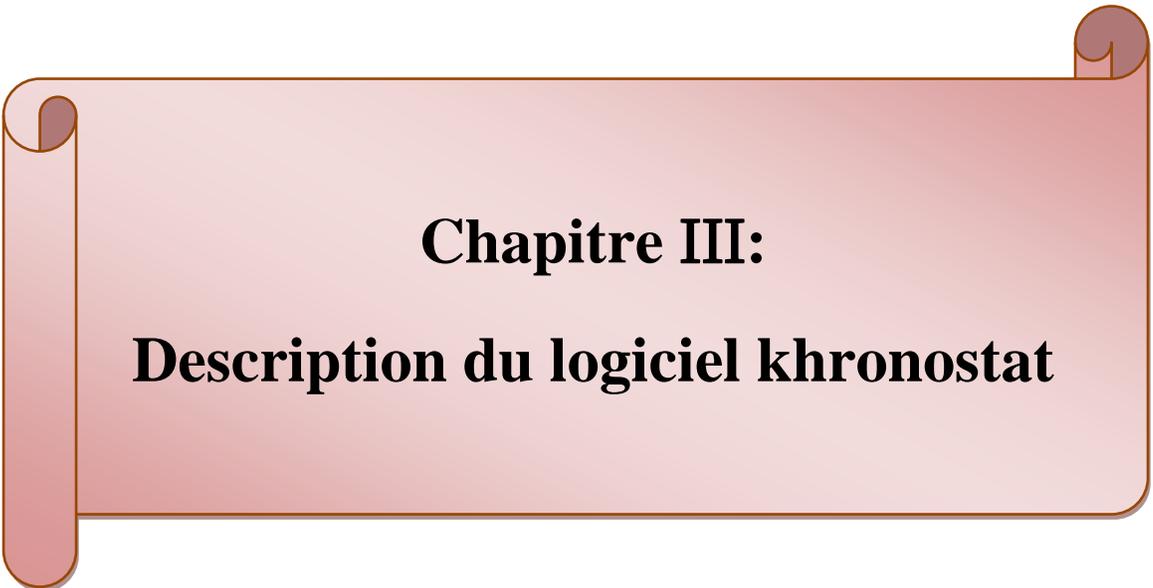
L'étude climatologique nous permet de distinguer que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, elle est caractérisée par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse humide à précipitations relativement élevées et des températures basses, l'autre sèche moins pluvieuse et avec des températures relativement élevées.

Les précipitations moyennes annuelles sur le bassin de l'oued Rhumel-amont; durant la période de 1981-2012 ; sont de l'ordre 418.53 mm, l'analyse des précipitations mensuelles a montré que l'hiver est la saison la plus sèche.

La précipitation moyenne mensuelle est de 33mm. L'analyse des températures a montré que le mois de janvier est le plus froid (8.6 °C) alors que août est le plus chaud (26.4 °C), la température moyenne annuelle est de (16.47 °C).

Le calcul de l'évapotranspiration réelle par les méthodes de Turc, Coutagne et Thornthwaite a donné une valeur moyenne de 375.62 mm.

Cette valeur reste toutefois inférieure à la précipitation moyenne annuelle qui est de 418.53mm. ainsi il en résulte un surplus qui va contribuer à l'alimentation des nappes souterraines et /ou à l'alimentation du ruissellement superficiel.



**Chapitre III:**  
**Description du logiciel khronostat**

## Introduction

Les données pluviométriques ont été fournies par la station de Tadjenanet pour une période allant de 1965 à 2012.

Les relevés pluviométriques journalier font défaut, mais nous disposons des relevés mensuels ainsi qu'annuels.

La continuité et la durée de ces relevés variant selon la station de Tadjenanet, certaines séries montrent des continuités importantes.

Pour le traitement de ces données pluviométriques, nous avons choisi de travailler à différents pas de temps pour aboutir à une comparaison aux échelles mensuels, saisonnière et annuels.

### III.1. La station de bassin de l'Oued Rhumel amont

Le bassin de l'Oued Rhumel amont est pourvu de la station hydraulique dont les coordonnées sont les suivantes :

**Tableau 22** : les coordonnées Lambert de la station de Tadjenanet.

Nom de la station	Code	X	Y	Z
Tadjenanet	100303	796,15	318	845

### III.2. Méthode de détection de rupture dans les séries chronologiques

Une rupture doit être comprise comme un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné, le plus souvent inconnu [18]. L'acceptation générale, mais surtout celle des hydrologues, en ce qui concerne les totaux annuels des précipitations, est que, du point de vue stochastique, ceux-ci peuvent être considérés comme un processus stationnaire.

La caractéristique d'indépendance suppose que le cumul de précipitations d'une année n'est pas dépendant du total de précipitations enregistrées de l'année précédente. La stationnarité suppose que les propriétés de base du processus (par exemple, son niveau moyen) ne changent pas avec le temps. Cependant, plusieurs travaux récents signalent une situation inverse. Il est supposé que dans le contexte du réchauffement global actuel, aussi bien l'espérance mathématique que la variance de ce processus stochastique à l'échelle interannuelle ne seraient plus indépendantes du temps au temps.

Les erreurs systématiques qui affectent d'une façon uniforme certaines portions des séries de mesure sont dues généralement au :

- déplacement du pluviomètre ;
- changement d'environnement du pluviomètre pendant la période d'observation ;
- à la croissance d'un arbre qui fait obstacle ;
- un changement d'observateur ;

- à la lecture non adéquate du pluviomètre qui entraîne une forte hétérogénéité des séries pluviométriques [19].

C'est pourquoi l'objectif de cette étude est d'entreprendre une étude statistique sur les totaux annuels de précipitations, en utilisant le test statistique de Pettitt, la statistique de Buishand et ellipse de contrôle. Ces tests sont, avec d'autres, recommandés par l'organisation mondiale de la météorologie [19] pour détecter les ruptures au sein des séries temporelles.

Cette démarche aidera à voir si ces ruptures dans la stationnarité sont liées seulement à des causes artificielles, ou si l'aléa climatique a un rôle prépondérant. Le choix des méthodes retenues repose sur la robustesse de leur fondement et sur les conclusions d'une étude de simulation de séries aléatoires artificiellement perturbées. Elles permettent de détecter un changement dans la moyenne de la variable traitée dans la série.

Le logiciel Khronostat utilisé a été élaboré par l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement, Université de Montpellier et l'École des Mines), disponible sur le site internet d'Hydro sciences Montpellier. Il propose plusieurs tests statistiques de détection de ruptures. Nous avons choisi ceux permettant de déterminer les dates de ruptures : méthode non paramétrique de Pettitt, méthode Bayésienne de Lee et Heghinian et la segmentation de Hubert [18].

### III.3. Choix du test

Un test paramétrique requiert un modèle à fortes contraintes (normalité des distributions, égalité des variances) pour lequel les mesures doivent être réalisées dans une échelle au moins d'intervalle. Ces hypothèses sont d'autant plus difficiles à vérifier que les effectifs étudiés sont plus réduits.

Un test non paramétrique est un test dont le modèle ne précise pas les conditions que doivent remplir les paramètres de la population dont a été extrait l'échantillon.

Dans les deux cas, les données considérées doivent être aléatoires, identiquement distribués et indépendantes les uns des autres.

### III.4. Caractère aléatoire des séries d'observations

Le caractère aléatoire simple d'une série d'observations est une hypothèse fondamentale pour l'analyse statistique d'une telle série. De nombreuses méthodes statistiques utilisées soit pour vérifier des propriétés particulières des séries d'observations, soit pour estimer certains paramètres caractéristiques du processus qui produit ces séries ne sont applicables qu'à condition que cette première hypothèse soit effectivement réalisée. Sa vérification constitue donc le problème à résoudre avant de procéder à toute analyse statistique complémentaire.

Les tests les plus répandus portent sur la constance de la moyenne de la série tout au long de sa période d'observation. Ces tests sont en général assez puissants pour faire une distinction entre le caractère aléatoire et le caractère non aléatoire de la série. En revanche, tous ne

permettent pas d'identifier une alternative à la constance du type tendance, discontinuité brutale, oscillations...etc.

Quelques tests ont pour objet la constance de la dispersion de série, c'est-à-dire qu'ils étudient si la variabilité de la série est uniforme dans le temps.

Soit la série chronologique  $(x_i)$ ,  $i = (1, \dots, N)$ , les  $x_i$  désignent les réalisations de la variable  $X$  observées à des temps successifs égaux.

L'hypothèse nulle est donc : « La série des  $(x_i)$ ,  $i = (1, \dots, N)$  est aléatoire »

### III.5. La procédure

En premier lieu, le problème qui se pose au sujet des séries chronologiques est celui du savoir si les valeurs qui les composent sont organisées dans le temps ou, au contraire, se succèdent d'une manière absolument fortuite. On appelle série purement aléatoire ou série « au hasard », toute série chronologique dans laquelle la probabilité pour que la variable  $X$  prenne la valeur  $x_{i+1}$  est indépendante de la valeur immédiatement précédente  $x_i$ , dans le cas contraire, la série est dite « organisée ».

Partant de cette définition, nous avons utilisé le test de corrélation sur le rang pour vérifier le caractère aléatoire des séries chronologiques.

Les résultats obtenus dans le test de corrélation, montrent un effet de tendance entre les valeurs successives de certaines séries chronologiques, on a conclu que ces séries que nous allons analyser, sont dépourvues du caractère aléatoire.

En deuxième lieu, les méthodes pour mettre en évidence ces ruptures sont : La statistique  $U$  de Buishand, le test de Pettitt, la méthode bayésienne de Lee et Heghinian et la procédure de segmentation de Hubert dont la puissance et la robustesse ont fait l'objet d'une revue par [18] et dont la dernière a fait l'objet d'une évaluation spécifique avec un recul de 10 ans et une application en Algérie [20].

### III.6. Méthodes statistiques utilisées

#### III.6.1 Tests de vérification du caractère aléatoire :

##### III.6.1.1 Test de corrélation sur le rang [21] :

Le test de corrélation sur le rang est utilisé pour tester l'indépendance des éléments consécutifs d'une série. L'hypothèse nulle  $H_0$  est "la série des  $X_i$ ,  $i=1, \dots, n$ , est aléatoire" où  $X_i$  désigne les réalisations de la variable  $X$  observées à des pas de temps successifs égaux. L'hypothèse alternative  $H_1$  de ce test est celle d'une tendance dans la série d'observations.

Ce test est basé sur le calcul du nombre  $P$  de paires  $(X_i, X_j)$  pour lequel  $X_i > X_j$  ( $j > i$ ,  $i = 1, N-1$ ).

Sous l'hypothèse nulle ( $H_0$ ) de stationnarité de la série, la variable  $\tau$  est définie par :

$$\tau = 1 - \frac{4Q}{N(N-1)} \text{ Avec: } Q = \frac{N(N-1)}{2} - P$$

$\tau$  Suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance égale à :

$$\sigma_{\tau}^2 = \frac{2(2N+5)}{9N(N-1)}$$

Il en résulte que si l'hypothèse nulle  $H_0$  est vraie, la variable  $U = \tau/\sigma_{\tau}$  est une variable Normale réduite. Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donné, la région d'acceptation de l'hypothèse nulle est comprise entre  $U_{1-\alpha/2} \cdot \sigma_{\tau}$  et  $U_{1-\alpha/2}$  désigne la valeur de la Variable normale réduite de probabilité de non-dépassement  $(1 - \alpha/2)$ .

**III.6.1.2. Ellipse de Bois [21] :**

Sous l'hypothèse nulle  $H_0$ , il est possible de définir une région de confiance contenant, pour un seuil de confiance donné, la série des  $S_K^*$ . Pour un seuil de confiance  $1 - \alpha/2$ , la région de

confiance est définie par 
$$\bar{X} \pm \frac{U_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{K(N-K)}}{\sqrt{(N-1)}} D_X .$$

Cette région de confiance est appelée ellipse de contrôle, lorsque les valeurs  $S_K^*$  sortent de cette ellipse l'hypothèse  $H_0$  est rejetée au seuil de confiance  $1 - \alpha/2$  soit un risque de 1ère espèce  $\alpha$ .

**III.6.2 Tests de détection de ruptures :**

**III.6.2.1. Test de Pettitt [22, 23] :**

Le test de Pettitt est une approche non-paramétrique dérivée du test de Mann & Withney permettant d'identifier un point de rupture dans une séquence de variables aléatoires indépendantes  $X_i, i = 1, \dots, N$ .

On se propose de tester l'hypothèse  $H_0$  « Absence de rupture dans la série » face à l'hypothèse alternative  $H_a$  « Présence d'une rupture dans la séquence ».

Pour cela on définit la variable :

$$U_{T,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \quad \text{OU} \quad D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j) \quad \text{tel que} \quad \begin{cases} \text{sgn}(X) = 1 & \text{pour } \begin{cases} X > 0 \\ X = 0 \\ X < 0 \end{cases} \\ \text{sgn}(X) = 0 \\ \text{sgn}(X) = -1 \end{cases}$$

La variable  $U$  permet de comparer l'appartenance de deux échantillons  $X_1, \dots, X_t$  et  $X_{t+1}, \dots, X_N$  à la même population. La statistique  $U_{T,N}$  est considérée pour l'ensemble des valeurs de  $t$  tel que  $1 \leq t \leq N$ . On utilise alors la variable  $K_N$  pour tester  $H_0$  telle que  $K_N = \max |U_{T,N}|$ .

Si  $k$  désigne la valeur de  $K_N$  prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle  $H_0$ , la probabilité de dépassement de la valeur  $k$  est donnée approximativement par :

$$\Pr(K_N > k) \approx 2 \cdot \exp(-6k^2 / (N^3 + N^2))$$

Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donné,  $H_0$  est rejetée si cette probabilité est inférieure à  $\alpha$ .

Dans ce cas, la série présente une rupture au temps  $t$  définissant ainsi  $K_N$ .

**III.6.2.2. Procédure de segmentation de Hubert [24, 25] :**

La procédure de segmentation de séries chronologiques est appropriée dans le cas de ruptures multiples dans les séquences, contrairement au test de Pettitt qui identifie la rupture la plus marquée de la série. Le principe de cette procédure est de "découper" la série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée soit significativement différente de la moyenne du (des) segment(s) voisin(s).

Soit une série chronologique  $X_i, i = 1, \dots, N$ . Toute série  $X_i$  pour  $i = i_1, i_2$  telle que  $i_1 \geq 1, i_2 \leq N$  et  $i_1 < i_2$  constitue un segment de la série initiale. Toute partition de la série initiale en  $m$  segments constitue une segmentation d'ordre  $m$  de cette série.

Soit une segmentation d'ordre  $m$  particulière, on définit  $i_k$  avec  $k = 1, \dots, m$  le rang dans la série initiale de l'extrémité terminale du  $k$  ième segment avec par convention  $i_0 = 0$ , et  $N_k = i_k - i_{k-1}$  la longueur du  $k$  ième segment avec  $k$  sa moyenne telle que :

$$\bar{X}_K = \frac{1}{N_K} \left( \sum_{i=1+i_{k-1}}^{i=i_k} X_i \right)$$

L'écart quadratique  $D_m$  entre la série et la segmentation considérée d'ordre  $m$  permet d'apprécier la proximité de la série et de la segmentation appliquée telle que :

$$D_m = \sum_{k=1}^m d_k \quad \text{Avec} \quad d_k = \sum_{i=1+i_{k-1}}^{i=i_k} (x_i - \bar{x}_k)^2$$

Critère d'écart  $D_m$ . Cette condition est nécessaire mais insuffisante, le critère d'écart  $D_m$  diminue lorsque l'ordre de la segmentation augmente et s'annule pour une segmentation d'ordre  $n$  (la série segmentée présente autant de segments que de valeurs dans la série initiale). Pour limiter l'ordre de la segmentation, les moyennes de deux segments contigus devront être significativement différentes telle que  $\bar{X}_K \neq \bar{X}_{K+1} \forall K = 1, m - 1$ . Cette contrainte est satisfaite par l'application du test de Scheffé qui compare l'écart entre les moyennes à une ou deux valeurs critiques (test unilatéral ou bilatéral) pour déclarer si les moyennes sont significativement différentes ou non selon un risque de première espèce (ici  $\alpha$  est pris égal à 1%).

**III.6.2.3. Statistique U de Buishand [26, 27] :**

La statistique U de Buishand est de nature bayésienne et fait référence au modèle simple qui suppose un changement de moyenne dans la série :

$$X_i \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1, m \\ \mu + \varepsilon_i + \Delta & i = m + 1, N \end{cases}$$

Les  $\varepsilon_i$  sont des variables aléatoires normales de moyenne nulle et de variance commune inconnue

$\sigma^2$ . Le point de rupture  $m$  et les paramètres  $\mu$  et  $\Delta$  sont aussi inconnus. Soit la variable :

$$S_0^* = 0, S_k^* = \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}) \quad \text{POUR } k = 1, N \text{ ou } \bar{X} \text{ est la moyenne des } X_i \text{ tel que } \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

Avec :

$$\begin{aligned} E[S^*] &= k(N - m)N^{-1} \cdot \Delta & k = 0, \dots, m \\ E[S^*] &= m(N - k)N^{-1} \cdot \Delta & k = m + 1, N \end{aligned}$$

$$\text{Var} [S_k^*] = k(N - k) N^{-1} k = 0, \dots, N$$

Sous l'hypothèse nulle H0 (absence de rupture, homogénéité de la série), la variable  $S_k^*$  suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance  $k(N - K)N^{-1} \cdot \sigma^2$ ,  $K = 0, N$ .  $\sigma^2$  est inconnue et remplacée par son estimateur à partir de la série étudiée  $\hat{\sigma}^2$ . Il en résulte que la variable  $S_k^*$  suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance approximative :

$$K(N - K)(N - 1)^{-1} \cdot D_X^2 \quad \text{Avec : } K=0, N \quad \text{ET } D_X^2 = N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2.$$

En supposant une distribution a priori uniforme pour la position du point de rupture  $m$ , on définit la statistique  $U$  par :

$$U = [N(N + 1)]^{-1} \cdot \sum_{K=1}^{N=1} \left( \frac{S_k^*}{D_X} \right)^2$$

La statistique  $U$  s'avère performante pour tout changement de moyenne survenant au milieu de la série pendant le test de Buishand est un test paramétrique faisant l'hypothèse d'une distribution normale des variables de la série. Khronostat nous permet de vérifier la normalité de la série étudiée et dans le cas où celle-ci ne serait pas validée la série est alors transformée (Racine carrée, Logarithme, Box et Cox) pour que les données transformées suivent une distribution normale.

### III.6.2.4 Procédure Bayésienne de Lee et Heghinian [28] :

Le modèle de base de la procédure est le suivant :

$$X_i \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1, \dots; \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i = \tau + 1, \dots N \end{cases}$$

Les  $\varepsilon_i$  sont des variables aléatoires normales de moyenne nulle et de variance  $\varepsilon_i \ i \ \sigma$ .  $\tau$ ,  $\mu$ ,  $\delta$  et  $\sigma$  sont des paramètres inconnus et indépendants.

$\tau$  Et  $\delta$  représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne.

L'approche Bayésienne présentée ici est fondée sur les distributions marginales a posteriori de  $\tau$  et  $\delta$  [29].

- Les distributions a priori de  $\tau$  et  $\delta$  sont :

$$P(\tau) = \frac{1}{N-1} \tau=1,2,\dots N-1$$

$P(\tau)$  Est normale de moyenne nulle et de variance  $C_\delta^2$

- La distribution a posteriori de  $\tau$  est définie par :

$$P(\tau/X) + [N/(\tau(N - \tau))]^{1/2} \cdot [R(\tau)]^{-(N-2)/2}, \quad 0; \tau; N-1$$

Avec :

$$R(\tau) = \frac{H(\tau)}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_N)^2} = \frac{\sum_{i=1}^{\tau} (X_i - \bar{X}_{\tau})^2 + \sum_{i=\tau+1}^N (X_i - \bar{X}_{N-\tau})^2}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_N)^2}$$

$$\bar{X}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad ; \quad \bar{X}_{\tau} = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} X_i \quad ; \quad \bar{X}_{N-\tau} = \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=\tau+1}^N X_i$$

La distribution a posteriori de  $\delta$  est définie a partir de la distribution a posteriori de,  $p(\tau/X)$  et de la distribution conditionnelle a posteriori par rapport a.  $p(\delta/\tau, X)$ .

$$p(\delta/X) = \sum_{\tau=1}^{N-1} p(\delta/\tau, X) \cdot p(\tau/X).$$

La distribution conditionnelle a posteriori de  $\delta$  par rapport a  $\tau$  est une distribution de student de moyenne  $\hat{\delta}_{\tau} = \bar{X}_N - \bar{X}_{\tau}$  et de variance  $\sigma^2_{\delta/\tau} = \frac{N \cdot H(\tau)}{(N-2) \cdot (\tau(N-\tau))}$

Avec :

$$V = N - 2,$$

Le changement éventuel, position et amplitude, correspond au mode des distributions a posteriori de  $\tau$  et  $\delta$ . La méthode fournit la probabilité que le changement se produise au moment  $\tau$  dans une série où on suppose a priori qu'il y a effectivement un changement à un moment indéterminé. De même elle donne une estimation de la probabilité que l'amplitude du changement ait la valeur  $\delta$ .



**Chapitre IV:**  
**Résultats et Discussions**

## Introduction

Plusieurs manifestations climatiques récentes de grande ampleur ont poussé la communauté mondiale à s'intéresser aux changements climatiques et à leurs impacts sur les ressources en eau. Parmi elles, on peut citer la sécheresse qui a affecté les pays du Maghreb, et l'Algérie en particulier, depuis les années 1970.

Dans notre étude nous avons utilisé des données pluviométriques annuelles et saisonnières enregistrées à la station de Tadjanet à Oued Rhumel amont.

Nous essayons de faire une analyse de la stationnarité des séries pluviométriques et l'identification de la rupture au sein de ces dernières, aux échelles annuelle et saisonnière ; En utilisant différents tests statistiques de détection de rupture à savoir : le Test de PETTIT, statistique de BUISSAND, procédure bayésienne de LEE et HEGHINIAN et la segmentation d'HUBERT.

### IV.1. Test de rupture des précipitations

Cette section décrit les différentes méthodes graphiques et statistiques utilisées pour analyser successivement la variabilité des précipitations annuelles.

#### IV.1.1. Indice Standardisé des précipitations :

L'indice Standardisé des Précipitations (Standardized Precipitation Index (SPI)) proposé par [30] est calculé selon la formule suivante :

$$SPI = (X_i - X_m) / S_i$$

Où :

$X_i$  : Cumul de la pluie pour une année donnée  $i$  ;

$X_m$  et  $S_i$  : Respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées sur une série donnée.

**Tableau 23** : Catégories de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs du SPI.

Valeurs du SPI	Degré d'humidité ou de sécheresse.
$\geq + 2,0$	Humidité extrême
+ 1,5 à + 1,99	Humidité forte
+ 1,0 à + 1,49	Humidité modérée
+ 0,1 à + 0,99	Humidité légère
0	Normalité absolue
- 0,1 à - 0,99	Sécheresse légère
- 1,0 à - 1,49	Sécheresse modérée
-1,5 à - 1,99	Sécheresse forte
$\leq -2,0$	Sécheresse extrême

Cet indice traduit un excédant ou un déficit pluviométrique pour l'année considérée par rapport à la période de référence. La cartographie des moyennes par décennie des indices pluviométriques annuels ainsi calculés traduit l'évolution dans le temps et dans l'espace de la variable étudiée, engendrant les zones tantôt excédentaires tantôt déficitaires.

Dans notre cas, le SPI indique une situation variant entre l'humidité, la normalité et la sécheresse où 39,58 % des années présentent une humidité avec un SPI supérieur à 0.1et 8,33% des années présentent une normalité absolue, tandis que le reste s'inscrit dans un contexte sec.

Les résultats de calcul du SPI sont illustrés aux tableaux 23 et 24.

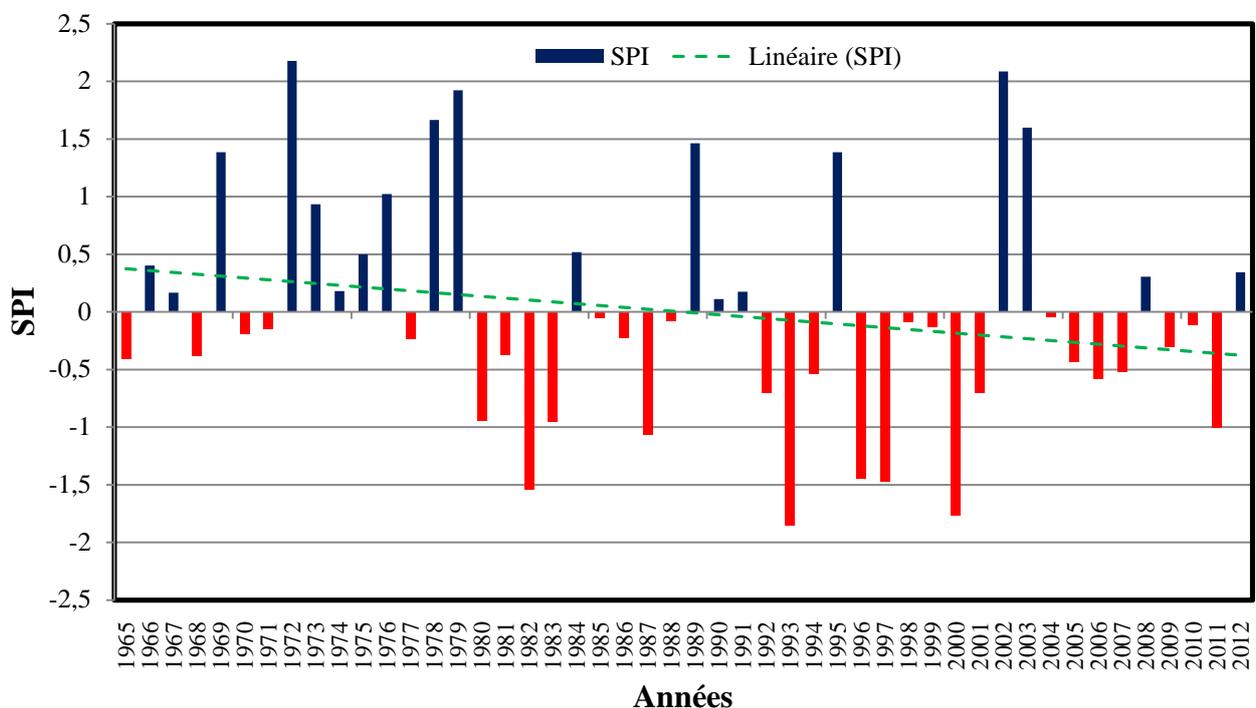
**Tableau 24 :** Valeurs annuelles de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) de la station Tadjananet (1965/2012).

Année	précipitation	SPI	Degré de la sécheresse	Année	précipitation	SPI	Degré de la sécheresse
1965	345,7	-0,41	Sécheresse légère	1989	534,2	1,46	Humidité modérée
1966	427,2	0,4	Humidité légère	1990	398	0,11	Humidité légère
1967	403,7	0,17	Humidité légère	1991	404,3	0,17	Humidité légère
1968	347,8	-0,39	Sécheresse légère	1992	315,9	-0,7	Sécheresse légère
1969	526,3	1,38	Humidité modérée	1993	199,8	-1,86	Sécheresse forte
1970	367,3	-0,19	Sécheresse légère	1994	332,4	-0,54	Sécheresse légère
1971	371,7	-0,15	Sécheresse légère	1995	526,4	1,38	Humidité modérée
1972	606,4	2,18	Humidité extrême	1996	241	-1,45	Sécheresse modérée
1973	481	0,93	Humidité légère	1997	238,3	-1,47	Sécheresse modérée
1974	404,9	0,18	Humidité légère	1998	378,2	-0,09	Normalité absolue
1975	437,2	0,5	Humidité légère	1999	373,8	-0,13	Sécheresse légère
1976	489,9	1,02	Humidité modérée	2000	208,8	-1,77	Sécheresse forte
1977	363,2	-0,23	Sécheresse légère	2001	316,1	-0,7	Sécheresse légère
1978	554,5	1,66	Humidité forte	2002	597	2,09	Humidité extrême
1979	580,5	1,92	Humidité forte	2003	547,9	1,6	Humidité forte
1980	291,1	-0,95	Sécheresse légère	2004	381,8	-0,05	Normalité absolue
1981	349,4	-0,37	Sécheresse légère	2005	342,8	-0,44	Sécheresse légère
1982	231,4	-1,54	Sécheresse forte	2006	328,1	-0,58	Sécheresse légère
1983	290,4	-0,96	Sécheresse légère	2007	334,3	-0,52	Sécheresse légère
1984	439	0,52	Humidité légère	2008	417,6	0,31	Humidité légère
1985	381,2	-0,06	Normalité absolue	2009	355,7	-0,31	Sécheresse légère
1986	363,5	-0,23	Sécheresse légère	2010	375,3	-0,11	Sécheresse légère
1987	279,2	-1,07	Sécheresse modérée	2011	285,7	-1	Sécheresse modérée
1988	379,1	-0,08	Normalité absolue	2012	421,3	0,34	Sécheresse légère

**Tableau 25 :** Fréquences (en %) des classes de l'Indice Standardisé des précipitations (SPI) de la station Tadjanet (1950/2012).

Descripteurs	%
Humidité extrême	4,17
Humidité forte	6,25
Humidité modéré	8,33
Humidité légère	18,75
Normalité absolue	8,33
Sécheresse légère	39,58
Sécheresse modéré	8,33
Sécheresse forte	6,25
Sécheresse extrême	0

La répartition graphique du SPI (Figure 31) met en évidence la succession entre années humides et sèches. La courbe de tendance en verte montre plus clairement cette succession, en effet nous distinguons une période humide s'étalant entre septembre 1965 et septembre 1990 suivie d'une période sèche entre septembre 1991 et septembre 2012. En général, la courbe de tendance varie dans l'intervalle]-2 ; 2,5[.



**Figure 31:** Variation temporelle des indices de pluie standardisés à la station de Tadjanet (1965-2012).

La figure 31 présente l'évolution des valeurs moyennes annuelles de l'indice SPI pour la station pluviométrique sur la période 1965-2012. Sur les années 1965-2012 de nombreuses valeurs positives, varie de 0 à 2. Ce caractère déficitaire est particulièrement marqué au cours de

la décennie 1980. Vers la fin de la période d'observation, la pluviométrie reste déficitaire et les valeurs de l'indice des cendent en dessous de -1, tandis que les valeurs positives sont peu fréquentes. Sur la période sèche.

La répartition graphique du SPI met en évidence la succession entre années humides et sèches. La sécheresse constatée à la station pluviométrique influence fortement l'hydrologie du bassin, ce qui se traduit par une diminution des écoulements.

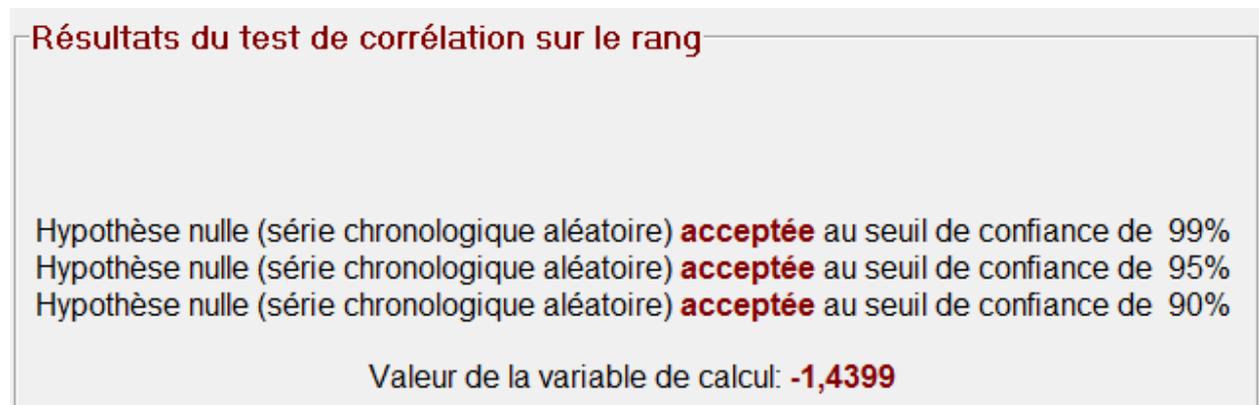
## IV.2. Détection des ruptures au sein des séries pluviométriques annuelles

Les analyses statistiques ont été menées avec le logiciel « Khronostat 1.01 ».

Une "rupture" peut être définie de façon générale par un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un moment donné le plus souvent inconnu. Une telle rupture marque une modification du régime pluviométrique ou hydrologique. Il existe plusieurs méthodes de détection des ruptures des séries chronologiques (Test de PETTIT, statistique de BUIHAND, procédure bayésienne de LEE et HEGHINIAN et la segmentation d'HUBERT [31]).

### IV.2.1. Test de corrélation sur le rang :

Le test de corrélation sur le rang est utilisé pour tester l'indépendance des éléments consécutifs d'une série.



**Figure 32** : Résultat du test de corrélation.

### IV.2.2. Statistique U de Buishand :

La statistique U de Buishand est de nature bayésienne et fait référence au modèle simple qui suppose un changement de moyenne dans la série. Le test de Buishand est un test paramétrique faisant l'hypothèse d'une distribution normale des variables de la série. Khronostats nous permet de vérifier la normalité de la série étudiée.

Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%  
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 95%  
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

Figure 33 : Résultat du test de Buishand.

IV.2.3. Ellipse de Bois :

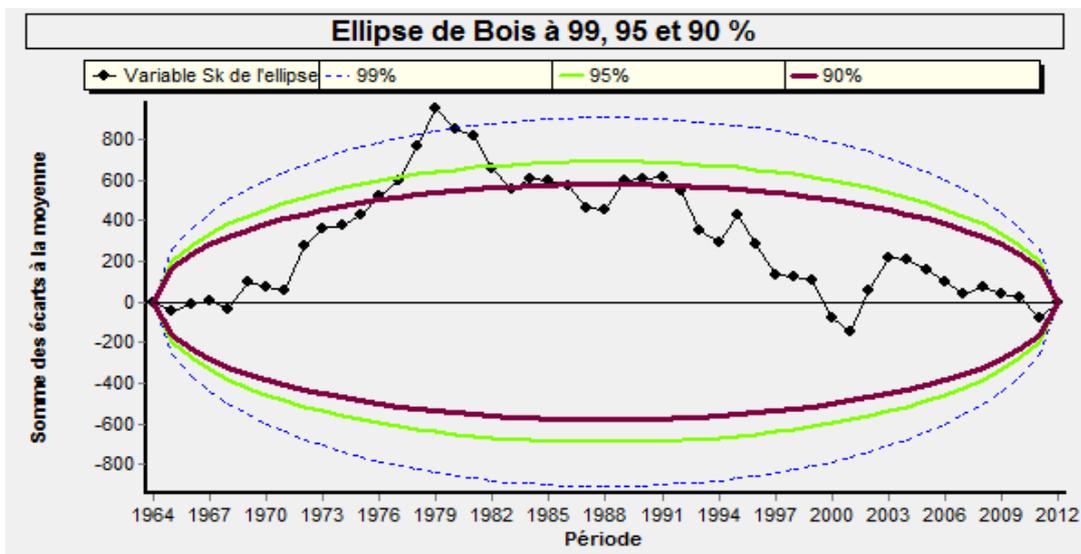


Figure 34 : Ellipse de bois.

L'hypothèse H0 est acceptée aux seuils de confiance 90,95, l'hypothèse d'absence de rupture est validée. Tandis qu'au seuil de confiance 99% présente une rupture. Exemple de la série chronologique des précipitations annuelles de la station Tadjenamet.

IV.2.4. Test de PETTITT :

Le test de Pettitt est une approche Non paramétrique, ce test est utilisé pour détecter le changement de stationnarité. Ce test, reconnu par sa robustesse, dérive du test de MANN-WHITNEY. Il est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne. L'absence de rupture dans une série chronologique (Xi) de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant "t" compris entre 1 et N, les séries chronologiques (Xi) i=1 à t et t+1 à N appartiennent à la même population. La variable à teste rest le maximum en valeur absolue de la variable Ut, N définie par :

$$U_{T,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \quad \text{OU} \quad D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j) \quad \text{tel que} \quad \begin{cases} \text{sgn}(X) = 1 & \text{pour } X > 0 \\ \text{sgn}(X) = 0 & \text{pour } X = 0 \\ \text{sgn}(X) = -1 & \text{pour } X < 0 \end{cases}$$

Résultats du test de Pettitt

Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%  
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 95%  
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 90%  
 Probabilité de dépassement de la valeur critique du test: **4,27E-02** en **1979**

Figure 35 : Résultat du test de PETTITT.

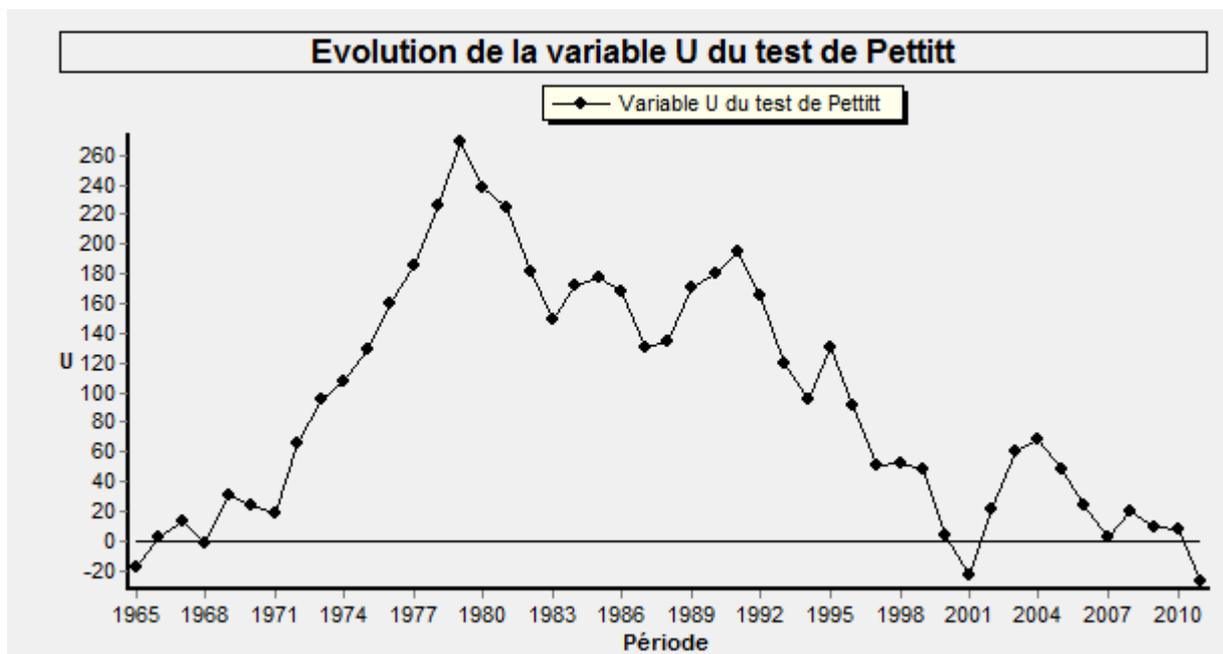


Figure 36 : L'évolution de la variable U du test de PETTITT.

L'évolution de la variable U du test de PETTITT présente une rupture remarquable sur toute la période d'étude. Selon les résultats donnés par «Kchronostat», l'application du test de PETTITT montre que l'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée au seuil de confiance de 99%. Tandis qu'au seuil 90% et 95% une rupture significative a été détectée.

D'où une Probabilité de dépassement de la valeur critique du test : **4,27E-02** en **1979** ce qui **confirme l'existence d'une rupture**.

• Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN :

La méthode bayésienne d'A.F.S. vise à confirmer ou à infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série. Il s'agit d'une approche paramétrique dont l'application sur une série nécessite une distribution normale des valeurs de celle-ci. L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle. La procédure repose sur le modèle suivant :

$$x_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i=1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i=\tau+1, \dots, N \end{cases}$$

Les  $\varepsilon_i$  sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$ .  $\tau$  et  $\delta$  représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne. La procédure bayésienne se fonde sur la distribution marginale a posteriori de  $\tau$  et  $\delta$ . Lorsque la distribution est uni modale, la date de la rupture est estimée par le mode avec d'autant plus de précision que la dispersion de la distribution est faible.

La figure 37, illustre les résultats de l'application de ce test par le logiciel « Khronostat ».

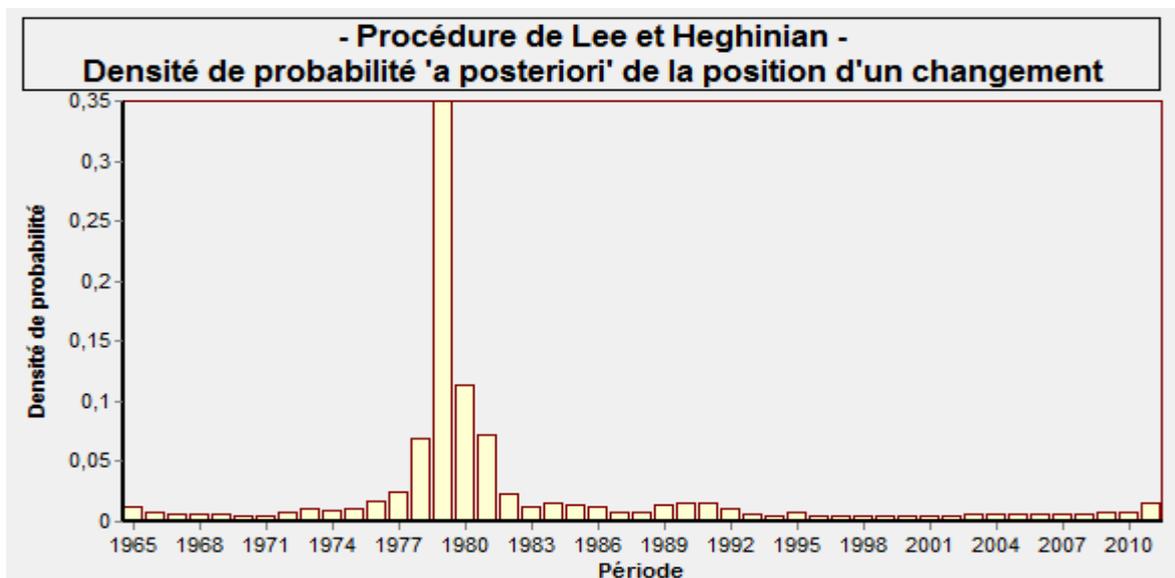


Figure 37 : Densité de probabilité 'aposteriori' de la position d'un changement.

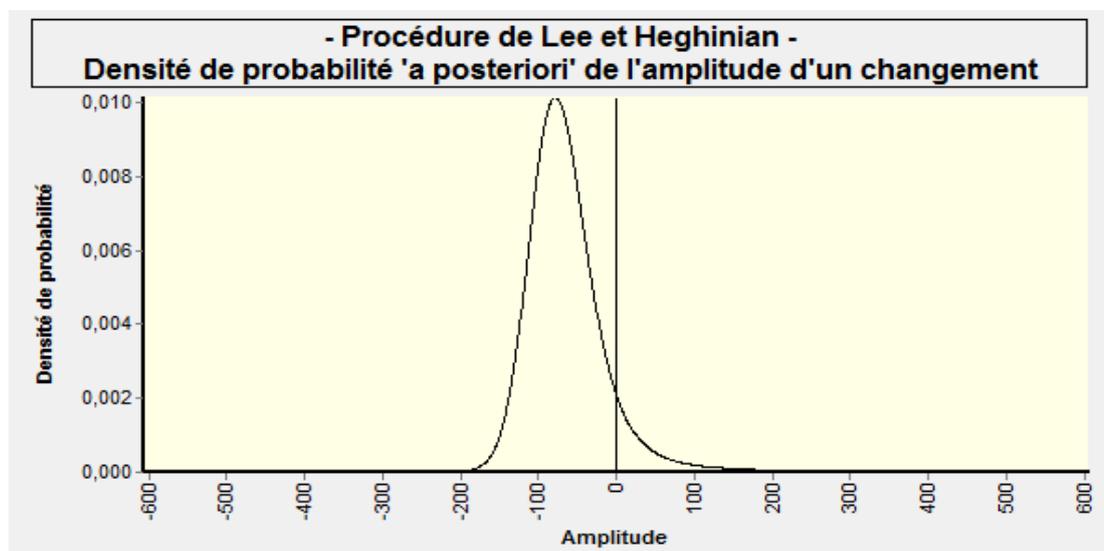


Figure 38 : procédure de LEE et HEGHINIAN.

Selon le graphe de la densité de probabilité, nous observons une probabilité que le changement de moyenne soit situé dans l'année 1979.

À travers l'analyse de la série pluviométrique annuelle fournies de la station Tadjenanet sur la période 1965/2012, la région d'étude présente une rupture ce qui est confirmé par les tests de rupture où l'hypothèse nulle de stationnarité est rejetée.

Les résultats des détections de rupture sont consignés dans le tableau 26.

**Tableau 26:** Tests de détection de rupture appliqués à la série pluviométrique annuelle de Tadjenanet (1965/2012).

Station Tadjenanet	Période d'étude	Segmentation de Pierre Hubert				Buishand			Pettitt	Lee et Heghinian
		Début	Fin	Moyenne	Ecart- type	Ho 99%	H0 95%	H0 90%	Année	Année
	1965/2012	1965	1979	453.333	84.557	acceptée	acceptée	rejetée	1979	1979
		1980	2012	360.879	96.713					

Au niveau de notre zone d'étude et pour l'ensemble des tests, la rupture s'est produite en 1979 et c'est donc là que la baisse du module pluviométrique annuel est devenue une réalité. La baisse de la hauteur moyenne pluviométrique exprimée par le déficit pluviométrique est de 20.40%

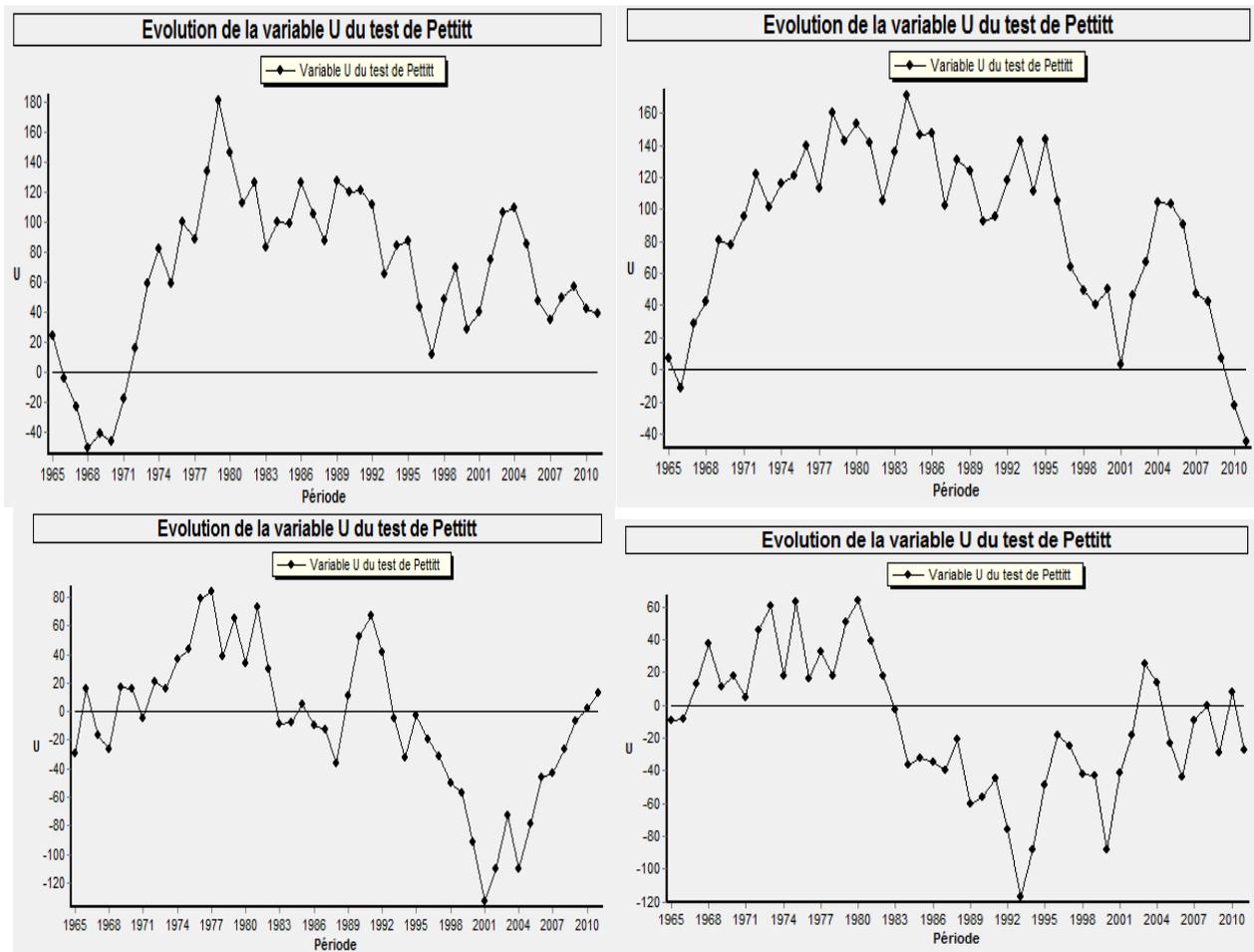
Cette rupture, dans le sens d'une diminution de la pluviométrie annuelle, donne à réfléchir pour mieux gérer une ressource hydrique sans cesse décroissante face à une demande sans cesse en augmentation.

### IV.3. Détection des ruptures au sein de séries pluviométriques saisonnières

Dans cette analyse, nous essayons de retrouver l'origine de la rupture de la stationnarité sur la pluviométrie saisonnière enregistré à la station pluviométrique de Tadjenanet. A cet effet, nous avons appliqué le test de Pettitt à l'échelle saisonnière. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

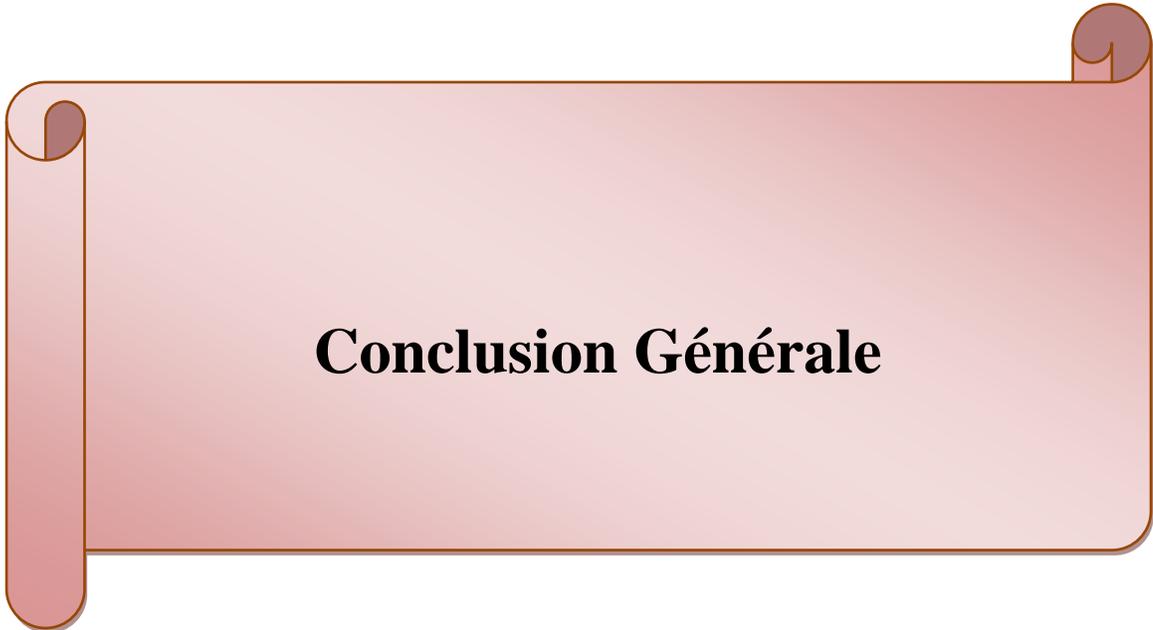
**Tableau 27 :** Résultats du test de Pettitt statistique appliqué à l'échelle saisonnière.

Station		Prob (Kn)	Rupture la plus significative	Moy avant la rupture	Moy après la rupture
Tadjenanet 1965/2012	Automne	0,0971	1979	41.20	28.31
	Hiver	0,3372	2011	38.70	88.60
	Printemps	0,0623	2001	38.44	46.76
	Eté	0,0556	1993	15.32	19.34



**Figure 39 :** Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (Automne, Hiver, Printemps et Eté) par le test de Pettitt.

- L'application du test de Pettitt sur les valeurs saisonnières, confirme une rupture de la stationnarité sur les totaux automnaux, observés au début et à la fin des années soixante-dix ces résultats sont très proches de ceux trouvés auparavant pour les totaux pluviométriques annuels ou nous trouvons la même date de rupture (1979) ;
- Selon les résultats exposés dans le paragraphe si dessus et les valeurs sont résumées dans le tableau 27, nous pouvons conclure que la rupture de la stationnarité des totaux annuels est probablement due aux totaux automnaux ;
- Nous avons remarqué aussi une diminution de la moyenne d'une valeur de 31.28 % pour notre station.



## **Conclusion Générale**

### *CONCLUSION GENERALE*

Cette étude a été effectuée dans le but de visualiser les différents changements du climat qui jouent un rôle sur les variations climatiques et son impact sur les ressources en eau.

L'étude morphométrique, nous a permis de caractériser le bassin de l'Oued Rhumel-amont avec une forme relativement allongée favorisant une érosion linéaire et régressive avec un chevelu assez dense, son réseau hydrographique est bien organisé.

L'étude hydro-climatologique : les données climatiques de la station météorologique de Tadjanet nous a permis de caractériser notre bassin par un climat semi-aride méditerranéen. Il ressort de cette étude que le bassin est caractérisé par une saison pluvieuse et un été chaud et sec avec une moyenne de 396.08 mm.

La moyenne des températures est de 17.46 °C, le régime thermique est caractérisé par des amplitudes annuelles assez fortes qui permettent d'accentuer le phénomène de l'évapotranspiration.

La présente étude montre qu'aux cours des dernières années la région a connu une variabilité climatique avec une succession de périodes sèches et de périodes humides.

La variabilité temporelle se reflète sur la disponibilité des ressources en eau. En appliquant des tests statistiques sur la période 1965-2012 ; montre que le bassin a connu des variations dans les précipitations ce qui va affecter et jouer sur les écoulements dans l'Oued Rhumel-amont.

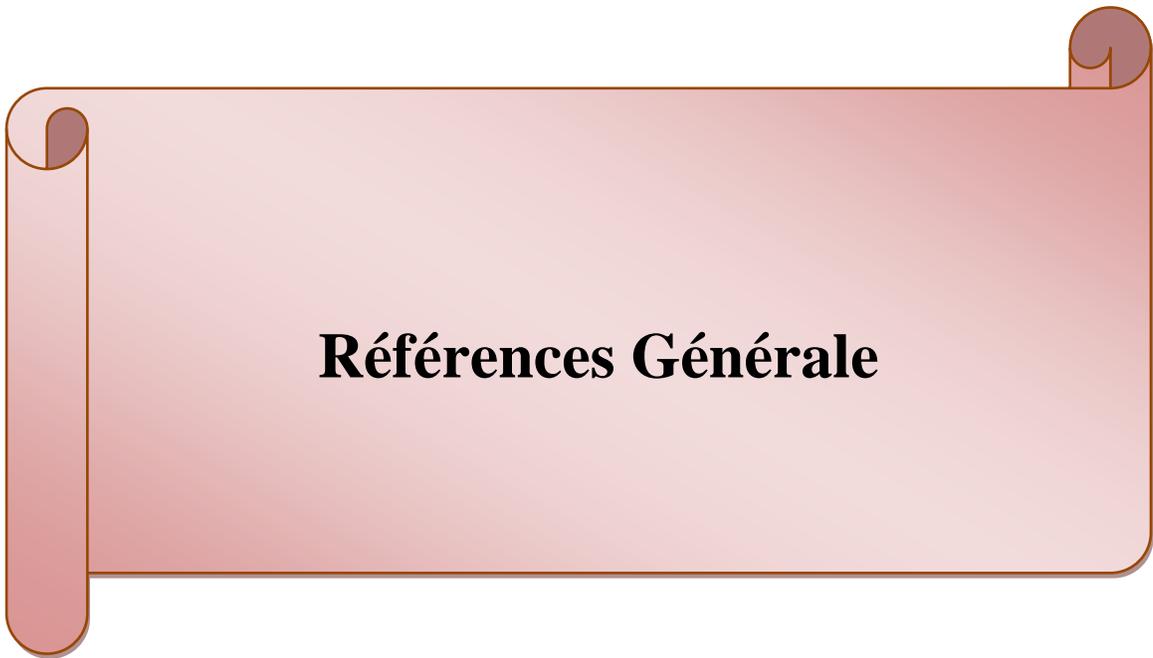
Puis une étude de variabilité hydro climatique a été développée dans le but d'identifier une éventuelle évolution portant sur la détection de "points de rupture".

L'étude de la stationnarité a été effectuée sur les totaux annuels et saisonniers. Les tests qui ont fait l'objet de cette étude sont : le Test de Pettitt, statistique de Buishand, procédure bayésienne de Lee et Heghinian et la segmentation d'Hubert.

L'application de ces tests, montre une rupture de la stationnarité dans les totaux annuels inscrite à la fin des années soixante-dix à la station de Tadjanet. Nous avons constatés une réduction de la moyenne avant et après la rupture (1979) d'une valeur de 20.40 % concernant les totaux annuels.

L'application du test de Pettitt sur les valeurs saisonnières, confirme une rupture de la stationnarité sur les totaux automnaux, observés au début et à la fin des années soixante-dix ces résultats sont très proches de ceux trouvés auparavant pour les totaux pluviométriques annuels ou nous trouvons la même date de rupture (1979).

Ce modeste travail ne peut être qualifié de parfait dans le domaine d'études des précipitations. Nous espérons le compléter par d'autres études plus poussées, en se basant sur des données sur un nombre plus importants des stations pour une meilleure représentativité de la région, et sur des périodes d'observations très importantes.



## **Références Générale**

### Références Bibliographiques

- [1] **Roux. f**, 1991, Les orages météorologiques des grains, de la grêle et des éclaires, Paris : Payot pp.354
- [2] **Roche. M**, 1963, Hydrologie de surface, Edition Gauthier-Villars, Paris.
- [3] **Marc Morel**, 1999, Acquisition et constitution d'une information hydrologique de base, Edition H.G.A.Bucarest.
- [4] **Alexis BERNE**, 2002, Précipitations méditerranéennes intenses en milieu urbain : interaction physique et analyse statistique de mesures à fines échelles spatio-temporelles, impact de la variabilité spatialesur la réponse de bassin versant.
- [5] **Thillet J.J**, 1997, la météo démontage, les guides du club Alpin Français, Seuil, pp 189.
- [6] **Riverain J-C**, 1997, Les épisodes orageux à précipitations extrêmes sur les régions méditerranéennes de la France, Phénomènes remarquables 4, Météo France.
- [7] **Harrang C**, 1970, La mesure des précipitations monographiques N°78 de la météorologie nationale.
- [8] **SUMMER G**, 1988, Precipitation process and analysis, John Wiley & sons, 455 p.
- [9] **GUYOT G**, 1997, Climatologie de l'environnement, Masson, 507 p.
- [10] **Le maitre. F**, 2002, Recensement des tests de détection de tendance ou de rupture adapté à l'analyse se stationnarité des régimes de crues en France, Rapport de fin d'études, TPE, CEMAGREF.
- [11] **Mebarki. A**, 1982. Le bassin du Kébir Rhumel .Ressources en eau et aménagement en Algérie. Thèse3ème cycle, université de NancyII.303p.
- [12] **Khedidja Abdelhamid.**, 2016. Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère de Tadjnanet –Chelghoum Laid et impact de la pollution des eaux de surface sur les eaux souterraines. Thèse doctorat en sciences hydraulique, Université Batna 2, 192p.
- [13] **Durand. D.M**, 1969. Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie .Serv.géol .Algérie, N.S., Bull. n°39, p.89- 3.
- [14] **VILA. J.M**, 1980. La chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat- es -sciences, Université Pierre et Marie curie, Paris VI.

- [15] **DUROZOY.G**, 1960, Etude géologique de la région de Châteaudun du Rhumel.
- [16] **VILLA. J.M**, 1977, Carte géologique de Sétif au 200 000ème, avec notice explicative, Service de la carte géologique d'Algérie.
- [17] **MEBARKI. A**, 2005, Hydrologie des bassins de l'Est algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement, Thèse de doctorat d'Etat, Université Mentouri de Constantine, Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire, Département de l'aménagement du territoire, 360 p.
- [18] **Lubes H., Gautier F., Masson J-M., Servat E. et Paturol J-E.**, 1998. Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de l'Ouest non sahélienne entre 1950-1989. *Journal des sciences hydrologiques*, 43(6).
- [19] **Cantat O.**, 2004. Analyse critique sur les tendances pluviométriques au 20ème siècle en Basse- Normandie : Réflexions sur la fiabilité des données et le changement climatique. *Annales de l'Association Internationale de Climatologie*, Vol I, 11, p. 13-31.
- [20] **Meddi M. & Hubert P.**, 2003. Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. In: *Hydrology of the Mediterranean and semiarid regions*, IAHS publication, n°278, pp 229-235.
- [21] **Lubes-Niel, H., Masson J.M., Paturol J.E., Servat E.** (1998). Variabilité climatique et statistique. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques.- *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 11,3, pp. 383-408.
- [22] **Pettitt, A.N.** (1979). A non-parametric approach to the change-point problem.- *Appl. Statist.* vol. 28, 2, pp.126-135.
- [23] **Servat, E., Paturol J.E., Kouame B., Lubes-Niel H., Ouedraogo M., Masson J.M.** 1997. Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part I: Detailed analysis of the phenomenon in Côte d'Ivoire.- *Journal of Hydrology*, vol. 191, pp.1-15.
- [24] **Hubert, P.** 1993. Change Points in Hydrometeorological Time Series, in *Applications of Time Series Analysis in Astronomy and Meteorology*, Università di Padova. Italy.
- [25] **Hubert, P., Carbonnel J.P.** 1993. Segmentation des séries annuelles de débits de grands fleuves africains.- *Bulletin de liaison du CIEH*, vol. 92, pp.3-10.
- [26] **Buishand, T.A.** 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records.- *Journal of Hydrology*, vol. 58, pp.11-27.

- [27] **Buishand, T.A.** 1984. Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series.- Journal of Hydrology, vol. 73, pp.51-69.
- [28] **Lubes-Niel, H., Masson J.M., Servat E., Paturel J.E., Kouame B., Boyer J.F.** 1994. Caractérisation defluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques : Etude bibliographique.-Rapport interne ICCARE n°3, ORSTOM - Hydrologie.
- [29] **Lee A.F.S. &Heghinian S.A.,** 1977. A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables – a Bayesian approach. Technometrics, vol. 19, n° 4, p. 503-506.
- [30] **McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist,** 1993: The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23, 1993, Anaheim CA, pp.179-186.
- [31] **KACEMI M, SENINA A.,** 2015. Contribution à l'étude hydrologique de la nappe alluviale d'Oued Boukiou (Nord-Ouest Algérien).Mém.Master.Univ.Tlemcen, pp.40-58.