



Université Cadi Ayyad

Faculté des Sciences et Techniques

Département des Sciences de la Terre

Mémoire de Licences Sciences et Techniques

Eau et Environnement



Homogénéisation des données de pluies et indices pluviométriques au Bassin Hydraulique de Tensift (Maroc)

Réalisé par :

AABBAR Imane et NAIM Ikram

Encadrées par : **Mohamed El Mehdi SAIDI**

Soutenu : Le 22 Juin 2017

Devant le jury composé de :

SAIDI Mohamed El Mehdi: FST- Marrakech, Encadrant

RACHIDI Said: Agence de Bassin Hydraulique de Tensift, Co-encadrant

RIZKI Abdeljabar : FST- Marrakech, Examineur

2016-2017

Remerciements

L'accomplissement du présent travail n'a été possible qu'avec le soutien de dieu et de certaines personnes. Nous voudrions, en premier lieu remercier notre encadrant M. Mohamed El MEHDI SAIDI qui a accepté d'encadrer nos travaux durant ces deux mois de stage, pour ses précieux conseils, sa disponibilité et son suivi durant toute la période de notre stage.

Nos remerciements vont également à notre encadrant à l'ABHT : M Said. Rachidi sans oublier le chef de la division des ressources en eau Mr. Aresmouk.

Nos vifs remerciements vont également au membre du jury Mr Abdelfattah BENKADOUR qui va pleinement consacrer son temps et son attention afin d'évaluer notre travail. Tout mot et toute expression, suave qu'il soit où meilleure qu'elle soit, ne peut exprimer notre espérance que nous soyons la hauteur de son attente.

Notre chaleureux remerciement à nos très chers parents pour leurs sacrifices matériels et moraux qu'ils nous ont accordés le long de nos années d'études ainsi qu'à nos sœurs et nos frères pour leurs encouragements.

Nos remerciements vont enfin à toutes personnes qui nous 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.

You are a choice of God, if the lord puts your shoes in a way it means he'll put inside you some energy, wisdom and knowledge to handle it. If the Lord believes in you how could you not believe in yourself. You will get tired, broken-down, exasperated, forsaken but remember when there is a will there is a way and there is the hope of success.

Introduction

Les conditions de mesures dans lesquelles les données pluviométriques sont collectées peuvent changer au fil du temps. Ce n'est que lorsque l'influence de ces changements a été éliminée des données qu'il est possible de se prononcer sur leur fiabilité ainsi que sur l'évolution climatique sur de nombreuses années.

Presque toutes les séries de mesures pluviométriques disponibles aujourd'hui ont été collectées dans des conditions de mesure qui ont évolué au fil du temps. Les principales causes sont le déplacement de la station, l'utilisation de nouveaux instruments de mesure ou la modification de l'environnement de la station, ou même le changement de l'observateur. La problématique devient particulièrement évidente lorsqu'une station a été déplacée avec un changement d'altitude. Comme la température baisse en moyenne lorsque l'altitude augmente, un changement brutal dans la série de mesures apparaît suite au déplacement de la station. Ce changement ne peut en aucune manière correspondre à l'évolution effective, réelle.

L'homogénéisation élimine ces changements engendrés artificiellement dans les séries de mesures. Les anciennes mesures sont adaptées aux conditions de mesures actuelles, ce qui permet d'éliminer les influences non climatiques de la série de mesures. Seules les séries de données homogènes permettent de tirer des conclusions correctes sur l'évolution climatique.

A cet effet, le présent rapport a pour objectif d'analyser des séries pluviométriques, de déceler d'éventuelles erreurs, et éventuellement les corriger sans le but d'homogénéiser ces séries et d'aboutir à une régionalisation des pluies dans la région du Bassin Hydraulique Tensift.

Nous allons procéder par une méthodologie qui consiste à effectuer des corrélations entre les différentes stations pluviométriques du bassin, soit par des régressions linéaires soit par des tests des doubles cumuls, ainsi que de calculer quelques indices caractéristiques de la sécheresse et de l'humidité.

**CHAPITRE : REPRESENTATION GENERALE DE L'ABHT ET DU BASSIN
HYDRAULIQUE TENSIFT.**

I. PRESENTATION DE L'ABHT

L'agence du bassin hydraulique Tensift est un organisme public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière qui constitue un espace de concertation au service de l'eau. Elle permet la synthèse des données à partir des forages au niveau de la nappe Haouz central ainsi que d'assurer une gestion intégrée des ressources en eau pour un développement durable du bassin hydraulique du Tensift.

Elle s'intéresse aux bassins hydrauliques Tensift-Ksob-Igouzoulen qui s'étendent sur une superficie de l'ordre de 24 800 km². La zone est subdivisée en quatre domaines géographiques différenciés: Le Haut Atlas au sud, la plaine du Haouz et le bassin de Mejjate au centre, les Jbilet au nord et le bassin d'Essaouira-Chichaoua à l'ouest.

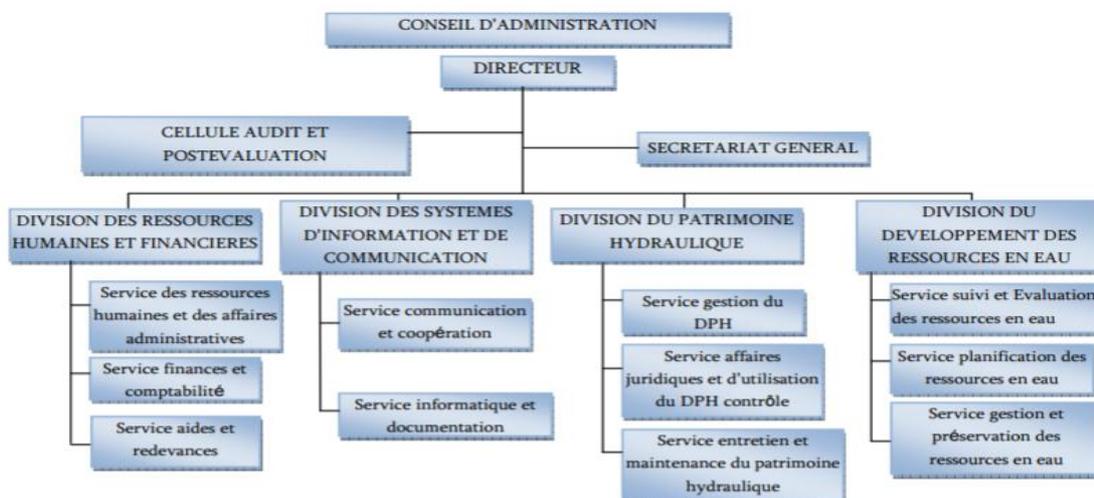
a. Sa création a pour objectifs :

- La gestion des ressources en eaux régionales.
- La planification cohérente à l'échelle du bassin hydraulique.
- La protection et la conservation quantitative et qualitative des ressources en eau.
- L'utilisation rationnelle et optimale de l'eau.

b. Elle est chargée des missions suivantes:

- Elaboration d'un plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau relevant de sa zone d'action.
- Fournir toute aide financière et toute prestation de service, notamment d'assistance technique.
- Réalisation de toutes mesures piézométriques et de jaugeages ainsi que les études hydrologiques, hydrogéologiques.
- Planification et de gestion de l'eau tant au plan quantitatif que qualitatif.
- Gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées.
- Réalisation des infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations.

c. Organigramme de l'agence hydraulique :



II. Présentation générale et analyse géomorphologique du bassin hydraulique de Tensift

1. Situation géographique et délimitation

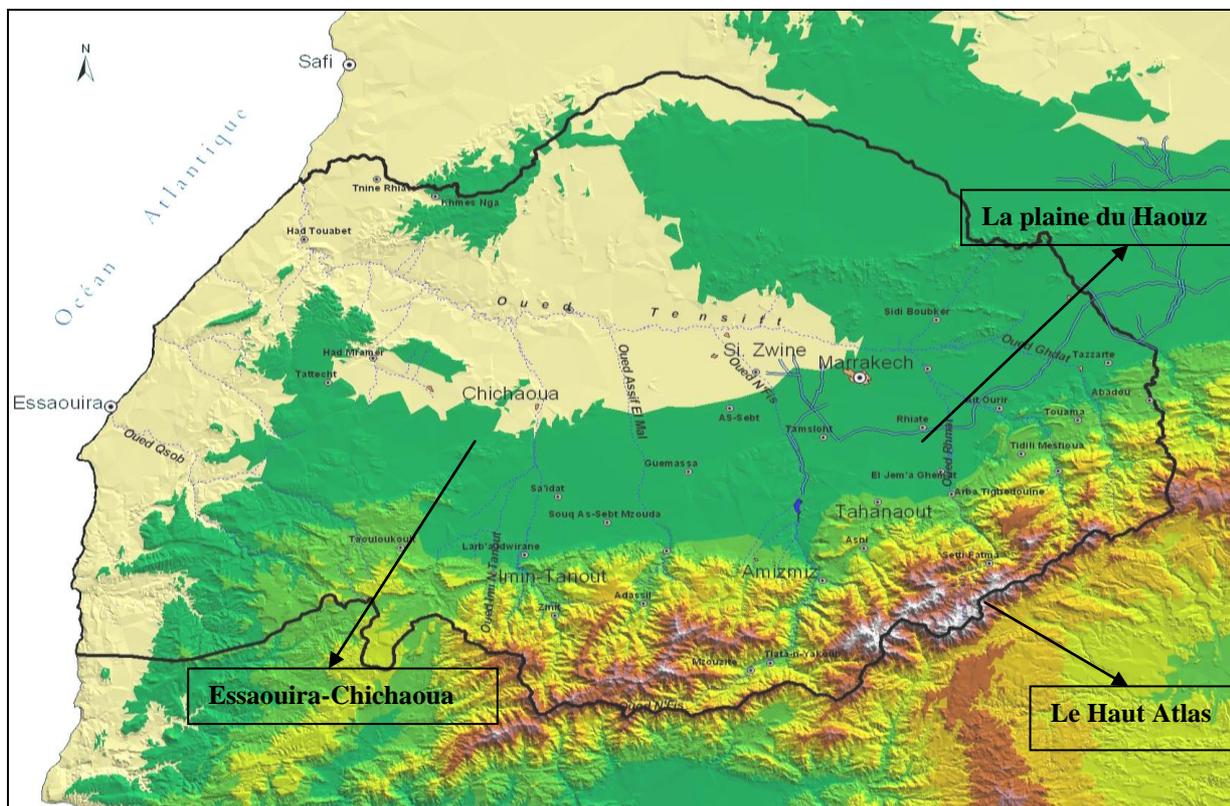
L'aire d'étude correspond à la zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift, située au centre Ouest du Maroc. Elle s'étend de la ligne de partage des eaux de surface de l'Oum ER Rbia au Nord et à l'Est, aux crêtes du haut Atlas au Sud, l'Est et de l'Océan Atlantique à l'Ouest. **EL BAHTARI Jamila & EL BAHRI Fatima Zahra (2009)**



Figure 1: situation géographique du bassin hydraulique de Tensift
EL BAHTARI Jamila & EL BAHRI Fatima Zahra (2009)

Le bassin hydraulique de la région de Marrakech-Tensift est divisé en plusieurs zones topographiques. Nos stations pluviométriques de travail se situent dans les zones suivantes :

- A. La Plaine du Haouz
- B. Essaouira-Chichaoua
- C. Le Haut Atlas



Figure

2 : La division topographique du bassin hydraulique de Tensift

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 (région de Souss Massa Draa) **BOULAASSAFER Khadija(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 Chichaoua-Essaouira est un plateau accidenté qui se situe à l'ouest de la plaine de Haouz. Le 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. **Etude du plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz royaume du Maroc, rapport intermédiaire, Mars 2007.**

2. Composition géologique de diverses zones :

La région s'étend sur une superficie de 31160Km² soit l'équivalent de 4.54% du territoire national. Son relief est caractérisé par une grande diversité:

-La plaine de Haouz est un bassin de sédimentation d'origine tectonique, dans lequel se sont accumulées

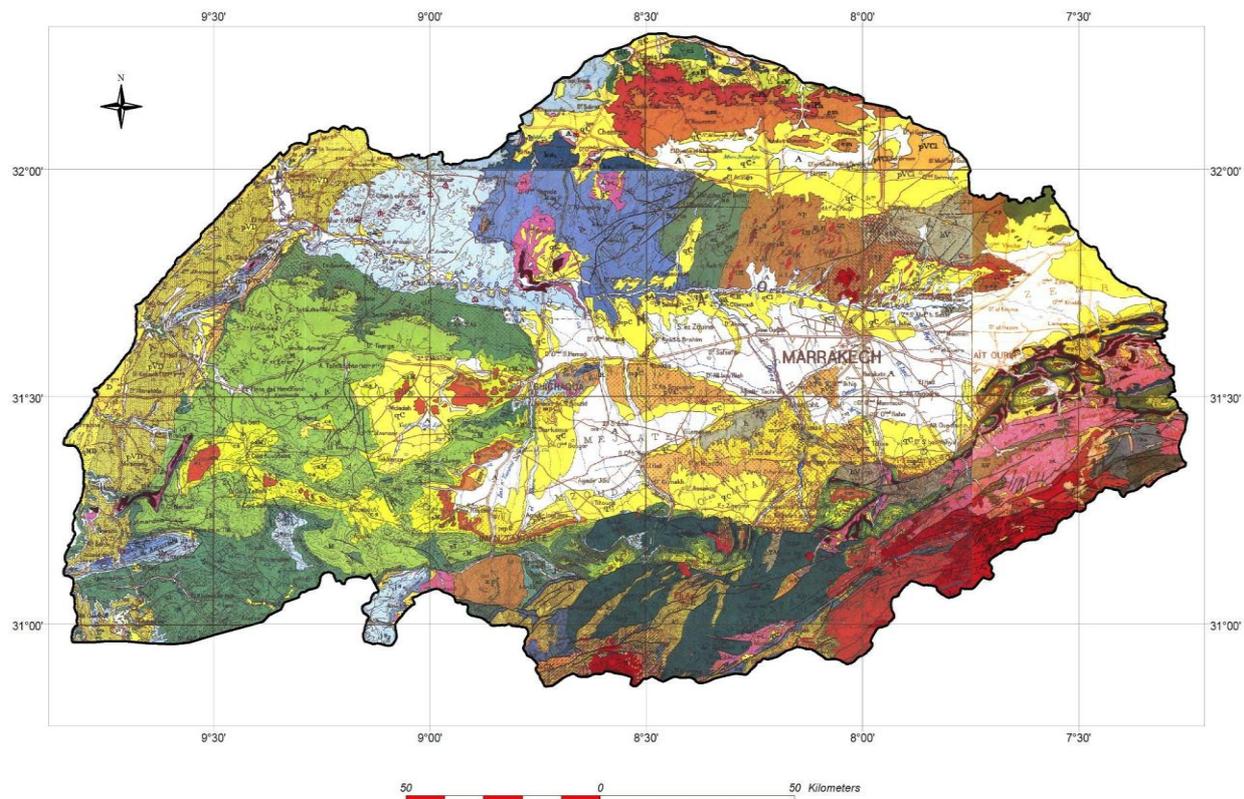
au Néogène et au Quaternaire, d'importantes formations détritiques issues du démantèlement de la chaîne atlasique nouvellement soulevée. Ces dépôts recouvrent des formations primaires, secondaires et tertiaires, qui présentent d'importantes variations de faciès et d'épaisseur sur les bordures sud de la plaine et dans ses profondeurs. Les dépôts du néogène au quaternaire alluvial forment la plaine. La couche de calcaire existe autour de Chichaoua et en amont jusqu'au pied du Haut Atlas. Ces formations sont généralement perméables et l'eau souterraine peut être exploitée. Quelques dépôts paléozoïques sont dispersés dans le sud du centre de la plaine, et au sud-est de Guemassa.

Cette formation paléozoïque est constituée de schiste, quartzite, calcaire et elle est presque imperméable.

SINAN M. Mohamed (2000)

-Le plateau Essaouira-Chichaoua est formé par les dépôts allant du Crétacé à l'Eocène. Ces formations consistent en dolomie et calcaire marne. Elles sont perméables et sont exploitées pour l'alimentation en eau potable et pour l'agriculture.

-Les Montagnes du Haut Atlas appartiennent essentiellement au Paléozoïque et en partie en Précambrien. Il se peut qu'il ait des fissures ou des fentes dans les roches perméables. **Etude du plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz royaume du Maroc, rapport intermédiaire, Mars2007.**



**Figure 3 : Carte géologique simplifié des zones étudiées
(Extraite de la carte géologique de Marrakech 50000è)**

3. Le cadre hydrologique :

a. Climatologie

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.

Tableau 1 : Climatologies des zones

Zones	La plaine de Haouz	Chichaoua-Essaouira	Le haut atlas
Climat	Aride à semi-aride (Chaud et sec)	Semi-aride (Influencé par le courant des canaries)	*Tempéré en moyenne montagnes *Froid et humide en haute montagnes

- La climatologie de la plaine du Haouz est analysée à partir des résultats de mesure de plusieurs paramètres (climatiques) au niveau de 12 stations gérées par l'ABHT. 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 M. Mohamed (2000).**

-Les données climatiques dans le secteur Essaouira-Chichaoua en bordure de l'Atlantique, traduisent l'influence océanique et 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 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 négatives sur huit à neuf mois de l'année avec maintien d'un manteau neigeux de décembre à mai. Sur les hauts reliefs de l'Atlas, la pluviométrie dépasse 500 mm/an.

b. Les stations de mesure :

La connaissance de la précipitation moyenne sur une surface donnée est établie à partir de mesures ponctuelles au niveau des stations pluviométriques.

L'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift a mis à notre disposition les données pluviométriques journalières, mensuelles et annuelles des stations suivantes :

Tableau 2 : Liste de Stations du réseau hydrologique

Nom	Code	Période de mesure		Cours d'eau
		De	A	
ABADLA	N° 008	1969/1970	2015/2016	Tensift
AGHBALOU	N° 6193	1968/1969	2015/2016	OURIKA
ADAMNA		1997/1978	2015/2016	KSOB
AMENZAL	N°1004	1996/1997	2015/2016	OURIKA
AREMD	N°1182	1998/1999	2015 /2016	IMLIL
CHICHAOUA	N°2601	1965/1966	2005/2006	CHICHAOUA
IGUIR N'KOURIS	N° 4299	1973/1974	2015/2016	N'FIS
ILOUDJANE	N° 4222	1989/1990	2015/2016	SEKSAOUA
IMINE EL HAMMAM	N° 4432	1968/1969	2015/2016	N'FIS
IGROUNZAR	N°4315	1968/1969	2015/2016	IGROUNZAR
SIDI BOUOTHMANE	N° 6770	1989/1990	2015/2016	EL MAL
SIDI HSSAIN	N°6826	1997/1998	2015/2016	AMEZMIZ
SIDI RAHAL	N° 6976	1967/1968	2015/2016	R'DAT
TAFERIAT	N° 7352	1982/1983	2015sept	ZAT
TAHANAOUT	N°7512	1968/1969	2015/2016	RHETHAYA
TALMEST	N° 7660	1984/1985	2001/2016	TENSIFT
TAZITOUNT	N°7994	1998/1999	2015/2016	OURIKA
TIOURDIOU	N°8411	1995/1996	2015/2016	OURIKA
TOURCHT	N°8804	1996/1997	2015sept	OURIKA

Ces stations sont représentées sur la carte suivante :

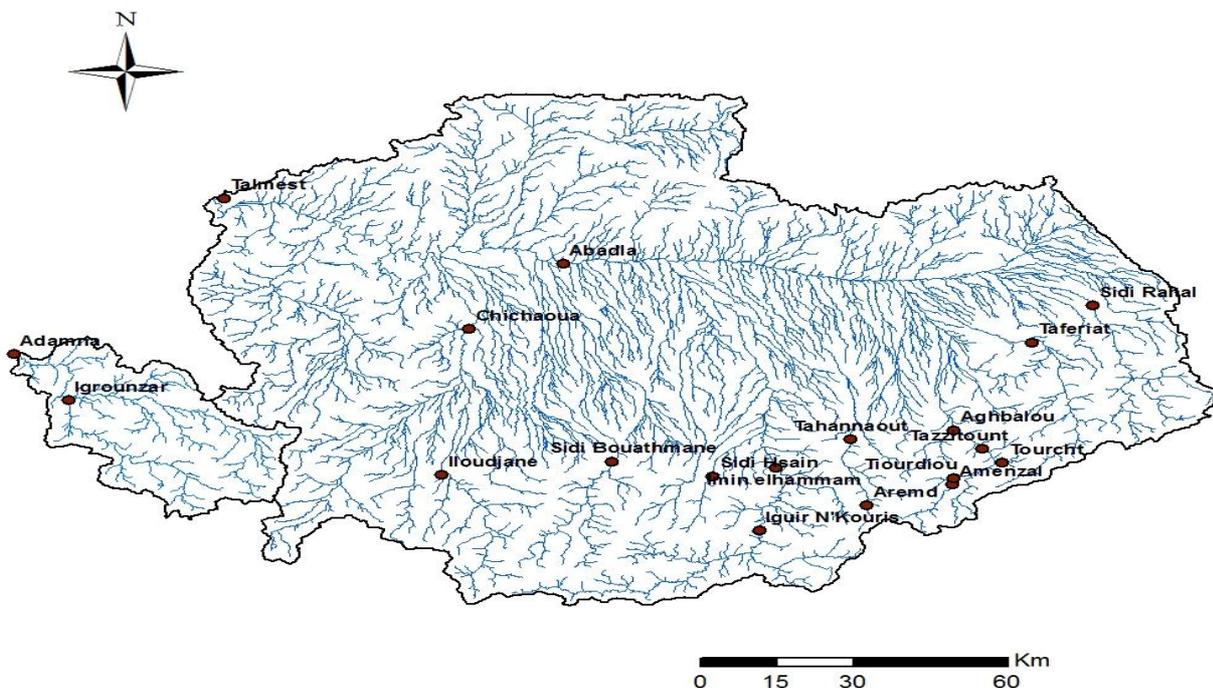


Figure 4 : Carte représentant les stations hydro-climatiques du bassin Tensift

III. Critique des précipitations mensuelles:

Sur le bassin hydraulique du Tensift, vaste de 31160 km², le régime des pluies est 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 postes présentent des observations interrompues pendant certaines années ou plusieurs mois d'une année, ce qui rend parfois les séries inexploitable. 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.

Le versant Haut Atlasique est très peu couvert par un réseau de mesure, et des régions difficilement accessibles du Haut Atlas ont été équipées de pluviomètres totaliseurs. Quelques stations principales sont en revanche munies de pluviographes, et les autres stations sont équipées de pluviomètres observés de façon continue en cas de précipitations.

Avant leur utilisation, il importe 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 étude les données pluviométriques couvrent une période de 51ans, de 1965 à 2016, parsemée, parfois, de quelques lacunes plus ou moins nombreuses.

1. Le contrôle des données :

Les précipitations constituent la variable climatique la plus anciennement et la plus couramment enregistrée. Pour ces raisons, elles sont un précieux indicateur pour étudier l'évolution du climat.

Une erreur de mesure est définie comme étant la différence entre la vraie valeur (qui est l'idéal recherché, mais qui n'est en principe et malheureusement jamais connue) et la valeur mesurée.

Les séquences erronées seraient dues à des lacunes d'observations non signalées, ou pis encore, comblées arbitrairement par l'observateur. Ils les ont observées en périodes troublées, à la mise en place d'une station ou d'un nouvel observateur. Parfois encore, une importante erreur de saisie ou de copie peut fausser le résultat d'une année. Il faut reconnaître, cependant, qu'il est assez délicat, dans le travail de détection d'anomalies, de distinguer entre des fluctuations naturelles et des erreurs. Donc, l'hypothèse que les mesures reflètent les vraies valeurs n'est malheureusement jamais réalisée en pratique, à cause des **erreurs aléatoires** et les **erreurs systématiques**.

a. Les erreurs aléatoires (accidentelles) :

Elles affectent la précision des données et sont non corrélées. Ce type d'erreur est dû à des raisons

nombreuses et variées, généralement inconnues, affectant différemment chaque mesure individuelle. Généralement on considère que ces erreurs sont les réalisations d'une variable aléatoire normale centrée en 0 et d'un écart type s^2 . Ces erreurs étant inévitables, il faut en estimer l'importance afin de pouvoir en tenir compte lors de l'évaluation de l'incertitude finale. Dans la mesure du possible, la technique de mesure induisant les erreurs aléatoires les plus faibles devrait être préférée.

b. Les erreurs systématiques :

Elles affectent la fiabilité des données et sont totalement corrélées. On parle aussi d'inconsistance.

Supposons qu'aucune erreur aléatoire n'affecte les mesures. La différence entre la vraie valeur et la valeur mesurée, si elle existe, est alors due à une erreur systématique. L'origine des erreurs systématiques est le plus souvent liée à la calibration de l'appareil de mesure qui n'est pas parfaite ou à un phénomène extérieur qui perturbe la mesure, cas d'une erreur d'appareillage, changement d'observateur.

2. Recherche des erreurs et corrections des mesures

Dans cette étude de l'hydrologie du Tensift, nous avons choisi de dépouiller et étudier les données pluviométriques, des différentes stations, sur une même période, et la plus longue possible. Ceci nous permettra de mener à bien une étude comparative dans le temps et l'espace.

CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE

Dans cette étude, nous avons choisi des méthodes considérées parmi les moyens d'analyse les plus éprouvés pour tester l'homogénéité :

A. Corrélation entre les stations par régression linéaire :

B. Calcul de coefficient de corrélation :

C. Test de doubles cumulés :

Nous avons exploité des données climatiques de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift (ABHT). Les données dont nous disposons sont des séries pluviométriques journalières, mensuelles et annuelles pour 19 stations. Ces séries s'étalent sur des périodes variables de 1965-66 à 2015-16 (de 20 ans pour certaines jusqu'à 51 ans pour d'autres). Il a alors été nécessaire de ne considérer pour les tests que la période commune entre deux stations (et ne comportant pas de lacunes).

A. Corrélation entre les stations par régression linéaire :

a. Définition

En statistique : Le terme de corrélation est réservé 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 : $y = ax + b$.

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

1. Indépendance des observations :

Ne pas confondre:

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

2. 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.

B. Calcul du coefficient de corrélation :

Le calcul du coefficient de corrélation R, est une autre façon plus précise de qualifier la liaison entre les pluies mensuelles sur un bassin hydraulique. 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.

Résultats des deux tests

Dans ces deux premiers tests nous avons utilisé les données pluviométriques mensuelles de toutes les stations à étudiés.

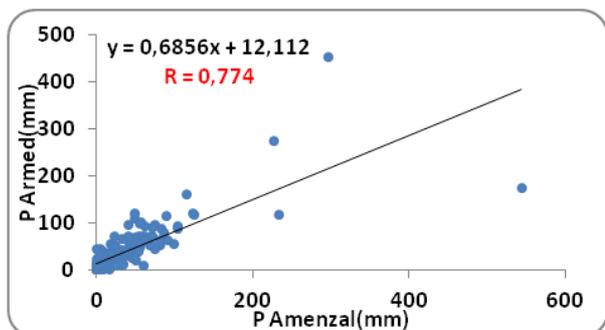
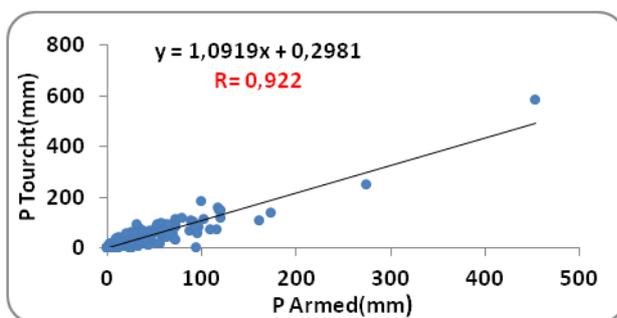
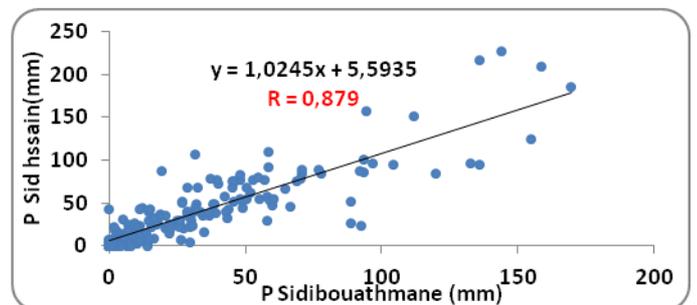
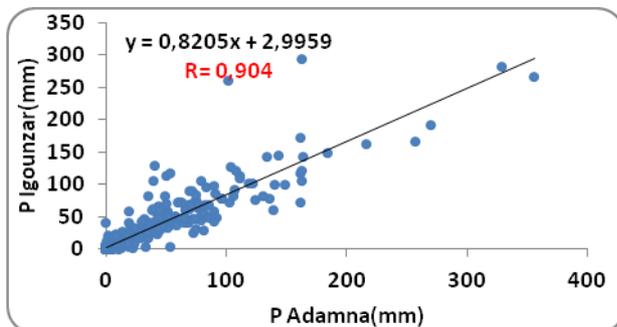
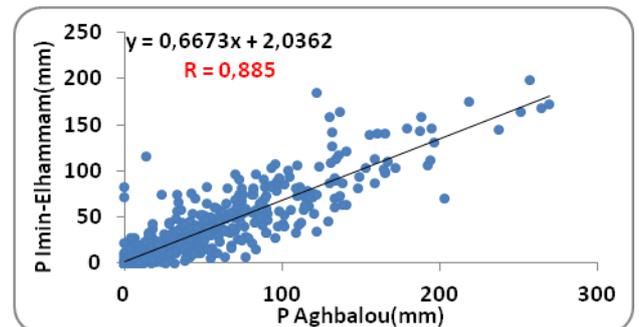
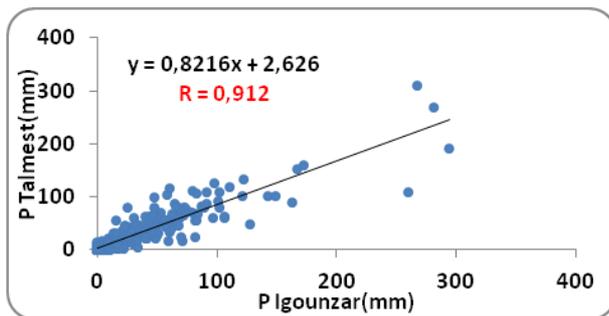
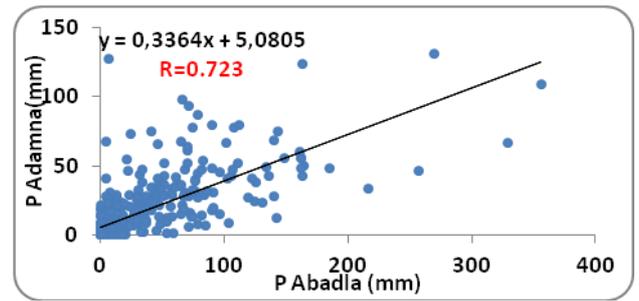
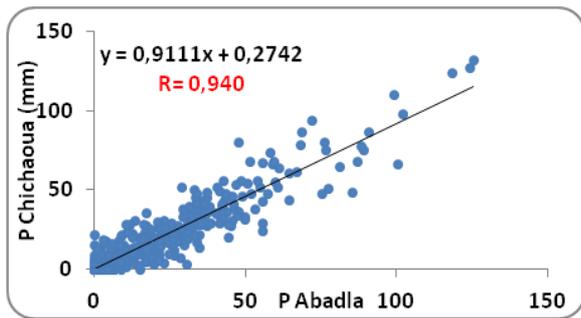
1. Détermination et vérification de postes de références

a. Détermination de postes de référence

Dans le but d'aboutir à la précision des stations de référence une étude pluviométrique mensuelle est effectuée pour les 19 stations, qui consistent à tracer des courbes de régression linéaire entre chaque deux stations afin de déterminer le coefficient de corrélation R. Au terme de cette étude nous avons obtenu une matrice de corrélation (ci- dessous):

	Abadla	Adamna	Aghbalou	Amenzal	Aremd	Chichaoua	Igounzar	Iloudjane	Imin Elhammam	N'Kouris	Sidi-Bouathamne	Sidi Hssain	Sidi-Rahal	Taferiat	Tahannaout	Talmest	Tazzitount	Tiourdiou	Tourcht
Abadla																			
Adamna	0,723																		
Aghbalou	0,706	0,547																	
Amenzal	0,466	0,396	0,526																
Aremd	0,723	0,599	0,724	0,774															
Chichaoua	0,94	0,684	0,708	0,461	0,701														
Igounzar	0,772	0,904	0,63	0,38	0,542	0,734													
Iloudjane	0,784	0,571	0,765	0,482	0,719	0,76	0,608												
Imin Elhammam	0,722	0,5298	0,885	0,457	0,687	0,719	0,597	0,804											
N'Kouris	0,714	0,633	0,623	0,624	0,857	0,703	0,671	0,624	0,664										
Sidi Bouathmane	0,751	0,52	0,833	0,424	0,673	0,75	0,563	0,827	0,871	0,603									
Sidi Hssain	0,66	0,541	0,833	0,451	0,662	0,662	0,554	0,766	0,867	0,697	0,879								
Sidi rahal	0,797	0,613	0,814	0,406	0,671	0,762	0,67	0,713	0,77	0,583	0,775	0,66							
Taferiat	0,75	0,597	0,823	0,284	0,577	0,739	0,653	0,73	0,779	0,578	0,77	0,758	0,864						
Tahannaout	0,775	0,556	0,885	0,525	0,757	0,774	0,628	0,821	0,864	0,644	0,869	0,883	0,831	0,844					
Talmest	0,772	0,905	0,614	0,558	0,525	0,732	0,912	0,589	0,612	0,638	0,541	0,531	0,64	0,622	0,634				
Tazzitount	0,732	0,63	0,863	0,638	0,823	0,693	0,628	0,744	0,744	0,714	0,754	0,75	0,771	0,703	0,879	0,661			
Tiourdiou	0,587	0,464	0,625	0,722	0,794	0,599	0,473	0,573	0,56	0,694	0,507	0,54	0,551	0,44	0,634	0,448	0,711		
Tourcht	0,733	0,608	0,752	0,686	0,922	0,713	0,583	0,693	0,661	0,773	0,658	0,645	0,714	0,634	0,77	0,588	0,878	0,764	

Sur les figures 1 à 12, nous avons illustré des graphes représentant la corrélation par régression linéaire.



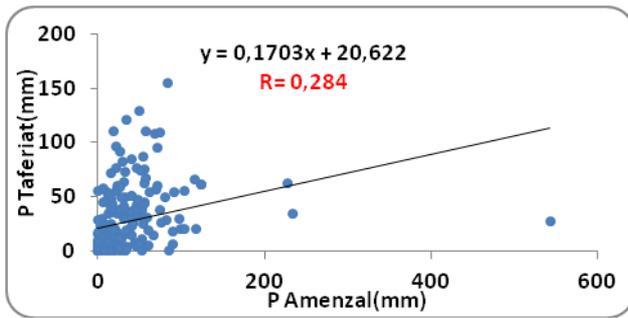


Figure 9 : Corrélation pluviométrique mensuelle entre Amenzal et Taferiat de 1995-96 à 2015-2016

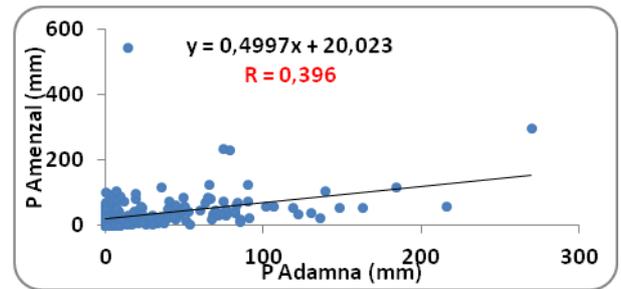


Figure 11 : Corrélation pluviométrique mensuelle entre Adamna et Amenzal de 1996-97 à 2015-2016

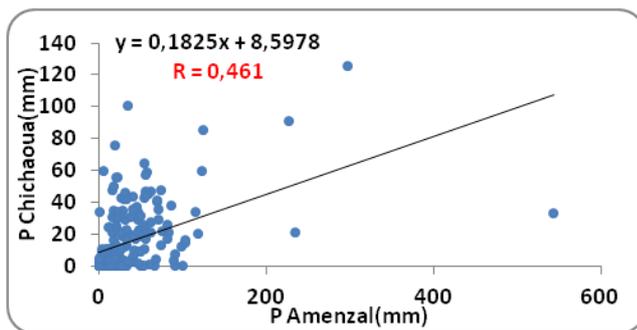


Figure 10 : Corrélation pluviométrique mensuelle entre Amenzal et Chichaoua de 1996-97 à 2015-2016

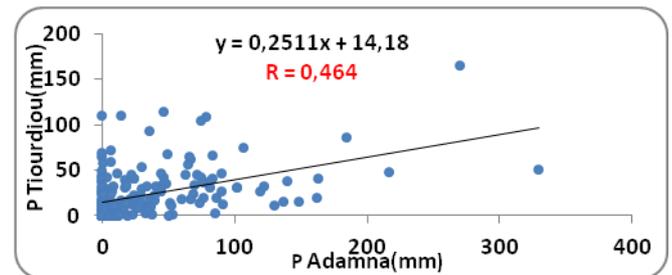


Figure 12 : Corrélation pluviométrique mensuelle entre Adamna et Tiourdiou de 1995-96 à 2015-2016

Le nuage de points illustre les valeurs mensuelles pluviométriques en fonction de nombre d'années communes de deux stations, de même 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 plus nous avons de plus en plus de liaison entre les deux stations étudiées.

Pour les figures 1 à 4, comme leurs coefficients de corrélations sont les plus élevés (entre 0.940 et 0.904), nous pouvons affirmer que le nuage de points de chaque graphique entre eux est aggloméré beaucoup près de la droite, donc sans aucun doute ces stations désignent une très bonne corrélation entre eux.

Pour les figures 5 à 8, dont la valeur de leurs coefficients de corrélation est comprise entre 0.7 et 0.9 la corrélation est assez bonne.

De plus, au niveau de la matrice de corrélation au dessus, nous apercevons la dominance de cette classe.

Pour le reste des figures 9 à 12, il est remarquable que leurs nuages de points sont dispersés. Ceci justifie la faible valeur de leurs coefficients de corrélation comprise entre 0.46 pour

Adamna -Tiourdiou et 0.28 pour Amenzal-Taferiat.

D'après la matrice de corrélation au dessus et les figures 1 à 12, nous avons opté pour un classement pour les différentes stations par rapport à leurs coefficients de corrélation.

Tableau 3 : Classes et exemples des coefficients de corrélation des stations du bassin hydraulique Tensift

Coefficient de corrélation	Pour : $R > 0.9$ Très bonne	Pour : $0.9 < R > 0.7$ Assez Bonne	Pour : $0.7 < R > 0.5$ Moyenne	Pour : $R < 0.5$ Mauvaise
Stations étudiées	<ul style="list-style-type: none"> ● Abadla et Chichaoua ● Igounzar et Talmest ● Adamna et Igounzar ● Armed et Tourcht 	<ul style="list-style-type: none"> ● Abadla et Adamna ● Sidi-Bouathmane et Sidi-Hssain ● Aghblaou et IminElhammam ● Amenzal et Armed 	<ul style="list-style-type: none"> ● Abadla et Sidi-Hssain ● Sidi-Bouathmane et Tiourdiou ● Adamna et Aghblaou ● Tahannout et Talmest 	<ul style="list-style-type: none"> ● Amenzal et Taferiat ● Amenzal et Chichaoua ● Adamna et Amenzal ● Adamna et Tiourdiou

Cette distribution a permis de classer les coefficients de corrélation en quatre classes.

La première qui est $R > 0.9$ représente uniquement quatre cas.

La deuxième et la troisième indiquant une assez bonne à moyenne corrélation qui sont les plus dominantes au niveau de toutes les corrélations pour les 19 stations.

Cette classification a permis évidemment, d'attirer l'attention sur des valeurs très faible ($R < 0.5$) qui représentent la quatrième classe pour la station d'Amenzal et de Tiourdiou, dont la cause est justifiée par l'effet d'abri connu dans certains vallée encaissée du Haut Atlas et par des erreurs systématiques.

Nous remarquons alors, que dans l'ensemble, les coefficients de corrélation sont importants entre les diverses stations.

L'analyse de cette matrice nous a permis également de définir les stations de référence de ce bassin hydraulique par le calcul de la moyenne des coefficients de corrélation pour chaque station qui doit être élevés entre ces postes et les autres, ainsi qu'en fonction de leur période d'observation qui doit être assez longue.

Après l'examen de chaque station, nous avons choisi deux stations de référence, la première est Chichaoua dont les données s'étalent du mois septembre 1965 jusqu'à aout 2016. Elle représente la zone Chichaoua-Essaouira qui contient les stations : Adamna, Abadla, Igrounzar, Iloudjane, Sidi-Bouathamne et Talmest. Tandis que la deuxième est Tahannaout dont les données s'étalent du mois septembre 1968 jusqu'à aout 2015 pour le reste des stations (11 stations).

b. Correction à partir des postes de référence

La précision des stations de référence nous a aidé à corriger les stations dont les lacunes sont très importantes, exemple: Talmest par Chichaoua et Taferiat par Tahannout. Le comblement des vides de ces deux 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 (Chichaoua ou Tahannout). En effet, nous avons obtenu une nouvelle courbe à coefficient de corrélation différent grâce à la régression linéaire.

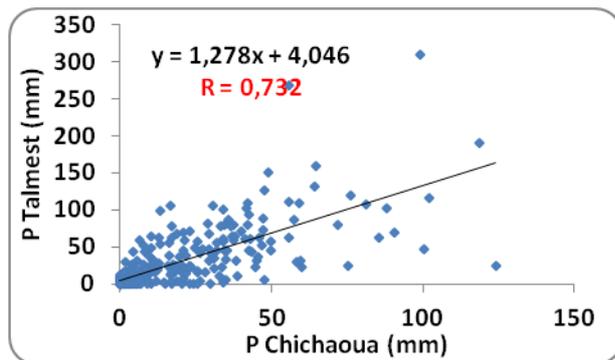


Figure 13 : corrélation pluviométrique mensuelle entre Chichaoua et Talmest de 1984-1985 à 2015-2016

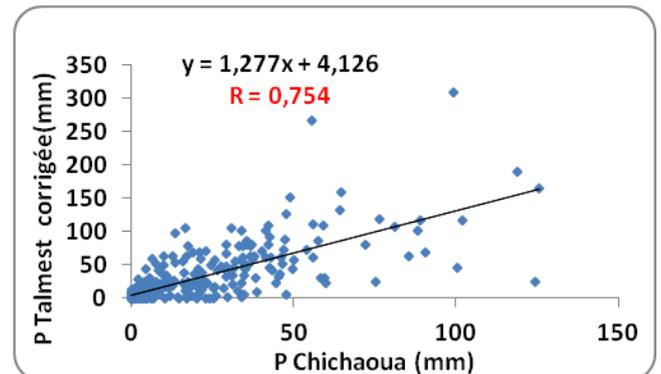


Figure 14 : corrélation pluviométrique mensuelle entre Chichaoua et Talmest corrigée de 1984-1985 à 2015-2016

A la suite de la correction appliquée pour Talmest, nous constatons une faible augmentation de son coefficient de corrélation.

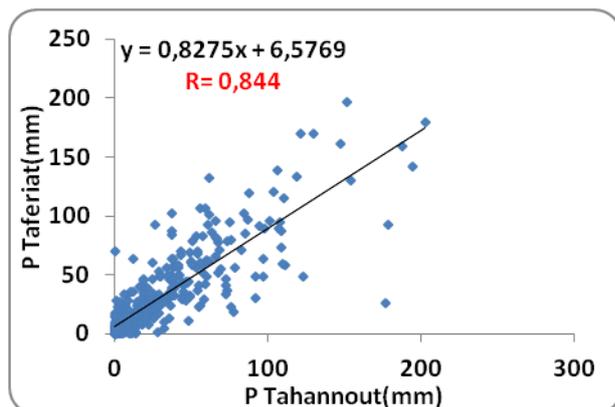


Figure 15 : corrélation pluviométrique mensuelle entre Tahannout et Taferiat de 1982-1983 à 2015-2016

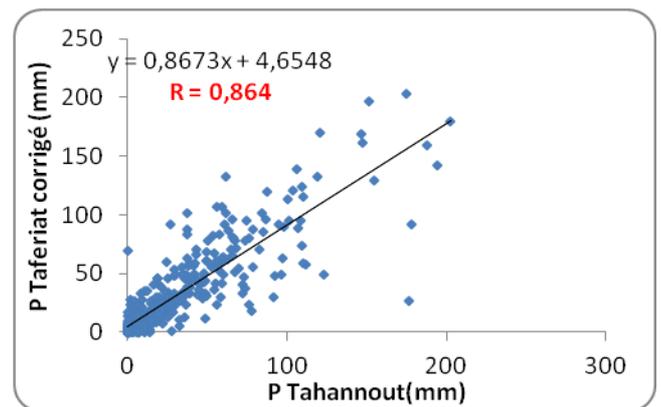


Figure 16 : corrélation pluviométrique mensuelle entre Tahannout et Taferiat corrigée de 1982-1983 à 2015-2016

Egalement comme pour la première correction, la station Taferiat son coefficient de corrélation a augmenté.

En comparant les valeurs calculées et celles observées nous avons constaté un faible écart entre eux qui peut être considéré négligeable. Cette remarque est justifiée à l'aide des figures suivantes :

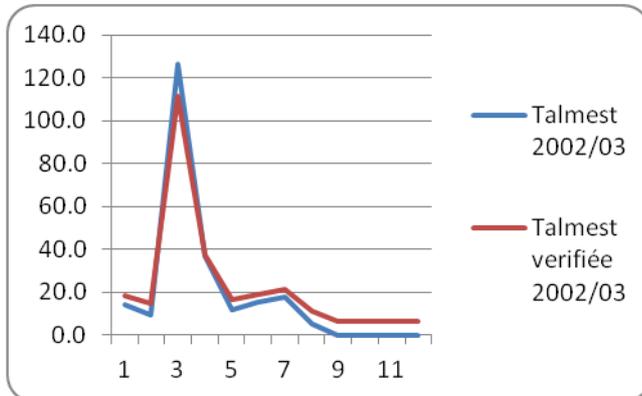


Figure 17 : vérification de l'ajustement entre les valeurs calculée et celles observées pour la station Talmest

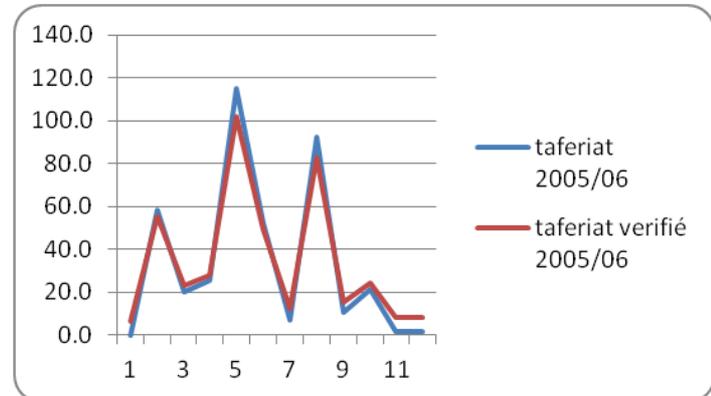


Figure 18: vérification de l'ajustement entre les valeurs calculée et celles observées pour la station Taferiat

D'après les tableaux au dessus et les figures(17 et 18), ce test a deux résultats : La confirmation de la validité de la correction faite pour Talmest et Taferiat, il nous a également permis d'estimer les valeurs manquantes dans toutes les stations avec une faible incertitude pour rendre les données plus fiables et utilisables.

C. Le test des doubles- cumuls :

a. Définition

Le test des double-cumuls permettra de déceler d'éventuelles ruptures dans l'homogénéité des séquences relevées, et de déterminer graphiquement la relation entre les données de deux stations du bassin hydraulique. La fonction est linéaire pour une corrélation parfaite. En cas d'erreur d'estimation ou de déficit systématique, nous avons une cassure dans la courbe, dont la cause reste à déterminer. Ce test suppose que l'homogénéité des précipitations annuelles d'une station quelconque, soit vérifiée par comparaison avec les données d'une station de référence sur une même période.

b. Principe

Le principe de la méthode consiste à vérifier la proportionnalité des valeurs mesurées à deux stations. L'une des stations (station X) est la station de base ou station de référence, supposée

correcte. L'autre station (Y) est la station à contrôler. Un effet d'homogénéisation est obtenu en comparant, au pas de temps choisi (année, saison, mois, décade), non pas les valeurs observées, mais leur cumul.

Résultats du test

Dans ce test nous avons opté à l'utilisation des données annuelles pluviométriques.

A l'aide de la corrélation entre les stations par régression linéaire, nous avons évidemment choisi deux stations de base Chichaoua et Tahannout. Ces stations sont aussi les seules qui ont fourni des séries complètes de 1965 à 2016 pour Chichaoua et de 1968 à 2016 pour Tahannout. Par ailleurs, nous avons cherché les coefficients de corrélation liant les hauteurs de pluies annuelles à Chichaoua et Tahannout d'une part, et celles des stations avoisinantes d'autre part. Sur les figures 19 à 33, nous avons illustré les résultats des tests des double-cumuls entre les diverses stations par des courbes.

La station Abadla, Adamna, Igounzar, Iloudjane, Sidi-Bouathamne et Talmest leur station de base est Chichaoua. Cependant que Tahannout est la référence de la suite des stations.

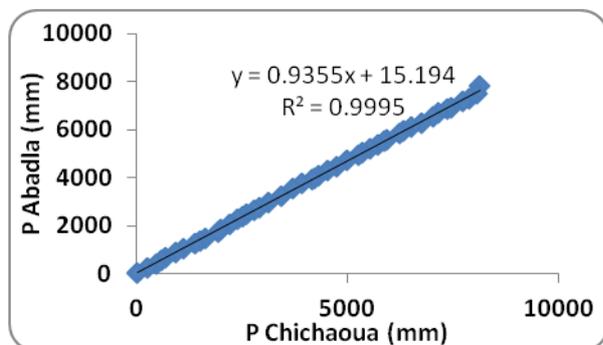


Figure 19 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Chichaoua et Abadla

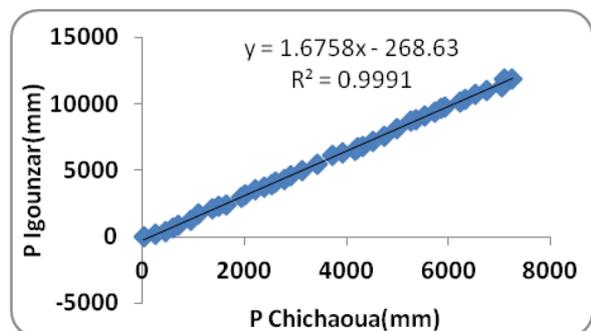


Figure 20 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Chichaoua et Igounzar

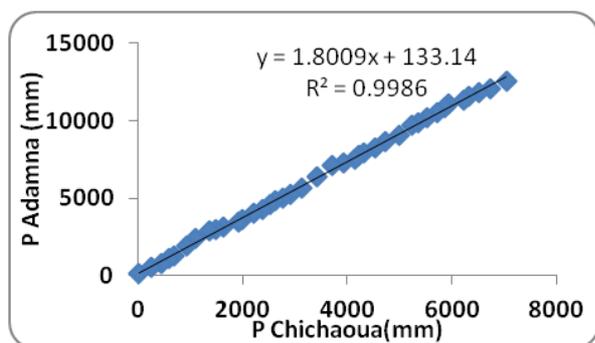


Figure 19 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Chichaoua et Adamna

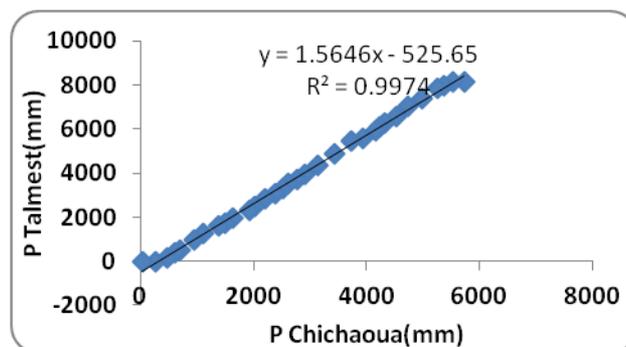


Figure 21 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Chichaoua et Talmest

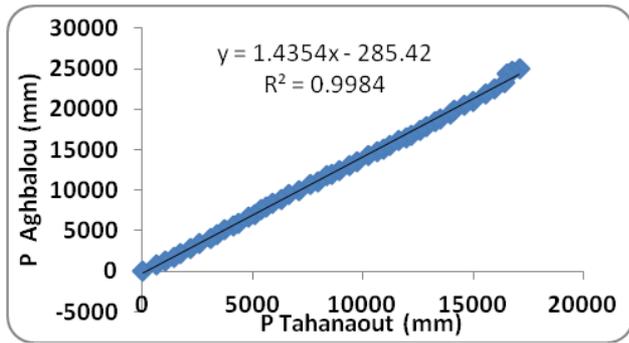


Figure 22 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Tahannout et Aghbalou

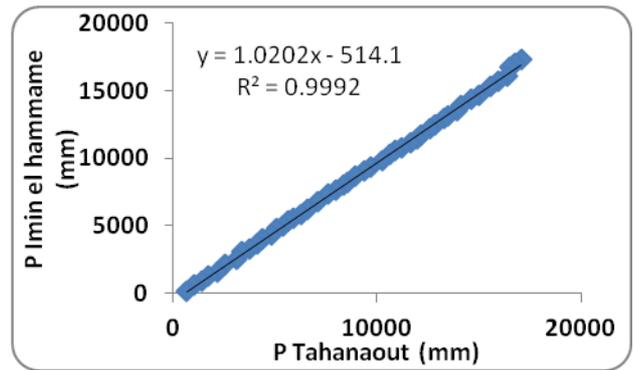


Figure 26 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Tahannout et Imin-Elhammam

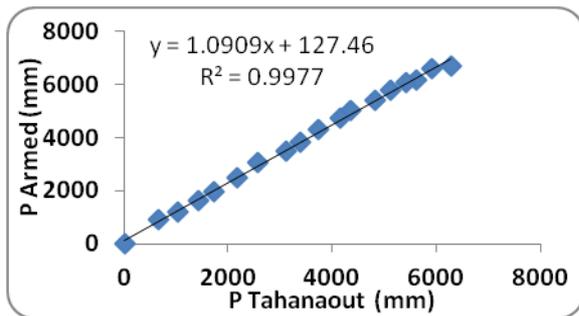


Figure 23 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Tahannout et Armed

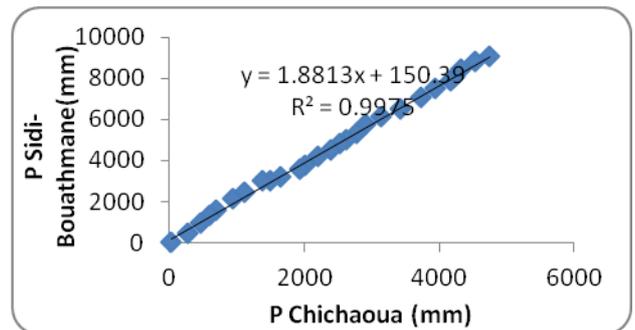


Figure 27 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Chichaoua et Sidi-Bouathmane

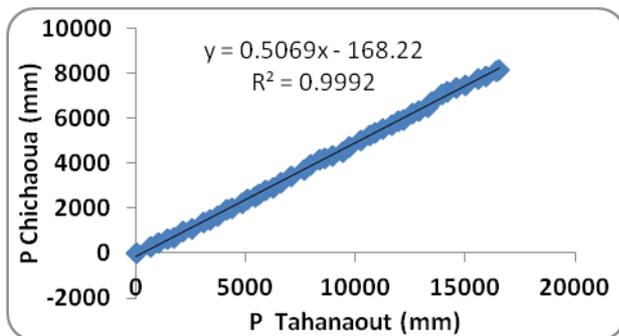


Figure 24 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Tahannout et Chichaoua

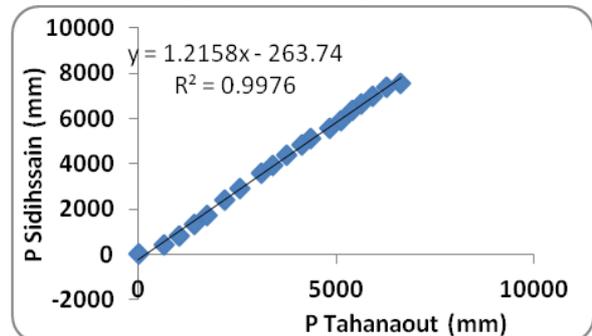


Figure 28 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Tahannout et Sidi-Hssain

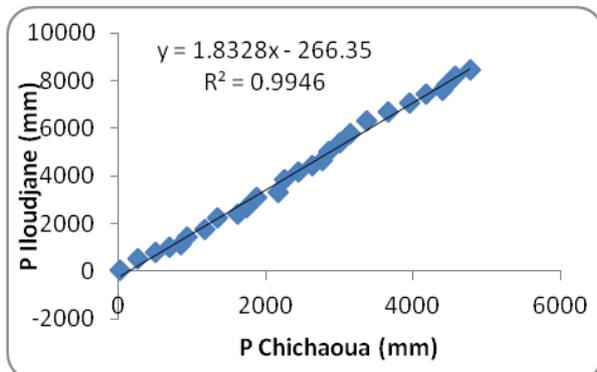


Figure 25 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Chichaoua et Iloudjane

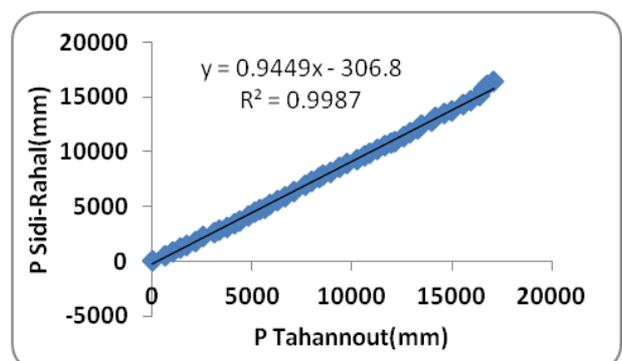


Figure 29 : test de double-cumuls des pluies Annuelles de Tahannout et Sidi-Rahal

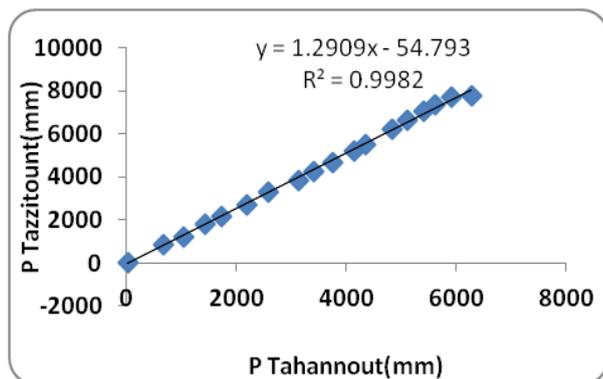


Figure 30 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Tahannout et Tazzitount

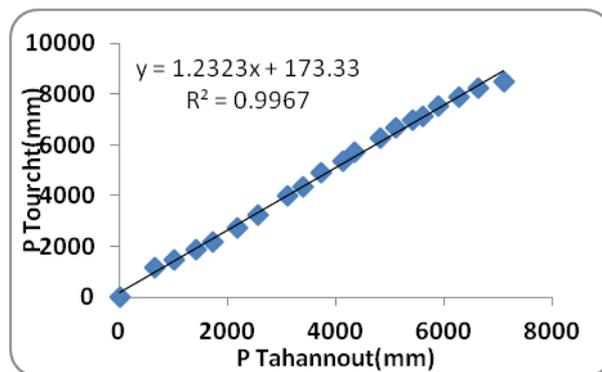


Figure 32 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Tahannout et Tourcht

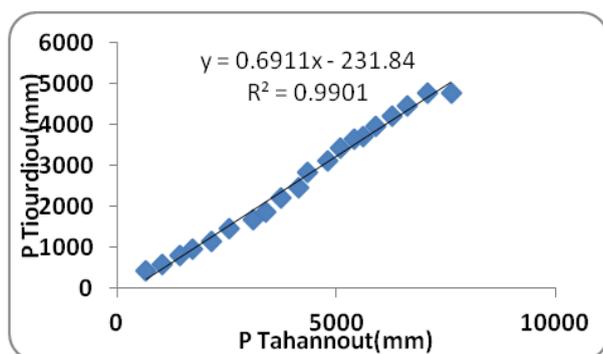


Figure 31 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Tahannout et Tiourdiou

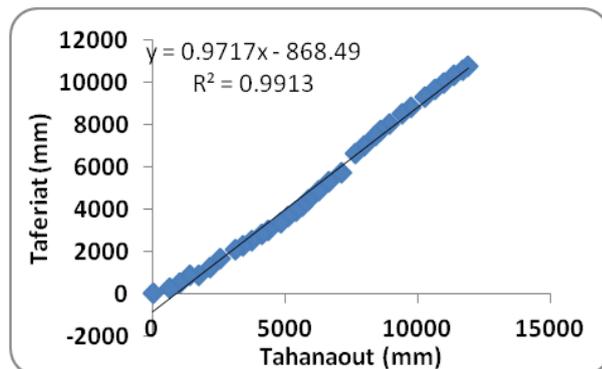


Figure 33 : test de double-cumuls des pluies annuelles de Tahannout et Taferiat

Ces courbes au dessus représentent une corrélation parfaite avec une allure linéaire sans cassure pour la totalité des stations.

En cas de cassure dans la courbe, nous serions obligés d'établir une correction pour la rendre linéaire.

Dans notre cas les données sont homogènes et ne présentent pas d'anomalies notables.

Tableau 5 : Coefficients de corrélation entre les pluies annuelles cumulées des stations du Tensift

Tahannout-Aghbalou	0.9991
Tahannout-Amenzal	
Tahannout-Armed	0.9988
Tahannout-Imin-Elhammam	0.9995
Tahannout-N'Kouris	
Tahannout-Sidi-Hssain	0.9987
Tahannout-Sidi-Rahal	0.9993
Tahanout-Taferiat	0.991
Tahannout-Tazitounte	0.9990
Tahannout-Tiourdiou	0.9950
Tahanout-Tourcht	0.9983

Chichaoua-Abadla	0.9997
Chichaoua-Adamna	0.9992
Chichaoua-Igounzar	0.9995
Chichaoua-Iloudjane	0.9946
Chichaoua-Sidi-Bouathamne	0.9975
Chichaoua-Sidi-Talmest	0.9986

Chichaoua-Tahannout	0.9995
---------------------	--------

Nous remarquons que, les coefficients de corrélation sont très importants entre les diverses stations d'une valeur très proche de 1. Ils témoignent de l'existence d'une liaison significative entre les différentes séries des précipitations annuelles dans le bassin.

Régionalisation homogénéisation

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)

Regions	Station	Altitude	Nom de la zone
Region I (zone 1)	Adamna	0	Essaouira-Chichaoua
	Igrounzar	205	Essaouira-Chichaoua
	Talmest	53	Essaouira-Chichaoua
Region II (zone 2)	Sidi hssain	1030	Haut Atlas
	Tiourdou	1850	Haut Atlas
	Iguir N'kouris	1100	Haut Atlas
	Amenzel	2230	Haut Atlas
	Armed	1950	Haut Atlas
	Tazitount	1240	Haut Atlas
Region III (Zone 3)	Tourcht	1650	Haut Atlas
	Abdala	250	Plaine du Haouz
	Chichaoua	340	Plaine du Haouz
	Iloudjane	757	Plaine du Haouz
Region IV (zone 4)	Sidi Rahal	690	Plaine du Haouz
	Tafériat	760	Piémont du Haut Atlas
	Sidi bouatmane	820	Piémont du Haut Atlas
	Tahnaout	925	Piémont du Haut Atlas
	Imin el hmmam	770	Piémont du Haut Atlas
	Aghbalou	1070	Piémont du Haut Atlas

Tableau 6: Altitudes et régionalisation des stations du bassin Tensift

Dans l'étude précédente, l'homogénéisation permet de régionaliser la pluviométrie dans le bassin Tensift : l'un des plus importants bassins du Maroc



Figure 34: La régionalisation pluviométrique du bassin hydraulique Tensift par zone

D'après la Figure, le bassin Tensift peut être subdivisé en quatre principales régions: Région Sud Atlasique (région 2), la région de plaine (région 3) et la région côtière (région 1)... D'après notre étude, chaque région a ces propres caractéristiques climatique et pluviométrique permettant de l'identifier, en tenant compte évidemment des incertitudes au niveau des données pluviométriques.

CHAPITRE 3 :
Indices pluviométriques
au Bassin Hydraulique de Tensift

La connaissance de l'aléa et du risque est une étape principale de la politique de prévention des risques. Cette connaissance repose, entre autres, sur la connaissance des événements passés grâce aux recherches historiques, également à l'aide des indices de précipitation et sur l'anticipation des événements future à l'aide d'une analyse fréquentielle.

Parmi les moyens existant pour la détermination du degré de la sécheresse et de l'humidité dans une station, nous avons opté au choix des méthodes suivantes :

- **L'indice des Précipitation Standardisé**
- **L'indice de Pluviosité**
- **L'analyse fréquentielle des précipitations**

I- Introduction et notions de sécheresse

1. Définition de la sécheresse

La sécheresse est un des événements hydrologiques extrêmes qui peut être définie comme une baisse significative des ressources en eau sur une période suffisamment longue qui affecte une grande superficie avec des conséquences économiques négatives.

C'est un phénomène normal et récurrent du climat, cependant, on croit à tort qu'il s'agit d'un phénomène étrange. Il se produit dans toutes les régions climatiques, mais leurs caractéristiques varient d'une région à l'autre. Elle a un caractère long et progressif, de sorte que, lorsqu'elle se manifeste de manière évidente, on est déjà plongé dedans.

Facteurs à considérer pour la caractériser :

- Temps nécessaire pour pouvoir parler de la sécheresse ;
- Proportions de réduction de la pluviométrie ;
- Types d'effets considérés ;
- Degré d'impact de tels effets. **Agence du Bassin Hydraulique de Tensift(2015), Développement d'un modèle pour la caractérisation opérationnelle de la sécheresse.**

2. Types de sécheresse

La sécheresse météorologique : Essentiellement liée, au déficit pluviométrique, cette sécheresse survient généralement en absence prolongée de précipitations, lorsque la quantité, de pluie est inférieure à la normale ou sa répartition est inégale. Ce type de sécheresse s'accompagne en général d'ensoleillement intense et de températures élevées.

La sécheresse agricole : La sécheresse agricole est liée au déficit de la réserve hydrique du sol et à l'insatisfaction des besoins en eau des cultures. L'élément moteur initiateur de ce type de sécheresse est la sécheresse météorologique dont les excès pluviothermiques induisent une demande climatique (ETP) qui dépasse les disponibilités en eau pour la plante. Un déficit hydrique significatif en résulte et entraîne des dommages souvent irréversibles pour les cultures (chute dans les rendements des récoltes et du bétail).

-La sécheresse hydrologique : La sécheresse hydrologique est la réduction de l'écoulement superficiel dans les cours d'eau ; il en résulte une diminution des volumes stockés dans les ouvrages hydrauliques et à une baisse naturelle du niveau d'eau dans les nappes souterraines.

-La sécheresse socio-économique : est une pénurie d'eau pour les personnes et les activités économiques en raison de la sécheresse.

3. Gestion de la sécheresse

Les pouvoirs publics disposent de plusieurs outils pour faire face à la situation de la sécheresse.

On peut distinguer les outils qui visent à faire face à la sécheresse dans l'immédiat et ceux qui visent une action à moyen et long termes.

Des **mesures de limitation ou d'interdiction des prélèvements d'eau** sont prises au gré de l'évolution de la situation hydrologique de chaque département. Il arrive que certains bassins versants soient ainsi concernés par une interdiction totale de prélèvements pour l'irrigation.

Autre mesure utilisée pour faire face à la situation de sécheresse: **l'information du public et l'appel à la responsabilité du citoyen.**

Les actions de lutte contre la sécheresse à moyen et longs termes

Les pouvoirs publics lancent un plan de gestion de la rareté de l'eau qui est réactualisé chaque fois qu'il est nécessaire. Ce plan s'articule sur trois axes : **priorité de l'eau potable, partage de l'eau entre les différents usages et meilleure valorisation de l'eau.**

Le plan invite à examiner les **économies d'eau** qui peuvent être réalisées. Cette démarche d'économie d'eau entend s'appliquer à tous les acteurs, et 'prioritairement aux plus importants consommateurs d'eau en période de sécheresse'. Les techniques de **valorisation des eaux de pluie, des eaux usées ou la désalinisation** sont connues, mais peu utilisées. Agence du Bassin Hydraulique de Tensift(2015), **Développement d'un modèle pour la caractérisation opérationnelle de la sécheresse.**

II- Indice des Précipitation Standardisé (SPI):

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).**

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**

4. Classification du SPI :

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

$$SPI = \frac{P_i - P_m}{\sigma}$$

Avec : **pi** est la précipitation de l'année i, **pm** est la précipitation moyenne et **σ** est la déviation standard ou 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 7 : Classification de la sécheresse selon l'indice SPI

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

Hicham Ezzine & Mohammed Messouli & Boris Krause (janvier 2016).

Résultats du test

Les figures 34 à 52 présentent l'évolution des valeurs moyennes annuelles de l'indice SPI pour les 19 stations pluviométriques.

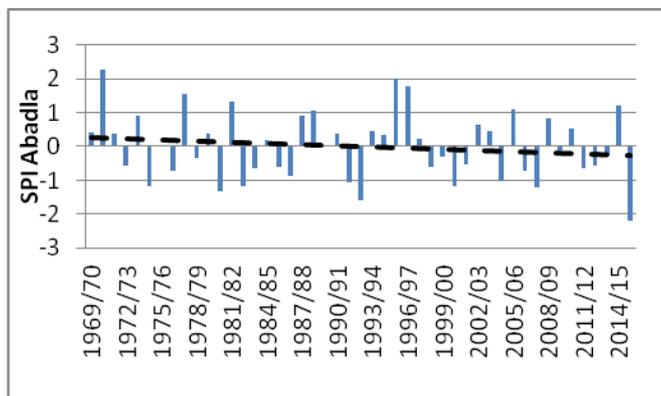


Figure 34 : La tendance de SPI à Abadla entre 1969 et 2015

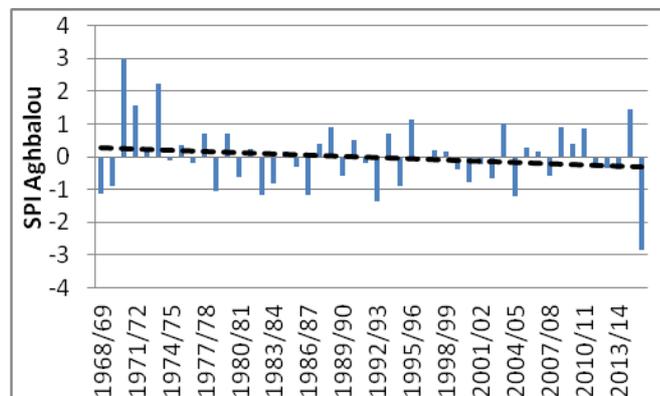


Figure 38 : La tendance de SPI à Aghbalou entre 1968 et 2015

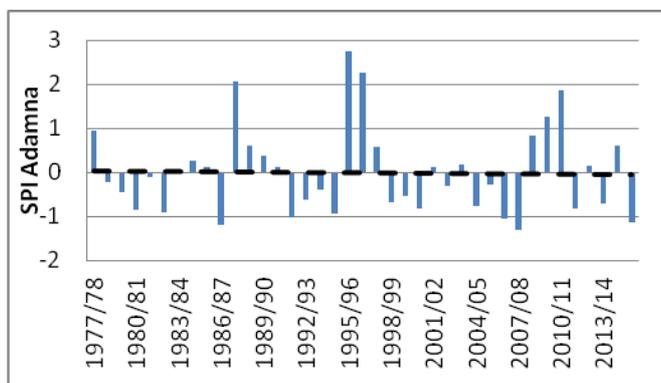


Figure 36 : La tendance de SPI à Adamna entre 1977 et 2016

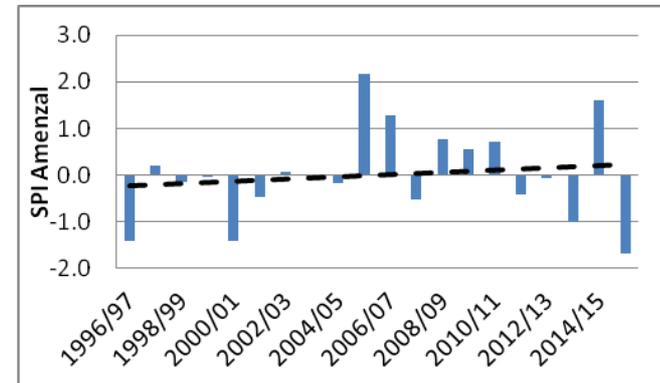


Figure 35 : La tendance de SPI à Amenzal entre 1996 et 2016

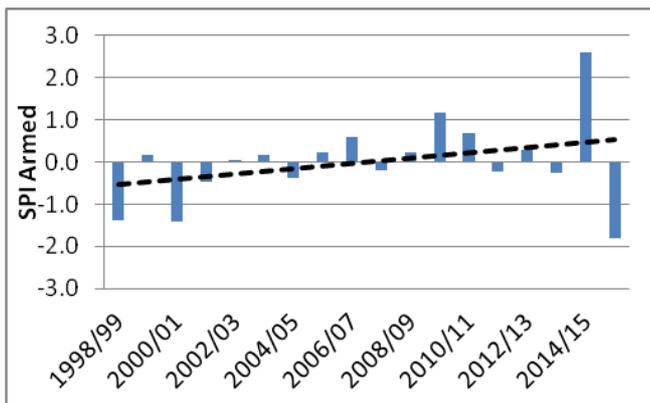


Figure 37 : La tendance de SPI à Armed entre 1998 et 2016

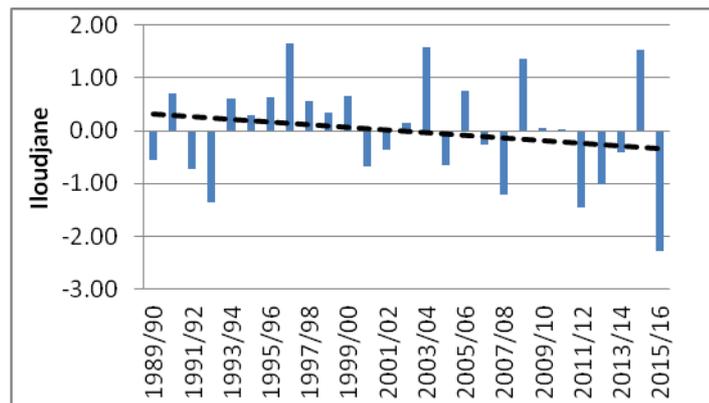


Figure 42 : La tendance de SPI à Iloudjane entre 1989 et 2016

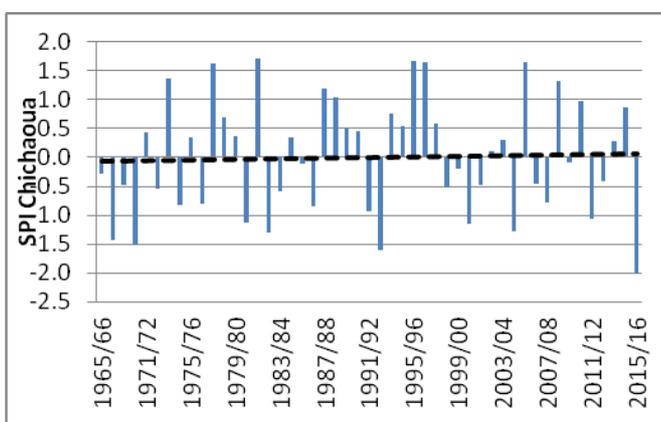


Figure 39 : La tendance de SPI à Chichaoua entre 1965 et 2016

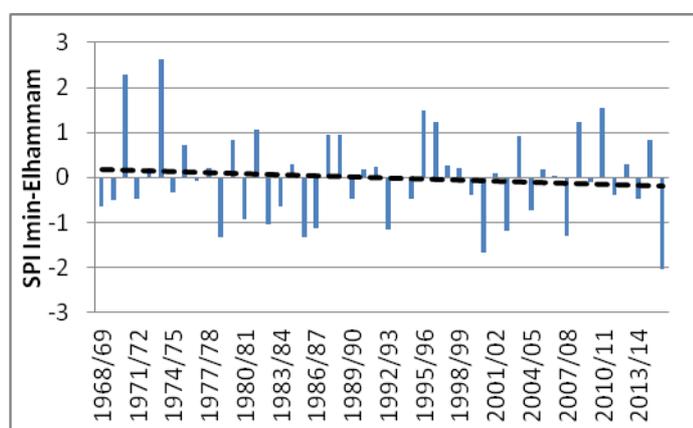


Figure 44 : La tendance de SPI à Imin-Elhammam entre 1968 et 2014

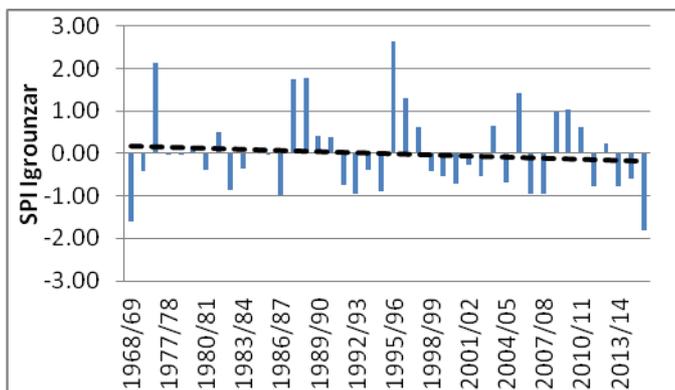


Figure 40 : La tendance de SPI à Igounzar entre 1968 et 2015

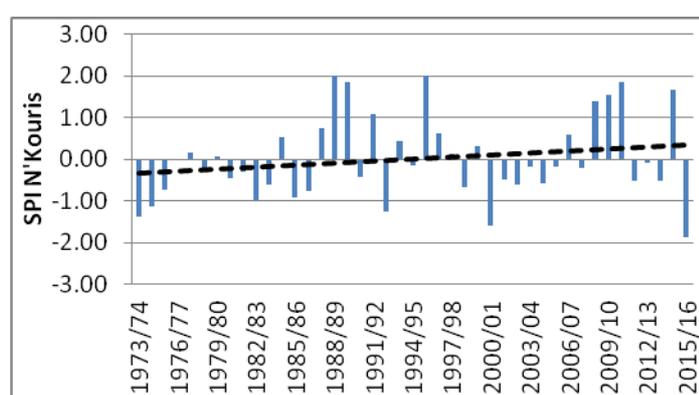


Figure 41 : La tendance de SPI à N'Kouris entre 1973 et 2016

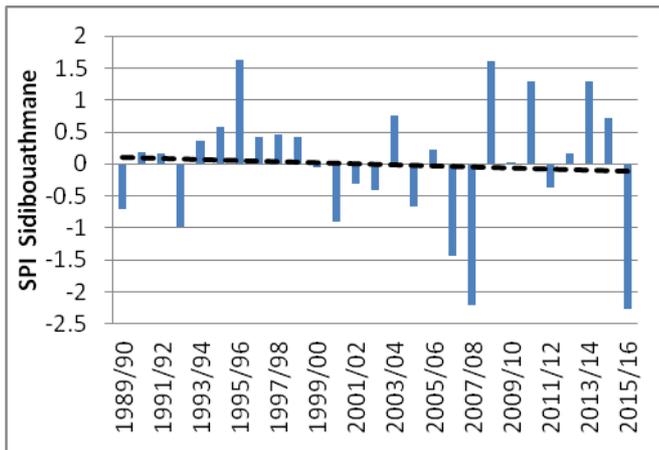


Figure 43 : La tendance de SPI à Sidibouathmane entre 1989 et 2016

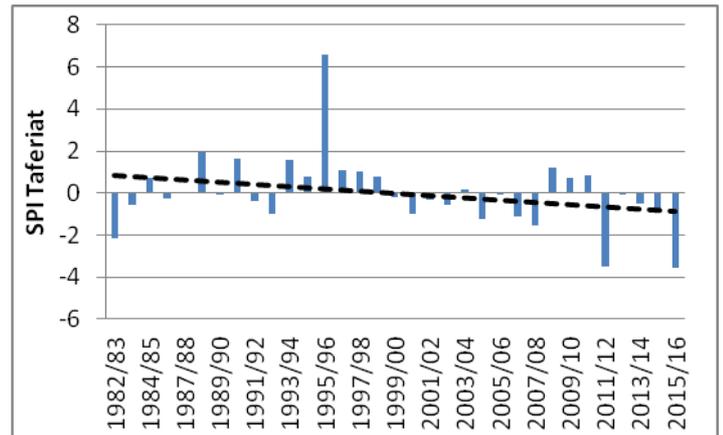


Figure 48 : La tendance de SPI à Taferiat entre 1982 et 2016

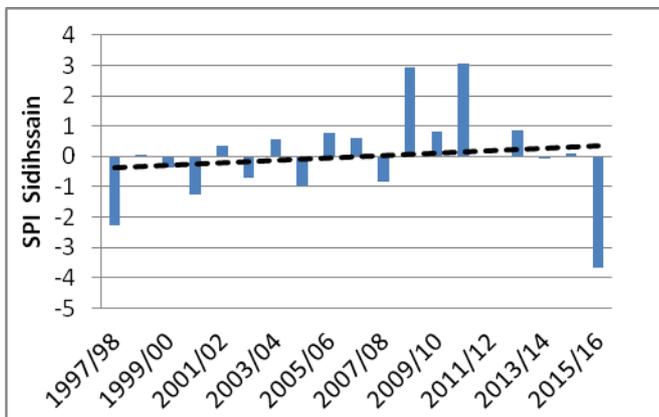


Figure 45 : La tendance de SPI à Sidihssain entre 1997 et 2016

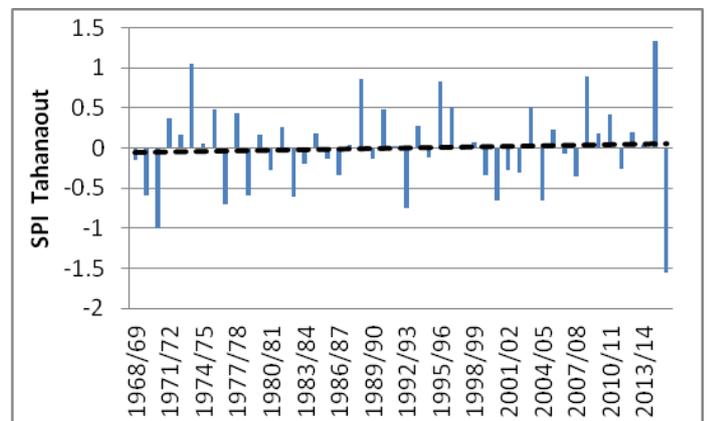


Figure 50 : La tendance de SPI à Tahanaout entre 1968 et 2014

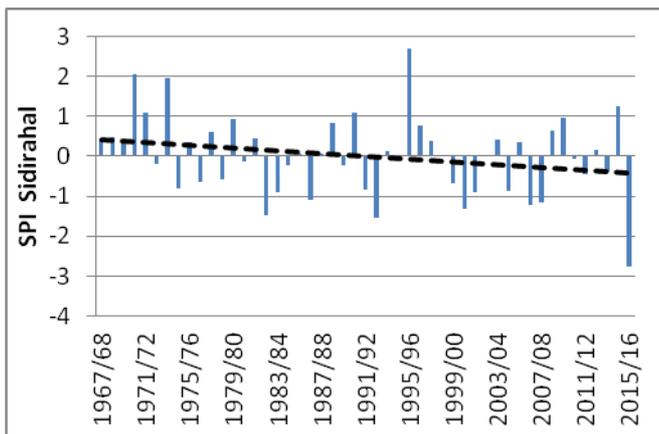


Figure 46 : La tendance de SPI à Sidirahal entre 1967 et 2016

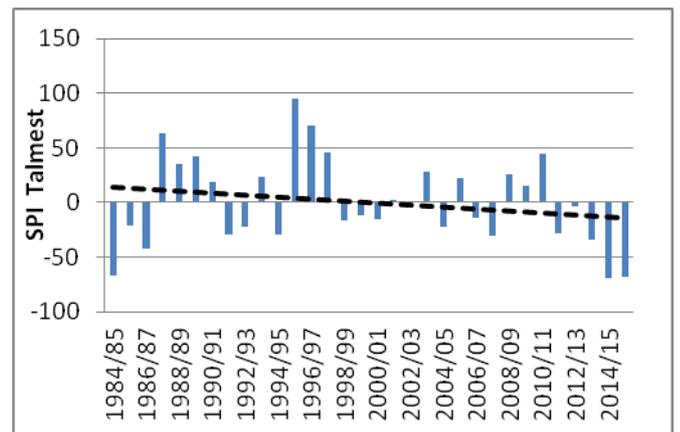


Figure 47 : La tendance de SPI à Talmest entre 1984 et 2015

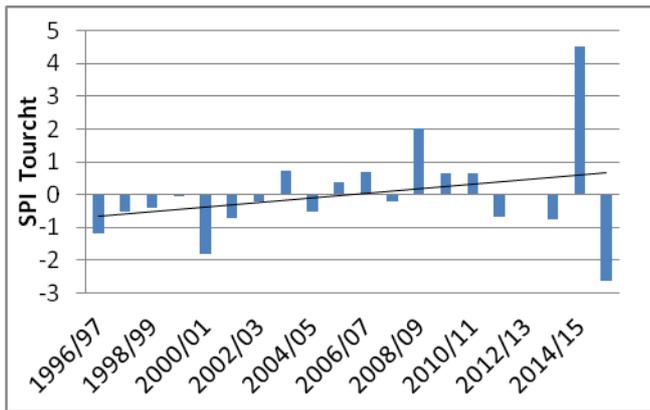


Figure 49: La tendance de SPI à Tourcht entre 1996 et 2016

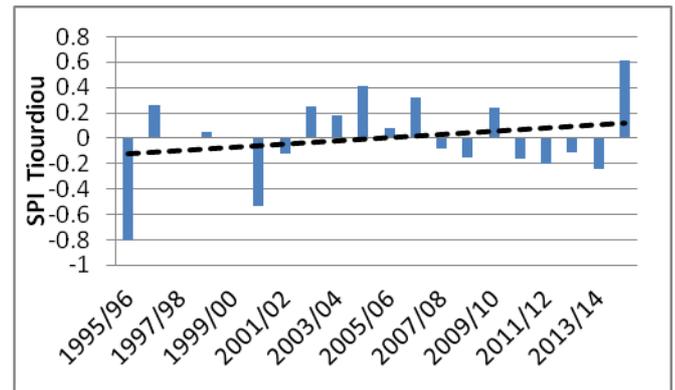


Figure 52 : La tendance de SPI à Tiourdiou entre 1995 et 2015

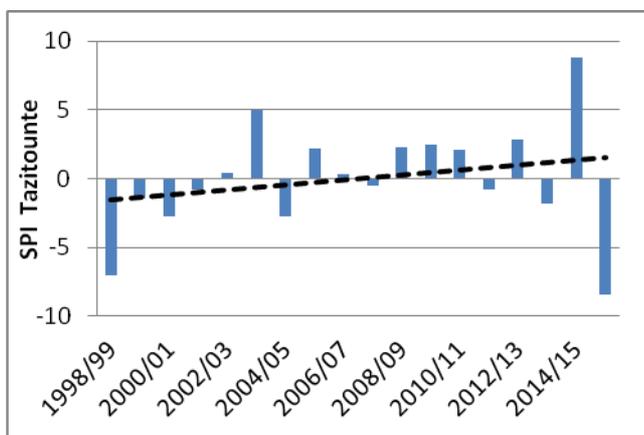


Figure 51 : La tendance de SPI à Tazitounte entre 1998 et 2016

Constat général :

En considérant toutes les séries des stations pluviométriques qui peuvent aller de 19 à 52 ans, nous avons constaté que la région a connu la dominance d'années dont l'indice de SPI est compris entre -2 et -1, caractérisant une sécheresse généralement forte pour la plupart des stations. Ainsi que la présence d'années avec un $SPI < -2$ d'une sécheresse extrême telles que : Sidi-Bouathmane, Taferiat, Sidi-Rahal et Talmest, et cela ne veut pas dire que les années humides sont négligeables, l'humidité peut être forte à extrême avec un $SPI > 1$.

En vue générale, la plupart des stations tendent vers la sécheresse. (Tableau 8)

Nous constatons que l'indice standardisé de précipitation dans les stations : Iloudjane, Imin el hammam, Sidi-Bouathmane, Sidi-Rahal, Taferiat et Talmest (Figures 42, 44, 43, 46, 48 et 47), présentent une forte tendance vers la baisse. Nous en déduisons donc une tendance importante vers la diminution du nombre d'années humides et d'augmentation du nombre d'années sèches.

Malgré que cet indice présente une forte irrégularité pour toutes les stations, il est nettement remarquable que contrairement aux stations précédentes, celles d'Amenzal, Armed, N'kouris, Sidihssain, Tazitount, Tiourdiou et Tourcht (Figures : 35, 37, 41, 45, 51, 52 et 49) présentent une tendance vers un SPI positif. Donc les années humides deviennent plus fréquentes dans ces stations.

Interprétation des tendances à l'humidité :

Toutes les stations qui montrent une tendance positive (hors mis N'Kouris) ont des séries pluviométriques qui commencent au milieu des années 90 (96,97 ou 98). Ces séries débutent avec une période de globalement sèche (fin des années 90 et début des années 2000) et finissent par une période plus humide. C'est pourquoi les tendances semblent aller vers l'humidité. Mais le faible nombre d'années du test ne permet pas de tirer des conclusions sûres et fiables.

Tableau 8 : la tendance climatique pour chaque station

Tendance vers la sécheresse SPI<0	Stabilité Autour de 0	Tendance vers l'humidité SPI>0
<ul style="list-style-type: none"> - Aghbalou - Igrounzar - Iloudjane - Imine el hammame - Sidibouathman - Taferiat - Talmest 	<ul style="list-style-type: none"> - Abadla - Adamna - Chichaoua - Tahanaout 	<ul style="list-style-type: none"> - Amenzal - Armed - N'kouris - Sidihssain - Tazitount - Tiourdiou - Tourcht

Dans le but d'aboutir à la précision des années sèches communes, nous avons réalisé une étude qui concerne la précision des années sèches, normale et humide pour chaque station à l'aide de la valeur de leur degré d'humidité.

Année sèche	Année normale	Année humide
-------------	---------------	--------------

Armed	
Année	
1998/99	2007/08
1999/00	2008/09
2000/01	2009/10
2001/02	2010/11
2002/03	2011/12
2003/04	2012/13
2004/05	2013/14

2005/06	2014/15
2006/07	2015/16

Tiourdiou	
Année	
1995/96	2005/06
1996/97	2006/07
1997/98	2007/08
1998/99	2008/09
1999/00	2009/10
2000/01	2010/11
2001/02	2011/12
2002/03	2012/13
2003/04	2013/14
2004/05	2014/15

Sidi-hssain	
Année	
1997/98	2007/08
1998/99	2008/09
1999/00	2009/10
2000/01	2010/11
2001/02	2011/12
2002/03	2012/13
2003/04	2013/14
2004/05	2014/15
2005/06	2015/16
2006/07	

Iloudjane	
Année	
1989/90	2005/06
1990/91	2006/07
1991/92	2007/08
1992/93	2008/09
1993/94	2009/10
1994/95	2010/11
1995/96	2011/12
1996/97	2012/13
1997/98	2013/14
1998/99	2014/15
1999/00	2015/16
2000/01	
2001/02	
2002/03	
2003/04	
2004/05	

N'Kouris	
Année	
1973/74	1995/96
1974/75	1996/97
1975/76	1997/98
1976/77	1998/99
1977/78	1999/00
1978/79	2000/01
1979/80	2001/02
1980/81	2002/03
1981/82	2003/04
1982/83	2004/05
1983/84	2005/06
1984/85	2006/07
1985/86	2007/08
1986/87	2008/09
1987/88	2009/10
1988/89	2010/11
1989/90	2011/12
1990/91	2012/13
1991/92	2013/14
1992/93	2014/15
1993/94	2015/16
1994/95	

Adamna	
Année	
1977/78	1997/98
1978/79	1998/99
1979/80	1999/00
1980/81	2000/01
1981/82	2001/02
1982/83	2002/03
1983/84	2003/04
1984/85	2004/05
1985/86	2005/06
1986/87	2006/07
1987/88	2007/08
1988/89	2008/09
1989/90	2009/10
1990/91	2010/11
1991/92	2011/12
1992/93	2012/13
1993/94	2013/14
1994/95	2014/15
1995/96	2015/16
1996/97	

Igrounzar	
Année	
1968/69	1994/95
1969/70	1995/96
1970/71	1996/97
1977/78	1997/98
1978/79	1998/99
1979/80	1999/00
1980/81	2000/01
1981/82	2001/02
1982/83	2002/03
1983/84	2003/04
1984/85	2004/05
1985/86	2005/06
1986/87	2006/07
1987/88	2007/08
1988/89	2008/09
1989/90	2009/10
1990/91	2010/11
1991/92	2011/12
1992/93	2012/13
1993/94	2013/14
	2014/15
	2015/16

Abadla	
Année	
1969/70	1993/94
1970/71	1994/95
1971/72	1995/96
1972/73	1996/97
1973/74	1997/98
1974/75	1998/99
1975/76	1999/00
1976/77	2000/01
1977/78	2001/02
1978/79	2002/03
1979/80	2003/04
1980/81	2004/05
1981/82	2005/06
1982/83	2006/07
1983/84	2007/08
1984/85	2008/09
1985/86	2009/10
1986/87	2010/11
1987/88	2011/12
1988/89	2012/13
1989/90	2013/14
1990/91	2014/15
1991/92	2015/16
1992/93	

Amenzal
Année
1996/97
1997/98
1998/99
1999/00
2000/01
2001/02
2002/03
2003/04
2004/05
2005/06
2006/07
2007/08
2008/09
2009/10
2010/11
2011/12
2012/13
2013/14
2014/15
2015/16

Chichaoua	
Année	
1965/66	1993/94
1966/67	1994/95
1968/69	1995/96
1970/71	1996/97
1971/72	1997/98
1972/73	1998/99
1973/74	1999/00
1974/75	2000/01
1975/76	2001/02
1976/77	2002/03
1977/78	2003/04
1978/79	2004/05
1979/80	2005/06
1980/81	2006/07
1981/82	2007/08
1982/83	2008/09
1983/84	2009/10
1984/85	2010/11
1985/86	2011/12
1986/87	2012/13
1987/88	2013/14
1988/89	2014/15
1989/90	2015/16
1990/91	
1991/92	
1992/93	

Tourcht	
Année	
1996/97	2006/07
1997/98	2007/08
1998/99	2008/09
1999/00	2009/10
2000/01	2010/11
2001/02	2011/12
2002/03	2012/13
2003/04	2013/14
2004/05	2014/15
2005/06	2015/16

Tahanaout	
Année	
1968/69	1993/94
1969/70	1994/95
1970/71	1995/96
1971/72	1996/97
1972/73	1997/98
1973/74	1998/99
1974/75	1999/00
1975/76	2000/01
1976/77	2001/02
1977/78	2002/03
1978/79	2003/04
1979/80	2004/05
1980/81	2005/06
1981/82	2006/07
1982/83	2007/08
1983/84	2008/09
1984/85	2009/10
1985/86	2010/11
1986/87	2011/12
1987/88	2012/13
1988/89	2013/14
1989/90	2014/15
1990/91	2015/16
1991/92	
1992/93	

Talmest	
Année	
1984/85	2000/01
1985/86	2001/02
1986/87	2002/03
1987/88	2003/04
1988/89	2004/05
1989/90	2005/06
1990/91	2006/07
1991/92	2007/08
1992/93	2008/09
1993/94	2009/10
1994/95	2010/11
1995/96	2011/12
1996/97	2012/13
1997/98	2013/14
1998/99	2014/15
1999/00	2015/16

Sidi-Bouathmane	
Année	
1989/90	2003/04
1990/91	2004/05
1991/92	2005/06
1992/93	2006/07
1993/94	2007/08
1994/95	2008/09
1995/96	2009/10
1996/97	2010/11
1997/98	2011/12
1998/99	2012/13
1999/00	2013/14
2000/01	2014/15
2001/02	2015/16
2002/03	

Aghbalou	
Année	
1968/69	1992/93
1969/70	1993/94
1970/71	1994/95
1971/72	1995/96
1972/73	1996/97
1973/74	1997/98
1974/75	1998/99
1975/76	1999/00
1976/77	2000/01
1977/78	2001/02
1978/79	2002/03
1979/80	2003/04
1980/81	2004/05
1981/82	2005/06
1982/83	2006/07
1983/84	2007/08
1984/85	2008/09
1985/86	2009/10
1986/87	2010/11
1987/88	2011/12
1988/89	2012/13
1989/90	2013/14
1990/91	2014/15
1991/92	2015/16

Sidi-Rahal	
Année	
1967/68	1992/93
1968/69	1993/94
1969/70	1994/95
1970/71	1995/96
1971/72	1996/97
1972/73	1997/98
1973/74	1998/99
1974/75	1999/00
1975/76	2000/01
1976/77	2001/02
1977/78	2002/03
1978/79	2003/04
1979/80	2004/05
1980/81	2005/06
1981/82	2006/07
1982/83	2007/08
1983/84	2008/09
1984/85	2009/10
1985/86	2010/11
1986/87	2011/12
1987/88	2012/13
1988/89	2013/14
1989/90	2014/15
1990/91	2015/16
1991/92	

Tazzitounat
Année
1998/99
1999/00
2000/01
2001/02
2002/03
2003/04
2004/05
2005/06
2006/07
2007/08
2008/09
2009/10
2010/11
2011/12
2012/13
2013/14
2014/15
2015/16

Taferiat	
Année	
1968/69	1993/94
1969/70	1994/95
1970/71	1995/96
1971/72	1996/97
1972/73	1997/98
1973/74	1998/99
1974/75	1999/00
1975/76	2000/01
1976/77	2001/02
1977/78	2002/03
1978/79	2003/04
1979/80	2004/05
1980/81	2005/06
1981/82	2006/07
1982/83	2007/08
1983/84	2008/09
1984/85	2009/10
1985/86	2010/11
1986/87	2011/12
1987/88	2012/13
1988/89	2013/14
1989/90	2014/15
1990/91	2015/16
1991/92	
1992/93	

Imin-Elhammam	
Année	
1968/69	1992/93
1969/70	1993/94
1970/71	1994/95
1971/72	1995/96
1972/73	1996/97
1973/74	1997/98
1974/75	1998/99
1975/76	1999/00
1976/77	2000/01
1977/78	2001/02
1978/79	2002/03
1979/80	2003/04
1980/81	2004/05
1981/82	2005/06
1982/83	2006/07
1983/84	2007/08
1984/85	2008/09
1985/86	2009/10
1986/87	2010/11
1987/88	2011/12
1988/89	2012/13
1989/90	2013/14
1990/91	2014/15
1991/92	2015/16

Au terme de ce travail, nous retenons que le bassin versant de Tensift a été affecté par plusieurs années sèches et des années humides, mais ce qui est plus touchable en analysant les séquences sèches, humides et normales la présence :

- Des années sèches caractérisant plus au moins toutes les stations du bassin telles que les années 1980/81, 1986/87, 1992/93, 2000/01, 2007/08, 2010/11, 2011 /12.

-Des années humides caractérisant plus au moins toutes les stations du bassin telles que les années 1987/88, 1990/91, 1995/96, 2003/04, 2005/06, 2008/09.

Cette analyse reflète une homogénéité entre les 19 stations pluviométrique quelque soit leurs situations géographique.

III- Indice de Pluviosité

1. Définition

L'indice de pluviosité est le rapport de la hauteur de précipitations d'une année P_i à la moyenne annuelle des pluies P de la série.

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

$$IP = \frac{PI}{P}$$

Une année est dite humide si ce rapport est supérieur à 1 et sèche s'il est inférieur à 1.

Résultats du test

Dans cet indice, IP est positif pour les années dites humides et négatif pour les années dites sèches. Suivant le principe de cet indice, on parle d'une station humide lorsque la somme des pics indiquant les années humides est la plus dominante.

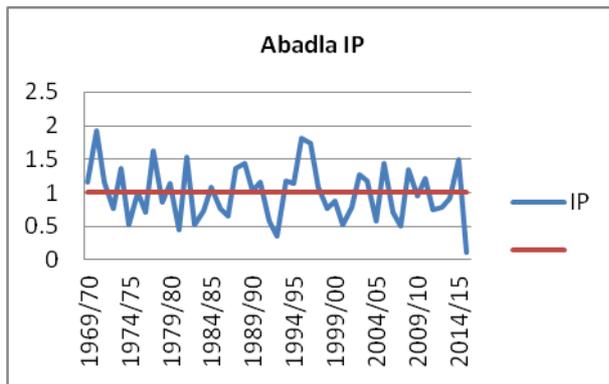


Figure 53 : La tendance de PI à Abadla entre 1969 et 2016

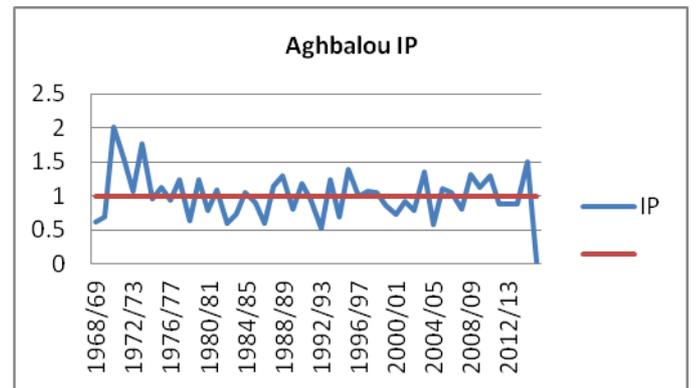


Figure 57 : La tendance de PI à Aghbalou entre 1968 et 2016

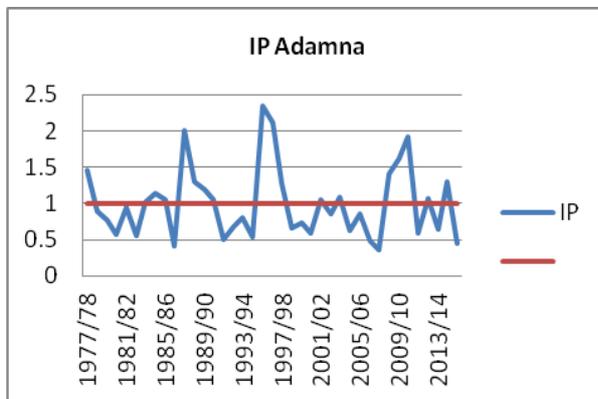


Figure 55 : La tendance de PI à Adamna entre 1977 et 2016

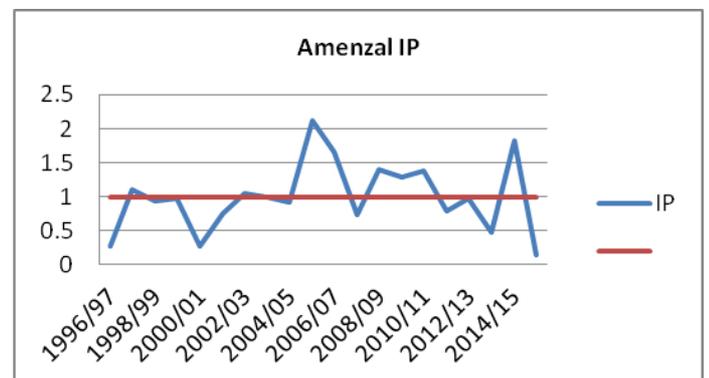


Figure 54 : La tendance de PI à Amenzal entre 1996 et 2016

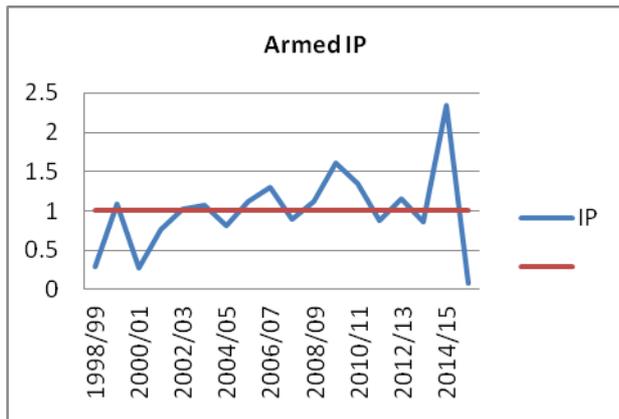


Figure 56 : La tendance de PI à Armed entre 1998 et 2016

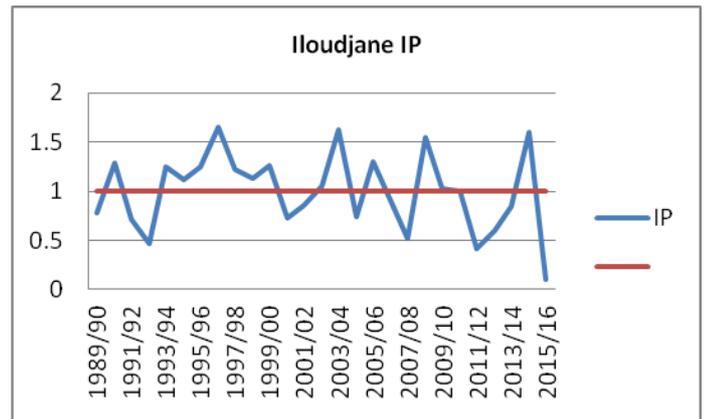


Figure 61 : La tendance de PI à Iloudjane entre 1989 et 2016

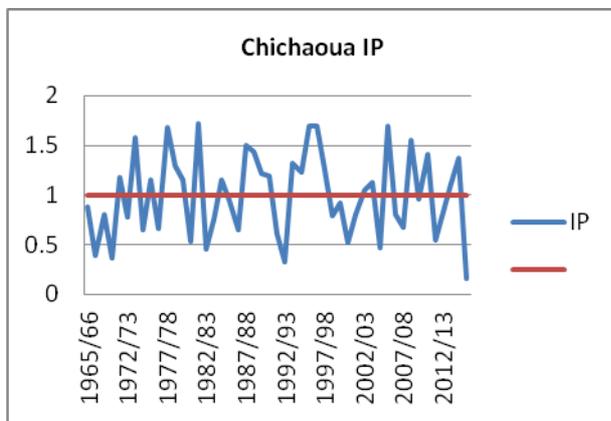


Figure 58 : La tendance de PI à Chichaoua entre 1965 et 2016

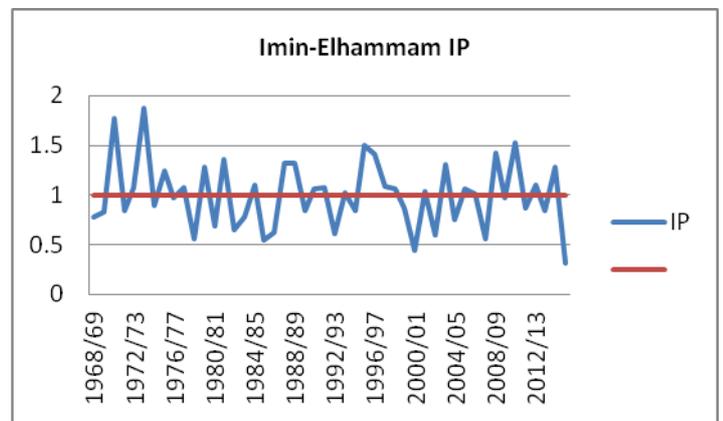


Figure 63 : La tendance de PI à Imin-Elhammam entre 1968 et 2016

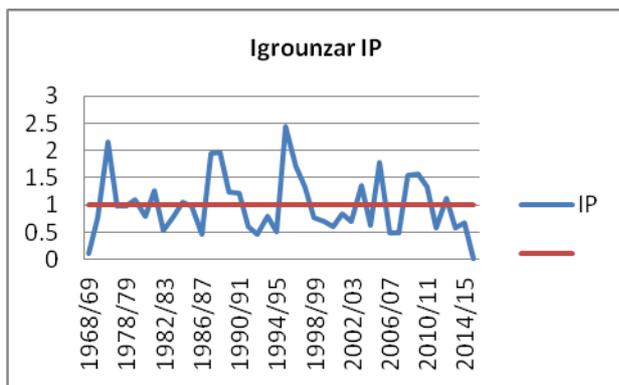


Figure 59 : La tendance de PI à Igrounzar entre 1968 et 2016

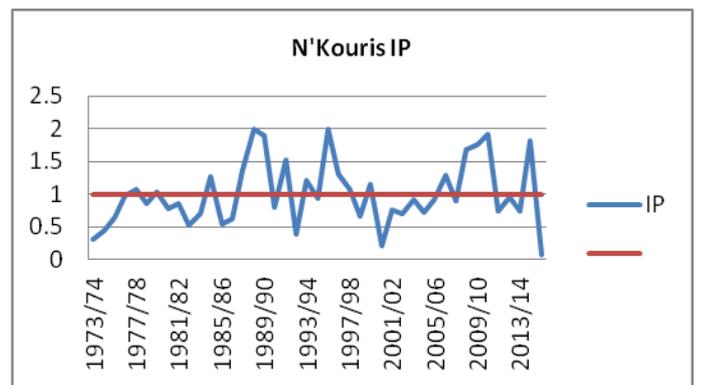


Figure 60 : La tendance de PI à N'kouris entre 1973 et 2016

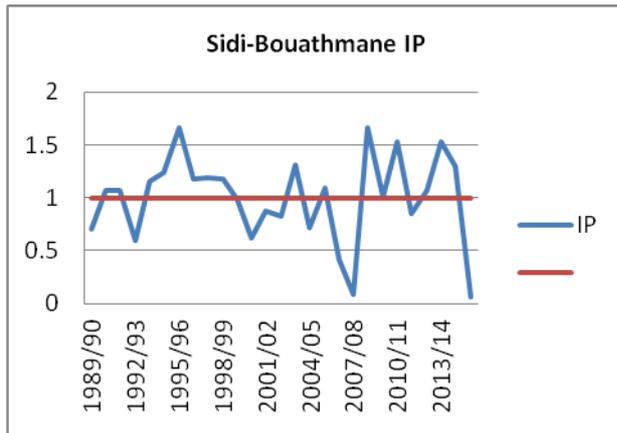


Figure 62 : La tendance de PI à Sidi-Bouathmane entre 1989 et 2016

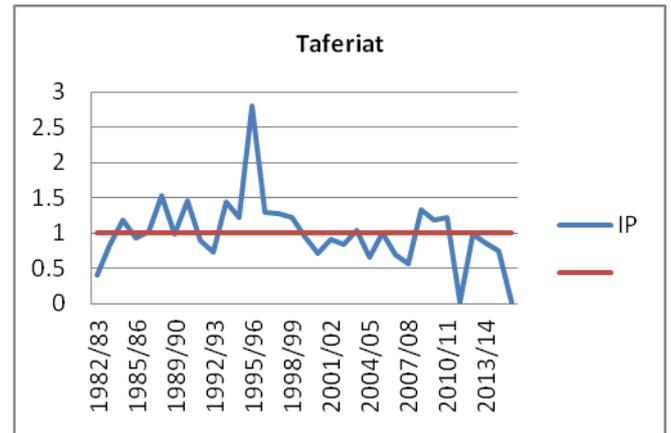


Figure 67 : La tendance de PI à Taferiat entre 1982 et 2016

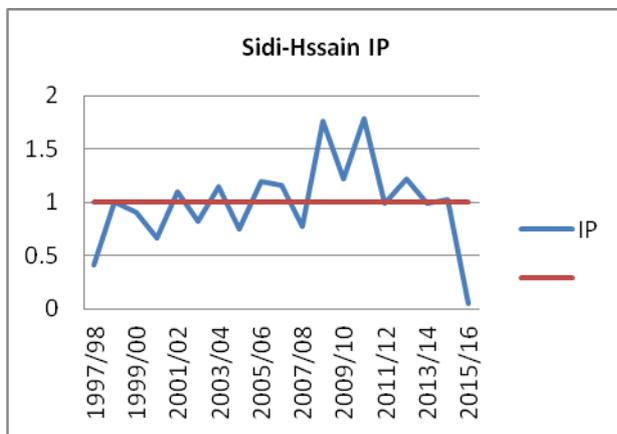


Figure 64 : La tendance de PI à Sidi-Hssain entre 1997 et 2016

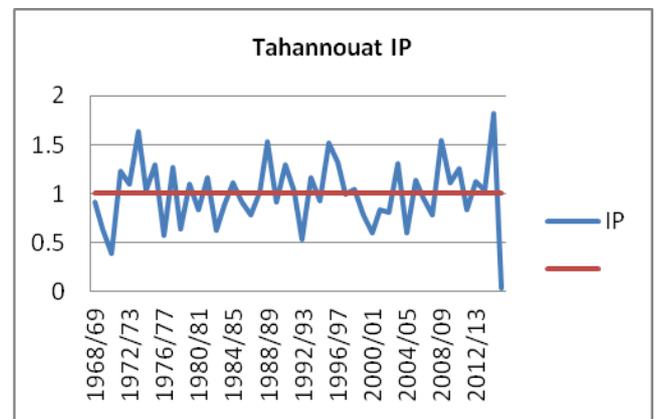


Figure 69 : La tendance de PI à Tahannout entre 1968 et 2016

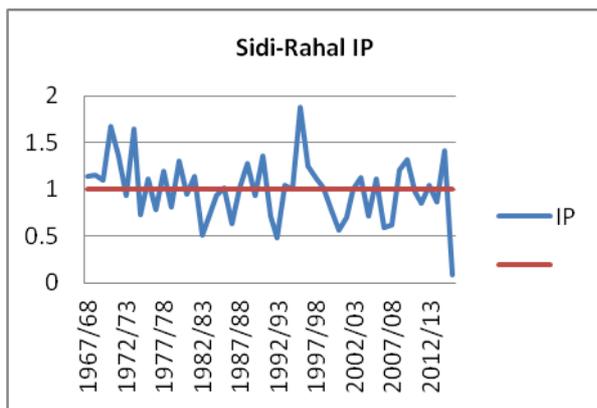


Figure 65 : La tendance de PI à Sidi-Rahal entre 1967 et 2016

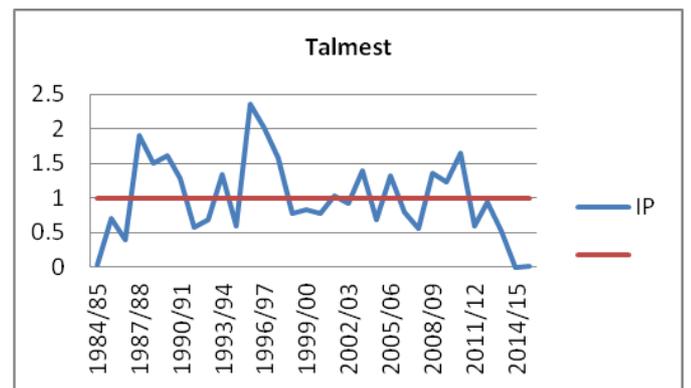


Figure 66 : La tendance de PI à Talmest entre 1984 et 2016

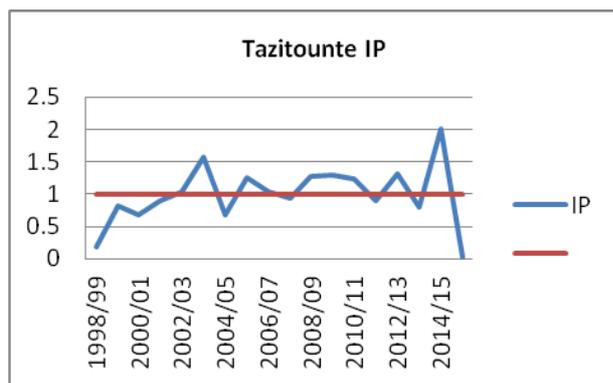


Figure 68 : La tendance de PI à Tazzitounte entre 1998 et 2016

Figure 70 : La tendance de PI à Tiourdiou entre 1995 et 2016

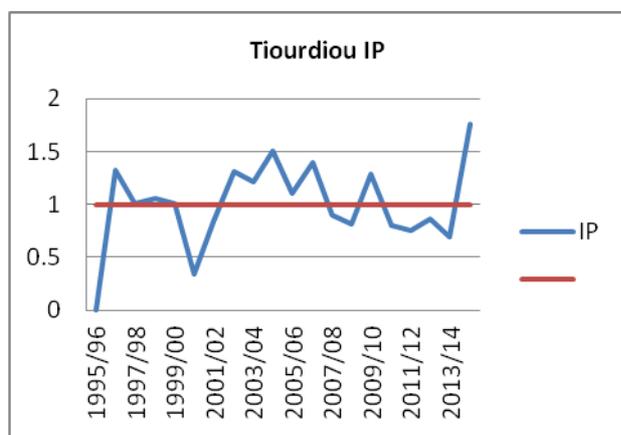
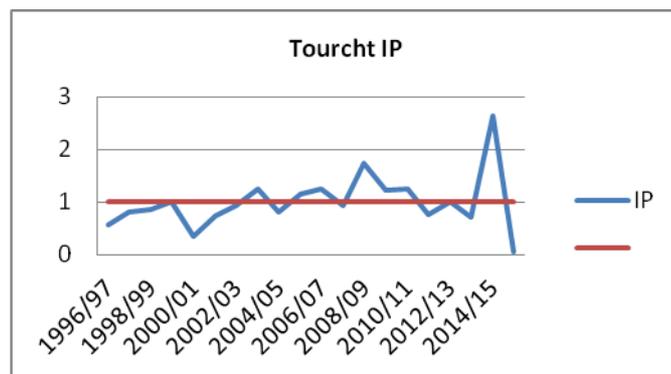


Figure 71 : La tendance de PI à Tourcht entre 1996 et 2016

Les figures 52 à 71 représentent l'évolution de l'indice de pluviosité pour les stations étudiées. Nous constatons que les valeurs de cet indice présentent une forte irrégularité pour les 19 stations.

Pour les stations avec une tendance vers l'humidité il est nettement remarquable que les années humides deviennent de plus en plus fréquentes à partir de l'année 2002, avec des pics pendant les années 2009 et 2014.

Pour les stations Aghbalou, Sidi-Rahal, Taferiat, Talmest, nous constatons une forte dominance des pics signalant la sécheresse. Exemple : pour Taferiat nous remarquons l'existence d'un seul pic majeur correspondant à une période humide de 3 ans. Pour Talmest, les données s'étalent de 1984 à 2015, nous observons alors la présence de 4 pics indiquant une humidité totale de 9 ans.

Pour les stations Abadla, Adamna, Chichaoua et tahannout, nous remarquons une égale dominance des pics reflétant l'humidité et ceux reflétant la sécheresse.

IV- Analyse fréquentielle des précipitations

L'analyse fréquentielle permettra d'estimer le temps de retour d'une valeur de précipitation. Par le traitement d'une longue série de précipitations maximales journalières enregistrées au niveau des différentes stations (Abadla, Adamna, Aghbalou, Amenzal, Armed, Chichaoua, Igrounzar, Iloudjane, Imin-Elhammam, N'Kouris, Sidi-Bouathmane, Sidi-Rahal, Taferiat, Talmest, Tazzitounte, Tiourdiou, Toucht). Pour les stations Sidi-Hssain et Tahnanout l'absence de données ne nous a pas permis d'effectuer leur analyse fréquentielle. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus (par exemple dans ce chapitre, nous allons utiliser les différentes lois comme Gamma, weibull, Gumbel, Good...). Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée (précipitation). C'est à partir du choix de la loi de probabilité que dépendra la validité des résultats de l'analyse fréquentielle.

1. Principe :

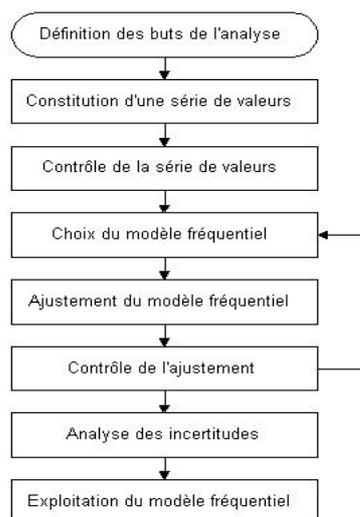


Figure 72 : schéma d'analyse fréquentielle

2. Ajustement de lois à un échantillon de pluie

L'estimation des périodes de retour des valeurs extrêmes de pluie est l'un des problèmes majeurs posés aux concepteurs d'aménagements. Pour cela, on procède à l'analyse statistique des chroniques d'observation des pluies maximales journalières. **HUIQI Abdesamad(2015)**.

Notre étude porte sur l'ajustement des précipitations maximales journalières du bassin versant Tensift sur une période d'observation entre 19 ans et 52 ans.

Les lois statistiques appliquées dans cette étude sont : loi de GEV, loi de Gumbel, loi de Weibull, loi Normal, loi de Gamma, la loi d'inverse Gamma, Good, Gaus et Galt.

3. Ajustement statique des lois sur les Pluies :

L'ajustement des lois sur les données pluviométriques donne une estimation des périodes de retour des valeurs extrêmes des pluies ; celles-ci ont une grande importance dans le domaine des aménagements hydrauliques, ainsi que dans la prévision et protection contre les inondations.

A. Armed

➤ Analyse visuelle (graphe):

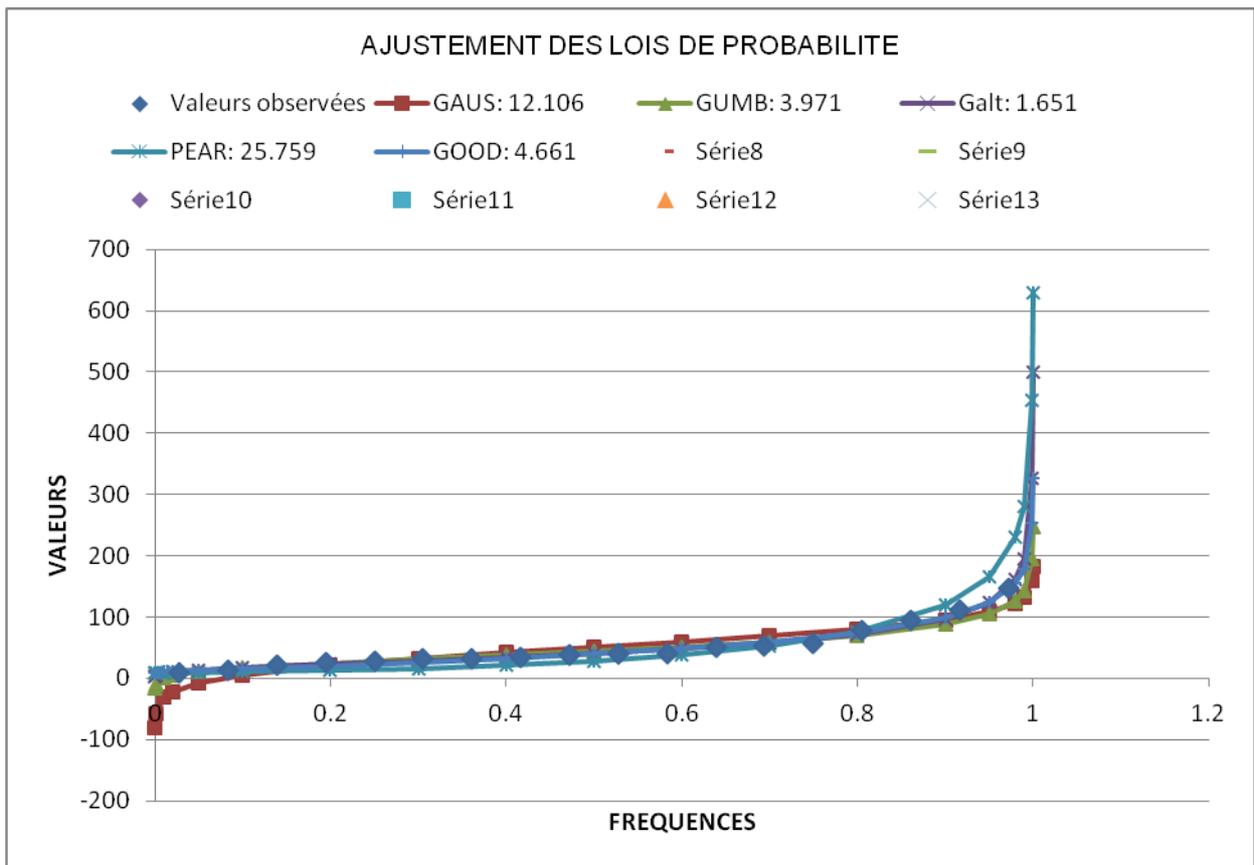


Figure 73 : Graphe d'ajustement des différentes lois pour les pluies de Armed

➤ Analyse numérique (statistique) :

Tableau 9: Les critères des lois ajustées pour Armed

Les lois	Gauss	Gumb	Galt	Pear	Peav	Good
La valeur du test	12.106	3.971	1.651	25.759	3.735	4.641

B. Amenzal

➤ Analyse visuelle (graphe):

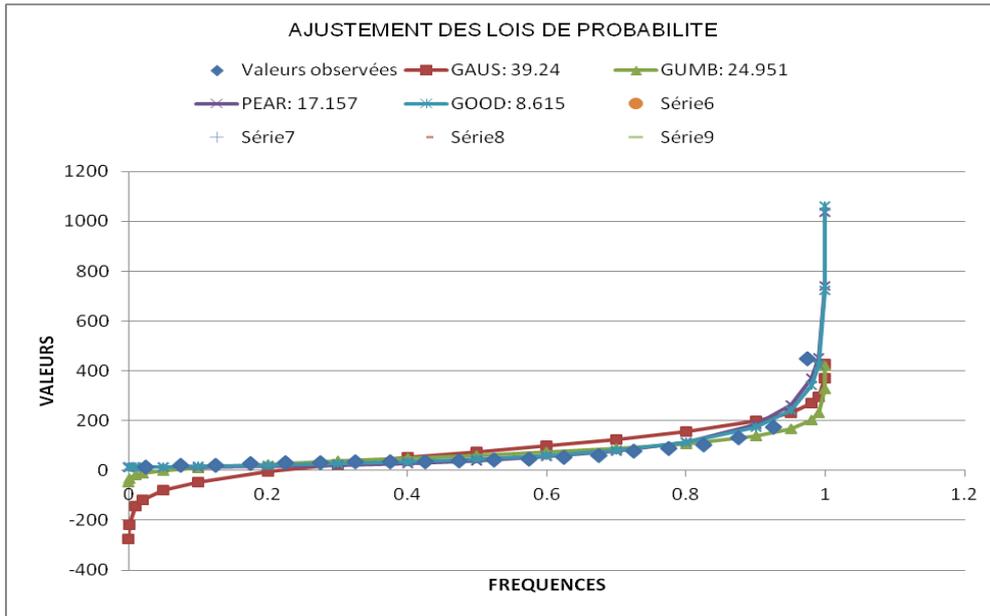


Figure 74 : Graphe d'ajustement des lois pour Amenzal

➤ **Analyse numérique (statistique)**

Tableau 10: Les critères des différentes lois statistiques ajusté pour Amenzal

Les lois	Gauss	Gumb	Pear	Good
La valeur du test	39.24	24.951	17.157	8.615

C. Sidi.Bouathmane

➤ **Analyse visuelle (graphe):**

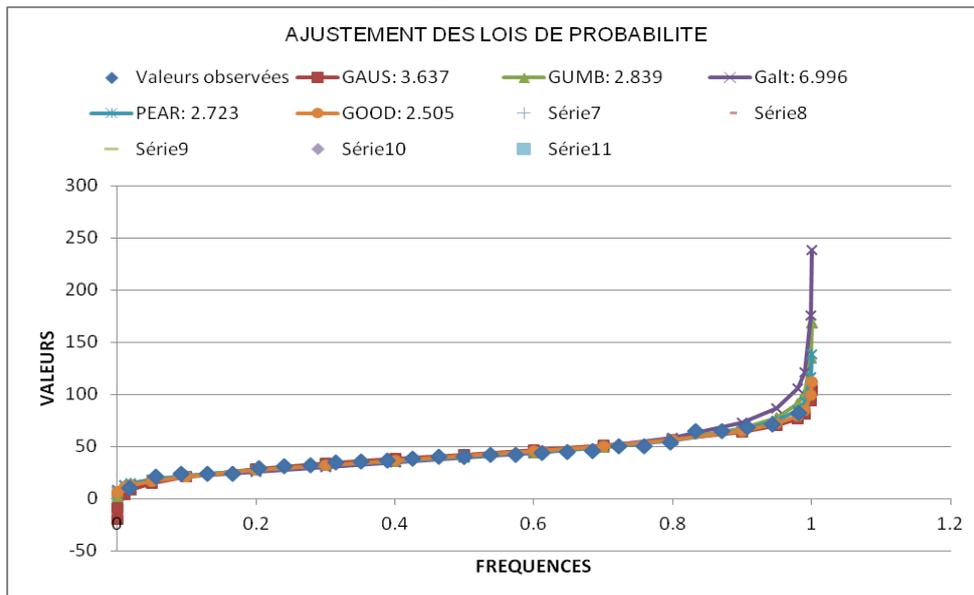


Figure 75 : Graphe d'ajustement des lois pour la station Sidi-Bouathmane

➤ **Analyse numérique (statistique) :**

Tableau 11: Les critères des différentes lois statistiques ajusté pour Sidi-Bouathmane

Les lois	Gauss	Gumb	Galt	Pear	Good
La valeur du test	3.637	2.239	6.996	2.723	2.505

D. Tiourdiou

➤ **Analyse visuelle (graphe):**

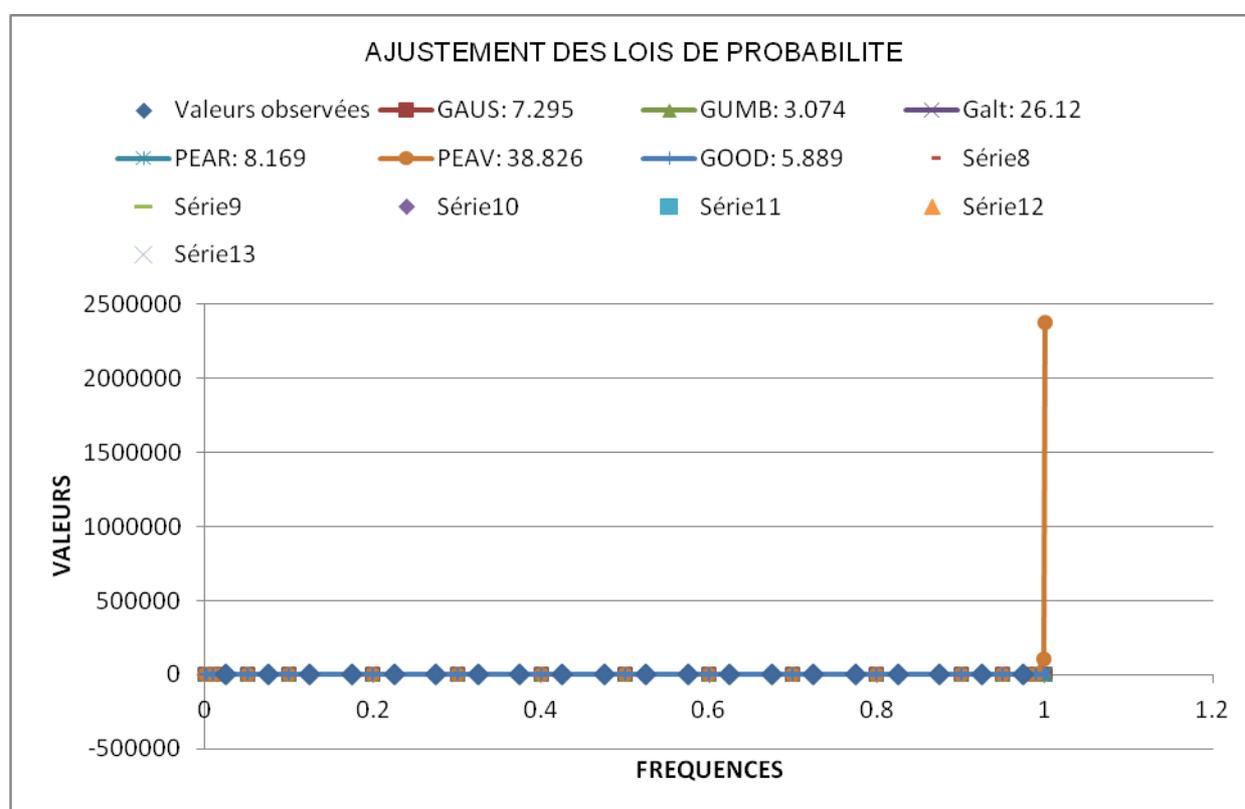


Figure 76 : Graphe d'ajustement des lois sur les pluies de Tiourdiou

➤ **Analyse numérique (statistique) :**

Tableau 12: Les critères des différentes lois statistiques ajusté pour Tiourdiou

Les lois	Gauss	Gumb	Galt	Pear	Peav	Good
La valeur du test	7.295	3.074	26.12	8.169	38.826	5.889

D'après les différentes analyses fréquentielle pour toutes les stations étudiées, nous avons conclu que la loi ayant la plus faible valeur du test a une probabilité à priori plus élevé, et donc elle s'ajuste la mieux à la série traitée.

4. Estimation des périodes de retour des précipitations maximales journalières

Les tableaux indiquant la loi adéquate ainsi que les probabilités de retour de chaque station pour des périodes de 100 ans, 50 ans 20 ans et 10 ans.

	Stations	Abadla	Adamna	Aghbalou	Amenzal	Armed	Chichaoua	Igrounzar	lloudjane
Période	Loi adéquate	Gumbel	Inverse Gamma	Normal	Good	Galt	Gamma	Gumbel	Weibull
Sèche	100	8,094	16,64	15,647	13,695	8,362	9,618	5,947	10,49
	50	9,537	18,36	19,812	13,854	10,06	10,829	9,268	14,161
	20	11,898	21,44	26,06	14,515	13,26	13,006	14,7	19,668
	10	14,227	24,81	31,611	16,039	16,96	15,34	20,056	24,56
Normale	2	24,849	44,46	51,194	45,018	40,37	27,059	44,494	41,818
Humide	10	41,516	91,46	70,776	173,549	96,1	45,104	82,84	59,076
	20	47,885	115,8	76,328	242,108	122,9	51,502	97,492	63,968
	50	56,129	154	82,576	341,698	162,1	59,417	116,458	69,475
	100	62,306	188,6	86,741	422,893	194,9	65,121	130,67	73,146

	Stations	Imin el hammame	N'kour	Sidi rahal	Sidi Bouathmane	Taferiat	Talmest	Tazitount	Tiourdiou	Tourcht
Période	Loi adéquate	Inverse Gamma	Gamma	Gumbel	Good	Gumbel	Normal	Gaus	Gumb	Galt
Sèche	100	17,837	8,882	13,459	10,876	4,393	3,682	-1,731	1,259	10,243
	50	19,344	10,56	15,619	12,998	7,396	8,217	5,385	3,818	12,32
	20	21,954	13,49	19,152	16,982	12,31	15,018	16,058	8,003	16,251
	10	24,692	16,55	22,637	21,309	17,15	21,062	25,542	12,131	20,785
Normale	2	39,035	31,21	38,535	41,174	39,26	40,191	58,994	30,96	49,514
Humide	10	66,952	52,77	63,481	64,835	73,94	69,116	92,448	60,506	117,96
	20	79,417	60,26	73,013	71,795	87,19	77,316	101,931	71,796	150,87
	50	97,278	69,46	85,351	79,674	104,3	86,545	112,605	86,409	199,01
	100	112,116	76,06	94,597	84,938	117,2	92,697	119,72	97,36	239,37

Les résultats de cette application montrent que la loi Gumbel est la plus adéquate pour 5 stations et la plus dominante au niveau des 17 stations. Donc elle est la mieux ajustée.

Pour les stations appartenant à la zone Essaouira-Chichaoua, nous remarquons que leurs valeurs ne dépassent pas 24.8 mm pour une probabilité de sécheresse centennale et 93 mm pour une fréquence d'averse centennale. Sauf que pour la station Adamna nous avons une augmentation significative au niveau de sa valeur centennale qui atteint 188.6 mm.

Pour les stations Armed, Amenzal, Tazzitounte et Tourcht nous constatons que les valeurs de leurs périodes humides pour toutes les probabilités (100 ans, 50 ans, 20 ans et 10 ans) sont largement supérieures par rapport aux autres stations. Cela est justifié notamment par l'effet d'abri et de fraction de neige souvent non pris en considération.

Pour les stations Imin-Elhammam, Taferiat et Talmest, nous relevons la présence d'égales périodes normales avec une valeur autour de 40 mm.

Donc l'analyse fréquentielle reste donc une méthode fiable dans la prise de décision par les décideurs pour lutter contre les inondations. D'autre part la prise en compte de ces résultats lors de la construction des aménagements (barrage, infrastructure, ...) est souhaitable. **HUIQI Abdesamad (2015),**

CONCLUSION

Au terme de cette étude pluviométrique des stations du Bassin Hydraulique de Tensift, et malgré quelques difficultés liées principalement aux données de travail, notamment :

- la rareté des stations qui ont une longue et complète série de données pluviométriques,
- La localisation de ces stations sur des altitudes toujours inférieures à 2000 m ce qui empêche de caractériser et régionaliser ces zones de hautes altitudes,
- Les séries pluviométriques sont parfois trop récentes, ce qui handicape de tirer des 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.

Par ailleurs les tests des doubles cumuls ont indiqué qu'il n'y a pas de cassures notables dans les séries pluviométriques et que les données semblent correctes.

Quant aux indices pluviométriques, ils montrent que la plupart des stations ont des tendances vers la sécheresse, par la fréquence d'années peu pluvieuses. Que ce soit l'Indice Standardisé de Précipitation, ou l'Indice Pluviométrique, la tendance globale indique des baisses des hauteurs annuelles des précipitations ce qui annonce le phénomène d'actualité qui est changement climatique global.

Des études plus approfondies sont toutefois nécessaires surtout pour les stations dont les informations sont limitées et récentes pour que l'évaluation soit réalisée avec le même niveau de précision.

Sources Bibliographiques :

EL BAHTARI Jamila & EL BAHRI Fatima Zahra (2009), Caractérisation et évaluation d'un Système de Prévision et d'Alerte aux Crues Exemple du «SPAC» du bassin de l'Ourika (Haut-Atlas, Maroc), (mémoire de fin d'étude), agence du bassin hydraulique de Tensift Marrakech, p : 73.

SINAN M. Mohamed (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, (pour obtenir le titre de : DOCTEUR ES SCIENCES APPLIQUEES Option : Hydrogéologie), application à l'aquifère du Haouz de Marrakech (Maroc), p : 394.

BOULAASSAFER Khadija(2012), Suivi de l'état environnemental de la région de Marrakech Tensift Al Haouz, (), Royaume du Maroc Observatoire régional de l'environnement Secrétariat d'état chargé de l'eau et de l'environnement, Marrakech, p : 64.

SAIDI Mohamed El Mehdi (1995), Contribution a l'hydrologie profonde et superficielle du bassin du Souss (Maroc), Thèse Doctorat, Université Paris IV, p 214.

Amkadni Youssef & Alaoui Ismaili Soulimane (2012), Gestion de la nappe phréatique du Haouz-Mejjate (Maroc), (mémoire de fin d'étude), office de mise en valeur agricole du Haouz-Marrakech, p 55.

HUIQI Abdesamad(2015), Les évènements hydrologiques exceptionnels du Haut Atlas de Marrakech, (Mémoire de fin d'étude), Agence du bassin hydraulique Tensift, p : 65.

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, Faculté des sciences et techniques Marrakech, p : 74.

Etude du plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz royaume du Maroc, rapport intermédiaire, Mars2007, Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA) Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement (MATEE) Agence du Bassin Hydraulique du Tensift (ABHT), p : 138.

Bergaoui M. et Alouini A, (2001), Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. *Sécheresse*, 12(2), 205-213.

LABARERE José (2012), Chapitre 8 Corrélation et régression linéaire simple, Université Joseph Fourier de Grenoble, p : 58.

Agence du Bassin Hydraulique de Tensift(2015), Développement d'un modèle pour la caractérisation opérationnelle de la sécheresse dans la zone d'action de l'ABHT, p 109.

Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, OMM-N° 1090 © Organisation météorologique mondiale, 2012, p 25.

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

Sites -web

<http://www.eau-tensift.net/x/documents.html>

<http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre8/main.html>

<http://www.drias-climat.fr/accompagnement/section/183>

https://www.notre-planete.info/terre/risques_naturels/secheresse.php#types

Liste des figures :

Figure 1 : La division topographique du bassin hydraulique de Tensift (Maroc)

Figure 2 : Carte géologique simplifié des zones étudiées

Figure 3 : Carte représentant les stations hydro-climatiques du bassin Tensift

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Climatologies des zones

Tableau 2 : Liste de Stations du réseau hydrologique