

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID – TLEMCCEN

FACULTE DE TECHNOLOGIE



Département d'Hydraulique

Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master en Hydraulique  
Option : Eau sol et aménagement

Thème

***Analyse et tendance des écoulements superficiels entrant  
aux barrages du BV de la Tafna***

Présenté par:

**Ghomri Zoheir**

**Mahammedi Hacem**

Soutenu le 21 septembre 2017  
devant le jury composé de :

**Mr. M.Habi**  
**Mr.C. Bentalha**  
**Mr. A. Bouanani**  
**Mr. A.N.Ghenim**  
**Mr. A.Megnounif**

**Président**  
**Examineur**  
**Examineur**  
**Encadreur**  
**Encadreur**

**Année universitaire : 2016-2017**

# *Remerciements*

Nous remercions ALLAH de nous avoir donné le pouvoir de réaliser ce mémoire. Au terme de ce travail, on tient à exprimer nos profondes gratitude et nos sincères remerciements à nos encadreurs Monsieur GHENIM Abderrahmane Nekkache et Monsieur MEGNOUNIF Abdesselam, pour leur encadrement et leurs conseils tout au long de la période réservée à ce travail. Nous les remercions d'avoir forgé notre esprit d'ingénieur.

Nos vifs remerciements s'adressent à Mr HABI Mohammed qui nous a fait l'honneur de présider le jury de notre soutenance. On remercie également les membres du jury Mme DJEDID Hayet et Mme BOUCHELKIA Fadela d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions infiniment nos parents pour leurs soutiens et encouragements tout au long de notre parcours d'étude.

Un grand merci à toute la promotion ESA 2017.

# *Dédicaces*

Je dédie ce mémoire :

A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance, j'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A MON très cher frère Ismail

A mes très chères sœurs.

A mon binome et mon très cher ami HACEN

A mes meilleurs amis AMINE, YASSINE, HOCINE, YOUNES, et SOUFIANE. La liste est longue, Je souhaite à tous le succès, pour l'amitié qui nous a toujours

A tous les professeurs qui m'ont enseigné tout au long de mon parcours d'études.

A toute la promotion ESA 2017 et à qui je souhaite beaucoup de chance et de réussite dans l'avenir.

**ZOHEIR**

# *Dédicaces*

Je dédie ce mémoire :

A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance, j'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A mes très cher frère Badro Amine Younes

A mes très chères sœurs.

A mon jumeaux Hocine.

A mon binome et mon très cher ami ZOHEIR

A mes meilleurs amis TAYEB ,KHEIRO ,IMANE et ANES. La liste est longue, Je souhaite à tous le succès, pour l'amitié qui nous a toujours unies.

A tous les professeurs qui m'ont enseigné tout au long de mon parcours d'études.

A toute la promotion ESA 2017 et à qui je souhaite beaucoup de chance et de réussite dans l'avenir.

*Hacen*

## **Résumé :**

Un vaste bassin versant bien représentatif de l'Ouest algérien comme celui de la Tafna d'une superficie de 7245 km<sup>2</sup> a fait l'objet depuis une décennie d'innombrables études en relation avec l'hydrologie, les écoulements superficiels et le transport solide.

Des analyses sur les apports en eau aux 5 barrages (Béni Bahdel, Meffrouche, El Izdihar, Hammam Boughrara et Sikkak) ont été menées sur une période de 12 années. Ces analyses ont été successivement réalisées pour développer un ensemble d'éléments et d'outils de prise de décisions pour une meilleure gestion hydraulique de la région. Une définition préalable de l'ensemble des paramètres géologiques, hydrologiques des sous-bassins de ces ouvrages a été effectuée.

Cette analyse a permis de mettre en évidence les différents apports entrant aux 5 barrages et leurs relations avec les précipitations enregistrées. De même, on a testé leurs tendances temporelles et leurs caractéristiques statistiques.

Notre travail a pour finalité plus qu'une présentation monographique, une approche à la fois analytique au apports liquides aux barrages

**Mot clés :** Apport en eau, barrage, précipitation, tendance, bassin versant.

## **Abstract :**

A vast catchment area well representative of the Algerian West and the Tafna with an area of 7245 km<sup>2</sup> has been the subject of countless studies for a decade in relation to hydrology, surface runoff and liquid transport.

Hydrological and liquid transport analyzes were carried out over the Tafna basin (western Algeria) over a period of 12 years. The analyzes were successively carried out to develop a set of decision-making elements and tools for better hydraulic management of the main Tafna dams (Béni Bahdel, Izdihar, Boughrara and Sikkak). A prior definition of all the geological, hydrological parameters of the Tafna Watershed has been carried out.

This analysis made it possible to demonstrate the different inputs entering the dams to make a comparative assessment of each one due to a trend test which shows the meaning of our statistical series.

The aim of our work is more than a monographic presentation, an analytical approach to flow modalities, liquid transport and the action of water on the watershed.

**Key Words :** water supply, dam, rainfall, trend, catchment

## LISTE DES FIGURES

### Chapitre I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Figure .1 : Bassin de la Tafna .....	2
Figure .2 : Délimitation de la Tafna .....	3
Figure .3 : Localisations des barrages au niveau du BV de la tafna .....	4
Figure .4 : Localisation du barrage de Béni Bahdel.....	5
Figure .5 : Vue de face du barrage de Béni Bahdel.....	6
Figure .6 : Schématisation de la carte du BV à l'amont du barrage Béni Bahdel.....	7
Figure .7 : Vue sur l'ouvrage du barrage Meffrouche.....	8
Figure .8 : Vue sur la cuvette du barrage Meffrouche.....	9
Figure .9 : Carte schématique du BV du barrage Meffrouche.....	9
Figure .10 : Vue lointaine du barrage El Izdihar.....	10
Figure .11 : Carte schématique du BV alimentant le barrage EL Izdihar .....	11
Figure .12 : Localisation du barrage de Hammam Bougherara.....	11
Figure .13 : Vue sur la cuvette du barrage Hammam Bougherara .....	12
Figure .14 : Carte schématique du BV de Hammam Bougherara .....	12
Figure .15 : Vue sur la cuvette du barrage Sikkak .....	13
Figure .16 : Localisation du barrage Sikkak .....	14
Figure .17 : Carte schématique du BV du barrage Sikkak .....	14

### ChapitreII : VARIATIONS TEMPORELLES DES APPORTS LIQUIDES.

Figure .18 : Variation temporelle des apports aux barrages.....	16
Figure .19 : Variation des apports liquides spécifiques.....	18
Figure .20 : Indices centrés réduits des apports annuels .....	19
Figure .21 : Tendances temporelles des apports annuels .....	19
Figure .22 : Variation saisonnières des apports aux barrages.....	20
Figure .23 : Variation des apports liquides spécifiques saisonniers .....	21
Figure .24 : Indices centrés réduits saisonniers des apports aux barrages .....	22
Figure .25 : Tendances des apports en automne .....	22
Figure .26 : Tendances des apports en hiver.....	23
Figure .27 : Tendances des apports au printemps .....	24
Figure .28 : Tendances des apports en Eté .....	25
Figure .29 : Variation temporelles des apports mensuels aux barrages .....	26
Figure .30 : Variation des apports liquides spécifiques mensuels.....	27
Figure .31 : Indices centrés réduits des apports mensuels.....	28
Figure .32 : Variation des apports journaliers pour différents barrages .....	30
Figure .33 : Apports journaliers pour différents barrages.....	32

### Chapitre III : RELATIONS ENTRE LES PR2CIPITATION ET LES APPORTS LIQUIDES.

Figure 34 : Variation annuelle des précipitations au niveau des barrages étudiés.....	35
Figure .35 : Variation saisonnière des précipitations au niveau des barrages étudiés .....	37
Figure .36 : Variation mensuelle des précipitations au niveau des barrages étudiés.....	38
Figure .37 : Variation des précipitations journalières pour différents barrages.....	39
Figure .38 : Précipitations journalières pour différents barrages.....	40
Figure .39 : Evolution du taux des apports en eau et des précipitations dans le barrage Béni Bahdel.....	42
Figure .40 : Evolution du taux des apports- précipitations annuelles dans le barrage Meffrouche.....	42
Figure .41 : Evolution du taux des apports-précipitations dans le barrage Izdihar.....	43

Figure .42 : Evolution du taux des apports-précipitations dans le barrage H.Bouhrara.....	43
Figure .43 : Evolution du taux des apports-précipitations dans le barrage Sikkak.....	44
Figure .44 : Evolution saisonnière des apports-précipitations dans le barrage Béni Bahdel	45
Figure .45 : Evolution saisonnière des apports-précipitations dans le barrage Meffrouche .	45
Figure .46 : Evolution saisonnière des apports-précipitations dans le barrage El Izdihar....	46
Figure .47 : Evolution saisonnière des apports-précipitations dans le barrage H.Bouhrara	46
Figure .48 : Evolution saisonnière des apports-précipitations dans le barrage Sikkak .....	47
Figure .49 : Evolution mensuelle des apports-précipitations dans le barrage Béni Bahdel..	47
Figure .50 : Evolution mensuelle des apports-précipitations dans le barrage Meffrouche .....	47
Figure .52 : Evolution mensuelle des apports-précipitations dans le barrage H.Bouhrara.....	48
Figure .53 : Evolution mensuelle des apports-précipitations dans le barrage Sikkak.....	49
Figure .54 : Relation journalière entre les apports liquides et les précipitations.....	50

## LISTE DES TABLEAUX

### Chapitre I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau .1 : Caractéristiques des barrages .....	4
--	---

### Chapitre II : VARIATIONS TEMPORELLES DES APPORTS LIQUIDES

Tableau .2: Apports annuels aux différents barrages en Mm <sup>3</sup> et caractéristiques statistiques .....	17
Tableau .3 :Tendances temporelles des apports annuels aux barrages .....	20
Tableau .4 : Apports saisonniers aux différents barrage en Mm <sup>3</sup> et caractéristiques statistiques.....	21
Tableau .5 : Tendances temporelles des apports aux barrages en automne.....	23
Tableau .6 : Tendances temporelles des apports aux barrages en hiver .....	23
Tableau .7: Tendances temporelles des apports aux barrages au printemps .....	24
Tableau .8 :Tendances temporelles des apports aux barrages an Eté .....	25
Tableau .9 : Apports mensuels aux différents barrages en Mm <sup>3</sup> et caractéristiques statistiques .....	26
Tableau .10 :Tendances temporelles des apports mensuels aux barrages .....	29
Tableau .11 : Valeurs rare et très rares (extrêmes) .....	31

### Chapitre III :RELATIONS ENTRE LES PRECIPITATION ET LES APPORTS LIQUIDES.

Tableau .12: Hauteurs des précipitations annuelles en mm aux différents barrages et caractéristiques statistiques.....	36
Tableau .13 : Hauteurs des précipitations saisonnières aux différents barrages en mm et caractéristiques statistiques .....	37
Tableau .14 : Hauteurs des précipitations mensuelles aux différents barrages en mm et caractéristiques statistiques.....	38
Tableau .15 : Surfaces d'influence des barrages étudiés et valeurs des apports liquides sur la période de 12 années d'étude.....	41
Tableau .16 : Différents coefficients pour chaque barrage.....	44
Tableau 17 : Coefficients statistiques pour chaque barrage.....	51

# Sommaire

<b>Remerciements.....</b>	<b>II</b>
<b>Dédicaces.....</b>	<b>III</b>
<b>Résumé, Abstract.....</b>	<b>V</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>VII</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>X</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>XI</b>
<b>Chapitre I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....</b>	<b>1</b>
I.Généralités sur le bassin de la Tafna.....	2
I.1 Situation et géographie du bassin.....	2
I.2 Délimitation.....	3
II. Les grands barrages de la Tafna.....	4
II.1 Caractéristique des barrages.....	4
II.2 Barrage de Béni Bahdel.....	5
II.3 Le barrage du Meffrouche.....	7
II .4 Le barrage El Izdihar à Sidi Abdelli.....	10
II .5 Le barrage Hammam Boughrara.....	11
II.6 Le barrage Sikkak.....	13
<b>Chapitre II : VARIATIONS TEMPORELLES DES APPORTS LIQUIDES.....</b>	<b>14</b>
I. Introduction.....	16
II .Variabilité et tendance à l'échelle annuelle.....	16
II.1 Les apports annuels.....	16
II.2 Les apports spécifiques.....	17
Les indices centrés réduits.....	18
Variation des tendances temporelles.....	19
III. Variabilité et tendance à l'échelle saisonnière.....	20
Les apports saisonniers.....	21
Les apports spécifiques.....	21
Indices centrés réduits.....	22
Variation des tendances temporelles.....	22
IV. Variabilité et tendance temporelle à l'échelle mensuelle.....	25
IV.1 Les apports mensuels.....	25
IV.2 Les apports spécifiques.....	27
IV .3 Indices centrés réduits.....	27
IV .4 Variation des tendances temporelles.....	28
V. Variabilité et tendance temporelle à l'échelle journalière.....	30
V.1 Les apports journaliers.....	30
VI .Valeurs extrêmes.....	32
VII. Conclusion.....	33
<b>Chapitre III: :RELATIONS ENTRE LES PRECIPITATION ET LES APPORTS LIQUIDES.....</b>	<b>33</b>
I. Introduction.....	34
II Variation temporelle de précipitation.....	34
II.1 Précipitation annuelle.....	34
II .2 Précipitation saisonnières.....	35
II .3 Précipitation mensuelles.....	36
II .4 Précipitation journalières.....	38
III. Relations entre précipitations et apports liquides entrant aux barrages.....	39
Relations entre les précipitations et les apports liquides à l'échelle annuelle.....	40

III.1.1 Barrage Béni Bahdel.....	40
III.1.2 Barrage Meffrouche.....	41
III.1.3 Barrage El Izdihar .....	42
III.1.4 Barrage Boughrara .....	42
III.1.5 Barrage Sikkak.....	43
Relations entre les précipitations et les apports liquides à l'échelle saisonnière.....	44
III.3 Relations entre les précipitations et les apports liquides à l'échelle mensuelle.....	46
III.4 Relation entre les précipitations et les apports liquides à l'échelle journalière.....	48
IV Conclusion.....	50

# *Introduction générale*

## Introduction générale

Les ressources en eau de l'Algérie du Nord sont estimées à 10 milliards de m<sup>3</sup> en eau superficielle et 2 milliards de m<sup>3</sup> en eau souterraine. Le long cycle de sécheresse qu'a connu le pays depuis près de 4 décennies a eu un impact sur les potentialités en eau superficielle du nord du pays avec une baisse tendancielle : 6,5 Mds de m<sup>3</sup>/an à la fin des années 70, 5 Mds de m<sup>3</sup>/an dans les années 80 et 4 Mds de m<sup>3</sup>/an dans les années 2000 (Bouchedja, 2012). Ainsi, les efforts du pays à mobiliser le maximum d'eau superficielle par l'entrée en fonction de 63 barrages à partir de 2011 se voient anéantis par le phénomène de sécheresse d'une part et de l'alluvionnement des retenues d'autre part (Boudjadja et al., 2003).

Le bassin versant de la Tafna d'une superficie de 7245 km<sup>2</sup> déborde largement les limites géographiques du territoire algérien. Il s'étend des marges septentrionales des hautes plaines oranaises au Sud à la mer Méditerranée au Nord. Il présente des caractères physiques nettement contrastés. En 75 km à vol d'oiseau, on passe d'un domaine semi – aride à un domaine humide Méditerranéen, d'un secteur montagneux à un secteur relativement plat. Ce bassin surnommé jadis « le château d'eau de l'ouest Algérien » contribuait à alimenter en eau potable des régions hors de ses limites telle que la ville d'Oran. Actuellement, le bassin versant de la Tafna comprend 5 barrages fonctionnels (Béni Bahdel, Meffrouche, El Izdihar à Sidi Abdelli, Sekkak et Hammam Boughrara) dont la capacité de stockage est de l'ordre de 400 millions de m<sup>3</sup>. Au même titre que l'ensemble du pays, ce bassin est en proie à une diminution des apports en eau suite à une réduction importante de la pluviométrie (Ghenim, 2001).

La publication des états hydrauliques quotidiens (Date, cote, volume, évaporation, lâchers, fuites, défluent, affluents, pluviométrie) des 5 barrages par les services de la direction de l'hydraulique de la wilaya de Tlemcen sous forme numérique depuis 2004, nous a encouragé à étudier l'évolution des apports en eau dans le temps et leurs relations avec la pluviométrie.

Le mémoire a été structuré en trois chapitres :

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

**Chapitre II** : Variations temporelles des apports liquides.

**Chapitre III** : Relations entre les précipitations et les apports liquides.

Le mémoire est clôturé par une conclusion générale.

*CHAPITRE I*  
*Présentation de la zone d'étude*

## I. Généralités sur le bassin de la Tafna :

Le bassin versant de Tafna est un bassin hydrographique qui se situe au nord-ouest de l'Algérie. Il épouse approximativement les limites administratives de la wilaya de Tlemcen regroupant 37 communes. Il porte le code 16 parmi les 17 bassins versants de l'Algérie et appartient à la région hydrographique Oranie-Chott Chergui.

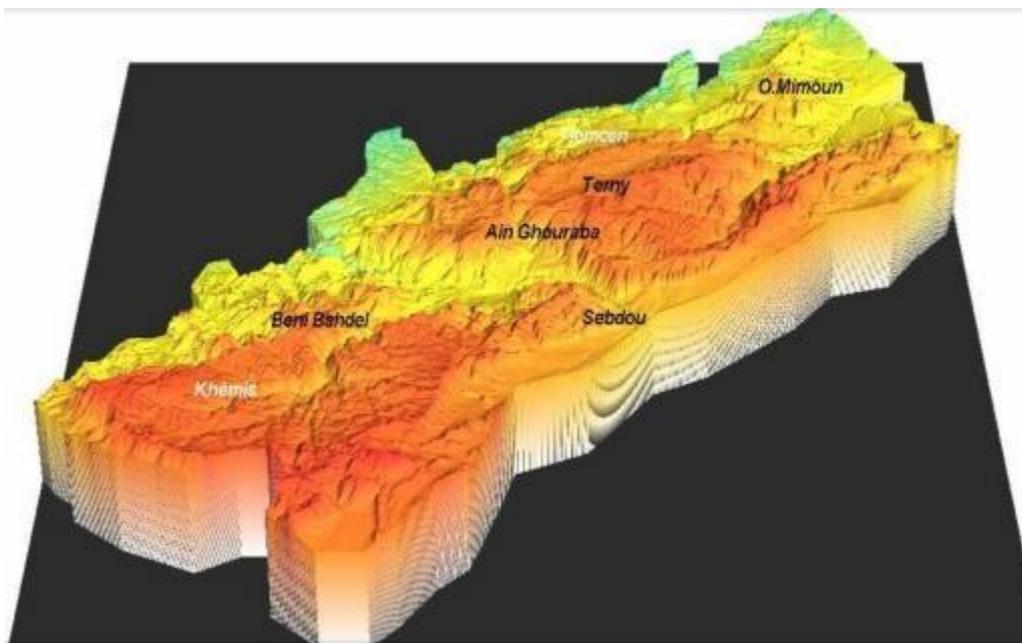


Figure 1 : bassin de la Tafna

### I.1- Situation et géographie du bassin :

Le bassin versant de la Tafna (figure 1) s'étend sur une superficie de 7245 km<sup>2</sup> (en grande partie dans la wilaya de Tlemcen et en partie au Maroc). Son cours d'eau principal d'une longueur d'environ 150 km prend sa source dans les monts de Tlemcen. Son écoulement est d'abord souterrain et son exurgence se situe en amont de Sebdoou, au niveau de Ghar Boumaza, ce qui constitue la haute Tafna. A l'aval du Barrage Béni Bahdel, le cours d'eau débouche sur la plaine de Maghnia. A ce niveau, la partie ouest est principalement alimentée par l'Oued Mouilah et les oueds du versant nord des Monts de Tlemcen jusqu'au barrage de Hamam Boughrara. C'est la moyenne Tafna. Il traverse ensuite les plaines de Remchi, où il reçoit son principal affluent Oued Isser et termine son parcours par un estuaire au niveau de la plage de Rachgoun. C'est la basse Tafna.

Le principal cours d'eau du bassin versant de la Tafna reçoit plusieurs affluents :

∄ Partie orientale : l'oued Isser et l'oued Sikkak

∄ Partie occidentale : l'oued Sebdou et l'oued Khemis ainsi que l'oued Mouilah.

∄ Partie septentrionale : Les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun.

## I.2- Délimitation :

Le bassin versant de la Tafna est délimité comme suit (figure 2):

- ✓ Nord-ouest : commune de Bab el Assa, Djebala, Nedrouma, Beni Khelad et Honaine
- ✓ Nord : la mer Méditerranée
- ✓ Nord-est : wilaya d'Ain Témouchent
- ✓ Sud : commune d'el Bouihi, El Gor, Sidi Djilali et El Aricha
- ✓ Ouest : le Maroc.
- ✓ Est : wilaya de Sidi Bel Abbes, commune d'Ain Tallout

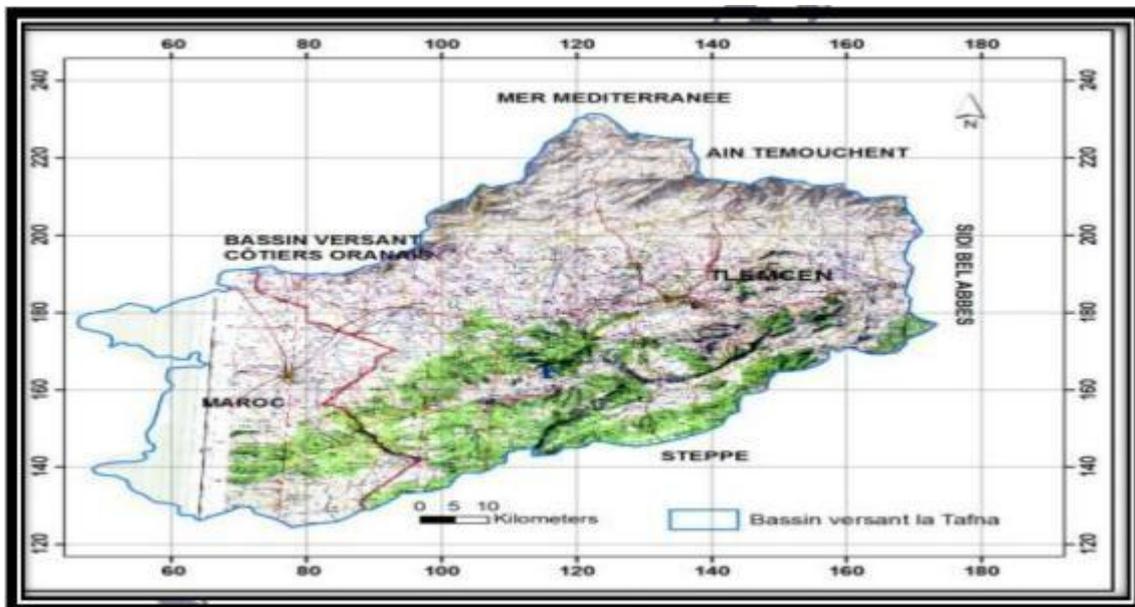


Figure 2: Délimitation de la Tafna

## II. Les grands barrages de la Tafna :

Le bassin versant de la Tafna comprend cinq grands barrages en service : barrage Béni Bahdel, barrage Meffrouche, barrage Izdihar à Sidi Abdelli, barrage Hammam Bouhrara. Et enfin le barrage de Sikkak (figure 3).

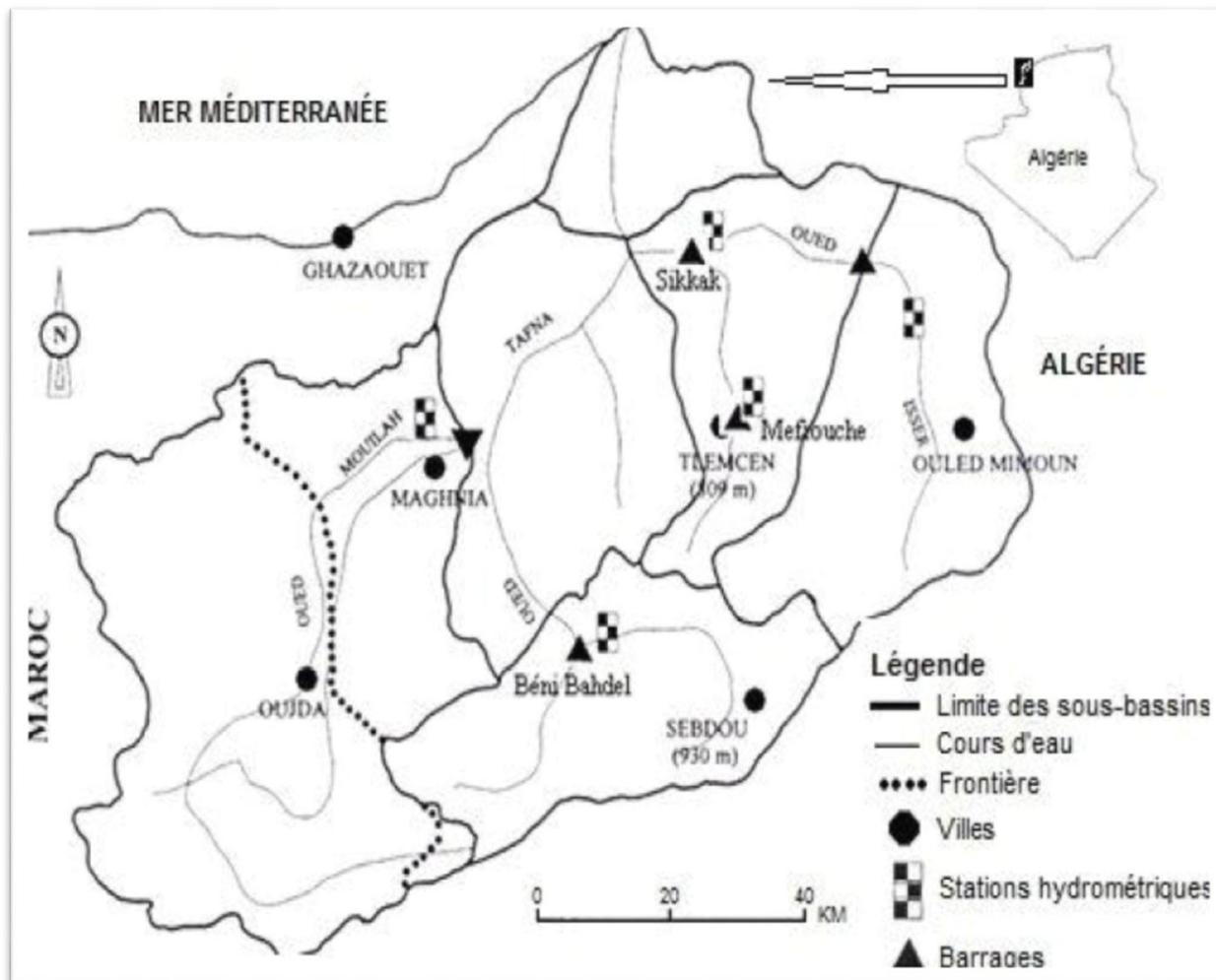


Figure 3: Localisation des barrages au niveau du B.V de la Tafna

### II.1- Caractéristique des barrages :

Les caractéristiques des différents barrages existants et situés dans la wilaya de Tlemcen sont résumées dans le tableau.

**Tableau 1 :Caractéristiques des barrages**

Barrage	Capacité (Mm <sup>3</sup> )	V.régularisable (Mm <sup>3</sup> )	Superficie B. V (Km <sup>2</sup> )	Date de mise en service
<b>Béni Bahdel</b>	63	63	1016	1952
<b>Meffrouche</b>	15	15	90	1963
<b>El Izdihar</b>	110	50	1137	1987
<b>H. Boughrara</b>	177	56	4000	1998
<b>Sikkak</b>	30	25	251	2004

**II.2- Barrage de Béni Bahdel:**

Le barrage de Beni Bahdel, construit sur l’oued Tafna est situé au sud-ouest de la ville de Tlemcen (figure 4). Il se trouve immédiatement à l’aval de la jonction des deux rivières, rive droite oued Sebdou avec un important cours d’eau et rive gauche Oued Khemis qui prend sa source à proximité de la frontière Algéro-Marocaine.La construction du barrage a commencé au mois d’avril 1934 alors que le barrage n’a été mis en service qu’en 1952.



**Figure 4 : Localisation du barrage de Beni Bahdel**

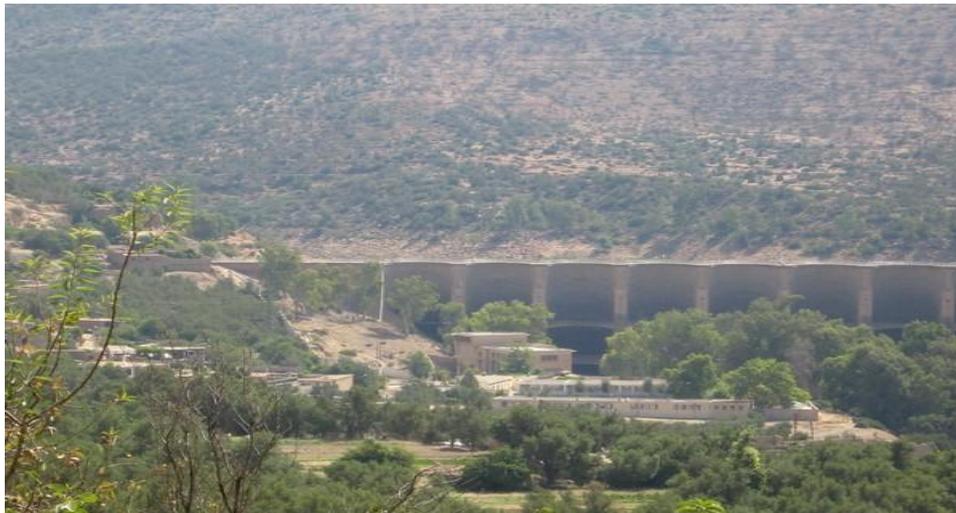
Le barrage Béni Bahdel constitue le premier ouvrage réalisé dans le bassin de la Tafna puisqu’il date de la période 1934-1940(début des travaux jusqu’àachèvement).A l’origine,il était destiné à l’irrigation du périmètre de Maghnia.L’ouvrage construit en béton avait une capacité initiale de 63 Mm<sup>3</sup>. Il devait régulariser un volume annuel de 74Mm<sup>3</sup>.Le bassin versant

correspondant est d'une superficie de 1016 km<sup>2</sup> et la pluviométrie moyenne annuelle est de 484mm.

C'est un Barrage à voutes cylindriques multiples et contreforts (figure 5).Ce barrage avait été conçu, la 1ere période a été destiné pour l'AEP .Mais comme il était impossible de résoudre le problème de l'alimentation en eau de la région Oranaise avec les seules sources de Raz-el-Ain et de la nappe de Brédéah–Misserghin, il a été décidé alors d'assurer cette alimentation à partir du barrage de Béni Bahdel.

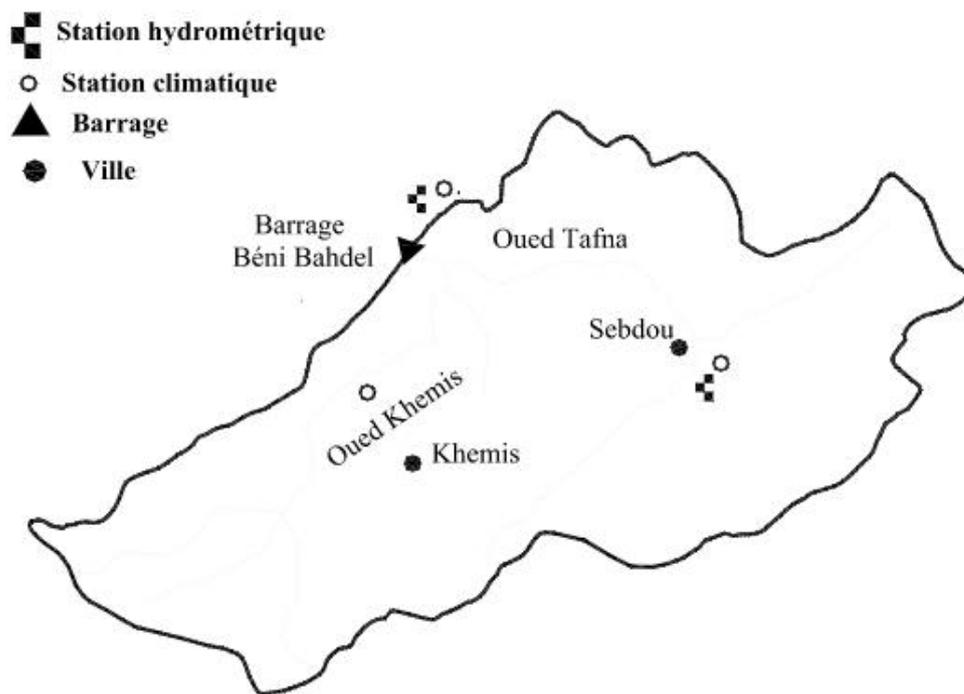
Ses principales caractéristiques sont :

- ✓ Volume de la retenue normale : 63 Mm<sup>3</sup>
- ✓ Cote de la retenue maximale : 655m
- ✓ Cote de retenue normale : 653,4m
- ✓ Date de mise en eau :1952



**Figure 5 : Vue de face du barrage de Béni Bahdel**

Le bassin versant à l'amont de l'ouvrage (figure 6) a une superficie de 1016 Km<sup>2</sup>. Le point culminant du bassin est à une altitude de 1284m (Djebel Tounzait). Le thalweg de la vallée à droite du barrage principal est à la cote 600m environ.



**Figure 6: Schématisation de la carte du bassin versant à l'amont du barrage Béni Bahdel**

Alimenté par les apports de Oued Khemis et GharBoumaâza, cet ouvrage hydraulique a desservi, pendant plusieurs années, en AEP, les villes d'Oran et Tlemcen à travers des conduites de transfert longues de 36 km et d'un réservoir tampon d'un volume de 5.000 m<sup>3</sup>. Selon la direction de l'hydraulique ce barrage reçoit régulièrement des apports de 200.000 m<sup>3</sup>/j avec une pointe de l'ordre de 560.000 m<sup>3</sup>/j.

### **II.3- Le barrage du Meffrouche**

Le barrage du Meffrouche (figure 7) se trouve à 1100m d'altitude dans les hauteurs des monts de Tlemcen. Cet ouvrage situé à 8 km de la ville de Tlemcen, est réalisé sur l'oued En-Nachef d'une longueur d'environ 14,25 km. Le barrage dont la cuvette est d'une capacité de 15 Mm<sup>3</sup> est fonctionnel depuis 1963 (figure 8). Les eaux du barrage servent à l'alimentation du Sud du groupement de Tlemcen et l'irrigation d'un périmètre autour de la ville.



**Figure 7 : Vue sur l'ouvrage du barrage du Meffrouche**

Le bassin versant de l'Oued En-Nachef occupe une superficie de 86 km<sup>2</sup> dans un périmètre de 46,3 km (figure 9). Il se présente comme un haut plateau calcaire avec un relief de dolines comblées et pratiquement dépourvues de couverture végétale. Il est alimenté et limité au sud et sud-ouest par le Djebel Nador. La pente des versants dépasse 25 % dans la partie amont du bassin, mais les valeurs s'adoucissent à l'approche de l'exutoire. Son altitude moyenne est 1240m (Ghenim et Megnounif, 2013).



Figure 8 : Vue sur la cuvette du barrage Meffrouche

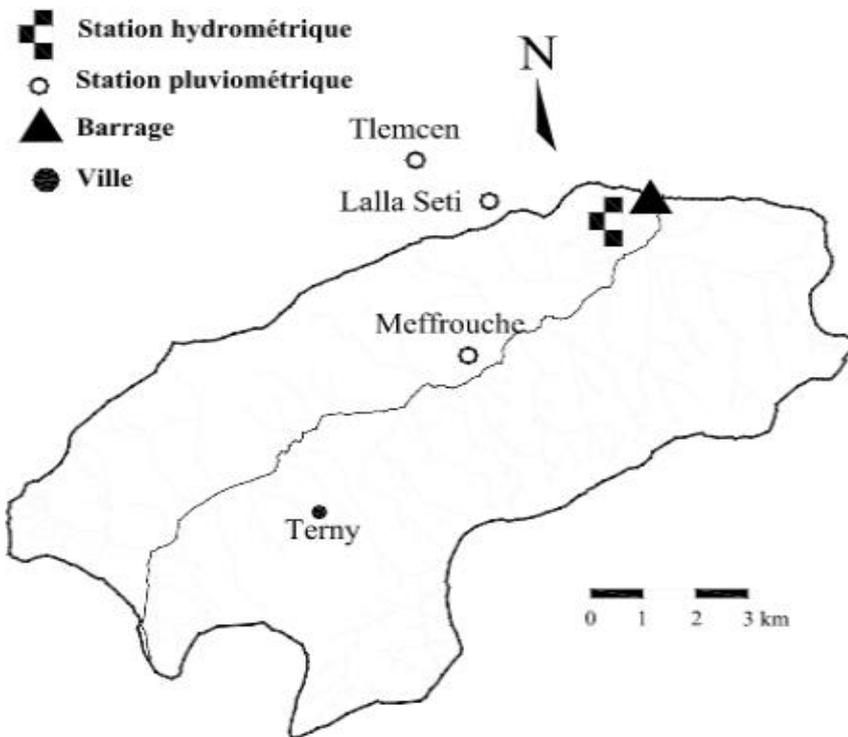


Figure 1 : Carte schématique du bassin versant du Barrage Meffrouche

#### **II.4–Le barrage El Izdihar à Sidi Abdelli :**

Le barrage de Sidi Abdelli nommé EL-Izdihar (figure 10) est érigé sur l’oued Isser, affluent important de l’Oued Tafna. Il est situé au Nord du village de Sidi Abdelli à l’amont de la ville de Bensekrane et à 37 km de la ville de Tlemcen. La construction du barrage a débuté en 1979 et a duré 10 ans (1979-1989). Il a été mis en service en 1990.

Sa capacité globale est de 110Mm<sup>3</sup>. Le volume régularisé annuellement est évalué à 50 Mm<sup>3</sup>. 60% de ce volume est affecté à l’alimentation en eau potable de la Wilaya d’Oran par l’intermédiaire de la prise de la Tafna et 40% est réservé à la valorisation agricole.

Les caractéristiques de la digue du barrage sont :

- ✓ Niveau de la crête : 353,5m
- ✓ Niveau de la retenue normale : 345m
- ✓ Niveau maximum exceptionnel : 351,3m
- ✓ Surface de la retenue normale : 660 ha
- ✓ Hauteur maximum : 60m
- ✓ Longueur en crête : 665m



**Figure 10 : Vue lointaine du barrage El Izdihar**

La superficie du bassin versant alimentant le barrage est de 1137 km<sup>2</sup>(figure 11). Son altitude maximale de 1625 m et la longueur du thalweg principal est de 81 Km.

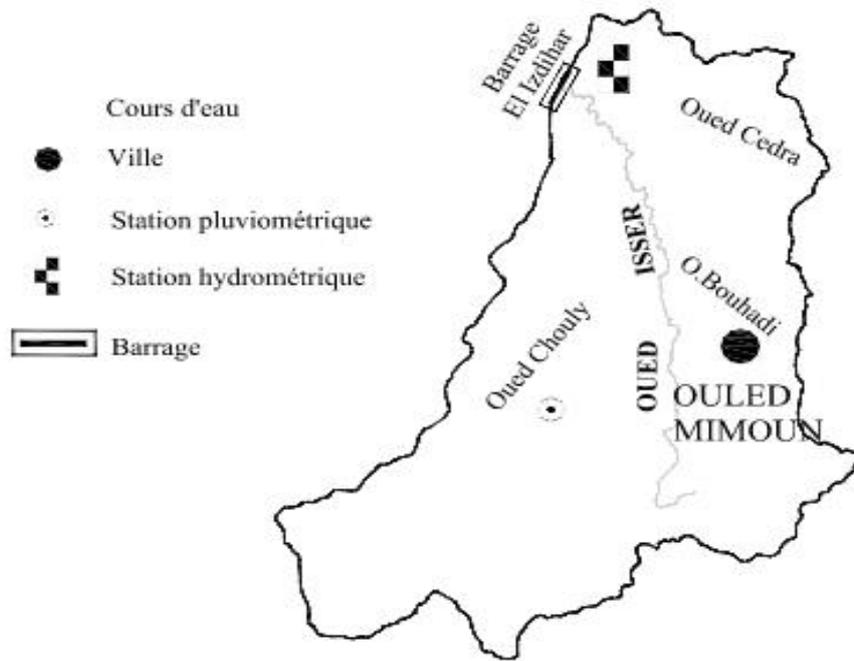


Figure 11 2: Carte schématique du bassin versant alimentant le barrage El Izdihar

#### II.5- Le barrage Hammam Bouhrara :

Le barrage de Hammam Bouhrara dont la mise en eau s'est effectuée le 12 novembre 1998 a une capacité de 177 Mm<sup>3</sup> et régularise un volume de 56Mm<sup>3</sup> pour une pluviométrie moyenne annuelle estimée à 272mm. L'apport moyen annuel est estimé à 84 Mm<sup>3</sup> pour un bassin versant de 4000 km<sup>2</sup>. Il est destiné principalement à la satisfaction des besoins en eau potable de la wilaya d'Oran. Une partie est réservée à l'irrigation du périmètre agricole de Maghnia. Cet ouvrage est réalisé sur l'oued Mouilah, affluent de la Tafna (figures 12 et 13).

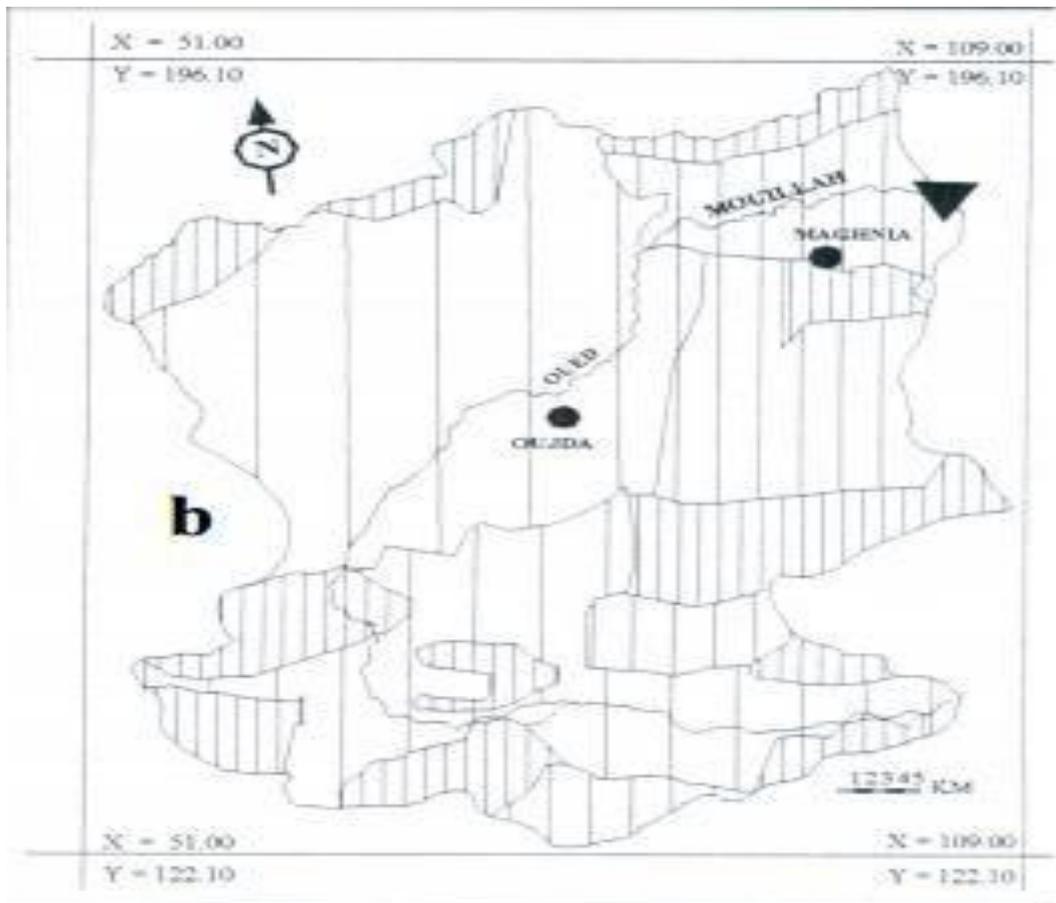


Figure 12 : Localisation du barrage de hammam Bouhrara



**Figure 13 : Vue sur la cuvette du barrage Hammam Bouhrara**

Le bassin versant qui alimente le barrage a une superficie de 4000 km<sup>2</sup> avec un volume régularisable de 56 Mm<sup>3</sup>(figure 14).



**Figure 3 : Carte schématique du B.V de Hammam Bouhrara**

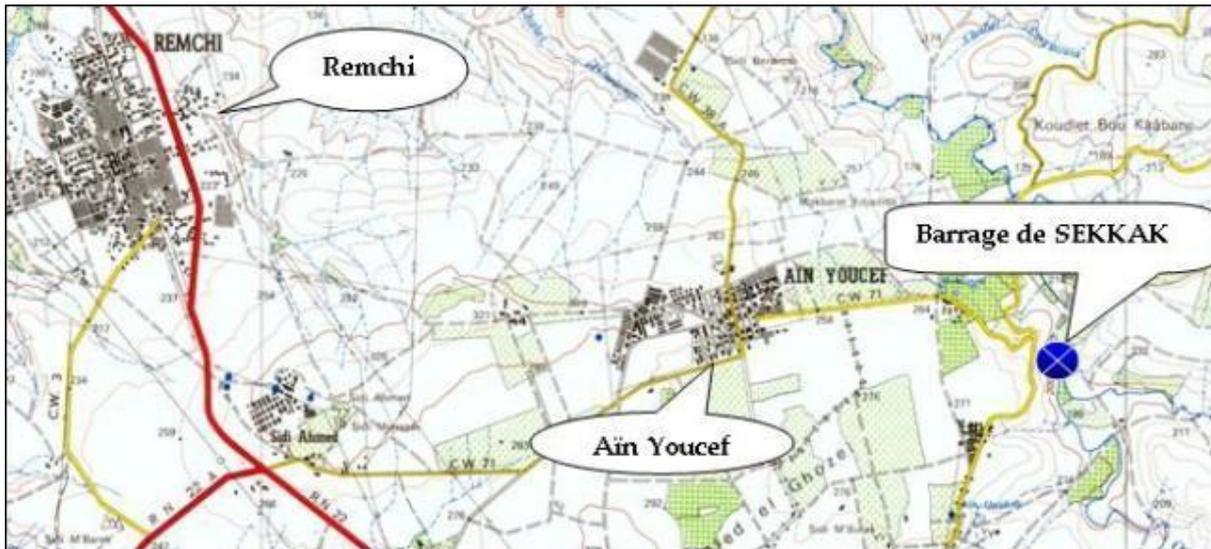
## **II.6- Le barrage Sikkak :**

Le barrage Sikkak est réalisé pour les besoins d'irrigation de la plaine de Hennaya ainsi que l'alimentation en Eau Potable de la ville de Tlemcen. Il a une capacité de 30Mm<sup>3</sup>et régularise un volume de 25 Mm<sup>3</sup>.La superficie du bassin versant correspondant est de 251Km<sup>2</sup>. Cet ouvrage est réalisé sur l'oued Sikkak, affluent de la Tafna (figure 15).

Le barrage d'Ain Youcef (Sikkak) est situé sur l'Oued Sikkak à la hauteur de Guadet Boukaben, à environ 1 km du village de Ain Youcef. Le site du barrage est accessible à partir des routes de wilaya CW38 et CW71 (figure 16).

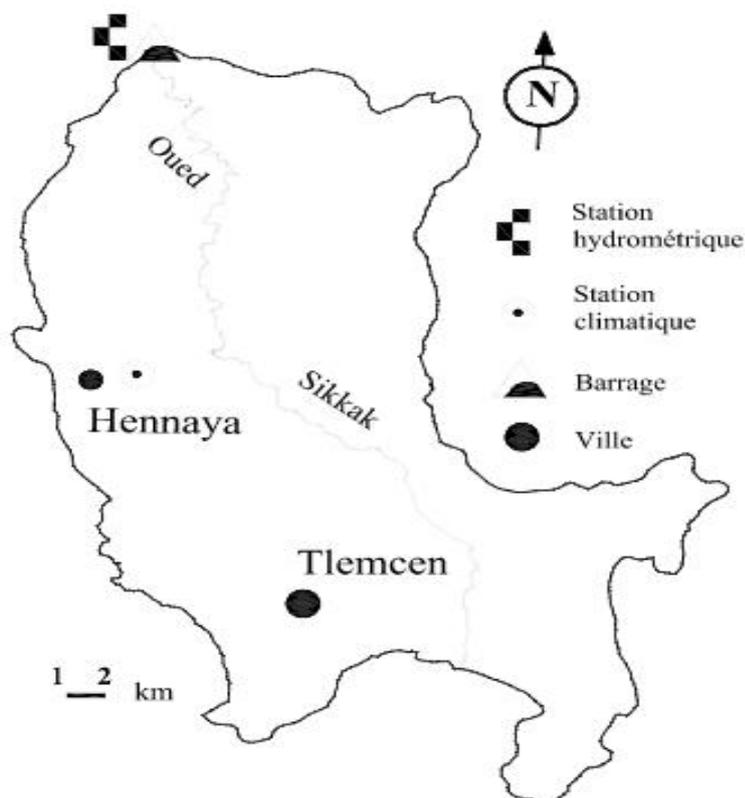


**Figure 15: Vue sur la cuvette du barrage Sikkak**



**Figure 4: Localisation du barrage Sikkak**

Son bassin versant a une superficie de 251 km<sup>2</sup> (figure 17) et un pourtour long de 65 km. L'altitude moyenne du bassin est de 475m. Le relief est assez fort avec un indice de pente global de Roche de 0,037. Le bassin du Sikkak est assez bien drainée puisque sa densité de drainage est de  $Dd=2,42$  (Bouanani, 2013).



**Figure 17 : Carte schématique du bassin versant du Barrage Sikkak**

*CHAPITRE II*  
*Variation temporelle des apports*  
*liquides*

## I- Introduction :

Les régions à climat Méditerranéen se caractérisent par une variabilité importante de leurs paramètres hydro-climatiques. Dans ce chapitre, on se propose d'étudier la variabilité et la tendance temporelles des apports liquides entrant aux barrages. Ces derniers sont mesurés directement dans les cuvettes des barrages par des lectures sur des échelles limnimétriques accolés aux au corps des ouvrages et transformées en volumes ( $m^3$ ) en prenant en compte les surfaces afférentes à chaque hauteur. La période de mesure d'étale de 2004-05 à 2015-16.

## II – Variabilité et tendance à l'échelle annuelle :

### - les apports annuels :

La variation des apports annuels aux 5 barrages durant la période allant de 2004-05 à 2015-16 (figure 18 et tableau 2) est fluctuante d'une année à une autre. L'année 2004-05 a été l'année où l'apport liquide entrant aux barrages est le plus faible avec 37  $Mm^3$  seulement. Par contre l'année 2012-13 a été l'année la plus excédentaire avec un 414  $Mm^3$  suivie de l'année 2008-09 avec un apport global de près de 396  $Mm^3$ . Durant ces 2 années, les barrages de Béni Bahdel et Meffrouche ont enregistré des apports supérieurs à leurs capacités de stockage.

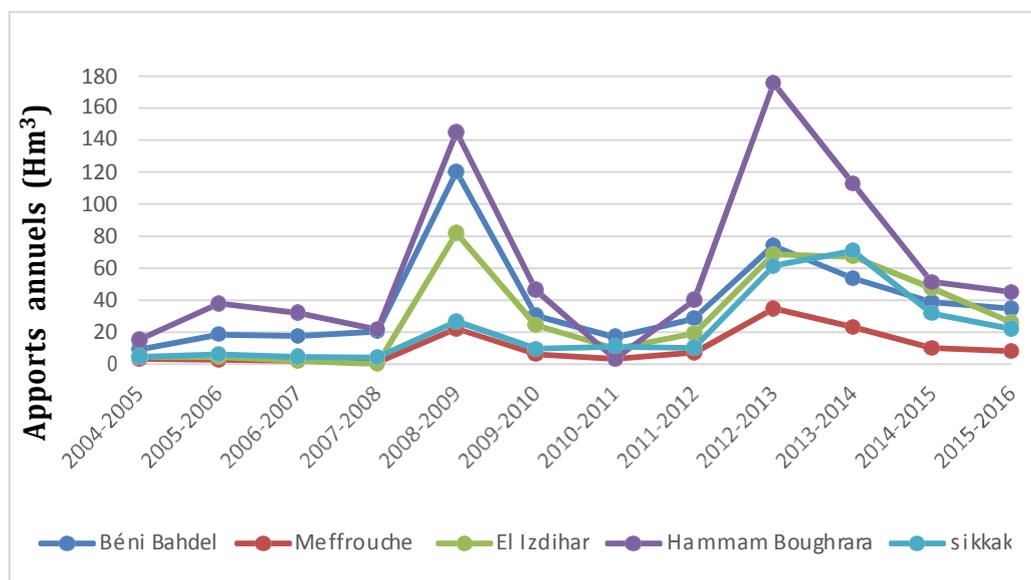


Figure 18 : Variation temporelle des apports aux barrages

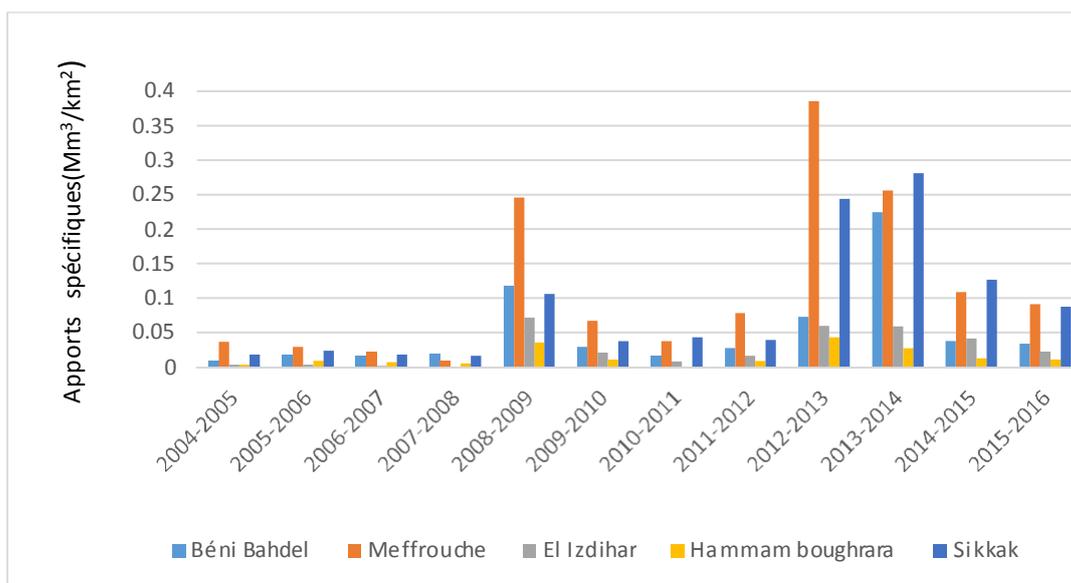
**Tableau 2 : Apports annuels aux différents barrages en Mm<sup>3</sup> et caractéristiques statistiques**

<b>Année</b>	<b>Béni Bahdel</b>	<b>Meffrouche</b>	<b>El Izdihar</b>	<b>H Boughrara</b>	<b>Sikkak</b>	<b>Somme</b>
2004-2005	9,4	3,3	4,3	15,4	4,6	<b>37,1</b>
2005-2006	18,44	2,6	4,4	37,9	6,1	<b>69,4</b>
2006-2007	17,5	2,0	2,2	32,1	4,6	<b>58,5</b>
2007-2008	20,5	0,9	0,01	21,6	4,2	<b>47,2</b>
2008-2009	120,3	22,1	81,9	144,9	26,7	<b>396,0</b>
2009-2010	30,5	6,1	24,4	46,5	9,6	<b>117,1</b>
2010-2011	16,9	3,4	9,8	3,4	10,9	<b>44,5</b>
2011-2012	28,5	7,1	19,2	40,1	10,1	<b>105,0</b>
2012-2013	74,2	34,7	68,5	175,6	61,3	<b>414,3</b>
2013-2014	53,6	23,1	67,2	112,6	70,7	<b>327,2</b>
2014-2015	38,6	9,9	47,5	51,3	31,7	<b>179,1</b>
2015-2016	34,7	8,2	26,1	45,1	22,1	<b>136,2</b>
<b>Moyenne</b>	<b>38,6</b>	<b>10,3</b>	<b>29,6</b>	<b>60,6</b>	<b>21,9</b>	
<b>Ecart-type</b>	<b>31,4</b>	<b>10,6</b>	<b>29,3</b>	<b>54,1</b>	<b>22,6</b>	
<b>coef de variation</b>	<b>0,81</b>	<b>1,03</b>	<b>0,99</b>	<b>0,89</b>	<b>1,03</b>	
<b>coef d'asymétrie</b>	<b>1,88</b>	<b>1,43</b>	<b>0,75</b>	<b>1,29</b>	<b>1,45</b>	

Malgré certaines années excédentaires, les valeurs moyennes des apports aux barrages durant ces 12 années de mesure sont en deçà des capacités de stockage. Les taux de remplissage varient en moyenne de 27% pour le barrage El Izdihar à 73% pour celui de Sikkak. Quant aux coefficients de variation, ils sont très élevés variant entre 0,81 à 1,03 indiquant une variabilité très importante d'une année à une autre. De même, les coefficients d'asymétrie indiquent une dissymétrie à gauche où la majorité de valeurs sont faibles devant quelques valeurs élevées des apports (tableau 2).

#### **- Les apports spécifiques :**

Pour examiner l'effet des surfaces des sous-bassins versants et déterminer la production d'un écoulement par unité de surface, on a calculé les apports spécifiques pour les 5 barrages (figure 19). Ainsi, on remarque que le barrage où l'écoulement par unité de surface le plus élevé semble celui du Meffrouche principalement durant les années 2008-09, 2012-13 et 2013-14. Par contre, les barrages El Izdihar et Hammam Boughrara produisent les écoulements spécifiques les plus faibles.



**Figure 19 : Variation des apports liquides spécifiques**

### - Les indices centrés réduits

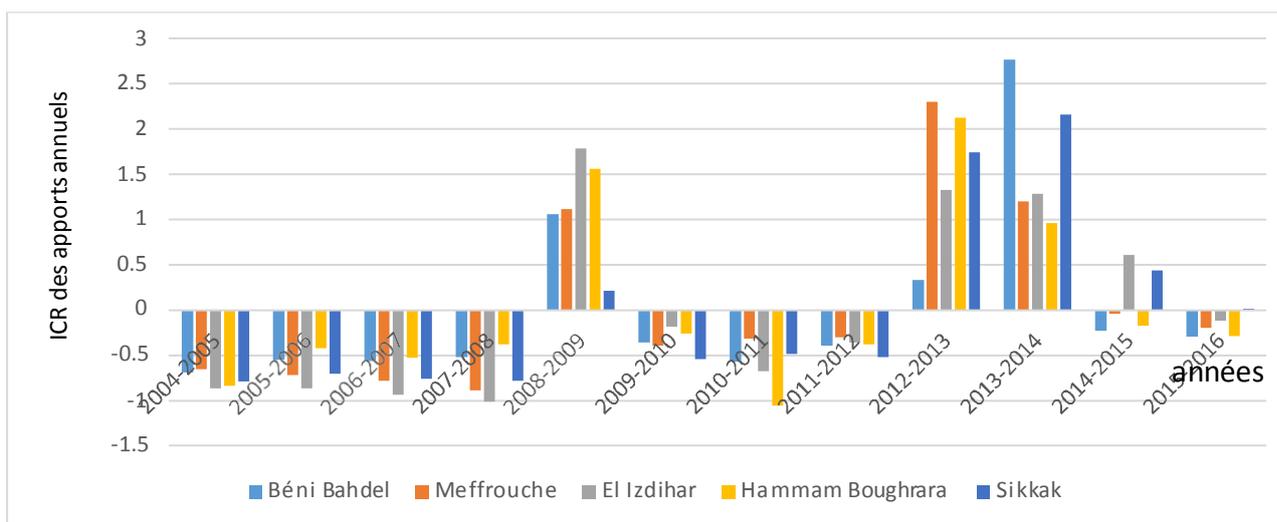
Dans l'objectif de déterminer les années à écoulements excédentaires et déficitaires, on a calculé pour chaque barrage et pour chaque année les indices centrés réduits (figure 20) en appliquant la formule suivante :

$$ICR = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

avec :

- $x$  : la variable apport liquide relatif à une année particulière ( $Mm^3$ )
- $\bar{x}$  : la moyenne arithmétique des apports liquides des 12 années de mesure ( $Mm^3$ )
- $\sigma$  : l'écart type des apports liquides des 12 années de mesure ( $Mm^3$ )

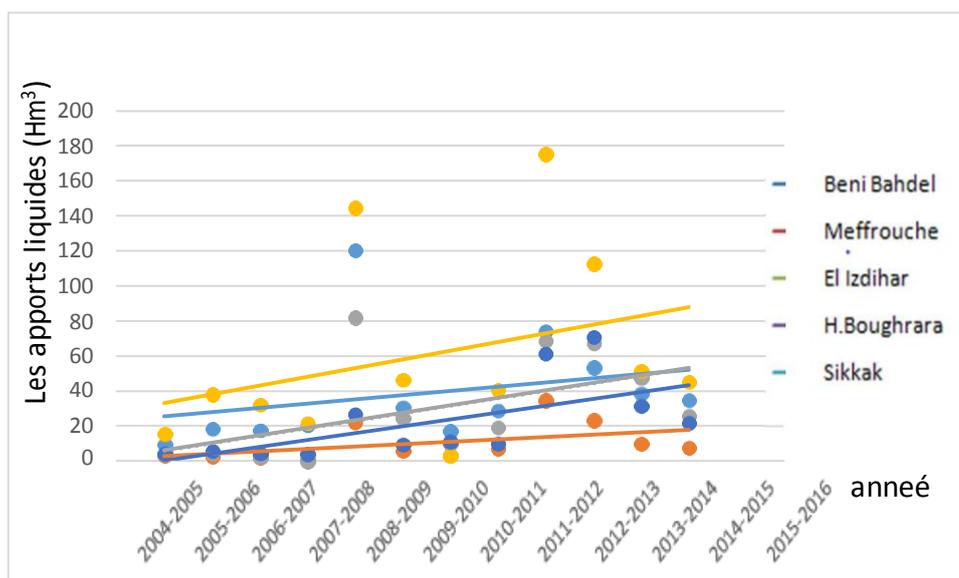
On remarque que sur 12 années de mesure, 8 années sont franchement déficitaires, 3 années sont excédentaires alors que l'année 2014-15 est mixte. On remarque aussi que les déficits ne sont pas aussi importants que les excédents.



**Figure 20: Indices centrés réduits des apports annuels**

**- Variation des tendances temporelles**

Malgré le caractère globalement déficitaire des apports annuels, les tendances de ceux-ci sont positives (figure 21 et tableau 3). Cette tendance à la hausse est due principalement aux 3 années excédentaires 2008-09, 2012-13 et 2013-14. Néanmoins les coefficients de détermination sont faibles indiquant une irrégularité d’occurrence de ces apports annuels.



**Figure 21 : Tendances temporelles des apports annuels**

**Tableau 3 :Tendances temporelles des apports annuels aux barrages**

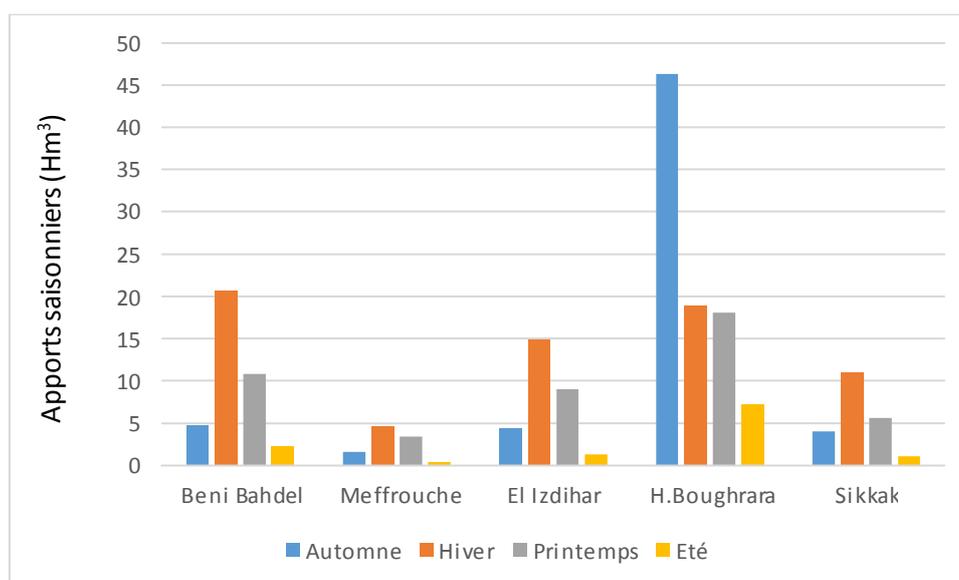
Barrage	Direction	Pente	Coef de détermination
Béni Bahdel	↗	6,6893	0,1454
Meffrouche	↗	1,3558	0,2113
El Izdihar	↗	4,279	0,2778
Hammam Boughrara	↗	4,978	0,1102
Sikkak	↗	3,924	0,3917

### III – Variabilité et tendance à l'échelle saisonnière :

#### III.1- Les apports saisonniers

Les apports saisonniers aux 5 barrages durant la période allant de 2004-05 à 2015-16 (figure 22, et tableau 4) sont fluctuants d'une saison à une autre. La saison d'hiver a été la saison où l'apport liquide total entrant aux barrages Béni Bahdel, Meffrouche, El Izdihar et Sikkak est le plus fort avec 70 Mm<sup>3</sup> suivie de l'automne (61Mm<sup>3</sup>), le printemps (47 Mm<sup>3</sup>) et l'été avec seulement 12 Mm<sup>3</sup>. Le barrage de Hammam Boughrara est le seul qui a enregistré un apport élevé durant la saison d'automne avec un apport de 46 Mm<sup>3</sup>.

Individuellement et en terme d'apports, on remarque que le barrage Meffrouche a enregistré des apports saisonniers les plus faibles suivi par le barrage Sikkak puis Béni Bahdel et enfin Hammam Boughrara.



**Figure 22 : Variation saisonnières des apports aux barrages**

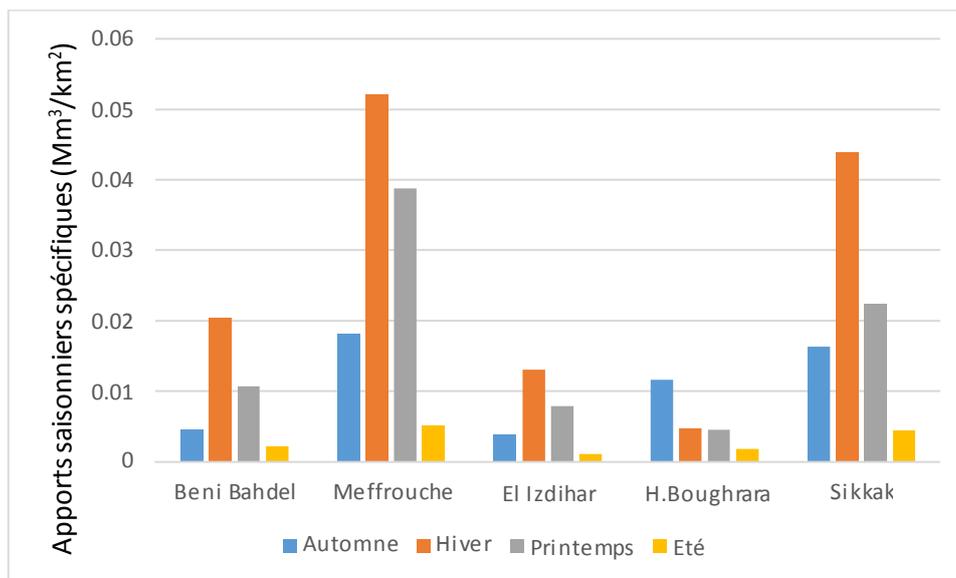
**Tableau 4 :Apports saisonniers aux différents barrages en Mm<sup>3</sup>et caractéristiques statistiques**

	Beni Bahdel	Meffrouche	El Izdihar	H.Boughrara	Sikkak	somme
<b>Automne</b>	4,7	1,6	4,3	46,4	4,1	<b>61,2</b>
<b>Hiver</b>	20,7	4,7	14,9	18,9	11,0	<b>70,3</b>
<b>Printemps</b>	10,9	3,5	9,0	18,1	5,6	<b>47,2</b>
<b>Eté</b>	2,2	0,5	1,3	7,2	1,1	<b>12,4</b>
<b>Moyenne</b>	<b>9,6</b>	<b>2,6</b>	<b>7,4</b>	<b>22,7</b>	<b>5,5</b>	
<b>Ecart type</b>	<b>8,2</b>	<b>1,9</b>	<b>5,9</b>	<b>16,7</b>	<b>4,1</b>	
<b>Coef. de variation</b>	<b>0,85</b>	<b>0,73</b>	<b>0,80</b>	<b>0,73</b>	<b>0,76</b>	
<b>Coef. d'asymétrie</b>	<b>1,0</b>	<b>0,01</b>	<b>0,56</b>	<b>1,36</b>	<b>0,81</b>	

Les coefficients de variation des apports saisonniers sont très élevés variant entre 0,73 et 0,85 indiquant une variabilité très importante d'une saison à une autre. De même, les coefficients d'asymétrie indiquent une dissymétrie à gauche où la majorité de valeurs sont faibles devant quelques valeurs élevées des apports (tableau 4).

**- Les apports spécifiques :**

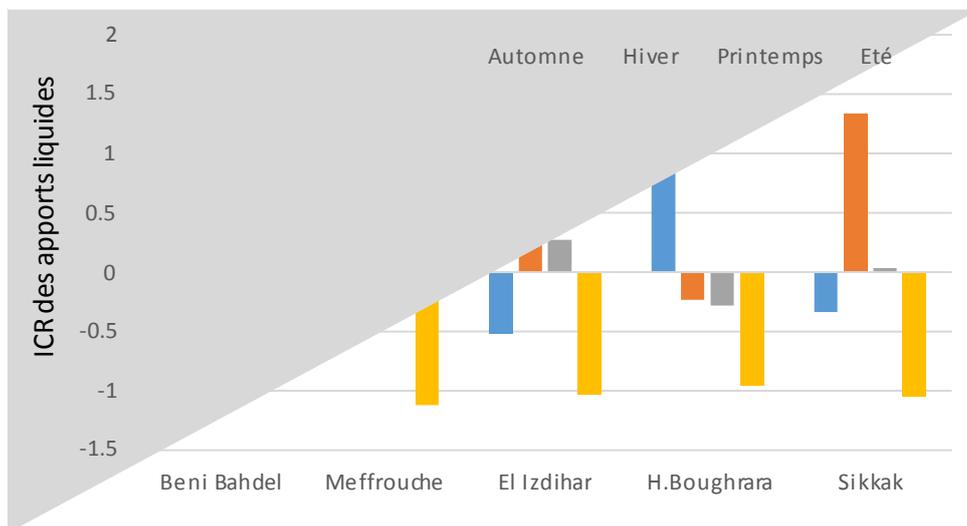
L'effet des surfaces des sous-bassins versants demeure déterminant dans l'estimation de la production des écoulements par unité de surface. Ainsi, les apports spécifiques saisonniers ont été calculés pour les 5 barrages (figure 23). On remarque que le barrage Meffrouche enregistre un apport spécifique conséquent en hiver et au printemps suivi du barrage Sikkak. Les autres barrages ont une production comparative limitée.



**Figure 23 :Variation des apports liquides spécifiques saisonniers**

**- Indices centrés réduits :**

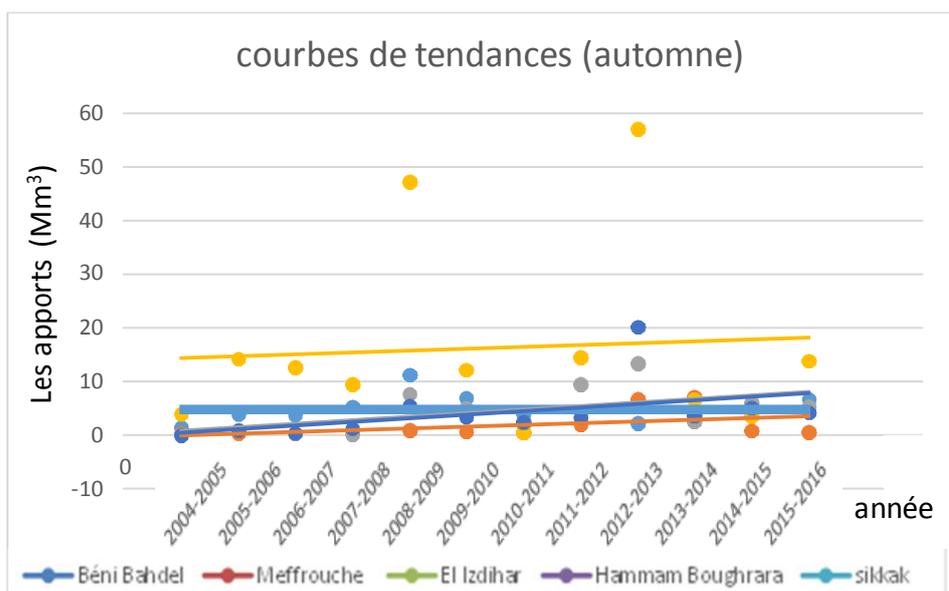
Pour tous les barrages, les apports en hiver sont supérieurs aux moyennes et ceux du printemps sont légèrement au-dessus des moyennes sauf pour le barrage de Hammam Boughrara. Pour ce dernier l'automne est exceptionnellement élevé par rapport aux autres saisons (figure 24). La saison d'été est sèche pour toute la région.



**Figure 24 :Indices centrés réduits saisonniers des apports aux barrages**

**- Variation des tendances temporelles :**

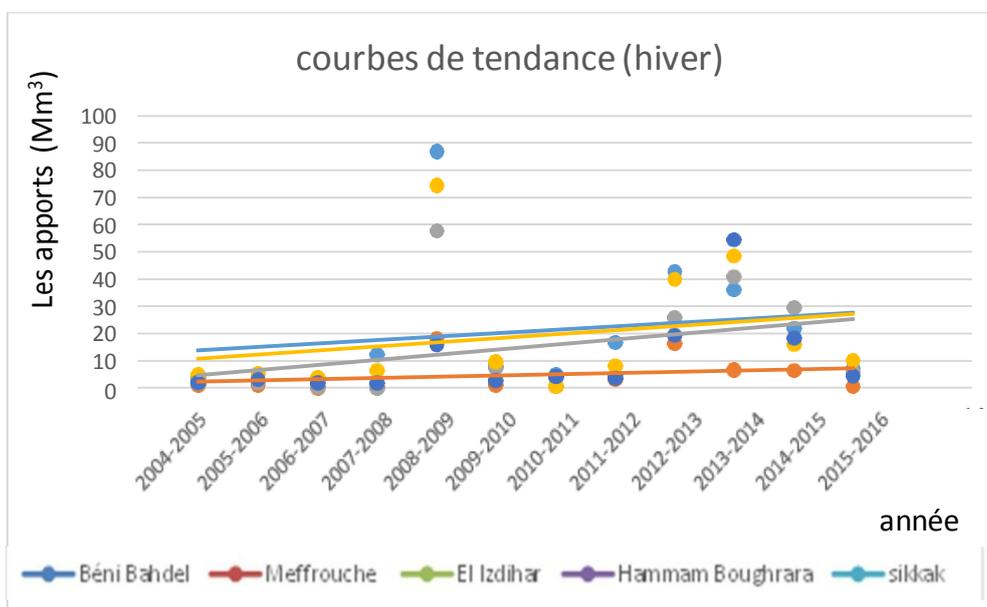
Malgré le caractère globalement équilibré des apports saisonniers, les tendances de ceux-ci sont positifs (figures 25, 26, 27 et 28 et tableaux 5, 6, 7 et 8). Cette tendance à la hausse de chaque saison est due principalement à la saison d'hiver. Néanmoins les coefficients de détermination sont faibles indiquant une irrégularité d'occurrence de ces apports saisonniers.



**Figure 25 : Tendances des apports en automne**

**Tableau 5 :Tendances temporelles des apportsaux barrages en automne**

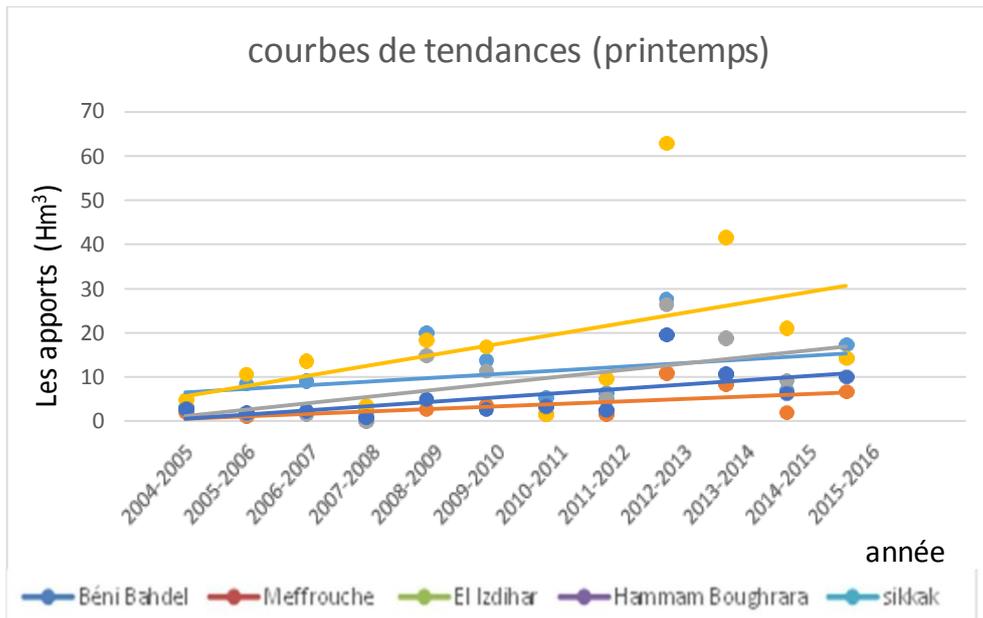
Barrage	Direction	Indice d'équation de tendance	Coefficient de détermination
Béni Bahdel	↗	0,0984	0,0192
Meffrouche	↗	0,3241	0,2212
El Izdihar	↗	0,6579	0,317
Hamman Boughrara	↗	0,3536	0,0053
Sikkak	↗	0,6717	0,2067



**Figure 26 : Tendances des apports en Hiver**

**Tableau 6 :Tendances temporelles des apports aux barrages en hiver**

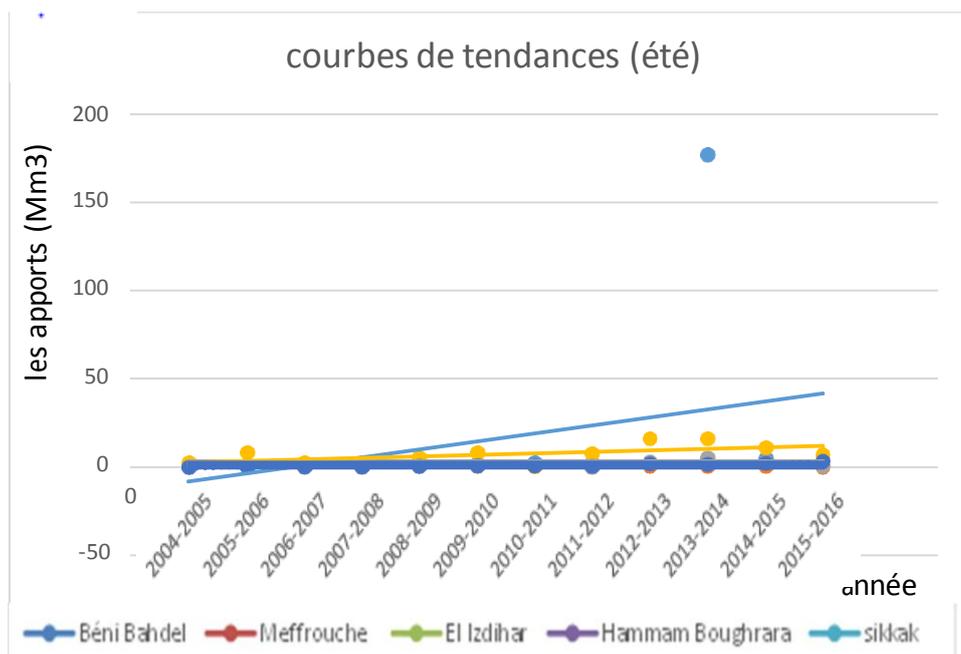
Barrage	Direction	Indice d'équation de tendance	Coefficient de détermination
Béni Bahdel	↗	1,2652	0,0345
Meffrouche	↗	0,4471	0,0648
El Izdihar	↗	1,8843	0,1276
Hamman Boughrara	↗	1,4987	0,0554
Sikkak	↗	2,0348	0,2337



**Figure27 : Tendances des apports au Printemps**

**Tableau 7 :Tendances temporelles des apports aux barrages au printemps**

Barrage	Direction	Indice d'équation de tendance	Coefficient de détermination
<b>Béni Bahdel</b>	↗	0,8015	0,1469
<b>Meffrouche</b>	↗	0,5458	0,3466
<b>El Izdihar</b>	↗	1,4327	0,3926
<b>Hammam Bouhrara</b>	↗	2,2789	0,2182
<b>Sikkak</b>	↗	0,9357	0,3882



**Figure 28 : Tendances des apports en Été**

**Tableau 8 :Tendances temporelles des apports aux barrages en Été**

Barrage	Direction	Indice d'équation de tendance	Coefficient de détermination
Béni Bahdel	↗	4,5467	0,1053
Meffrouche	↗	0,0392	0,3484
El Izdihar	↗	0,3127	0,4076
Hammam Boughrara	↗	0,8469	0,3569
Sikkak	↗	0,2824	0,8116

## IV – Variabilité et tendance temporelle à l'échelle mensuelle :

### IV.1- Les apports mensuels :

La variation des apports mensuels aux 5 barrages durant l'année moyenne (figure 29 et tableau 9) est plutôt désordonnée. Globalement les mois de janvier, février et mars sont les plus humides de l'année moyenne. Les mois de septembre, octobre, mai, juin et août sont les mois où l'apport liquide entrant aux barrages est le plus faible avec un apport qui ne dépasse pas 10 Mm<sup>3</sup>. Par contre les mois de janvier, février et mars sont les mois les plus excédentaires avec un apport global de 23 Mm<sup>3</sup> suivi respectivement de 32 Mm<sup>3</sup> et 22 Mm<sup>3</sup>.

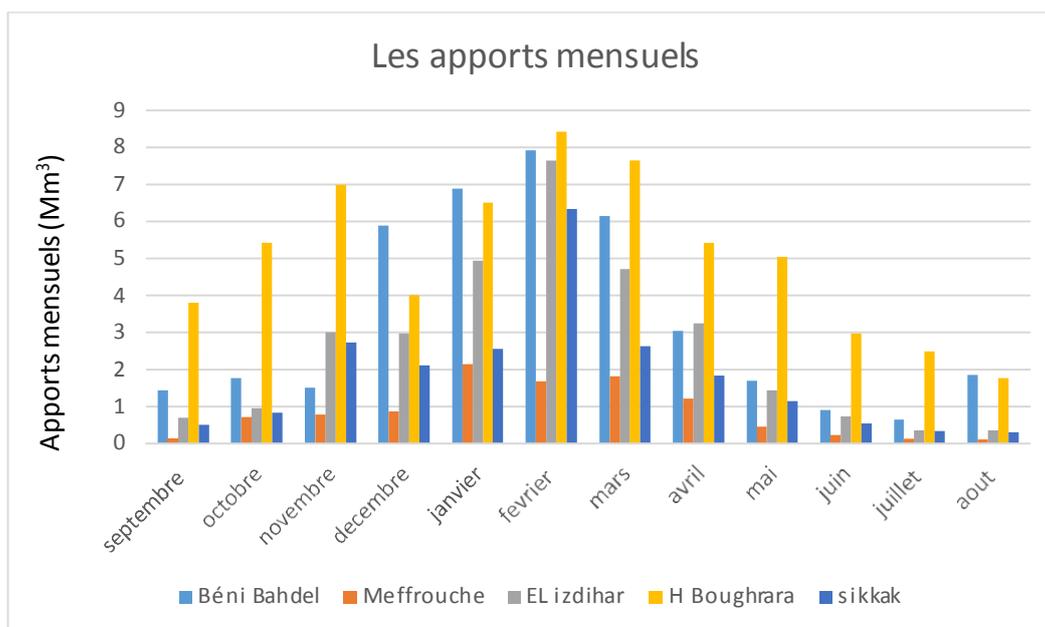


Figure 29 :Variation temporelle des apports mensuels aux barrages

Tableau 9 : Apports mensuels aux différents barrages en Mm<sup>3</sup> et caractéristiques statistiques

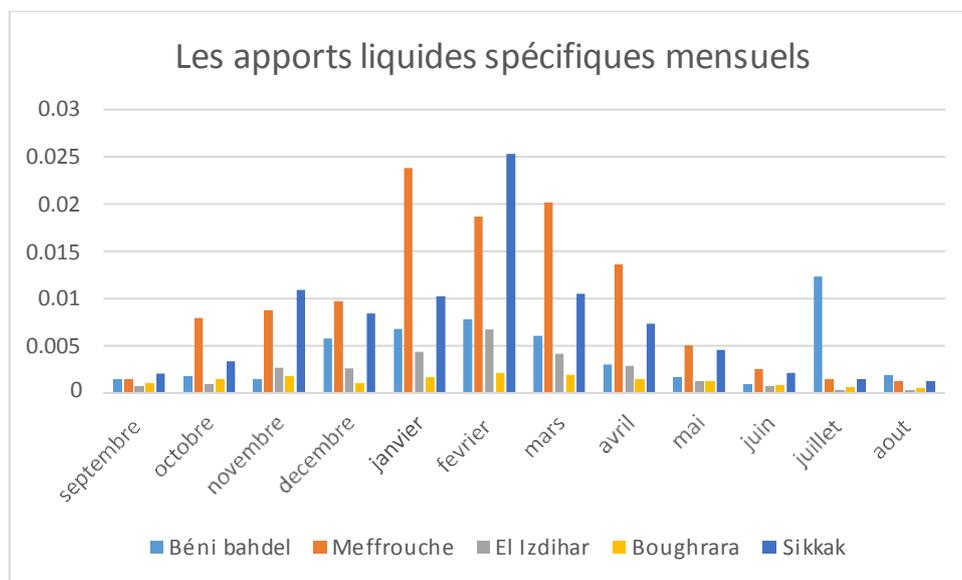
	Béni Bahdel	Meffrouche	El Izdihar	Hamam Boughrara	Sikkak	Somme
septembre	1,4	0,1	0,7	3,8	0,5	6,6
octobre	1,8	0,7	0,9	5,4	0,8	9,7
novembre	1,5	0,8	3,0	7,0	2,7	15,0
décembre	5,9	0,9	3,0	4,0	2,1	15,9
janvier	6,9	2,1	4,9	6,5	2,6	23,0
février	7,9	1,7	7,6	8,4	6,3	32,0
mars	6,1	1,8	4,7	7,6	2,6	23,0
avril	3,0	1,2	3,2	5,4	1,8	14,8
mai	1,7	0,4	1,4	5,0	1,2	9,8
juin	0,91	0,2	0,7	3,0	0,5	5,4
juillet	0,65	0,1	0,3	2,5	0,3	15,8
août	1,86	0,1	0,3	1,8	0,3	4,4
moyenne	4,3	0,9	2,6	5,0	1,8	
écart type	3,6	0,7	2,3	2,1	1,7	
Coef. de variation	0,83	0,82	0,88	0,42	0,93	
Coef. d'asymétrie	1,20	0,63	1,01	0,04	1,80	

Quant aux coefficients de variation, ils sont très élevés variant entre 0,83 à 0,90 indiquant une variabilité très importante d'un mois à un autre. De même, les coefficients

d'asymétrie indiquent une dissymétrie à gauche où la majorité de valeurs sont faibles devant quelques valeurs élevées des apports (tableau 9).

### - Les apports spécifiques :

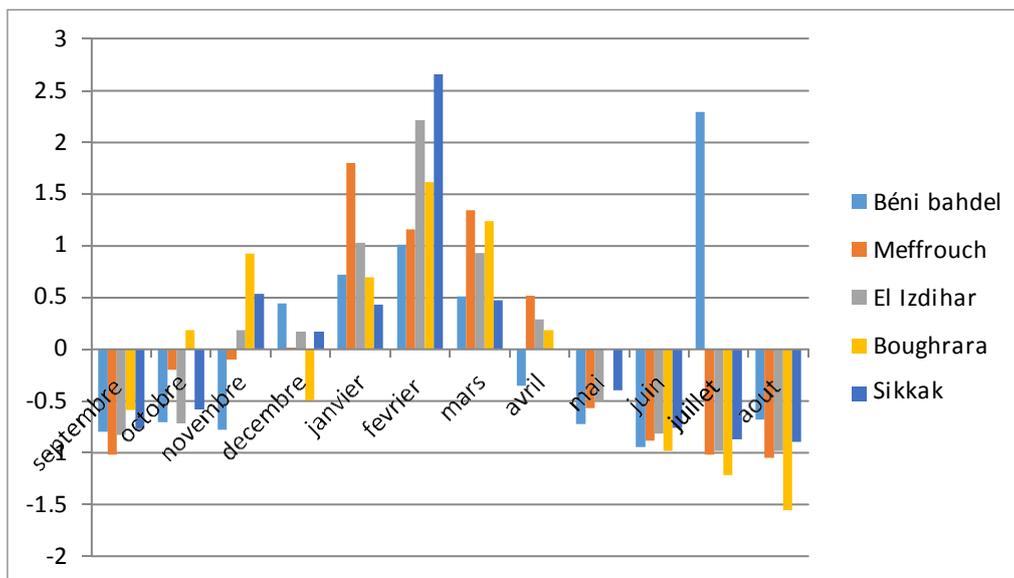
Pour examiner l'effet des surfaces des sous-bassins versants et déterminer la production d'un écoulement par unité de surface, on a calculé les apports spécifiques mensuels pour les 5 barrages (figure 30). Ainsi, on remarque que le barrage Meffrouche enregistre l'écoulement par unité de surface le plus élevé principalement durant les mois de janvier, février et mars. Par contre, les barrages El Izdihar et Hammam Boughrara produisent les écoulements spécifiques les plus faibles.



**Figure 30 :Variation des apports liquides spécifiques mensuels**

### - Indices centrés réduits :

Les indices centrés réduits mensuels (figure 31) indiquent que sur les 12 mois, 5 mois (septembre, octobre, mai, juin et aout) sont franchement déficitaires, 3 mois sont excédentaires(janvier, février et mars) alors que les 4 mois qui restent (novembre, décembre, avril et juillet)sont mixtes. On remarque aussi que les déficits ne sont pas aussi importants que les excédents.



**Figure 31:Indices centrés réduits des apports mensuels**

**- Variation des tendances temporelles :**

Le caractère global des apports mensuels est déficitaire. Les tendances de ceux-ci sont positives sauf celle du barrage de Hammam Bougherara qui est négative aux mois de septembre et octobre (tableau 10). Cette tendance à la hausse est due principalement aux mois excédentaires. Néanmoins, les coefficients de détermination sont faibles indiquant une irrégularité d'occurrence de ces apports mensuels.

**Tableau 10 :Tendances temporelles des apports mensuels aux barrages**

Barrage	Béni Bahdel			Meffrouche			EL Izdihar			H.Bougherara			Sikkak		
mois (2004-2016)	Direction	Indice d'équation	Coef de détermination	Direction	Indice d'éq	Coef de détermination	Direction	Indice d'équation	Coefficient de détermination	Direction	Indice d'équation de tendance	Coef de détermination	Direction	Indice eq	Coef de détermination
septembre	↗	0.00	0.00	↗	2 <sup>E</sup> -0.5	0.001	↗	-0.015	0.029	↘	-0.011	0.126	↗	0.00	0.002
octobre	↗	0.002	0.024	↗	0.00	0.263	↗	0.002	0.020	↘	-0.005	0.003	↗	0.002	0.128
novembre	↗	0.017	0.085	↗	0.008	0.215	↗	0.015	0.166	↗	0.029	0.055	↗	0.017	0.104
décembre	↗	4 <sup>E</sup> -0.5	5 <sup>E</sup> -0.7	↗	0.002	0.026	↗	0.004	0.014	↗	0.008	0.045	↗	0.008	0.176
Janvier	↗	0.006	0.003	↗	0.006	0.038	↗	0.014	0.054	↗	0.006	0.006	↗	0.011	0.223
février	↗	0.035	0.154	↗	0.011	0.247	↗	0.042	0.238	↗	0.037	0.117	↗	0.021	0.312
mars	↗	0.016	0.109	↗	0.007	0.305	↗	0.024	0.337	↗	0.034	0.149	↗	0.013	0.292
avril	↗	0.009	0.163	↗	0.004	0.106	↗	0.014	0.259	↗	0.021	0.299	↗	0.011	0.353
mai	↗	0.00	0.00	↗	0.001	0.308	↗	0.007	0.396	↗	0.020	0.268	↗	0.003	0.632
juin	↗	0.004	0.223	↗	0.00	0.2016	↗	0.002	0.385	↗	0.017	0.525	↗	0.003	0.658
juillet	↗	0.003	0.164	↗	4 <sup>E</sup> -0.5	0.003	↗	0.022	0.129	↗	0.004	0.065	↗	0.002	0.602
aout	↗	0.003	0.532	↗	0.00	0.108	↗	0.002	0.256	↗	0.006	0.323	↗	0.002	0.648

## V – Variabilité et tendance temporelle à l'échelle journalière :

### V.1- Les apports journaliers :

La variation des apports journaliers aux 5 barrages durant l'année 2004-16 (figure 32) est plutôt désordonnée. Le barrage Boughraraa enregistré un apport journalier maximal il est de 29.05 Mm<sup>3</sup> au mois de novembre 2012. Il est plus que 137 fois la moyenne journalière (0,212 Hm<sup>3</sup>). Vient ensuite le barrage Béni Bahdel qui a enregistré un apport maximal de 14.97 Mm<sup>3</sup> au mois de Novembre 2012. Cet apport est plus que 134 fois la moyenne journalière de 0,111 Mm<sup>3</sup>. D'autre part le barrage Izdihar à sidi Abdelli a enregistré un apport journalier maximal de 8.4 Mm<sup>3</sup> au mois de novembre 2011. Il est plus que 80 fois la moyenne (0,105 Hm<sup>3</sup>). Ainsi, le barrage Sikkak a enregistré un apport maximal de 6.27 Mm<sup>3</sup> au mois de novembre 2012. Il est plus que 90 fois la moyenne de 0,066 Mm<sup>3</sup> et Enfin le barrage Meffrouche qui a enregistré un apport maximal 5.184 Mm<sup>3</sup> au mois de janvier 2012. Il représente 144 fois l'apport moyen (0,036 Mm<sup>3</sup>), une dizaine des valeurs minimaux sont nul dans tous les barrages.

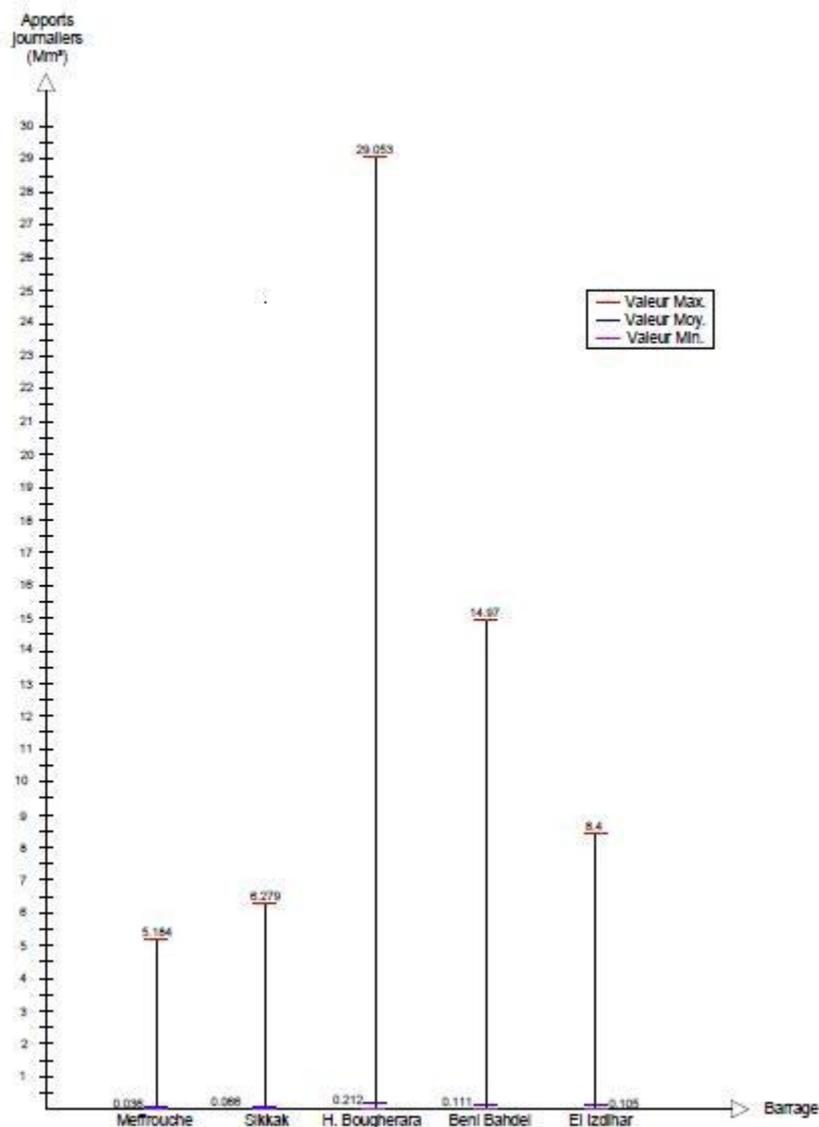


Figure 32 : Variation des apports journaliers pour les différents barrages

La figure 33 représente Les apports liquides Journaliers entrant aux barrages en fonction des jours. Le barrage de Hammam Bougherara a enregistré un apport entrant maximal est de 29.05 Mm<sup>3</sup> suivie par le barrage de Béni Bahdel d'une valeur maximale de 14.9 Mm<sup>3</sup>, les deux sont enregistré au mois de novembre 2012, d'autre part le barrage de Izdihar a enregistré des apports un peu élevé atteindre le 8.4 Mm<sup>3</sup>, les autres apports sont faible est dispersé dans les 12 années.

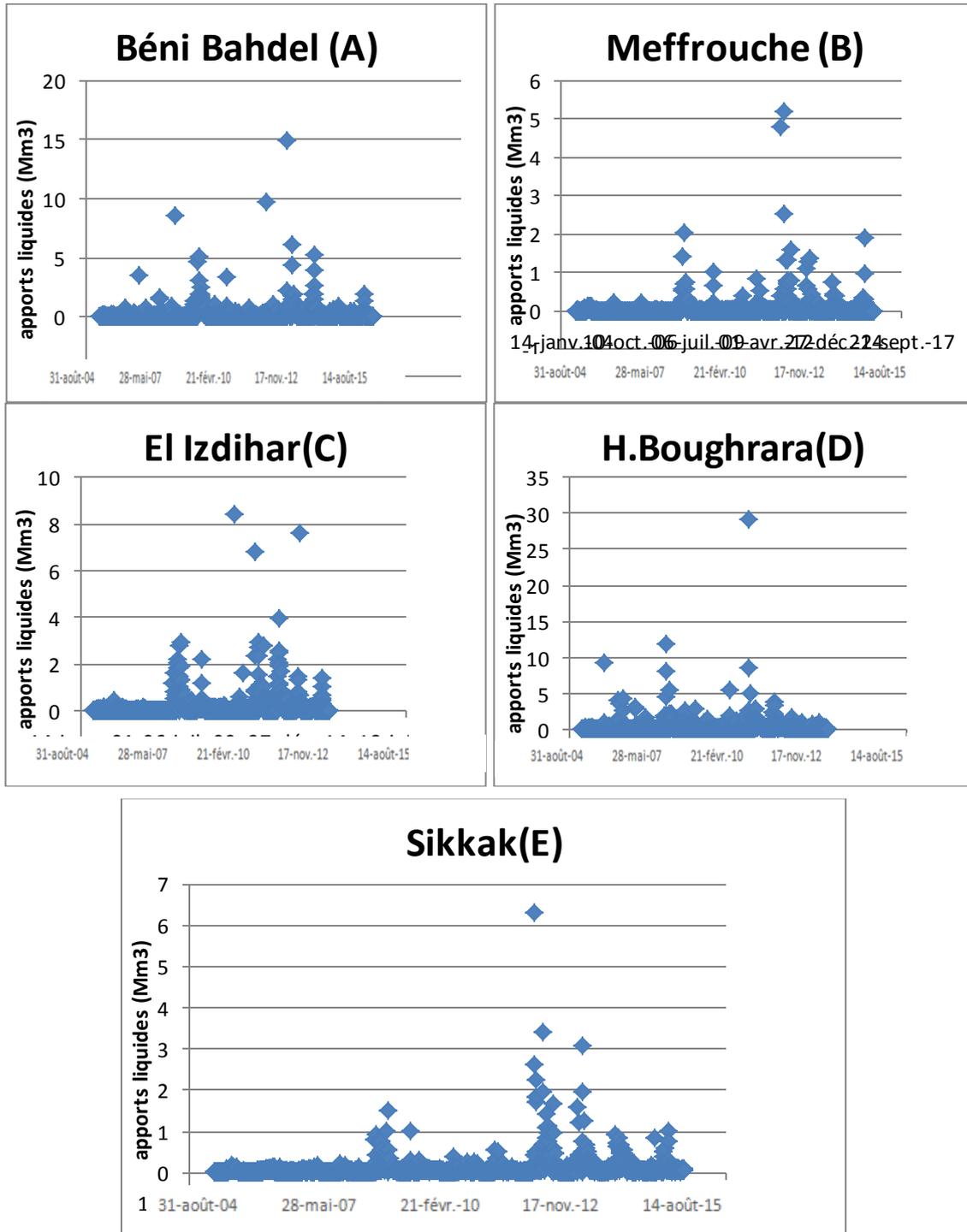


Figure 33: Apports journaliers pour différents barrages

## VI- Valeurs extrêmes :

Le tableau 11 ci-dessous illustre les apports annuels de tous les barrages (H.Boughrara, El Izdihar, Sikkak, Meffrouche et Béni Bahdel) par rapport à douze années (2004-2016) qualifiées de valeurs extrêmes qui sont des valeurs rares et très rares (tableau 11).

- Valeur rares : ce sont des valeurs qui existent dans l'intervalle [95<sup>ème</sup> centile et 99<sup>ème</sup> centile]
- Valeur très rares : ce sont des valeurs qui sont supérieures ou égales à la valeur du 99<sup>ème</sup> centile.

La théorie des valeurs extrêmes est appliquée en hydrologie pour prévoir les crues et pour faire une comparaison d'une série des apports entrant au barrage.

**Tableau 11 : Valeurs rares et très rares (extrêmes)**

Les barrages	95 <sup>ème</sup> Centile		99 <sup>ème</sup> Centile	
	Nombre des valeurs	Fourchette de valeurs (Mm <sup>3</sup> )	Nombre des valeurs	Fourchette de valeurs (Mm <sup>3</sup> )
<b>Beni bahdel</b>	144	[0,517-1,224[	39	[1,270-14,97 [
<b>Meffrouche</b>	100	[0,159-0,672[	22	[0,674 -5,226[
<b>El izdihar</b>	139	[0,379-1,19 [	35	[1,246-8,4[
<b>H Boughrara</b>	181	[0,631-1,430[	41	[1,707-29,053[
<b>Sikkak</b>	142	[0,206-0,729[	33	[0,733-6,279[

Au niveau du barrage Béni Bahdel, on a enregistré durant la période d'étude 144 valeurs rares. Leurs apports journaliers oscillent entre 0,517 et 1,224 Mm<sup>3</sup>. La moyenne journalière est de 0,116 Mm<sup>3</sup>. L'apport global des valeurs extrêmes est de 155,397 Mm<sup>3</sup> soit en moyenne 1,079 Mm<sup>3</sup> /jours. Cette valeur est 9,3 fois supérieure que la valeur moyenne journalière. Au barrage Meffrouche, les valeurs extrêmes totalisent un apport de 26,189 Mm<sup>3</sup> durant 153 jours soit en moyenne 3,721 Mm<sup>3</sup>/jour ce qui représente 3,7 fois la moyenne quotidienne globale qui est de 0,046 Mm<sup>3</sup>. A El Izdihar où la moyenne journalière est de 0,103 Mm<sup>3</sup>, les valeurs extrêmes totalisent un apport de 82,465 Mm<sup>3</sup> alors qu'à Hammam Boughrara, elles valent 174,03 Mm<sup>3</sup> et 49,821 Mm<sup>3</sup> à Sikkak.

Les valeurs rares et très rares ont été enregistrées principalement durant l'année 2012-13 et à un degré moindre en 2008-09.

## VII . Conclusion

L'étude des apports en eau entrant aux barrages de la Tafna durant la période 2004-05 à 2015-16 montre que le remplissage de ces ouvrages est plutôt désordonné dans le temps. Malgré une tendance à la hausse, les apports en général sont en deçà des capacités de stockage des barrages. L'année 2012-13 a été une année exceptionnelle pour l'ensemble des ouvrages.



*CHAPITRE III*  
*Relations entre les précipitations*  
*et les apports liquides*

## I – Introduction :

Les précipitations représentent le paramètre climatique le plus déterminant d'une région. C'est aussi le paramètre le plus fluctuant dans le temps et le plus variable dans l'espace. Les apports liquides aux barrages dépendent fortement des précipitations. C'est pour cette raison que l'étude de sa variabilité et de sa relation avec les apports aux barrages est importante pour comprendre l'évolution temporelle de ces derniers. Les données des précipitations utilisées sont mesurées au niveau des barrages eux même. Elles sont données au pas journalier entre 2004-05 et 2015-16.

## II - Variation temporelle des précipitations :

### II.1- Précipitations annuelles :

La variation des précipitations aux 5 barrages durant la période allant de 2004-05 à 2015-16 (figure 34 et tableau2) est fluctuante d'une année à une autre. L'année 2007-08 a été l'année où la précipitation est la plus faible avec 167,3 mm et 157,7mm seulement au niveau des barrages Sikkak et Hammam Boughrara. Par contre l'année 2012-13 a été l'année la plus excédentaire avec 1144,9 mm à Béni Bahdel, suivie de l'année 2008-09 avec une Précipitation de 871, 1 mm au barrage Meffrouche. Durant ces 2 années, les barrages de Béni Bahdel et Meffrouche ont enregistré un remplissage conséquent suite à des précipitations élevées.

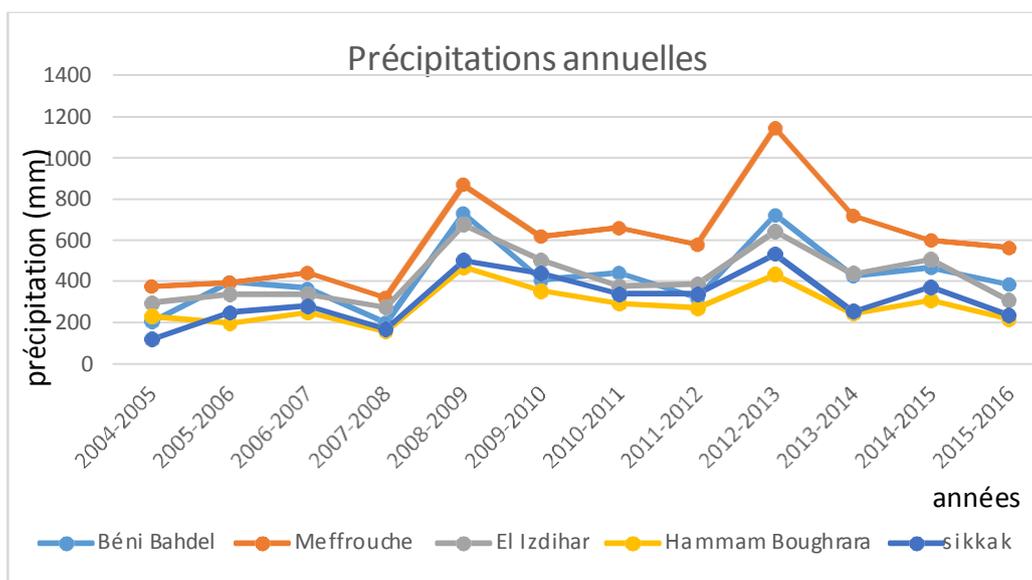


Figure 34 : Variation annuelle des précipitations au niveau des barrages étudiés

**Tableau 12 : Hauteurs des précipitations annuelles en mm aux différents barrages et caractéristiques statistiques**

<b>Années et caractéristiques statistiques</b>	<b>Béni Bahdel</b>	<b>Meffrouche</b>	<b>El Izdihar</b>	<b>H.Bouhrara</b>	<b>Sikkak</b>
<b>2004-2005</b>	206,1	376,7	295,1	228,6	119,3
<b>2005-2006</b>	398,0	396,5	337,2	197,1	249,3
<b>2006-2007</b>	367,0	444,0	337,6	248,5	279,0
<b>2007-2008</b>	200,2	322,9	275,7	157,7	167,3
<b>2008-2009</b>	731,8	871,1	675,3	468,3	501,8
<b>2009-2010</b>	406,7	619,1	503,1	354,6	438,6
<b>2010-2011</b>	442,4	661,3	375,5	292,6	338,0
<b>2011-2012</b>	320,1	580,9	385,5	270,8	338,8
<b>2012-2013</b>	723,4	1144,9	642,7	433,6	532,0
<b>2013-2014</b>	427,3	719,5	436,9	244	253,8
<b>2014-2015</b>	467,6	600,0	507,9	308,7	372,2
<b>2015-2016</b>	386,9	564,4	306,9	217,3	236,0
<b>Moyenne</b>	423,1	608,4	423,3	285,1	318,8
<b>Ecart type</b>	165,3	230,0	133,3	93,4	126,9
<b>Coefficient de variation</b>	2,6	2,6	3,2	3,0	2,5
<b>Coefficient d'asymétrie</b>	0,82	1,11	0,89	0,85	0,27

Les conditions climatiques notamment la pluviosité sont importantes et indiquent des changements significatifs des eaux entrant aux barrages. Leur variabilité est susceptible d'impacter sur la disponibilité des eaux entrant dans les barrages. Quant aux coefficients de variation, ils sont très élevés variant entre 2,5 à 3,05 indiquant une variabilité très importante d'une année à une autre. De même, les coefficients d'asymétrie indiquent une dissymétrie à gauche où la majorité de valeurs sont faibles (tableau 12).

## **II.2- Précipitation saisonnières :**

Les précipitations saisonnières aux 5 barrages durant la période allant de 2004-05 à 2015-16 (figure 35 et tableau 13) sont fluctuantes d'une saison à une autre. La saison d'hiver a été la saison où la précipitation dans les barrages Meffrouche, El Izdihar et Sikkak est la plus forte avec 218,3 mm, 174,4 mm et 117,3 mm. Respectivement suivie de l'automne pour Meffrouche (195,5mm), Béni Bahdel (149,1 mm), El Izdihar (128,9 mm). Au printemps, On a enregistré pour Meffrouche la valeur maximale avec 172,3 mm. En été, elle n'est que de 15,6 mm. Le barrage Béni Bahdel et Hammam Bouhrara ont enregistré une précipitation élevée durant la saison d'automne avec une hauteur de 149,1 mm et 114,2 mm.

Individuellement et en terme de précipitations, on remarque que le barrage Hammam Bouhrara a enregistré les précipitations saisonnières les plus faibles suivi par le barrage Sikkak puis Béni Bahdel et enfin El Izdihar.

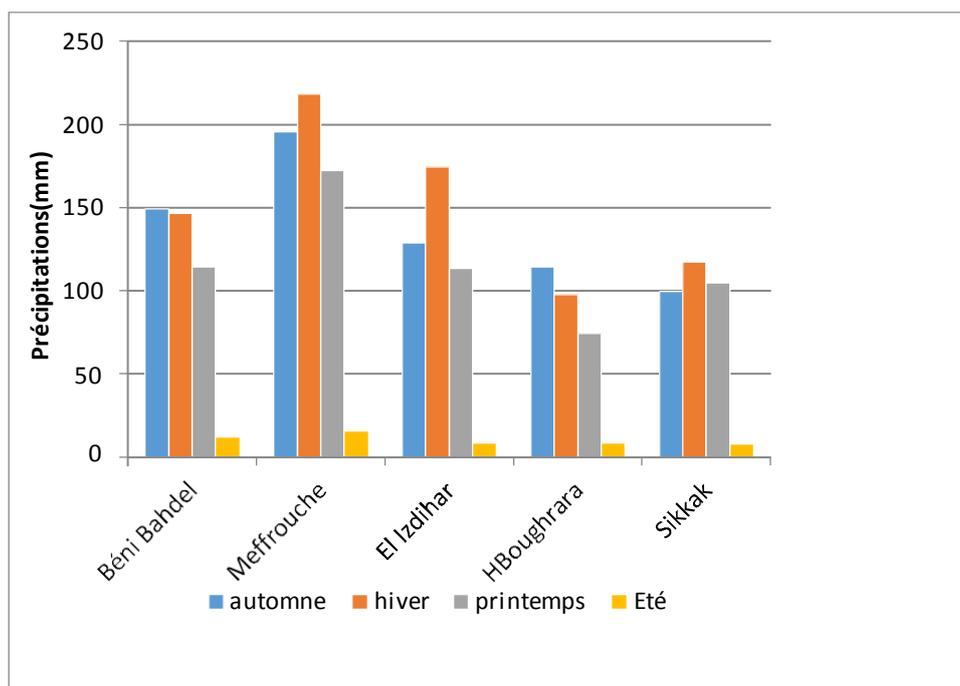


Figure 35 : Variation saisonnière des précipitations au niveau des barrages étudiés

Tableau 12 : Hauteurs des précipitations saisonnières aux différents barrages en mm et caractéristiques statistiques

	Béni Bahdel	Meffrouche	El Izdihar	H.Boughrara	Sikkak
<b>Automne</b>	149,1	195,5	128,9	114,2	99,8
<b>Hiver</b>	146,6	218,3	174,4	97,7	117,3
<b>Printemps</b>	114,2	172,3	113,4	74,3	104,7
<b>Eté</b>	11,8	15,7	8,4	8,3	7,5
<b>Moyenne</b>	105,4	150,5	106,3	73,6	82,3
<b>Ecart-type</b>	64,4	91,8	70,2	46,5	50,4
<b>Coef de variation</b>	0,61	0,61	0,66	0,63	0,61
<b>Coef d'asymétrie</b>	-1,66	-1,75	-1,17	-1,31	-1,87

Les coefficients de variation des hauteurs saisonnières des précipitations sont relativement élevés variant entre 0,61 et 0,66 indiquant une variabilité importante d'une saison à une autre. De même, les coefficients d'asymétrie indiquent une dissymétrie à gauche où la majorité de valeurs sont faibles devant quelques valeurs élevées des précipitations (tableau 13).

### II.3- Précipitation mensuelles :

La variation des précipitations mensuels aux 5 barrages durant l'année moyenne (figure 36 et tableau 14) est plutôt désordonnée. Globalement les mois de janvier, février et mars sont les plus humides de l'année moyenne. Les mois de septembre, juin, juillet et août sont les mois où la précipitation est la plus faible avec une hauteur qui ne dépasse pas 162 mm. Par contre, les mois de novembre, décembre, janvier, février, mars et avril sont les mois les plus excédentaires.

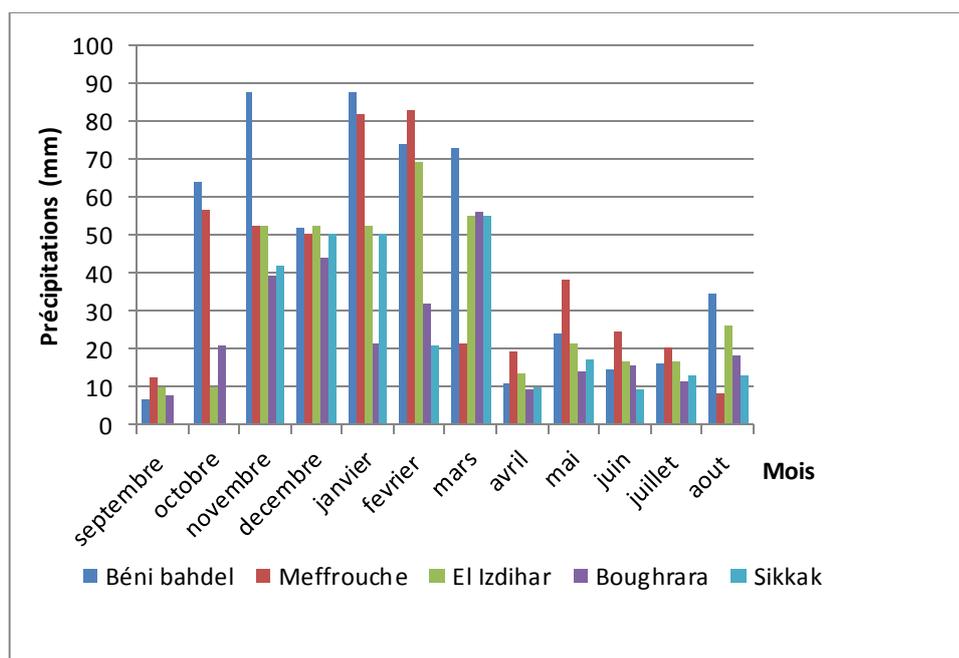


Figure 36 : Variation mensuelle des précipitations au niveau des barrages étudiés

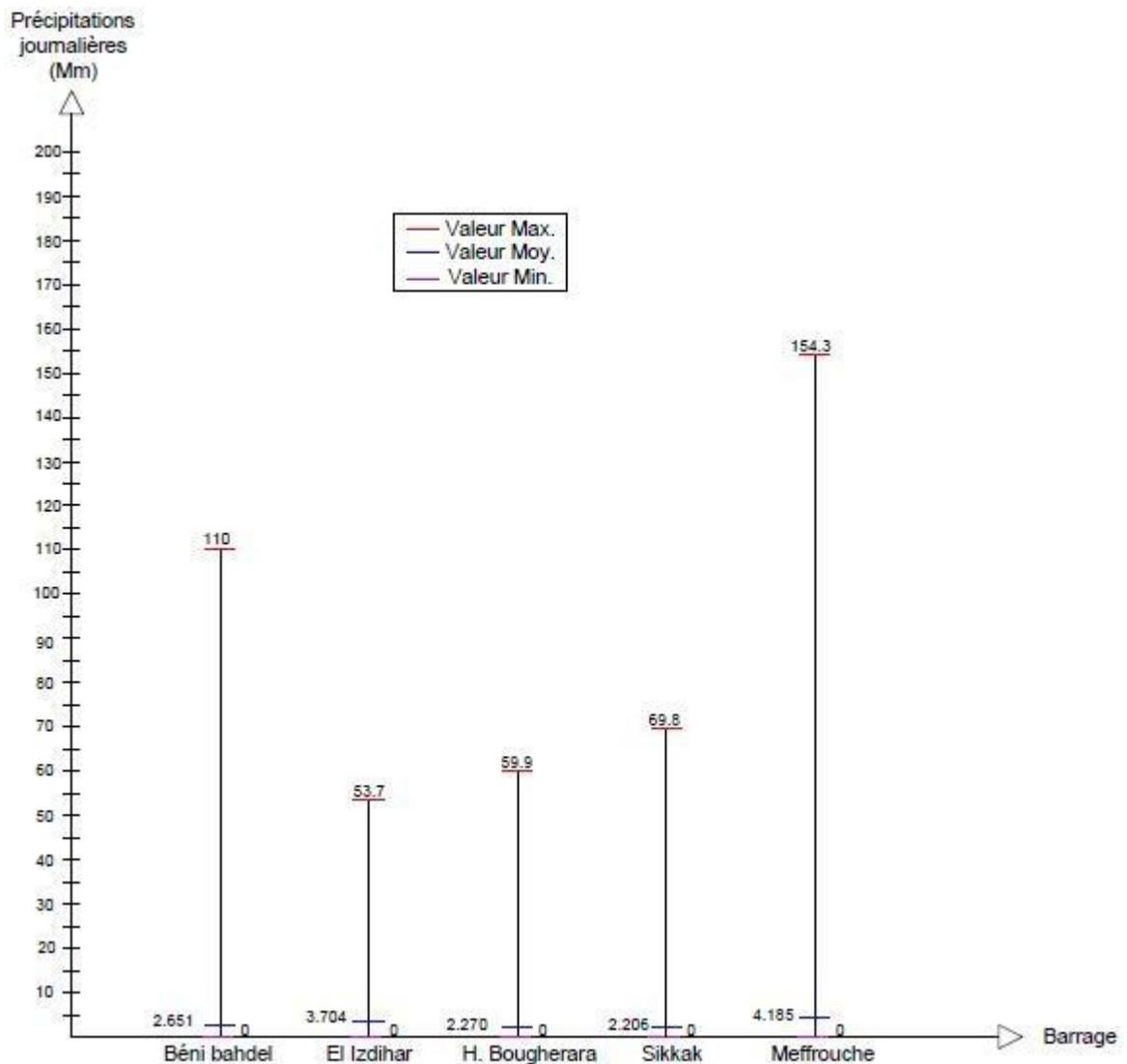
Tableau 14 : Hauteurs des précipitations mensuelles aux différents barrages en mm et caractéristiques statistiques

	Béni bahdel	Meffrouche	El Izdihar	H.Boughrara	Sikkak
septembre	7,001	12,49	9,819	7,588	0
octobre	64,29	56,916	9,831	20,917	0
novembre	87,668	52,453	52,429	39,51	42,08
decembre	52,188	50,276	52,423	44,245	50,59
janvier	87,668	81,991	52,429	21,467	50,59
fevrier	74,334	83,02	69,613	32,085	21,2
mars	73,129	21,721	55,1	56,287	55,176
avril	11,166	19,252	13,685	9,403	9,891
mai	23,977	38,218	21,354	14,32	17,565
juin	14,597	24,858	16,993	15,569	9,632
juillet	16,312	20,537	16,735	11,281	13,185
aout	34,6645	8,242	26,118	18,124	12,8533
moyenne	45,582875	39,1645	33,0440833	24,233	23,563525
ecart type	31,03858533	25,74993074	21,557786	15,42435465	20,35718575
coefficient de variance	0,680926452	0,657481412	0,65239474	0,636502069	0,863927861
coefficient d'assymetrie	0,131942683	0,645743817	0,42231154	0,982280809	0,561470574

Quant aux coefficients de variation, ils sont très élevés variant entre 0,6 à 0,7 indiquant une variabilité très importante d'un mois à un autre. De même, les coefficients d'asymétrie indiquent une dissymétrie à gauche où la majorité de valeurs sont faibles devant quelques valeurs élevées des précipitations (tableau 14).

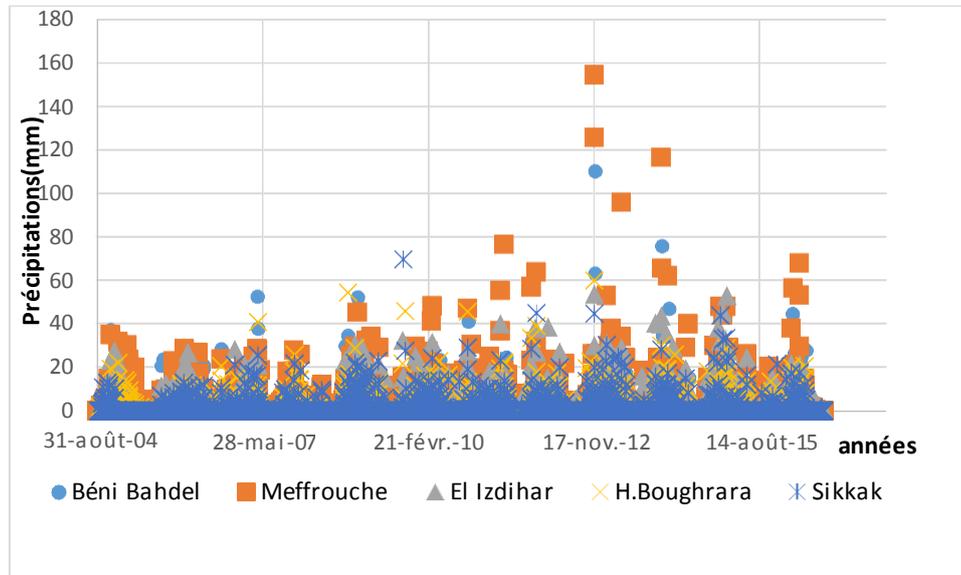
**- Précipitation journalières :**

La variation des précipitations journalières aux 5 barrages durant l'année 2004-16 (figure 37) est plutôt désordonnée. Le barrage Meffrouche a enregistré une précipitation journalière maximale (un événement) de 154,3 mm au mois de novembre 2012. Elle est plus que 36 fois la moyenne journalière (4,2 mm). Le barrage Sikkak qui a enregistré sa précipitation maximale de 69,8 mm au mois de septembre 2009. Elle est plus que 31 fois la moyenne journalière (2,2 mm). Quant au barrage El Izdihar, la précipitation journalière maximale vaut 53,7 mm. Elle a été enregistrée au mois de novembre 2012. Elle représente plus que 14,5 fois la moyenne journalière qui est de 3,7 mm.



**Figure 37 : Variation des précipitations journalières pour différents barrages**

La figure 38 représente les précipitations journalières dans les barrages en fonction des années. Le barrage Meffrouche a enregistré une précipitation maximale de 154,3 mm, suivi par barrage Béni Bahdel avec une précipitation maximale de 110 mm puis Sikkak et H.Boughrara et ElIzdihar avec des valeurs de 69,8 ; 59,9 et 53.7 mm respectivement.



**Figure 38 : Précipitations journalières pour les différents barrages**

### III- Relations entre précipitations et apports liquides entrant aux barrages :

La variation temporelle des précipitations montre une forte fluctuation de la pluviométrie d'une année à l'autre. Cette variation nous interpelle à chercher la relation entre les précipitations et les apports liquides dans chaque barrage.

Au cours des dernières décennies, le climat en Algérie s'est distingué par des alternances de périodes sèches et de périodes pluvieuses. Une diminution des pluies de 20 à 30% est observée selon les régions. Cette baisse des pluies est également observée dans de nombreuses autres régions. Ces variations de la pluviosité peuvent avoir une influence sur le taux de remplissage dans les barrages. Les dernières périodes ont été particulièrement sèches.

**Tableau 15 : Surfaces d'influence des barrages étudiés et valeurs des apports liquides sur la période de 12 années d'étude**

<b>Barrage</b>	<b>Surface (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Précipitations moyenne interannuelle (mm)</b>	<b>Apports liquides moyens interannuels (mm)</b>
<b>Béni bahdel</b>	1016	423,1	37,9
<b>Meffrouche</b>	90	608,4	114,2
<b>El Izdihar</b>	1137	400,3	26,05
<b>H.Boughrara</b>	4000	285,1	15,13
<b>Sikkak</b>	251	318,8	87,18

Dans le tableau 15, les valeurs des apports liquides en mm mesurées dans les différents barrages au cours de la période d'étude sont présentées. Le taux moyen des apports et la moyenne interannuelle des précipitations sont calculés pour les mêmes périodes.

L'étude des moyennes interannuelles des précipitations montre une de ces valeurs au cours des périodes récentes pour l'ensemble des stations pluviométriques étudiées, stations situées à côté des barrages étudiés.

Afin de mieux appréhender l'évolution des apports liquides et leur liaison avec les précipitations mettant en liaison le taux moyen des apports en fonction de la pluviométrie moyenne pour des périodes correspondantes sont tracés. Il ressort de cette analyse l'existence d'une certaine liaison entre les deux paramètres. En effet, il est constaté que le taux des apports augmente en fonction de l'accroissement de la pluviométrie.

### **III.1 – Relations entre les précipitations et les apports liquides à l'échelle annuelle :**

#### **III.1.1- Barrage Béni Bahdel :**

L'année 2004-05 a été l'année la plus déficitaire avec un apport de 9,25 mm seulement à cause d'une faible pluviométrie est de 206 mm. Par contre, l'année 2008-09 a été l'année la plus excédentaire avec un apport de 118 mm suivie par l'année 2012-13 avec un apport de 73 mm. Au cours de ces années, la pluviométrie a été respectivement de 731mm et 723mm. La figure N° 39 montre un ajustement proportionné entre les précipitations et les apports liquides.

Pour L'année 2006-07, on remarque une diminution des précipitations avec une augmentation des apports liquides. Ceci est peut-être dû à l'existence d'un réservoir souterrain plein. Donc il n'y a pas d'infiltration au niveau du sol. Pour l'année 2010-11, c'est le contraire. Une augmentation des précipitations avec une diminution des apports liquides. On estime qu'il y a eu une forte infiltration dans le sol.

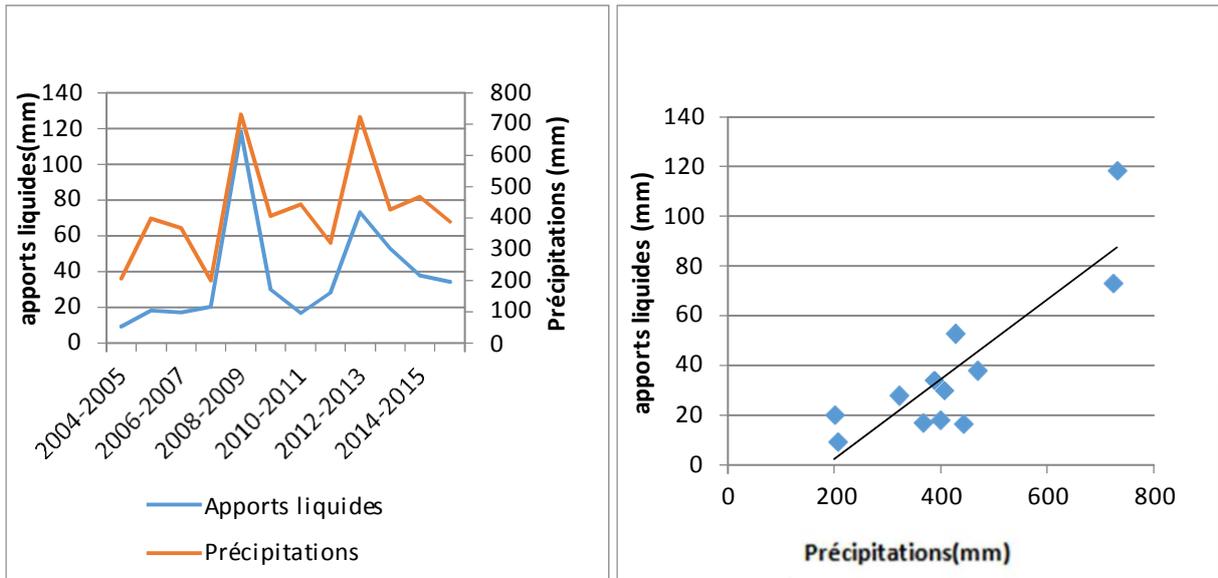


Figure 39 : Evolution du taux des apports en eau et des précipitations dans le barrage Béni Bahdel

### III.1.2 –Barrage Meffrouche :

L'année 2007-08 a été l'année la plus déficitaire avec un apport de 10 mm seulement à cause d'une faible pluviométrie est de 322 mm. Par contre l'année 2012-13 a été l'année la plus excédentaire avec un apport de 385 mm suivie par l'année 2013-14 avec un apport de 256 mm. La pluviométrie correspondante était respectivement de 1144 mm et 719 mm. La figure 40 montre la régression obtenue entre les deux paramètres.

Pour L'année 2011-12 on remarque une diminution des précipitations avec une augmentation des apports en eau. Peut-être que les eaux souterraines ont participé au remplissage du barrage.

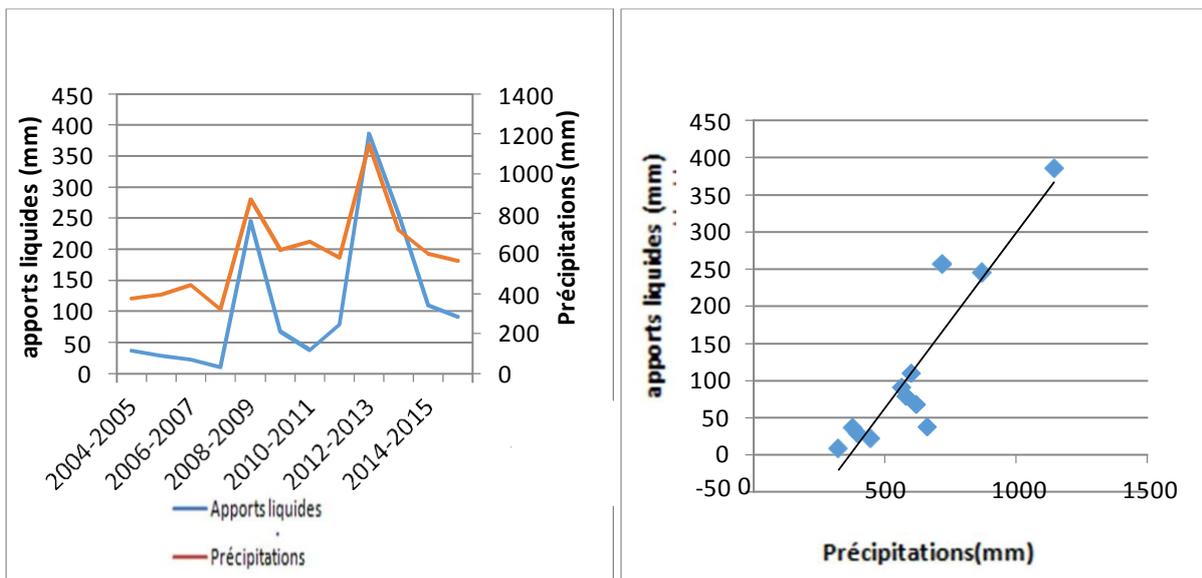


Figure 40 : Evolution du taux des apports- précipitations annuelles dans le barrage Meffrouche

### III. 1.3- Barrage El Izdihar :

L'année 2007-08 a été l'année la plus sèche (déficitaire) avec un apport nul à cause du manque de pluie. Par contre l'année 2008-09 a été l'année la plus excédentaire avec un apport de 72 mm suivie par l'année 2012-13 et 2013-14 avec un apport de 60 mm et 59 mm à cause d'une très forte pluviométrie suivie respectivement de 675 mm, 642 mm et 436mm La figure 41 montre un ajustement Proportionné entre la précipitation et les apports liquides.

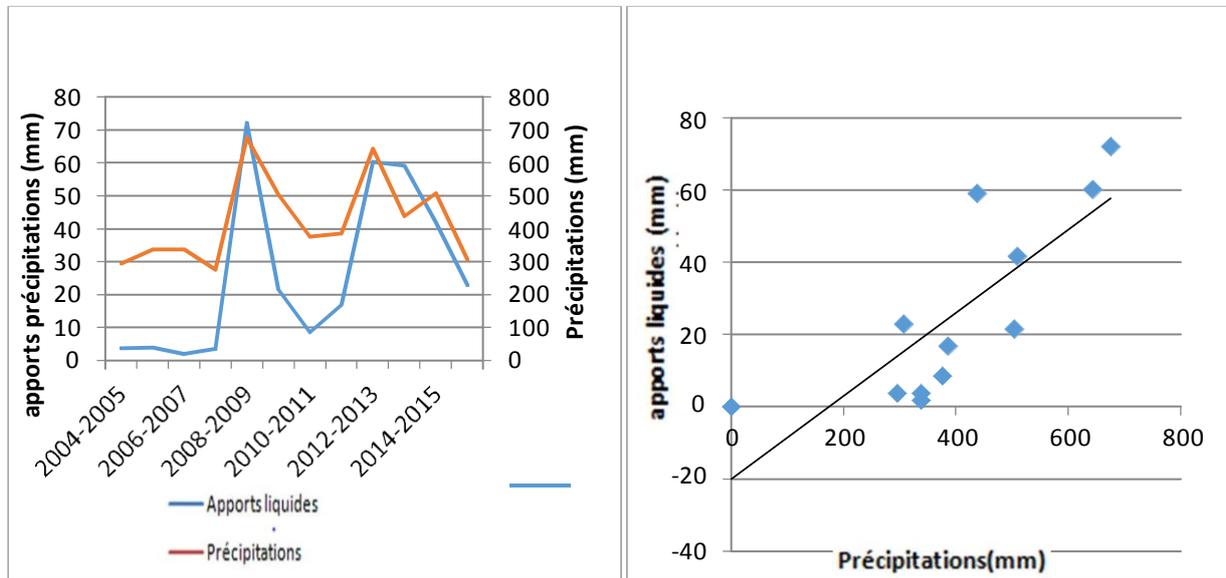


Figure 41 : Evolution du taux des apports-précipitations dans le barrage Izdihar

### III.1.4-Barrage Boughrara :

L'année 2010-11 a été l'année la plus déficitaire avec un apport presque nul de 0,8 mm. Par contre l'année 2012-13 a été l'année la plus excédentaire avec un apport 43,9 mm suivie par l'année 2008-09 avec un apport de 36.2 mm à cause d'une pluviométrie suivie respectivement de 433,6 mm et 468 mm. La figure 42 montre un ajustement Proportionné entre la précipitation et les apports liquides.

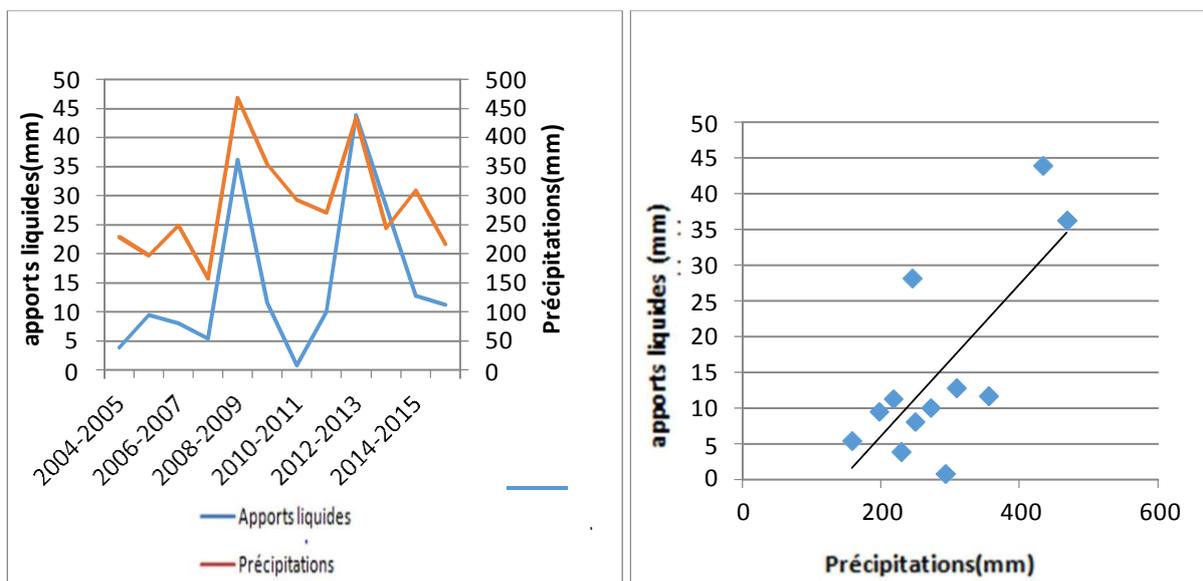
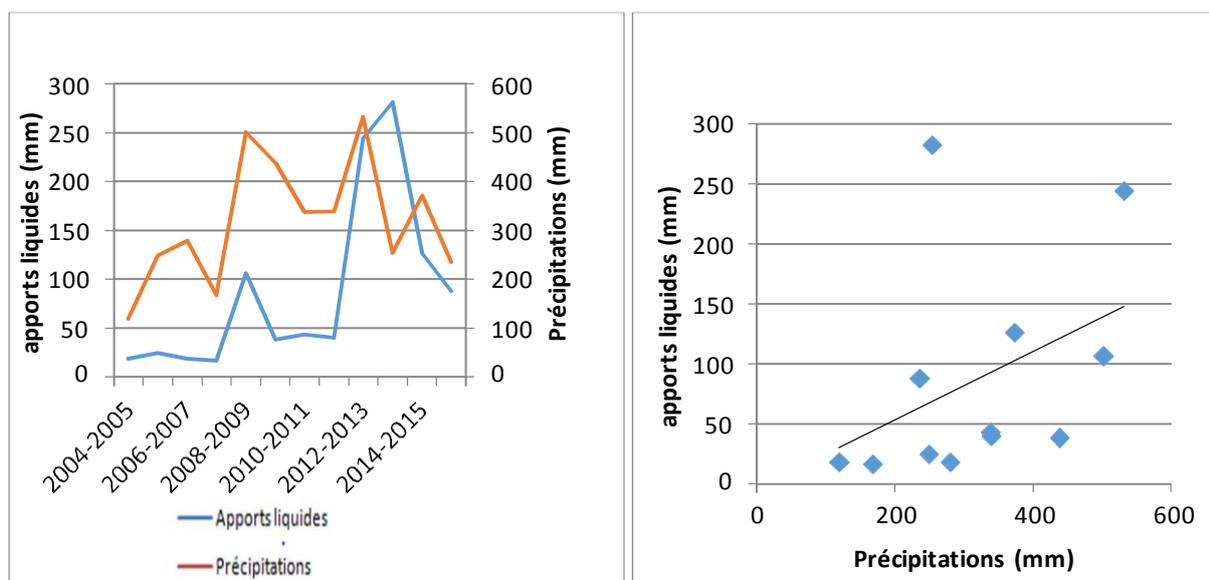


Figure 42 : Evolution du taux des apports-précipitations dans le barrage H.Boughrara

### III.1.5 – Barrage Sikkak :

L'année 2004-05 a été l'année la plus déficitaire avec un apport faible de 18,32 mm. Par contre l'année 2013-14 a été l'année la plus excédentaire avec un apport 281,6 mm suivie par l'année 2012-13 avec un apport de 244,2 mm à cause d'une pluviométrie suivie respectivement de 253 mm et 532 mm. La figure 43 montre un ajustement Proportionné entre la précipitation et les apports liquides.



**Figure 43: Evolution du taux des apports-précipitations dans le barrage Sikkak**

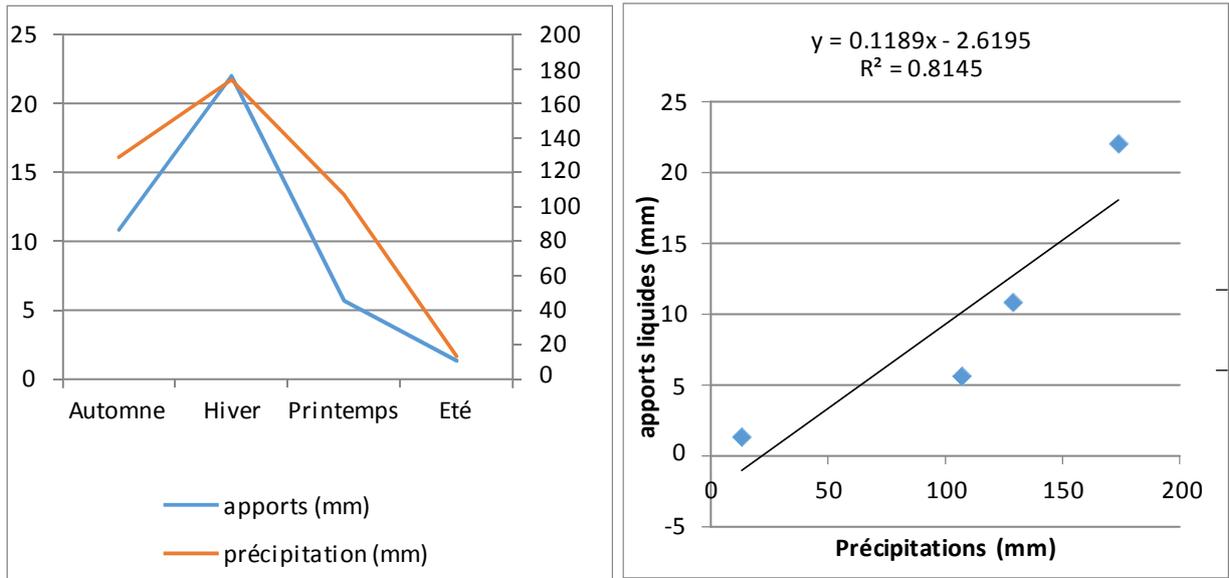
Les caractéristiques des différentes régressions entre les précipitations et les apports liquides sont présentées au tableau 16.

**Tableau 16 : Différents coefficients pour chaque barrage**

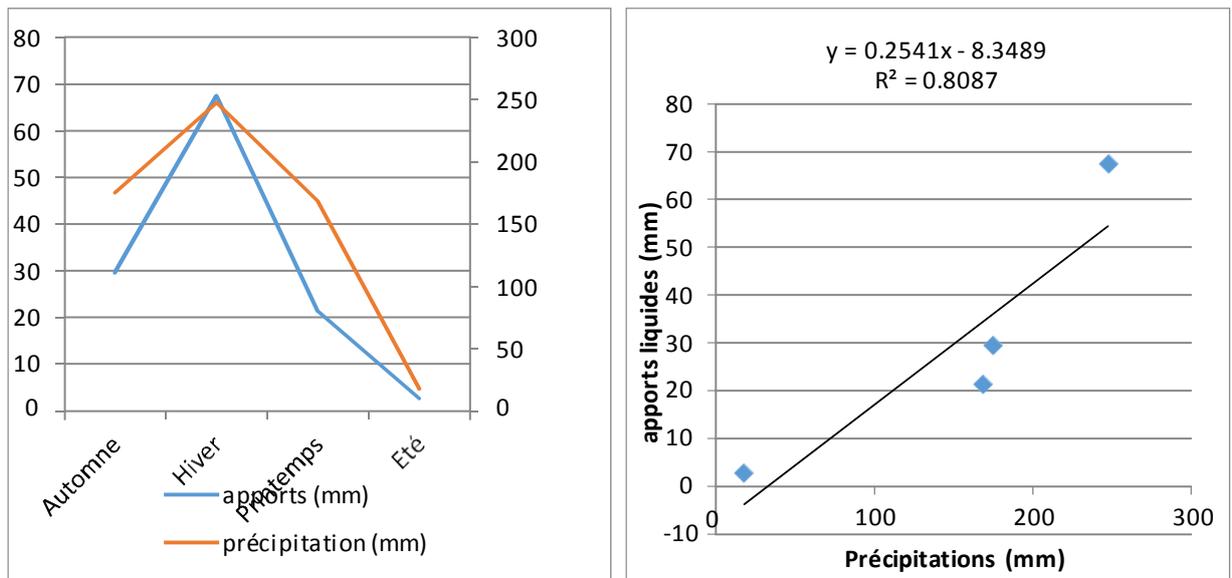
Barrages	Coef de corrélation	Coef de détermination	Droite de régression
Béni Bahdel	0,85	0,733	0,160
Meffrouche	0,91	0,841	0,47
EL Izdihar	0,79	0,63	0,115
H.Bougherara	0,73	0,535	0,105
Sikkak	0,39	0,159	0,283

#### **: Relations entre les précipitations et les apports liquides à l'échelle saisonnière :**

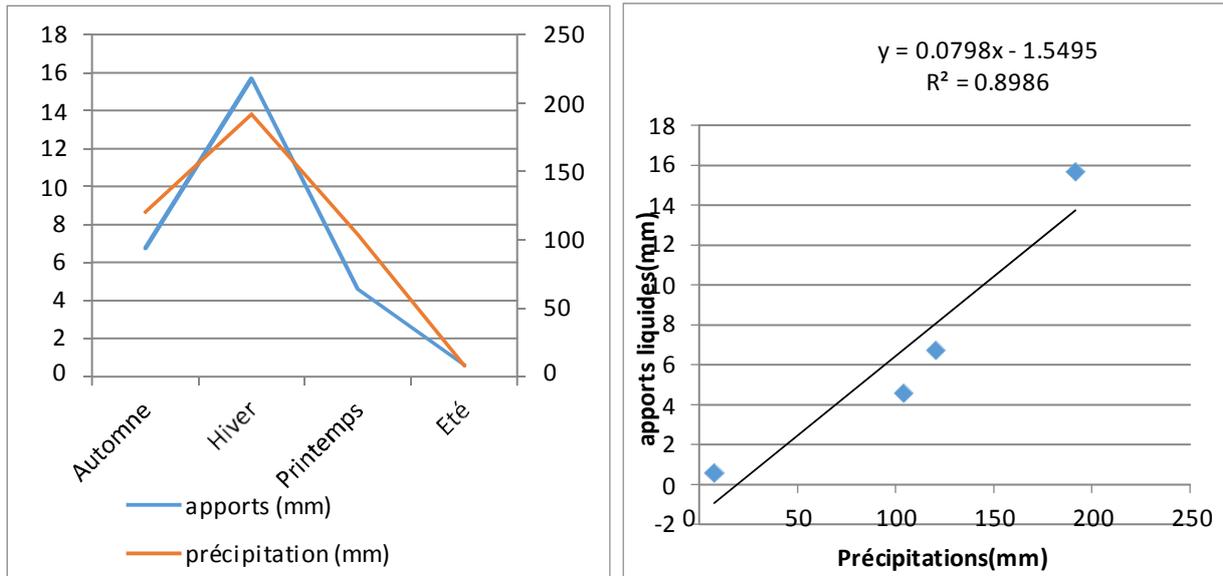
L'hiver est la saison où les apports liquides entrant aux barrages sont maximaux dans tous les barrages à cause de la pluie intense dans cette saison. Après cette période, on remarque une forte diminution des apports entrant aux barrages (figures 44, 45, 46, 47 et 48).



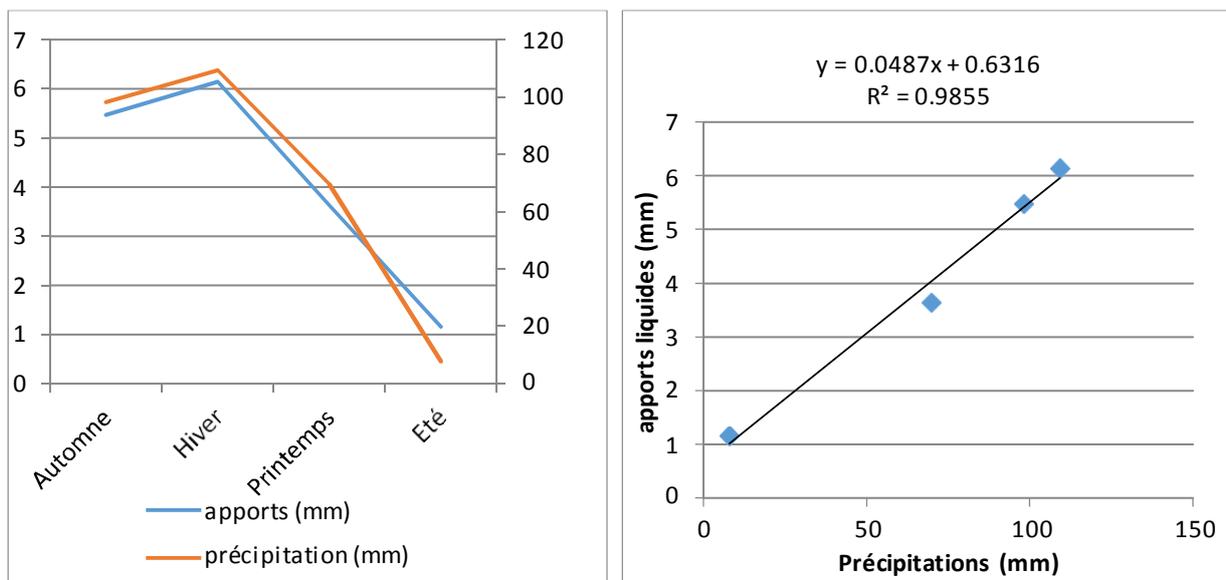
**Figure 44 : Evolution saisonnière des apports-précipitations dans le barrage Béni Bahdel**



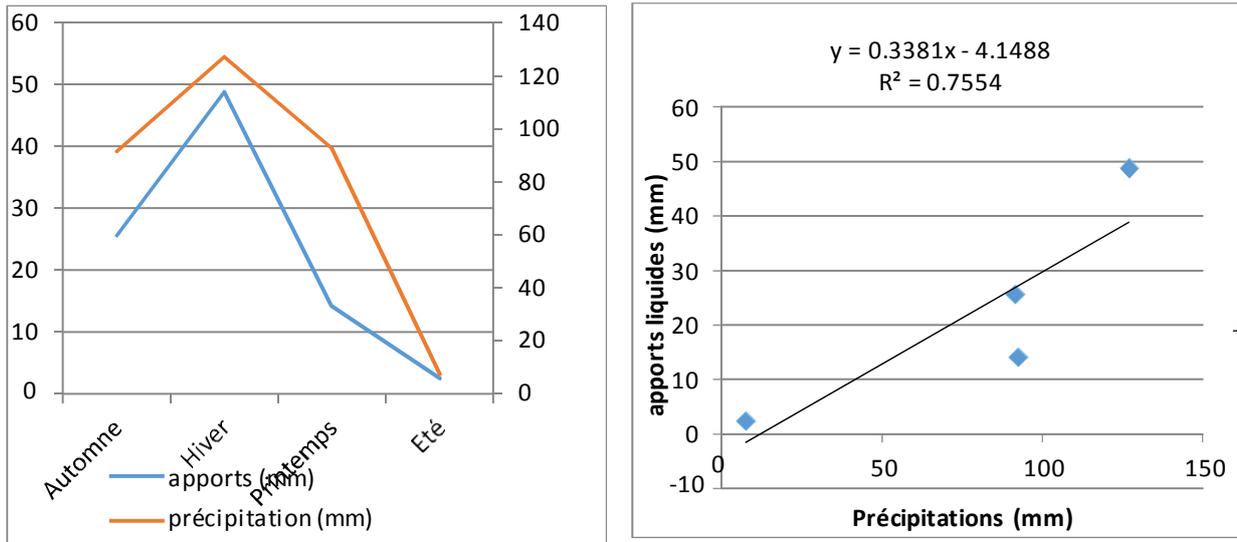
**Figure 45 : Evolution saisonnière des apports-précipitations dans le barrage Meffrouche**



**Figure 46 : Evolution saisonnière des apports-précipitations dans le barrage El Izdihar**



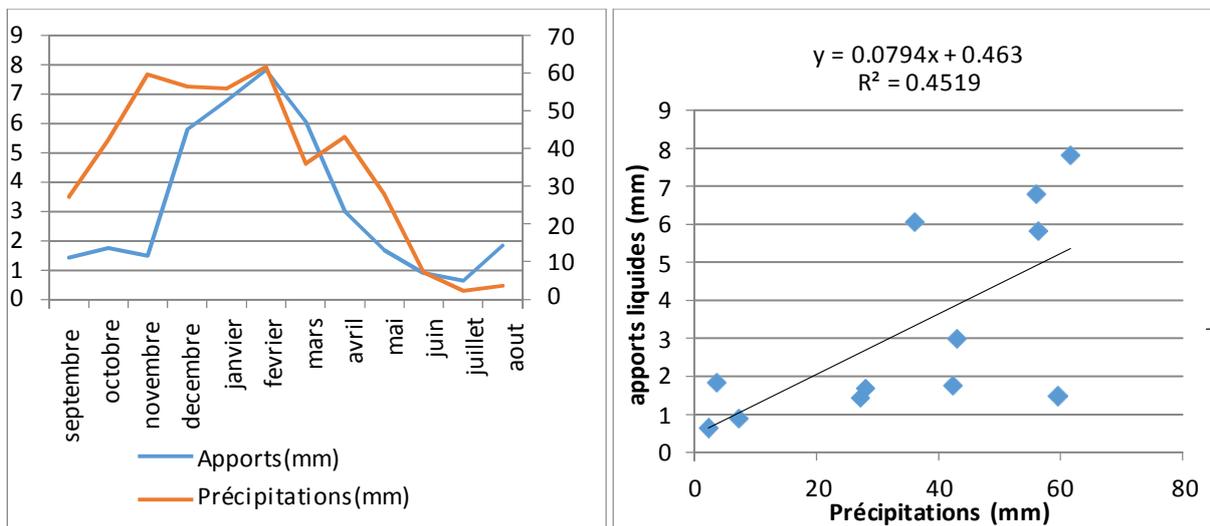
**Figure 47 : Evolution saisonnière des apports-précipitations dans le barrage H.Boughrara**



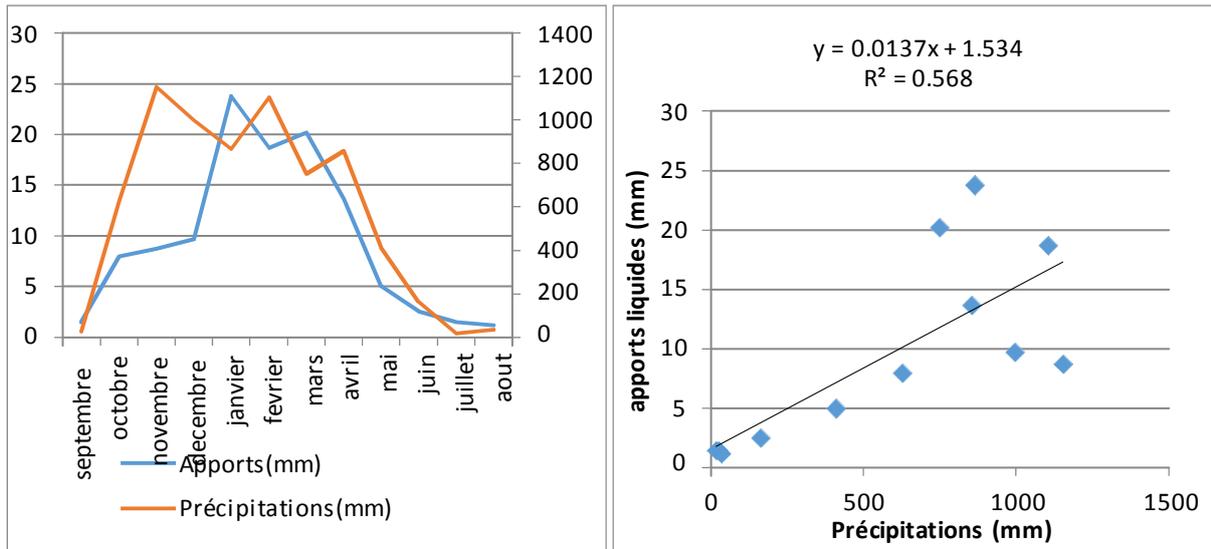
**Figure 48 : Evolution saisonnière des apports-précipitations dans le barrage Sikkak**

**: Relations entre les précipitations et les apports liquides à l'échelle mensuelle :**

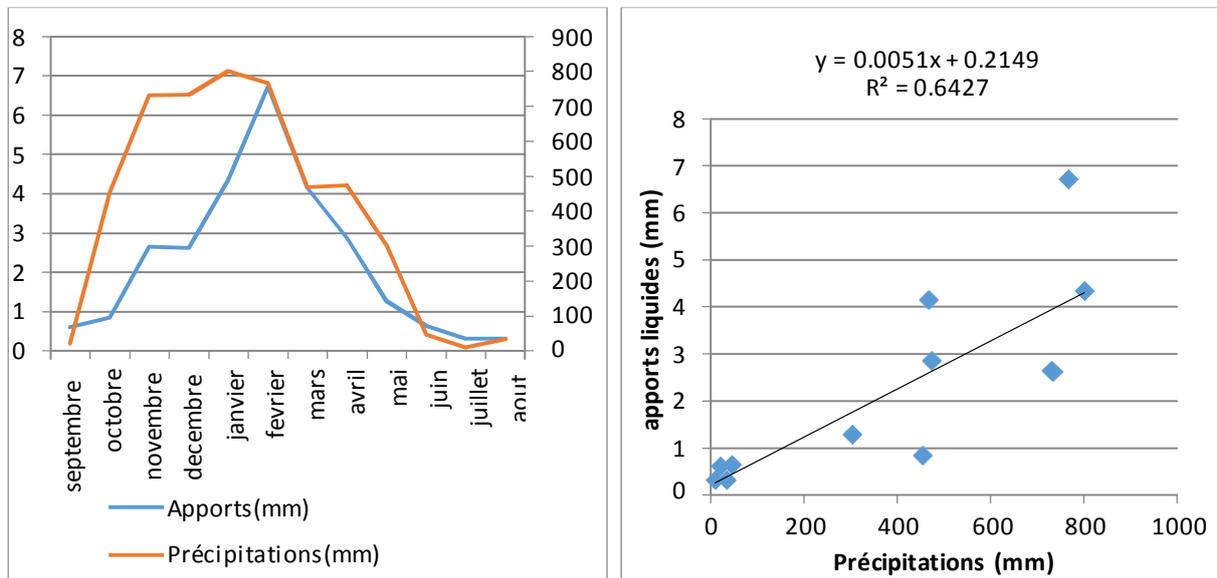
Les figures 49, 50, 51, 52, 53 représentent l'évolution des apports et des précipitations à l'échelle mensuelle. Les mois les plus excédentaires sont ceux appartenant à l'hiver (janvier, février et mars). C'est durant ces mois que les apports liquides sont maximaux. Parfois le maximum est enregistré en octobre.



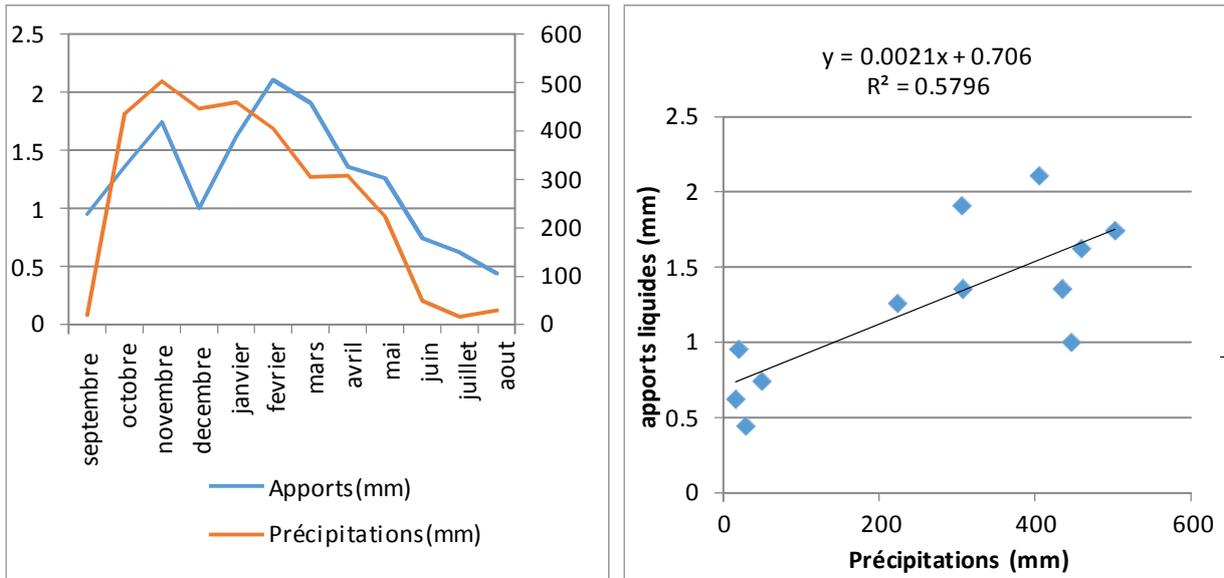
**Figure 49 : Evolution mensuelle des apports-précipitations dans le barrage Béni Bahdel**



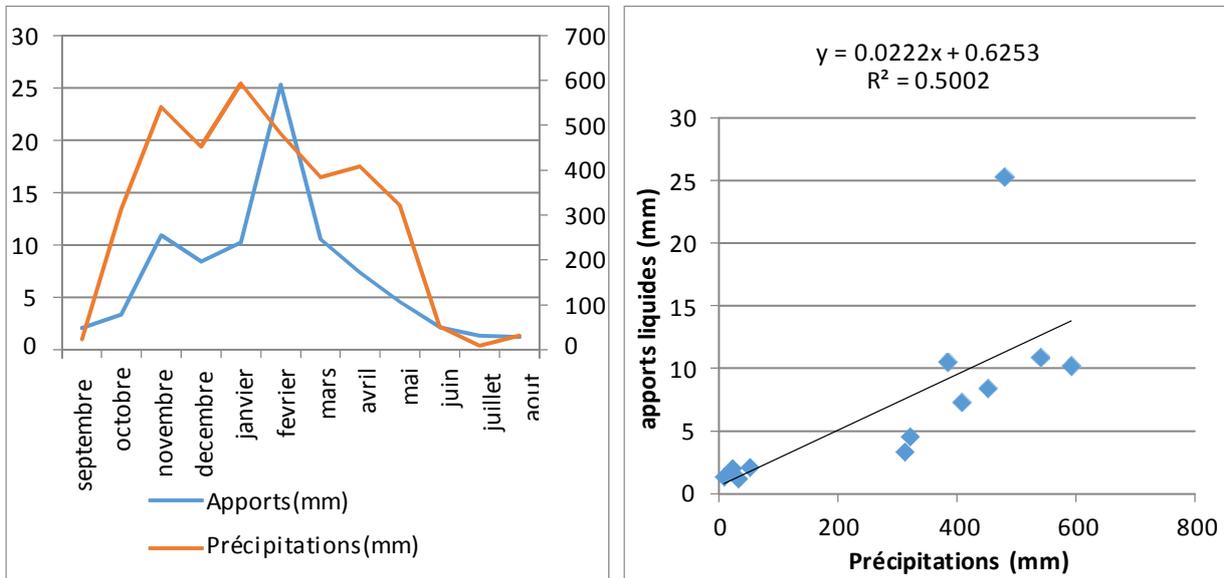
**Figure 50 : Evolution mensuelle des apports-précipitations dans le barrage Meffrouche**



**Figure 51 : Evolution mensuelle des apports-précipitations dans le barrage El Izdihar**



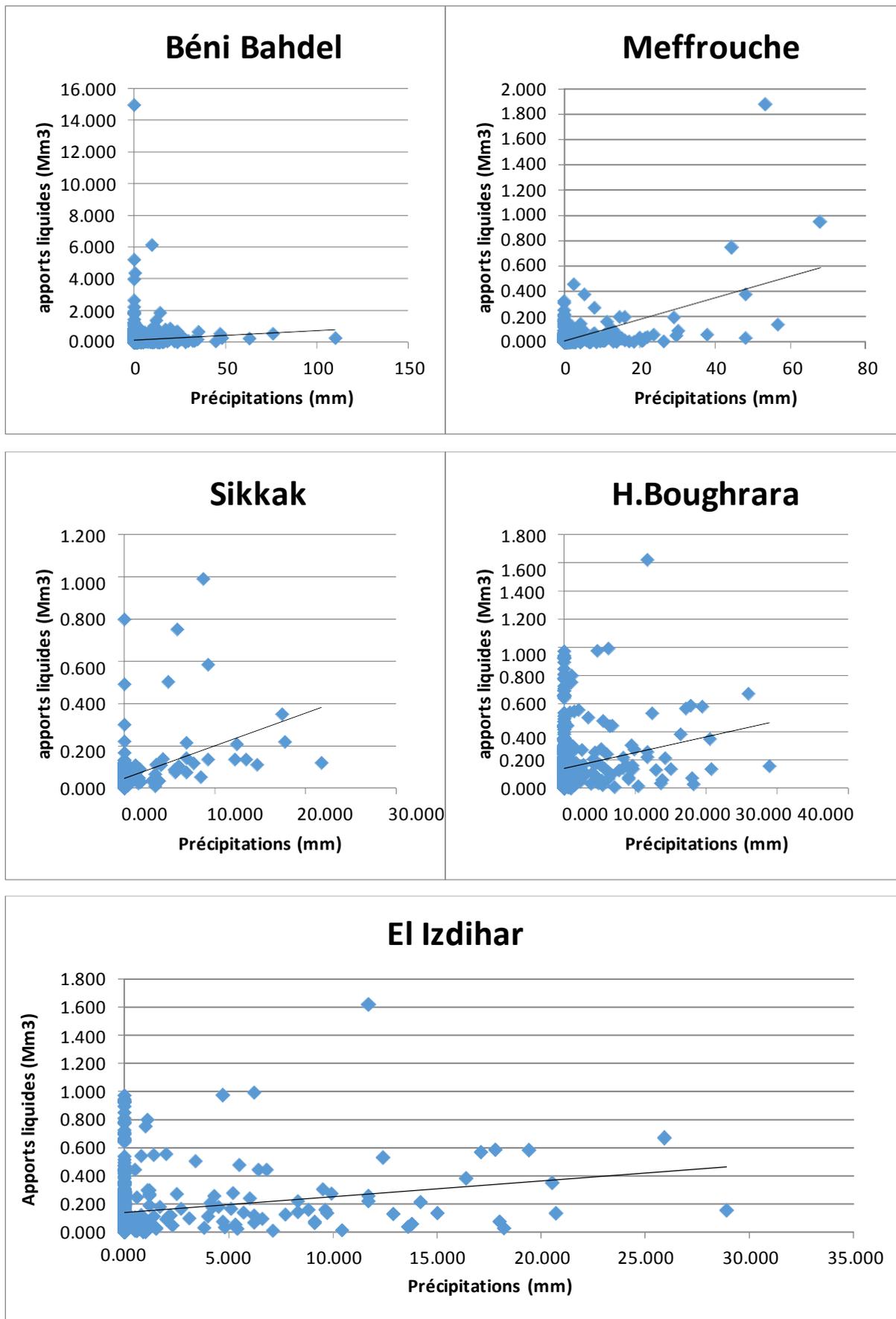
**Figure 52 : Evolution mensuelle des apports-précipitations dans le barrage H.Bouhrara**



**Figure 53 : Evolution mensuelle des apports-précipitations dans le barrage Sikkak**

**: Relation entre les précipitations et les apports liquides à l'échelle journalière :**

Dans l'objectif de déterminer la relation entre les apports et les précipitations, on a tracé ce graphe (figure 54 et tableau 17). On remarque que le barrage Béni Bahdel a marqué des apports maximaux en fonction des précipitations, puis le barrage Meffrouche, puis Izdihar et Bouhrara. Le barrage d'une petite capacité sont remplis rapidement



**Figure 54 : Relation journalière entre les apports liquides et les précipitations**

**Tableau 17 : Coefficients statistiques pour chaque barrage**

Barrage	Droite de régression	Coefficient de détermination
Béni Bahdel	0,006	0,0047
Meffrouch	0,0084	0,3216
El Izdihar	0,0112	0,033
H.Bouhrara	0,0112	0,033
Sikkak	0,0155	0,1773

#### **IV - Conclusion :**

Cette étude montre l'importance qu'exerce le facteur climatique sur le taux des apports liquides entrant aux barrages dans la région d'étude.

La tendance du taux d'apports au cours de ces dernières périodes va vers l'augmentation, elle suit la tendance à la baisse des précipitations.

On constate que les conditions climatiques ont une relation directe entre les précipitations et les apports liquides entrant aux barrages.

## *Conclusion générale*

## **Conclusion générale**

Au terme de ce travail sur la variation et les tendances temporelles des apports liquides relatifs aux principaux barrages du bassin versant de la Tafna et leurs relations probables avec les précipitations, il est important de souligner le caractère irrégulier des cycles hydrologique de la région. Les épisodes de sécheresse qu'a connue le nord Algérien durant les dernières décennies a eu un impact négatif sur les potentialités en eau superficielle, sur la stabilité des apports en eau.

En effet, suite aux changements dans la pluviométrie qui a beaucoup baissé, les apports en eaux aux barrages ont connu des variabilités importantes. Malgré les tendances à la hausse enregistrées durant la courte période d'étude, il demeure important de souligner que nous n'avons pas une idée précise sur cette tendance sur le long terme.

Le bassin versant de la Tafna d'une superficie de 7245 km<sup>2</sup> qui déborde largement les limites géographiques du territoire algérien est un bassin important pour l'hydrologie de l'ouest de l'Algérie. Une telle étude est souhaitable pour mieux s'informer des potentialités actuelles de ce bassin. Ce travail pourrait être poursuivi par d'autres étudiants en prenant en considération une période de mesure plus étalées dans le temps.

# *Bibliographie*

## Liste de bibliographie

**Bouanani A, Baba-Hamed K, Fandi W (2013)** : Production et transport des sédiments en suspension dans l'oued Sikkak (Tafna – nord-ouest Algérie), Revue des sciences de l'eau, 26, 2, 119- 132.

**Bouchedja A (2012)** : La politique nationale de l'eau en Algérie, 10<sup>ème</sup> Conférence Internationale Euro-RIOB, Istanbul – Turquie.

**Boudjadja A, Messahel M, Pauc H (2003)** : les ressources hydriques en Algérie du Nord, Revue des Sciences de l'Eau n° 16 (03).

**Ghenim A.N (2001)** : Contribution à l'étude des écoulements liquides et des dégradations du bassin versant de la Tafna. Cas de oued Isser, oued Mouilah et la haute Tafna. Mémoire de Magister. Université de Tlemcen.192 p.

**GhenimA.N, Megnounif. A (2013)** : Ampleur de la sécheresse dans le bassin d'alimentation du barrage Meffrouche (Nord-Ouest de l'Algérie), Géographie Physique et Environnement (Physio-Géo), Volume 7 : 35-49