

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJE-BOUIRA**



Faculté des Sciences et des sciences appliquées
Département Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

**HAMLAOUI ESCHAREUF Tarek
RABIA Fodil**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : **HYDRAULIQUE**
Option : **Ressources Hydrauliques**

Thème :

**Analyse par ondelettes de la variabilité de précipitation
annuelles dans le bassin de l'Isser de centre**

Devant le jury composé de :

Mme ROUABEH Aicha	MAA	UAMOB	Président
Mme ELMEDDAHI Yamina	MCA	UAMOB	Promotrice
Mme BALOUL Djouahra	MAA	UAMOB	Examinatrice

Année Universitaire 2018/2019

Dédicace

Avant tout, c'est grâce à DIEU que nous sommes là.

Je dédie ce travail à :

À la créature de la plus belle création de Dieu sur Terre

A cette source de tendresse, de patience et de générosité ... à ma mère

**A mon chère père, Hamid : pour ses sacrifices et ses efforts offerts jour et nuit à
l'éducation et au bien-être.**

À ma chère sœur Naima

À mon cher frère Hakim

Pour toute ma famille. À mes amis (ies) et collègues

Pour tous les membres de ma promotion

Merci de votre soutien pour moi...

Fodil

Dédicace

Je dédierai ce mémoire à :

A mes parents, A ma sœur, A mes frères.

A ma future femme : « Ouardia »,

A ma famille, A mes amis.

Tarek

Remerciement

Avant tout, nous tenons à remercier Dieu clément et miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage afin que nous puissions accomplir ce travail.

Nous tenons particulièrement à remercier notre promotrice

Mme Y. ELMEDDAHI

pour sa disponibilité et sa contribution générale à l'élaboration

de ce travail.

Également on est reconnaissant à notre faculté et à l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation avec beaucoup de dévouement et de compétence

Nous adressons nos remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'examiner ce mémoire en lui apportant de l'intérêt.

Je dois beaucoup à toute la famille du département de génie civil (spécialité hydraulique),

*Un remerciement chaleureux pour les membres de l'organisation **UGEL** pour sa disponibilité et l'encouragent dans toute la durée de préparation de ce mémoire.*

Sans oublier les personnes qui ont participés de près ou de loin dans ce travail

Liste des symboles

K_G : Indice de compacité de Gravélius ;

A : Surface du bassin versant [Km^2]

P : Périmètre du bassin [Km].

L_r : Longueur du rectangle équivalent (Km) ;

l_r : Largeur du rectangle équivalent (Km).

K_G : Indice de compacité de Gravélius .

Dd : Densité de drainage en Km/Km^2 ,

$\sum L_i$: Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en Km ,

A : Superficie du bassin en Km^2 .

I : indice d'aridité

P : précipitation moyenne annuelle en mm

T : Température moyenne annuelle en °C

\bar{X} est la moyenne

x(t) étant le signal lui-même

g(t) est la fonction fenêtrée et g* son complexe conjugué.

f représente la fréquence.

s représente l'échelle.

τ Facteur de translation.

S Facteur de dilatation « Echelle ».

$\varphi(\tau, s)$ Ondelette mère.

$\varphi\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$ Ondelettes enfants.

Liste des symboles

$\frac{1}{\sqrt{s}}$ Facteur de normalisation de l'énergie

S_0^j Facteur d'échelle.

τ_0 Facteur de translation.

k et j Des entiers.

Liste des Abréviations

ANRH : Agence national des ressources hydrauliques

ANBT : agence nationale des barrages et des transferts

AHS : algérois houdna Soummam

BV : bassin versant

CV : coefficient de variation

CWT : La transformée en ondelettes continue

DF : Dickey et Fuller

DWT : La transformée en ondelettes discrète

DHW : direction d'hydraulique de la wilaya

KPSS : Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin

STFT : la transformée de Fourier Fenêtré

TF : La Transformée de Fourier

WT : La transformée en ondelettes

Tables de matières

Introduction Générale	1
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.....	3
I.1 Introduction	3
I.2 Situation géographique.....	3
I.3 Caractéristiques morphométriques du bassin versant	4
I.3.1 Paramètres géométriques.....	6
I.3.2 Paramètre de forme	6
I.3.3 Rectangle équivalent	7
I.3.4 Paramètres de relief.....	8
I.3.5 Altitude.....	8
I.4 Réseau hydrographique :	9
I.4.1 Densité de drainage :	10
I.5 Contexte géologique.....	11
I.5.1 Lithologie	12
I.5.1.1 Haut Isser.....	12
I.5.1.2 Moyen Isser	12
I.5.1.3 Bas Isser	13
I.6 Végétation :	14
I.6.1 Le Haut Isser :	14
I.6.2 Le Moyen Isser :.....	14
I.6.3 Le Bas Isser :	14
I.7 Climatologie :	15
I.7.1 Climat :	15
I.7.2 Régime climatique :	15
I.7.2.1 Indice de Martonne.....	15
I.7.3 Température	16
I.7.4 Gelée.....	17
I.7.5 Vents :	17

Tables de matières

I.8	Ressources en eaux.....	18
I.8.1	Eaux superficielles	18
I.8.1.1	Barrages en exploitation.....	18
I.8.2	Eaux souterraines	18
I.9	Conclusion.....	19
Chapitre II : méthodes de détection des ruptures		20
II.1	Introduction :	20
II.2	Méthodes statistiques :	20
II.3	Niveau de confiance :	20
II.3.1	Tests paramétriques et tests non-paramétriques.....	21
I.3.1.1	Les tests paramétriques	21
I.3.1.2	Les tests non-paramétriques	22
II.3.1.2.1	Test de Pettitt.....	22
II.3.1.2.2	Statistique de Buishand :	25
II.3.1.2.3	Test de corrélation sur le rang	26
II.3.1.2.4	Procédure de segmentation de Pierre Hubert :	27
II.3.1.2.5	Méthode bayésienne de Lee et Heghinian :.....	28
II.3.2	La stationnarité.....	31
II.3.2.1	Test KPSS (test Kwiatkowski, Phillips, Schmidt et Shin) 1992	31
II.3.2.2	Procédure de test de Dickey et Fuller (1976).....	32
II.3.2.3	Procédure de test Phillips et Perron (1988).....	33
II.4	Conclusion.....	34
Chapitre III : variabilité de régime pluviométrique.....		35
III.1	Introduction	35
III.2	Analyse et traitement des données	35
III.2.1	La collecte de données	35
III.2.2	Critique et traitement des données utilisées	35

Tables de matières

III.3	Variabilité pluviométrique	37
III.3.1	Variation spatio-temporelle de la pluviométrie.....	37
III.3.2	Variation des précipitations annuelles.....	38
III.4	Etude de la stationnarité	40
III.5	Détection des ruptures	42
III.6	Conclusion.....	45
Chapitre IV : Transformé en ondelettes		46
IV.1	Introduction	46
IV.2	La Transforme de fourier :	46
IV.3	Transformée de Fourier Fenêtré (STFT).....	47
IV.4	La transformée en ondelettes (WT).....	49
IV.4.1	L'échelle.....	52
IV.4.2	La transformée en ondelettes continue (CWT)	52
IV.4.3	La discrétisation de la transformée en ondelettes continue.....	52
IV.4.4	La transformée en ondelettes discrète (DWT)	52
IV.4.5	Les propriétés des ondelettes :	54
IV.4.6	L'analyse multi-résolution	54
IV.4.7	Les familles de la transformée en ondelettes	56
IV.4.8	Les types d'ondelettes	57
IV.4.8.1	Translations et dilatations dyadique d'une fonction.....	57
IV.4.8.2	Les paquets d'ondelettes	57
IV.4.8.3	Les ondelettes multiples	58
IV.4.8.4	Le lifting scheme	58
IV.5	Conclusion.....	58
Chapitre V : application de la transformé en ondelettes		60
V.1	Introduction :	60

Tables de matières

V.2	Les ondelettes de Haar	60
V.3	Ondelettes Daubechies	62
V.4	Application de l'ondelette de Haar sur les séries pluviométriques :	63
V.4.1	Station de khabouzia	63
V.4.2	Station de Lakhdaria.....	68
V.4.3	Station de Djebahia	70
V.4.4	Station de Souagi.....	72
V.4.5	Station de Beni Slimane	74
V.5	Conclusion.....	75
	Conclusion Générale.....	78
	Références bibliographique.....	79

Listes des Tableaux

Tableau I.1 Surfaces et périmètres des sous bassins de l'oued Isser.....	6
Tableau I.2 Valeurs de l'indice de compacité de Gravelius des différents sous bassins.	7
Tableau I.3 Longueurs et largeurs des rectangles équivalents des sous bassins de l'oued Isser.....	8
Tableau I.4 Valeurs des altitudes caractéristiques des différents sous bassins.	9
Tableau I.5 Densités de drainage des différents sous bassins versants	11
Tableau I.6 Répartition moyenne mensuelle de la température	16
Tableau I.7 Nombre de jours de Gelée aux stations de Tablat, BirGhbalou (2006) et Souagui et Djebahia (1996-2008)	17
Tableau I.8 Nombre de jours de sirocco aux stations Souagui et BirGhbalou.....	17
Tableau III.1 Caractéristiques des stations pluviométriques Source : A.N.R.H	37
Tableau III.2 Caractéristiques des précipitations à l'échelle annuelle	38
Tableau III.3 Tests de stationnarité des précipitations annuelles.....	41
Tableau III.4 Résultats des tests statistiques pour les précipitations annuelles dans la zone d'étude	44

Listes des Figures

Figure I.1 Carte du Bassin de L'ISSER	4
Figure I.2 Carte des sous bassins versants de l'Oued Isser.	5
Figure I.3 Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Isser	10
Figure I.4 Carte géologique du bassin de l'Isser (Ficheur E. 1895).....	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.5 Carte lithologique du bassin versant Isser	13
Figure II.1la statistique de Mann – Whitney (Chadid 2003).....	24
Figure III.1 Répartition des stations de pluviométrie.....	36
Figure III.2 Evolution des précipitations annuelles de la station Khabouzia.....	39
Figure III.3 Evolution des précipitations annuelles de la station Lakhdaria Gorges	39
Figure III.4 Evolution des précipitations annuelles de la station Djebahia.....	39
Figure III.5 Evolution des précipitations annuelles de la station Souagui	40
Figure III.6 Evolution des précipitations annuelles de la station Beni Slimane.....	40
Figure III.7 Test de Pettitt et Buishand pour les précipitations annuelles dans la station de Khabouzia.....	42
Figure III.8 Test de Pettitt et Buishand pour les précipitations annuelles dans la station deLakhdaria.....	43
Figure III.9 Test de Pettitt et Buishand pour les précipitations annuelles dans la station deDjebahia.....	43
Figure III.10 Test de Pettitt et Buishand pour les précipitations annuelles dans la station de Souagui.....	43
Figure III.11 Test de Pettitt et Buishand pour les précipitations annuelles dans la station de Beni Slimane.....	44
Figure IV.1 La Transformée de Fourier	46
Figure IV.2 La Transformée de Fourier fenêtrée	48
Figure IV.3 La Différence entre une onde sinusoïdale et une ondelette	49
Figure IV.4 La Transformée en ondelettes.....	49
Figure IV.5 Le Pavage de l'espace-temps-fréquence pour la STFT et la WT.	50
Figure IV.6 Quelques formes d'ondelettes	51
Figure IV.7 Localisation des ondelettes discrètes dyadique dans un plan temps/échelle	54
Figure IV.8 Principe de l'analyse multi-résolution.....	56

Listes des Figures

Figure IV.9 Quelques familles d'ondelettes.....	57
Figure IV.10 Principe d'ondelettes en paquets	58
Figure V.1 Fonction d'échelle de l'ondelette de Haar	60
Figure V.2 Ondelette de Haar.....	61
Figure V.3 Ondelette de Daubechies à 6 moments nuls (12 coefficients) pour 2 facteurs d'échelle différents.....	62
Figure V.4 Décomposition en multi niveau de l'ondelette de Haar(station de Khabouzia)	63
Figure V.5 Analyse de l'ondelette de Haar au niveau 2 de la station Khabouzia.....	64
Figure V.6 Analyse de l'ondelette de Haar au niveau 3 de la station Khabouzia.....	64
Figure V.7 Analyse de l'ondelette de Haar au niveau 4 de la station Khabouzia.....	65
Figure V.8 Analyse de l'ondelette de Haar au niveau 5 de la station Khabouzia.....	65
Figure V.9 Décomposition complète de l'ondelette de Haar au niveau 5 de la station Khabouzia	66
Figure V.10 Décomposition complète de l'ondelette de Daubechies ordre 4 (DB4): Niveau 5) pour la station de Khabouzia	67
Figure V.11 Décomposition complète de l'ondelette de Haar au niveau 5 de la station Lakhdaria	68
Figure V.12 Décomposition complète de l'ondelette de Daubechies ordre 4 (DB4): Niveau 2) de la station Lakhdaria	69
Figure V.13 Décomposition complète de l'ondelette de Haar au niveau 5 de la station Djebahia .	70
Figure V.14 Décomposition complète de l'ondelette de Daubechies ordre 5 (DB5): Niveau 4) de la station Djebahia.....	71
Figure V.15 Décomposition complète de l'ondelette de Haar au niveau 5 de la station Souagi	72
Figure V.16 Décomposition complète de l'ondelette de Daubechies ordre 7 (DB7): Niveau 5) de la station Souagi	73
Figure V.17 Décomposition complète de l'ondelette de Haar au niveau 5 de la station Beni Slimane.....	74
Figure V.18 Décomposition complète de l'ondelette de Daubechies ordre 8 (DB8): Niveau 5) de la station Beni Slimane.....	75

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générale

L'eau est un élément essentiel à la vie de l'homme et le développement des civilisations des nations durant tous les précédents cycles. Leur importance est variée au plusieurs domaine (la survie des toutes les êtres vivants, la santé, l'industrie, l'agriculture, et récemment à la production des énergies renouvelables amis à l'environnement.

Comme tous les pays, l'Algérie a un potentiel très important des eaux souterraines et superficielles, mais elles sont inégalement réparties dans le territoire algérien. Cette situation impose une gestion rigoureuse dans l'exploitation des réserves pour atteindre la satisfaction des besoins dans un horizon lointain.

La précipitation est un paramètre important dans le cycle de l'eau, il varie en fonction de temps. La variation de régime pluviométrique constitue des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde.

Dans notre travail nous avons étudié la variation de régime pluviométrique de bassin versant d'Isser de centre et nous avons appliquée plusieurs tests de détection de ruptures au niveau de séries pluviométrique de notre zone d'étude.

Dans cette étude nous avons traité une base de données composée de cinq stations pluviométriques sur une période d'observation varie entre 1923 jusqu'à 2017.

L'organisation de notre travail, et après une introduction générale est comme la suite :

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Ce chapitre est destiné a présenté le bassin versant d'Isser de centre et leur situation géographique, aspect climatologique et géomorphologiques, géologie et hydrogéologiques.

Chapitre II : méthodes de détection des ruptures

Dans cette partie nous présentons les différentes méthodes de détection des ruptures dans les séries pluviométriques et comment identifier le changement.

Introduction Générale

Chapitre III : variabilité de régime pluviométrique

Après la présentation des différents tests de détection de ruptures, dans ce chapitre nous avons appliqués ces tests à l'aide de deux logiciels **XLSTAT 2018** et **Khronostat 1.01**

Chapitre VI : Transformé en ondelettes

Ce chapitre consacré a défini la transformation en ondelettes et leurs applications, en expliquant l'aspect mathématique de cette méthode.

Chapitre V : application de la transformé en ondelettes

Ce chapitre illustre les résultats d'application de l'ondelette de haar et debuchies sur les séries de notre zone d'étude.

Une conclusion générale récapitulera les principaux résultats acquis et mettra en évidence les principaux enseignements de cette étude.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.1 Introduction

Dans cette partie nous présentons la zone de notre étude de point de vue géographique, topographique, les Caractéristiques générales du bassin versant, l'aspect climatologique et géomorphologique de la région, et un aperçu sur la géologie et l'hydrogéologie.

I.2 Situation géographique

Le bassin d'ISSER est situé au centre nord de l'Algérie, à 70 km au Sud-Est d'Alger. Il couvre une superficie de 4158 Km², soit 8.72% de la superficie totale du bassin Algérois Honda Soummam. Il présente sensiblement la forme d'un quadrilatère d'orientation Sud-Ouest /Nord-Est.

Il est limité (Figure I.1) :

- A l'Est, par le bassin de la Soummam ;
- Au Sud, par le bassin du Honda ;
- A l'Ouest, et au Nord par le bassin du Côtier Algérois.
- A l'Ouest le bassin de Cheliff.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

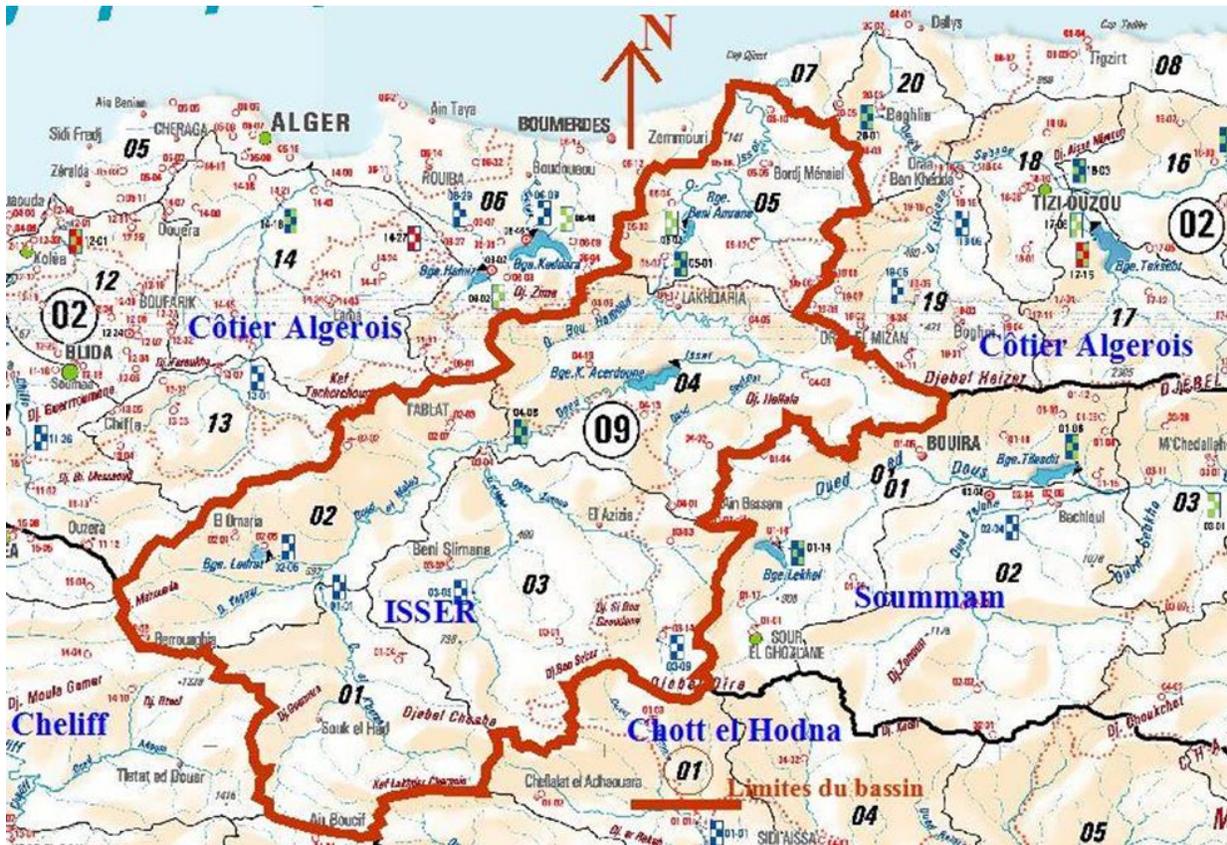


Figure I.1 Carte du Bassin de L'ISSER.

Le bassin de l'Isser Couvre en partie quatre wilayas : Médéa, Bouira, Boumerdes et TiziOuzou et comptabilise 50 communes et 114 agglomérations.

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 (Gueriane,2017).

I.3 Caractéristiques morphométriques du bassin versant

L'analyse du comportement hydrologique d'un bassin versant nécessite la connaissance des caractéristiques topographiques et morphologiques, telles que : la forme, le relief, la disposition du réseau hydrographique, la nature du sol et le couvert végétal.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de l'Isser se compose selon les délimitations hydrographiques, de cinq sous bassins portant respectivement les codes 0905, 0904, 0903, 0902 et 0901 sur la nomenclature hydrologique de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) comme illustrés dans la figure I.2:

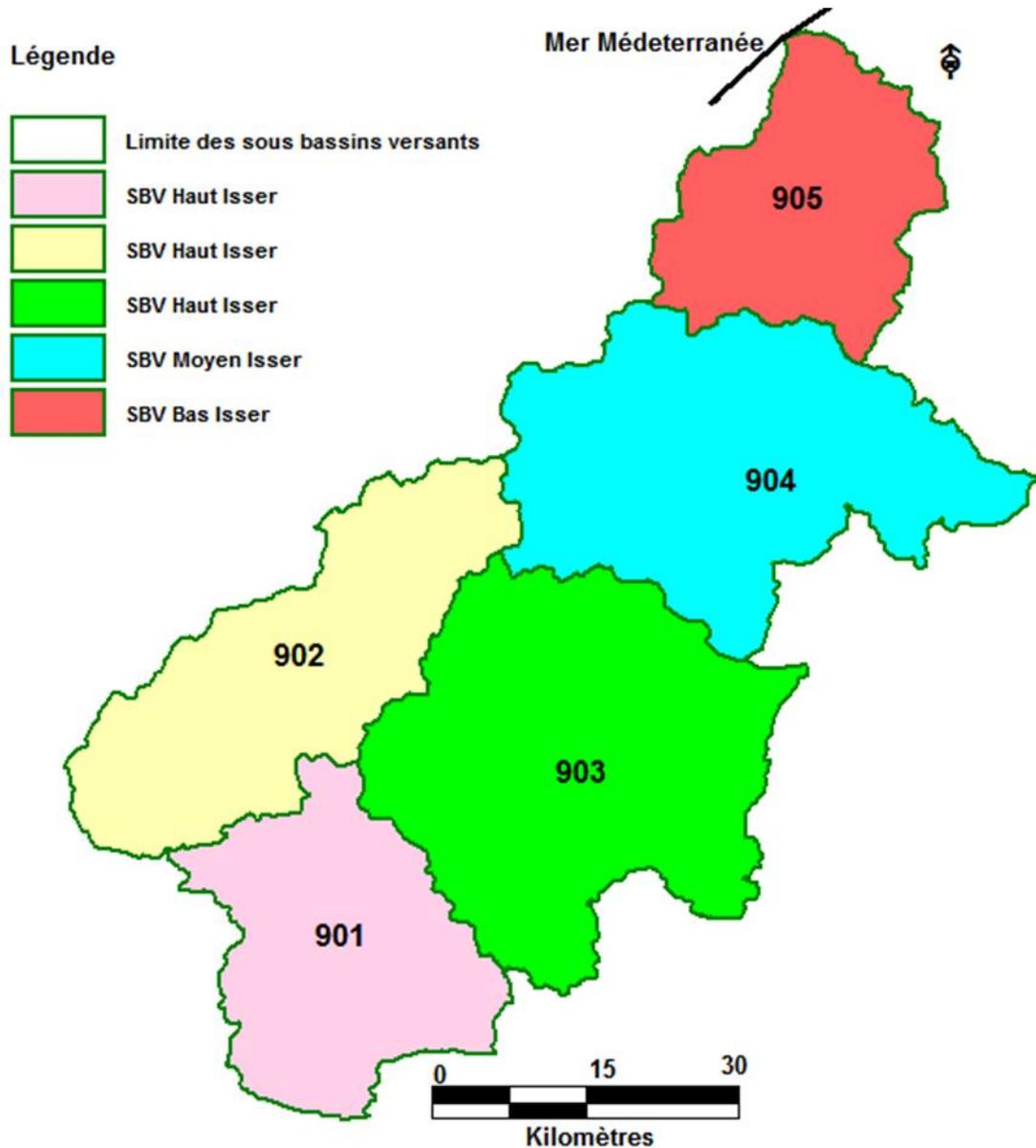


Figure I.2 bassins versants de l'Oued Isser.

- le code (0905) représente le sous bassin versant du Bas Isser drainé par l'oued Isser ;

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

- le code (0904) représente le sous bassin versant du Moyen Isser drainé par l'Oued Isser ;
- les codes (0901-0902-0903) constituent trois sous bassins qui forment ensemble le sous bassin du Haut Isser. Ces sous bassins sont drainés respectivement par les oueds : Malah, Yagour-Malah et Zeroua (Abdelhafid,2014).

I.3.1 Paramètres géométriques

La superficie et le périmètre sont les paramètres les plus importants du bassin versant, ils sont obtenus par la technique de digitalisation (Tableau. I.1).

Tableau I.1 Surfaces et périmètres des sous bassins de l'oued Isser

Sous Bassin	0901	0902	0903	0904	0905
Superficie (Km ²)	664.07	776.17	1136.78	1029.65	551.47
Périmètre (Km)	137.12	155.61	175.49	184.80	118.82

Le sous bassin de l'oued Zeroua (0903) occupe une surface importante dans le bassin d'Isser suivi par le sous bassin du Moyen Isser (0904) avec une superficie de l'ordre de 1029.65 Km² et un périmètre de 184.80 Km.

I.3.2 Paramètre de forme

La forme des bassins versants traduite par l'indice de compacité qui a une influence directe sur l'écoulement : un bassin versant allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin versant de forme ramassée (Roche, 1963). L'indice de compacité (K_c) s'établit en comparant le périmètre stylisé du bassin (P) à celui d'un cercle qui aurait la même surface (A) Soit :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \approx 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Avec : K_G : Indice de compacité de Gravélius ;

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

A : Surface du bassin versant [Km²]

Et P : Périmètre du bassin [Km].

Les valeurs des indices de compacité de Gravelius du bassin versant de l'oued Isser et ses sous bassin sont consignés dans le tableau : I.2.

Tableau I.2 Valeurs de l'indice de compacité de Gravelius des différents sous bassins.

Sous Bassin	0901	0902	0903	0904	0905
K_G	1.49	1.56	1.46	1.61	1.42

Les valeurs de l'indice de compacité obtenues pour les sous bassins sont très proches, elles traduisent une forme assez allongée des sous bassins avec des valeurs de K_G qui varient de 1.42 à Oued Isser Maritime et 1.61 à Oued Isser Moyen

- Le sous bassin du bas Isser (0905) et le sous bassin (0901) présentent des formes moins allongées (**Abdelhafid,2014**).

I.3.3 Rectangle équivalent

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve les mêmes paramètres de forme et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Ce rectangle est défini pour comparer facilement les bassins entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. Les dimensions du rectangle équivalent sont calculées par les formules 2 et 3 :

$$L_r = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \quad (2)$$

$$l_r = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \quad (3)$$

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

L_r : Longueur du rectangle équivalent (Km) ;

l_r : Largeur du rectangle équivalent (Km).

K_G : Indice de compacité de Gravélius ;

A : Surface du bassin versant [Km^2]

Les résultats de ces sous-bassins figurent dans le tableau I.3.

Tableau I.3 Longueurs et largeurs des rectangles équivalents des sous bassins de l'oued Isser.

Sous Bassin	0901	0902	0903	0904	0905
Lre (Km)	56.89	66.05	71.94	79.44	47.90
l re (Km)	11.67	11.75	15.80	12.96	11.51

La comparaison des longueurs et des largeurs des rectangles équivalents, pour la majorité des sous-bassins) confirme l'allongement des sous bassins. La région d'étude présente, dans l'ensemble, des formes allongées à assez allongées favorisant un écoulement lent des eaux de ruissellement (Belkacem, 2011).

I.3.4 Paramètres de relief

Le relief est un facteur essentiel dans la détermination de l'aptitude des terrains au ruissellement.

I.3.5 Altitude

L'altitude minimale varie entre 0 m (Oued Isser maritime), 100 m (Oued Isser Moyen) et 600 m (Oued Melah Yagour dans le Sous bassin d'Haut Isser).

L'altitude maximale varie dans le sous bassin du Bas Isser et le sous bassin du Moyen Isser entre 1000 m (Oued Isser Maritime) et 1250 m (Oued Isser Moyen). Pour les sous bassins de Haut

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Isser, les altitudes sont globalement élevées, elles varient entre 1300 m (Oued Melah Yagour) et 1800 m (Oued Zeroua),

Les résultats de calcul sont rapportés dans le Tableau I.4.

Tableau I.4 Valeurs des altitudes caractéristiques des différents sous bassins.

Sous Bassin	0901	0902	0903	0904	0905
Alt. Min (m)	600	400	400	100	00
Alt. Max (m)	1450	1300	1800	1250	1000
Alt. Moy (m)	1025	850	1100	675	500

En général, dans les sous bassins du bas Isser et Moyen Isser, les valeurs traduisent bien l'importance du caractère plaine. Par contre, dans les sous bassins de Haut Isser, l'importance du volume montagneux est bien marquée, ce caractère favorise le ruissellement (**Abdelhafid,2014**).

I.4 Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est constitué par un chevelu dense représenté en majorité de cours d'eaux temporaires (figure I.3).

L'oued Isser prend sa source dans la région de Tablat (wilaya de Médéa) suite à la jonction de l'oued Mellah Est et de l'oued Mellah Ouest.

Au niveau du Moyen Isser, l'oued Isser reçoit sur sa rive droite deux affluents majeurs : oued Mellah et oued Molba.

À partir des gorges de Lakhdaria, l'oued Isser appartient au sous bassin versant du Bas Isser et coule encaissé entre les formations calcaires et métamorphiques jusqu'à Souk El Had. Puis jusqu'à son embouchure en méditerranée, il traverse les alluvions quaternaires de la plaine alluviale du Bas Isser. Celui-ci reçoit d'amont en aval :

✓ Sur la rive gauche : l'oued Menada, l'oued Ben Ridjel et l'oued Hazine ;

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

✓ Sur la rive droite : l'oued Djemaâ, l'oued Ménaïel, l'oued Bou Ziane et l'oued Aoudja.

On peut noter que le cours de l'oued Isser est marqué par de nombreux méandres dus aux pentes topographiques faibles ainsi qu'aux affleurements du substratum marneux et argileux.

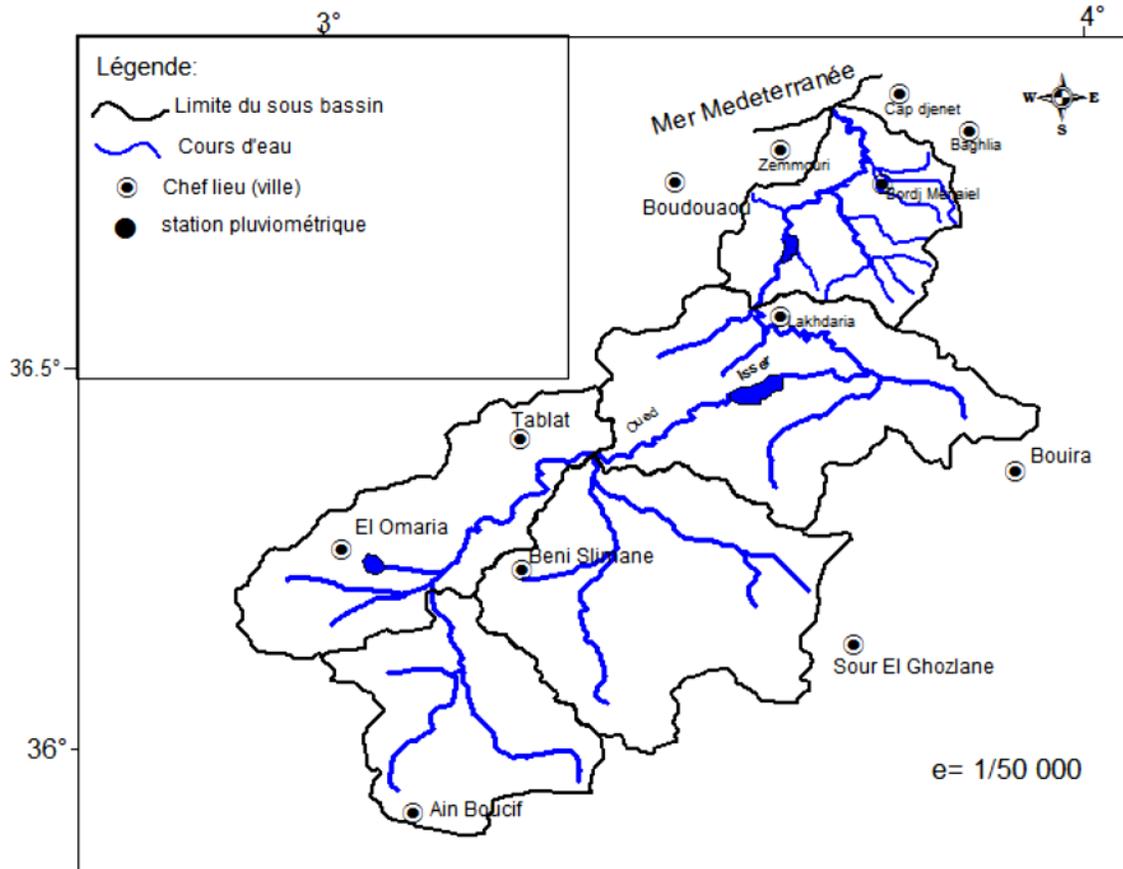


Figure I.3 Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Isser (Abdelhafid,2014).

I.4.1 Densité de drainage :

Est définie comme le rapport de la longueur totale des cours d'eau de tout ordre, à la surface du bassin (Amour,2010).

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (4)$$

D_d : Densité de drainage en Km/Km²,

$\sum L_i$: Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en Km,

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

A : Superficie du bassin en Km².

Les résultats sont récapitulés dans le tableau : I.5.

Tableau I.5 Densités de drainage des différents sous bassins versants

Bassin	Lx (km)	S (km²)	Dd (km/km²)
Haut Isser (0901+0902+0903)	8327.2	2552	3.3
Moyen Isser (04)	3133.9	1027	3
Bas Isser (05)	5810	539	10.8
Bassin versant de L'Isser	25598.1	4118	6.2

I.5 Contexte géologique

La région est marquée par la présence de terrains métamorphiques précambriens, recoupés localement par des intrusions de roches basiques et acides, ainsi que par la présence de formations quaternaires.

Les dépôts quaternaires sont représentés sous forme de terrasses alluviales et marines, correspondant à la fois aux lits mineur et majeur de l'oued Isser. Les terrasses alluviales, sont liées dans leur formation et dans leur répartition géographique, aux différents déplacements latéraux de l'oued Isser (AZZI,2017).

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.5.1 Lithologie

I.5.1.1 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 pointements 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 crevassent par déshydratation pendant la saison sèche. Elles s'altèrent sur plusieurs centimètres en formant un tapis des gravillons mêlé de poussière argilo- calcaire qui partent en débâcle aux premières averses orageuses de la saison de pluie. Ces formations sont assez facilement érodables. (Figure I.5).

I.5.1.2 Moyen Isser

La description lithologique du Bas Isser et Moyen Isser est extraite de la carte de géologie. Les schistes argileux, les marnes grises et schisteuses avec des couches de grés occupent 70 % du Moyen Isser. Ces formations appartiennent au crétacé inférieur, moyen de supérieur.

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

Le miocène inférieur est représenté par des grés et marnes ; ces formations constituent 4 % 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 présente en général des formations meubles, facilement érodables.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.5.1.3 Bas Isser

Le Bas Isser est 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 crétacé 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 dures 'conglomérats et granites' donnent au Bas Isser, la caractéristique du moins érodable en comparaison avec le Haut Isser (Abdelhafid,2014).

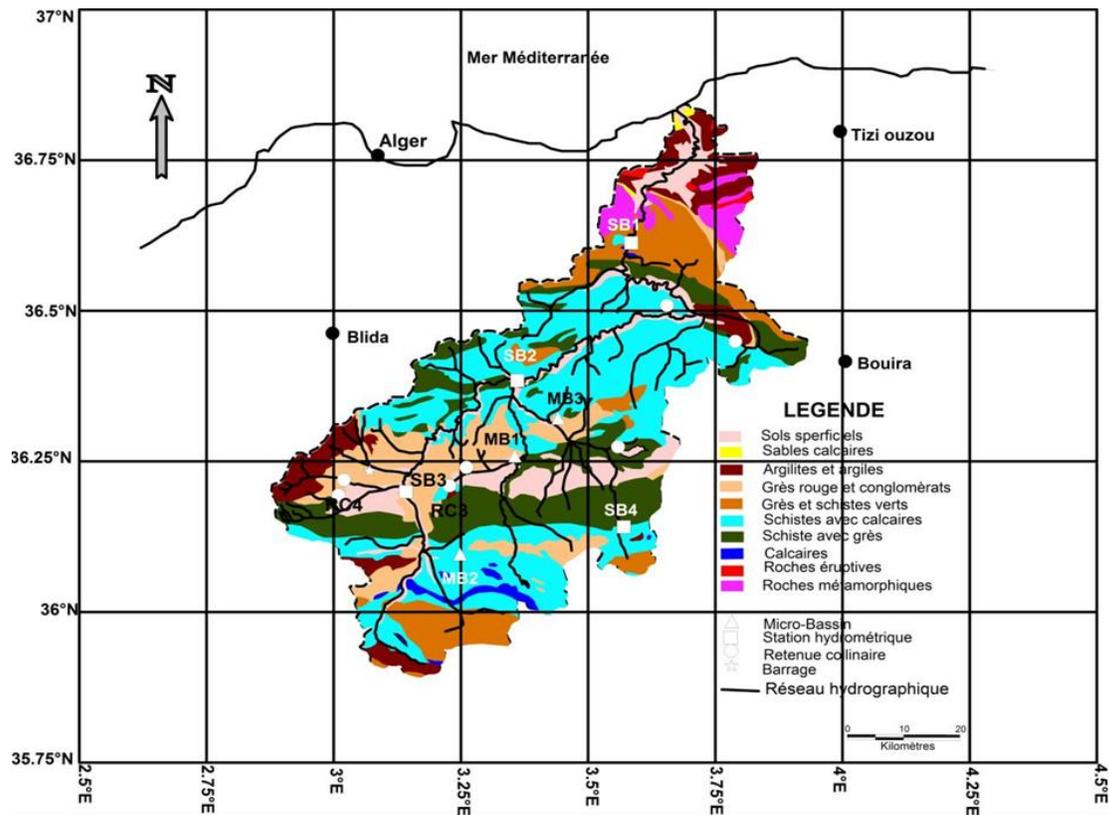


Figure I.4 Carte lithologique du bassin versant Isser (Abdelhafid,2014).

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.6 Végétation :

I.6.1 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 versants abruptes sont dénudés ou couverts de broussailles clairsemées, on y trouve pin d'alpe et le chêne vert.

I.6.2 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 forêts greneuses au Sud du bassin, mais souvent dégradées (**Abdelhafid, 2014**).

I.6.3 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. (Bouчек et Ikhlef, 2015).

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

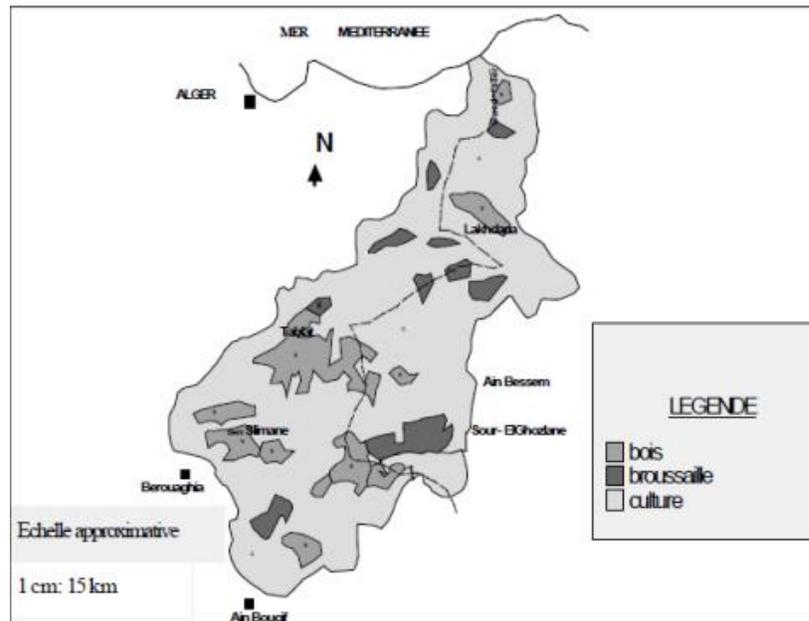


Figure I.4. Végétation du bassin Isser.

I.7 Climatologie :

I.7.1 Climat :

Le bassin est soumis à un climat méditerranéen intermédiaire. D'après **Sogetha-Sogreah (1962)**, la région de l'oued Isser est soumise au climat de l'atlas tellien, présentant des degrés de continentalité qui croît très rapidement en s'éloignant de la mer.

I.7.2 Régime climatique :

I.7.2.1 Indice de Martonne

Cet indice est fonction de la température et de la précipitation moyenne annuelle, il est calculé par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (5)$$

I : indice d'aridité

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

P : précipitation moyenne annuelle en mm

T : Température moyenne annuelle en °C

Donc, pour P = 616.2 mm et T = 17.5 °C, on a I = 22.4

Suivant les valeurs de (I), De Martonne a établi la classification suivante :

$I < 5$: climat hyperaride

$5 < I < 7,5$: climat désertique

$7,5 < I < 10$: climat steppique

$10 < I < 20$: climat semi-aride

$20 < I < 30$: climat tempéré.

La zone d'étude bénéficie d'un climat méditerranéen tempéré (**Tachi A,2018**).

I.7.3 Température

Entre le climat Tellien de montagne pluvieux et à l'amplitude thermique faible, avec des chutes de neige et le climat Tellien de plaine plus sec relativement chaud et présentant de forts écarts de température. Le bassin versant de l'oued Isser est caractérisé par une température relativement humide d'Octobre au mois d'Avril et sèche de Mai à Septembre. Le tableau suivant exprime la fourchette (le max et le min) de la température, ainsi que la moyenne (**Abdelhafid,2014**).

La température moyenne annuelle à Beni Slimane altitude (600 m) est de l'ordre de 14 ° c.

Tableau I.6 Répartition moyenne mensuelle de la température

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Minimale	1	1	3	6.5	9.5	16	16	17	14	10	5	3
Maximale	8	12	15	20	22	28	30	32	26	24	15	10
Moyenne	4.5	6.5	9	13	16	22	23	24.5	20	17	10	6.5

Source ANRH 2008

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.7.4 Gelée

La gelée est enregistrée du mois de novembre au mois de mai, le nombre moyen de jour par mois enregistré aux stations de Tablat, BirGhbalou, Souagui et Djebahia, est donné dans le tableau I.7 ci-dessus :

Tableau I.7 Nombre de jours de Gelée aux stations de Tablat, BirGhbalou (2006) et Souagui et Djebahia (1996-2008)

Station	Altitude (m)	sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total annuel
Tablat	450	0	0	1	3	5	6	3	3	1	0	0	0	22
BirGhbalou	624	0	0	3	4	11	11	6	4	4	1	0	0	43
Souagui	810	0	0	3	6	11	11	8	5	4	1	0	0	13
Djebahia	320	0	0	1	4	5	6	3	3	1	0	0	0	19

Source ANRH 2008

I.7.5 Vents :

Les vents chargés d'humidité sont de direction Nord-Sud à Nord-Ouest sud- Est alors que les vents desséchants sont de direction Sud –Nord. Le sirocco souffle sur tout le bassin, le nombre moyen de jour de sirocco par an enregistré sur la station de Souagui et Bir Ghbalou est donnée par le tableau I.8:

Tableau I.8 Nombre de jours de sirocco aux stations Souagui et BirGhbalou.

Station	Altitude (m)	Sept	Oct	Nov	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total annuel
Souagui	810	3	0	0	0	0	0	1	2	5	6	8	25
BirGhbalou.	820	3	1	1	0	0	0	1	1	2	5	4	18

Source : ANRH 2002

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.8 Ressources en eaux

Les potentialités en eaux superficielles et souterraines dans le bassin d'Isser sont évaluées respectivement à 729 Hm³ et 210.2 Hm³, totalisant un volume d'eau annuel de 750.2 Hm³. (DHW 2009, ANRH, ANBT)

I.8.1 Eaux superficielles

Les apports d'eau de surface atteignent plusieurs millions de mètres cubes pour le bassin d'Isser, avec le moins d'eau pour les années moyennes. En enregistrant un potentiel en eau de 729 Mm³, soit 17% des potentialités du bassin Algérois-Hodna-Soummam. (ANRH, 2008), avec une lame d'eau moyenne annuelle pour toute la surface du bassin qu'est estimée à 165 mm

I.8.1.1 Barrages en exploitation

- Barrage Beni Amrane : C'est un ouvrage de prise implanté sur l'oued Isser, avec une capacité actuellement de 6 Hm³. Les apports de l'oued Isser sont estimés à 414 Hm³ pour une superficie du bassin versant de 3710 km². (ANBT, 2003).
- Barrage Ladrat : Le barrage Ladrat est implanté sur l'oued Ladrat dont les apports au droit du barrage sont estimés à 8 Hm³ pour une superficie drainée de 73 km². D'une capacité actuelle de 9 Hm³, ce barrage est destiné à l'irrigation du périmètre de Ladrat. (ANBT 2003).
- Barrage Koudiat Acerdoune : La mise en eau de ce barrage a été faite en 2009. Il est destiné à l'alimentation en eau potable de 14 centres urbains et 34 localités à travers le territoire des wilayas : Bouira, TiziOuzou, Médéa et M'sila et à l'irrigation du périmètre de la Mitidja Centre et Est (ANBT, 2003).

I.8.2 Eaux souterraines

Les principales unités hydrogéologiques qui constituent le bassin versant de l'Isser sont :

- Unité hydrogéologique du Haut et Moyen Isser.
- Unité hydrogéologique du Bas Isser
- Unité hydrogéologique de la plaine des Arribs
- Unité hydrogéologique de l'oued Mellah

Les potentialités des eaux souterraines sont estimées à 210.2 Hm³(ANRH, 2009).

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté notre région d'études et présenter les différentes données relatives au bassin versant de l'Isser nécessaires pour notre travail.

La situation géographique du bassin versant de l'oued Isser est d'une importance stratégique, elle représente le carrefour de quatre grande Willaya (Alger, Boumerdes, Bouira et Tizi ousou).

Notre bassin présente une potentialité pluviométrique importante (17% du BV AHS), avec un climat méditerranéen intermédiaire avec une température moyenne annuelle qui oscille entre 15 et 20°C.

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre les tests statistiques les plus couramment rencontrés dans la littérature pour détecter soit des ruptures dans les séries, soit des tendances (augmentation ou diminution). En effet, toute série chronologique peut n'être qu'une « réalisation » particulière d'un phénomène complexe générant un nombre important de séries différentes.

Les tests statistiques détaillés dans cette partie sont choisis en raison de leur robustesse (sous certaines conditions), et en raison de leur facilité de la mise en œuvre.

II.2 Méthodes statistiques :

Dans une série temporelle non-stationnaire, la modification brusque est caractérisée par un changement de la distribution de probabilité de la variable aléatoire. Les méthodes présentées ci-dessous permettent d'identifier la modification des paramètres statistiques et particulièrement le changement de moyennes d'une série temporelle.

À l'exception de l'approche de Pettitt et de la segmentation de Hubert, ces méthodes supposent une absence de modification de la variance de la série étudiée. En outre, elles ne sont généralement pas adaptées à la recherche de plusieurs ruptures dans une même série (**Lubès-niel,1998**).

II.3 Niveau de confiance :

Le niveau de confiance ou niveau de signification, est un seuil de probabilité donné, comparé à la valeur calculée de la "statistique" du test pour savoir si l'écart observé est compatible avec l'hypothèse nulle ou non. On appelle p-value le niveau de signification le plus bas où l'hypothèse nulle peut être rejetée. Ainsi donc si $p\text{-value} > \alpha$ alors l'hypothèse nulle ne peut être rejetée.

Le niveau de confiance correspond à la probabilité qu'a la valeur du test statistique d'égaliser ou de dépasser la valeur observée lorsque l'hypothèse H_0 (pas de tendance) est vraie. Par exemple, pour $\alpha = 0,05$ la valeur critique du test statistique est celle qui serait dépassée par 5% des valeurs des tests statistiques réalisés sur des données aléatoires. Si la valeur du test statistique est plus importante que la valeur critique, alors l'hypothèse H_0 est rejetée.

Ainsi le niveau de confiance peut être interprété comme suit :

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

$\alpha > 0,1$ faible preuve contre l'hypothèse H_0

$0,05 < \alpha < 0,1$ preuve possible contre l'hypothèse H_0

$0,01 < \alpha < 0,05$ forte preuve contre l'hypothèse H_0

$\alpha < 0,01$ très forte preuve contre l'hypothèse H_0

Lorsque les séries statistiques testées ne satisfont pas les conditions initiales des tests statistiques (autocorrélation, distribution normale...) des tests spécifiques doivent être utilisés. Il est par exemple possible d'utiliser des méthodes de rééchantillonnage pour estimer le niveau de confiance du test statistique.

Le calcul de la "statistique" du test (c'est-à-dire la façon dont elle est construite) renvoie soit à une valeur dont la probabilité est $\alpha / 2$ soit à une valeur dont la probabilité est α . Suivant ce qui est recherché, suivant l'hypothèse H_0 émise et suivant la loi de probabilité du test, il est alors possible de définir une région d'acceptation et 2 régions de rejet de part et d'autre de la région d'acceptation de H_0 ("two tailed test") ou bien une région d'acceptation et une seule région de rejet à l'une ou l'autre extrémité de la loi de distribution ("one tailed test"). Ce sont donc les valeurs de la loi de probabilité qui diffèrent mais non le niveau de signification, $\pm S_{\alpha / 2}$ dans un cas, $+S'_{\alpha}$ ou $-S'_{\alpha}$ dans l'autre cas (si distribution symétrique).

II.3.1 Tests paramétriques et tests non-paramétriques.

II.3.1.1 Les tests paramétriques

Présument que les données des séries chronologiques ainsi que leurs erreurs (écarts à la tendance par exemple) suivent une distribution particulière (généralement une distribution normale). Cette condition doit être remplie pour pouvoir appliquer ces tests. Ils sont utiles car ils permettent de quantifier les changements dans les données (amplitude du changement de moyenne ou gradient de tendance) et sont généralement plus puissants que les tests non-paramétriques. Lorsque l'hypothèse de distribution normale des données n'est pas satisfaite, il est parfois possible de procéder à un rééchantillonnage pour estimer le niveau de confiance ou les valeurs critiques du test statistique pour différents niveaux de confiance.

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

II.3.1.2 Les tests non-paramétriques

Ne nécessitent pas d'hypothèse de distribution des données des séries chronologiques. Ces tests permettent de détecter des tendances ou des changements mais ne sont généralement pas appropriés pour quantifier les pentes des tendances ou l'amplitude des changements. Ils sont toutefois très utiles dans le domaine des sciences de l'eau car beaucoup de séries hydrologiques, hydrogéologiques ou hydro chimiques ne suivent pas une loi de distribution normale. Quelques tests non-paramétriques sont utilisés conjointement avec des méthodes permettant de quantifier les phénomènes (tendances ou ruptures) identifiés.

II.3.1.2.1 Test de Pettitt

Nous nous basons ici sur l'article de Pettitt (**Pettitt,1979**) pour décrire le test de celui-ci. Ce dernier a considéré les séries X_1, X_2, \dots, X_N comme étant une séquence de variables aléatoires indépendantes.

La séquence X_1, X_2, \dots, X_N est supposée contenir un point de rupture à l'instant t et ceci en ayant la condition que les séries $X_{t=1, \dots, \tau}$ aillent une distribution commune $F_1(x)$, et aussi que les séries $X_{t=\tau+1, \dots, N}$ aillent une distribution commune $F_2(x)$ tel que :

$$F_1(x) \neq F_2(x) \quad (6)$$

L'hypothèse nulle qui correspond au cas de non-rupture est désignée par H_0 telle que $\tau = N$, contrairement à cette hypothèse, c'est à dire celle qui correspond à l'alternative de rupture est désignée par H_1 telle que $1 \leq \tau \leq N$

Le test de Pettitt est considéré comme un test statistique non paramétrique. Pour lui, on estime qu'aucune condition particulière n'est obligatoire pour les formes fonctionnelles de F_1 et F_2 .

Pettitt a prouvé efficacement comment une formulation appropriée du test de Mann-Whitney peut être utilisée pour effectuer le test des hypothèses de non-rupture H_0 et de rupture H_1 .

Nous pouvons expliquer ce traitement par l'organigramme représenté par la figure II.1, qui est explicatif et qui décrit la statistique de Mann-Whitney pour tester l'appartenance des deux échantillons x_1, \dots, x_i, x_{N_i} et x_{i+1}, \dots, x_N à la même population

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

La statistique $U_{t,N}$ est considérée pour les valeurs de t bornée entre 1 et N . Pour le test de l'hypothèse H_0 contre celle H_1 , Pettitt a proposé d'utiliser la variable définie par :

$$K = \max |U_{t,N}| \quad (7)$$

En utilisant la théorie des rangs, Pettitt a donné la probabilité de dépassement approximative d'une valeur k par :

$$Prob(k_N > k) \approx \exp\left(\frac{-6k^2}{(N^3 + N^2)}\right) \quad (8)$$

Pour un risque α de première espèce donnée, H_0 est rejetée si cette probabilité est inférieure α .

Dans ce cas, la série présente une rupture du temps $t = \tau$ définissant.

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

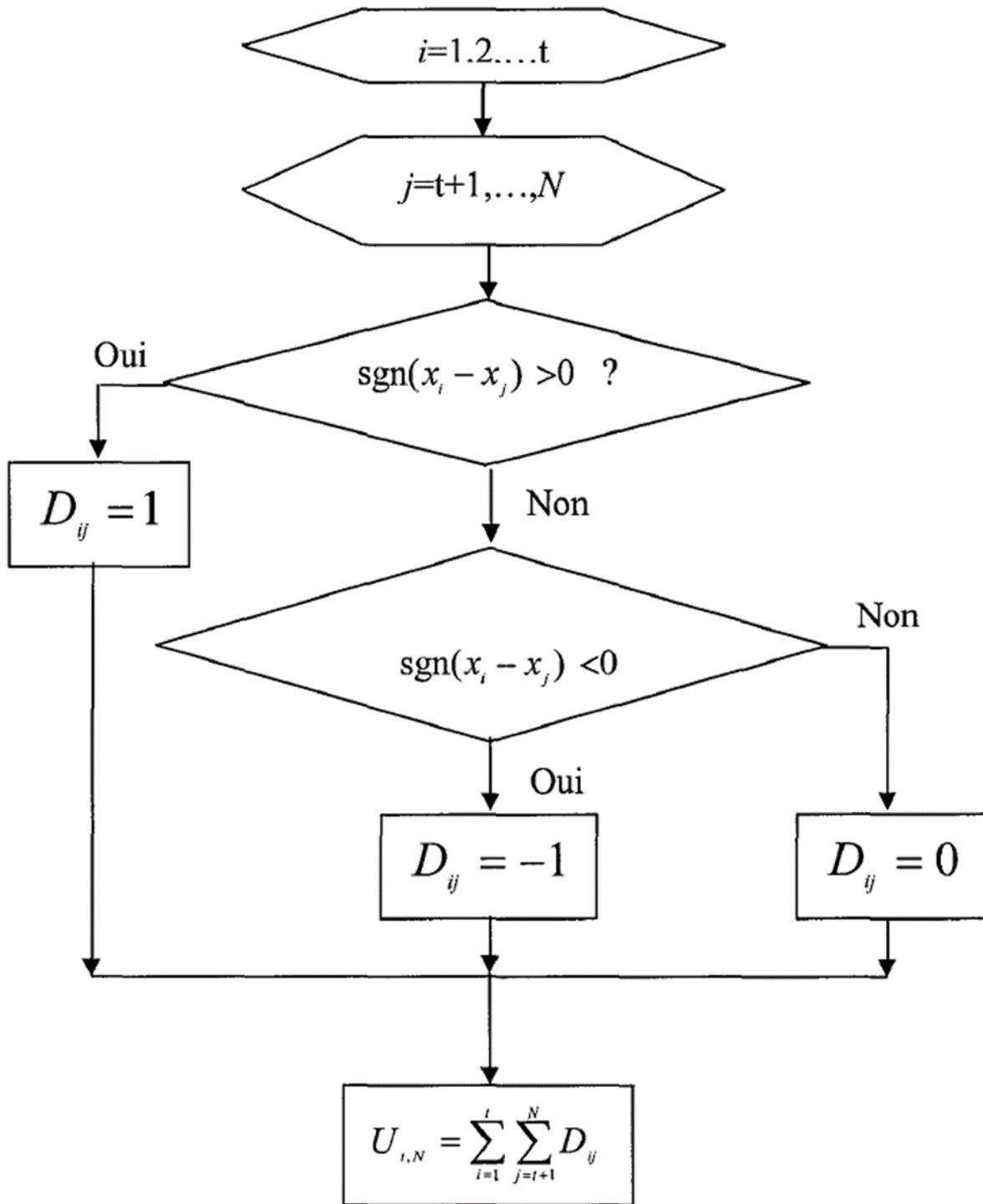


Figure II.1 la statistique de Mann – Whitney (Chadid 2003)

Chapitre II : Méthodes de détection des ruptures

II.3.1.2.2 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_0 , et dans ce cas la série X_i a la même moyenne, et l'autre désignée par H_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 $E(X_i)$ définie telle que :

$$E(X_i) = \begin{cases} \mu & i = 1, \dots, m \\ \mu + \Delta & i = m + 1, \dots, n \end{cases} \quad (9)$$

Avec $\text{Var}(X_i) = \sigma^2$

$\text{Var}(X_i)$ 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 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 :

$$\begin{cases} S_0^* = 0 \\ S_k^* = \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}) \quad K = 1, \dots, n \end{cases} \quad (10)$$

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

S_k^* est tel que :

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

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

$$E(S_k^*) = -k(n-m)n^{-1}\sigma^2, \quad k = 0, \dots, n$$

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

On observe que la moyenne est nulle pour une série homogène ($\Delta = 0$), positive pour ($\Delta < 0$), et négative pour ($\Delta > 0$). La variance est maximale si $k = n/2$. Même 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 :

$$U = \frac{\sum_{k=1}^{n-1} \left(\frac{S_k}{D_x} \right)^2}{n(n+1)} \quad (11)$$

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.

Autre 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.3.1.2.3 Test de corrélation sur le rang

Dans la méthode de Mann-Kendal (Olaniran O. J. 1991), le test de corrélation sur le rang est basé sur le calcul du nombre P de paires (X_i, X_j) pour lequel $X_j > X_i$ ($j > i, i = 1, \dots, N - 1$). Le nombre de pair P est obtenu en comparant la valeur du premier terme de la série, X_1 avec les autres termes suivants jusqu'au dernier X_N . Et le nombre des termes dont la valeur dépasse X_1 est compté, et ainsi de suite pour les autres termes jusqu'à X_{N-1} .

Donc à partir du nombre de pair P et en posant l'hypothèse nulle H_0 de stationnarité de la série on définit la variable ω de Mann-Kendall comme suit :

$$\omega = \frac{4P}{N(N-1)} - 1 \quad (12)$$

Qui suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance égale à :

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

$$\sigma_t^2 = \frac{2(2N+5)}{9N(N-1)} \quad (13)$$

Pour un risque α de première espèce donnée, l'acceptation de H_0 est défini par l'appartenance de ω à l'intervalle $\left[-U_{1-\frac{\alpha}{2}}, U_{1-\frac{\alpha}{2}}\right]$, où $U_{1-\frac{\alpha}{2}}$ est la valeur de la variable normale réduite de probabilité de non dépassement $1 - \frac{\alpha}{2}$ (Lubès-niel et all, 1998).

L'hypothèse alternative H_1 de ce test est celle dans le cas où la série chronologique est non stationnaire.

II.3.1.2.4 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 multiple 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

Kième 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 kième segment défini comme suit :

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

Sa moyenne locale est exprimée par :

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

On définit les deux quantités suivantes :

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

Et

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

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

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.

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 (OMAR, 2003).

II.3.1.2.5 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.

Le modèle de base de la procédure est le suivant

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

Où Les ε_j sont des variables indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance σ^2 .

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 (18) peut être écrite sous sa forme matricielle telle que (Lee and Heghinian 1977)

Où

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

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_n]^T$$

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

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

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

Notons de même que c_τ est un vecteur identité pour 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 $\tau, \delta, \mu, \sigma$ comme suit :

- $P(\tau) = \frac{1}{n-1}$
- $P(\delta)$ est une probabilité qui suit la loi normale dont la variance est σ_δ^2 .
- $P(\mu)$ est une probabilité qui suit la loi normale dont la variance σ_μ^2 .
- $P(\sigma) \approx \sigma^{-1}$ Est la probabilité de l'écart type inversement proportionnelle à celui-ci ; Ces paramètres sont statistiquement indépendants.

Le vecteur $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ la forme d'une probabilité normale avec une moyenne δc_τ et une matrice de covariance U de la forme suivante :

$$U = \sigma^2 [I_n + (\sigma_\mu^2 / \sigma^2) I_n I_n^T] \quad (19)$$

Avec I_n est une matrice identité d'ordre n .

Et on a la matrice inverse qui est U^{-1}

$$U^{-1} = \sigma^2 [I_n - (1 + r)^{-1} I_n I_n^T / n] \quad (20)$$

Avec

$$r = \left(\frac{\sigma^2}{n} \right) / \sigma_u^2 \quad (21)$$

Et le déterminant qui est :

$$\begin{aligned} |U| &= \sigma^{2n} \left| I_n + \left(\frac{\sigma_u^2}{\sigma^2} \right) I_n I_n^T \right| \quad (22) \\ &= n \sigma^{2(n-1)} \sigma_u^2 (1 + r) \end{aligned}$$

Et qui peut s'écrire sous la forme :

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

$$|U|^{-1/2} = \sigma^{-(n-1)} / n^{1/2} \sigma_u \quad (23)$$

Avec cette condition

$$\sigma^2/n \ll \sigma_u^2 \quad (24)$$

$$P(\tau, \delta, \sigma/X) \propto \sigma^{-n} \exp \left[-\frac{1}{(2\sigma^2)} \left\{ Q(\tau, \delta) + \frac{\sigma^2 \delta^2}{\sigma_s^2} \right\} \right] \quad (25)$$

$$Q(\tau, \delta) = (X - \delta C_\tau)^T \left[I_n - I_n I_n^T / n \right] (X - \delta C_\tau) \quad (26)$$

Avec une transformation algébrique de Q

$$Q(\tau, \delta) = H(\tau) + \frac{\tau(n-\tau)(\delta - \widehat{\delta}_\tau)^2}{n} \quad (27)$$

Où

$$\widehat{\delta}_\tau = \bar{X}_{n-\tau} - \bar{X}_\tau \quad (28)$$

Et on trouve

$$H(\tau) = \sum_{i=1}^{\tau} (X_i - \bar{X}_\tau)^2 + \sum_{i=\tau+1}^n (X_i - \bar{X}_{n-r})^2 \quad (29)$$

Et si on ajoute la condition $\sigma^2 \ll \sigma_\delta^2$ alors si l'étude est limitée à la distribution de τ seulement :

$$p(\tau, \delta, \sigma/X) \propto \frac{\exp[-Q(\tau, \delta)/2\sigma^2]}{\sigma^n} \quad (30)$$

Si p , la densité de probabilité de r est uniforme, elle est alors définie par

$$p\left(\frac{\tau}{X}\right) \propto \left[\frac{n}{\tau(n-\tau)} \right]^{1/2} [R(\tau)]^{-\left(\frac{n-2}{2}\right)} \quad (31)$$

Et $0 \leq \tau \leq n - 1$ avec

$$R(\tau) = \frac{[\sum_{i=0}^{\tau} (x_i - x_\tau)^2 + \sum_{i=r+1}^n (x_i - x_{n-r})^2]}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_n)^2} \quad (32)$$

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

Avec

$$\bar{x}_n = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \bar{x}_\tau = \frac{\sum_{i=1}^\tau x_i}{\tau}, \bar{x}_{N-\tau} = \frac{\sum_{i=\tau+1}^n x_i}{N-\tau} \quad (33)$$

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 (AZZI, 2017).

II.3.2 La stationnarité

Une série est dite stationnaire si elle provient d'un phénomène dont les caractéristiques sont indépendantes ou autonomes du temps. Cette stationnarité des séries de données de variables hydrologiques est pour ainsi dire une des tâches inévitables des hydrologues (Bernier, 1977).

Inversement, elle est dite non-stationnaire si les caractéristiques statistiques du phénomène évoluent durant la période de mesure. La littérature hydrologique s'intéresse plus particulièrement à deux formes majeures de non stationnarité ; les tendances et les ruptures.

Il y a deux approches différentes :

- a. La série est stationnaire (l'hypothèse nulle H_0) : le test utilisé est le test KPSS (**test de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin**) de Leybourne et McCabe).
- b. La série n'est pas stationnaire : les tests correspond sont (le test de Dickey-Fuller, test augmenté de Dickey-Fuller, test de Phillips-Perron et le test DF-GLS)

II.3.2.1 Test KPSS (test Kwiatkowski, Philips, Schmidt et Shin) 1992

L'hypothèse nulle de ce test est celle de la stationnarité (autour d'une constante ou d'une tendance déterministe linéaire), contrairement à tous les cas précédents. Deux cas sont donc étudiés: (Catherine DOZ 2004)

$$\text{cas 1 : } Y_t = r_t + \varepsilon_t \text{ avec } \varepsilon_t \sim I(0), \text{ et } r_t = r_{t-1} + u_t, u_t \sim BB(0, \delta_u^2) \quad (34)$$

$$\text{cas 2 : } Y_t = \beta t + r_t + \varepsilon_t \text{ avec } \varepsilon_t \sim I(0), \text{ et } r_t = r_{t-1} + u_t, u_t \sim BB(0, \delta_u^2) \quad (35)$$

L'hypothèse H_0 de stationnarité peut alors être formulée sous la forme :

$H_0: \delta_u^2 = 0$. Elle correspond aux deux cas suivants :

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

$$\text{Cas 1 : } Y_t = r_0 + \varepsilon_t \text{ avec } \varepsilon_t \sim I(0) \quad (36)$$

$$\text{Cas 2 : } Y_t = \beta t + r_0 + \varepsilon_t \text{ avec } \varepsilon_t \sim I(0) \quad (37)$$

II.3.2.2 Procédure de test de Dickey et Fuller (1976)

Ils sont les premiers à fournir un ensemble d'outils statistiques formels pour détecter la présence d'une racine unitaire dans un processus purement autorégressif du premier ordre. Procédure de test fondée sur l'estimation par les MCO, sous l'hypothèse alternative, de trois modèles autorégressifs du premier ordre dont les erreurs sont identiquement et indépendamment distribuées : le modèle sans constante, le modèle avec constante et le modèle avec constante et tendance.

Les relations qu'entretiennent les paramètres du modèle de régression avec ceux du processus engendrant les données sous les hypothèses nulle et alternative et, plus précisément, les implications de la racine unitaire sur les paramètres du modèle de régression sous l'hypothèse nulle, joueront un rôle primordial dans l'élaboration d'une stratégie de test (Perron, 1993, p.335)

$$\text{DGP 1 : } (1 - \rho L)Y_t, Y_0 = 0 \quad u_t \sim i. i. d(0, \sigma_u^2)$$

$$\text{Modèle 1 : } y_t = \rho y_{t-1} + u_t$$

$$\text{DGP 2 : } (1 - \rho L)(Y_t - \mu) = \mu_t, \quad Y_0 = 0, \mu_t \neq 0 \quad u_t \sim i. i. d(0, \sigma_u^2)$$

$$\text{Modèle 2 : } y_t = c + \rho y_{t-1} + u_t \text{ avec } c = (1 - \rho)\mu \text{ et } \mu \text{ est la moyenne non nulle de } y_t$$

$$\text{DGP 3 : } y_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t, (1 - \rho L)\varepsilon_t = \mu_t, y_0 = 0, \varepsilon_0 = 0, \alpha \neq 0, \beta \neq 0, u_t \sim i. i. d(0, \sigma_u^2)$$

$$\text{Modèle 3 : } y_t = c + bt + \rho y_{t-1} + \varepsilon_t \text{ ou } c = (1 - \rho)\alpha + \rho\beta \text{ et } b = (1 - \rho)\beta$$

- **Tests envisagés**

Test individuel :

$$H_0 : \rho = 1 \text{ vs } H_1 : \rho < 1$$

Tests des hypothèses jointes suivantes :

$$H_0: (c, \rho) = (0, 1) \text{ vs } H_1 : (c, \rho) \neq (0, 1) \text{ Modèle 2}$$

$$H_0: (c, b, \rho) = (0, 0, 1) \text{ vs } H_1 : (c, b, \rho) \neq (0, 0, 1) \text{ Modèle 3}$$

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

$H_0: (b, \rho) = (0, 1)$ vs $H_1: (b, \rho) \neq (0, 1)$ Modèle 3

Tests proposés :

$T(\rho^*-1)$ et t_{p^*} pour le modèle 1

$T(\hat{\rho}-1)$ et t pour le modèle 2

$T(\rho \sim -1)$ et t pour le modèle 3

Tests des hypothèses jointes Φ_1 , Φ_2 et Φ_3 .

- **Règle de décision**

On compare la réalisation de la statistique de Student aux seuils tabulés par Dickey et Fuller. Si la réalisation est supérieure au seuil, on accepte l'hypothèse nulle de non stationnarité. Étant donné que le test est non symétrique, on ne considère pas, bien entendu, la valeur absolue de la réalisation, mais son niveau relatif.

- **Caractéristiques des tests DF**

Les valeurs critiques de ces distributions non standard sont calculées par des méthodes de simulation (Fuller, 1976 et Dickey et Fuller, 1981).

- Ces distributions dépendent du modèle considéré, en particulier de la présence ou non d'un terme constant et/ou d'une tendance déterministe.

- En pratique, le test de DF est effectué en comparant notamment la valeur de la statistique usuelle à des valeurs critiques plus sévères que celle de la loi Normale et dépendant du modèle considéré.

II.3.2.3 Procédure de test Phillips et Perron (1988)

Ils ont développé une approche alternative de traitement de l'éventuelle autocorrélation du terme d'erreur. Ils proposent une statistique de test (*Z-test*) permettant de corriger de façon non paramétrique (sans spécification paramétrique du processus des erreurs) l'autocorrélation des résidus.

L'avantage principal de l'approche de Phillips et Perron est que le calcul de statistiques transformées requiert seulement, dans un premier temps, l'estimation par les MCO d'un modèle autorégressif du premier ordre et le calcul des statistiques associées, et dans un deuxième temps,

Chapitre II : Méthodes détection des ruptures

l'estimation d'un facteur de correction fondé sur la structure des résidus de cette régression, faisant appel à leur variance de long terme.

Différents estimateurs convergents de la variance de long terme sont envisageables. Phillips et Perron optent pour celui proposé par Newey et West (1987) fondé sur la méthode du noyau.

La critique principale qu'on peut adresser à ces procédures de test est la suivante : elles postulent que la composante déterministe de la série considérée suit une tendance déterministe linéaire. Or la mauvaise spécification, linéaire en l'occurrence, de la composante déterministe peut nous conduire à ne pas rejeter l'hypothèse nulle de la racine unitaire et ceci à tort (**CHADID,2003**).

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre des notions de base sur les test paramétriques et non paramétriques ont été présenté. Le choix des méthodes retenues 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 ».

Chapitre III : Variabilité de régime pluviométrique

Chapitre III : Variabilité de régime pluviométrique

III.1 Introduction

L'intérêt de ce chapitre est fondé sur l'analyse des séries chronologiques des précipitations de la zone d'étude et leur variabilité. Commenant par le traitement des données des séries en calculant quelques paramètres statistiques de base (la moyenne, l'écart type, le coefficient de variation), ensuite on s'est intéressé à la Variabilité des précipitations pour aboutir à l'identification des modes de distribution des séries pluviométriques, de dispersion, de détection de ruptures de stationnarité, les tendances ainsi que les indices de variabilité.

III.2 Analyse et traitement des données

III.2.1 La collecte de données

Toute étude climatique est basée sur la collecte des données pluviométriques de sources différentes. Ces derniers ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (ANRH, Alger), sous forme de tableaux des cumuls mensuels et annuels, elles étaient très hétérogènes dans certaines stations du point de vue fiabilité de mesures que de la durée d'observation, due à l'absence de mesures sur plusieurs années, La disparité de ces ressources pose souvent un problème de la qualité des données.

III.2.2 Critique et traitement des données utilisées

Les données recueillies sont entachées d'erreurs, ce procès exige 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 instationnaire. 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, la détection et la correction des anomalies par l'utilisation de logiciel Xlstat, 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 Xlstat. Cette méthode qui permet de combler rapidement et simplement les lacunes avec la partie la plus fiable des données observées.

Chapitre III : Variabilité de régime pluviométrique

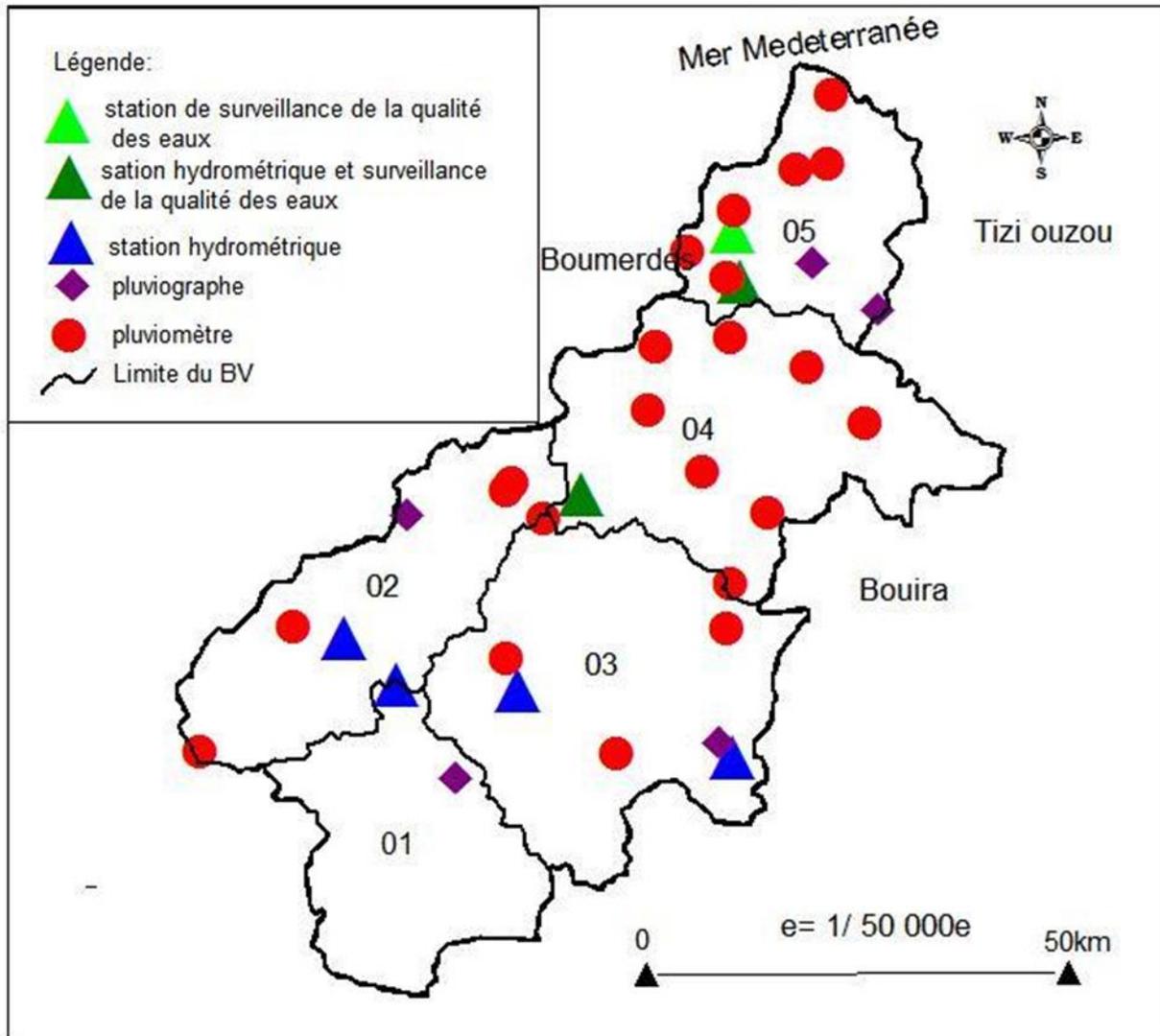


Figure III.1 Répartition des stations pluviométriques (Abdelhafid,2014).

Le tableau suivant englobe les caractéristiques des stations pluviométriques collectées :

Chapitre III : Variabilité de régime pluviométrique

Tableau III.1 Caractéristiques des stations pluviométriques Source : A.N.R.H

N°	Source	Station	Code	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	ANRH	KHABOUZIA	090401	579.15	334.35	720
2	ANRH	LAKHDARIA GORGES	090502	579.3	370	50
3	ANRH	DJEBAHIA	090403	594.8	353.45	320
4	ANRH	SOUAGUI	090104	548.95	312.4	810
5	ANRH	BENI SLIMANE	090302	557.2	322.65	600

ANRH 2019

III.3 Variabilité pluviométrique

III.3.1 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 708.8 mm dans le Nord à 337.4 mm dans le Sud.

Le calcul de l'écart-type et du coefficient de variation (Cv%) pour chaque station (tableau.III.2) montre que la valeur du coefficient de variation annuel varie entre 24.00 % et 38.01 %. Les valeurs les plus faibles sont observées dans les stations situées au Nord -Sud de la zone

Chapitre III : Variabilité de régime pluviométrique

d'étude. Les valeurs les plus élevées sont observées au Nord – Est de la zone d'étude (38.01 % à Khabouzia).

Le coefficient de variation des pluies annuelles accroît généralement du Sud au Nord 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.2 Caractéristiques des précipitations à l'échelle annuelle

Station	Période d'étude	Moyenne (mm/an)	Ecart-type (mm)	Max (mm)	Min (mm)	Cv %
SOUAGUI	1973-2017	337.4	80.92	532.10	163.30	24.00
LAKHDARIA GORGES	1973-2017	708.8	185.6	1 189.20	342.50	26.18
DJEBAHIA	1923-2013	675.8	190.32	1 368.41	228.10	28.16
BENI SLIMANE	1980-2017	370.5	92.08	554.60	198.00	24.85
KHABOUZIA	1969-2017	451.0	171.25	909.4	147.10	38.01

III.3.2 Variation des précipitations moyennes.

La moyenne annuelle des totaux précipités dans la zone d'étude varie entre 337.4 mm et 708.8 mm au niveau de la station de Souagui et la station de Lakhdaria Gorges, cette dernière constitue le secteur le plus arrosé du Bas Isser.

Globalement, on observe une diminution des précipitations dans trois décennies du siècle passé (à partir des années 1970 à 2000). La reprise des périodes plus pluvieuses est constatée durant cette dernière décennie.

Chapitre III : Variabilité de régime pluviométrique

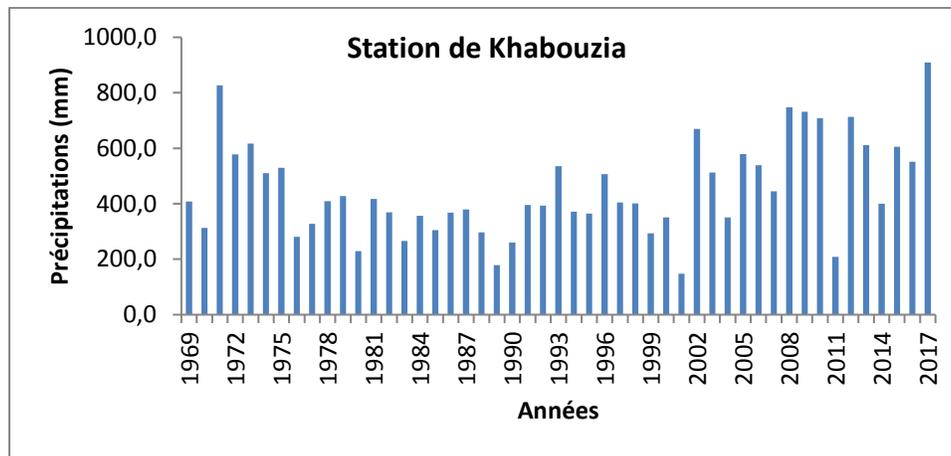


Figure III.2 Evolution des précipitations annuelles de la station Khabouzia

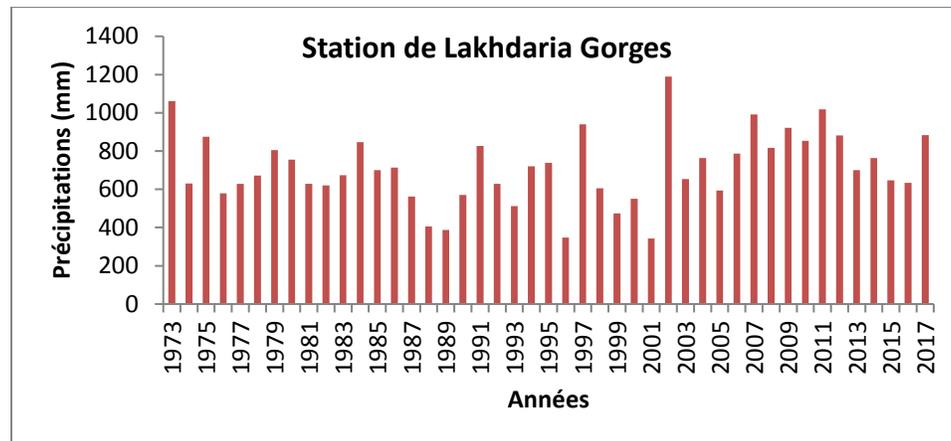


Figure III.3 Evolution des précipitations annuelles de la station Lakhdaria Gorges

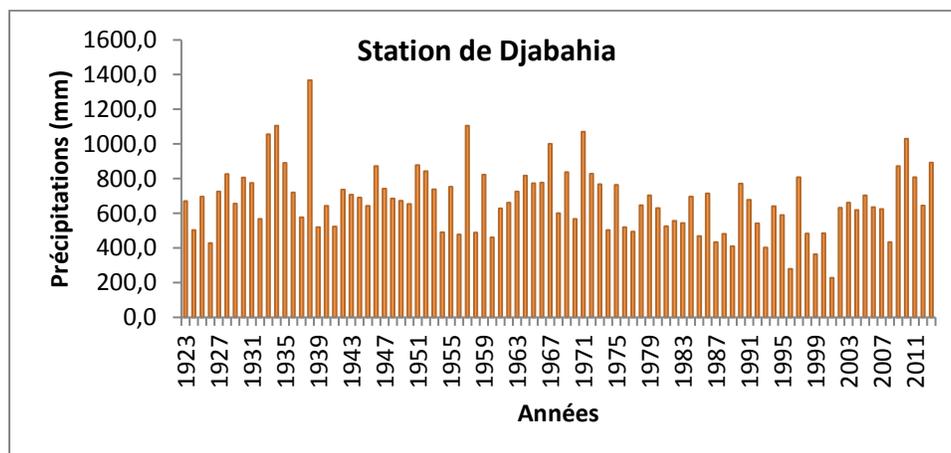


Figure III.4 Evolution des précipitations annuelles de la station Djebahia

Chapitre III : Variabilité de régime pluviométrique

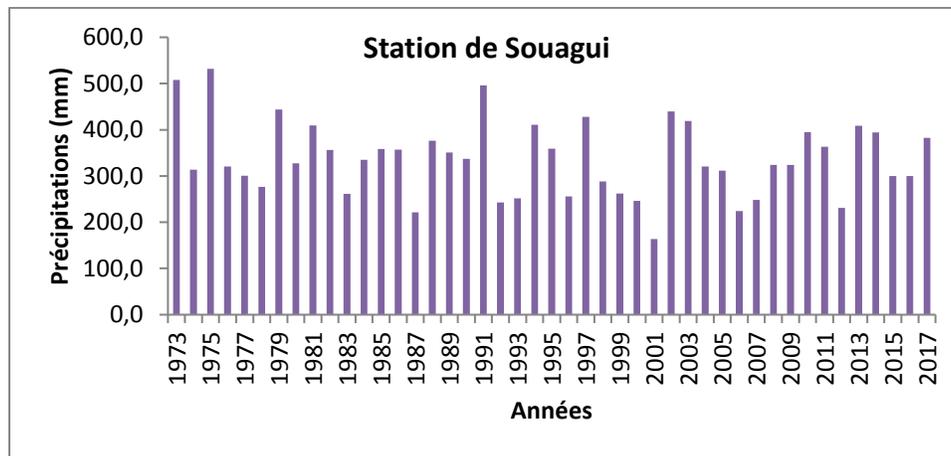


Figure III.5 Evolution des précipitations annuelles de la station Souagui

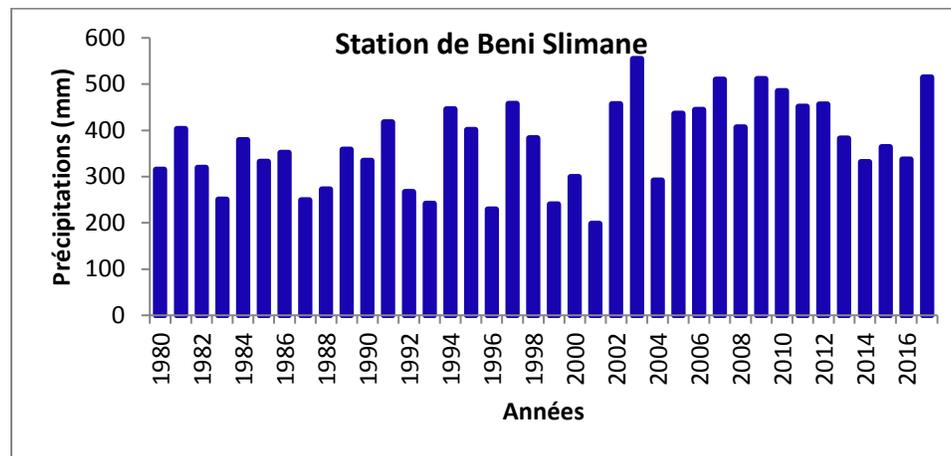


Figure III.6 Evolution des précipitations annuelles de la station Beni Slimane

III.4 Étude de la stationnarité

Il existe un certain nombre de tests statistiques pour vérifier ces différents types de discontinuités. Ce sont des tests du caractère aléatoire et simple d'une suite de variables indépendantes, qu'impliquent l'hypothèse de non-organisation chronologique de l'échantillon observé. Cependant, le choix entre les différentes statistiques de tests et leurs différents modes d'utilisation n'est pas aisé.

Afin de confirmer les résultats, nous avons réalisé l'analyse de la stationnarité des précipitations annuelles de la région étudiée par trois tests, ces tests ont été réalisés en utilisant le logiciel Xlstat

Chapitre III : Variabilité de régime pluviométrique

Tableau III.3 Tests de stationnarité des précipitations annuelles

Stations		Khabouzi a	Lakhdari a Gorges	Djabahi a	Souagui	Beni Sliman e	
1) <i>Test de Dickey-Fuller (ADF(stationnaire) /k: 3 :</i>							
H0 (0)	Ha (1)		0	0	0	1	0
La série comporte une racine unitaire (non stationnaire)	La série ne comporte pas de racine unitaire. La série est stationnaire	Tau (Valeur observée)	-2.296	-3.024	-2.524	-4.713	-2.870
		Tau (Valeur critique)	-0.709	-0.658	-0.769	-0.658	-0.614
		p-value (unilatérale)	0.411	0.126	0.300	0.002	0.173
		Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2) <i>Test de Phillips-Perron (PP (sans constante) /Lag:Cout) :</i>							
H0 (0)	Ha (1)		1	1	1	1	1
La série comporte une racine unitaire (non stationnaire)	La série ne comporte pas de racine unitaire. La série est stationnaire	Tau (Valeur observée)	-5.172	-6.616	-9.202	-7.852	-5.586
		Tau (Valeur critique)	-0.885	-0.803	-0.901	-0.873	-0.859
		p-value (unilatérale)	0.001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.000
		Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3) <i>Test de KPSS (Niveau / Décalage Court) :</i>							
H0 (1)	Ha (0)		0	0	1	1	1
La série est stationnaire.	La série n'est pas stationnaire	Eta (Valeur observée)	0.296	0.191	0.116	0.084	0.067
		Eta (Valeur critique)	0.145	0.144	0.146	0.144	0.144
		p-value (unilatérale)	0.000	0.012	0.112	0.276	0.457
		Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Chapitre III : Variabilité de régime pluviométrique

D'après les résultats des trois tests en remarques que le test de *Phillips-Perron* et de *KPSS* donnent de mêmes résultats dans trois stations tandis que le test de *Dickey-Fuller* et de *KPSS* donnent les mêmes résultats dans deux stations.

Toutefois, étant démontré le test *Dickey-Fuller* qu'il n'y a pas de stationnarité observée pour les quatre stations, ce qui dit qu'il y a :

- Soit une modification graduelle de la série au cours du temps, qui se manifeste par une tendance à la baisse (ou à la hausse) des valeurs de la série,
- Soit une (ou plus) d'une rupture survenant à une certaine date, les caractéristiques de la série n'étant plus les mêmes à partir de la date de rupture,
- Soit un changement dans la distribution de probabilité d'une variable caractéristique à partir d'une date donnée.

Pour confirmer les résultats de non stationnarité des stations de la zone d'étude, nous traitons ces séries par les tests de tendances et ruptures

III.5 Détection des ruptures

Les tests ont été réalisés en utilisant le logiciel « Khronostat »

Les quatre différentes méthodes présentées au chapitre précédent ont été successivement appliquées aux données de nos séries. Les différents résultats obtenus sont présentés dans le tableau et aux figures suivantes :

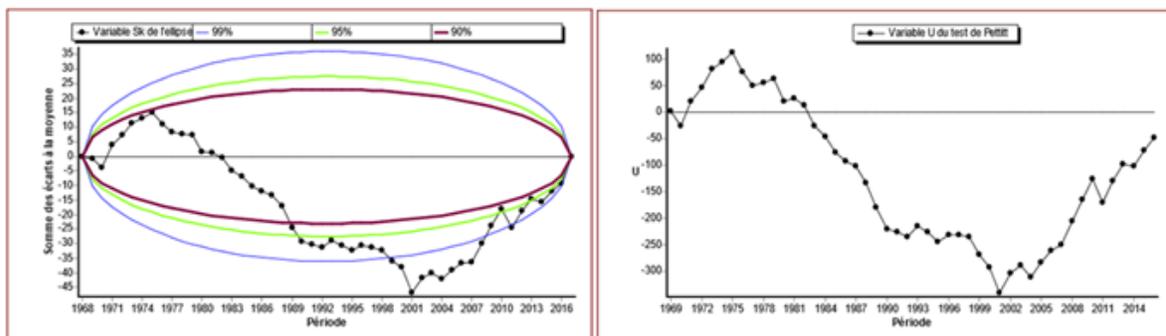


Figure III.7 Test de Pettitt et Buishand pour les précipitations annuelles dans la station de Khabouzia

Chapitre III : Variabilité de régime pluviométrique

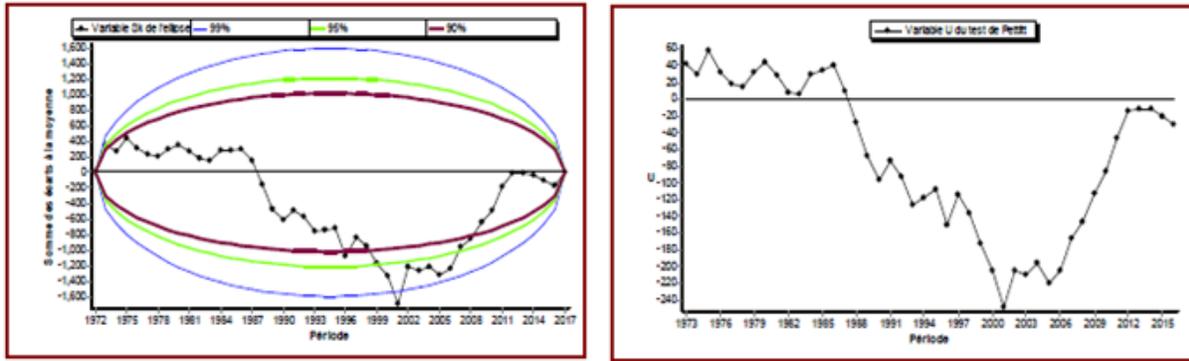


Figure III.8 Test de Pettitt et Buishand pour les précipitations annuelles dans la station de Lakhdaria

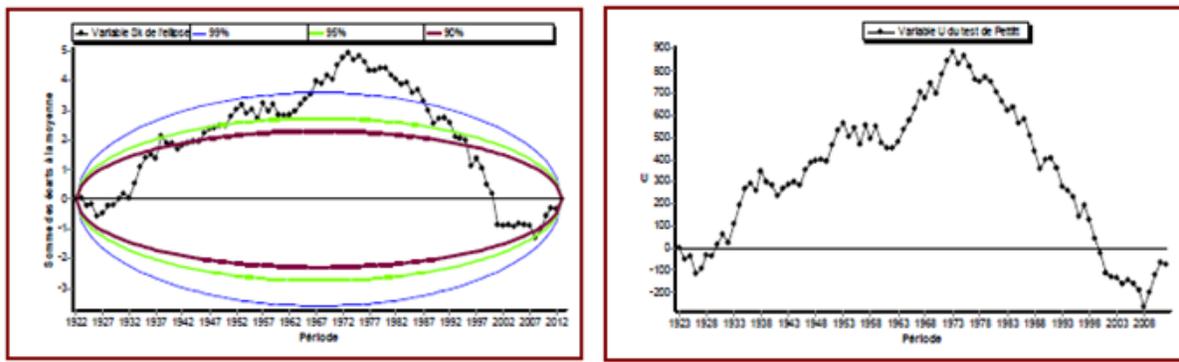


Figure III.9 Test de Pettitt et Buishand pour les précipitations annuelles dans la station de Djebahia

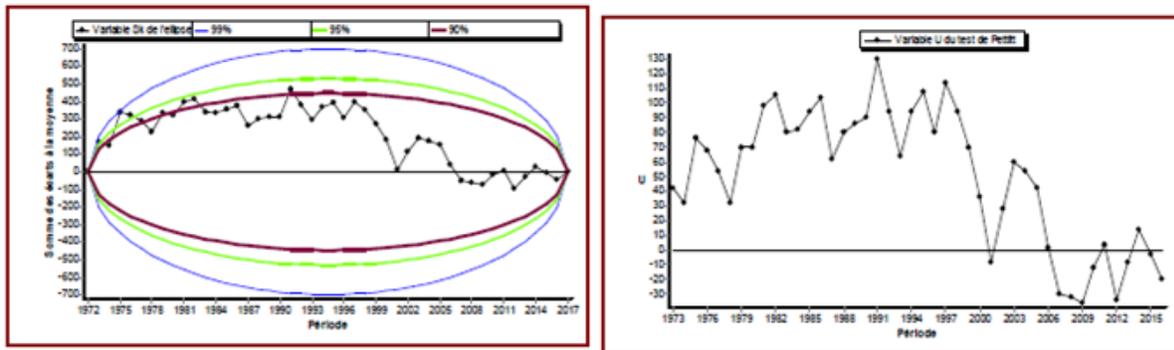


Figure III.10 Test de Pettitt et Buishand pour les précipitations annuelles dans la station de Souagui

Chapitre III : Variabilité de régime pluviométrique

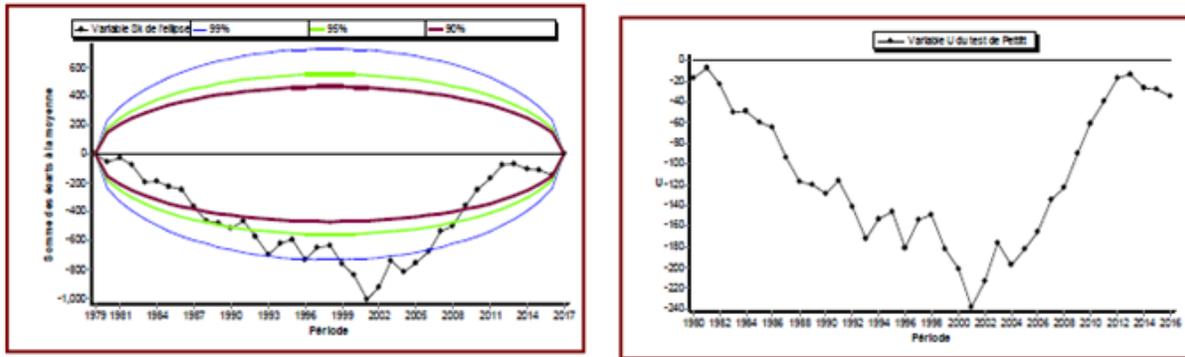


Figure III.11 Test de Pettitt et Buishand pour les précipitations annuelles dans la station de Beni Slimane

L'analyse des résultats du tableau III.4 Montre que des ruptures sont observées au sein des séries annuelles des précipitations avec un niveau de signification variable. L'année de rupture entre 1973 à 2001 a été détectée.

Tableau III.4 Résultats des tests statistiques pour les précipitations annuelles dans la zone d'étude

Station	Période d'étude	Buishand	Pettitt	Lee & Hghinian	Hubert
Khaouzia	1969-2017	Rejetée	2001	2001	1969-1975 1976-2001 2002-2017
Lakhdaria Gorges	1973- 2017	Acceptée	2001	2001	1973-2001 2002-2017
Djebahia	1923-2013	Rejetée	1973	1973	1923-1973 1974-2008 2009-2013
Souagui	1973-2017	Acceptée	-	1975	1973-1975 1976-2017
Beni Slimane	1980-2017	Rejetée	2001	2001	1980-2001 2002-2017

Chapitre III : Variabilité de régime pluviométrique

III.6 Conclusion

Les résultats obtenus par l'application des différents tests 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

Le test Dickey-Fuller montre qu'il n'y a pas de stationnarité observée pour les quatre stations, par contre, dans la station de Souagui, on constate une stationnarité de la série des précipitations annuelles.

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

IV.1 Introduction

L'analyse par ondelettes a été introduite au début des années 1980. Il s'agit de donner une représentation des signaux permettant la mise en valeur simultanée des informations temporelles et fréquentielles (localisation temps-fréquence).

C'est ainsi que le besoin des ondelettes, famille de fonction déduite d'une même fonction (appelées ondelettes mères) par opération de translation et dilatation, s'est fait ressentir en remarquant que la transformée de Fourier qui a dominée dès le début de 19^{ème} siècle, perd lors de la projection le contrôle de la variable temporelle et reste toujours incapable de décrire localement (en temps ou espace) le comportement fréquentiel des signaux. L'idée originale sur laquelle sont basées les ondelettes est apparue vers les années 1940 grâce au physicien Denis Gabor, qui a introduit la notion de la transformée de Fourier à fenêtre glissante dans le but de remédier au problème de localisation temps-fréquence en proposant de multiplier le signal par une fonction localisée dans le temps (fenêtre) et ensuite appliquer la transformée de Fourier. L'inconvénient de cette méthode est que la taille de la fenêtre reste inchangée au cours de l'analyse. Or pour étudier un signal qui a en général une allure irrégulière, il est potentiellement intéressant de pouvoir changer la taille de la fenêtre analysante en temps. C'est à partir de là que sont nées les ondelettes qui s'adaptent elles même à la taille et aux caractéristiques recherchées.

IV.2 La Transformée de Fourier :

La transformée de Fourier est un outil qui sert à mesurer la fréquence d'un signal. Son principe repose sur le fait que toute fonction périodique peut être représentée comme la somme d'une série de sinus et de cosinus dont on fait varier d'une part les amplitudes en les multipliant par des coefficients, et d'autre part les phases en les décalant de manière à ce qu'elles s'additionnent où se compensent.



Figure IV.1 La Transformée de Fourier (OMAR CHADID,2003).

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

La définition de la TF est donnée par la formule suivante :

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-2j\pi ft} dt \quad (38)$$

Cependant, l'analyse de Fourier, de par sa nature, montre assez vite ses limitations : son calcul nécessite la connaissance de toute l'histoire temporelle du signal. De plus, dans une transformée de Fourier, l'information sur le temps est présente (la transformée inverse est donc possible), mais elle est cachée dans les phases : elle est en pratique impossible à extraire. On en est donc réduit à étudier un signal soit en fonction du temps, soit en fonction des fréquences qu'il contient, sans possibilité de conjuguer les deux analyses.

La définition de la TF inverse est donnée par la formule suivante :

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(f) \cdot e^{2j\pi ft} df \quad (39)$$

Le passage à une transformée bidimensionnelle est donné par l'équation ci-dessous :

$$X(f_1, f_2) = \iint_{-\infty}^{+\infty} x(t_1, t_2) \cdot e^{-2j\pi(f_1 t_1, f_2 t_2)} dt_1 dt_2 \quad (40)$$

On peut utiliser la transformée de Fourier pour extraire des informations fréquentielles d'une image, toutefois le principal problème de la transformée de Fourier est son manque de résolution temporelle. Cela signifie simplement que si on est effectivement capable de détecter toutes les fréquences qui apparaissent dans un signal, on est en revanche incapable de déterminer à quel moment elles se produisent dans le signal. Il existe une transformée de Fourier plus « locale » donnant des informations mieux localisées, il s'agit de la transformée de Fourier Fenêtré (STFT) (CHADID,2003).

IV.3 Transformée de Fourier Fenêtré (STFT)

Pour pallier le manque d'information sur le temps dans la transformée de Fourier, une nouvelle méthode d'analyse est donc introduite : elle utilise une « Fenêtre glissante ».

Cette méthode, pouvant être adaptée aux signaux non-stationnaires, est très proche de l'analyse spectrale: on définit une fenêtre qui sera utilisée comme masque sur le signal, et dans laquelle on considère que le signal est localement stationnaire, puis on décale cette fenêtre le long du signal afin de l'analyser entièrement.

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

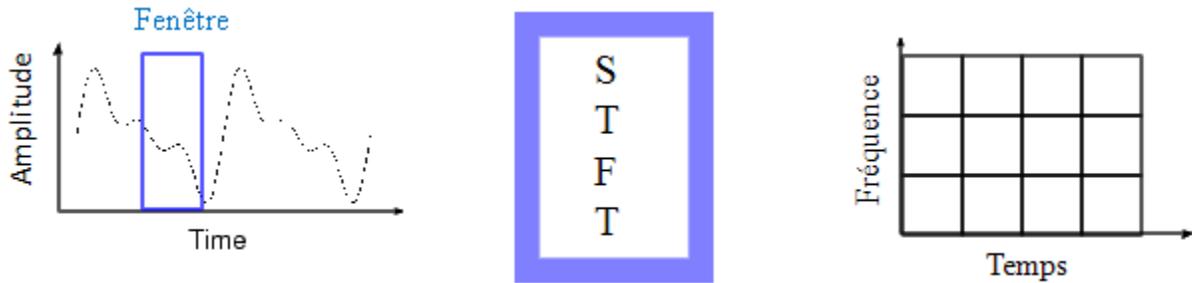


Figure IV.2 La Transformée de Fourier fenêtrée (OMAR CHADID,2003).

La transformée de Fourier fenêtrée remplace la sinusoïde de la transformée de Fourier par le produit d'une sinusoïde et d'une fenêtre localisée en temps.

La définition de la STFT est donnée par la formule suivante :

$$STFT_{(s,F)} = \int_t [x(t) \cdot g * (t - s)] e^{-j2\pi ft} dt \quad (41)$$

Où :

- $x(t)$ étant le signal lui-même
- $g(t)$ est la fonction fenêtre et g^* son complexe conjugué.
- f représente la fréquence.
- s représente l'échelle.

Comme l'indique l'équation, la STFT du signal n'est autre que la TF du signal multiplié par **la fonction fenêtre**. Pour chaque valeur de f et de s , on calcule un nouveau coefficient de la STFT. On constate que la fenêtre g est indépendante de l'échelle s , ce qui signifie que l'enveloppe de la fenêtre glissante sera constante : on aura donc une résolution fixe sur toute la durée du signal.

Ainsi, l'étude d'un signal avec la STFT permet d'obtenir à la fois une information sur le temps et sur la fréquence, mais la résolution d'analyse est fixée par le choix de la taille de l'enveloppe :

- Si la fenêtre est trop petite, les basses fréquences n'y seront pas contenues
- Si la fenêtre est trop grande, l'information sur les hautes fréquences est noyée dans l'information concernant la totalité de l'intervalle contenu dans la fenêtre.

Donc la taille fixe de la fenêtre est un gros inconvénient. L'outil idéal serait une fenêtre qui s'adapte aux variations de fréquence dans le signal à analyser. Cet outil existe, il s'agit de la récente analyse en ondelettes.

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

IV.4 La transformée en ondelettes (WT)

Qu'est-ce que c'est une ondelette ?

Une ondelette est une forme d'onde qui a une valeur moyenne zéro et une durée limitée.

En regardant des images des ondelettes et des ondes sinusoïdales, on voit intuitivement que des signaux avec les changements pointus pourraient mieux être analysés avec une ondelette irrégulière qu'avec une sinusoïde douce.

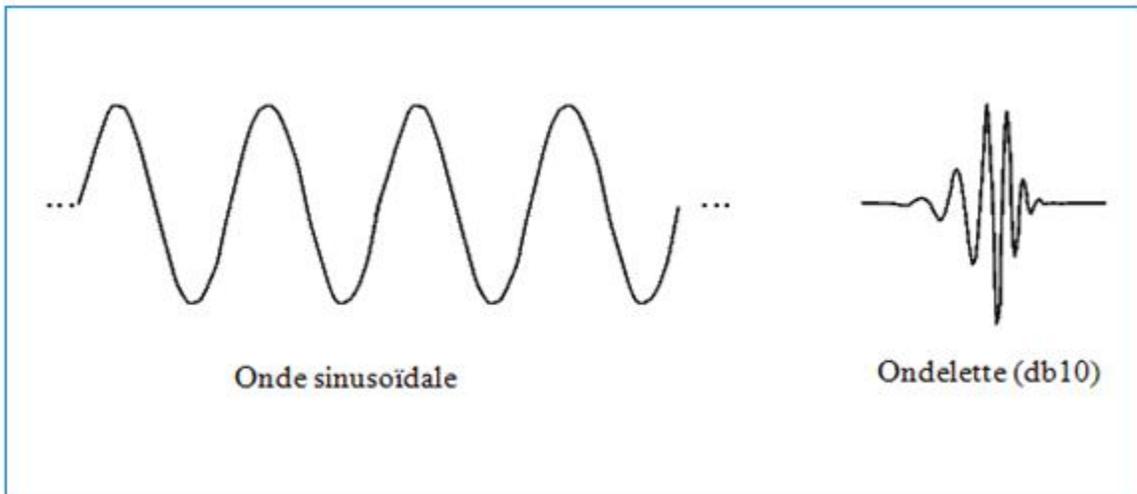


Figure IV.3 La Différence entre une onde sinusoïdale et une ondelette (OMAR CHADID,2003).

La transformée en ondelettes est un outil mathématique qui décompose un signal en fréquences en conservant une localisation spatiale. Le signal de départ est projeté sur un ensemble de fonctions de base qui varient en fréquence et en espace. Ces fonctions de base s'adaptent aux fréquences du signal à analyser. Cette transformation permet donc d'avoir une localisation en temps et en fréquence du signal analysé.



Figure IV.4 La Transformée en ondelettes (OMAR CHADID,2003).

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

La figure suivante donne le pavage de l'espace-temps-fréquence pour la transformée de Fourier à fenêtre (STFT) et pour l'analyse en ondelettes (WT). Pour l'analyse de Fourier, la fenêtre est de taille constante, pour l'analyse en ondelettes, la fenêtre est de surface constante mais sa taille varie en fonction de la fréquence à analyser.

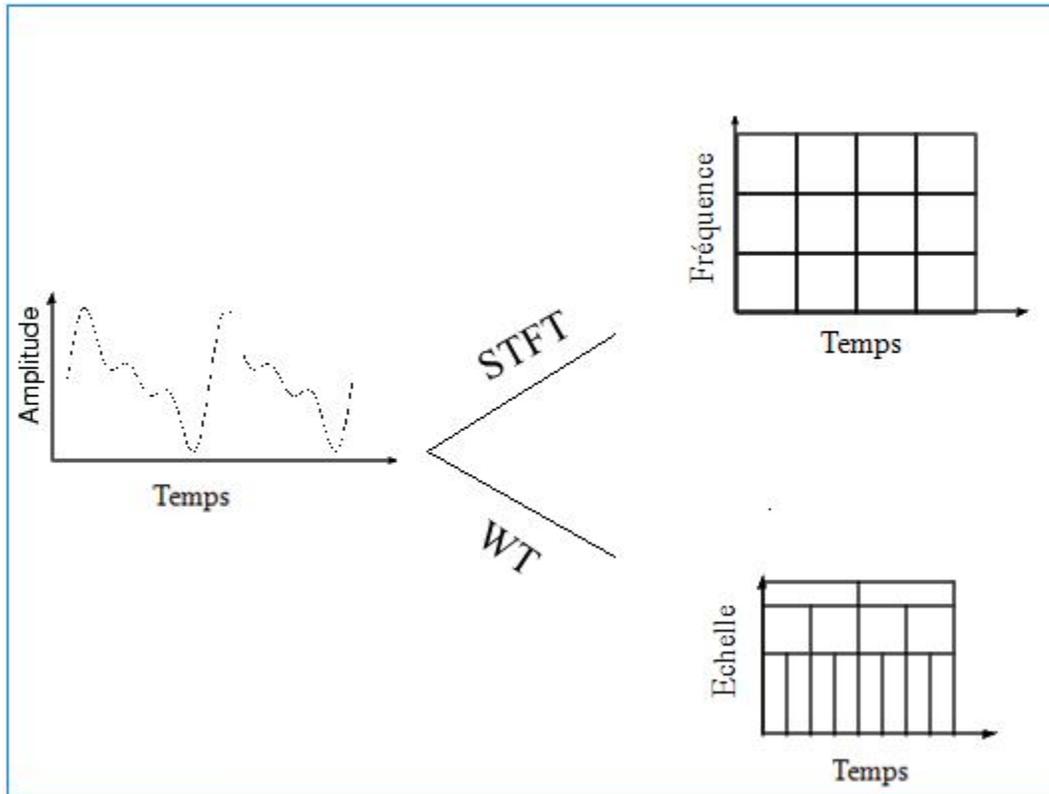


Figure IV.5 Le Pavage de l'espace-temps-fréquence pour la STFT et la WT (CHADID,2003).

On remarque que la largeur de la fenêtre pour l'analyse en ondelette (WT) est modifiée à mesure qu'on calcule la transformée pour chacune des composantes spectrales individuellement.

Ce dernier point représente la caractéristique la plus significative de la transformée en ondelettes. La transformée en ondelettes a la capacité de changer la taille de la fenêtre à différentes résolutions de temps-fréquence comme représenté ci-dessus. Les fonctions de base d'ondelettes peuvent être étirées ou comprimées dans la fenêtre d'analyse. Ceci aide à isoler des discontinuités de signal parce que des courtes fonctions de base sont employées pour obtenir l'information détaillée de fréquence tandis que des longues fonctions de base sont employées pour rechercher l'information approximative de fréquence du signal. Ceci permet d'analyser le signal à différentes échelles.

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

L'analyse en ondelettes adopte une fonction de prototype d'ondelettes connue sous le nom de "**Ondelettes mère**" donné dans l'équation (42). Cette Ondelette mère génère un ensemble de fonctions de base connues sous le nom "**Ondelettes enfants**" par des translations et dilatations récursives.

La définition de l'ondelette mère est donnée par la formule suivante :

$$\varphi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \varphi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (42)$$

Où :

- τ Facteur de translation.
- s Facteur de dilatation « Echelle ».
- $\varphi(\tau, s)$ Ondelette mère.
- $\varphi\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$ Ondelettes enfants.
- $\frac{1}{\sqrt{s}}$ Facteur de normalisation de l'énergie afin que le signal transformé ait la même énergie à toutes les échelles.



Figure IV.6 Quelques formes d'ondelettes (CHADID,2003).

Le sens du terme translation est celui qu'il avait dans la STFT, il est lié à la localisation de la fenêtre, à mesure que cette fenêtre est décalée sur l'étendue du signal. Ce terme correspond évidemment à une information de temps dans le domaine de la transformée.

Nous n'avons pas cependant de paramètre de fréquence, comme nous l'avions avec la STFT, il est remplacé par un paramètre d'échelle défini comme 1/fréquence. Le terme fréquence reste réservé à la STFT (ou à la TF) (CHADID,2003).

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

IV.4.1 L'échelle

Le paramètre échelle, utilisé en analyse par ondelettes, est très similaire à la notion d'échelle pour les cartes. Comme dans le cas des cartes, les grandes échelles correspondent à des vues globales (du signal) non détaillées. Les faibles valeurs d'échelle correspondent à des vues détaillées. En termes de fréquence, de façon similaire, les basses fréquences (grandes échelles) fournissent une information globale sur le signal (habituellement sur tout l'étendu du signal) alors que les hautes fréquences (faibles échelles) donnent des informations détaillées sur un motif caché dans le signal (généralement de faible durée).

IV.4.2 La transformée en ondelettes continue (CWT)

La transformée en ondelettes continue utilise des translations et des dilatations de la fonction ondelette mère durant tout l'intervalle du temps de manière continue.

La définition de CWT est donnée par la formule ci-dessous :

$$CWT(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \varphi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (43)$$

Cette transformation est en théorie infiniment redondante puisque l'ondelette est tradlatée de manière continue, cependant il existe des méthodes pour diminuer cette redondance l'une de ces méthodes consiste en l'emploi de la transformée en ondelettes discrète.

IV.4.3 La discrétisation de la transformée en ondelettes continue

Il est à peu près évident que ni la TF, ni la STFT, ni la CWT ne peuvent être manuellement calculées en utilisant les équations analytiques, le calcul intégral, etc. C'est aux ordinateurs qu'on confie la plupart des calculs aujourd'hui, c'est donc aux ordinateurs de calculer ces transformées. Il devient donc nécessaire de discrétiser les transformées. La manière la plus intuitive d'opérer, comme dans le cas de la TF ou de la STFT, est d'échantillonner le plan temps/fréquence (échelle). Encore intuitivement, échantillonner le plan avec une période d'échantillonnage constante, paraît un choix naturel. Dans le cas de la CWT, on peut utiliser la variation de l'échelle pour réduire la fréquence d'échantillonnage.

IV.4.4 La transformée en ondelettes discrète (DWT)

La transformée en ondelettes discrète (DWT) est produite pour surmonter le problème de redondance de la CWT, Cette redondance mobilise une grande quantité de ressource de calcul. La transformée discrète en ondelettes (DWT), au contraire, fournit suffisamment d'information, tant

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

pour l'analyse que pour la reconstruction du signal original. Ceci en un temps de calcul notablement réduit.

La DWT est considérablement plus simple à implémenter que la CWT. Dans ce qui suit, nous introduisons les concepts de base de la DWT, ses propriétés et les algorithmes utilisés pour la calculer.

La transformée en ondelettes discrète translate et dilate l'ondelette selon des valeurs discrètes. Ces coefficients s et τ seront discrétisés de la manière suivante :

$$s = s_0^j \text{ Et } \tau = k\tau_0 s_0^j \text{ avec } s_0 > 1 \text{ et } \tau_0 > 0 \text{ fixés et appartenant à } \mathbb{Z}$$

Les ondelettes sont alors définies de la manière suivante :

$$\varphi(\tau_0, s_0) = \frac{1}{\sqrt{s_0^j}} \varphi\left(\frac{t - k s_0^j \tau_0}{s_0^j}\right) \quad (44)$$

La DWT est donnée par la formule ci-dessous :

$$DWT(\tau_0, s_0) = \frac{1}{\sqrt{s_0^j}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \varphi\left(\frac{t - k s_0^j \tau_0}{s_0^j}\right) dt \quad (45)$$

Tel que :

- s_0^j Facteur d'échelle.
- τ_0 Facteur de translation.
- k et j Des entiers.

Si on choisit $s_0 = 2$ et $\tau_0 = 1$, on se place dans le cas dyadique.

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

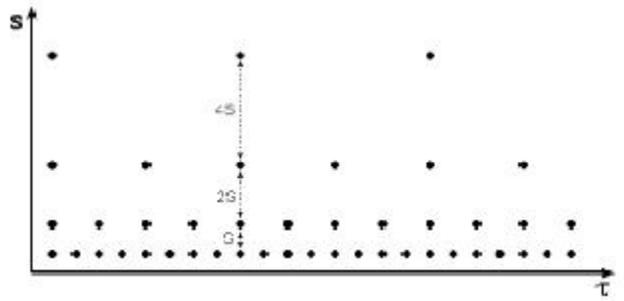


Figure IV.7 Localisation des ondelettes discrètes dyadique dans un plan temps/échelle (CHADID,2003).

IV.4.5 Les propriétés des ondelettes :

Toute fonction φ oscillante, de moyenne nulle $\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(t) dt = 0$ et d'énergie finie

$|\varphi(\mathbf{0})|^2 = \mathbf{0}$ est une ondelette possible, avec l'intention qu'un signal puisse être analysé et reconstruit sans perte d'information.

La condition nécessaire pour que φ puisse être utilisée comme une ondelette analysante est qu'elle vérifie une condition d'admissibilité : $\int_0^{+\infty} \left(TF(\varphi(s))^2 / |s| \right) ds < \infty$ (ou une condition similaire). Une propriété suffisante pour avoir une ondelette admissible est qu'elle soit Intégrale. On peut démontrer que cette seule propriété implique que l'ondelette est oscillante, de moyenne nulle et d'énergie finie.

IV.4.6 L'analyse multi-résolution

L'analyse multi résolutions, introduite par Meyer et Mallat, est un outil de traitement du signal qui permet de décomposer un signal à plusieurs échelles (résolutions) et de le reconstruire à partir des éléments de cette décomposition.

Une analyse multi-résolution est un partitionnement de l'espace des fonctions d'énergie finie $L^2(\mathbb{R})$ par une famille de sous-espaces vectoriels V_j emboîtés les uns dans les autres tels que le passage de l'un à l'autre soit le résultat d'un changement d'échelle. Ces sous-espaces sont appelés des espaces d'approximation à l'échelle j ($j \in \mathbb{Z}$) et vérifient les propriétés suivantes :

Soit un ensemble de sous-espaces de $L^2(\mathbb{R})$ (l'ensemble des signaux à énergie finie) tels que :

$$\dots \subset V_2 \subset V_1 \subset V_0 \subset V_{-1} \subset \dots \subset V_{j+1} \subset V_j \subset \dots$$

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

- $\bigcup_{j \in \mathbb{Z}} V_j = L^2(\mathbb{R})$
- $\bigcap_{j \in \mathbb{Z}} V_j = 0$

Ces propriétés définissent une analyse multi-résolution dyadique sur $L^2(\mathbb{R})$.

L'idée est de projeter un signal $x(t) \in L^2(\mathbb{R})$ appartenant à un espace V_j sur un sous-espace V_{j+1} et un sous-espace W_{j+1} dans le but de réduire la résolution de moitié. Le schéma est donné en figure qui suit.

Il existe donc un opérateur de projection A_j et un opérateur de projection D_j qui projettent respectivement le signal $x(t)$ sur V_{j+1} et W_{j+1} .

V_{j+1} est le sous-espace d'approximation et W_{j+1} le sous-espace de détails. On peut démontrer qu'il existe une fonction d'échelle $\phi(t) \in L^2(\mathbb{R})$ qui engendre par dilatation et translation une base orthonormée de V_{j+1} et une fonction d'ondelettes $\psi(t) \in L^2(\mathbb{R})$ qui engendre par dilatation et translation une base orthonormée de W_{j+1} . Les espaces obtenus ne sont pas quelconques, ils possèdent des propriétés intéressantes. Par construction, les espaces d'approximation V_{j+1} et de détails W_{j+1} sont complémentaires $V_j = V_{j+1} + W_{j+1}$. De plus, si les bases sont orthogonales, ils sont orthogonaux : $V_{j+1} \perp W_{j+1}$

Les fonctions de bases dilatées sont données par les relations :

La fonction d'échelle

$$\phi(t) = 2^{-j/2} \phi(2^{-j}t - k) \quad (46)$$

La fonction d'ondelettes :

$$\psi(t) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k) \quad (47)$$

Avec $(k, j) \in \mathbb{Z}$

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

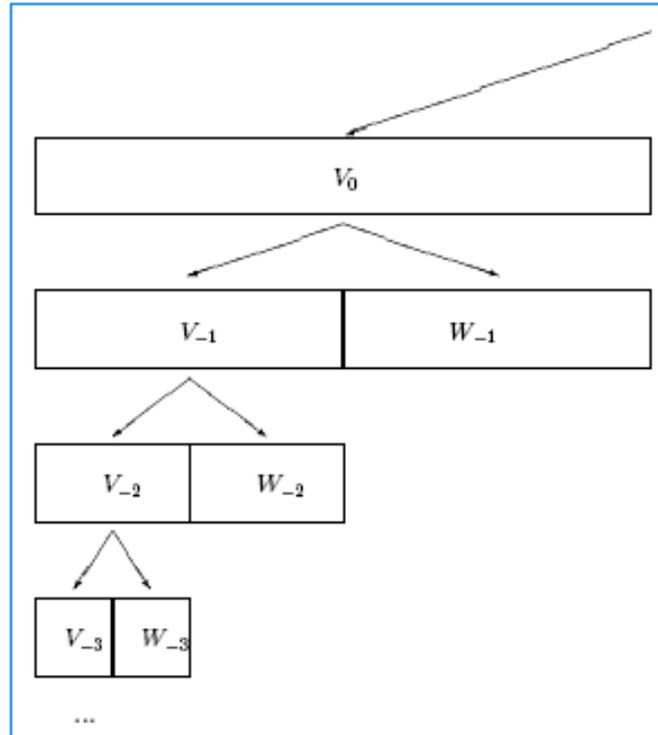


Figure IV.8 Principe de l'analyse multi-résolution (CHADID,2003).

IV.4.7 Les familles de la transformée en ondelettes

Il existe une infinité de fonctions d'ondelettes parce que toute fonction oscillante localisée est une ondelette mère possible. Toutefois, elles ne possèdent pas toutes des propriétés intéressantes. Aussi, de nombreux spécialistes des ondelettes ont construit des familles d'ondelettes possédant certaines propriétés remarquables. Parmi les familles d'ondelettes, les ondelettes de Haar sont les plus simples, mais elles ne sont pas bien localisées. Ingrid Daubechies a construit des ondelettes à support compact qui permettent d'utiliser des filtres de taille finie. Une autre famille d'ondelettes est la famille des ondelettes splines dont la réponse fréquentielle est bien localisée. Les différentes familles d'ondelettes sont utilisées selon leurs propriétés en fonction du problème à résoudre.

La figure suivante présente quelques familles d'ondelettes :

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

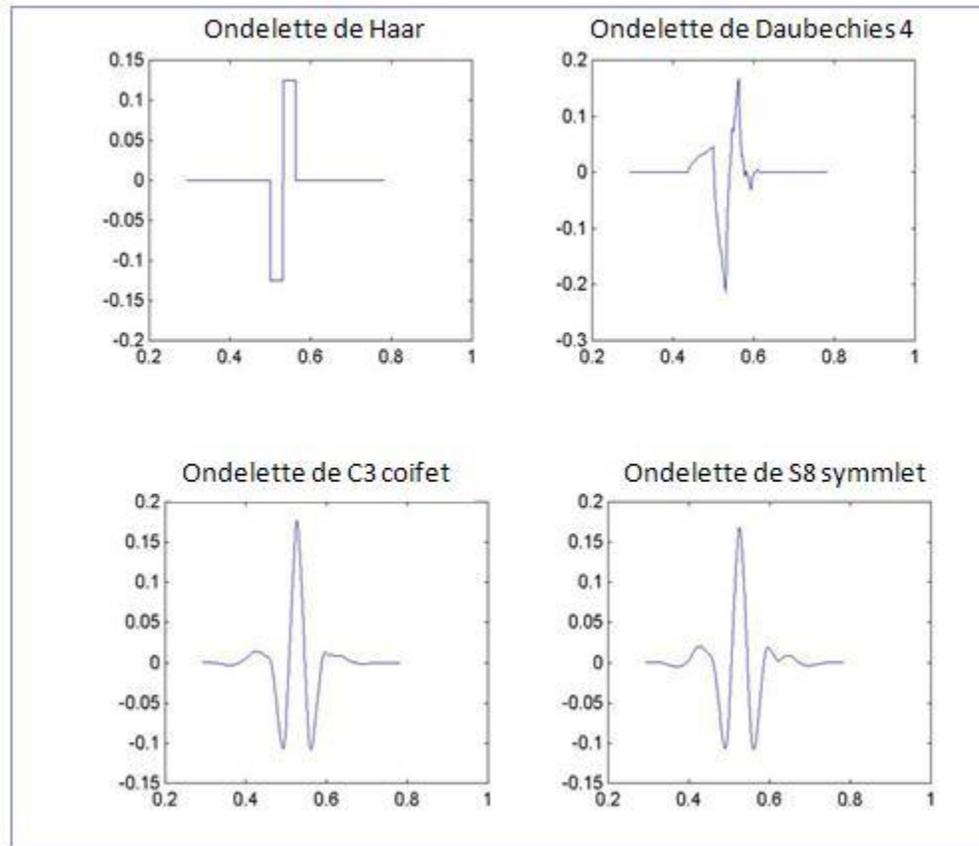


Figure IV.9 Quelques familles d'ondelettes (CHADID,2003).

IV.4.8 Les types d'ondelettes

Il existe de nombreuses méthodes permettant d'effectuer la transformée en ondelettes, chacune se différenciant des autres soit par le type de la fonction de base employée, soit par la méthode d'implantation de la transformée. En fonction de type de traitement que l'on voudra effectuer par la suite on pourra utiliser l'une des méthodes suivantes :

IV.4.8.1 Translations et dilatations dyadique d'une fonction

Ce sont des ondelettes classiques, elles sont naturellement reliées à l'analyse multi-résolution et au codage en sous-bande.

IV.4.8.2 Les paquets d'ondelettes

Dans ce type d'ondelettes le coefficient de détail est aussi décomposé comme le coefficient d'approximation.

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

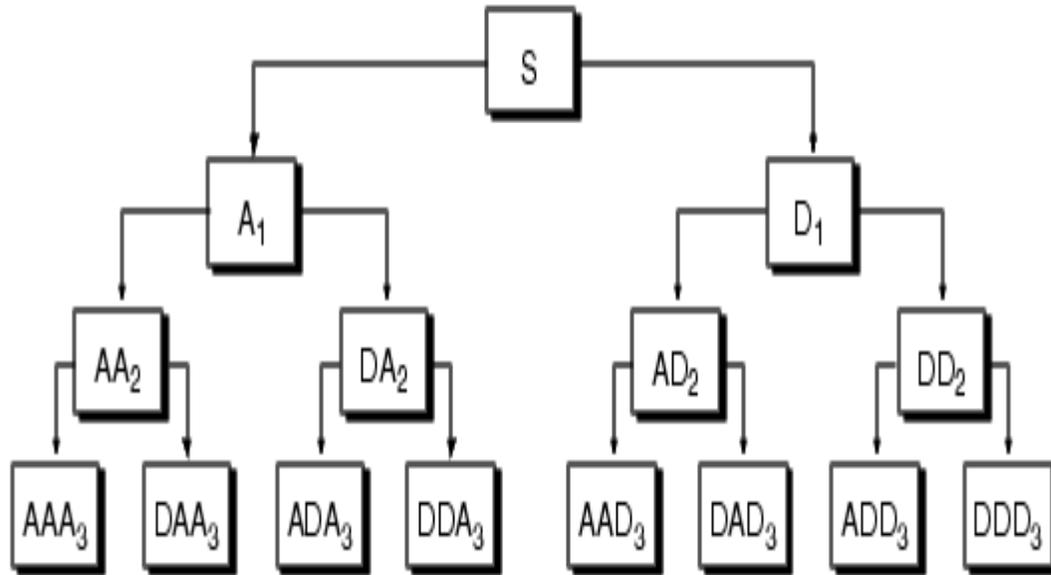


Figure IV.10 Principe d'ondelettes en paquets

IV.4.8.3 Les ondelettes multiples

L'idée n'est plus d'utiliser une fonction fixe que l'on va translater et dilater, plutôt un nombre fini de fonctions. Cette méthode permet d'obtenir des combinaisons de propriétés utiles qui seraient impossible avec les ondelettes classiques.

IV.4.8.4 Le lifting scheme

On abandonne ici complètement l'idée de translation et dilatation. Cela fournit une grande flexibilité dans la construction d'ondelettes adaptées à des échantillons irréguliers ou variés. Parmi toutes ces méthodes la première reste la plus répondeue.

IV.5 Conclusion

Nous avons décrit la différence qui existe entre la transformée de Fourier T.F. et la transformée en ondelette T.O. particulièrement en termes de résolutions temps- fréquence. Nous avons aussi présenté un bref aperçu sur l'analyse multi-résolution. Cette analyse est souvent utilisée pour étudier le comportement du signal analysé en plusieurs résolutions (niveaux d'échelles).

La transformée en ondelettes présente de nombreux avantages dans le domaine du traitement

Chapitre IV : Transformé en ondelettes

du signal et de l'image. C'est un outil puissant de transformation du signal qui permet de « préparer » le signal afin de faciliter le traitement envisagé.

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

V.1 Introduction :

Dans cette partie on va définir deux familles d'ondelettes (ondelettes de Haar et Daubechies)

V.2 Les ondelettes de Haar

Les ondelettes de Haar forment la plus ancienne des bases orthonormales d'ondelettes. Ce sont des fonctions discontinues, utilisées souvent pour détecter les transitions dans un signal. Elles sont bâties à partir de la fonction d'échelle φ défini par

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 1 \\ 0, & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (48)$$

La figure 15 illustre la forme d'onde de la fonction d'échelle de Haar.

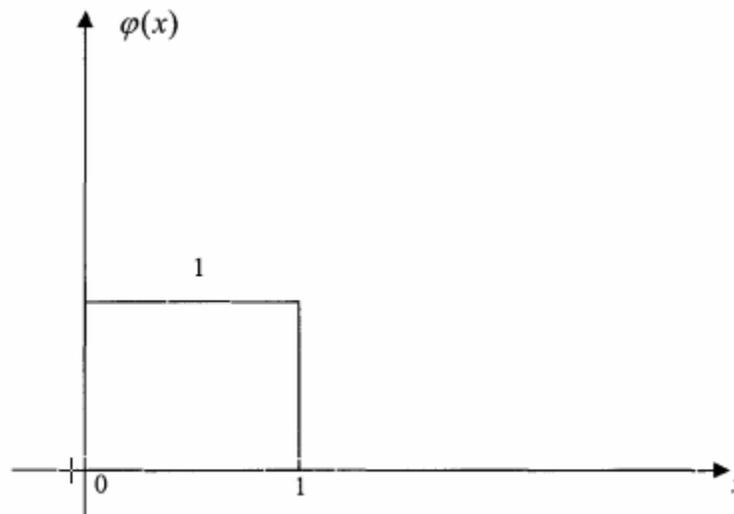


Figure V.1 Fonction d'échelle de l'ondelette de Haar (OMAR CHADID,2003).

La fonction d'ondelette Ψ de Haar associée à cette fonction d'échelle est définie par

$$\Psi(x) = \varphi(2x) - \varphi(2x - 1) \quad (49)$$

La figure 16 montre la forme de l'ondelette de Haar.

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

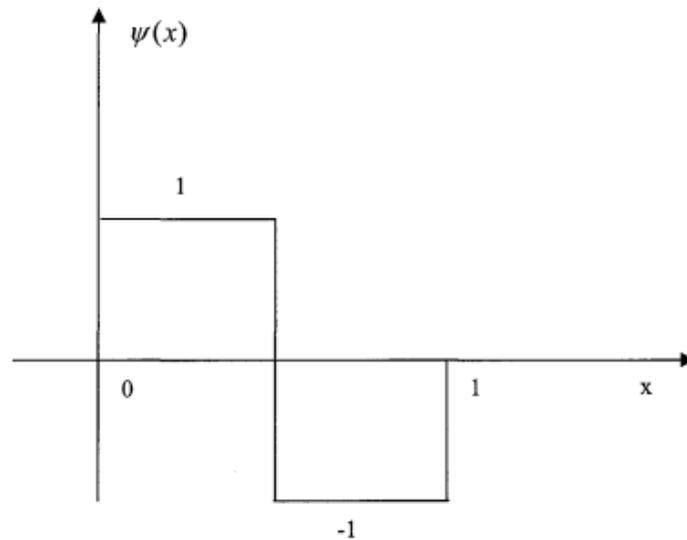


Figure V.2 Ondelette de Haar (OMAR CHADID,2003).

Les filtres de Haar associés à la fonction d'échelle et d'ondelette de Haar sont obtenus à partir de l'expression (49) et de l'équation (50) qui exprime la relation qui relie les filtres h et g qui sont des filtres miroirs en quadrature.

Sachant que l'on peut exprimer la fonction d'échelle $\varphi(x)$ comme suit :

$$\varphi(x) = \varphi(2x) + \varphi(2x - 1) \quad (50)$$

Nous pouvons combiner la relation avec l'équation, et nous en déduisons les coefficients du filtre h correspondant selon

$$\begin{cases} h(0) = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ h(1) = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ h(n) = 0 \quad \forall n \neq 0, 1 \end{cases} \quad (51)$$

À partir de l'équation nous obtenons automatiquement les coefficients du filtre g tel que

$$\begin{cases} g(0) = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ g(1) = -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ g(n) = 0 \quad \forall n \neq 0, 1 \end{cases} \quad (52)$$

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

Les ondelettes de Haar sont simples et faciles à implémenter. De plus elles sont à support compact. Cette caractéristique permet le calcul de la transformée en ondelettes d'une façon exacte. Elles forment une base orthonormale qui est le type de base utilisé pour l'analyse multi résolution. De plus pour détecter les frontières (ex : rupture), les ondelettes symétriques comme celles de Haar sont les plus adéquates (OMAR CHADID,2003).

V.3 Ondelettes Daubechies

La transformée en ondelettes Daubechies porte le nom de son inventeur, la physicienne et mathématicienne belge Ingrid Daubechies. Les ondelettes de Daubechies sont une famille d'ondelettes orthogonales définissant une transformée en ondelettes discrète caractérisée par un nombre maximal de moments de disparition pour un support donné. Avec chaque type d'ondelette de cette classe, il existe une fonction de mise à l'échelle (également appelée onde du mère) qui génère une analyse orthogonale multi-résolution. Daubechies les ondelettes orthogonale D2-D20 sont les plus utilisées et, parmi celles-ci, les plus courantes sont D4, D6 et D8. Le numéro d'index se réfère au nombre de coefficients. Chaque ondelette présente de nombreux moments de disparition. Le nombre de moments de disparition est égale à la moitié de nombre de coefficient dans le cas de la famille de Daubechies des ondelettes de mère. Les ondelettes Daubechies sont largement utilisées pour résoudre un large éventail de problèmes, par exemple propriétés d'autosimilarité d'un signal ou des problèmes de fractale, des discontinuités de signal. La propriété importante de l'ondelette de recharge est des moments de disparition.

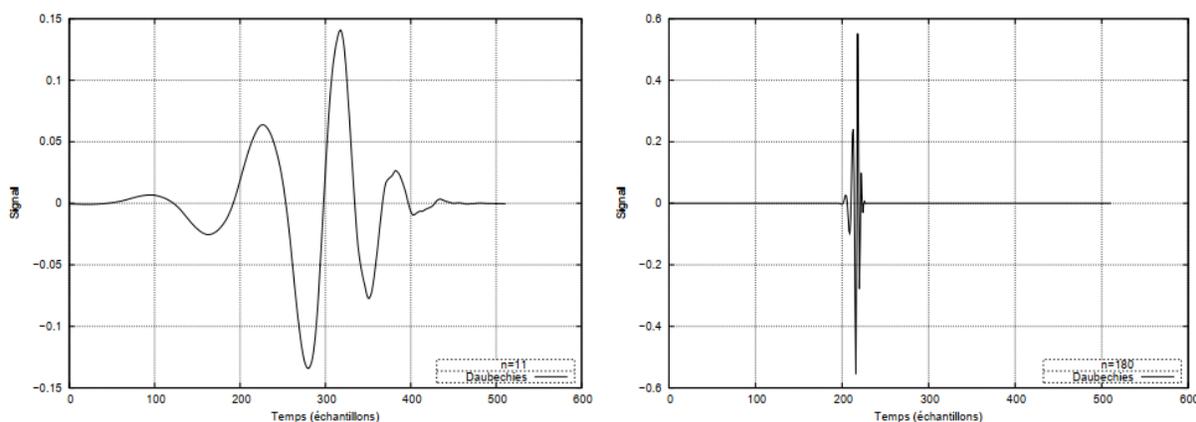


Figure V.3 Ondelette de Daubechies à 6 moments nuls (12 coefficients) pour 2 facteurs d'échelle différents.

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

Le coefficient d'ondelettes le plus élevé correspond à l'ondelette dont le spectre est le plus haut en fréquence, mais il ne correspond pas à une fréquence unique comme dans le cas de la FFT.

V.4 Application de l'ondelette de Haar sur les séries pluviométriques :

V.4.1 Station de khabouzia

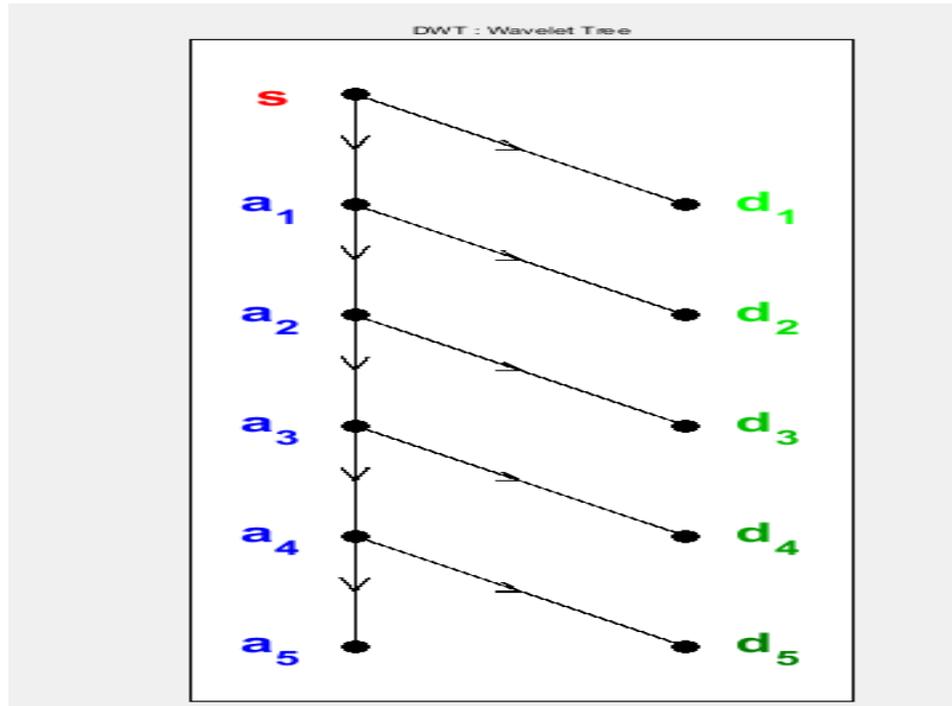


Figure V.4 Décomposition en multi niveau de l'ondelette de Haar (station de Khabouzia)

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

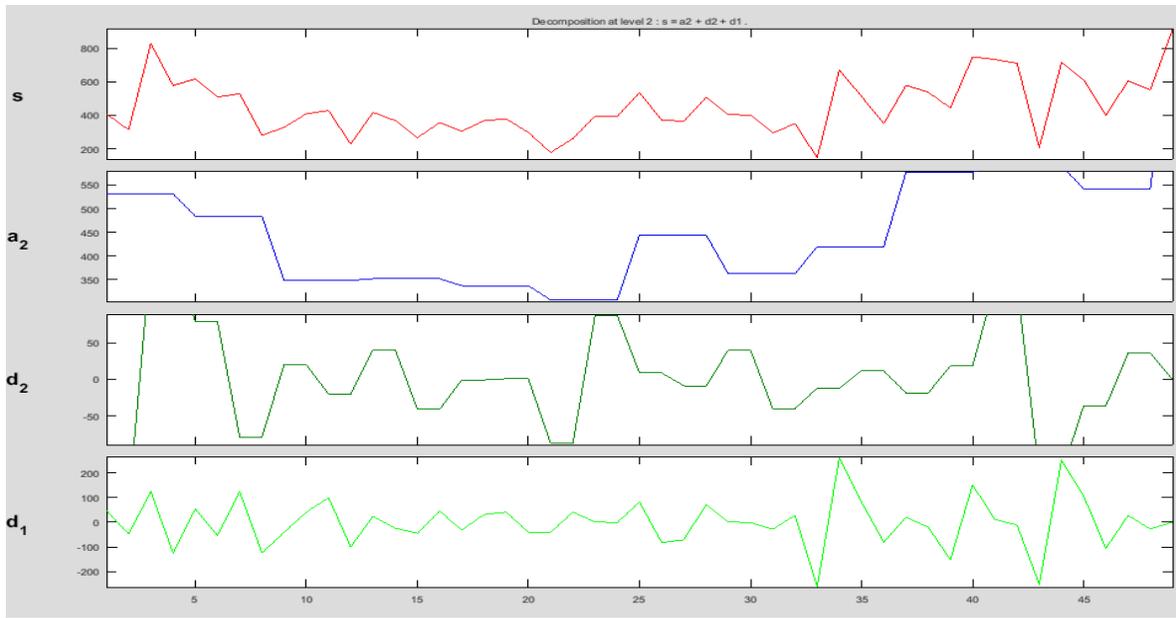


Figure V.5 Analyse de l'ondelette de Haar au niveau 2 de la station Khabouzia

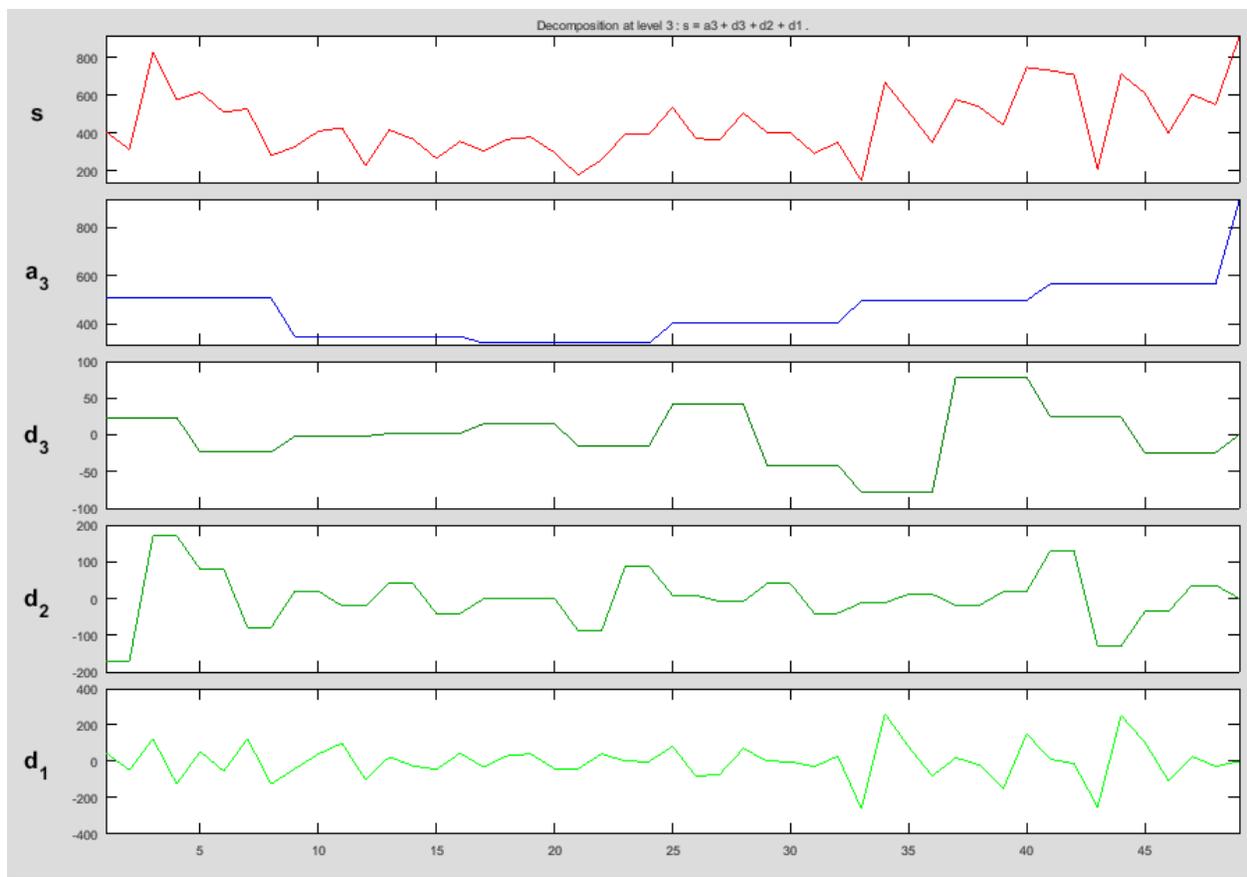


Figure V.6 Analyse de l'ondelette de Haar au niveau 3 de la station Khabouzia

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

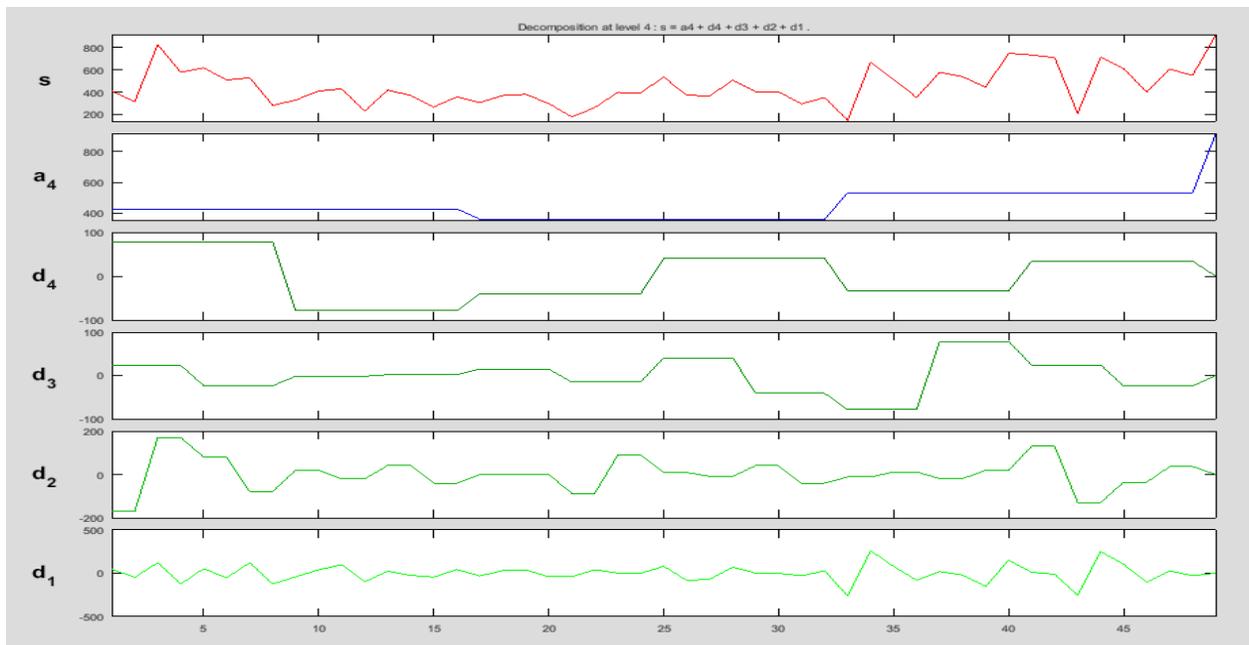


Figure V.7 Analyse de l'ondelette de Haar au niveau 4 de la station Khabouzia

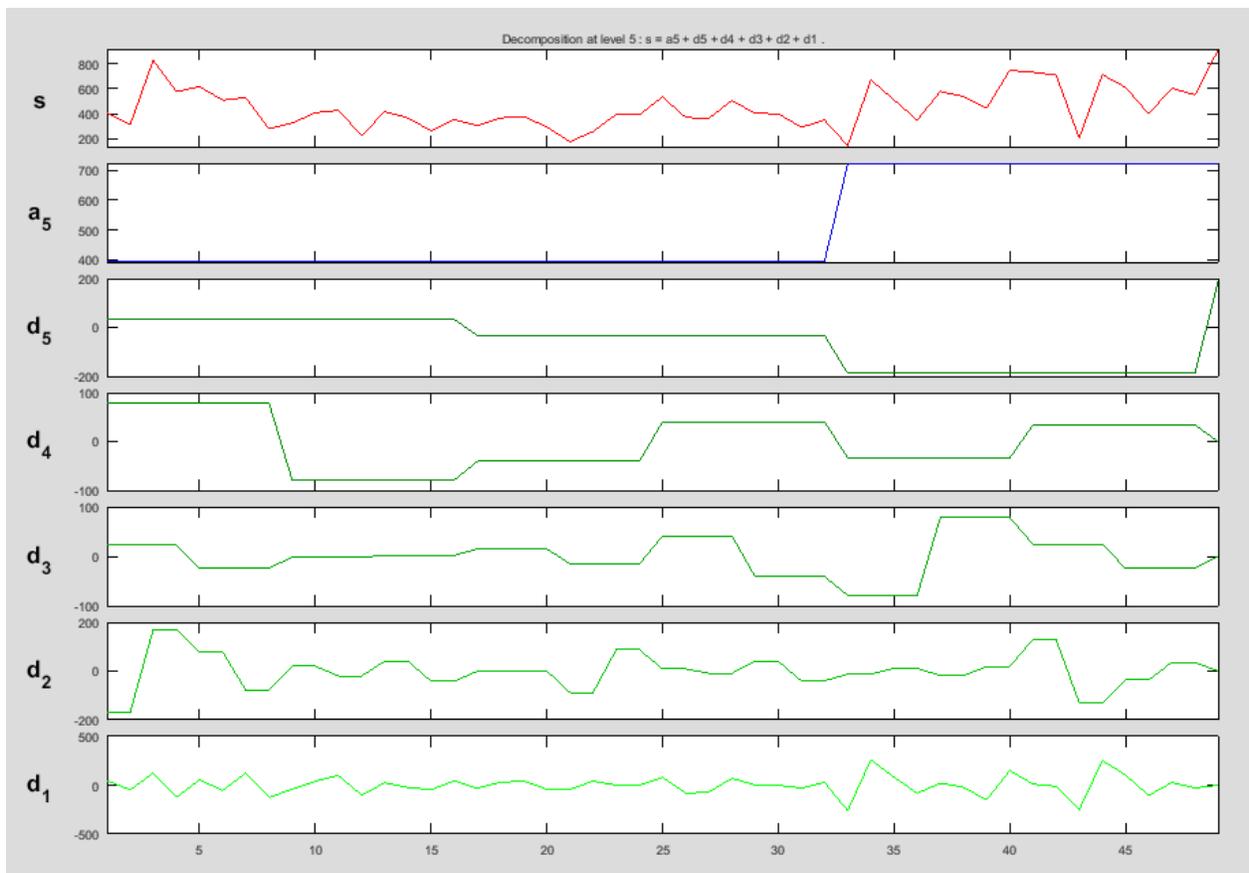


Figure V.8 Analyse de l'ondelette de Haar au niveau 5 de la station Khabouzia

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

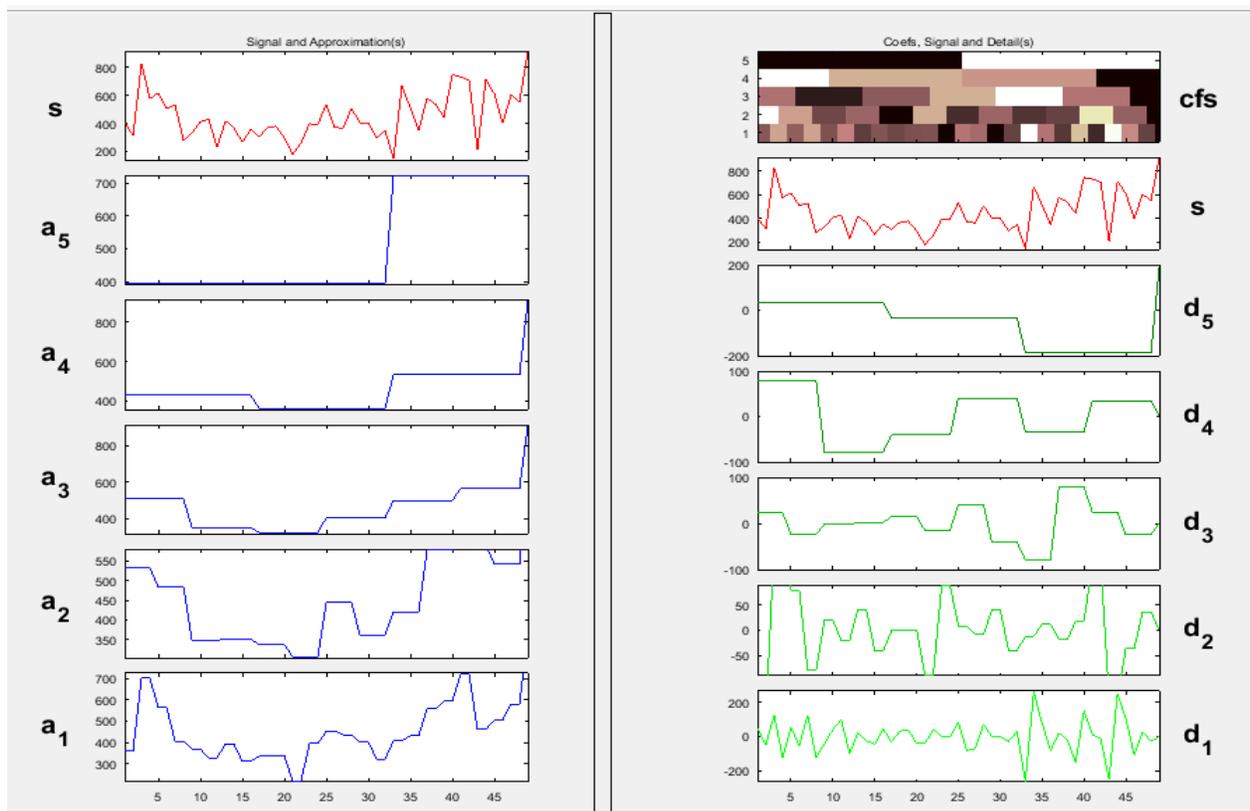


Figure V.9 Décomposition complète de l'ondelette de Haar au niveau 5 de la station Khabouzia

Les figures V. 3 à 8 illustrent la décomposition des niveaux de l'ondelette de Haar d'un signal synthétique s . Les différents détails d_j ($j=1, \dots, 5$) et approximation a_5 sont représentés dans la figure V.9 ci-dessus, ils constituent le résultat de la décomposition du signal traité à différents niveaux de résolution. Nous observons que l'approximation a_2 du deuxième niveau d'échelle de l'ondelette de Haar donne une bonne représentation des états du signal s analysé.

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

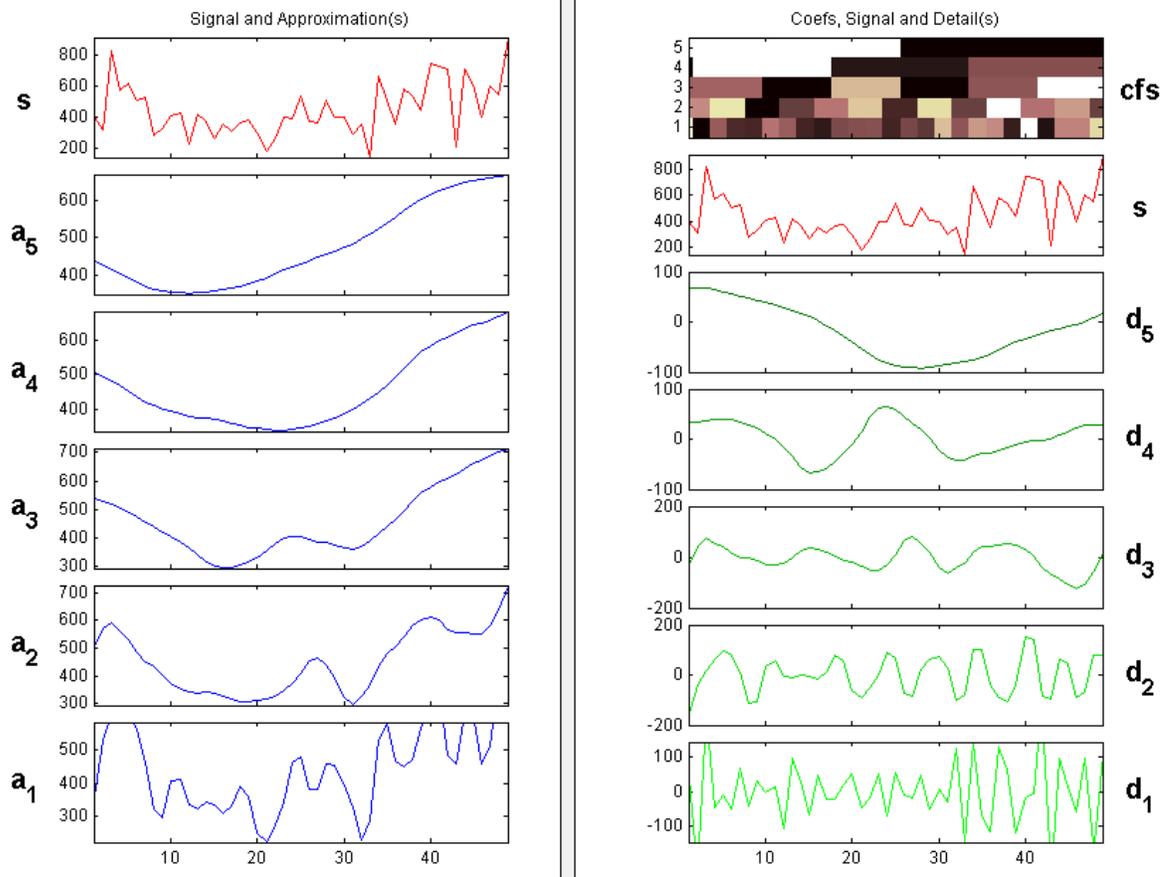


Figure V.10 Décomposition complète de l'ondelette de Daubechies ordre 4 (DB4) : Niveau 5 pour la station de Khabouzia

Nous constatons que l'approximation a_2 du deuxième niveau d'échelle de l'ondelette de Daubechies à l'ordre 4 donne une bonne représentation des états du signal s analysé. D'après les différents résultats obtenus et montrés sur les figures V.9 et V.10. L'application des deux types d'ondelettes ont permis de faire une nette sur la différence d'analyse résultante du choix d'ondelette mère. En effet l'ondelette DB4 nous paraît très adaptée dans l'analyse des signaux.

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

V.4.2 Station de Lakhdaria

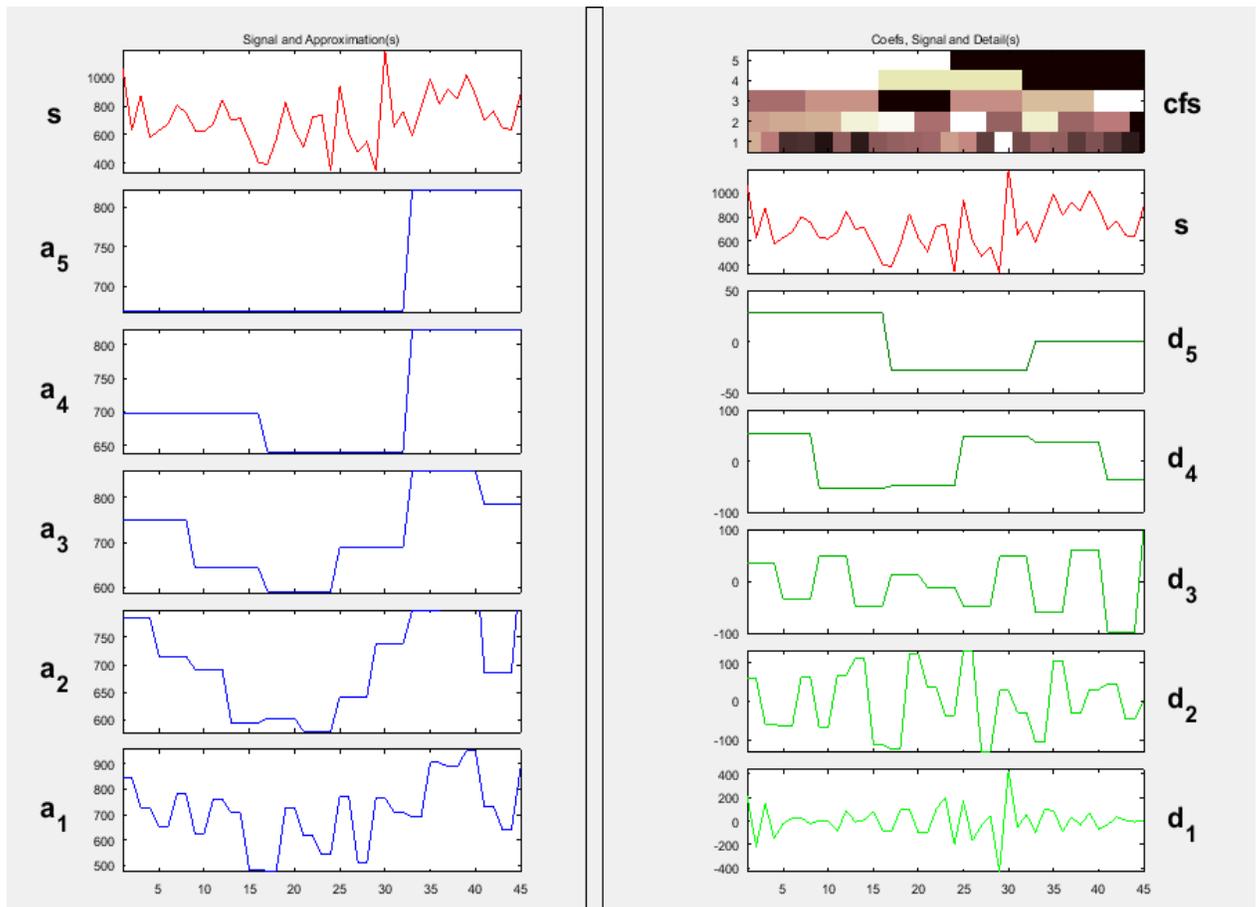


Figure V.11 Décomposition complète de l'ondelette de Haar au niveau 5 de la station Lakhdaria

Les différents détails d_j ($j=1, \dots, 5$) et approximation a_5 sont représentés dans la figure V.11 ci-dessus, qui montre la décomposition des niveaux de l'ondelette de Haar. Elle constitue le résultat de la décomposition du signal traité à différents niveaux de résolution. Nous observons que l'approximation a_3 du troisième niveau d'échelle de l'ondelette de Haar donne une bonne représentation des états du signal s analysé.

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

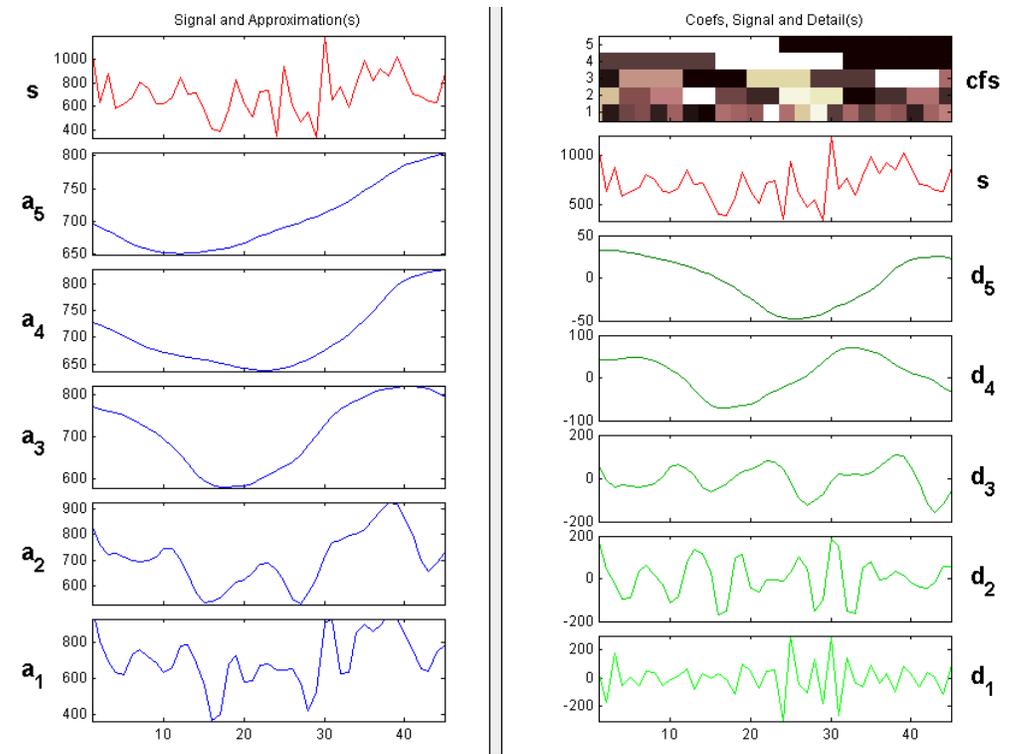


Figure V.12 Décomposition complète de l'ondelette de Daubechies ordre 4 (DB4): Niveau 2) de la station Lakhdaria

L'approximation a_2 du deuxième niveau d'échelle de l'ondelette de Daubechies à l'ordre 4 donne une bonne représentation des états du signal s analysé.

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

V.4.3 Station de Djebahia

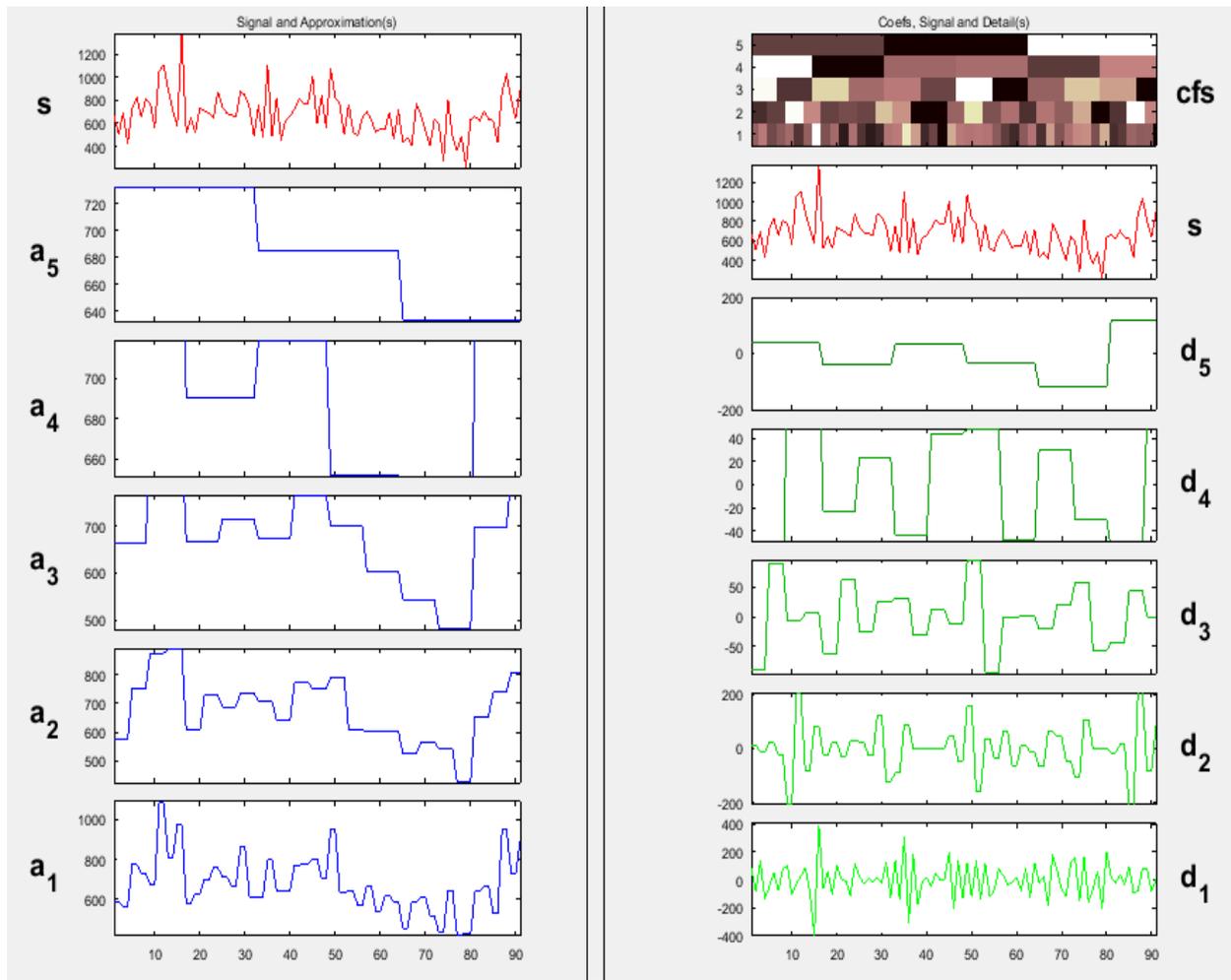


Figure V.13 Décomposition complète de l'ondelette de Haar au niveau 5 de la station Djebahia

D'après le résultat de la décomposition du signal traité à différents niveaux de résolution. Nous observons que l'approximation a_3 du troisième niveau d'échelle de l'ondelette de Haar donne une bonne représentation des états du signal s analysé.

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

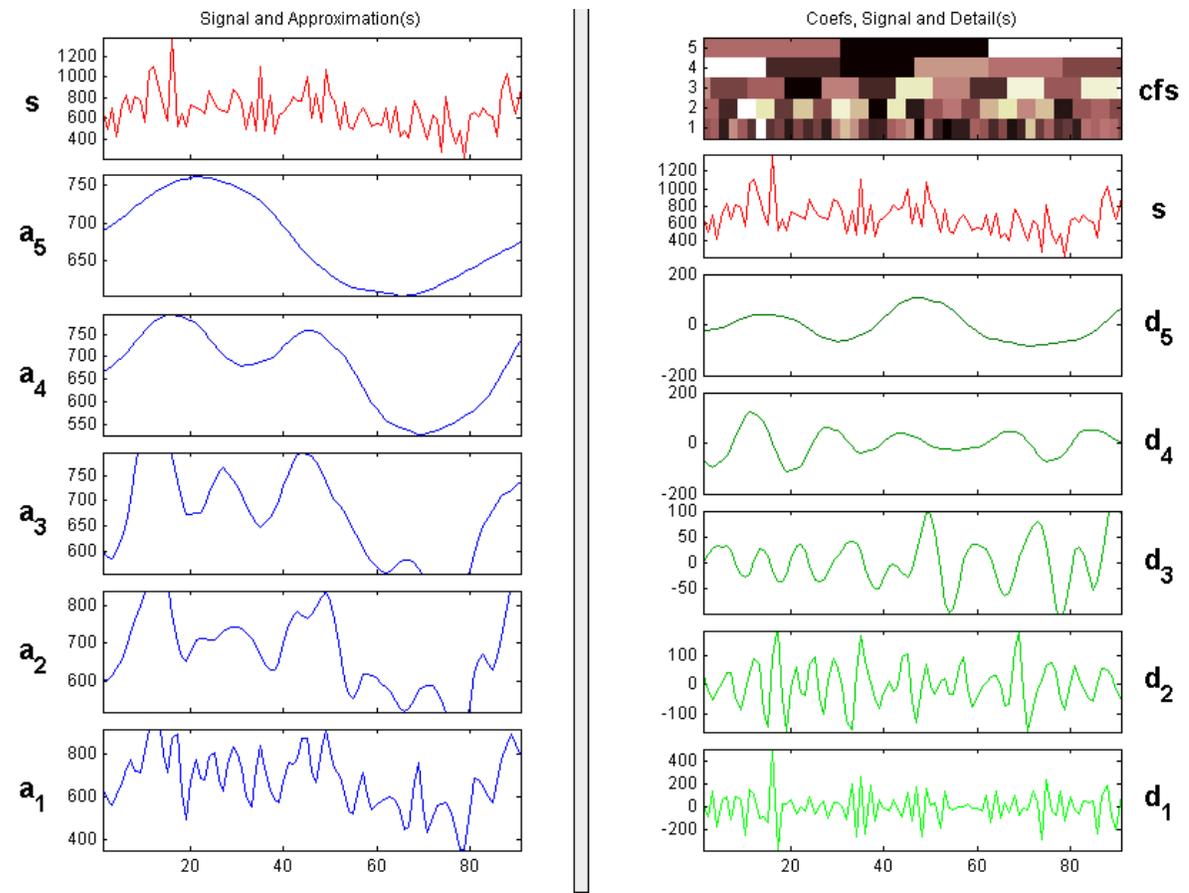


Figure V.14 Décomposition complète de l'ondelette de Daubechies ordre 5 (DB5): Niveau 4) de la station Djebahia

L'approximation a_4 du quatrième niveau d'échelle de l'ondelette de Daubechies à l'ordre 5 donne une bonne représentation des états du signal s analysé.

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

V.4.4 Station de Souagi

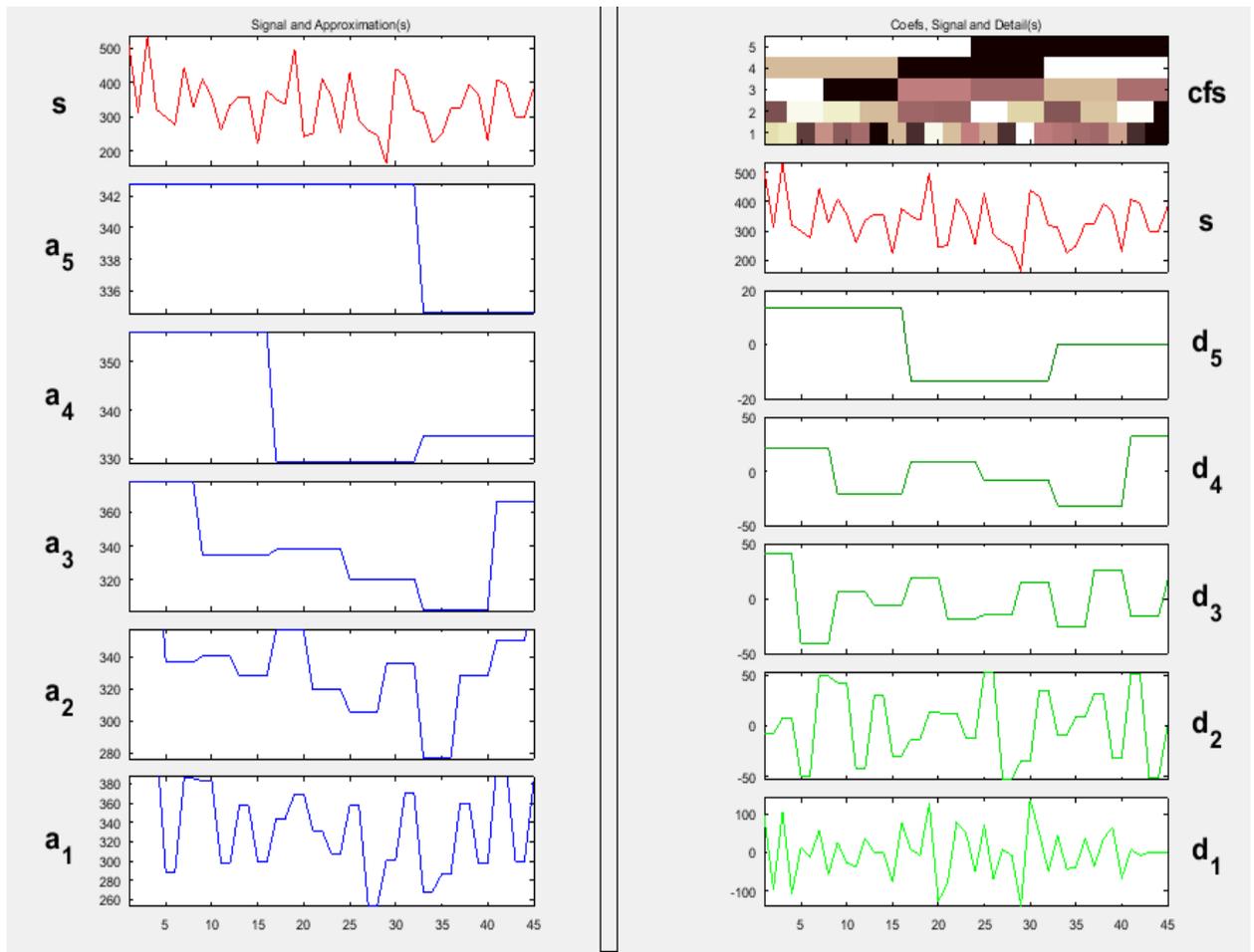


Figure V.15 Décomposition complète de l'ondelette de Haar au niveau 5 de la station Souagi

La figure V.14, nous montre l'inefficacité de l'ondelette de Haar pour détecter les changements dans le signal pour la station du Souagui, ces résultats confirme la stationnarité de la série de la station étudié et celle obtenue par le test Dickey-Fuller.

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

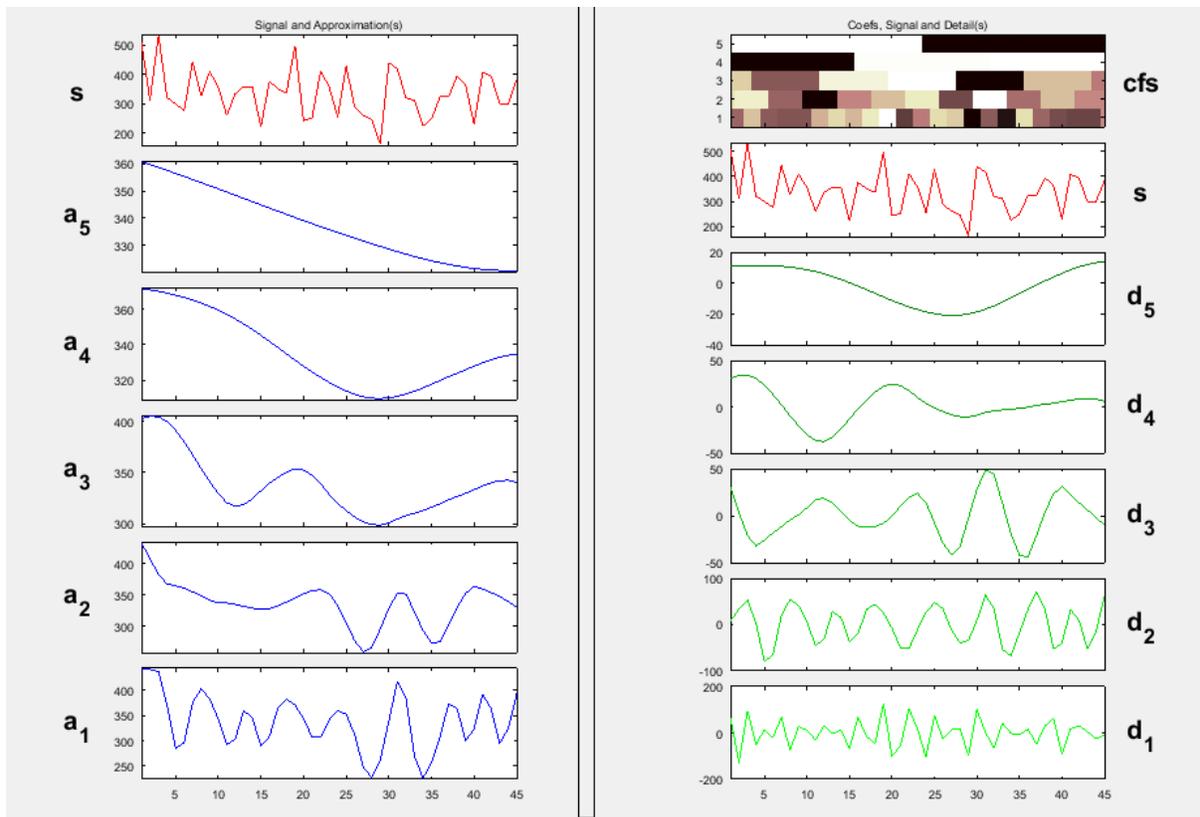


Figure V.16 Décomposition complète de l'ondelette de Daubechies ordre 7 (DB7): Niveau 5) de la station Souagi

Nous remarquons que l'approximation a_3 du troisième niveau d'échelle de l'ondelette de Daubechies à l'ordre 7 donne une bonne représentation des états du signal s analysé.

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

V.4.5 Station de Beni Slimane

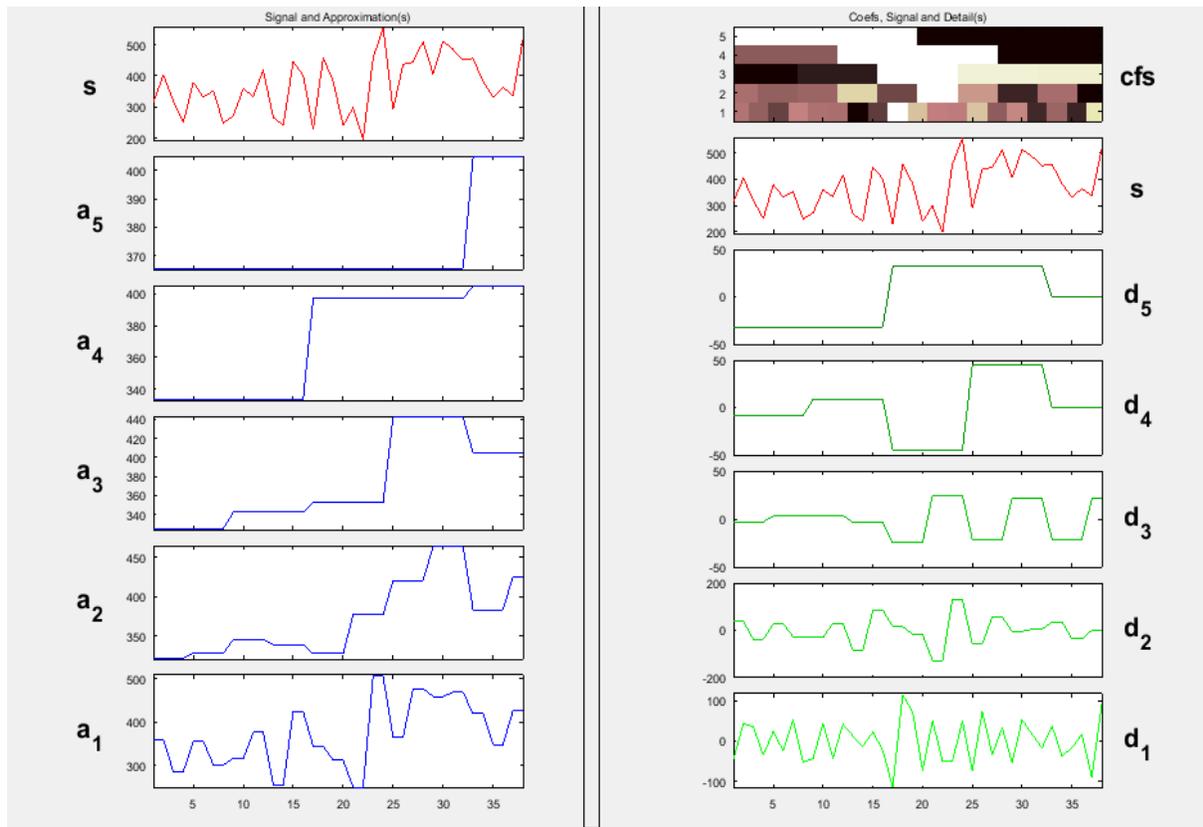


Figure V.17 Décomposition complète de l'ondelette de Haar au niveau 5 de la station Beni Slimane

D'après le résultat de la décomposition du signal traité à différents niveaux de résolution. Nous observons que l'approximation a_3 du troisième niveau d'échelle de l'ondelette de Haar donne une bonne représentation des états du signal s analysé.

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

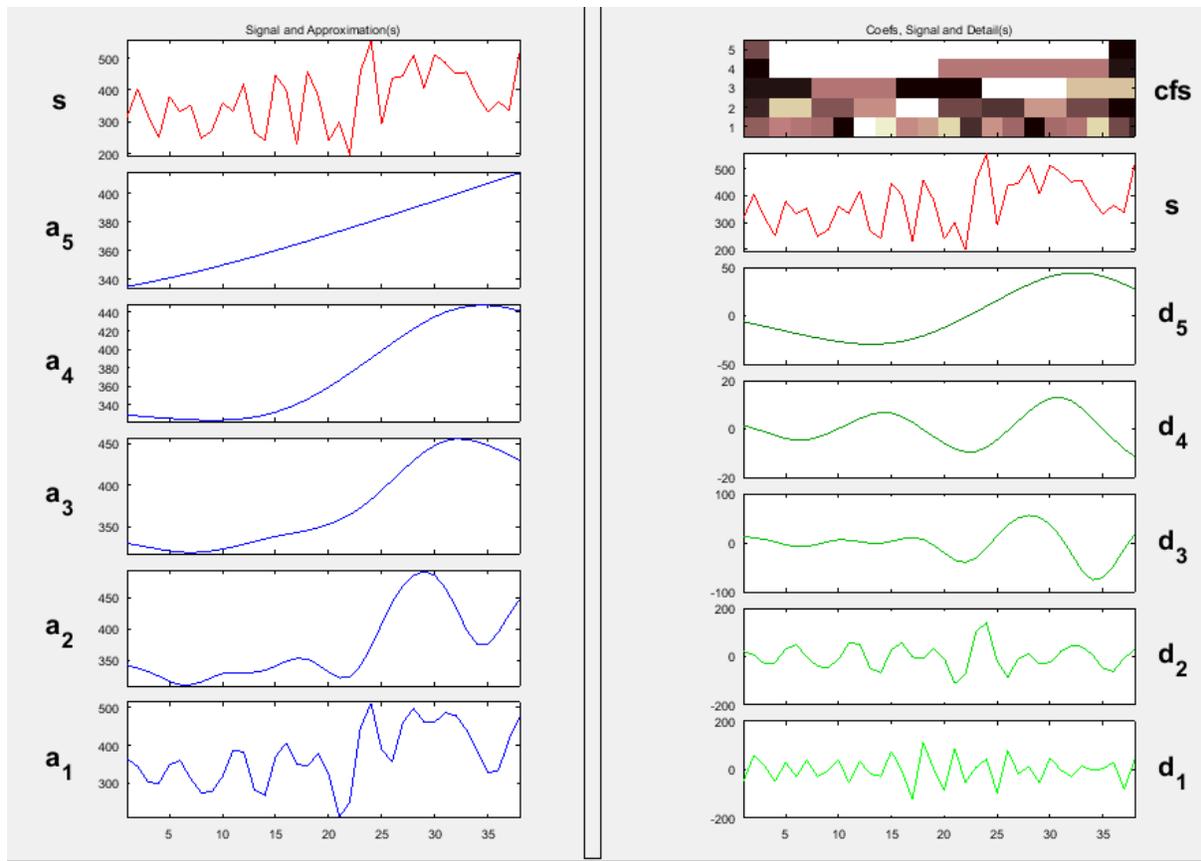


Figure V.18 Décomposition complète de l'ondelette de Daubechies ordre 8 (DB8) : Niveau 5) de la station Beni Slimane

L'approximation a_2 du deuxième niveau d'échelle de l'ondelette de Daubechies à l'ordre 8 donne une bonne représentation des états du signal s analysé.

V.5 Conclusion

La méthode des ondelettes est une technique d'analyse moderne permet de décomposer le signal de différents niveaux de résolution.

L'application des deux types d'ondelettes ont permis de faire une nette sur la différence d'analyse résultante du choix d'ondelette mère.

D'après ce chapitre nous concluons que l'application de des types d'ondelettes est donne une représentation de signal traite a différents approximation et niveaux sauf le cas de la station de Souagui. Nous montrons l'inefficacité de l'ondelette de Haar pour détecter les changements

Chapitre V : Application de la transformé en ondelettes

dans le signal pour la station du Souagui, ces résultats confirme la stationnarité de la série de la station étudié et celle obtenue par le test Dickey-Fuller.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'étude de la variabilité de régime pluviométrique à une importance major pour comprendre les anomalies et estimer le changement climatique de bassin versant d'Isser

Ce bassin versant à une importance stratégique, elle représente le carrefour de quatre grande Willaya (Alger, Boumerdes, Bouira et Tizi ousou). Il caractérise par sa forme assez allongée ($Kc= 1.17$) et une vallée relativement large avec une superficie de 4149 Km².

Notre bassin présente une potentialité pluviométrique importante (17% du BV AHS), avec un climat méditerranéen intermédiaire et une température moyenne annuelle qui oscille entre 15 et 20°C.

Notre étude est effectuée sur les données de cinq stations pluviométriques (Khabouzia, Lakhdaria Gorges, Djebahia, Souagui, Beni Slimane), et sur une période d'étude qui s'étale entre les années 1927 à 2017.

Les précipitations varient de 708.8 mm dans le Nord à 337.4 mm dans le Sud, la valeur du coefficient de variation annuel varie entre 24.00 % et 38.01 %. Les valeurs les plus faibles sont observées dans les stations situées au Nord -Sud de la zone d'étude. Les valeurs les plus élevées sont observées au Nord – Est de la zone d'étude (38.01 % à Khabouzia).

Pour étudier le comportement de ces séries pluviométriques nous avons faire appel à des tests statistiques tel que (**Test de KPSS, Test de Dickey-Fuller, Test de Phillips-Perron**) ces tests permettent d'étudier la stationnarité de nôtres séries. Ces tests révèlent qu'il n'y a pas de stationnarité observée pour les quatre stations ce qui explique par :

- Soit une modification graduelle de la série au cours du temps, qui se manifeste par une tendance à la baisse (ou à la hausse) des valeurs de la série,
- Soit une (ou plus) d'une rupture survenant à une certaine date, les caractéristiques de la série n'étant plus les mêmes à partir de la date de rupture,
- Soit un changement dans la distribution de probabilité d'une variable caractéristique à partir d'une date donnée.

Conclusion Générale

Pour confirmer les résultats de non stationnarité des stations de la zone d'étude, nous traitons ces séries par les tests de tendances et ruptures (**Buishand, Pettitt, Lee & Hghinian, Hubert**)

Les résultats obtenus par l'application des différents tests 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, L'année de rupture entre 1973 à 2001 a été détectée.

Dans ce travail, nous avons présenté les ondelettes comme une méthode d'analyse des séries chronologiques et parmi plusieurs types des ondelettes nous avons choisir l'ondelette de haar et debauchies qui nous permet de donner une bonne représentation de signal traité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdelhafid.2014** Étude des hydrogrammes des crues du bassin versant Isser (09) Algérie (W.Boumerdes) , 2014
- AMOUR.** Caractérisation des crues pluviales des sous bassins versants de la Soummam. 2010
- AZZI.** 2017. Modélisation hydrologique dans un contexte de la variabilité climatique dans le bassin d'Isser.
- Belkacem,** 2011 : Etude de variabilité des précipitations dans l'ensemble du bassin versant Isser (09), Algérie.
- Binnie.Partners,** 1983 : Schéma d'aménagement des ressources en eau dans la région D'alger-sebaou.
- Bouchek. F** 2015 :Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale du bas Isser (Boumerdes).
- Catherine 2004,** Note sur les tests de racine unité, Cours de séries temporelles linéaires ENSAE 2^eme année.
- Lubès, H.** (1994). "Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques." Etude bibliographique. Programme ICCARE, Rapport 3.
- Lubès-niel, H** (1998). Variabilité climatique et statistiques. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. Rev.Sci.Eau, 383-408.
- Lubès-niel** Variabilité climatique et statistiques. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. Rev.Sci. Eau. 383-408.
- Michel Vacher.** Notes de lecture sur la Transformée en Ondelettes. 2004
- Mr Gueriane Brahim.** Modélisation pluie-débit sur le bassin versant de l'Isser. 2017
- Olaniran O. J. (1991).** Evidence of climatic change in Nigeria based on annual series of rainfall of different daily amounts, 1919- 1985. Climatic change., 19, 319-341.
- CHADID,2003,** analyse des séries hydrométéorologiques par la transformée en ondelettes.
- Pettit, A.N.,** (1979). A nonparametric approach to the change point problem. Applied Statistics, 28(2), 126-135
- Sonia A.** Etude des signaux ECG avec la transformation d'ondelette discret 2018
- Tachi A.** Prédiction De Débit Solide Dans La Période De Crue Par l'Utilisation Des Réseaux De Neurones Artificiels : Étude De Cas De l'Oued Mekerra - Sidi Bel Abbes – Algérie .2018

Résumé

Résumé :

L'eau est l'élément moteur dans le cycle de l'eau, il est indispensable dans cette planète, mais leur répartition inéquitable dans le monde est aussi dans l'Algérie impose une gestion rigoureuse dans l'exploitation des réserves pour atteindre la satisfaction des besoins dans un horizon lointain.

Le but de ce mémoire est d'étudier la variabilité de régime pluviométrique de bassin versant d'Isser, Cinq stations bien réparties dans le site étudié pour une durée d'étude à partir 1923 jusqu'à 2017 ont été choisis.

Une analyse des tendances sur des séries des précipitations a été établit, les résultats de la variation des pluies annuelles obtenues montrent un caractère déficitaire de la fin des années 70 et se prolonge à 2001, même si la sévérité varie d'une année à l'autre. Ces successions des années sèches sont intercalée d'une ou de deux années excédentaires. Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé aussi la technique de la transformation en ondelettes, qui a permis de mieux analyser la présence des ruptures dans ces séries. Les résultats des simulations de ces méthodes sont présentés et comparées entre elles.

Abstract:

Water is the driving force in the water cycle, it is indispensable in this planet, but their inequitable distribution in the world is also in Algeria imposes rigorous management in the exploitation of reserves to achieve satisfaction needs in a distant horizon.

The purpose of this memory is to study the rainfall variability of the Isser watershed. Five well-distributed sites in the studied site for a study period from 1923 to 2017 were chosen.

An analysis of trends in precipitation series has been established, the results of the annual rainfall variation obtained show a deficit character from the end of the 70s and extends to 2001, although the severity varies from year to another year

These dry years are interspersed with one- or two-years surplus. As part of this work, we also used the technique of wavelet transformation, which allowed us to better analyze the presence of breaks in this series.

The results of the simulations of these methods are presented and compared with each other.

Résume

الملخص:

الماء هو العنصر المحرك في دورة الماء، وهو أمر لا غنى عنه في هذا الكوكب، لكن توزيعه غير عادل في العالم والجزائر أيضا مما يفرض إدارة صارمة في استغلال الاحتياطيات لتحقيق الرضا في الاحتياجات في الأفق بعيد.

الغرض من هذه الأطروحة هو دراسة تغيرات الأمطار في حوض الساكب إيسر وسط، وتم اختيار خمسة مواقع موزعة جيداً في موقع الدراسة من فترة 1923 إلى 2017.

تم وضع تحليل لتغيرات الحاصلة في سلسلة هطول الأمطار، وأظهرت نتائج التغير السنوي لهطول الأمطار طابع عجز من أواخر السبعينيات وتمتد حتى عام 2001، على الرغم من أن الشدة تختلف من سنة إلى أخرى.

تتخلل فترة الدراسة سنوات جافة تتغير من سنة إلى أخرى. كجزء من هذا العمل، استخدمنا أيضاً تقنية تحويل الموجات، والتي سمحت لنا بتحليل وجود تغير في هذه السلسلة بشكل أفضل. و تم عرض نتائج محاكاة هذه الأساليب ومقارنتها مع بعضها البعض.