

UNIVERSITE CADI AYYAD

Faculté des Sciences et Techniques
Département des Sciences de la Terre

Master Exploration et Valorisation des Géo-ressources

Option : Eau et Environnement

Mémoire de fin d'études

Variabilité pluviométrique et liaisons avec l'Oscillation Nord Atlantique en milieu méditerranéen aride. Cas du Bassin versant de Tensift (Maroc)

Réalisé par : ASSMA BOUIJI

Encadrée par :

- Mr. Mohamed El Mehdi SAIDI : Professeur à la FST-Marrakech

Soutenu, le 03 Juillet 2018, devant le jury composé de :

- Mr Mohamed. El Mehdi.SAIDI : Professeur à la FST -Marrakech, Encadrant

- Mr.Ali.RHOUIATI: Professeur à la FST-Marrakech, Examineur

- Mr.Abdelfattah.BENKADDOUR: Professeur à la FST-Marrakech,
Examineur

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2017-2018

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, je tiens à remercier mon encadrent Mr .Mohamed El Mehdi Saidi ; la première personne que je tiens à remercier, pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être menée au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Mes chaleureux remerciements à mes très chers parents pour leurs sacrifices matériels et moraux qu'ils m'ont accordés le long de mes années d'études ainsi qu'à ma sœur et mon frère pour leurs encouragements.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Mes remerciements vont enfin à toutes personnes qui m'a, de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre, permis, par leur collaboration, leur soutien et leur avis judicieux, de mener à bien ce travail.

Que le corps professoral et administratif trouve ici nos sincères remerciements pour l'inestimable qualité de formation qui a été dispensée.

Contenu

Introduction :.....	5
Chapitre 1 : Cadre général de la zone d'étude.....	6
I .Présentation générale et analyse géomorphologique du bassin hydraulique de Tensift :.....	6
I .1. Situation géographique du bassin hydraulique de Tensift :.....	8
I-2. Géologie générale et lithologie :.....	10
I-3. Le cadre Climatologique :.....	11
a. Climatologie générale.....	11
b- L'évaporation et les vents	12
I-4. Ressources en eau :.....	13
I.4.1 : Les eaux de surface :	13
I.4.2 : Les eaux souterraines :	15
Chapitre 2 : Méthodes et procédures statistiques.....	19
II.Critères de choix des stations et base de données:	19
II.1.Homogénéité et qualité des données :	22
II.2.Recherche des erreurs et corrections des mesures :.....	22
II.3.Procédures statistiques :.....	22
a-L'écart-type (σ) :.....	23
b- Le coefficient de variation C_v :.....	23
c-Composante d'analyse principale :	24
d-Corrélation et régression linéaire entre les stations :.....	24
II.4.Reconstitution des données manquantes :.....	35
Chapitre 3 : Etudes d'évolution spatiale et temporelle dans les Bassins Tensift et Oued Ksob	39
III.1-Analyse des précipitations mensuelles :	39
III.1.1.Analyse des précipitations mensuelles moyennes.....	48
III.1.2.Coefficient de variation mensuelle :	50
III.2-Analyses des précipitations saisonnières :.....	54
III.3-Analyse des précipitations annuelles :.....	57
III.4-Variation temporelle :	60
III.5-La variabilité spatiale :.....	62
III.6-Régionalisation pluviométrique par ACP :	64
III.7.Conclusion :	67
Chapitre 4 : Liens entre les indices NAO et la pluviométrie.....	68

IV.1.Définition :	68
IV.2.L'indice NAO et méthodes de calcul :	68
IV.3.Variation des phases positives et négatives des indices NAO :	69
Figure 61: Schéma illustrative entre NAO positif et NAO négatif.	70
IV.4 .Relation NAO et précipitations annuelles :	71
VI.4.1.Définition du SPI :	71
VI.4.2.Les principaux avantages du SPI sont les suivants :	71
VI.4 .3.Classification du SPI :	72
IV.5.Relation NAO et précipitations annuelles :	73
IV.6. Anomalies des indices NAO et des précipitations annuelles	82
IV.7.Interprétation et discussion :	89
Conclusion :	91
Synthèse :	92
Références bibliographiques :	93
Annexes	95

Introduction :

Dans la région méditerranéenne, plusieurs recherches ont mis en évidence des grandes variations des précipitations aux échelles spatiales et temporelles (Rodriguez-Puebla et al., 1998, Servat et al., 2007, Meddi et al., 2010, Taïbi et al., 2013). Cette région est en effet caractérisée par l'alternance de périodes humides et de période sèches ainsi qu'une variabilité liée à l'altitude et à la continentalité. Le Maroc est également sujet à ce caractère aléatoire des précipitations. La variabilité y a été étudiée depuis les années 1940 par Emberger (1950) qui a établi une répartition spatiales des précipitations marocaines. Plus récemment d'autres chercheurs ont mis en évidence le caractère irrégulier de ces précipitations. Certains ont constaté une diminution pluviométrique depuis les années 1980 (Amraoui et al. 2004), d'autres ont observé une phase déficitaire avant 1956, une phase normale à excédentaire jusqu'en 1970, et une sécheresse prolongée à partir de cette date (Sebbar et al., 2011).

Dans la région de Marrakech, les bassins versants de Tensift et du Ksob drainent des zones arides et semi-arides. Outre le caractère médiocre par endroit des hauteurs de pluies, ces dernières seraient aussi irrégulières comme en climat méditerranéen. A cet effet, l'objectif de cette étude est d'analyser les variations pluviométriques sur ces deux bassins versants, à partir de données de précipitations de 16 stations pluviométriques qui couvrent des périodes de mesures allant jusqu'en 2017. L'ambition est de contribuer à une meilleure compréhension des variabilités pluviométriques saisonnières et interannuelles et analyser leurs relations avec les modes de circulations atmosphériques générales, notamment l'Oscillation Nord Atlantique (NAO). Nous examinerons donc l'évolution temporelle et spatiale des précipitations dans la région d'étude, en développant le travail autour de 3 principaux axes :

- Analyse des données et tests d'homogénéisation
- Variabilité spatio-temporelles des précipitations et tendances
- Liens avec les modes de circulations atmosphériques générales. Cas de la NAO.

Chapitre 1 : Cadre général de la zone d'étude

I .Présentation générale et analyse géomorphologique du bassin hydraulique de Tensift :

Le bassin versant de Tensift est situé au centre Ouest du Maroc entourant la région de Marrakech (Figure.1). Il occupe une superficie de 20450 km². Ce large domaine est situé entre la latitude 30° 50' et 32° 10' Nord et la longitude 7° 12' et 9° 25' Ouest. Il est limité au sud par la ligne de crête de la chaîne du Haut Atlas, au Nord par le massif de petites montagne nommé « Jbilet » avec des altitudes inférieures à 1000 mètres, à l'Est par la ligne de partage des eaux, peu marquée séparant le bassin du Tensift de celui du Tassaout, affluent d'Oum R'bia et à l'ouest par l'océan Atlantique où se situe son exutoire. Les altitudes sont donc très contrastées, elles varient de 0 m au niveau de son exutoire à 4167 mètres au Jbel Toubkal.

Géographiquement, le bassin peut être subdivisé en quatre domaines distincts :

- ❖ Le Haut Atlas au sud : zone de montagnes formant les plus hauts reliefs du royaume avec comme point dominant à 4167 m, le Jbel Toubkal.
- ❖ La plaine du Haouz et le bassin de Mejjate au centre : une dépression d'une superficie de 6000 Km², allongée de l'Est à l'Ouest et large de 40 Km, traversée par la majorité des affluents de la rive gauche de l'oued Tensift drainant les eaux de la chaîne atlasique.
- ❖ Les Jbilet au nord : formées de montagnes de faibles altitudes, émergeant au nord de la plaine du Haouz.
- ❖ Le bassin d'Essaouira-Chichaoua à l'ouest, constitué d'un vaste plateau à topographie tourmentée, créant la transition entre les plaines intérieures et le Haut atlas.

L'oued Tensift est alimenté de façon quasi exclusive par ces affluents rive gauche qui drainent les flancs nord de l'atlas. Ces affluents installés sur un relief montagneux à

structure et nature géologique hétérogènes ont des caractères torrentiels. Les principaux affluents sont localisés dans la plaine d'Al Haouz : oued R'dat, oued Zat, oued Ourika, oued N'fis, oued Rheraya, Assif El Mal, oued Chichaoua, oued Tiroula et oued Talmast.

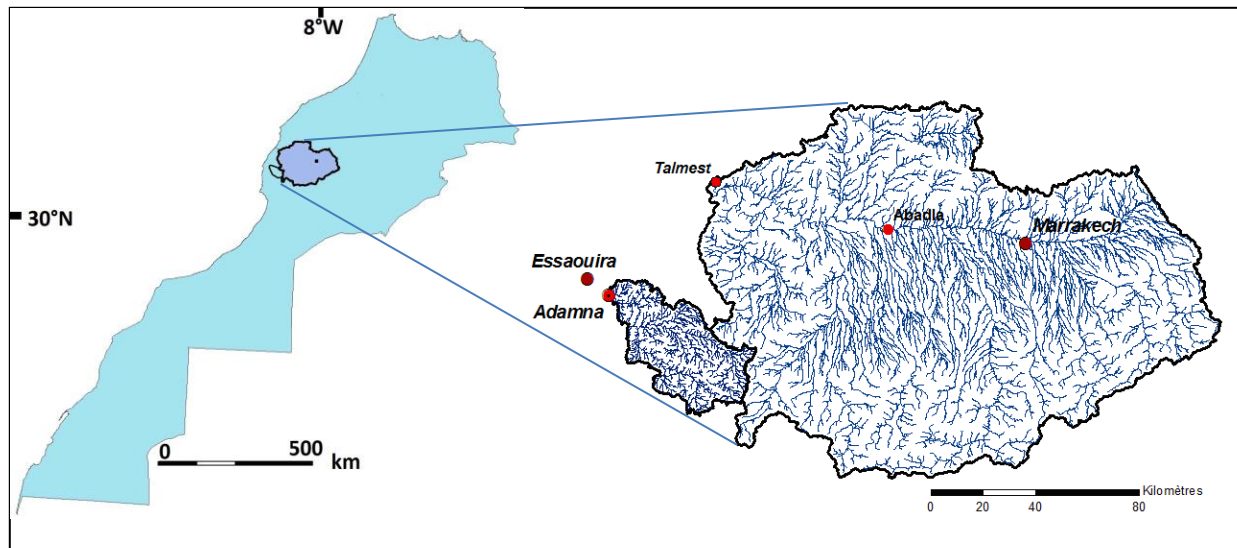


Figure 1: Localisation géographique

Administrativement, cette zone s'étend sur six préfectures et provinces, elle couvre totalement la préfecture de Marrakech et les provinces d'Al Haouz, de Chichaoua et d'Essaouira et partiellement les provinces d'El Kalaâ des Sraghna et de Safi. (Figure 2).

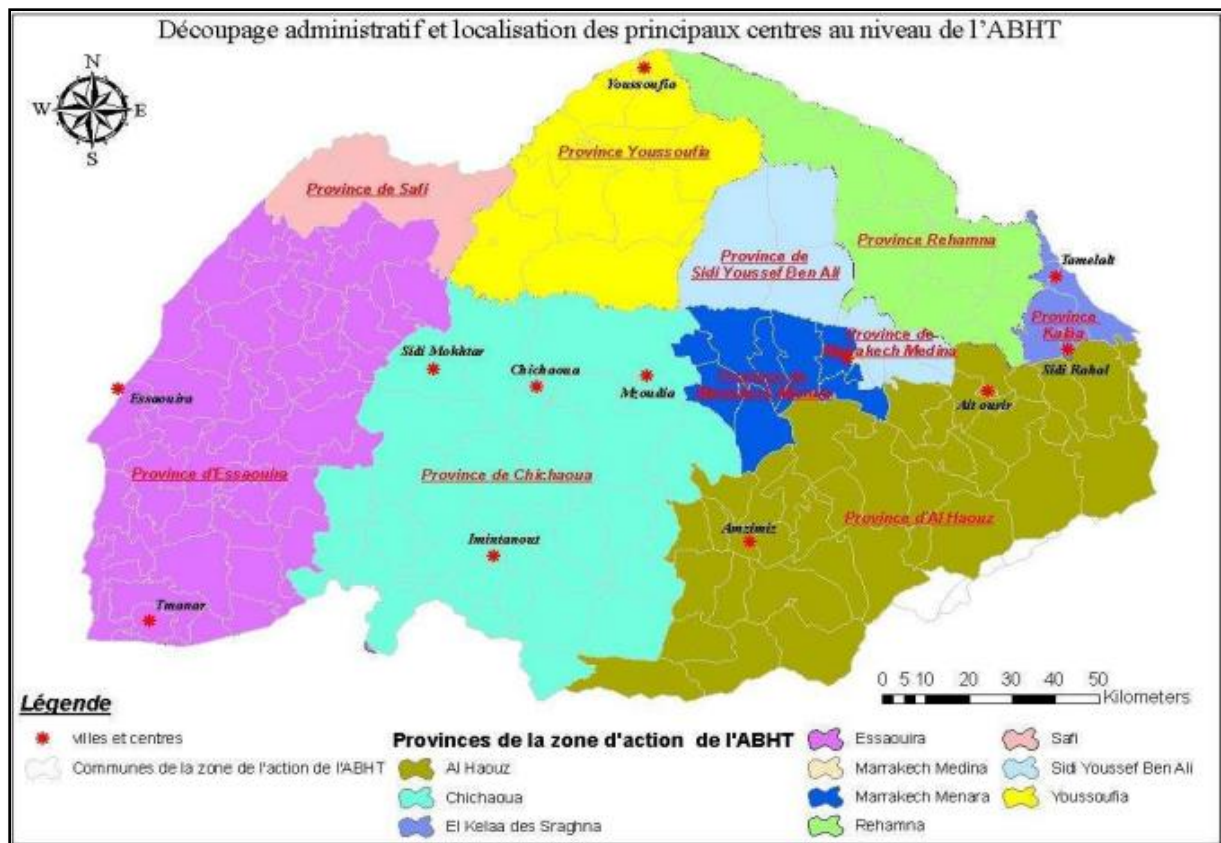


Figure 2: Découpage administratif et principaux centres et villes de la zone d'action de l'ABHT (Smaij.Z (2012))

I .1. Situation géographique du bassin hydraulique de Tensift :

Le bassin hydraulique de Tensift est une aire située au centre ouest du Maroc, s'étendant de la ligne de partage des eaux de surface d'Oum R'bia au nord et à l'est, aux crêtes du Haut Atlas au sud et l'océan atlantique à l'ouest. Il occupe 3% de la superficie totale du pays (Fig. 3).

Le bassin hydraulique de la région de Marrakech-Tensift est divisé en plusieurs zones topographiques. Les stations pluviométriques de travail se situent dans les zones suivantes : La plaine du Haouz, la zone d'Essaouira-Chichaoua et les reliefs du Haut Atlas.

Le bassin hydraulique Tensift est limité au Nord par les régions de Chaouia-Ourdigha et Doukkala-Abda, à l'Ouest par l'Océan Atlantique, à l'Est par la région de Tadla-Azilal et

au sud par la chaîne montagneuse du Haut Atlas et la région de Souss Massa Draa. (Boulaassafer, 2012).

- La plaine du Haouz est limitée au sud et à l'est par les contreforts de la chaîne atlasique, au nord par les chaînons des Jebilet et à l'ouest par les plateaux d'Essaouira Chichaoua. L'ensemble couvre une superficie totale d'environ 6000 km².
- La zone de Chichaoua-Essaouira est un plateau accidenté qui se situe à l'ouest de la plaine de Haouz et l'oued Tensift coule au nord de cette zone. A l'ouest, la zone touche la plaine côtière de l'océan Atlantique. Au sud, elle est limitée par le Haut Atlas Occidental.
- La chaîne des montagnes de l'Atlas s'étend au sud de la plaine du Haouz. Les montagnes comprennent des sommets de plus de 3000 m avec le plus haut sommet de l'Atlas et de l'Afrique du nord, Jbel Toubkal, 4167 m. (ABHT, 2007).

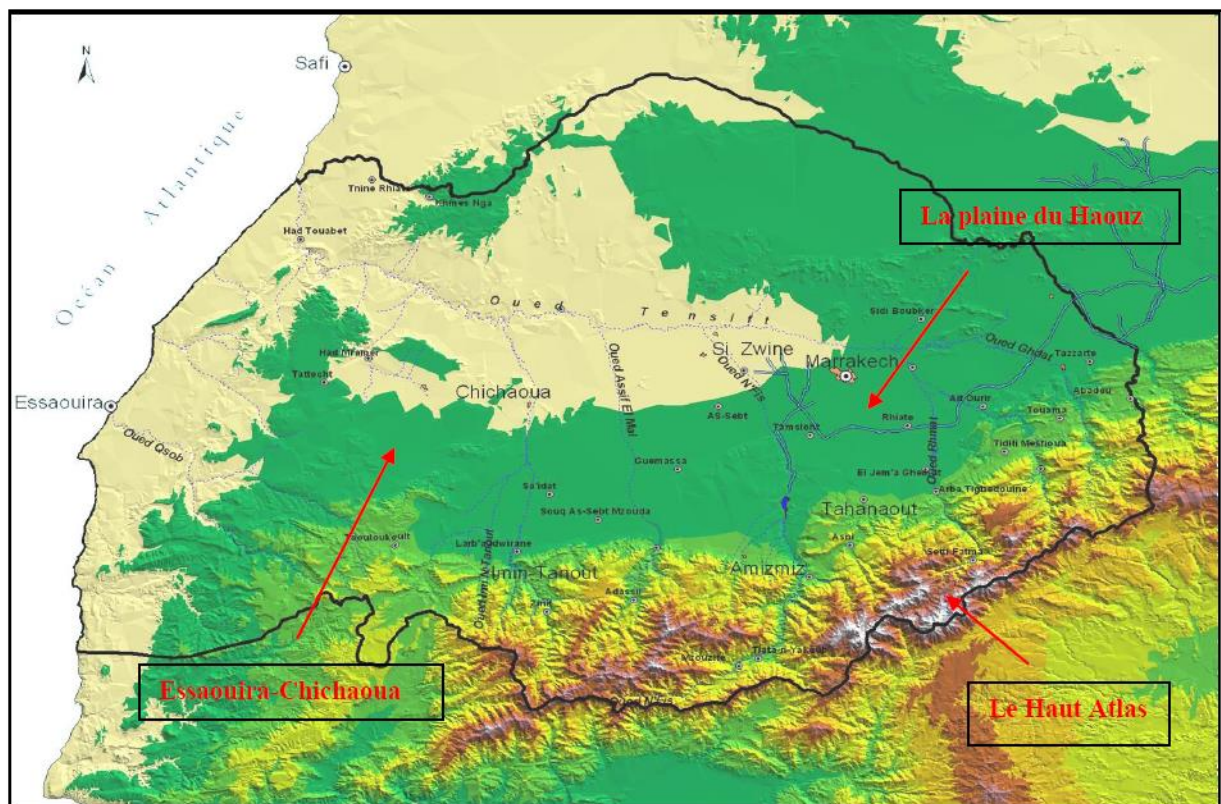


Figure 3 : Divisions topographiques du bassin hydraulique de Tensift

I-2. Géologie générale et lithologie :

Le cadre géologique du bassin du Tensift s'articule sur l'organisation du socle primaire, affleurant dans le Haut Atlas, les Jbilet et les Rehamna, qui se sont structurés au cours des temps géologiques sous l'effet de l'évolution des champs de contraintes, des phases de surrections et d'effondrements, et des époques d'érosion et de sédimentation. La zone d'action de l'ABHT s'étend sur les unités géographiques suivantes (Fig.4) :

- **Plateau des Gantour et plaine de la Bahira occidentale** : la zone des Gantour se présente sous forme d'un plateau monoclinal à pendage sud plongeant des Rehamna vers les Jbilet. La Bahira occidentale se présente sous forme d'une dépression synclinale enserrée entre les Rehamna au Nord et les Jbilet au Sud. Le socle primaire est recouvert par des formations de couvertures triasiques, crétacées et éocènes, antérieures aux premiers mouvements atlasiques ; ces formations affleurent au Nord, s'enfoncent sous la plaine vers le Sud et se terminent en biseau au Sud contre le socle paléozoïque (Khalil, 1989)
- **Jbilet et Mouissate** : les Jbilet sont des formations paléozoïques comportant de puissantes séries de calcaires, schistes et grès. Les Jbilet s'étirent à l'affleurement selon une direction Est-Ouest, perpendiculaire aux orientations hercyniennes dont les effets se matérialisent par une segmentation de cette structure. Les Mouissate sont complètement formés par les formations du jurassique supérieur, transgressif sur le paléozoïque ou le stéphano-trias de l'extrémité occidentale des Jbilet.
- **Bassin du Haouz et plaine de Mejjat** : Le Haouz correspond à un bassin de subsidence d'origine tectonique dans lequel se sont accumulées au Néogène et au Quaternaire d'importantes formations détritiques issues du démantèlement de la chaîne atlasique au cours de son soulèvement. La plaine de Mejjat, comparable dans sa genèse à celle du Haouz, se distingue par la présence de terrains anté-néogènes plissés (Sinan, 2000).
- **Bassin d'Essaouira – Chichaoua et zone Côtière d'Essaouira** : Fait partie du grand bassin côtier du Sud-Ouest marocain, s'étendant entre El Jadida au Nord et Agadir au

Sud. La partie Sud de ce bassin, comprise entre l'oued Tensift et la plaine du Souss, correspond au Haut Atlas occidental. Les terrains à l'affleurement sont dominés par les formations du Crétacé dont les structures de surface reflètent l'empreinte de l'orogénèse atlasique (Bahir et al. 2007) ; la zone côtière et la partie orientale du bassin sont couvertes par des dépôts du Néogène et du Pléistocène. Le socle paléozoïque, profondément enfoui sous une épaisse série mésozoïque, affleure largement à l'est du bassin, au niveau du Jbilet et du massif ancien du Haut Atlas.

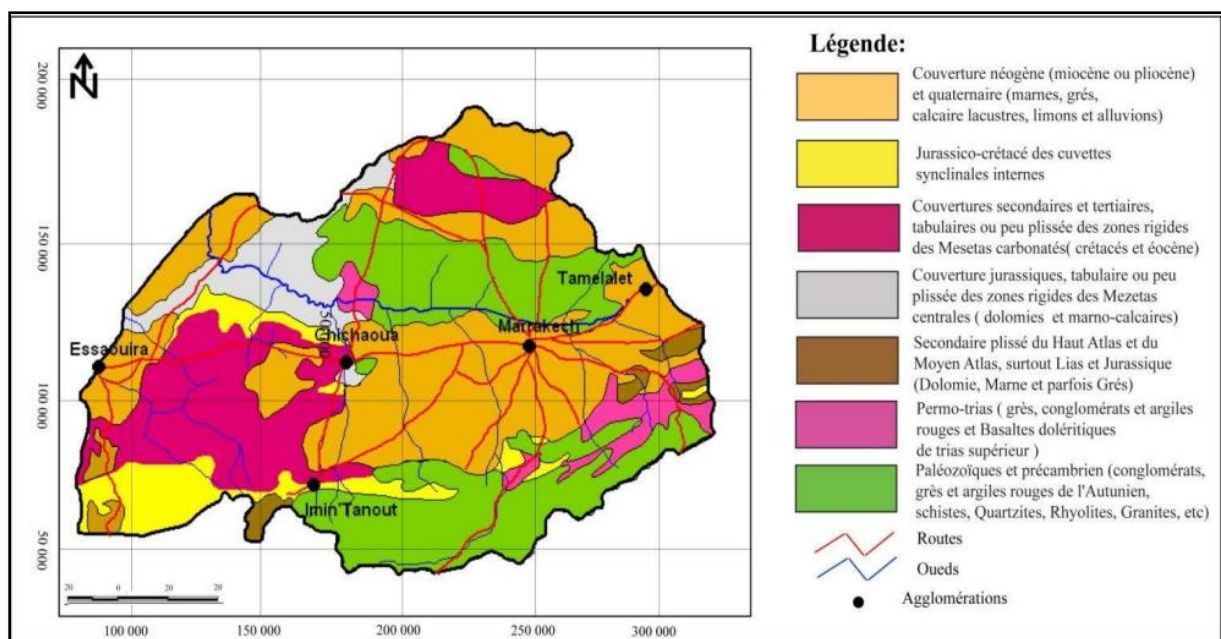


Figure 4: Carte géologique de la zone d'étude de l'agence du bassin hydraulique de Tensift

I-3. Le cadre Climatologique :

a. Climatologie générale

Le climat régnant sur l'ensemble du bassin hydraulique Tensift est de type aride à semi-aride à influence océanique près des côtes. En raison de son étendue et de son relief, la région se caractérise par un climat très différencié d'une zone à l'autre, influencé à la fois par la proximité ou l'éloignement de la mer et la proximité des montagnes de l'Atlas :

- La plaine de Haouz : Aride à semi aride.
- Chichaoua-Essaouira : Semi-aride (Influencé par le courant des canaries)
- Le Haut Atlas : * Tempéré en moyenne montagnes.
* Froid et humide en haute montagnes.

L'ensemble de la plaine du Haouz est caractérisé par un climat marqué par une pluviosité faible et irrégulière, par des températures moyennes élevées (avec des écarts mensuels et journaliers de grande amplitude), par une hygrométrie faible et par une très forte évaporation. (Sinan, 2000).

Les données climatiques dans le secteur Essaouira-Chichaoua en bordure de l'Atlantique, sont influencées par l'action du courant froid des Canaries. Les amplitudes thermiques sont réduites et la zone côtière possède un climat de type insulaire semi-aride à hiver doux. Vers l'intérieur des terres, le climat évolue vers les conditions qui prévalent sur le Haouz Occidental: diminution de la pluviométrie avec une plus grande variabilité interannuelle, et accroissement des amplitudes thermiques.

La distribution spatiale des conditions climatiques au Haut Atlas reflète les effets combinés de l'altitude et de la distance à l'océan. Si la zone pré-atlasique connaît des conditions comparables à celles de la partie amont du Haouz, la moyenne montagne est mieux arrosée et d'un climat plus tempéré. La haute montagne est aride, avec des températures très faibles sur huit à neuf mois de l'année et maintien d'un manteau neigeux de décembre à mai. Sur les hauts reliefs de l'Atlas, la pluviométrie dépasse 500 mm/an.

b- L'évaporation et les vents

L'évaporation moyenne annuelle varie de 1 800 mm sur le versant atlasique à 2 600 mm dans la plaine du Haouz. Elle est minimale pendant le mois de Janvier et maximale pendant la saison d'été.

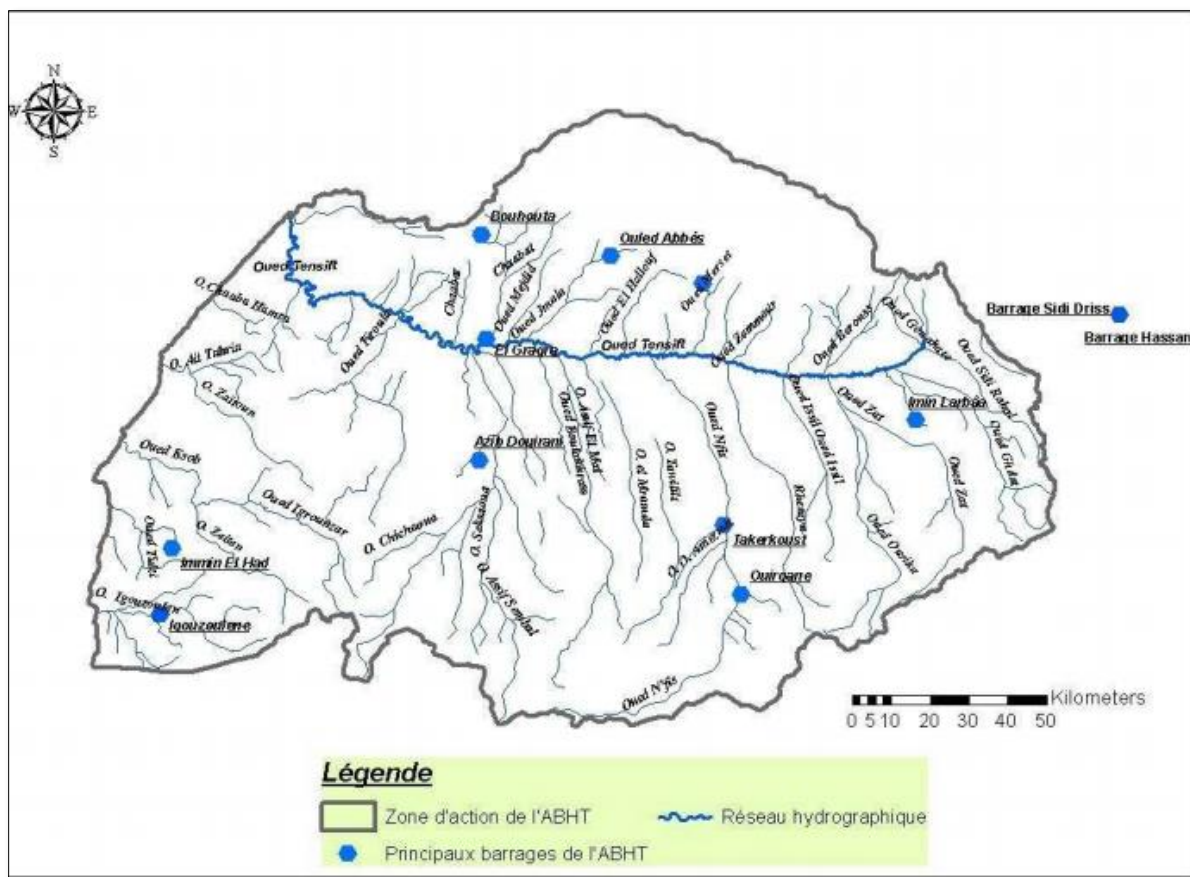
La région est dominée par trois types de vent : le Chergui soufflant de l'Est, le vent du Sud qui est chaud et sec et le Gharbi, humide et porteur de pluie, soufflant de l'Ouest.

I-4. Ressources en eau :

Les ressources en eau dans le bassin hydraulique du Tensift Al-Haouz sont inégalement réparties. Les oueds les plus importants prennent tous naissance dans le Haut Atlas. Sur ce relief montagneux à structures et natures géologiques hétérogènes, se produisent des ruissellements à caractères torrentiel, collectés par le Tensift qui les évacue à l'Océan. (Sinan, 2000).

I.4.1 : Les eaux de surface :

La zone d'action est drainée en grande partie par le bassin hydrologique de Tensift (Fig. 5). Ce dernier draine la grande partie du versant Nord du Haut Atlas et les Jbilet. A l'Ouest, les deux bassins du Ksob et Igouzoulen drainent le Haut Atlas occidental. La Bahira constitue une unité à part dont le drainage de surface se termine dans des zones topographiques basses.



l'oued Tensift sont localisés dans le Haouz, essentiellement situés à la rive gauche, et prennent naissance à partir du Haut Atlas. Ceux contribuant aux écoulements de surface de Tensift sont principalement : Oued Ghdat, Oued Zat, Oued Ghmat, Oued N'fis, Oued Reraya, Assif El Mal, Oued Chichaoua, Oued Tiroula et Oued Talmest.

Le régime d'écoulement de Tensift est irrégulier. Il est en fonction de la pluviométrie dans le bassin, et de la fonte des neiges sur le Haut Atlas. Par ailleurs, le bassin bénéficie d'un transfert de l'ordre de 300 Mm^3 /an à partir du bassin de l'Oum Er Rbiâa, via le canal de Rocade, destiné à l'alimentation en eau de la ville de Marrakech et à l'irrigation dans le Haouz central.

I.4.1.2 : Les bassins du Ksob et Igouzoulen :

Les bassins côtiers du Ksob et Igouzoulen s'étendent sur une superficie de $5\,000 \text{ Km}^2$. Le réseau hydrographique de ces bassins est composé essentiellement des oueds Ksob et Igouzoulen. Ces derniers prennent naissance dans le Haut Atlas et se jettent dans l'Océan Atlantique. Les apports en eau sont irréguliers et sont évalués à une moyenne annuelle de près de 53 Mm^3 . Ces apports varient entre un minimum de $4,5 \text{ Mm}^3$ et un maximum de l'ordre de 158 Mm^3 .

I.4.2 : Les eaux souterraines :

L'inégale répartition géographique de la pluviométrie et des eaux de surface d'une part, et la géologie caractérisée par la présence de structures très diversifiées dans la zone d'action de l'ABHT d'autre part, sont à l'origine de l'inégale répartition géographique des eaux souterraines (Sahili, 1996). Les unités hydrogéologiques, d'extension notable, sont comprises dans la couverture sédimentaire qui s'étend sous les zones de plaines et de plateaux. Les principales nappes sont celles du Haouz, du Mejjat, de la Bahira et du bassin d'Essaouira-Kourimate (Fig. 6). Signalons que la zone d'action de l'ABH de Tensift ne comprend pas la Bahira orientale.

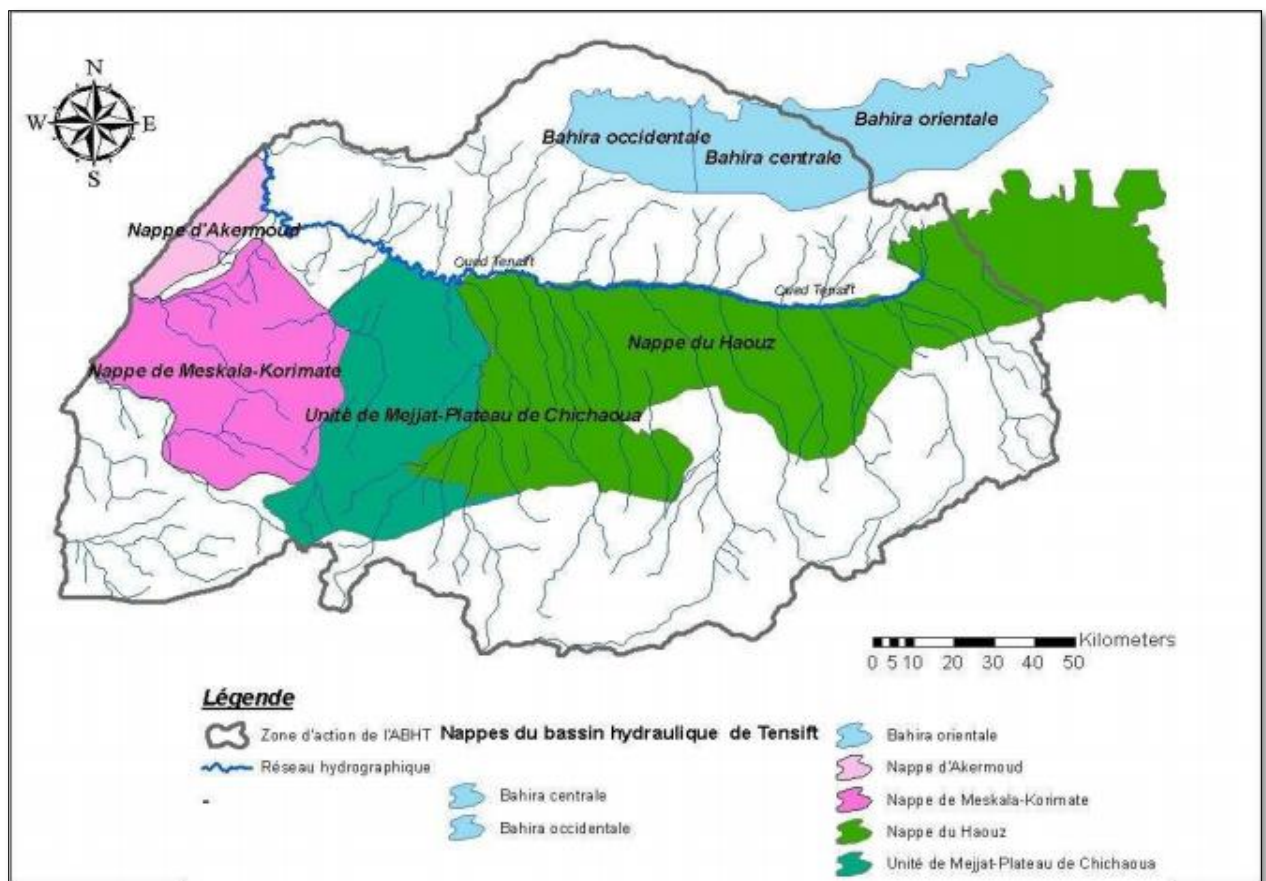


Figure 6: Carte de principales nappes de la zone d'action de l'ABHT

I.4.2.1 .La nappe du Haouz :

La nappe du Haouz s'étendant sur une superficie d'environ 6 000 km², est limitée par la chaîne du Haut Atlas au Sud, les chaînons des Jbilet au Nord, les premiers versants du moyen Atlas à l'Est et La province de Chichaoua à l'Ouest, Elle est allongée en direction Est-Ouest et sa longueur moyenne est de 40 Km. La nappe du Haouz circule dans les alluvions plio-quaternaires et les formations du néogène d'une puissance variable entre 50 et 80 m et pouvant atteindre localement 120 m. L'alimentation de la nappe du Haouz est assurée par l'infiltration des eaux de crues des oueds atlasiques traversant la plaine et par le retour des eaux d'irrigation. L'écoulement général de la nappe se fait du Sud vers le Nord, pour être drainée par l'oued Tensift. (Sahili, 1996).

I.4.2.2 : La nappe du Mejjat :

D'une superficie de 1 000 km² environ, la plaine du Mejjat est limitée au Nord par l'oued Tensift et au Sud par le Haut Atlas. Elle renferme deux aquifères : La nappe phréatique plio-quaternaire et la nappe éocénacée. Les principales alimentations de ce système proviennent des infiltrations directes des eaux de pluie sur les aires d'affleurement et des eaux de crue des oueds Imintanout et Ameznas. L'écoulement de l'eau, de direction Sud-Ouest à Nord-Est, donnent naissance aux principales sources de l'oued Chichaoua et contribue à l'alimentation par infiltration de la nappe phréatique de Mejjat (Sahili, 1996).

I.4.2.3 La nappe de la Bahira :

La Bahira est un aquifère multicouche situé à une trentaine de kilomètres au Nord de Marrakech, renfermant plusieurs nappes souterraines dont les principales sont :

- La nappe phréatique de remplissage plio-quaternaire.
- La nappe des calcaires lutétiens.
- La nappe de la formation marno-schisteuse de l'Yprésien supérieur et du Lutétien inférieur.
- La nappe des niveaux phosphatés crétacés et paléocènes. Allongée d'Est en Ouest, la plaine de la Bahira s'étend sur une superficie d'environ 5 000 km². Précisons par ailleurs que la zone d'action de l'ABHT ne compte que 3000 km², regroupant les parties occidentale et centrale de la Bahira.

I.4.2.4 : Les nappes du bassin d'Essaouira – Kourimate :

Le bassin d'Essaouira-Kourimate est un vaste plateau de 6 000 km² de superficie, limité à l'ouest par l'Océan Atlantique, au Sud par le Haut Atlas occidental, au Nord par l'oued Tensift et à l'Est par le méridien passant à l'Ouest de Sidi El Mokhtar.

Les principaux aquifères de la région sont (Sahili, 1996) :

-Les nappes des grès dunaires et des calcaires coquilliers du Plio-Quaternaire s'étendant le long de la côte développée le long de l'oued Ksob.

-La nappe de Cénomano-Turonien du Synclinal d'Essaouira s'étendant sur une superficie de 900 km².

- La nappe de Meskala-Kourimate s'étendant sur une superficie de l'ordre de 1600 km², est constituée de deux aquifères superposés, l'un circulant dans les calcaires de l'Eocène, et l'autre dans des terrains dolomitiques du Crétacé d'une superficie respectivement de 100 et 1600 km². La recharge de ce système se fait par infiltration directe des eaux de pluie et de ruissellement sur les aires d'affleurement. L'écoulement se fait en direction Nord-Ouest pour alimenter l'oued Ksob.

I.4.2.5 La nappe d'Akermoud :

La nappe d'Akermoud s'étend le long de la côte, sur une bande large de 20km et longue de 40km. L'alimentation de la nappe s'effectue à partir des infiltrations directes et par drainance à partir des aquifères sous-jacents (Sahili, 1996).

Chapitre 2 : Méthodes et procédures statistiques

Dans les pays de la méditerranée, situés en zone subtropicale semi-aride, la pluviométrie est le paramètre climatique dominant (Chaumont, 1971), étant d'une part généralement insuffisante, et, d'autre part beaucoup plus variable que la température, ainsi le présent travail sera basée uniquement sur la pluviométrie. Dans cette partie, nous allons présenter la base de données tout en expliquant le choix des stations. On commencera tout d'abord par la présentation des méthodes et les paramètres employés pour l'homogénéisation et la reconstitution des données manquantes.

II. Critères de choix des stations et base de données:

Afin d'avoir un moyen fiable de comparaison et dans le but d'intégrer un ensemble de stations qui offrent des données de bonne qualité, il est nécessaire de se baser sur quelques critères pour éliminer les stations défectueuses. Les critères qui ont été adoptés sont :

- ✓ Continuité des séries des stations retenues sur une période suffisamment longue
- ✓ Homogénéité des séries à étudier
- ✓ Synchronisation des séries
- ✓ Stations issues de réseaux professionnels

A partir des mesures ponctuelles au niveau des stations pluviométriques on peut connaître les précipitations moyennes sur une surface donnée. L'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift a mis à notre disposition les données pluviométriques journalières, mensuelles et annuelles des stations suivantes :

Tableau 1 : Tableau regroupent toutes les stations d'études

Nom de la station	Code	Cours d'eau	Altitude(m)
Abadla	N° 008	Tensift	250
Adamna	N°50	Ksob	70
Aghbalou	N° 6193	Ourika	1070
Chichaoua	N°2601	Chichaoua	340
Igrounzar	N°4315	Igrounzar	158
Iloudjane	N° 4222	Seksaoua	757
Imin El Hammam	N° 4432	N'Fis	770
Marrakech	N°5229	Tensift	450
N.kouris	N° 4299	N'Fis	1100
Sidi Bouathmane	N° 6770	El Mal	820
Sidi Hssaine	N°6826	Amzmiz	1030
Sidi Rahal	N° 6976	R'Dat	690
Tafriate	N° 7352	Zat	760
Tahnaout	N°7512	Rheghaya	925
Takerkoust	N°8969	N'Fis	630
Talmest	N° 7660	Tensift	53

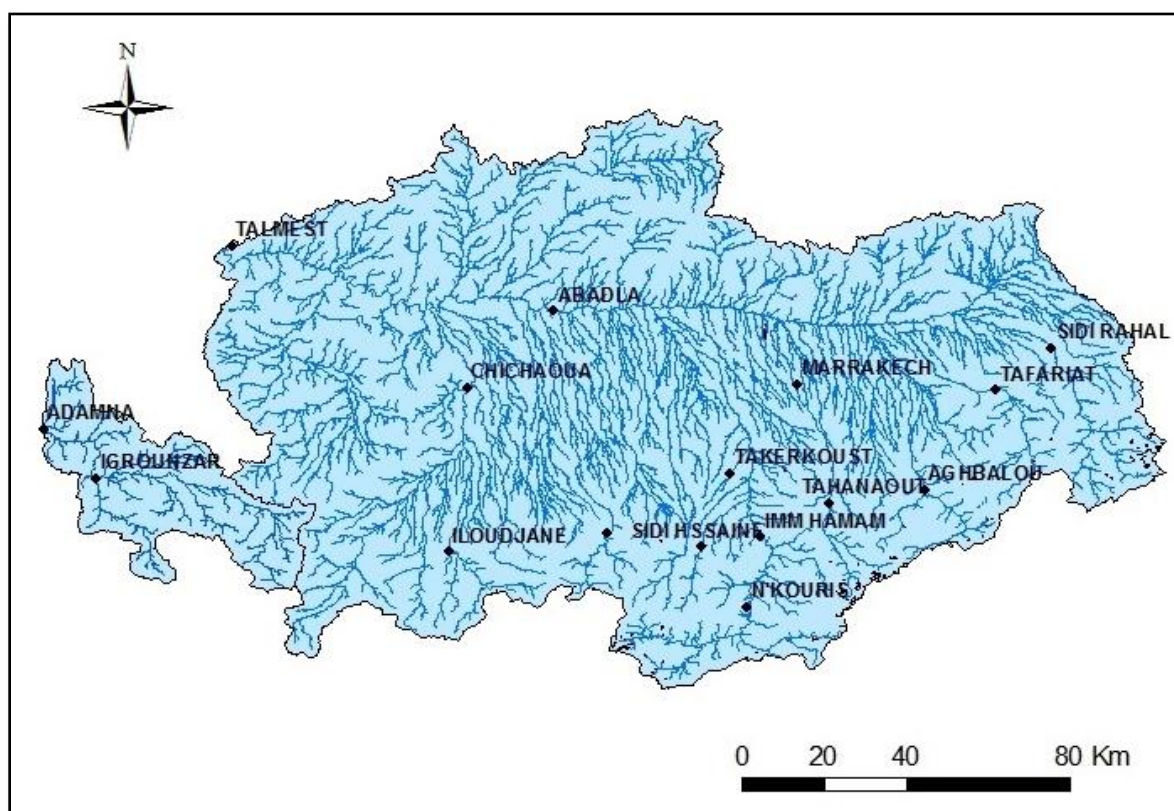


Figure 7: Carte des stations d'étude

II.1.Homogénéité et qualité des données :

Dans tous les travaux de recherche, la qualité des données utilisées influence obligatoirement la pertinence des résultats obtenus. Concernant les données des pluies journalières issues de l'ABHT (Agence du bassin hydraulique de Tensift), des données manquantes ou de mauvaise qualité affecteront le calcul des moyennes et l'évaluation des extrêmes. De toute évidence, si les données ne sont pas enregistrées un jour où un évènement extrême se produit, ce dernier ne sera pas pris en compte.

II.2.Recherche des erreurs et corrections des mesures :

Dans cette étude de l'hydrologie du Tensift et d'Oued Ksob, afin d'examiner et étudier les données pluviométriques, on a choisi des stations dans différents contextes, sur une même période, et la plus longue possible, dans le but d'avoir une étude comparative dans le temps et l'espace.

D'autres approches sont disponibles pour remplacer les données manquantes, telles que le remplacement par des moyennes de certains nombres de jours ou le développement des techniques systématiques comme l'approche de régression.

II.3.Procédures statistiques :

Plusieurs paramètres statistiques peuvent être utilisés pour mettre en évidence la variabilité spatiale des précipitations mensuelles, saisonnières et annuelles aux différents pas de temps et à diverses régions du globe.

Parmi les plus utilisés on peut citer le paramètre de dispersion absolue : L'écart-type, et le paramètre de dispersion relative : le coefficient de variation (Cv). Ces indices de dispersion permettent, en effet, de quantifier l'ampleur de l'irrégularité pluviométrique et de mettre en évidence ses aspects spatiaux. En outre, ils permettent de faire des comparaisons interrégionales, notamment, à l'aide du coefficient de variation (Saloui, 1996).

Ainsi, pour mieux saisir l'intensité de la variabilité pluviométrique et ses nuances régionales, nous nous basons sur ces paramètres :

a-L'écart-type (σ) :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P)^2}{N}}$$

Pi : Cumul annuel de l'année i

P: Moyenne des pluies annuelles

N : Nombre d'année

L'écart-type est la mesure de dispersion la plus couramment utilisée en statistique lorsqu'on emploie les moyennes pour calculer les tendances centrales. Il mesure donc la dispersion autour des moyennes. Pour caractériser cette dispersion, on a défini la variance et l'écart-type.

La variance consiste à prendre l'écart de chaque valeur par rapport à la valeur moyenne, d'élever chacun de ces écarts au carré, d'en faire la somme et de diviser le tout par le nombre de mesures.

L'écart-type, souvent noté "L'écart-type, souvent noté "Sigma" (σ), est la racine carrée de la variance. Un faible écart type signifie que les valeurs sont peu dispersées autour de la moyenne.

b- Le coefficient de variation Cv :

$$C_v = \frac{\sigma}{P} \times 100 :$$

C'est une valeur sans dimension : par le rapport d'une caractéristique de dispersion absolue à une caractéristique de valeur centrale. La variabilité doit être positive et exprimée en fonction d'une origine non arbitraire (Saloui, 1996).

Selon Grisollet, 1973, c'est le coefficient de variation qui se révèle le plus satisfaisants des indices de dispersion employés dans les études comparées de la variabilité des pluies dans plusieurs parties du globe. D'une part, il permet de donner une idée générale sur la régularité d'une série chronologique. Généralement et contrairement à l'écart-type, le coefficient de variation évolue d'une manière inverse par rapport aux moyennes annuelles pluviométriques.

c-Composante d'analyse principale :

L'analyse en composantes principales (ACP), est une méthode de la famille de l'analyse des données et plus généralement de la statistique multivariée, qui consiste à transformer des variables liées entre elles (dites « corrélées » en statistique) en nouvelles variables décorréliées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées « composantes principales », ou axes principaux. Elle permet de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante.

Il s'agit d'une approche à la fois géométrique (les variables étant représentées dans un nouvel espace, selon des directions d'inertie maximale) et statistique (la recherche portant sur des axes indépendants expliquant au mieux la variabilité — la variance — des données). Lorsqu'on veut compresser un ensemble de variables aléatoires, les premiers axes de l'analyse en composantes principales sont un meilleur choix, du point de vue de l'inertie ou de la variance.

d-Corrélation et régression linéaire entre les stations :

1. Définition :

Statistiquement la corrélation est réservée pour désigner la liaison entre 2 variables quantitatives (le plus souvent continues).

Dans l'étude pluviométrique : La corrélation va nous renseigner sur le degré de liaison entre les pluies des stations. Cette liaison est mise en lumière par un diagramme de dispersion où sont portés les indices annuels de précipitations des 2 stations.

Chaque couple de valeurs x et y (respectivement pluies mensuelles de deux stations) relatifs à une même année, représente l'abscisse et l'ordonnée d'un point par rapport aux systèmes d'axes Ox et Oy . Si, le nuage des points expérimentaux prend la forme d'une fonction linéaire inclinée par rapport aux axes; la relation est donc linéaire, et la droite de régression sera de la forme : $y = ax + b$

2. Conditions d'application de la corrélation et de la régression linéaire :

➤ Indépendance des observations :

Ne pas confondre:

- Indépendance des observations (condition d'application du test statistique)
- Indépendance des variables (hypothèse à tester)

➤ **Liaison linéaire entre X et Y :**

Avant d'appliquer le test du coefficient de corrélation ou d'estimer la droite de régression, il faut vérifier - empiriquement (graphiquement) - que la liaison entre les 2 variables est de nature linéaire. A défaut, l'interprétation du test du coefficient de corrélation ou du test de la pente de la droite de régression peut être erronée.

3. Calcul du coefficient de corrélation :

Afin de qualifier précisément la liaison entre les pluies mensuelle sur le bassin hydraulique nous avons calculé le coefficient de corrélation R entre les différentes stations d'études. Ainsi il renseignera sur la qualité d'ajustement à la droite de régression et confirmera le résultat obtenu graphiquement. Plus le coefficient de corrélation tend vers 1 plus la liaison entre les deux stations étudiées est grande.

Sur les figures, nous avons illustré des graphes représentant la corrélation par régression linéaire entre les différentes stations à contexte différent.

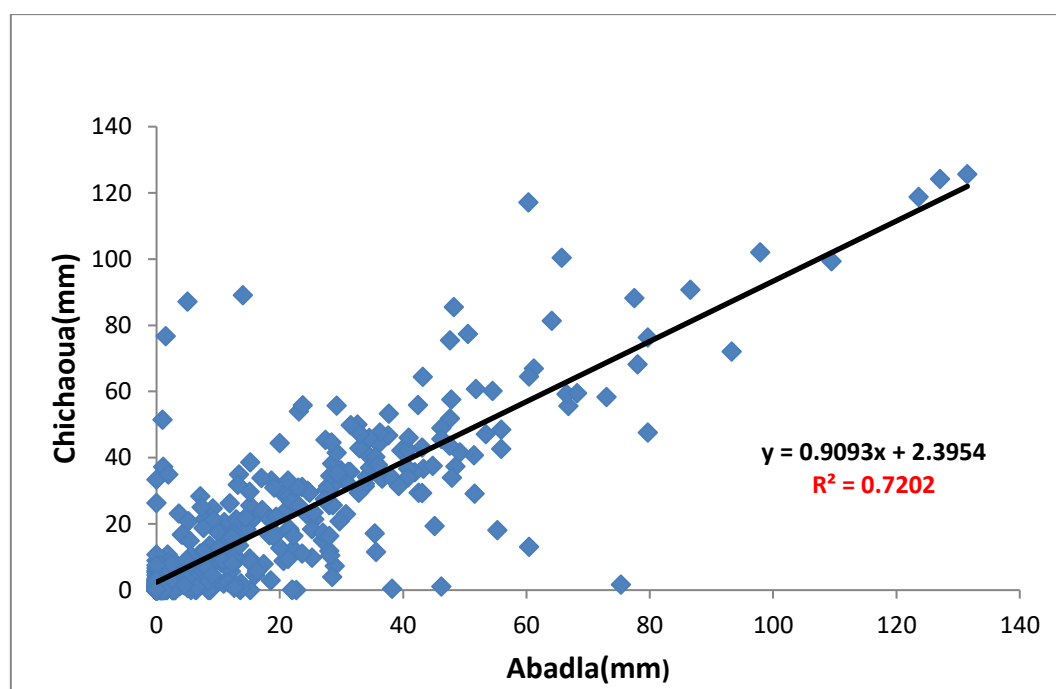


Figure 8 : Corrélation pluviométrique mensuelle entre Abadla et Chichaoua

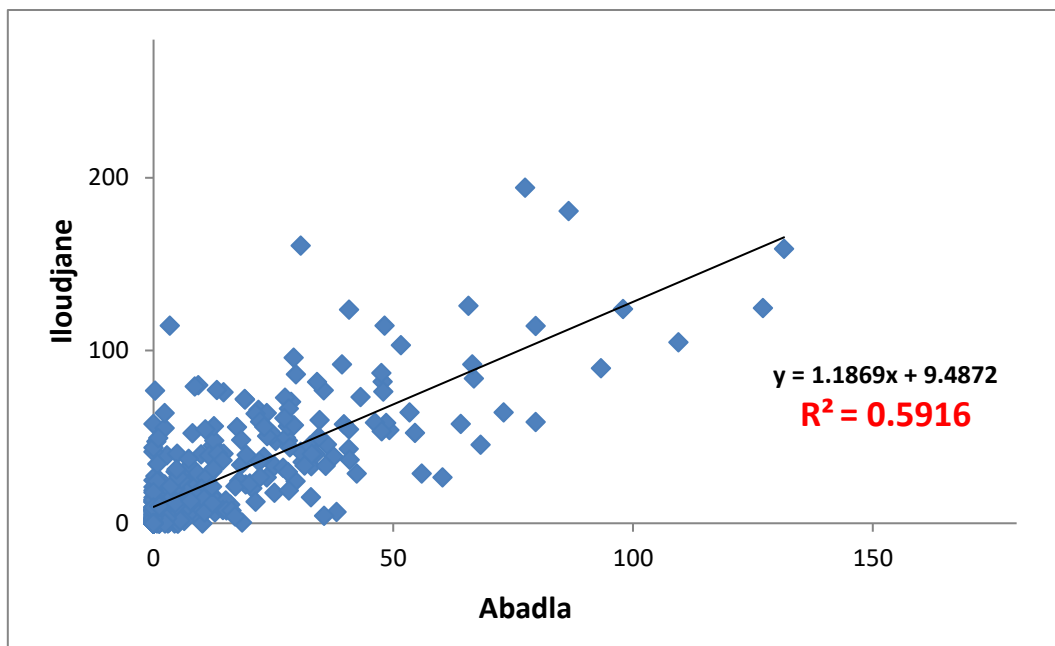


Figure 9: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Abadla et Iloudjane

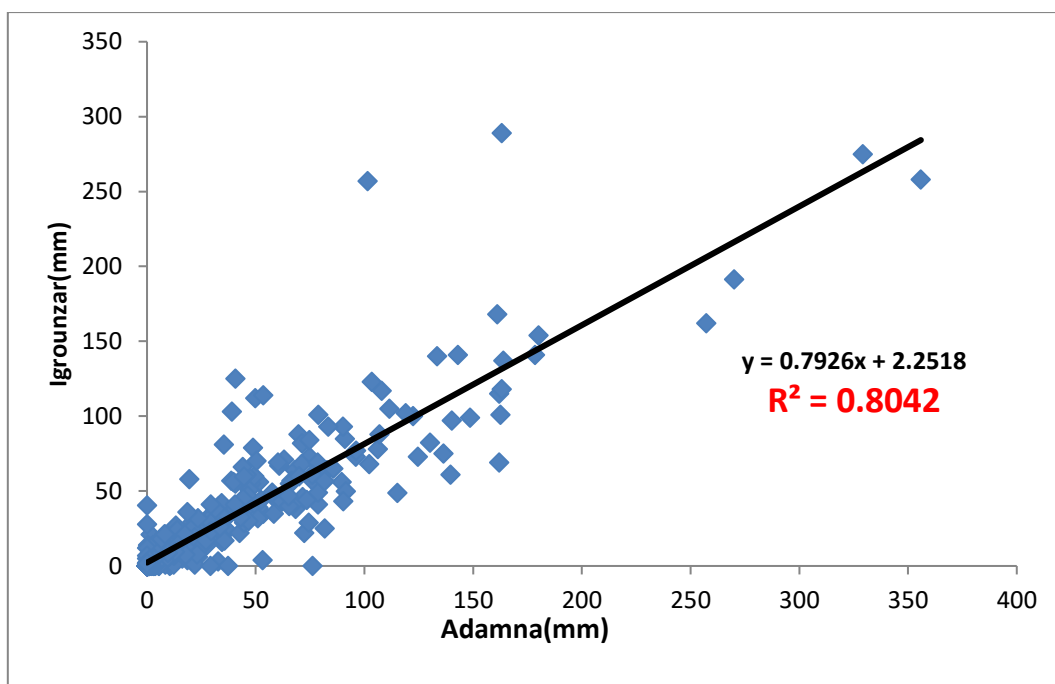


Figure 10: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Adamna et Igrounzar

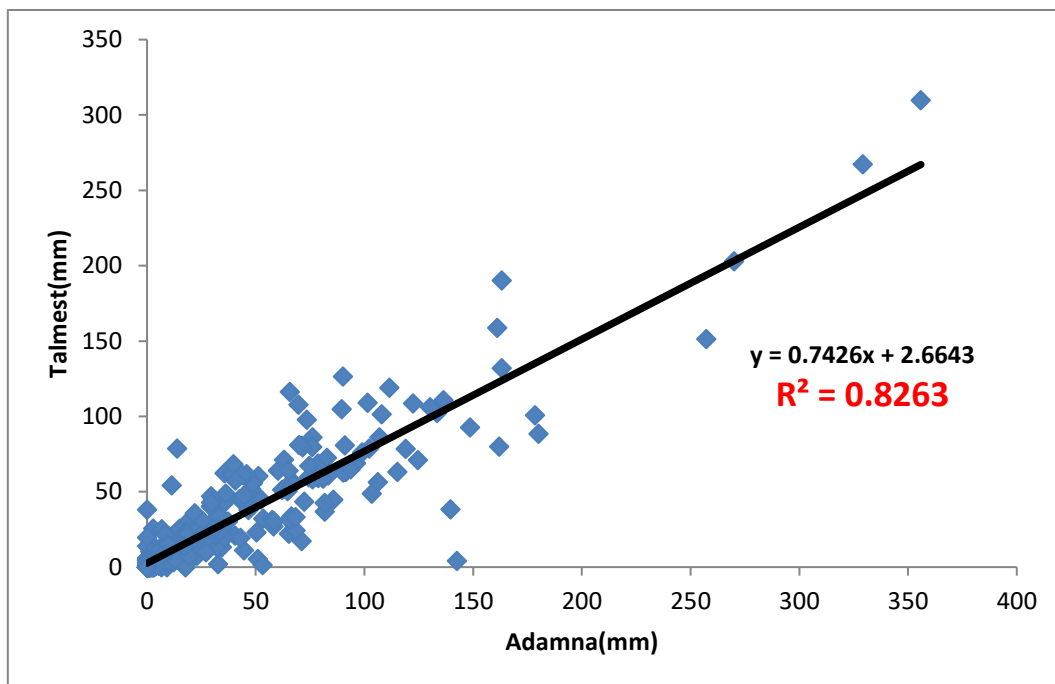


Figure 11: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Adamna et Talmest

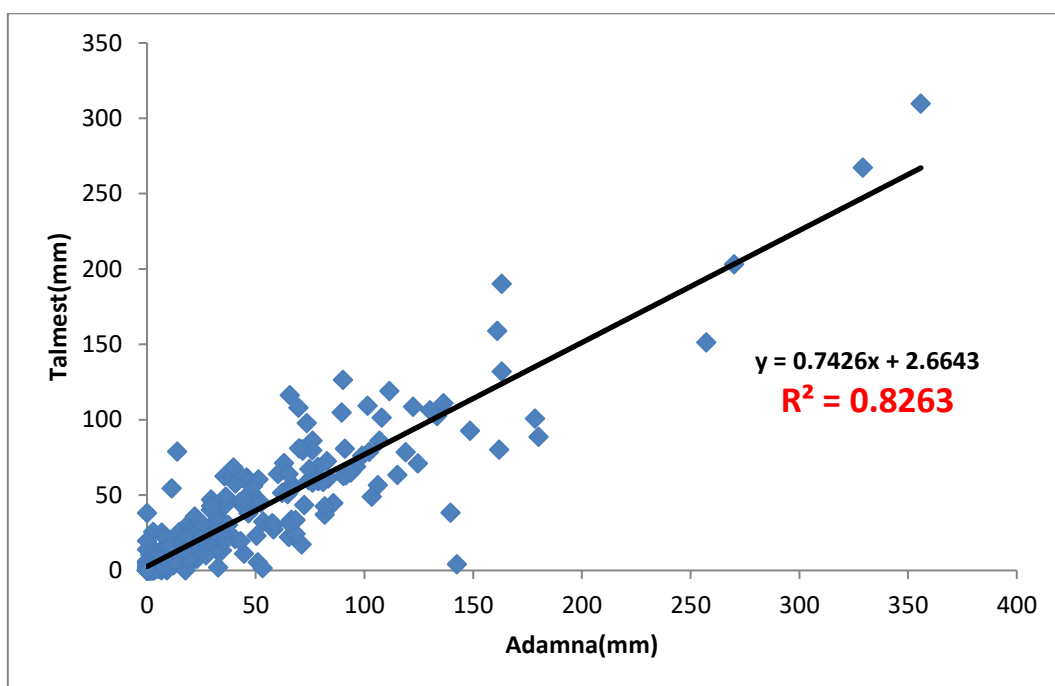


Figure 12: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Adamna et Talmest

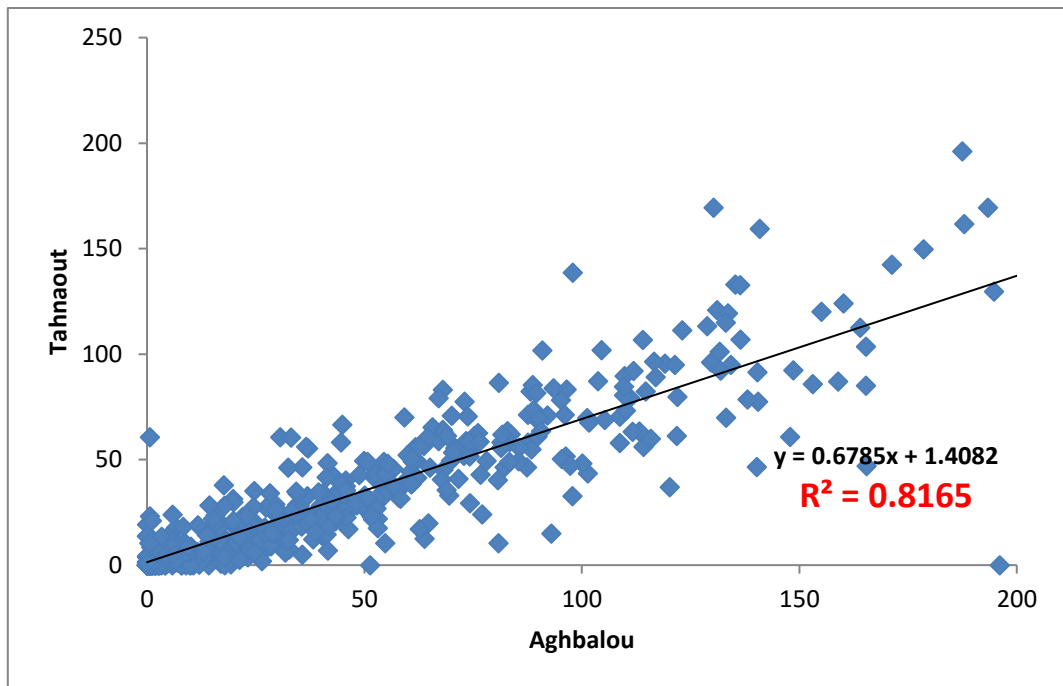


Figure 13: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Aghbalou et Tahnaout

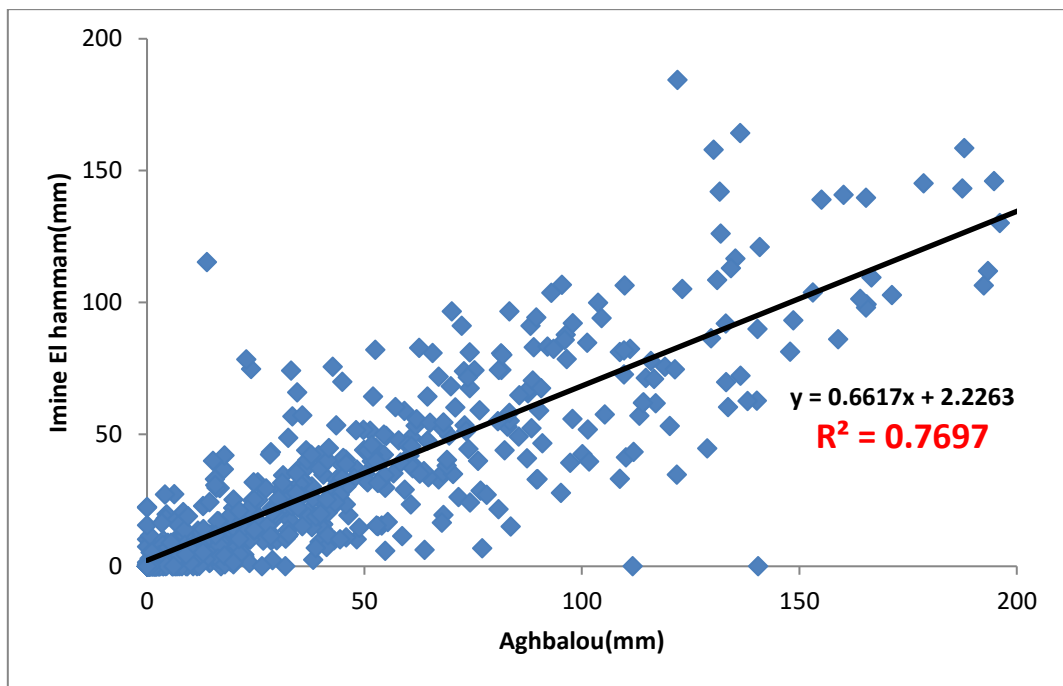


Figure 14: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Aghbalou et Imine EL hammam

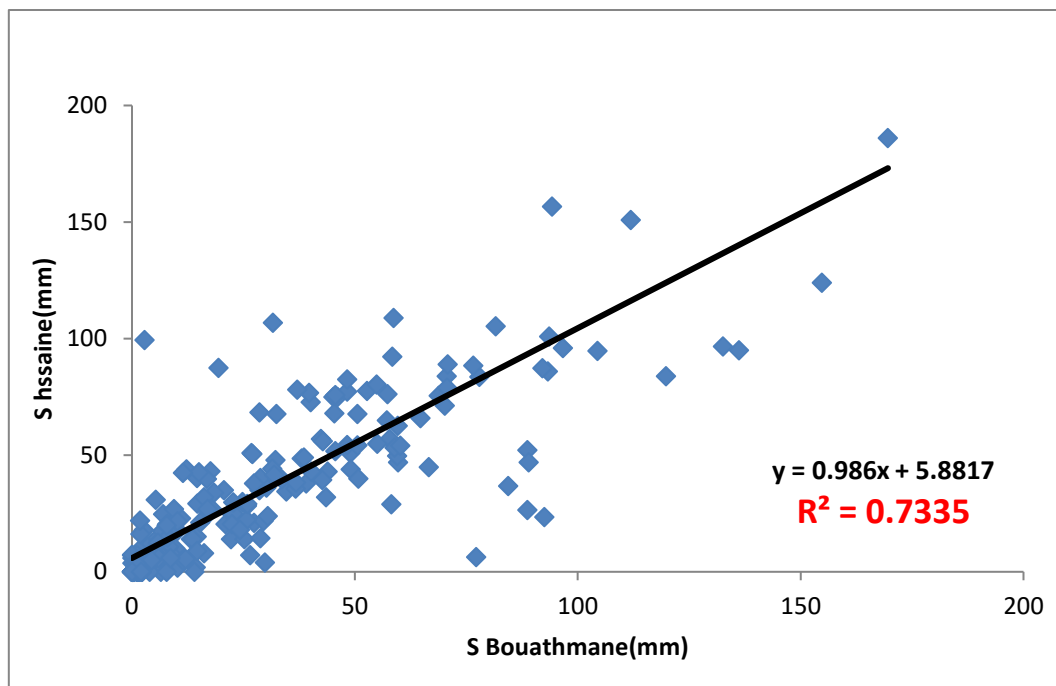


Figure 15: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Bouathmane et Sidi Hssaine

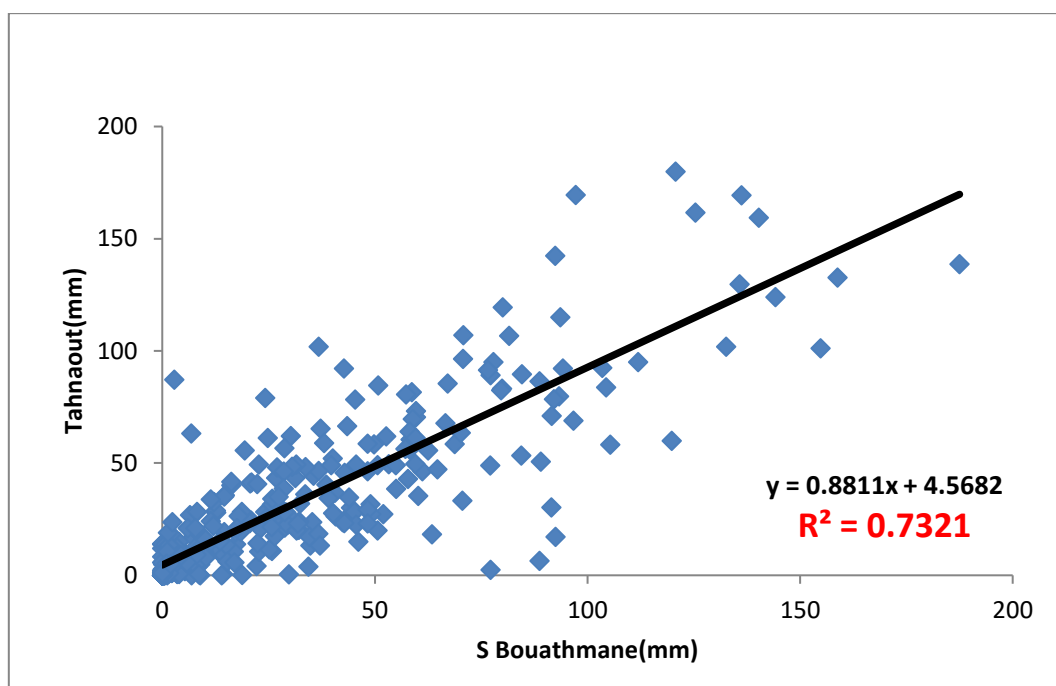


Figure 16: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Bouathmane et Tahnaout

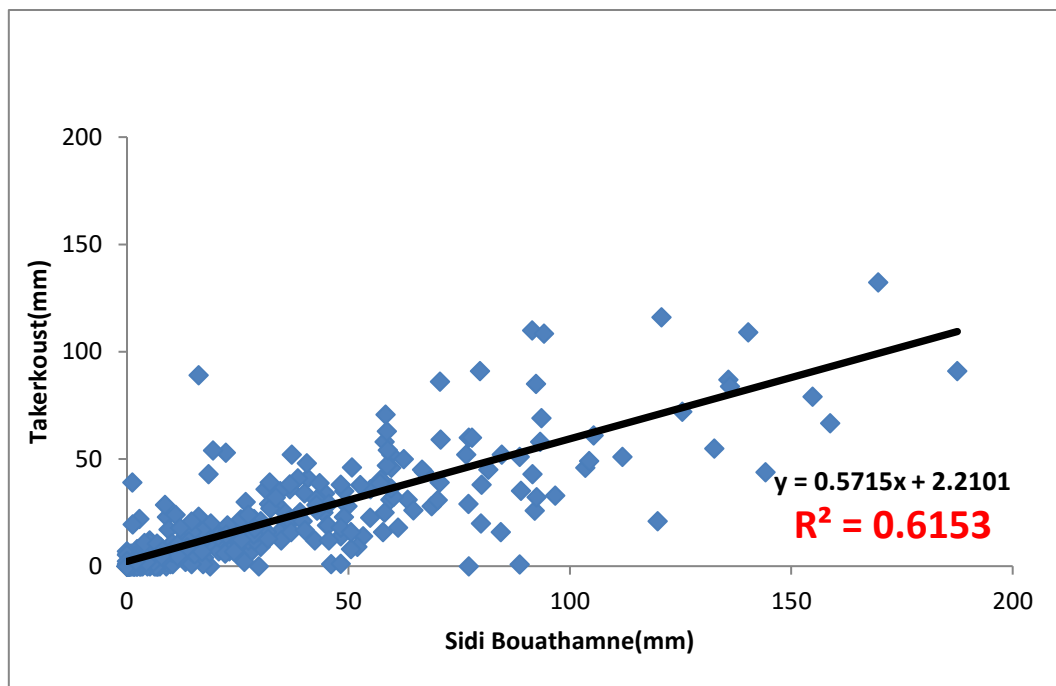


Figure 17: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Bouathmane et Takerkoust

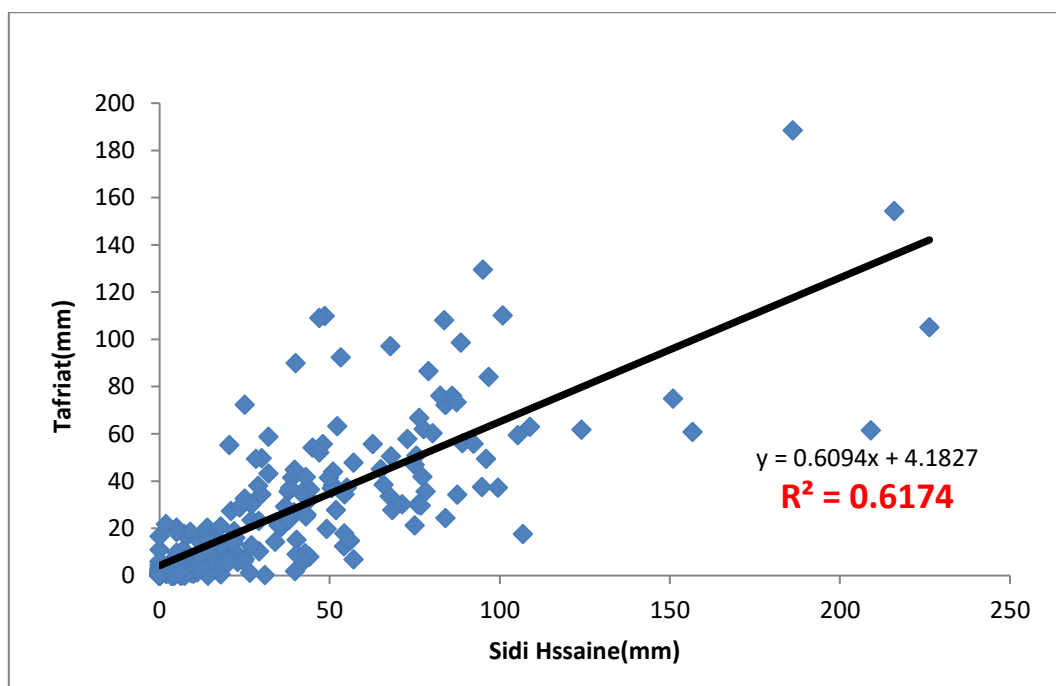


Figure 18: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Hssaine et Tafriate

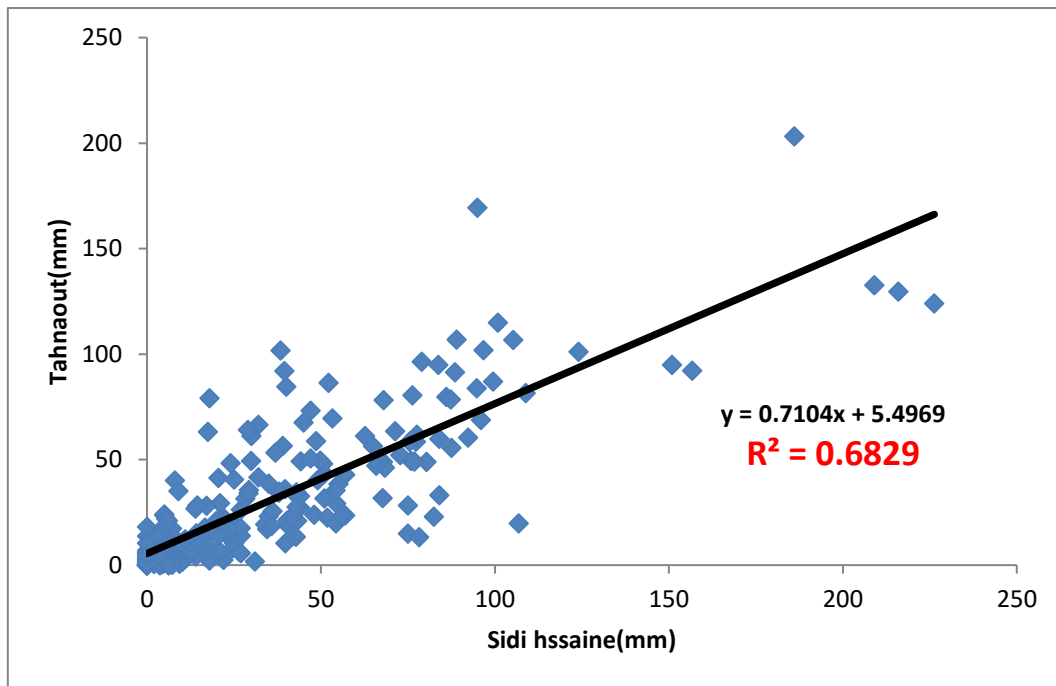


Figure 19: Corrélacion pluviométrique mensuelle entre Sidi Hssaine et Tahnaout

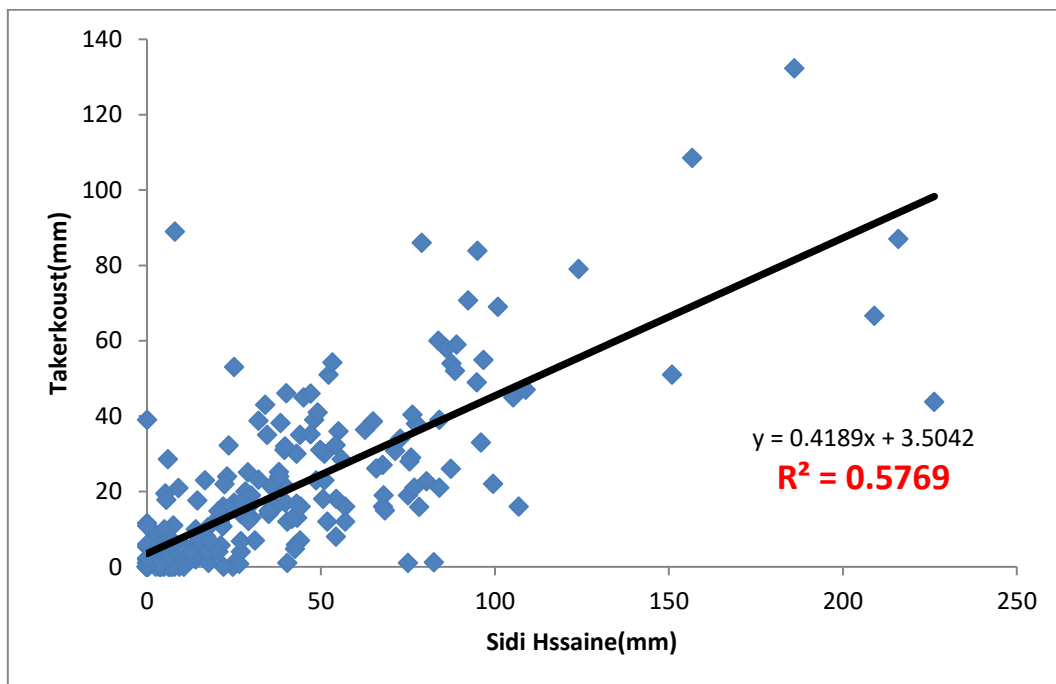


Figure 20: Corrélacion pluviométrique mensuelle entre Sidi Hssaine et Takerkoust

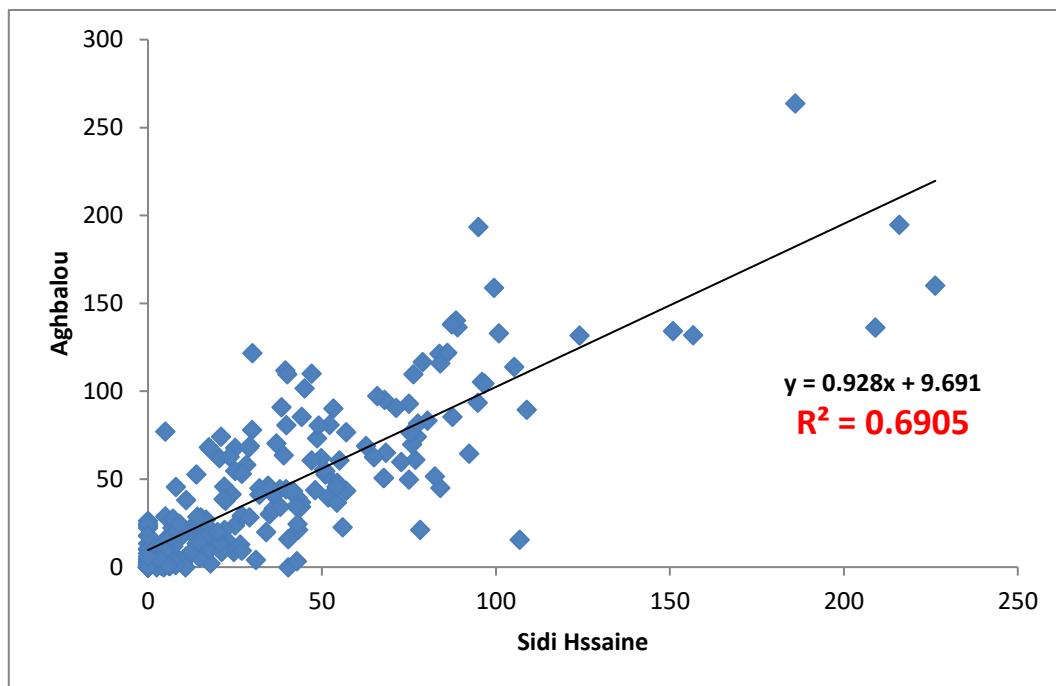


Figure 21: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Hssaine et Aghbalou

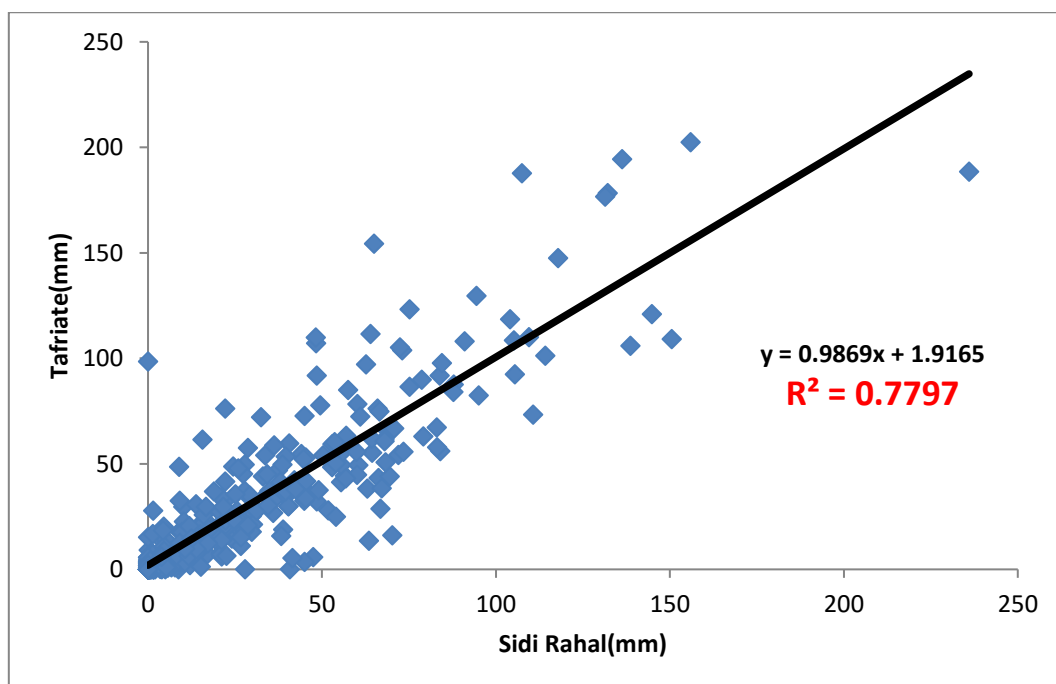


Figure 22: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Rahal et Tafriate

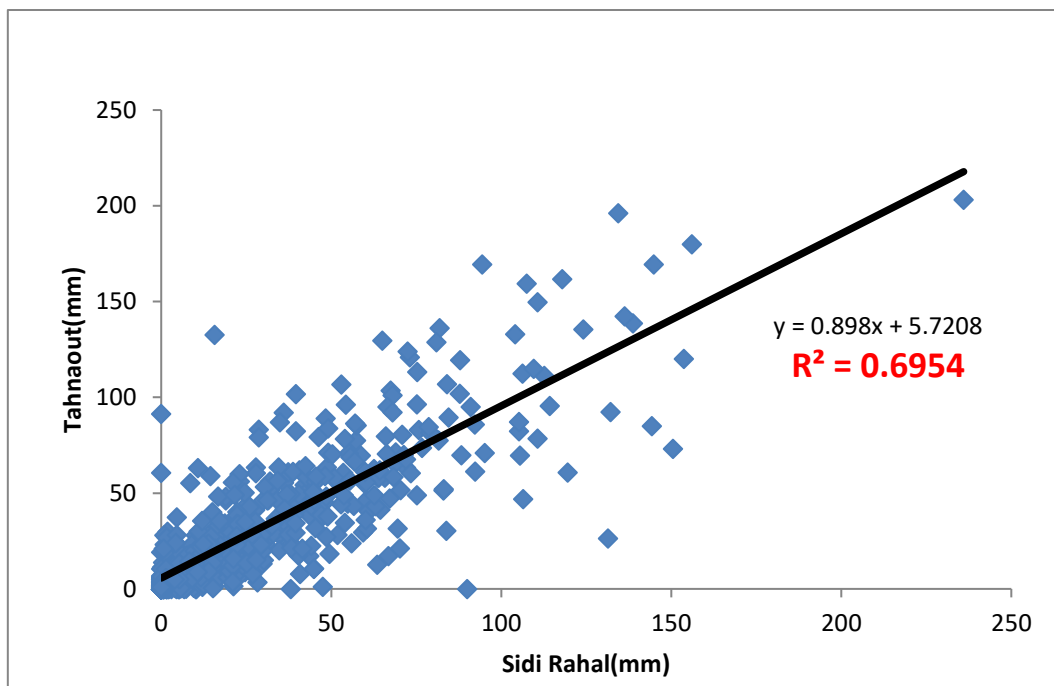


Figure 23: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Rahal et Tahnaout

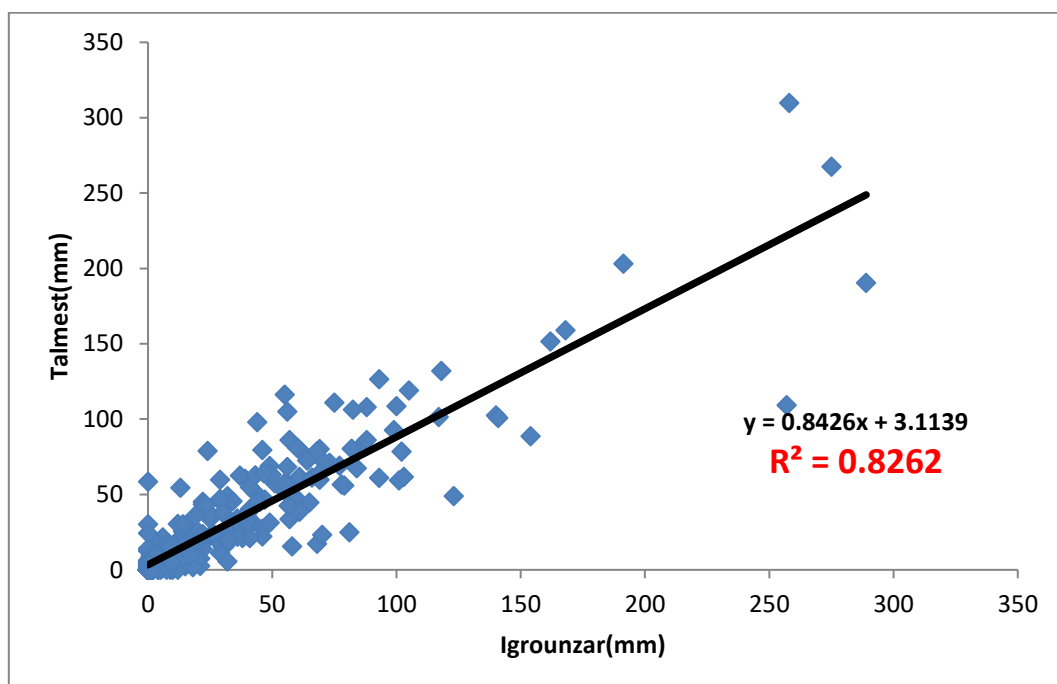


Figure 24: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Igrounzar et Talmest

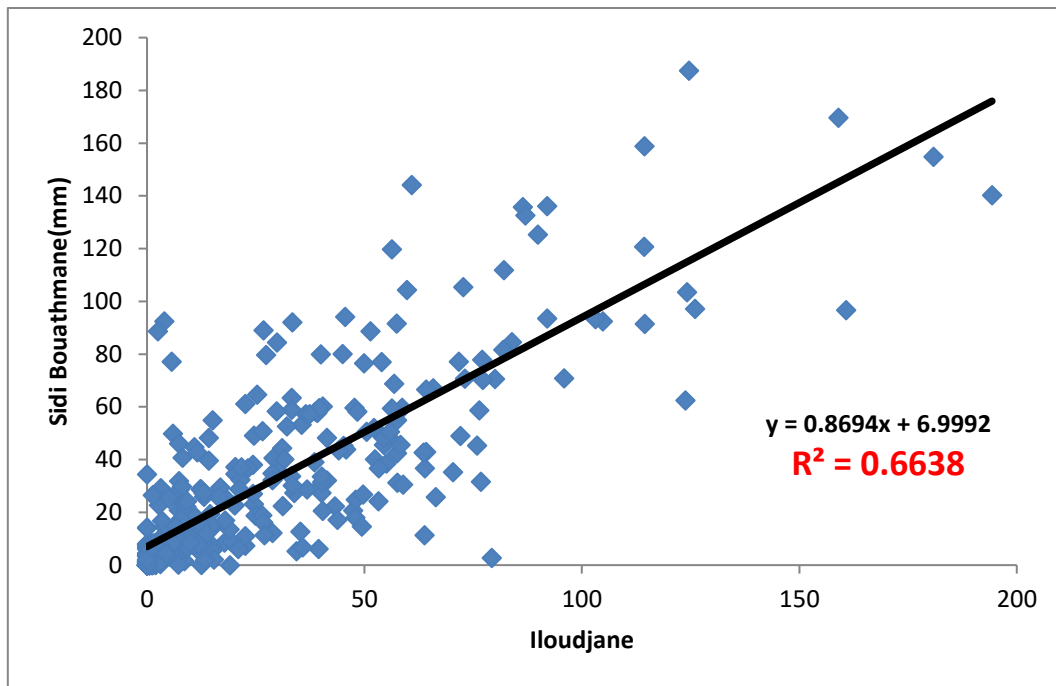


Figure 25: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Iloudjane et Sidi Bouathmane

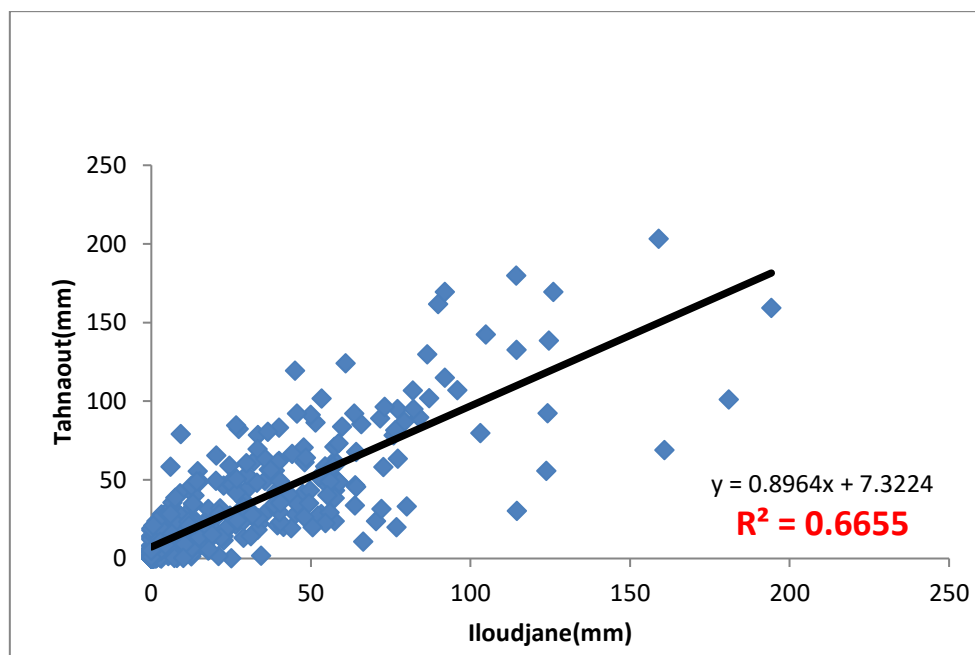


Figure 26: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Iloudjane et Tahnaout

En fonction de nombre d'années communes de deux stations choisies, le nuage de points illustre les valeurs mensuelles pluviométriques, de plus il montre une relation linéaire positive entre les stations choisies. Le degré de corrélation des stations est basé sur la valeur de son coefficient de corrélation R.

Plus cette valeur se rapproche de 1 on peut déduire qu'on a une bonne liaison entre les deux stations étudiées.

- Quand le coefficient de corrélation est supérieur à 0.8 on constate que l'ensemble du nuage des points se regroupent de plus en plus autour de la droite et donc on a une bonne corrélation :
 - ❖ Igounzar et Talmest
 - ❖ Adamna et Igounzar
 - ❖ Adamna et Talmest
 - ❖ Aghbalou et Tahnaout
- Quand le coefficient varie entre 0.8 et 0.7 on a une corrélation assez bonne :
 - ❖ Abadla et Chichaoua
 - ❖ Aghbalou et Imine EL hammam
 - ❖ Sidi Bouathmane et Sidi hssaine
 - ❖ Sidi Bouathmane et Tahnaout
 - ❖ Sidi Rahal et Tafriate
 - ❖ Tafriate et Tahnaout
- Quand le coefficient varie entre 0.7 et 0.5 la corrélation est moyenne :
 - ❖ Abadla et Iloudjane
 - ❖ Aghbalou et Takerkoust
 - ❖ Sidi Bouathamne et Takerkoust
 - ❖ Sidi hssaine et Aghbalou
 - ❖ Sidi Hssaine et Tafriate
 - ❖ Sidi Hssaine et Takerkoust
 - ❖ Iloudjane et Tahnaout
 - ❖ Marrakech et Tafriate

D'après cette classification en fonction des coefficients de corrélation on remarque que les coefficients de corrélation sont assez importants et significatifs, mais on peut tirer que la deuxième et la troisième classe sont les plus répondues sur l'ensemble d'étude dont les 16 stations font parties.

II.4.Reconstitution des données manquantes :

Le comblement des vides de ces stations se fait à l'aide des données de leur station de référence par l'équation $y=ax+b$, dont x désigne les valeurs de la station de référence. L'approche utilisée pour remplacer les données manquantes se base sur les stations voisines ayant une bonne corrélation entre eux. Alors nous avons choisi les stations ayant les très bonne corrélation tels que : Talmest Igounzar , Tafriat et Sidi Rahal.

- Talmest par Igounzar : $y=0,9742x+0,9382$
- Tahnaout et Aghbalou : $y=0,6785x +1,4082$
- Tahanout et Sidi Rahal : $y=0,9869x+1,9165$

Dans le but d'aboutir à la précision des stations de référence une étude pluviométrique mensuelle est effectuée pour les 16 stations, qui consistent à tracer des courbes de régression linéaire entre chaque deux stations ayant une bonne corrélation à partir du coefficient de corrélation R . Au terme de cette étude nous avons obtenu deux matrices de corrélation (ci- dessous) une mensuelle et l'autre annuelle:

Tableau 2 : Corrélation entre les précipitations mensuelles des stations du bassin Tensift-Ksob

	<i>ABADLA</i>	<i>ADAMNA</i>	<i>AGHBALOU</i>	<i>CHICHAOUA</i>	<i>IGROUNZAR</i>	<i>ILOUDJANE</i>	<i>IMIN EL HAMMAM</i>	<i>MARRAKECH</i>	<i>N'KOURIS</i>	<i>SIDI BOUATHMANE</i>	<i>SIDI HSSAINE</i>	<i>SIDI RAHAL</i>	<i>TAFARIAT</i>	<i>TAHANAOUT</i>	<i>TAKERKOUST</i>	<i>TALMEST</i>
ABADLA	1															
ADAMNA	0.67206	1														
AGHBALOU	0.65764	0.54719	1													
CHICHAOUA	0.84863	0.67982	0.70636	1												
IGROUNZAR	0.69853	0.89676	0.6065	0.72882	1											
ILOUDJANE	0.76914	0.56262	0.7678	0.76443	0.58328	1										
IMM HAMAM	0.64955	0.53773	0.87731	0.71258	0.57829	0.79172	1									
MARRAKECH	0.69858	0.59134	0.6968	0.75675	0.62974	0.67243	0.6849	1								
N'KOURIS	0.67307	0.62518	0.61522	0.67896	0.65104	0.61383	0.65788	0.61993	1							
SIDI BOUATHMANE	0.73351	0.5248	0.81514	0.72236	0.54149	0.81475	0.84574	0.68289	0.60719	1						
SIDI HSSAINE	0.65872	0.55795	0.83096	0.6363	0.56047	0.77503	0.86126	0.58864	0.70983	0.85646	1					
SIDI RAHAL	0.74371	0.61398	0.83663	0.76716	0.66106	0.72927	0.77951	0.6956	0.56997	0.75608	0.66124	1				
TAFARIAT	0.73202	0.62109	0.84489	0.75419	0.6549	0.74609	0.78456	0.72876	0.58199	0.78627	0.78575	0.88533	1			
TAHANAOUT	0.70688	0.56354	0.90361	0.76806	0.61977	0.81577	0.86697	0.75423	0.63798	0.85563	0.82636	0.83394	0.85569	1		
TAKERKOUST	0.68509	0.54571	0.80223	0.7558	0.57514	0.75829	0.82134	0.72967	0.61238	0.78441	0.75956	0.81472	0.79328	0.83351	1	
TALMEST	0.75533	0.90901	0.62755	0.72469	0.90893	0.60643	0.58698	0.61421	0.63179	0.54271	0.54944	0.65166	0.6739	0.63647	0.54632	1

Tableau 3: Corrélation entre les précipitations annuelles des stations du bassin Tensift-Ksob

	ABADLA	ADAMNA	AGHBALOU	CHICHAOUA	IGROUNZAR	ILOUDJANE	IMIN EL HAMMAM	MARRAKECH	N'KOURIS	SIDI BOUATHMANE	SIDI HSSAINE	SIDI RAHAL	TAFARIAT	TAHANAOUT	TAKERKOUST	TALMEST
ABADLA	1															
ADAMNA	0.717983	1														
AGHBALOU	0.74433	0.559566	1													
CHICHAOUA	0.934085	0.665668	0.656024	1												
IGROUNZAR	0.739252	0.827943	0.618897	0.715927	1											
ILOUDJANE	0.779027	0.501933	0.709272	0.738271	0.509725	1										
IMM HAMAM	0.714897	0.704918	0.797906	0.658053	0.708524	0.617628	1									
MARRAKECH	0.683927	0.623693	0.528556	0.640175	0.655494	0.62125	0.556069	1								
N'KOURIS	0.557175	0.620699	0.602429	0.510556	0.579903	0.336509	0.653773	0.520443	1							
SIDI BOUATHMANE	0.670728	0.554889	0.730154	0.721123	0.544738	0.621202	0.76934	0.61783	0.518397	1						
SIDI HSSAINE	0.553605	0.708334	0.715546	0.605692	0.711451	0.456357	0.797192	0.633088	0.661562	0.754597	1					
SIDI RAHAL	0.843884	0.650932	0.819805	0.731801	0.726847	0.643385	0.71024	0.61793	0.508851	0.651065	0.417943	1				
TAFARIAT	0.751145	0.642263	0.681083	0.664454	0.668557	0.532044	0.623697	0.524414	0.538792	0.683513	0.68165	0.872766	1			
TAHANAOUT	0.762755	0.60341	0.866929	0.729375	0.613551	0.719982	0.799459	0.632302	0.640309	0.790576	0.623018	0.807092	0.702305	1		
TAKERKOUST	0.843093	0.665854	0.72672	0.760127	0.645905	0.711073	0.755811	0.624911	0.493384	0.680947	0.643743	0.811197	0.662722	0.772284	1	
TALMEST	0.696639	0.746727	0.5328	0.685406	0.862136	0.43255	0.577713	0.392737	0.450585	0.402615	0.649412	0.591155	0.635795	0.406429	0.565259	1

La matrice montre les corrélations entre les séries des de précipitations. Ces corrélations ont été calculées sur les périodes de disponibilité des données de pluies journalières. Ces résultats nous permettent de dire que les coefficients de corrélation mensuelle entre les stations sont plus significatifs que les coefficients de corrélation annuelle

Chapitre 3 : Etudes d'évolution spatiale et temporelle dans les Bassins Tensift et Oued Ksob

Dans ce cadre, ce travail présente les principales caractéristiques du régime pluvial dans le bassin de Tensift et celui de Oued Ksob ; l'évolution spatiale et temporelle des précipitations moyennes, annuelles et saisonnières

Dans notre zone d'étude les précipitations sont connues par un régime très irrégulier dans le temps et dans l'espace. Pour un régime aussi variable d'un point à l'autre, le réseau pluviométrique n'est pas assez dense; en plus plusieurs stations présentent des observations interrompues pendant certaines années ou plusieurs mois d'une année. Et pour que les données soient consistantes aucune modification dans les conditions internes du système ne doit intervenir durant la période d'observation, exemple : position du pluviomètre, procédures d'observation, observateur unique.

Avant leur utilisation, il est important donc de vérifier l'homogénéité et la fiabilité des données pluviométriques dont on dispose. Les données sont non homogènes lorsqu'elles proviennent de la mesure d'un phénomène dont les caractéristiques évoluent durant la période de mesure; le phénomène est alors dit non-stationnaire, exemple: variations climatiques. Dans notre cas les données pluviométriques couvrent une période de 47 ans, de 1970 à 2017, parsemée, parfois, de quelques lacunes moins nombreuses.

III.1-Analyse des précipitations mensuelles :

Sur le bassin hydraulique du Tensift, vaste de 19800 km², le régime des pluies est très irrégulier dans le temps et dans l'espace

Dans cette étude, nous considérons une variable climatique (pluie), et nous utilisons des tests statistiques tels que les coefficients de variation pour l'étude de la variabilité spatio-temporelle.

Avant tout, on a collecté une base de données climatique de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift (ABHT). Les données dont nous disposons sont des séries pluviométriques journalières, mensuelles et annuelles pour 16 stations. Ces séries s'étalent sur des périodes variables de 1970- 2017 sauf la station Sidi Hssain qui s'étale sur une période de 1998-2017.

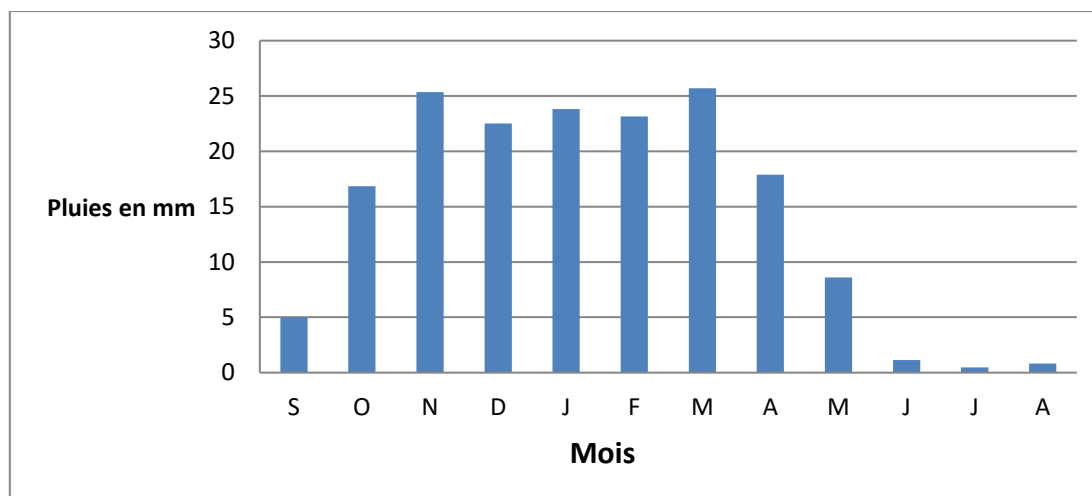


Figure 27: Précipitations mensuelles moyennes de la station Abadla 1970-2017

A la station d'Abadla, la représentation graphique des variations des moyennes mensuelles des précipitations, durant la période 1970-2011, montre une variation irrégulière. Les fortes valeurs sont enregistrées au niveau des mois novembre à mars, c'est à dire les mois les plus pluvieux, alors que les faibles valeurs caractérisent les mois de juin, juillet, août et septembre; ce sont les mois les plus secs.

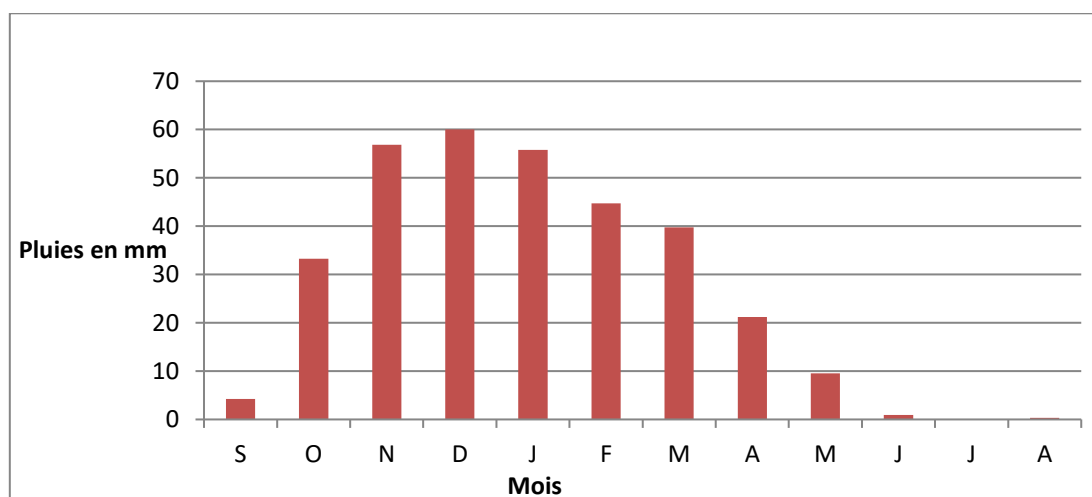


Figure 28 : Précipitations mensuelles moyennes de la station Admna 1977-2017

Les variations des moyennes mensuelles des précipitations dans la station de l'Adamna montrent que le mois de Décembre enregistre les fortes valeurs en moyennes de 60 mm, et donc les mois les plus pluvieux sont Novembre, Décembre et Janvier. Par contre, les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans le mois Juillet.

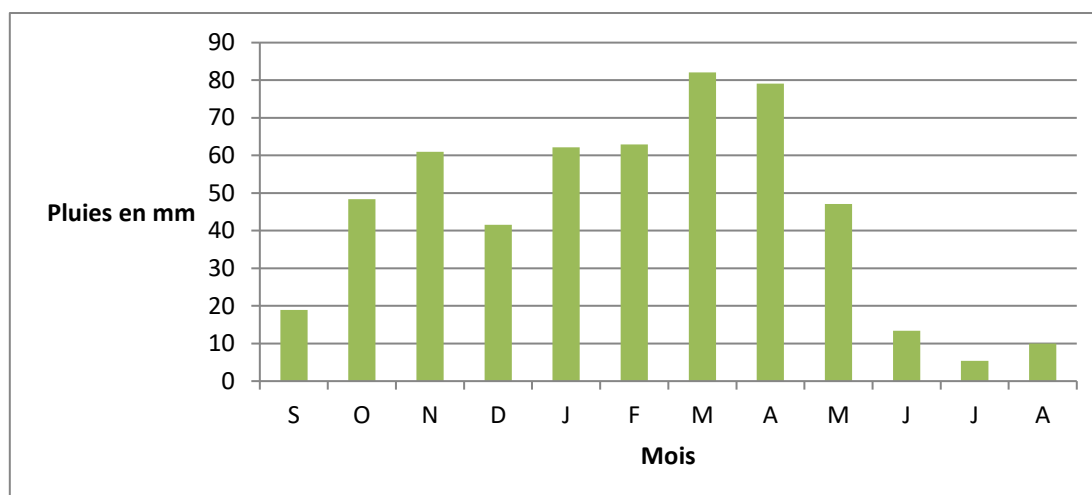


Figure 29: Précipitations mensuelles moyennes de la station Aghbalou 1970-2017

La station Aghbalou connu par son relief, montre que les mois les plus pluvieux sont : Mars avec une moyenne de 82.02 mm, le mois d'avril enregistre une moyenne de 79.08 mm et le mois de novembre 60.93mm . Alors que le mois de juillet enregistre la plus faible valeur 5.35mm

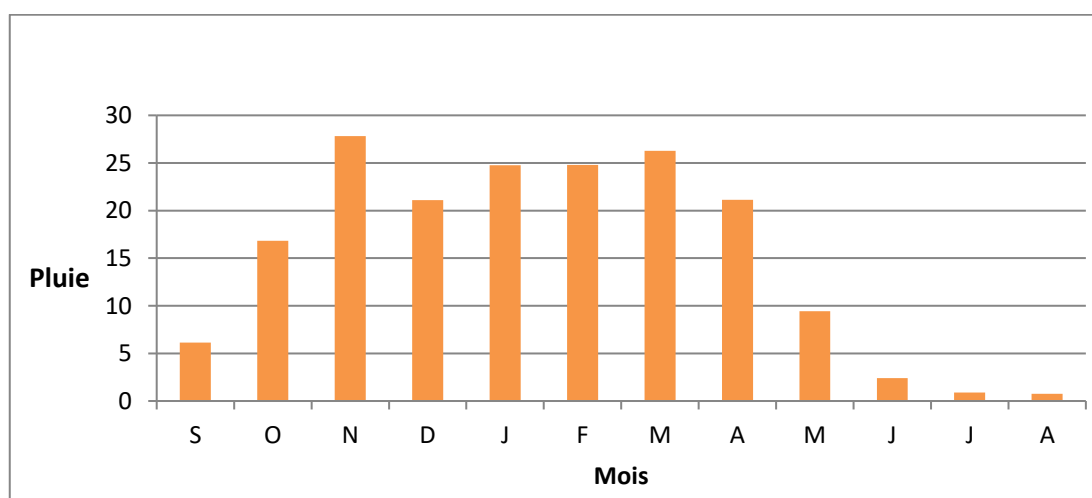


Figure 30: Précipitations mensuelles moyennes de la station Chichaoua 1971-2017

D'après ,les variations des moyennes mensuelles des précipitations dans la station de Chichaoua montrent que le mois le plus pluvieux est novembre qui enregistre une moyenne de 27.81 mm suivi du mois Mars qui enregistre aussi une moyenne de 26.26mm , avec une variation faible durant l'été marqué par les valeurs les plus faibles durant les mois secs juin , juillet et août.

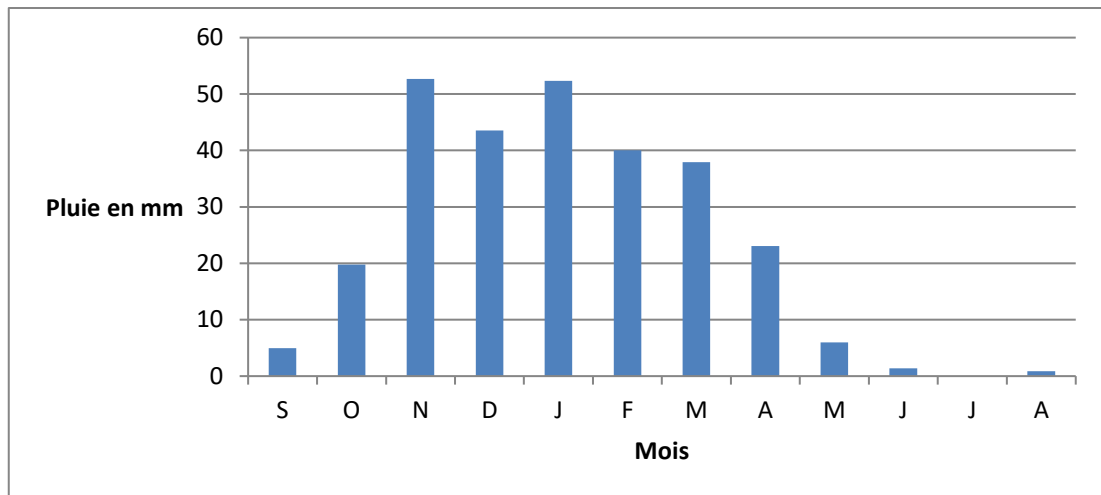


Figure 31: Précipitations mensuelles moyennes de la station Igrounzar 1978-2015

On observe que les précipitations mensuelles dans la station d'Igrounzar montrent que les mois les plus pluvieux sont novembre et janvier qui enregistrent les moyennes respectivement données 52.65mm et 52.31mm. Alors que les plus faibles valeurs sont enregistrées durant l'été comme étant les mois les plus secs.

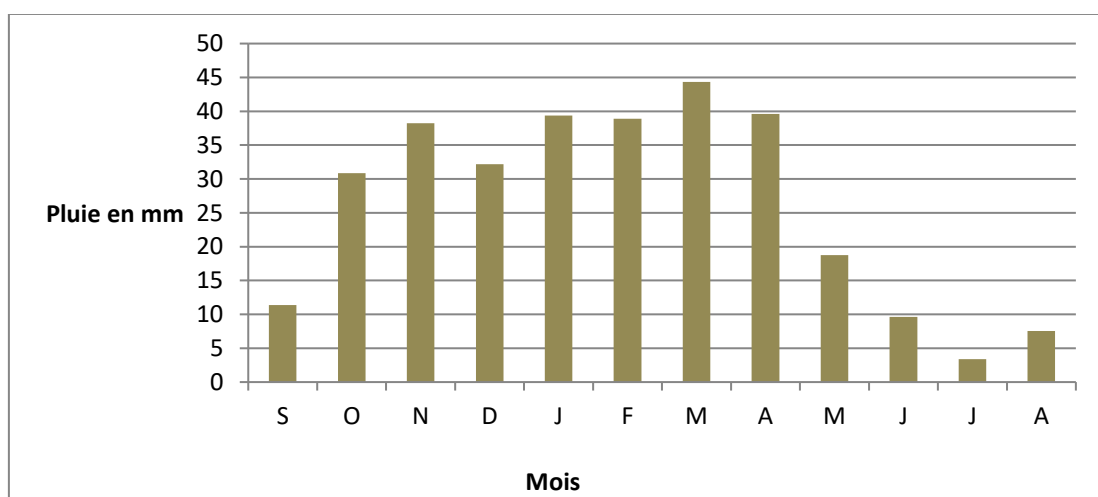


Figure 32: Précipitations mensuelles moyennes de la station Iloudjane 1989-2017

Les mois les plus pluvieux dans la station Iloudjane sont durant la saison du printemps avec un maximum 44.35mm et le mois le plus sec est juillet avec un minimum de 3.36mm.

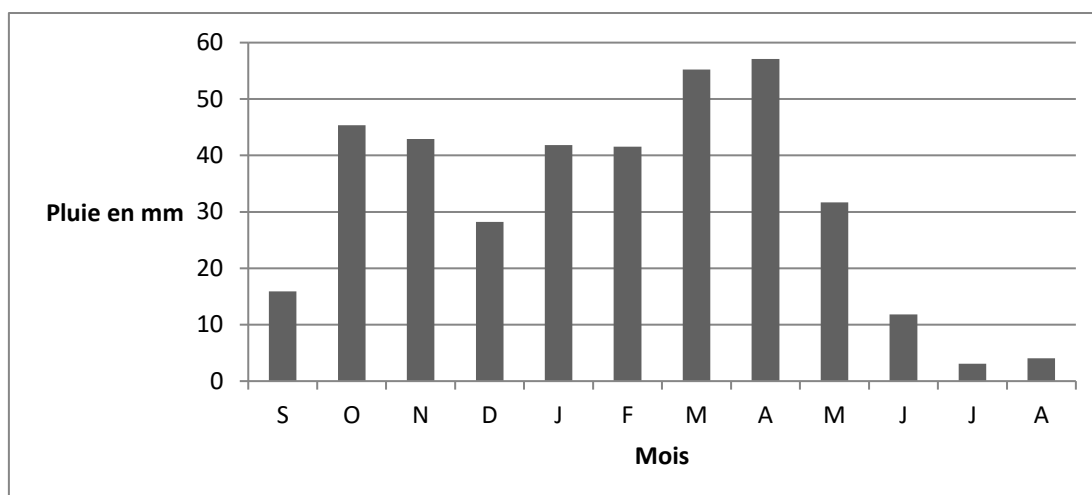


Figure 33: Précipitations mensuelles moyennes de la station Imin El hammam 1970-2017

Au niveau de la station Imine El Hamam les variations des moyennes mensuelles des précipitations montrent que les mois de Mars et Avril enregistrent les plus fortes précipitations avec un maximum de 57.10mm.

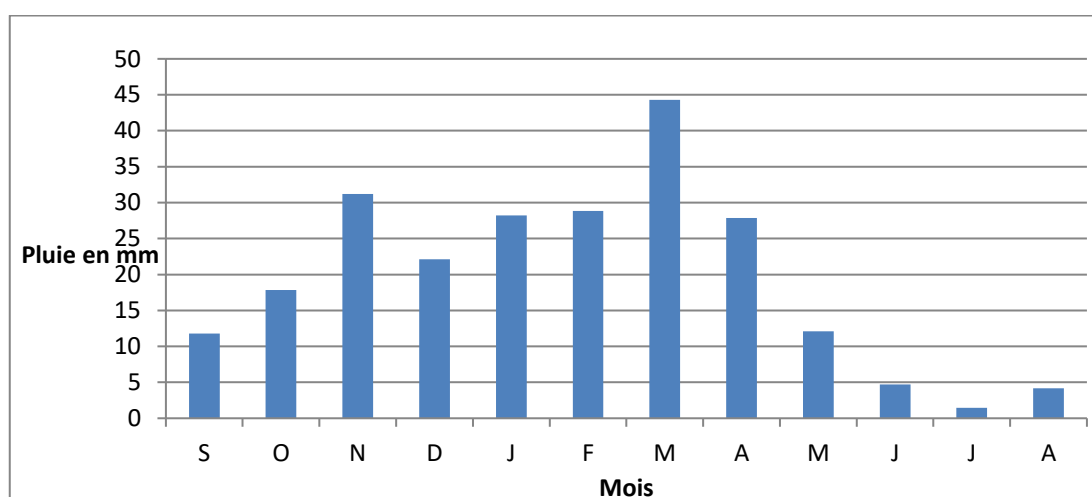


Figure 34: Précipitations mensuelles moyennes de la station Marrakech 1971-2017

Dans la station de Marrakech le mois le plus pluvieux est Mars avec un maximum de 44.28mm suivie du mois de Novembre, par contre les faibles valeurs sont enregistrées durant l'été.

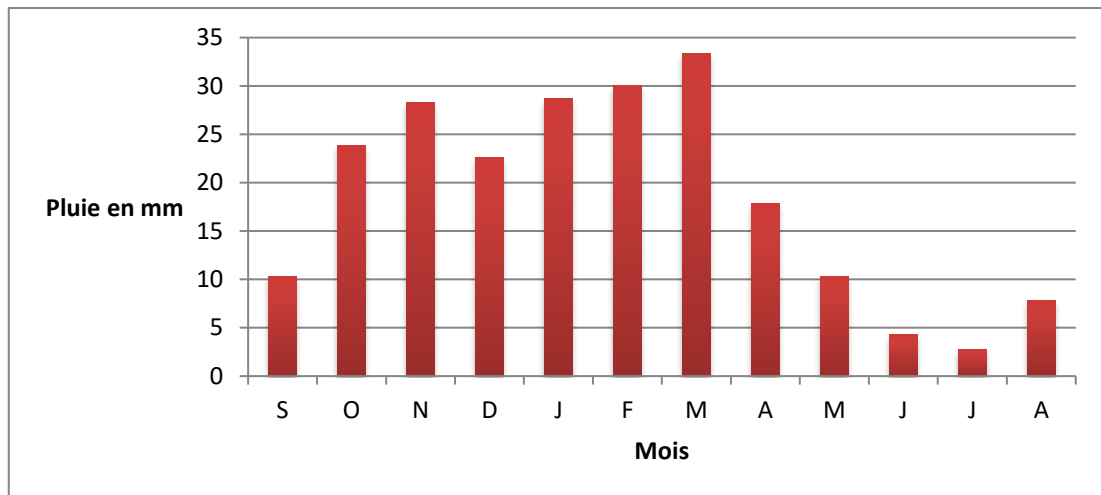


Figure 35: Précipitations mensuelles moyennes de la station Marrakech 1975-2017

Dans la station de N'kouris les précipitations sont abondantes sur toutes les saisons sauf en été surtout le mois de juillet où les précipitations enregistrent les plus faibles valeurs minimum de 2.79mm.

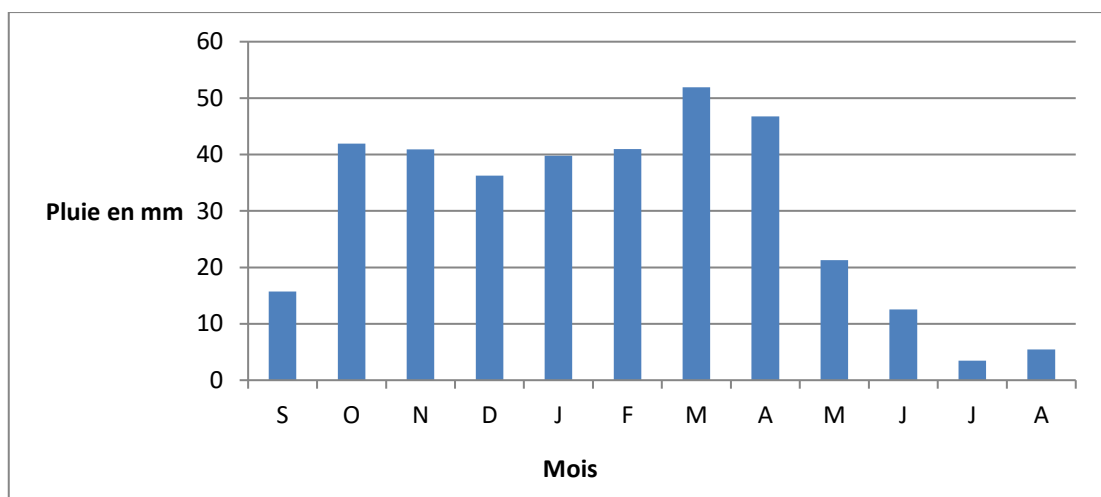


Figure 36: Précipitations mensuelles moyennes de la station Sidi Bouathmane 1989-2017

Les précipitations sont abondantes toute l'année au niveau de la station de Sidi Bouathmane avec un maximum durant le mois de mars et avril de 51.94mm et un minimum de 3.48mm durant le mois de juillet.

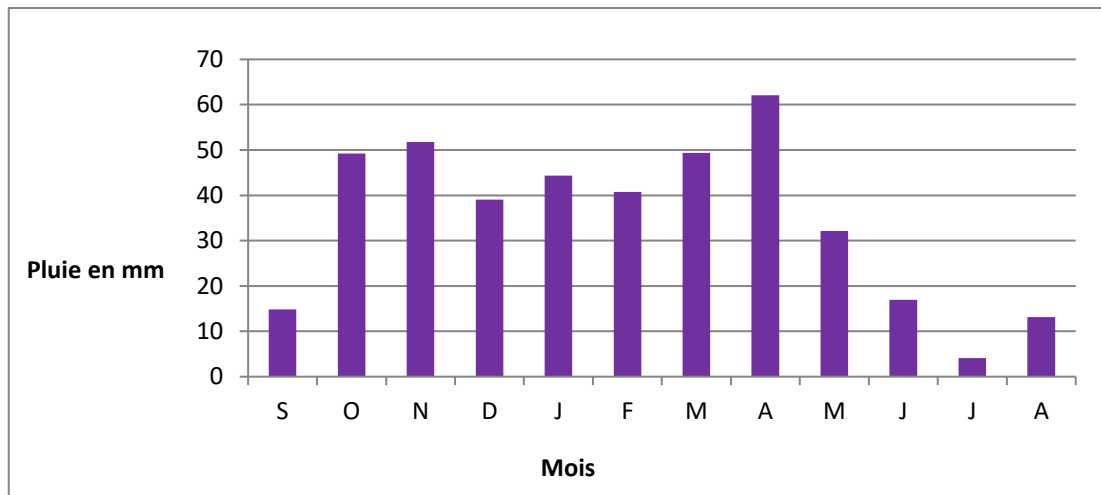


Figure 37: Précipitations mensuelles moyennes de la station Sidi Hssaine 1998-2017

Le mois le plus pluvieux enregistré dans la station Sidi Hssaine montre que le mois le plus pluvieux est Avril avec un maximum de 62.1mm le mois le plus pluvieux abondance durant toute l'année, et un minimum de 4.07mm.

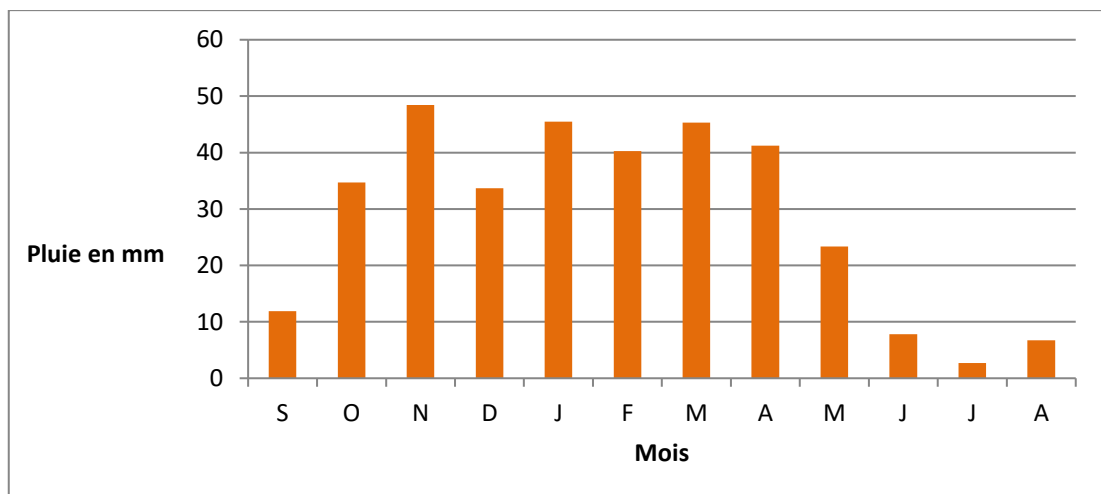


Figure 38 : Précipitations mensuelles moyennes de la station Sidi Rahal 1970-2017

Selon les variations des moyennes mensuelles des précipitations dans la station Sidi Rahal montre que le mois le plus pluvieux est Novembre , malgré que les pluies sont abondantes dans toutes l'année sauf durant l'été qui enregistre une diminution.

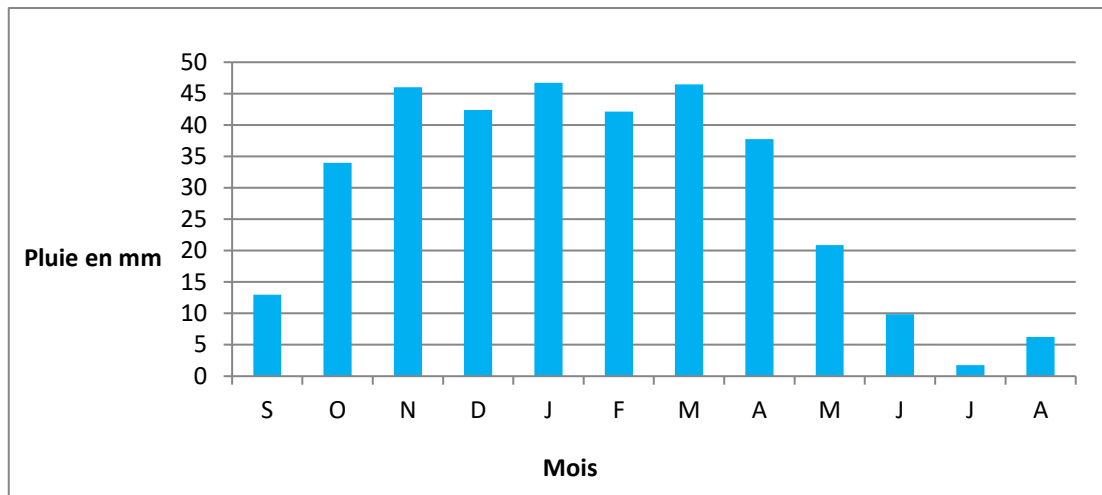


Figure 39: Précipitations mensuelles moyennes de la station Tafriat 1983-2017

Les précipitations sont très abondantes durant toutes les saisons dans la station Tafriat avec un maximum de 46.74 durant le mois de janvier et un minimum de 1.77mm en juillet.

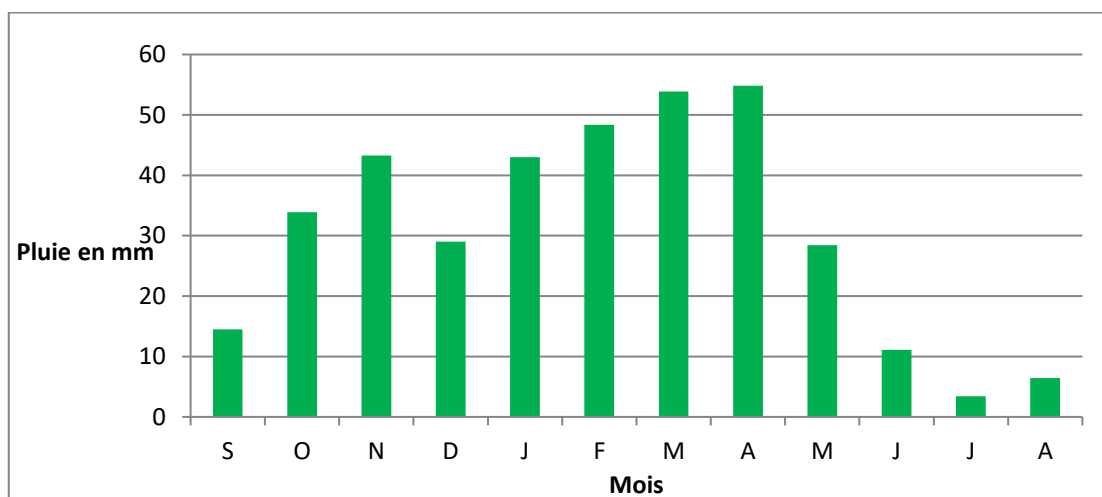


Figure 40: Précipitations mensuelles moyennes de la station Tahnaout 1971-2017

Le graphique des variations des moyennes mensuelles des précipitations dans la station Tahnaout montre que les précipitations augmentent durant le printemps et la fin de l'hiver alors qu'on observe une diminution en mois Décembre.

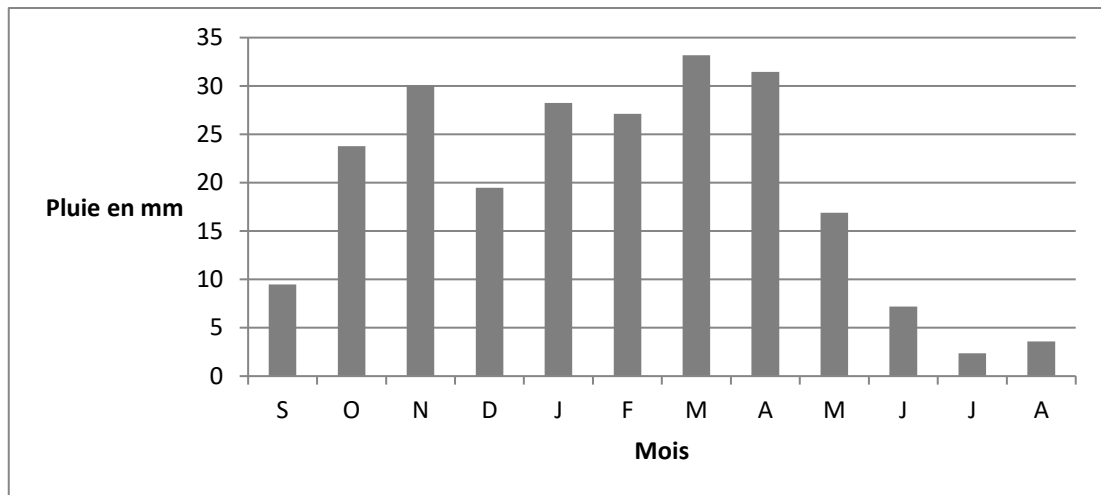


Figure 41: Précipitations mensuelles moyennes de la station Takerkoust 1970-2017

Les mois les plus pluvieux dans la station Takerkoust sont Novembre , Mars et Avril avec un maximum de 33.18mm et un minimum de 2.36mm en mois de Juillet.

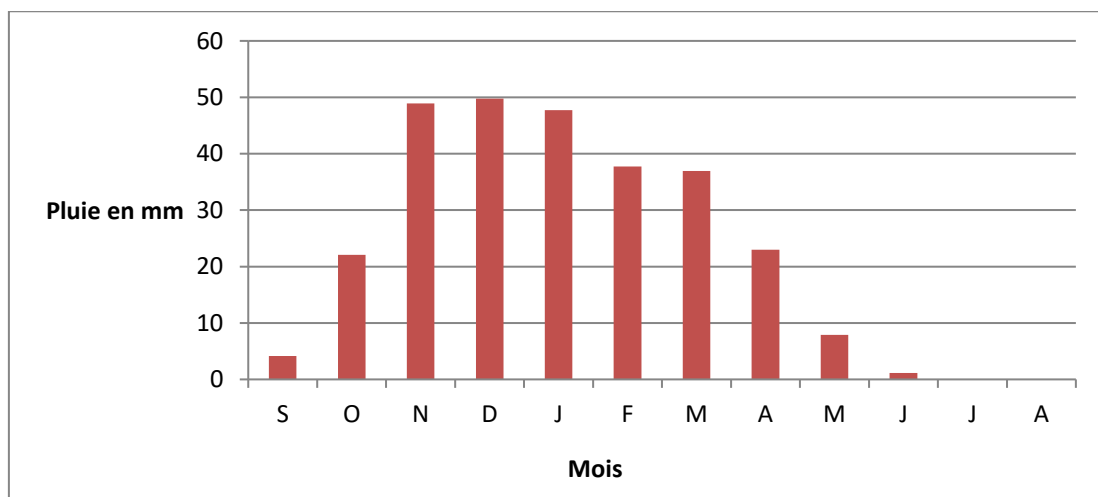


Figure 42: Précipitations mensuelles moyennes de la station Talmest 1985-2017

Les variations des moyennes mensuelles des précipitations dans la station de Talmest montre les mois les plus pluvieux sont en hiver surtout le mois novembre, décembre et janvier alors qu'en été on a une sécheresse très remarquable.

III.1.1. Analyse des précipitations mensuelles moyennes

Les précipitations mensuelles moyennes dans les seize stations ont été obtenues par le calcul de la moyenne arithmétique des données journalières de chaque mois. Les périodes analysées sont de quarante ans environ saufs pour la station Sidi Hssaine où la période n'est que de 20 ans. Les résultats sont collectés dans un tableau, par lequel nous pouvons voir que les mois les plus pluvieux sont d'octobre à mars et que les mois les plus secs sont de juin à septembre.

Tableau 4: Précipitations mensuelles moyennes des stations en fonction des mois

	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>
ABADLA	4.98	16.86	25.36	22.52	23.81	23.14	25.70	17.88	8.61	1.14	0.48	0.83
ADAMNA	4.22	33.27	56.8175	60.045	55.795	44.725	39.7425	21.1875	9.51	0.95	0	0.3325
AGHBALOU	18.95	48.41	60.93	41.61	62.17	62.96	82.07	79.08	47.12	13.39	5.36	9.99
CHICHAOUA	6.13	16.83	27.82	21.10	24.76	24.79	26.26	21.13	9.42	2.39	0.89	0.75
IGROUNZAR	4.97	19.77	52.65	43.57	52.32	40.01	37.95	23.05	5.99	1.39	0.00	0.89
ILOUDJANE	11.37	30.84	38.22	32.20	39.35	38.91	44.36	39.59	18.76	9.65	3.36	7.54
IMIN EL HAMMAM	15.91	45.37	42.91	28.21	41.83	41.53	55.21	57.10	31.71	11.81	3.11	4.03
MARRAKECH	11.80	17.85	31.20	22.14	28.23	28.83	44.28	27.86	12.11	4.72	1.47	4.17
N'KOURIS	10.28	23.82	28.29	22.60	28.68	30.02	33.31	17.82	10.35	4.29	2.79	7.85
SIDI BOUATHMANE	15.72	41.93	40.93	36.27	39.78	40.99	51.94	46.75	21.29	12.55	3.49	5.46
SIDI HSSAINE	14.81	49.24	51.74	39.09	44.38	40.75	49.40	62.10	32.16	16.99	4.07	13.16
SIDI RAHAL	11.90	34.69	48.44	33.67	45.51	40.29	45.31	41.21	23.33	7.78	2.68	6.76
TAFARIAT	12.99	33.99	46.00	42.38	46.74	42.14	46.45	37.75	20.88	9.89	1.78	6.23
TAHANAOUT	14.51	33.90	43.26	29.03	42.98	48.34	53.88	54.82	28.45	11.12	3.40	6.44
TAKERKOUST	9.48	23.77	30.06	19.47	28.23	27.11	33.19	31.47	16.88	7.19	2.36	3.58
TALMEST	4.13	22.08	48.89	49.79	47.71	37.74	36.92	22.98	7.88	1.14	0.07	0.06

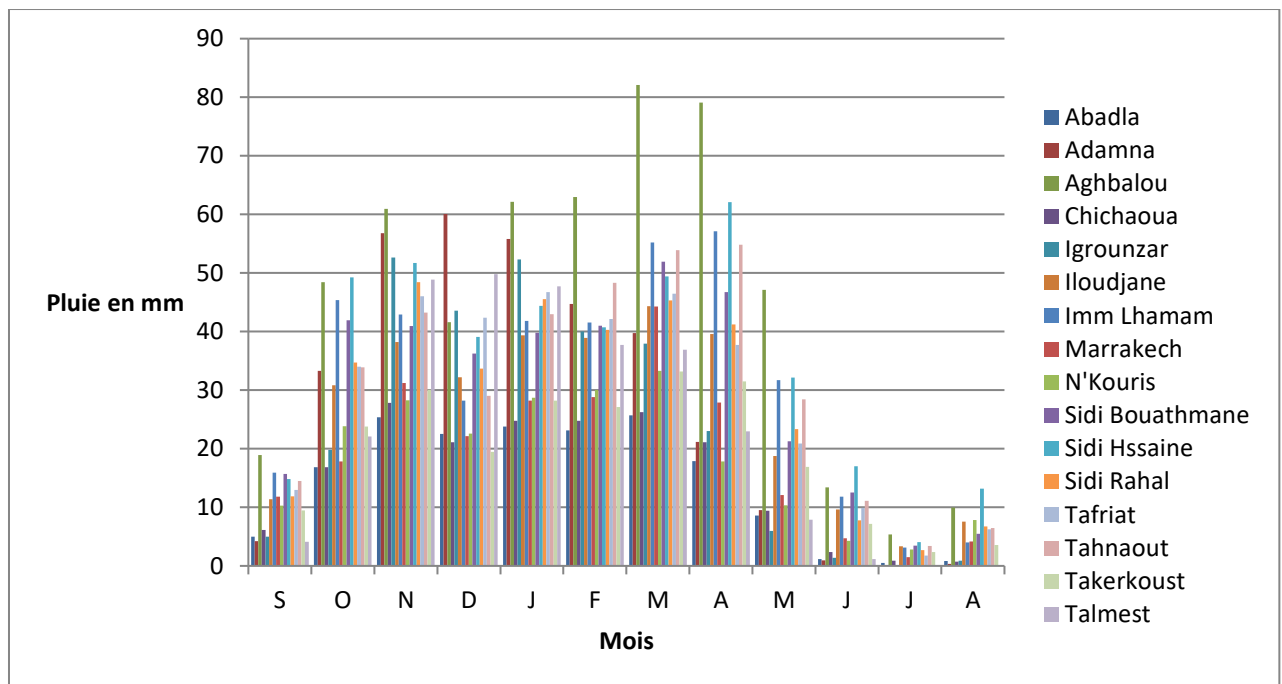


Figure 43: Représentation graphique des précipitations mensuelles moyennes des stations

II.1.2.Coefficient de variation mensuelle :

L'étude des coefficient de variation montre que les stations Adamna , Igrounzar et Talmest représente les plus grandes valeurs de l'ordre respectivement 1.68 , 1.73 et 1.64. Alors que pour les stations du piémont du Haut Atlas reflètent les coefficients les plus faibles.

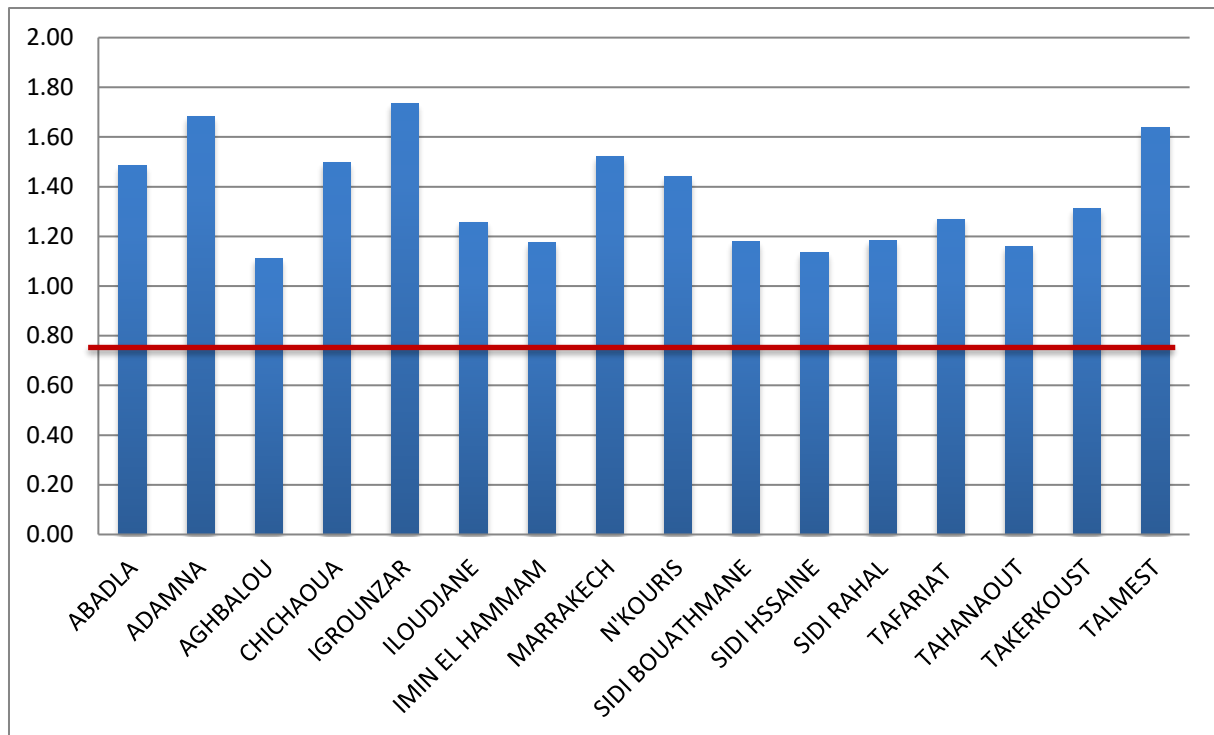


Figure 44 : Comportement du coefficient de variation en fonction des stations

Ces résultats nous ont permis de faire une classification en fonction des coefficients de variation des différentes stations d'étude, on trouve trois zones :

- **Zone 1 de plaine océanique** : Adamna , Igrounzar et Talmest
- **Zone 2 de plaine continentale**: Abadla, Chichaoua , Marrakech , Igdir N'kouris , Iloudjane et Takerkoust
- **Zone 3 piémont du Haut Atlas** : Aghbalou , Sidi bouathmane , Sidi Hssaine , Imine El hammam , Tahnaout , Tafriate et Sidi Rahal .

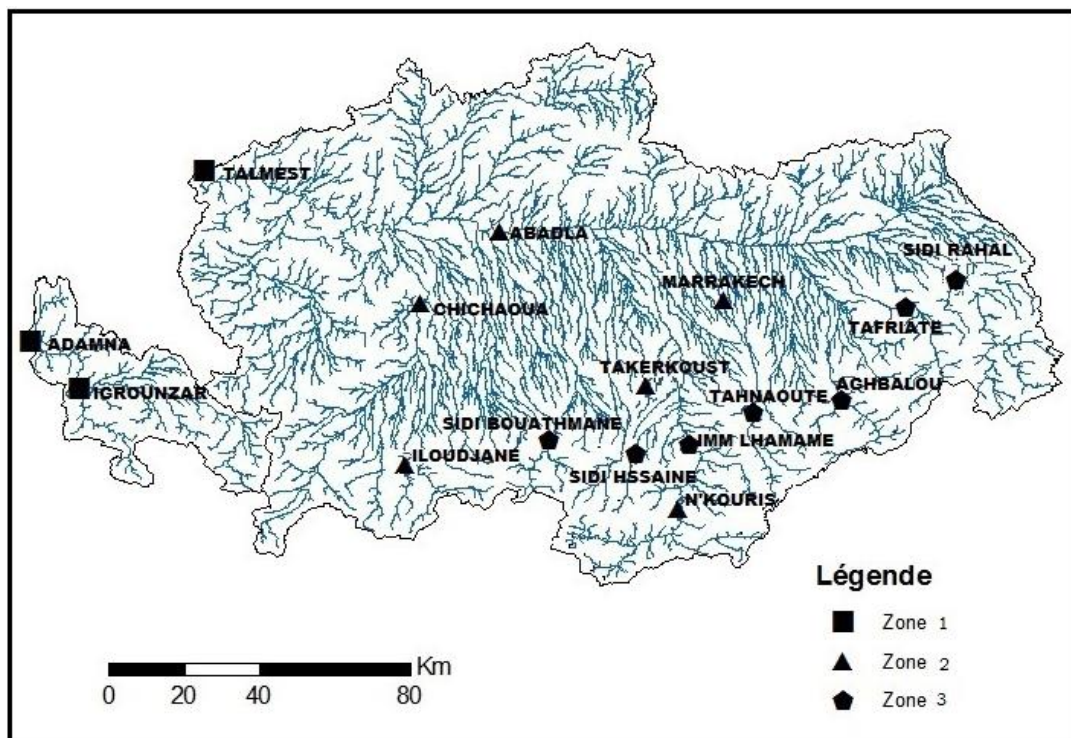


Figure 45: carte de régionalisation en fonction des coefficients de variabilité mensuelle

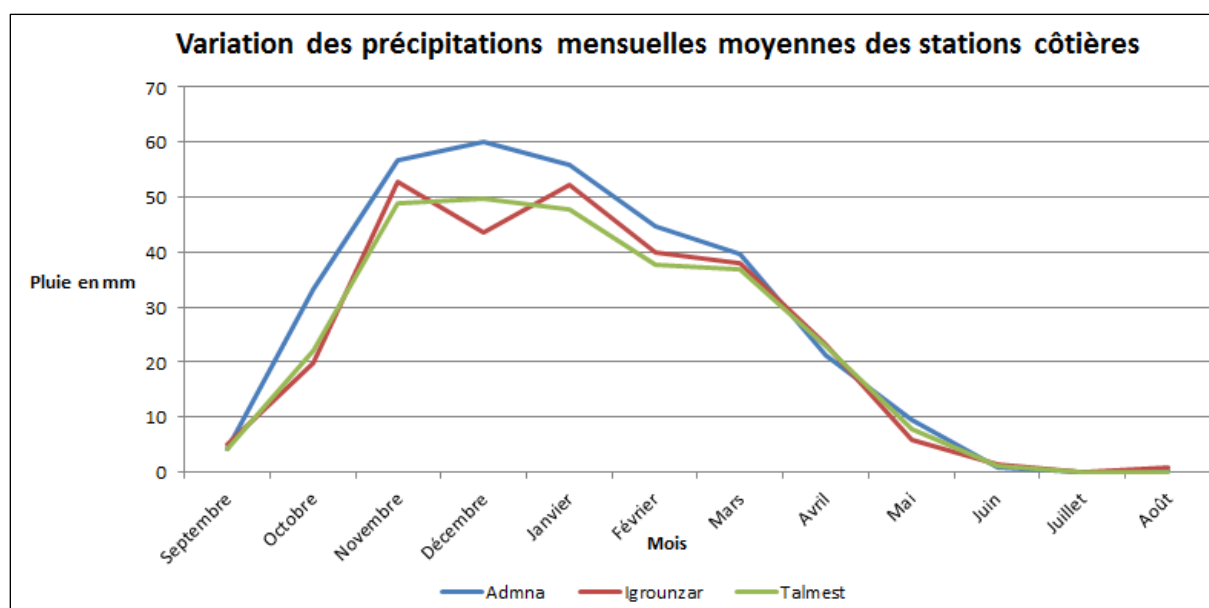


Figure 46 :Variation des précipitations mensuelles moyennes des stations côtières

On constate que les trois stations ont la même allure et comportement des précipitations abondantes en grande partie depuis l'automne jusqu'au printemps et une sécheresse en été ; apart la station Igrounzar qui montrent un creusement durant le mois décembre.

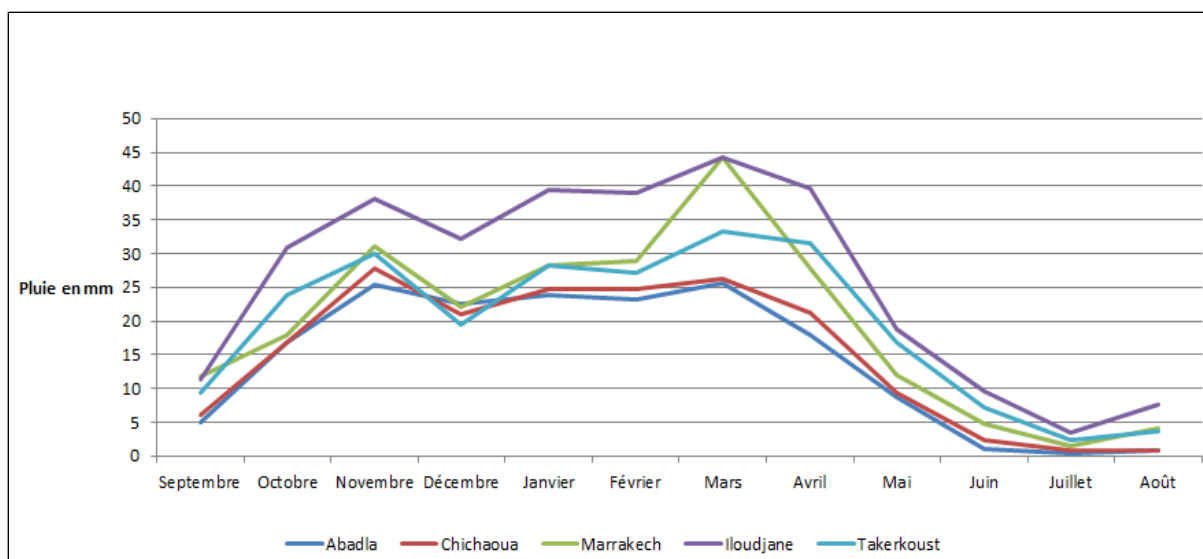


Figure 47 :Variation des précipitations mensuelles moyennes des stations de plaine (sauf N'Kouris)

Toutes les stations montrent un comportement semblable des précipitations abondantes en automnes et printemps et faibles en hiver et très faibles en été.

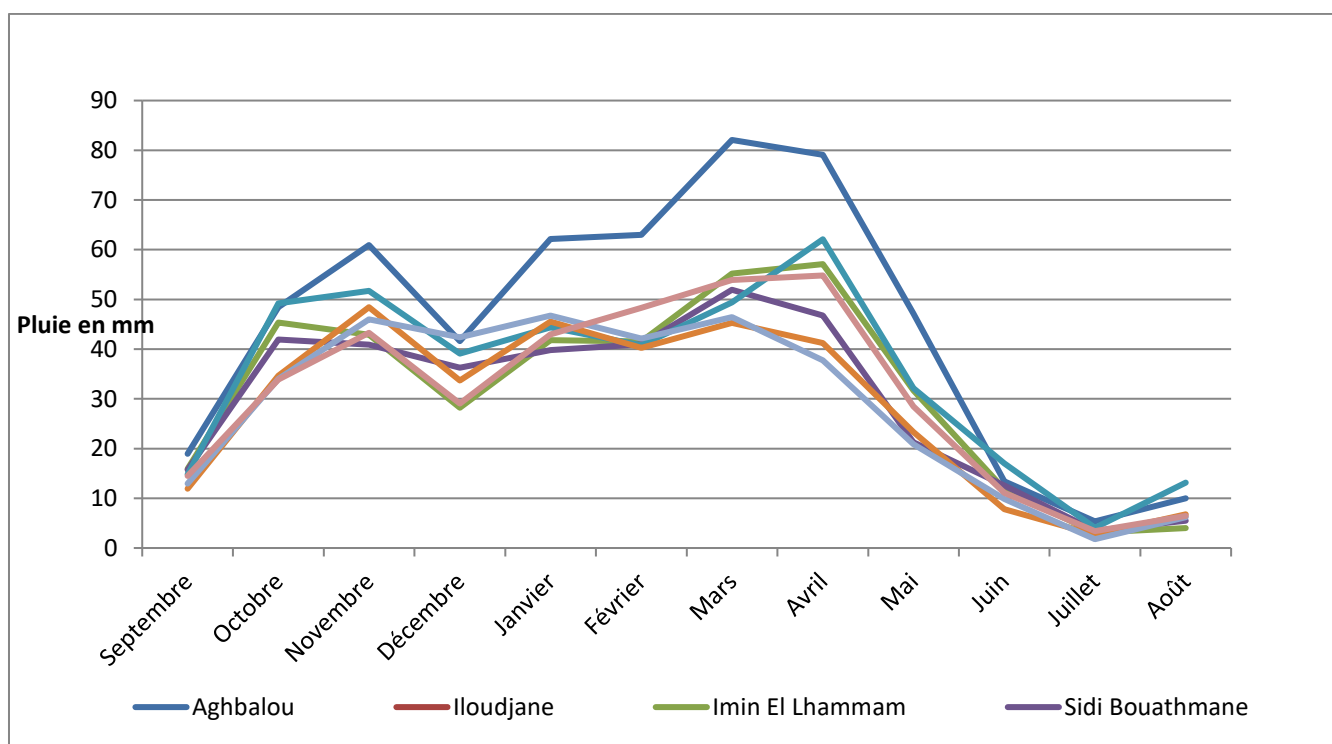


Figure 48 :Variation des précipitations mensuelles moyennes des stations du piémont du Haut Atlas

III.2-Analyses des précipitations saisonnières :

Les précipitations saisonnières ont été calculées à partir des données mensuelles. Les précipitations d'automne sont la moyenne des mois de septembre, octobre et novembre. Les précipitations en hiver sont la moyenne des précipitations des mois de décembre, janvier et février. Les précipitations du printemps sont la moyenne des précipitations des mois de mars, avril et mai. Les précipitations d'été sont la moyenne des précipitations des mois de juin, juillet et août. Les figure (49,50 et 51) montre la répartition saisonnière des précipitations aux seize stations selon la régionalisation. Nous pouvons constater que les précipitations sont plus abondantes au printemps pour les stations de plaines et celle du piémont du Haut Atlas, alors que pour les stations côtières les précipitations hivernales sont les plus abondantes. La saison la plus sèche est l'été avec des précipitations de 1 à 13,16 mm.

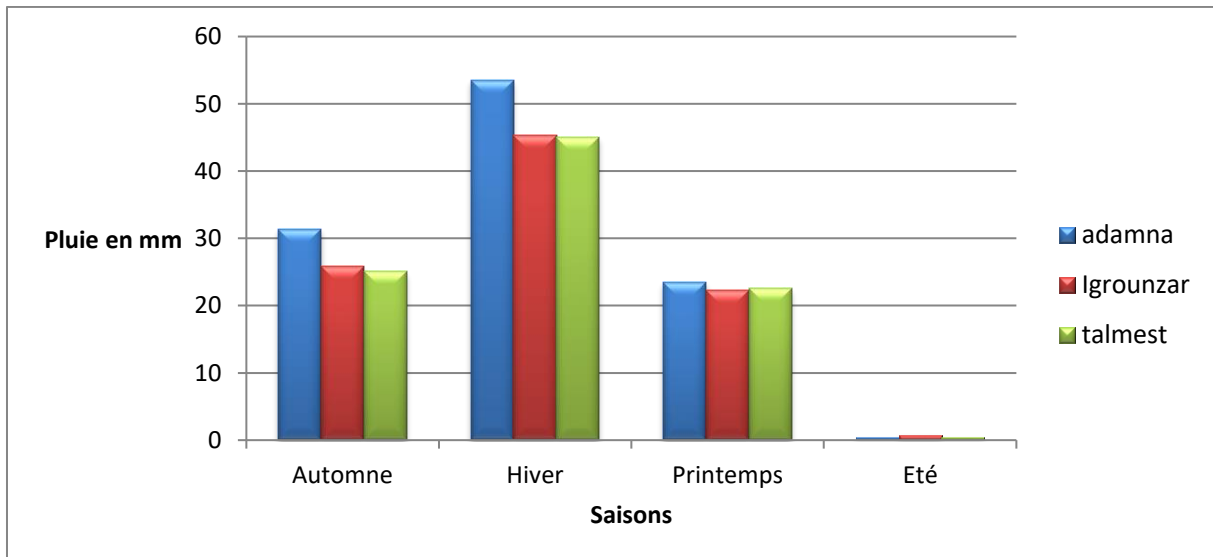


Figure 49 : Variation saisonnière comparative des précipitations mensuelles des stations côtières

- **Régime pluviométrique hivernal** : On constate que la région côtière Figure 49 montre une pluviométrie assez forte durant l'hiver et un peu en automne, les pluies de l'hiver accusent un grand pourcentage par rapport aux autres saisons. Ce type de régime se caractérise par une saison très sèche durant l'été avec un pourcentage presque nul, puis une saison pluvieuse relativement longue qui varie en fonction de la latitude.

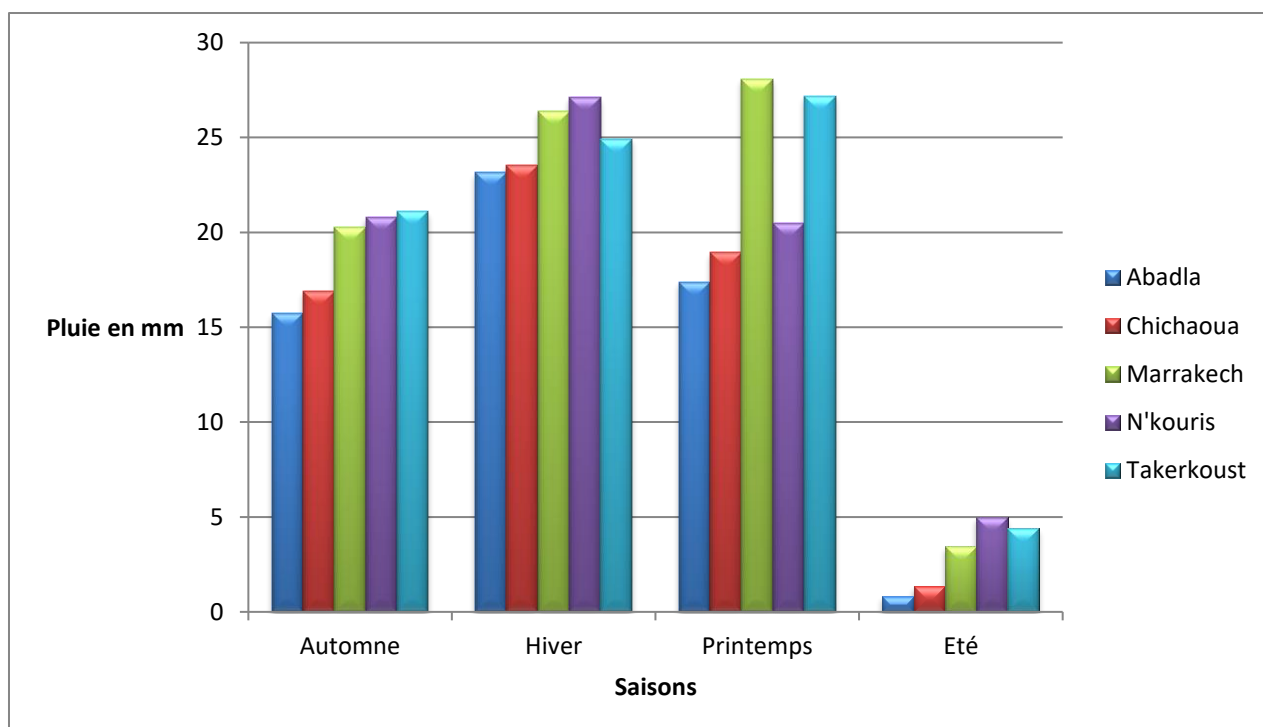


Figure 50: Variation saisonnière comparative des précipitations mensuelles des stations de plaine

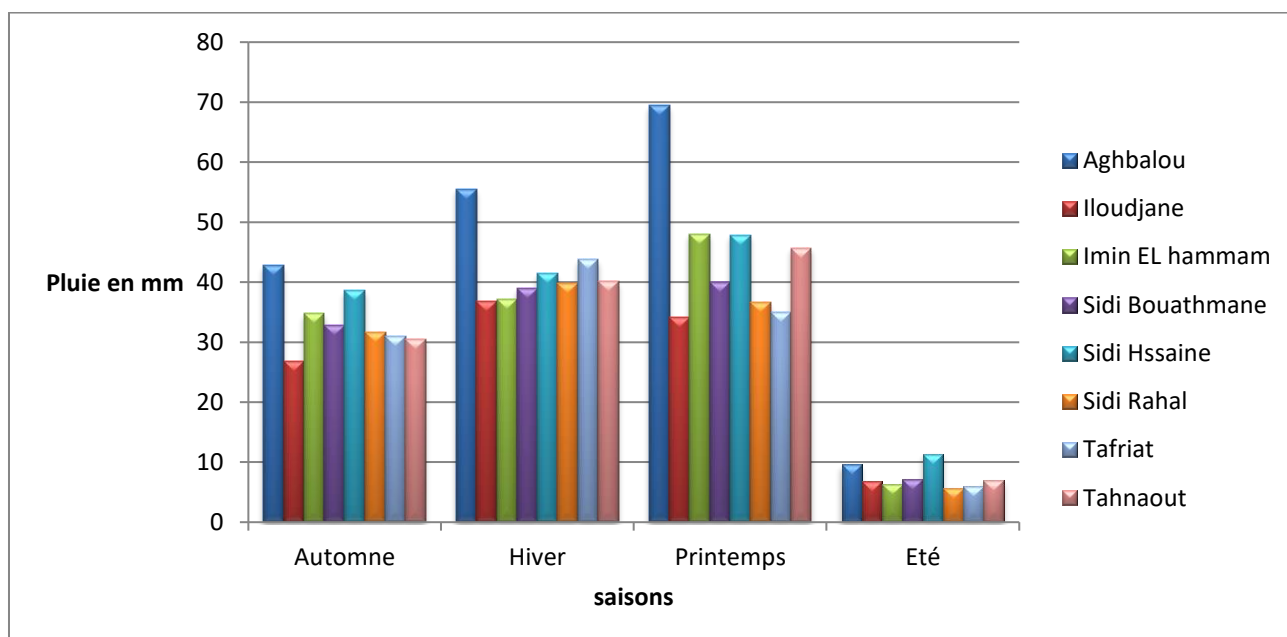


Figure 51 : Variation saisonnière comparative des précipitations des stations du piémont du Haut Atlas

➤ **Régime pluviométrique printanier** : Ce régime qui se caractérise en plus par une saison nettement sèche qui est l'été, par deux saisons pluvieuses ; l'automne et le printemps séparées par un minimum secondaire d'hiver plus ou moins accentué. Les stations du piémont sont caractérisées par les pluies du printemps et une pluviosité plus ou moins accentuée pendant l'hiver. En outre, la sécheresse estivale dans la région de plaine est sensiblement atténuée par les pluies orageuses.

Pour les stations du piémont du Haut Atlas cette sécheresse relative de l'hiver s'explique par le fait que cette région est abritée des précipitations liées du front polaire, cette sécheresse s'explique également par les conditions topographiques locales qui y accusent la continentalité figure 50 et 51

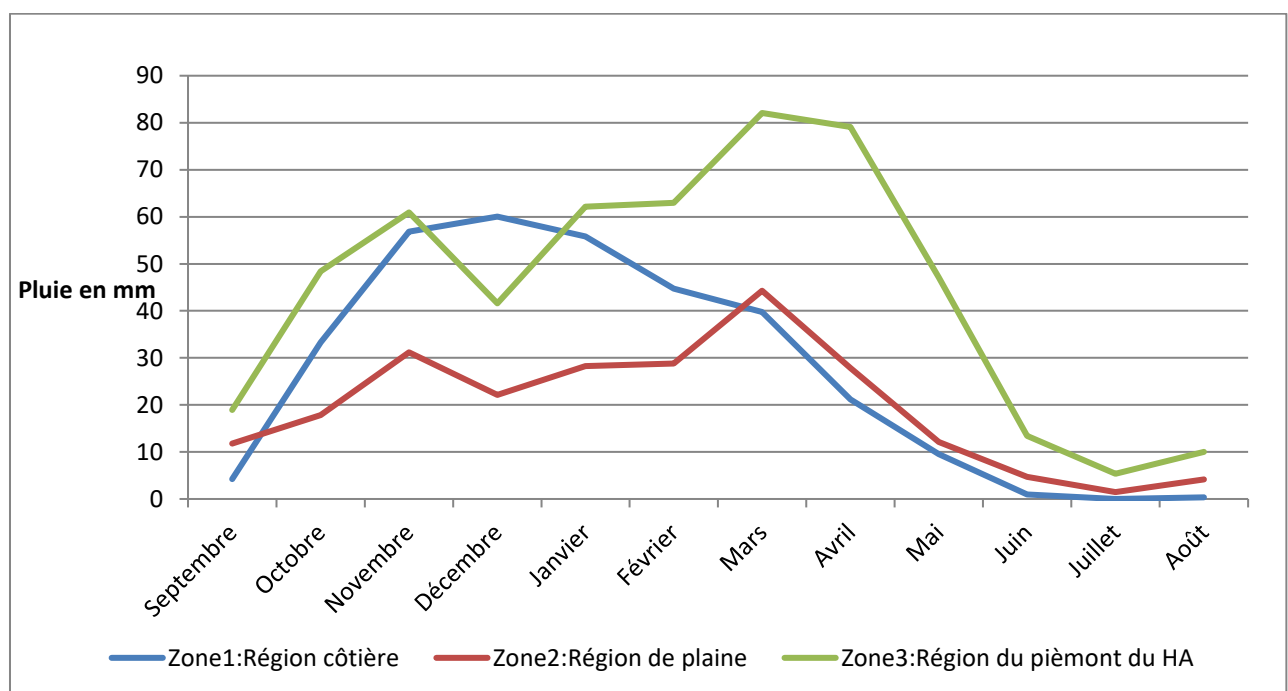


Figure 52 : Comparaison du régime pluvial mensuelle moyen des stations significatives

- Un groupe des stations côtières avec une variété atlantique caractérisée par les pluies hivernales.
- Deux groupes : groupe avec une variété continentale et montagnaise caractérisé par des pluies printanières et des pluies peu automnales.

III.3-Analyse des précipitations annuelles :

La variabilité des précipitations annuelles est évaluée tout d'abord par la comparaison des pluies moyennes de chaque stations depuis 1970-2017 pour la majorité des stations sauf Sidi Hssaine qui s'étend depuis 1998-2017, et ensuite par le coefficient de variation Cv.

Tableau 5 : des précipitations annuelles des stations

Stations	Moyennes des précipitations annuelles (en mm)
Abadla	171 ,91
Adamna	325.84
Aghbalou	532.03
Chichaoua	181.66
Igrounzar	284.47
Iloudjane	314.15
Imin EL hammam	378.75
Marrakech	215.24
N'kouris	220.56
Sidi Bouathmane	357.10
Sidi Hssaine	417.89
Sidi Rahal	341.56
Tafriate	349.15
Takerkoust	369.97
Tahnaoute	233.26
Talmest	260.72

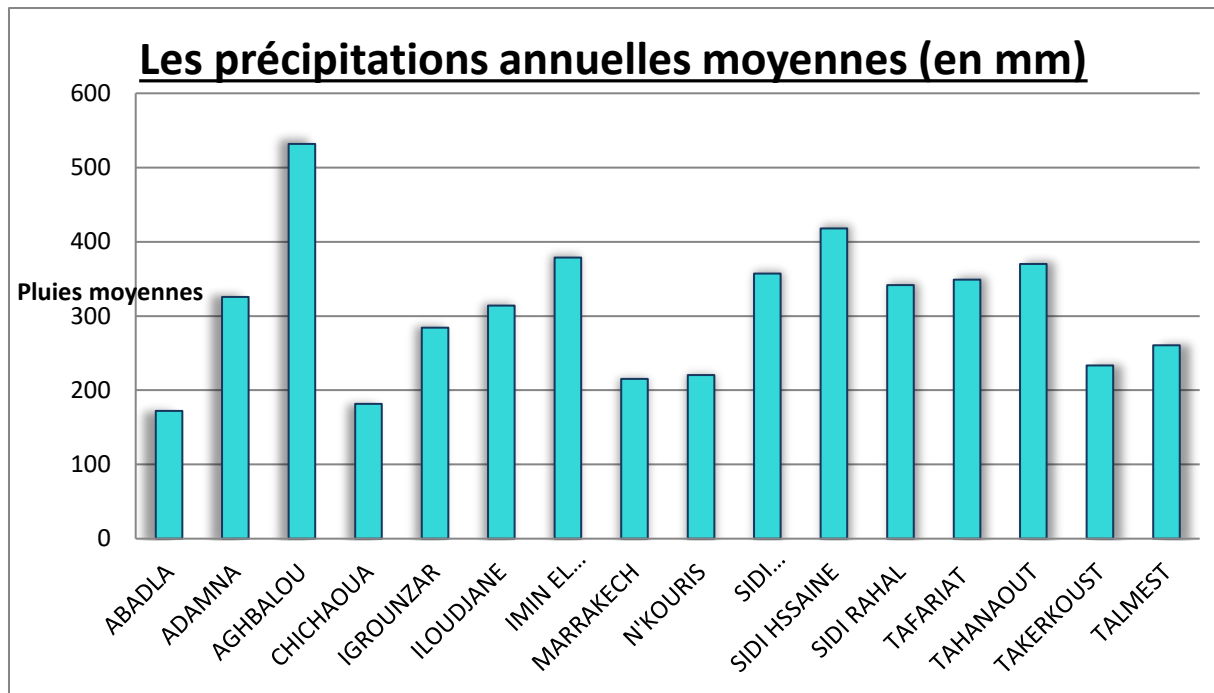


Figure 53: Les précipitations moyennes annuelles en (mm) 1970-2017

La hauteur moyenne annuelle des précipitations est d'environ 533 mm et 417.9 mm respectivement enregistrés à la station d'Aghbalou et à celle de Sidi Hssaine et seulement de 378.73 mm, 369.97 mm et 357.1 mm respectivement aux stations d'Imin El Hammam, de Takerkoust et de Sidi Bouathmne. Seules les stations Marrakech et d'Iguir N'Kouris, malgré sa situation à une altitude assez élevée (1100m), on a une pluviosité faible respectivement de l'ordre 215.24 mm et 220.56 mm.

La station d'Iguir N'kouris est située en position abritée : la baisse des précipitations peut être expliquée par l'influence de l'orographie locale qui bloque la propagation des vents pluvieux en hautes altitudes.

Les précipitations montrent donc une irrégularité remarquable avec un maximum de 532.03 mm et un minimum de 171,91 mm.

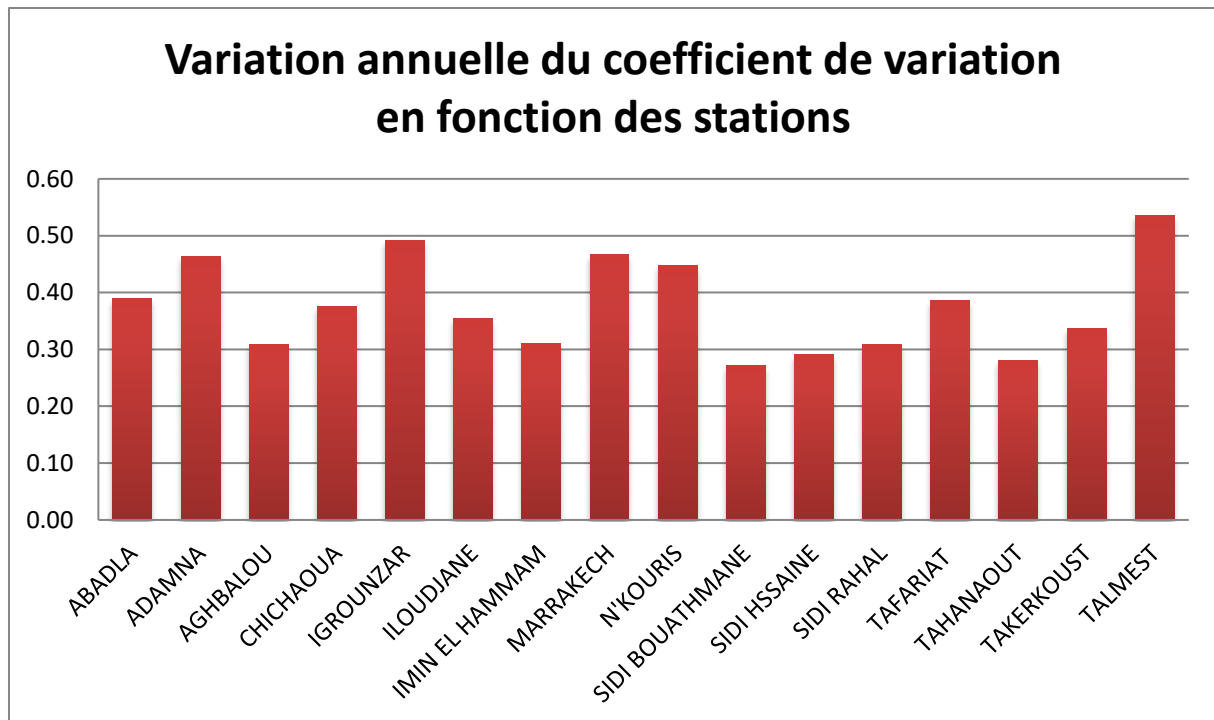


Figure 54 : Variation annuelle du coefficient de variabilité en fonction des stations

- Les coefficients de variation des séries pluviométriques sont faibles et relativement proches l'un de l'autre. Ils varient entre 27 et 54 %, le maximum étant observé à la station de Talmest et le minimum à Sidi Bouathmane.

III.4-Variation temporelle :

La variabilité des précipitations saisonnières évaluée par le coefficient de variation Cv nous avons remarqué que le régime pluviométrique se distingue par l'opposition entre deux grands épisodes :

***L'épisode humide** : Commence au cours du mois de septembre et prend fin généralement, vers la fin du mois de mai.

***L'épisode estival sec** : Elle s'étale du mois de juin jusqu'au début de septembre. On constate que l'été est la saison la plus variable en termes de Cv. Les pourcentages présentés dans le tableau indiquent que l'irrégularité des totaux saisonniers est plus intense que celle des pluies annuelles. Pendant l'été l'intensité de la variabilité relative devient forte vu que les coefficients de variation atteignent des valeurs élevées (Tableau 6)

Tableau 6: Variabilité du coefficient de variation en fonction des mois et des saisons

Saisons	Mois	Coefficient de variation
Automne	Septembre	1.29
	Octobre	0.89
	Novembre	0.77
Hiver	Décembre	0.88
	Janvier	0.70
	Février	0.67
Printemps	Mars	0.67
	Avril	0.83
	Mai	1.09
Eté	Juin	1.61
	Juillet	2.26
	Août	1.81

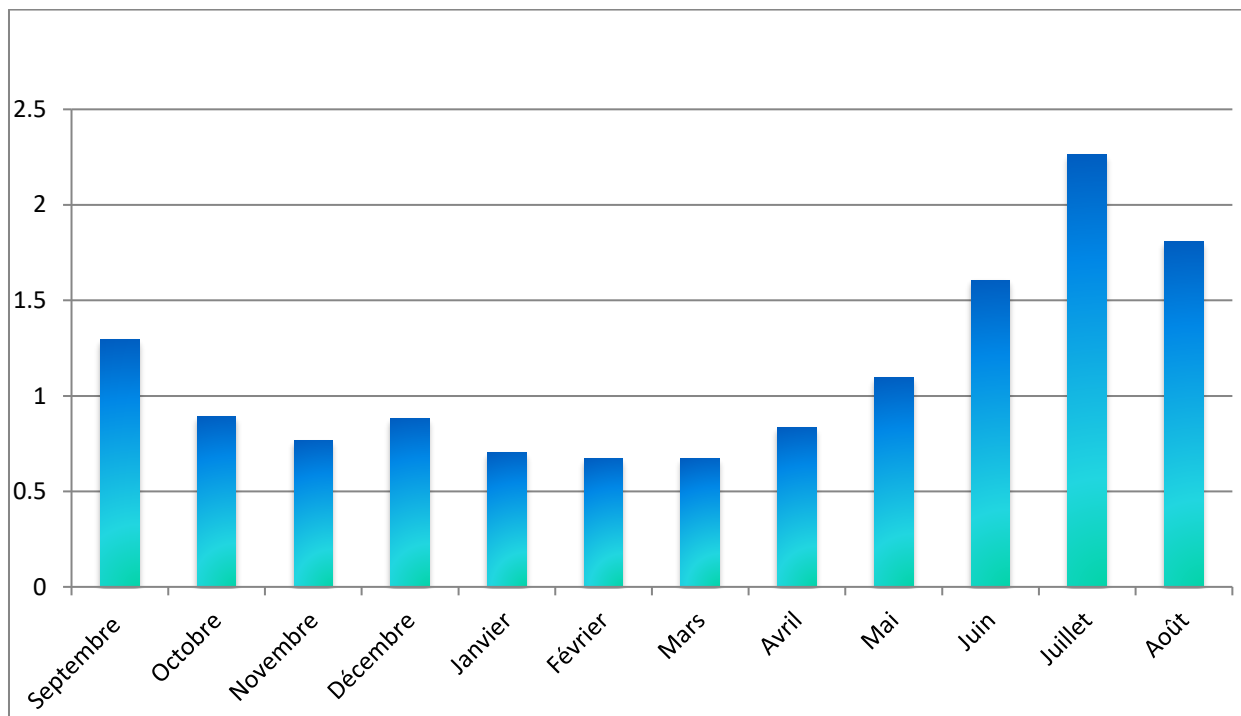


Figure 55: Représentation graphique de la variation temporelle du coefficient de variation

- La représentation graphique des coefficient de variation temporelle montre que l'été est la période la plus variable avec des valeurs qui peuvent atteindre 2.26 enregistré en mois de juillet et 1.81 pour le mois août , alors que les mois les moins variables sont janvier, février et mars qui représente des valeurs stables en moyenne de 0.67.

III.5-La variabilité spatiale :

La relation entre les précipitations et l'altitude et la latitude dépendent fortement de la qualité et de la représentativité des données car la plupart des stations météorologiques en montagne sont localisées dans les vallées et ne sont presque pas disponibles sur les versants ou à proximité des crêtes (Sevruk, 1997).

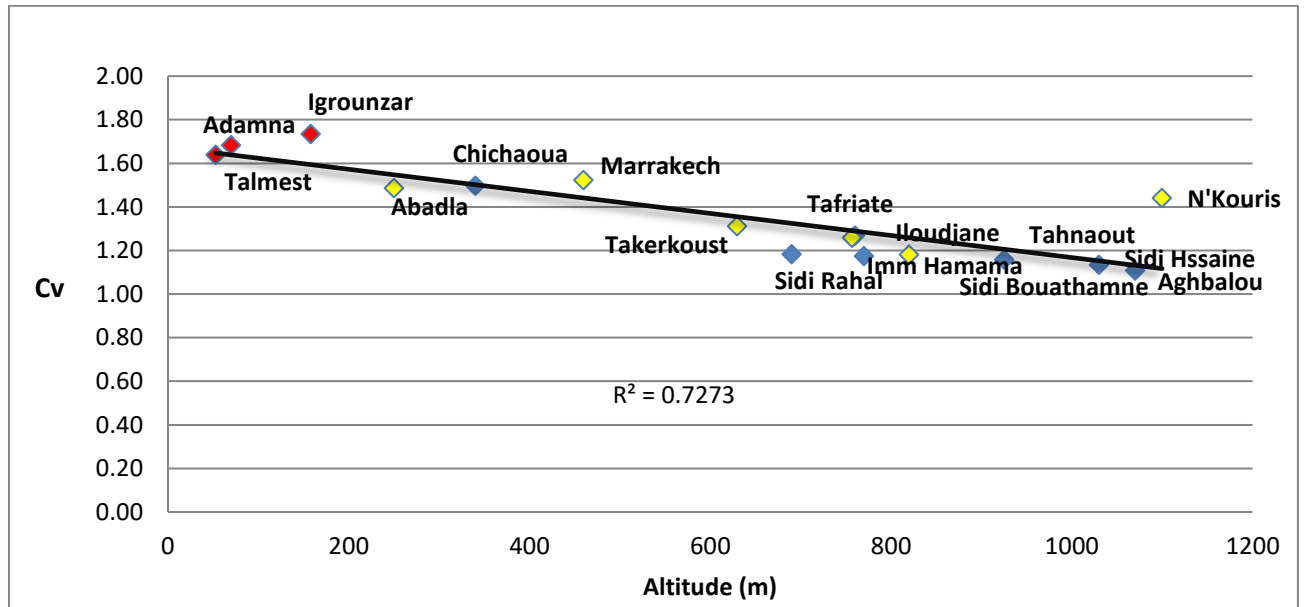


Figure 56: Relation entre coefficient de variation et l'altitude

- D'après les résultats obtenus on constate que plus le coefficient de variabilité est élevé l'altitude diminue c'est le cas des stations Adamna, Igrounzar et Talkest qui font partie de la région côtière caractérisée par un climat méditerranéen océanique, suivie des stations de la région continentale caractérisée par un climat méditerranéen aride avec des coefficients de variabilité assez moyens. Par contre les stations des régions montagneuses ayant des hautes altitudes leurs coefficients sont faibles.

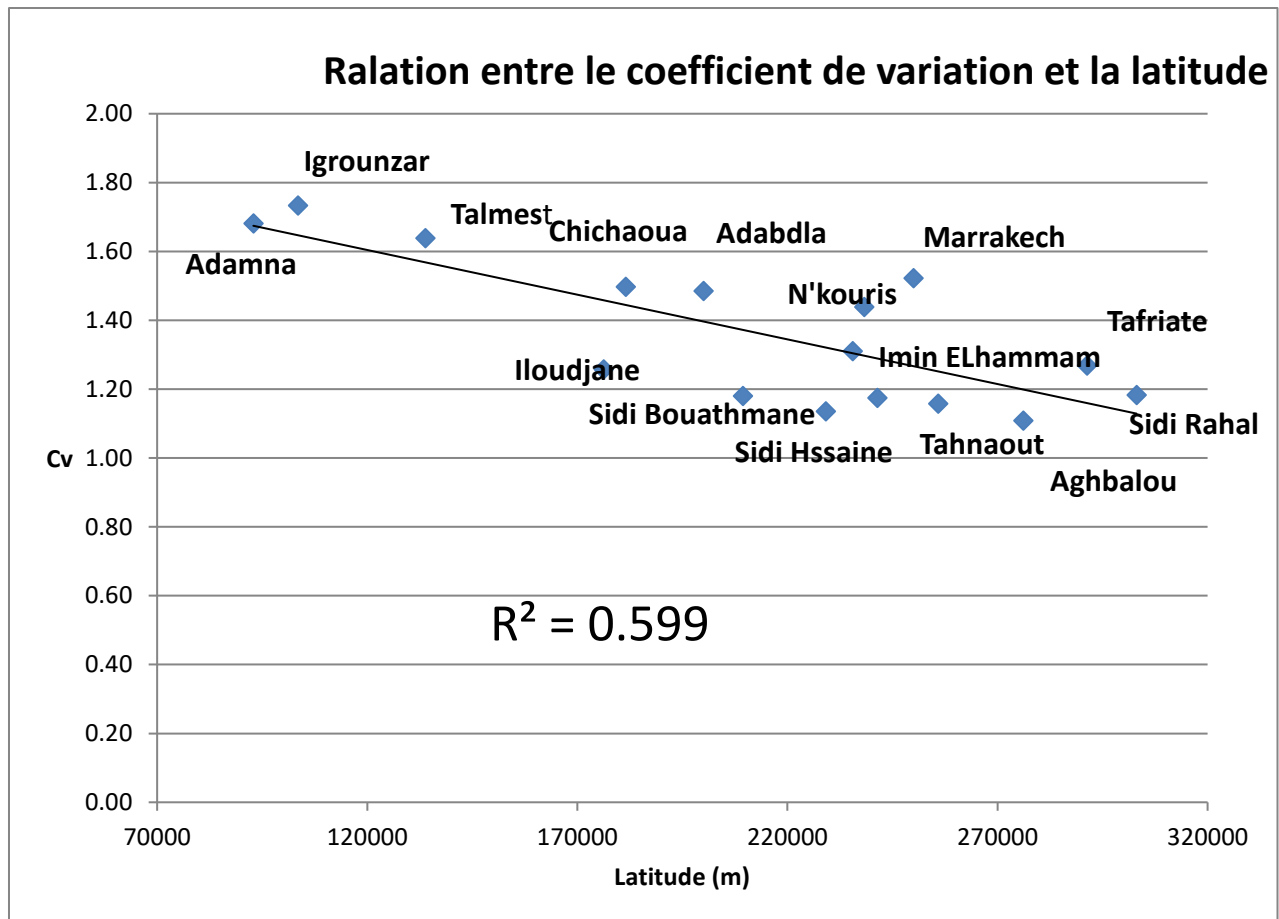


Figure 57: Relation entre coefficient de variation et la latitude

- La variabilité décroît en fonction de la latitude plus la latitude augmente le coefficient de variation est faible , on peut expliquer cette diminution par l'effet de barrière que jouent les chaînes de montagnes dans notre cas la variabilité est observée des stations côtières à faible latitudes vers les stations du piémont du Haut Atlas , alors que les stations de plaines restent en équilibre .

En conclusion , on peut dire qu'il existe un rapport étroit entre le relief et la répartition spatiale des précipitations, il apparait que la variabilité spatiale des pluies annuelles et mensuelles dans notre bassin dépend de deux facteurs principaux : L'altitude, la latitude, et on ajoute également la combinaison entre l'océanité et la continentalité.

III.6-Régionalisation pluviométrique par ACP :

L'objectif de base des méthodes de classification est d'identifier des sous-ensembles d'un ensemble d'objets (par ex : stations météorologiques) regroupés de manière à maximiser la similarité au sein des groupes tout en maximisant les différences entre les groupes.

L'objectif est d'identifier une structure sous-jacente existant dans l'ensemble de données, qui peut alors fournir un cadre pour de plus amples enquêtes (Sebbar.2011). Dans le cas des régionalisations climatiques, les méthodes de classification par ACP sont utilisées pour identifier les ensembles d'emplacements qui sont homogènes en termes d'un ensemble de variables qui ont été choisies pour représenter, spatialement, "la pluviométrie" ; ces groupements définissent des régions qui peuvent être utilisées pour décrire les modèles climatiques, et aussi élucider les paramètres et mécanismes contrôlant la variabilité spatiale des précipitations.

La régionalisation est une technique très utilisée pour la description de la variabilité climatique à une échelle intra-régionale. Elle a l'avantage de réduire le nombre de paramètres décrivant la variabilité climatique dans des régions homogènes (Indeje et al., 2000) et sert à surmonter le problème du manque ou de l'insuffisance des données en utilisant les informations disponibles dans des sites de mesures proches. En présence de données suffisantes, une subdivision de la région d'étude est nécessaire afin de considérer l'influence des variations spatiales de la topographie et de la couverture du sol sur les conditions climatiques.

La régionalisation est réalisée en se basant sur les méthodes de classification notamment sur l'analyse des Composantes Principales. Cette analyse en composantes principales nous l'avons appliquée aux matrices de corrélation entre les stations des précipitations mensuelles.

Bien que ces indices ne constituent pas les seuls facteurs, l'altitude semble avoir un rôle dans cette régionalisation (Tableau 7)

Les données des pluies annuelles observées au sein des bassins versant du Tensift et Oued Ksob ayant des périodes de mesures varient, la plupart des enregistrements commencent au cours des années 1970 sauf la station Sidi hssaine qui commence en 1998. La majorité des séries contiennent des données manquantes.

Tableau 7 : Altitudes et régionalisation des stations du bassin Tensift

Zones	Stations	Altitudes (m)	Climat
Zone 1	Adamna	70	Méditerranéen océanique semi- aride
	Igrounzar	205	
	Talmest	53	
Zone 2	Abadla	250	Méditerranéen continental aride
	Chichaoua	340	
	Iguir N'kouris	1100	
	Marrakech	460	
	Takerkoust	630	
Zone 3	Aghbalou	1070	Aride à semi-tempéré
	Imin El hammam	770	
	Iloudjane	757	
	Sidi Bouathmane	820	
	Sidi hssaine	1030	
	Sidi Rahal	690	
	Tafriate	760	
	Tahnnaoute	925	

En fonction d'altitude, l'éloignement de la mer et la proximité des montagnes du Haut Atlas , la zone d'étude montre un climat très différencié d'une zone à l'autre.

Zone 1 : Regroupe les stations de la région Essaouira-Chichaoua caractérisé par un climat méditerranéen océanique semi-aride influencé par le courant froid des Canaries.

Zone 2 :Regroupe les stations de la plaine du Haouz caractérisée par un climat méditerranéen continental aride.

Zone 3 :Regroupe les stations du piémont du Haut Atlas caractérisé par un climat continental aride à semi-tempéré (Tempéré en moyenne montagne et froid /humide en haute montagnes). Elle est associée à un éloignement maximal de l'atlantique traduit par les hauts reliefs et la pluviométrie fortes dans ces stations

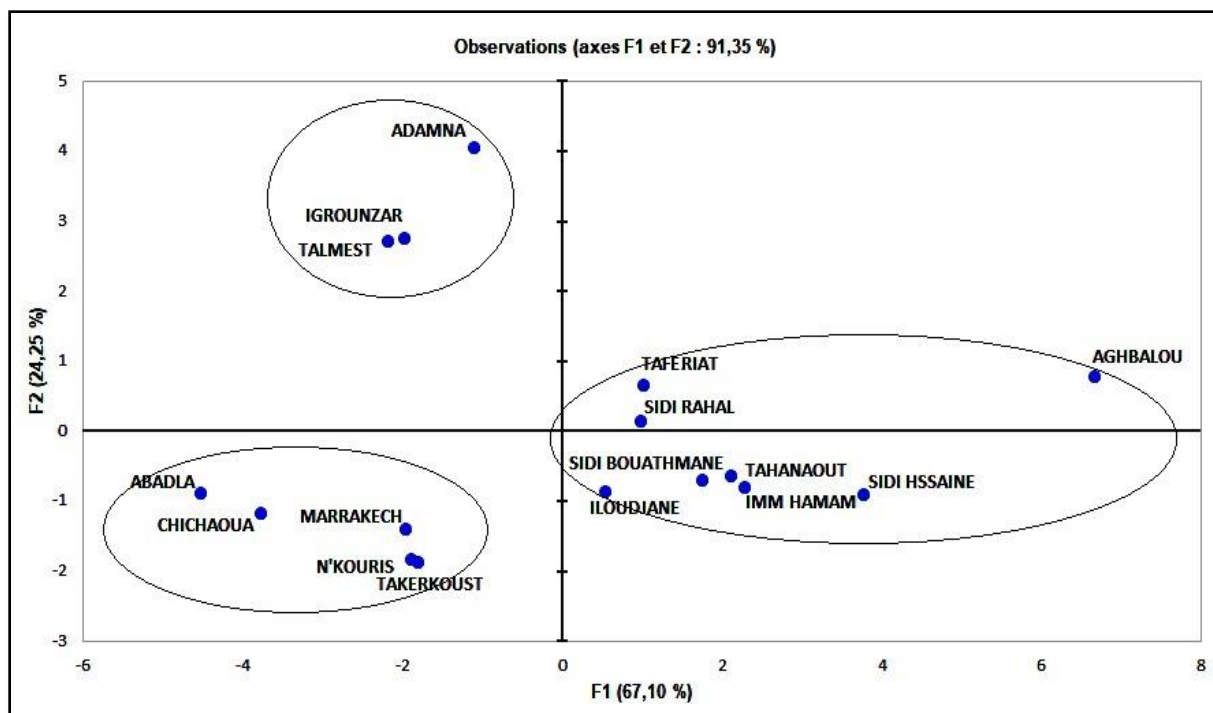


Figure 58 : Présentation des résultats de la régionalisation pluviométrique par ACP

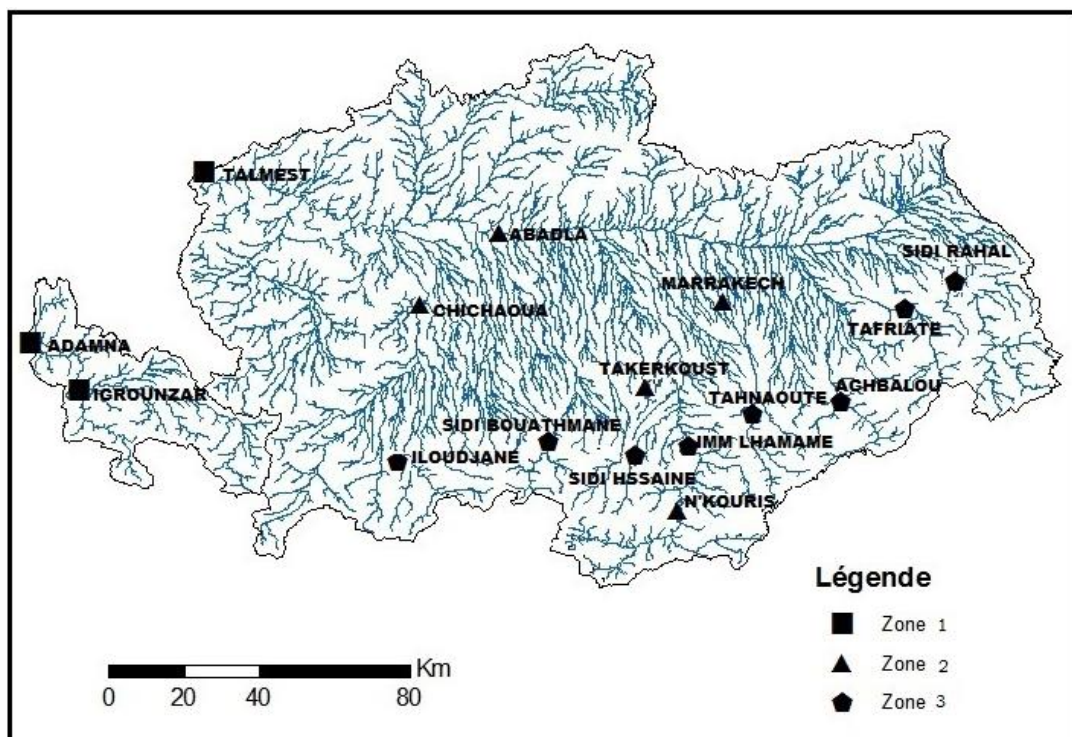


Figure 59: La régionalisation pluviométrique du bassin hydraulique Tensift par zones

III.7.Conclusion :

- Sur l'ensemble de la région d'étude, les précipitations sont homogènes et très importantes. Cette abondance peut s'expliquer par l'importance des averses hiverno-printanière et automnale suite à l'influence des masses d'air humides atlantiques.
- L'analyse des pluies moyennes annuelles montre une grande variabilité interannuelle et saisonnière. Cette forte irrégularité est traduite par les valeurs du coefficient de variation élevé.
- La grande variabilité spatiale et temporelle des moyennes pluviométriques au niveau de toutes les stations étudiées est bien marquée. Ces fortes fluctuations se traduisent par une alternance d'années sèches et d'années humides
- La répartition spatio-temporelle des précipitations annuelles au bassin de Tensift et Oued Ksob est influencée par la topographie, la proximité de la mer, et des différentes configurations de la circulation atmosphérique.
- La variabilité et l'évolution spatio-temporelle des précipitations dans notre bassin à l'échelle annuelle ou saisonnière confirment la diversité du climat dans la zone d'étude ce qui est confirmé par l'homogénéisation pluviométrique. Ce climat, présente les caractéristiques du climat méditerranéen, montagnard et continental.

Chapitre 4 : Liens entre les indices NAO et la pluviométrie

IV.1.Définition :

La NAO (Oscillation du Nord Atlantique) est une variation du climat naturelle qui a des impacts importants sur le climat de l'Europe de l'ouest, des environs du nord de l'Afrique et de l'est de l'Amérique du Nord. La NAO a des effets bien plus importants en hiver qu'en été. C'est vers 1920 que les deux météorologues, l'autrichien Friedrich et l'anglais Gilbert Walker ont découvert l'Oscillation du Nord Atlantique.

Cette Oscillation a aussi une certaine influence, car elle détermine le positionnement et la trajectoire des dépressions de l'hémisphère Nord. La variation de ce phénomène dépend de la pression atmosphérique.

Des notes du 18^e siècle rapportent que les conditions hivernales étaient souvent opposées entre le Danemark et ses comptoirs de l'ouest du Groenland, entre douceur humide et froid sec. D'anciens récits font aussi état de liens entre les conditions météorologiques de différentes régions du monde. Ces observations empiriques furent ensuite explorées à l'aide de séries de mesures. Ces études ont mis en évidence des relations statistiques fortes entre divers paramètres météorologiques sur plusieurs milliers de kilomètres : ces liens distants sont appelés des « **téléconnexions** » (étymologiquement « liens à distance »). Ces téléconnexions révèlent une organisation préférentielle de la circulation atmosphérique et des conditions météorologiques associées, ce qui est nommée un **mode de variabilité**.

On rappelle qu'une **corrélation statistique** est une relation étroite entre deux paramètres qui varient conjointement (dans le même sens). Si ces deux paramètres varient en sens contraires, il s'agit d'une anti-corrélation. La Figure 60 illustre une des téléconnexions liées à l'Oscillation nord atlantique, entre la dépression d'Islande et l'anticyclone des Açores. Il s'agit du 'moteur' même de cette oscillation : un jeu de bascule des masses d'air, et donc de pression atmosphérique, entre le sud et le nord du bassin nord atlantique.

IV.2.L'indice NAO et méthodes de calcul :

Au fil des études, cette bascule de pression entre sud et nord du bassin nord atlantique est apparue comme la caractéristique la plus importante de ce mode NAO. D'une part cette bascule induit une forte téléconnexion entre ces deux régions, d'autre part elle est capable de modifier la trajectoire des perturbations qui traversent l'Atlantique.

Un indice de l'activité de cette Oscillation -l'**indice NAO**- a donc été établi à partir des mesures de pression (Figure 60). L'activité NAO est forte lorsque la bascule de pression est forte entre l'Islande et les Açores (régions appelées les '**centres d'action**'). Une bascule forte implique d'importantes fluctuations de la pression autour de sa moyenne dans chacun de ces centres, et que ces fluctuations soient opposées (anti-corrélées).

L'activité NAO est au contraire faible lorsque la pression ne varie pas conjointement au sud et au nord, ou lorsque la pression varie peu. L'indice NAO est calculé pour osciller autour de zéro. Ainsi, il est positif lorsque la bascule penche vers le nord, négatif lorsqu'elle penche vers le sud, et proche de zéro lorsque la bascule est à plat (activité NAO faible). Plus sa valeur est importante plus la bascule de pression est penchée. L'indice se calcule pour chaque hiver et il est compris entre -5 et +5.

En pratique on utilise plusieurs techniques pour calculer des indices assez proches. L'indice le plus simple est basé sur les mesures de pression réalisées en quelques stations de l'Islande et du sud-ouest de l'Europe (Açores et/ou péninsule ibérique).

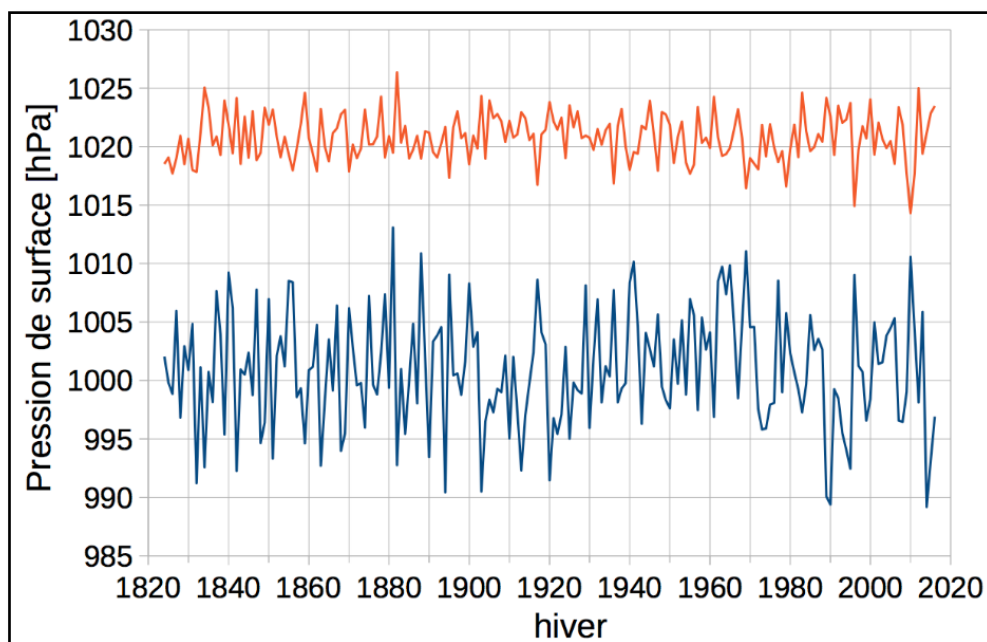


Figure 60 : Moyennes hivernales de la pression atmosphérique au sol mesurée en Islande (en bleu) et aux Açores (en rouges).

IV.3.Variation des phases positives et négatives des indices NAO :

En particulier, les décennies 1900-1910, 1920-1930, et 1990-2000 furent marquées par une **phase positive** de la bascule (dite 'NAO+') avec un indice en moyenne assez positif. Plus la différence des anomalies de pression entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande est importante plus l'index de la NAO est positif. Alors un vent d'ouest important souffle vers l'est en apportant la douceur de l'océan Atlantique sur l'Europe centrale et méridionale et la pluie sur l'Europe du nord et en repoussant l'air froid venu de la Sibérie. Le sud-est des Etats-Unis a un hiver plus doux et humide mais le Québec et le Groenland ont un hiver plus froid et sec.

Le jet-Stream est plus situé vers le nord tout comme les trajectoires des dépressions qui semblent plus intenses en phase positive. Avec une différence de pression plus importante entre les anticyclones et les dépressions, l'Europe connaît plus de tempêtes et plus importantes.

À l'inverse, les décennies 1850-1860 et 1950-1970 ont été marquées par une **phase négative** ('NAO-'). Mais de telles persistances n'empêchent pas des valeurs extrêmes en sens opposé : l'hiver 1995-96 fut par exemple marqué par une valeur particulièrement négative de l'indice, au milieu d'une décennie plutôt positive.

Moins la différence des anomalies de pression entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande est importante plus l'indice de la NAO est négatif.

Comme le vent d'ouest est calme l'anticyclone de la Sibérie amène de l'air froid et sec sur l'Europe. Les perturbations s'engouffrent plus au sud, apportant des pluies sur les régions méditerranéennes. Le sud-est des Etats-Unis a un hiver plus froid mais le Québec et le Groenland ont un hiver plus doux (figure 61).

Lors du NAO⁻ le Jet-Stream est plus situé vers le sud que lors du NAO⁺ c'est la raison pour laquelle que l'Afrique du nord est plus humide que la normale.

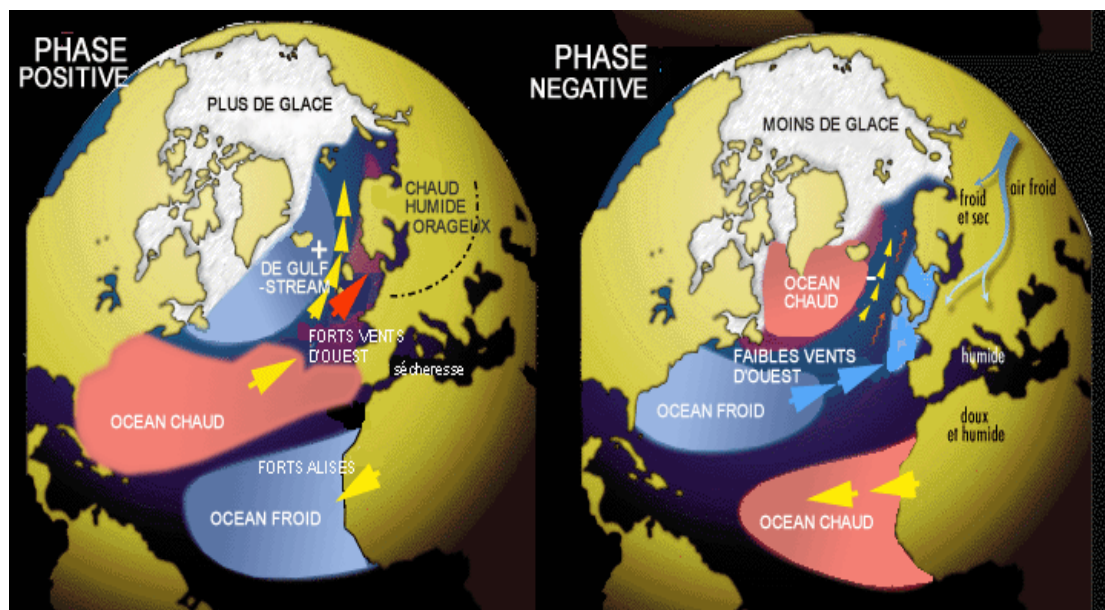


Figure 61: Schéma illustrative entre NAO positif et NAO négatif.

IV.4 .Relation NAO et précipitations annuelles :

Selon les résultats relatés dans les graphes, nous remarquons que les valeurs de l'oscillation Nord Atlantique (NAO) sont en relation inverse avec les valeurs de l'indice pluviométrique .Sur le plan du bassin Tensift, le calcul de l'indice pluviométrique standardisé, nous a permis de localiser des phases sèches et d'autres humides.

VI.4.1.Définition du SPI :

L'indice standardisé de précipitation «SPI» (Standardised Precipitation Index) a été développé en vue de caractériser le déficit des précipitations pour une période donnée. Il permet de classer les périodes de sécheresse ainsi que leur sévérité. Cet indice est calculé surtout lorsque les précipitations ne sont pas normalement réparties. Le SPI permet de quantifier le déficit des précipitations et de classer les années suivant leur degré de sécheresse et, par suite, il donne une indication sur l'impact de la sécheresse sur la situation des différents types de ressources naturelles sensibles de façon directe à la sécheresse comme les ressources en eau. (Hicham Ezzine & Mohammed Messouli & Boris Krause (janvier 2016)).

VI.4.2.Les principaux avantages du SPI sont les suivants :

L'indice SPI offre une bonne souplesse d'utilisation: il est possible de le calculer pour de multiples échelles de temps.

Quand il porte sur un laps de temps relativement court, entre 1 et 3 mois par exemple, l'indice SPI permet de détecter rapidement les situations de sécheresse et d'en évaluer la gravité.

L'indice SPI présente une bonne cohérence spatiale, ce qui permet d'établir des comparaisons entre des zones différentes soumises à des climats différents.

Sa nature probabiliste le place dans un contexte historique, ce qui convient bien à la prise de décision. **Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, 2012**

VI.4 .3.Classification du SPI :

-L'indice SPI se calcule selon la formule suivante :

$$SPI = (P_i - P_m) / m\sigma$$

Avec : **P_i** est la précipitation de l'année, **P_m** est la précipitation moyenne et **σ** est l'écart-type.

-Les probabilités sont standardisées de sorte qu'un SPI de 0 indique une quantité de précipitation médiane. Cet indice permet de déterminer le degré d'humidité ou de sécheresse du milieu, il est négatif pour les sécheresses, et positif pour les conditions humides.

Tableau 8 : Classification de la sécheresse selon l'indice SPI Hicham Ezzine & Mohammed Messouli & Boris Krause (janvier 2016)

Classification du SPI	
$SPI \geq 2$	Humidité extrême
$1,5 \leq SPI < 2$	Humidité forte
$1 \leq SPI < 1,5$	Humidité modérée
$-1 < SPI < 1$	Normal
$-1,5 < SPI \leq -1$	Sécheresse modérée
$-2 < SPI \leq -1,5$	Sécheresse forte
$SPI \leq -2$	Sécheresse extrême

Interprétation de résultats (Voir annexe) :

Toutes les stations étudiées dépassent 20 ans de données , on note :

- Les années dont l'indice de SPI est compris entre -2 et -1, caractérisant une sécheresse généralement forte pour la plupart des stations. Durant les années 74/75 , 80/81 , 82/81 ,82/83,86/87, 91 /92, 95/96 , 00/01 , 07/08 , 16/17
- Les années avec un SPI supérieur à -2 souffrent d'une sécheresse telles que : Sidi-Bouathmane, Taferiat, Sidi-Rahal et Talmest, Marrakech et cela ne veut pas dire que les années humides sont négligeables, l'humidité peut être forte à extrême avec un SPI >1.

En gros, cet indice présente une forte irrégularité pour toutes les stations la plupart des stations tendent vers la sécheresse. On constate que l'indice standardisé présente une forte tendance vers la baisse. On peut dire donc une tendance importante vers la diminution du nombre d'années humides et d'augmentation du nombre d'années sèches.

IV.5.Relation NAO et précipitations annuelles :

Selon les résultats relatés dans les graphes, nous remarquons que les valeurs de l'oscillation Nord Atlantique (NAO) sont en relation inverse avec les valeurs de l'indice pluviométrique .Sur le plan du bassin Tensift, le calcul de l'indice pluviométrique standardisé, nous a permis de localiser des phases séchresses et d'autres humides qui sont traduites par l'abondance ou la diminutions des précipitations.

❖ Région côtière :

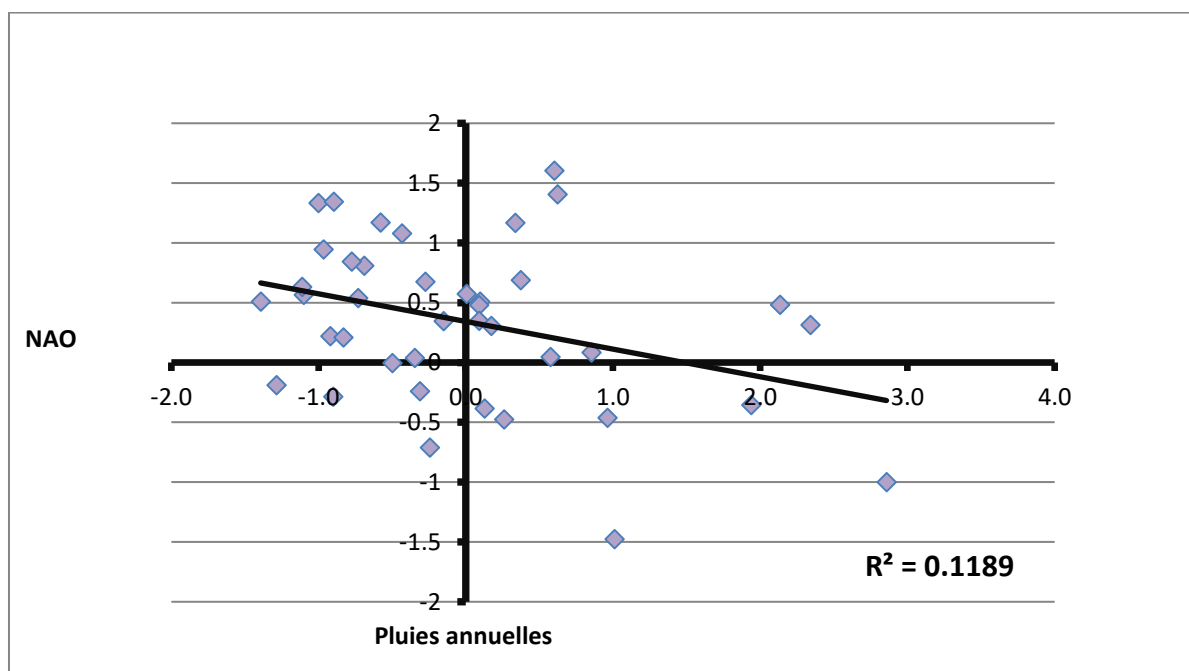


Figure 62 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Adamna ,Maroc)

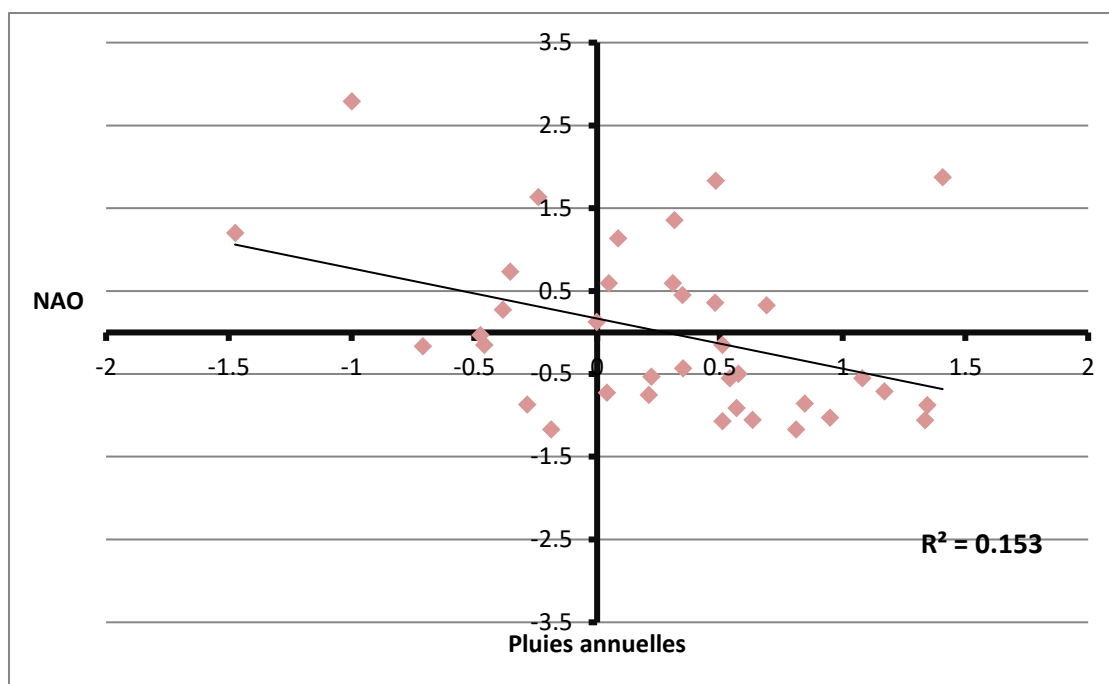


Figure 63 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (I grounzar,Maroc)

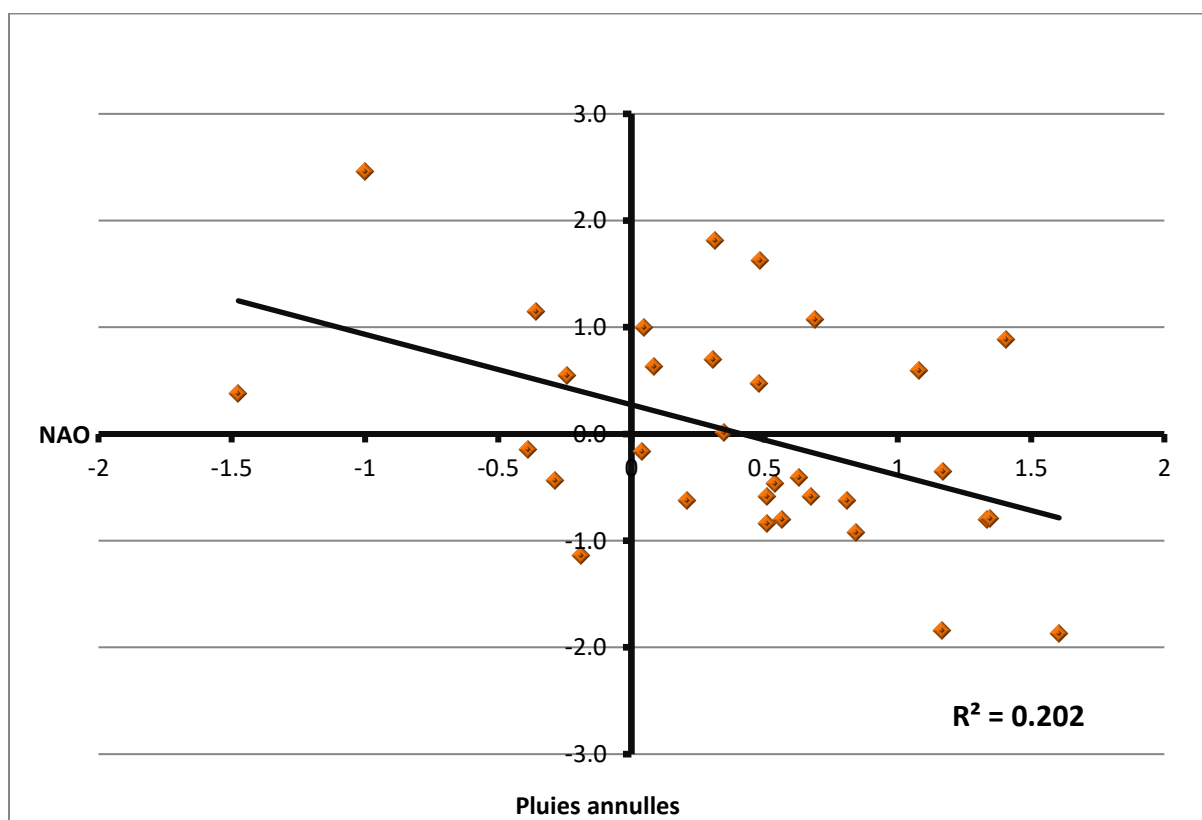


Figure 64 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Talmet,Maroc)

On constate que les stations de la région côtière sont caractérisées par des coefficients de corrélation élevé. Les graphes montrent ainsi que toutes les stations sont influencés par des facteurs climatiques globaux avec des exceptions d'années qui enregistre un maximum d'indice NAO et précipitations en parallèle

❖ Région de plaine :

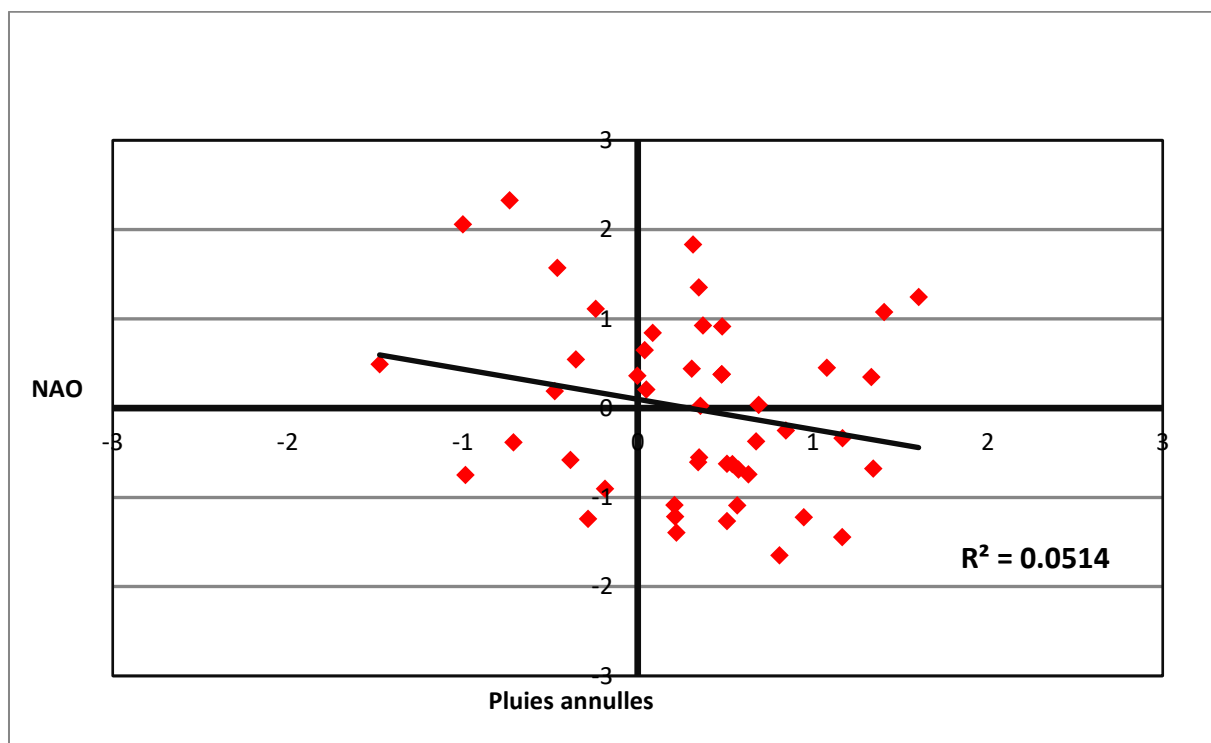


Figure 65 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Abadla,Maroc)

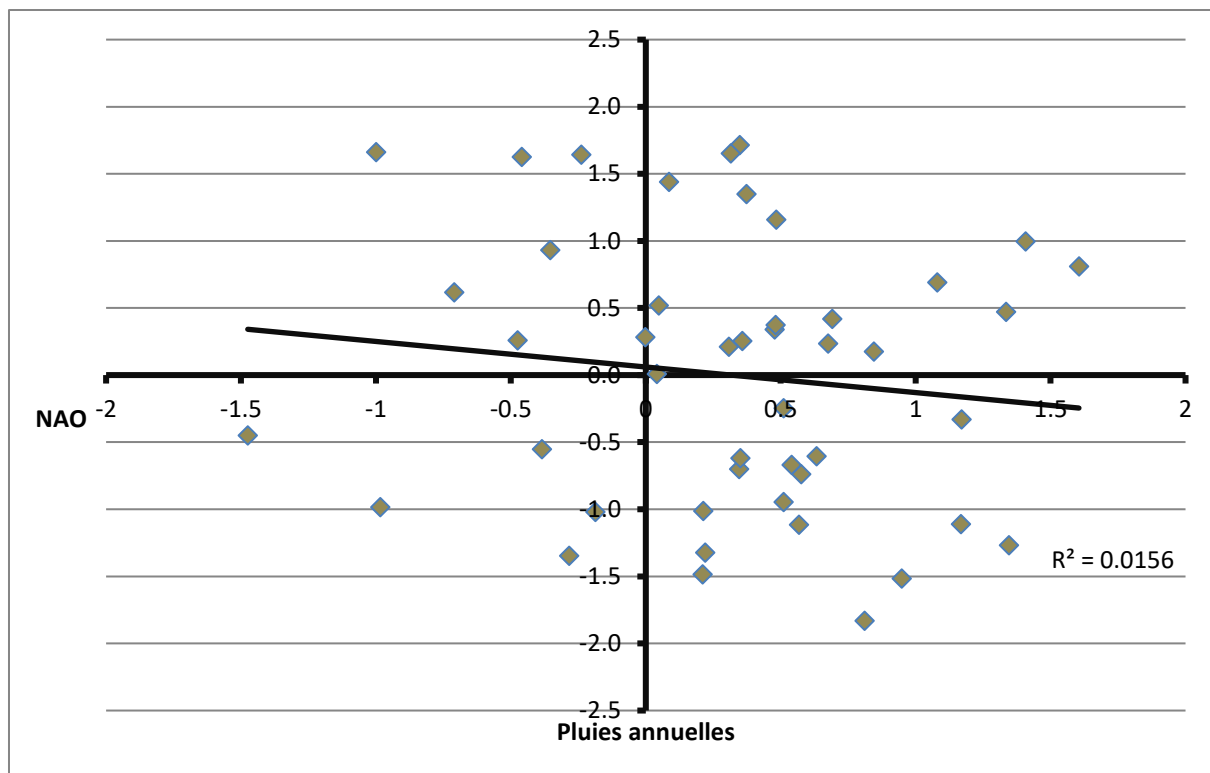


Figure 66 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Chichaoua,Maroc)

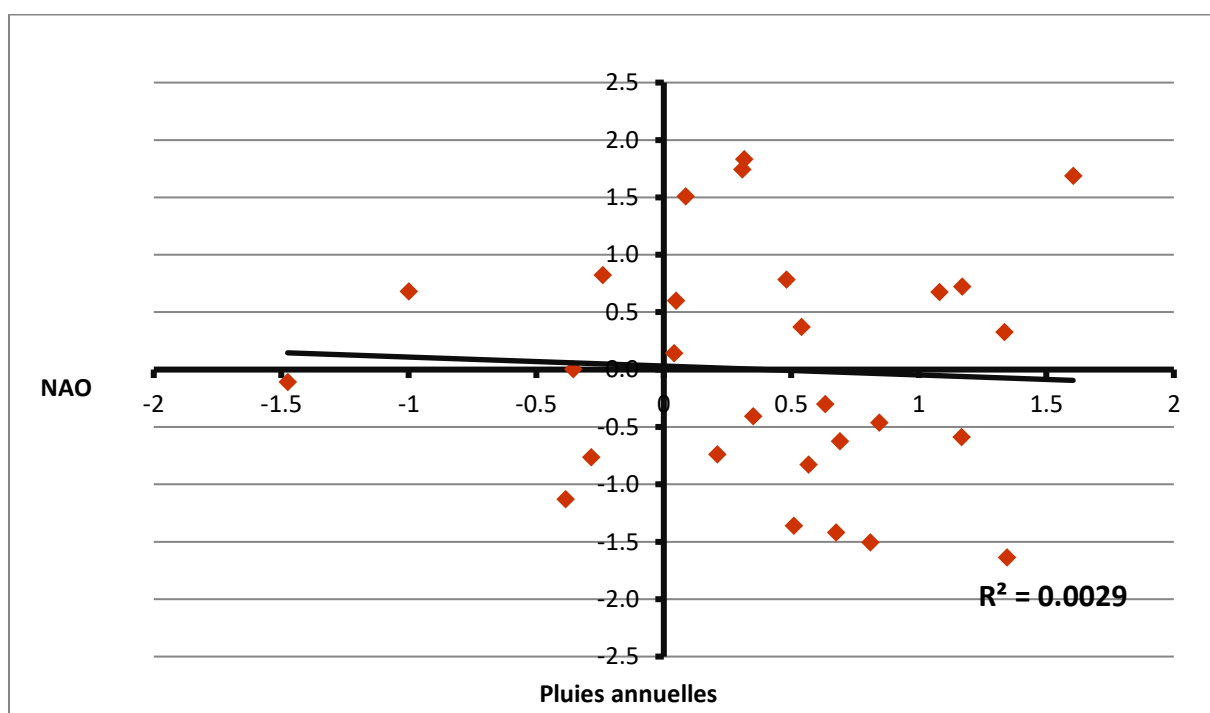


Figure 67 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Iloudjane,Maroc).

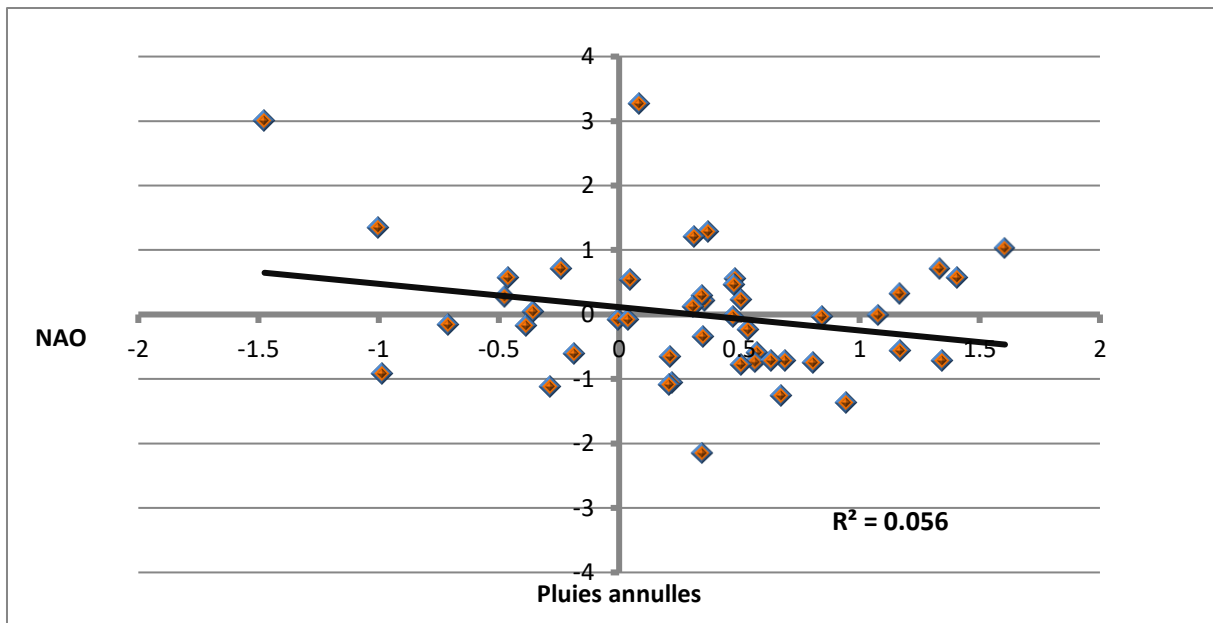


Figure 68 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Marrakech, Maroc)

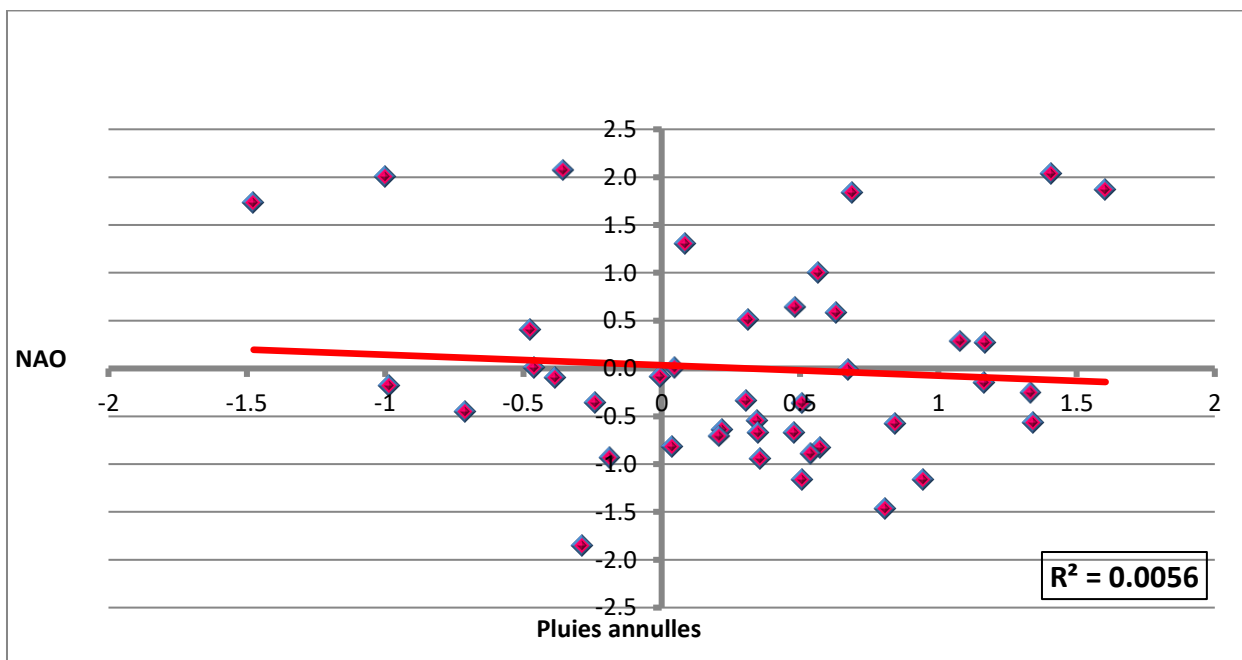


Figure 69 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (N'kouris, Maroc)

- D'après les graphes qui illustre la relation entre les variations des pluies annuelles en fonction d'indices NAO. On note que les coefficients de variations sont très faibles d'autre côté on observe une grandes dispersion au niveau des années hydrologiques. Du fait , les stations de la plaine sont influencées à la fois par des facteurs globaux et locaux.

- A part la station d'Iguir Nkoris qui marque une exception avec un coefficient presque négligeable vue l'effet d'abrité qui l'influence le plus

❖ **Piémont du Haut Atlas :**

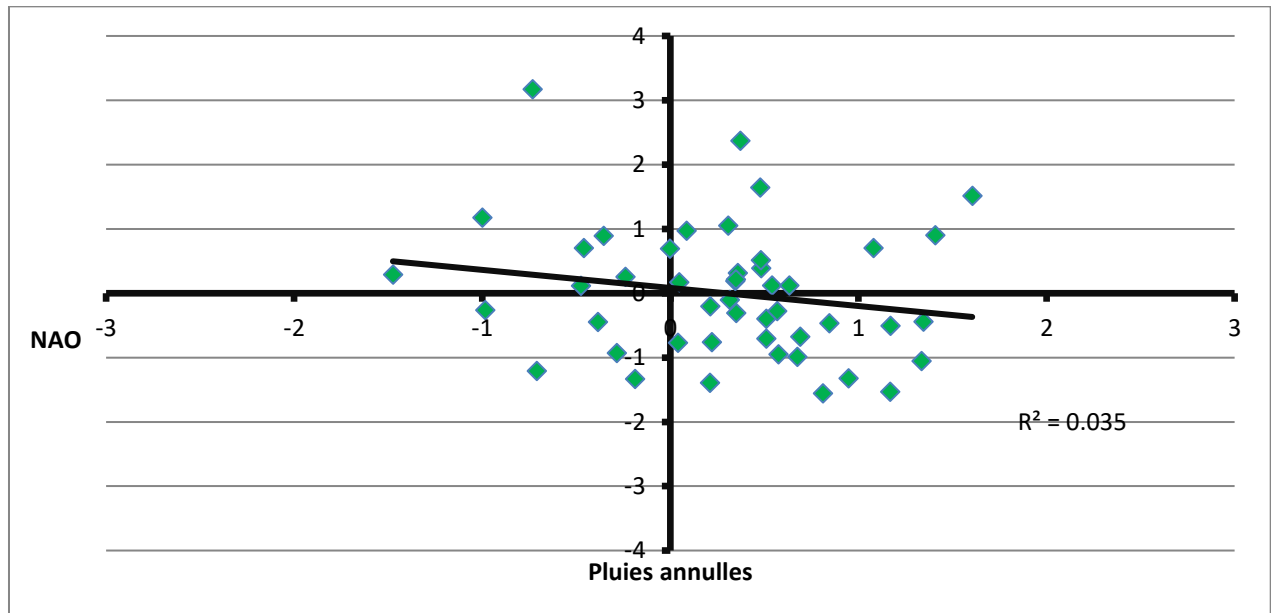


Figure 70 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Aghbalou,Maroc)

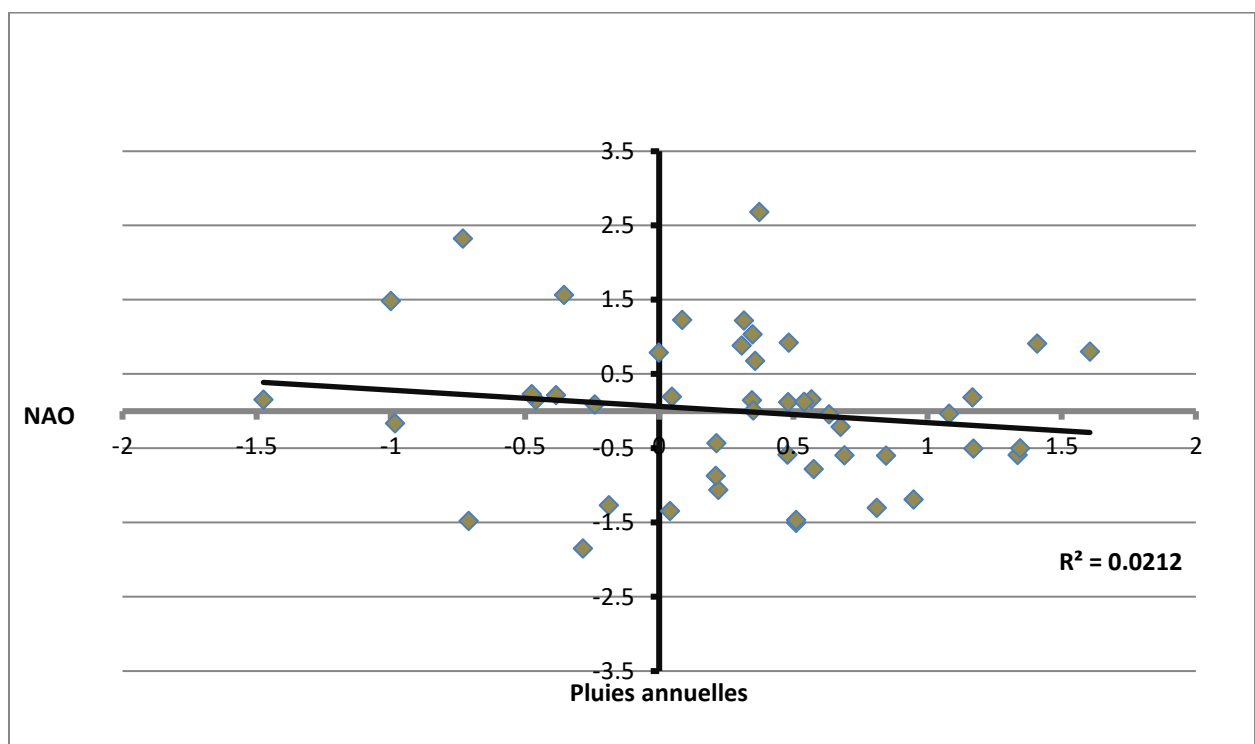


Figure 71 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Imine El hammam,Maroc)

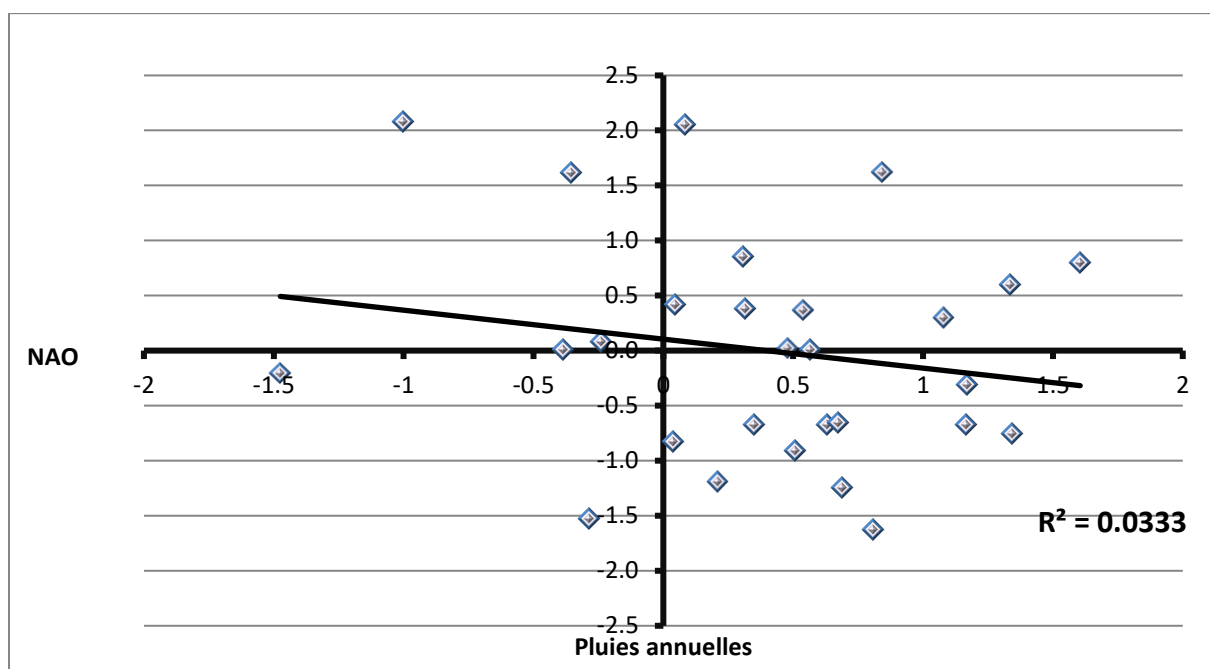


Figure 72 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Sidi Bouathmane,Maroc)

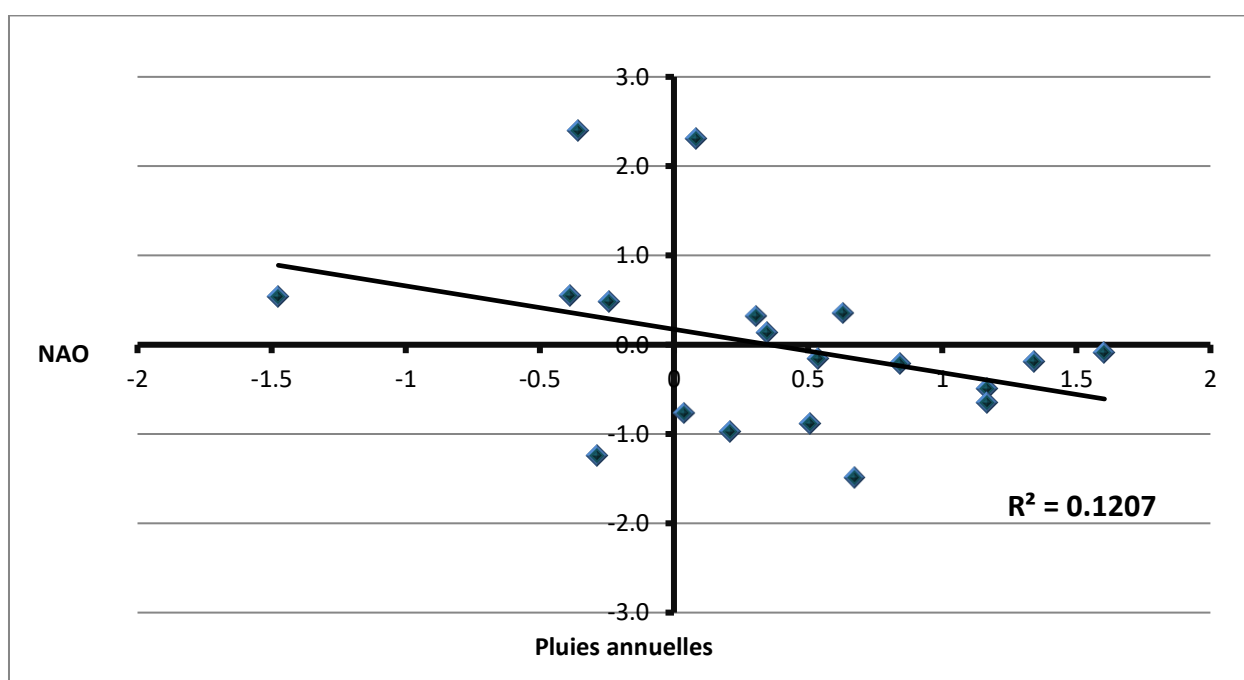


Figure 73 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Sidi Hssaine,Maroc)

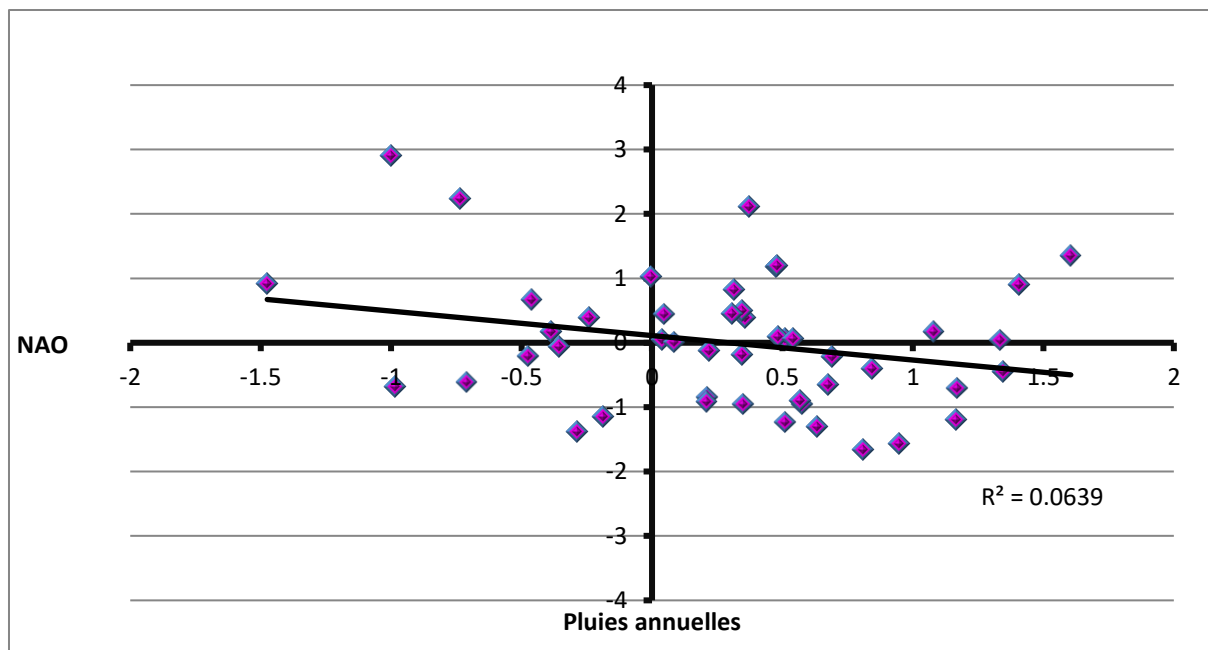


Figure 74 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Sidi Rahal,Maroc)

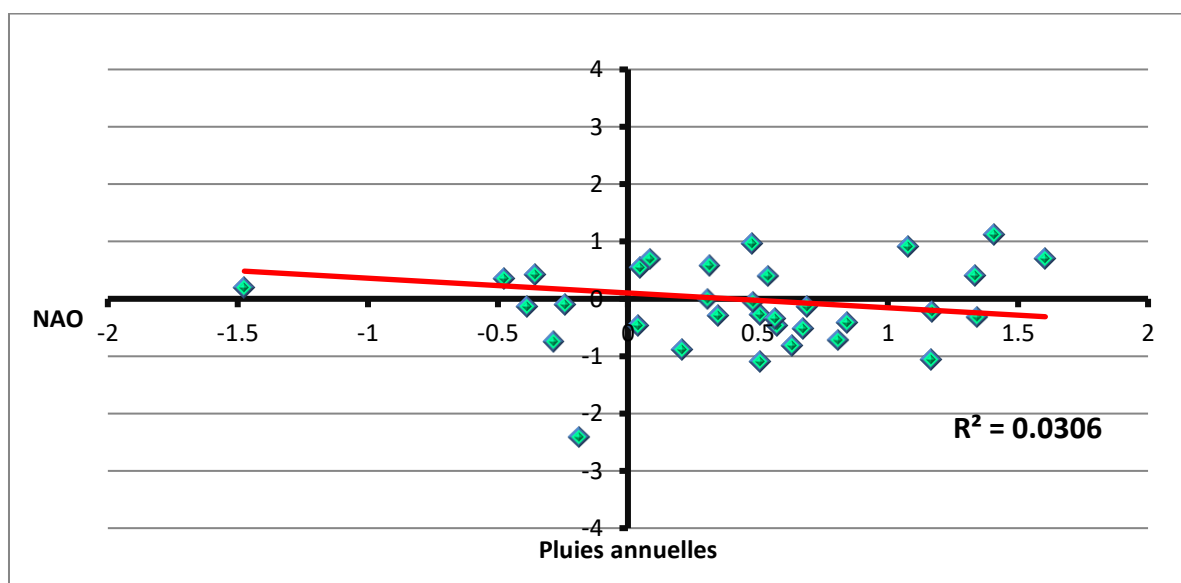


Figure 75 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Tafriate,Maroc)

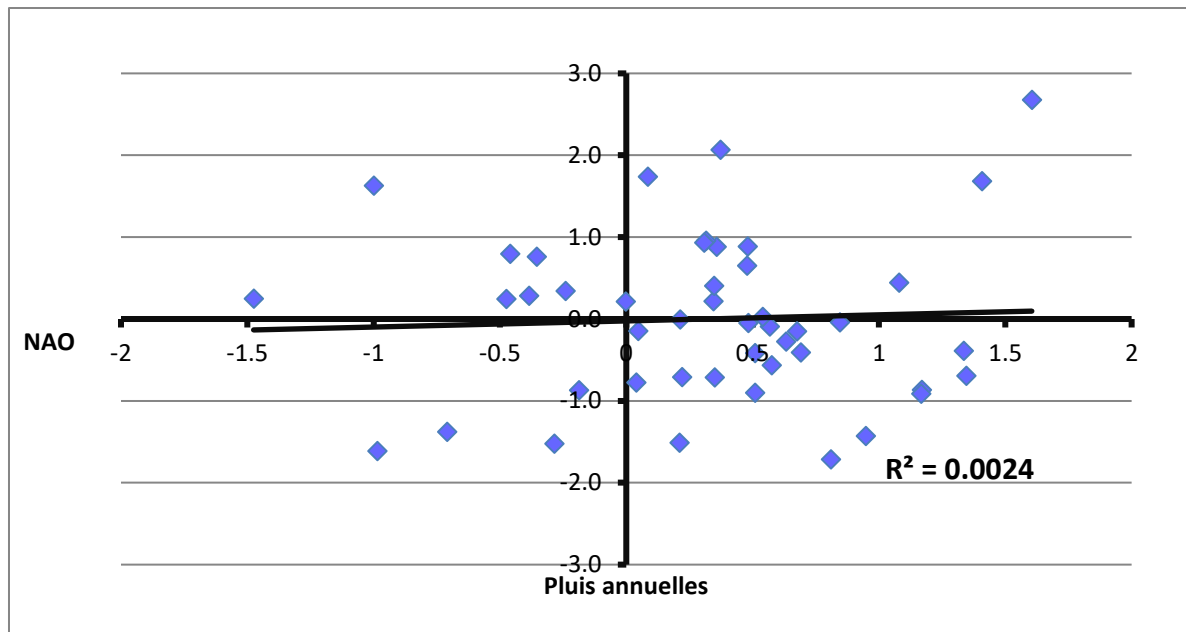


Figure 76 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Tahnaout,Maroc)

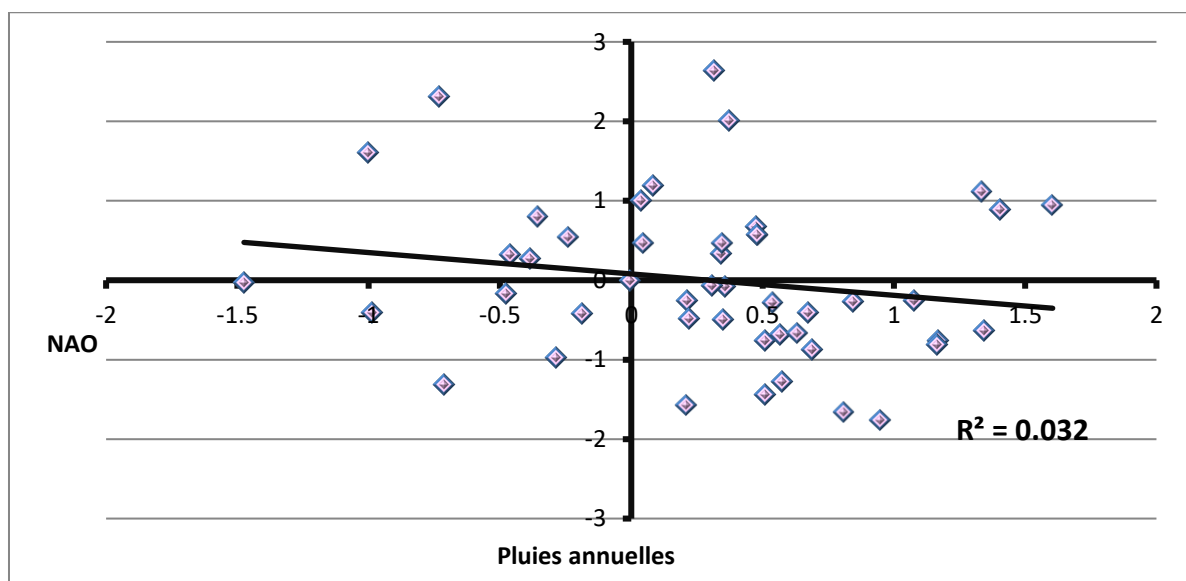


Figure 77 :Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Takerkoust,Maroc)

- Pour la majorité des stations on constate qu'elles sont influencées par des facteurs atmosphériques globaux qui affectent sur la pluviométrie mais n'empêche d'enregistrer que par exemple la station de Tahnaout est influencé beaucoup plus par des facteurs locaux.

IV.6. Anomalies des indices NAO et des précipitations annuelles

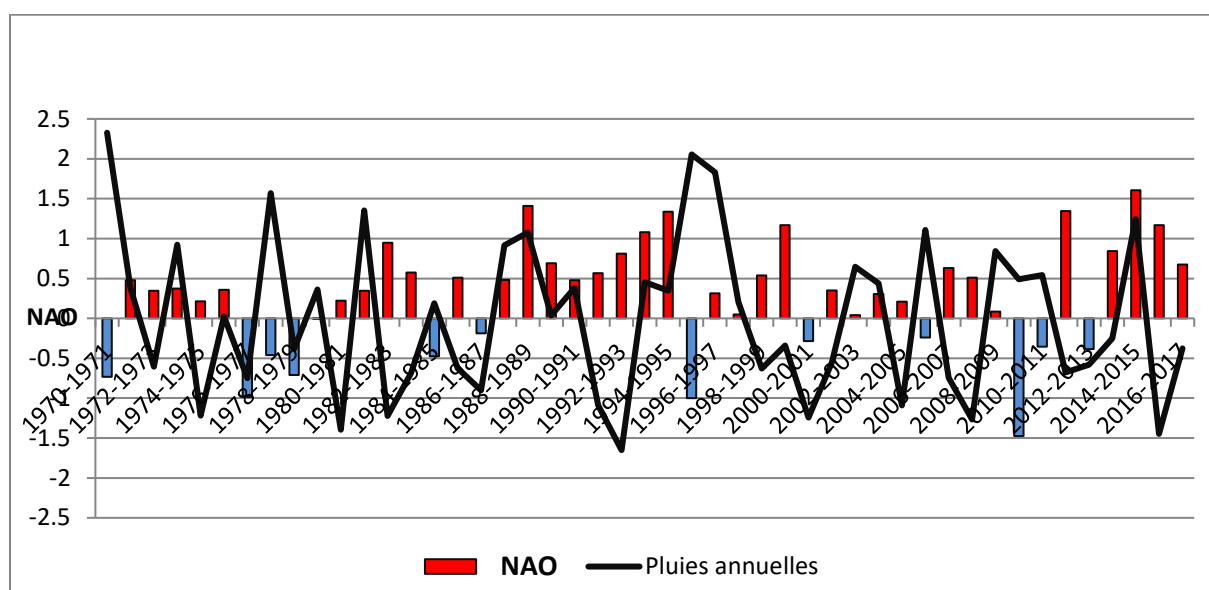


Figure 78: Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1970-2016
(Abadla, Maroc)

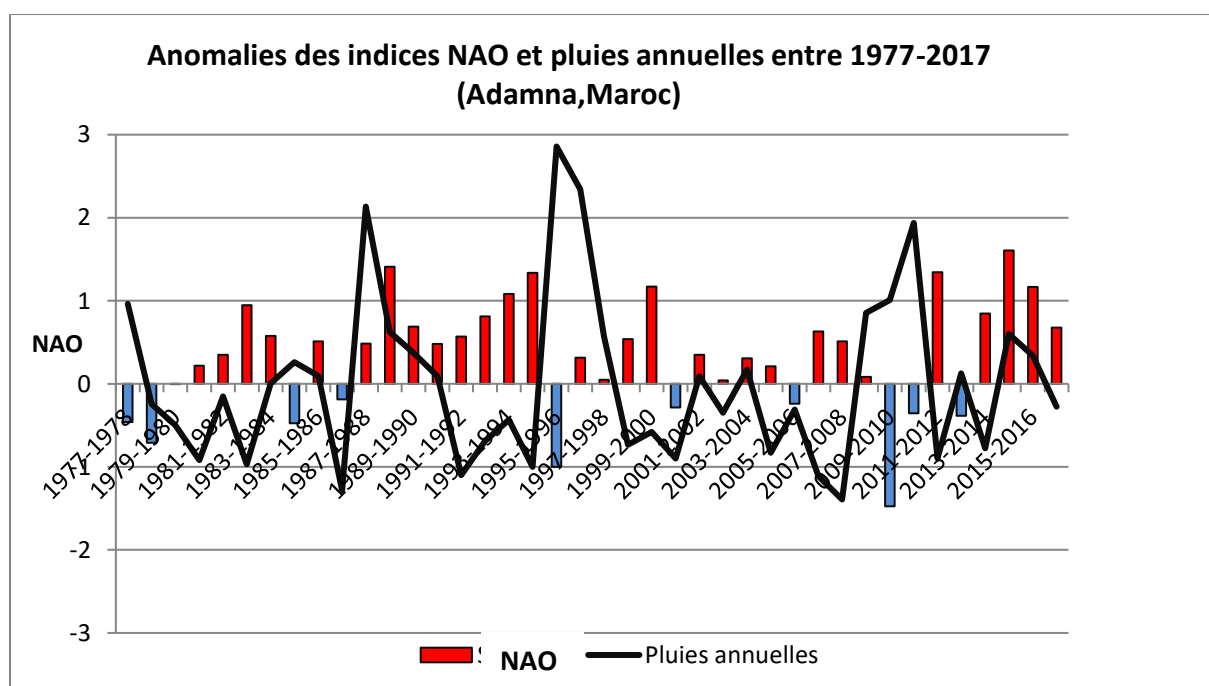


Figure 79 : Anomalies des indices NAO et pluies annuelles entre 1977-2017 (Adamna, Maroc)

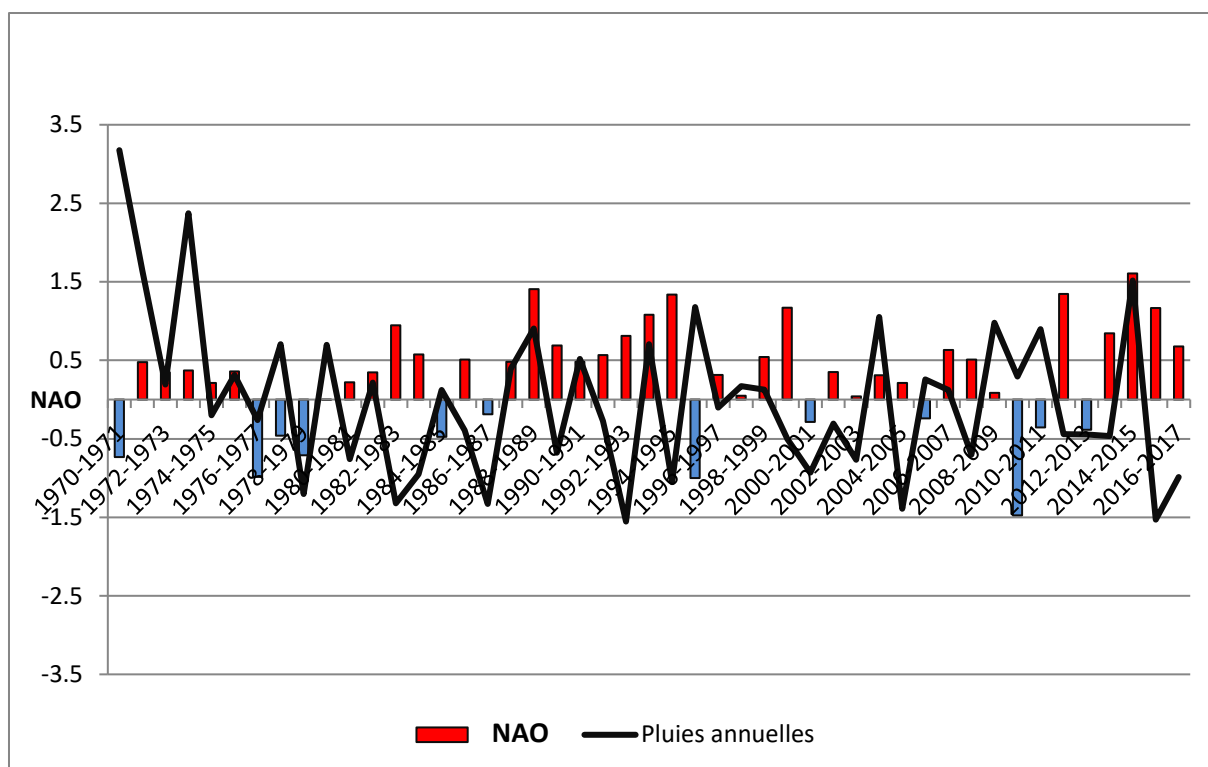


Figure 80:Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1970
2017(Aghbalou,Maroc)

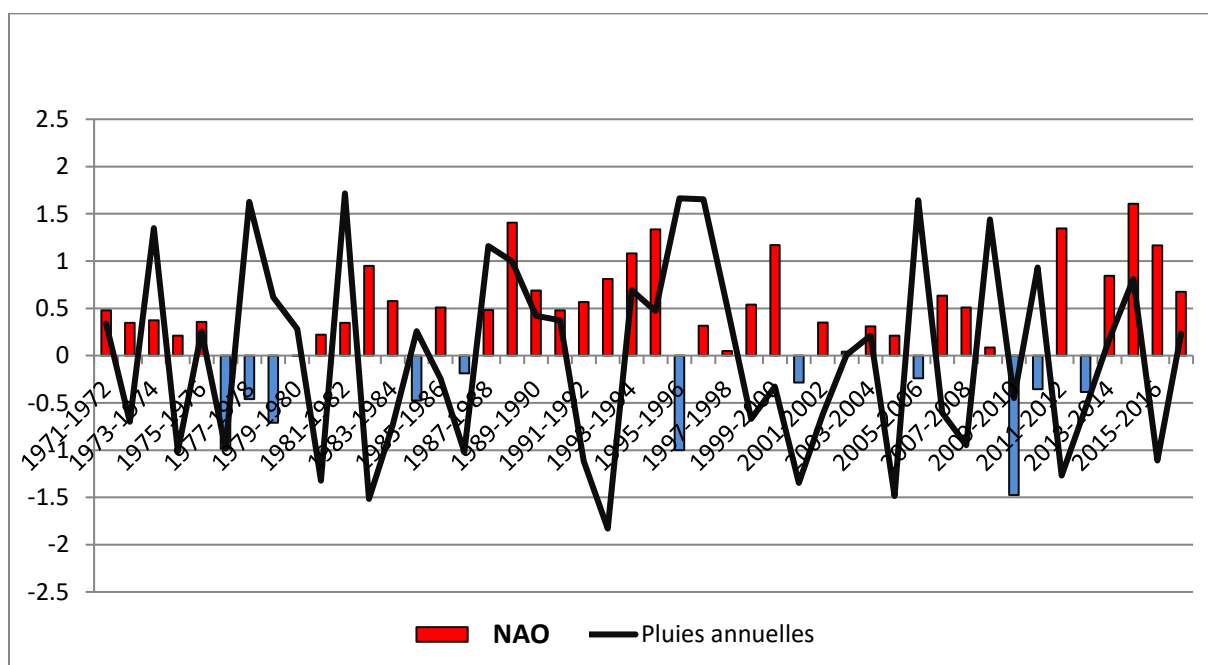


Figure 81 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1971-2017
(Chichaoua Maroc)

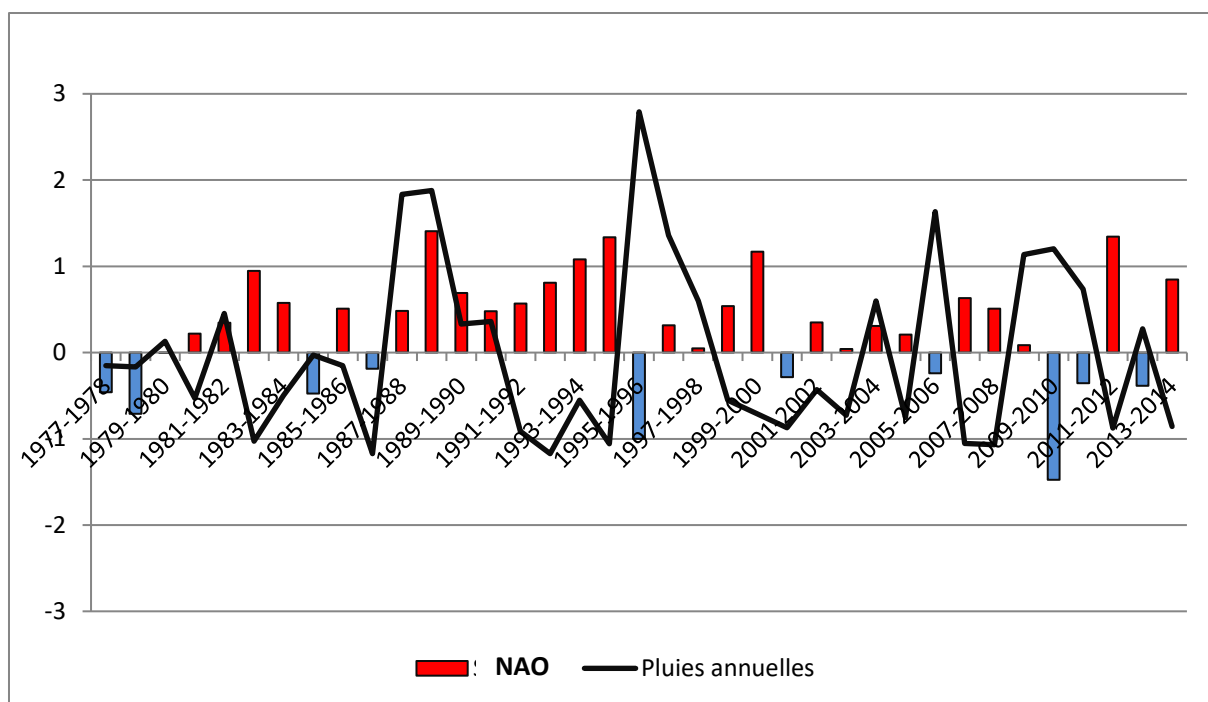


Figure 82 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1977-2017(Igrounzar,Maroc)

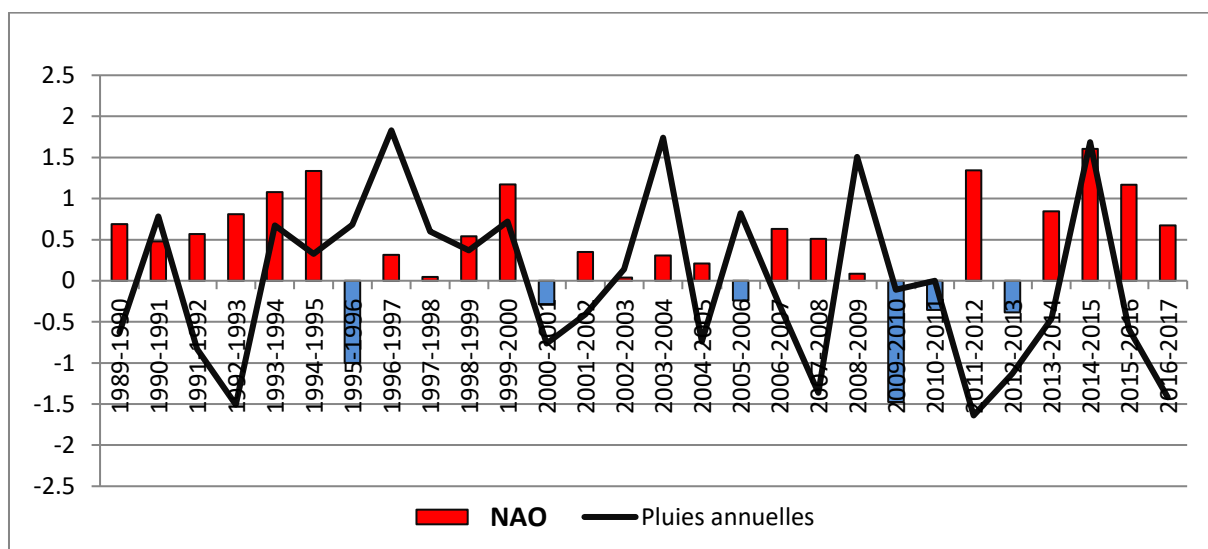


Figure 83 : Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1989-2016 (Iloudjane, Maroc)

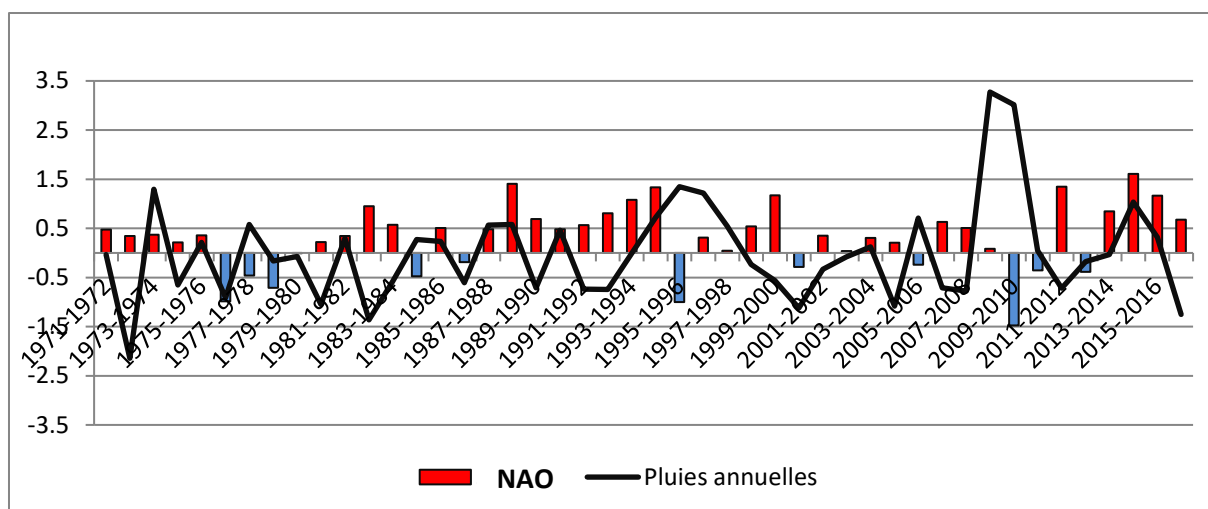


Figure 84 : Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1971-2017
(Marrakech, Maroc)

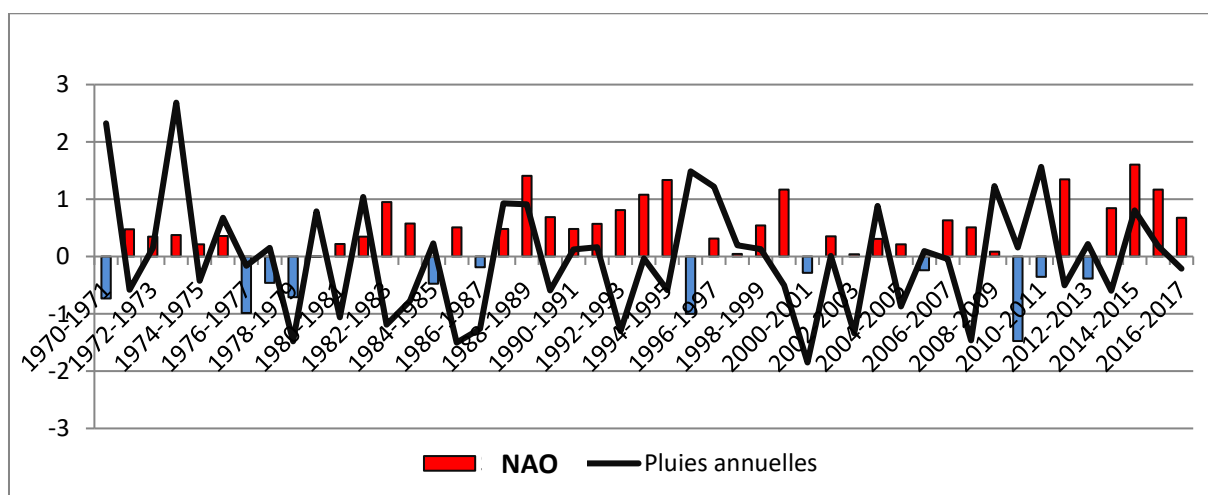


Figure 85 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1970-2017(Imin EL Hammam ,Maroc)

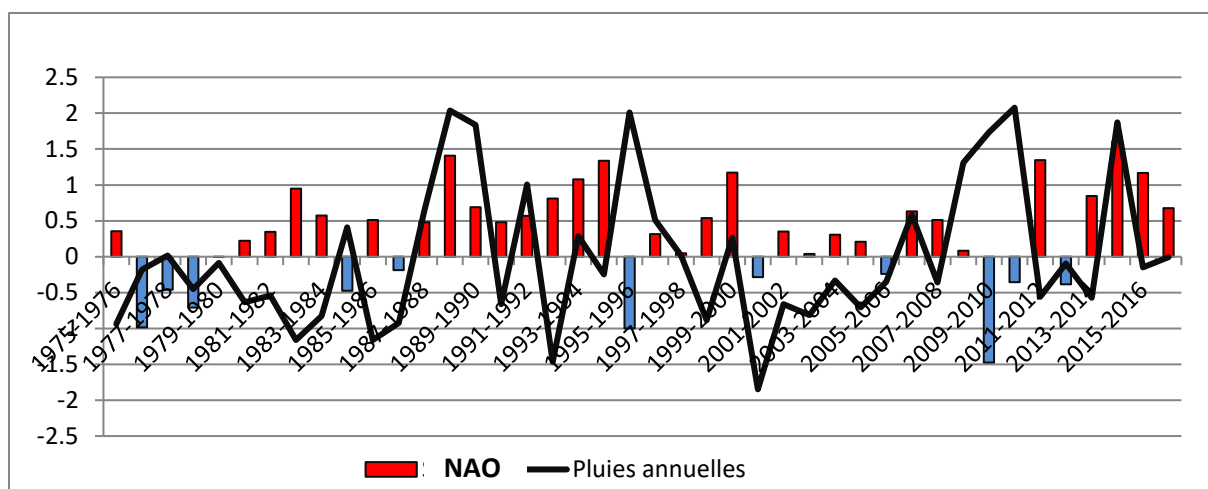


Figure 86 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles 1975-2017 (N'kouris , Maroc)

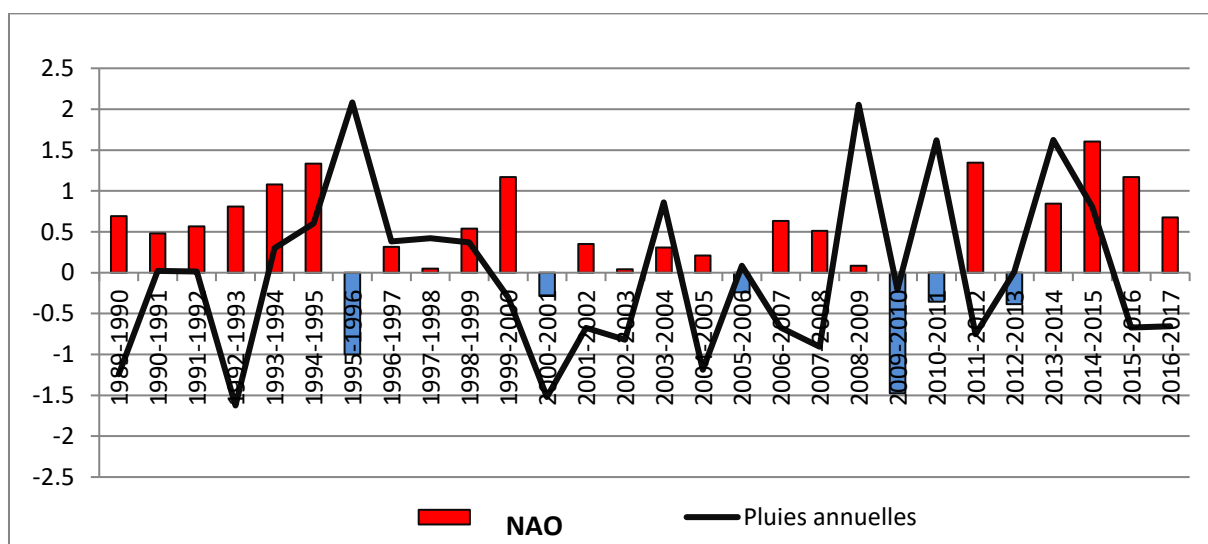


Figure 87 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1989-2017
(Sidi Bouathmane,Maroc)

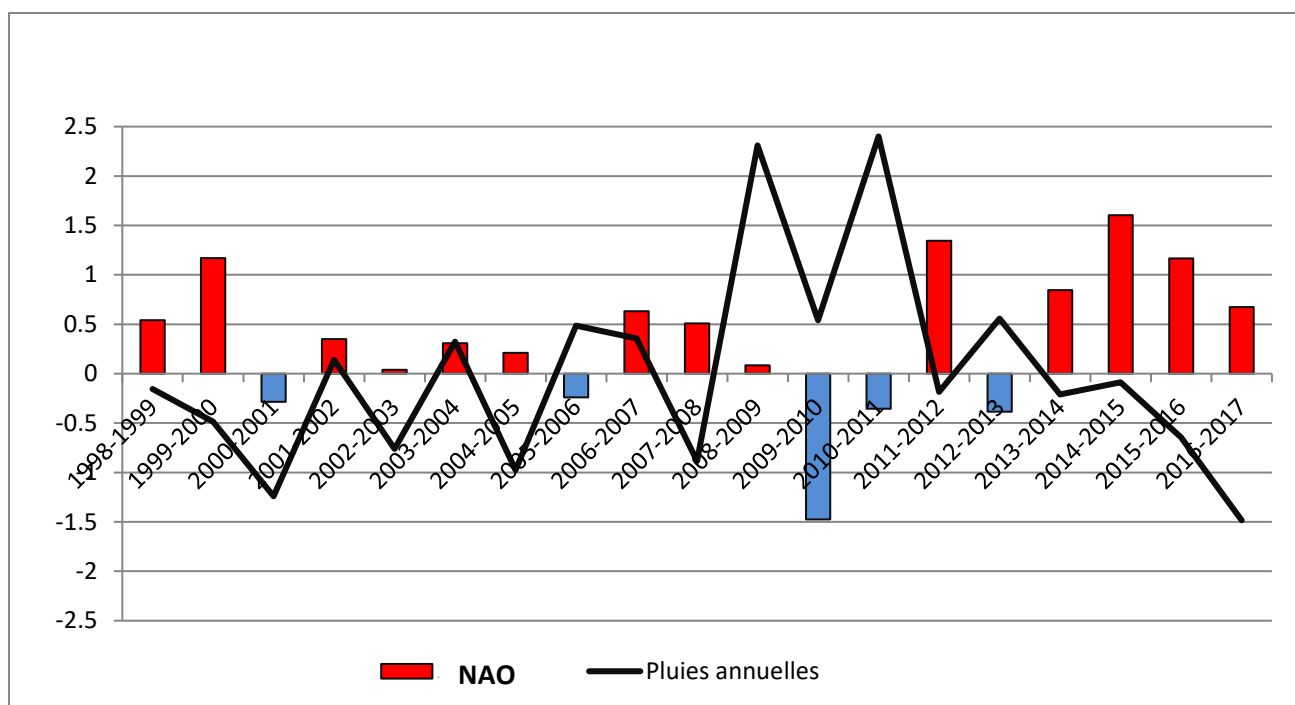


Figure 88 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1998-2017
(Sidi Hssaine ,Maroc)

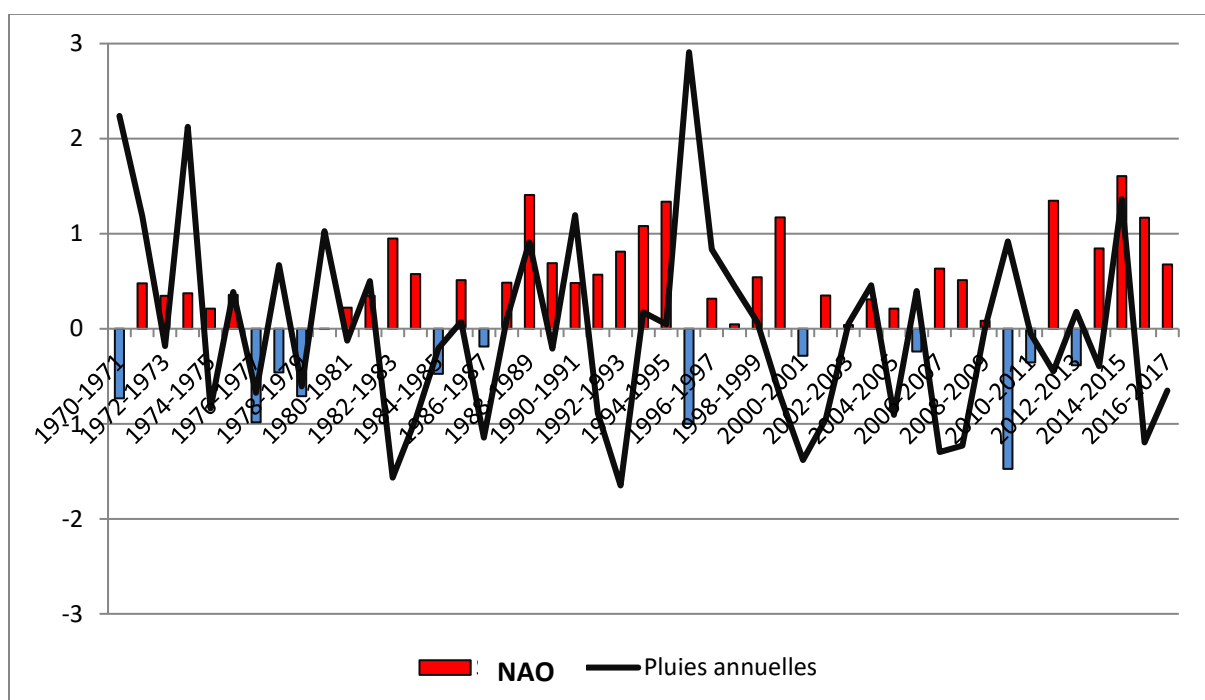


Figure 89 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1970-2017
(Sidi Rahal , Maroc)

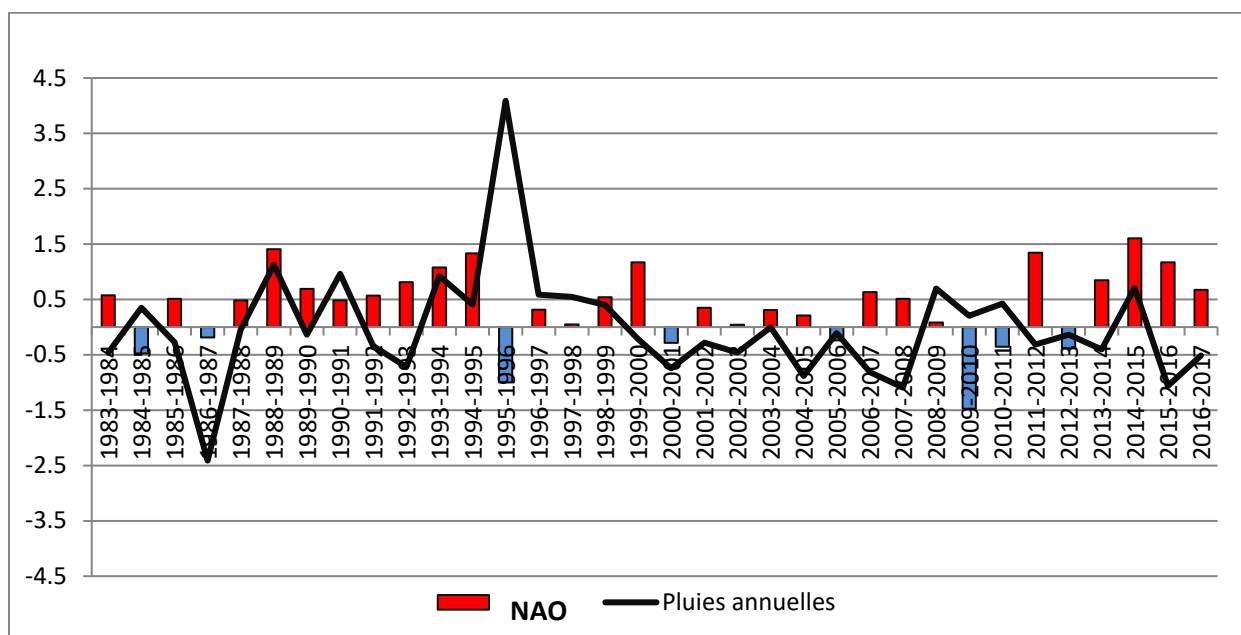


Figure 90 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1983-2017
(Tafriate,Maroc)

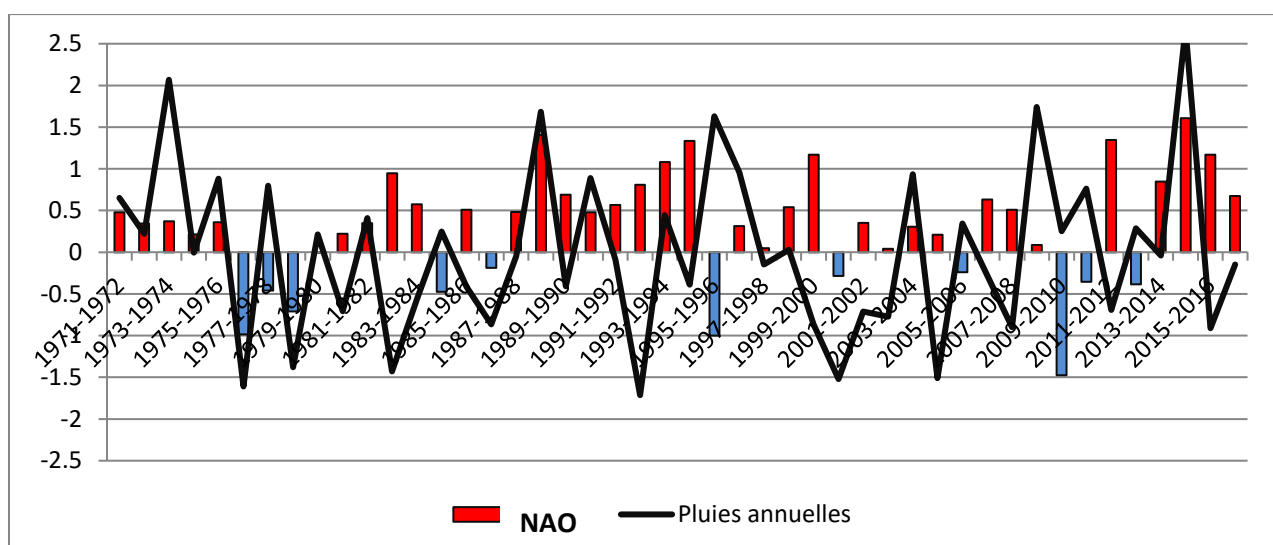


Figure 91 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1983-2017
(Tafriate,Maroc)

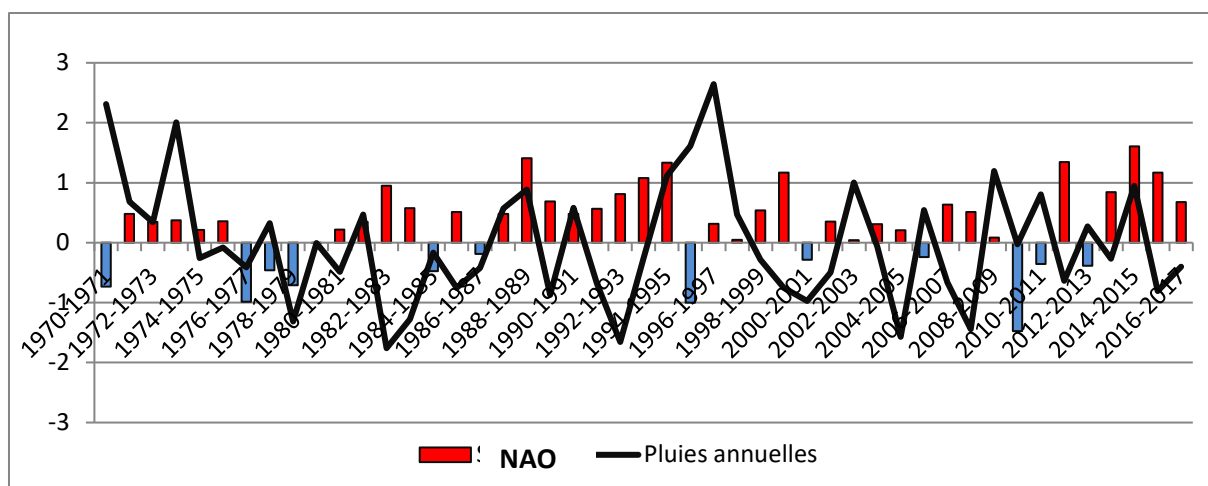


Figure 92 : Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1983-2017
(Tafriate, Maroc)

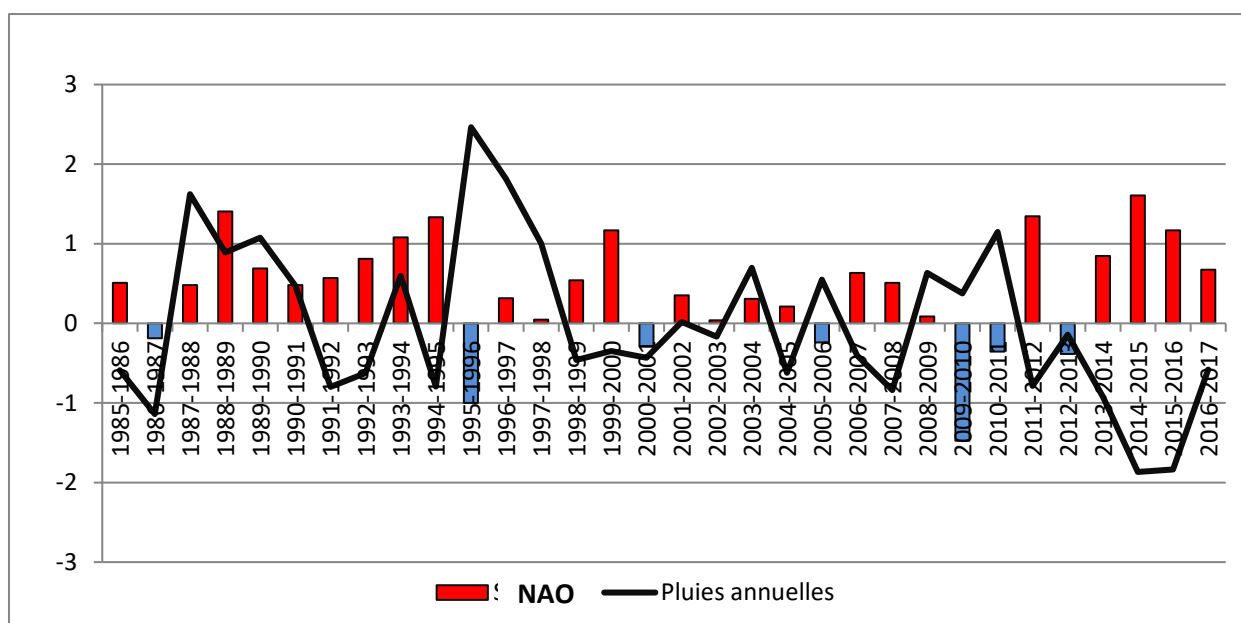


Figure 93 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1985-2017
(Talmest, Maroc)

IV.7.Interprétation et discussion :

Pour mieux comprendre la variation des précipitations en fonction des indices NAO, une division de quatre classes de 12 ans nous a permis de distinguer quatre périodes sur ces figures pour les moyennes mobiles des indices NAO :

- De 1970 à 1982 : Les valeurs sont faibles inférieures à **+0,5** mais elles ne descendent pas en dessous de **-0,26**.
 - De 1983 à 1995 : Les valeurs sont toutes positives, avec un maximum de **+1.40**.
 - De 1996 à 2008 : Les valeurs sont particulièrement faibles avec un minimum de **-1** et un maximum de **+ 1.47** ; trois étant négatives et neuf positives.
 - De 2009 à 2017 : Les valeurs varient de **-1.475** comme étant le plus grand indice NAO enregistré sur toute la série durant l'année 2009-2010 et le plus grand indice positive de toute la série enregistré qui dépasse **+ 1.50** durant l'année 2014-2015.
- ✓ Alors on peut expliquer l'augmentation de l'indice NAO durant 1980-1995 par un déplacement net de masses d'air originaires des régions arctiques et islandaises vers la ceinture subtropicale près des Açores et de la péninsule ibérique, et ont eu pour effet de renforcer les vents d'ouest au-dessus de l'océan Atlantique Nord. Ce phénomène est traduit par une sécheresse qui est enregistrée sur tout le bassin versant.
 - ✓ Par contre les valeurs d'indices NAO négatives ont été associées à des vents d'ouest moyens plus faibles au-dessus de l'océan Atlantique Nord et à des hivers européens plus froids que la normale.

La réponse de la pluviométrie à l'Oscillation Nord Atlantique montre que la période de la diminution de précipitations ou sécheresse correspond à des indices NAO positifs sur tout l'ensemble du bassin avec des exceptions où on assiste à des fortes précipitations alors que l'indices reste toujours positifs. Quand l'anticyclone des Açores à axe méridien devient assez puissant, l'arrivée d'une goutte froide déclenche l'aspiration de l'air tropical maritime issu de l'Atlantique. Une cyclogenèse se produit au dessus des Îles Canaries. Des masses d'air instables envahissent le bassin versant surtout les stations de plaines atlantiques par le sud-ouest (remontées tropicales). En effet, des pluies orageuses intéressent les stations du Haut Atlas.

A ce moment on observe que le temps devient sec sur tout le bassin et dans toutes les stations étudiées on peut généraliser cette observation sur le bassin méditerranéen.

Lorsque la moyenne mobile des indices NAO devient négative, la pression associée à l'anticyclone des Açores diminue tandis que la dépression d'Islande devient moins intense. Ainsi, lorsque l'anticyclone des Açores est rejeté au sud du Maroc, les perturbations du front polaire circulent suivant des trajectoires très méridionales et heurtent de plein fouet le Maroc septentrional. En effet, des pluies très abondantes sur les plaines atlantiques et les versants nord ouest des montagnes bien exposés aux flux d'ouest. Quand l'anticyclone des Açores se décale vers l'ouest ou vers le nord, c'est l'air arctique ou continental très froid qui en contact de l'air chaud méridional accentue les contrastes thermiques et

déclenche un temps pluvieux et instable sur les reliefs de l'Atlas et la plaines atlantiques dont fait parties nos stations d'études.

Dans ces conditions, avec une différence de pression faible, la direction des dépressions change vers le sud du bassin méditerrané et touche ainsi les régions du bassin Tensift et Oued Ksob, qui sont donc plus arrosées.

Ce retour à des précipitations plus abondantes s'accompagne d'un plus grand nombre d'épisodes pluvieux extrêmes (perturbations pluvio-orageuses sévères).

Conclusion :

L'oscillation nord-atlantique (NAO) représente les changements "typiques" de la pression au niveau de la mer dans l'Atlantique Nord d'un hiver à l'autre. Plus précisément, l'indice NAO mesure la différence de pression entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande. Il reste l'un des indices climatiques qui jouent un rôle important sur l'influence des précipitations ainsi que les circulations atmosphériques de l'hémisphère Nord. Selon Saadaoui (2007), la région de la Méditerranée occidentale est caractérisée par une pluviométrie fortement conditionnée par les phases de l'NAO.

Les vents d'ouest traversant l'Atlantique à nos latitudes dépendent fortement de cette différence de pression :

- ❖ Quand ils sont forts (indice NAO positif), ils extraient plus de chaleur et d'humidité de l'océan sous-jacent et l'apportent sur l'Europe et donc on a une sécheresse ou une faible intensité de précipitations dans les stations.
- ❖ Au contraire, s'ils sont plutôt faibles (indice NAO négatif), ils apportent peu de chaleur et d'humidité sur l'Europe, et par conséquent on a des précipitations abondantes dans le bassin méditerranéen.

Cette irrégularité climatique est un fait caractéristique du climat méditerranéen.

Synthèse :

Au terme de cette étude pluviométrique des stations du Bassin Hydraulique de Tensift et Oued Ksob on a pu atteindre les objectifs posés.

- ❖ Conclusions judicieuses sur les tendances pluviométriques, nous avons toutefois aboutit à des résultats intéressants sur les liaisons qui existent entre les données de toutes ces stations : les corrélations pluviométriques entre elles à l'échelle mensuelle étaient assez importantes malgré le caractère irrégulier de la pluviométrie en domaine aride et semi-aride. Les coefficients de corrélations atteignent parfois la valeur de 0,9. Ces corrélations significatives entre certaines stations nous ont permis de combler des lacunes de données.
- ❖ La répartition spatio-temporelle des précipitations annuelles au bassin de Tensift et Oued Ksob est influencée par la topographie, la proximité de la mer, et des différentes configurations de la circulation atmosphérique.
- ❖ La variabilité et l'évolution spatio-temporelle des précipitations dans notre bassin à l'échelle annuelle ou saisonnière confirment la diversité du climat dans la zone d'étude ce qui est confirmé par l'homogénéisation pluviométrique. Ce climat, présente les caractéristiques du climat méditerranéen, montagnard et continental.
- ❖ Les variations spatiales et temporelles enregistrées par les précipitations, influencent sûrement, les différents aspects de l'activité humaine, impactant surtout sur l'agriculture.
- ❖ L'indice NAO l'un des indices climatiques qui jouent un rôle important sur l'influence des précipitations ainsi que les circulations atmosphériques car il mesure la différence de pression entre l'anticyclone d'Açores et de l'Islande.
- ❖ On a constaté que les événements du NAO contribuent manifestement et de manière significative, en tant qu'un des facteurs de la variabilité spatio-temporelle de la diminution des précipitations dans le bassin versant de Tensift et Oued Ksob.
- ❖ L'intensité du phénomène NAO, explique selon cette relation, 50 % de la variance globale des sécheresses d'hiver et de son extension spatiale qui couvre particulièrement, la région côtière Atlantique et la région Montagneuse.

Références bibliographiques :

Agence du Bassin Hydraulique du Tensift (ABHT), (2007). Etude du plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz royaume du Maroc, rapport intermédiaire de l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA). Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement (MATEE). 138 p.

ABHT. (2006) - Etat de la qualité des ressources en eau dans la zone d'action de l'ABH Tensift. Rapport interne. 34 p.

Boulaassafer K. (2012), Suivi de l'état environnemental de la région de Marrakech Tensift Al Haouz, (Maroc). Mémoire de licence, Faculté des Sciences et Techniques, Marrakech. 64 p.

Bahir, M.; Silva, M.O. & Carreira, P. (2007). Ressources en eau en zones semi-arides, Etat des lieux: Cas du Bassin d'Essaouira (Maroc Atlantique). In: Los acuíferos costeros: retos y soluciones (Pulido Bosch, A.; López Geta, J.A. & Ramos González, G., eds.), IGME, Madrid, 529-540.

Belkharchach Zahira (2015), Les inondations sur la plaine de Tensift (Maroc). Etude dynamique et statistique et conséquences géographiques des crues de l'oued, Mémoire de fin d'études de Master, Faculté des sciences et techniques Marrakech, 74 p.

Emberger L, (1955). Une classification biogéographique des climats. Travaux du Laboratoire de Botanique et de Zoologie, Faculté des Sciences Montpellier 7 : 1-47.

Ezzine H & Messouli M & Boris Krause (janvier 2016), Rapport de synthèse – Région Marrakech Safi, p : 74 p.

Haddani H. (2012) – Etude du fonctionnement hydrogéologique des bassins versants de Rhéraya, Ourika et Zat (Tensift_Marrakech, Maroc) : Hydrochimie isotopique. Mémoire de fin d'études, Master es Sciences Et Techniques « Eau et Environnement ». FSTG, Marrakech, 111 p.

Grisollet H., Huilmet G., Arlery R. (1973) - Climatologie, Méthodes et pratiques, Gauthier-Villars éditeur, Paris, 434 p.

Khalil N. (1989) - Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de la Bahira (Maroc occidental). Thèse de l'Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech (Maroc). 124 p.

Meddi, M., Assani, A.A. & Meddi, H. (2010). Temporal variability of annual rainfall in the Macta and Tafna catchments, northwestern Algeria. Water Resour Manage 24:3817–3833. DOI 10.1007/s11269-010-9635-7

Riad S. (2003) - Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles a partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc. Thèse Université Ibn Zohr. Agadir, 154 p.

Rodriguez-Puebla C., Encina A.H., Nieto S., Garmendia J. (1998) Spatial and temporal patterns of precipitation variability over the Iberian Peninsula. Int J Climatol 18:299–316

Saadaoui M., Ben Sakka M. (2007)- Pluviométrie en Méditerranée occidentale et Oscillation Nord-Atlantique (NAO). Actes du XXème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 501-507.

Sahili E. (1996) -Problématique des rejets liquides et solides au niveau de la région hydraulique du Tensift, diagnostic, impact sur le milieu naturel, humain et proposition d'un plan d'action. Thèse d'ingénieur en chef, Direction Générale de l'Hydraulique, Ministère des travaux publics. 178 p.

Saloui A. (1996), Précipitations et bilans hydriques dans des plaines atlantiques Marocaines. Publications de la Faculté des Lettres et des Sciences humaines de Mohammedia, Série Colloque n° 8.

Sebbar A., Badri W., Fougrach H., Hsaine M., Saloui A. (2011). Étude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935-2004). Science et changements planétaires-Sécheresse; 22(3):139-148. doi:10.1684/sec.2009.0169.

Servat E., Ardoin-bardin S., Paturel J.E., Dezetter A., Mahe G., (2007). Modèles climatiques et évolution pluviométrique envisageable sur le bassin méditerranéen. Journal de l'Eau et de l'Environnement. 14-25.

Sevruk B., (1997). Regional dependency of precipitation-altitude relationship in the Swiss Alps, Climatic Change, Volume 36(3-4), pp. 355-369.

Sinan M. (2000), méthodologie d'identification, d'évaluation et de protections des ressources en eau des aquifères régionaux par couplage des SIG, de la géophysique et de la géostatistique, Thèse Doctorat option : Hydrogéologie, application à l'aquifère du Haouz de Marrakech (Maroc), 394 p.

Taïbi S., Meddi M., Doudja S.G. & Mahe G., (2013). Evolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936–2009). IAHS Publ. 359. 191-197.

Sites web :

Site de l'agence du bassin Hydraulique Tensift :

www.eau-tensift.net/x/documents.html

Variabilité climatique, cas de NAO :

www.encyclopedia-environnement.org/climat/variabilite-climatique-exemple-oscillation-nord-atlantique.

Annexes

Période	ABADLA	ADAMN	GHBALO	HICHAOL	ROUNZ	OUDJAN	M HAM	ARRAKE	Q KOURI	SOUATH	NDI HSSAI	SIDI RAHAL	AFARIAT	HANAOL	KERKOUT	ALMEST
1970-1971	2.32634		3.176				2.32356					2.23965016			2.31307	
1971-1972	0.376		1.64425	0.3407			-0.5829	-0.0312				1.1827		0.6521	0.6840	
1972-1973	-0.6065		0.1905	-0.7000			0.1495	-2.1438				-0.1827		0.2201	0.3403	
1973-1974	0.92481		2.37146	1.34921			2.68463	1.2925				2.1239		2.06838	2.00762	
1974-1975	-1.2173		-0.2005	-1.0108			-0.4270	-0.6498				-0.8412		-0.0055	-0.2579	
1975-1976	0.0234		0.3153	0.2542			0.6783	0.2158	-0.9372			0.3866		0.8825	-0.0797	
1976-1977	-0.7497		-0.2621	-0.9844			-0.1622	-0.9157	-0.1778			-0.6751		-1.6108	-0.4106	
1977-1978	1.56804	0.9627	0.7057	1.6263	-0.1505		0.1512	0.5773	0.0145			0.6693		0.7957	0.3276	
1978-1979	-0.3838	-0.2452	-1.2036	0.6178	-0.1649		-1.4787	-0.1607	-0.4512			-0.6059		-1.3784	-1.3142	
1979-1980	0.35977	-0.5000	0.6972	0.2835	0.1300		0.7899	-0.0721	-0.0867			1.0280		0.2153	-0.0033	
1980-1981	-1.3973	-0.9203	-0.7572	-1.3230	-0.5317		-1.0589	-1.0502	-0.6335			-0.1248		-0.7064	-0.4869	
1981-1982	1.35117	-0.1505	0.2173	1.7157	0.4536		1.0377	0.2974	-0.5423			0.5014		0.4081	0.4676	
1982-1983	-1.2247	-0.9672	-1.3224	-1.5150	-1.0280		-1.1892	-1.3599	-1.1600			-1.5670		-1.4286	-1.7597	
1983-1984	-0.6892	0.0057	-0.9485	-0.7367	-0.4958		-0.7770	-0.5820	-0.8258			-0.9503	-0.4596	-0.5628	-1.2760	
1984-1985	0.19011	0.2598	0.1204	0.2586	-0.0283		0.2295	0.2755	0.4094			-0.2055	0.3509	0.2462	-0.1688	
1985-1986	-0.6257	0.0963	-0.3930	-0.2456	-0.1505		-1.5034	0.2317	-1.1600			0.0725	-0.2746	-0.4143	-0.7542	-0.5882
1986-1987	-0.9031	-1.2856	-1.3291	-1.0196	-1.1719		-1.2641	-0.6040	-0.9271			-1.1477	-2.4116	-0.8665	-0.4233	-1.1411
1987-1988	0.91448	2.1349	0.3902	1.1586	1.8346		0.9253	0.5674	0.6423			0.0934	-0.0518	-0.0479	0.5694	1.6228
1988-1989	1.07529	0.6225	0.9067	0.9974	1.8778		0.9099	0.5773	2.0395			0.9113	1.1266	1.6837	0.8876	0.8916
1989-1990	0.03521	0.3730	-0.6756	0.4199	0.3314	-0.6259	-0.5922	-0.7125	1.8370	-1.2432		-0.2083	-0.1344	-0.4066	-0.8688	1.0771
1990-1991	0.38043	0.0911	0.5181	0.3744	0.3601	0.7838	0.1214	0.4598	-0.6638	0.0227		1.1950	0.9644	0.8873	0.5822	0.4733
1991-1992	-1.0904	-1.1003	-0.2730	-1.1149	-0.9130	-0.8295	0.1605	-0.7364	1.0068	0.0134		-0.8886	-0.3372	-0.0903	-0.6779	-0.7995
1992-1993	-1.6511	-0.6913	-1.5538	-1.8302	-1.1719	-1.5079	-1.3016	-0.7404	-1.4637	-1.6246		-1.6496	-0.7208	-1.7140	-1.6579	-0.6247
1993-1994	0.45272	-0.4338	0.7051	0.6925	-0.5533	0.6752	-0.0328	-0.0044	0.2879	0.3010		0.1741	0.9195	0.4438	-0.2579	0.5965
1994-1995	0.34649	-1.0010	-1.0514	0.4712	-1.0568	0.3262	-0.5871	0.7158	-0.2487	0.6000		0.0450	0.4093	-0.3892	1.1167	-0.7952
1995-1996	2.05636	2.8576	1.1759	1.6629	2.7912	0.6806	1.4865	1.3453	2.0091	2.0823		2.9095	4.0885	1.6297	1.6131	2.4637
1996-1997	1.83212	2.3407	-0.1025	1.6541	1.3599	1.8300	1.2199	1.2178	0.5107	0.3814		0.8354	0.5836	0.9587	2.64398	1.8169
1997-1998	0.20634	0.5742	0.1722	0.5195	0.5975	0.5989	0.1963	0.5455	0.0145	0.4206		0.4454	0.5481	-0.1463	0.4676	1.0026
1998-1999	-0.6302	-0.7323	0.1241	-0.6693	-0.5533	0.3701	0.1265	-0.2364	-0.8866	0.3690	-0.1542	0.0706	0.3993	0.0283	-0.2833	-0.4614
1999-2000	-0.3395	-0.5787	-0.5032	-0.3292	-0.7116	0.7219	-0.5028	-0.5631	0.2677	-0.3041	-0.4872	-0.7017	-0.2177	-0.8655	-0.7542	-0.3490
2000-2001	-1.2424	-0.9004	-0.9284	-1.3465	-0.8698	-0.7640	-1.8492	-1.1199	-1.8484	-1.5226	-1.2420	-1.3830	-0.7421	-1.5221	-0.9706	-0.4335
2001-2002	-0.5549	0.0911	-0.3053	-0.6194	-0.4311	-0.4087	0.0098	-0.3330	-0.6638	-0.6752	0.1403	-0.9512	-0.2831	-0.7112	-0.4997	0.0170
2002-2003	0.64745	-0.3471	-0.7670	0.0080	-0.7260	0.1413	-1.3425	-0.0781	-0.8157	-0.8216	-0.7621	0.0545	-0.4589	-0.7739	1.0022	-0.1656
2003-2004	0.43944	0.1718	1.0517	0.2117	0.5975	1.7421	0.8844	0.1211	-0.3297	0.8597	0.3249	0.4568	-0.0042	0.9345	-0.0669	0.6975
2004-2005	-1.0890	-0.8316	-1.3906	-1.4843	-0.7518	-0.7407	-0.8690	-1.0791	-0.7043	-1.1875	-0.9737	-0.9086	-0.8802	-1.5115	-1.5688	-0.6226
2005-2006	1.10922	-0.3114	0.2562	1.6424	1.6347	0.8233	0.0924	0.7098	-0.3500	0.0856	0.4865	0.3980	-0.1052	0.3435	0.5440	0.5499
2006-2007	-0.7438	-1.1129	0.1235	-0.6048	-1.0532	-0.3019	-0.0430	-0.7135	0.5815	-0.6711	0.3553	-1.2976	-0.8112	-0.2726	-0.6651	-0.4034
2007-2008	-1.2675	-1.3928	-0.7024	-0.9463	-1.0698	-1.3616	-1.4643	-0.7743	-0.3601	-0.9061	-0.8835	-1.2293	-1.0916	-0.9012	-1.4415	-0.8389
2008-2009	0.84219	0.8528	0.9761	1.4416	1.1362	1.5079	1.2293	3.2736	1.3105	2.0524	2.3085	0.0128	0.6932	1.7415	1.1931	0.6330
2009-2010	0.49107	1.0097	0.2916	-0.4479	1.2031	-0.1090	0.1588	3.0146	1.7348	-0.2041	0.5407	0.9179	0.2022	0.2510	-0.0262	0.3759
2010-2011	0.54404	1.93895	0.8957	0.9329	0.7342	0.0013	1.5657	0.0445	2.0770	1.6195	2.4004	-0.0508	0.4214	0.7629	0.8062	1.1465
2011-2012	-0.6774	-0.8964	-0.4399	-1.2673	-0.8770	-1.6389	-0.5003	-0.7165	-0.5606	-0.7546	-0.1862	-0.4503	-0.3187	-0.6920	-0.6359	-0.7859
2012-2013	-0.5829	0.1275	-0.4460	-0.5520	0.2753	-1.1301	0.2168	-0.1757	-0.0938	0.0093	0.5579	0.1760	-0.1351	0.2866	0.2742	-0.1427
2013-2014	-0.2503	-0.7747	-0.4661	0.1765	-0.8569	-0.4626	-0.5982	-0.0352	-0.5707	1.6226	-0.2100	-0.3943	-0.4041	-0.0412	-0.2693	-0.9248
2014-2015	1.24495	0.6007	1.5151	0.8112		1.6856	0.8043	1.0335	1.8735	0.8010	-0.0869	1.3620	0.7068	2.67965	0.9474	-1.8674
2015-2016	-1.4460	0.3366	-1.5301	-1.1090		-0.5882	0.1852	0.3213	-0.1495	-0.6711	-0.6448	-1.1960	-1.0602	-0.9118	-0.8077	-1.8373
2016-2017	-0.3749	-0.2743	-0.9886	0.2352		-1.4191	-0.2107	-1.2494	-0.0057	-0.6546	-1.4840	-0.6524	-0.5116	-0.1491	-0.4017	-0.5832

Listes des figures et tableaux :

Figure 1: Localisation géographique

Figure 2: Découpage administratif et principaux centres et villes de la zone d'action de l'ABHT

Figure 3 : Divisions topographiques du bassin hydraulique de Tensift

Figure 4: Carte géologique de la zone d'étude de l'agence du bassin hydraulique de Tensift

Figure 5: Les eaux de surface et principaux barrages de la zone d'action de l'ABHT (2006)

Figure 6: Carte de principales nappes de la zone d'action de l'ABHT

Figure 7: Carte des stations d'étude

Figure 8 : Corrélation pluviométrique mensuelle entre Abadla et Chichaoua

Figure 9: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Abadla et Iloudjane

Figure 10: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Adamna et Igrounzar

Figure 11: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Adamna et Talmest

Figure 12: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Adamna et Talmest

Figure 13: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Aghbalou et Tahnaout

Figure 14: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Aghbalou et Imm Lhamam

Figure 15: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Bouathmane et Sidi Hssaine

Figure 16: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Bouathmane et Tahnaout

Figure 17: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Bouathmane et Takerkoust

Figure 18: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Hssaine et Tafriate

Figure 19: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Hssaine et Tahnaout

Figure 20: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Hssaine et Takerkoust

Figure 21: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Hssaine et Aghbalou

Figure 22: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Rahal et Tafriate

Figure 23: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Sidi Rahal et Tahnaout

Figure 24: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Igrounzar et Talmest

Figure 25: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Iloudjane et Sidi Bouathamne

Figure 26: Corrélation pluviométrique mensuelle entre Iloudjane et Tahnaout

Figure 27: Précipitations mensuelles moyennes de la station Abadla 1970-2017

Figure 28: Précipitations mensuelles moyennes de la station Admna 1977-2017

Figure 29: Précipitations mensuelles moyennes de la station Aghbalou 1970-2017

Figure 30: Précipitations mensuelles moyennes de la station Chichaoua 1971-2017

Figure 31: Précipitations mensuelles moyennes de la station Igrounzar 1978-2015

Figure 32: Précipitations mensuelles moyennes de la station ILoudjane1989-2017

Figure 33: Précipitations mensuelles moyennes de la station Imm Lhamam 1970-2017

Figure 34: Précipitations mensuelles moyennes de la station Imm Lhamam 1971-2017

Figure 35: Précipitations mensuelles moyennes de la station Marrakech 1975-2017

Figure 36: Précipitations mensuelles moyennes de la station Sidi Bouathmane 1989-2017

Figure 37: Précipitations mensuelles moyennes de la station Sidi Hssaine1998-2017

Figure 38: Précipitations mensuelles moyennes de la station Sidi Rahal 1970-2017

Figure 39: Précipitations mensuelles moyennes de la station Tafriat 1983-2017

Figure 40: Précipitations mensuelles moyennes de la station Tahnaout 1971-2017

Figure 41: Précipitations mensuelles moyennes de la station Takerkoust 1970-2017

Figure 42: Précipitations mensuelles moyennes de la station Talmest 1985-2017

Figure 43: Représentation graphique des précipitations mensuelles moyennes des stations

Figure 44: Comportement du coefficient de variation en fonction des stations

Figure 45: carte de régionalisation en fonction des coefficients de variabilité mensuelle

Figure 46 :Variation des précipitations mensuelles moyennes des stations côtières

Figure 47: Variation des précipitations mensuelles moyennes des stations de plaine (sauf N’Kouris)

Figure 48 :Variation des précipitations mensuelles moyennes des stations du piémont du Haut Atlas

Figure 49: Variation saisonnière comparative des précipitations mensuelles des stations côtières

Figure 50: Variation saisonnière comparative des précipitations mensuelles des stations de plaine

Figure 51: Variation saisonnière comparative des précipitations des stations du piémont du Haut Atlas

Figure 52: Comparaison du régime pluvial mensuelle moyen des stations significatives

Figure 53: Les précipitations moyennes annuelles en mm 1970-2017

Figure 54: Variation annuelle du coefficient de variabilité en fonction des stations

Figure 55: Représentation graphique de la variation temporelle du coefficient de variation

Figure 56: Relation entre coefficient de variation et l’altitude

Figure 57: Relation entre coefficient de variation et la latitude

Figure 58: Présentation des résultats de la régionalisation pluviométrique par ACP

Figure 59: La régionalisation pluviométrique du bassin hydraulique Tensift par zones

Figure 60 : Moyennes hivernales de la pression atmosphérique au sol mesurée en Islande (en bleu) et aux Açores (en rouges).

Figure 61 : Schéma illustrative entre NAO positif et NAO négatif

Figure 62 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Adamna ,Maroc)

Figure 63 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (I grounzar,Maroc)

Figure 64 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Talmest,Maroc)

Figure 65 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Abadla,Maroc)

Figure 66 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Chichaoua,Maroc)

Figure 67 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Marrakech,Maroc)

Figure 68 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (N'kouris,Maroc)

Figure 69 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Aghbalou,Maroc)

Figure 70 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Imm Lhamam,Maroc)

Figure 71 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Sidi Bouathmane,Maroc)

Figure 72 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Sidi Hssaine,Maroc)

Figure 73 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Sidi Rahal,Maroc)

Figure 74 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Tafriate,Maroc)

Figure 75 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Tahnaout,Maroc)

Figure 76 : Variations des pluies annuelles en fonction du NAO (Takerkoust,Maroc)

Figure 77: Anomalies des indice NAO et des pluies annuelles entre 1970-2016 (Abadla,Maroc)

Figure 78 : Anomalies des indices NAO et pluies annuelles entre 1977-2017 (Adamna,Maroc)

Figure 79 : Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1970-2017 (Aghbalou,Maroc)

Figure 80 : Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1971-2017 (Chichaoua Maroc)

Figure 81 : Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1977-2017 (Igrounzar,Maroc)

Figure 82 : Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1989-2016 (Iloudjane, Maroc)

Figure 83 : Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1971-2017 (Marrakech,Maroc)

Figure 84 : Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1970-2017 (IMM Hamame ,Maroc)

Figure 85 : Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles 1975-2017 (N'kouris , Maroc)

Figure 86 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1989-2017
(Sidi Bouathmane,Maroc)

Figure 87 : Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1998-2017
(Sidi Hssaine ,Maroc)

Figure88 : Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1970-201(Sidi Rahal ,
Maroc)

Figure 89 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1983-2017
(Tafriate,Maroc)

Figure 90 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1983-2017
(Tafriate,Maroc)

Figure 91 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1983-2017
(Tafriate,Maroc)

Figure 92 :Anomalies des indices NAO et des pluies annuelles entre 1985-2017
(Talmest,Maroc)

Listes de tableaux

Tableau 1 : Tableau regroupent toutes les stations d'études

Tableau 2 : Corrélation mensuelle

Tableau 3 :Corrélation annuelle

Tableau 4: Précipitations mensuelles moyennes des stations en fonction des mois

Tableau 5 : des précipitations annuelles des stations

Tableau 6: Variabilité du coefficient de variation en fonction des mois et des saisons

Tableau 7 : Altitudes et régionalisation des stations du bassin Tensift

Tableau 8 : Classification de la sécheresse selon l'indice SPI Hicham Ezzine &
Mohammed Messouli & Boris Krause (janvier 2016)