



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE BOUIRA



FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

MEMOIRE PREPARE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE MASTER EN HYDRAULIQUE

OPTION
Génie Hydrotechnique

THEME

*Modélisation hydrologique dans un contexte de la variabilité
climatique dans le bassin d'Isser .*

Présenté par : AZZI Naima

CHIHATI Amina

Encadré par : M^{me} ELMEDDAHI Yamina

Soutenu le/...../.....

Devant le jury :

Président :

Examineurs :

2016/2017

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

A mes parents, qui me sont les plus chers au monde à qui je dois ce que je suis, qu'ils trouvent dans ce site, le fruit de leurs sacrifices consentis pour mon éducation, et l'expression de mon amour et de ma gratitude pour la bienveillance avec laquelle ils m'ont toujours entouré que Dieu leur préserve longue vie et bonne santé.

A mon grand frère Hakim, pour ces conseils, son soutien matériels et moral et pour tous ses efforts et les faveurs qu'il m'a accordé et qui m'ont donné la volonté de réaliser et de finir ce travail.

A Mes très chers frères : Hacem et sa femme et Ahmed que j'aime beaucoup ;

A Mes très chères et adorables sœurs : Houria, Louiza et leurs maris, Djamilia, Fatiha et Farida qui n'ont jamais cessé de m'encourager ;

A mes nièces Ahlam et Maram

A toute ma famille du petit au grand

A ma merveilleuse et exemplaire binôme AMINA, avec laquelle j'ai partagé les bons moments

A la promotion Hydraulique 2016/2017.

M'ont connu de près ou de loin.

Azzi Naima

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mon cher mari Ali et mon adorable enfant « Farouk ».

A mes parents, ma mère et mon père que dieu me les garde

A ma sœur et mes frères.

A mon binôme et amie Naima.

A ma chère amie et collègue Chahrazed.

A ma belle famille.

C. Amina

Remerciements

D'abord nous remercions le bon Dieu qui nous a donné la fois, la santé, la chance, le courage et la volonté pour terminer ce modeste travail

Nous désirons souligner de façon particulière Nos familles qui nous ont offert toujours un appui sûr par leurs soutiens et leurs encouragements

On leurs doit un grand respect.

Nous tenons à présenter nos plus vifs remerciements :

- ✓ A Notre collègue de travail Mr Sayah Malik (Chef de Bureau au niveau de la DRE de Bouira, service AEP) pour ses directives et conseils et pour son aide ;
- ✓ A Mr Amokrane Mohamed (Chef de service d'AEP de la DRE de Bouira) ;
- ✓ A Mr Djafer Khoudja Hakim pour son orientation et ses conseils.
- ✓ A Notre promotrice Madame Elmeddahi Yamina pour sa contribution à l'élaboration de ce mémoire, pour ses appréciations et ses remarques ;
- ✓ Aux membres de jury pour leur acceptation d'examiner et juger notre travail ;

À tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail mais qui ne sont pas cités ici, nous les remercions tous chaleureusement.

Amina et Naima

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Les principales caractéristiques des stations pluviométriques de la zone d'étude.....	17
Le Tableau II.1 : risques d'erreur des tests d'hypothèses.....	20
Tableau III.1: Caractéristiques des précipitations à l'échelle annuelle.....	35
Tableau III.2 : Caractéristiques des précipitations à l'échelle saisonnière.....	36
Tableau III.3 : Répartition saisonnière des précipitations.....	37
Tableau III.4 : Résultats des tests statistiques appliqué aux pluies moyennes annuelles....	45
Tableau III.5 : Résultats des tests statistiques appliqué aux précipitations saisonnières....	54
Tableau III.6: variation des moyennes saisonnières avant et après rupture.....	62
Tableau III.7: variation des moyennes mensuelle avant et après rupture.....	65

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Localisation de la zone d'étude.....	4
Figure I.2 : Plan de situation du BV Isser.....	5
Figure I.3. Réseau Hydrographique du BV Isser.....	9
Figure I.4 : Modèle Numérique de la Topographie du bassin versant Isser.....	11
Figure I.5 : Carte lithologique du bassin versant Isser.....	15
Figure I.6: L'emplacement des stations pluviométriques au niveau du bassin versant Isser.....	18
Figure II.1 : la statistique de Mann – Whitney	26
Figure III.1 : Répartition saisonnière des précipitations.....	38
Figure III. 2: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie dans la station de Beni Slimane.....	40
Figure III. 3: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie dans la station de Bsibsa.....	40
Figure III. 4: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie dans la station de Djebahia.....	41
Figure III. 5: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie dans la station de Khabouzia.....	41
Figure III. 6: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie dans la station de Lakhdaria.....	42
Figure III. 7: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie dans la station de Souk El Khmiss.....	42
Figure III. 8: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie la station de Souagui.....	43
Figure III.9: Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de Beni Slimane.....	46
Figure III.10 : Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de bsibsa.....	47

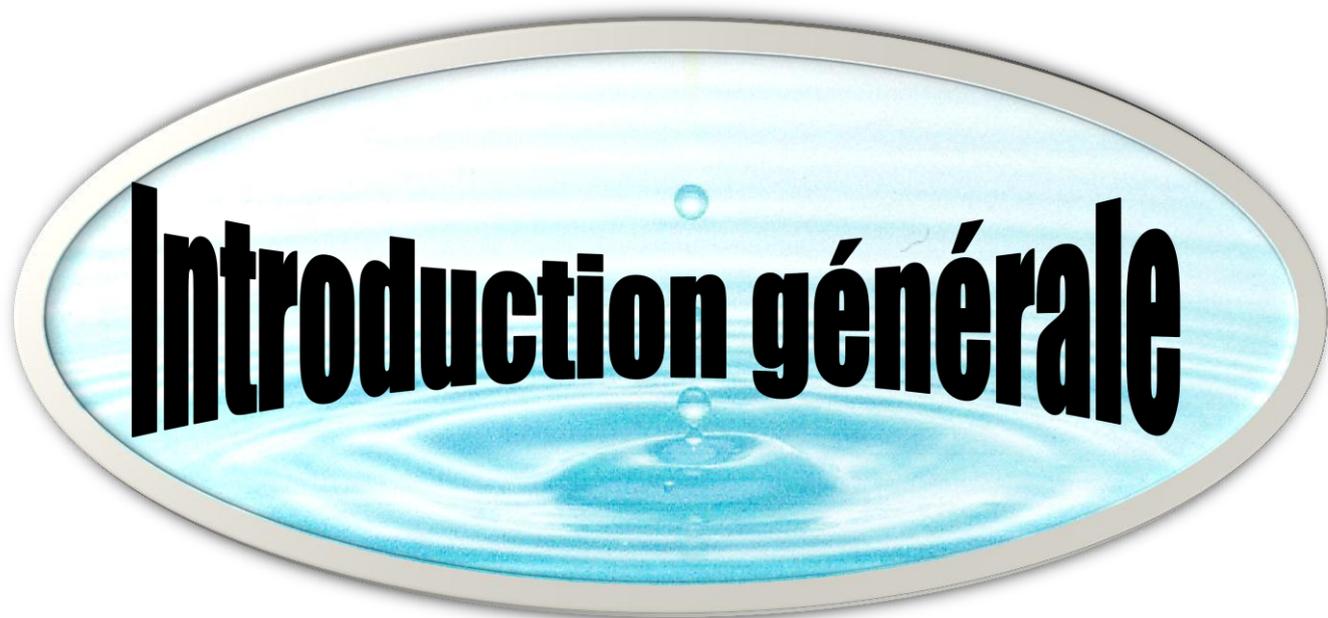
Figure III.11: Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de djebahia.....	48
Figure III.12: Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de khebouzia.....	49
Figure III.13: Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de lakhdaria.....	50
Figure III.14: Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de Souk El Khemiss.....	51
Figure III.15: Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de Souagui.....	52
Figure III.16 : Résultats du test de Buishand a la pluviométrie saisonnière (Automne)..	55
Figure III.17 : Résultats du test de Petit a la pluviométrie saisonnière (Automne).....	56
Figure III.18 : Résultats du test de Buishand a la pluviométrie saisonnière (hivers).....	57
Figure III.19: Résultats du test de Petit a la pluviométrie saisonnière (hivers).....	58
Figure III.20: Résultats du test de Buishand a la pluviométrie saisonnière (Printemps).	59
Figure III.21: Résultats du test de Petit a la pluviométrie saisonnière (Printemps).....	60
Figure III.22: variation des moyennes saisonnières avant et après rupture.....	63
Figure III.23: variation des moyennes mensuelles avant et après rupture.....	66

Sommaire

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE	3
Introduction :.....	3
I.1. Situation géographique:.....	3
I.1.1. Morphologie du bassin :	6
I.2. Réseau hydrographique :.....	6
1.1.1.1 Forme du bassin versant :.....	6
1.1.1.2 Rectangle équivalent :	6
I.3. Etude du relief (Topographie) :.....	10
I.3.1. Le Haut Isser :	10
I.3.2. Le Moyen Isser :.....	10
I.3.3. Le Bas Isser :	10
I.4. Végétation :.....	12
I.4.1. Le Haut Isser :	12
I.4.2. Le Moyen Isser :.....	12
I.4.3. Le Bas Isser:	12
I.5. Géologie:.....	12
1.5.1. Le Haut Isser :.....	13
1.5.2. Le Moyen Isser :	13
1.5.3. Le Bas Isser :	14
I.6. Climat de l’oeud Isser :.....	16
I.7. Présentation des stations pluviométriques :	16

CHAPITRE II : METHODES DE DETECTION DE RUPTURES DANS LES SERIES CHRONOLOGIQUES	19
II.1 Introduction :	19
II.2.Définition de la variabilité climatique :	19
II.3.Analyse statistique :	20
II.4.Test paramétriques et non paramétrique, tests robustes et tests libres :	21
II.4.1.Tests robustes et tests libres :	21
III.4.2.Test paramétrique :	22
III.4.3.Test non paramétrique :	22
II.5. Homogénéisation des données climatiques, détection des erreurs et comblement des lacunes :	23
II.5.1. Test d'homogénéité de Mann-Whitney :	23
II.5.2. Détection des erreurs :	23
II.5.3.Comblement des lacunes des séries pluviométriques :	24
II.6. Indice de déficit de pluie (indice de Nicholson).....	24
II.7. Présentation des tests de rupture :	25
II.7.1 Test de Pettitt	25
II.7.2 .Statistique de Buishand :	26
II.7.3. Procédure de segmentation de Pierre Hubert :	28
II.7.4. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian :	29
II.8. Conditions d'application.....	31
II.9.Conclusion	31
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	33
III.1.Introduction :	33
III.2.Présentations des caractéristiques pluviométriques des stations étudiées :	33
III.3.Critique et traitement des données utilisées :	33
III.4.Caractéristiques des précipitations à l'échelle annuelle :	34

III.4.1.Variation spatio-temporelle de la pluviométrie :	34
III.5.Caractéristiques des précipitations à l'échelle saisonnière :	35
III.6.Répartition saisonnières des précipitations :	37
III.7. Evolution des précipitations	39
III.8. Application des méthodes de détection de rupture:	44
III.8.1.Ruptures annuelles :	44
II.8.2.Ruptures saisonnière :	53
II.9.variation des pluviométries avant et après rupture :	61
III.9.1.variation saisonnière :	61
III.9.2.variation mensuelle :	64
III.10.Conclusion :	67
CONCLUSION	68



INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

L'importance de l'eau en tant que support de vie et de facteur régulateur du développement d'un pays est universellement reconnue. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire que l'humanité accorde une grande importance à la manière dont ils la gèrent.

En Algérie, l'eau revêt un caractère stratégique du fait de sa rareté en eau souterraine ou superficielle, de son cycle naturellement perturbé et déséquilibré, de sa répartition inégale sur le territoire et de sa difficulté d'exploitation. Cette situation impose une gestion rigoureuse dans l'exploitation des réserves pour atteindre la satisfaction des besoins dans un horizon lointain.

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les populations que pour les écosystèmes. Les questions de changement et de variabilité climatiques sont placées depuis quelques temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde.

Dans notre travail nous avons entamé une étude de variabilité climatique dans le bassin versant d'Isser Pour déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique ,afin d'y aboutir, nous avons fait appel à des tests de détection de rupture qui nous ont permis d'identifier les ruptures et de les localiser dans le temps.

Notre étude repose sur une base de données constituée de sept stations pluviométriques réparties sur toute la région d'étude et qui possèdent des séries de mesures de période différente selon la station (entre 1923 et 2015).

Pour cela, nous avons subdivisé notre travail après une introduction générale, en trois chapitres dont :

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

Ce chapitre est réservé à la présentation du bassin versant ; la situation géographique, la structure géologique, le sol et végétation.....

INTRODUCTION

Chapitre II : méthodes de détection de ruptures dans les séries chronologiques

Ce chapitre explique comment les méthodes basées sur des tests statistiques réalisent l'identification et la modélisation des changements des paramètres statistiques liés à plusieurs séries chronologiques

Chapitre III : résultats et discussion

Ce chapitre est consacré en premier lieu à l'application des tests statistiques sur les série pluviométrique a plusieurs échelle, pour détecter les changements (rupture), par la suite interprétions des résultats obtenus.

Enfin une conclusion générale.



Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**Introduction :**

Dans ce chapitre, Nous donnons la situation géographique de la zone d'étude, les caractéristiques générales du bassin versant, l'aspect climatologique et géomorphologique de la région, et un aperçu sur la géologie de la zone d'étude.

I.1. Situation géographique:

Le bassin versant de l'oued ISSER est situé dans le Nord Algérien, limité administrativement au Nord Est par la daïra de Drâa El Mizane, au Sud Est par la wilaya de Bouira, au Sud par la daïra d'Ain boucif au Sud-Ouest par la daïra de Ksar El Boukhari et la wilaya de Médéa, au Nord-Ouest par les dairas de Tablât et Larbâa et au Nord par la mer Méditerranée. Comme le montre la figure (I.1) (Abdelhafid, 2014)

Le bassin versant de l'Oued Isser il porte le numéro 09, occupe une superficie de 4 149 Km², et une altitude moyenne de 700m, le versant en amont du site du barrage de koudiat Acerdoune est de 2.791km² ; son altitude moyenne de 805m. L'altitude de la ligne de partage des eaux, varie entre 1.200 et 1.700m (Oulhaci ,2016).

Le cadre géographique dans lequel se développe le bassin versant est constitué de l'atlas tellien algérois au Nord qui culmine à 1130 m au Djebel Tamesguida et de la chaîne des Bibans au Sud qui culmine à 1810 m au Djebel Dira. Ces deux chaînes sont séparées par la plaine des Aribis d'altitude 550 m.

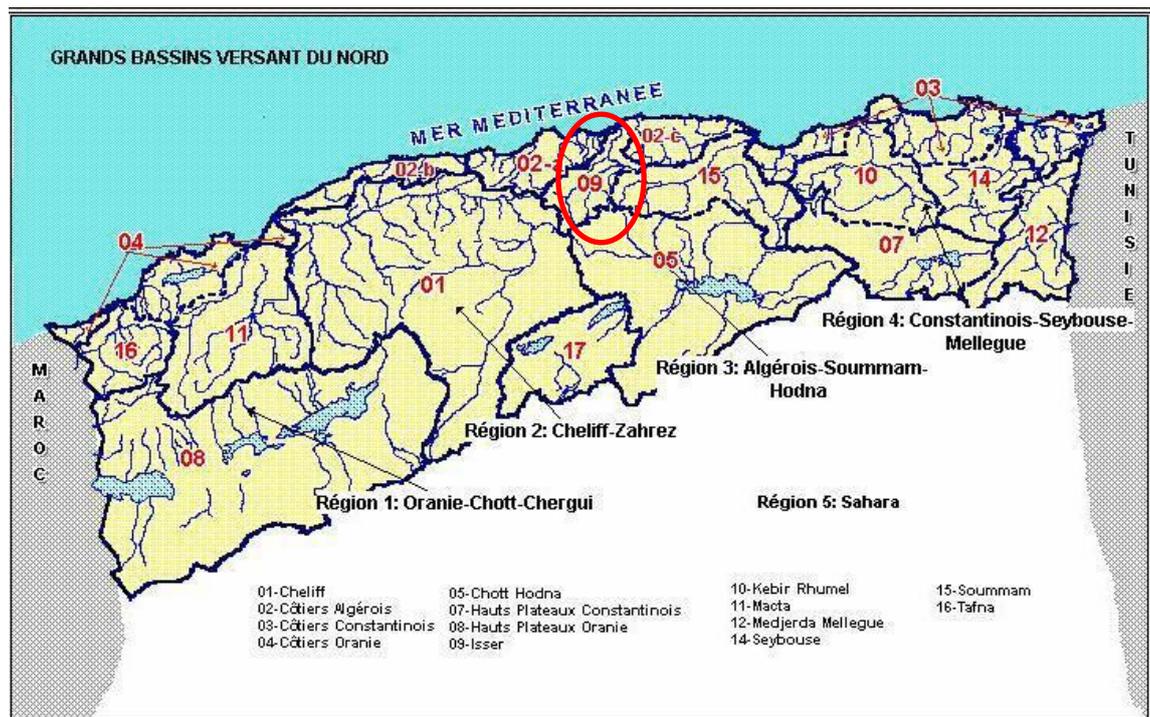


Figure I.1 : Localisation de la zone d'étude.

(Bellout_,2015)

Le cours d'eau principal parcourt une distance de 98,2 km.

En relation avec le contexte géologique et structural, on distingue le Haut et Moyen Isser d'une part, et le Bas Isser d'autre part.

Bas Isser: il est situé à 60 Km à l'Est d'Alger et limité comme suit:

- ✓ Au Nord par la mer Méditerranée;
- ✓ Au Sud par le contrefort de la dorsale Kabyle et Djebel Ahmed;
- ✓ Au Nord-Est par le Massif de Cap Djinet;
- ✓ A l'Est par les Massifs Raicha et Chender;
- ✓ A l'Ouest par les Massifs de Thénia.

Haut et Moyen Isser: la plaine du Haut et Moyen Isser est limitée comme suit:

- ✓ Au Nord par le Massif de Beni Amrane;
- ✓ A l'Est par l'oligocène de Drâa El Mizane;
- ✓ A l'Ouest par les formations oligocènes du Djebel Bou Zegza (Abdelhafid ,2014)

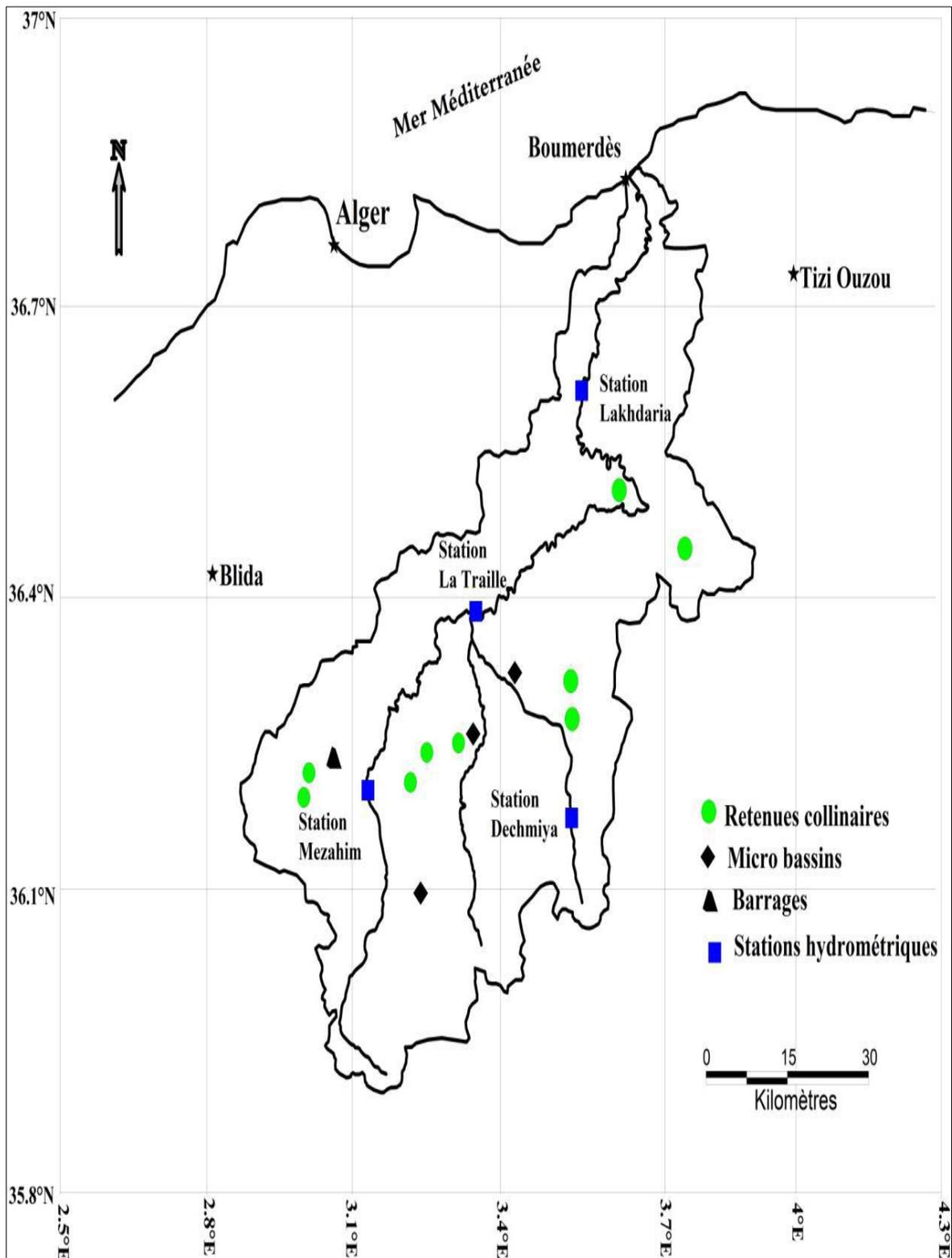


Figure I.2 : Plan de situation du BV Isser.

(Abdelhafid, 2014)

I.1.1. Morphologie du bassin :**1.1.1.1 Forme du bassin versant :**

On définit la configuration géométrique d'un bassin versant par un coefficient de compacité de GRAVELIUS K_c qui se traduit par le rapport entre le périmètre du bassin et la circonférence du cercle ayant la même superficie de ce bassin. Il est défini par la formule si après :

$$K_c = 0.28 \times P / S^{1/2} \dots \dots \dots I.1$$

Avec:

P : périmètre du bassin en km (P = 270 Km)

S : surface du bassin en km² (S = 4149 km²)

Le bassin versant de oued Isser a un $k_c = 1.17$; bassin versant allongé

1.1.1.2 Rectangle équivalent :

La notion du rectangle équivalent permet de comparer entre deux bassins versant du point de vue de leur caractéristiques morphogénétiques en matière d'écoulement superficiel. C'est une transformation géométrique, ou le bassin devient un rectangle d'une longueur L, les courbes de niveau sont des droites parallèles à la largeur l du rectangle qui représente l'exutoire du bassin :

$$P = 2 (L + l) = K_c \cdot S^{1/2} / 0,28 \dots \dots \dots I.2$$

Avec

$$S = l \cdot L \dots \dots \dots I.3$$

Pour notre bassin versant Isser, on trouve : $l = 36.60$ Km ; $L = 98.20$ Km

I.2. Réseau hydrographique :

L'Oued Isser est le réceptacle des eaux du versant sud du massif des Khachna et de l'Atlas blidéen. Toutes les rivières en amont, ainsi que tous les ruisseaux, s'y jettent inlassablement.

À Draâ Tabel dans les Béni Ostman, à 420 mètres d'altitude, il prend le nom de l'oued Isser, qu'il conserve jusqu'à son embouchure dans la mer Méditerranée. Ses sources partent d'un grand nombre de points, presque toutes sur les flancs de l'immense plateau des Béni Slimane, plateau situé entre Médéa et Sour El Ghozlane.

Les trois principales rivières qui concourent à la formation de l'Oued Isser sont:

La première, du côté de Médéa : **L'Oued Malah**, formée aussi par trois autres petites rivières :

- ✓ **L'Oued Ladrech**, dont la source est dans les Ouled Trif, du côté de Médéa ;
- ✓ **L'Oued El Hammam**, qui prend sa source dans les Ouled Malel, occupe le centre ;
- ✓ **L'Oued Meleh**, qui prend sa source à Si Mohamed Ghogloth ;

Le deuxième cours d'eau porte le nom de **l'Oued El Meleh** ou **Oued Yaggou**; sa source principale est dans les Ouled Mouby, à Aïn Nar. Ce cours d'eau se situe entre la précédente et celle qui suit ;

Et la troisième **Oued Zegkrouat**; source principale près d'Sour El Ghozlane, à Boud-Saël, dans les Ouled Ferah.

Toutes ces cours d'eau reçoivent un certain nombre des affluents, de ruisseaux, qui portent différents noms, tantôt celui d'un marabout, tantôt celui du territoire, souvent ils fournissent des quantités assez considérables d'eau, surtout pendant la saison d'automne et d'hiver.

Affluents :

Plusieurs cours d'eau qui se jettent dans l'Oued Isser.

- ✓ L'Oued Isser est nommé l'Isser Oriental, et il est formé par la réunion de deux cours d'eau, l'Oued Moda et l'Oued Zaroua, dont les eaux descendent du Kef Lakhdar et du Djebel Dira, entre Médéa et Aumale ;
- ✓ L'Oued Moda coule du sud au nord-est ;
- ✓ L'Oued Zaroua coule du sud au nord-ouest ;

Ces deux cours d'eau arrosent l'une et l'autre le plateau des Béni Slimane, puis, sous le nom d'Oued Isser, se réunissent au sud-est de Tablat.

À partir de ce point, l'Oued Isser se dirige vers le nord-est et, après 50 kilomètres de parcours, tourne au nord-ouest jusqu'à Lakhdaria, remonte au nord, passe près par Ammal et de Béni Amrane et de Souk-el-Haâd, puis incline à l'ouest jusqu'au-dessous de Bordj Ménaïel d'où il va, presque en ligne droite, se jeter dans la mer à l'ouest du cap Djinet, après un parcours de plus de 200 kilomètres (figure I.3)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Oued_Isser

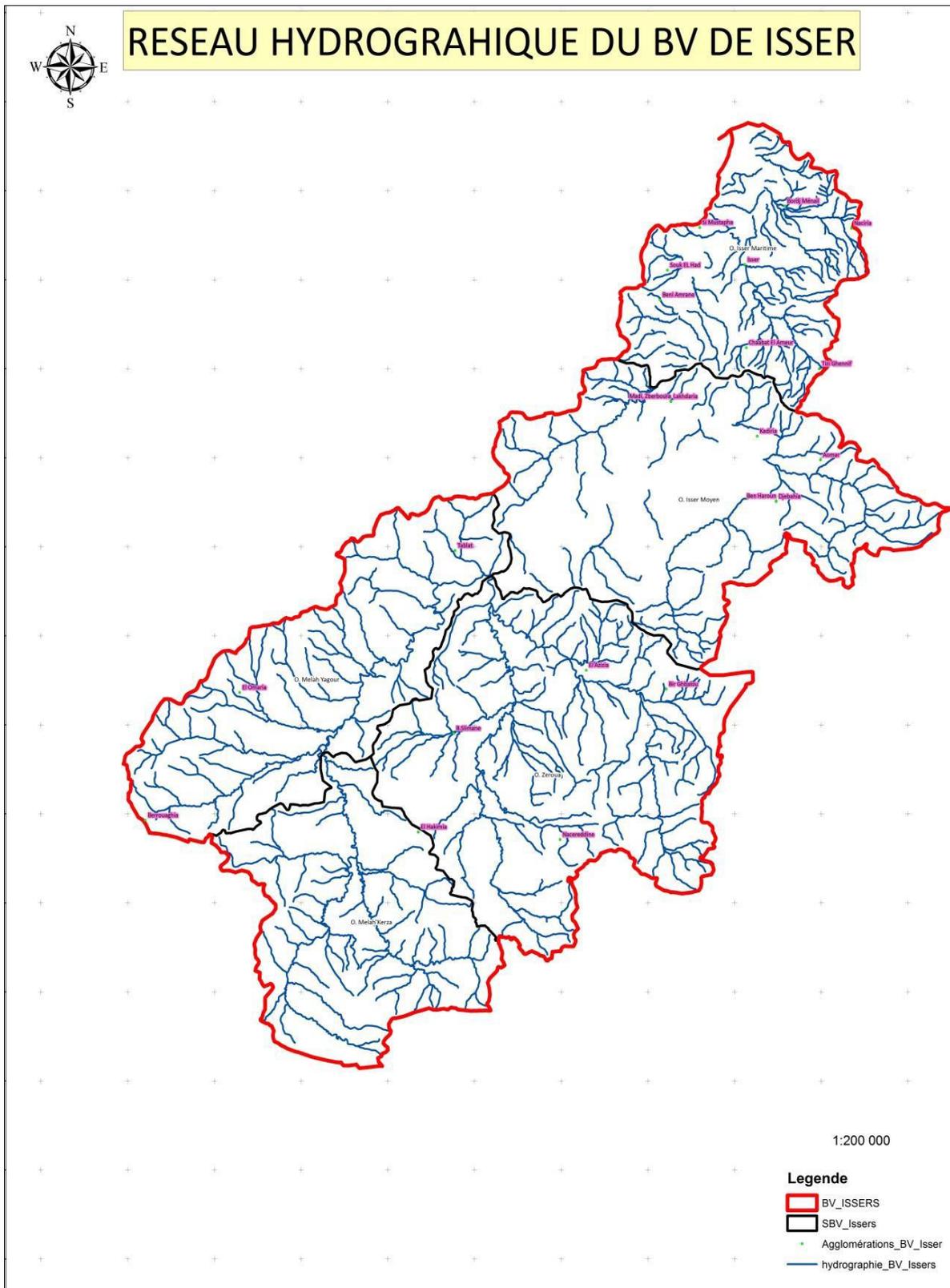


Figure I.3. Réseau Hydrographique du BV Isser.

(Abdelhafid, 2014)

I.3. Etude du relief (Topographie) :**I.3.1. Le Haut Isser :**

Le haut ISSER dont les lignes de crête se situent entre 1200-1800 m à une altitude moyennes 843 m, 50% est comprise entre 700-1100 m

Il présente deux arrêtes principales orientées, Sud – Ouest Nord Est, l'arrête Nord-Ouest est moins élevée son altitude passant de 1240 m au niveau de KEF-R'MEL à 1971 à Bou mali

L'arrête Sud –Ouest, est plus élevée passe de vote 1460m a KEF LAKHDAR CHERGUI à la cote 1810 au BJEBLE DIRA point culminant du bassin.

I.3.2. Le Moyen Isser :

Le relief est plus au moins accentuée, il se situe entre l'altitude 900 à la station LAKHDARIA à 1265m au DJEBLE FOUUDA

I.3.3. Le Bas Isser :

Les altitudes du bas ISSER sont comprises entre 0-1031 sur la bordure du massif occidentale de DJURDJURA, il présente une topographie accentuée comme il est indiqué dans la figure I.4 (Abdelhafid, 2014).

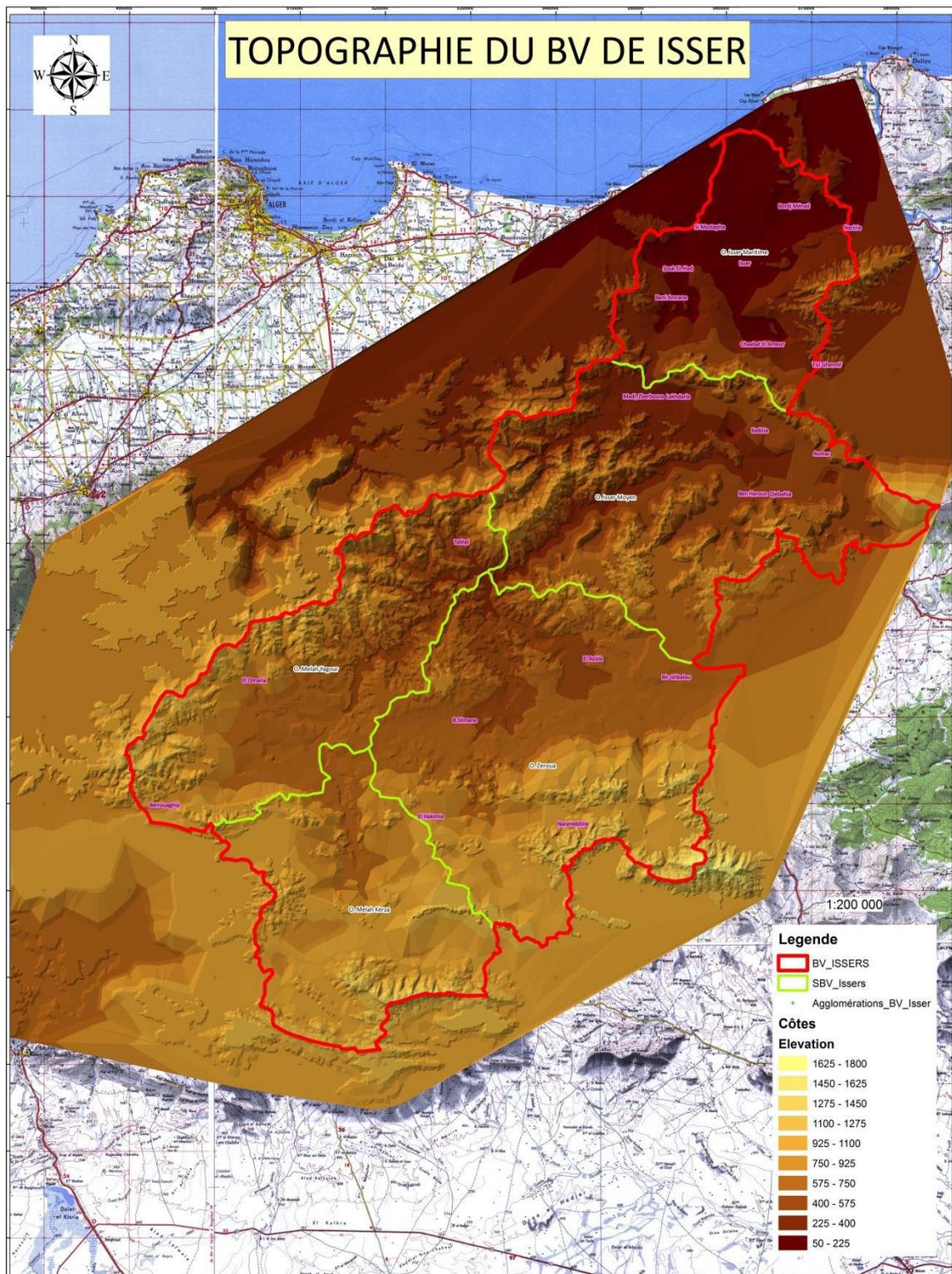


Figure I.4 : Modèle Numérique de la Topographie du bassin versant Isser

(Abdelhafid, 2014)

I.4. Végétation :**I.4.1. Le Haut Isser :**

La caractéristique la plus apparente en étudiant le bassin est l'absence d'une couverture végétale arbustive dense, ce qui favorise le phénomène de l'érosion et provoque des dégâts tels que, les pertes des terres cultivables et l'envasement des ouvrages hydrauliques existants au niveau de ce bassin. Les collines marneuses de haut ISSER sont couvertes des cultures céréalières, maraîchère et fourragères, on y trouve aussi, mais en petit partie de l'arboriculture fruitière et les versant abruptes sont dénudés ou couverts de broussailles clairsemées, on y trouve pin d'alpe et le chêne vert.

I.4.2. Le Moyen Isser :

Occupent la quasi-totalité des terres agricoles de moyen Isser, Les plaines, tout en long d'oued ISSER est caractérisée par la dominance des arboricultures fruitières :

Agrumes, espèces à noyaux et a pépins, olivier et vigne de table ces cultures occupent actuellement plus de 40 % de la superficie cultivée, Les collines sont occupées par la céréaliculture et l'arboriculture.

On note que le moyen ISSER manque d'un couvert végétal forestier dense, seul subsistes les forets greneuses au sud du bassin, mais souvent dégradées

I.4.3. Le Bas Isser:

La répartition de végétation dans le bas Isser est dominée par les cultures annuelles. Sur la plaine nous notons la présence de la vigne, des fourrages des céréales, des légumes secs et du maraichage. Sur les collines, on trouve essentiellement la pratique de la céréaliculture, des fourrages et de la culture melon. Sur les montagnes et les piémonts, c'est la zone où prédomine la culture d'olives et d'autres espèces forestières telles que le peuplier, le chaine liège et le pin. (BOUCHEK .IKHLEF, 2015)

I.5. Géologie:

Pour l'étude géologique, on se limitera à une description lithologique du bassin versant afin de connaître le degré d'broyabilité et de dégradation.

1.5.1. Le Haut Isser :

Le haut ISSER est constitué à 60% de formation marneuse et marno-calcaire appartenant au crétacé inférieur, moyen et supérieur.

Les argiles et sable rouge de l'aquitaniens continental occupent 13 % du bassin

On y trouve également des alluvions en terrasses du quaternaire continental, ces formations occupent 12% de la surface du bassin

Des époinçements triasiques dans le crétacé supérieur ont provoqué la salure des eaux de l'oued Mellah.

Ces marnes qui constituent 69 % de la superficie totale, se fissurent et craquellement par déshydratation pendant la saison sèche, et elles s'altèrent sur plusieurs centimètre en formant un tapis des gravillons mêlé de poussière argilo- calcaire qui entraînent en débâche aux premières averses orageuses de la saison de pluie, ces formations sont assez facilement érodables.

1.5.2. Le Moyen Isser :

La description lithologique du moyen Isser est extraite de la carte de géologie

Les schistes argileuses, les marnes grise et schisteuses avec des couches de grés occupent 70.05 % du moyen ISSER ces formations appartiennent au crétacé inférieur, moyen et de supérieur.

On rencontre l'oligocène marin dont les formations sont présentées par des conglomérats, grés et marnes constituent 13.41% de superficie totale de bassin.

Le miocène inférieur est représenté par des grés et marnes, ces formations constituent 4,04% du bassin.

Les alluvions du quaternaire continentales occupent 6,90% de la superficie totale.

On note la présence des traces de trias marin ou lagunaire formant 0,6 % du bassin.

Le moyen ISSER présent en général des formations meubles, facilement érodable.

1.5.3. Le Bas Isser :

Le bas ISSER constitué de 43.15% des formations marneuses des grés et des conglomérats, appartenant à l'oligocène marin, Le miocène inférieur marin dont les formations sont des grés et des marnes constituant 14,91% du bas ISSER

Les schistes cristallins et micacés sont respectivement des schistes à chlorite et à séricine et quartz à biotite, formant 19,84% de la superficie totale.

Le crétaé inférieur occupe 2,11 % du bassin, ces formations sont représentées par des schistes argileux, des marnes grises et des grés, les alluvions de quaternaire continentales occupent 18.6 % du bas Isser.

On y trouve des granites formant 1.93 % de la superficie totale Ces formations dure conglomérats et granites donnent au bas ISSER. Il est moins érodables en comparant avec le haut Isser (Abdelhafid ,2014) (Belkacem, 2011).

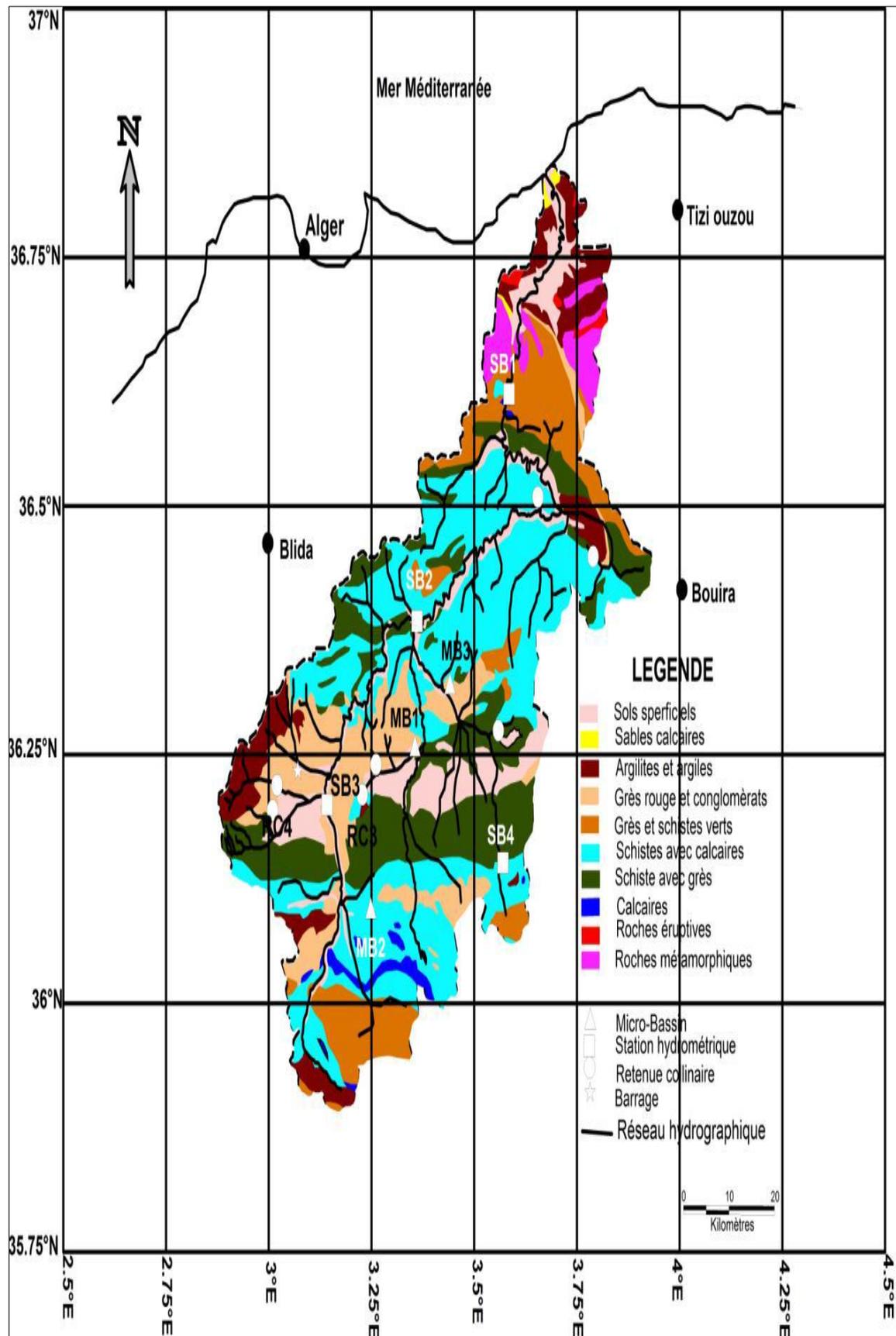


Figure I.5 : Carte lithologique du bassin versant Isser.

I.6. Climat de l'oued Isser :

La région d'oued Isser est soumise au climat de l'atlas tellien, présentant des degrés de continentalité qui croît très rapidement en éloignant de la mer.

La température moyenne annuelle décroît de 17 °c à 10 °c par effet orographique, l'amplitude moyenne mensuelle passe de 16°C à 20 °C du Nord au sud de cette région du fait principalement des minima en hiver.

On peut observer des gelées blanches, pendant 1 à 50 jours par an de novembre en mars et la neige persiste plus de 20 jours par an sur les cimes au-dessus de 100 m d'altitude

Et il y a environ 15 à 30 jours de siroco par an (Belkacem, 2011)

I.7. Présentation des stations pluviométriques :

Nous nous intéressons par cette étude aux données pluviométriques dans le bassin versant de l'Oued Isser. Ces dernières sont celles issues de la banque de données de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H.), organisme responsable du réseau hydro pluviométrique en Algérie.

Nous disposons cinq (07) stations pluviométriques en fonctionnement représentant le bassin versant Isser. Les principales caractéristiques de ces stations sont résumées dans le tableau **I.1**

L'emplacement géographique de ces stations pluviométriques est illustré dans la figure **I.6**

Tableau I.1 : Les principales caractéristiques des stations pluviométriques de la zone d'étude.

Code	Station	Période d'étude	X	Y	Z
090401	Khabouzia	1969-2015	557.2	322.65	600
090402	Souk El Khemis	1969-2011	584	343.4	782
090403	Djebahia	1923-2013	594.8	353.45	320
090104	Souagui	1973-2011	548.95	312.4	810
090302	Beni Slimane	1973-2011	557	322	600
090419	Bsibsa	1969-2015	570.25	354.5	820
090502	Lakhdaria Gorges	1973-2011	579.3	370	50

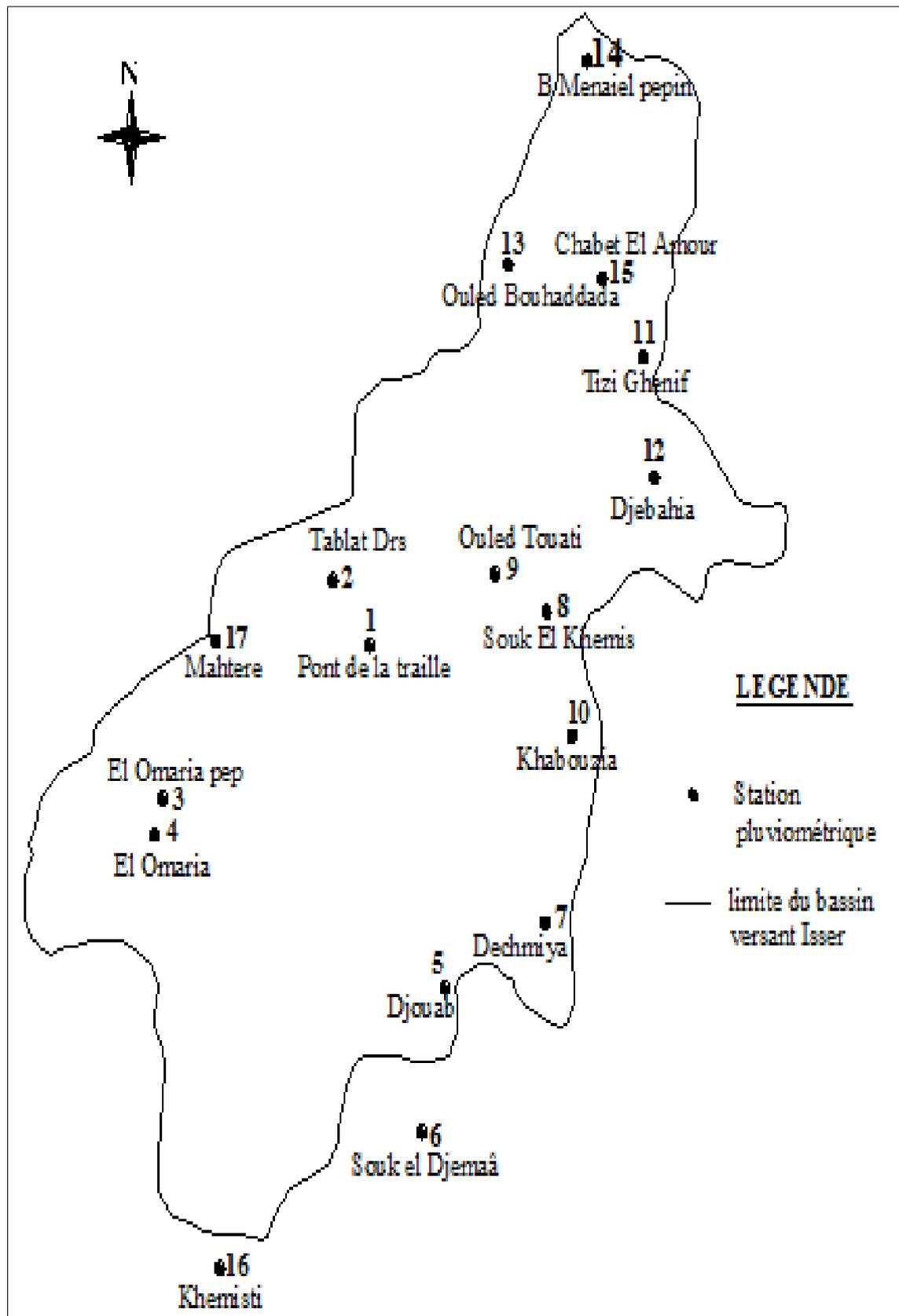


Figure I.6: L'emplacement des stations pluviométriques au niveau du bassin versant Isser.



**méthodes de détection de
ruptures dans les séries chronologiques**

CHAPITRE II : METHODES DE DETECTION DE RUPTURES DANS LES SERIES CHRONOLOGIQUES

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons quelques méthodes de détection de rupture souvent utilisées dans les séries météorologiques.

Ces méthodes permettent principalement d'effectuer l'identification et la modélisation des changements des paramètres statistiques liés à de longues séries annuelles et mensuelles des précipitations enregistrées au niveau des différentes stations de la région d'études.

En premier lieu, nous commencerons par présenter la méthode de test de Pettitt.

En second lieu nous présenterons un aperçu sur la méthode de statistique de Buishand, cette méthode est généralement utilisée pour effectuer un test bilatéral de rupture en moyenne à un instant inconnu.

Par la suite nous présenterons La troisième méthode qui correspond à la méthode basée sur la procédure de segmentation de Hubert qui est adaptée à la recherche des multiples changements de moyenne dans la série.

Finalement nous exposerons, la quatrième méthode qui est la méthode bayésienne de Lee et Heghinian, qui est basée sur une approche paramétrique permettant ainsi de confirmer ou d'infirmer l'éventualité d'un changement de moyenne dans la série chronologique.

II.2. Définition de la variabilité climatique :

La variabilité d'un phénomène désigne le changement de celui-ci. Cette variabilité est souvent prévisible ou connue à l'avance. La variabilité climatique se définit comme étant la variation de l'état moyen du climat à des échelles temporelles et spatiales. Autrement dit, c'est la variation naturelle intra et interannuelle du climat. Elle est une caractéristique inhérente du climat qui se manifeste par les différences entre les statistiques de long terme des éléments climatiques (pluie, température, humidité, durée des saisons) calculées pour des périodes différentes. La variabilité du climat est souvent perçue à travers l'irrégularité des paramètres climatiques dans leur évolution (Bakari SANKARA 2010).

De manière générale, on peut considérer qu'il existe deux grands types de non stationnarité à suivre pour les variables hydro-climatologiques :

1. Changement de la moyenne générale de la série temporelle;

2. Changement de la variance (diminution ou augmentation) de la série temporelle.

II.3. Analyse statistique :

En général nous disposons d'échantillon de taille réduite, à partir desquels nous voulons généraliser certaines conclusions. Pour effectuer cette généralisation, on doit faire certaines hypothèses et évaluer les risques d'erreurs dus à une information incomplète.

Pour vérifier les hypothèses on fait recours à des tests statistiques qui se basent sur les étapes suivantes :

1. Trancher entre l'hypothèse nulle H_0 qui suppose que la loi de répartition des observations remplit certaines conditions bien définie et l'hypothèse alternative H_1 qui affirme qu'au contraire, tout ou une partie de ces conditions sont différents de celle de l'hypothèse nulle. Quatre choix de décision sont possibles comme l'indique le Tableau II.1

Le Tableau II.1 : risques d'erreur des tests d'hypothèses

		Décision	
		On accepte H_0	On rejette H_0
Réalité	H_0 vraie	Choix correct	Erreur de type I de probabilité noté α
	H_1 fausse	Erreur de type II de probabilité noté β	Choix correct

2. Choix de la statistique du test (variable de décision) qui doit avoir une distribution connue sous l'hypothèse H_0 .

3. Choix de la valeur de risque de première espèce α , ce choix est arbitraire mais on emploie la plupart du temps les seuils de signification $\alpha=0,05$ (résultat significatif) $\alpha=0,01$ (hautement significatif),

4. Détermination de la région critique qui représente un intervalle regroupant $(1 - \alpha)\%$ des valeurs que peut prendre la statistique du test si l'hypothèse H_0 est vraie α .

5. Calcul de la valeur expérimentale de la statistique;

6. Conclusion, rejet ou validation de l'hypothèse nulle, si la valeur de la statistique pour un échantillon observé se situe en dehors de la région d'acceptation, on considère que sa valeur est peu plausible et donc que l'hypothèse H_0 est fausse

7. Éventuellement, calcul de La valeur $(1-\beta)$ qui s'appelle la puissance du test, cette puissance est liée à plusieurs facteurs :

-Le test lui-même, les tests paramétriques appliqués dans de bonnes conditions sont les plus puissants;

- La taille de l'échantillon, plus l'échantillon est grand et plus la puissance est grande.

- Le risque «plus ce risque est faible et plus faible est la puissance »

II.4. Test paramétriques et non paramétrique, tests robustes et tests libres :

Pour qu'un test soit valable, il faut que certaines conditions soient réalisées, ces conditions d'application sont propres à chaque test.

II.4.1. Tests robustes et tests libres :

Un test est dit robuste s'il est insensible à des petits écarts sur les hypothèses pour lesquelles il a été optimisé. Il y a deux sens au terme « petit », de petites variations sur toutes les données, ou des écarts importants sur un petit nombre de données. Parmi les tests robustes, on appelle tests libres les tests qui ne supposent aucune distribution particulière pour les données.

III.4.2. Test paramétrique :

Un test paramétrique est un test dont la statistique est issue de l'un des paramètres de la distribution des données à tester. Il requiert généralement un modèle à fortes contraintes : normalité des distributions, égalité des variances.

III.4.3. Test non paramétrique :

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.

Les tests non paramétriques sont libres. Ces tests sont généralement simples d'emploi, cela résulte du remplacement des valeurs observées soit par des variables alternatives soit par les rangs.

L'emploi de tests non paramétriques se justifie lorsque les conditions d'application des autres méthodes ne sont pas satisfaites, même après d'éventuelles transformations de variables. Ils sont cependant moins puissants que les tests paramétriques quand leurs conditions sont remplies.

Que le test soit paramétrique ou non, il faut que les données considérées doivent être : aléatoire, identiquement distribuées et indépendante les unes des autres.

L'hypothèse fondamentale de validation est qu'une série temporelle est aléatoire et simple. Un échantillon aléatoire signifie que tous les individus de la population ont la même probabilité d'être prélevés.

Un échantillon simple signifie que le prélèvement d'un individu n'influe pas la probabilité d'apparition des individus suivants (Bigot 2002).

La non vérification du caractère aléatoire et simple d'une série d'observation peut avoir plusieurs causes, parfois simultanément. Ces causes se regroupent généralement en deux catégories :

- Auto- corrélation. Pour le caractère non aléatoire de la série;
- Non-stationnarité. Pour le caractère non simple de la série.

II.5. Homogénéisation des données climatiques, détection des erreurs et comblement des lacunes :

II.5.1. Test d'homogénéité de Mann-Whitney :

Une série de données est dite homogène si les propriétés statistiques de l'erreur de mesure affectant ces données restent invariables sur toute la période d'observation.

Le test de Mann-Whitney est un test non paramétrique qui utilise la série des rangs au lieu de la série des observations. Ce test repose sur les étapes suivantes :

1. Diviser l'échantillon d'origine en deux sous échantillon X et Y ; tel que N1 et N2 sont les tailles de ces deux sous-échantillon où N2 > N1.
2. Constituer l'échantillon X U Y en classant ces éléments par ordre de valeurs croissantes et en associant à chacun d'elles son rang.
3. Calculer la somme des rangs des valeurs issues de l'échantillon X.

$$L = \sum |rang|X \quad (II.1)$$

Mann-Whitney a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95 % si :

$$T < U \left(\frac{\alpha}{2} \right)$$

avec (II.2)

$$T = \left| \frac{K-k}{sk} \right| \text{Où} \quad K = L - \frac{N1(N1+1)}{2} ; \quad k = \frac{N1*N2}{2}$$

U : La variable réduite de Gauss α : Seul de signification

II.5.2. Détection des erreurs :

Pour la détection des anomalies nous avons utilisé le logiciel Hydrolab qui se base sur l'analyse des cumuls des résidus de régression.

Dans la méthode du cumul des résidus, on calcule d'abord la régression entre la série étudiée et la série de référence. On peut alors former la série des résidus (le résidu étant l'écart entre la valeur vraie et la valeur estimée par régression). On effectue ensuite la somme de ces résidus que l'on pointe sur un graphe en fonction du temps. Si la série testée est homogène, la distribution de ces résidus est complètement aléatoire. Par contre, si la série est hétérogène, la courbe présente des portions anormalement croissantes ou décroissantes. Si elle sort d'une ellipse de significativité définie pour un intervalle de confiance donné, on peut conclure qu'une hétérogénéité est détectée à la cassure de la courbe (Laborde 2000)

II.5.3. Comblement des lacunes des séries pluviométriques :

La méthode de comblement proposée par (Laborde 2000), qui permet de combler rapidement et simplement les lacunes avec la partie la plus fiable des données disponibles a été utilisée dans notre étude. De manière succincte, cette méthode consiste à évaluer les valeurs manquantes d'un tableau de données à partir d'Analyses en Composantes

Principales (ACP) effectuées de manière itérative sur celui-ci. Le logiciel HYDROLAB (Laborde and Mouhous 1998) permet d'implémenter cette méthode de comblement des lacunes et de suivre l'évolution des estimations des valeurs manquantes en fonction du nombre d'itérations effectuées.

II.6. Indice de déficit de pluie (indice de Nicholson)

La méthode de l'indice pluviométrique permet de dégager les grandes tendances dans les séries chronologiques et de mieux visualiser les périodes déficitaires et excédentaires à l'échelle annuelle. Cet indice se définit comme une variable centrée réduite selon la formule :

$$I_p = \frac{p - p^-}{\sigma} \quad (\text{III.3})$$

Avec :

p : Pluviométrie de l'année ; p^- : Pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence ; σ : Ecart-type de la pluviométrie interannuelle sur la période de référence.

Après on calcule le cumul de déficit de pluie par :

$$Z_i = I_{pi-1} + I_{pi} \quad (\text{III.4})$$

Où Z_i est le cumul de déficit de pluie,

I_{pi-1} est l'indice pluviométrique de l'année i-1

I_{pi} la valeur de l'indice pluviométrique de l'année i.

Cette approche permet de visualiser le point de changement dans une série chronologique.

II.7. Présentation des tests de rupture :

Une rupture peut-être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives déterminent les séries chronologiques étudiées.

Les séries pluviométriques se caractérisent fréquemment par des effectifs faibles, et ne répondent que rarement aux conditions requises pour l'application des tests statistiques dont certains sont paramétriques. Les tests non paramétriques ne font pas d'hypothèse sur la nature de la distribution de probabilité de la variable définissant la série des observations.

II.7.1 Test de Pettitt

Il reprend le fondement du test de Mann – Whitney en le modifiant; le test de PETTITT est un test sur le rang: il est donc non paramétrique et libre. (BELARBI 2010)

Ce test consiste à découper une série principale d'une variable donnée (X_1, X_2, \dots, X_N) de N éléments à chaque instant t compris entre (1 et N- 1) en deux sous séries.une première (X_1, X_2, \dots, X_t) aillent une distribution commune $F_1(x)$ et une deuxième (X_{t+1}, X_2, \dots, X_N) aillent une distribution commune $F_2(x)$.

On dit que la série principale présente une rupture à l'instant t si les deux sous séries ont des distributions différentes $F_1(x) \neq F_2(x)$.(Chadid 2003; BELARBI 2010)

Si l'hypothèse nulle H_0 de l'absence de rupture est rejeté, une estimation de la date de rupture est donnée pour l'instant t , présentant le maximum de la valeur absolue de la variable $U_{t,N}$ (Guyot 1997; BELARBI 2010).

$$K_N = \max |U_{t,N}| = \sum \sum D_{ij} \dots\dots\dots(\text{II.5}) \text{ avec}$$

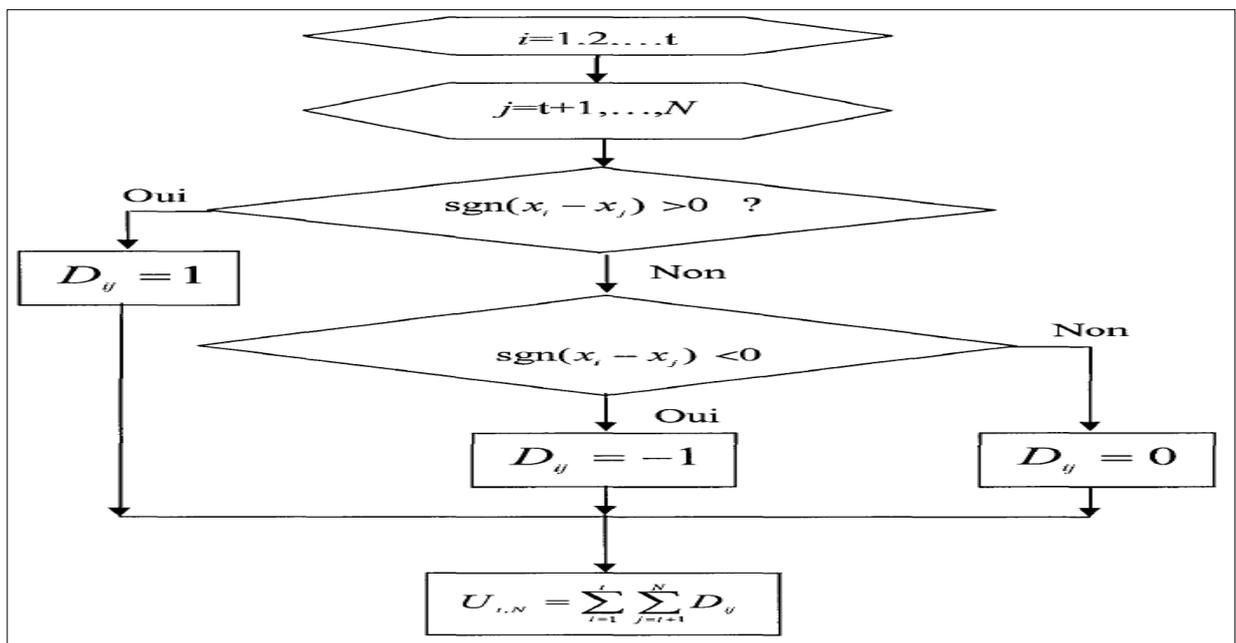


Figure II.1 : la statistique de Mann – Whitney (Chadid 2003)

Soit α , représentant un risque de première espèce ;

H_0 est rejetée si une certaine probabilité calculée à partir d'une série chronologique étudiée est inférieure a α :

$$P_{r0}(K_N > K) = 2 \exp [-6K^2 / (N^3 + N^2)] \quad (\text{II.6})$$

Le seuil de signification est donné par la quantité suivante :

$$Q = \pm \sqrt{\frac{-(N^3 + N^2) \log(\alpha / 2)}{6}} \quad (\text{II.7})$$

(Belarbi 2010)

II.7.2 .Statistique de Buishand :

La statistique de Buishand est souvent utilisée pour tester l'homogénéité d'une série chronologique X_1, X_2, \dots, X_n . Cette méthode suppose deux hypothèses, l'une que nous désignerons par H_{B_0} , et dans ce cas la série X_i a la même moyenne, et l'autre désignée par H_{B_1} qui implique un changement de la moyenne de la série.

Les principales propriétés du test statistique de Buishand sont illustrées pour le cas où les séries X_i sont normalement distribuées avec une moyenne $E_B(X_i)$ définie telle que :

$$E_B(X_i) = \begin{cases} \mu & i = 1, \dots, m \\ \mu + \Delta & i = m + 1, \dots, n \end{cases} \quad (II.8)$$

Avec $Var(X_i) = \sigma^2$

$Var(X_i)$ représente la variance de la série chronologique X_i

Le modèle issu de ce test statistique suivant l'équation indique un saut de la moyenne dont l'amplitude est désignée par Δ et ceci après m observations. (Chadid 2003)

le point de rupture m et les paramètres Δ et μ sont inconnus, plusieurs méthodes statistiques ont été développées pour tester l'hypothèse nulle $\Delta=0$ contre l'hypothèse alternative $\Delta \neq 0$

on s'intéresse au terme de cumul d'écart suivant :

$$\begin{cases} S_0^* = 0 \\ S_k^* = \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}) \end{cases} \quad k = 1 \dots n \quad (II.9)$$

\bar{X} est la moyenne des valeurs X_1, X_2, \dots, X_n

S_k^* est tel que :

$$E(S_k^*) = -k(n - m)n^{-1}\Delta, \quad k = 0, \dots, m \quad (II.10)$$

$$E(S_k^*) = -m(n - k)n^{-1}\Delta, \quad k = m + 1, \dots, n \quad (II.11)$$

$$var(S_k^*) = -K(n - m)n^{-1}\sigma^2, \quad k = 0, \dots, n \quad (II.12)$$

On observe que la moyenne des S_k^* est nulle pour une série homogène ($\Delta = 0$), positive pour ($\Delta < 0$) et négative pour ($\Delta > 0$). la variance est maximale si $k = n/2$. Meme pour une série purement aléatoire, les valeurs de S_k^* peuvent différer considérablement de zéro, spécialement pour k au voisinage de $n/2$. (Lubès, Masson et al. 1994)

En supposant une distribution a priori uniforme pour la position du point de rupture m , la statistique U de Buishand est définie par:

$$U = \frac{\sum_{k=1}^{n-1} \left(\frac{S_k}{D_x}\right)^2}{n(n+1)} \quad (\text{II.13})$$

pour $1 < k \leq n - 1$ avec D_x désigne l'écart-type de la série.

En cas de rejet de l'hypothèse nulle, aucune estimation de la date de rupture n'est proposée par ce test.

Outre cette procédure, la construction d'une ellipse de contrôle permet d'analyser l'homogénéité de la série de (X_i) . La variable S_k définie au-dessus, suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance $K(n - m)n^{-1}\sigma^2$, $k = 0, \dots, n$ sous l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série des (X_i) . Il est donc possible de définir une région de confiance dite ellipse de contrôle associée à un seuil de confiance contenant la série des S_k .

II.7.3. Procédure de segmentation de Pierre Hubert :

La procédure de segmentation des séries hydrométéorologique n'est pas en toute rigueur, un test statistique. Cette méthode est adaptée à la recherche de multiples changement de moyenne dans la série. son principe est de « découper » la série en m segments ($m > 1$) de telle sorte que la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s).

Toute série X_i , $i = i_1, i_2$ avec $1 \leq i_1 < i_2 \leq N$, constitue un segment de la série initiale des (X_i) . Toute partition de la série en m segments est une segmentation d'ordre m de cette série.

Pierre Hubert a défini $i_k = 1, 2, \dots, m$ comme étant le rang de la série initiale de l'extrémité du K_i ème segment avec $i_0 = 0 < i_1 < \dots < i_k < \dots < i_{m-1} < i_m < n$.

On désigne par n_k la longueur du k ème segment défini comme suit :

$$n_k = i_k - i_{k-1} \quad (\text{II.14})$$

sa moyenne locale est exprimée par :

$$\bar{X}_k = \frac{\sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} x_i}{n_k} \quad (\text{II.15})$$

on définit les deux quantités suivantes :

$$d_k = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} (x_i - \bar{x}_k)^2 \quad (\text{II.16})$$

et

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \quad (\text{II.17})$$

avec D_m représentant l'écart quadratique entre la série et la segmentation considérée.

Cette quantité permet de calculer l'approximité de la série et de la segmentation qui lui est appliquée. Cet écart ne dépend pour une série initiale donnée que de la segmentation considérée. (Chadid 2003)

La segmentation retenue au terme de la mise en œuvre de la procédure doit être telle que pour un ordre m de segmentation donné, l'écart quadratique D_m soit minimum et que les moyennes de deux segments contigus soient significativement différentes. cette dernière contrainte est satisfaite par application du test de Scheffé qui repose sur le concept de contraste.

II.7.4. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian :

La méthode bayésienne de Lee & Heghinian propose une approche paramétrique. Elle nécessite une distribution normale des valeurs de la série L'interprétation de cette méthode vise à confirmer ou infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série chronologique.

Chapitre II : Méthodes de détection de ruptures dans les séries chronologiques

Le modèle de base de la procédure est le suivant (Lee and Heghinian 1977; Lubès, Masson et al. 1994; Paturel, Servat et al. 1996; Chadid 2003):

$$X_j = \begin{cases} \mu + \varepsilon_j & j = 1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_j & j = \tau + 1, \dots, n \end{cases} \quad (\text{II.18})$$

Les ε_j sont des variables indépendantes et normalement distribuées, de moyenne nulle et de variance σ^2 .

τ , μ , δ et σ sont des paramètres inconnus et indépendants. $1 \leq \tau \leq n - 1$, $-\infty \leq \mu \leq +\infty$, $-\infty \leq \delta \leq +\infty$, $\sigma > 0$.

τ et δ représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne.

L'approche bayésienne est basée sur les distributions marginales a posteriori de τ et δ .

Donc l'équation (II.18) peut être écrite sous sa forme matricielle telle que (Lee and Heghinian 1977) :

Ou

$$X = \mu I_n + \varepsilon + \delta c_\tau$$

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_n]^T \quad (\text{II.19})$$

$$\varepsilon = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n]^T$$

I_n est un vecteur à n dimensions dont les éléments sont des unités.

Notons de même que c_τ , est un vecteur identité lequel les τ premières composantes sont nulles et les derniers $n - \tau$ composantes sont des identités.

Lee et Heghinian ont posé les distributions à priori des paramètres τ , μ , δ et σ comme suit (Lee and Heghinian 1977):

$$P(\tau) = \frac{1}{n-1}, \tau = 1, 2, \dots, n - 1; \quad (\text{II.20})$$

- $P(\delta)$ est une probabilité qui suit la loi normale dont la variance est σ^2 (Lee and Heghinian 1977; Chadid 2003)

- $P(\mu)$ est une probabilité qui suit la loi normale dont la variance σ^2 (Lee and Heghinian 1977; Chadid 2003);

- $p(\sigma) \sim \sigma^{-1}$ est la probabilité de l'écart type inversement proportionnelle à celui-ci;

Si p , la densité de probabilité a priori de τ est uniforme, a posteriori elle est définie par :

$$p(\tau|X) \propto [N/(\tau(N - \tau))]^{1/2} [R(\tau)]^{-(N-2)/2}, 0 \leq \tau \leq N - 1 \quad (\text{II.21}) \quad \text{avec}$$

$$R(\tau) = [\sum_{i=1}^{\tau} (x_i - \bar{x}_{N-\tau})^2] / \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_N)^2, \quad (\text{II.22})$$

$$\bar{x}_N = 1/N \sum_{i=1}^N x_i, \bar{x}_{\tau} = 1/\tau \sum_{i=1}^{\tau} x_i, \bar{x}_{N-\tau} = 1/(N - \tau) \sum_{i=\tau+1}^N x_i \quad (\text{II.23})$$

Donc la méthode établit la distribution de probabilité a posteriori de la position dans le temps d'un changement. Le mode de la distribution à posteriori de τ sert à estimer la date de la rupture, lorsque la distribution est unimodale. Plus la dispersion de la distribution est faible, plus l'estimation est précise. La méthode bayésienne de Lee et Heghinian impose normalité, constance de la variance et non-autocorrélation (Lee and Heghinian 1977; Lubes-Niel, Masson et al. 1998; Chadid 2003).

II.8. Conditions d'application

Les procédures statistiques qui sont étudiées regroupent des tests statistiques, leurs conditions d'application sont :

- Le test de Pettitt s'applique à des séries non auto-corrélées et requiert implicitement que la variance de la série ne soit pas affectée par la rupture si une rupture en moyenne est prioritairement recherchée.
- La statistique de Buishand repose sur l'ensemble des hypothèses suivantes : normalité de la série, égalité des variances des distributions de part et d'autre du point de rupture, absence d'auto corrélation.

- La procédure bayésienne de Lee et Heghinian impose normalité, no-auto-corrélation et constance de la variance. Pour la segmentation qui fait intervenir le test de Scheffé sous-entend implicitement la normalité de la série chronologique.

II.9. Conclusion

Il est possible de mettre en évidence la non-stationnarité des séries pluviométriques survenue pendant les périodes d'observation et d'isoler les périodes d'anomalies pluviométriques. Pour déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, quelques méthodes statistiques largement employées dans les recherches de variabilité climatique ont été présentés. Le choix de ces méthodes repose sur leur robustesse de leur fondement. Ces méthodes permettent de détecter un changement dans la moyenne de la variable traitée dans la série. A l'exception de l'approche de Pettitt, « elles supposent un non changement de la variance de la série étudiée.



Résultats et discussion

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous commencerons par donner un aperçu sur la base de données utilisées dans le cadre de ce travail. La détection des fluctuations observées dans les séries météorologiques ont été analysées en s'appuyant sur les tests paramétriques et non paramétriques tels que le test de Pettitt, le test de Buishand, la méthode bayésienne de Lee et Heghinian ainsi que la segmentation de l'Hubert. D'autres outils, permettent également d'analyser la variabilité climatique, comme l'indice de déficit pluviométrique (indice de Nicholson).

III.2.Présentations des caractéristiques pluviométriques des stations étudiées :

Notre étude consiste à définir les ruptures sur de longues séries pluviométriques. Pour ce faire nous avons essayé d'avoir le maximum de données possibles. Les données de base utilisées dans cette étude sont constituées de relevés pluviométriques mensuels provenant de sept (07) stations pluviométriques réparties sur tout le bassin. Les caractéristiques de ces stations pluviométriques sont présentées dans le tableau III.1 et III.2.

III.3.Critique et traitement des données utilisées :

Les données recueillies sont entachées d'erreurs, ce procès impose une critique de ces données. Les lacunes dans les séries de précipitations mensuelles ont dû être comblées afin de les homogénéiser au mieux et de faciliter ensuite la détection d'éventuelles instationnarités. Cette critique comporte trois parties à savoir ;

- Le test d'homogénéité de Mann-Whitney
- La détection des anomalies par l'analyse des résidus de régression
- Comblement des lacunes des séries pluviométriques

Après l'application du test d'homogénéité de Mann-Whitney et la détection et la correction des anomalies par l'utilisation de logiciel Hydrolab, qui se base sur l'analyse des

cumuls des résidus de régression. On a procédé au comblement des lacunes, qui a été effectué par la méthode de l'analyse en composantes principales (ACP) en utilisant aussi Hydrolab. Cette méthode qui permet de combler rapidement et simplement les lacunes avec la partie la plus fiable des données observées.

III.4.Caractéristiques des précipitations à l'échelle annuelle :

III.4.1.Variation spatio-temporelle de la pluviométrie :

La répartition des précipitations est hétérogène sur l'ensemble du bassin de l'Isser qui est caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle décroissante du Nord au Sud, avec des altérations dans les chaînes montagneuses qui impliquent le rôle important de l'altitude. Les précipitations varient de 702.28 mm dans le Nord à 337.37 mm dans le Sud.

Le calcul de l'écart-type et du coefficient de variation (Cv%) pour chaque station (tableau III. 1) montre que la valeur du coefficient de variation annuel varie entre 23.29% et 36.14 %. Les valeurs les plus faibles sont observées dans les stations situées au Nord de la zone d'étude, et plus précisément au Moyen et Bas Isser. Les valeurs les plus élevées sont observées à l'Est de la zone d'étude : 33.24 % à Souk El Khemis et 36.14 % à Khabouzia.

Le coefficient de variation des pluies annuelles croît généralement du Nord au Sud de la région étudiée. Cette variabilité due aux fortes pluies d'hiver et de printemps qui touchent les régions montagneuses où l'altitude dépasse 1000 m.

Tableau III.1: Caractéristiques des précipitations à l'échelle annuelle

Station	Période d'étude	Moyenne (mm/an)	Ecart-type (mm)	Max (mm)	Min (mm)	Cv %
Souagui	1973-2011	337.37	82.21	532.10	163.30	24.37
Souk el khemis	1969-2011	534.74	177.77	988.00	189.70	33.24
Lakhdaria gorges	1973-2011	702.20	192.20	1 189.20	342.50	27.37
Bsibsa	1973-2011	702.28	163.56	1 009.50	288.90	23.29
Djebahia	1923-2013	675.79	189.27	1 368.41	228.10	28.01
Beni slimane	1980-2014	367.56	91.24	554.60	198.00	24.82
Khabouzia	1969-2015	439.11	158.71	826.60	147.10	36.14

III.5.Caractéristiques des précipitations à l'échelle saisonnière :

Nous constatons que la moyenne saisonnière des totaux précipités varie entre 14.4 mm en été (Station Khabouzia) et 299.8 mm au niveau de la station de Bsibsa en hiver, cette dernière constitue le secteur le plus arrosé.

Comme pour les précipitations annuelles, l'écart-type et le coefficient de variation saisonnier (Cv%) pour chaque station (tableau III. 2) montre que la valeur du coefficient de variation saisonnière varie entre 41.9% et 55.49 % .pour l'Automne, entre 41.14% et 48.05% pour l'Hivers, entre 43.05% et 56.61% pour le printemps et 71.22% et 125.47% pour l'Eté.

Généralement, les coefficients de variation saisonniers sont élevés, ce qui traduit l'importance de la variabilité et l'irrégularité des précipitations saisonnières qui est aggravée par les fortes pluies en hiver et en printemps, la contraction de la saison des pluies et une occurrence plus grande des sécheresses dans les dernières décennies du siècle passé.

Tableau III.2 : Caractéristiques des précipitations à l'échelle saisonnière

Station	Période d'étude	Automne					Hivers					Printemps					été				
		Moy (mm)	Ecart-type	Max (mm)	Min (mm)	Cv %	Moy (mm)	Ecart-type	Max (mm)	Min (mm)	Cv %	Moy (mm)	Ecart-type	Max (mm)	Min (mm)	Cv %	Moy (mm)	Ecart-type	Max (mm)	Min (mm)	Cv %
Souagui	1973-2011	88.5	37.1	180.5	12.8	41.9	113.9	46.8	256.0	45.7	41.1	109.3	47.1	239.0	29.2	43.1	25.7	21.6	87.7	-	83.9
Souk El Khemis	1969-2011	142.5	77.3	365.0	13.5	54.2	216.9	104.2	531.8	60.7	48.1	157.4	85.1	406.5	18.9	54.1	18.0	14.7	51.8	-	82.0
Lakhdaria Gorges	1973-2011	182.9	101.5	592.6	44.5	55.5	293.4	126.8	713.6	90.2	43.2	205.6	104.4	437.3	41.3	50.8	20.4	18.9	62.9	-	92.9
Bsibsa	1969-2015	174.8	80.2	388.4	66.1	45.9	299.8	121.6	642.6	91.9	40.6	204.7	108.8	457.1	55.8	53.1	22.9	20.3	92.8	1.1	88.4
Djebahia	1923-2013	166.1	76.8	478.3	43.0	46.2	289.6	112.4	683.1	88.0	38.8	189.6	83.2	480.0	35.9	43.9	30.5	21.8	115.6	-	71.2
Beni Slimane	1973-2011	99.5	53.5	270.5	21.0	53.8	133.7	49.2	229.9	49.4	36.8	109.4	55.8	230.3	20.1	51.1	25.0	21.9	87.8	-	87.7
Khabouzia	1980-2014	118.4	64.0	289.7	8.5	54.0	172.8	82.2	359.8	34.1	47.6	133.6	75.6	304.2	9.5	56.6	14.4	18.1	67.2	-	125.5

III.6. Répartition saisonnières des précipitations :

Le tableau III.3 et la figure III.1 montrent que la distribution saisonnière de la précipitation est principalement concentrée sur les trois saisons l'Automne, l'Hiver et le Printemps, ou enregistre plus de 90% des pluies annuelles et cela pour l'ensemble des stations étudiées, ou 25% à 27% des pluies annuelles est enregistré à l'automne, 29% à 32% est enregistré au printemps, 34% à 43% est enregistré à l'hivers et 3% à 7% est enregistré à l'été.

On constate aussi que l'hiver est la saison la plus pluvieuse dans l'année par contre l'été est la plus sèche, c'est pour cette raison que l'analyse des résultats saisonniers sera basée sur les trois saisons à savoir, l'Automne, l'Hiver et le Printemps.

Tableau III.3 : Répartition saisonnière des précipitations

Station	Période d'étude	Pluviométrie (mm)				
		Annuelle	Automne	Hivers	Printemps	Été
Souagui	1973-2011	337.4	88.5	113.9	109.3	25.7
Souk el khemis	1969-2011	534.7	142.5	216.8	157.4	18.0
Lakhdaria gorges	1973-2011	702.2	182.9	293.4	205.6	20.4
Bsibsa	1969-2015	702.3	174.8	299.8	204.7	22.9
Djebahia	1923-2013	675.8	166.1	289.6	189.6	30.5
Beni slimane	1973-2011	367.6	99.5	133.7	109.4	25.0
Khabouzia	1980-2014	439.1	118.4	172.8	133.6	14.4

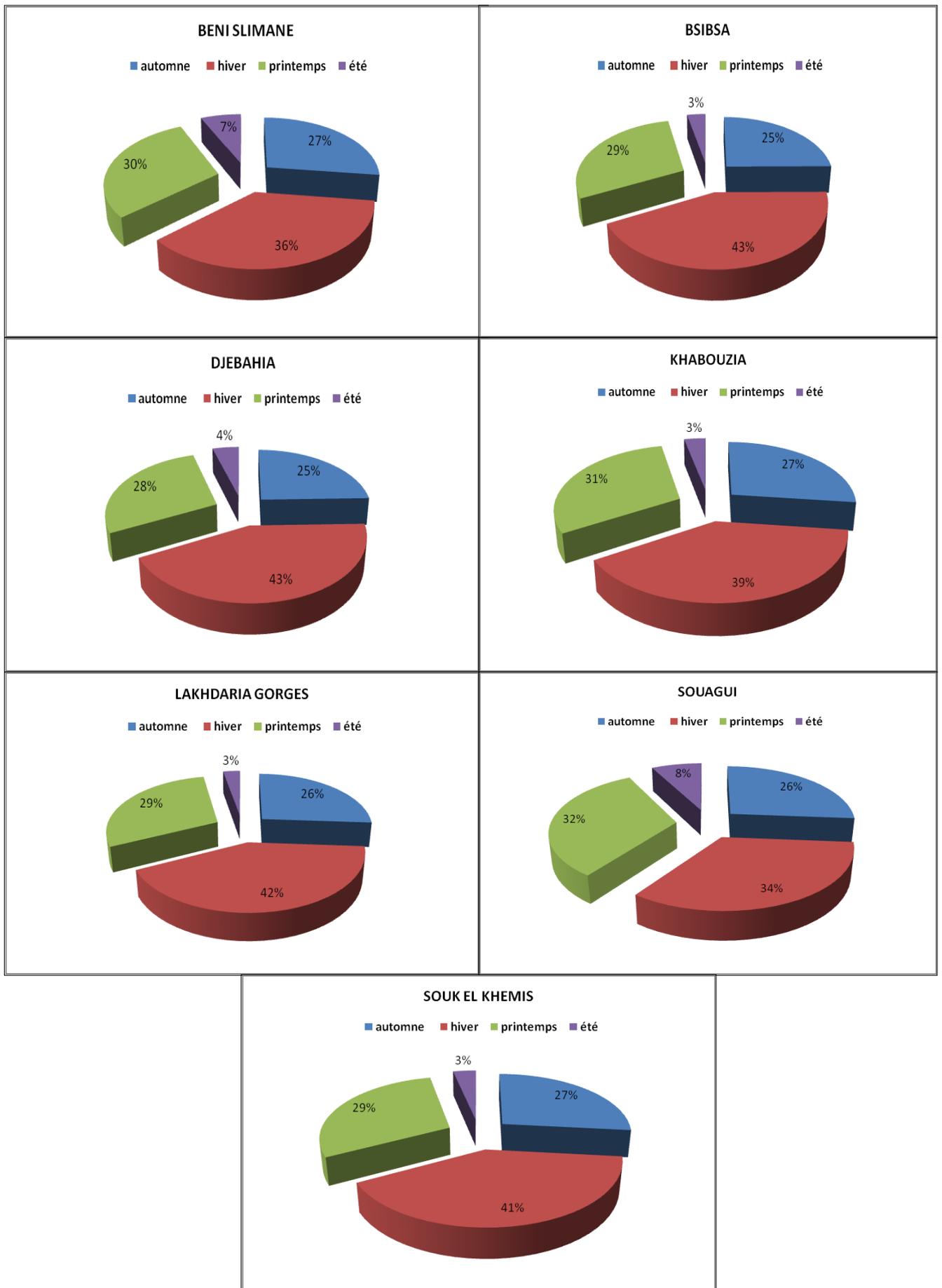


Figure III.1 : Répartition saisonnière des précipitations

III.7. Evolution des précipitations

La variabilité interannuelle des lames d'eau précipité dans le bassin d'Isser, à travers l'évolution des indices centrés réduits (Fig III. 4), permet de distinguer deux périodes humides dans la station de Djebahia, la première s'étale de 1927 à 1975 et la deuxième, très courte, intéresse les années 2007 à 2011.

La première période sèche observée va de 1939 à 1941. Cette dernière appartient à une période déficitaire du vingtième siècle débutant au milieu des années trente et s'étalant jusqu'au milieu des années quarante qui a sévit dans tout le pays. Cette période de sécheresse des années quarante, reste dans la mémoire collective comme celle de famine (Hirche *et al.*, 2007). Cependant, des épisodes à la baisse sont enregistrés durant la période excédentaire ne dépassant pas 3 années consécutives. À partir des années mi- soixante-dix (70) jusqu' à 2007, cette région a connu l'une des périodes les plus déficitaire en intensité et en persistance.

Une succession des années sèches est constatée en enregistrant une période déficitaire intercalée d'une ou de deux années excédentaires observée durant la période 1975 à 2001 dans les autres stations (Fig III.2 III.3, III.5 à III.8). Ces analyses montrent que les déficits pluviométriques des trois dernières décennies de siècle passé ont été largement amplifiés le stress hydrique dans la région. Il s'avère que, malgré la reprise des pluies pendant la décennie des années 2000, la période reste déficitaire et la sécheresse semble donc s'étaler dans la région. En outre, Les résultats ont révélé une modification du régime des précipitations se traduisant nettement par une tendance à la baisse survenue au milieu des années 70.

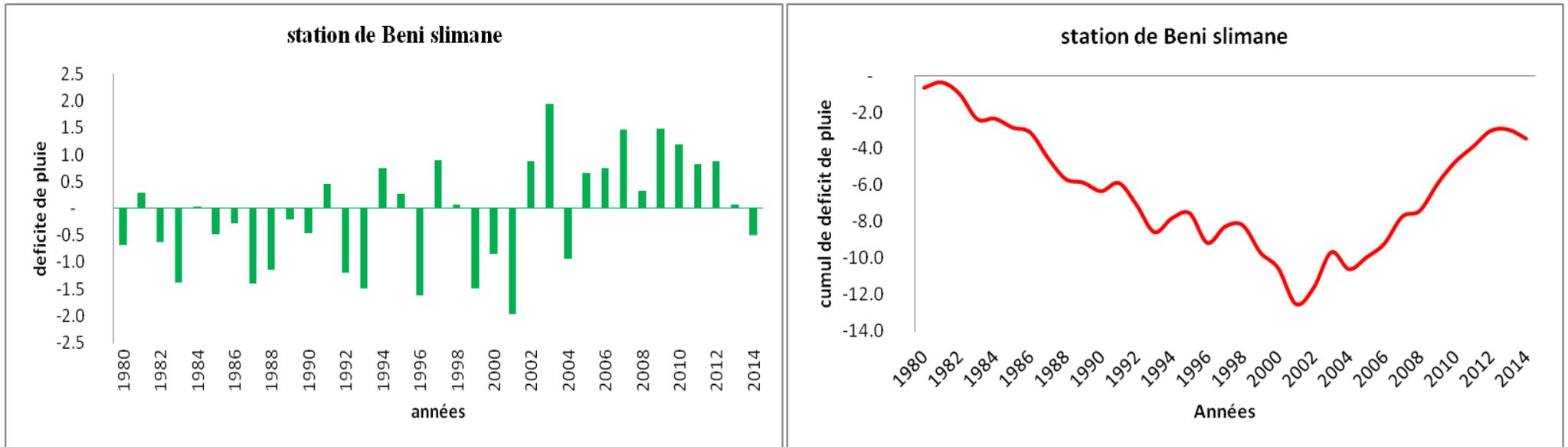


Figure III. 2: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie dans la station de Beni Slimane

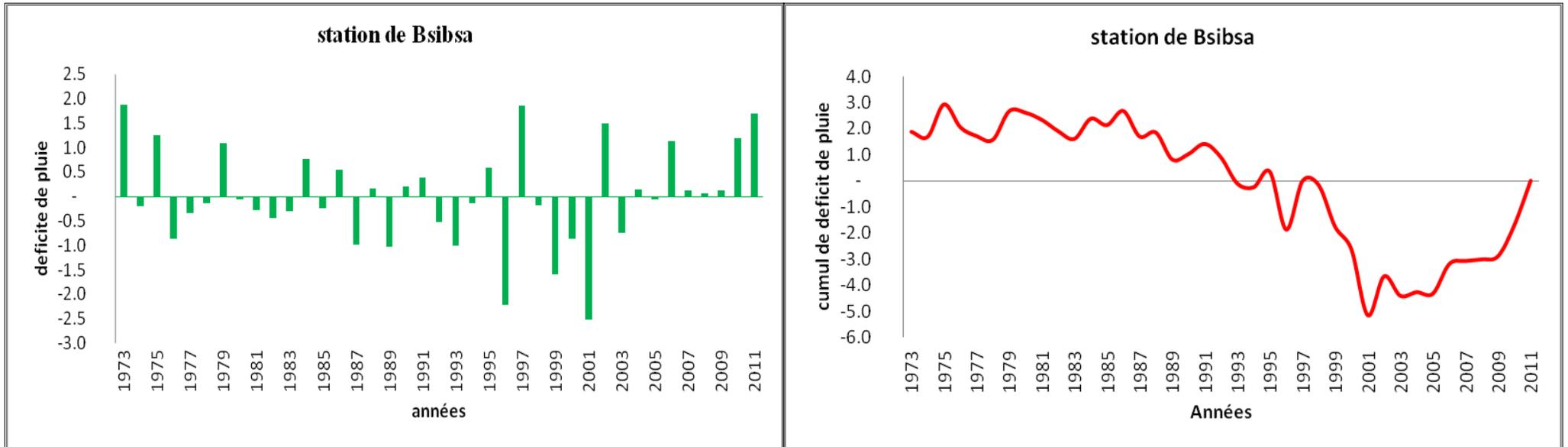


Figure III. 3: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie dans la station de Bsibsba

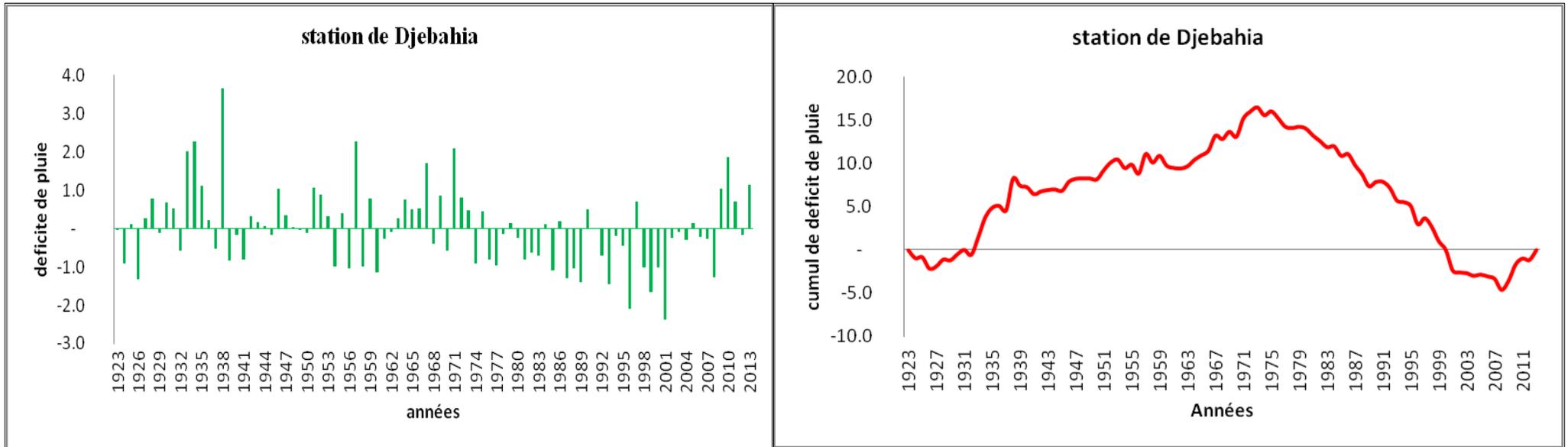


Figure III. 4: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie dans la station de Djebahia

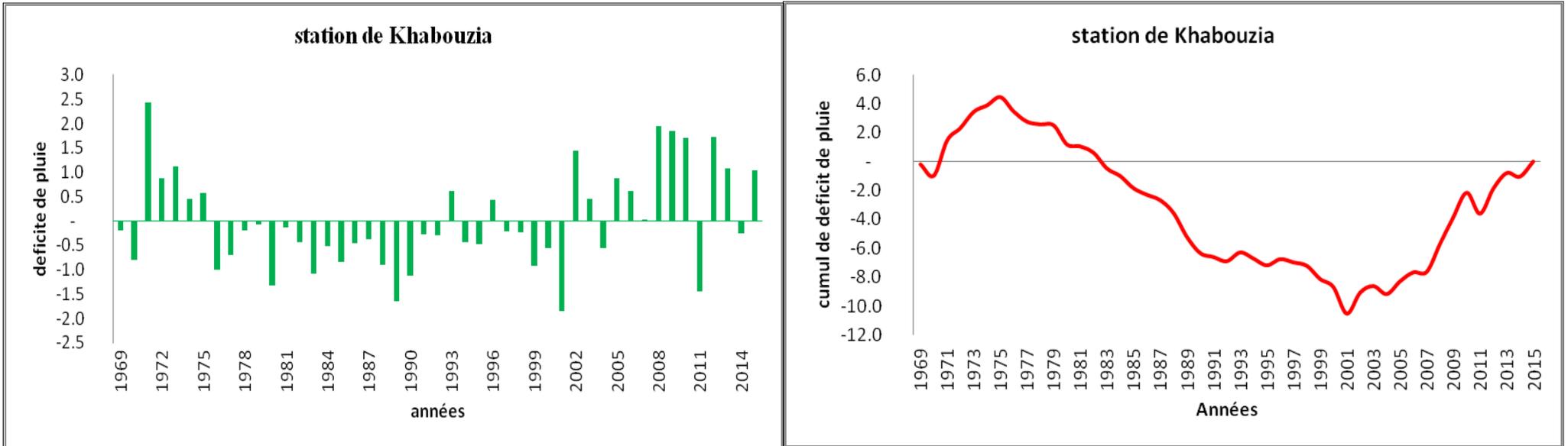


Figure III. 5: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie dans la station de Khabouzia

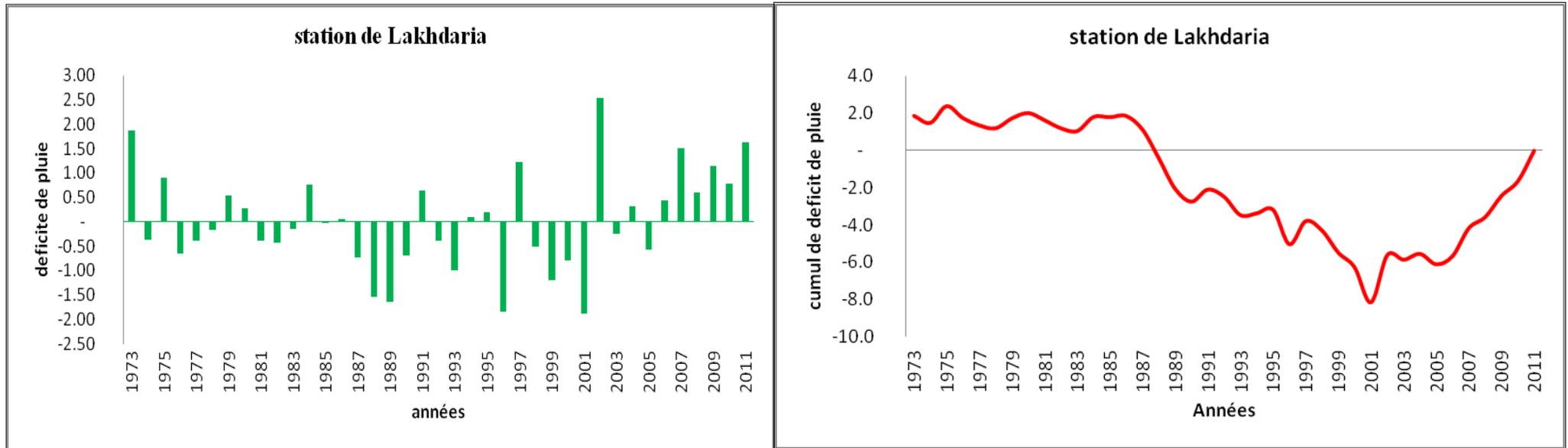


Figure III. 6: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie dans la station de Lakhdaria

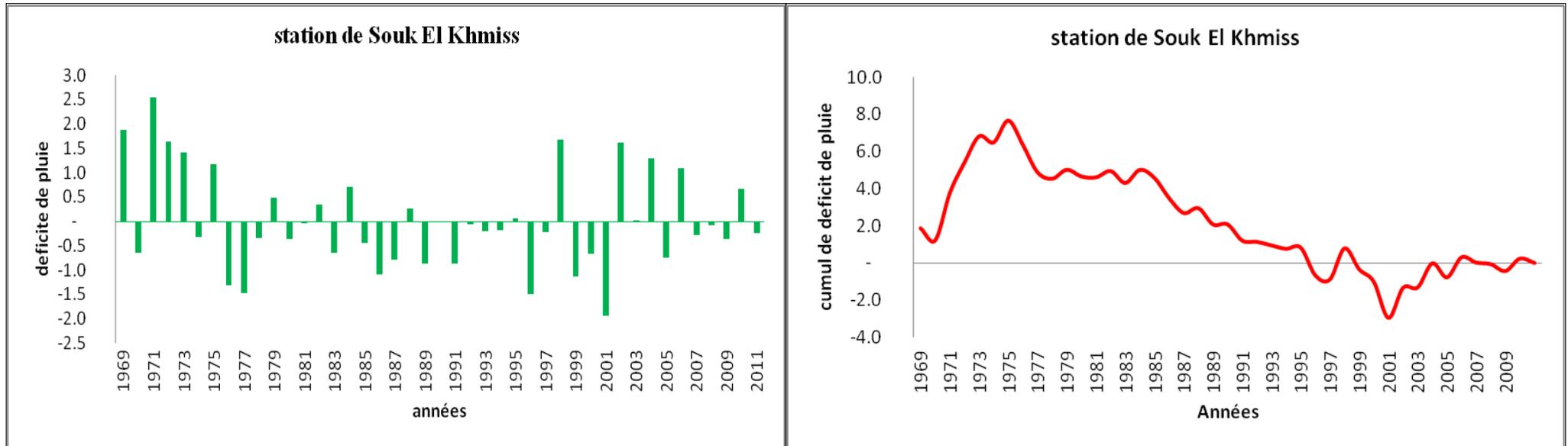


Figure III. 7: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie dans la station de Souk El Khmiss

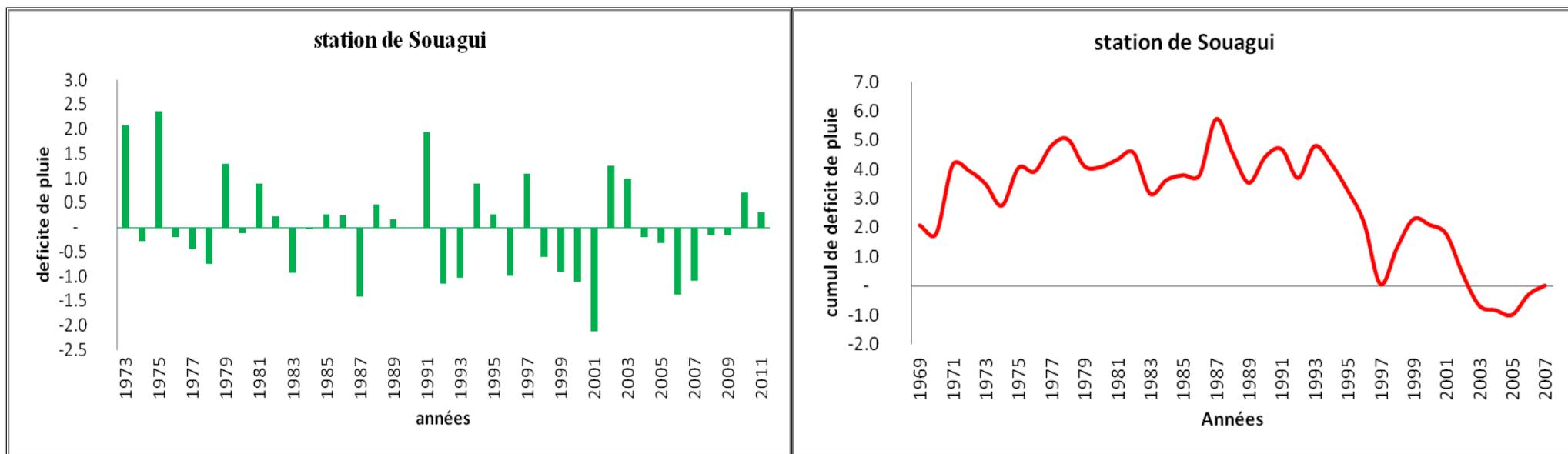


Figure III. 8: Evolution du déficit de pluie et de cumul de déficit de pluie la station de Souagui

III.8. Application des méthodes de détection de rupture:

III.8.1. Ruptures annuelles :

Les différentes méthodes précédemment présentées ont été appliquées aux données de nos séries. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.4 et les figures (III.9 à III.15).

L'analyse de ces résultats permet de constater que la majorité des séries analysées présentent des ruptures selon les tests.

Le Tableau III.4, montre que Les années 1973, 1975 et 2001 sont identifiées comme étant celles de ruptures les plus dominantes. Pour le test de Buishand, rejette l'existence d'une rupture dans quatre stations (Souagui, Souk El Khmemis, Lakhdaria gorge et Bsibsa) et confirme les ruptures dans les autres stations. La probabilité associée à la statistique du test de Pettitt confirme l'apparition d'une rupture significative dans la station (Lakhdaria gorge, Djebahia, Beni Slimane et Khabouzia). Cette rupture est décelée aux années 1973 et 2001 pour les totaux pluviométriques annuels avec un niveau de signification qui varie d'une série à l'autre.

D'une rupture à l'autre la moyenne diminue dans les stations Souagui, souk El Khmiss et Djebahia (Tableau III. 4).

Par contre, dans les autres stations, la moyenne de précipitation augmente après la rupture. Il s'avère que cette augmentation coïncide avec la reprise des pluies pendant la décennie des années 2000.

Des ruptures sont décelées au début des années 1970 pour le test de Lee & Hginian et Hubert. Ces observations sont en accord avec les résultats d'un certain nombre de travaux, parmi lesquels (Meddi et al, 2009, Elmeddahi et al, 2016), qui situent, pour le Nord de l'Algérie, la plupart des ruptures entre le début de la décennie 1970 et la fin de la décennie 1980.

Tableau III.4 : Résultats des tests statistiques appliqué aux pluies moyennes annuelles

Station	Période d'étude	Buishand	Pettitt	Lee & Hghinian	Hubert
Souagui	1973-2011	Acceptée	-	1975	1975
Souk el khemis	1969-2011	Acceptée	-	1973	1973
Lakhdaria gorges	1973-2011	Acceptée	2001	2001	2001
Bsibsa	1973-2011	Acceptée	-	2009	-
Djebahia	1923-2013	Rejetée	1973	1973	1973 et 2008
Beni slimane	1980-2014	Rejetée	2001	2001	2001
Khabouzia	1969-2015	Rejetée	2001	2001	1975 et 2001

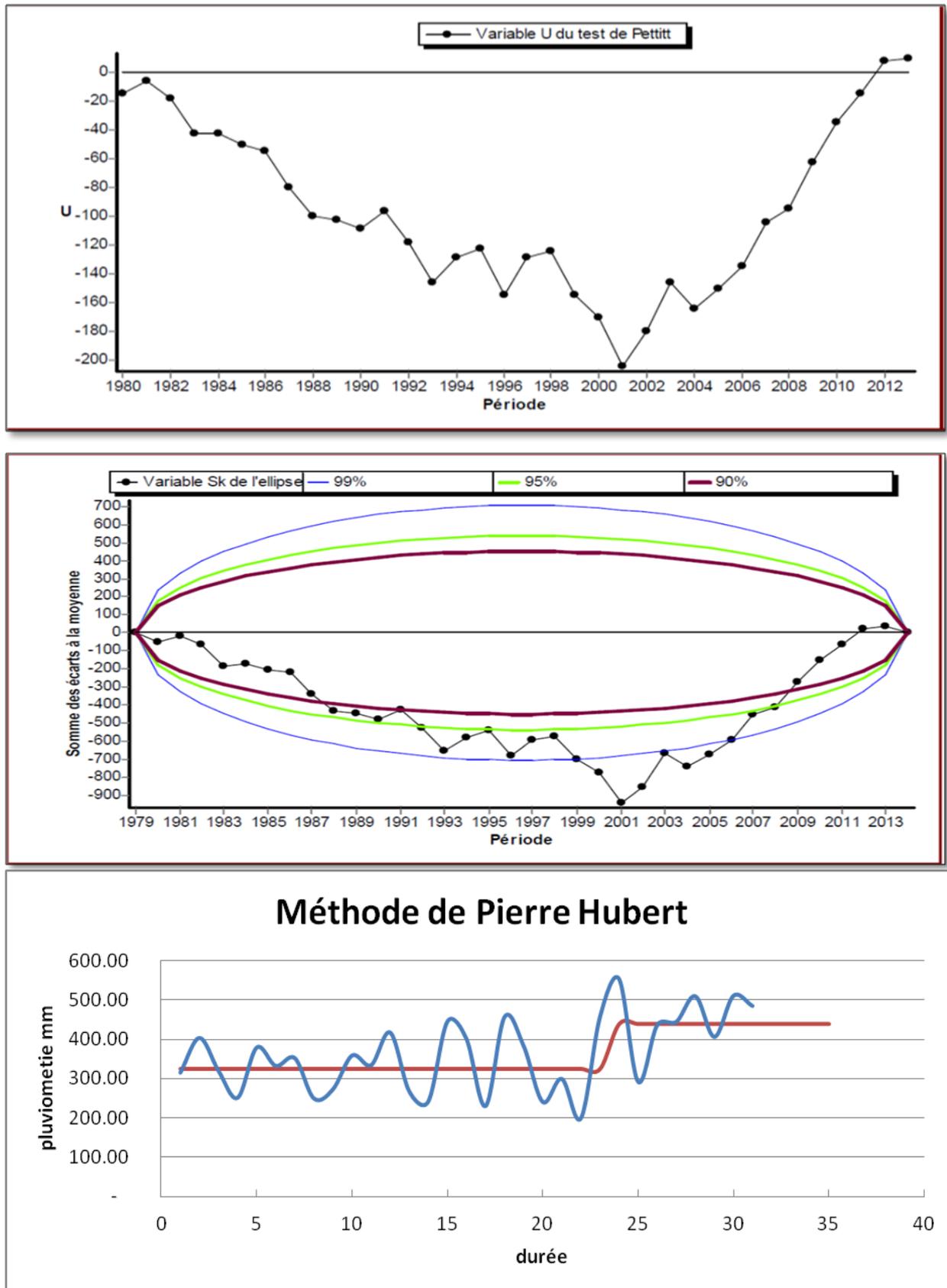


Figure III.9: Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de Beni Slimane

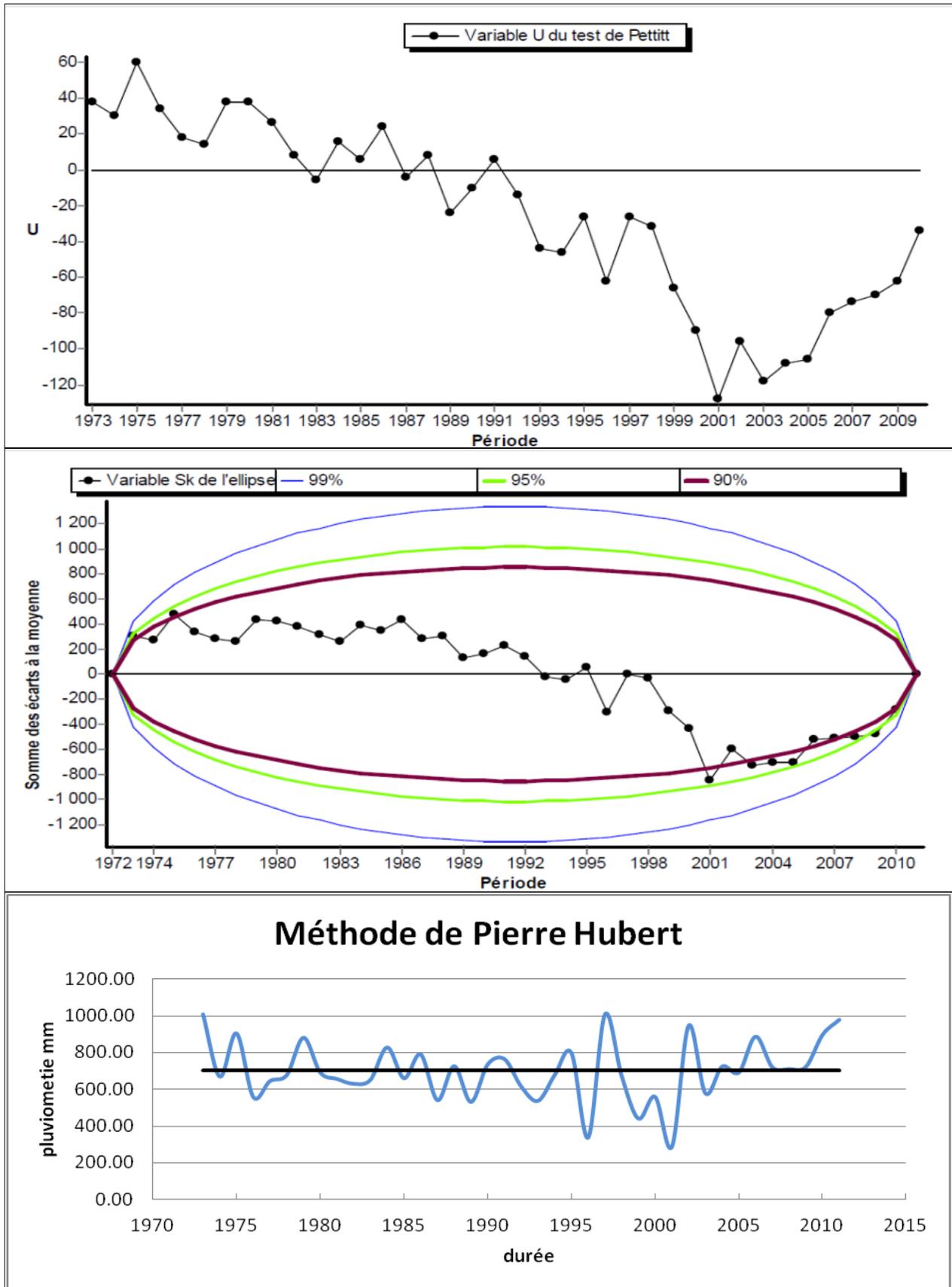


Figure III.10 : Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de bsbsa

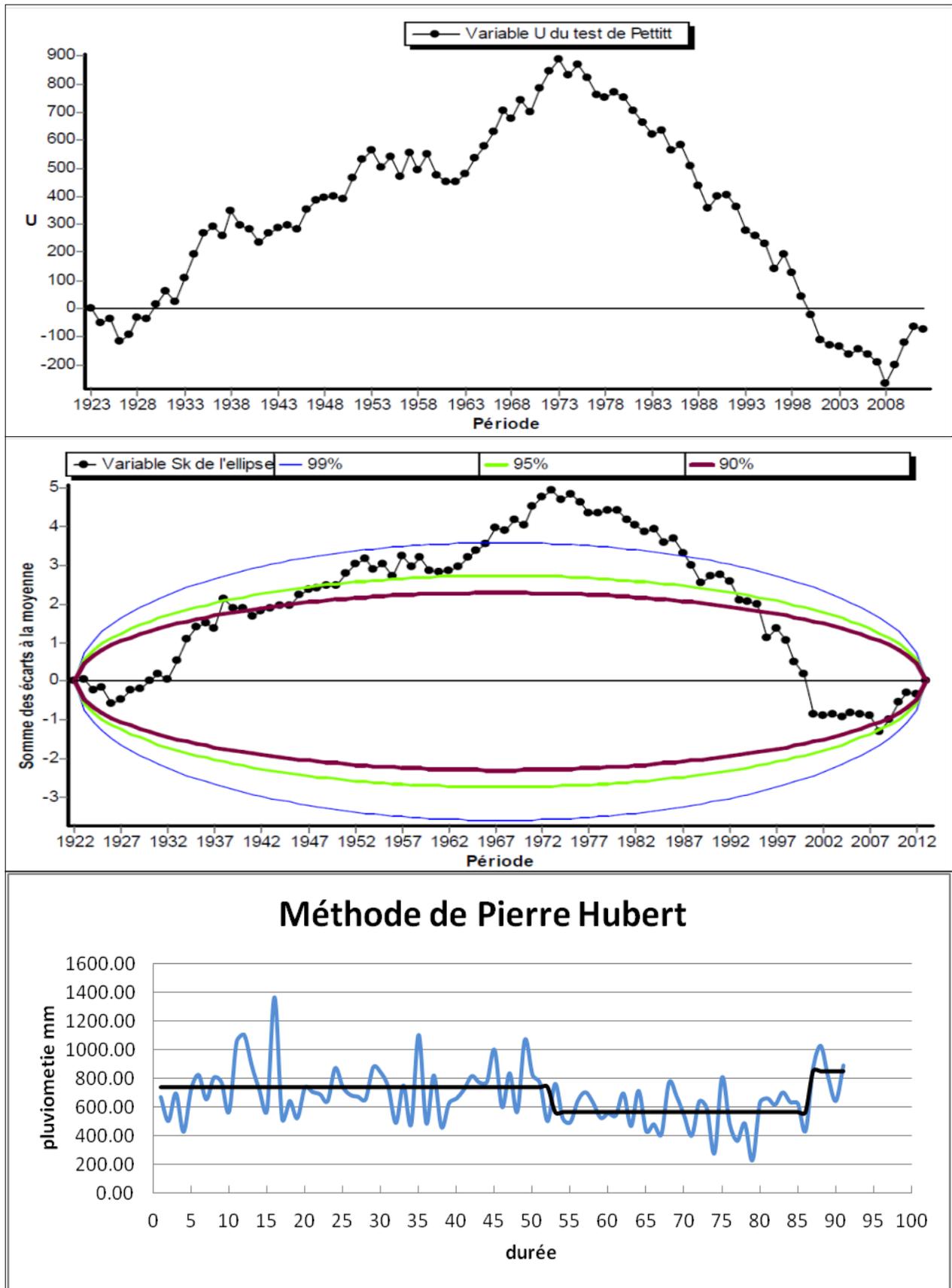


Figure III.11: Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de djebahia

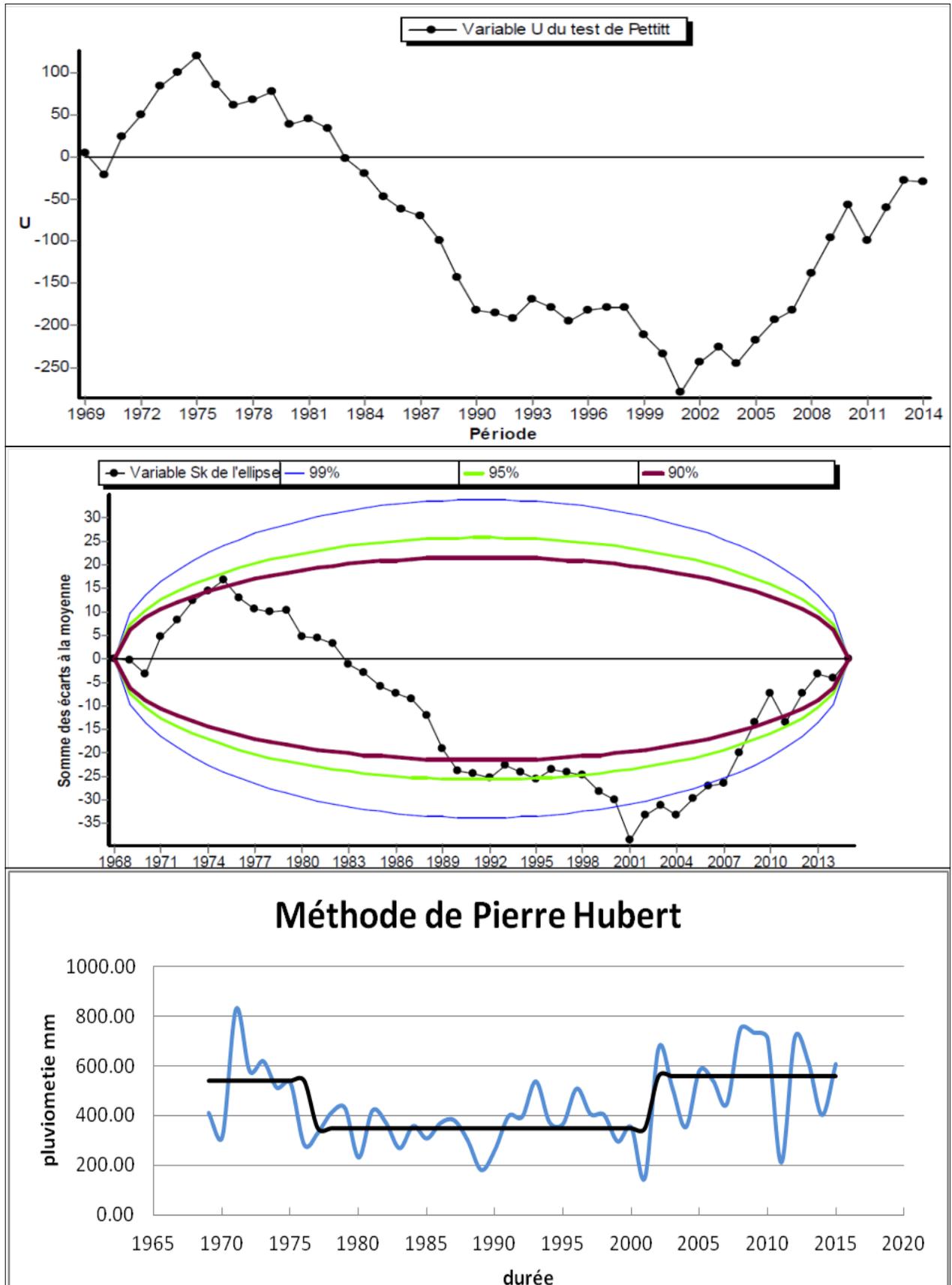


Figure III.12: Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de khebouzia

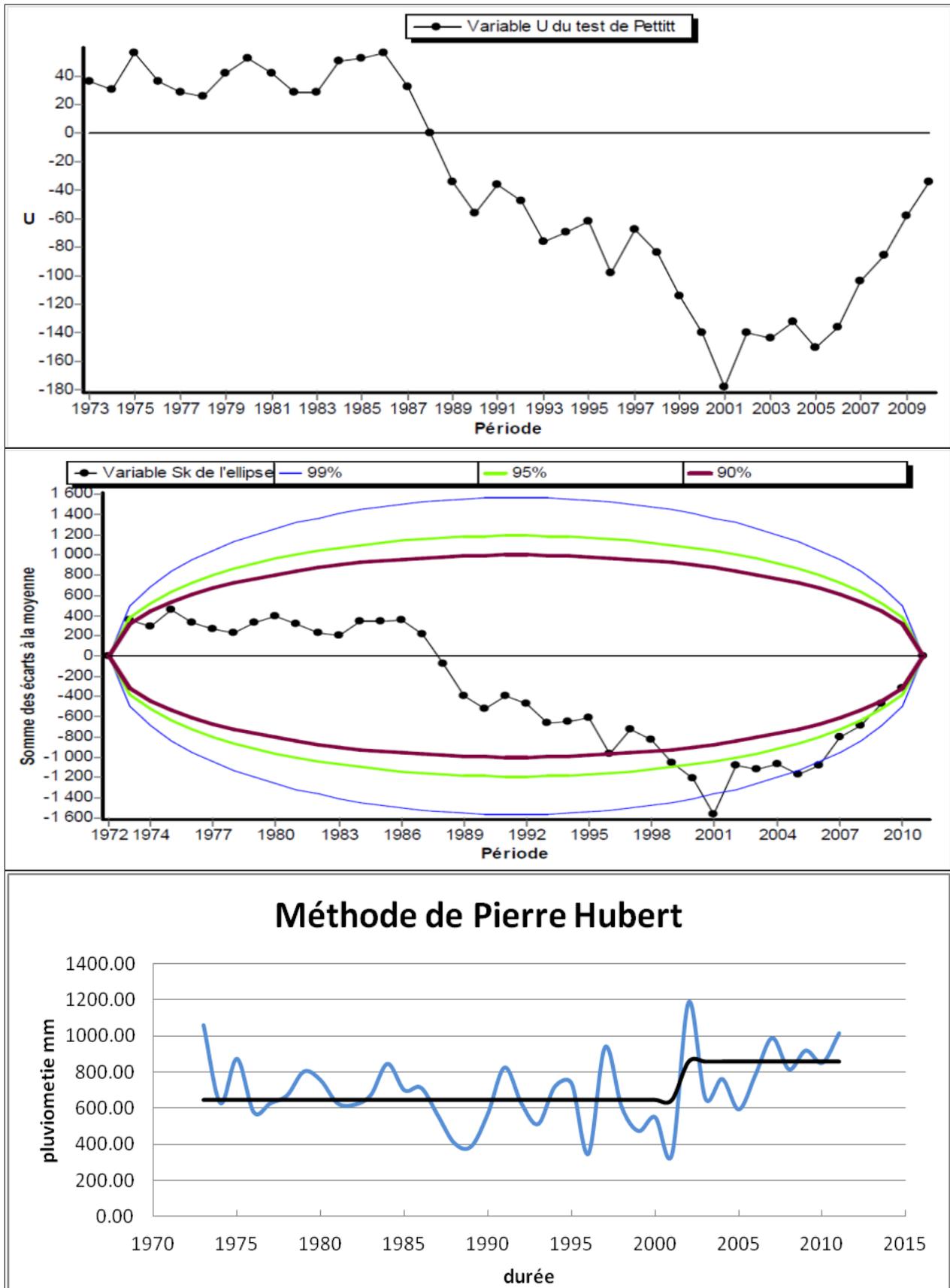


Figure III.13: Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles à la station de lakhdaria

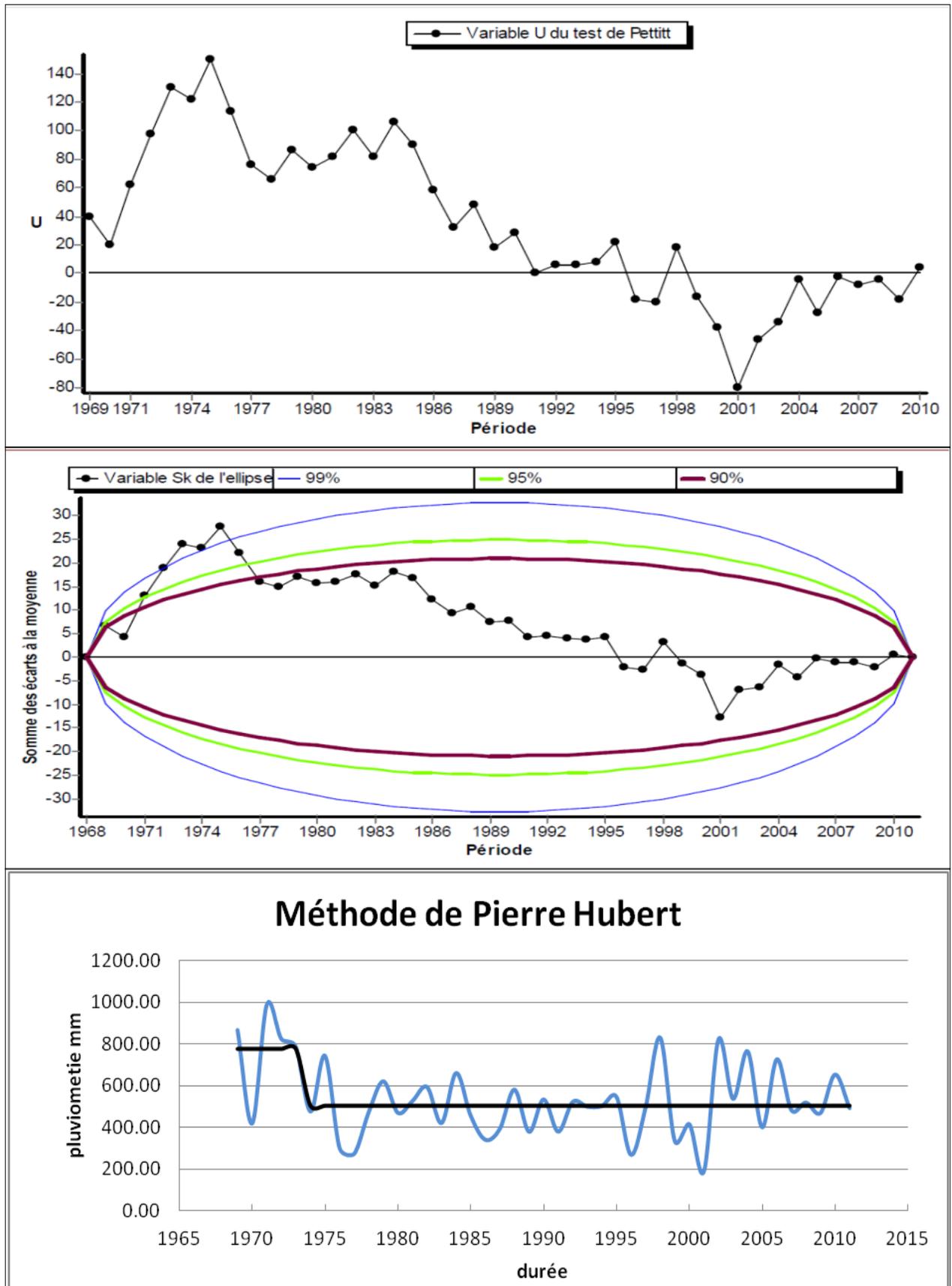


Figure III.14: Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de Souk El Khemiss

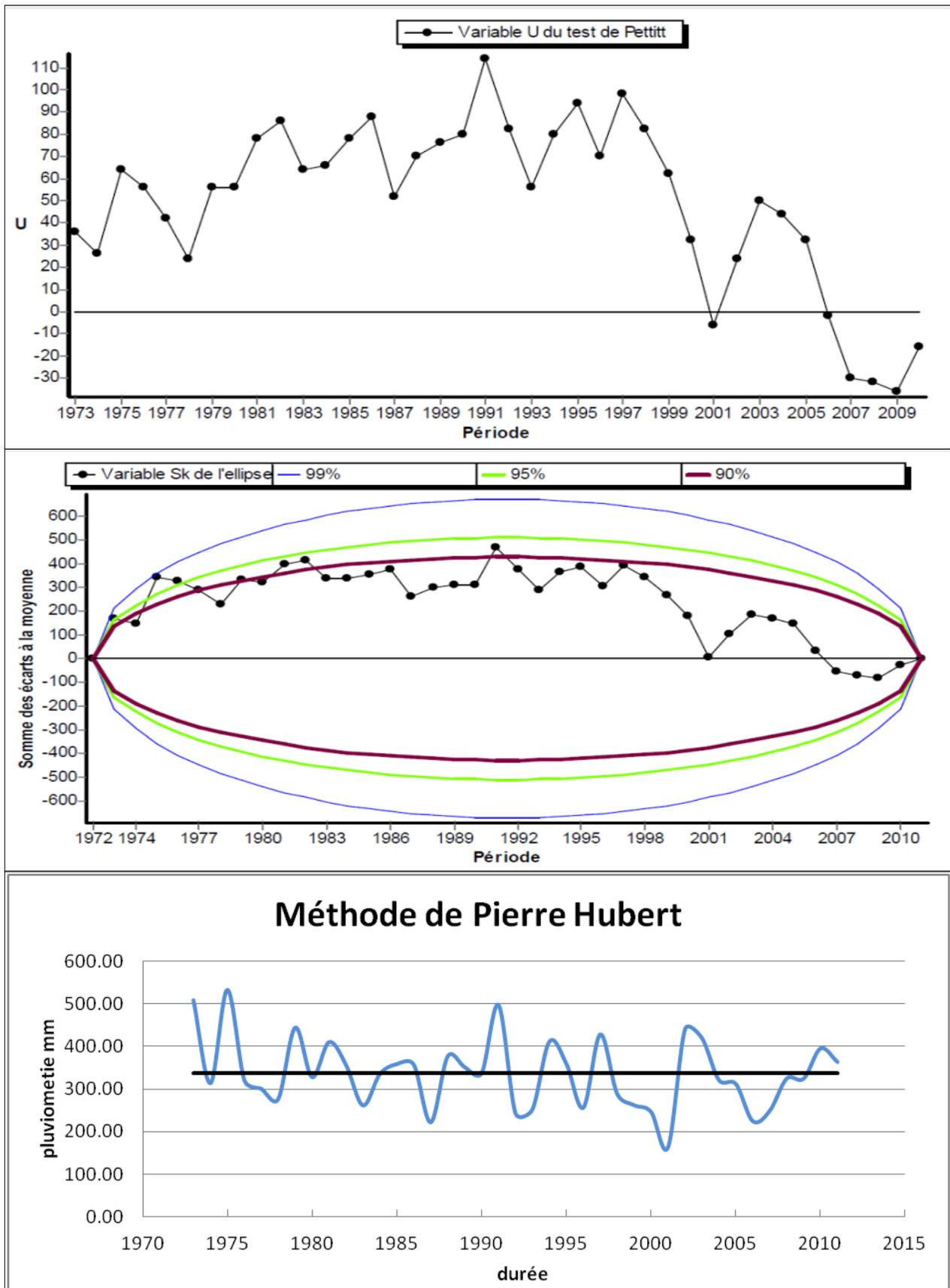


Figure III.15: Résultats du test de Pettitt, hubert et Buishand appliqué aux pluies annuelles a la station de Souagui

II.8.2.Ruptures saisonnière :

La phase déficitaire ou excédentaire de la pluviométrie s'accompagne de certaines modifications de la répartition des précipitations dans l'année se traduisant par des diminutions ou augmentations de la contribution de certains mois au total annuel (Fadika *et al.*, 2008). Pour cette raison, les fluctuations pluviométriques ont été analysées à l'échelle de la saison afin de mieux caractériser les effets de décadence des totaux pluviométriques saisonniers sur ceux de l'année.

La rupture a été signalée au début des années 1970 et 2001 pour les totaux pluviométriques saisonniers en appliquant le test de Lee & Hghnian.

Ce test confirme que la rupture de tendance détectée sur les totaux pluviométriques annuels est due à une baisse ou augmentation sur les totaux pluviométriques automnaux, hivernaux et printaniers (Tableau III.5 et III.6). En outre, le test de Lee & Hghnian montre que la date de rupture décelée sur les totaux pluviométriques saisonniers est proche de celle obtenue sur les totaux pluviométriques annuels.

Tableau III.5 : Résultats des tests statistiques appliqué aux précipitations saisonnières

Station	Période d'étude	saison	Buishand	Pettitt	Lee & Hghinian	Hubert
Souagui	1973-2011	automne	Acceptée	-	1979	-
		hivers	Acceptée	-	1973	-
		printemps	Acceptée	-	1975	-
Souk el khemis	1969-2011	automne	Acceptée	-	1969	1969
		hivers	Acceptée	-	1973	1970 et 1972
		printemps	Acceptée	-	1975	-
Lakhdaria gorges	1973-2011	automne	Acceptée	-	2006	2006 et 2007
		hivers	Acceptée	-	2001	-
		printemps	Acceptée	-	2005	-
Bsibsa	1973-2011	automne	Acceptée	-	2006	-
		hivers	Acceptée	-	2010	-
		printemps	Acceptée	-	1973	-
Djebahia	1923-2013	automne	Acceptée	-	1959	-
		hivers	Rejetée	1973	1973	1937 et 1938
		printemps	Acceptée	-	1979	-
Beni slimane	1980-2014	automne	Rejetée	-	2001	-
		hivers	Acceptée	-	2012	-
		printemps	Acceptée	-	2005	-
Khabouzia	1969-2015	automne	Rejetée	2001	2001	2001
		hivers	Acceptée	-	1973	-
		printemps	Acceptée	-	2005	2005

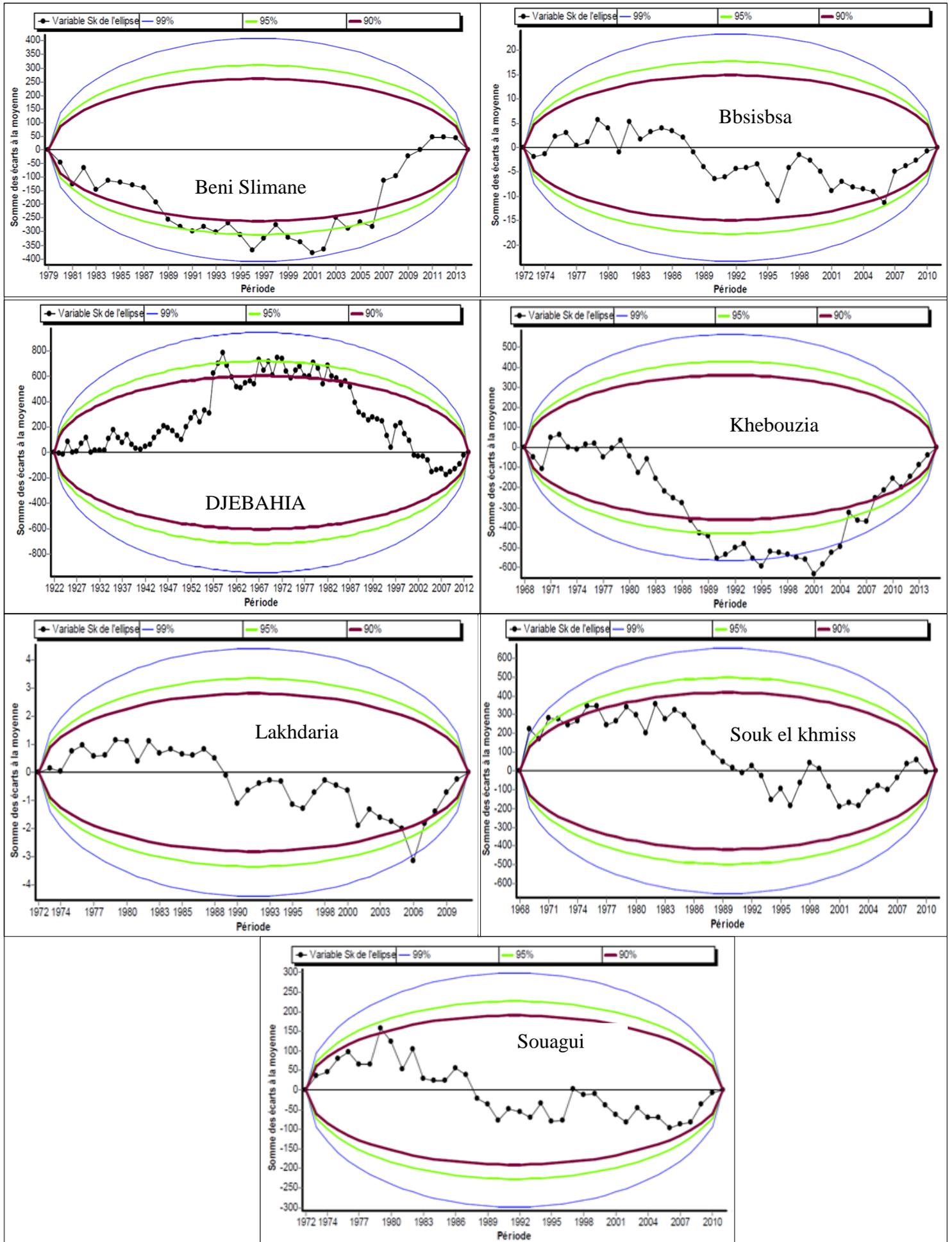


Figure III.16 : Résultats du test de Buishand a la pluviométrie saisonnière (Automne)

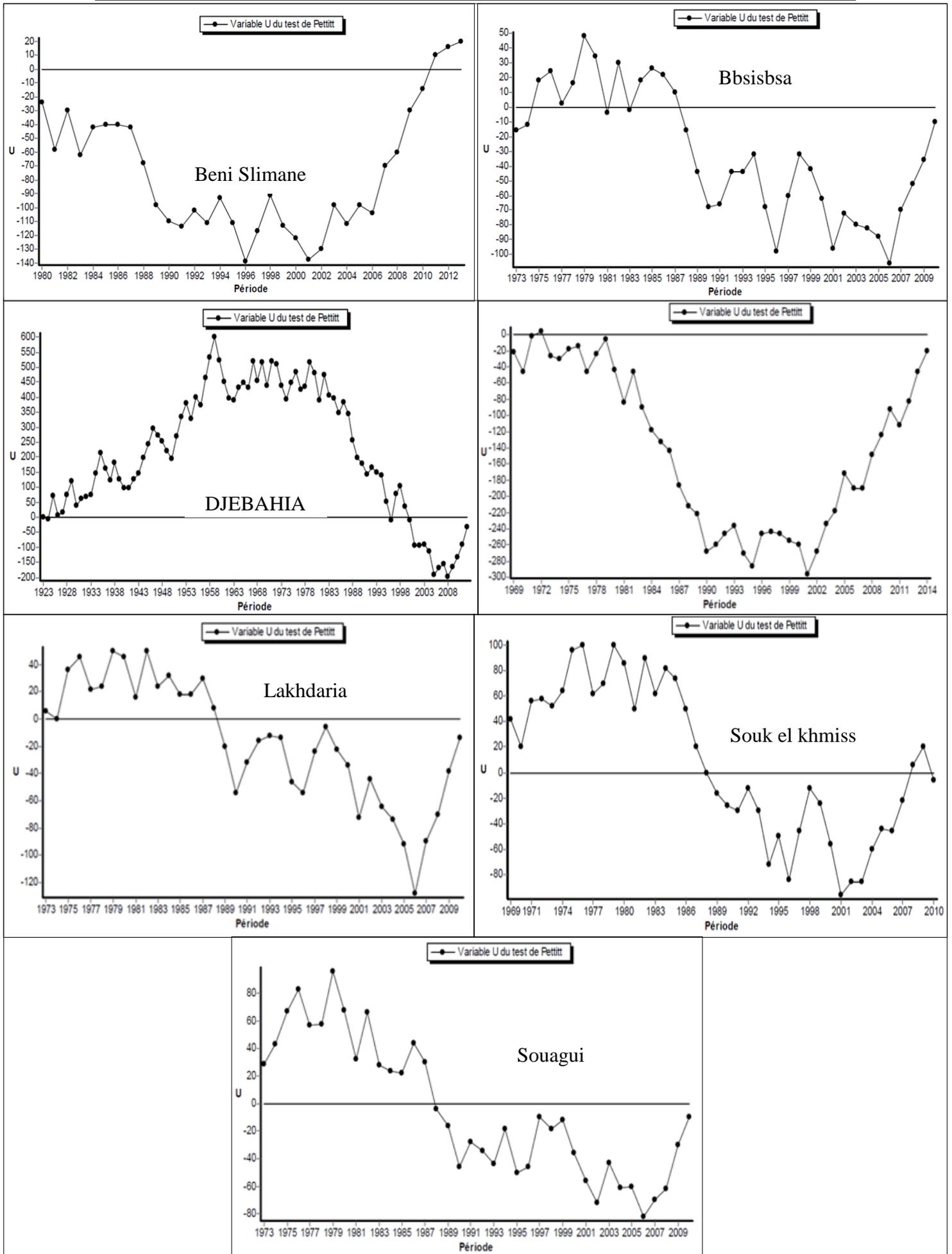


Figure III.17 : Résultats du test de Pettit à la pluviométrie saisonnière (Automne)

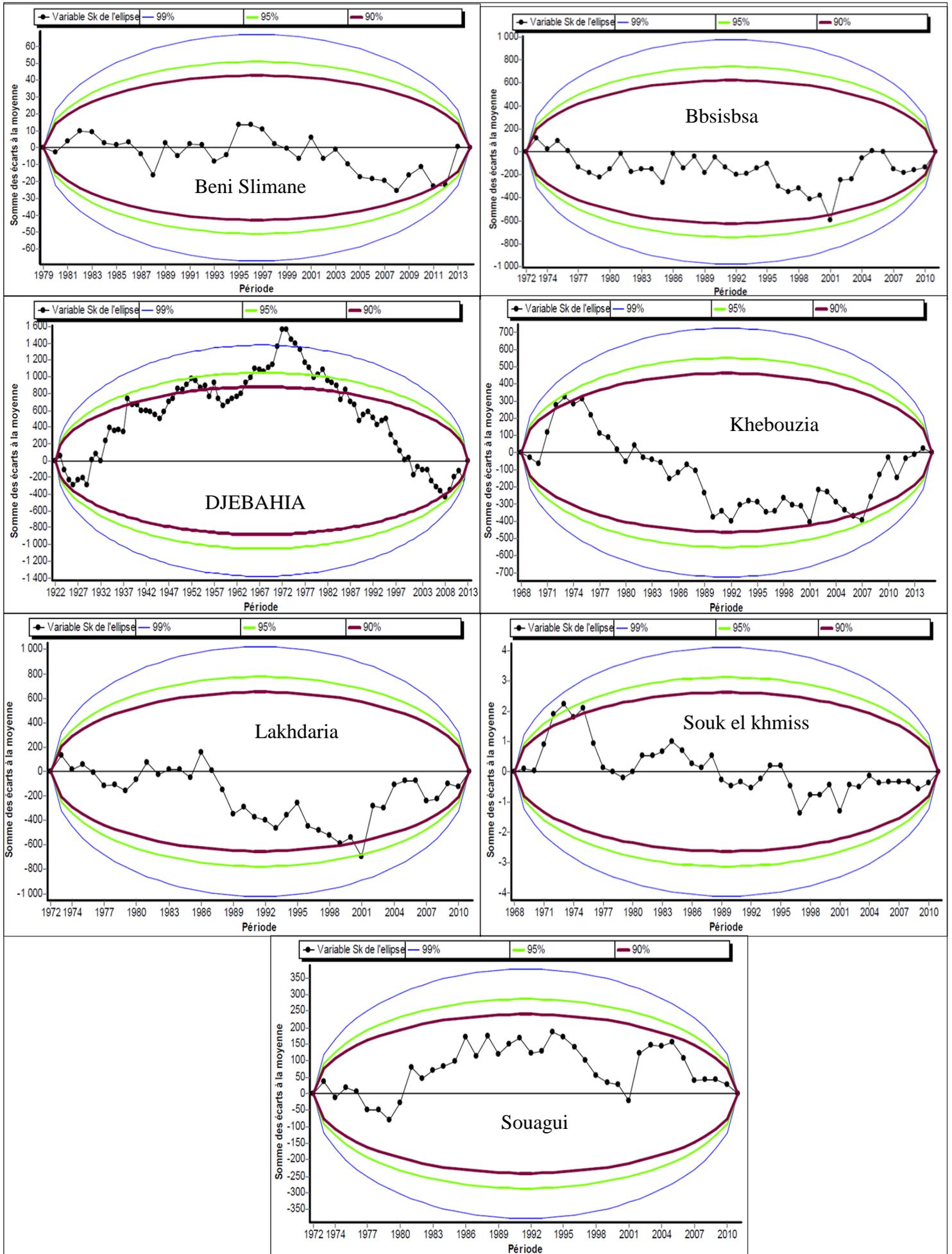


Figure III.18 : Résultats du test de Buishand a la pluviométrie saisonnière (hivers)

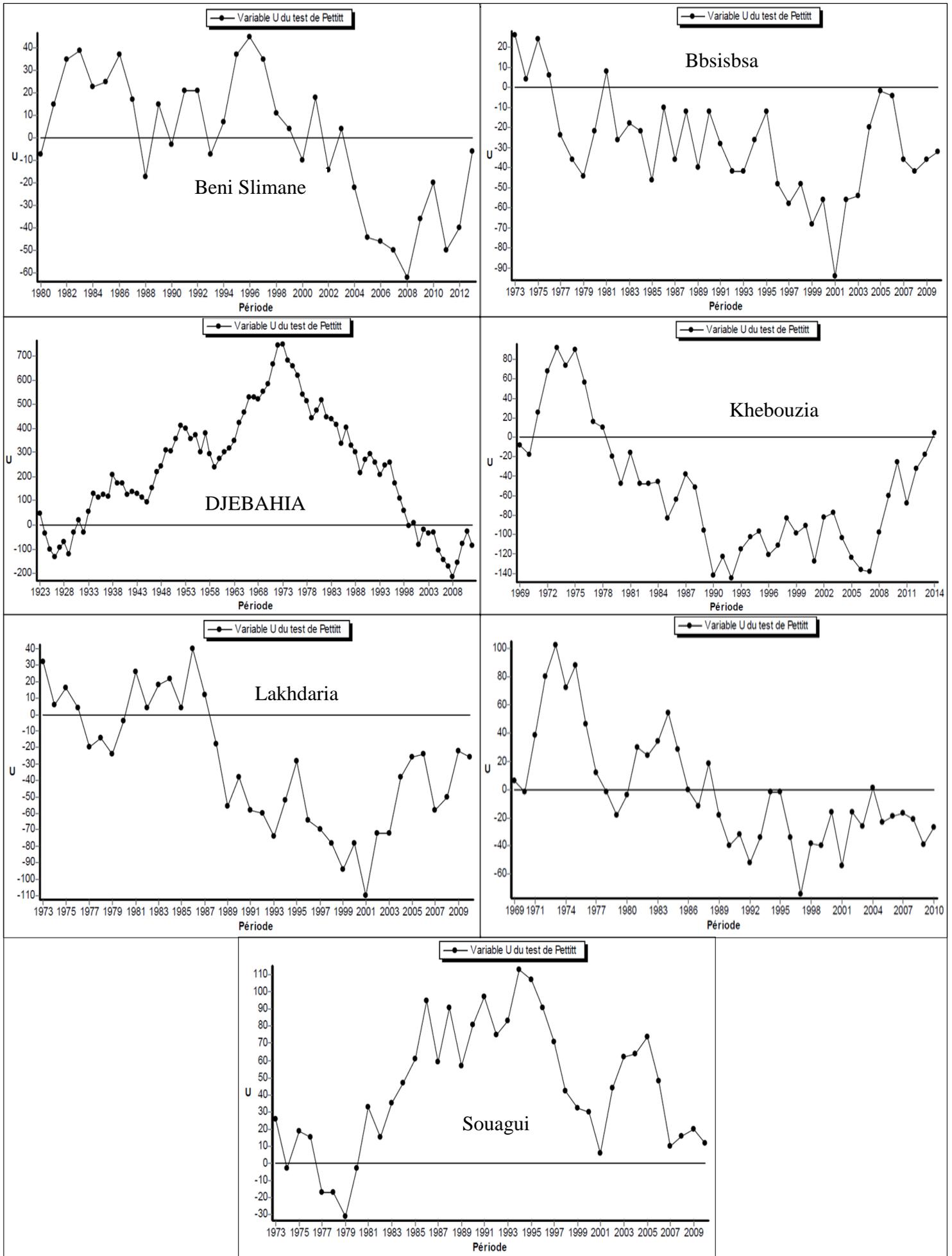


Figure III.19: Résultats du test de Pettitt à la pluviométrie saisonnière (hivers)

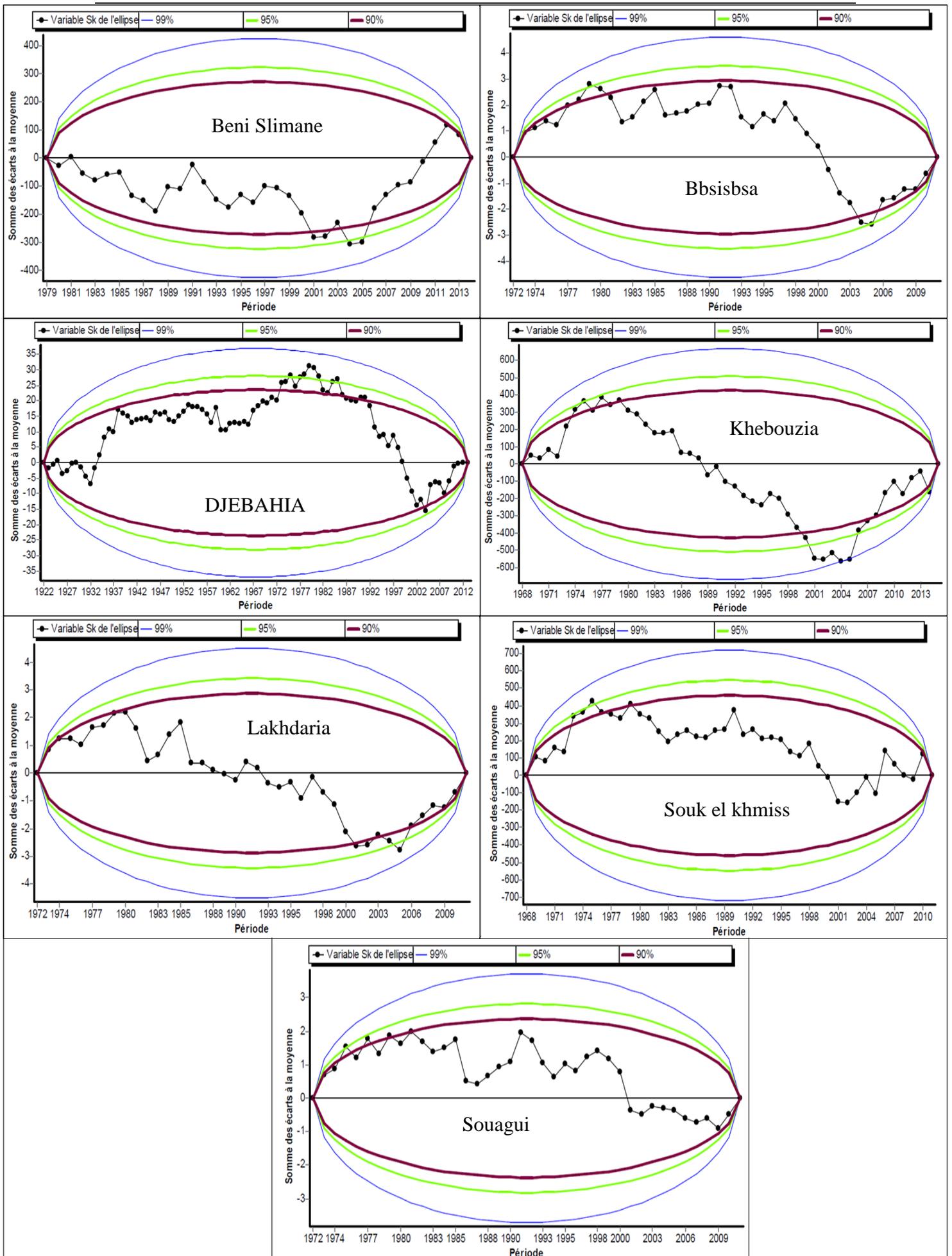


Figure III.20: Résultats du test de Buishand a la pluviométrie saisonnière (Printemps)

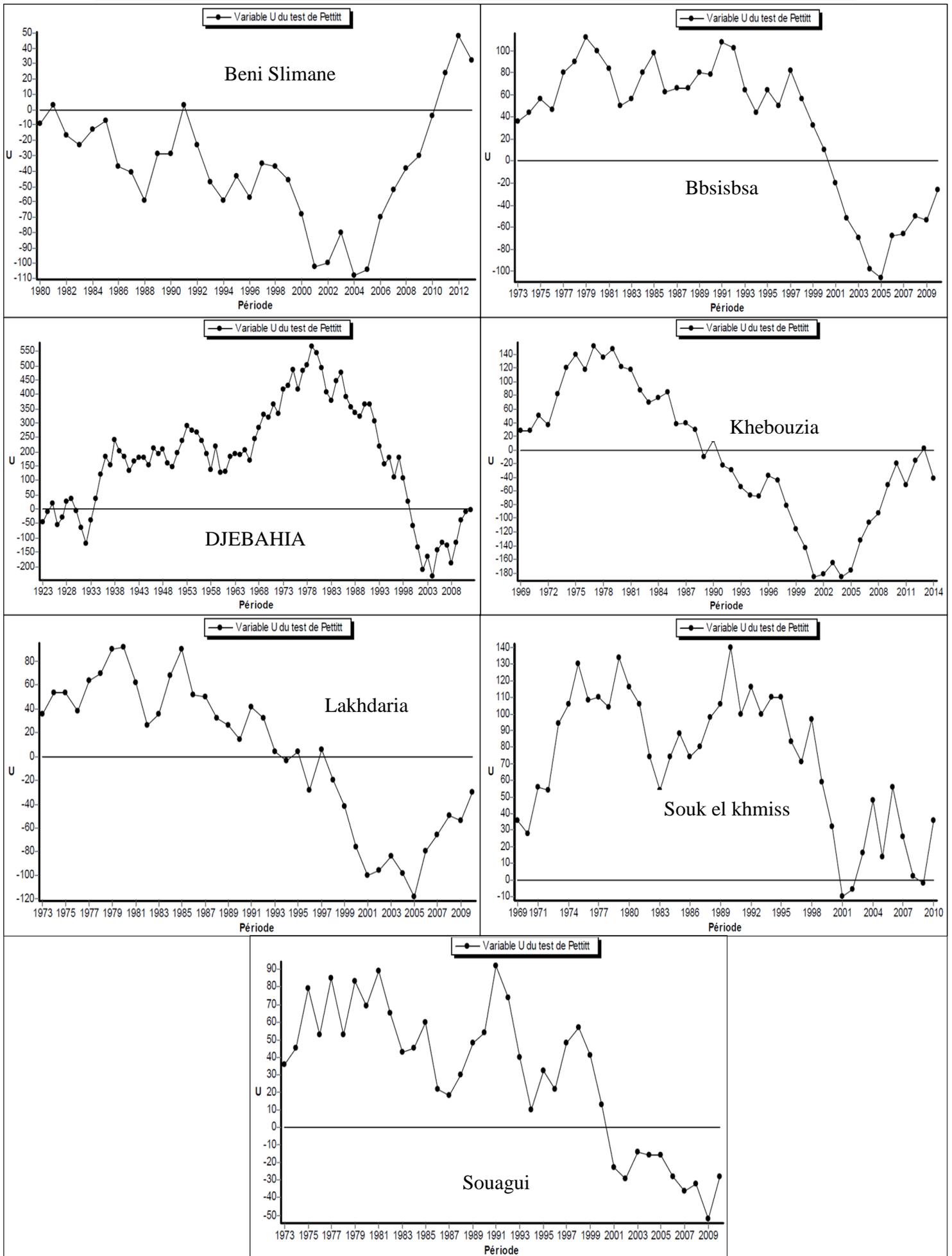


Figure III.21: Résultats du test de Pettitt à la pluviométrie saisonnière (Printemps)

II.9.variation des pluviométries avant et après rupture :

Pour bien comprendre les ruptures annuelles détecté auparavant par les tests statistiques nous avons essayé de faire une petite comparaison mensuelle et saisonnière des cumuls des précipitations avant et après les ruptures les plus significantes à chaque station, les résultats trouvés sont récapitulés dans le tableau III.6, figure III.24 et figure III.25.

III.9.1.variation saisonnière :

Les résultats du tableau III.6 et la figure III.22 confirme les rupture positives au sein des stations de Beni Slimane, Lakhdaria, Khebouzia et Bsibsa ainsi que les ruptures négatives au niveau des stations de Souagui,souk El Khmiss et Djebahia .

La baisse ou l'augmentation des quantités de pluie durant les trois saisons à savoir l'automne, l'Hivers et le printemps influence proportionnellement les variations annuelles (tendance et rupture).

Nous constatons que la moyenne saisonnière précipités varie entre 88.52 et 182.87 mm pour l'automne, entre 113.86 et 293.99 mm a l'hiver et entre 109.31 et 205.58mm au printemps respectivement dans les stations de Sougui et Lakhdaria, donc on peut considérer que Souagui est la moins arrosé par contre Lakhdaria est la plus arrosé.

On observe dans la figure III.22 une diminution des moyenne saisonnière après rupture des précipitations entre 50 et 150 mm pour toute les saisons au niveau des station de Lakhdaria, Bsibsa, Khebouzia et Beni Slimane, et une augmentation des moyenne saisonnière après rupture des précipitation entre 30 et 150 mm au niveau des station Souagui, Souk El Khmiss et Djebahia

Tableau III.6: variation des moyennes saisonnières avant et après rupture

Nom de station	Automne		Hiver		Printemps	
	Moy Avant Rupture	Moy Après Rupture	Moy Avant Rupture	Moy Après Rupture	Moy Avant Rupture	Moy Après Rupture
Souagui	115.42	86.27	120.02	113.34	169.97	104.25
Souk el khemis	191.58	136.08	334.04	201.43	225.26	148.47
Lakhdaria gorges	165.80	232.37	269.29	363.29	190.21	250.17
Bsibsa	173.25	203.85	295.49	379.10	197.97	329.90
Djebahia	178.55	150.16	320.23	250.46	201.60	174.35
Beni slimane	82.33	123.75	120.64	149.05	96.41	123.31
Khabouzia	99.18	163.64	160.49	201.74	116.95	172.69

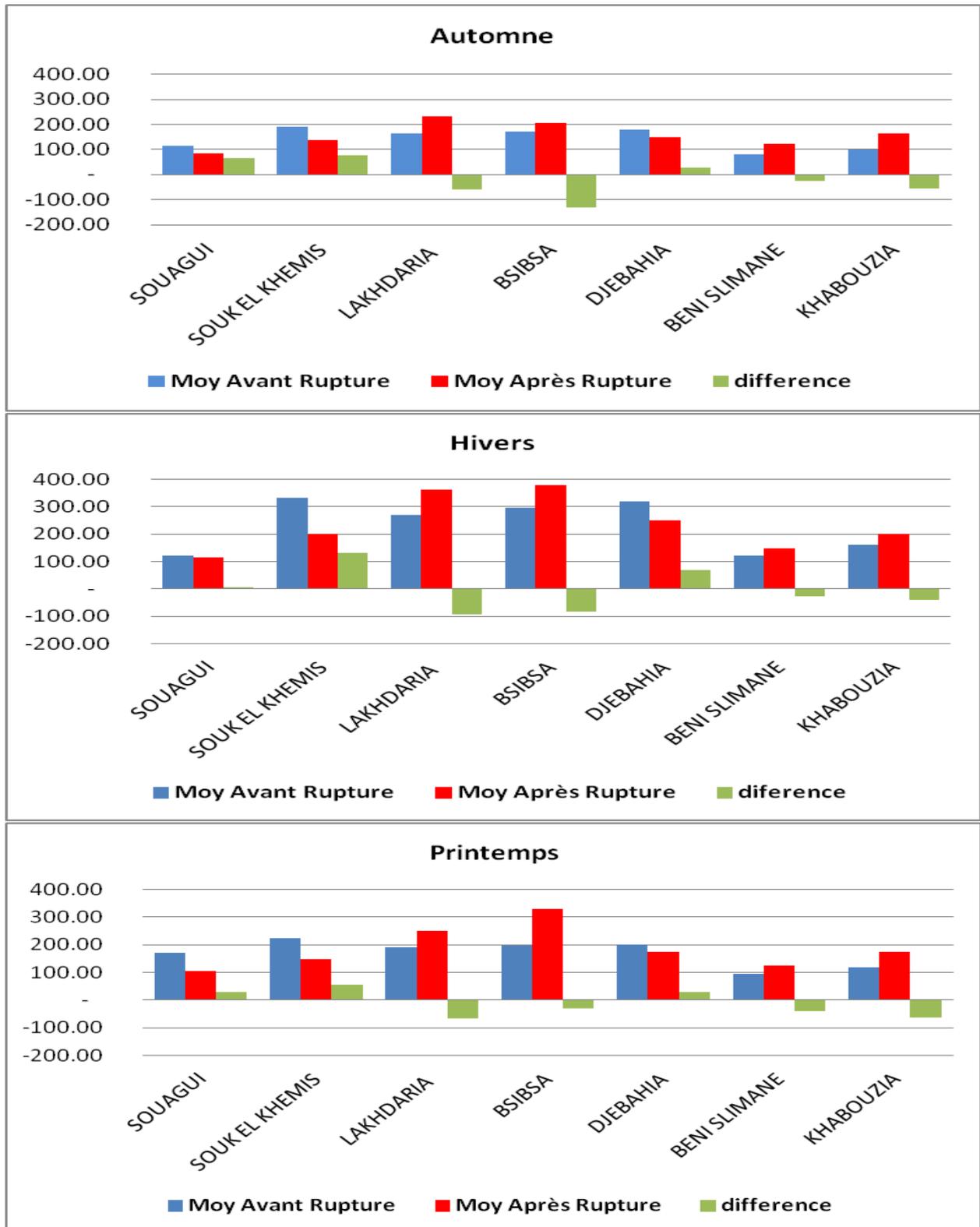


Figure III.22: variation des moyennes saisonnières avant et après rupture

III.9.2.variation mensuelle :

Comme pour les variations saisonnières la comparaison des moyennes mensuelles avant et après rupture (figure III.23) pour chaque station nous a permis de voir les ruptures d'une manière plus claire et plus profonde, quelle soit positive ou négative.

Effectivement L'analyse mensuelle des précipitations montre que l'ampleur de la variation de ces dernières est très nette entre les deux périodes précitées. Le tableau III.7 et la figures III.23, montrent :

Une baisse relative de la moyenne avant et après l'année de rupture pour les stations de Souk El Khemiss, Djebahia et Souagui, qui s'étale pour toute l'année sauf le mois de novembre pour Djebahia et Souk El Khemiss et le mois d'octobre et janvier pour la station de Souagui. avec un maximum de diminution de 29.7mm en mois de janvier a Djebahia, de 61.4mm et 44.5mm en mois de mars respectivement dans les stations de Souk El Khmiss et Souagui.

Une augmentation relative de la moyenne avant et après l'année de rupture pour les station de Khebouzia ,Lakhdaria, Bsibsa et Beni Slimane qui s'étale du mois de septembre au mois de juin sauf le mois de janvier pour Bsibsa avec un maximum d'augmentation de 42mm en mois décembre à Lakhdaria, de 37.mm en mois de novembre a khebouzia,160.2mm et 18.1mm en mois de février respectivement dans les stations de Bsibsa et Beni Slimane .

Tableau III.7: variation des moyennes mensuelle avant et après rupture

Station	Période d'étude	La moyenne	mois											
			sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
Bsibsa	1969-2015	avant 2009	40.3	48.6	84.4	108.6	93.1	93.8	81.8	42.1	47.1	9.9	4.3	8.7
		apres 2009	7.2	70.0	126.8	70.6	54.6	254.0	136.3	118.4	75.3	11.5	-	14.5
Beni slimane	1973-2011	avant 2001	20.4	27.8	35.2	40.4	42.4	40.6	34.0	33.8	33.9	12.8	6.0	5.1
		apres 2002	39.9	34.0	54.8	53.8	43.2	58.7	45.5	42.2	43.5	12.5	2.4	9.5
Djebahia	1923-2013	avant 1973	38.2	70.2	70.1	119.2	108.1	93.0	75.1	73.8	52.7	16.7	7.3	12.4
		apres 1973	27.1	47.0	76.1	91.4	78.4	80.7	66.5	59.7	48.1	8.9	6.4	7.7
Khabouzia	1980-2014	avant 2001	22.7	30.8	45.6	52.5	55.2	52.8	43.3	43.9	29.7	6.8	1.5	3.5
		apres 2001	37.5	43.2	82.9	58.6	74.0	69.2	76.5	53.8	42.4	12.2	1.0	7.5
Lakhdaria gorges	1973-2011	avant 2001	29.1	51.0	85.8	94.7	85.9	88.7	76.7	65.5	48.0	12.2	4.2	6.5
		apres 2002	34.8	66.3	114.2	136.7	97.4	108.1	88.1	95.9	53.1	4.8	2.1	10.3
Souk el khemis	1969-2011	avant 1973	69.8	64.5	57.4	116.4	125.1	92.6	118.3	62.1	44.9	19.7	2.8	3.8
		apres 1973	23.2	43.8	69.1	73.5	67.2	60.7	56.9	59.0	32.6	7.0	3.4	6.4
Souagui	1973-2011	avant 1975	35.1	27.3	53.0	27.1	18.6	74.3	75.0	42.0	53.0	24.4	14.7	6.7
		apres 1975	24.2	33.3	28.8	37.7	40.9	34.7	30.5	36.7	37.1	9.3	7.3	7.5

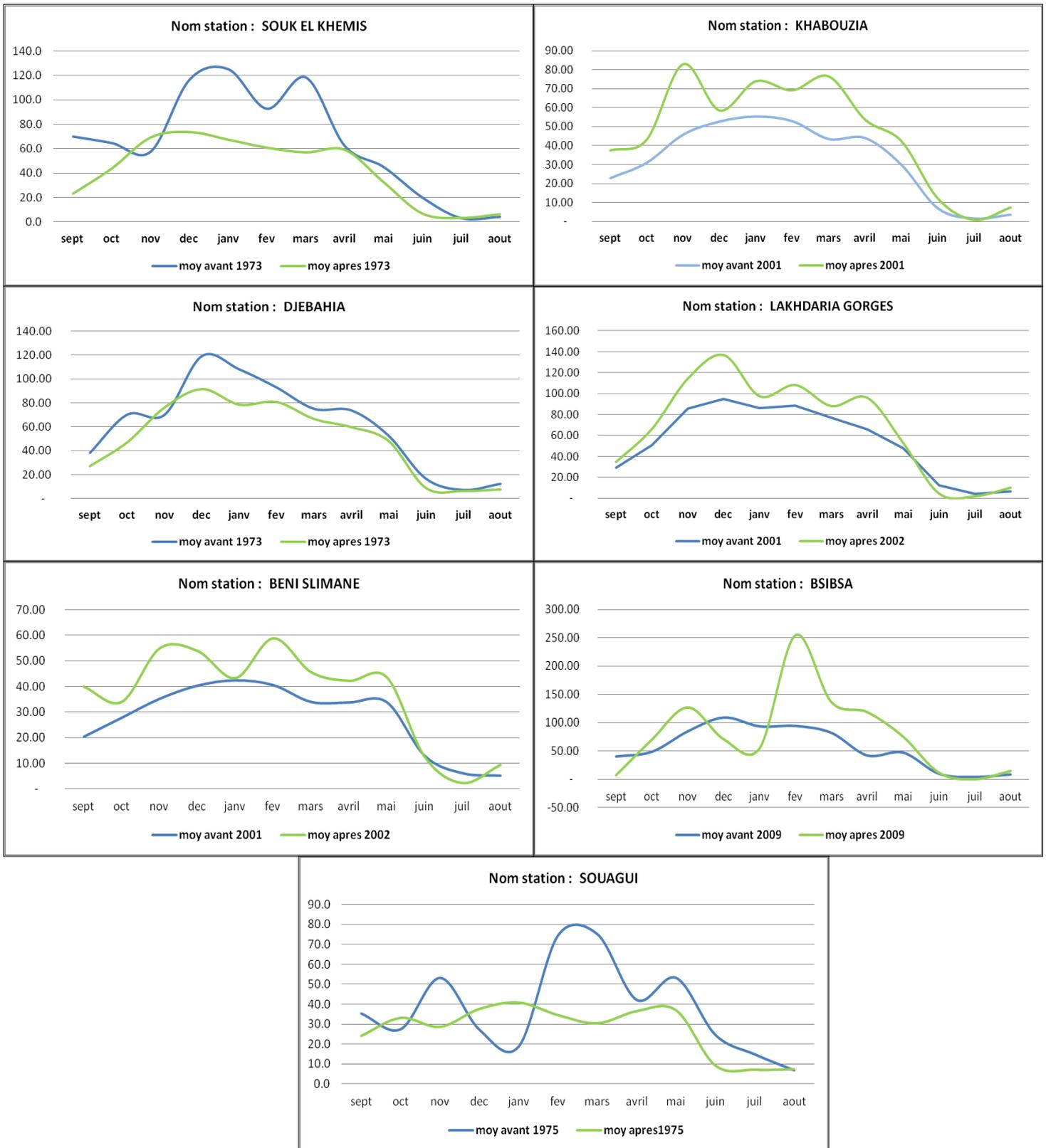


Figure III.23: variation des moyennes mensuelles avant et après rupture

III.10.Conclusion :

Les résultats indiquent que pour les périodes analysées, il y a un changement dans le régime des précipitations annuelles soit à la baisse ou à l'augmentation dans l'ensemble du bassin étudié. Ces changements ont un lien direct avec les précipitations mensuelles durant les trois saisons (automne, hiver et printemps) comme nous l'avons démontré dans les paragraphes précédents. Ces changements climatiques dans la région doivent être bien étudiés et bien identifiés afin de pouvoir agir d'une manière juste et efficace en matière de ressources hydriques.



Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

L'analyse de la variabilité des précipitations a permis de caractériser les principales modifications que le bassin versant de l'Oued Isser a pu subir. Ce bassin est caractérisé par sa forme assez allongée ($K_c = 1.17$) et une vallée relativement large avec une superficie de 4149 Km^2 .

L'étude de la variation de la pluviométrie été effectuée sur les totaux annuels et saisonniers, quatre méthodes de détection de rupture dans les séries chronologiques ont fait l'objet de cette étude et l'indice de Nicholson qui permet de dégager les grandes tendances dans les séries chronologiques et de mieux visualiser les périodes déficitaires et excédentaires.

La répartition des précipitations est hétérogène sur l'ensemble du bassin de l'Isser qui est caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle décroissante du Nord au Sud, avec des altérations dans les chaînes montagneuses qui impliquent le rôle important de l'altitude. Les précipitations varient de 702.28 mm dans le Nord à 337.37 mm dans le Sud.

Le coefficient de variation des pluies annuelles croit généralement du Nord au Sud de la région étudiée. Cette variabilité due aux fortes pluies d'hiver et de printemps qui touchent les régions montagneuses où l'altitude dépasse 1000 m .

Généralement, les coefficients de variation saisonniers sont élevés, ce qui traduit l'importance de la variabilité et l'irrégularité des précipitations saisonnières qui est aggravée par les fortes pluies en hiver et en printemps, la contraction de la saison des pluies et une occurrence plus grande des sécheresses dans les dernières décennies du siècle passé.

Sur l'ensemble du bassin, le déficit pluviométrique entamé depuis 1975 se prolonge à 2001, même si la sévérité varie d'une année à l'autre. Ces succession des années sèches sont intercalée d'une ou de deux années excédentaires.

Ces analyses montrent que les déficits pluviométriques des trois dernières décennies de siècle passé ont été largement amplifiés le stress hydrique dans la région. Il s'avère que, malgré la reprise des pluies pendant la décennie des années 2000, la période reste déficitaire et la sécheresse semble donc s'étaler dans la région.

CONCLUSION GENERALE

En outre, Les résultats ont révélé une modification du régime des précipitations se traduisant nettement par une tendance à la baisse survenue au milieu des années 70.

Les années 1973, 1975 et 2001 sont identifiées comme étant celles de ruptures les plus dominantes. Ces observations sont en accord avec les résultats d'un certain nombre de travaux qui situent, pour le Nord de l'Algérie, la plupart des ruptures entre le début de la décennie 1970 et la fin de la décennie 1980.

La rupture a été signalée au début des années 1970 et 2001 pour les totaux pluviométriques saisonniers par le test de Lee & Hghnian.

Finalement, Nous avons constaté que la méthode de Lee-Heghinian permet d'identifier un seul parmi plusieurs changements de moyennes dans les séries chronologiques. Par contre nous avons observé que la méthode de Hubert comporte aussi un inconvénient du fait qu'elle découpe parfois la série chronologique en un nombre très important de segments, ainsi que pour la méthode de Buishand, qui effectue un test de rupture en moyenne et qui ne donne pas instant connu de cette dernière.

Dans la continuité de notre travail, il serait intéressant d'étudier les ruptures à un pas de temps plus fin (mensuel, ou même journalier) afin de détecter les ruptures invisibles à des pas de temps plus grands. Il serait intéressant aussi d'utilisation d'autres méthodes modernes tel que les ondelettes qui donnent avec exactitude la rupture réelle dans la série chronologique, qui permet d'indiquer clairement le sens de celle-ci qu'elle soit positive ou qu'elle soit négative, qui classifie les ruptures dans la série chronologique en fonction de leurs ordres d'occurrence et qui permet de détecter les ruptures à des niveaux de résolution plus fines que les autres ancienne méthodes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANRH d'Alger (2017).
- B. Larfi et B. Remini ,2006 : Le transport solide dans le bassin versant de l'oued Isser impact sur l'envasement du barrage de Beni Amrane (Algérie).
- Bakari SANKARA,T.(2010). Variabilité climatique et gestion des ressources naturelles. Cas de la forêt classée et réserve partielle de faune de Gonse au Burkina Faso, Université de Ouagadougou
- BELARBI, F. (2010). Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la TAFNA.
- Belkacem.N, 2011 : Etude de variabilité des précipitations dans l'ensemble du bassin versant Isser (09), Algérie.
- Bellout.M ,2015 : Etude de la répartition fréquentielle et annuelle des débits des cours d'eau de l'Algérie du nord.
- Bigot, S. (2002). "Détection des discontinuités temporelles au sein des séries climatiques: point méthodologique et exemple d'application." Actes des Journées de Climatologie de la Commission «Climat et Société» du Comité National Français de Géographie: 27-46.
- Binnie.Partners, 1983 : Schéma d'aménagement des ressources en eau dans la région D'alger-sebaou.
- Bouchek. F et Ikhlef .A, 2015 :Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale du bas Isser (Boumerdes).
- Boussaid, 2014 : Etude des hydrogrammes des crues du bassin versant Isser (09) Algérie (W. Boumerdes).
- Chadid, O. (2003). Analyse des séries hydrométéorologiques par la transformée en ondelettes, École de technologie supérieure.

- Elmeddahi .Y, Mahmoudi H, Issaadi .A, Goossen M.FA et Ragab .R (2016): Evaluating the Effects of Climate Change and Variability on Water Resources: A Case Study of the Cheliff Basin in Algeria. American Journal of Engineering and Applied Sciences. DOI: 10.3844/ajeassp.2016.
- Fadika, V., Goula, B.T.A., Kouassi, F.W., Doumouya, I., Koffi, K., Kamagate, B., Savane, I., Srohorou, B., 2008. Variabilité interannuelle et saisonnière de l'écoulement de quatre cours d'eau de l'ouest côtier de Côte d'Ivoire (Tabou, Dodo, Néro et San Pédro) dans un contexte de baisse de la pluviométrie en Afrique de l'ouest. European Journal of Scientific Research, Vol.21 No.3, 406-418.
- Guyot, G. (1997). Climatologie de l'environnement, Masson Paris etc.
- <http://www.unice.fr/hydroprotech/download/download.htm>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Oued_Isser.
- Laborde, J. (2000). "Eléments d'hydrologie de surface." Université de Nice-Sophia Antipolis, France.
- Laborde, J. and N. Mouhous (1998). "Notice d'installation du logiciel HYDROLAB." Equipe de Gestion et Valorisation de l'Environnement. Université de NICE, France.
- Lee, A. F. and S. M. Heghinian (1977). "A Shift Of The Mean Level In A Sequence Of Independent Normal Random Variables—A Bayesian Approach—." Technometrics 19(4): 503-506.
- Lubès, H., J. Masson, et al. (1994). "Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques." Etude bibliographique. Programme ICCARE, Rapport 3.
- Lubes-Niel, H., J. Masson, et al. (1998). "Variabilité climatique et statistiques. 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/Journal of Water Science 11(3): 383-408.

- Meddi M., Talia A et Martin C (2009) : Evolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie). *Physio-Géo Géographie Physique et Environnement III*, 61-84
- Oulhaci Dalila, 2016 : Ruissellement inter-annuel en Algérie septentrionale.
- Paturel, J.-E., E. Servat, et al. (1996). "Procédures de identification de "ruptures" dans des séries chronologiques—modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahélienne." *IAHS Publication 238*: 99-110.
- TAOUTI. M et CHETTIH .M, 2015 : caractérisation multi fractale de la fluctuation temporelle des débits journaliers dans le bassin versant de l'oued Isser (Algérie). Article

Résumé:

Les ressources en eau de l'Algérie sont irrégulièrement réparties dans l'espace et dans le temps, ce qui engendre d'énormes difficultés pour leur mobilisation. Les pénuries en eau sont en train de devenir un problème majeur et un grand nombre de régions souffrent déjà du déficit hydrique.

Le but de ce mémoire est d'analyser l'évolution des précipitations dans le temps, ce travail s'est basé sur des séries de données de quelques stations pluviométriques réparties sur le bassin versant d'Isser pour une durée de temps qui s'étale entre de 1923 à 2015.

En premier lieu, nous avons homogénéisé les séries pluviométriques, détecté leur erreurs et comblé leurs lacunes. Par la suite analysé la stationnarité des ces dernière en détectant leur rupture aux échelles annuelle et par le test de Pettitt, le test de Buishand, la procédure bayésienne de Lee et la procédure de segmentation des séries hydrométéorologiques de Hubert .finalement nous avons essayé de tirer a partir des resultat trouvés des conclusions sur les regimes de la variabilité climatique.

Abstract:

Water resources in Algeria are not distributed evenly in space and time that engenders enormous difficulties for their mobilization. Water shortage is becoming a major problem. A number of regions already suffers from water deficiency and the others will soon follow.

The purpose of this memory is to analyze the evolution of rainfall over time, this work was based on survey data sets of a few rainfall stations spread over the watershed Isser for a chronic limited between (1923-2015).

We first analyzed the stationarity of rainfall data and the break in the latter, the seasonal and annual scales;the study is based on a set of methods concerning interpolation and cartographic representation as well as on statistical methods for detection of breaks in time series. The procedures involved are the Pettitt test, the Buishand test, the Lee Bayesian procedure and the segmentation procedure of the Hubert hydrometeorological series. Finally we tried to draw from the results of the conclusions on the regimes of climatic variability.

يتم توزيع الموارد المائية في الجزائر بشكل غير متساوي في الزمان و المكان. و الذى يسبب صعوبات جمة لتعبئة بهم. نقص المياه اصبحت مشكلة كبرى. و العديد من المناطق التي تعاني بالفعل من نقص في المياه.

الغرض من هذه المذكرة هو تحليل تطور هطول الأمطار على مر الزمن، يستند هذا العمل على دراسة سلاسل المعطيات لبعض محطات رصد الأمطار الموزعة عبر الحوض الساكب يسر. لوقائع محدودة بين عامي 1923-2015.

وقد قمنا أولا بتحليل مدى ثبات سلسلة هطول الأمطار وانهايار سلسلة هطول الأمطار على المستويين السنوي والموسمية؛ استخدام أساليب الاستيفاء ورسم خرائط النتائج المتحصل إليها ، وكذلك الأساليب الإحصائية للكشف عن فواصل ضمن السلاسل الزمنية. وهي تظهر تباينا في الأنظمة. والإجراءات المتبعة هي اختبار بوتى ، واختبار بويشاند، وإجراء لي وإجراءات تجزئة سلسلة هوبير للأرصاد الجوية الهيدرولوجية وأخيرا حاولنا رسم نتائج الاستنتاجات المتعلقة بأنظمة التقلبات المناخية.