

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان-

Université ABOU BEKR BELKAID



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master en **Hydraulique**

Option : Ouvrages Hydrauliques

Thème

**Variabilité et tendance des débits liquides dans quelques cours
d'eau de la Tafna**

Soutenue publiquement le : 21/06/2020

Présenté par :

DRICI Amir

Devant le jury :

Dr. BESSEDIK Madani

Président

Pr. MEGNOUNIF Abdesselam

Examineur

Pr. GHENIM Abderrahmane Nekkache

Encadreur

Promotion 2019/2020

Remerciements

Tout d'abord, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté de terminer la rédaction de ce mémoire.

Ce travail n'aurait pas pu se terminer sans l'aide de mon encadreur Mr Ghenim Abderrahmane, je le remercie pour son aide, ses conseils, ses orientations et ses encouragements.

Je tiens aussi à remercier les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Mes vifs remerciements vont également à tous mes enseignants

Merci aussi à tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes parents.

À ma sœur et mes frères.

À tous mes amis.

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Sommaire

RESUME	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE DETUDE	
I. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA TAFNA.....	2
II. PRESENTATION DES SOUS BASSINS ETUDIE.....	2
II.1. OUED MOUILAH.....	3
II.2. OUED SIKKAK.....	4
II.3. OUED ISSER.....	5
II.4. LA HAUT TAFNA.....	6
CHAPITRE II : METHODE D'ETUDE	
INTRODUCTION.....	8
I. LES DONNEES.....	8
II. TESTE DE MANN-KENDALL.....	8
III. TESTS STATISTIQUES UTILISES POUR DETECTION DE RUPTURES.....	8
III.1. TESTE DE PETTIT	10
III.2. LA PROCEDURE DE SEGMENTATION D'HUBERT.....	11
IV. COEFFICIENT DE VARIATION.....	12
V. L'INDICE DE VARIABILITE DE DEBITS.....	12
VI. CONCENTRATION DE LA LAME D'EAU ECOULEE.....	13
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	
INTRODUCTION.. ..	14
I. VARIATION TEMPORELLE DES DEBITS ET DES LAMES D'EAU ECOULEES.....	14
I.1. OUED MOUILAH.....	14
I.1.1. STATION PONT RN7/A.....	14
I.1.2. STATION LEGFAF.....	16
I.2. LA HAUT TAFNA.....	18
I.2.1. STATION VILLAGE TAFNA.....	18
I.2.2. STATION BENI BAHDEL.....	20

I.2.3.	STATION ZAHRA.....	22
I.2.4.	COMPARAISON DES STATIONS DE CONTROLE DE LA HAUT TAFNA.....	24
I.3.	OUED SIKKAK.....	25
I.3.1.	STATION MEFROUCHE.....	25
I.3.2.	STATION AIN YOUCEF.....	27
I.3.3.	COMPARAISON DES STATIONS DE CONTROLE D'OUED SIKKAK.....	29
I.4.	OUED ISSER.....	31
I.4.1.	STATION CHOULY PONT RN7.....	31
I.4.2.	STATION SIDI AISSA.....	33
I.4.3.	COMPARAISON DES STATIONS DE CONTROLE D'OUED ISSER.....	35
	DISCUSSION.....	36
II.	L'ETUDE DE TENDANCE DES DEBITS.....	37
II.1.	TENDANCE DES DEBITS MOYENS ANNUELS.....	37
II.2.	TENDANCE DES DEBITS SAISONNIERS ET MENSUELS.....	37
II.2.1.	OUED MOUILAH.....	37
II.3.	LA HAUTE TAFNA.....	37
II.3.1.	OUED SIKKAK.....	38
II.3.2.	OUED ISSER.....	38
	DISCUSSION.....	38
III.	L'ETUDE D'HOMOGENEITE DES DONNEES.....	41
III.1.	OUED MOUILAH.....	41
III.2.	LA HAUT TAFNA.....	43
III.3.	OUED SIKKAK.....	55
III.4.	OUED ISSER.....	46
	DISCUSSION.....	47
IV.	L'INDICE DE VARIABILITE DE DEBITS.....	48
IV.1.	OUED MOUILAH.....	48
IV.2.	LA HAUT TAFNA.....	53
IV.3.	OUED SIKKAK.....	65
IV.4.	OUED ISSER.....	70
	DISCUSSION.....	71
V.	CONCENTRATION DES LAMES D'EAU ECOULEES.....	75
	CONCLUSION GENERALE.....	76

Résumé

L'objectif de ce travail est d'analyser la variabilité et la tendance des débits liquides de quelque cours d'eau de la Tafna. On utilise les données mensuelles de neuf stations hydrométriques pendant des périodes comprises entre 1980 et 2015. Les données du débit annuel, saisonnier et mensuel ont été soumises à des tests de tendance de Mann-Kendall, les tests de rupture de Pettitt et la procédure de segmentation de Hubert. Des tendances positives significatives ont été observées pour la station Legfaf à toutes les échelles de temps, et des tendances négatives dans station Zahra (oued Khemis) aux échelles saisonnière et mensuelle, en prenant en compte la valeur de α de 5%. D'autre part, des ruptures statistiques ont été détectées (à l'échelle annuelle) en 2008/2009 pour les stations Beni Bahdel, Legfaf et Chouly et Pont RN7 en 1999/2000 pour la station Village Tafna, aux échelles saisonnière et mensuelle. L'écoulement présente des ruptures pendant les années 1990 pour les stations Pont RN7/A, Village Tafna et Zahra, et entre 2006 et 2012 pour les stations ; Legfaf, Beni Bahdel, Chouly, Pont RN7 et Sidi Aissa. En revanche, la classification des régimes d'écoulement selon l'indice de variabilité montre un pourcentage des périodes déficitaires important dépassant 60%.

Mots clé: Bassin versant, La Tafna, Débit liquide, Test statistique, Variabilité

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تحليل تقلبات واتجاهات تغير التدفقات السائلة لبعض اودية حوض تافنة. تم استخدام البيانات الشهرية لتسع محطات هيدرومترية لفترات ما بين 1980 و 2015. خضعت بيانات التدفق السنوية والموسمية والشهرية لاختبارات اتجاه التغير لمان-كيندال 'Man-kendal' واختبارات تمزق لبوتي 'Pettitt' وإجراءات التجزئة لهوبرت 'Hubert'. لوحظت اتجاهات تغير إيجابية هامة لمحطة لغفاف في جميع المقاييس الزمنية، واتجاهات سلبية لمحطة الزهراء (واد خميس) على النطاق الفصلي والشهري. هذه الاتجاهات، مع أخذ قيمة α 5٪ من ناحية أخرى، تم الكشف عن فواصل إحصائية (على نطاق سنوي) في 2009/2008 لمحطات بني بهدل، لغفاف وشولي، جسر RN7 وفي 2000/1999 لمحطة قرية تافنة. فصليا وشهريا، يظهر التدفق فواصل خلال التسعينات للمحطات؛ جسر RN / A ، قرية تافنة والزهراء، وبين 2006 و 2012 في المحطات؛ لغفاف، بني بهدل، الشولي جسر RN7 و سيدي عيسى. من ناحية أخرى، يُظهر تصنيف نظام التدفق وفقاً لمؤشر التباين نسبة مئوية كبيرة لفترات ذات التدفق الضعيف والتي تجاوزت 60٪. الكلمات المفتاحية: مستجمعات المياه ، تافنة ، تدفق السائل ، الاختبار الإحصائي ، التباين.

Abstract

The objective of this work is to analyze the variability and the trend of the liquid flows of some Tafna rivers. Monthly data from nine hydrometric stations are used for periods between 1980 and 2015. Annual, seasonal and monthly flow data were subjected to Mann-Kendall trend tests, Pettitt rupture tests and the segmentation procedure of Hubert. Significant positive trends were observed for Legfaf station in all time scales, and negative trends for Zahra station (oued Khemis) on a seasonal and monthly scale. These trends, taking into account the value of α of 5%. On the other hand, statistical breaks were detected (on an annual scale) in 2008/2009 for the Beni Bahdel, Legfaf and Chouly, Pont RN7 stations and in 1999/2000 for the Village Tafna station, on a seasonal and monthly. The flow shows breaks during the 1990 for the stations; Pont RN7 / A, Village Tafna and Zahra, and between 2006 and 2012 in the stations; Legfaf, Beni Bahdel, Chouly, Pont RN7 and Sidi Aissa. On the other hand, the classification of the flow regime according to the variability index shows a percentage of the periods with a large deficit which exceeds 60%.

Keywords: Watershed, La Tafna, Liquid flow, Statistical test, Variability

Liste des figures

<i>Figure I.1 : Le bassin versant de la Tafna</i>	2
<i>Figure II.1. Exemple de résultat de test de Mann-Kendall sur logiciel XLSTAT 2016</i>	14
<i>Figure III.1. Variation des débits moyens annuels à la station PONT RN7/A.</i>	15
<i>Figure III.2. Variation des débits moyens saisonniers à la station PONT RN7/A.</i>	16
<i>Figure III.3. Variation des débits moyens mensuels à la station PONT RN7/A.</i>	16
<i>Figure III.4. La variation de débit et de la lame d'eau écoulée moyens annuels à la station Legfaf.</i>	17
<i>Figure III.5. Variation des débits moyens saisonniers à la station Legfaf.</i>	18
<i>Figure III.6. Variation des débits moyens mensuels à la station Legfaf</i>	18
<i>Figure III.7. Variation des débits moyens annuels à la station Village Tafna</i>	19
<i>Figure III.8. Variation des débits moyens saisonniers à la station Village Tafna.</i>	20
<i>Figure III.9. Variation des débits moyens mensuels à la station Village Tafna.</i>	20
<i>Figure III.10. Variation des débits moyens annuels à la station Beni Bahdel.</i>	22
<i>Figure III.11. Variation des débits moyens saisonniers à la station Beni Bahdel.</i>	22
<i>Figure III.12. Variation des débits moyens mensuels à la station Beni Bahdel.</i>	23
<i>Figure III.13. Variation des débits moyens annuels à la station Zahra.</i>	24
<i>Figure III.14. Variation des débits moyens saisonniers à la station Zahra.</i>	24
<i>Figure III.15. Variation des débits moyens mensuels à la station Zahra.</i>	25
<i>Figure III.16. Variation des débits moyens annuels dans le bassin versant de la Haut Tafna.</i>	25
<i>Figure III.17. Variation des débits moyens saisonniers dans le bassin versant de la Haut Tafna</i>	26
<i>Figure III.18. Variation des débits moyens mensuels dans le bassin versant de la Haut Tafna</i>	26
<i>Figure III.19. Variation des débits moyens annuels à la station Mefrouch.</i>	27
<i>Figure III.20. Variation des débits moyens saisonniers à la station Mefrouch.</i>	28
<i>Figure III.21. La variation des débits moyens mensuels à la station Mefrouch.</i>	28
<i>Figure III.22. Variation des débits moyens annuels à la station Ain Youcef.</i>	29
<i>Figure III.23. Variation des débits moyens saisonniers à la station Ain Youcef.</i>	30
<i>Figure III.24. Variation des débits moyens mensuels à la station Ain Youcef.</i>	30
<i>Figure III.25. Variation des débits moyens annuels dans le bassin versant de d'Oued Sikkak.</i>	30
<i>Figure III.26. Variation des débits moyens saisonniers dans le bassin versant de d'Oued Sikkak.</i>	31
<i>Figure III.29. Variation des débits moyens saisonniers à la station Chouly Point RN7.</i>	32
<i>Figure III.30. Variation des débits moyens mensuels à la station Chouly point RN7.</i>	32
<i>Figure III.31. Variation des débits moyens annuels à la station Sidi Aissa.</i>	33
<i>Figure III.32. Variation des débits moyens saisonniers à la station Sidi Aissa</i>	34
<i>Figure III.33. Variation des débits moyens mensuels à la station Sidi Aissa.</i>	34

<i>Figure III.34. Variation des débits moyens annuels dans le bassin versant de d'Oued Isser.</i>	35
<i>Figure III.35 Variation des débits moyens saisonniers dans le bassin versant de d'Oued Isser.</i>	35
<i>Figure III.36. Variation des débits moyens mensuels dans le bassin versant de d'Oued Isser</i>	36
<i>Figure III.36: L'indice de variabilité annuel pour la station Point Rn7/A</i>	50
<i>Figure III.37: Pourcentage des classes annuelles pour la station Point RN7/A.</i>	50
<i>Figure III.38: L'indice de variabilité saisonnier pour la station Point Rn7/A</i>	51
<i>Figure III.37: L'indice de variabilité annuel pour la station Legfaf.</i>	52
<i>Figure III.39: Pourcentage des classes annuelles pour la station Legfaf.</i>	52
<i>Figure III.40: L'indice de variabilité saisonnier pour la station Legfaf</i>	53
<i>Figure III.41: L'indice de variabilité annuel pour la station Village Tafna.</i>	55
<i>Figure III.41: Pourcentage des classes annuelles pour la station Village Tafna.</i>	55
<i>Figure III.42: L'indice de variabilité saisonnier pour la station Village Tafna.</i>	56
<i>Figure III.43: L'indice de variabilité annuel pour la station Beni Bahdel.</i>	57
<i>Figure III.44: Pourcentage des classes annuelles pour la station Beni Bahdel.</i>	58
<i>Figure III.45: L'indice de variabilité saisonnier pour la station Beni Bahdel.</i>	58
<i>Figure III.46: L'indice de variabilité annuel pour la station Zahra</i>	60
<i>Figure III.47: Pourcentage des classes annuelles pour la station Zahra.</i>	60
<i>Figure III.48: L'indice de variabilité saisonnier pour la station Zahra.</i>	61
<i>Figure III.48: L'indice de variabilité annuel pour la station Mafrouche.</i>	62
<i>Figure III.49: L'indice de variabilité saisonnier pour la station Mafrouche</i>	63
<i>Figure III.50: L'indice de variabilité annuel pour la station Ain Youcef.</i>	64
<i>Figure III.50: Pourcentage des classes annuelles pour la station Ain Youcef.</i>	64
<i>Figure III.51: L'indice de variabilité saisonnier pour la station Ain Youcef.</i>	65
<i>Figure III.52: L'indice de variabilité annuel pour la station Chouly Point RN7</i>	67
<i>Figure III.53: Pourcentage des classes annuelles pour la station Chouly Point RN7.</i>	67
<i>Figure III.54: L'indice de variabilité saisonnier pour la station Chouly Point Rn7</i>	67
<i>Figure III.55: L'indice de variabilité annuel pour la station Sidi Aissa.</i>	69
<i>Figure III.55: Pourcentage des classes annuelles pour la station Sidi Aissa.</i>	69
<i>Figure III.56: L'indice de variabilité saisonnier pour la station Siddi Aissa</i>	70
<i>Figure III.57 : DCL et PCL dans le bassin d'Oued Mouilah</i>	71
<i>Figure III.58 : DCL et PCL dans le bassin de la Haut Tafna</i>	72
<i>Figure III.59 : DCL et PCL dans le bassin d'Oued Isser</i>	73
<i>Figure III.60 : DCL et PCL dans le bassin d'Oued Sikkak</i>	74

Liste des Tableaux

<i>Tableau I.1 : Bassins versants et stations de contrôle.</i>	3
<i>Tableau I.2 : Station de contrôle du bassin d'Oued Moulilah(ANRH).</i>	4
<i>Tableau I.3 : Stations de contrôle du bassin d'Oued Sikkak(ANRH).</i>	5
<i>Tableau I.4 : Stations de contrôle du bassin d'Oued Isser(ANRH).</i>	6
<i>Tableau I.5 : Stations de contrôle du bassin de la haut Tafna(ANRH).</i>	7
<i>Tableau II.1 : Relation entre les angles du PCP et les mois d'une année</i>	13
<i>Tableau III.1. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station PONT N7/A ;</i>	15
<i>Tableau III.2. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à Legfaf ;</i>	17
<i>Tableau III.2. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Village afna ;</i>	19
<i>Tableau III.4. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Beni Bahdel ;</i>	20
<i>Tableau III.5. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Zahra ;</i>	23
<i>Tableau III.6. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Mefrouche ;</i>	26
<i>Tableau III.7. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Ain Youcef ;</i>	28
<i>Tableau III.8. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Chouly Point RN7 ;</i>	31
<i>Tableau III.9. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Sidi Aissa ;</i>	33
<i>Tableau III.10. Résultats de test de Mann-Kendall pour les débits moyens annuels.</i>	39
<i>Tableau III.11. Résultats de test de Mann-Kendall pour les débits saisonniers.</i>	39
<i>Tableau III.12. Résultats de test de Mann-Kendall pour les débits mensuels.</i>	40
<i>Tableau III.14. Résultats de détection de rupture dans les séries des débits du bassin versant d'Oued Moulilah</i>	42
<i>Tableau III.15. Résultats détection de rupture dans les séries des débits du bassin versant de la Haut Tafna</i>	44
<i>Tableau III.16. Résultats de détection de rupture dans les séries des débits du bassin versant d'Oued Isser.</i>	46
<i>Tableau III.17 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Point RN7/A</i>	49
<i>Tableau III.18 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Legfaf.</i>	51
<i>Tableau III.19 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Village Tafna.</i>	54
<i>Tableau III.20 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Beni Bahdel</i>	56
<i>Tableau III.21: Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Zahra</i>	59
<i>Tableau III.22: Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Mafrouche.</i>	61
<i>Tableau III.23: Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Ain Youcef.</i>	63
<i>Tableau III.24: Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Chouly Point RN7</i>	65
<i>Tableau III.25: Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Sidi Aissa.</i>	68

Introduction générale

Une attention particulière a récemment été portée aux effets de la variabilité climatique et des activités humaines sur les écoulements superficiels. En effet, le cycle hydrologique d'un bassin est un processus complexe influencé par le climat, les caractéristiques physiques du bassin et les activités humaines. Avec l'aggravation des problèmes de pénurie d'eau et le nombre croissant de catastrophes liées à l'eau dans le monde, les effets de la variabilité climatique et des activités humaines sur les ressources en eau sont depuis longtemps au centre de la recherche hydrologique mondiale [1]. La variabilité climatique aurait conduit à la modification des régimes de précipitations, tandis que les activités humaines ont modifié la distribution temporelle et spatiale des ressources en eau [2]. Dans les régions arides et semi-arides, les effets de la variabilité climatique et des activités humaines sur le ruissellement sont beaucoup plus sensibles, et ces effets ont entraîné une réduction ou une augmentation de l'apport en eau [3]. L'évaluation quantitative de ces effets est importante pour l'évaluation et la gestion des ressources en eau régionales.

Dans ce contexte, le bassin versant de la Tafna a subi au cours des dernières décennies des modifications notables dans son comportement morpho-dynamique. Les précipitations ont enregistré des réductions de 29% en moyenne [4], ce qui a engendré des déficits d'écoulement de près de 70% [5, 6]. Ces estimations ne prennent pas en compte les activités humaines, notamment celles qui concernent le réseau hydrographique tel que la construction de barrages et de retenues collinaires. Ainsi, les effets suscités et d'autres en fait que les écoulements dans le bassin versant de la Tafna ont subi une variabilité et une réduction importantes [7].

L'objectif de ce travail est de tester l'ampleur de cette variabilité dans le temps des écoulements dans le bassin versant de la Tafna à différents points de contrôle aux moyens de tests et méthodes statistiques.

Ce mémoire comprend 3 chapitres principaux. Le premier est consacré à la présentation du bassin versant ainsi que des données utilisées, le second à la méthode d'étude, le troisième aux résultats obtenus et la discussion des résultats. Le mémoire est clôturé par une conclusion générale.

I. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA TAFNA

Le bassin versant de la Tafna situé à l'extrême Nord-Ouest du territoire Algérien. Il est codé sous le code N° « 16 » selon la structuration des bassins versants en Algérie. Il est limité au nord par le bassin versant codé « 04 » Cotiers Oranais, à l'est par le bassin versant codé « 11 » Macta, au sud par le bassin versant codé « 08 » Chott Ech-cherGUI et à l'ouest par le territoire Marocain. Il couvre une superficie de 7245 Km² avec une altitude varie entre 0 et 1800 m. Le bassin versant de la Tafna occupe 65% de la wilaya de Tlemcen ; une partie de la wilaya d'Ain Témouchent et une petite partie de la wilaya de Sidi Bel Abbas, le reste au Maroc.

II. PRESENTATION DES SOUS BASSINS ETUDIES

Dans ce travail on se limite pour l'étude de cas à une partie de la Tafna correspondant aux sous-bassins versants suivants (tableau I.1) :

- Le bassin versant de l'oued Mouillah ;
- Le bassin versant de l'oued Sikkak ;
- Le bassin versant de l'oued Isser ;
- Le bassin versant de la haute Tafna ;

Ces bassins sont contrôlés par neuf stations hydrométriques présentées dans la figure I.1.

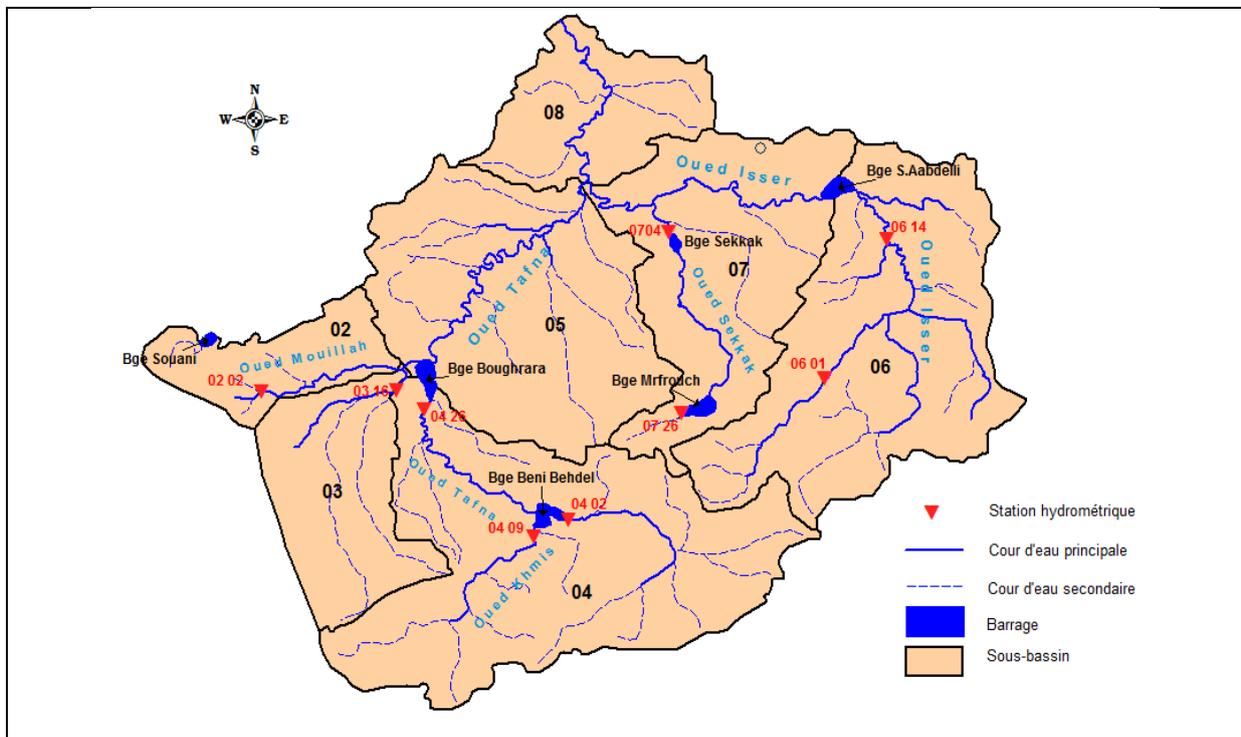


Figure I.1 : Localisation des stations d'étude dans le bassin versant de la Tafna

Tableau I.1 : Bassins versants et stations de contrôle.

Bassin versant	Code	Station hydrométrique	Oued	Code de station
La haute Tafna	04	Village Tafna	Tafna	160426
		Beni Behdel	Tafna	160402
		Zahra	khemiss	160409
Oued Mouilah	02 et 03	Point RN7A	Mouilah	160202
		Leffaf	-	160316
Oued Sikkak	07	Mefrouche	Ennachef	160726
		Ain Youcef	Sikkak	160704
Oued Isser	06	Chouly Pont RN7	Chouly	160601
		Sidi Aissa	Isser	160614

II.1.OUED MOUILAH

Le bassin versant de l'oued Mouilah est situé au Nord-Ouest de l'Algérie, il s'étend sur une superficie de 2650 km², pour un périmètre de 230 km. Affluent rive gauche de la Tafna, oued Mouilah prend naissance dans la région d'El Abed, en Algérie, à 1250m d'altitude, puis pénètre au Maroc et prend le nom d'oued Isly et suit un cours intermittent. Il redevient permanent en Algérie aux environs de Maghnia sous l'appellation d'oued Mouilah. Il reçoit sur sa rive droite, Oued Ouardeffou avec ses affluents, Oued El Abbas, Oued Aouina et Oued Mehaguene et sur sa rive gauche Bouslit, Oued Ben Saria et Oued El Aouedj.

L'altitude du bassin varie entre 1430 m et 285 m avec une moyenne de 800 m. La longueur du cours d'eau principal de oued Mouilah est de 124 km. Le relief est assez varié constitué des zones de montagnes, de plaines et de vallées. Les pentes sont généralement très accentuées, dépassant les 20% au niveau des zones montagneuses des monts des Traras au nord-ouest et les monts de Tlemcen au Sud. Entre ces zones, on retrouve des pentes plus douces (entre 0 et 10%). Cette zone plus ou moins aplatée est localisée de part et d'autre de l'oued Mouilah.

- **Géologie**

Le bassin de l'oued Mouilah est occupé par une série géologique allant du Primaire au Quaternaire, il se creuse dans un matériel à résistance fort variable. Sur le substratum schisto-quartzitique primaire et les formations carbonatées du Secondaire, se sont déposés des sédiments des argiles et grès du Miocène. Les alluvions quaternaires occupent les bas-fonds des vallées et des plaines [8].

Les débits moyens annuels enregistrés à la station du pont RN7A varie entre 0,19 m³/s et 1,68 m³/s avec une moyenne annuelle de 0,63 m³/s (période 1981-2015).

- **Station hydrométrique**

Le bassin versant d'Oued Mouilah est contrôlé par deux stations hydrométriques ; Pont RN7A de latitude (1° 51' 29" O) et longitude (34° 51' 4" N) et la station de Lagfaf de latitude (1° 40' 41" O) et longitude (34° 51' 57" N). Ses caractéristiques sont représentées dans le tableau I.2.

Tableau I.2 : Stations de contrôle du bassin d'Oued Mouilah (ANRH).

Code Station	Nom Station	Oueds	La mise en service	Altitude max(m)	Altitude min(m)	Période d'étude	Surface Drainée (m ²)	Débit moyen (m ² /s)
160202	Pont Rn7A	Mouilah	1972	1824	410	1981-2015	1820	0,62
160316	Lagfaf	////	2000	-	-	2001-2015	723	0,63

II.2.OUED SIKKAK

Le bassin versant de l'oued Sikkak s'étend sur une superficie de 218 km² pour un périmètre de 65 km. Oued Sikkak, affluent rive gauche de l'oued Isser, lui-même affluent rive droite de l'oued Tafna, s'écoule sur une longueur de 20 km. Les limites amont et aval du bassin sont matérialisées respectivement par le barrage Meffrouche à 1 100 m et celui du Sikkak à 200 m d'altitude.

L'altitude moyenne du bassin est de 475 m. Il est caractérisé par un relief assez marqué et un indice global de Roche de 0,037. Le bassin du Sikkak est moyennement drainé. La densité de drainage qui est le rapport de la longueur de tous les cours d'eau par la superficie du bassin est de 2,42 km•km⁻² [9].

- **Géologie**

Sur le plan géologique, le bassin de l'oued Sikkak présente deux secteurs bien distincts :

- Au nord, une dépression dont le principal élément ayant contribué au remplissage est représenté par le Miocène marneux. Il est surmonté par les graviers argileux et conglomérats Plio-quaternaires sous les alluvions récentes de la plaine d'Hennaya.

- Au sud, et à l'est, les massifs montagneux où affleurent principalement des terrains jurassiques (grès, calcaires, marno-calcaires et dolomies) faillés et bien karstifiés.

La moyenne interannuelle des débits enregistrés à la station de Ain Youcef pour la période (1981-1999) est de 0,33 m³/s. Le régime hydrologique annuel, en relation avec les apports pluviométriques, est très irrégulier. La période des hautes eaux est à partir de décembre Jusqu'au mois d'avril avec une valeur max de 0,85 m³/s enregistrée au mois de mars.

- **Station hydrométrique**

Le bassin de oued Sikkak est contrôlé par la station hydrométrique d'Ain Youcef (aval du barrage Sikkak) de latitude (1° 26' 23" O) et longitude (35° 6' 18" N), et la station Meffrouche (amont du barrage Meffrouche) de latitude (1° 18' 44" O) et longitude (34° 49' 49" N). Ses caractéristiques sont représentées dans le tableau I.3.

Tableau I.3 : Stations de contrôle du bassin d'Oued Sikkak (ANRH).

Code Station	Nom Station	Oueds	La mise en service	Altitude max(m)	Altitude moy(m)	Altitude min(m)	Période d'étude	Surface Drainée (m ²)	Débit moy (m ³ /s)
160704	Ain Youcef	Sikkak	1972	1579	760	180	1981-1999	320	0,33
160726	Meffrouche	Ennachef	1987	-	475	-	1989-2015	1225	0,08

II.3.OUED ISSER

Le bassin versant de l'oued Isser occupe une surface de 1140 km² pour un périmètre de 197,3 km. Affluent rive droite de la Tafna, l'oued Isser s'écoule sur une longueur de 81 km. Il prend sa source à Ain Isser au Sud de Ouled Mimoun. La limite du bassin, à l'aval, coïncide avec le barrage Sidi Abdelli d'une capacité de 110 hm³.

Le bassin versant de l'oued Isser a une forme allongée (Indice de compacité =1,62). L'altitude varie entre 275m et 1625m avec une moyenne de 880m.

Le bassin est caractérisé par deux zones distinctes :

-Au sud, les pentes sont très fortes dépassant les 30% représentant une zone montagnaise constituée essentiellement par des terrains calcaires fissurés du Jurassique. La zone médiane du bassin correspond aux plaines où les pentes sont inférieures à 10%.

-Au nord-ouest, une zone de collines à pente douce 15 à 30%, est constituée par des marnes miocènes.

- **Station hydrométrique**

Le bassin de d'oued Isser est contrôlé par la station hydrométrique de Sidi Aissa de latitude (1° 3' 30" O) et longitude (35° 2' 10" N) et la station de Chouly pont Rn7 de latitude (1° 8' 5" O) et longitude (34° 51' 53" N) (tableau I.4).

Tableau I.4 : Stations de contrôle du bassin d'Oued Isser (ANRH).

Code Station	Nom Station	Oueds	La mise en service	Altitude max(m)	Altitude moy(m)	Altitude min(m)	Période d'étude	Surface Drainée (m ²)	Débit moy (m ³ /s)
160614	Sidi Aissa	Isser	1987	-	-	-	1985-2014	866	0,62
160601	Chouly Pont Rn7	Chouly	1925	1270	860	370	1981-2015	48	0,22

II.4.LA HAUT TAFNA

D'une superficie de 1016 Km² et d'un périmètre de 165 km, ce bassin est régularisé par le barrage de Béni Bahdel, d'une capacité de 63 millions de m³. Le sous bassin de la Haute Tafna à Beni Bahdel a une forme plus ou moins allongée, L'altitude moyenne est de 1058 m, près de 49% de la surface présente des pentes supérieures à 25%. Elle s'étend depuis la résurgence de l'Oued Tafna au niveau de Ghar Boumaza au sud de Sebdou, il creuse son chemin en recevant des ramifications qui se réunissent aux environs de Sebdou à une altitude d'environ 900 m. L'oued suit son cours dans une vallée encaissée (le fossé de la Tafna) et se creuse dans les marno-calcaires, les calcaire et Dolomies du jurassique jusqu'au barrage de Beni Bahdel où il rencontre l'oued Khemis en rive gauche.

- **Station hydrométrique**

Le bassin versant de la haut Tafna est contrôlé par trois stations hydrométriques :

-Station de Beni Bahdel de latitude (1° 19' 32" O) et longitude (34° 39' 19" N), (amont du barrage Beni Bahdel).

-Station de Zahra de latitude (1° 35' 33" O) et longitude (34° 44' 52" N), (amont du barrage Beni Bahdel).

-Station de Village Tafna de latitude (1° 36' 47" O) et longitude (34° 45' 20" N), (amont du barrage Boughrara).

Les caractéristiques de ces stations se représenté dans le tableau suivant :

Tableau I.5 : Stations de contrôle du bassin de la haut Tafna (ANRH).

Code Station	Nom Station	Oueds	La mise en service	Altitude max(m)	Altitude moy(m)	Altitude min(m)	Période Observation	Surface Drainée (m ²)	Débit moy (m ³ /s)
160402	Beni Bahdel	Tafna	1972	1526	1097	650	1980-2015	600	0,7
160409	Zahra	Khemis	1972	1824	1138	430	1981-2015	1050	0,56
160426	Village Tafna	Tafna	1987	-	-	-	1987-2012	1268	0,26

INTRODUCTION

L'analyse des séries des débits liquides (annuels, saisonniers et mensuels) a été effectuée sur neuf stations hydrométriques déjà présentées dans le chapitre précédent. Une étude générale est consacrée à l'analyse de la variabilité temporelle des écoulements dans les sous-bassins versants étudiés. Les méthodes utilisées dans cette analyse sont définies par les étapes ci-après :

I. LES DONNEES

Le débit est une notion fondamentale en hydrologie, il est exprimé en m³/s. Il dépend essentiellement de la distribution des précipitations et de leur intensité, mais il est fonction également du relief du bassin et de ses caractéristiques physico-géologiques. Pour ce travail, on dispose de neuf stations hydrométriques réparties sur quatre sous-bassins de la Tafna. Le choix des données s'est porté sur les débits mensuels structurés suivant l'année hydrologique (du 1 septembre au 31 août). La période d'observation est différente d'une station à une autre (13 à 35 années). Les données sont fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H).

II. COEFFICIENT DE VARIATION

Le coefficient de variation Cv est calculé pour évaluer la variabilité des débits. Une valeur plus élevée de Cv est un indicateur d'une plus grande variabilité, il est calculé comme :

$$Cv = \frac{Moy}{\sigma} \quad (1)$$

Où Cv est le coefficient de variation ; σ est l'écart-type et Moy est débit moyen pour l'échelle de temps. Selon Hare (2003), le Cv est utilisé pour classer le degré de variabilité comme ; inférieur ($Cv < 20$), modéré ($20 < Cv < 30$) et élevé ($Cv > 30$) [10].

III. LE TEST DE MANN-KENDALL

Plusieurs tests statistiques non-paramétriques sont disponibles dans la littérature pour vérifier s'il existe éventuellement une tendance (hausse ou baisse des débits dans le temps) dans une série chronologique des données t. Le principal objectif de l'analyse des tendances est de savoir, objectivement, s'il existe un changement systématique significatif dans la série chronologique.

Le test de tendance de Mann-Kendall est un test non paramétrique utilisé pour identifier une tendance d'une série. Ce test est le résultat d'une amélioration du test d'abord étudié par [11] puis repris par [12] et finalement optimisé par [13] de façon à prendre en compte une composante saisonnière.

Pour une série qui ne présente pas une composante saisonnière, la statistique S de Mann-Kendall est calculée en utilisant la formulation suivante : [14]

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

où x_j et x_k sont les valeurs mensuelles des mois j et k , avec $j > k$, avec l'espérance $(S) = 0$, et

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x > 0 \\ 0 & \text{si } x = 0 \\ -1 & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

La variance de S est donnée par:

$$\text{Var}(s) = \{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)\} / 18 \quad (3)$$

La valeur de S et (S) servent au calcul du test statistique Z et s'écrit sous la forme suivante :

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Si } S > 1 \\ 0 & \text{Si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Si } S < 1 \end{cases}$$

La présence d'une tendance statistiquement significative peut être évaluée en étudiant la valeur Z : si $Z > 0$: tendance monotone croissante, si $Z < 0$: tendance monotone décroissante.

La valeur de probabilité p du test statistique S peut être estimée en utilisant une fonction de distribution normale cumulée comme:

$$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dt \quad (4)$$

Pour des données sans tendance, la valeur p doit être égale à 0.5. La statistique S est étroitement liée au tau (τ) de Kendall, donnée par:

$$\tau = \frac{S}{\left[\frac{1}{2} n(n-1) - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1) \right] \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} n(n-1) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

Pour l'application de ce test on va utiliser logiciel XLSTAT 2016, L'hypothèse H_0 testée est « il n'y a pas de tendance ». Si $p < \alpha$ seuil de significativité choisi, l'hypothèse H_0 est rejetée et on conclut à l'existence d'une tendance significative, au seuil choisi (figure II.1).

Test de tendance de Mann-Kendall / Test bilatéral (Nom station : VILLAGE TAFNA) :	
Tau de Kend	-0,194
S	-49,000
Var(S)	0,000
p-value (bilat)	0,208
alpha	0,05
La p-value est calculée suivant une méthode exacte.	
Interprétation du test :	
H0 : Il n'y a pas de tendance dans la série	
Ha : Il existe une tendance dans la série	
Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.	

Figure II.1. Exemple de résultat de test de Mann-Kendall sur logiciel XLSTAT 2016

IV. TESTS STATISTIQUES UTILISES POUR DETECTION DE RUPTURES

Une « rupture » peut être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dans une série chronologique à un instant donné. L'approche statistique par l'application de tests de détection de rupture a été utilisée pour analyser les séries chronologiques des débits, elle permet de détecter un changement de la moyenne de la variable traitée dans la série.

Les tests choisis permettant de déterminer les dates de ruptures sont :

- ✓ Le test de Pettitt; les procédures statistiques ont été réalisées avec le logiciel XLSTAT 2016.
- ✓ La procédure de segmentation de Hubert [15] ; on utilise le logiciel KHRONOSTAT

IV.1. LE TEST DE PETTIT [16]

L'approche de Pettitt est non-paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney. L'absence de rupture dans la série (x_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N , les séries chronologiques (x_i) $i = 1$ à t et $t + 1$ à N appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable U_{tN} définie par :

$$U_{tN} = \sum_{i=t}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \quad (6)$$

où $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$, avec $\text{sgn}(x) = 1$ si $x > 0$, 0 si $x = 0$ et -1 si $x < 0$.

Si l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant t définissant le maximum en valeur absolue de la variable U_{tN} .

IV.2. LA PROCEDURE DE SEGMENTATION DE HUBERT

Cette méthode consiste à découper la série en m segments ($m > 1$) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne. La segmentation est définie de manière suivante [6].

Toute série x_i , où $i = i_1, i_2$ avec $1 \leq i_1 \leq i_2 \leq N$, constitue un segment de la série initiale des (x_i) avec $i = 1, 2, \dots, N$. Toute partition de la série initiale en m segments est une segmentation d'ordre m de cette série. À partir d'une segmentation particulière d'ordre m pratiquée sur la série initiale, on définit : i_k , $k = 1$ à m , le rang dans la série initiale de l'extrémité terminale de $k^{\text{ème}}$ segment ; x_k , la moyenne du $k^{\text{ème}}$ segment ; D_m , l'écart quadratique entre la série et la segmentation considérée

$$D_k = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \quad \text{avec} \quad d_k = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} (x - x_k)^2 \quad (7)$$

La segmentation retenue au terme de la mise en œuvre de la procédure est celle qui minimise D_m . cette condition est nécessaire mais insuffisante pour la détermination de la segmentation

optimale. Il faut lui adjoindre la contrainte suivante, selon laquelle les moyennes de deux segments contigus doivent être significativement différentes. [17]

V. L'INDICE DE VARIABILITE DE DEBITS

L'indice de variabilité (Iv) est utilisé pour déterminer les périodes sèches et les périodes humides, il évalué comme suit :

$$Iv_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (8)$$

où Iv_i est l'indice de variabilité des débits pour l'année i , X_i est le débit pour l'échelle de temps i , \bar{X} et σ sont la valeur moyenne et l'écart type pour la période considérée. Les valeurs positives/négatives de Iv_i sont synonymes de périodes excédentaires/déficitaires. Les séries chronologiques des paramètres hydro climatiques peuvent être classées en différents régimes tels que :

- $Iv > 2,0$: Extrêmement humide.
- $1,5 < Iv < 2,0$: Sévèrement humide.
- $1,0 < Iv < 1,5$: Modérément humide.
- $-1 < Iv < 1$: Proche de la normale.
- $-1.5 < Iv < -1$: Modérément sec.
- $-2 < Iv < -1.5$: Sévèrement sec.
- $Iv < -2,0$: Extrêmement sec.

VI. DEGRE DE CONCENTRATION DES LAMES D'EAU (DCL) ET PERIODE DE CONCENTRATION DES LAMES D'EAU (PCL)

Le DCL (degré de concentration des lames d'eau écoulées) et le PCL (période de concentration des lames d'eau écoulées) ont été dérivées des PCD et PCP développés par [18] pour caractériser la durée et la distribution des précipitations dans une seule station.

Le DCL peut décrire dans quelle mesure les lames d'eau annuelles sont réparties dans l'année et PCL décrit la période sur laquelle la lame d'eau totale se concentre dans l'année. Le principe de calcul de DCL et PCL est basé sur le vecteur des lames d'eau écoulées mensuelles. On suppose alors que la lame d'eau écoulée est une quantité vectorielle. Le module du vecteur est le degré de concentration, et la direction du vecteur est la période de concentration.

Chapitre II : Méthode d'étude

Toute l'année est considérée comme un cercle (360°), et un mois correspond à $360^\circ / 12 = 30^\circ$. Le tableau II.1 montre la relation entre les angles du PCL et les mois dans une année.

Tableau II.1 : Relation entre les angles du PCP et les mois d'une année

Mois	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	aout	sept	oct	nov	déc
Angle	345-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	165-195	195-225	225-255	255-285	285-315	315-345

Le PCD et le PCP annuels dans une station peuvent être calculés comme suit :

$$DCL_{ji} = \frac{\sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}}{R_{ij}} \quad (9)$$

$$PCL_{ji} = \arctan\left(\frac{R_{xi}}{R_{yi}}\right) \quad (10)$$

$$R_{yi} = \sum_{j=1}^N r_{ij} \cos a_j \quad (11)$$

$$R_{ij} = \sum_{j=1}^N r_{ij} \quad (12)$$

Où i représente l'année ($i = 1981, 1982, \dots$), et j représente le mois ($j = 1, 2, \dots, 12$) dans une année. r_{ij} signifie la lame d'eau dans un mois de la $i^{\text{ème}}$ année, a_j représente l'angle du $j^{\text{ème}}$ mois.

Le DCL annuel peut indiquer dans quelle mesure le total annuel de la lame d'eau se répartit sur 12 mois, allant de 0 à 1. Lorsque l'ensemble de lames d'eau annuelles se concentre sur un certain mois, le DCL atteindra son maximum de 1. Lorsque la lame de chaque mois dans une année est répartie uniformément, le DCL atteindra le minimum de 0 [18]. Le PCP peut révéler le mois où l'écoulement le plus élevé se produit.

CONCLUSION

Les méthodes présentées dans ce chapitre sont utilisées dans le cadre de l'analyse hydrologique pour notre étude.

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, on essayera tout d'abord d'analyser l'évolution des débits aux échelles de temps annuelle, saisonnière et mensuelle, ensuite on testera leurs tendances par le test de Mann-Kendall, puis la détection de ruptures dans les séries chronologiques par le test de Pettitt et la procédure de segmentation de Hubert, une classification des périodes d'écoulement (humide et sèche) selon l'indice de variabilité et enfin on procèdera à analyser leurs concentrations annuelles.

I. VARIATION TEMPORELLE DES DEBITS ET DES LAMES D'EAU ECOULEES

I.1. OUED MOUILAH

I.1.1. STATION PONT RN7/A

Variation annuelle : L'évolution des écoulements moyens annuels dans la station PONT RN7/A présente une irrégularité prononcée ($Cv=0,67$). Les débits varient entre $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ et $1,68 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau écoulee varie entre 2 mm et 28 mm avec une moyenne de 10 mm (figure III.1 et tableau II.1). Les maximums se présentent en 1980/1981 et 1986/1987 et les minimums en 1992/1993. Un maximum d'écoulement secondaire a été enregistré en 1994/1995 et 2008/2009 avec $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ induisant une lame d'eau de 22 mm.

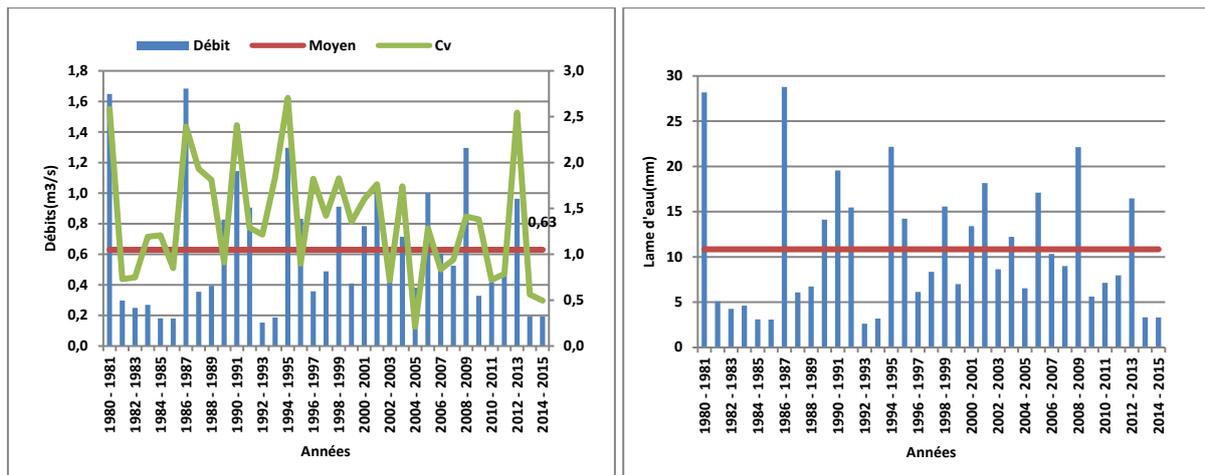


Figure III.1. Variation des débits moyens annuels à la station PONT RN7/A.

La figure III.1 traduit bien une très forte irrégularité de la variation d'écoulement d'une année à une autre avec des valeurs élevées du Cv. Tandis que la plus grande valeur a été enregistrée en 1994/1995 avec 2,71, et la plus petite en 2004/2005 avec 0,21 (c'est la seule valeur qui est inférieure à 0,3, seuil d'une irrégularité modérée [10]).

Tableau III.1. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station PONT RN7/A

	max	min	moy	Cv	Coef, irrégularité
Pour les débits	1,68	0,15	0,63	0,67	10,96
Pour les lames d'eau	28	2	10		

Variation saisonnière : Les écoulements moyens saisonniers varient entre 0,26 m³/s et 1m³/s avec une moyenne de 0,63 m³/s et la lame d'eau écoulée varie entre 1,1 mm et 4,3 mm avec une moyenne de 2,7 mm. Le maximum se présente en automne et le minimum en été (figure III.2).

Les valeurs du coefficient de variation varient entre 0,83 et 1,68 avec un maximum en hiver et un minimum en été, ceci signifie une forte variabilité d'écoulement à l'échelle saisonnière.

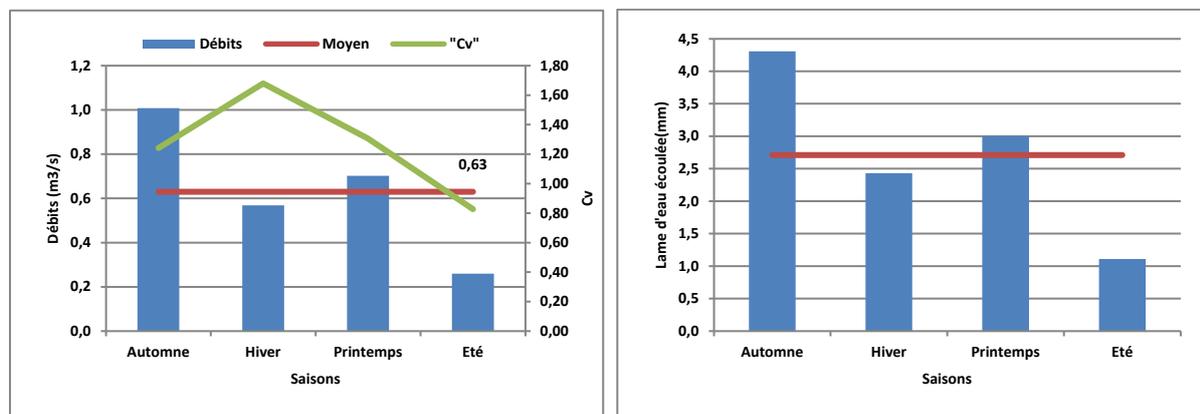


Figure III.2. Variation des débits moyens saisonniers à la station PONT RN7/A.

Variation mensuelle : Les écoulements moyens mensuels de la station PONT RN7/A varient entre 0,21 m³/s et 1,32 m³/s avec une moyenne de 0,63 m³/s correspondant respectivement à des lames d'eau écoulée de 0,3 mm, 1,8 mm et 0,9 mm (figure III.3). La période d'écoulement importante se présente au mois de novembre (1,32 m³/s) et le mois de mars (1,26 m³/s) de chaque année et le minimum en juillet avec 0,2 m³/s.

Les mois qui connaissent un écoulement au-dessus de la moyenne sont les mois entre septembre et décembre et le mois de mars. Les coefficients de variation varient entre 0,83 et 3,25 avec un maximum en décembre et un minimum en février, ceci montre l'irrégularité des écoulements à l'échelle mensuelle pendant la période d'observation.

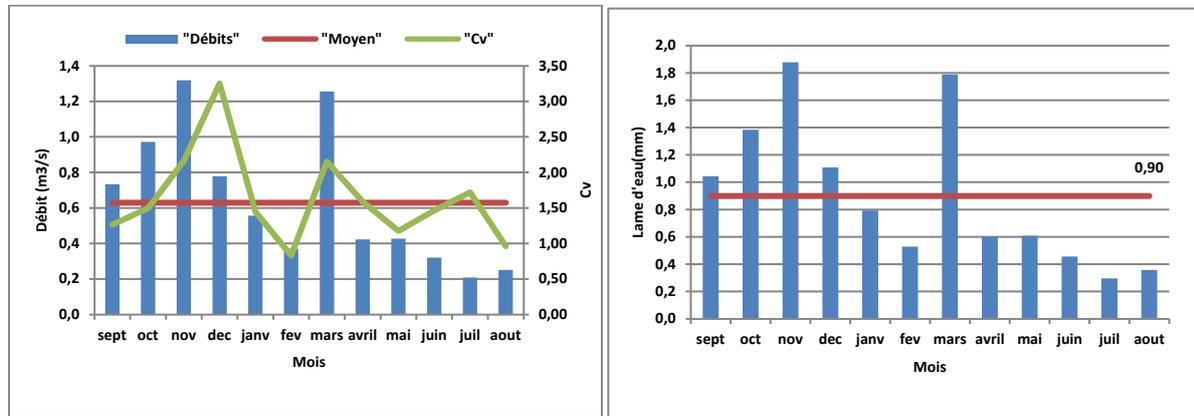


Figure III.3. Variation des débits moyens mensuels à la station PONT RN7/A.

I.1.2. STATION LEGFAF

Variation annuelle : L'évolution des écoulements moyens annuels de la station Legfaf présente une irrégularité prononcée ($Cv=0,62$). Le débit varie entre $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0,77 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau écoulee varie entre $2,9 \text{ mm}$ et $33,1 \text{ mm}$ avec une moyenne de $16,2 \text{ mm}$. La valeur maximale se présente en 2014/2015 et la minimale en 2004/2005. On peut dire que l'écoulement moyen annuel augmente progressivement pendant la période d'étude.

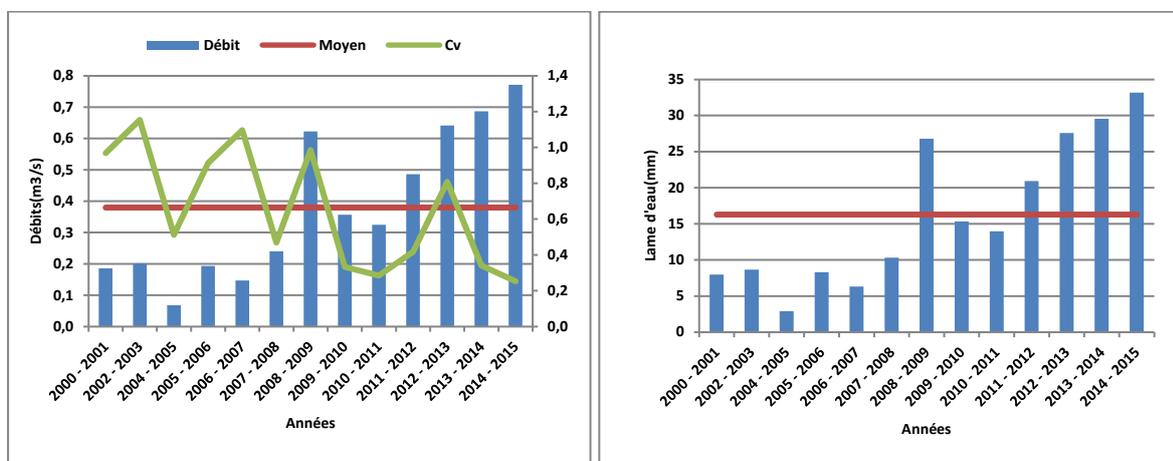


Figure III.4. Variation de débit et de la lame d'eau écoulee moyens annuels à la station Legfaf.

La figure III.4 traduit bien une très forte irrégularité de l'évolution de l'écoulement d'une année à l'autre. Les valeurs du Cv ont diminué pendant la période d'étude mais elles restent toujours élevées. Les plus petites valeurs ont été enregistrées en 2010/2011 et 2014/2015 avec $Cv = 0,28$ et $0,25$ respectivement, et la plus grande valeur de Cv en 2002/2003 avec $1,15$.

Tableau III.2. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Legfaf

	max	min	moy	Cv	Coef, irrégularité
Pour les débits	0,77	0,07	0,38	0,62	11,37
Pour les lames d'eau	33,1	2,9	16,2		

Variation saisonnière : Le débit moyen saisonnier dans la station Legfaf varie entre $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0,51 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$. Les lames d'eau écoulée correspondantes sont de $2,4 \text{ mm}$, $5,4 \text{ mm}$ et 4 mm . L'hiver est la saison principale d'écoulement. Le plus faible écoulement a été enregistré en été. Les valeurs du coefficient de variation sont comprises entre $0,67$ et $0,80$ avec le maximum en hiver et le minimum en automne, ceci signifie une forte variabilité d'écoulement moyen à l'échelle saisonnière (figure III.5).

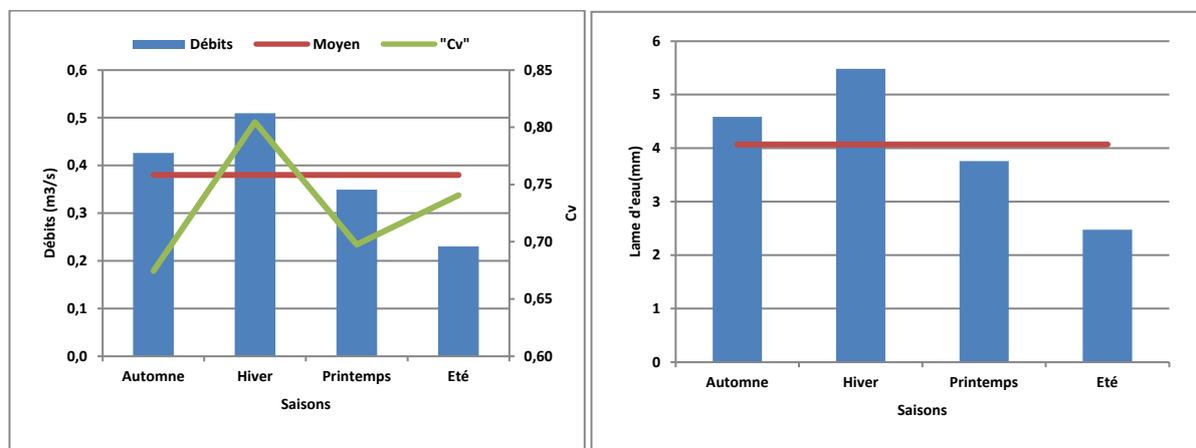


Figure III.5. Variation des débits moyens saisonniers à la station Legfaf.

Variation mensuelle : Le débit moyen mensuel dans la station Legfaf varie entre $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0,57 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau écoulée varie entre $0,67 \text{ mm}$ et $2,05 \text{ mm}$ avec une moyenne de $1,36 \text{ mm}$ (figure III.6). Le maximum était atteint en janvier et le minimum en juillet. Les mois qui ont enregistré un écoulement au-dessus de la moyenne se situent entre octobre et février. Le Cv varie entre $0,61$ et $1,06$ avec un maximum en novembre et un minimum en octobre, ceci montre l'irrégularité de l'écoulement à l'échelle mensuelle pendant la période d'observation.

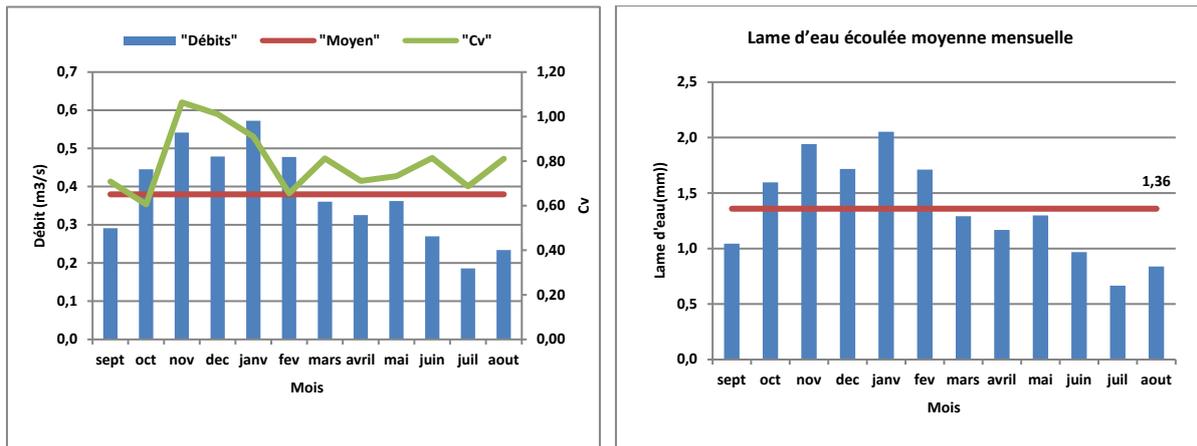


Figure III.6. Variation des débits moyens mensuels à la station Legfaf.

I.2. LA HAUT TAFNA

I.2.1. STATION VILLAGE TAFNA

Variation annuelle : L'évolution des écoulements moyens annuels de la station Village Tafna présente une irrégularité prononcée ($Cv=1,21$). Le débit varie entre $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ et $1,42 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,26 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau varie entre $0,2 \text{ mm}$ et $34,9 \text{ mm}$ avec une moyenne de $6,4 \text{ mm}$. Le maximum est enregistré en 1995/1996 et le minimum en 1999/2000. La période 1987/1994 a connu une augmentation des écoulements, puis une diminution rapide jusqu'en 1998/1999. A partir de 1999/2000, on observe un écoulement faible (en dessous de la moyenne).

La figure III.7 traduit bien la très forte irrégularité de la variation d'écoulement d'une année à l'autre avec des valeurs élevées du Cv qui sont toujours supérieures à $0,80$.

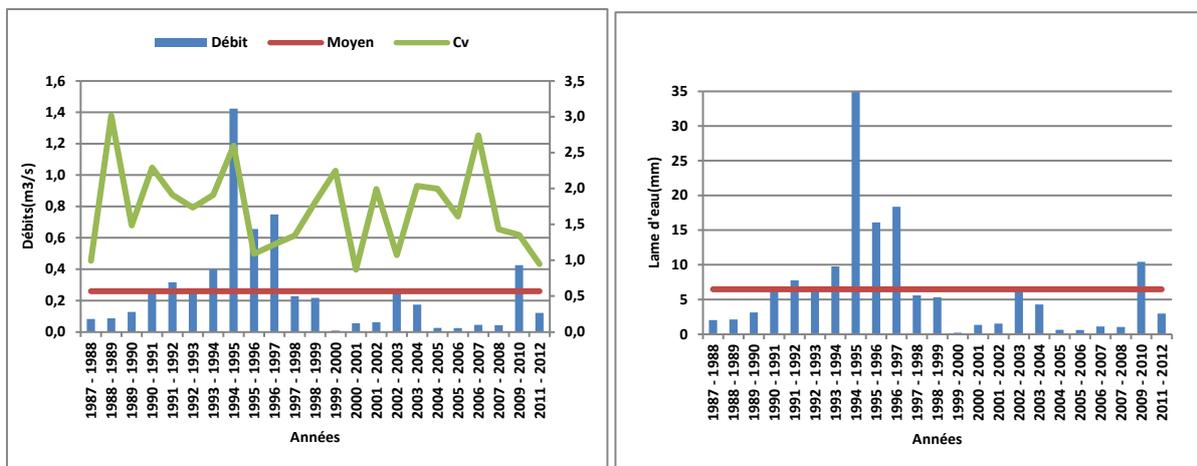


Figure III.7. Variation des débits moyens annuels à la station Village Tafna.

Tableau III.3. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Village Tafna

	max	min	moy	Cv	Coef, irrégularité
Pour les débits	1,42	0,01	0,26	1,21	173,84
Pour les lames d'eau	34,9	0,2	6,4		

Variation saisonnière : Le débit moyen saisonnier dans la station Village Tafna varie entre 0,05 m³/s et 0,58 m³/s avec une moyenne de 0,26 m³/s et la lame d'eau écoulée varie entre 0,3 mm et 3,5 mm avec une moyenne de 1,6 mm (figure III.8). Le printemps est la saison principale d'écoulement et l'été c'est le plus sec. Le résultat de calcul de Cv donne des valeurs comprises entre 1,21 et 2,82 avec un maximum en été et un minimum en hiver, ceci signifie une forte variabilité d'écoulement moyen à l'échelle saisonnière.

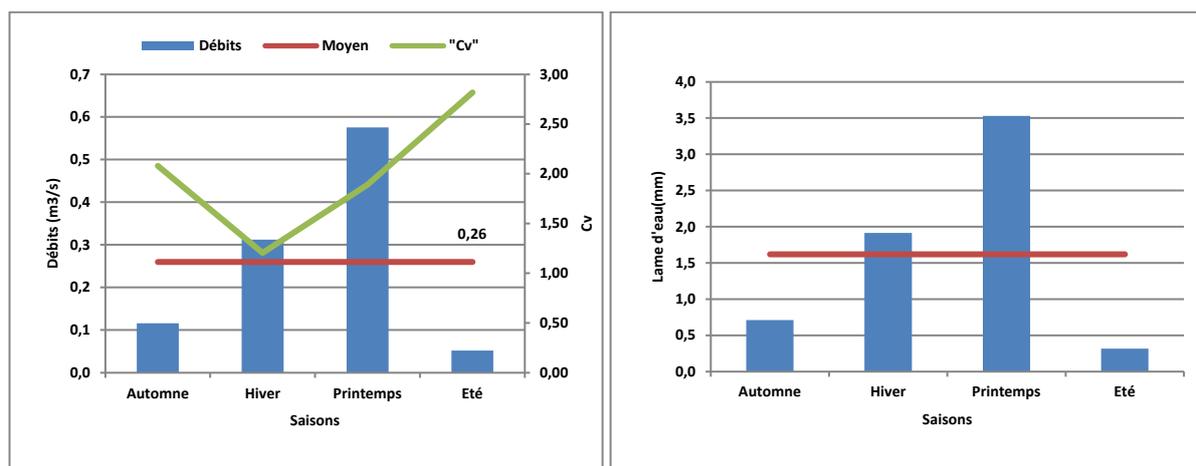


Figure III.8. Variation des débits moyens saisonniers à la station Village Tafna.

Variation mensuelle : Le débit moyen mensuel dans la station Village Tafna varie entre 0,01 m³/s et 1,09 m³/s avec une moyenne de 0,26 m³/s et la lame d'eau écoulée varie entre 0,02 mm et 2,2 mm avec une moyenne de 0,5 mm (figure III.9). Le maximum était atteint en mars et le minimum en aout. Les mois qui ont connu un écoulement au-dessus de la moyenne sont les mois entre janvier et mai. L'écoulement présente une augmentation pendant la période d'octobre jusqu'à mars, puis une diminution durant les mois restants. Le Cv varie entre 1,24 et 4,11 avec un maximum en septembre et un minimum en novembre, ceci montre l'irrégularité de l'écoulement à l'échelle mensuelle pendant la période d'observation.

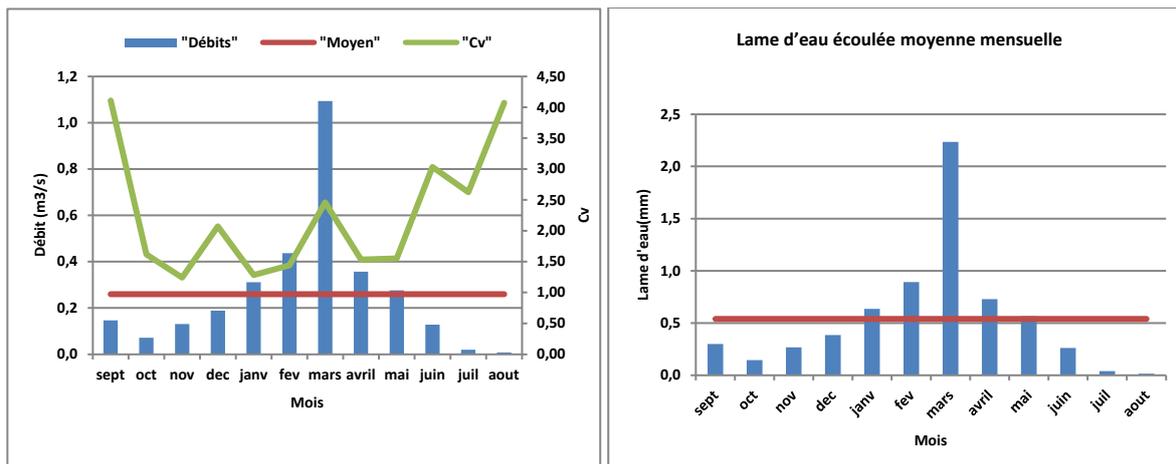


Figure III.9. Variation des débits moyens mensuels à la station Village Tafna.

I.2.2. STATION BENI BAHDEL

Variation annuelle : L'évolution des écoulements moyens annuels de la station Beni Bahdel présente une irrégularité prononcée ($Cv=0,7$). Le débit varie entre $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ et $2,51 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,80 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau varie entre $15,4 \text{ mm}$ et $129,9 \text{ mm}$ avec une moyenne de $41,5 \text{ mm}$. Le maximum se présente en 2008/2009 et le minimum en 2004/2005. Un maximum d'écoulement secondaire a été enregistré en 2012/2013 avec $2,37 \text{ m}^3/\text{s}$ ($122,9 \text{ mm}$).

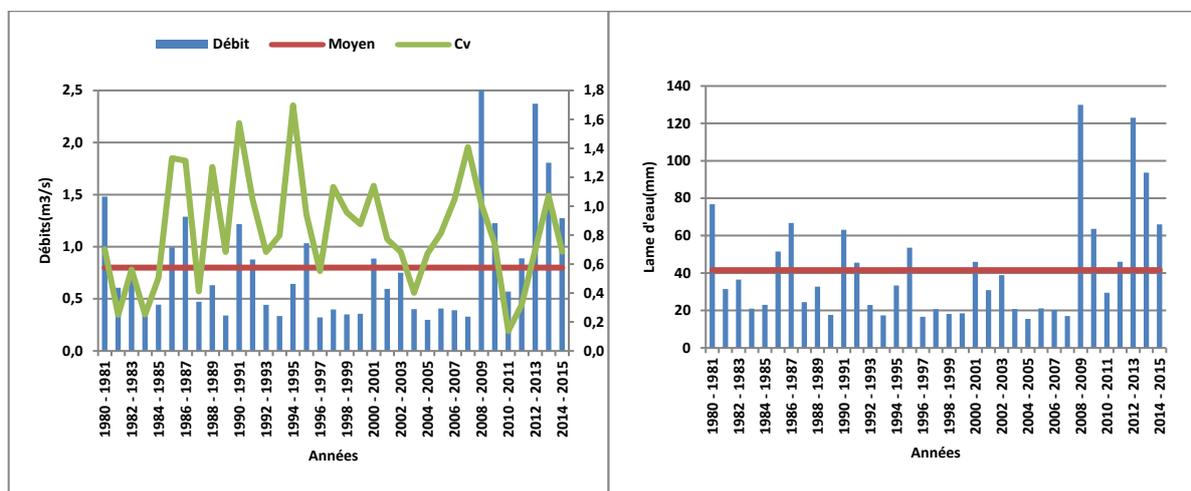


Figure III.10. Variation des débits moyens annuels à la station Beni Bahdel.

Tableau III.4. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulee annuels à la station Beni Bahdel ;

	max	min	moy	Cv	Coef, irrégularité
Pour les débits	2,51	0,30	0,80	0,7	8,39
Pour les lames d'eau	129,9	15,4	41,5		

La figure III.10 traduit bien une très forte irrégularité de la variation d'écoulement d'une année à l'autre avec des valeurs élevées du Cv. Tandis que la plus grande valeur 1,7 en 1994/1995, les seules valeurs inférieures à 0,3 (variabilité moyenne) ont été enregistrées en 1981/1982, 1983/1984 et 2010/2011.

Variation saisonnière : Le débit moyen saisonnier dans la station Beni Bahdel varie entre $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$ et $1,16 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau écoulée varie entre 4.9 mm et 15,1mm avec une moyenne de 10,3 mm (figure III.11). L'hiver et le printemps sont les saisons principales d'écoulement et l'été est le plus sec. Le résultat de calcul de Cv donne des valeurs comprises entre 0,71 et 1,11 avec un maximum en hiver et minimum en été et en automne, L'écoulement moyen à l'échelle saisonnière a eu une forte variabilité.

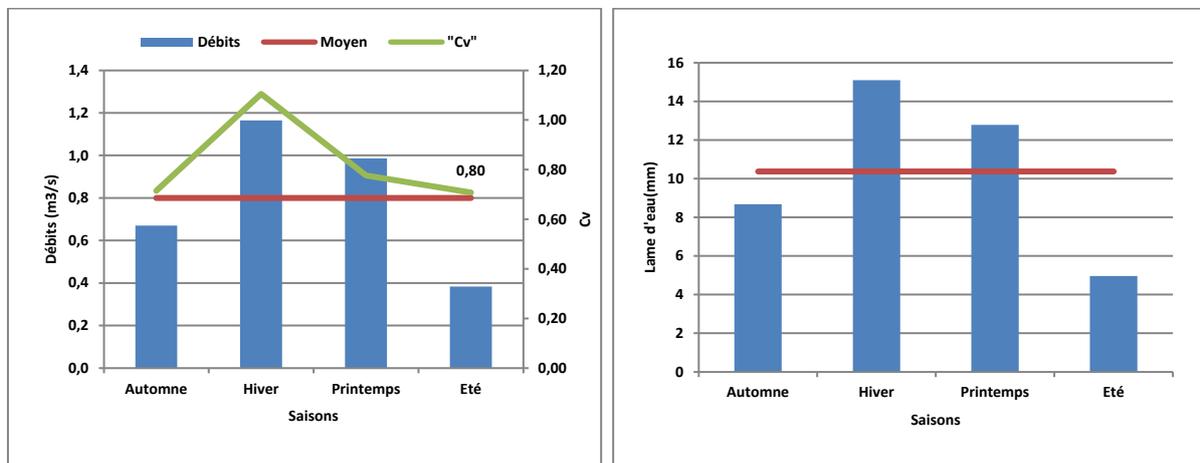


Figure III.11. Variation des débits moyens saisonniers à la station Beni Bahdel.

Variation mensuelle : Le débit moyen mensuel dans la station Beni Bahdel varie entre $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ et $1,51 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,80 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau écoulée varie entre 1,4 mm et 6,5 avec une moyenne de 3.6 mm (figure III.12). Le maximum et le minimum sont respectivement atteints en février et juillet. Les mois qui ont connu un écoulement au-dessus de la moyenne sont les mois entre janvier et mars. L'écoulement présente une augmentation pendant la période de septembre jusqu'à février, puis une diminution durant les mois restants. Le Cv varie entre 0,69 et 1,39 avec un maximum en novembre et un minimum en juillet, ceci montre l'irrégularité d'écoulement à l'échelle mensuelle pendant la période d'observation.

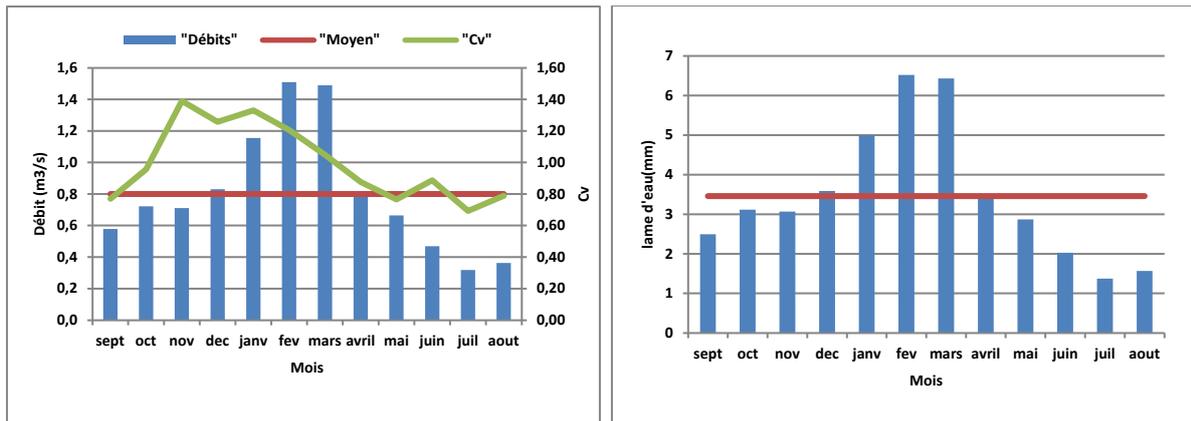


Figure III.12. Variation des débits moyens mensuels à la station Beni Bahdel.

I.2.3. STATION ZAHRA

Variation annuelle : L'évolution des écoulements moyens annuels de la station Zahra présente une irrégularité prononcée ($Cv=0,86$). Le débit varie entre $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ et $2,04 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau varie entre $5,6 \text{ mm}$ et $184,3 \text{ mm}$ avec une moyenne de $50,2 \text{ mm}$. Le maximum se présente en 2012/2013 et le minimum en 2007/2008, un maximum d'écoulement secondaire a été enregistré en 2008/2009 avec $1,89 \text{ m}^3/\text{s}$ ($170,6 \text{ mm}$).

La figure III.13 traduit bien une très forte irrégularité de l'écoulement d'une année à l'autre avec des valeurs élevées du Cv. La plus grande valeur coefficient de variation est de 2,82 en 1994/1995. La plus petite valeur du Cv a été enregistrée durant l'année 1981-1985 avec 0,3.

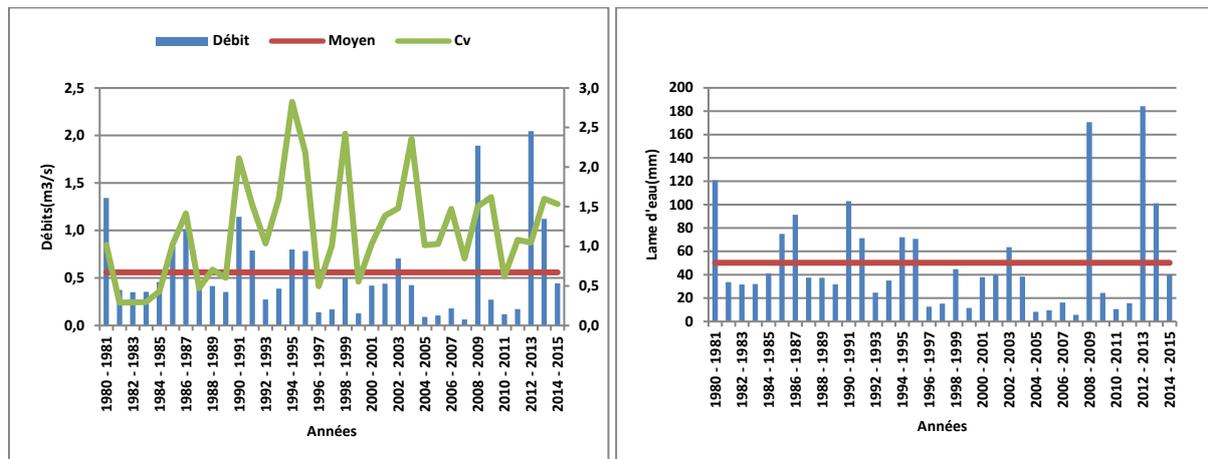


Figure III.13. Variation des débits moyens annuels à la station Zahra.

Tableau III.5. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Zahra ;

	max	min	moy	Cv	Coef, irrégularité
Pour les débits	2,04	0,06	0,56	0,86	32,44
Pour les lames d'eau	184,3	5,6	50,2		

Variation saisonnière : Le débit moyen saisonnier dans la station Zahra varie entre 0,13 m³/s et 0,93 m³/s avec une moyenne de 0,56 m³/s et la lame d'eau écoulée varie entre 2,8 mm et 20 mm avec une moyenne de 12,6 mm. L'hiver et le printemps sont les saisons principales d'écoulement et l'été c'est le plus sec. Le résultat de calcul de Cv donne des valeurs comprises entre 0,9 et 1,39 avec un maximum en hiver et minimum en été, ceci signifie une forte variabilité d'écoulement moyen à l'échelle saisonnière.

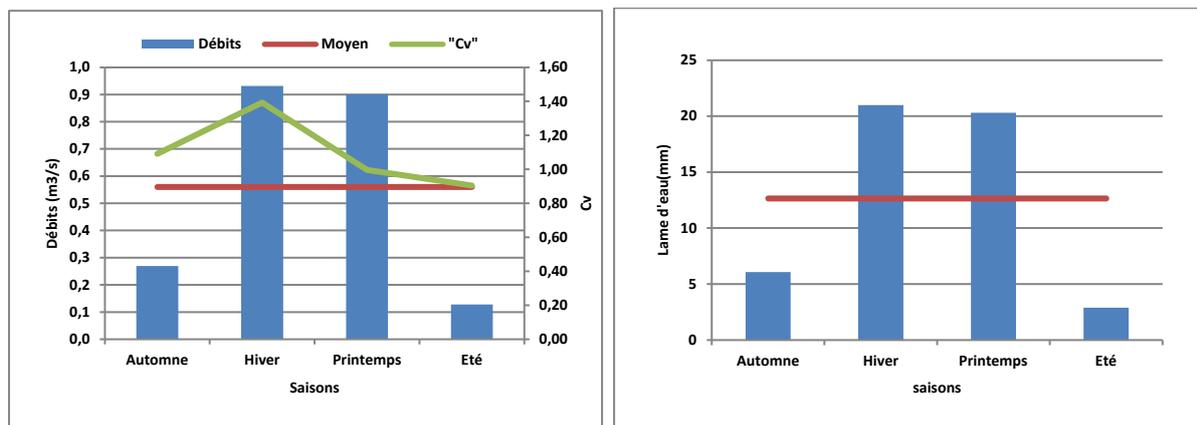


Figure III.14. Variation des débits moyens saisonniers à la station Zahra.

Variation mensuelle : Le débit moyen mensuel dans la station Zahra varie entre 0,14 m³/s et 1,69 m³/s avec une moyenne de 0,56 m³/s et la lame d'eau écoulée varie entre 0,7 mm et 12.7 mm avec une moyenne de 4,1 mm. Le maximum était atteint en mars et le minimum en aout. Les mois qui ont connu un écoulement au-dessus de la moyenne sont les mois entre janvier et avril. L'écoulement présente une augmentation pendant la période de septembre jusqu'à mars, puis une diminution durant les mois restants. Le Cv varie entre 0,73 et 1,8 avec un maximum en janvier et un minimum en septembre, ceci montre l'irrégularité d'écoulement à l'échelle mensuelle pendant la période d'observation (figure III.15).

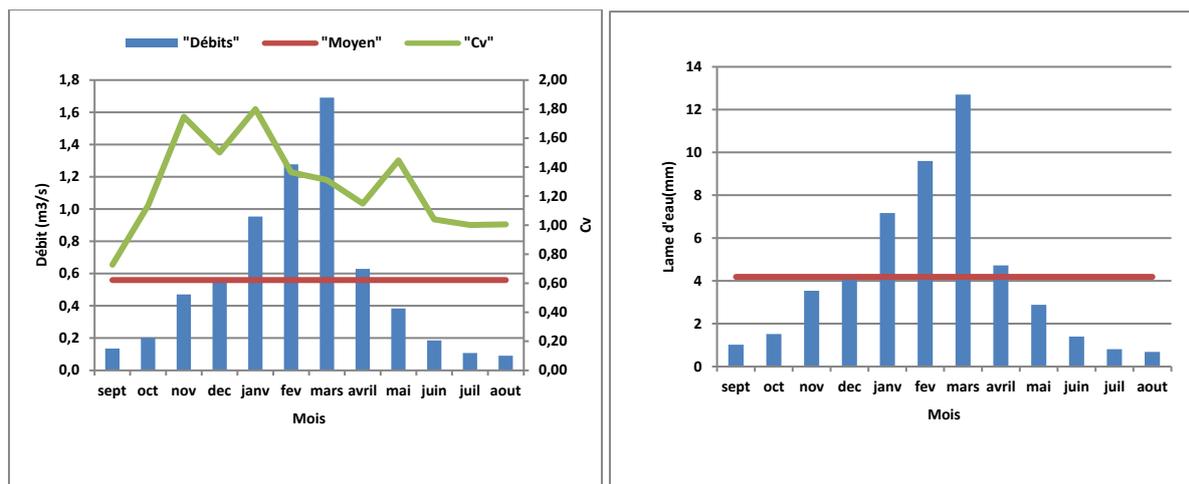


Figure III.15. Variation des débits moyens mensuels à la station Zahra.

I.2.4. COMPARAISON ENTRE LES STATIONS DE CONTROLE DU BASSIN VERSANT DE LA HAUT TAFNA

Dans cette partie on va comparer les débits observés à la station Village Tafna (à l’amont du barrage Boughrara) avec la somme des débits observés aux stations Zahra et Beni Bahdel (à l’amont du barrage Beni Bahdel) pendant la période 1987/2012.

Les débits enregistrés à la station Village Tafna (amont de Barrage Boughrara) suivent la même évolution que celle des débits enregistrés à l’amont de barrage Beni Bahdel (station Zahra et Beni Bahdel) aux différentes échelles de temps ; annuelle, saisonnière et mensuelle. Le décalage entre les deux courbes représente des pertes importantes d’écoulement qui sont estimés par en moyenne à 70%. Ces pertes sont dues principalement à l’exploitation du barrage Beni Bahdel pour l’irrigation et l’alimentation en eau potable (AEP) (Figures III.16, III.17 et III.18).

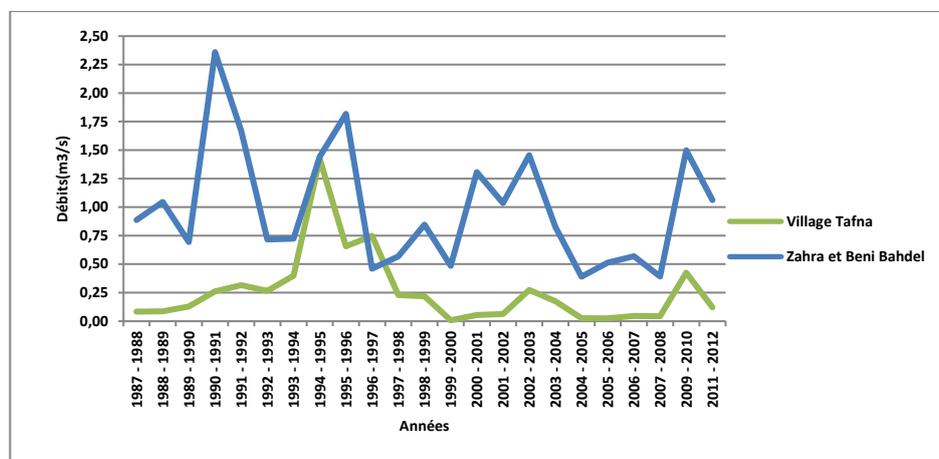


Figure III.16. Variation des débits moyens annuels dans le bassin versant de la Haut Tafna.

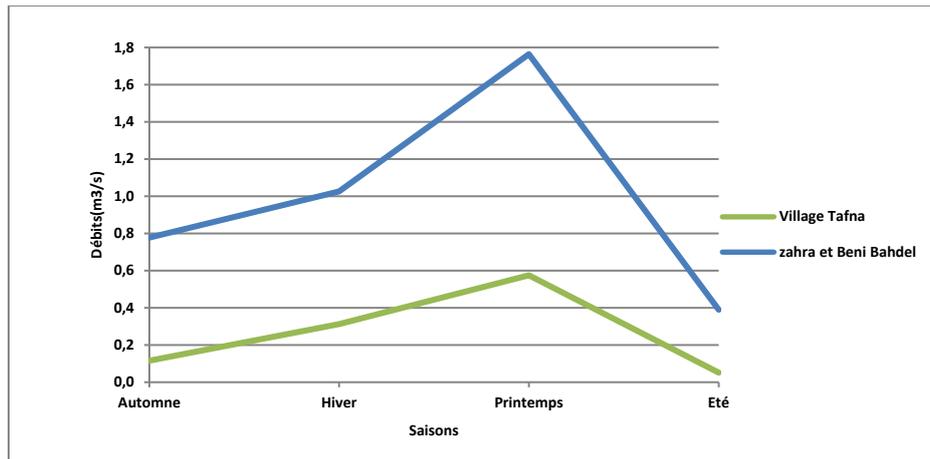


Figure III.17. Variation des débits moyens saisonniers dans le bassin versant de la Haut Tafna.

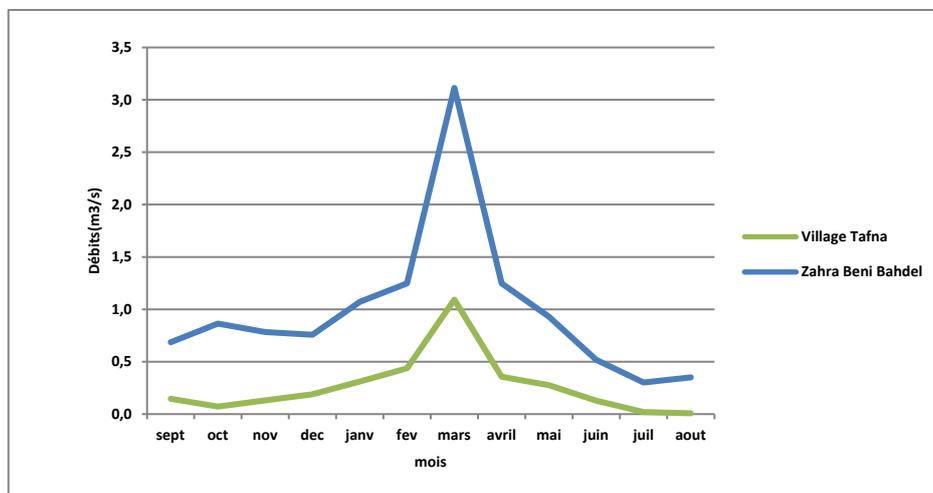


Figure III.18. Variation des débits moyens mensuels dans le bassin versant de la Haut Tafna.

I.3. OUED SIKKAK

I.3.1. STATION MEFFROUCHE

Variation annuelle : L'évolution d'écoulements moyens annuels de la station Meffrouche présente une irrégularité prononcée ($C_v=1,27$). Le débit varie entre $0 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0,41 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau varie entre 0 mm et $10,3 \text{ mm}$ avec une moyenne de $2,1 \text{ mm}$ (tableau III.6). Le maximum se présente en 2012/2013 et le minimum en plusieurs années comprises entre 1996 et 2007. Un maximum d'écoulement secondaire a été enregistré en 2008/2009 avec $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ et $10,3 \text{ mm}$.

La figure III.19 traduit bien une très forte irrégularité d'écoulement d'une année à l'autre. Les valeurs du C_v ont diminué pendant la période d'étude mais elles restent toujours élevées. Les

valeurs, les plus petites ont été enregistrées en 2012/2013 avec un Cv de 1,54, et la plus grande valeur en 1998/1999 avec Cv=3,5.

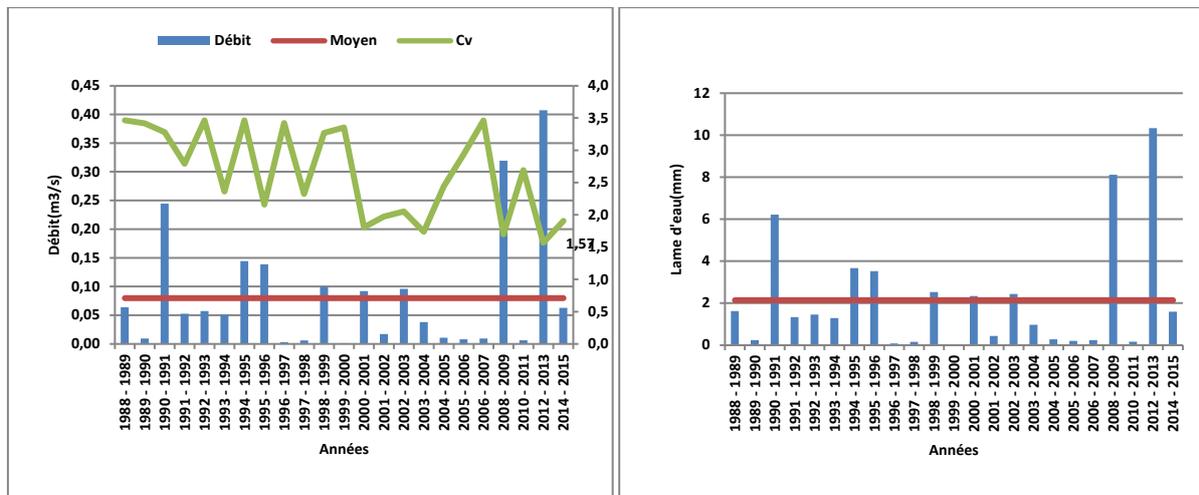


Figure III.19. Variation des débits moyens annuels à la station Meffrouche.

Tableau III.6. Valeurs caractéristiques de débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Meffrouche ;

	max	min	moy	Cv	Coef, irrégularité
Pour les débits	0,41	0,00	0,08	1,27	328,68
Pour les lames d'eau	10,3	0,03	2,1		

Variation saisonnière : On observe un écoulement en hiver et au printemps (supérieur à 0,14 m³/s pour le débit et supérieur à 0,9 mm pour la lame d'eau). La valeur maximale se présente au printemps où les moyennes sont de 0,08 m³/s et 0,5 mm (figure III.20).

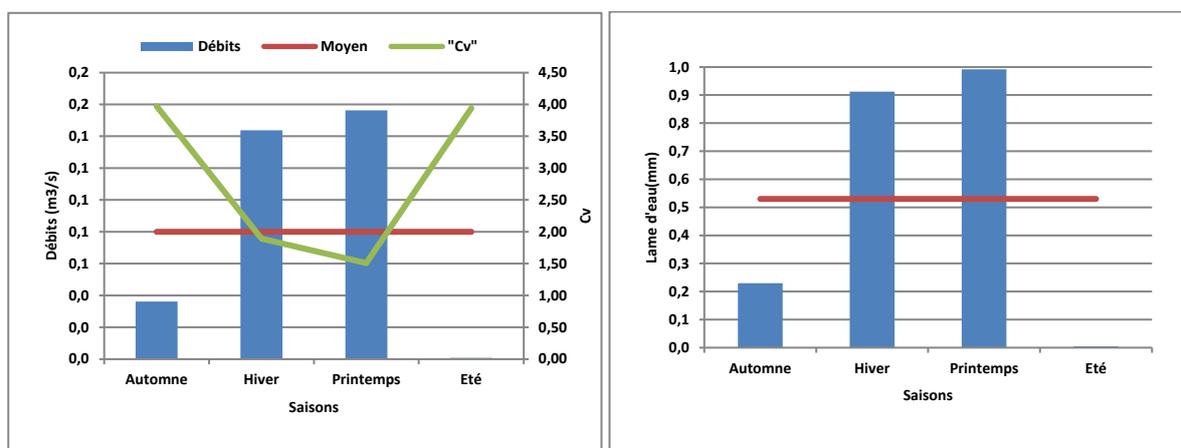


Figure III.20. Variation des débits moyens saisonniers à la station Meffrouche.

En automne, l'écoulement est très faible, et en été, il n'y a pas d'écoulement. Les valeurs du coefficient de variation sont comprises entre 1,51 et 3,97 avec le maximum en automne et le minimum au printemps. Ces valeurs traduisent la très forte variabilité de l'écoulement à l'échelle saisonnière.

Variation mensuelle : Les valeurs maximales du débit et de la lame d'eau écoulée moyenne mensuelle dans la station de Meffrouche ont été atteintes au mois de mars avec 0,36 m³/s et 0,7 mm respectivement. Des valeurs nulles ont été enregistrées en septembre, octobre et les mois d'été. Le reste des mois présente un écoulement faible (inférieur à 0,19 m³/s). Le Cv varie entre 1,5 et 4,7 avec un maximum en septembre et un minimum en février. L'irrégularité mensuelle des écoulements est très prononcée.

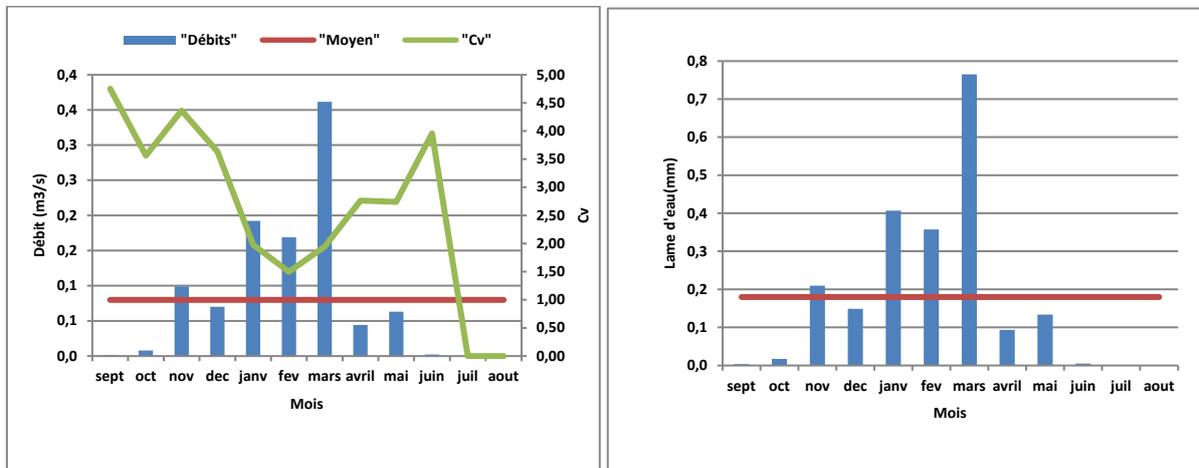


Figure III.21. La variation des débits moyens mensuels à la station Meffrouche.

I.3.2. STATION AIN YUCEF

Variation annuelle : L'évolution des écoulements moyens annuels de la station Ain Youcef présente une irrégularité prononcée (Cv=0,46). Le débit varie entre 0,15 m³/s et 0,69 m³/s avec une moyenne de 0,33 m³/s et la lame d'eau varie entre 14,5 mm et 67,2 mm avec une moyenne de 32,4 mm. On enregistre le maximum annuel en 1980/1981 et le minimum en 1993/1994. Un maximum d'écoulement secondaire a été enregistré en 1996/1997 avec 0,63 m³/s correspondant à 61,1 mm (tableau III.7).

La figure III.22 traduit bien la très forte irrégularité de l'écoulement d'une année à l'autre avec des valeurs élevées du Cv. Tandis que la plus grande valeur a été enregistrée en 1994/1995 avec 2,5, la plus petite est en 1991/1992 avec 0,66.

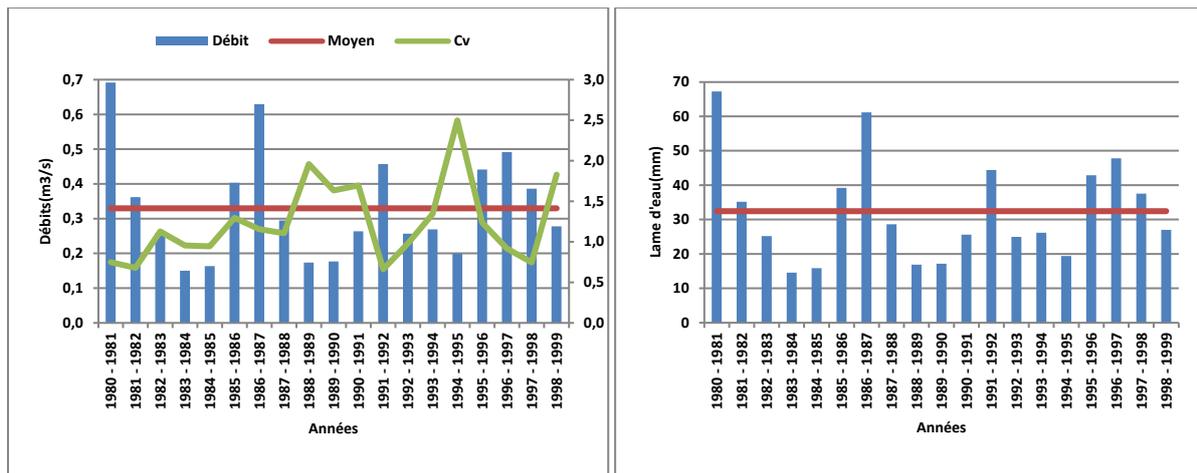


Figure III.22. Variation des débits moyens annuels à la station Ain Youcef.

Tableau III.7. Valeurs caractéristiques du débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Ain Youcef ;

	max	min	moy	Cv	Coef. irrégularité
Pour les débits	0,69	0,15	0,33	0,46	4,61
Pour les lames d'eau	67,2	14,5	32,4		

Variation saisonnière : Le débit moyen saisonnier dans la station Ain Youcef varie entre $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0,51 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$. Les lames d'eau écoulée respectives sont 1,3 mm, 14,4 mm et 8,1 mm. L'hiver et le printemps sont les saisons principales d'écoulement et l'été est le plus sec. Le résultat de calcul de Cv donne des valeurs comprises entre 0,49 et 1,44 avec un maximum en été et un minimum au printemps, d'où la forte variabilité d'écoulement moyen à l'échelle saisonnière.

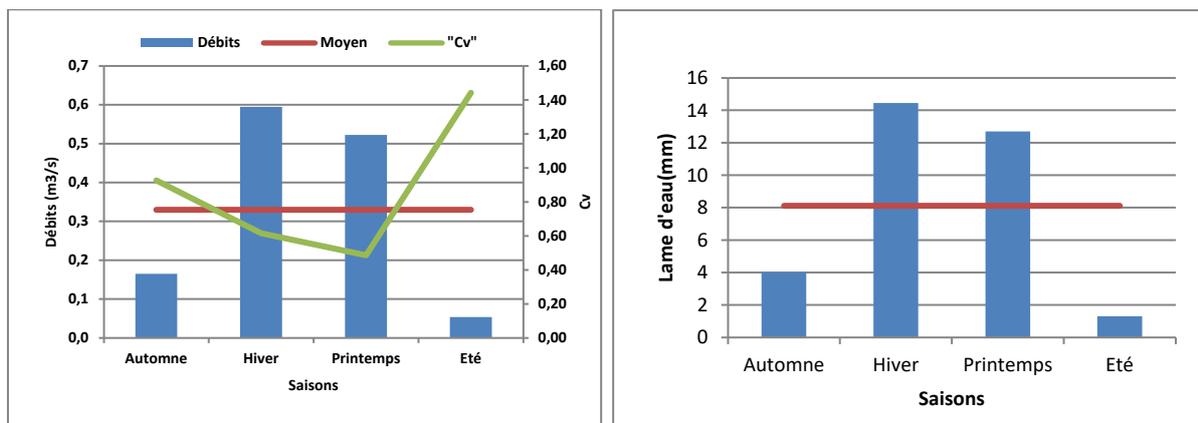


Figure III.23. Variation des débits moyens saisonniers à la station Ain Youcef.

Variation mensuelle : Le débit moyen mensuel dans la station Ain Youcef varie entre 0,06 m³/s et 0,85 m³/s avec une moyenne de 0,33 m³/s et la lame d'eau écoulée varie entre 0,12 mm et 6,9 avec une moyenne de 2,71 mm. Le maximum est atteint en mars et le minimum en aout. Les mois qui ont connu un écoulement au-dessus de la moyenne sont les mois entre décembre et avril. L'écoulement présente une augmentation pendant la période de septembre jusqu'à mars, puis une diminution durant les mois restants. Le Cv varie entre 0,61 et 2,5 avec un maximum en aout et un minimum en janvier, d'où une irrégularité dans les écoulements mensuels pendant la période d'observation.

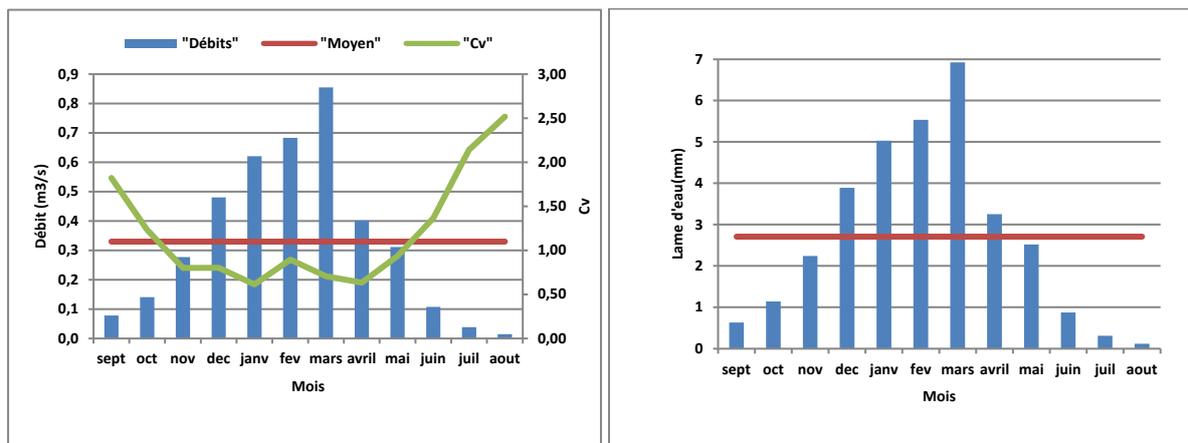


Figure III.24. Variation des débits moyens mensuels à la station Ain Youcef.

I.3.3. COMPARAISON DES STATIONS DE CONTROLE DU BASSIN VERSANT D'OUED SIKKAK

Dans cette partie, on va comparer les débits observés à la station Ain Youcef (à l'amont du barrage Sikkak) avec les débits observés à la station Meffrouche (à l'amont du barrage Meffrouche) pendant la période 1988/1999.

Les écoulements à l'exutoire (Ain Youcef) et à l'amont (Meffrouche) du bassin versant de l'Oued Sikkak suivent la même évolution au cours des mois de chaque année, une augmentation de septembre jusqu'à mars, puis une diminution durant les mois restants.

Les débits enregistrés à la station Meffrouche représente 10% des débits enregistrés à l'exutoire du bassin en hiver et 47% en printemps. L'automne et l'été sont des saisons sèches par apport à l'Oued Meffrouche (figures III.25, III.26 et III.27)

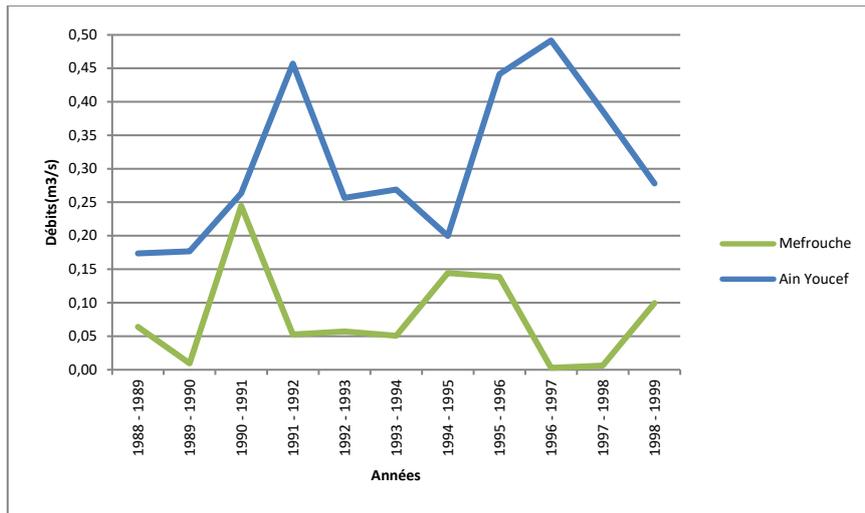


Figure III.25. Variation des débits moyens annuels dans le bassin versant de d'Oued Sikkak.

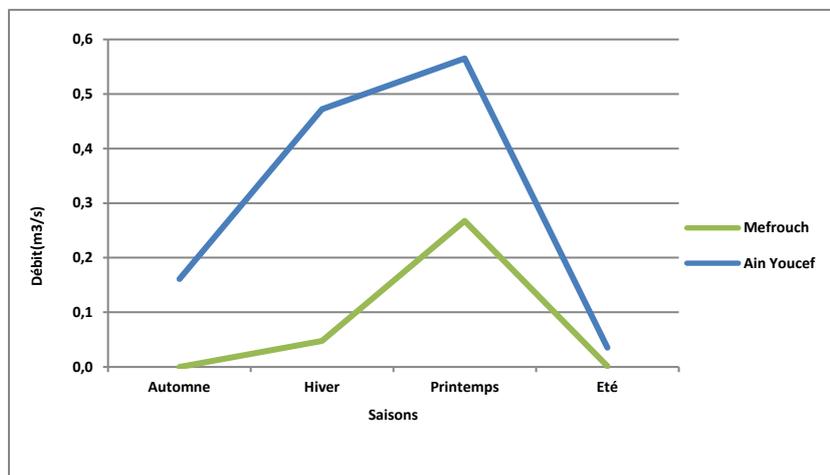


Figure III.26. Variation des débits moyens saisonniers dans le bassin versant de d'Oued Sikkak.

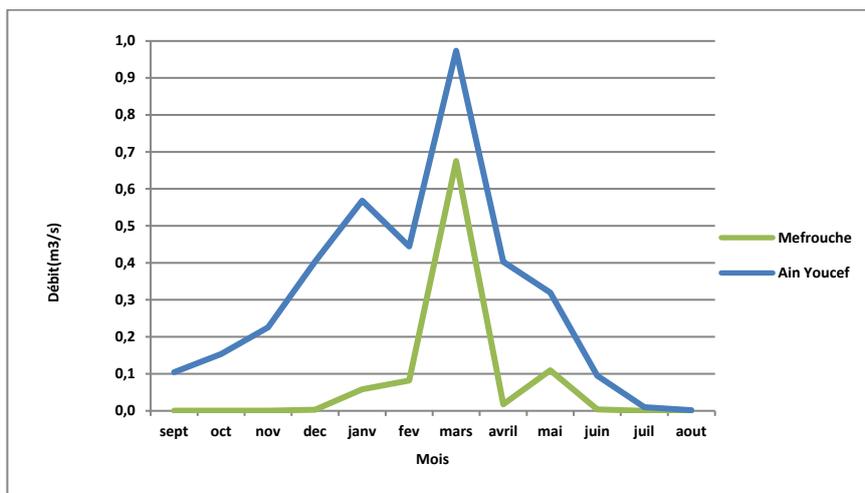


Figure III.27. Variation des débits moyens annuels dans le bassin versant de d'Oued Sikkak.

I.4. OUED ISSER

I.4.1. STATION CHOULY PONT RN7

Variation annuelle : L'évolution des écoulements moyens annuels de la station Chouly Pont RN7 présente une irrégularité prononcée ($C_v=1,11$). Le débit varie entre $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ et $1,02 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,22 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau varie entre $6,5 \text{ mm}$ et $186,9 \text{ mm}$ avec une moyenne de $39,9 \text{ mm}$ (Tableau III.8). Le maximum se présente en 2008/2009 et le minimum en 2007/2008. Un maximum d'écoulement secondaire a été enregistré en 2012/2013 avec $0,98 \text{ m}^3/\text{s}$ et $179,3 \text{ mm}$.

La figure III.28 traduit bien une très forte irrégularité de l'écoulement d'une année à l'autre avec des valeurs élevées du C_v . Tandis que la plus grande valeur a été enregistrée en 1990/1991 avec $3,03$, et la plus petite en 2007/2008 avec $0,17$ (c'est la seule valeur qui est inférieure à $0,3$ seuil d'une irrégularité modérée).

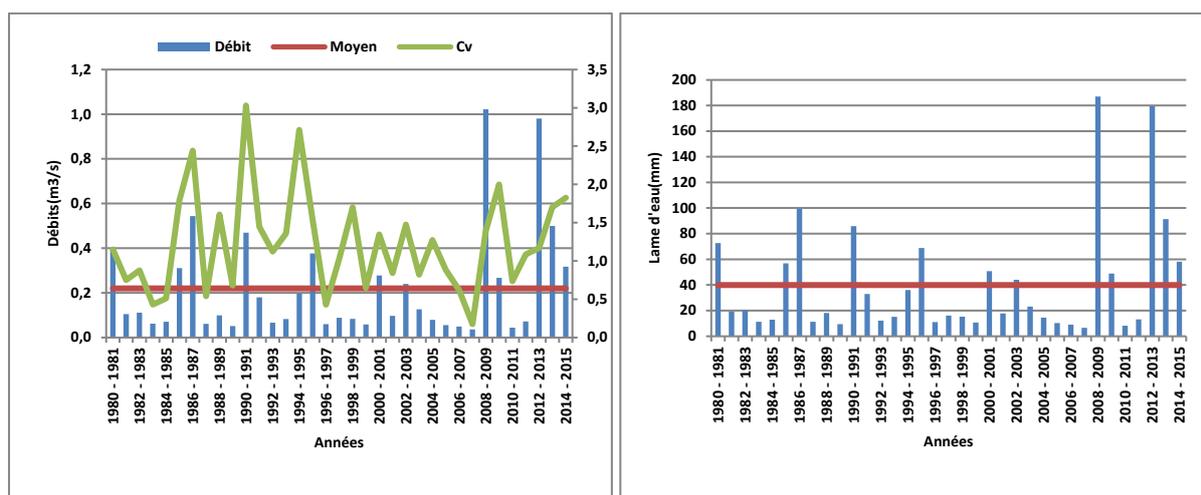


Figure III.28. Variation des débits moyens annuels à la station Chouly Point RN7.

Tableau III.8. Valeurs caractéristiques du débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Chouly

Point RN7 ;

	max	min	moy	C_v	Coef irrégularité
Pour les débits	1,02	0,04	0,22	1,11	28,53
Pour les lames d'eau	186,9	6,5	39,9		

Variation saisonnière : Le débit moyen saisonnier dans la station Chouly Pont RN7 varie entre $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0,41 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,22 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau écoulée varie

entre 2 mm et 18,6 mm avec une moyenne de 10 mm. L'hiver et le printemps sont les saisons principales d'écoulement et l'été est le plus sec. Le résultat de calcul de Cv donne des valeurs comprises entre 0,56 et 2,11 avec un maximum en automne et minimum en été, ceci signifie une forte variabilité d'écoulement moyen à l'échelle saisonnière.

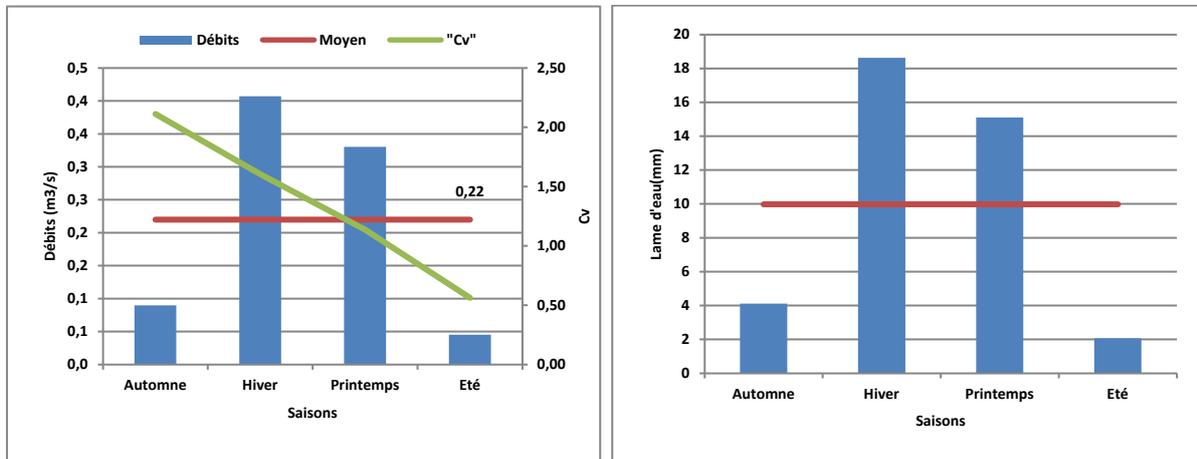


Figure III.29. Variation des débits moyens saisonniers à la station Chouly Point RN7.

Variation mensuelle : Le débit moyen mensuel dans la station Chouly Pont RN7 varie entre 0,03 m³/s et 0,68 m³/s avec une moyenne de 0,22 m³/s et la lame d'eau écoulée varie entre 0,51 mm et 10,3 avec une moyenne de 3,3 mm. Le maximum était atteint en mars et février, et le minimum en aout. Les mois qui ont connu un écoulement au-dessus de la moyenne sont les mois entre janvier et mars. L'écoulement présente une augmentation pendant la période de septembre jusqu'à mars, puis une diminution durant les mois restants. Le Cv varie entre 0,61 et 3,37 avec un maximum en novembre et un minimum en aout, ceci montre l'irrégularité d'écoulement à l'échelle mensuelle pendant la période d'observation (figure III.3).

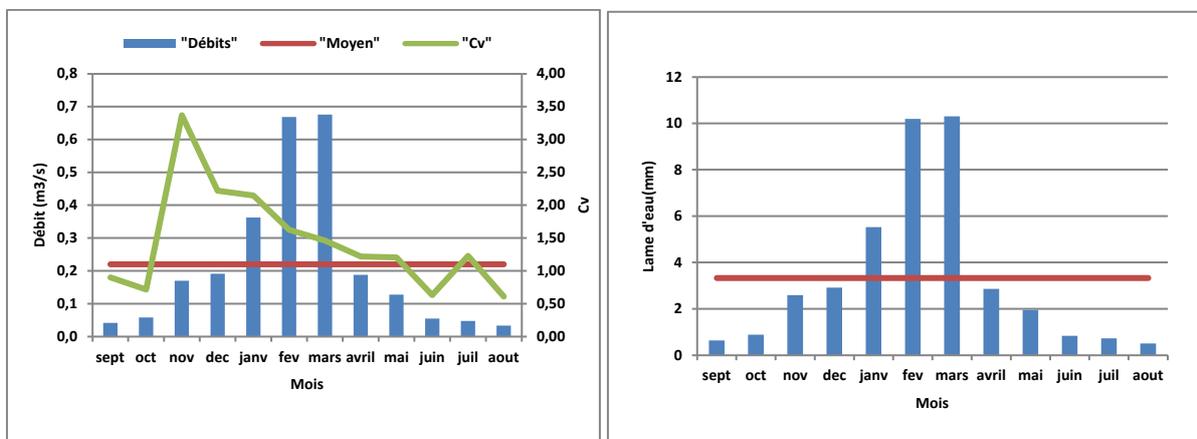


Figure III.30. Variation des débits moyens mensuels à la station Chouly pont RN7.

I.4.2. STATION SIDI AISSA

Variation annuelle : L'évolution des écoulements moyens annuels de la station Sidi Aissa présente une irrégularité prononcée ($C_v=1,28$). Le débit varie entre $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ et $3,38 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,62 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau varie entre $1,4 \text{ mm}$ et $121,4 \text{ mm}$ avec une moyenne de $22,1 \text{ mm}$, les maximums se présentent en 2008/2009 et les minimums en 2006/2007. Un maximum d'écoulement secondaire a été enregistré en 2009/2010 avec $2,24 \text{ m}^3/\text{s}$ et $80,3 \text{ mm}$ (tableau III.9).

La figure III.31 traduit bien une très forte irrégularité de la variation d'écoulement d'une année à l'autre avec des valeurs élevées du C_v . Tandis que la plus grande valeur a été enregistrée en 1986/1987 avec 3,2, la plus petite est en 1996/1997 avec 0,8.

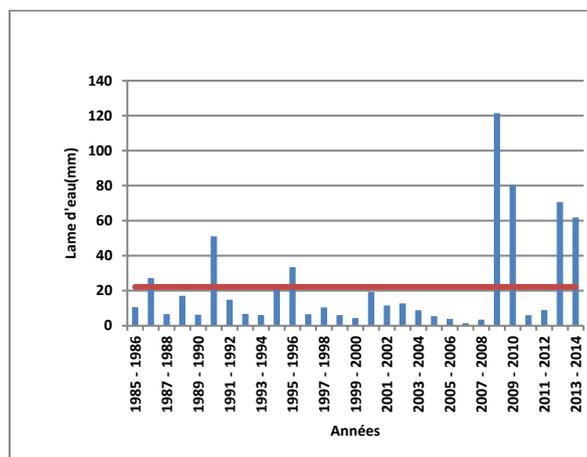


Figure III.31. Variation des débits moyens annuels à la station Sidi Aissa.

Tableau fII.9. Valeurs caractéristiques du débit et de la lame d'eau écoulée annuels à la station Sidi Aissa ;

	max	min	moy	C_v	Coef, irrégularité
Pour les débits	3,38	0,04	0,62	1,28	86,15
Pour les lames d'eau	121,4	1,4	22,1		

Variation saisonnière : Le débit moyen saisonnier à la station Sidi Aissa varie entre $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$ et $1,18 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une moyenne de $0,62 \text{ m}^3/\text{s}$ et la lame d'eau écoulée varie entre $0,7 \text{ mm}$ et $10,2 \text{ mm}$ avec une moyenne de $5,5 \text{ mm}$. L'hiver et printemps sont les saisons principales d'écoulement et l'été est le plus sec. Le résultat de calcul de C_v donne des valeurs comprises entre 1,54 et 1,92 avec un maximum en été et un minimum au printemps (figure III.32).

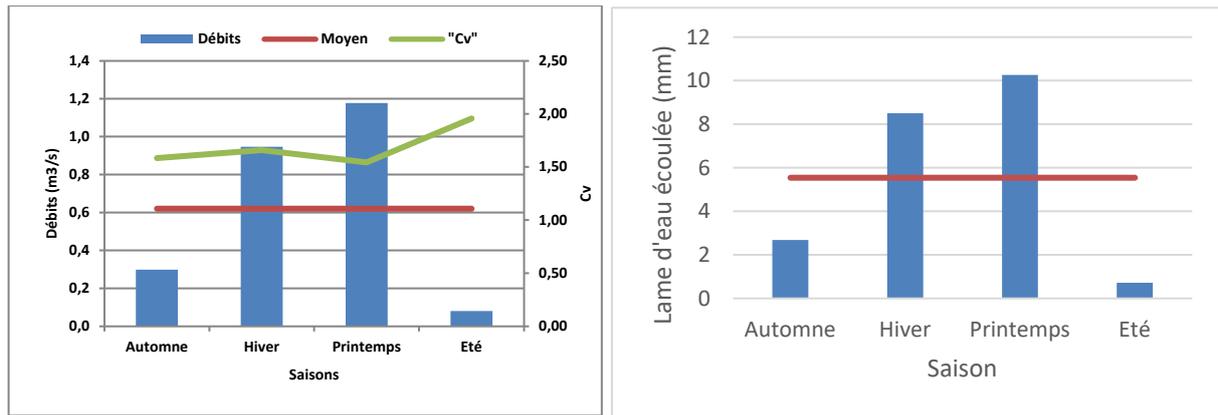


Figure III.32. Variation des débits moyens saisonniers à la station Sidi Aissa

Variation mensuelle : Le débit moyen mensuel à la station Sidi Aissa varie entre 0,04 m³/s et 2,52 m³/s avec une moyenne de 0,62 m³/s et la lame d'eau écoulée varie entre 0,12 mm et 6,9 avec une moyenne de 7,54 mm. Le maximum d'écoulement est atteint en mars, le minimum en aout. Les mois qui ont connu un écoulement au-dessus de la moyenne sont les mois entre janvier et mars. L'écoulement présente une augmentation pendant la période de septembre jusqu'à mars, puis une diminution durant les mois restants. Le Cv varie entre 1,44 et 2,52 avec un maximum en novembre et un minimum en mai, ceci montre l'irrégularité de l'écoulement à l'échelle mensuelle pendant la période d'observation (figure III.33).

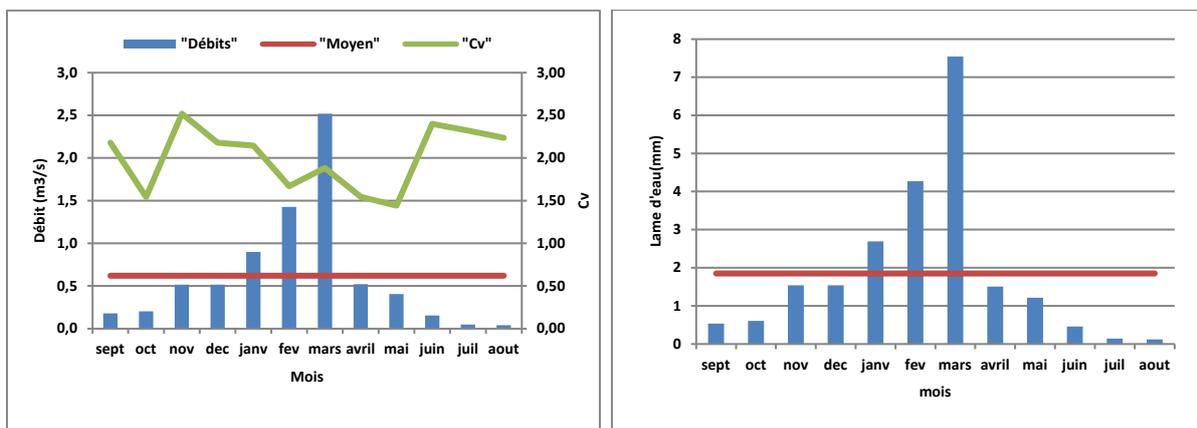


Figure III.33. Variation des débits moyens mensuels à la station Sidi Aissa.

I.4.3. COMPARAISON DES STATIONS DE CONTROLE DU BASSIN VERSANT D'OUED ISSER

Pendant la période de l'année 1995 à 2014, l'écoulement à l'exutoire du bassin versant d'Oued Isser (station Sidi Aissa) suit la même évolution que celle d'écoulement en amont (station Chouly) soit à l'échelle annuelle, saisonnière ou mensuelle. Les débits observés à la station Chouly pont RN7 représentent en moyenne 40% des débits enregistrés à l'exutoire du bassin, donc oued Chouly est l'un des cours d'eau le plus important du bassin versant de l'oued Isser (figure III.34, III.35 et III.36).

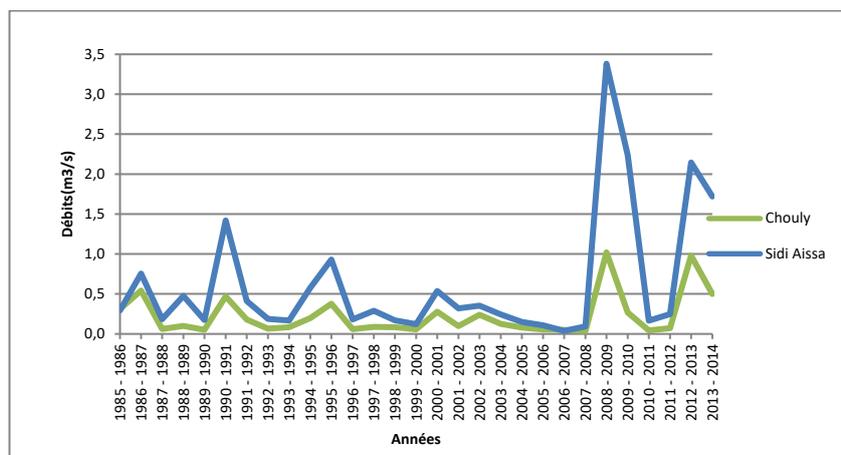


Figure III.34. Variation des débits moyens annuels dans le bassin versant de d'Oued Isser.

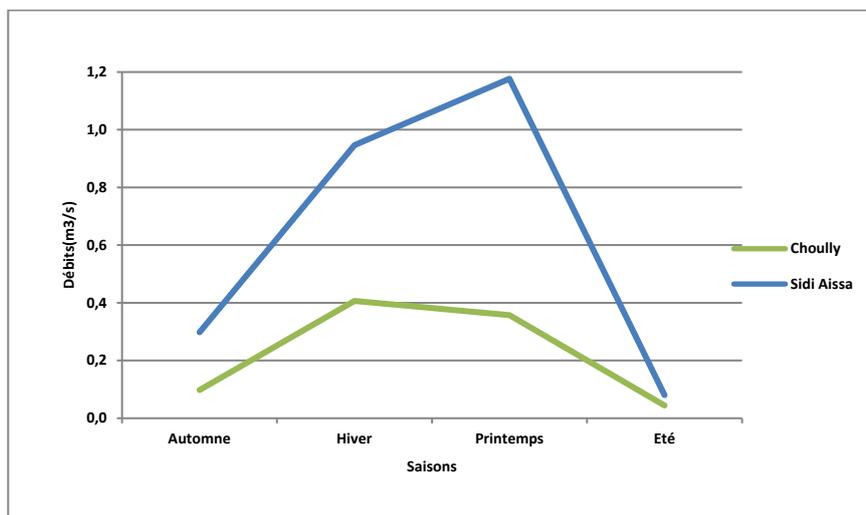


Figure III.35. Variation des débits moyens saisonniers dans le bassin versant de d'Oued Isser.

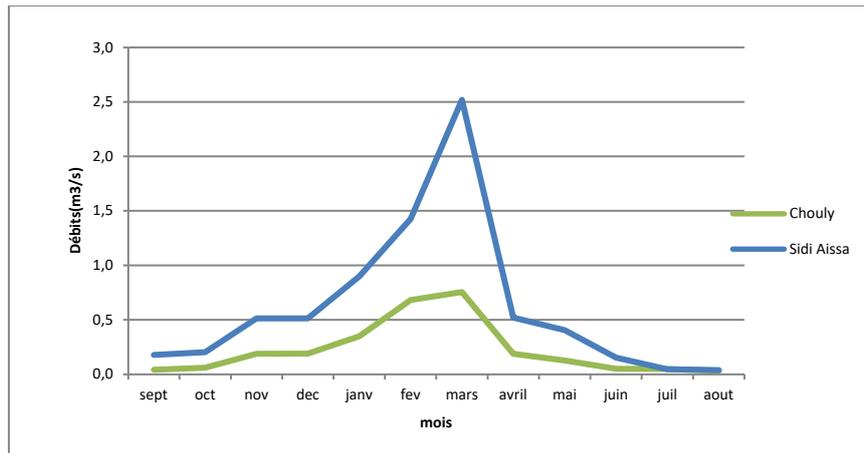


Figure III.36. Variation des débits moyens mensuels dans le bassin versant de d'Oued Isser.

DISCUSSION

La variation des écoulements moyens à l'échelle annuelle, présente une irrégularité prononcée avec des $C_v > 0,3$. On remarque que les années caractérisées par des débits déficitaires, en dessous de la moyenne, sont plus fréquents pour toutes les stations. Les écoulements moyens annuels se caractérisent par des fluctuations irrégulières d'une année à l'autre.

En ce qui concerne le régime saisonnier de l'écoulement moyen, il se caractérise par des débits élevés en hiver et au printemps pour les sous-bassins d'Oued Isser, Oued Sikkak et la Haute Tafna où le type de distribution saisonnière de l'écoulement moyen (hiver > printemps > automne > été) caractérise les stations Beni Bahdel, Zahra, Sidi Aissa et Meffrouche, et le type de distribution (printemps > hiver > automne > été) caractérise les stations Village Tafna, Chouly pont RN7 et Ain Youcef. Dans le sous bassin d'Oued Mouilah, la saison principale de l'écoulement est l'automne pour la station Pont RN7/a et l'hiver pour la station Legfaf où la distribution d'écoulement est de type (automne > printemps > hiver > été) et (hiver > automne > printemps > été) respectivement. Le débit le plus faible a été enregistré en saison d'été pour toutes les stations.

Le maximum de débit moyen mensuel est atteint au mois mars dans la plupart des stations (6/9) et le minimum se présente en juillet et aout pour toutes les stations, avec une différence importante entre les max et le min.

II. ETUDE DE TENDANCE DES DEBITS

Les résultats de l'analyse de la tendance des débits identifiée par le test de Mann-Kendall avec un seuil de signification de 5%, et un seuil de 10% sont présentées dans les tableaux III.10, III.11 et III.12.

II.1.TENDANCE DES DEBITS MOYENS ANNUELS

A l'échelle de temps annuel, le test de Mann Kendall a détecté une seule tendance significative à la hausse au niveau de la station Legfaf où les débits moyens annuels connaissent une augmentation de 0,07 à 0,7m³/s pendant la période d'étude (2000 à 2015).

Au niveau des autres stations, l'évolution des débits moyens annuels n'a présenté aucune tendance significative (niveaux de 5% et de 10%) pour le test de Mann Kendall.

II.2.TENDANCE DES DEBITS SAISONNIERS ET MENSUELS

II.2.1. OUED MOUILAH

Station Point RN7/A: La période d'étude est de 1980 à 2015, les résultats du test Mann Kendall ont révélé une tendance significative à la hausse pour le mois de juillet et le mois d'août (niveau de signification 5%).

Station Legfaf : Pendant la période d'étude (2000 à 2015), toutes les saisons et tous les mois subissent une tendance significative à la hausse, sauf octobre où il ne présente aucune tendance significative.

II.3.LA HAUTE TAFNA

Station Village Tafna : Une seule tendance significative à la baisse a été détectée au mois de mai entre l'année 1987 à 2012 (niveau de signification 10%).

Station Beni Bahdel : Le test de Mann Kendall a détecté une seule tendance significative à la baisse au mois de septembre, la période d'étude est de 1980 à 2015 et le niveau de signification est de 10%.

Station Zahra : La période d'étude est de 1980 à 2015. Les résultats de test ont révélé que les débits saisonniers sont caractérisés par une tendance significative à la baisse pour la saison d'automne, d'hiver et d'été avec un niveau de signification de 5%, et les débits mensuels caractérisés par une tendance significative à la baisse à tous les mois de l'année sauf février, mars et avril où l'évolution de débit pendant ces mois ne présente aucune tendance significative.

II.3.1. OUED SIKKAK

Station Meffrouche : Les résultats du test de Mann Kendall montrent une tendance significative des débits à la hausse au mois de novembre et décembre avec un niveau de signification de 10%, et en février pour un niveau de 5%. La période d'étude est de 1988 à 2015.

Station Ain Youcef : Pendant la période d'étude de 1980 à 1999, la saison d'été et les mois de juin, juillet et août se caractérisent par une tendance significative à la baisse (niveau de signification de 5%).

II.3.2. OUED ISSER

Station Chouly pont RN/A : Une seule tendance significative à la baisse a été détectée au mois de septembre par le test de Mann Kendall avec un niveau de signification de 5%. La période d'étude est de 1980 à 2015.

Station Sidi Aissa : Les débits observés au niveau de la station Sidi Aissa entre l'année 1985 et 2014 présentent une tendance significative à la hausse en automne pour un niveau de signification de 10% et une tendance significative à la hausse au mois de novembre pour un niveau de signification de 5%.

DISCUSSION

En général, les écoulements moyens annuels caractérisés par une seule tendance significative à la hausse détectée dans la station Legfaf. Aux échelles saisonnière et mensuelle, les écoulements moyens présentent des tendances significatives principalement au niveau de deux stations, où une augmentation des écoulements a été enregistrée pour toutes les saisons et tous les mois dans la station Legfaf, et une diminution des écoulements pour l'automne, l'hiver et l'été correspondant à la station Zahra.

Tableau III.10. Résultats du test de Mann-Kendall pour les débits moyens annuels.

Bassin versant	Station hydrométrique	T	P
Oued Mouilah	Pont RN7/A	0,045	0,714
	Legfaf	0,744	0,000*
La Haute Tafna	Village Tafna	-0,194	0,208
	Beni Bahdel	0,045	0,714
	Zahra	-0,143	0,235
Oued Isser	Chouly pont RN7	-0,025	0,844
	Sidi Aissa	-0,064	0,642
Oued Sikkak	Meffrouche	-0,067	0,677
	Ain youcef	0,088	0,629

Tableau III.11. Résultats du test de Mann-Kendall pour les débits saisonniers.

Mois	Bassin versant	Oued Mouilah		La Haute Tafna			Oued Isser		Oued Sikkak	
	Station	Point RN7/A	Legfaf	Village Tafna	Beni Bahdel	Zahra	Chouly point RN7	Sidi Aissa	Meffrouche	Ain Youcef
Automne	T	0,190	0,590	0,117	0,193	-0,385	0,002	0,254	0,248	-0,006
	p	0,112	0,004*	0,457	0,106	0,001*	1,000	0,056**	0,142	1,000
Hiver	T	-0,032	0,0564	-0,138	-0,022	-0,237	-0,015	0,034	0,245	-0,076
	p	0,800	0,007*	0,374	0,866	0,046*	0,910	0,809	0,116	0,679
Printemps	T	-0,015	0,769	-0,233	0,079	-0,086	0,055	0,054	-0,174	0,123
	p	0,910	< 0,0001*	0,127	0,517	0,481	0,652	0,697	0,256	0,489
Été	T	0,180	0,821	-0,161	0,005	-0,503	-0,069	0,106	0,167	-0,345
	p	0,133	< 0,0001*	0,331	0,978	< 0,0001*	0,573	0,430	0,354	0,041*

Avec :

Symbole	T	P	*	**	■	■ valeur
Définition	Tau de Kendall	P-value (bilatérale)	P<0.05	0.05<P<0.1	Tendance à la hausse	Tendance à la baisse

Tableau III.12. Résultats du test de Mann-Kendall pour les débits mensuels.

Mois	Bassin versant	Oued Mouilah		La Haute Tafna			Oued Isser		Oued Sikkak	
	Station	Point RN7/A	Legfaf	Village Tafna	Beni Bahdel	Zahra	Chouly point RN7	Sidi Aissa	Mefrouche	Ain Youcef
sept	Tau.K	0,176	0,590	-0,069	0,203	-0,492	-0,278	0,049	0,071	-0,059
	p-value	0,141	0,004*	0,695	0,089**	< 0,0001*	0,020*	0,738	0,716	0,766
oct	Tau.K	0,136	0,333	0,133	0,139	-0,469	-0,123	0,183	0,088	0,139
	p-value	0,258	0,129	0,423	0,247	< 0,0001*	0,306	0,191	0,625	0,437
nov	Tau.K	0,113	0,513	0,155	0,103	-0,351	-0,052	0,279	0,320	-0,181
	p-value	0,352	0,015*	0,330	0,397	0,003*	0,673	0,036*	0,063**	0,298
dec	Tau.K	0,109	0,667	0,130	0,082	-0,318	0,015	0,207	0,277	-0,123
	p-value	0,366	0,001*	0,417	0,499	0,007*	0,910	0,121	0,097**	0,489
janv	Tau.K	-0,052	0,513	-0,100	-0,029	-0,311	-0,089	0,172	0,158	-0,029
	p-value	0,673	0,015*	0,525	0,822	0,008*	0,463	0,198	0,326	0,890
fev	Tau.K	-0,015	0,538	-0,174	0,055	-0,119	0,029	0,079	0,314	-0,111
	p-value	0,910	0,010*	0,256	0,652	0,323	0,822	0,565	0,045*	0,534
mars	Tau.K	-0,005	0,846	-0,178	0,025	-0,042	-0,002	0,079	-0,046	0,193
	p-value	0,978	< 0,0001*	0,249	0,844	0,735	1,000	0,565	0,787	0,267
avril	Tau.K	0,066	0,769	-0,063	0,018	-0,160	0,086	0,044	0,063	0,064
	p-value	0,592	< 0,0001*	0,692	0,888	0,184	0,481	0,752	0,715	0,730
mai	Tau.K	0,086	0,667	-0,253	0,042	-0,358	-0,029	0,148	-0,005	-0,181
	p-value	0,481	0,001*	0,09**	0,735	0,002*	0,822	0,272	1,000	0,298
juin	Tau.K	0,119	0,795	-0,195	-0,029	-0,415	-0,067	0,180	0,246	-0,357
	p-value	0,323	< 0,0001*	0,241	0,822	0,000*	0,580	0,177	0,173	0,034*
juil	Tau.K	0,264	0,615	-0,157	-0,002	-0,553	-0,104	-0,029	-	-0,375
	p-value	0,026*	0,003*	0,371	1,000	< 0,0001*	0,386	0,859	-	0,034*
aout	Tau.K	0,240	0,718	0,000	0,079	-0,592	-0,163	0,217	-0,080	-0,368
	p-value	0,043*	0,000*	1,000	0,517	< 0,0001*	0,173	0,142	0,706	0,044*

IV. L'ETUDE D'HOMOGENEITE DES DONNEES

Pour évaluer les ruptures (ou l'homogénéité) dans les séries hydrométriques étudiées on a appliqué :

- ✓ Le test de Pettitt ; les procédures statistiques ont été réalisées avec le logiciel XLStat 2016. Les paramètres retenus pour les calculs étaient les suivants : hypothèse alternative $\neq 0$; niveau de signification de 5% et 10% ; nombre de simulations de 10 000.
- ✓ La procédure de segmentation de Hubert ; on utilise le logiciel Khronostat version 1.01.

IV.1. OUED MOUILAH

Echelle annuelle : Le test de Pettitt appliqué aux débits moyens annuels de la station Legfaf entre l'année 2000 et 2015 montre une rupture en 2008/2009, où la moyenne augmente de 0,17 m³/s à 0,55 m³/s, la procédure de segmentation d'Hubert présente une rupture en 2011/2012 avec une augmentation de la moyenne de 0,22 à 0,65 m³/s (tableau III.13).

Les débits moyens annuels enregistrés au niveau de la station Point RN7/A sont homogènes pendant la période d'étude de 1980 à 2015.

Echelle saisonnière : Les résultats de test de Pettitt montrent que les séries des débits saisonniers de la station Legfaf présentent une rupture en 2008/2009 pour l'automne, l'hiver et l'été, et une rupture en 2009/2010 pour le printemps. Les débits saisonniers de la station pont RN7/A présentent une seule rupture en 2000/2001 pour la saison d'été. Ces ruptures ont été identifiées par une augmentation de la moyenne (tableau III.13).

La procédure de segmentation de Hubert détecte trois ruptures identifiées par une augmentation de la moyenne en automne, printemps et été pour la station legfaf. Les dates sont ; 2011/2012, 2012/13 et 2010/2011 respectivement.

Echelle mensuelle : Les résultats de l'application du test de Pettitt sur les séries des débits mensuels présentent des ruptures identifiées par une augmentation de la moyenne dans tous les mois pour la station Legfaf, où l'année de la rupture est comprise entre 2006 et 2010. Pour la station Pont RN7/A, une rupture a été détectée au mois de décembre qui elle est identifiée par

une diminution de la moyenne, et une rupture au mois de septembre, juillet et août où la moyenne a augmenté.

La procédure de segmentation de Hubert montre que les débits mensuels de la station Legfaf présentent des ruptures identifiées par une augmentation de la moyenne dans les mois septembre, novembre et les mois entre avril et août, les dates sont entre 2006 et 2013.

Tableau III.13. Résultats de détection de rupture dans les séries des débits du bassin versant d'Oued Mouilah

			Point RN7/a			Legfaf			
			Date de rupture	Moyenne avant (m ³ /s)	Moyenne après (m ³ /s)	Date de rupture	Moyenne avant (m ³ /s)	Moyenne après (m ³ /s)	
Annuel	Annuel	Petit	-	-	-	2008/09	0,17	0,55	
		Hubert	-	-	-	2011/12	0,22	0,65	
Saisonnier	Aut	Petit	-	-	-	2008/09	0,20	0,61	
		Hubert				2011/12	0,26	0,77	
	Hiv	Petit	-	-	-	2008/09	0,22	0,75	
		Hubert	-	-	-	-	-	-	
	Prin	Petit	-	-	-	2009/10	0,17	0,55	
		Hubert	-	-	-	20012/13	0,24	0,70	
	Eté	Petit	2001/02	0,21	0,33	2008/09	0,08	0,35	
		Hubert	-	-	-	2010/11	0,11	0,40	
	Mensuel	sept	Petit	1995/96	0,36	1,01	2006/07	0,05	0,39
			Hubert	-	-	-	2006/07	0,05	0,39
oct		Petit	-	-	-	2008/09	0,27	0,59	
		Hubert	-	-	-	-	-	-	
nov		Petit	-	-	-	2007/08	0,16	0,77	
		Hubert	-	-	-	2011/12	0,26	1,15	
Dec		Petit	1997/98	1,06	0,5	2008/09	0,16	0,75	
		Hubert	-	-	-	-	-	-	
Janv		Petit	-	-	-	2008/09	0,26	0,83	
		Hubert	-	-	--	-	-	-	
fév		Petit	-	-	-	2008/09	0,24	0,67	
		Hubert	-	-	-	-	-	-	

mars	Pettit	-	-	-	2008/09	0,13	0,56
	Hubert	-	-	-	-	-	-
avril	Pettit	-	-	-	2006/07	0,09	0,43
	Hubert				2006/07	0,09	0,43
mai	Pettit	-	-	-	2008/09	0,21	0,54
	Hubert	-	-	-	2011/12	0,23	0,65
juin	Pettit	-	-	-	2008/09	0,09	0,42
	Hubert	-	-	-	2011/12	0,15	0,55
juil	Pettit	2001/02	0,1	0,35	2008/09	0,08	0,28
	Hubert	-	-	-	2012/13	0,13	0,4
aout	Pettit	1994/95	0,13	0,32	2009/10	0,1	0,38
	Hubert	-	-	-	2010/11	0,11	0,42

IV.2. LA HAUTE TAFNA

Echelle annuelle : Les résultats de test de Pettitt appliqué aux séries des débits moyens annuels des stations de contrôle du bassin versant de la Haute Tafna présentent une rupture en 1999/2000 pour la station Village Tafna où la moyenne diminue de 0,40 m³/s à 0,11 m³/s, et une rupture en 2008/2009 pour la station Beni Bahdel où la moyenne augmente de 0,62 m³/s à 1,52 m³/s, Les débits moyens annuels observés dans la station Zahra ne présentent aucun changement significatif. La procédure de segmentation donne les mêmes résultats que le test de Pettitt sauf à Village Tafna où elle est considérée comme homogène (tableau III.14).

Echelle saisonnière : Les résultats du test de Pettitt montrent que les séries des débits saisonniers de la station Beni Bahdel connaissant un changement significatif des données, où une augmentation importante de la moyenne a été enregistrées pour la saison d'automne, d'hiver et d'été, Par contre, les moyennes des débits saisonniers de la station Village Tafna et la station Zahra a diminué au cours des saisons suivantes :

- l'automne, l'hiver et le printemps pour la station Village Tafna ;
- l'automne et l'été pour station Zahra ;

La procédure de segmentation de Hubert donne presque les mêmes résultats de Pettitt pour la station Beni Bahdel. Dans la station Zahra, une rupture a été détectée en 2008/2009 pour la

saison d’hiver avec une augmentation important de la moyenne, et une rupture en 1997/1998 pour la saison d’été avec une diminution de la moyenne,

Echelle mensuelle : Les résultats de l’application de test de Pettitt sur les séries des débits mensuels montrent des ruptures dans les trois stations hydrométriques étudiées, où l’année de la rupture est comprise entre 1996 et 2000 pour la station Village Tafna, entre 1997 et 2009 pour la station Beni Bahdel, entre 1990 et 2003 pour la station Zahra, Ces ruptures identifiées par une diminution de la moyenne dans la station Village Tafna et la station Zahra, et par une augmentation de la moyenne dans la station Beni Bahdel (tableau III.14).

La procédure de segmentation d’Hubert donne presque les mêmes résultats de Pettitt pour la station Beni Bahdel, Ainsi, elle montre que les débits mensuels de la station Zahra présentent des ruptures identifiées par une diminution de la moyenne pour les mois ; septembre en 1990/91, novembre en 2012/13 et les mois d’été où les dates de la rupture sont 1996/97, 1992/93 et 1989/1990 respectivement. Pour la station Village Tafna, une seule rupture a été détectée en 1996/97 pour le mois de mai.

Tableau III.14. Résultats détection de rupture dans les séries des débits du bassin versant de la Haute Tafna,

			Village Tafna			Beni Bahdel			Zahra		
			Date de rupture	Moyen avant (m ³ /s)	Moyen après (m ³ /s)	Date de rupture	Moyen avant (m ³ /s)	Moyen après (m ³ /s)	Date de rupture	Moyen avant (m ³ /s)	Moyen après (m ³ /s)
Annue	Ann	Pettit	1999/20	0,4	0,11	2008/09	0,62	1,52	-	-	-
		Hubert	-	-	-	2008/09	0,62	1,52	-	-	-
Saisonnier	Aut	Pettit	-	-	-	1999/00	0,49	0,88	1991/92	0,34	0,23
		Hubert	-	-	-	2012/13	0,59	1,5	-	-	--
	Hiv	Pettit	1999/00	0,47	0,13	2008/09	0,79	2,62	-	-	-
		Hubert	-	-	-	2008/09	0,8	2,62	2008/09	0,6	2,05
	Prin	Pettit	1997/98	1,06	0,2	-	-	-	-	-	-
		Hubert	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Eté	Pettit	1996/97	0,1	0,01	2008/09	0,29	0,75	1997/98	0,22	0,05
		Hubert	-	-	-	2008/09	0,3	0,75	1996/97	0,23	0,04
Mensu	sept	Pettit	-	-	-	1997/98	0,42	0,72	1990/91	0,23	0,09
		Hubert	-	-	-	2009/10	0,49	1	1990/91	0,23	0,09

oct	Petit	-	-	-	1999/00	0,51	0,96	2002/03	0,26	0,07
	Hubert	-	-	-	-	-	-	-	-	-
nov	Petit	-	-	-	2000/01	0,45	1,05	-	-	-
	Hubert	-	-	-	2012/13	0,54	2,63	2012/13	0,36	0,1
dec	Petit	-	-	-	2007/08	0,55	1,74	1992/93	0,64	0,52
	Hubert	-	-	-	2008/09	0,55	1,94	-	-	-
janv	Petit	-	-	-	2008/09	0,77	2,68	-	-	-
	Hubert	-	-	-	2008/09	0,77	2,7	-	-	-
fév	Petit	1999/00	0,69	0,15	2008/09	0,06	3,27	-	-	-
	Hubert	-	-	-	2012/13	1,19	4,83	2012/13	0,98	4,36
mars	Petit	1997/98	2,01	0,38	2012/13	1,19	4,83	-	-	-
	Hubert	-	-	-	-	-	-	-	-	-
avril	Petit	-	-	-	-	-	-	1992/93	0,92	0,47
	Hubert	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mai	Petit	1997/98	0,53	0,07	2008/09	0,55	1,1	1993/94	0,66	0,21
	Hubert	1996/97	0,54	0,08	2008/09	0,55	1,1	-	-	-
juin	Petit	1996/97	0,28	0,02	2008/09	0,36	0,88	1996/97	0,31	0,07
	Hubert	-	-	-	2008/09	0,38	0,88	1996/97	0,31	0,07
juil	Petit	1996/97	0,03	0,01	2008/09	0,24	0,62	1996/97	0,19	0,03
	Hubert	-	-	-	2008/09	0,24	0,62	1992/93	0,2	0,03
aout	Petit	-	-	-	2008/09	0,26	0,74	1997/98	0,14	0,03
	Hubert	-	-	-	2008/09	0,26	0,74	1989/90	0,22	0,02

IV.3. OUED SIKKAK

Après l'analyse des résultats de test de Pettitt et de la procédure de segmentation de Hubert, on remarque que les données hydrométriques enregistrées dans les stations de contrôle du bassin versant d'Oued Sikkak (Meffrouche et Ain Youcef) sont homogènes à toutes les échelles de temps ; annuelle, saisonnière et mensuelle. La procédure de segmentation propose quelques découpages dans les séries, mais elles sont rejetées car le nombre des éléments des segments après la rupture est moins de trois laps de temps.

IV.4. OUED ISSER

Echelle annuelle : Les résultats de test de Pettitt montrent que les débits moyens annuels observés dans les stations de contrôle du bassin d'Oued Isser sont homogènes, par contre, la procédure de segmentation de Hubert présente une rupture en 2008/2009 pour les deux stations, où les moyennes augmentent de 0,36 m³/s à 1,6 m³/s dans la station Sidi Aissa et de 0,17 m³/s à 0,45 m³/s dans la station Chouly Pont RN7 (tableau III.15).

Tableau III.15. Résultats de détection de rupture dans les séries des débits du bassin versant d'Oued Isser

			Sidi Aissa			Chouly Point RN7		
			Date de rupture	Moyenne avant (m ³ /s)	Moyenne après (m ³ /s)	Date de rupture	Moyenne avant (m ³ /s)	Moyenne après (m ³ /s)
Annuel	Annuel	Pettit	-	-	-	-	-	-
		Hubert	2008/09	0,36	1,6	2008/09	0,17	0,45
Saisonnier	Aut	Pettit	-	-	-	-	-	-
		Hubert	-	-	-	-	-	-
	Hiv	Pettit	-	-	-	-	-	-
		Hubert	2008/09	0,5	2,71	2008/09	0,26	1
	Prin	Pettit	-	-	-	-	-	-
		Hubert	2008/09	0,7	3	-	-	-
	Eté	Pettit	-	-	-	-	-	-
		Hubert	2008/09	0,02	0,26	-	-	-
Mensuel	dec	Pettit	2008/09	0,21	1,63	-	-	-
		Hubert	2008/09	0,21	1,63	-	-	-
	janv	Pettit	-	-	-	-	-	-
		Hubert	2008/09	0,39	1,81	2008/09	0,19	1
	mai	Pettit	2008/09	0,23	1,03	-	-	-
		Hubert	2008/09	0,24	1,03	-	-	-
	juin	Pettit	2008/09	0,04	0,57	-	-	-
		Hubert	2008/09	1,04	1,58	-	-	-
	juil	Pettit	-	-	-	-	-	-
		Hubert	-	-	-	-	-	-
	aout	Pettit	2008/09	0,02	0,10	-	-	-
		Hubert	-	-	-	-	-	-

Echelle saisonnière : Le test de Pettitt montre que Les débits saisonniers sont homogènes pour les deux stations. La procédure de segmentation de Hubert présente des ruptures en 2008/09 où les moyennes ont diminué en hiver, printemps et été pour la station Sidi Aissa, et en été pour la station Chouly pont RN7,

Echelle mensuelle : Le test de Pettitt et la procédure de segmentation de Hubert présentent des ruptures en 2008/2009 aux mois ; décembre, janvier, mai, juin et aout et aout pour la station Sidi Aissa. Ces ruptures se présentent par une augmentation de la moyenne. Les débits moyens mensuels de la station Chouly Pont RN7 présentent une seule rupture en 2008/09 identifiée par une augmentation de la moyenne au mois de janvier (tableau III.15).

DISCUSSION

Le test de Pettitt pour la détection de ruptures pour les débits moyens annuels montre les résultats suivants :

- Une augmentation de la moyenne statistiquement significative dans la station Legfaf (70%) et Beni Bahdel (60%), où la date de la rupture correspond à 2008/2009, et pour la station Village Tafna, une diminution de la moyenne en 1999/2000 qui est estimée à 75%.
- La procédure de segmentation de Hubert confirme les résultats de Pettitt pour la station Beni Bahdel. Elle présente la rupture en 2011/2012 dans la station Legfaf, et une rupture en 2008/09 pour la station Chouly Pont RN7.
- En ce qui concerne les écoulements saisonniers et mensuels, les deux tests présentent des ruptures pendant les années 1990 pour les stations ; Pont RN7/A, Village Tafna et Zahra, et entre 2006 et 2012 dans les stations : Legfaf, Beni Bahdel, Chouly Pont RN7 et Sidi Aissa.

On remarque aussi que les dates de rupture détectées par les deux tests pour un mois (ou une saison) et pour la même station ne sont pas les mêmes dans plusieurs cas.

IV. L'INDICE DE VARIABILITE DE DEBITS

Afin de pouvoir classer le régime d'écoulements selon les valeurs de l'indice de variabilité on calcule cet indice pour les débits moyens annuels, les débits saisonniers et mensuels.

- $Iv > 2,0$: Extrêmement humide.
- $1,5 < Iv < 2,0$: Sévèrement humide.
- $1,0 < Iv < 1,5$: Modérément humide.
- $-1 < Iv < 1$: Proche de la normale.
- $-1.5 < Iv < -1$: Modérément sec.
- $-2 < Iv < -1.5$: Sévèrement sec.
- $Iv < -2,0$: Extrêmement sec.

Légende des classes

	Extrêmement humide
	Sévèrement humide
	Modérément humide
	Proche de la normale
	Modérément sec
	Sévèrement sec
	Extrêmement sec

Echelle de temps

1	Annuelle
2	Saisonnière
3	Mensuelle

IV.1. OUED MOUILAH

a) STATION PONT RN7/A

Echelle annuelle : Les valeurs de l'indice de variabilité des débits moyens annuels de la station hydrométrique Pont RN7/A présentés dans la figure III.37 montrent que 40% sont des années excédentaires et 60% déficitaires, L'année le plus humide correspond à l'année 1986/1987 avec $Iv=2,51$, et l'année 1992/1993 c'est le plus sec avec $Iv=1,13$. 5% des années sont extrêmement humides, 6% sévèrement humides, 6% modérément humides, 66% proches de la normale et 17 % modérément sec.

Echelles saisonnière et mensuelle : Les écoulements saisonniers et mensuels dans la station Point RN7/A sont généralement proches de la normale. Il existe quelques cas humides répartis sur tous les saisons et les mois. Les cas secs ont été détectés pendant la saison d'été et principalement au mois d'août.

Tableau III.16 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Point RN7/A

	1	2				3											
	an	Aut	Hiv	Pri	Été	sep	oct	nov	dec	jan	fev	ma	avr	mai	juin	juil	ao u
1980 - 1981	2,43	-0,62	5,36	-0,37	0,14	-0,38	-0,56	-0,41	5,67	1,14	0,59	-0,32	0,01	-0,33	0,46	-0,04	-0,47
1981 - 1982	-0,79	-0,67	-0,32	-0,49	1,22	-0,58	-0,57	-0,40	-0,22	-0,33	-0,35	-0,40	-0,23	-0,28	1,25	-0,21	1,08
1982 - 1983	-0,91	-0,51	-0,23	-0,58	-0,74	-0,61	-0,51	-0,20	-0,15	-0,26	-0,27	-0,38	-0,43	-0,60	-0,45	-0,28	-0,62
1983 - 1984	-0,86	-0,74	-0,27	-0,12	-0,81	-0,70	-0,61	-0,43	-0,12	-0,33	-0,66	-0,29	-0,46	1,49	-0,38	-0,37	-0,83
1984 - 1985	-1,07	-0,57	-0,40	-0,55	-1,00	-0,72	-0,63	-0,19	-0,26	-0,34	-0,73	-0,43	-0,55	0,03	-0,57	-0,43	-0,88
1985 - 1986	-1,07	-0,65	-0,28	-0,56	-1,06	-0,44	-0,58	-0,41	-0,22	-0,25	-0,21	-0,29	-0,53	-0,82	-0,63	-0,50	-0,80
1986 - 1987	2,51	4,03	-0,32	-0,51	-0,33	-0,48	1,94	4,46	-0,22	-0,39	-0,17	-0,34	-0,10	-0,85	-0,65	0,51	-0,37
1987 - 1988	-0,65	-0,13	-0,32	-0,57	-0,60	-0,77	1,01	-0,43	-0,25	-0,03	-0,88	-0,46	-0,63	0,15	0,10	-0,50	-1,01
1988 - 1989	-0,56	-0,53	-0,46	0,40	-1,05	-0,79	-0,66	-0,11	-0,26	-0,55	-0,78	0,42	0,57	-0,84	-0,63	-0,34	-1,00
1989 - 1990	0,47	-0,08	-0,08	0,33	3,05	0,39	-0,06	-0,20	-0,21	0,74	-0,93	-0,33	1,11	2,08	4,89	-0,58	-0,70
1990 - 1991	1,22	-0,19	-0,17	2,87	-0,98	0,47	-0,34	-0,23	-0,16	-0,51	1,11	3,17	-0,31	-0,85	-0,35	-0,56	-1,04
1991 - 1992	0,65	0,17	-0,53	1,33	0,74	0,58	0,94	-0,45	-0,28	-0,61	-1,04	-0,35	4,91	2,59	0,28	-0,47	2,07
1992 - 1993	-1,13	-0,65	-0,41	-0,51	-1,16	-0,76	-0,65	-0,27	-0,28	-0,57	-0,08	-0,39	-0,57	0,03	-0,63	-0,53	-1,02
1993 - 1994	-1,06	-0,74	0,05	-0,73	-1,21	-0,70	-0,65	-0,41	-0,29	0,30	2,10	-0,44	-0,59	-0,82	-0,68	-0,55	-1,03
1994 - 1995	1,59	-0,65	-0,06	3,88	-0,22	-0,53	-0,47	-0,45	-0,29	-0,61	3,44	4,11	-0,02	-0,81	-0,15	-0,53	0,52
1995 - 1996	0,48	-0,23	0,46	0,32	1,66	-0,41	0,56	-0,46	-0,28	1,83	1,86	0,28	-0,23	0,54	1,56	1,25	-0,54
1996 - 1997	-0,65	-0,13	-0,51	-0,49	-0,01	1,64	-0,50	-0,45	-0,28	-0,55	-1,03	-0,46	0,43	-0,81	-0,65	-0,54	2,02
1997 - 1998	-0,34	-0,10	0,23	-0,62	-0,51	1,50	-0,54	-0,35	0,39	-0,48	0,20	-0,43	-0,43	-0,52	-0,49	-0,48	0,35
1998 - 1999	0,67	-0,63	1,17	0,95	-0,49	-0,34	-0,62	-0,40	-0,22	4,88	0,01	1,19	-0,46	-0,58	-0,35	-0,16	-0,36
1999 - 2000	-0,53	0,01	-0,27	-0,52	-0,83	1,45	-0,25	-0,33	-0,13	-0,32	-0,67	-0,41	-0,48	-0,03	-0,50	-0,39	-0,62
2000 - 2001	0,37	1,09	-0,13	-0,56	-0,61	-0,26	2,23	0,38	-0,18	0,19	-0,23	-0,37	-0,47	-0,46	-0,36	-0,22	-0,56
2001 - 2002	1,03	1,72	-0,36	-0,26	0,68	0,14	0,59	1,92	-0,20	-0,40	-0,68	-0,39	0,64	-0,19	-0,33	-0,20	2,71
2002 - 2003	-0,30	-0,22	0,14	-0,43	0,05	-0,61	0,24	-0,20	-0,17	0,40	1,68	-0,33	-0,24	-0,28	-0,19	0,15	0,29
2003 - 2004	0,20	-0,48	-0,17	1,19	-0,06	-0,57	-0,32	-0,27	-0,08	-0,28	-0,21	1,25	-0,26	0,13	-0,17	0,02	0,17
2004 - 2005	-0,59	-0,50	-0,19	-0,39	0,71	-0,45	-0,45	-0,27	-0,17	-0,24	0,31	-0,30	-0,28	-0,15	0,15	0,57	0,71
2005 - 2006	0,88	0,67	-0,11	0,16	2,80	4,06	-0,32	-0,27	-0,15	-0,01	0,18	-0,36	-0,28	3,17	0,22	5,26	-0,92
2006 - 2007	-0,06	-0,11	-0,29	0,24	0,30	0,94	-0,32	-0,28	-0,19	-0,34	-0,21	-0,31	1,92	0,46	0,05	0,29	0,25
2007 - 2008	-0,25	0,12	-0,25	-0,45	0,25	-0,40	0,54	0,02	-0,19	-0,27	0,02	-0,36	-0,22	-0,23	-0,09	0,23	0,51

2008 - 2009	1,58	1,77	0,70	-0,36	0,36	0,50	4,00	0,13	0,51	0,57	0,88	-0,32	-0,06	-0,15	-0,03	0,32	0,54
2009 - 2010	-0,72	-0,34	-0,42	-0,36	-0,31	0,92	-0,62	-0,43	-0,28	-0,25	-0,96	-0,18	-0,21	-0,69	-0,56	-0,44	0,92
2010 - 2011	-0,51	-0,58	-0,27	-0,10	0,98	-0,73	-0,26	-0,40	-0,20	-0,29	-0,03	-0,36	-0,12	1,55	0,09	0,31	1,93
2011 - 2012	-0,39	-0,12	-0,33	-0,36	0,56	-0,43	-0,04	0,01	-0,20	-0,44	-0,32	-0,23	-0,21	-0,45	0,86	-0,07	-0,10
2012 - 2013	0,79	1,87	-0,41	-0,56	-0,54	0,24	-0,40	2,59	-0,25	-0,42	-0,70	-0,38	-0,40	-0,52	-0,38	-0,18	-0,38
2013 - 2014	-1,04	-0,67	-0,28	-0,59	-0,55	-0,57	-0,57	-0,41	-0,10	-0,48	-0,54	-0,40	-0,42	-0,49	-0,38	-0,17	-0,43
2014 - 2015	-1,04	-0,67	-0,31	-0,57	-0,47	-0,60	-0,54	-0,41	-0,11	-0,49	-0,70	-0,40	-0,41	-0,47	-0,32	-0,18	-0,34

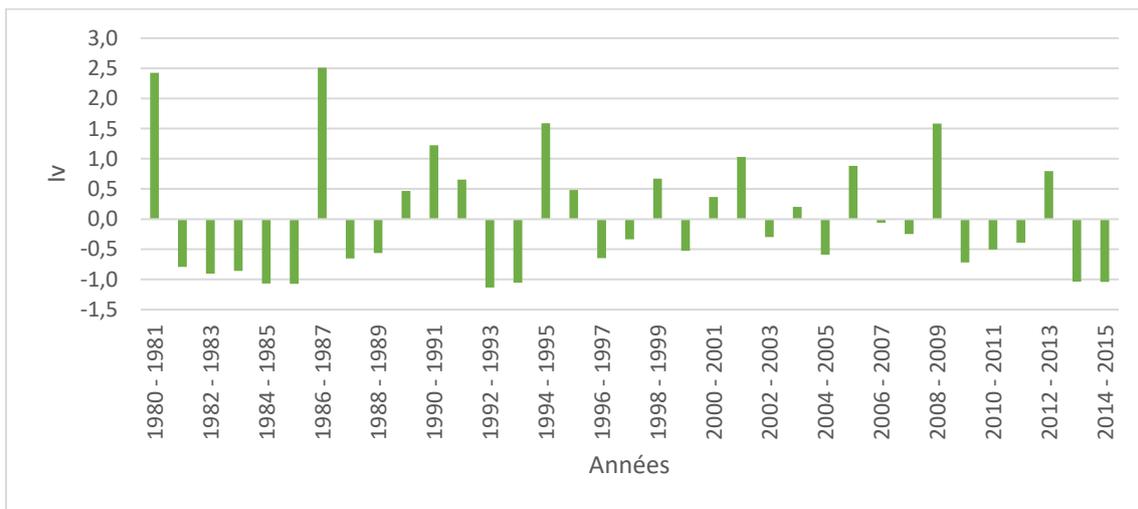


Figure III.37: L'indice de variabilité annuel pour la station Point Rn7/A

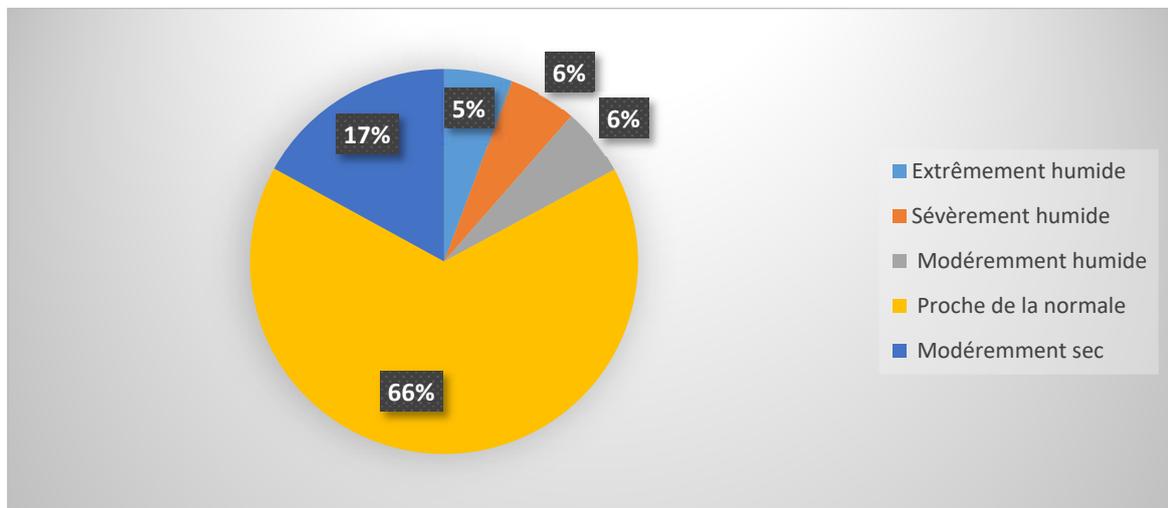


Figure III.38 : Pourcentage des classes annuelles pour la station Point RN7/A.

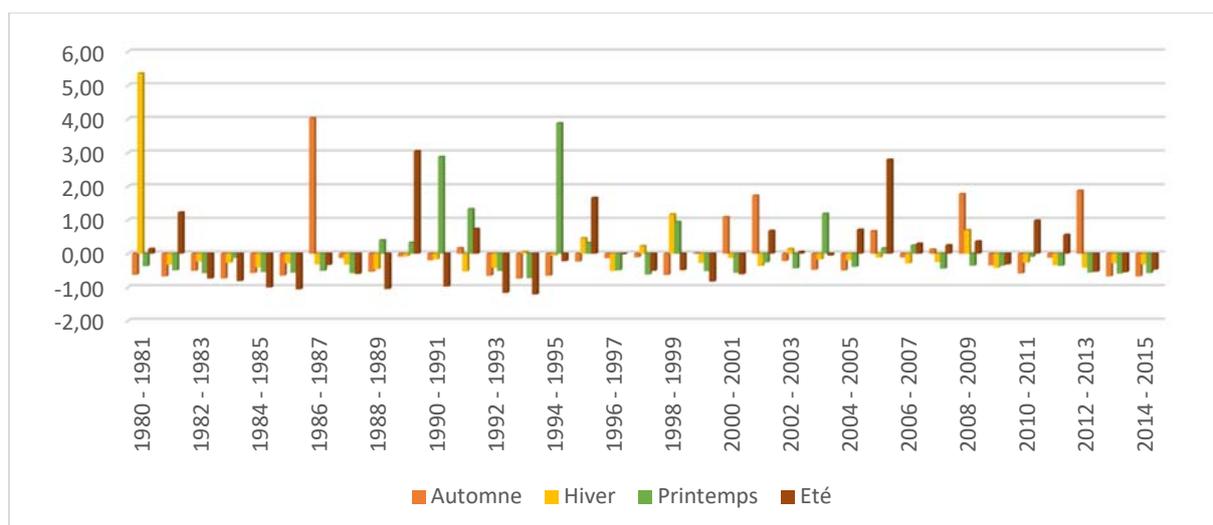


Figure III.39. L'indice de variabilité saisonnier pour la station Pont Rn7/A

b) STATION LEGFAF

Echelle annuelle : A partir de la figure III.40, on détermine deux périodes d'écoulement ; une période généralement déficitaire s'étalant entre le 2000 et 2011, et une période excédentaire entre 2011 et 2015. L'année 2014/2015 c'est la plus humide et 2004/2005 est la plus sèche.

8% des années sont sévèrement humides, 23% modérément humides, 61% proches de la normale et 8 % modérément sèches (tableau III.17).

Echelles saisonnière et mensuelle : Les deux caractères 'modérément sec' et 'proche de la normale' caractérisent la période 2000-2007 soit à l'échelle saisonnière ou mensuelle. La période 2007-2013 est généralement proche de la normale, les saisons et les mois humides sont plus fréquents entre les années 2013-2015.

Tableau III.17 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Legfaf.

	1	2				3											
	ann	Aut	Hiv	Pri	Été	sep	oct	nov	dec	jan	fev	ma	avr	mai	juin	juil	aou
2000 - 2001	-0,81	-0,25	-0,86	-1,11	-0,51	-1,10	1,03	-0,45	-0,66	-0,77	-1,07	-1,01	-1,10	-0,93	-0,67	-0,37	-0,35
2002 - 2003	-0,75	-0,87	-0,03	-1,11	-1,07	-1,13	-0,78	-0,53	-0,67	0,37	0,30	-0,93	-1,14	-1,00	-0,99	-1,07	-1,00
2004 - 2005	-1,30	-1,27	-0,99	-1,16	-1,16	-1,24	-1,39	-0,81	-0,81	-0,92	-1,09	-0,84	-1,12	-1,22	-1,08	-1,20	-1,06
2005 - 2006	-0,78	-1,19	-0,67	0,04	-0,81	-1,16	-1,35	-0,73	-0,56	-0,59	-0,77	-0,56	-0,66	1,31	-0,76	-0,63	-0,86

2006 - 2007	-0,97	-0,67	-1,00	-0,60	-1,09	1,20	-1,42	-0,75	-0,77	-0,93	-1,20	-0,94	0,45	-0,98	-1,00	-1,10	-1,03
2007 - 2008	-0,58	-0,33	-0,65	-0,57	-0,36	-0,96	0,05	-0,15	-0,51	-0,65	-0,69	-0,45	-0,61	-0,52	-0,34	-0,58	-0,17
2008 - 2009	1,01	0,54	2,34	-0,54	-0,10	0,40	1,24	0,11	2,62	2,67	0,71	-0,43	-0,37	-0,66	-0,15	0,12	-0,17
2009 - 2010	-0,10	-0,31	-0,23	0,35	0,04	0,55	-0,61	-0,35	-0,23	-0,30	-0,07	0,97	0,17	-0,26	0,06	0,22	-0,11
2010 - 2011	-0,23	-0,28	-0,42	-0,09	0,31	0,06	0,31	-0,56	-0,38	-0,55	-0,16	-0,15	-0,16	0,09	0,05	0,06	0,75
2011 - 2012	0,44	0,85	0,06	0,34	0,42	0,21	1,24	0,65	-0,08	-0,08	0,51	0,13	0,43	0,41	0,44	0,04	0,61
2012 - 2013	1,09	2,30	0,14	0,72	0,88	0,75	0,60	2,94	-0,06	0,37	0,02	0,60	0,47	0,88	0,80	2,07	0,05
2013 - 2014	1,28	0,48	1,10	1,75	1,26	0,90	0,33	0,27	1,05	0,41	2,02	1,76	1,84	1,22	1,51	1,20	0,83
2014 - 2015	1,63	0,82	1,20	1,94	2,16	1,54	0,74	0,35	1,06	0,98	1,48	1,85	1,81	1,67	2,14	1,25	2,50

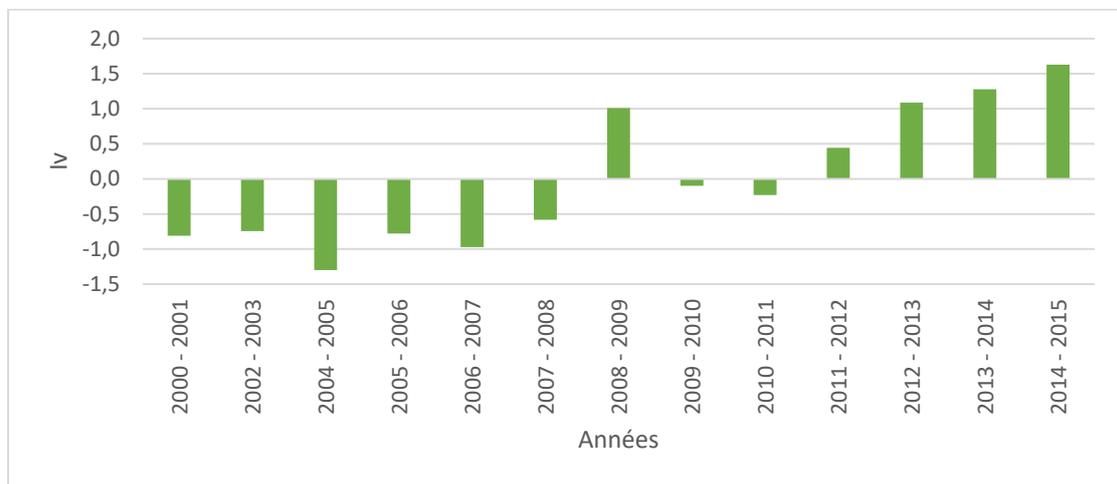


Figure III.40 : L'indice de variabilité annuel pour la station Legfaf.

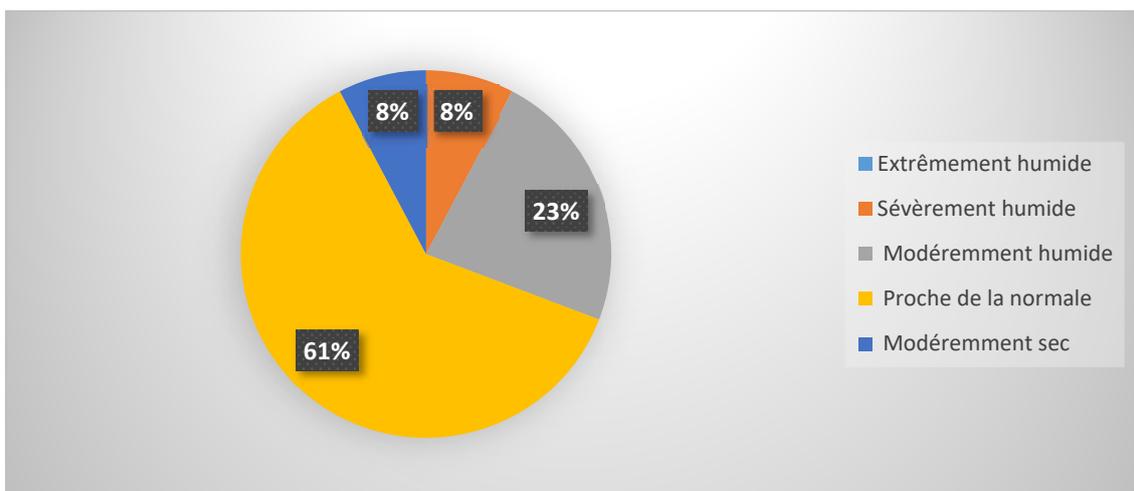


Figure III.41 : Pourcentage des classes annuelles pour la station Legfaf.

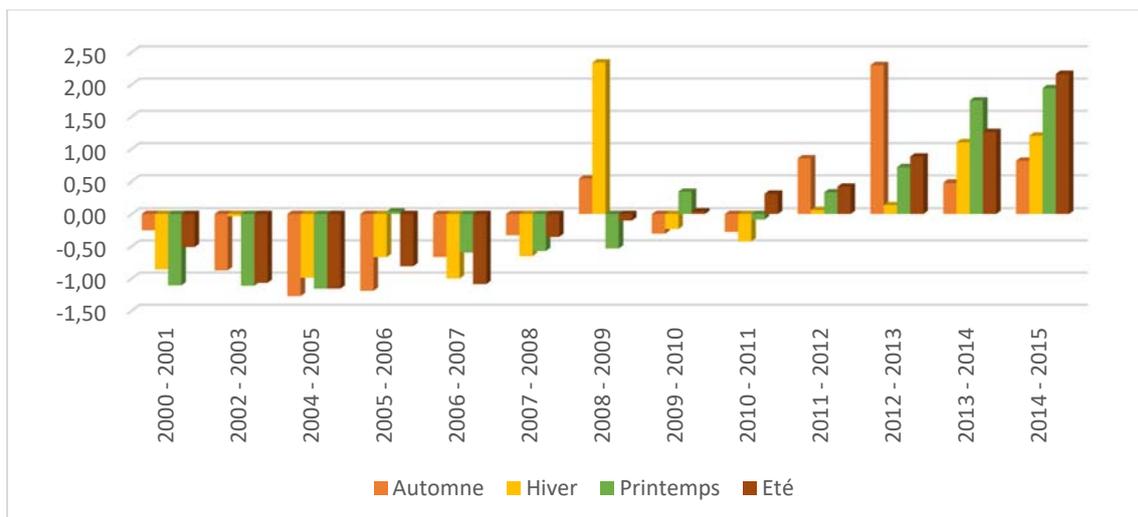


Figure III.42. L'indice de variabilité saisonnier pour la station Legfaf

IV.2. LA HAUTE TAFNA

a) STATION VILLAGE TAFNA

Echelle annuelle : La figure III.43 montre trois périodes d'écoulement ; une première période déficitaire s'étalant entre 1987 et 1990, une deuxième période excédentaire entre 1990 et 1997 puis une période généralement déficitaire entre 1997 et 2012. L'année 2014/2015 c'est la plus humide et 2004/2005 est la plus sèche (tableau III.18).

5% sont des années extrêmement humides, 4% sévèrement humides, 4% modérément humides et 87% proches de la normale.

Echelles saisonnière et mensuelle : Les saisons et les mois humides sont peu fréquents au cours des années 1993-1998, d'autres mois extrêmement humides ont été enregistrés correspondant à ; avril et mai de 1992, mai 1993, septembre 2002, juillet et aout de 2010. Le reste (saisons ou mois) sont proches de la normale.

Chapitre III : Résultats et discussions

Tableau III.18 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Village Tafna.

	1	2				3											
	ann	Aut	Hiv	Pri	Eté	sep	oct	nov	dec	jan	fev	ma	avr	mai	juin	juil	aoû
1987 - 1988	-0,55	-0,24	-0,34	-0,45	-0,33	-0,24	0,43	-0,38	-0,18	-0,21	-0,38	-0,34	-0,60	-0,49	-0,33	-0,38	-0,25
1988 - 1989	-0,54	-0,41	-0,79	-0,24	-0,33	-0,24	-0,62	-0,40	-0,48	-0,71	-0,69	-0,07	-0,60	-0,64	-0,33	-0,37	-0,23
1989 - 1990	-0,41	-0,50	-0,03	-0,34	-0,33	-0,24	-0,62	-0,80	-0,48	0,29	0,05	-0,38	-0,34	0,29	-0,33	-0,38	-0,25
1990 - 1991	0,00	-0,47	-0,50	0,28	-0,13	-0,20	-0,62	-0,80	-0,48	-0,78	-0,12	0,38	0,02	-0,22	-0,10	-0,38	-0,25
1991 - 1992	0,18	-0,42	-0,70	0,52	0,02	-0,16	-0,53	-0,80	-0,48	-0,78	-0,49	-0,30	2,71	2,40	0,08	-0,38	-0,25
1992 - 1993	0,01	-0,50	-0,24	0,22	-0,21	-0,24	-0,62	-0,80	-0,48	-0,18	-0,04	-0,23	0,07	3,08	-0,19	-0,35	-0,25
1993 - 1994	0,43	-0,50	2,44	-0,21	-0,32	-0,24	-0,62	-0,79	-0,19	1,77	3,40	-0,14	-0,32	-0,28	-0,32	-0,36	-0,21
1994 - 1995	3,63	-0,39	-0,29	4,31	0,90	-0,18	-0,62	-0,56	-0,48	-0,41	0,03	4,44	2,79	1,50	0,72	2,55	-0,25
1995 - 1996	1,24	0,12	1,71	0,25	4,10	-0,24	-0,62	1,95	3,66	1,60	-0,19	0,27	-0,24	0,55	4,39	2,71	-0,04
1996 - 1997	1,53	4,27	2,28	0,09	-0,33	4,57	1,63	0,91	0,22	2,78	2,21	-0,18	1,61	-0,19	-0,33	-0,38	-0,25
1997 - 1998	-0,10	0,59	0,76	-0,48	-0,33	0,17	1,39	1,10	2,30	-0,09	-0,01	-0,38	-0,55	-0,58	-0,33	-0,38	-0,25
1998 - 1999	-0,13	-0,50	0,80	-0,30	-0,33	-0,24	-0,62	-0,80	-0,48	0,94	1,14	-0,15	-0,54	-0,59	-0,33	-0,38	-0,25
1999 - 2000	-0,79	-0,50	-0,73	-0,53	-0,33	-0,24	-0,62	-0,80	-0,47	-0,64	-0,64	-0,41	-0,65	-0,64	-0,33	-0,38	-0,25
2000 - 2001	-0,64	-0,16	-0,59	-0,48	-0,33	-0,22	0,29	-0,02	-0,32	-0,53	-0,55	-0,37	-0,58	-0,59	-0,33	-0,38	-0,25
2001 - 2002	-0,62	0,25	-0,81	-0,48	-0,29	-0,24	0,39	1,81	-0,47	-0,77	-0,69	-0,41	-0,59	-0,30	-0,33	-0,38	0,35
2002 - 2003	0,04	0,69	0,87	-0,38	-0,33	-0,24	3,07	1,86	0,34	1,36	0,49	-0,35	-0,21	-0,38	-0,33	-0,38	-0,25
2003 - 2004	-0,27	-0,40	-0,51	-0,03	-0,27	-0,24	-0,62	-0,36	0,11	-0,65	-0,60	0,07	-0,33	-0,18	-0,25	-0,38	-0,25
2004 - 2005	-0,73	-0,50	-0,71	-0,48	-0,33	-0,24	-0,62	-0,80	-0,48	-0,77	-0,50	-0,35	-0,58	-0,64	-0,33	-0,38	-0,25
2005 - 2006	-0,74	-0,50	-0,75	-0,47	-0,33	-0,24	-0,62	-0,80	-0,48	-0,78	-0,57	-0,36	-0,57	-0,52	-0,33	-0,38	-0,25
2006 - 2007	-0,67	-0,48	-0,82	-0,37	-0,33	-0,22	-0,62	-0,80	-0,48	-0,78	-0,69	-0,40	0,13	-0,46	-0,33	-0,38	-0,25
2007 - 2008	-0,68	-0,28	-0,54	-0,52	-0,33	-0,24	-0,46	0,06	-0,41	-0,39	-0,49	-0,39	-0,65	-0,64	-0,33	-0,38	-0,25
2009 - 2010	0,52	0,30	-0,12	0,41	1,11	-0,10	1,36	0,82	0,19	0,07	-0,39	0,41	0,39	0,07	0,61	2,30	4,55
2011 - 2012	-0,44	0,14	-0,25	-0,43	-0,33	-0,24	0,48	1,25	0,04	-0,35	-0,28	-0,35	-0,36	-0,57	-0,33	-0,38	-0,25

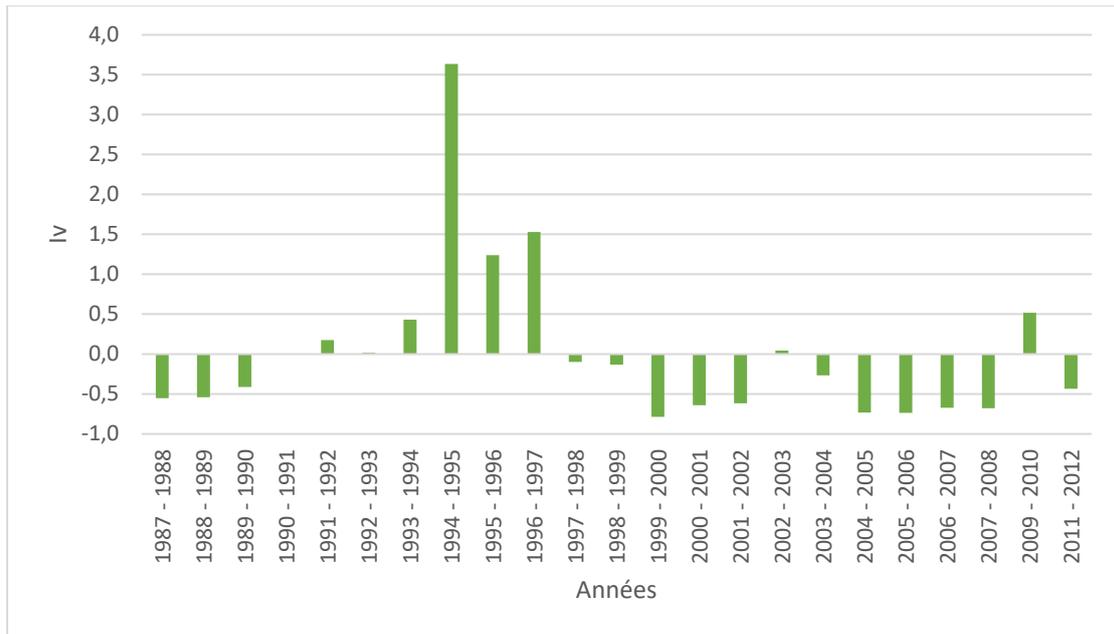


Figure III.43 : L'indice de variabilité annuel pour la station Village Tafna.

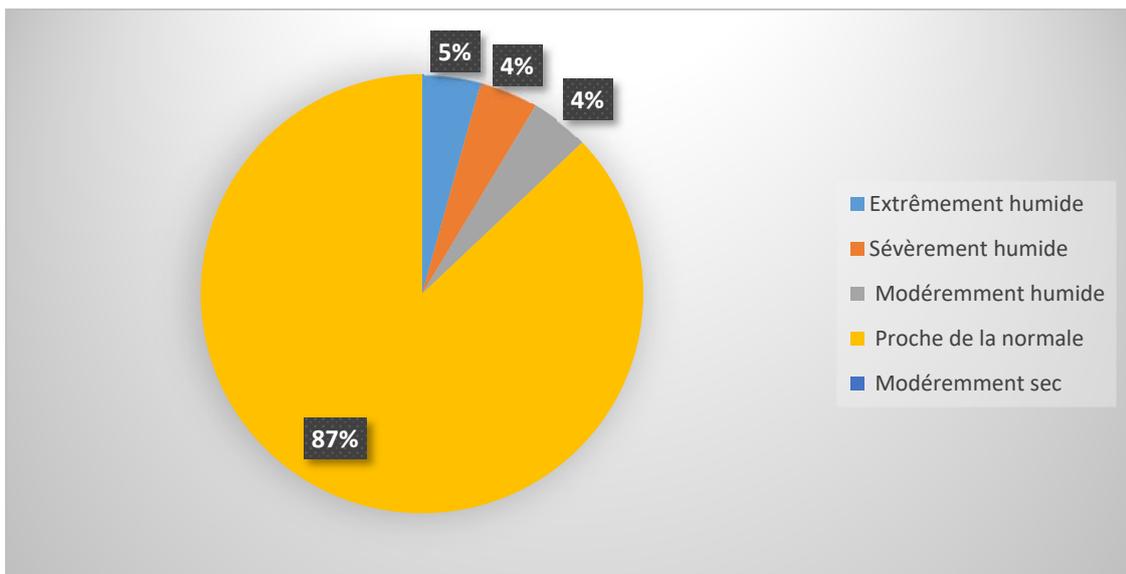


Figure III.44 : Pourcentage des classes annuelles pour la station Village Tafna.

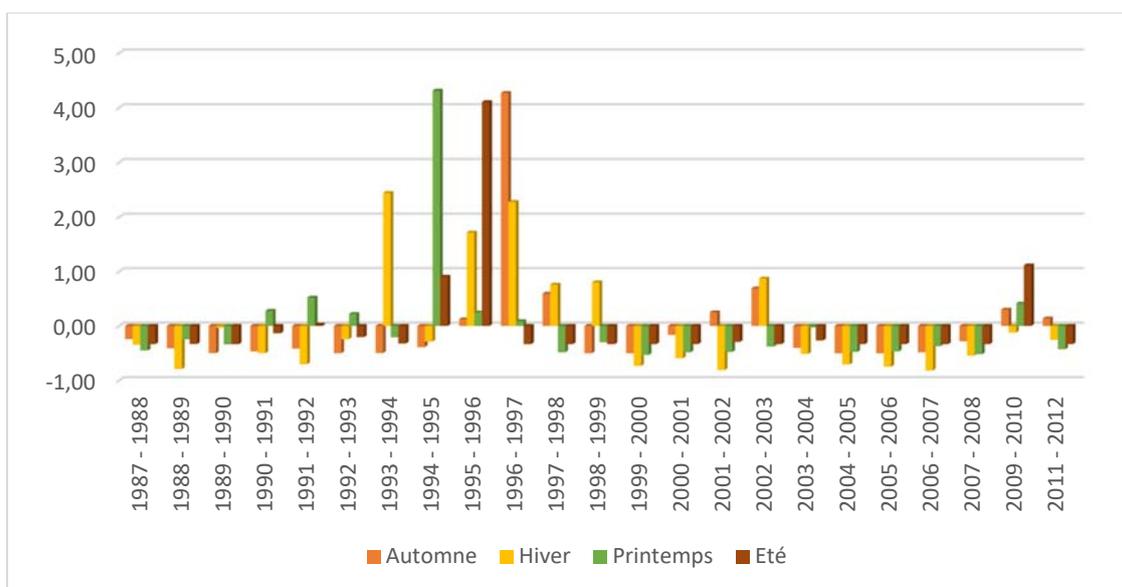


Figure III.45. L'indice de variabilité saisonnier pour la station Village Tafna.

b) STATION BENI BAHDEL

Echelle annuelle : Les valeurs de l'indice de variabilité des débits moyens annuels de la station hydrométrique Beni Bahdel présentés dans la figure III.46 montrent que 38% des années sont excédentaires et 62% déficitaires. 6% sont des années extrêmement humides correspondent aux années 2008/2009 et 2012/2013, 3% sévèrement humides, 3% modérément humides et 88% proches de la normale.

Tableau III.19 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Beni Bahdel.

	1					3											
	ann	Aut	Hiv	Pri	Eté	sep	oct	nov	dec	jan	fev	ma	avr	mai	juin	juil	aou
1980 - 1981	1,22	0,14	1,39	0,73	1,09	0,97	-0,25	-0,05	1,50	1,76	0,60	0,22	1,43	0,71	0,71	1,53	0,84
1981 - 1982	-0,35	-0,14	-0,33	-0,40	0,11	0,04	-0,19	-0,09	-0,13	-0,31	-0,38	-0,44	-0,26	-0,10	0,20	0,31	-0,26
1982 - 1983	-0,17	-0,22	0,08	-0,47	-0,07	-0,56	-0,34	0,18	0,66	0,13	-0,33	-0,51	-0,25	-0,18	-0,17	-0,06	0,06
1983 - 1984	-0,71	-0,51	-0,54	-0,68	-0,43	-0,39	-0,37	-0,31	-0,33	-0,47	-0,57	-0,59	-0,58	-0,46	-0,28	-0,43	-0,52
1984 - 1985	-0,64	-0,34	-0,42	-0,73	-0,58	-0,62	-0,58	0,19	-0,33	-0,22	-0,53	-0,67	-0,63	-0,35	-0,49	-0,44	-0,64
1985 - 1986	0,35	-0,80	0,69	0,35	-0,01	-0,83	-0,76	-0,26	-0,41	-0,14	1,81	0,50	0,20	-0,18	0,01	0,21	-0,22
1986 - 1987	0,87	0,86	0,99	0,20	0,42	-0,71	2,48	-0,16	-0,30	-0,42	2,61	0,22	0,13	0,10	0,11	1,00	0,22
1987 - 1988	-0,59	-0,11	-0,37	-0,84	-0,48	-0,03	-0,19	-0,02	-0,19	-0,25	-0,49	-0,72	-0,67	-0,67	-0,42	-0,37	-0,48
1988 - 1989	-0,30	-0,75	-0,54	0,51	-0,07	-0,82	-0,60	-0,30	-0,29	-0,45	-0,60	1,06	-0,16	-0,68	0,27	-0,04	-0,58
1989 - 1990	-0,82	-0,83	-0,45	-0,83	-0,84	-0,80	-0,69	-0,37	-0,50	-0,10	-0,59	-0,80	-0,57	-0,48	-0,69	-0,79	-0,80
1990 - 1991	0,75	-0,24	-0,39	3,01	-0,11	1,00	-0,62	-0,36	-0,30	-0,42	-0,31	3,60	1,67	0,33	0,05	0,07	-0,46
1991 - 1992	0,14	-0,63	-0,57	1,48	0,77	-0,69	-0,34	-0,36	-0,38	-0,47	-0,61	-0,39	3,38	3,23	1,02	0,73	0,12

Chapitre III : Résultats et discussions

1992 - 1993	-0,64	-0,56	-0,53	-0,36	-0,73	-0,52	-0,53	-0,22	-0,36	-0,41	-0,59	-0,66	-0,63	1,29	-0,59	-0,67	-0,74
1993 - 1994	-0,83	-0,95	-0,40	-0,90	-0,69	-0,92	-0,77	-0,44	-0,49	-0,44	-0,21	-0,70	-0,76	-0,89	-0,75	-0,61	-0,44
1994 - 1995	-0,28	-0,30	-0,68	0,84	-0,93	0,44	-0,30	-0,43	-0,47	-0,55	-0,72	1,64	-0,54	-0,48	-0,72	-1,01	-0,84
1995 - 1996	0,42	-0,37	-0,10	0,96	1,88	-1,01	0,53	-0,46	-0,54	-0,08	0,16	1,27	0,00	0,46	3,57	0,76	-0,48
1996 - 1997	-0,86	-0,67	-0,50	-0,97	-0,74	-0,59	-0,51	-0,36	-0,36	-0,34	-0,58	-0,79	-0,66	-1,07	-1,00	-1,25	0,27
1997 - 1998	-0,72	0,21	-0,55	-1,02	-0,79	2,67	-0,77	-0,36	-0,25	-0,56	-0,55	-0,84	-0,90	-0,82	-0,67	-0,88	-0,60
1998 - 1999	-0,80	-0,94	-0,62	-0,44	-0,77	-0,49	-0,88	-0,54	-0,53	-0,49	-0,62	-0,08	-0,62	-0,86	-0,69	-0,78	-0,62
1999 - 2000	-0,79	0,04	-0,62	-1,01	-0,78	1,55	-0,27	-0,45	-0,39	-0,46	-0,72	-0,82	-0,81	-0,93	-0,74	-0,65	-0,67
2000 - 2001	0,15	1,81	0,19	-0,62	-1,08	-0,06	3,69	0,08	-0,42	0,78	-0,02	-0,28	-0,79	-0,81	-0,79	-1,12	-1,07
2001 - 2002	-0,36	1,02	-0,68	-0,62	0,18	0,08	1,54	0,38	-0,51	-0,59	-0,67	-0,71	-0,01	-0,60	-0,46	-0,23	1,33
2002 - 2003	-0,09	-0,02	0,11	-0,45	0,03	-0,61	0,31	0,03	-0,20	0,27	0,12	-0,28	-0,42	-0,58	-0,65	-0,97	1,76
2003 - 2004	-0,71	-0,51	-0,46	-0,83	-0,48	-0,36	-0,44	-0,27	-0,03	-0,48	-0,56	-0,74	-0,81	-0,33	-0,39	-0,40	-0,50
2004 - 2005	-0,90	-0,93	-0,61	-0,69	-0,91	-0,77	-0,73	-0,50	-0,49	-0,54	-0,56	-0,42	-0,62	-0,98	-0,75	-0,80	-0,89
2005 - 2006	-0,70	-0,37	-0,63	-0,37	-1,11	-0,42	-0,53	0,01	-0,58	-0,62	-0,49	-0,52	-0,74	1,00	-0,95	-0,99	-1,04
2006 - 2007	-0,73	-0,69	-0,60	-0,33	-1,03	0,03	-0,88	-0,40	-0,42	-0,47	-0,66	-0,74	1,11	-0,74	-0,90	-0,90	-0,96
2007 - 2008	-0,84	0,26	-0,66	-1,11	-1,13	-0,74	1,47	-0,31	-0,31	-0,59	-0,74	-0,86	-0,98	-0,99	-0,91	-1,14	-1,03
2008 - 2009	3,05	0,73	4,09	1,03	1,52	-0,58	1,39	0,36	5,00	4,60	1,93	0,80	0,87	1,04	1,47	1,71	0,83
2009 - 2010	0,76	1,08	-0,11	1,50	0,65	3,17	0,09	0,08	0,06	-0,18	-0,11	1,46	0,72	1,36	0,04	0,64	1,26
2010 - 2011	-0,41	-0,15	-0,44	-0,56	0,55	0,01	-0,09	-0,15	-0,20	-0,39	-0,51	-0,60	-0,43	-0,10	0,55	0,67	0,19
2011 - 2012	0,16	-0,20	-0,09	0,01	2,07	-0,36	-0,32	0,09	0,02	-0,21	-0,03	-0,34	0,59	0,27	1,55	2,52	1,64
2012 - 2013	2,81	4,37	1,44	2,09	2,67	1,13	0,44	5,56	0,40	1,83	1,28	1,15	2,45	2,60	2,05	1,97	3,01
2013 - 2014	1,80	0,66	2,07	1,10	0,71	1,42	0,12	0,24	1,22	0,72	3,09	1,51	0,03	0,34	0,53	1,06	0,39
2014 - 2015	0,85	0,01	1,00	0,24	1,51	0,36	-0,12	-0,06	0,83	0,58	1,16	0,07	0,26	0,55	0,88	1,34	1,92

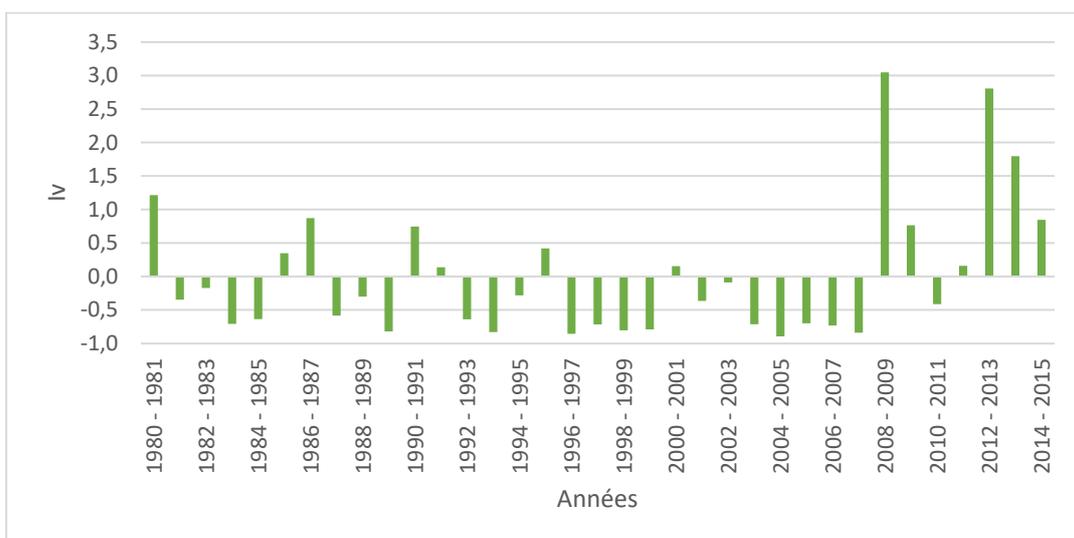


Figure III.46 : L'indice de variabilité annuel pour la station Beni Bahdel.

Echelle saisonnière et mensuelle : Les écoulements saisonniers et mensuels dans la station Beni Bahdel sont généralement proches de la normale. Les cas humides sont un peu plus fréquents au cours des années 2008 à 2015. On a enregistré quelques cas secs au printemps et en été (juin et aout).

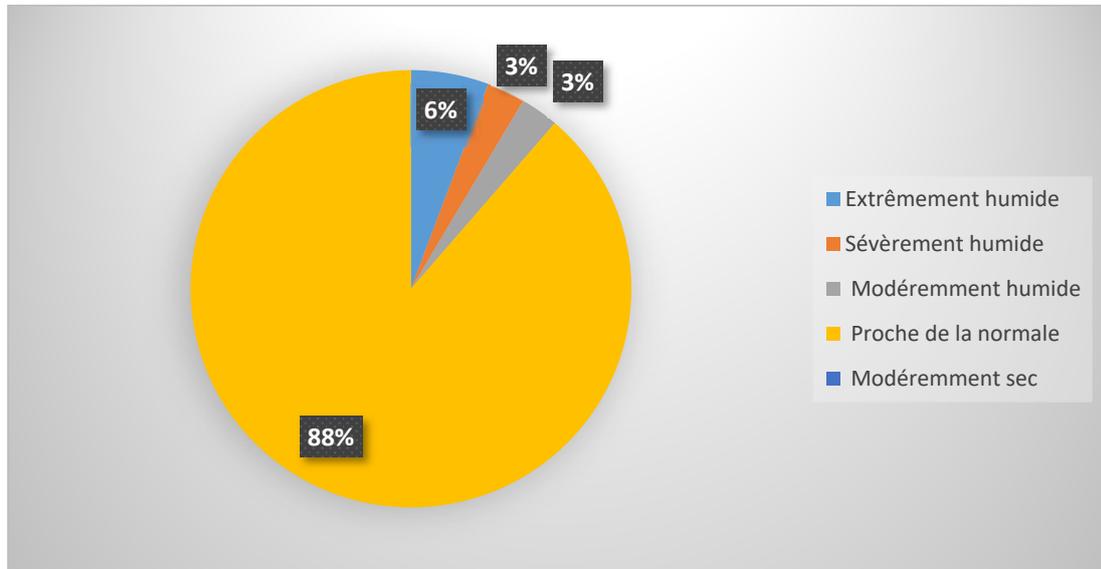


Figure III.47 : Pourcentage des classes annuelles pour la station Beni Bahdel.

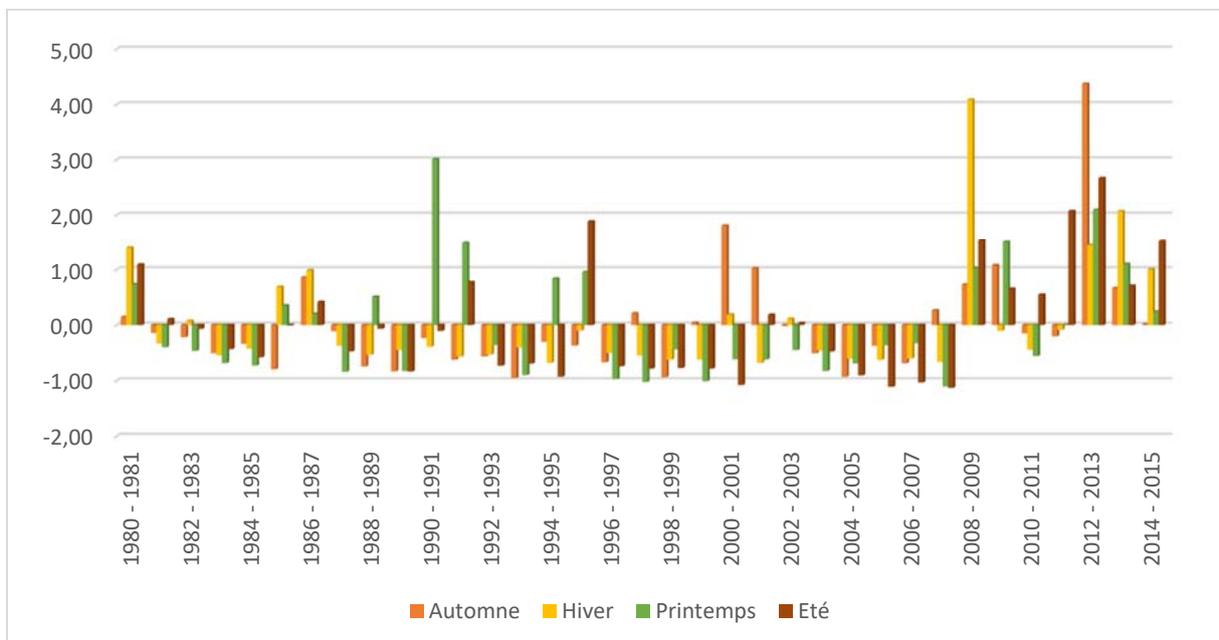


Figure III.48 : L'indice de variabilité saisonnier pour la station Beni Bahdel.

c) STATION ZAHRA

Echelle annuelle : La répartition graphique de l'indice de variabilité dans la figure III.49 met en évidence la succession entre années déficitaires et excédentaires. On a enregistré 31% d'années excédentaires et 69% années déficitaires. 5% sont des années sont extrêmement humides, 3% sévèrement humides, 6% modérément humides, 83% proches de la normale et 3 % modérément sèches.

Tableau III.20 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Zahra.

	1	2				3											
	ann	Aut	Hiv	Pri	Eté	sep	oct	nov	dec	jan	fev	ma	avr	mai	juin	juil	aou
1980 - 1981	1,63	0,21	1,69	0,65	2,38	1,41	0,56	-0,10	1,03	1,85	1,47	0,19	1,16	0,90	1,58	2,92	2,67
1981 - 1982	-0,39	0,35	-0,33	-0,56	0,79	2,03	0,68	-0,06	-0,08	-0,26	-0,45	-0,57	-0,28	-0,05	0,50	0,95	1,01
1982 - 1983	-0,44	0,15	-0,36	-0,59	1,08	0,58	0,36	-0,01	-0,08	-0,28	-0,50	-0,57	-0,38	-0,13	0,48	1,29	1,76
1983 - 1984	-0,43	0,07	-0,35	-0,55	1,06	1,36	0,15	-0,13	-0,04	-0,29	-0,49	-0,56	-0,40	0,05	0,80	1,13	1,22
1984 - 1985	-0,21	0,31	-0,19	-0,41	1,03	0,84	0,33	0,14	0,16	-0,11	-0,40	-0,53	-0,19	0,37	0,60	1,19	1,44
1985 - 1986	0,56	0,30	0,48	0,31	0,91	1,30	0,26	0,09	0,28	0,11	0,82	0,29	0,31	-0,07	0,58	1,12	1,11
1986 - 1987	0,95	1,17	0,95	0,13	1,08	0,65	0,31	1,07	0,08	-0,18	2,27	0,12	0,12	-0,01	0,60	1,58	1,20
1987 - 1988	-0,30	0,45	-0,21	-0,58	0,83	0,72	0,83	0,16	0,03	-0,17	-0,32	-0,51	-0,46	-0,19	0,52	0,99	1,07
1988 - 1989	-0,30	-0,13	-0,37	-0,21	1,07	0,53	0,05	-0,22	-0,07	-0,31	-0,48	-0,20	-0,08	-0,13	0,75	1,38	1,07
1989 - 1990	-0,43	0,09	-0,25	-0,54	-0,23	0,85	0,24	-0,07	-0,05	-0,11	-0,44	-0,60	-0,08	-0,14	-0,27	-0,22	0,00
1990 - 1991	1,21	-0,30	-0,11	2,86	-0,07	-0,27	-0,30	-0,20	0,07	-0,23	-0,05	3,15	1,13	-0,13	0,06	0,03	-0,40
1991 - 1992	0,48	-0,44	-0,48	1,64	1,67	-0,76	-0,33	-0,28	-0,21	-0,37	-0,60	-0,56	4,09	4,92	1,89	1,76	0,59
1992 - 1993	-0,60	-0,37	-0,48	-0,38	-0,47	-0,33	-0,27	-0,28	-0,27	-0,37	-0,59	-0,62	-0,54	1,32	-0,50	-0,38	-0,28
1993 - 1994	-0,36	-0,52	0,06	-0,61	-0,49	-0,67	-0,51	-0,32	-0,32	-0,29	0,57	-0,46	-0,50	-0,45	-0,52	-0,27	-0,43
1994 - 1995	0,50	-0,38	-0,59	2,14	-0,69	-0,41	0,13	-0,39	-0,44	-0,44	-0,67	2,83	-0,33	-0,48	-0,63	-0,60	-0,63
1995 - 1996	0,47	-0,63	-0,49	1,64	2,08	-0,65	-0,41	-0,47	-0,53	-0,42	-0,43	2,01	-0,19	0,20	4,07	-0,07	-0,27
1996 - 1997	-0,88	-0,52	-0,54	-0,84	-0,54	-0,15	-0,37	-0,42	-0,45	-0,40	-0,60	-0,71	-0,57	-0,49	-0,59	-0,48	-0,25
1997 - 1998	-0,81	-0,41	-0,44	-0,85	-0,83	0,23	-0,46	-0,33	0,12	-0,45	-0,60	-0,70	-0,70	-0,43	-0,71	-0,88	-0,65
1998 - 1999	-0,13	-0,70	-0,53	0,81	-0,66	-0,86	-0,61	-0,46	-0,49	-0,39	-0,58	1,17	-0,16	-0,52	-0,56	-0,59	-0,68
1999 - 2000	-0,90	-0,39	-0,56	-0,88	-0,73	0,87	-0,38	-0,41	-0,40	-0,42	-0,65	-0,71	-0,72	-0,51	-0,60	-0,68	-0,76
2000 - 2001	-0,29	1,64	-0,24	-0,68	-0,77	0,57	4,99	0,27	-0,46	0,01	-0,34	-0,49	-0,66	-0,51	-0,58	-0,76	-0,84
2001 - 2002	-0,25	2,16	-0,54	-0,44	-0,06	0,37	0,41	2,13	-0,35	-0,41	-0,63	-0,70	0,45	0,08	-0,49	-0,73	1,73
2002 - 2003	0,30	-0,19	0,73	-0,22	-0,89	-0,97	0,94	-0,35	-0,49	0,93	0,96	-0,08	-0,24	-0,44	-0,77	-0,84	-0,81
2003 - 2004	-0,28	-0,73	-0,51	0,49	-0,77	-1,21	-0,71	-0,43	-0,24	-0,43	-0,61	0,86	-0,50	-0,38	-0,58	-0,76	-0,86
2004 - 2005	-0,98	-0,79	-0,60	-0,82	-0,96	-1,25	-0,78	-0,47	-0,52	-0,47	-0,63	-0,62	-0,71	-0,61	-0,84	-0,87	-0,92
2005 - 2006	-0,95	-0,77	-0,56	-0,82	-0,95	-1,12	-0,78	-0,46	-0,51	-0,46	-0,55	-0,62	-0,78	-0,52	-0,84	-0,87	-0,88

2006 - 2007	-0,79	-0,41	-0,62	-0,53	-0,91	2,31	-0,76	-0,50	-0,52	-0,48	-0,66	-0,72	0,46	-0,33	-0,79	-0,82	-0,90
2007 - 2008	-1,04	-0,72	-0,62	-0,94	-0,99	-1,25	-0,61	-0,44	-0,54	-0,45	-0,67	-0,72	-0,82	-0,65	-0,86	-0,92	-0,91
2008 - 2009	2,78	-0,07	4,13	0,07	-0,56	0,46	0,20	-0,18	5,25	4,50	2,25	0,11	0,16	-0,32	-0,38	-0,55	-0,68
2009 - 2010	-0,60	-0,59	-0,56	-0,18	-0,74	-0,50	-0,49	-0,42	-0,44	-0,46	-0,58	-0,03	-0,37	-0,28	-0,56	-0,77	-0,78
2010 - 2011	-0,92	-0,64	-0,56	-0,85	-0,68	-1,17	-0,41	-0,43	-0,45	-0,45	-0,59	-0,68	-0,74	-0,45	-0,42	-0,82	-0,77
2011 - 2012	-0,81	-0,54	-0,54	-0,63	-0,93	-1,16	-0,60	-0,26	-0,42	-0,46	-0,56	-0,47	-0,49	-0,56	-0,81	-0,84	-0,89
2012 - 2013	3,09	4,37	2,05	2,23	0,05	-1,24	-0,74	4,98	0,69	2,38	1,91	1,41	2,73	1,69	0,30	0,08	-0,47
2013 - 2014	1,17	-0,54	1,52	0,49	-0,07	-0,44	-0,46	-0,39	0,99	0,09	2,83	0,46	0,65	-0,30	0,03	-0,08	-0,18
2014 - 2015	-0,24	-0,57	0,05	-0,32	-0,59	-0,69	-0,46	-0,39	-0,37	-0,29	0,58	-0,17	-0,35	-0,42	-0,43	-0,60	-0,63

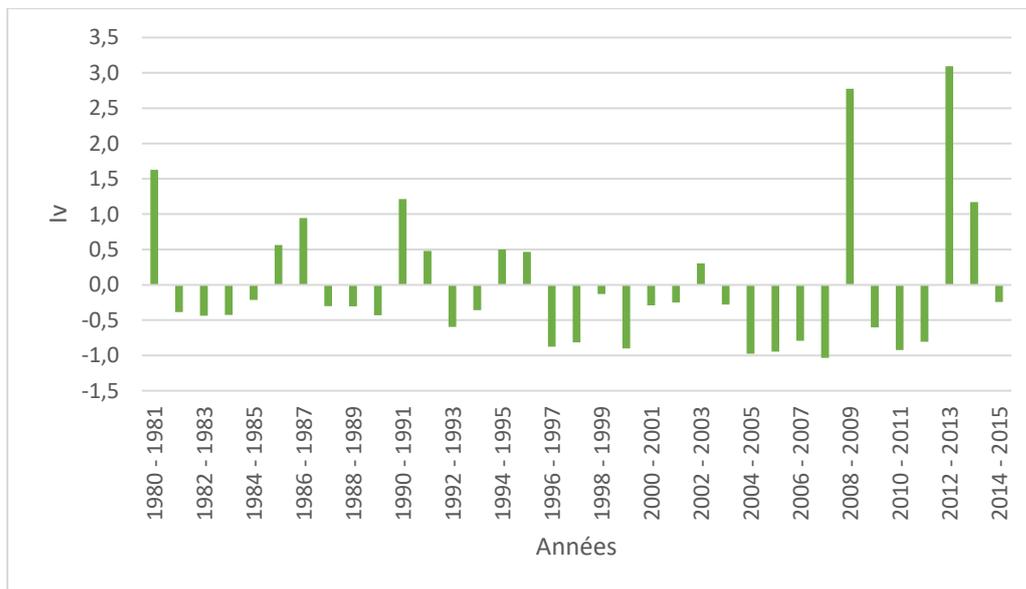


Figure III.49 : L'indice de variabilité annuel pour la station Zahra.

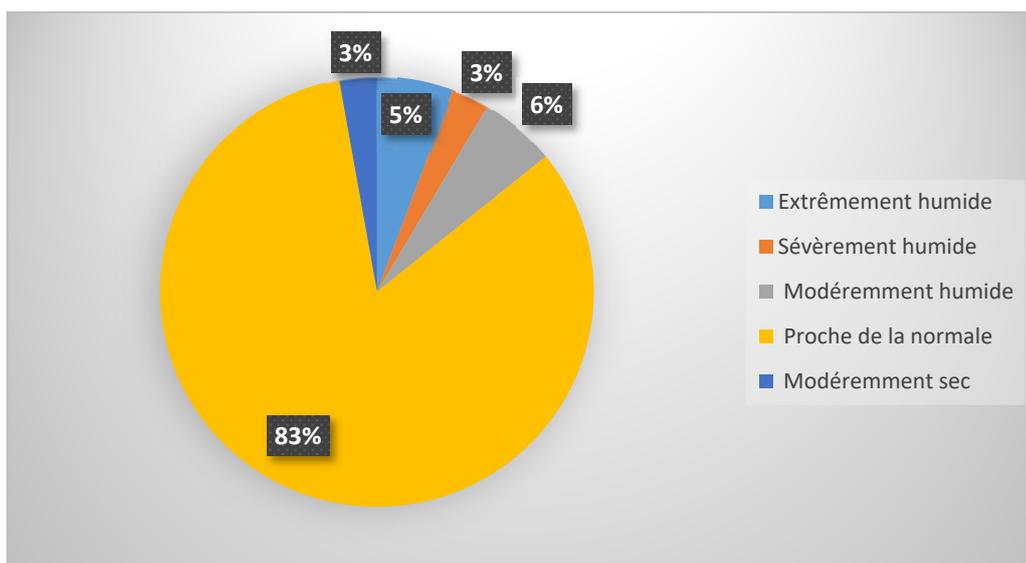


Figure III.50 : Pourcentage des classes annuelles pour la station Zahra.

Echelles saisonnière et mensuelle : Les écoulements saisonniers et mensuels dans la station Zahra sont généralement proches de la normale. Le caractère d'humidité caractérise la saison d'été (principalement en juin et aout) entre les années 1981 et 1989. Le caractère de la sécheresse est marqué en septembre entre les années 2003 et 2012.

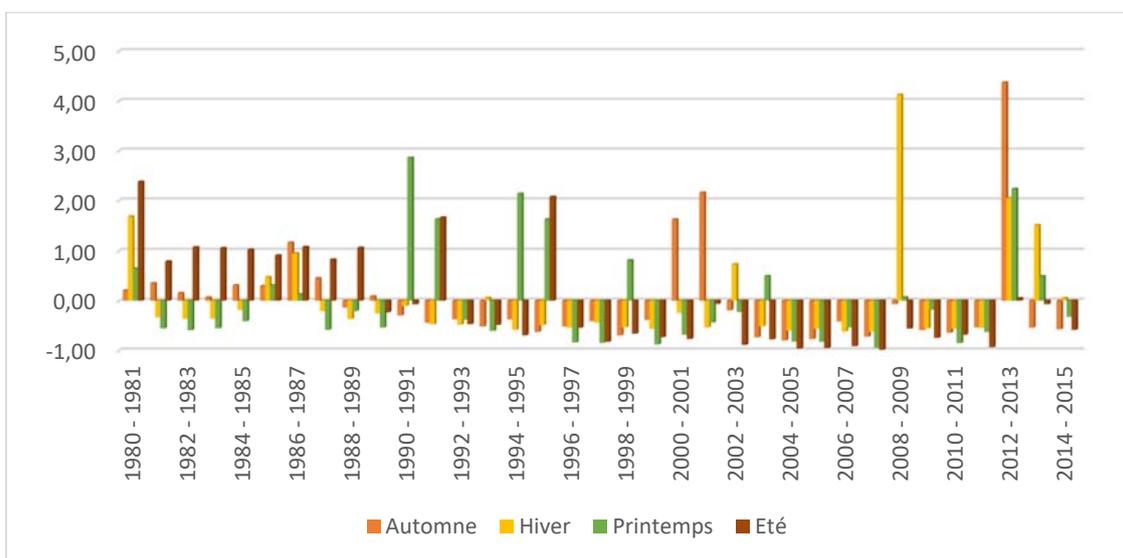


Figure III.51 : L'indice de variabilité saisonnier pour la station Zahra.

IV.3. OUED SIKKAK

a) STATION MEFROUCHE

Echelle annuelle : Les valeurs moyennes de l'indice de variabilité varient entre -0,01 et 0,03, l'écoulement reste proche pendant toute la période d'étude 1988-2015.

Echelles saisonnière et mensuelle : Les écoulements saisonnier et mensuel dans la station Meffrouche est généralement proche de la normale pendant la période d'observation 1988-2015.

Tableau III.21 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Mafrouche.

	1	2				3											
	ann	Aut	Hiv	Pri	Été	sep	oct	nov	dec	jan	fev	ma	avr	mai	juin	juil	aou
1988 - 1989	0,00	-0,29	-0,52	0,40	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,28	-0,51	-0,67	0,58	-0,36	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
1989 - 1990	-0,01	-0,29	-0,38	-0,66	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,28	-0,21	-0,67	-0,51	-0,36	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
1990 - 1991	0,01	-0,29	-0,40	3,28	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,27	-0,51	-0,31	3,45	0,07	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
1991 - 1992	0,00	-0,29	-0,52	0,21	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,28	-0,51	-0,67	-0,51	0,68	2,55	-0,25	0,00	-0,21
1992 - 1993	0,00	-0,29	-0,52	0,29	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,28	-0,51	-0,67	-0,51	-0,36	3,60	-0,25	0,00	-0,21

1993 - 1994	0,00	-0,29	0,23	-0,66	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,28	0,16	0,73	-0,51	-0,36	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
1994 - 1995	0,01	-0,29	-0,52	1,74	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,28	-0,51	-0,67	1,95	-0,36	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
1995 - 1996	0,01	-0,28	0,22	0,76	0,00	-0,21	-0,25	-0,23	-0,27	-0,01	0,94	0,92	-0,30	-0,29	4,47	0,00	-0,21
1996 - 1997	-0,01	-0,29	-0,48	-0,67	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,28	-0,41	-0,67	-0,51	-0,36	-0,36	-0,25	0,00	4,59
1997 - 1998	-0,01	-0,28	-0,43	-0,67	0,00	-0,17	-0,27	-0,23	-0,17	-0,51	-0,50	-0,51	-0,36	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
1998 - 1999	0,00	-0,29	-0,45	0,91	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,28	-0,37	-0,64	1,09	-0,33	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
1999 - 2000	-0,01	-0,29	-0,50	-0,67	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,22	-0,50	-0,67	-0,51	-0,36	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
2000 - 2001	0,00	0,06	0,56	-0,55	0,00	-0,21	4,51	-0,20	-0,25	0,52	1,22	-0,40	-0,36	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
2001 - 2002	-0,01	-0,10	-0,52	-0,49	0,00	-0,21	0,27	-0,08	-0,28	-0,51	-0,67	-0,51	0,52	-0,25	-0,25	0,00	-0,21
2002 - 2003	0,00	-0,05	0,75	-0,63	0,00	-0,21	0,27	-0,04	-0,28	0,80	1,43	-0,48	-0,34	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
2003 - 2004	0,00	-0,29	-0,25	-0,34	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	0,46	-0,43	-0,66	-0,38	-0,36	0,46	-0,25	0,00	-0,21
2004 - 2005	-0,01	-0,29	-0,46	-0,55	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,28	-0,51	-0,48	-0,40	-0,36	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
2005 - 2006	-0,01	-0,29	-0,42	-0,65	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,28	-0,51	-0,35	-0,49	-0,36	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
2006 - 2007	-0,01	-0,29	-0,52	-0,51	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,28	-0,51	-0,67	-0,51	0,55	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
2008 - 2009	0,02	-0,06	3,85	-0,39	0,00	4,59	0,24	-0,13	4,51	3,45	2,57	-0,27	-0,12	-0,36	-0,25	0,00	-0,21
2010 - 2011	-0,01	-0,29	-0,50	-0,59	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	-0,28	-0,51	-0,60	-0,51	-0,36	-0,03	-0,25	0,00	-0,21
2012 - 2013	0,03	4,66	1,68	0,75	0,00	-0,21	-0,28	4,58	-0,20	2,34	2,03	0,09	4,34	-0,22	-0,25	0,00	-0,21
2014 - 2015	0,00	-0,29	0,40	-0,67	0,00	-0,21	-0,28	-0,23	0,26	0,22	0,64	-0,51	-0,36	-0,36	0,83	0,00	-0,21

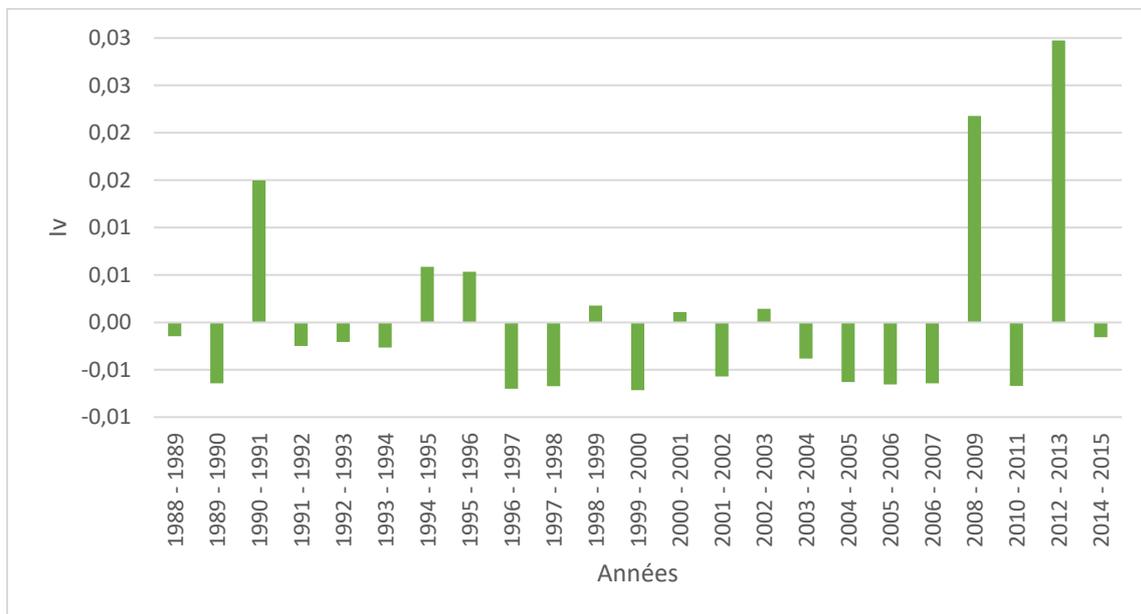


Figure III.52 : L'indice de variabilité annuel pour la station Meffrouche.

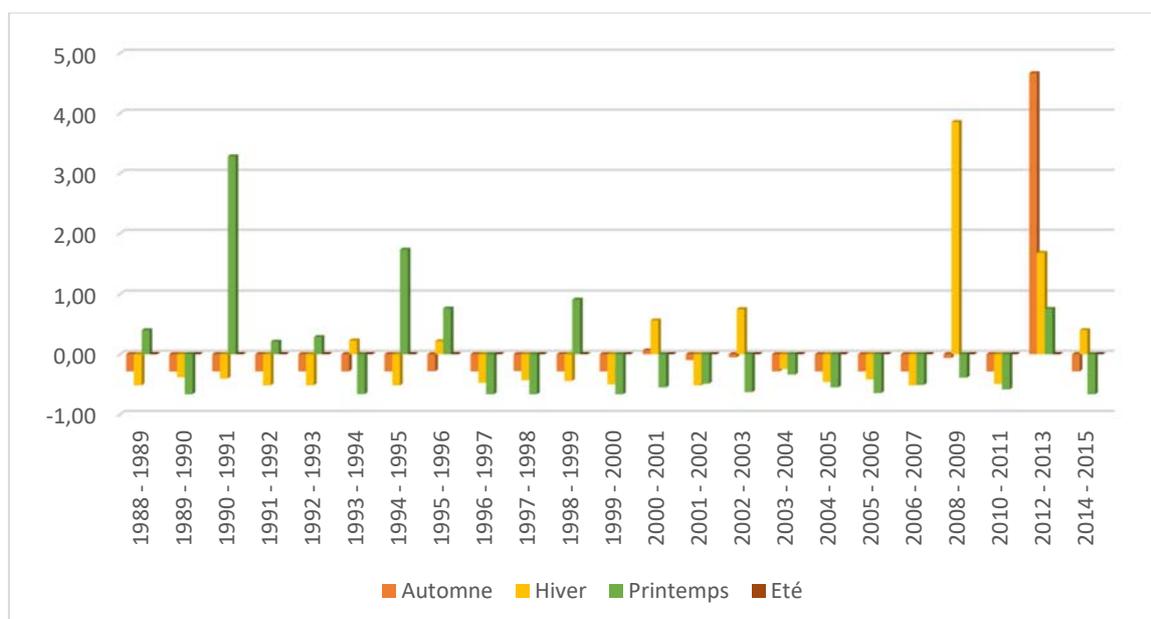


Figure III.53 : L'indice de variabilité saisonnier pour la station Meffrouche.

b) STATION AIN YUCEF

Echelle annuelle : Les valeurs de l'indice de variabilité des débits moyens annuels de la station hydrométrique Ain Youcef présentés dans la figure III.54 montrent que 42% sont des années excédentaires et 58% déficitaires. L'année la plus humide correspond à 1980/1981 et l'année 1983/1984 est la plus sèche. 5% des années sont extrêmement humides, 5% sévèrement humides, 5 modérément humides, 64% proches de la normale et 21 % modérément sèches.

Echelles saisonnière et mensuelle : Les écoulements saisonniers et mensuels dans la station Ain Youcef sont généralement proches de la normale. Des cas secs ont été marqués en automne, hiver et printemps (principalement entre novembre et avril).

Tableau III.22 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Ain Youcef.

	1					3											
	ann	Aut	Hiv	Pri	Eté	sep	oct	nov	dec	jan	fev	ma	avr	mai	juin	juil	aou
1980 - 1981	2,41	0,29	2,15	1,44	2,94	-0,18	0,43	0,44	2,33	2,12	1,10	0,40	2,02	1,10	1,99	3,20	3,79
1981 - 1982	0,21	0,23	0,01	0,18	0,43	0,36	0,35	0,04	0,27	0,05	-0,21	-0,76	0,89	1,23	0,53	0,24	-0,13
1982 - 1983	-0,47	0,61	0,10	-1,50	-0,60	-0,40	-0,12	1,65	0,62	-0,15	-0,14	-0,85	-1,30	-0,98	-0,70	-0,47	-0,40
1983 - 1984	-1,20	-0,95	-0,75	-1,20	-0,12	-0,55	-0,81	-0,88	-0,61	-0,79	-0,51	-0,91	-1,27	-0,12	0,02	-0,34	-0,40
1984 - 1985	-1,11	-0,43	-0,76	-1,13	-0,60	-0,55	-0,81	0,17	-0,64	-0,61	-0,62	-0,89	-1,02	-0,20	-0,69	-0,47	-0,40
1985 - 1986	0,49	-0,77	0,53	0,73	0,24	-0,55	-0,81	-0,52	-0,45	-0,28	1,40	0,80	0,79	-0,48	0,22	-0,20	0,85
1986 - 1987	1,99	0,70	1,94	1,10	1,09	0,06	0,50	1,06	0,35	0,32	3,09	1,01	0,97	-0,13	0,22	2,28	0,91
1987 - 1988	-0,24	0,37	0,52	-1,42	-0,53	-0,21	0,47	0,58	0,33	0,85	0,18	-0,95	-1,14	-0,74	-0,62	-0,39	-0,39

Chapitre III : Résultats et discussions

1988 - 1989	-1,04	-0,94	-1,34	0,15	-0,43	-0,55	-0,81	-0,87	-1,01	-1,44	-0,93	0,59	-0,25	-0,64	-0,42	-0,46	-0,39
1989 - 1990	-1,02	-0,65	-0,50	-1,17	-0,62	0,83	-0,81	-1,16	-1,15	1,07	-0,87	-1,17	-0,57	-0,11	-0,72	-0,47	-0,40
1990 - 1991	-0,44	-1,08	-1,12	1,17	0,12	-0,55	-0,81	-1,14	-0,75	-1,24	-0,82	1,18	0,90	-0,25	0,11	0,08	-0,14
1991 - 1992	0,85	0,52	-0,03	1,13	1,88	-0,23	1,26	0,29	0,21	-0,05	-0,19	-0,22	1,49	2,04	3,09	-0,11	-0,17
1992 - 1993	-0,49	-0,30	-0,68	0,02	-0,17	-0,50	-0,20	-0,07	-0,28	-0,87	-0,53	-0,78	-0,45	2,02	0,01	-0,46	-0,40
1993 - 1994	-0,41	-0,42	0,31	-1,03	-0,62	-0,55	-0,77	0,17	-0,54	0,50	0,57	-0,39	-1,00	-0,99	-0,73	-0,47	-0,40
1994 - 1995	-0,87	-0,69	-1,47	0,60	-0,44	-0,55	-0,68	-0,45	-1,08	-1,45	-1,10	1,52	-0,86	-0,87	-0,43	-0,46	-0,40
1995 - 1996	0,74	-0,30	0,48	1,21	-0,01	-0,55	0,73	-0,76	0,64	0,46	0,16	1,69	0,29	-0,67	0,05	-0,10	-0,35
1996 - 1997	1,08	3,08	0,97	-0,55	-0,62	2,19	2,98	2,58	1,89	1,85	-0,60	-0,84	0,69	-0,30	-0,73	-0,47	-0,40
1997 - 1998	0,37	1,25	0,34	-0,24	-0,47	3,02	0,72	0,10	1,03	-0,25	0,09	-0,80	-0,15	1,16	-0,48	-0,47	-0,40
1998 - 1999	-0,35	-1,13	-0,47	0,70	-0,63	-0,55	-0,81	-1,25	-1,16	-0,11	-0,07	1,39	-0,04	-1,07	-0,73	-0,47	-0,40

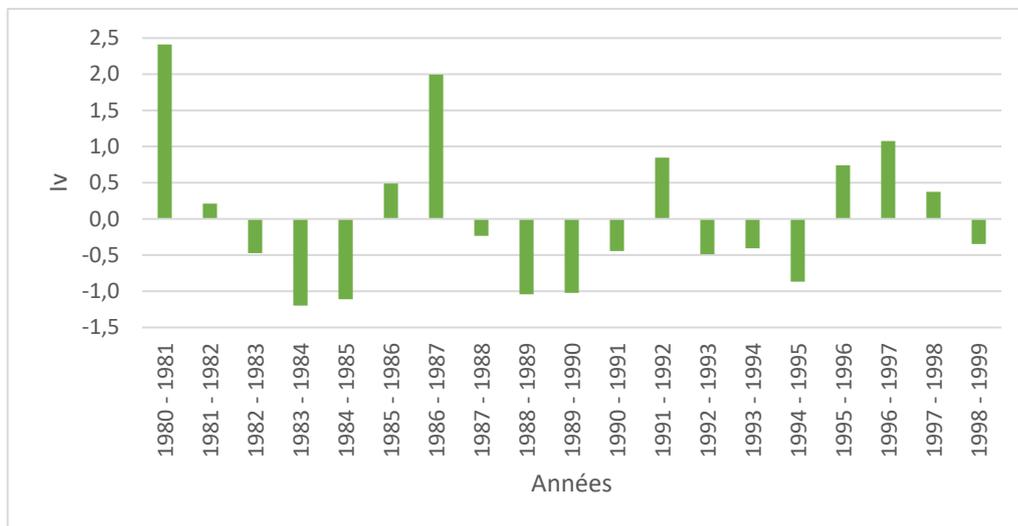


Figure III.54 : L'indice de variabilité annuel pour la station Ain Youcef.

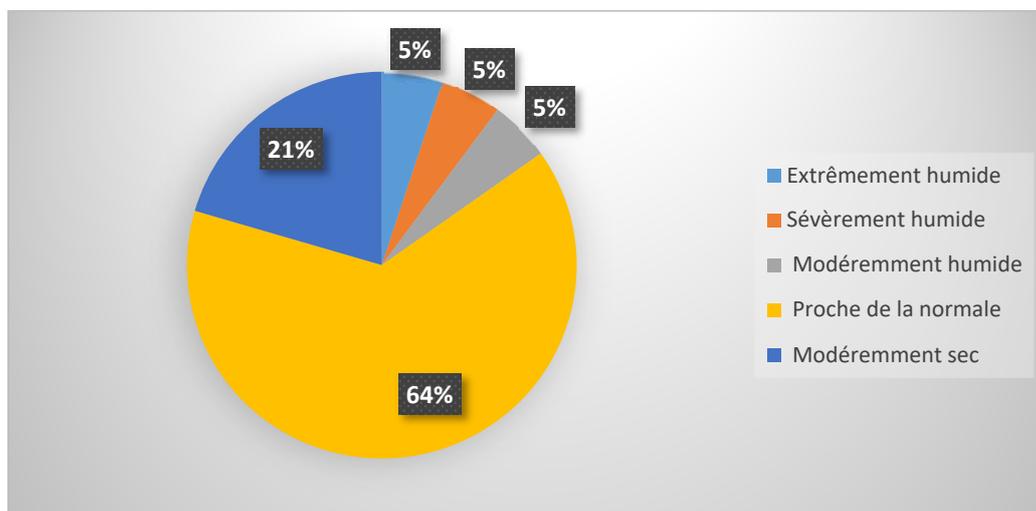


Figure III.55 : Pourcentage des classes annuelles pour la station Ain Youcef.

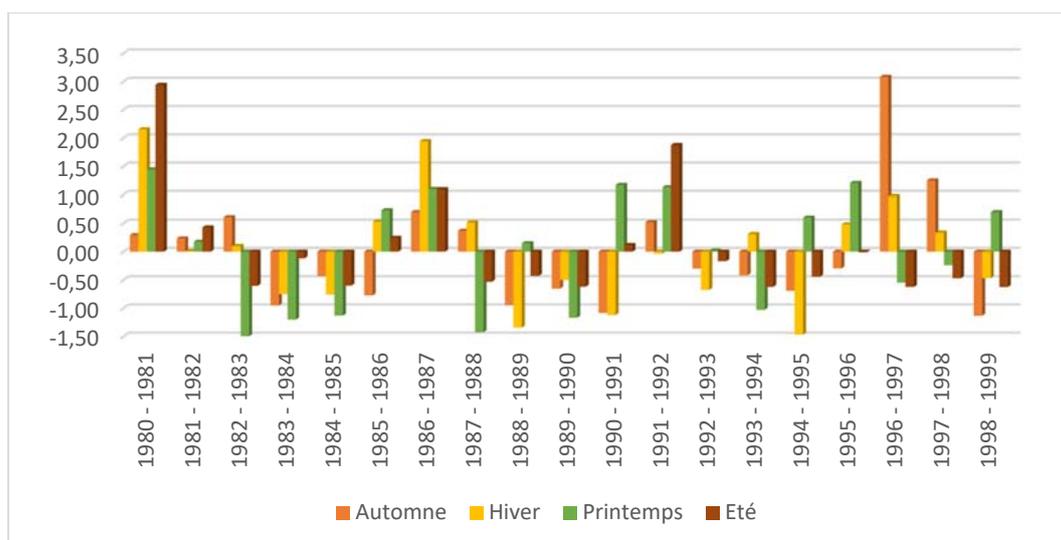


Figure III.56 : L'indice de variabilité saisonnier pour la station Ain Youcef.

IV.4. OUED ISSER

a) STATION CHOULY PONT RN7

Echelle annuelle : Le caractère déficitaire est bien marqué au cours de la période d'observation où 34% des années sont excédentaires et 66% déficitaires. 6% des années sont extrêmement humides correspondant à 2008/2009 et 2012/2013, 9% modérément humides correspondent aux 1986/1987, 1990/1991 et 2013/2014. Le reste est proche de la normale (85%).

Echelle mensuelle : L'écoulement saisonnier et mensuel dans la station Chouly Pont RN7 est généralement proche de la normale. Les saisons et les mois humides sont plus fréquents en 2008/2009 et 2012/2013. Le plus grand nombre des cas humides se présentent en hiver et au printemps.

Tableau III.23 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice I_v pour la station Chouly Pont RN7

	1	2				3											
	ann	Aut	Hiv	Pri	Eté	sep	oct	nov	dec	jan	fev	ma	avr	mai	juin	juil	aou
1980 - 1981	0,74	-0,14	0,87	0,40	0,63	-0,09	0,07	-0,14	0,68	1,36	0,33	0,06	1,53	0,29	1,10	0,39	0,48
1981 - 1982	-0,48	-0,21	-0,45	-0,36	0,36	-0,16	-0,39	-0,17	-0,22	-0,34	-0,47	-0,55	-0,27	1,22	1,75	-0,20	-0,11
1982 - 1983	-0,45	-0,16	-0,23	-0,65	-0,21	-0,13	-0,44	-0,12	0,28	-0,09	-0,46	-0,57	-0,48	-0,41	-0,06	-0,08	0,09
1983 - 1984	-0,66	-0,28	-0,50	-0,65	-0,33	-0,17	-0,59	-0,22	-0,29	-0,35	-0,53	-0,58	-0,48	-0,38	0,00	-0,22	-0,11
1984 - 1985	-0,62	-0,20	-0,47	-0,64	-0,48	-0,28	-0,55	-0,14	-0,29	-0,29	-0,51	-0,59	-0,47	-0,26	-0,36	-0,26	-0,07
1985 - 1986	0,38	-0,28	0,35	0,52	-0,25	-0,28	-0,60	-0,22	-0,29	-0,30	0,97	0,56	0,41	-0,36	0,01	-0,17	0,07
1986 - 1987	1,35	-0,01	1,94	0,10	-0,16	-0,23	0,95	-0,06	-0,13	-0,23	3,71	0,14	0,07	-0,28	-0,25	0,17	-0,08

Chapitre III : Résultats et discussions

1987 - 1988	-0,66	-0,11	-0,47	-0,75	-0,75	-0,24	0,78	-0,15	-0,23	-0,32	-0,52	-0,62	-0,62	-0,61	-0,72	-0,36	-0,34
1988 - 1989	-0,50	-0,11	-0,55	-0,22	-0,72	2,42	-0,63	-0,22	-0,34	-0,40	-0,56	-0,08	-0,39	-0,55	-0,63	-0,35	-0,40
1989 - 1990	-0,70	-0,31	-0,50	-0,70	-0,73	-0,27	-0,68	-0,24	-0,36	-0,28	-0,56	-0,64	-0,59	-0,25	-0,70	-0,35	-0,34
1990 - 1991	1,04	-0,29	-0,50	3,66	-0,58	-0,07	-0,61	-0,24	-0,32	-0,38	-0,48	4,36	-0,51	-0,12	-0,24	-0,33	-0,52
1991 - 1992	-0,17	-0,21	-0,52	0,52	0,65	-0,46	0,45	-0,21	-0,27	-0,37	-0,55	-0,57	2,43	3,88	1,63	0,21	0,20
1992 - 1993	-0,64	-0,29	-0,53	-0,50	-0,78	-0,27	-0,59	-0,22	-0,29	-0,39	-0,56	-0,61	-0,59	1,10	-0,65	-0,40	-0,50
1993 - 1994	-0,57	-0,32	-0,35	-0,68	-0,13	-0,43	-0,72	-0,23	-0,34	-0,37	-0,22	-0,57	-0,57	-0,57	-0,70	0,48	-0,07
1994 - 1995	-0,10	-0,28	-0,56	0,92	-0,87	-0,34	-0,45	-0,23	-0,35	-0,39	-0,58	1,23	-0,29	-0,64	-0,82	-0,42	-0,54
1995 - 1996	0,65	-0,07	-0,08	1,67	1,80	-0,50	2,55	-0,23	-0,29	-0,07	0,03	1,44	0,84	1,83	3,13	0,80	1,03
1996 - 1997	-0,67	-0,13	-0,49	-0,73	-0,69	0,49	0,11	-0,17	-0,22	-0,34	-0,53	-0,63	-0,54	-0,59	-0,73	-0,33	-0,17
1997 - 1998	-0,55	-0,11	-0,50	-0,73	3,16	1,06	-0,05	-0,17	-0,26	-0,37	-0,52	-0,62	-0,61	-0,53	-0,55	5,50	-0,20
1998 - 1999	-0,57	-0,32	-0,55	-0,28	-0,74	-0,35	-0,75	-0,24	-0,35	-0,40	-0,55	-0,15	-0,35	-0,57	-0,71	-0,35	-0,35
1999 - 2000	-0,67	-0,29	-0,46	-0,73	-0,67	-0,26	-0,64	-0,22	-0,14	-0,29	-0,55	-0,63	-0,56	-0,53	-0,57	-0,34	-0,31
2000 - 2001	0,24	0,18	0,28	0,08	-0,55	-0,29	2,79	0,00	-0,21	0,55	0,20	0,32	-0,57	-0,60	-0,06	-0,43	-0,40
2001 - 2002	-0,51	0,41	-0,48	-0,65	-0,34	-0,39	2,42	0,26	-0,19	-0,31	-0,57	-0,62	-0,28	-0,41	-0,08	-0,21	-0,08
2002 - 2003	0,08	-0,13	0,26	-0,24	0,83	-0,26	0,71	-0,16	-0,28	0,08	0,54	-0,16	-0,23	-0,38	-0,27	-0,22	5,46
2003 - 2004	-0,39	-0,06	-0,31	-0,40	-0,34	-0,16	0,18	-0,06	0,36	-0,28	-0,49	-0,37	-0,39	-0,02	-0,10	-0,22	-0,03
2004 - 2005	-0,59	-0,28	-0,52	-0,40	-0,61	-0,33	-0,63	-0,21	-0,31	-0,37	-0,54	-0,29	-0,38	-0,57	-0,62	-0,26	-0,18
2005 - 2006	-0,68	-0,29	-0,52	-0,63	-0,72	-0,30	-0,63	-0,23	-0,35	-0,40	-0,51	-0,49	-0,64	-0,59	-0,68	-0,37	-0,26
2006 - 2007	-0,71	-0,30	-0,56	-0,64	-0,70	-0,29	-0,62	-0,24	-0,34	-0,41	-0,57	-0,64	-0,24	-0,30	-0,68	-0,30	-0,38
2007 - 2008	-0,77	-0,28	-0,57	-0,78	-0,66	-0,35	-0,34	-0,23	-0,35	-0,41	-0,58	-0,64	-0,69	-0,62	-0,66	-0,31	-0,21
2008 - 2009	3,34	0,11	4,27	1,04	0,55	0,09	1,50	-0,01	5,50	4,98	1,96	0,82	1,33	0,49	1,54	0,11	0,21
2009 - 2010	0,20	0,22	-0,35	1,02	-0,61	4,87	0,93	-0,16	-0,17	-0,32	-0,32	1,28	-0,17	-0,38	-0,52	-0,28	-0,27
2010 - 2011	-0,73	-0,30	-0,56	-0,67	-0,82	-0,39	-0,61	-0,23	-0,36	-0,41	-0,57	-0,64	-0,67	0,10	-0,68	-0,42	-0,55
2011 - 2012	-0,62	-0,27	-0,44	-0,60	-0,79	-0,51	-0,82	-0,18	-0,33	-0,42	-0,36	-0,61	-0,01	-0,54	-0,71	-0,37	-0,54
2012 - 2013	3,17	5,65	1,69	2,22	0,89	-0,49	-0,79	5,72	0,31	1,90	1,55	1,22	4,05	2,62	2,52	0,21	-0,26
2013 - 2014	1,16	-0,32	1,44	0,65	-0,01	-0,36	-0,79	-0,24	0,82	0,24	2,09	0,56	0,87	-0,09	0,62	-0,09	-0,10
2014 - 2015	0,41	-0,26	0,76	-0,14	-0,21	-0,30	-0,54	-0,19	-0,08	0,18	1,28	-0,12	0,09	-0,38	0,43	-0,27	-0,19

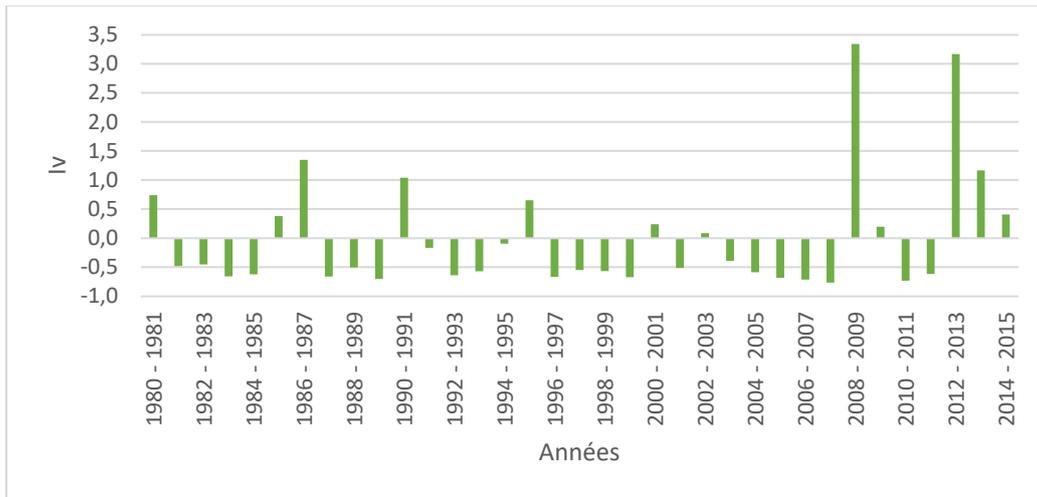


Figure III.57 : L'indice de variabilité annuel pour la station Chouly Point RN7

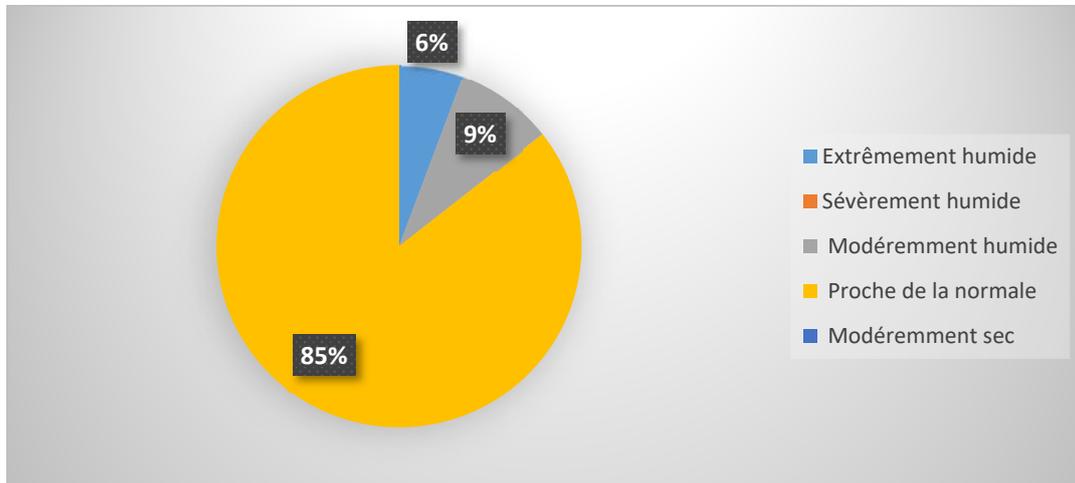


Figure III.58 : Pourcentage des classes annuelles pour la station Chouly Point RN7.

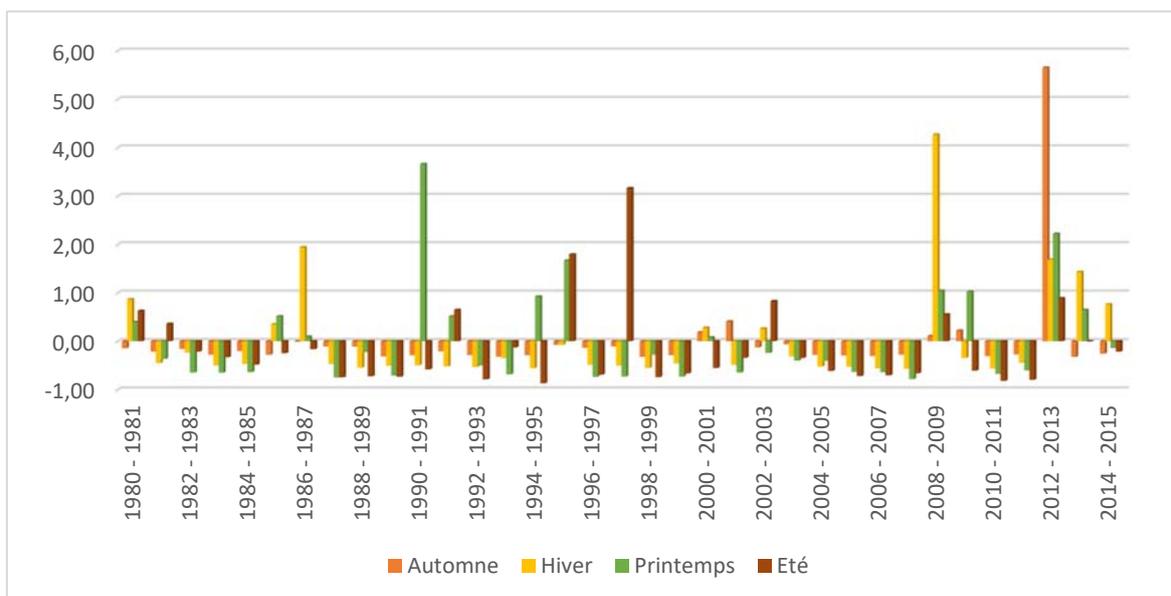


Figure III.59 : L'indice de variabilité saisonnier pour la station Chouly Point RN7

b) STATION SIDI AISSA

Echelle annuelle : La figure III.60 montre 24% des années sont excédentaires et 76% déficitaires. La période 1995-2008 est globalement proche de la normale sauf une année modérément humide correspondant à 1990/1991. La période (1995-2008) est suivie par deux années extrêmement humides, puis l'écoulement devient proche de la normale pendant deux années (2008/2009 et 2009/2010), puis une année sévèrement humide (2012/2013), et la dernière année est modérément humide.

Echelles saisonnière et mensuelle : Le caractère d'humidité est bien clair sur la plupart des mois et des saisons au cours des années 2008/2009, 2012/2013 et 2013/2014. L'hiver présente une sécheresse bien marquée entre 1988 et 2008.

Tableau III.24 : Classification du régime d'écoulement selon l'indice Iv pour la station Sidi Aissa.

	1	2				3											
	ann	Aut	Hiv	Pri	Été	sep	oct	nov	dec	jan	fev	ma	avr	mai	juin	juil	aou
1985 - 1986	-0,41	-0,65	-0,32	-0,42	-0,48	-0,46	-0,65	-0,39	-0,45	-0,46	0,34	-0,27	-0,63	-0,68	-0,40	-0,40	-0,44
1986 - 1987	0,17	-0,64	3,00	-0,63	0,47	-0,45	-0,62	-0,39	-0,45	-0,46	2,93	-0,50	-0,64	-0,68	-0,41	3,04	0,55
1987 - 1988	-0,55	-0,18	-0,89	-0,59	-0,47	-0,21	0,07	-0,14	-0,09	-0,22	-0,47	-0,50	-0,52	-0,56	-0,38	-0,43	-0,45
1988 - 1989	-0,18	-0,60	-1,21	0,26	-0,40	-0,44	-0,65	-0,35	-0,26	-0,36	-0,52	0,37	0,03	-0,43	-0,28	-0,43	-0,45
1989 - 1990	-0,56	-0,64	-0,85	-0,51	-0,50	-0,46	-0,65	-0,39	-0,34	0,01	-0,51	-0,51	-0,47	0,27	-0,42	-0,43	-0,45
1990 - 1991	1,00	-0,22	-1,03	2,17	-0,12	0,93	-0,65	-0,36	-0,17	-0,34	-0,45	2,20	1,88	-0,07	0,02	-0,25	-0,45
1991 - 1992	-0,26	-0,40	-1,08	-0,02	0,10	-0,46	-0,20	-0,24	-0,18	-0,32	-0,49	-0,43	1,41	1,58	0,29	-0,16	-0,45
1992 - 1993	-0,54	-0,53	-1,18	-0,40	-0,43	-0,46	-0,65	-0,27	-0,24	-0,36	-0,51	-0,47	-0,36	0,81	-0,32	-0,43	-0,45
1993 - 1994	-0,57	-0,60	-0,79	-0,55	-0,49	-0,46	-0,65	-0,35	-0,32	-0,25	-0,26	-0,46	-0,46	-0,57	-0,41	-0,43	-0,45
1994 - 1995	-0,05	0,91	-1,17	0,10	-0,50	1,81	1,50	0,06	-0,27	-0,33	-0,51	0,21	-0,12	-0,47	-0,41	-0,43	-0,45
1995 - 1996	0,39	-0,30	-0,21	0,78	0,39	-0,42	0,58	-0,33	-0,15	-0,03	-0,06	0,74	0,45	0,77	0,47	0,37	-0,31
1996 - 1997	-0,55	-0,38	-0,99	-0,58	0,32	-0,23	-0,23	-0,27	-0,21	-0,24	-0,47	-0,51	-0,37	-0,57	-0,41	-0,43	3,90
1997 - 1998	-0,41	0,95	-1,07	-0,58	-0,50	4,25	-0,09	-0,23	-0,21	-0,34	-0,46	-0,50	-0,52	-0,47	-0,42	-0,43	-0,45
1998 - 1999	-0,56	-0,65	-1,29	-0,36	-0,50	-0,46	-0,65	-0,40	-0,42	-0,35	-0,52	-0,25	-0,40	-0,68	-0,42	-0,43	-0,45
1999 - 2000	-0,62	-0,23	-1,13	-0,63	-0,50	0,77	-0,65	-0,31	-0,19	-0,31	-0,54	-0,51	-0,62	-0,68	-0,42	-0,43	-0,45
2000 - 2001	-0,10	-0,06	0,58	-0,34	-0,48	-0,46	-0,42	0,18	-0,30	0,66	0,06	-0,23	-0,50	-0,49	-0,39	-0,43	-0,45
2001 - 2002	-0,38	1,28	-1,17	-0,56	-0,47	-0,42	1,28	1,18	-0,17	-0,35	-0,55	-0,51	-0,35	-0,50	-0,38	-0,43	-0,45
2002 - 2003	-0,33	-0,04	-0,19	-0,49	-0,45	-0,46	1,14	-0,17	-0,36	-0,05	0,07	-0,39	-0,48	-0,60	-0,40	-0,43	-0,26
2003 - 2004	-0,47	-0,25	-0,87	-0,46	-0,26	-0,46	-0,65	0,03	0,15	-0,33	-0,48	-0,42	-0,39	-0,20	-0,11	-0,43	-0,45
2004 - 2005	-0,59	-0,61	-1,14	-0,47	-0,47	-0,46	-0,65	-0,35	-0,27	-0,34	-0,49	-0,38	-0,39	-0,59	-0,38	-0,43	-0,45
2005 - 2006	-0,64	-0,40	-1,24	-0,58	-0,49	0,05	-0,40	-0,34	-0,37	-0,40	-0,47	-0,47	-0,59	-0,64	-0,40	-0,43	-0,45

2006 - 2007	-0,73	-0,65	-1,45	-0,59	-0,49	-0,46	-0,65	-0,40	-0,44	-0,44	-0,57	-0,52	-0,41	-0,54	-0,41	-0,43	-0,45
2007 - 2008	-0,66	-0,06	-1,41	-0,64	-0,50	-0,46	1,80	-0,36	-0,39	-0,42	-0,57	-0,52	-0,64	-0,66	-0,42	-0,43	-0,45
2008 - 2009	3,45	1,23	11,27	1,55	4,08	0,06	3,52	0,45	4,86	4,68	2,73	0,78	3,66	3,19	4,47	1,43	1,70
2009 - 2010	2,02	0,41	-0,32	3,59	-0,34	1,09	0,75	-0,07	0,12	-0,15	-0,17	4,15	-0,02	-0,12	-0,25	-0,32	-0,44
2010 - 2011	-0,57	-0,43	-1,13	-0,52	-0,09	-0,40	-0,19	-0,28	-0,30	-0,36	-0,44	-0,48	-0,45	-0,15	-0,16	-0,43	0,73
2011 - 2012	-0,47	-0,49	-0,75	-0,42	-0,40	-0,45	-0,59	-0,24	-0,15	-0,29	-0,28	-0,45	0,12	-0,28	-0,29	-0,43	-0,45
2012 - 2013	1,91	4,34	3,56	1,00	2,16	-0,46	-0,65	4,92	0,08	1,68	1,39	0,41	0,00	1,90	1,60	2,94	1,43
2013 - 2014	1,38	-0,21	4,28	0,84	1,85	0,03	-0,12	-0,20	1,50	0,46	2,27	0,42	1,79	2,10	1,42	1,97	1,64

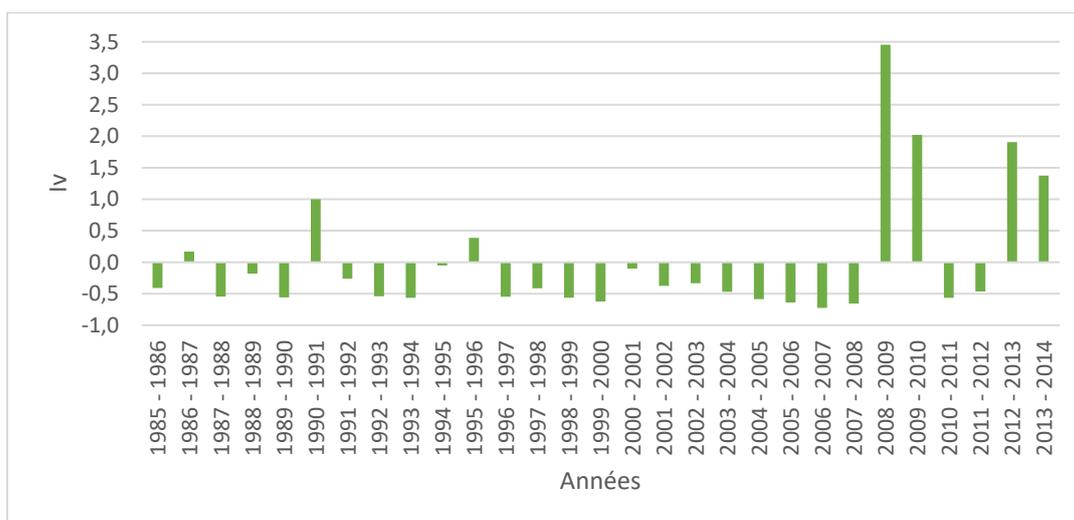


Figure III.60 : L'indice de variabilité annuel pour la station Sidi Aissa.

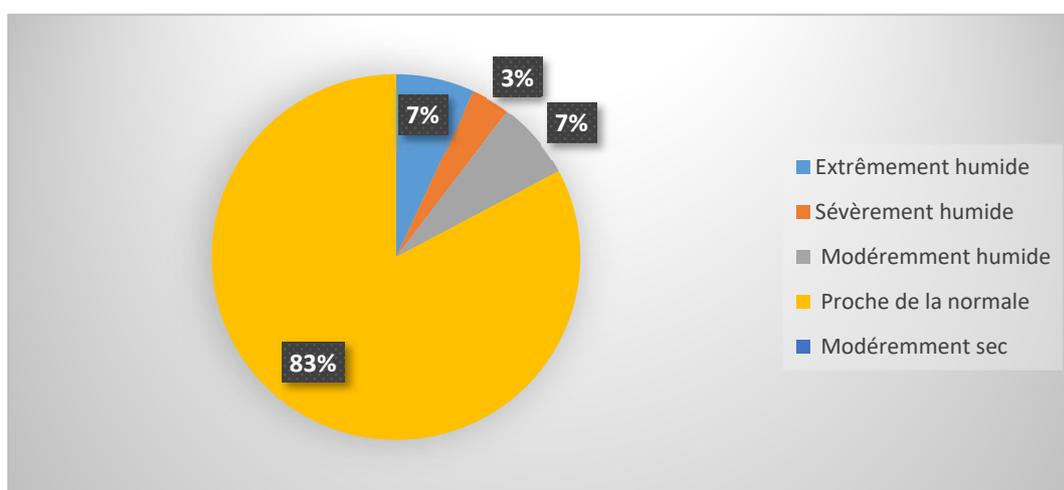


Figure III.61 : Pourcentage des classes annuelles pour la station Sidi Aissa.

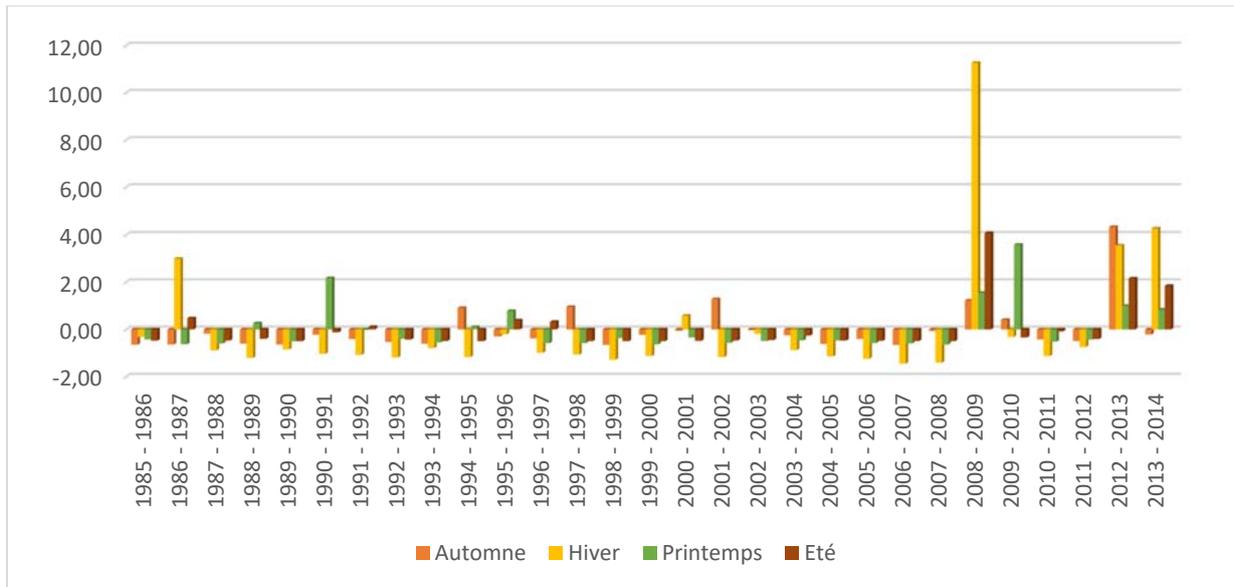


Figure III.62 : L'indice de variabilité saisonnier pour la station Siddi Aissa

DISCUSSION

Les valeurs d'Iv sont comprises entre +3,63 et -1,5. La répartition graphique des années déficitaires et excédentaires présente une succession aléatoire pendant la période d'observation de chaque station avec des pourcentages élevés des années déficitaires qui dépassent 58% et peuvent atteindre jusqu'à 70%.

La période d'écoulement dans chaque station, en général, est proche de la normale (70% environ), le pourcentage des années humides (extrêmement, sévèrement et modérément humides) ne dépasse pas 20%, les cas secs ont été détectés juste dans quatre stations ; Pont RN7/A, Legfef, Zahra et Ain Youcef.

V. CONCENTRATION DE LA LAME D’EAU ECOULEE

✓ *Oued Mouilah*

Les valeurs de DCL annuel pour la station Pont RN7/A vont d'un minimum de 0,02 en 1998 et un maximum de 0,77 en 1986 avec une moyenne de 0,33. La PCL s’étale de janvier à avril et d’octobre à décembre. L’écoulement est concentré principalement en mars et novembre avec des fréquences d’apparition de 28% et 23% respectivement (figure III.64 a, c).

Pour la station Legfaf, le DCL varie entre 0,11 et 0,55 avec une moyenne de 0,25. Le minimum se présente en 2015 et le maximum en 2003. La PCL correspond aux mois de janvier à avril et le mois de décembre. Février est la période principale de concentration avec une fréquence d’apparition de 53% (figure III.64 b, c).

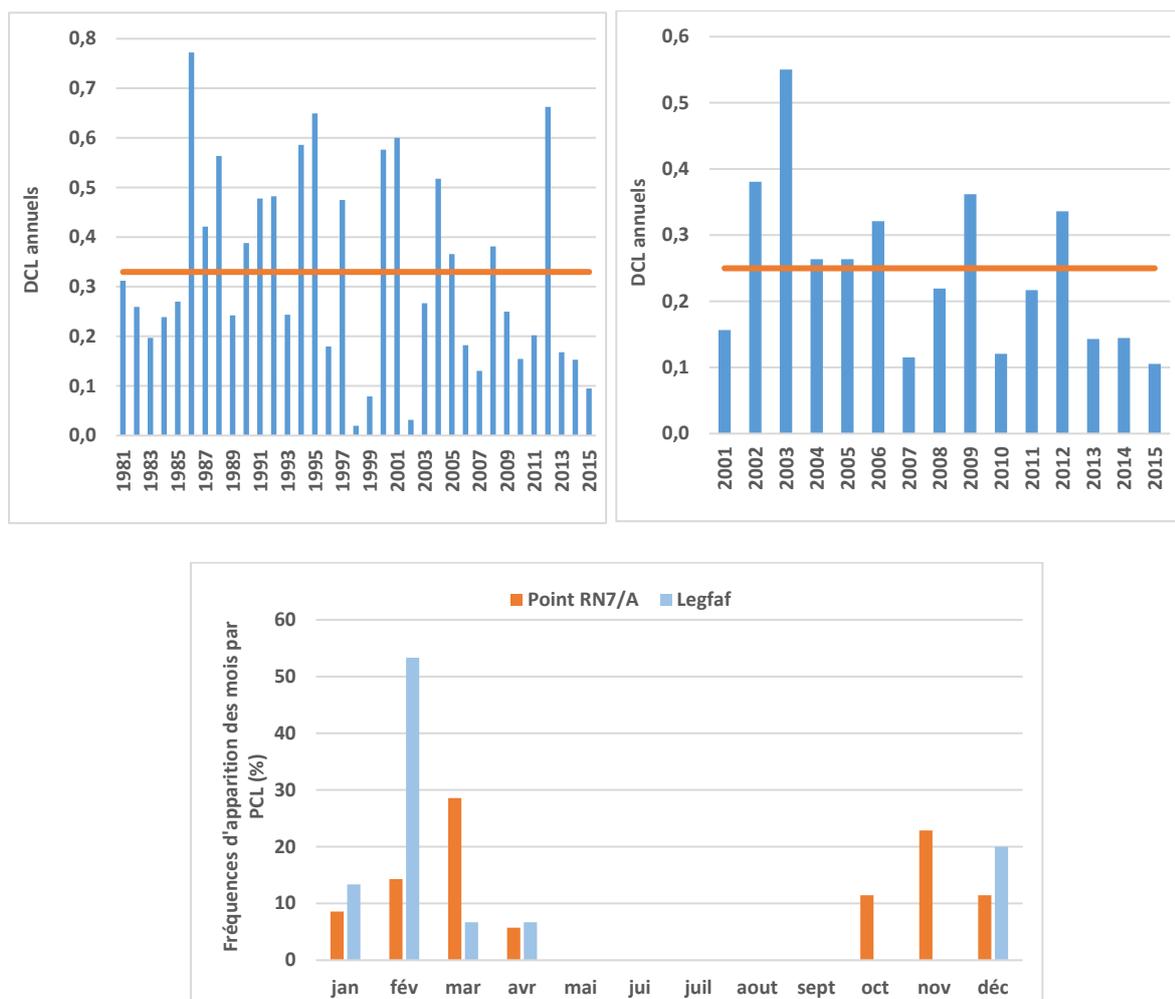


Figure III.64 : DCL et PCL dans le bassin d’Oued Mouilah

✓ *La Haute Tafna*

Les valeurs de DCL annuel vont d'un minimum de 0,14 en 1997 et un maximum de 0,91 en 1989 pour la station Village Tafna, de 0,07 en 2002 à 0,49 en 2000 pour la station Beni Bahdel et de 0,04 en 2006 à 0,83 en 1995, les moyennes, sont 0,47, 0,25 et 0,39 respectivement.

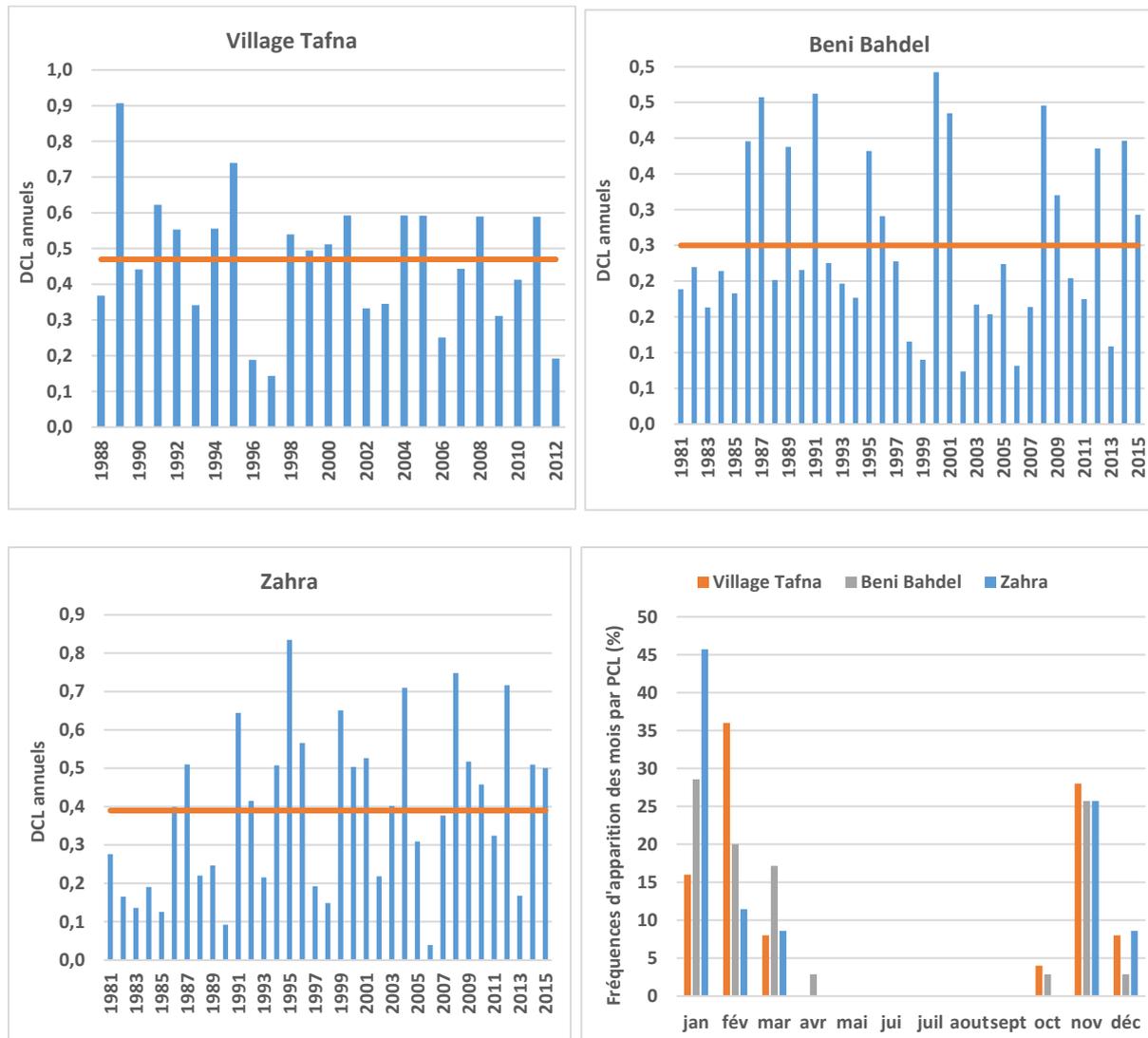


Figure III.65 : DCL et PCL dans le bassin de la Haut Tafna

La PCL s'étale de janvier à mars et de novembre à décembre, d'une part, le mois de janvier est la période principale de concentration pour les stations Beni Bahdel et Zahra avec des fréquences d'apparition de 28% et 45% respectivement. D'autre part, le mois de février est la période principale de concentration pour la station Village Tafna avec une fréquence de 36%. Le mois de novembre présente la période secondaire de concentration pour toutes les stations avec une fréquence d'apparition de 25% (figure III.65).

✓ *Oued Isser*

Les valeurs de DCL annuelles vont d'un minimum de 0,07 en 2007 et un maximum de 0,86 en 1991 pour la station Chouly Pont RN7, de 0,15 en 2004 à 0,89 en 1987 pour la station Sidi Aissa. Les moyennes sont de 0,39 et 0,47 respectivement.

La PCL s'étale de janvier à mars et d'octobre à décembre, le mois de janvier est la période principale de concentration avec des fréquences d'apparition de 31% et 34% respectivement. Le mois de novembre présente la période secondaire de concentration avec une fréquence d'apparition de 25% et 31% (figure III.66).

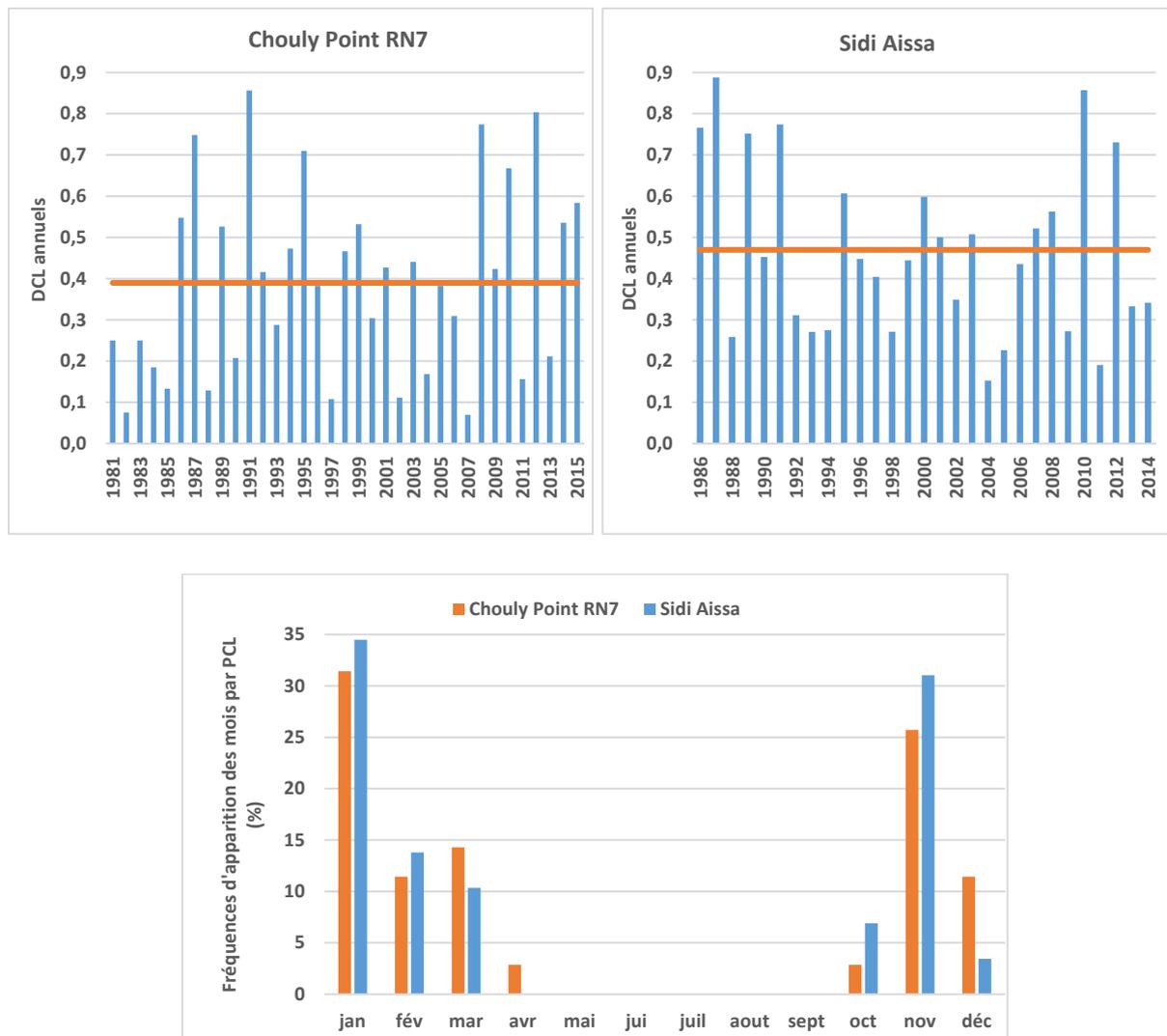


Figure III.66 : DCL et PCL dans le bassin d'Oued Isser

✓ *Oued Sikkak*

Les valeurs de DCL annuelles pour la station Ain Youcef vont d'un minimum de 0,12 en 1992, 1997 et un maximum de 0,67 en 1995 avec une moyenne de 0,33, pour la station Meffrouche, des valeurs élevées de DCL ont été observés qui sont varient de 0,1 à 1 avec une moyenne de 0,74 (figure III.67).

Les PCL dans l'oued Sikkak s'étalent de janvier à avril et d'octobre à décembre. L'écoulement au niveau de la station Ain Youcef est concentré principalement aux mois de février et novembre avec une fréquence d'apparition de 26%. Le mois de mars et novembre est la période principale de concentration pour la station Meffrouche, avec une fréquence de 25%.

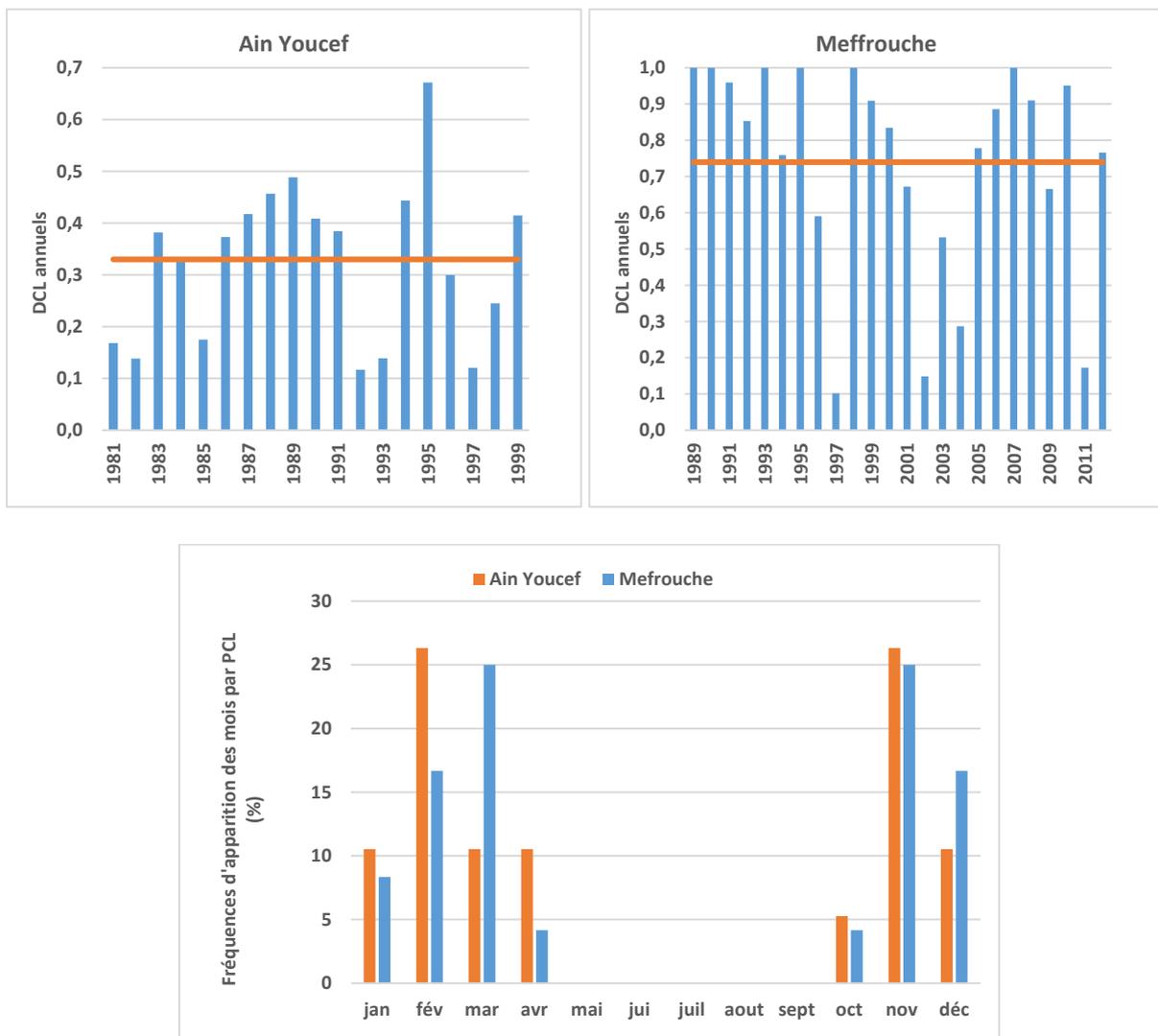


Figure III.67 : DCL et PCL dans le bassin d'Oued Sikkak

DISCUSSION

Dans notre zone d'étude, le DCL varie entre 0,25 et 0,47 en moyenne (sauf la station Meffrouche, où la moyenne est de 0,74). La PCL se présente entre octobre et avril, tandis que l'écoulement est plus concentré pendant la période de janvier à mars avec une fréquence d'apparition moyenne de 35%.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est d'analyser la variabilité et la tendance des débits liquides de quelques cours d'eau de la Tafna. On utilise une base de données mensuelle de neuf stations hydrométriques pendant des périodes comprise entre 1980 et 2015.

L'irrégularité de la variation temporelle et la succession aléatoire des années excédentaires et déficitaires caractérisent l'écoulement moyen à l'échelle annuelle dans la Tafna

On a déterminé deux périodes d'écoulement caractérisant l'année hydrologique ; une saison d'écoulement plus élevée et plus concentrée, qui s'étend de janvier à mars et une saison de faibles débits qui s'étend de juin à octobre, avec des débits irréguliers et une différence bien marquée entre le max et le min.

L'approche statistique a été utilisée pour analyser et détecter les changements dans les séries chronologiques des débits dans quelques cours d'eau du bassin versant de la Tafna à différentes échelles de temps. A l'échelle annuelle, les résultats de test de Mann Kendall obtenus permettent d'identifier une seule tendance significative à la hausse au niveau de la station Legfaf pendant la période 2000-2015. Les tests de rupture que ce soit le test de Pettitt ou la segmentation de Hubert ont montré une modification dans le régime hydrologique des cours d'eau au cours des années 2000. On observe une augmentation des écoulements en 2008/09 qui a dépassé 60% au niveau de quatre stations ; Beni Bahdel, Legfaf, Chouly Pont RN7, Sidi Aissa, et une diminution d'écoulement au niveau du Village Tafna qui est estimé à 71%.

Et en ce qui concerne le régime saisonnier et mensuel, des tendances significatives à la hausse ont été détectées dans la station Legfaf, et des tendances à la baisse pour la station Zahra. Les tests de détection de ruptures employés ont présenté des changements significatifs à la baisse pendant les années 1990 et des changements significatifs à la hausse entre 2000-2012, principalement en 2008-09.

Ces modifications de régime d'écoulement sont liées directement ou indirectement à la pluviométrie de la région, et aussi aux activités humaines comme l'assainissement 'dans certains cas', et l'exploitation des barrages pour l'irrigation et l'AEP...

La compréhension de la variabilité d'écoulement dans les cours d'eau au niveau des bassins versants est un facteur majeur pour une bonne gestion de ces ressources en eau, cela nécessite une base de données importante sur des périodes longues et identiques.

Références bibliographiques:

- [1]: IPCC (2007): Climate change 2007: the physical science basis. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, AverytKB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge.
- [2]: Milly P.C.D., Dunne K.A., Vecchia A.V. (2005): Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438, 347–350.
- [3]: Jiang S.H., Ren L.L., Yong B., Singh V.P., Yang X.L., Yuan F. (2011): Quantifying the effects of climate variability and human activities on runoff from the Laohahe basin in northern China using three different methods. *Hydrological Processes*, 25, 2492–2505.
- [4]: Ghenim A.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)*, 7, 35–49.
- [5]: Ghenim A.N., Megnounif A. (2010) : Fluctuations hydropluviométriques du bassin-versant de l'Oued Tafna à Beni Bahdel (Nord-Ouest algérien). *Secheresse*, 21, 115-20.
- [6]: Ghenim A.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)*, 7, 35–49.
- [7]: Bakreti A., Braud I., Leblois E., Benali A. (2013): Analyse conjointe des régimes pluviométriques et hydrologiques dans le bassin de la Tafna (Algérie Occidentale), *Hydrological Sciences Journal*, 58, 1, 133–151.
- [8]: Ameziane A., Bensaad M.S. (2016) : Quantification et modélisation du transport solide dans un cours d'eau. Cas du bassin versant de l'oued Mouilah (NW algérien), 2016, mémoire de master en hydrologie.
- [9]: Bouanani A., Baba-Hamed K., Fandi W. (2012) : Production et transport des sédiments en suspension dans l'oued Sikkak (Tafna – nord-ouest Algérie), Université de Tlemcen.
- [10]: Hare W (2003) Assessment of Knowledge on Impacts of Climate Change, Contribution to the Specification of Art, 2 of the UNFCCC, WBGU
- [11]: Mann H. B. (1945): Non-parametric test against trend, *Econometrica*, 13, 245-25.
- [12]: Kendall M. G. (1975): Rank Correlation Methods, 4th ed., Charles Griffin: London.
- [13]: Hirsch R. M., Slack J. R., Smith R. A. (1982): Techniques of trend analysis for monthly water-quality data, *Water Resources Research*, 18, 107-121.

- [14] : Haddad M. (2017) : Analyse de l'évolution du niveau de la mer méditerranée à partir des données historiques de marégraphes. Centre des Techniques Spatiales. Avenue de la Palestine, BP 13 Arzew. Oran 31200. Algérie.
- [15]: Hubert P., Carbonnel J.P., Chaouche A. (1989) : Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*, 110, 349-67.
- [16]: Pettitt A. (1979): A non-parametric approach to the change point problem. *Applied Statistics*, 28(2) :126–135.
- [17] : Paturel J.E., Servat E., Kouame B., Boyer J.F., Lubes Niel H., Masson J.M. (1996) : Procédures d'identification de "ruptures" dans des séries chronologiques - modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahélienne. In : Chevallier Pierre (ed.), Pouyaud Bernard (ed.). *L'hydrologie tropicale : géosciences et outil pour le développement : mélanges à la mémoire de Jean Rodier*. Wallingford : AISH, (238), 99-110. (Publication - AISH ; 238). *Journées Hydrologiques de l'ORSTOM : Conférence de Paris*, 11. Paris (FRA), 1995/05/02-04. ISBN 0-947571-99-X.
- [18] : Zhang L., Qian Y. (2003): Annual distribution features of precipitation in China and their interannual variations, *Acta meteorologica sinica*, 17:2, 146-163.