

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

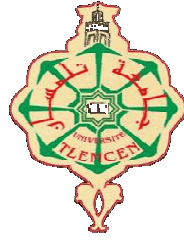
**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –  
Faculté de TECHNOLOGIE



**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : **Hydraulique**

Spécialité : **Hydraulique urbaine**

Par :

**BOUCEBHA Fatima**

**Etude de la performance du modèle hydrologique HBV appliqué au  
bassin versant d'oued Meffrouche (Tafna, Algérie).**

Soutenu publiquement, le / 09 / 2018, devant le jury composé de :

<b>M MEGNOUNIF A.</b>	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
<b>M BOUANANI A.</b>	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
<b>Mme BABA HAMED K.</b>	Professeur	Univ. Tlemcen	Co-Directeur de mémoire
<b>M GHENIM A.N</b>	Professeur	Univ. Tlemcen	Examineur
<b>M BENADDA L.</b>	M.A.A.	Univ. Tlemcen	Examineur

**2017 - 2018**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَالَتْ أَوْدِيَةٌ بِقَدَرِهَا فَاحْتَمَلَ السَّيْلُ زَبَدًا رَابِيًا وَمِمَّا يُوقِدُونَ  
عَلَيْهِ فِي النَّارِ ابْتِغَاءَ حِلْيَةٍ أَوْ مَتَاعٍ زَبَدٌ مِثْلُهُ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْحَقَّ وَالْبَاطِلَ فَأَمَّا  
الزَّبْدُ فَيَذْهَبُ جُفَاءً وَأَمَّا مَا يَنْفَعُ النَّاسَ فَيَمْكُثُ فِي الْأَرْضِ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ

الأمثال.....الرعد (17)

## REMERCIEMENTS

Je remercie Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience Qu'il m'a données durant toutes ces années d'études  
J'exprime mes vifs remerciements à mes encadreurs Professeur BOUANANI A et Professeur BABA-HAMED K, pour leur rigueur scientifique, leur disponibilité, leurs conseils et remarques avisées, leur attention, leur patience et leur simplicité. Merci à vous deux pour votre soutien au quotidien.

*J'adresse, mes sincères remerciements au Professeur A. MEGNOUNIF d'avoir bien voulu présider le jury et également mes remerciements au professeur A. GHENIM et Monsieur L.BENADDA pour avoir eu la bienveillance d'accepter d'examiner ce travail*

*Un grand merci à Mme samya toujours à disposition pour répondre aux questions de manière très cordiale.*

Enfin, je remercie particulièrement ma famille et amis pour m'avoir toujours écouté, réconforté et encouragé dans les moments de doute.

## DEDICACES

A mes chers parents Qui ont tant attendu ma

Réussite,

Et qui ont peiné et se sont sacrifiés pour moi

durant ces Dernières années.

Que Dieu les garde pour moi.

A toute ma famille Boucebha

A mes amis,

Je dédie ce travail.

***BOUCEBHA FATIMA***

## ملخص

تركز هذه الدراسة على تقييم أداء النموذج الهيدرولوجي شبه الموزع HBV المطبق في الحوض الهيدروغرافي لوادي مفروش (90 كيلومتر مربع) وتطبيق النماذج الهندسة الريفية GR مع خطوات زمنية مختلفة (سنوية ، شهرية ، يومية)

أولاً ، شرعنا في الخصائص الجيولوجية والفيزيائية والمناخية التي تتحكم في التدفق والدراسة الهيدرولوجية لحوض الهيدروغرافي لوادي مفروش استناداً إلى تحليل بيانات هطول الأمطار. في المرة الثانية درسنا محاكاة التدفقات اليومية بواسطة نموذجين HBV و GR4J

نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها عن طريق تطبيق نماذج (HBV و GR4J) على الحوض وادي مفروش ليست جيدة مثل تلك التي حصل عليها GR1J و GR2J

**كلمات البحث :** الهيدرولوجيا . وادي مفروش , النمذجة , هطول الامطار , HBV , GR1A, GR2M, GR4j

## ***RESUME***

Cette étude porte sur l'évaluation de la performance du modèle hydrologique semi-distribué HBV appliqué au niveau du bassin versant de l'oued Meffrouch (90km<sup>2</sup>) et sur l'application des modèles Génie Rural GR avec différentes pas de temps (Annuel, Mensuel, et Journalier)

Dans un premier temps, nous avons procédé à la description des caractéristiques géologiques, physiques, et climatiques qui contrôlent l'écoulement et à une étude hydrologique du bassin versant de l'oued Meffrouch basé sur l'analyse des données hydrométriques. Dans un deuxième temps nous avons réalisé des simulations des débits journaliers par deux modèles pluie-débit conceptuel HBV et GR4J

Les résultats de simulation obtenus par l'application des modèles (HBV et GR4J) sur le bassin versant d'Oued Meffrouch ne sont pas aussi bons que celles obtenues par le GR1A et GR2M

**Mots clés:** Hydrologie, Bassin versant, Oued Meffrouch , Modélisation, pluie-Débit, HBV, GR1A, GR2M, GR4j,

## ***ABSTRACT***

*This study focuses on the evaluation of HBV semi-distributed hydrological model performance applied at the Oued Meffrouch watershed (90km<sup>2</sup>) and the application of GR global models with different time steps (annual, monthly, and daily). )*

*First, we proceeded with a description of the geological, physical, and climatic characteristics that control the flow and have done a hydrological study of the watershed of the Oued Meffrouch based on the analysis of hydrometric data. In a second time we studied the simulation of the daily flows by two conceptual rain-flow models HBV and GR4J*

*The simulation results obtained by the application of models (HBV and GR4J) on the watershed of Oued Meffrouch are not as good as those obtained by GR1A and GR2M*

***Keywords:*** Hydrology, Watershed, Oued Meffrouch, Modeling, Rain-Flow, HBV, GR1A, GR2M, GR4j,

# Sommaire

REMERCIEMENTS

RESUME

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION

## CHAPITRE I : L'ETAT DE L'ART DE LA MODELISATION HYDROLOGIQUE

I. INTRODUCTION .....	04
I.1 Cycle hydrologique.....	04
I.2 la modélisation hydrologique (Pluie-débit) .....	05
I.2.1 Définition .....	05
I.2. 2 Objectifs de la modélisation .....	05
I.2. 3 Classification des modèles.....	06
I.2.4 Classification basée sur la représentation des processus hydrologiques .....	07
I.2. 4.1.La modélisation de type boîte noire.....	07
I.2. 4.2 Les modèles fondés sur la physique .....	08
I-2.4-3 Un modèle à réservoir.....	08
I.2.5 La modélisation hydrologique par approche globale et semi-distribuée .....	08
I.2.5.1 Le modèle distribué .....	08
I.2.5.2 -Modèle global .....	08
I.2.6- Critères d'évaluation de la modélisation .....	09
I.2.6.1-Erreur quadratique moyenne .....	10
I.2.6.2.Erreur moyenne absolue .....	10
I.2.6.3 Coefficient de Nash- Sutcliff .....	10
I.2.6.4Nash-Log .....	11
I.3. Les modèles utilisés dans ce travail .....	11
I.3.1. Le modèle HBV.....	11
I.3.1 .1Description du modèle HBV .....	12
I.3.1.2 Les paramètres du modèle .....	13
I.3.2 Modèle GR.....	14
I.3.2 .1 Le modèle pluie-débit annuel GR1A .....	14
I.3.2 .2 Modèle pluie-débit mensuel GR2M .....	15
I.3.2 .3. Le modèle pluie-débit annuel GR4J.....	16
Conclusion.....	18



## Chapitre II : Présentation du bassin versant d'Oued Meffrouch

II. 1. Situation géographique du bassin versant de la Tafna .....	20
II.1.2 Présentation de la zone d'étude .....	21
II.1.3 Géologie de bassin versant de Meffrouch .....	22
II.1.3.1 Analyse litho stratigraphique .....	22
II.2 Étude Morphométrique .....	24
II.2.1 Caractéristiques géométriques .....	24
II.2.1.1 - La superficie et le périmètre.....	24
II.2.2 - Etude du relief .....	26
II.2.2.1 Courbe hypsométrique.....	26
II.2.2.2 L'indice de pente du relief.....	29
II.2.2.3 Dénivelé spécifique Ds .....	30
II.2.3 Le réseau hydrographique .....	31
II.2.3 .1 Structure du réseau et ordre des cours d'eau.....	31
II.2.4 Fréquence des cours d'eau.....	34
II.2.5 Densité de drainage Dd .....	34
. II.2.6 Coefficient de torrentialité.....	34
II.2.7. Temps de concentration .....	34
Conclusion .....	35

## Chapitre III : Hydroclimatologie

Introduction .....	37
<i>II.1. Etude Les précipitations.....</i>	37
III.1.1 Etude Les précipitations moyennes annuelles .....	37
III.1.2 Etude Statistique des précipitations .....	38
a- Adéquation des données à une loi statistique.....	38
b. Calcul des Précipitations pour une période de récurrence donnée .....	43
<i>III.1.3. Les précipitations moyennes mensuelles .....</i>	43
<i>III.1.4. Les précipitations saisonnières .....</i>	44
III.2. Etude des températures .....	45
III.2. 1. Les températures <i>annuelles</i> .....	45
III.2. 2. <i>Températures moyennes mensuelles</i> .....	46
III.3. Étude du climat .....	46
III.3.1 La méthode de visualisation .....	47
III.3.2. Indices climatiques .....	47
a . Indice d'aridité de De Martonne.....	47
III .4. Evapotranspiration potentielle (ETP) et déficit d'écoulement (ETR) .....	48
III .4.1 Evapotranspiration potentielle (ETP).....	49
a. Méthode de Thornthwaite (1948).....	49
III .4.2 Evapotranspiration réelle (ETR) ou déficit d'écoulement (De) .....	50
a. Méthode de Thornthwaite (1948).....	50

III.4.3 Calcul de la réserve facilement utilisable (R.F.U) .....	50
III.4.4. Calcul du ruissellement « R .....	51
III.4.5. Détermination de l'infiltration et calcul des bilans.....	51
III.5. Etude des débits.....	51
III.5.1.Variation interannuelle des débits .....	51
III.5.2. Analyse statistique des débits moyens annuels .....	52
a. Ajustement à la loi log normale .....	53
b- Calcul des débits pour une période de récurrence donnée.....	55
III.5.3. Variation moyenne mensuelle des débits .....	56
III.5.4. Variation saisonnière des débits.....	56
III.6. Etude des lames d'eau écoulées .....	58
III.6.1. Variation des lames d'eau moyennes annuelles.....	58
III.6.2. Variation des lames d'eau moyennes mensuelle.....	58
III.6.3. Variation saisonnière des lames d'eau écoulées .....	59
Conclusions .....	60

## **Chapitre IV: Modélisation de la fonction pluie-débit d'Oud Meffrouch**

Introduction.....	63
IV.1. Applications du modèle HBV .....	63
IV.1.1 Simulation à l'aide du modèle HBV .....	64
a- Calage du modèle .....	67
b- Validation du modèle .....	68
IV.2 Applications des modèles GR .....	68
IV.2.1 Modèle GR1A annuel .....	69
a-Calage du modèle GR1A .....	73
b-Validation du modèle GR1A .....	74
IV.2 .2 . Modèle mensuel GR2M.....	74
a- calage du modèle GR2M.....	79
b- Validation du modèle GR2M .....	81
IV.2 .3 Modèle journalier GR4J.....	81
a-Calage de modèle GR4J .....	81
b-Validation du modèle .....	84
IV.3. Présentation des résultats de comparaison de la simulation par les Deux modèles HBV light et le GR4J .....	84
Conclusion Générale .....	89
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>91</b>

## **LISTE DES FIGURES**

### **Chapitre I**

Figure I.1: Le cycle hydrologique, avec les flux moyens annuels en pourcentage du volume annuel Total des précipitations sur les terres émergées .....	05
Figure I.2 : différentes applications de la modélisation pluie débit .....	06
Figure. I.3 : Différentes approches de la modélisation.....	22
<i>Figure I.4</i> : Fonction de réponse du modèle HBV Light .....	07.
<i>Figure I.5</i> : structure du modèle HBV Light.....	13
Figure I.6 : Structure du GR2M .....	16
Figure I.7:Schéma de la structure du modèle GR4J.....	17

### **Chapitre II**

Figure II.1 : la délimitation du bassin versant de Tafna.....	21
Figure II.2 :situation géographique du bassin versant de de l'Oued Meffrouch.....	22
Figure II.3: Cadre géologique de la zone d'étude. (a) litho stratigraphique de la région (b) détails sur la zone d'étude et (c) coupe transversale géologique .....	24
Figure II.4: Courbe Hypsométrique du bassin versant de meffrouch .....	26
Figure II.5 : Histogramme de fréquences altimétriques du bassin versant de Meffrouch ...	24
Figure II.6 : Réseau hydrographique de bassin versant Meffrouch .....	31
Figure II.7 : Droite représentative du rapport des longueurs en fonction de l'ordre .....	48
Figure II.8: Droite représentative du log nombre de thalwegs en fonction de l'ordre.....	49

### **Chapitre III**

Figure III.1 : Evolution annuelle des précipitations (1970/1971-2009/2010) à la station de meffrouch .....	38
Figure.III.2: Ajustement des précipitations annuelles à loi normal de Station Meffrouch .....	39
Figure.III.3: Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi log-normal ....	44
Figure III.4 : variations des précipitations moyennes mensuelles de stations Meffrouch (1970- 2010).....	46
Figure III.5 : histogramme des précipitations saisonnières de Meffrouch (1970-2010).....	47

Figure III.6: Variation des températures moyennes annuelles de la station Meffrouch (1970/1971-2013/2014 .....	61
Figure.III.7 : Répartition des Températures mensuelles moyennes de la station Meffrouch (1969/1970-2013/2014 .....	46
Figure .III.8 : Courbe pluviothermique de la station de Meffrouch (1970/1971 - 2009/2010 .....	47
Figure III.9: Abaque De Martonne.....	48
Figure III.10: Variation des Débits moyens annuels de la station Meffrouch (1988/1989-2009/2010 .....	52
Figure. III.11: Ajustement à la loi Log normale des débits.....	53
Figure III.12 Variation des débits mensuels de l'oued Meffrouch (1988/2010 .....	56
Figure. III. 13 : Variations saisonnières des débits de la station Meffrouch (1988/2010.....	57
Figure. III. 14: Variations saisonnières des pourcentages des débits .....	57
Figure III.15 variation des lames d'eau moyennes annuelles de l'oued Meffrouch (1988-1989/2009-2010 .....	58
Figure III.16 variation des lames d'eau écoulées moyennes mensuelles de l'oued meffrouch (1988-1989/2009-2010 .....	59
Figure III.17 variation saisonnière des lames d'eau de l'oued meffrouch (1988-1989/2009-2010 .....	60

## Chapitre IV

Figure : IV .1 : Simulation de la chronologie des débits du bassin de Meffrouch par le modèle HBV light (1/1/2000-31/12/2001 .....	66
Figure IV .2 : Simulation de la chronologie des débits du bassin de Meffrouch par le modèle HBV light (1/1/2002 - 31/12/2003 .....	68
Figure IV .3 : Visualisation de la qualité du calage .....	70.
Figure IV .4 : Corrélacion entre Débits observés -Débits simulés .....	71
Figure IV .5: Visualisation de la qualité du calage .....	72
Figure IV .6 : Corrélacion entre Débits observés -Débits simulés .....	72
Figure IV.7. Validation GR1A Meffrouch (2001-2010 .....	73
Figure IV.8 : Visualisation de la qualité du calage .....	74
Figure IV.9 : Corrélacion entre Débits observés -Débits simulés .....	75
Figure IV.10 Courbe du niveau R du réservoir de routage .....	76
Figure IV.11. Courbe du niveau S du réservoir de routage de production .....	76
Figure IV.12: Visualisation de la qualité du calage .....	77
Figure IV.13 : Corrélacion entre Débits observés -Débits simulés .....	77
Figure IV.14 Courbe du niveau S du réservoir de routage de production .....	78
Figure IV. 15. Courbe du niveau R du réservoir de routage .....	78
Figure. IV.16 - Validation du GR2M.....	80
Figure IV.17. Visualisation de la qualité du calage .....	82
Figure IV.18. Corrélacion entre Qsim – Qob .....	82

Figure IV.19: Courbe du niveau S du réservoir de production .....	<b>83</b>
Figure IV. 20 : Courbe du niveau R du réservoir de routage .....	<b>83</b>
Figure IV .21.validation de modèle GR4J.....	<b>84</b>
Figure IV.22 : comparaisons de la Simulation des débits de bassin versant de Meffrouch par le modèle HBV et GR4j .....	<b>86</b>
Figure IV. 23 validations de HBV light .....	<b>87</b>
Figure IV.24. Validation de GR4J .....	<b>87</b>

## ***LISTE DES TABLEAUX***

### **Chapitre I**

Tableau : I.1 paramètre de modèle HBV light .....	14
Tableau I.2 : Valeurs des paramètres du modèle GR2M .....	16
Tableau I.3 : Valeurs des paramètres du modèle GR4J .....	17

### **Chapitre II**

Tableau II.1 : répartitions Hypsométrique du bassin versant.....	26
Tableau II.2 : Altitude moyenne par rapport à une classe d'altitude donnée.....	28
Tableau II.3 : Altitudes caractéristiques du bassin versant d'oued meffrouch .....	28
Tableau II.4 indice de pente de ROCHE .....	29
Tableau II.5 : classification du relief selon Ig par L'ORSTOM .....	30
Tableau II.6 : classification du relief selon Ds par L'ORSTOM.....	30
Tableau II.7 : classification de Strahler du réseau hydrographique de l'oued Nachef.....	32
Tableau II.8 paramètres morphométries du bassin versant de Meffrouch .....	35

### **Chapitre III**

Tableau III.1 : Présentation de station météorologique du barrage meffrouch .....	37
Tableau III.2 : Paramètres de position et de dispersion des précipitations de la station de Meffrouch.....	38
Tableau III.3 : fréquences des données des précipitations de la station Meffrouch .....	41
Tableau.III.4 : Calcul du $\chi^2$ pour la station de Meffrouch (loi normale) et loi log normale .....	42
Le tableau III.5 comparaison entre $\chi^2$ tabulé et $\chi^2$ calculé loi normal et log normal.....	42
Tableau III.6 précipitations de chaque période de retour .....	43
Tableau III.7 : valeurs moyennes mensuelles des précipitations de la station Meffrouch (1970- 2010 .....	43
Tableau III.8: répartition des précipitations saisonnières à la station Meffrouch .....	44
Tableau III.9 : Températures moyennes mensuelles à la station Meffrouch (1970/2014 .....	46
Tableau III.10 : Précipitations et températures moyennes mensuelles (1970/1971 – 2009/2010 .....	46
Tableau III.11 : Classifications du climat selon l'indice d'aridité De Martonne .....	48
Tableau.III.12 : Calcul et correction des valeurs de l'ETP meffrouch (1970/2010 .....	49
Tableau (III.13) : Eléments du bilan hydrologique d'après la Méthode de Thornthwaite de la station Meffrouch (1970/1971-2009/2010 .....	50
Tableau.III.14: Valeurs de l'infiltration selon la L. Turc .....	51

Tableau III.15 : paramètres statistiques de la série des débits moyen annuels .De l'oued meffrouch .....	52
Tableau.III.16. Distribution interannuelles des débits de la station meffrouch .....	54
Tableau.III.17 : Calcul du $\chi^2$ pour la station de meffrouch (loi log normal.....	55
Tableau III.18 Débits de chaque période de retour.....	55
Tableau III.19: Les valeurs des débits moyens mensuels de l'oued Meffrouch (1988-1989/2009-2010.....	56
Tableau III.20: Répartition des débits saisonniers.....	57
Tableau III.21. Répartition de la lame d'eau mensuelle (1988-1989/2009/2010.....	58
Tableau III.22 Répartition de la lame d'eau saisonnière.....	59

#### **Chapitre IV**

Tableau IV .1: Résultats de calage par HBV Light du bassin versant de Meffrouch Sur la période de calage 2000-2001.....	65
Tableau IV .2 : Gammes des paramètres optimisées du modèle HBV Light au sous-bassin de l'Oued Meffrouch.....	65
Tableau IV .3 : Résultats de validation par HBV Light du bassin versant de Meffrouch Sur la période de calage 2002-2003 .....	67
Tableau IV .4 : Résultats du calage du modèle GR1A .....	69
Tableau IV .5 : Les variations de coefficients de corrélation de la validation du modèle GR1A.....	73
Tableau IV.6. Résultats du calage du modèle GR2M .....	75
Tableau IV .7 : Les variations de coefficients de corrélation de la validation du modèle GR2M (Janv. 2001/Déc. 2009.....	79
Tableau IV.8 : Résultats de Calage par le modèle GR4J .....	81
Tableau IV.9 : valeur du coefficient de corrélation lors de la validation GR4j .....	84
Tableau IV.10 : Comparaison de la simulation par les modèles GR4J et HBV Light du bassin versant de l'Oued Meffrouch.....	85
Tableau IV.11 : Comparaison des coefficients de Corrélations par les modèles GR4J et HBV Light du bassin versant de l'Oued Meffrouch .....	86





# Introduction Générale

## Introduction générale

L'eau est une source essentielle de vie. L'augmentation de la demande des eaux (consommation domestique, agriculture, industrie, etc.), les changements climatiques et l'exploitation des ressources en eau irresponsables par les humains conduira à des catastrophes naturelles (sécheresse, inondations) et des problèmes environnementaux.

Les modèles hydrologiques sont des outils d'une importance capitale pour l'étude et la gestion des ressources en eau et résoudre les problèmes liés à l'eau.

La modélisation pluie-débit consiste en l'utilisation de modèles mathématiques qui représentent les divers processus du cycle hydrologique dont la précipitation, le ruissellement, l'évapotranspiration, l'infiltration, l'accumulation et la fonte de neige, la recharge et le drainage de la nappe, le routage en rivière et le gel du sol (Singh & Woolhiser, 2002). Plusieurs types de modèles hydrologiques ont été conçus pour reproduire ces processus, ayant majoritairement comme objectif de pouvoir simuler efficacement les débits d'un bassin versant en se basant sur des informations de natures climatologique et physiographique (Berton -Dufour, 2017)

Dans ce travail nous allons essayer dans le cadre de la modélisation pluie- débit d'étudier la performance du modèle hydrologie semi-distribué HBV appliqué sur les données du bassin versant d'oued Meffrouch et de faire la comparaison avec l'application du modèle global GR qui a donné de bon résultats pour les sous bassins de la Tafna . Notre étude comporte quatre chapitres :

- ✚ Le premier chapitre concerne L'état de l'art de la modélisation Pluie – Débit
- ✚ Le deuxième chapitre, la présentation des caractéristiques du bassin versant (morphométriques, géologique)
- ✚ Le troisième chapitre l'étude climatique et hydrologique du bassin versant d'Oued Meffrouch
- ✚ Le quatrième chapitre porte sur l'application et la comparaison des modèles HBV et GR au bassin du Meffrouch par :

Nous terminons par une Conclusion Générale qui présente une synthèse des résultats obtenus dans cette étude.

***Chapitre I***  
***ETAT DE L'ART DE LA***  
***MODELISATION HYDROLOGIQUE***

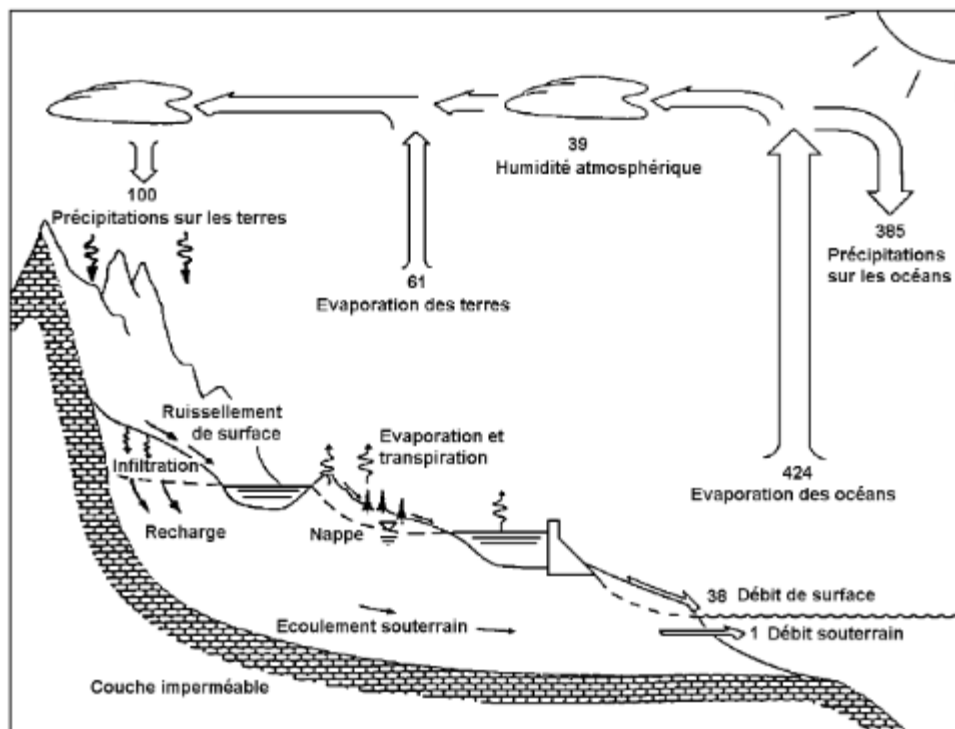
## I. INTRODUCTION

L'hydrologie est définie comme la science qui étudie les eaux, leurs caractéristiques, leurs propriétés, s'appuyant sur des considérations physiques, météorologiques, géologiques ou chimiques. L'hydrologie continentale, s'intéresse plus particulièrement à la partie du cycle de l'eau sur ou proche des terres émergées. [Perrin.2000]

La modélisation hydrologique est une activité en Hydrologie. Le modèle hydrologique est un outil incontournable dans la compréhension de la dynamique d'un bassin versant, dans l'utilisation rationnelle des ressources en eau de ce bassin et dans la lutte contre les catastrophes naturelles liées aux crues. Grâce aux progrès importants réalisés dans le domaine de l'informatique et des Systèmes d'Informations Géographiques (Nascimento, 1995) de nombreux modèles pour simuler le comportement du cycle hydrologique ont vu le jour.

### I.1 Cycle hydrologique :

Les composantes de base du cycle hydrologique (figure 1) incluent : les précipitations, L'évapotranspiration, l'infiltration, l'écoulement de surface, l'écoulement dans les cours d'eau et l'écoulement souterrain. Le mouvement de l'eau entre les différentes phases du cycle hydrologique est irrégulier dans l'espace et dans le temps pouvant produire des Extrêmes d'inondations et de sécheresses. La détermination de la magnitude et l'intensité de ces éventuels extrêmes sont d'une grande importance pour l'hydrologue [Henine, 2005]



. Figure I.1: Le cycle hydrologique, avec les flux moyens annuels en pourcentage du volume annuel total des précipitations sur les terres émergées (d'après Maidment, 1992)

## **I.2 la modélisation hydrologique (Pluie-débit) :**

### ***I.2.1 Définition :***

La modélisation pluie-débit est la mise au point de méthodes numériques pour connaître en un point donné, les débits sur un bassin versant. Les données principales utilisées sont les pluies observées sur le même bassin ou sur un bassin voisin.

Les modèles les plus simples s'appliquent sur les bassins sur lesquels les débits sont directement liés aux pluies. Cela exclut les bassins karstiques et les bassins fortement influencés par la fonte des neiges [Vazken.1999]

### **I.2. 2 Objectifs de la modélisation :**

La modélisation pluie-débit répond à de nombreux problèmes liés à l'eau (figure I.2). (Wery, 1990; In Boudhraa, 2007):

**La prévision** : Grâce à la mesure en temps réel des variables ou signaux d'entrée, il est possible d'évaluer les futurs débits à l'exutoire d'un bassin versant.

**La simulation** : C'est l'analyse du comportement du système pour un signal particulier (par exemple pour une averse exceptionnelle). Dans ce cas, les mesures antérieures du débit ne sont pas disponibles et sont remplacées par les valeurs calculées. En hydrologie, la simulation est utilisée dans le but de compléter des données manquantes, de faire la prédétermination des crues (évaluation du débit de pointe) ou, de générer des séries de données utiles à la gestion d'ouvrages de retenues.

**Le contrôle** : Le contrôle, qui consiste à agir sur le signal d'entrée pour obtenir un signal de sortie ayant certaines caractéristiques, n'a trouvé que peu d'application en hydrologie.

En plus de ces objectifs, la modélisation est souvent utilisée comme outil d'analyse; la comparaison des résultats de modèles qui reposent sur des hypothèses différentes, peut servir l'évaluation.

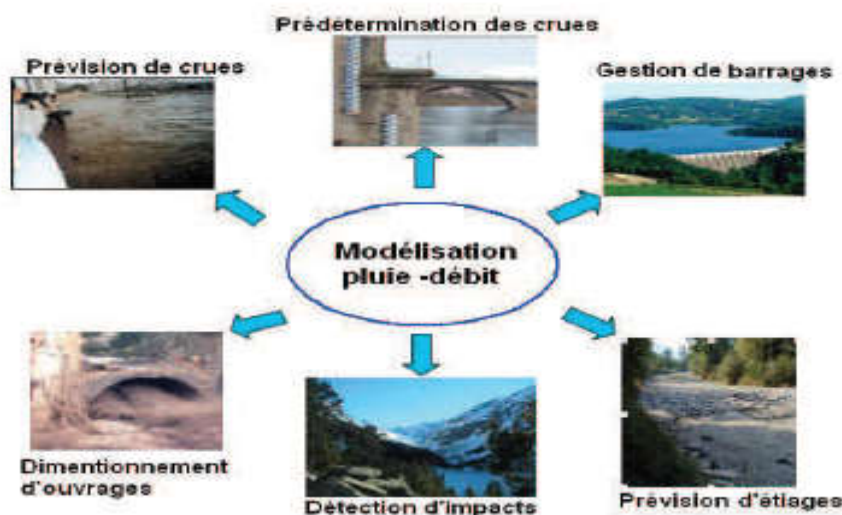


Figure I.2 : différentes applications de la modélisation pluie débit  
(Gaume ,2002)

### I.2. 3 Classification des modèles

Depuis 1960 de nombreux modèles ont été développés grâce aux progrès importants dans le domaine de l'informatique. Les modèles les plus courants sont figure (I.3) :

- modèles déterministes ou stochastiques, selon la nature de leurs variables et paramètres et/ou leurs relations [Ambroise1998]

- Les modèles empiriques ou physiques, différenciés par l'utilisation de relations expérimentales ou théoriques (incluant les modèles conceptuels dont le fonctionnement reste décrit par des formules empiriques)
- Les modèles cinématiques ou dynamiques intégrant ou non la dimension temporelle des phénomènes hydrologique mise en jeu (Lequien, 2003)
- Les modèles Globaux, semi-distribués ou spatialisés, suivant que le bassin versant est considéré dans l'espace comme une entité homogène, qu'il est divisé en sous-unités supposées homogènes (éventuellement des sous-bassins) ou qu'il est finement discrétisé en mailles [Perrin2000]

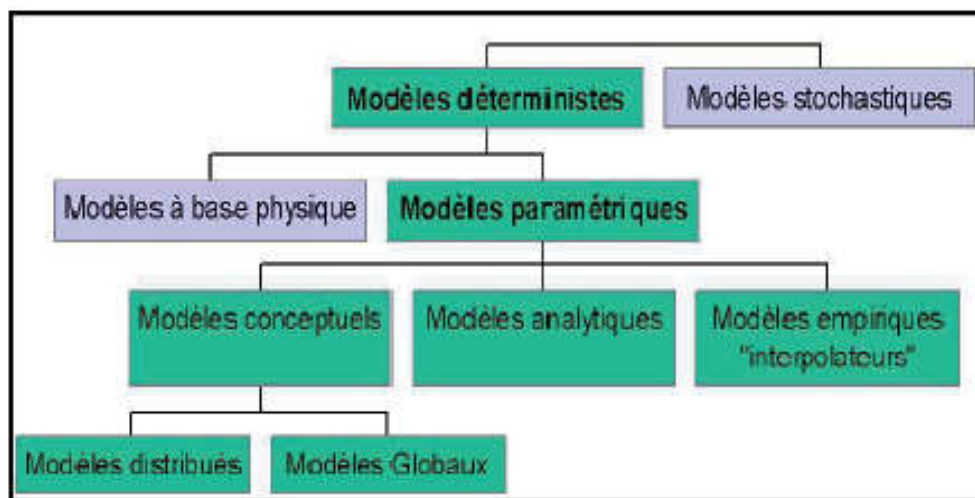


Figure. I.3 : Différentes approches de la modélisation (Gaume, 2002).

***1.2.4 Classification basée sur la représentation des processus hydrologiques ;*** Perrin (2000) distingue trois types de modèles : ceux de type boîte noire, modèle à base physique et modèle à réservoirs.

#### ***1.2 .4.1.La modélisation de type boîte noire***

Propose un schéma sans lien direct avec la réalité. Elle ne fait appel qu'aux seuls variables d'entrée et de sortie d'un bassin sans faire intervenir de données sur sa nature physique. Elle fournit une description purement mathématique et globale de la transformation pluie-débit sans chercher à la décomposer en processus. Son objectif est uniquement d'obtenir des sorties les plus proches possibles des débits d'un bassin versant réel. Elle est représentée principalement par les

modèles linéaires d'analyse de séries temporelles (Box et Jenkins,1976) et les réseaux de neurones (Anctil et al 2004)

### ***1.2. 4.2 Les modèles fondés sur la physique***

Le principe des modèles physiques est de raisonner sur l'existence de quatre milieux : la surface du sol, un milieu non saturé situé sous la surface du sol dans lequel l'eau pénètre verticalement, un milieu saturé formant une nappe s'écoulant de façon pseudo-horizontale en direction d'un talweg et un chenal dans lequel peut se produire un écoulement à surface libre. Pour chaque milieu sont utilisées des équations différentes : l'équation de St Venant pour les écoulements à surfaces libres, les équations dérivées de la loi de Darcy (équations de Richardet de Boussinesq) pour les écoulements souterrains. Ce type de modèle nécessite une description physique du milieu souterrain exhaustive et précise qu'il est impossible de faire sans mettre en œuvre des moyens colossaux. (Vazken, 1999)

#### ***1-2.4-3 Un modèle à réservoir***

Dans un modèle hydrologique dit à réservoirs, la transformation de la pluie en débit est décomposée en différentes composantes. Les équations qui les décrivent comportent des paramètres qui ne peuvent être mesurés et qui doivent être obtenus par calage. (Fouchier, 2010) Ces procédures prennent souvent la forme de réservoirs qui se remplissent et se vident au cours du temps tel que les modèles du Génie rurale et HBV light que nous allons utiliser dans ce travail.

## **1.2.5 La modélisation hydrologique par approche globale et semi-distribuée**

### ***1.2.5.1 Le modèle distribué :***

Représente les variabilités spatiales de manière explicite. Dans la définition plus restrictive de Singh et Woolhiser (2002), le bassin versant est considéré comme un ensemble de points sur lesquels les précipitations sont spatialisées et les processus hydrologiques sont résolus, par les équations physiques, en fonction des caractéristiques du bassin versant en ce point. Le terme « distribué » s'applique aussi bien à la spatialisation des précipitations qu'à celle des caractéristiques du bassin et à l'approche réductionniste qui est utilisée pour calculer la réponse du bassin versant aux précipitations (Lobligeois, 2014)

### ***1.2.5.2 -Modèle global :***

D'après Maison (2000), le modèle global s'applique globalement sur l'ensemble d'un Bassin versant (approche par bilan). Les variables du système ne dépendent



que du temps et n'ont aucune signification spatiale. Ce type de modèles, dit aussi modèle moyenné, considère que les variations des caractéristiques géographiques sont des valeurs moyennes ou même inconnues.

-Les modèles globaux et semi-distribués à part entière par rapport aux pluies, aux évapotranspirations et aux débits simulés à l'exutoire : (Bouguerne, 2017)

**Les variables d'entrée** : sont ici des séries historiques de mesures des précipitations (P), des températures (T), des débits observés ( $Q_{Obs}$ ) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP).

**Les variables de sortie** : sont les débits simulés ( $Q_{sim}$ ).

-Les modèles semi distribués divisent la zone spatiale du bassin versant en sous bassin prenant en considération les caractéristiques physico-morphologiques du bassin, contrairement le modèle global opère sur le bassin comme une seule entité de calcul :

- Lorsque le modèle est dit distribué, l'élément de calcul est généralement une grille régulière (carrée, rectangulaire) ou triangulaire irrégulière.
- Lorsque l'élément de calcul est un sous-bassin (le bassin versant est divisé selon la topologie en un ensemble de sous-bassins versants) on parle généralement de modèle semi-distribué.
- Les hydrologues ont aussi défini des zones de discrétisation homogènes (où le comportement hydrologique est considéré homogène) à partir de la topologie, géologie, pédologie et occupation du sol. Il s'agit du concept des unités hydrologiques représentatives (HRU) et des aires élémentaires représentatives (Lobligeois.2014)

### I.2.6- Critères d'évaluation de la modélisation :

Il existe plusieurs critères de qualité pour l'évaluation ou la mesure des performances d'un modèle. Le critère en moindre carrés, définie par l'équation :

$$R^2 = \sum_i^n (Q_{obs,i} - Q_{calc,i})^2$$

$Q_{obs,i}$  : débits observé

$Q_{calc,i}$  : débits calculé au pas de temps  $i$

$n$  : le nombre total de pas de temps de la période d'étude

**I.2.6.1-Erreur quadratique moyenne :**

Elle est exprimée par la relation suivante :

$$EQM = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{cali} - Q_{obsi})^2\right)}$$

Avec :

$Q_{calc, i}$  : Le débit calculé

$Q_{obs, i}$  : Le débit observé

Plus cette erreur quadratique tend vers zéro, plus l'estimation est meilleure. C'est le critère le plus utilisé en hydrologie pour quantifier l'erreur.

**I.2.6.2.Erreur moyenne absolue**

Elle est notée  $\varepsilon$  et définie par la moyenne des écarts entre les débits observés et les débits Calculés.

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_{obsi} - Q_{cali}|$$

Avec :

$n$  : nombre d'observations

$Q_{cali}$  : débit calculé

$Q_{obsi}$  : débit observé.

Plus cette erreur tend vers zéro, plus l'estimation des débits sont considérée meilleure.

**I.2.6.3 Coefficient de Nash- Sutcliff**

$$NS = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - Q_{cali})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - \bar{Q}_{obs})^2} \right]$$

$n$  : Nombre de pas de temps de simulation

$Q_{obs i}$  : Débit observé

$Q_{cali}$  : Débit calculé

$\bar{Q}_{obs i}$  : Débit moyen observé au cours de la période de simulation

NS varie entre  $(-\infty \text{ et } 1)$ . Si NS est égal à 1, la simulation correspond parfaitement aux données mesurées. Ce critère accorde plus d'importance aux erreurs sur les forts débits au moment du calage sur Q. En pratique, il convient de garder cette propriété à l'esprit lors de l'interprétation des performances des

modèles, ou encore de transformer les variables sur lesquelles on calcule le critère (Nash et Sutcliffe, 1970)

#### **I.2.6.4 Nash-Log :**

Ce critère estime la qualité des simulations sur les périodes de faibles débits, il est donné par la relation suivant :

$$\text{NSE log Q} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\log(Q_{\text{obs}}) - \log(Q_{\text{calc}}))^2}{\sum_{i=1}^n (\log(Q_{\text{obs}}) - \log(\bar{Q}_{\text{obs}}))^2}$$

### **I.3. Les modèles utilisés dans ce travail**

Le choix est porté sur deux modèles conceptuels globaux semi-distribués. Le HBV qui sera utilisé pour la première fois sur un des sous bassins de la Tafna et le GR qui servira comme modèle de comparaison étant donné qu'il a déjà donné des résultats intéressants sur plusieurs sous bassins de la Tafna.

#### **1.3.1. Le modèle HBV :**

Est un modèle conceptuel pour la simulation du ruissellement développé par le SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute). Il a une structure simple et semi-distribuée [Seibert, 2005]. La première application de ce modèle en 1972 (nord suède) sur un bassin versant de 14 km, le processus de développement s'est poursuivi avec une augmentation du nombre d'applications d'essai et introduction d'une routine pour l'accumulation et la fonte de neige [Bergström, 1992]. Après 20 années il est devenu un outil de simulations des eaux de ruissellement des bassins versants non jaugés dans le monde (Europe, Afrique, Asie, Australie)

Le modèle HBV est un modèle semi-distribué qui divise le bassin en sous-bassins, zones d'élévation et de végétation [Seibert, 2005] et calcule le débit pour divers sous bassins avec des variables d'entrées comme la température et la précipitation journalières, ainsi que les estimations mensuelles de l'évapotranspiration potentielle et les débits journaliers.

Le modèle HBV se compose de quatre principaux modules :

- la fonte des neiges et le module de l'accumulation de neige ;
- la précipitation efficace, et le module de l'humidité du sol ;
- module de l'évapotranspiration ;
- module de la réponse des eaux de ruissellement

### 1.3.1.1 Description du modèle HBV

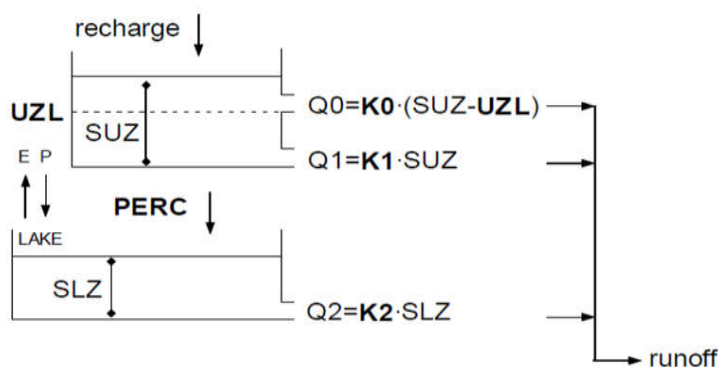
La routine de neige décrit la chute de neige et la fonte des neiges avec une méthode de degré-jour (CFMAX), s'il y a de la neige, mais le modèle est également applicable pour les régions sans chute de neige.

Que les précipitations tombent sous forme de neige ou de pluie le module est défini par un paramètre décrivant une température seuil (TT).

Dans la routine du sol, la recharge des eaux souterraines et l'évaporation sont simulées en fonction du stockage réel de l'eau dans le sol. Ceci est calculé par trois paramètres : FC qui décrit l'humidité maximale du sol, BETA qui détermine la contribution relative au ruissellement et LP qui décrit la forme de la courbe de réduction pour l'évapotranspiration potentielle en disant que pour les valeurs d'humidité du sol inférieures à LP l'évapotranspiration réelle commencera à diminuer.

La routine de l'eau souterraine transforme l'eau de la routine du sol en décharge ou en stockage souterrain dans les eaux souterraines. La routine figure (I.4) est décrite par deux réservoirs d'eau souterraine et les flux sont décrits par les paramètres des coefficients de récession ( $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ), un seuil valeur (UZL) et une valeur de percolation constante (PERC).

En tant que dernière partie du modèle, la routine de routage décrit l'écoulement généré et inclut un filtre qui utilise une fonction de pondération triangulaire avec un paramètre appelé MAXBAS (Benjamin ,2015)



**Figure I.4** : Fonction de réponse du modèle HBV Light [Seibert,2005]

Recharge : entrée de la routine du sol (mm jour<sup>-1</sup>)

*SUZ* : stockage dans la zone supérieure (mm)

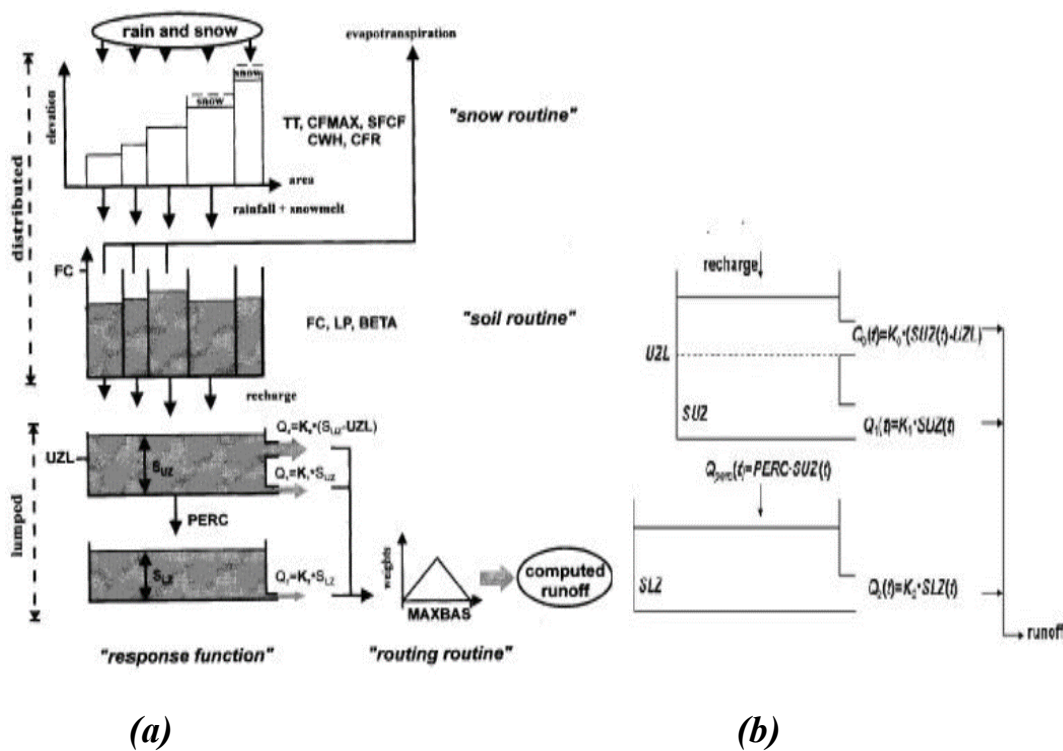
*SLZ* : stockage dans la zone inférieure (mm)

*UZL* : (paramètre de seuil mm)

PERC : max. percolation de zone inférieure (mm jour<sup>-1</sup>)

*K<sub>i</sub>* : coefficient de récession (jour<sup>-1</sup>)

*Q<sub>i</sub>*: composante ruissellement (mm / jour)



a) Paramètres de simulation,

b) fonction de réponse

Figure I.5 : structure du modèle HBV Light (Seibert et al. 2000)

### 1.3.1.2 Les paramètres du modèle

Le modèle HBV est un modèle conceptuel semi-distribué à 15 paramètres, leurs valeurs sont déterminées par étalonnage, les paramètres sont :

**Tableau** : I.1 paramètre de modèle HBV light

paramètre	Description	Unité	Intervalle de paramètre
<b>routine de neige</b> TT CFMAX SFCF CWH CFR	Température de seuil Facteur de degrés- $\Delta t$ Facteur de correction de chutes de neige Capacité de rétention d'eau Coefficient de regel	$^{\circ}\text{C}$ $\text{mm}/\text{d}^{\circ}\text{C}$ $\text{d}^{-1}$ - -	$(-\text{inf}, \text{inf})$ $(0, \text{inf})$ $(0, \text{inf})$ $(0, \text{inf})$ $(0, \text{inf})$
<b>routine du sol</b> FC LP BETA CET	Humidité maximale de stockage du sol Maximum de SM (stockage dans la boîte de sol) Coefficient de forme Facteur de correction pour l'évaporation potentielle	mm - - $^{\circ}\text{C}^{-1}$	$(0, \text{inf})$ [0,1] $(0, \text{inf})$ [0,1]
<b>Réponse de routine</b> Ko K1 K2 UZL PERC MAXBAS	Coefficient 0 de stockage Coefficient 1 de stockage Coefficient 2 de stockage Paramètre de seuil Paramètre de seuil Longueur de pondération triangulaire de fonction	$\text{d}^{-1}$ $\text{d}^{-1}$ $\text{d}^{-1}$ mm $\text{mm d}^{-1}$ d	[0,1] [0,1] [0,1] $(0, \text{inf})$ $(0, \text{inf})$ [1,100]

### I.3.2 Modèle GR

C'est un modèle pluie-débit développé par le Cemagref depuis l'année 1980, Ces modèles appartiennent à la famille des modèles conceptuels à Réservoirs. L'approche est globale. Le pas de temps est le plus souvent journalier (*GR4j*) même si des modèles dérivés à pas de temps mensuel (*GR2M*), annuel (*GR1A*) et interannuel ont été construits

#### I.3.2 .1 Le modèle pluie-débit annuel GR1A :

Le modèle GR1A (modèle du Génie Rural à 1 paramètre Annuel) est un Modèle pluie-débit global à un seul paramètre. Son développement a été initié au Cemagref à la fin des années 1990, la structure du modèle se résume à une simple équation(1), avec le débit ( $Q_k$ ) de l'année  $k$  étant proportionnelle à la pluie  $P_k$  de la même année, avec un coefficient d'écoulement dépendant de  $P_k$ ,

de la pluie  $P_{k-1}$  de l'année  $k-1$  et de l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne  $E$  [perrin, Michel, Vazken, 2007]

Le modèle GR1A s'écrit sous la forme d'une simple équation:

$$Q_k = P_k \left\{ 1 - \frac{1}{\left[ 1 + \left( \frac{0.7P_k + 0.3P_{k-1}}{XE_k} \right)^2 \right]} \right\} \quad (1)$$

Avec :  $X$  est l'unique paramètre du modèle sur l'intervalle [0.13 - 3.5]

### I.3.2 .2 Modèle pluie-débit mensuel GR2M

Le modèle GR2M (modèle du Génie Rural à 2 paramètres Mensuel) est un Modèle pluie-débit global à deux paramètres. Son développement a été initié au Cemagref à la fin des années 1980, avec des objectifs d'applications dans le domaine des ressources en eau et des étiages. Sa structure est donnée à la figure (I.10)  $P_k$  est la pluie mensuelle du Mois  $k$  et  $E$  l'évapotranspiration potentielle moyenne pour le même mois calendaire [perrin, Michel, Vazken, 2007) est un modèle à deux réservoirs : un réservoir sol (réservoir de production) et un réservoir de routage den Capacité fixée à 60 mm

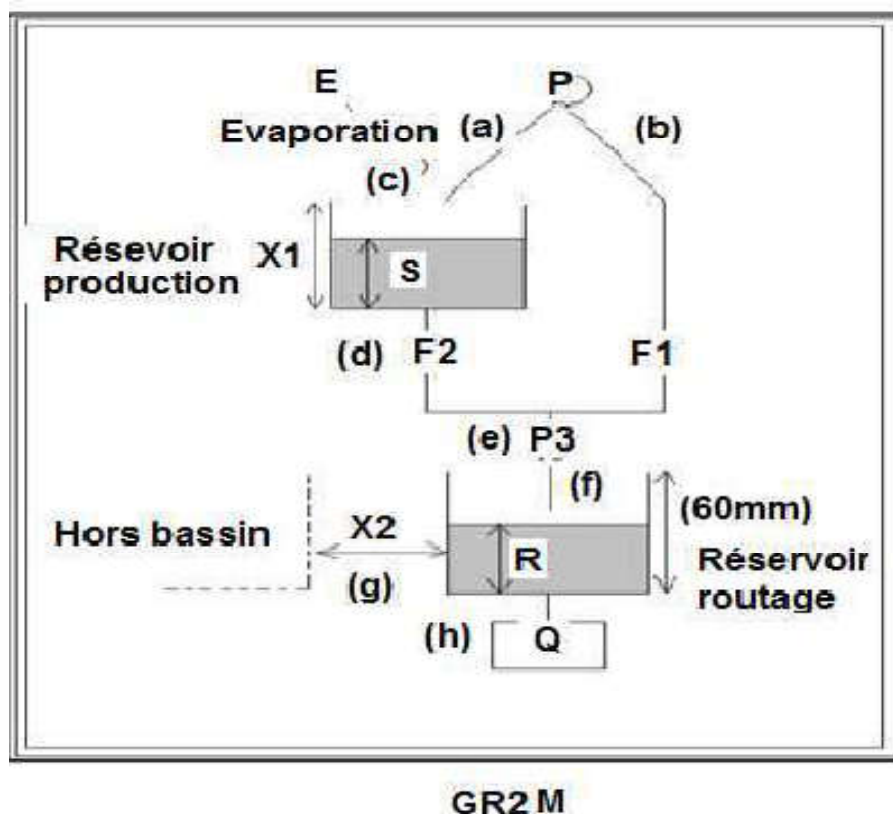


Figure I.6 : Structure du GR2M [perrin, Michel, Vazken, 2007]

**Paramètres**

Le modèle a deux paramètres optimisables:

X1 : Capacité du réservoir de production (mm).

X2 : Coefficient d'échanges souterrains (-).

**Tableau I.2 : Valeurs des paramètres du modèle GR2M**

. Paramètres	Médiane	Intervalle de la confiance à 90%
X1 (mm)	380	140 - 2640
X2(-)	0.92	0.21 - 1.31

**I.3.2 .3. Le modèle pluie-débit annuel GR4J**

Le modèle GR4J (modèle du Génie Rural à 4 paramètres, Journalier) est un modèle pluie-débit global à quatre paramètres. Son développement a été initié au Cemagref au début des années 1980, avec pour objectif de mettre au point un modèle de simulation pluie-débit robuste et fiable en vue d'utilisations pour des applications de gestion de la ressource en eau et d'ingénierie (dimensionnement d'ouvrages, prévision des crues et des étiages, gestion de réservoirs, détection d'impact...). [Perrin, Michel, Vazken, 2007] Sa structure est donnée à la figure (I.11)



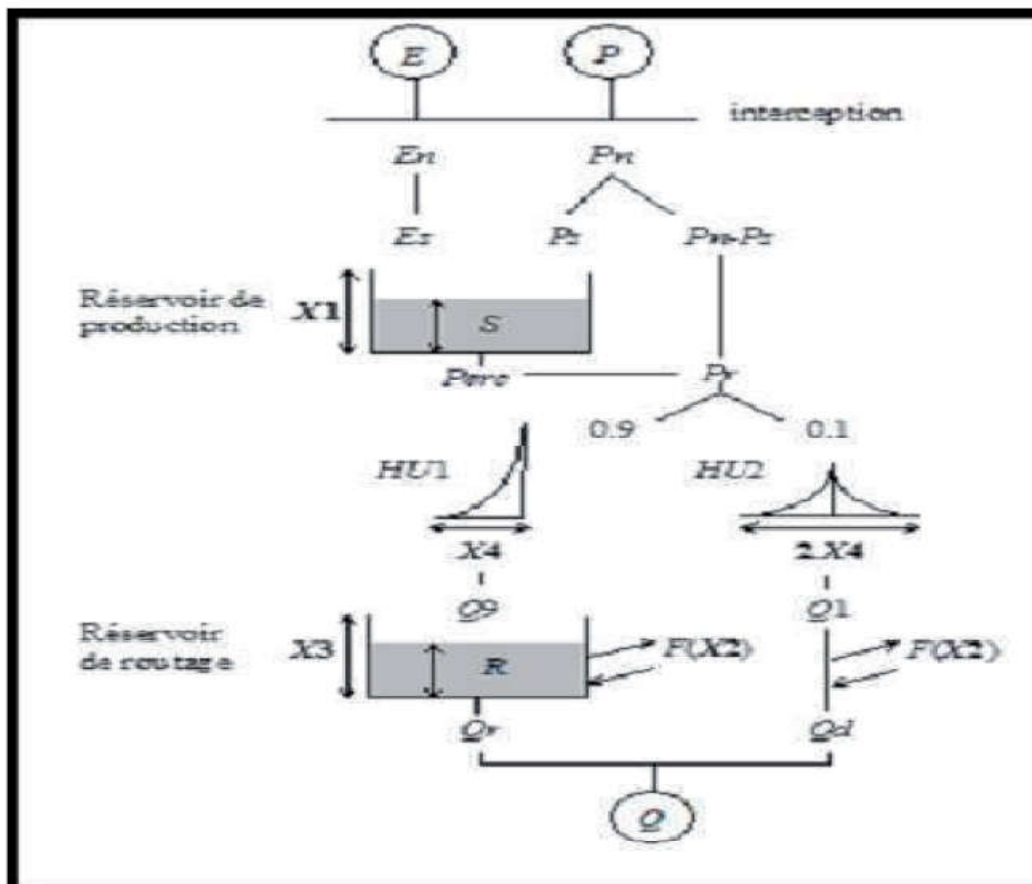


Figure I.7:Schéma de la structure du modèle GR4J (BOURQUI ,2008)

**Paramètre de GR4J :**

Le modèle GR4J comporte quatre paramètres tableau I.3 suivant :

**Tableau I.3 :** Valeurs des paramètres du modèle GR4J

Paramètre	Unité	Médiane	Intervalle de confiance
X1 : capacité du réservoir de production	mm	350	[100-1200]
X2 : coefficient d'échanges souterrains	mm	0	[-5-3]
X3 : capacité à un jour du réservoir de routage	mm	90	[20-300]
X4 : Temps de base de l'hydrogramme unitaire HU1 (j).	j	1.7	[1.1-2.9]

**Conclusion**

Depuis l'années 1960 de nombreux modèles ont été développés pour la simulation du débit à l'exutoire d'un bassin versant et sont utilisés dans plusieurs applications liées à gestion de ressources en eau tel que (dimensionnement d'ouvrages, prévision de crues, détection d'impacts ....)

Il existe des modèles pluie-débit conceptuels de manière semi-distribuée et globale pour calculer le débit journalière. L'approche semi-distribuée consiste à subdiviser le bassin versant en divers sous bassins, qui prend en compte les caractéristiques topographiques du bassin versant (altitude, surface) contrairement du modèle global considère le bassin comme une seule entité de calcul de débit.

L'étude du modèle hydrologique pour simulation du ruissellement du bassin de l'oued Meffrouch . Notre choix porte sur un de modèle semi- distribuée (HBV) et le modèle global (Génie rural GR) qui a été testé sur quelques bassins versants algérien.

**Chapitre II**  
**PRESENTATION DU BASSIN**  
**VERSANT D'OUED MEFFROUCH**

## II. 1. Situation géographique du bassin versant de la Tafna

Le bassin versant de la Tafna, d'une Superficie de 7245 km<sup>2</sup> est situé au Nord-ouest du territoire algérien. Le bassin est délimité par le principal relief mont de Tlemcen entre la méditerranée et les hautes plaines oranaises et relayé à l'ouest par le moyen Atlas marocain et à l'est par les monts de Daïa (Saïda).

Le bassin est constitué principalement au Sud par une barre de montagne (800-1400 m d'altitude) axée WSW-ENE, dominant largement au Nord les régions de plaines de Maghnia, Hennaya et Sidi Abdelli [BELARBI 2010]

Globalement, le bassin versant peut être subdivisé en trois grandes parties [Bouanani, 2004]

- partie orientale avec comme principaux affluents l'oued Isser et l'oued Sikkak
- partie occidentale comprenant la Haute Tafna (oued Sebdou et oued Khemis) et l'oued Mouilah
- partie septentrionale : qui débute pratiquement du village Tafna et s'étend jusqu'à la plage de Rachgoune, embouchure de la Tafna sur la mer. Les oueds Boukiou-, Boumessaoud et Zitoun sont les principaux affluents de cette partie.

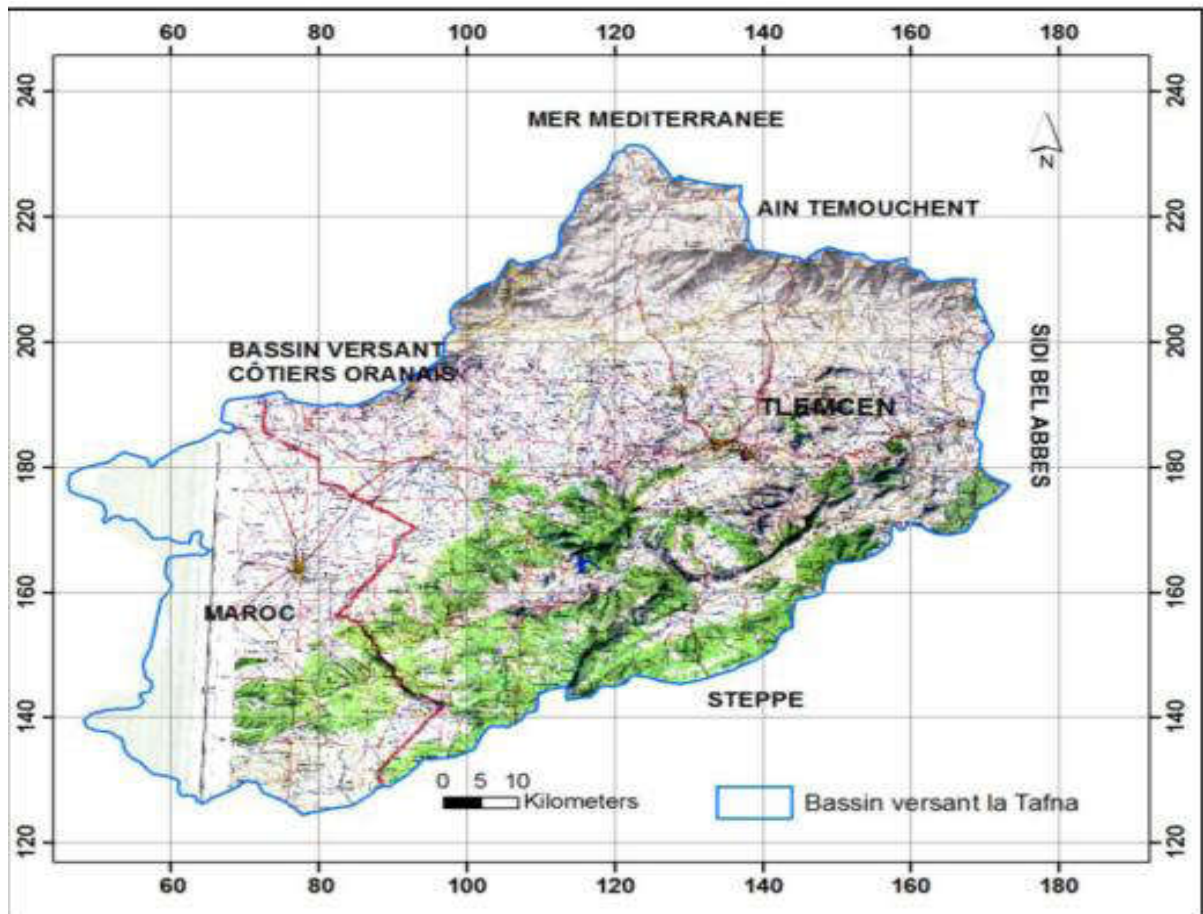


Figure II.1 : la délimitation du bassin versant de Tafna

[TADLAOUI et BOUABDALLAH , 2016]

### II.1.2 Présentation de la zone d'étude:

Faisant partie du bassin de la Tafna, le Bassin versant Meffrouch d'une superficie de 90Km<sup>2</sup> Orienté au Nord Est suivant son cours d'eau principal se situ au sud-ouest de la ville de Tlemcen entre les longitudes 1°15' a 1°25' ouest et entre les latitudes 34°15' a 34°52' Nord.

Le bassin versant de l'oued Meffrouch est limité par :

- Au Nord par djebel zarifet et Beni-Moudjes
- A l'Est par djebel Ben yakoub djebel Tichtouine
- À l'ouest par djebel Gendouza et djebel Elkoudia
- Et au sud par djebel Nador

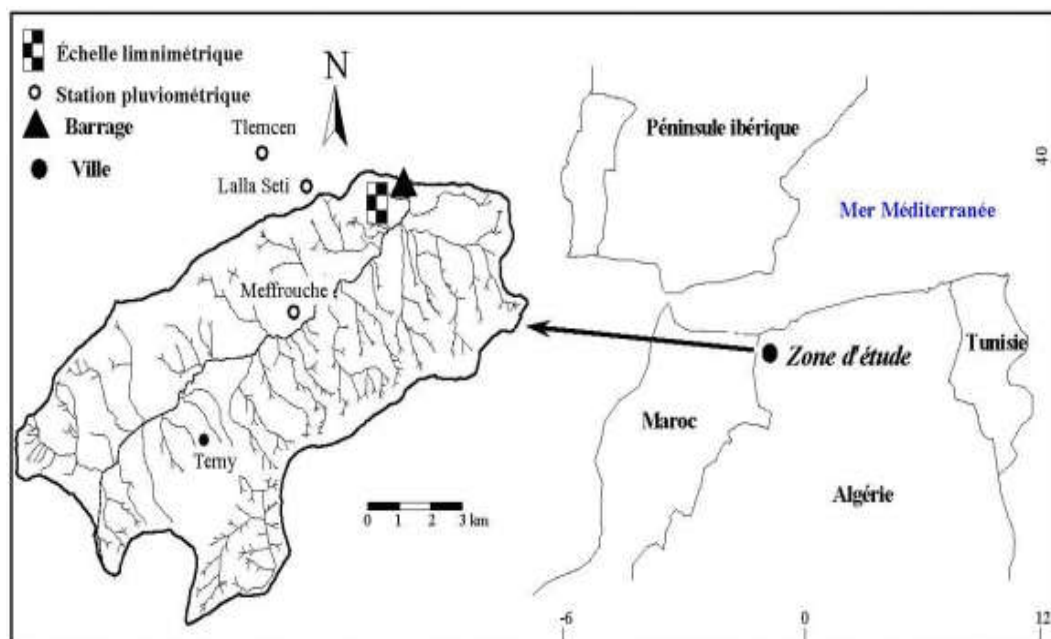


Figure II.2 : situation géographique du bassin versant de de l'Oued Meffrouch (Ghenim, Megnounif ,2013)

### II.1.3 Géologie de bassin versant de meffrouch :

Le bassin versant de l'oued Nachef (Meffrouch) Peut-être subdivisé en deux grands domaines (Figure II.3) :

- Au nord, domaine marneux du miocène
- Au sud, Domaine calcaireux dolomitique du Jurassique

#### II.1.3.1 Analyse litho stratigraphique

L' échelle des terrains rencontrés dans la zone du Meffrouch s'étend du Séquanien au Crétacé inférieure (Berriasien ) tout étant en concordance de sédimentation, il faut noter la présence d'un petit lambeau de terrains miocène (miocène inférieur ) discordant sur le socle secondaire , qui témoigne , d'une part de l'extrême avancée des rivages miocènes sur le causse jurassique d'autre part de l'âge post –miocène inférieur de quelques-uns au moins des grands accidents ayant affecté la région [Gevin,1952).

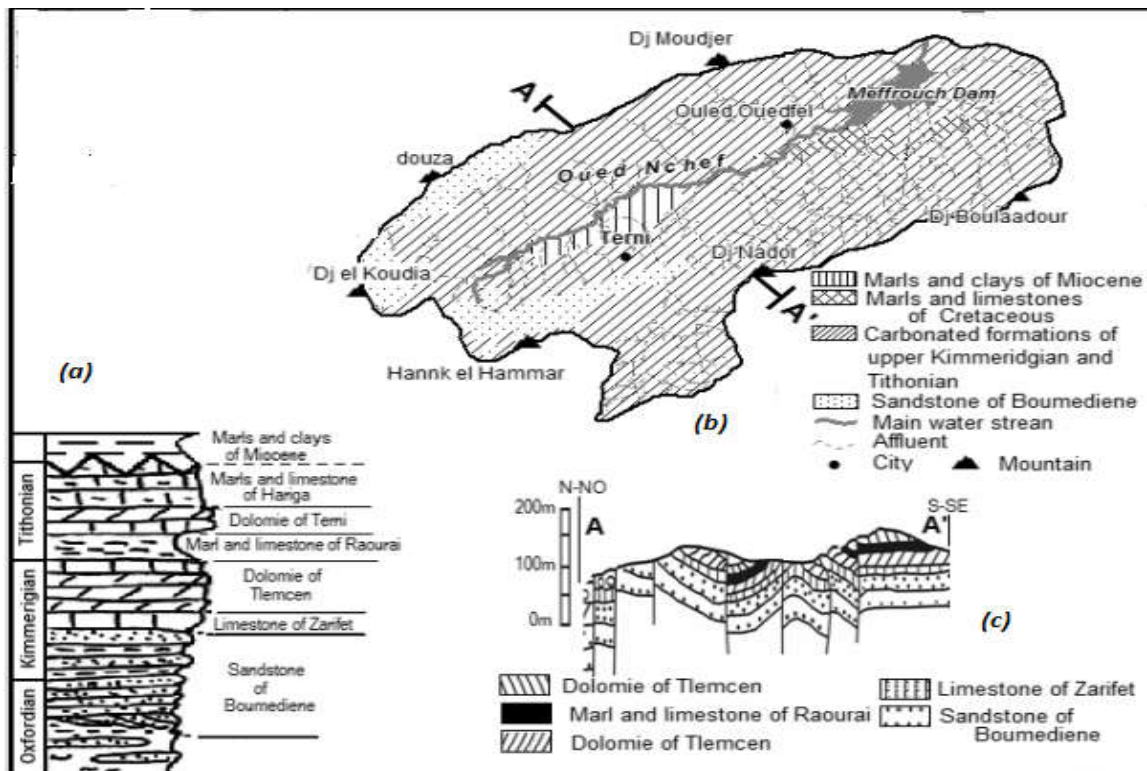
#### A) secondaire :

La plus part des terrains formant la région sont d'âge Secondaire, l'ossature est représentée par le Jurassique supérieur.

- Les dolomies de Terni : ce sont des dolomies cristallines à crypto cristallines montrant des passées riches en laminâtes avec de nombreuses stratifications obliques. Elles ont une forme de falaise d'aspect ruiniforme qui forment les sommets de Djebel NADOR, elles affleurent bien dans toute la cuvette de Terni et près du barrage de Meffrouch.
- Les Marno-calcaires : Cette formation affleure uniquement à l'Est de Terni et près du barrage de Meffrouch, seul leur base calcaire est conservée, elle comprend une alternance de marnes et de calcaires.

**B) Le Tertiaire** : les formations d'âge Tertiaire sont essentiellement des dépôts marins : le Tortonien est représenté par des grés fissurés, ils sont durs et mal liés et peuvent avoir des faciès différents ils affleurent près de Terni sous forme d'argile sableuse

**C) Le Quartenaire** : il correspond à des dépôts non consolidés et des travertins friables riches en débris végétaux. Les plus importants sont ceux de Tlemcen (les cascades) de l'oued Meffrouch et ceux du plateau de Lala setti (Kazi Tani, 2002]



**Figure II.3:** Cadre géologique de la zone d'étude. (a) relevé lithostratigraphique de la région (Bensaoula 2006) (b) détails sur la zone d'étude et (c) coupe transversale géologique (Bensaoula et Bensalah 2007)

## II.2 Étude Morphométrique :

### II.2.1 Caractéristiques géométriques

#### II.2.1.1 - La superficie et le périmètre

Le bassin versant de l'oued Meffrouch possède une superficie planimétrée de 90 km<sup>2</sup> et un périmètre de 46.7 km.

#### II.2.1.2 - La forme :

Il y a deux caractéristiques de forme pour déterminer la configuration géométrique du bassin



**a- Indice de compacité de GRAVELIUS :**

Indice de compacité Gravelius ( $K_c$ ) exprime le rapport entre le périmètre du bassin versant et la racine carrée de la même superficie du bassin

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec

$K_c$  : indice de compacité de Gravelius

$P$  : le périmètre du bassin en Km

$A$  : la superficie du bassin en Km<sup>2</sup>

Dans ce cas le bassin versant de Meffrouch caractérisée par

$$P = 46.7 \text{ Km}$$

$$A = 90 \text{ Km}^2$$

$$K_c = 1.37$$

$K_c > 1$ , le bassin versant d'Oued Meffrouch est allongé.

**B - Rectangle équivalent**

C'est une transformation géométrique du bassin versant qui prend la forme d'un rectangle avec le même coefficient de Gravelius et la superficie du bassin et par conséquent la même répartition hypsométrique. Les dimensions du rectangle sont déterminées par les équations suivantes :

$L$  : longueur du rectangle équivalent en Km

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right], \quad K_c \geq 1.12$$

$$L = 18.28 \text{ Km}$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right], \quad K_c \geq 1.12$$

$$l = 4.92 \text{ Km}$$

## II.2.2 - Etude du relief

### II.2.2.1 Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique est utilisée pour représenter la répartition des altitudes dans le bassin. La forme de cette courbe donne une certaine idée sur les pentes du bassin et la répartition des altitudes

Tranches d'altitudes	La surface Partielle Ai (km <sup>2</sup> )	La surface Ai cumulée (km <sup>2</sup> )	Pourcentage De surface Ai %	Ai % cumulés
1500-1450	2	2	2.22	2.22
1450-1400	4	6	4.44	6.66
1400-1350	4	10	4.44	11.1
1350-1300	5	15	5.55	16.65
1300-1250	6	21	6.70	23.35
1250-1200	23	44	25.55	48.9
1200-1150	36	80	40	88.9
1150-1100	10	90	11.1	100

**Tableau II.1** : répartitions Hypsométrique du bassin versant [Kazi Tani, 2002]

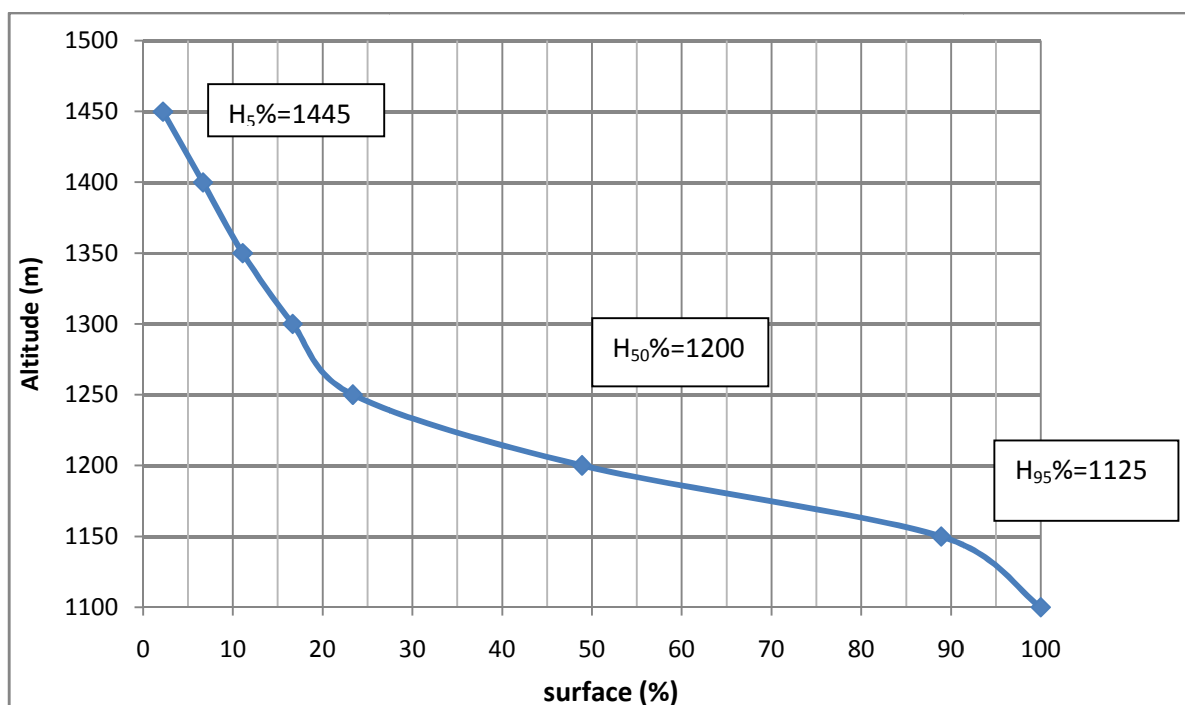


Figure .II.4: Courbe Hypsométrique du bassin versant de Meffrouch

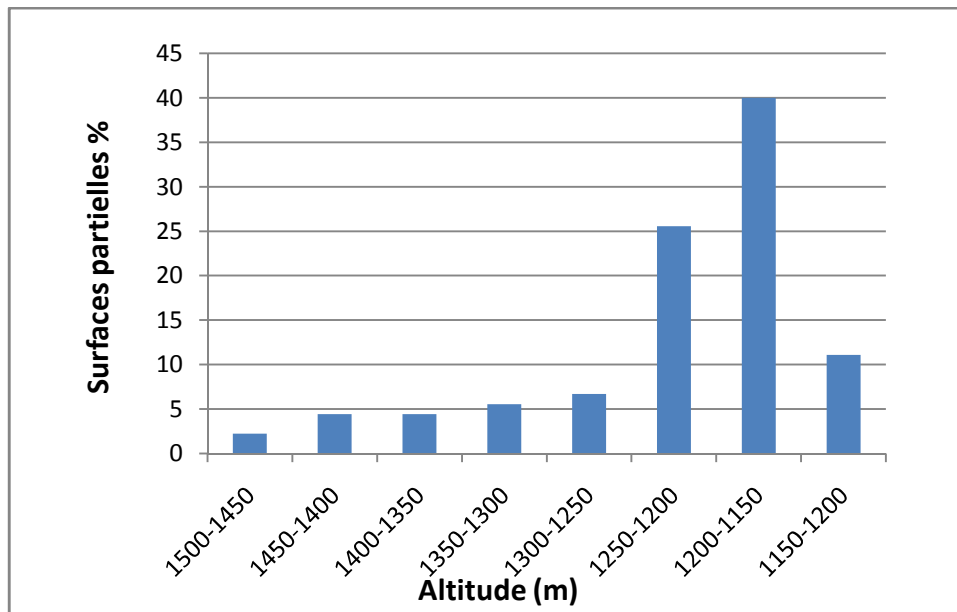


Figure II.5 : Histogramme de fréquences altimétriques du bassin versant de Meffrouch

Cette courbe représente en abscisse la répartition de la surface ou (pourcentage des surfaces cumulées) du bassin en fonction des l'altitude (figure II.4). Elle permet la détermination des altitudes caractéristiques du bassin.

L'Histogramme des fréquences altimétriques du Bassin versant figure (II.5), représente la répartition des surfaces partielles (%) en fonction des altitudes. De cet histogramme on tire l'altitude la plus fréquente du bassin qui est comprise entre la tranche (1200-1150 m)

➤ ***Altitudes caractéristiques du bassin***

- Les altitudes maximale et minimale obtenues directement à partir la courbe Hypsométrie du bassin versant d'oued meffrouch :

-L'altitude maximale correspond l'altitude plus élevée du bassin versant

-L'altitude minimal se situe généralement à l'exécutoire de bassin versant

-L'altitude médiane correspond à l'altitude 50% de la surface totale du bassin

- les altitudes de H5% et H95% qui correspondent les valeurs du pourcentage de la surface du bassin versant (5% et 95%)

## ❖ . L'altitude moyenne

Il définit par la relation suivante

$$H_{\text{moy}} = \sum \frac{A_i h_i}{A}$$

Avec

$H_{\text{moy}}$  : altitude moyenne du bassin [m]

$A_i$  : aire comprise entre deux courbes de niveau [km<sup>2</sup>]

$h_i$  : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m]

$A$  : superficie totale du bassin versant [km<sup>2</sup>].

Les résultats sur le tableau suivant :

Tableau II.2 : Altitude moyenne par rapport à une classe d'altitude donnée

Altitude	$A_i$	$H_i$	$A_i * H_i$
1500-1450	2	1475	2950
1450-1400	4	1425	5700
1400-1350	4	1375	5500
1350-1300	5	1325	6625
1300-1250	6	1275	7650
1250-1200	23	1225	28175
1200-1150	36	1175	42300
1150-1100	10	1125	11250

Tableau II.3 : Altitudes caractéristiques du bassin versant d'oued meffrouch

	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Altitude moyenne (m)	Altitude 50% (m)	H5% (m)	H95% (m)
Station Meffrouch	1500	1100	1223.88	1200	1445	1125

### II.2.2.2 L'indice de pente du relief :

#### ➤ Indice de pente de ROCHE (Ip)

C'est la pente globale du bassin versant Proposée par Roche 1963 et se détermine par le rectangle équivalent soit,

$$I_p = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n X_i \sqrt{(a_i - a_{i-1}) / X_i}$$

L : longueur du rectangle équivalent : 18.28 Km

X<sub>i</sub> : étant la distance qui sépare les deux courbes de niveau (i) et (i-1) sur le Rectangle équivalent

a<sub>i</sub> : Différence d'altitude entre 2 courbes de niveau successives en m

**Tableau .II.4** indice de pente de ROCHE

Altitude (m)	a <sub>i</sub> -a <sub>i-1</sub>	X <sub>i</sub> (km)	$\sqrt{(a_i - a_{i-1}) / X_i}$
1500-1450	50	0.41	11.04
1450-1400	50	0.81	7.85
1400-1350	50	0.81	7.85
1350-1300	50	1.01	7.03
1300-1250	50	1.22	6.39
1250-1200	50	4.67	3.27
1200-1150	50	7.31	2.61
1150-1100	50	2.03	4.96

Donc : I<sub>p</sub> = 4.2

#### ➤ Indice de pente globale I<sub>g</sub> :

Il est déterminé à partir de la courbe hypsométrique et donné par la formule suivant :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

D : La dénivelée en (m), c'est la différence entre l'altitude H<sub>5</sub> (5% de la surface du bassin) et l'altitude de H<sub>95</sub> (95% de la surface)

$$D = H_5 - H_{95} = 320\text{m}$$

L : la longueur de rectangle équivalent (km)

Donc  $I_g = 0.017 = 17 \text{ m/km}$ , Selon la classification du L'ORSTOM (tableau II.5) le relief du bassin versant de l'oued Meffrouch est modéré.

Tableau II.5 : classification du relief selon  $I_g$  par L'ORSTOM

Relief	Valeurs le $I_g$
Relief très faible	$I_g < 0.002$
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$
Relief très fort	$0.5 < I_g$

### II.2.2.3 Dénivelé spécifique $D_s$ ;

Il est donné par la relation suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{A}$$

$I_g$  : Indice de pente global (m/Km)

$A$  : aire du bassin versant

$$D_s = 161,27 \text{ m}$$

Tableau II. 6 : classification du relief selon  $D_s$  par L'ORSTOM

Relief	Valeurs le $D_s$
Relief très faible	$D_s < 10$
Relief faible	$10 < D_s < 25$
Relief assez faible	$10 < D_s < 50$
Relief modéré	$50 < D_s < 100$
Relief assez fort	$100 < D_s < 250$
Relief fort	$250 < D_s < 500$
Relief très fort	$D_s > 500$

D'après le tableau N°6, établie par l'ORSTOM le relief selon  $D_s$  est assez fort

### II.2.3 Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique c'est l'ensemble des canaux de drainage naturels ou s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines soit sous forme de sources, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau.

Réseau hydrographique figure (II.6) se compose de L'oued En Nachef et ces affluents qui drainent le sous bassin du Meffrouch d'une longueur de 14.25km

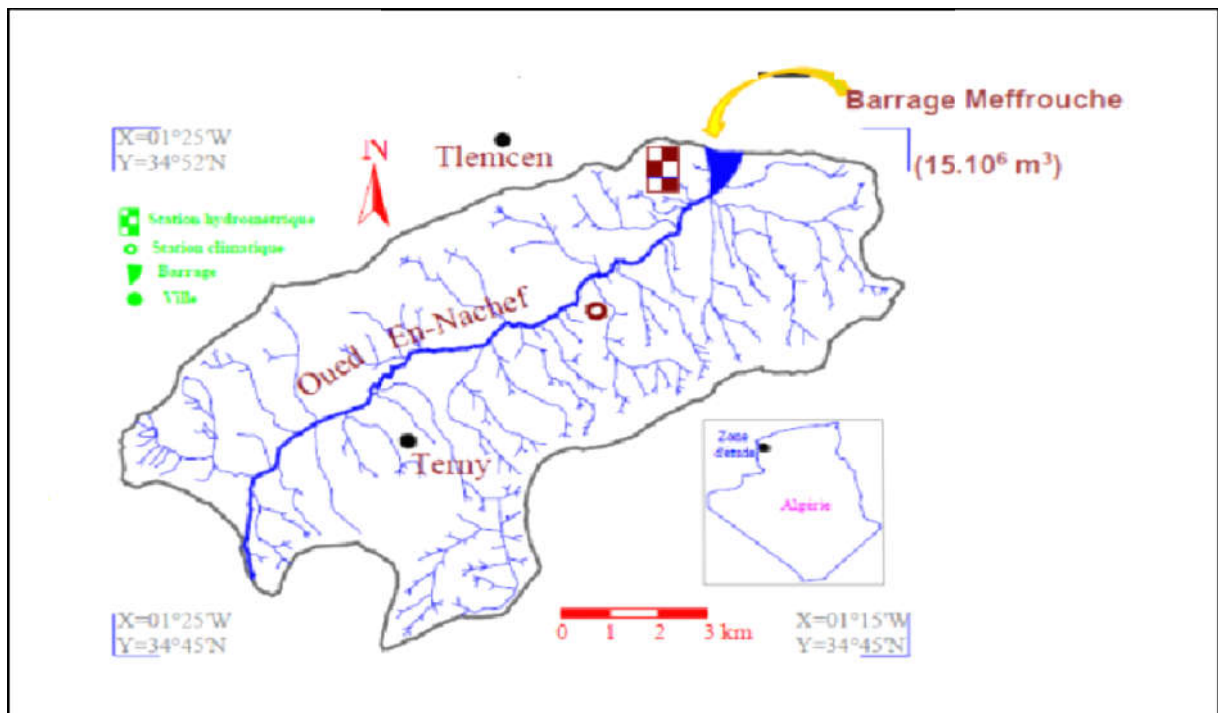


Figure II.6 : Réseau hydrographique de bassin versant Meffrouch

( Ghenim, Megnounif. 2011 ]

#### II.2.3 .1 Structure du réseau et ordre des cours d'eau

Selon la classification des tronçons des cours d'eau de Strahler (1957), la répartition par ordre du réseau hydrographique de l'oued Meffrouch est présentée dans le tableau II.7

Tableau II.7 : classification de Strahler du réseau hydrographique de l'oued Nachef [Kazi Tani, 2002]

Ordre	Nombre	Longueur (km)	Longueur moy (km)
1	381	86.2	0.22
2	103	62.8	0.61
3	27	42.5	1.57
4	7	14.5	2.07
5	2	9	4.5
6	1	1.2	1.2
Total	521	216.20	10.17

### a. Rapport de longueur : RL

$$R_L = \frac{L_{n+1}}{L_n}$$

$L_n$  : longueur de cours d'eau d'ordre n.

$L_{n+1}$  : longueur de cours d'eau d'ordre n+1.

$R_L$  : Rapport de longueur est la pente de Droite du rapport des longueurs en fonction de l'ordre  $a = \frac{\text{Log}2.07 - \text{Log}0.61}{4-2} = R_L = 0.26$

$a = \log R_L = 0.26$  d'où  $R_L = 1.81$

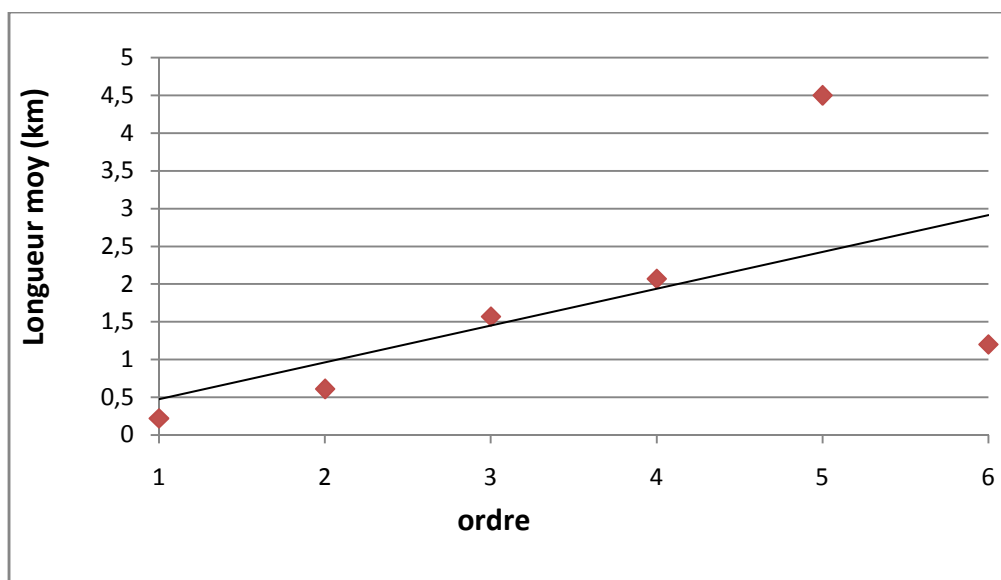


Figure. II .7 : Droite représentative du rapport des longueurs en fonction de l'ordre.



**b. Rapport de confluence :**

Il est défini par le rapport de nombre de de thalwegs d'ordre n par l'ordre n+1:

$$Rc = \frac{N_n}{N_{n+1}}$$

Avec

Rc : rapport de confluence.

$N_n$  : nombre de cours d'eau d'ordre n.

$N_{n+1}$  : nombre de cours d'eau d'ordre n+1.

$$Rc = a = \frac{\text{Log}103 - \text{Log}7}{2-4} = 0.58$$

Ou  $Rc = \log Rc = 3.80$

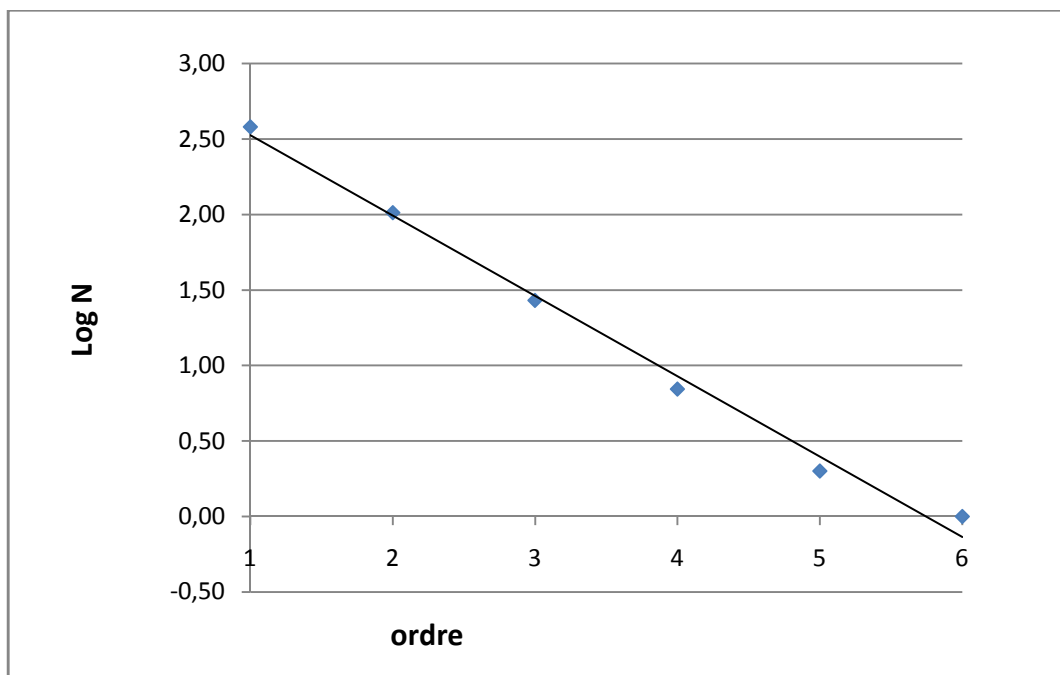


Figure. II .8: Droite représentative du log nombre de thalwegs en fonction de l'ordre

### II.2.4 Fréquence des cours d'eau

Elle est définie par la relation suivant :

$$F = N/A$$

N : Nombre de cours d'eau : 521

A : Aire du bassin versant 90 km<sup>2</sup>

$$F = 5,78$$

### II.2.5 Densité de drainage Dd :

C'est rapport entre la longueur cumulée des canaux d'écoulement et la superficie du bassin

$$Dd = \sum_1^6 \frac{L}{A}$$

Ou L : Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km (216.2 Km)

A : Aire du bassin en km<sup>2</sup> : (90km<sup>2</sup>)

$$Dd = 2.48 \text{ km}^{-1}$$

### . II.2.6 Coefficient de torrentialité

Il donnée par la relation suivant :

$$C_T = Dd * F_1$$

Avec :

Dd : densité de drainage

F1 : fréquence des thalwegs élémentaires  $F_1 = N_1 / A$

Avec N1 : nombre de cours d'eau d'ordre 1

$$F_1 = 5.78$$

Le Coefficient de torrentialité CT=14.35

### II.2.7. Temps de concentration :

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée, pour parvenir à l'exutoire, il est donné par la formule de Giandotti

$$T_c = 4(A + 1.5L)^{1/2} / 0.8 (H_{\text{moy}} - H_{\text{min}})^{1/2}$$

Avec

Tc : temps de concentration (heures)

A : superficie du bassin (km<sup>2</sup>)

L : longueur du thalweg principal (km)

H moy : altitude moyenne (m)

H min : altitude minimale (m)

$$Tc = 4h30mn$$

### Conclusion :

L'étude hydro-morphométrique du bassin versant de l'Oued Nachef (Meffrouch) d'une superficie de 90 km<sup>2</sup> montre que :

Le bassin est allongé, le relief est modéré et Le réseau hydrographique est assez bien drainé avec une densité de drainage équivalente à 2.48 km<sup>-1</sup>.

Les différents paramètres morphométriques du bassin de l'Oued Meffrouch sont résumés dans le tableau II.8.

Tableau II.8 paramètres morphométriques du bassin versant de Meffrouch

Caractéristiques	Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs
Morphologie du bassin versant	Surface	A	Km <sup>2</sup>	90
	Périmètre	P	km	46.7
	Coefficient de Gravelius	Kc	-	1.37
	Longueur du rectangle équivalent	L	km	18.28
	Largeur du rectangle équivalent	l	Km	4.92
Relief	Altitude maximale et minimale	H <sub>max</sub> , H <sub>min</sub>	m	1500,1100
	Altitude moyenne	H <sub>moy</sub>	m	1223.88
	Pente globale	I <sub>g</sub>	m/km	17
	Dénivelée spécifique	Ds	m	161.27
	Pente globale	I <sub>p</sub>	%	4.2
Réseau hydrographie	Densité de drainage	Dd	Km <sup>-1</sup>	2.48
	Rapport de confluence	Rc	-	3.80
	Rapport de longueur	Rl	-	1.81
	Fréquence des cours d'eau	F	-	5.78
	Coefficient de torrentialité	Ct	-	14.35
	Temps de concentration	Tc	h	4h 30min

*Chapitre III*

*HYDROCLIMATOLOGIE*

**Introduction :**

Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les Conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement Hydrologique des cours d'eau (Roche 1963, Cosande, 2001...).

L'étude du climat du bassin de l'oued Meffrouch (NW algérien) est basée sur des Données de mesures climatiques (précipitations, température, évapotranspiration) à la station du barrage et qui nous ont été fournies par l'Agence nationale des ressources hydraulique (ANRH) (tableau 1)

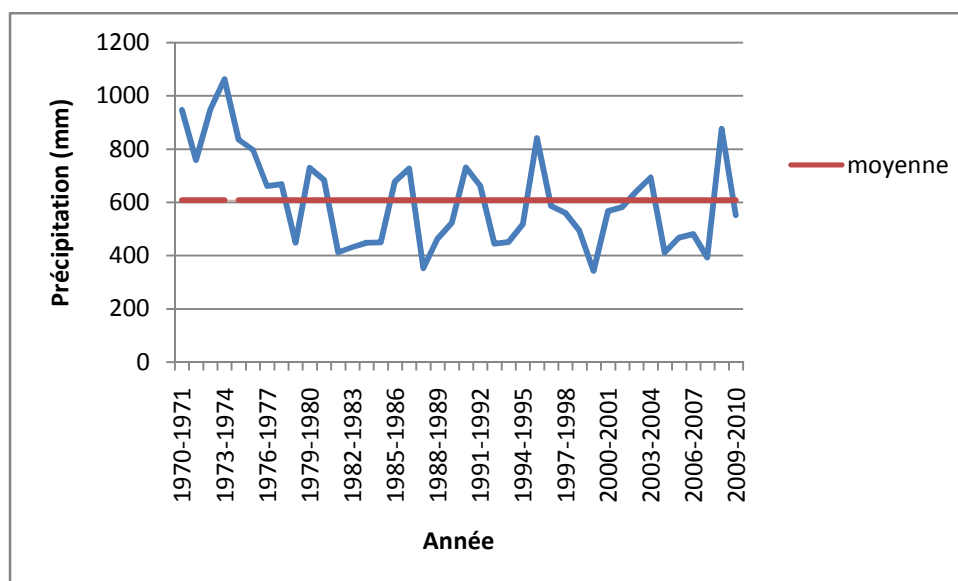
Tableau III.1 : Présentation de station météorologique du barrage meffrouch.

Meffrouch	station	Coordonnées				
	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Code de la station	Période observation	Paramètres mesurés
	1°15' 25''W	34°45' 52''N	1110	16071	1970-1971-2009-2010	P, T, ETP

**II.1. Etude Les précipitations****III.1.1 Etude Les précipitations moyennes annuelles :**

La pluviométrie d'une année c'est la somme de la hauteur des précipitations mensuelles. La mesure de l'évolution de la pluviométrie annuelle sur une période de 40 ans 1970/2010 figure (III.1) indique que la hauteur maximale des précipitations atteint 1062,4 mm au niveau de la station de Meffrouch en 1973/1974, et Le minimum de 342,40 mm en 1999/2000. 18 années sur 40 ont enregistré des hauteurs de pluie supérieures à la Moyenne de (607.86 mm)

-L'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations mérite d'être complétée par une étude fréquentielle, c'est-à-dire l'estimation des valeurs limites atteintes ou dépassées pendant une période donnée. Ceci suppose de rechercher au préalable la loi d'ajustement.



**Figure III.1** : Evolution annuelle des précipitations (1970/1971-2009/2010) à la station de meffrouch

**III.1.2 Etude Statistique des précipitations :**

L’analyse statistique des séries d’observations des précipitations annuelles par les tests de normalité : Le test graphique (loi normale et log – normale) et le Test analytique nous permet de déceler une estimation des paramètres d'ajustement.

**a- Adéquation des données à une loi statistique**

- **Test graphique**

Les paramètres de positions de la série de la station du Meffrouch pour la loi normale et log-normale sont donnés sur le tableau suivant :

Tableau III.2 : Paramètres de position et de dispersion des précipitations de la station de Meffrouch

Paramètres	formules	Loi normal	Loi log normal
Moyenne	$P^- = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$	607.86	2.77
Variance	$\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i^2 - P^-^2)$	32285,05	0.02
Ecat-type	$\sigma = \sqrt{\delta^2}$	179,68	0.12
Coefficient de variation	$Cv = \frac{\sigma}{P^-}$	0.29	0.05

Le coefficient de variation  $Cv < 0.5$  traduit que l'ajustement par une loi Symétrique normale ou log normale est possible.

-Les fonctions de la loi normale et log normal des précipitations sont présentées sur le graphe Figure (III.2, 3) en utilisant le logiciel hyfran. Pour cela on reporte les probabilités au non-dépassement sur l'axe des x en échelle gaussienne.

Sur l'axe des y en échelle Arithmétique, on reporte P pour la loi Normale et log P (log-normale)

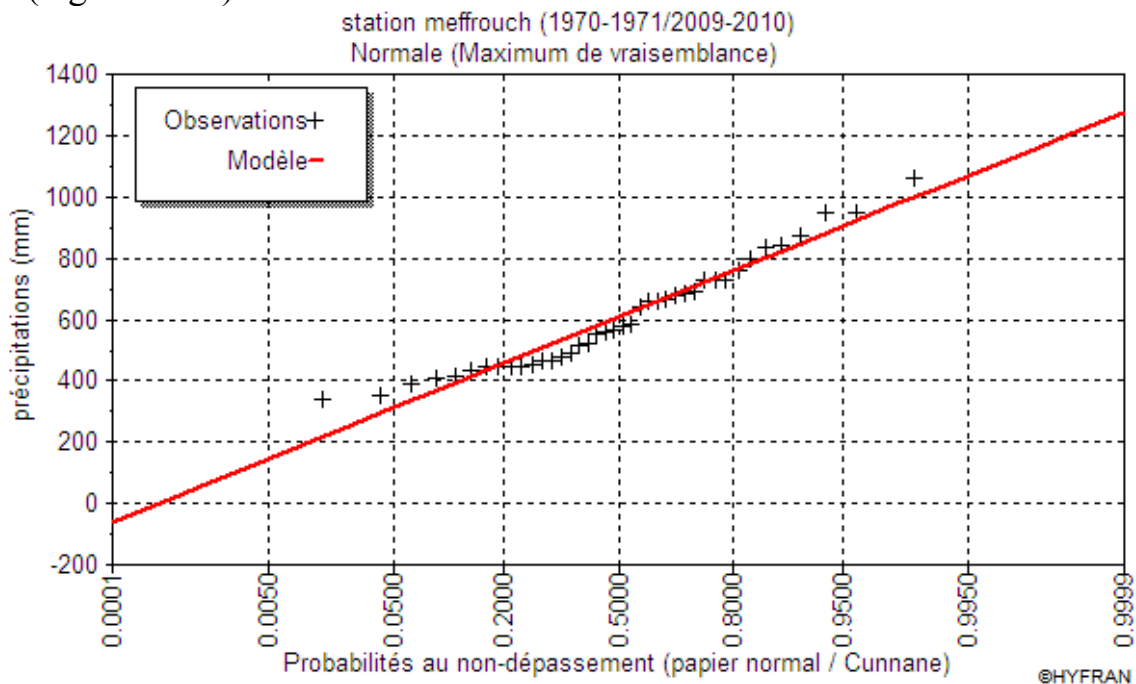


Figure.III.2: Ajustement des précipitations annuelles à loi normal de Station Meffrouch

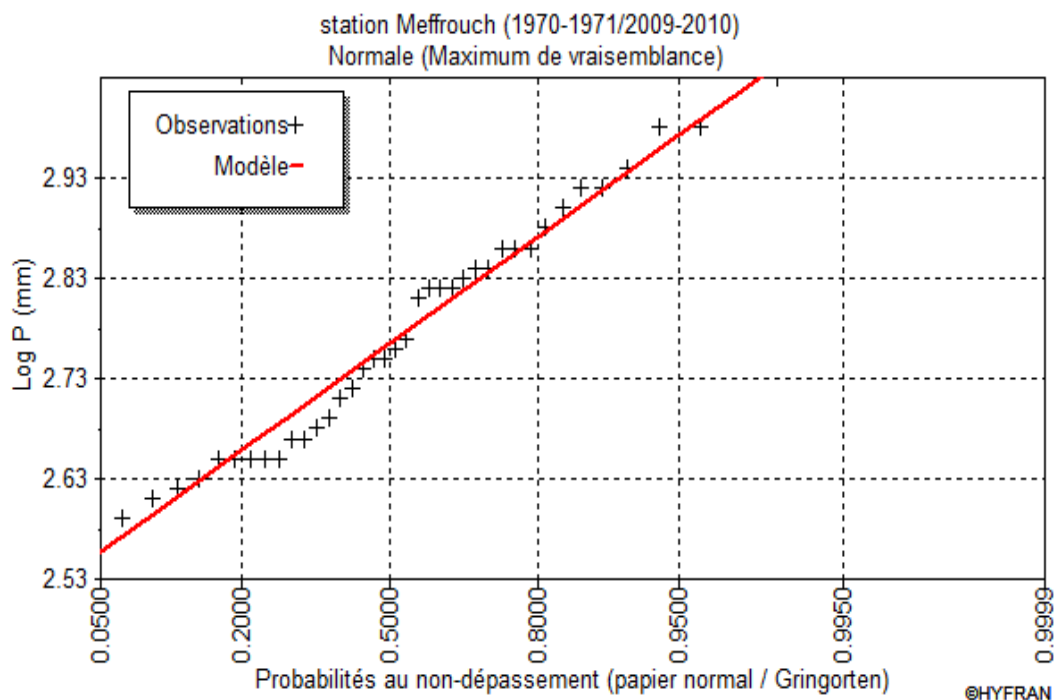


Figure.III.3: Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi log-normal

**Les Equations de la droite d'ajustement peuvent s'écrire :**

Loi normal :  $P = 607.86 + 179.68U$

Loi log normal :  $\log P = 2.77 + 0.12 U$

Où  $u$  est la variable réduite centrée de Gauss

L'ajustement graphique des séries pluviométriques figures (III .2, III.3) de la Station du Meffrouche montre que Les précipitations annuelles s'alignent bien autour de la droite d'HENRY, donc bien distribuées selon une loi Normale et log normal

- **Test analytique**

Le test de Pearson ou encore appelé le test du khi-deux ( $\chi^2$ ), permet de juger de la qualité de L'ajustement d'une distribution théorique à une distribution expérimentale

Pour la loi normale les précipitations moyennes annuelles tableau (III.3) sont classées suivant une distribution ordonnée en terme croissant. La fréquence de chaque valeur de précipitations est calculée par l'équation suivante



$F_i = R / (N+1)$  Avec  $N$  : effectifs est le 40 d'année

Tableau III.3 : fréquences des données des précipitations de la station Meffrouch

Rang	Année	P (mm)	F=R/(N+1)	rang	Année	P (mm)	F=R/(N+1)
1	1999-2000	342,40	0,024	21	2001-2002	581,90	0,512
2	1987-1988	352,20	0,049	22	1996-1997	586,64	0,537
3	2007-2008	392,70	0,073	23	2002-2003	639,90	0,561
4	2004-2005	410,95	0,098	24	1976-1977	661,30	0,585
5	1981-1982	412,65	0,122	25	1991-1992	661,50	0,610
6	1982-1983	431,40	0,146	26	1977-1978	667,70	0,634
7	1992-1993	444,80	0,171	27	1985-1986	677,90	0,659
8	1983-1984	447,60	0,195	28	1980-1981	684,00	0,683
9	1978-1979	448,60	0,220	29	2003-2004	693,50	0,707
10	1984-1985	449,17	0,244	30	1986-1987	727,60	0,732
11	1993-1994	450,20	0,268	31	1979-1980	729,90	0,756
12	1988-1989	463,10	0,293	32	1990-1991	731,20	0,780
13	2005-2006	467,60	0,317	33	1971-1972	758,00	0,805
14	2006-2007	480,50	0,341	34	1975-1976	797,00	0,829
15	1998-1999	492,40	0,366	35	1974-1975	835,30	0,854
16	1994-1995	518,40	0,390	36	1995-1996	841,00	0,878
17	1989-1990	522,20	0,415	37	2008-2009	875,70	0,902
18	2009-2010	551,23	0,439	38	1970-1971	947,10	0,927
19	1997-1998	560,20	0,463	39	1972-1973	949,70	0,951
20	2000-2001	567,00	0,488	40	1973-1974	1062,40	0,976

Premièrement on organise les observations en classe tableau (III.3) en utilisant les équations suivantes

$K = 6.32$  loi normal on prenant  $K = 6$

$K = 1 + 4/3 (\log(N)) = 3.13$  loi log normal  $K = 4$

Avec

$K$  = nombre de classe

-Le test du khi-deux ( $\chi^2$ ) est donné théoriquement par l'équation suivante :

$$\chi^2 = \sum \frac{(ni - npi)^2}{npi}$$

Avec  $Npi$  : l'effectif théorique de chaque classe est calculé par :  $Npi = \frac{N}{K}$

Les résultats sont classés dans le tableau III.4 :

Tableau.III.4 : Calcul du  $\chi^2$  pour la station de Meffrouch (loi normale) et loi log normale

K	Limites de classes	ni	Npi	$\frac{(ni - npi)^2}{npi}$
1	[342.4-462.4 [	11	6.6	2,93
2	[462.4-582.4 [	10	6.6	1,75
3	[582.4-702.4 [	8	6.6	0,30
4	[702.4-822.4 [	5	6.6	0,39
5	[822.4-1062.4 [	6	6.6	0.05
				$\chi^2$ calculé = 5.42

K	Limites de classes	ni	Npi	$\frac{(ni - npi)^2}{npi}$
1	[2,53-2,66[	11	10	0,1
2	[2,66-2,78[	11	10	0,1
3	[2,78-2,90[	11	10	0,1
4	[2,90-3,03]	7	11	1,45
				$\chi^2$ calculé = 1.75

Avec un seuil de probabilité de 5% (0.05), le degré de liberté est égale à

ddl= 5-2-1= 2,  $\chi^2_{\text{tabulé}} = 5.991$ , loi normal

ddl=4-2-1=1,  $\chi^2_{\text{tabulé}} = 3.84$ , loi log normal

Les résultats du tableau III.5 montrent que les ajustements des précipitations annuelles aux deux lois à la station de Meffrouch sont vérifiés. Etant donné que le  $K_i^2$  pour la loi log normale est le plus petit c'est cette loi qui sera utilisée pour le calcul des pluies pour des périodes de récurrences données.

Le tableau III.5 comparaison entre  $\chi^2_{\text{tabulé}}$  et  $\chi^2_{\text{calculé}}$  loi normal et log normal

$\chi^2_{\text{calculé}}$		$\chi^2_{\text{tabulé}}$	Comparaison
Loi normal	5.42	5.99	$\chi^2_{\text{cal}} < \chi^2_{\text{tabulé}}$
Loi log normal	1.75	3.84	$\chi^2_{\text{cal}} < \chi^2_{\text{tabulé}}$

**b. Calcul des Précipitations pour une période de récurrence donnée ;**

Selon l'équation de la droite d'ajustement de la loi log normal log  $P=2.77+0.12 U$ , on calcule les précipitations de chaque période de retour en remplaçant « U » par sa valeur ( tableau III.6).

la période de retour est:

$T = 1 / 1 - F$  , pour  $T = 10$ ans on a  $F = 0.9$  d'où  $U = 1.28$

Pour  $T = 100$  ans on a  $F = 0.99$  d'où  $U = 2.32$

Pour  $T = 500$ ans on a  $F_i = 0.998$  d'où  $U = 2.88$

Pour  $T = 1000$ ans on a  $F = 0.999$  d'où  $U = 3.29$

Tableau III.6 précipitations de chaque période de retour

Précipitations (mm)	Log P (mm)	P (mm)
Décennales U= 1.28	2,92	831.76
Centenaires U=2.32	3,05	1122.02
Cinquantenaire U=2.88	3,12	1318.25
Millénaires U=3.29	3,16	1336.6

**III.1.3. Les précipitations moyennes mensuelles :**

Tableau III.7 : valeurs moyennes mensuelles des précipitations de la station Meffrouch (1970- 2010)

Mois	Sept	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil	aout	Annuel
<b>P (mm)</b>	19,9 3	41,3 2	73,0 1	70,5 2	77,60	81, 13	99,54	67,73	56,7 1	10,0 4	5,3 3	5,13	607,86

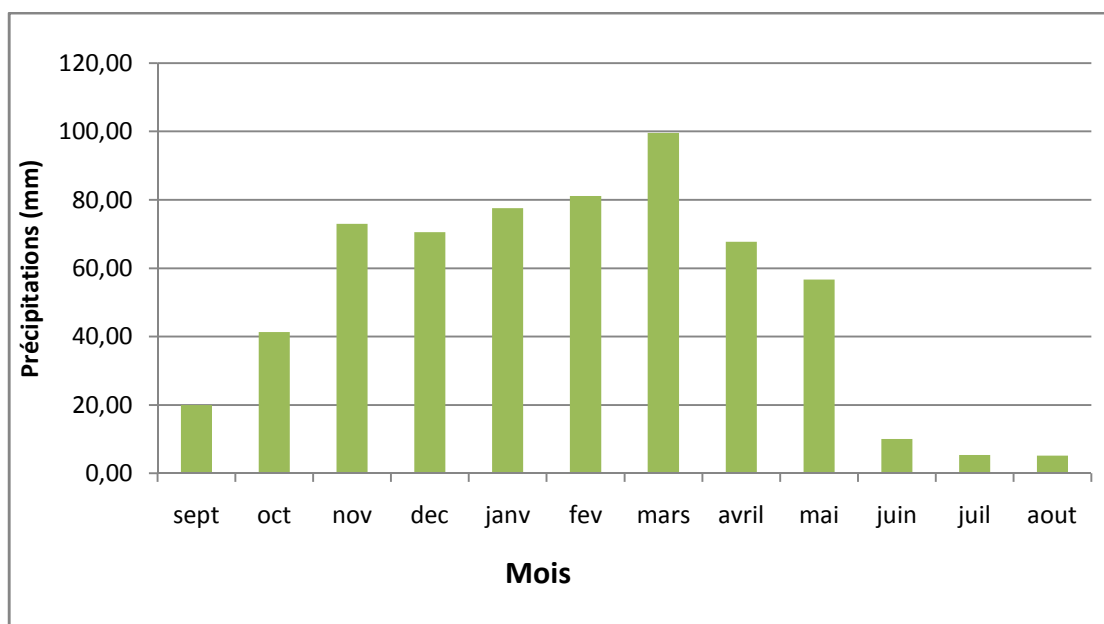


Figure III.4 : variations des précipitations moyennes mensuelles de stations Meffrouch (1970- 2010)

L'histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Meffrouch montre que les mois les plus pluvieux sont ceux allant d'octobre à Mai avec un maximum de 99.54 mm en mars, tandis que les mois les plus secs s'étendent de juin à aout avec un minimum de 5.10 mm en Août.

#### III.1.4. Les précipitations saisonnières :

Tableau III. 8: répartition des précipitations saisonnières à la station Meffrouch

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Eté
<b>P (mm)</b>	134,26	229,25	223,98	20,50

L'histogramme de distribution saisonnière des précipitations de la station de Meffrouch montre que l'automne, l'hiver et le printemps sont les saisons les plus humides et l'été la saison sèche.

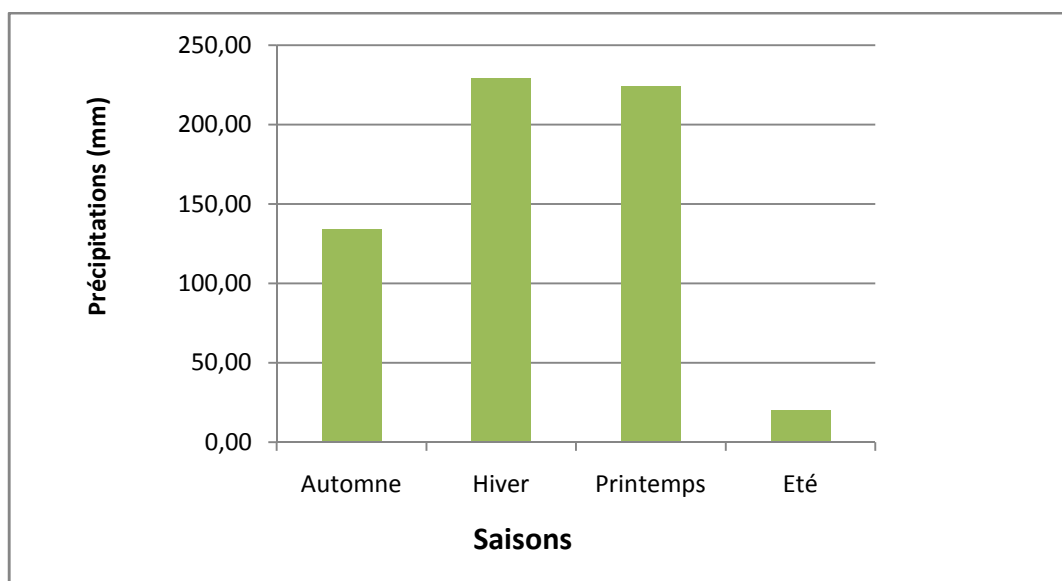


Figure III.5 : histogramme des précipitations saisonnières de Meffrouch (1970-2010)

## III.2. Etude des températures

### III.2. 1. Les températures *annuelles* :

Les températures annuelles à la station Meffrouch durant la période (1970-2014) (Figure III.6) sont irrégulières, elles varient entre 16 °C et 18 °C avec une faible tendance à la hausse. En effet, on y enregistre une augmentation annuelle de 0.0187 °C avec une température moyenne interannuelle de 16.9 C° ;

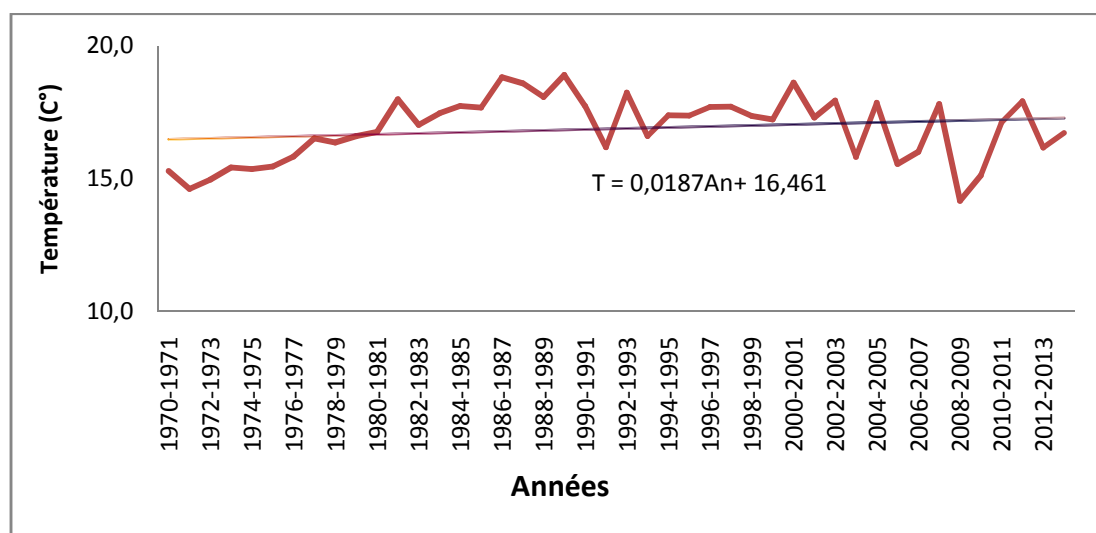


Figure III.6: Variation des températures moyennes annuelles de la station Meffrouch (1970/1971-2013/2014).

### III.2. 2. Températures moyennes mensuelles :

**Tableau III. 9 :** Températures moyennes mensuelles à la station Meffrouch (1970-2014)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
T moy	22,4	18,0	13,4	11,4	9,5	10,4	12,6	14,1	17,2	21,9	25,6	26,1

Les données du tableau de variation des Températures moyennes mensuelles et la représentation graphique, montre que le mois de janvier est le plus froid 9.5 C° et le mois de Août comme plus chauds de l'année avec de 26.1 C°

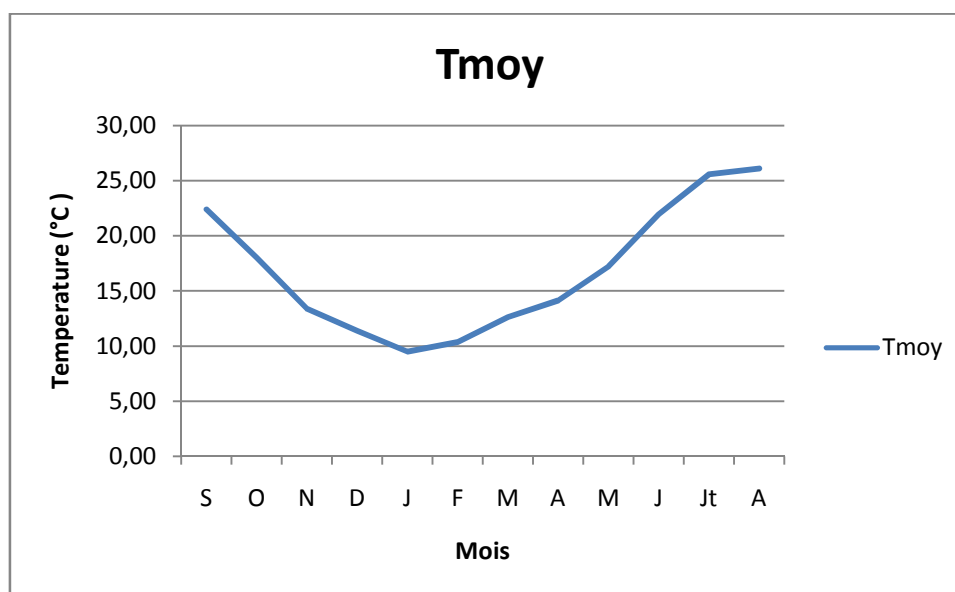


Figure.III.7 : Répartition des Températures mensuelles moyennes de la station Meffrouch (1969/1970-2013/2014)

### III.3. Étude du climat

Etude du climat est basée sur des données des précipitations et des températures moyennes mensuelles (1970/1971-2009/2010) pour déterminer le type de climat par les méthodes graphiques (Courbe pluviothermique) et les indices climatiques

**Tableau III.10 :** Précipitations et températures moyennes mensuelles (1970/1971 – 2009/2010)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
T °C	22,3	18,0	13,6	11,2	9,6	10,7	12,8	14,1	17,1	21,8	25,4	25,8
P (mm)	19,93	41,32	73,01	70,52	77,60	81,13	99,54	67,73	56,71	10,04	5,33	5

### III.3.1 La méthode de visualisation : courbe pluviothermique

Selon Gaussen et Bagnouls, un mois est considéré humide pour  $P > 2T$  et sec pour  $P < 2T$ . Si la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations, on dit que la Période est déficitaire, dans le cas inverse, la période est dite excédentaire.

La figure (III.8) montre que la période humide est comprise entre le mois de septembre et le mois de Mai, le reste de l'année est sèche

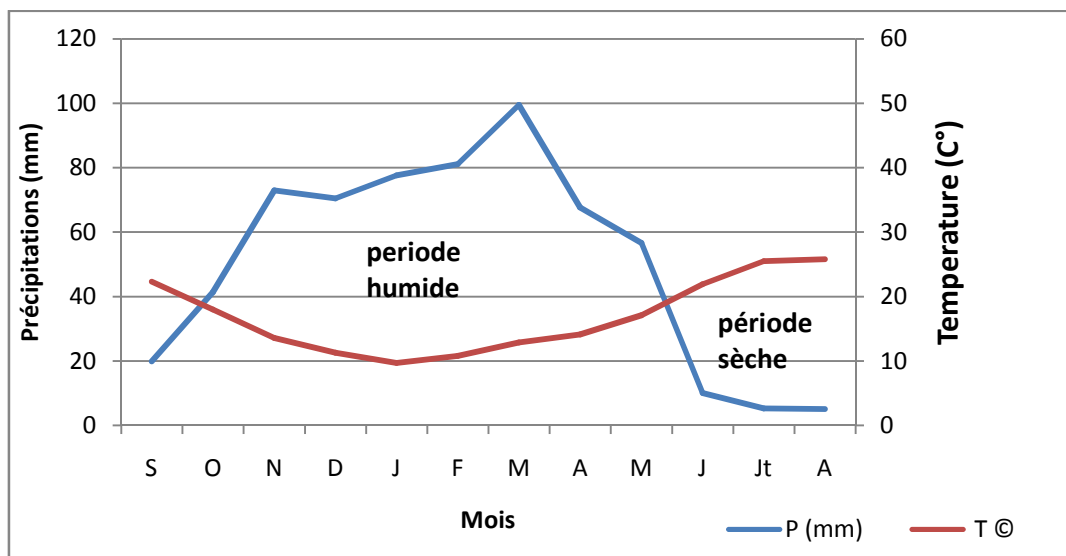


Figure .III.8 : Courbe pluviothermique de la station de Meffrouch (1970/1971 – 2009/2010).

### III.3.2. Indices climatiques

#### a. Indice d'aridité de De Martonne :

- **Indice d'aridité annuel**

L'indice d'aridité annuel De Martonne I est donné par l'équation suivante :

$$I = \frac{P}{10+T}$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)= 607.86mm.

T : Température moyenne annuelle (°C)= 16.9 (°C).

I : indice d'aridité = 22.6

$20 < I < 30$  Donc

Selon le tableau (III. 11) de classification du climat De Martonne le climat de station Meffrouch pour la période (1970/1971-2009/2010) est **tempéré**

**Tableau III.11** : Classifications du climat selon l'indice d'aridité De Martonne

L'indice d'aridité	Type du climat
$I < 5$	Climat hyperaride
$5 < I < 7.5$	Climat désertique
$7.5 < I < 10$	Climat steppique
$10 < I < 20$	Climat semi-aride
$20 < I < 30$	<b>Climat tempéré</b>

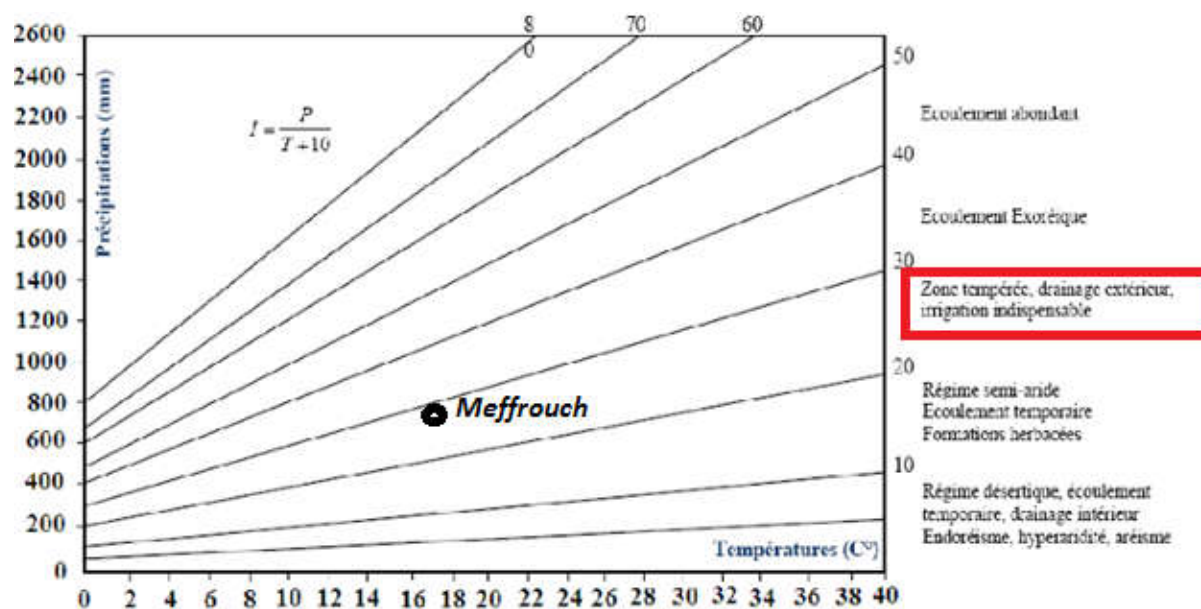


Figure III.9: Abaque de De Martonne

### III .4. Evapotranspiration potentielle (ETP) et déficit d'écoulement (ETR) :

L'Evapotranspiration est un composant du cycle hydrologie, c'est l'ensemble de processus d'évaporation et de transpiration.

Le déficit d'écoulement représente essentiellement les pertes d'eau dues à l'évaporation, Il peut être estimé à l'aide de mesures ou de méthodes de Calcul.



### III .4.1 Evapotranspiration potentielle (ETP)

#### a. Méthode de Thornthwaite (1948) :

C'est méthode pour estimer l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) à partir des données de température mensuelle de la station Meffrouch pour la période (1970/2010) est définie par la formule suivante :

$$\text{ETP non corrigé} = 16 \left( \frac{10t}{I} \right)^a$$

Avec

t : Température moyenne mensuelle du mois considéré (°C),

I : Somme des 12 indices thermiques mensuels est calculer par :  $I = \left( \frac{t}{5} \right)^{1.514}$

ETP : Evapotranspiration potentielle (mensuelle) (mm),

$$\text{ET} \quad a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 179 \cdot 10^{-4} I + 0.49$$

$$\text{ETP corrigée} = 16 \left( \frac{10t}{I} \right)^a * K$$

Avec K : Coefficient de correction ,

Les résultats de calcul d'ETP sont résumés dans le tableau III.12 :

Tableau.III.12 : Calcul et correction des valeurs de l'ETP meffrouch (1970/2010)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
T C°	22,3	18	13,6	11,2	9,6	10,7	12,8	14,1	17,1	21,8	25,4	25,8
i	9,62	6,95	4,55	3,39	2,68	3,16	4,15	4,80	6,43	9,29	11,71	11,99
ETP non corrigé (mm)	99,94	68,55	41,86	29,74	22,67	27,44	37,62	44,60	62,63	96,03	125,67	129,17
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16
ETP corriger (mm)	102,94	66,49	36,00	25,28	19,73	23,33	38,75	48,62	75,78	116,20	154,57	149,84

### III .4. 2 Evapotranspiration réelle (ETR) ou déficit d'écoulement (De)

#### a. Formule de L. Turc (1954) :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Ou

T : température moyenne annuelle de l'air en (°C)

P : précipitation moyenne annuelle en (mm)

$$L = 300 + 25t + 0,05t^3$$

$$L = 963,84 \text{ donc } ETR = 533.59\text{mm}$$

### III .4. 3 Calcul de la réserve facilement utilisable (R.F.U) :

Faute de données sur les caractéristiques de notre sol, nous avons pris une réserve utile égale à 100 mm donnée par Hayane (1983). L'ETR dépend de la réserve en eau disponible, avec les deux conditions suivante :

$$\text{Si : } P > ETP \rightarrow ETR = ETP$$

Si :  $P < ETP$  on a deux conditions :  $ETP=ETR$  (la réserve existe)

$$ETR = P \quad (\text{pas de réserve})$$

A partir des données des précipitations moyennes mensuelles, des ETP de Thornthwaite (Tableau III.12) et de la RUMax prise égale à 100mm, nous avons établi Tableau III.13 le bilan hydrologique dans lequel nous calculons l'évapotranspiration mensuelle réelle (ETR).

Tableau (III.13) : Eléments du bilan hydrologique d'après la Méthode de Thornthwaite de la station Meffrouch (1970/1971-2009/2010)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
<b>P</b>	19,93	41,32	73,01	70,52	77,6	81,13	99,54	67,73	56,71	10,04	5,33	5	607,86
<b>T</b>	22,3	18	13,6	11,2	9,6	10,7	12,8	14,1	17,1	21,8	25,4	25,8	202,4
<b>I</b>	9,62	6,95	4,55	3,39	2,68	3,16	4,15	4,80	6,43	9,29	11,71	11,99	/
<b>ETP</b>	102,94	66,49	36,00	25,28	19,73	23,33	38,75	48,62	75,78	116,20	154,57	149,84	857,51
<b>U</b>	-83,01	-25,17	37,01	45,24	57,87	57,80	60,79	19,11	19,07	-106,16	149,24	-144,84	/
<b>Ru</b>	0	0	37,01	82,25	100	100	100	100	80,93	0	0	0	/
<b>ETR</b>	19,93	41,32	36	25,28	19,73	23,33	38,75	48,62	75,78	90,97	5,33	5	430,04
<b>Déficit (mm) agricole</b>	83,01	25,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,19	149,24	144,84	508,40

### III.4.4. Calcul du ruissellement « R »

Il est défini par la méthode de Tixeront – Berkaloff :

$$R = \frac{1}{3ETP^2} P^3$$

Avec :

R : Ruissellement (m).

P : Précipitations moyennes annuelles en (m) (0.6078m)

ETP : Evapotranspiration potentielle (m). 0.8575m

Le ruissellement du Meffrouch calculé à partir de la méthode de Tixeront – Berkaloff pour une période de (1970/1971-2009/2010) est de 0.101m (101mm)

### III.4.5. Détermination de l'infiltration et calcul des bilans

La formule générale du bilan d'eau est donnée par :

$$P = ETR + R + I$$

Avec

P: Hauteur des précipitations moyennes annuelles (mm).

R: Ruissellement (mm).

I: Infiltration annuelle (mm).

ETR: Evapotranspiration réelle annuelle (mm).

Pour l'ETR de Turc on peut calculer la valeur de l'infiltration

Tableau.III.14: Valeurs de l'infiltration selon la L. Turc

Précipitation (mm)	Ruissellement (mm)	ETR (mm)	Infiltration (mm)
607.8	101	533.5	26.7

### III.5. Etude des débits

Cette partie est consacrée à l'étude des variations des débits annuelles et mensuelles de l'oued Meffrouch depuis l'année 1988/1989 jusqu'à 2009/2010

#### III.5.1.Variation interannuelle des débits

- Le débit d'une année c'est la moyenne des débits mensuels, l'étude de l'évolution du débit annuel sur une période de 22 ans 1988/2010 figure (III.10)

fait apparaître que les valeurs maximales des débits atteignent  $0.32 \text{ m}^3/\text{s}$  au niveau de la station de Meffrouch au cours de l'année 2008/2009 et Le minimum de  $0 \text{ m}^3/\text{s}$  en 1996/1997 et 1999/2000 et 2007/2008. 7 années sur 22 ont enregistré des débits supérieurs à la moyenne.

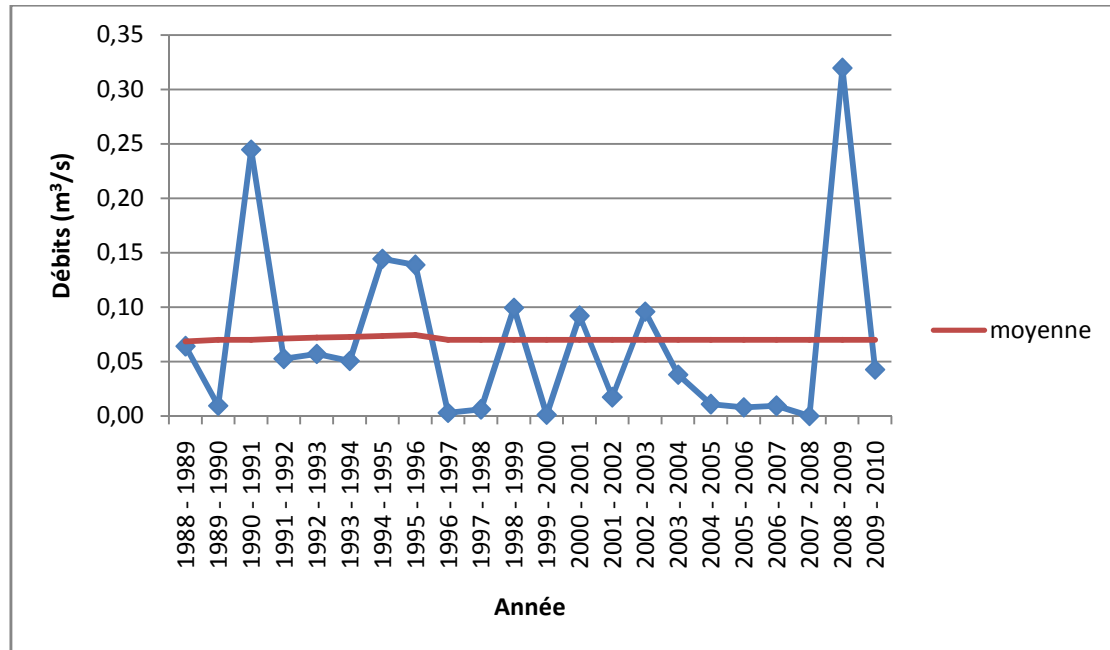


Figure III.10: Variation des Débits moyens annuels de la station Meffrouch (1988/1989-2009/2010).

-Débit moyenne annuel  $Q_{moy} = 0.07 \text{ m}^3/\text{s}$

### III.5.2. Analyse statistique des débits moyens annuels

Tableau III.15 : paramètres statistiques de la série des débits moyen annuels De l'oued meffrouch

Paramètres	formules	Loi normal	Loi log normal
Moyenne	$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Qi$	0.07	1.51
Variance	$\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Qi^2 - Q^2)$	0.0064	0.42
Ecat-type	$\sigma = \sqrt{\delta^2}$	0.08	0.65
Coefficient de variation	$Cv = \frac{\sigma}{Q}$	1.14	0.43

On a le  $Cv > 0.5$  de loi normal et pour la loi log normal  $Cv < 0.5$  ceci traduit que l'ajustement par loi dissymétrique loi log normale est possible.

## b. Ajustement à la loi log normale

### ✓ Test graphique

- La fonction de la loi log normale des débits sont présentées sur le graphe Figure (III.11) .En utilisant le logiciel hyfran. Pour cela on reporte les probabilités au non- dépassement sur l'axe des x en échelle gaussienne Sur l'axe des y en échelle Arithmétique, on reporte Log Q pour la loi (log-normale)

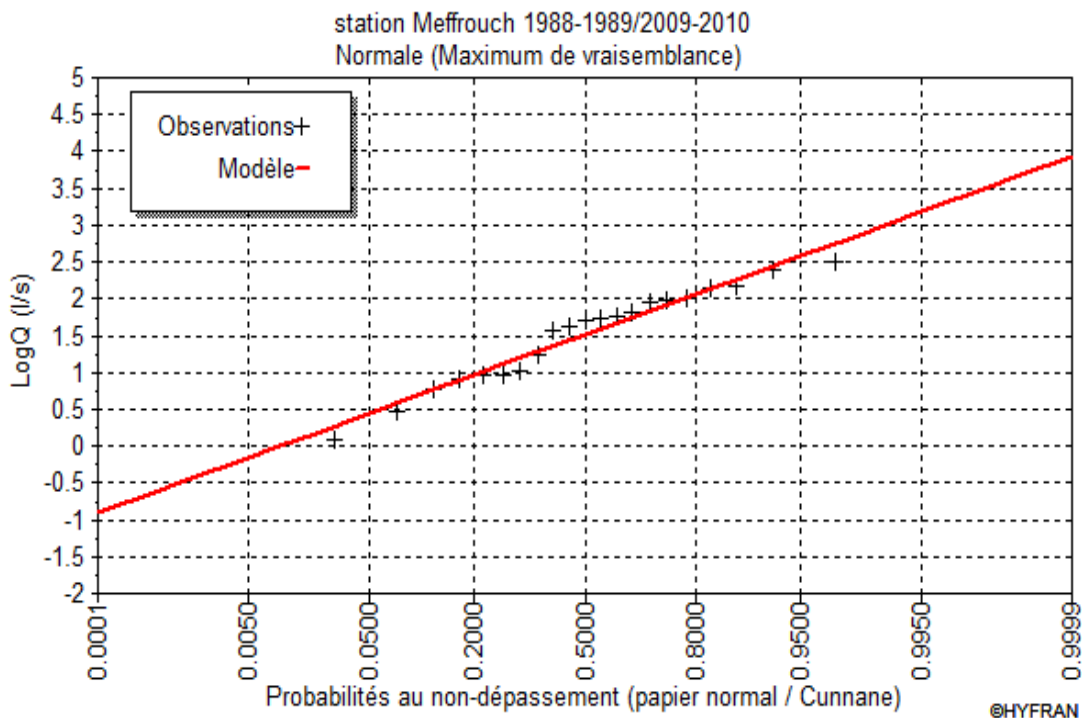


Figure. III.11: Ajustement à la loi Log normale des débits

### ✓ Test numérique (Test du $\chi^2$ de PEARSON)

Pour loi log normal Les débits moyennes annuelles tableau (16) qui sont classées suivant une distribution ordonnée en terme croissant .La fréquence de chaque des débits sont calculer par l'équation suivante :

$$F = R / (N+1)$$

Avec  $N$  : effectifs est le 21 d'année ,  $F$  : Fréquence. ,  $R$  : Rang

Tableau.III.16. Distribution interannuelle des débits de la station meffrouch

Rang	Année	log Q (l/s)	F= R/N+1
1	1999 - 2000	0,09	0,043
2	1996-1997	0,46	0,087
3	1997-1998	0,78	0,130
4	2005-2006	0,90	0,174
5	1989-1990	0,97	0,217
6	2006-2007	0,97	0,261
7	2004-2005	1,03	0,304
8	2001-2002	1,24	0,348
9	2003-2004	1,58	0,391
10	2009-2010	1,63	0,435
11	1993-1994	1,70	0,478
12	1991-1992	1,72	0,522
13	1992-1993	1,76	0,565
14	1988-1989	1,81	0,609
15	2000-2001	1,96	0,652
16	2002-2003	1,98	0,696
17	1998-1999	2,00	0,739
18	1995-1996	2,14	0,783
19	1994-1995	2,16	0,826
20	1990-1991	2,39	0,870
21	2008-2009	2,50	0,913

$$K = \sqrt{N} = 4.58, \quad N_{pi} = \frac{N}{K}$$

Donc le nombre de classe est 4,  $N_{pi} = 4.2$

Tableau.III.17 : Calcul du  $\chi^2$  pour la station de meffrouch (loi log normal)

K	Limites de classes	ni	Npi	$\frac{(ni - npi)^2}{npi}$
1	[0.09—0.7[	2,00	5,25	1,96
2	[0.7—1.3[	6,00	5,25	0,12
3	[1.3—1.9[	6,00	5,25	0,12
4	[1.9—2.5]	7,00	5,25	0,62
				$\chi^2_{calculer} = 2.82$

Avec un seuil de probabilité de 5% (0.05), le degré de liberté est égal :  
ddl = 4-2-1 = 1, à partir de la table du  $\chi^2$  :  $\chi^2_{tabulé} = 3.841$

Alors  $\chi^2_{Calculé} < \chi^2_{tabulé}$ , l'ajustement des Débits annuelles à la loi log normale à la station de Meffrouch est vérifié.

#### b- Calcul des débits pour une période de récurrence donnée

Selon l'équation de la droite d'ajustement de loi normal  $\log Q = 1.51 + 0.65 U$   
On calcule les débits de chaque période de retour en remplaçant « U » par sa valeur (Tableau III.18)

Tableau III.18 Débits de chaque période de retour

Débit	log Q (l/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
débit décennale (U =1,28)	2,34	0.218
débit de 50ans (U=2,05)	2,84	0.692
Débit centenaires (U=2,33)	3,02	1.047
Débit millénaires (U =3,29)	3,65	4,467

### III.5.3. Variation moyenne mensuelle des débits :

La Variation des débits moyens mensuels enregistrés durant la période étudiée sont résumés dans le tableau III.19, et sur la figure .III.12. La moyenne mensuelle des débits est de  $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ . Les mois à faible débits tels Juin, Juillet et Août accusent des valeurs Nulles, le maximum de  $0.38 \text{ m}^3/\text{s}$  est enregistré en mars.

Tableau III.19: Les valeurs des débits moyens mensuels de l'oued Meffrouch (1988-1989/2009-2010)

Mois	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0,00	0,01	0,01	0,07	0,14	0,13	0,38	0,02	0,06	0,00	0,00	0,00

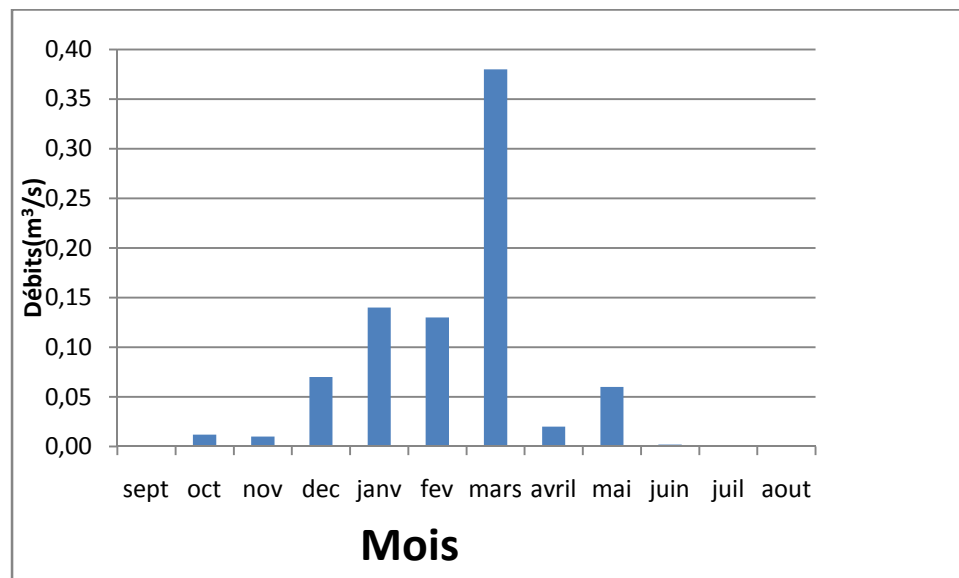


Figure III.12 Variation des débits mensuels de l'oued Meffrouch (1988/2010)

### III.5.4. Variation saisonnière des débits

L'histogramme (figure III.13) et le tableau ci-dessous de distribution saisonnière des débits de la station de Meffrouch montre que, l'hiver et le printemps sont les saisons les plus humides et l'été et le l'Automne sont la saison sèche.



Tableau III.20: Répartition des débits saisonniers.

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Q (m <sup>3</sup> /s)	0,01	0,11	0,15	0
%	2%	42%	56%	0%

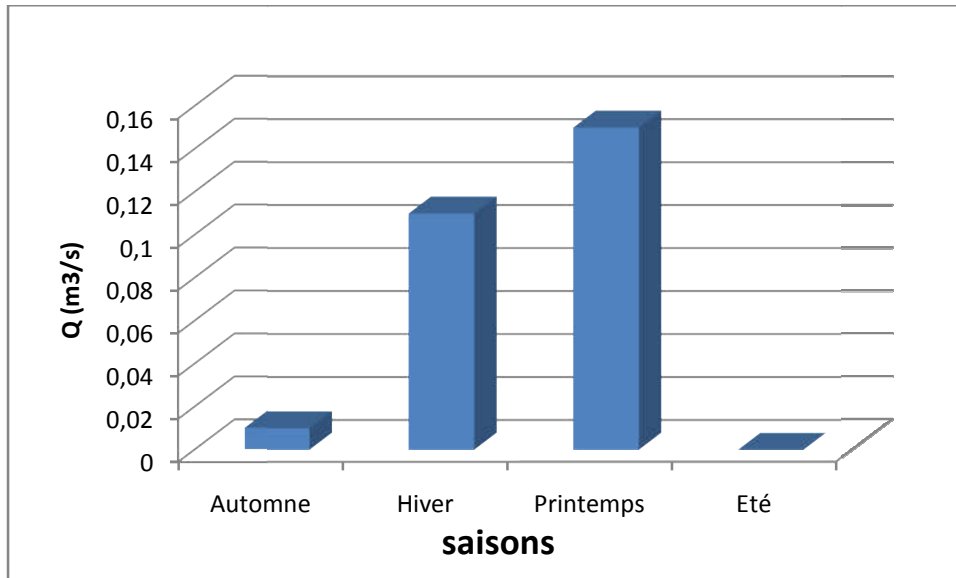


Figure. III. 13 : Variations saisonnières des débits de la station Meffrouch (1988/2010)

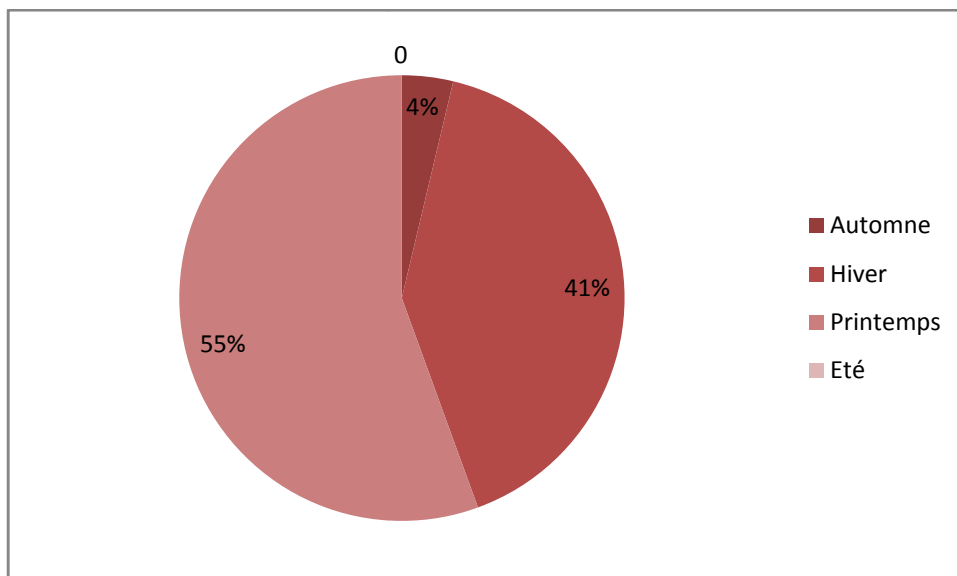


Figure. III. 14: Variations saisonnières des pourcentages des débits

### III.6. Etude des lames d'eau écoulées

#### III.6.1. Variation des lames d'eau moyennes annuelles

La figure (III.15) des variations des lames d'eau moyennes annuelles sur une période de 22 ans 1988/2010 où l'on remarque que la moyenne annuelle de la série est de 24 mm avec un maximum de 111.62 mm en 2008-2009.

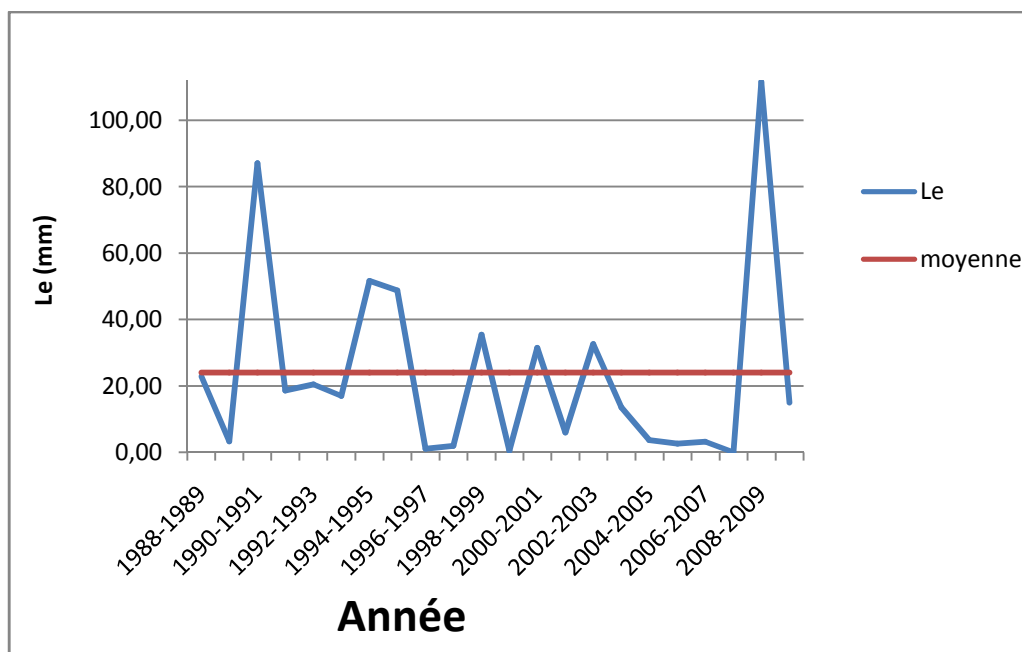


Figure III.15 variation des lames d'eau moyennes annuelles de l'oued Meffrouch (1988-1989/2009-2010)

#### III.6.2. Variation des lames d'eau moyennes mensuelle

Tableau III.21. Répartition de la lame d'eau mensuelle (1988-1989/2009/2010)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Lame d'eau (mm)	0.05	0.25	0.26	1.97	4.14	3.55	11.31	0.57	1.85	0.05	0.00	0.00

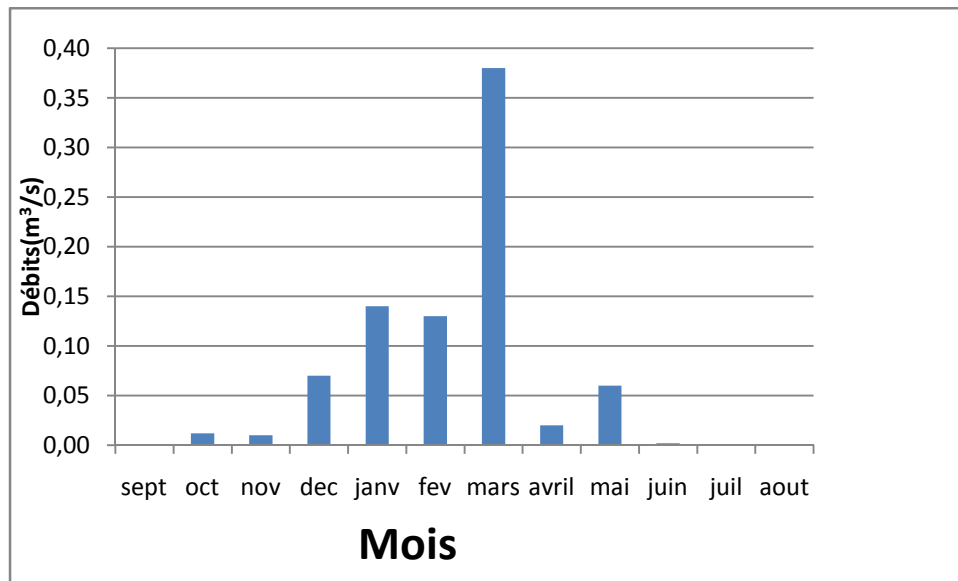


Figure III.16 variation des lames d'eau écoulées moyennes mensuelles de l'oued meffrouch (1988-1989/2009-2010)

L'histogramme figure III.16 et le tableau (III.21) des lames d'eau écoulées moyennes mensuelles à la station Meffrouch sur la période (1987-1988/2009-2010) montre que la valeur maximale de la lame d'eau est enregistrée au mois mars (11.31 mm) avec la valeur nulle au mois de juin, Juillet, Aout et même septembre

### III.6.3. Variation saisonnière des lames d'eau écoulées:

Tableau III.22 Répartition de la lame d'eau saisonnière

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Été
lame d'eau (mm)	0.55	9.66	13.73	0.05

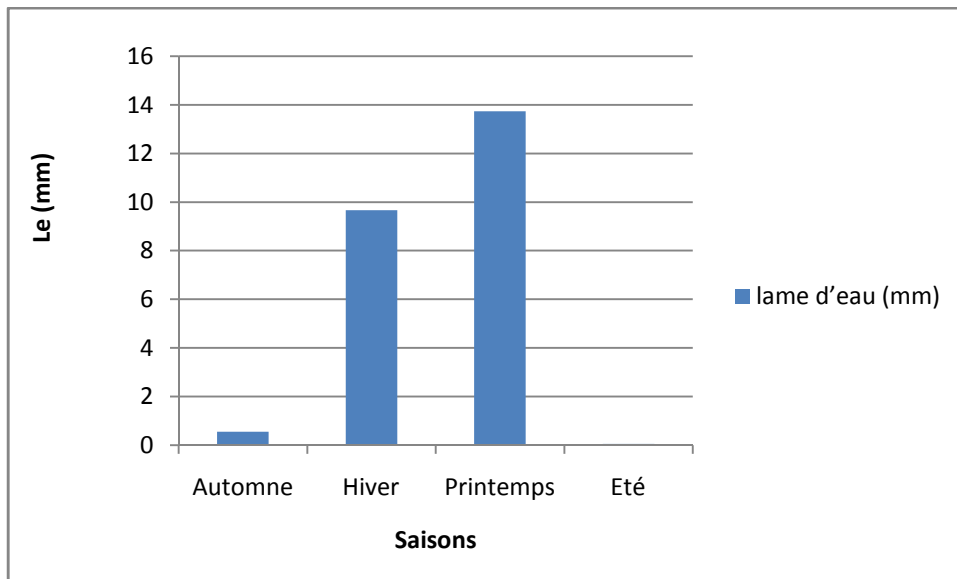


Figure III.17 variation saisonnière des lames d'eau de l'oued meffrouch (1988-1989/2009-2010)

La figure (III.17) et le tableau des variations saisonnières des lames d'eau écoulée sur une période de 22 ans 1988/2010 montrent que, l'hiver et le Printemps sont les saisons les plus humides et l'Automne et l'Eté les saisons sèches.

### Conclusion

La station de l'oued Meffrouch est caractérisée par un climat tempéré avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été Chaud et sec.

La moyenne des précipitations enregistrées sur la période est de 607.86 mm avec une valeur maximale de (1062,4mm) en 1973/1974, et Le minimum de 342,40 mm en 1999/2000

- Sur le plan saisonnier, l'automne, l'hiver et le printemps sont les saisons les plus humides et l'été est la saison sèche
- La moyenne annuelle des températures enregistrées sur la période (1970/2014) est 16.9 (°C), le mois de janvier est le plus froid 9.5 C° et le mois d'Août le plus chauds de l'année avec 26.1C°
- Selon la méthode de Gaussen et Bagnouls la période humide est définie de septembre à mai et la période sèche d'octobre à Août

- Le climat du Meffrouch est tempéré selon l'indice d'aridité de  $I = 22.74$
- l'évapotranspiration potentielle est importante et égale à  $649.55\text{mm/an}$ .

L'étude hydrologique de l'Oued Meffrouch durant la période (1988-/2010)

Montre que :

- Le débit moyen annuel est  $0,07\text{ m}^3/\text{s}$  avec des débits nuls en Juin, Juillet et Août
- la moyenne annuelle de lame d'eau de la série est de  $24\text{ mm}$ .
- il n'y'a pas une réponse directe entre les précipitations et les débits. car Les écoulements de surface peuvent en effet être soutenus par les écoulements souterrains dus aux pluies ou des mois précédents.

**CHAPITRE IV**  
**Modélisation DE LA FONCTION**  
**PLUIE - DEBIT**  
**D'OUED MEFFROUCH**

## Introduction :

Le modèle suédois HBV est un modèle conceptuel semi distribué utilisé dans le monde pour la simulation du ruissellement appliqué sur les bassins versants non jaugés. Il divise le bassin versant en sous bassins versants ou en zones homogènes [Audrey .2002] et calcule le débit pour divers sous bassins. C'est la première utilisation de ce modèle sur le sous bassin versant du Meffrouch et où nous allons faire une comparaison avec de modèle globale génie rurale GR4j.

### IV.1. Applications du modèle HBV :

Le modèle HBV développé par SMHI en Sten Bergstrom est un modèle semi distribuée a de nombreuses applications [Seibert .2005] parmi lesquelles on peut citer :

- étendre les séries de données sur le ruissellement (ou combler les lacunes)
- le contrôle de la qualité des données
- les études de bilan hydrique
- la prévision du ruissellement (alerte d'inondation et réservoir opération)
- calculer les inondations de conception pour la sécurité des barrages
- étudier les effets des changements dans le bassin versant
- pour simuler une décharge à partir de captages non jaugés
- pour simuler les effets du changement climatique

L'application de ce modèle a été effectuée sur les données journalières des précipitations  $P$  (mm), des températures  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), des débits  $Q$  observés ( $\text{mm. j}^{-1}$ ) et les valeurs de l'évapotranspiration mensuelle moyenne  $ETP$  ( $\text{mm. mois}^{-1}$ ) mesurées à la station de Meffrouch.

Toutes les données sont regroupées dans les deux fichiers suivants doivent être situés dans le même répertoire **Data**

- **PTQ-file:**

Ce fichier contient le nom et le code de ce bassin versant et les séries chronologiques des précipitations quotidiennes (mm/ jour), des températures  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), des débits  $Q$  observés (mm. /j, Le nom du fichier d'entrée ptq.dat. Et le format est le suivant :

160701: sous bassin meffrouch ( $s=90\text{km}^2$ )

Date, P, T, Q

20000101, 0, 3, 0.01

20000102, 0, 6.5, 0.00

20000103, 0, 5.3, 0.00

20000104, 0, 7, 0.00

- **Le fichier de l'évaporation :**

Le nom de ce fichier est evap -dat et contient les 12 valeurs d'ETP moyennes mensuelles (mm/jour)

Nopex\_evap

15.73

30.55

38.60

44.88

La version utilisée dans cette simulation c'est le HBV-light qui propose deux options qui n'existent pas dans HBV-6 version [Seibert .2005]

- ❖ la première est la possibilité d'inclure les niveaux d'eau souterraine
- ❖ la possibilité d'utiliser une routine de réponse différente avec un paramètre retard

#### **IV.1.1 Simulation à l'aide du modèle HBV :**

##### **a-Calage du modèle**

L'application du modèle conceptuelle semi distribuée HBV light sur le bassin versant du Meffrouch est réalisée en utilisant une seule classe de sol et une zone d'altitude.

La période choisi pour le calage est celle du (01/01/2000 au 31/12/2001). On opère des changements sur les 15 paramètres du modèle jusqu'à obtenir la valeur de Nash optimale ( $N_s \geq 70\%$ ). Les résultats de calage sont indiqués dans le tableau IV. (1).



Tableau IV .1: Résultats de calage par HBV Light du bassin versant de Meffrouch Sur la période de calage 2000-2001

Critères objectifs	Les résultats de calage 01/01/2000 au 31/12/2001
Somme Qsim (mm/an)	46
Somme Qobs (mm/an)	15
Somme Précip (mm/an)	460
R <sup>2</sup>	0.5645
Ns	0.5624
Log NS	0.0697
Différence de la moyenne annuelle entre les Qobs et Qsim (mm/an)	14

Tableau IV .2 : Gammes des paramètres optimisées du modèle HBV Light au sous-bassin de l'Oued Meffrouch

	Paramètre	Description	Bassin versant Meffrouch
<b>Routine de Neige</b>	<b>TT</b>	Température critique de fonte de la neige	2
	<b>CFMAX</b>	Facteur du degré-jour	0.028
	<b>SFCF</b>	Facteur de correction des chutes de neige	1.63
	<b>CFR</b>	Coefficient de réchauffement	2.6
	<b>CWH</b>	La capacité de rétention d'eau	1.32
<b>Routine sol</b>	<b>FC</b>	Seuil de saturation du sol	637
	<b>LP</b>	Seuil à partir duquel l'évapotranspiration est potentielle	1
	<b>BETA</b>	Paramètre puissance du modèle de teneur en eau du sol	0.65
	<b>CET</b>	Facteur de correction pour l'évaporation potentielle	0
<b>Routine de réponse</b>	<b>K<sub>0</sub></b>	Coefficient de récession (réservoir supérieur)	0.934
	<b>K<sub>1</sub></b>	Coefficient de récession (réservoir supérieur)	0.001
	<b>K<sub>2</sub></b>	Coefficient de récession (réservoir inférieur)	0.001
	<b>UZL</b>	Paramètre de seuil du débit Qo à la sortie	9.45
	<b>PERC</b>	Ecoulement maximal du réservoir supérieur au réservoir inférieur (percolation)	0.47
	<b>MAXBAS</b>	Temps de base de l'hydrogramme unitaire	4.08

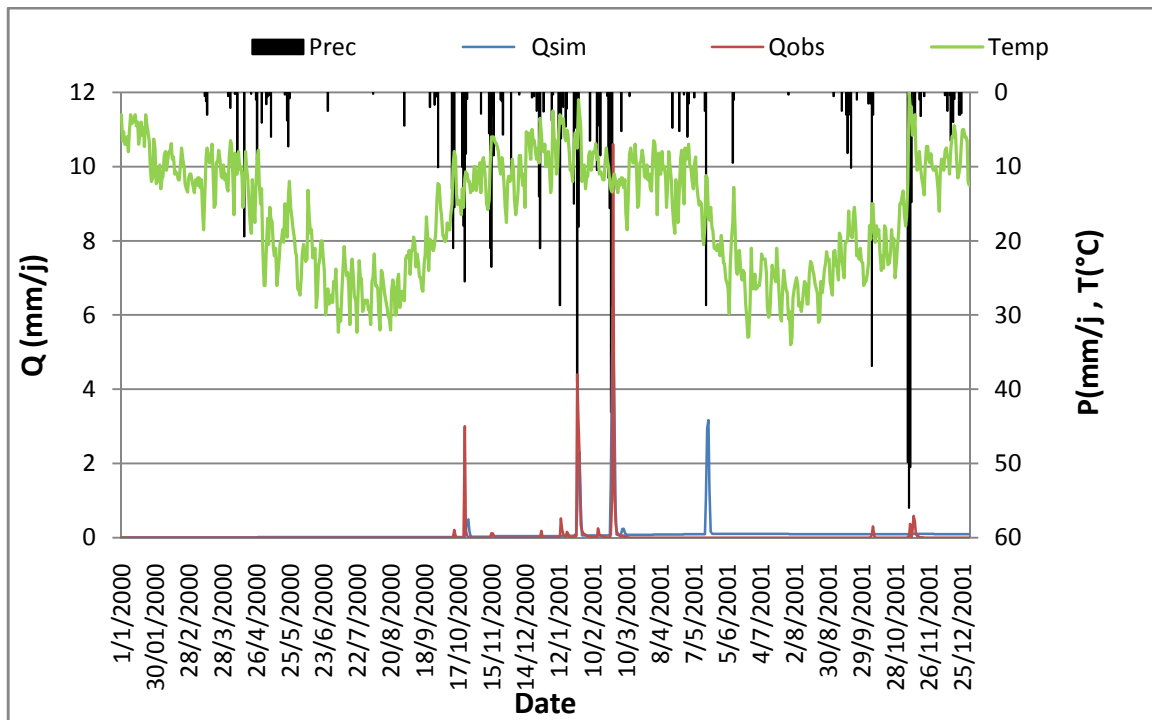


Figure : IV .1 : Simulation de la chronologie des débits du bassin de Meffrouch par le modèle HBV light (1/1/2000-31/12/2001)

Les paramètres de simulation du tableau IV .2 montrent que la simulation de débit au niveau de bassin versant de Meffrouch par le modèle HBV n'est pas acceptable avec une corrélation de 56,45% et la valeur de Nash 56.24 %. La somme des débits annuels observés est Supérieure à la somme des débits simulés avec une différence de 14 mm/an.

Les courbes de la figure IV .1 présentent la superposition entre les débits de simulation et les débits observés à partir de janv. 2000 à Mai 2001. L'absence des précipitations et des températures faibles expliquent bien les valeurs nulles des débits observés et calculés

Pour les périodes 20/05/2001 au 22/05/2001 on remarque l'influence de la fonte des neiges sur les bas débits alors pour celle du 11/12/2001 à 12/12/2001, les débits aussi bien observés que simulés sont très faibles à nuls malgré l'enregistrement de fortes précipitations, ceci peut s'expliquer par le fait que les températures sont inférieures à la température seuil  $TT$  ( $t < TT$ ) et ces précipitations sont considérées sous forme de neige. En effet, le HBV tient compte de l'effet de la température

L'ensemble des paramètres de calage (TT ,CFMAX , SFCF , FC , LP , BETA , K0 ,K1 , K2 , UZL , PERC et MAXBAS) du bassin versant de Meffrouch sont récapitulés dans le Tableau 5.9. Tous les paramètres affectent de la simulation des Débits à l'exception des paramètres du coefficient de réchauffement (CFR) et le coefficient de Correction pour l'évaporation (CET<1).

La température de seuil TT affecte la génération des hauts débits si elle est supérieure à la valeur initiale de la température du jour

Les coefficients de récession (K0, K1 et K3) diminuent avec l'augmentation de la taille du bassin, en raison d'un hydrogramme plus humide et plus uniforme dans un plus grand bassin, (Seibert et al. 2000) à l'exception de K0, où la valeur était beaucoup plus grande que celle de K1 et K2 , Il peut se référer à la taille du bassin versant de Meffrouch .

### **b-Validation du modèle :**

La validation porte sur l'application du modèle sur des données qui n'ont pas été utilisées dans le calage et qui correspondent à la période du 01/01/2002 au 31/12/2003. Les résultats de validation sont résumés dans le tab IV.3 :

Tableau IV .3 : Résultats de validation par HBV Light du bassin versant de Meffrouch Sur la période de calage 2002-2003

<b>Critères objectifs</b>	<b>Les résultats de Validation 01/01/2000 au 31/12/2001</b>
Somme Qsim (mm/an)	41
Somme Qobs (mm/an)	134
Somme Précip (mm/an)	617
R <sup>2</sup>	0.0197
Ns	-1.154
Log NS	0.1085
Différence de la moyenne annuelle entre les Qobs et Qsim (mm/an)	-29

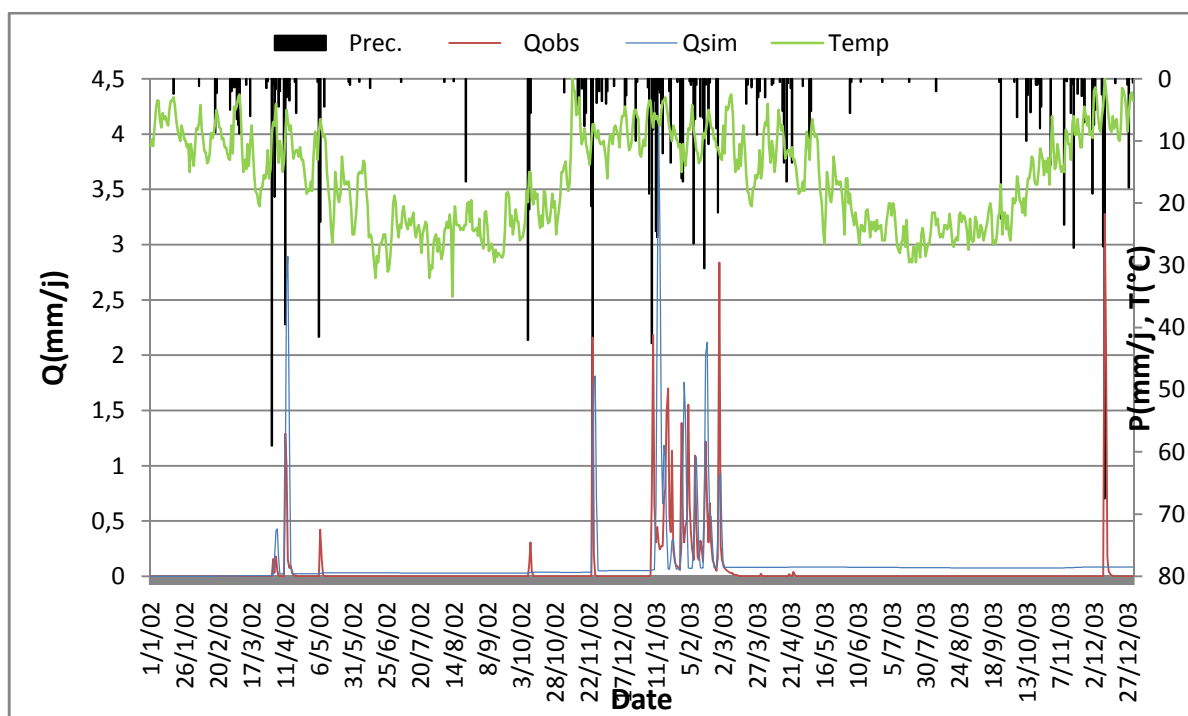


Figure IV .2 : Simulation de la chronologie des débits du bassin de Meffrouch par le modèle HBV light (1/1/2002 - 31/12/2003)

Le résultat de la validation figure IV .2 dans laquelle nous avons utilisé les valeurs des précipitations , températures , des débits Q observés et les valeurs de l'évapotranspiration mensuelle moyenne ETP qui n'ont pas été utilisées lors du calage confirme que le modèle HBV est mal validé par ce que certaines périodes montrent des augmentations de débit calculé par rapport à des débits observés. Aussi, la valeur de Nash obtenue est négative (-1.15)

## IV.2 Applications des modèles GR :

Nous avons appliqué des modèles GR sur la même série d'observation enregistrée au niveau de la station de Meffrouch (1988-1989/2009-2010) sur l'Excel disponible dans le site du CEMAGREF. La version Excel du modèles GR pour faire la simulation de débit aux pas de temps annuel (GR1A), mensuel (GR2M) et journalier (GR4J)

### IV.2.1 Modèle GR1A annuel :

Dans cette étude, On applique le modèle GR1A annuel au bassin versant de Meffrouch, la version du modèle GR1A utilisée ici est celle présentée par

Mouelhi (2003) et Moulehi et al. (2006) où nous avons introduire les données suivantes de ce bassin :

- Les valeurs des précipitations annuelles observées en mm
- Les débits annuels (exprimés en lames d'eau écoulées) observés au niveau de la station de Meffrouch
- ETP calculée pour la même série par deux méthode turc et de Thornthwaite en mm
- La période de la série choisie pour cette étude est 1988- 1989 à 2009-2010

La simulation de débit du modèle GR1A se fait à l'aide de l'équation suivante de  $Q_k$  avec un seul paramètre X1

$$Q_k = P_k \left\{ 1 - \frac{1}{\left[ 1 + \left( \frac{0.7P_k + 0.3P_{k-1}}{X.E_k} \right)^2 \right]^{0.5}} \right\}$$

Avec :

X1 : paramètre de modèle, coefficient de correction de l'évapotranspiration

#### *a. Calage du modèle GR1A :*

Pour le calage, on prend 12 ans allant de 1988- 1989 jusqu'à 1999-2000. On procède au changement de la valeur de X1 en commençant par la valeur fixée à 0.13 jusqu'un des valeurs optimum des de coefficients de détermination et du critère de Nash. Les résultats sont obtenus comme suit :

Tableau IV .4 : Résultats du calage du modèle GR1A

Donnée annuelles	ETP (Thornthwaite)				ETP turc			
	X	Nash (%)	Bilan	Coefficient de corrélation (R)	X	Nash (%)	Bilan	Coefficient de corrélation (R)
<b>Stations Meffrouch</b>	0.73	78	98.5	0.81	0.69	83	99.6	0.82

D'après les résultats du calage de GR1A on remarque que les valeurs du critère de Nash et le coefficient de corrélation entre les débits simulés et les débits

observés sont significatives. Toutefois elles sont relativement meilleures pour la méthode de Turc que pour la méthode de Thornthwaite. Aussi, on peut dire que le calage est acceptable.

Le paramètre X1 obtenu pour les deux ETP de Thornthwaite (0.73) et de Turc (0.69) traduit que notre bassin gagne de l'eau  $X < 1$ .

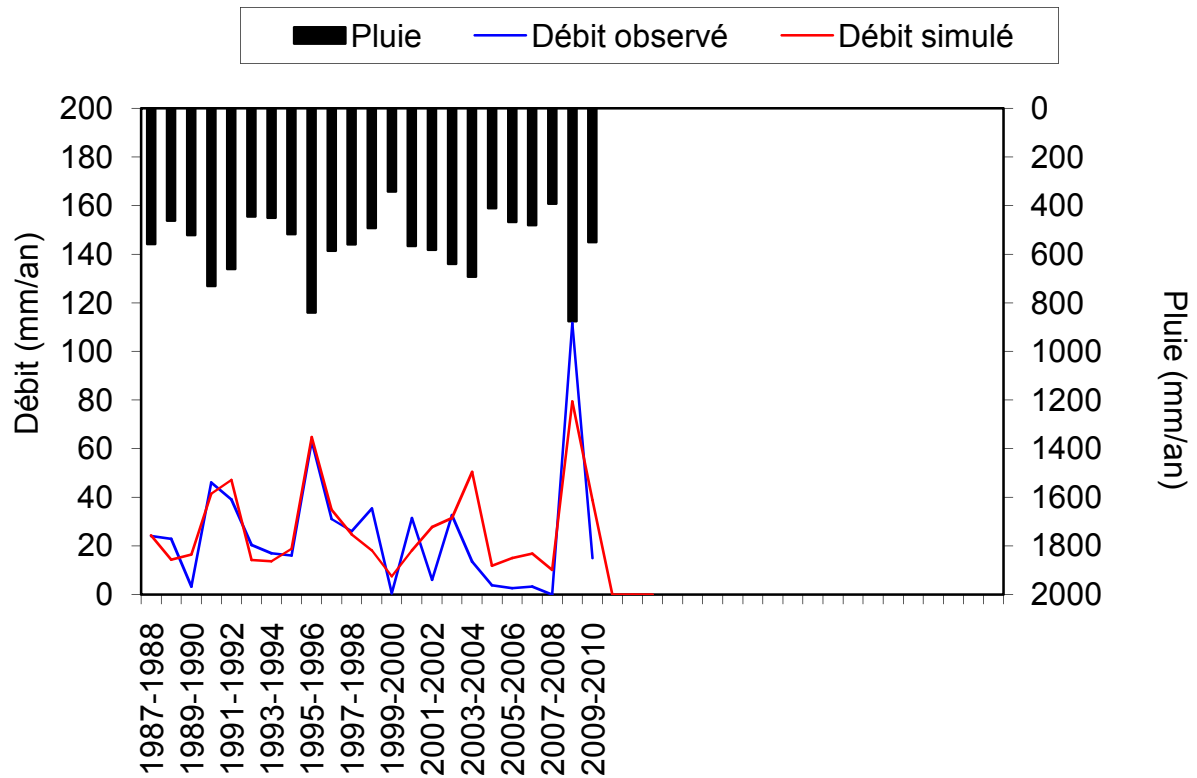


Figure IV.3 : Visualisation de la qualité du calage

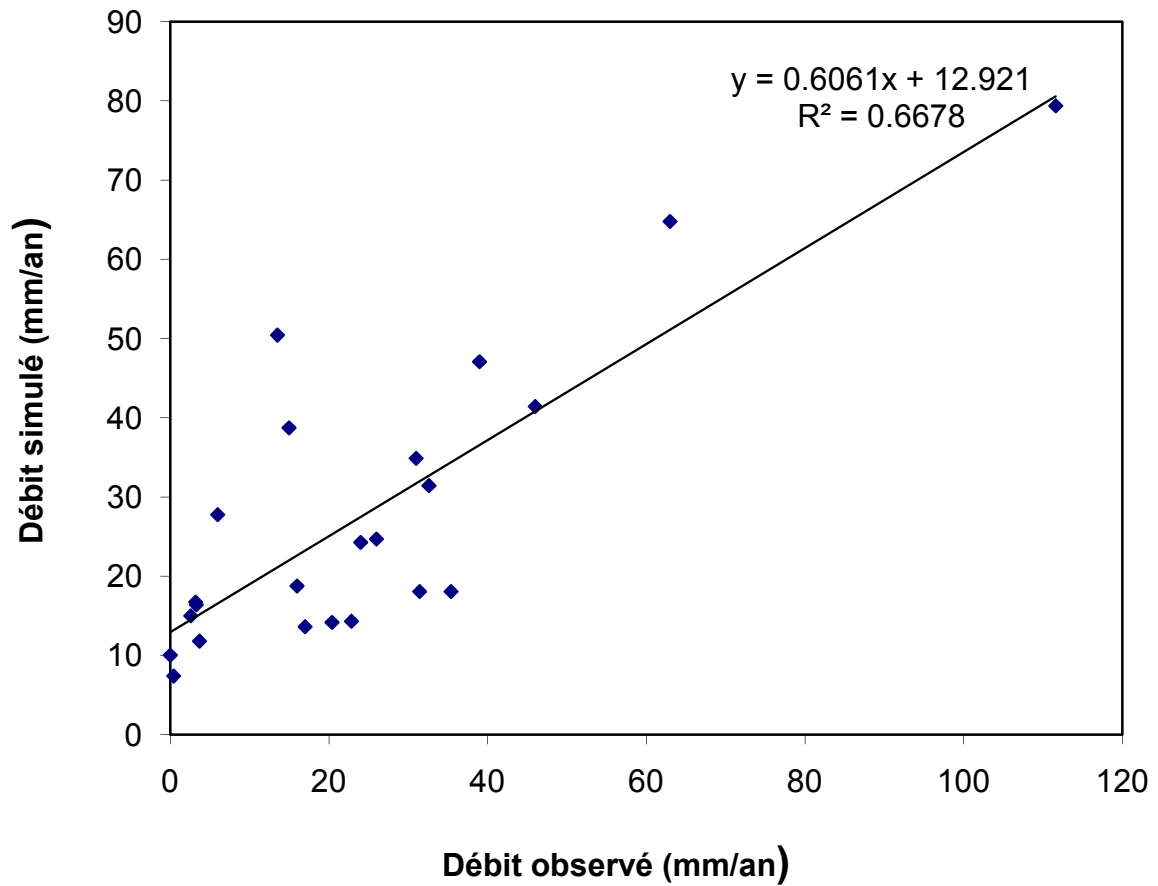


Figure IV .4 : Corrélation entre Débits observés -Débits simulés

Calage du modèle GR1A avec les précipitations de la station de Meffrouch (ETP de Thornthwaite).

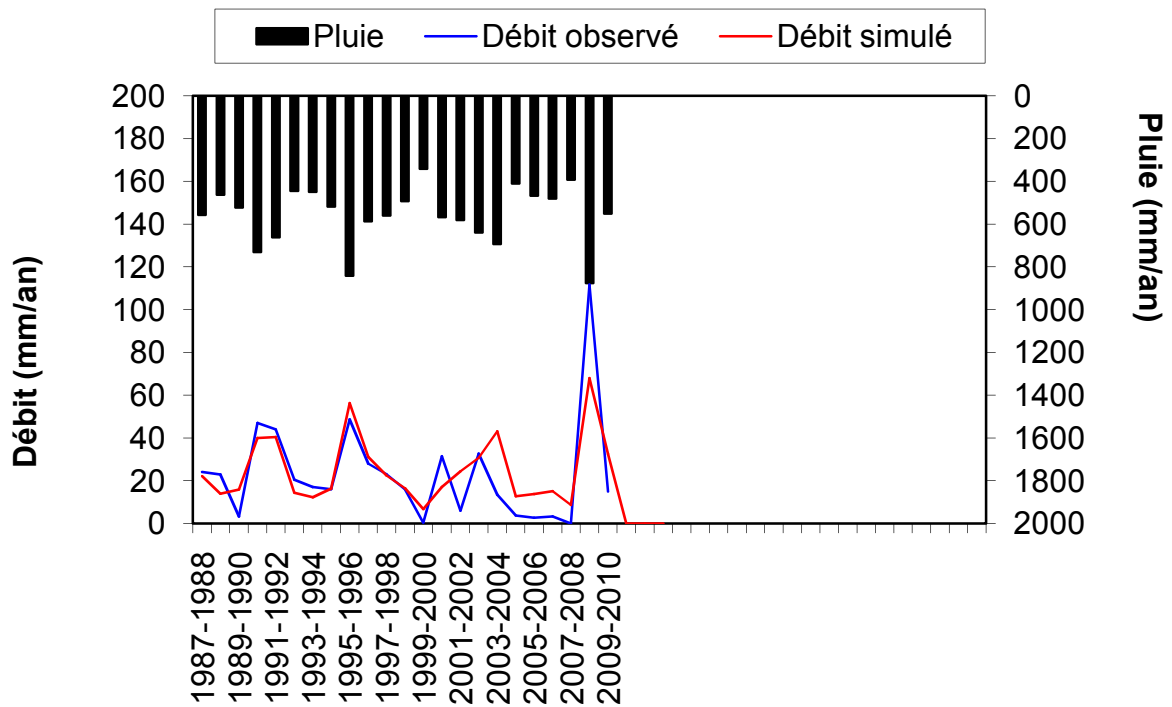


Figure IV .5: Visualisation de la qualité du calage

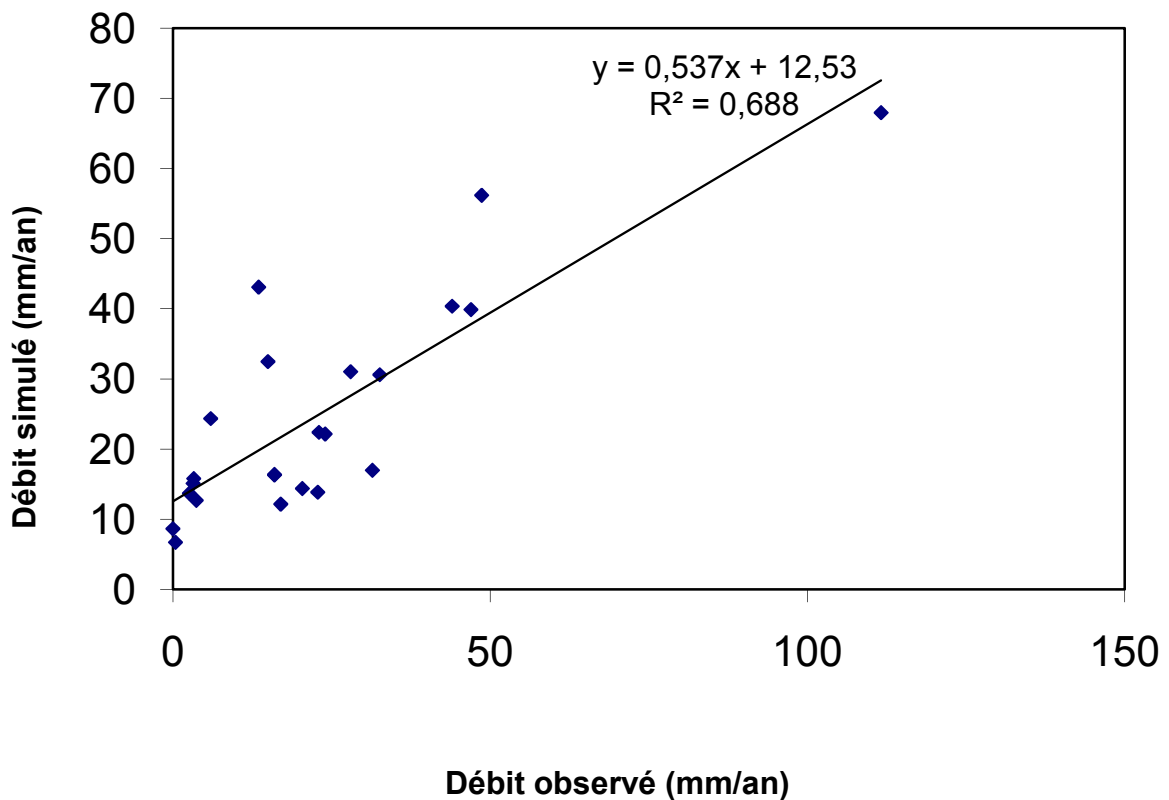


Figure IV .6 : Corrélation entre Débits observés -Débits simulés  
Calage du modèle GR1A avec les précipitations de la station de Meffrouch (ETP de Turc).



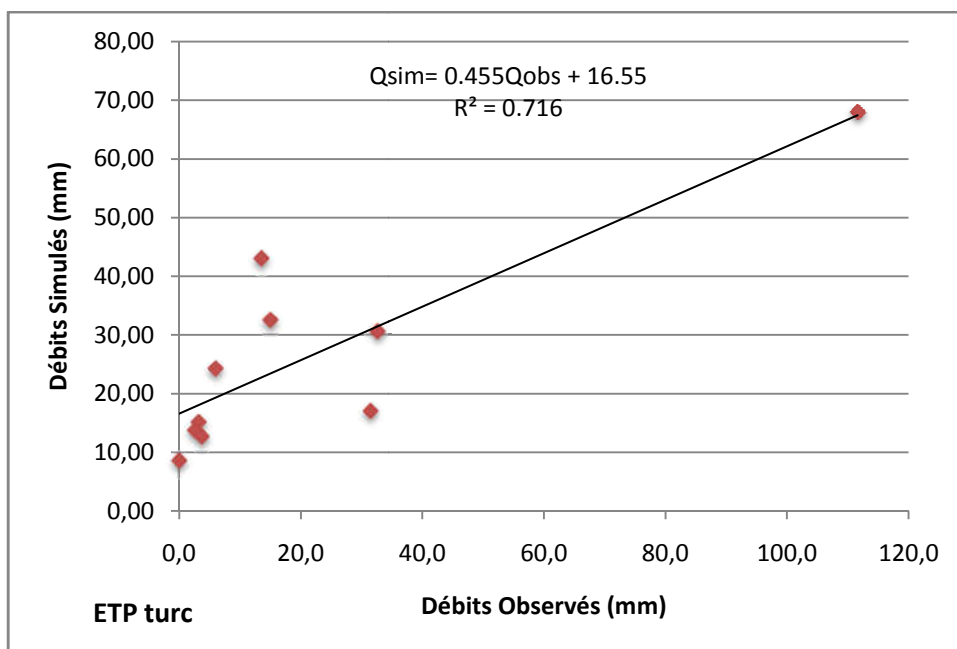
### b- Validation du modèle GR1A:

La validation porte sur l'application du modèle sur des données qui n'ont pas été utilisées dans le calage (2001-2010) les résultats des variations du coefficient de corrélation Q simulé –

Q observé relatifs à l'utilisation des ETP de Turc et Thornthwaite sont résumés sur le tableau suivant.

Tableau IV .5 : Les variations de coefficients de corrélation de la validation du modèle GR1A

station	Coefficient de détermination (R <sup>2</sup> )	
	ETP (Thornthwaite)	ETP (Turc)
Meffrouch	0.691	0.716



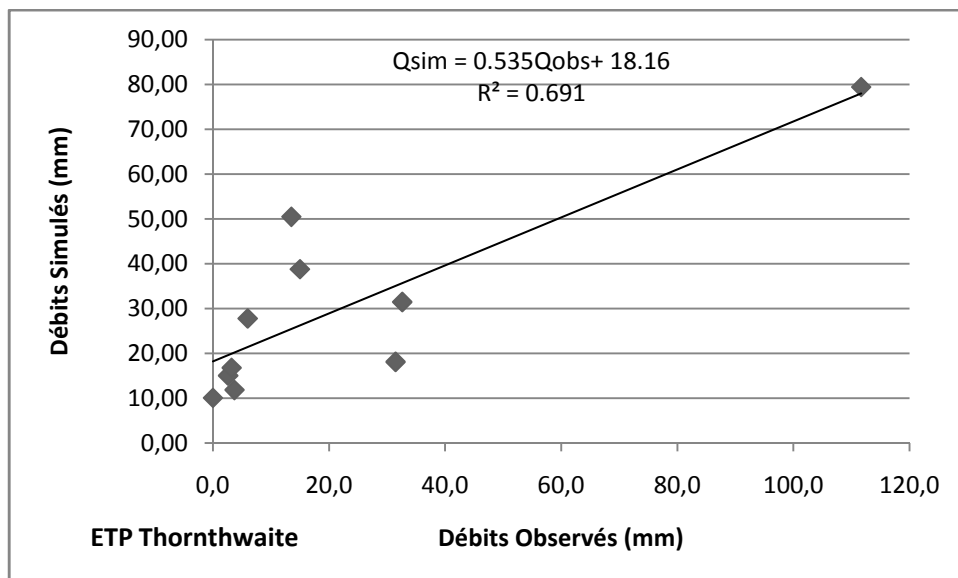


Figure IV.7. Validation GR1A Meffrouch (2001-2010)

Selon les valeurs des coefficients de détermination ( $R^2$ ) obtenues par l'utilisation des ETP de Turc et Thornthwaite entre  $Q$  simulé –  $Q$  observé, on peut dire que la modélisation par GR1A est validée (les résultats sont très acceptables)

#### IV.2 .2 . Modèle mensuel GR2M :

Nous avons utilisé la version GR2M proposée par le Moulehi et all (2006) pour la simulation du débit au pas de temps mensuel et avons introduit comme entrée du modèle les valeurs mensuelles des pluies observées (mm) , des ETP calculées par les deux méthodes Turc et Thornthwaite (mm) et les débits observés exprimés en lame d'eau (mm)

##### a-calage du modèle GR2M:

Pour le calage du modèle c'est le même principe utilisé pour le modèle GR1A mais avec le changement sur deux paramètres  $X1$  et  $X2$  à caler jusqu'à un des valeurs optimum des coefficients de détermination et du critère de Nash. La période choisie pour le calage est celle comprise entre janvier 1988 à décembre 2007. Les résultats sont obtenus comme suit :

Tableau IV.6. Résultats du calage du modèle GR2M

Paramètre	ETP (Thornthwaite)	ETP turc
<b>X1</b>	5.16	5.28
<b>X2</b>	0.35	0.42
<b>Nash %</b>	86.5	88.26
<b>R<sup>2</sup></b>	0.902	0.915
<b>Bilan %</b>	135.8	133.19

Avec : X1 : capacité du réservoir de production (mm)

X2 : Paramètre d'échange (mm)

- la variation de la capacité du réservoir de production (S) varie selon l'ETP de Thornthwaite, entre 0.2-120mm (fig. IV.11) et pour l'ETP Turc entre 0.55-122.79 mm (fig. IV.14)

- la variation de la capacité du réservoir de routage (R) varie entre 0.06-40.13 mm pour l'ETP de Turc et 0.04-33.22 mm (fig. IV.15) pour l'ETP de Thornthwaite, (fig. IV.10)

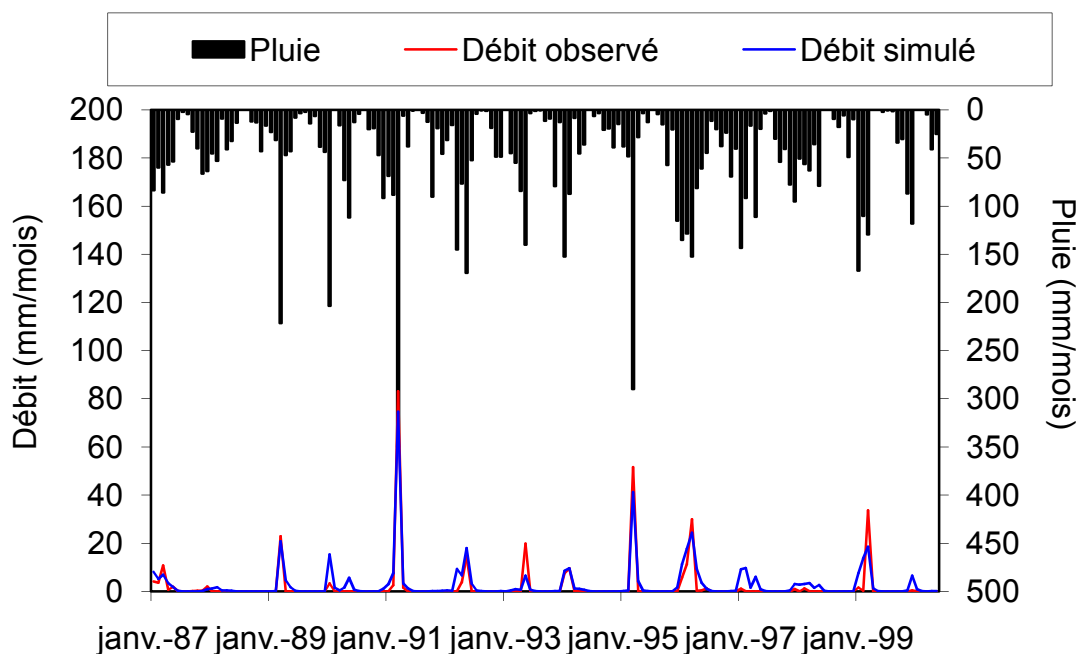


Figure IV.8 : Visualisation de la qualité du calage

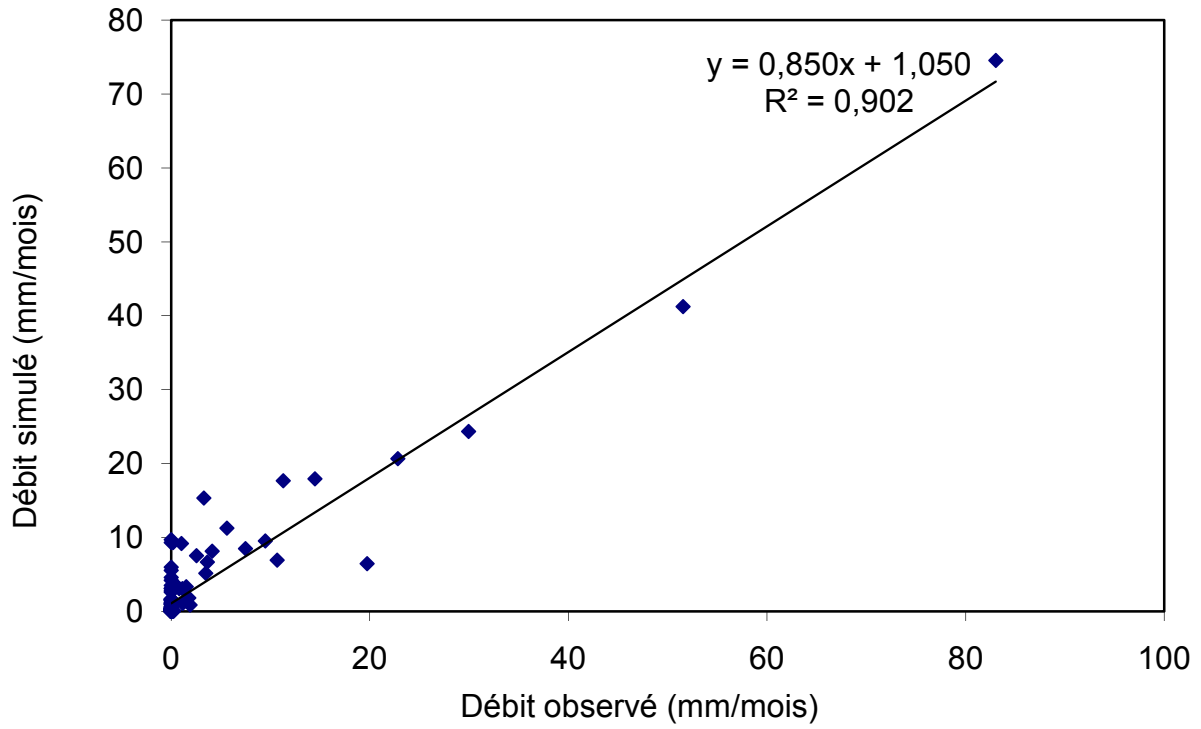


Figure IV.9 : Corrélation entre Débits observés -Débits simulés

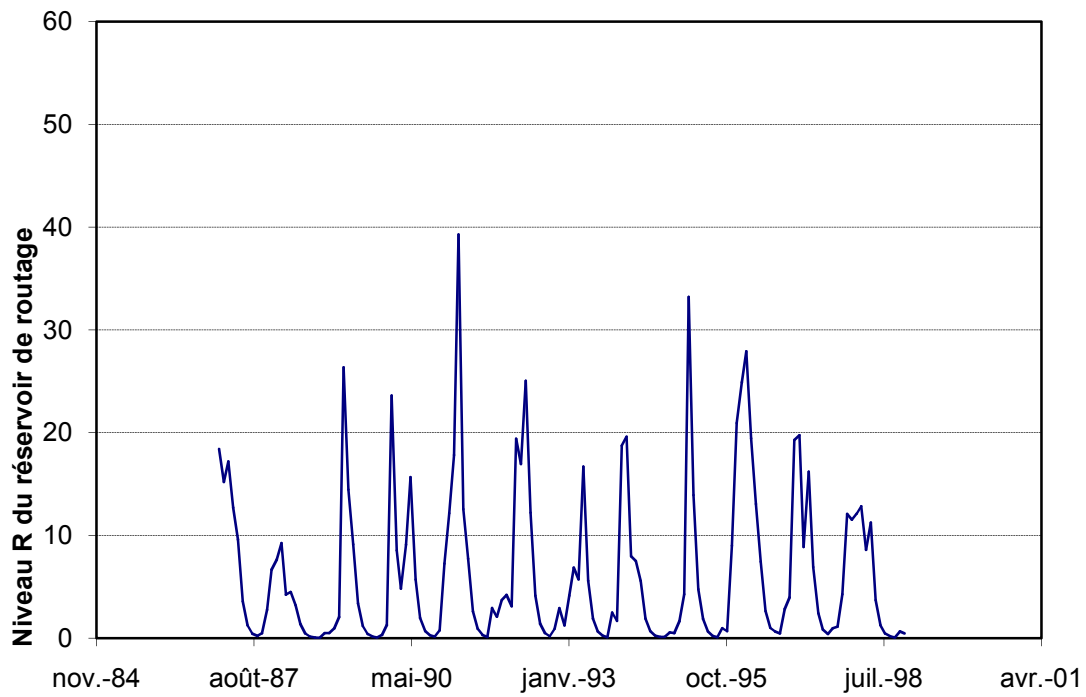


Figure IV.10 Courbe du niveau R du réservoir de routage

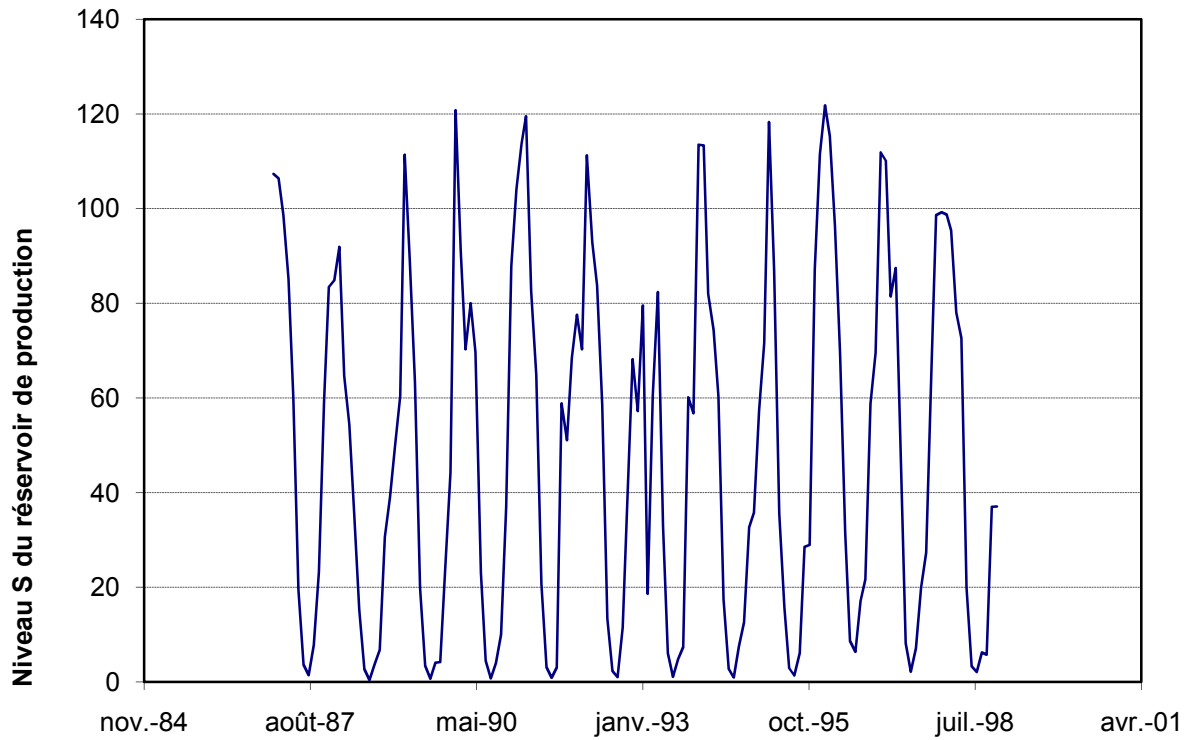


Figure IV.11. Courbe du niveau S du réservoir de production

Calage du modèle GR2M avec les précipitations de la station de Meffrouch (ETP de Thornthwaite).

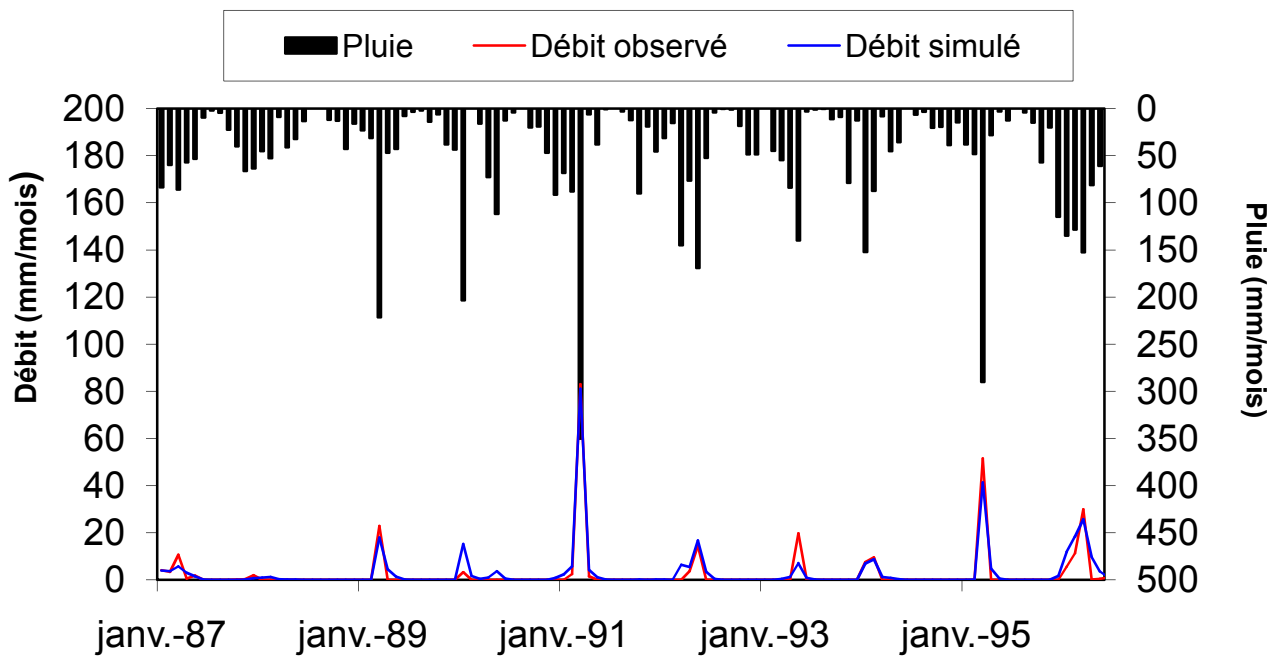


Figure IV.12: Visualisation de la qualité du calage

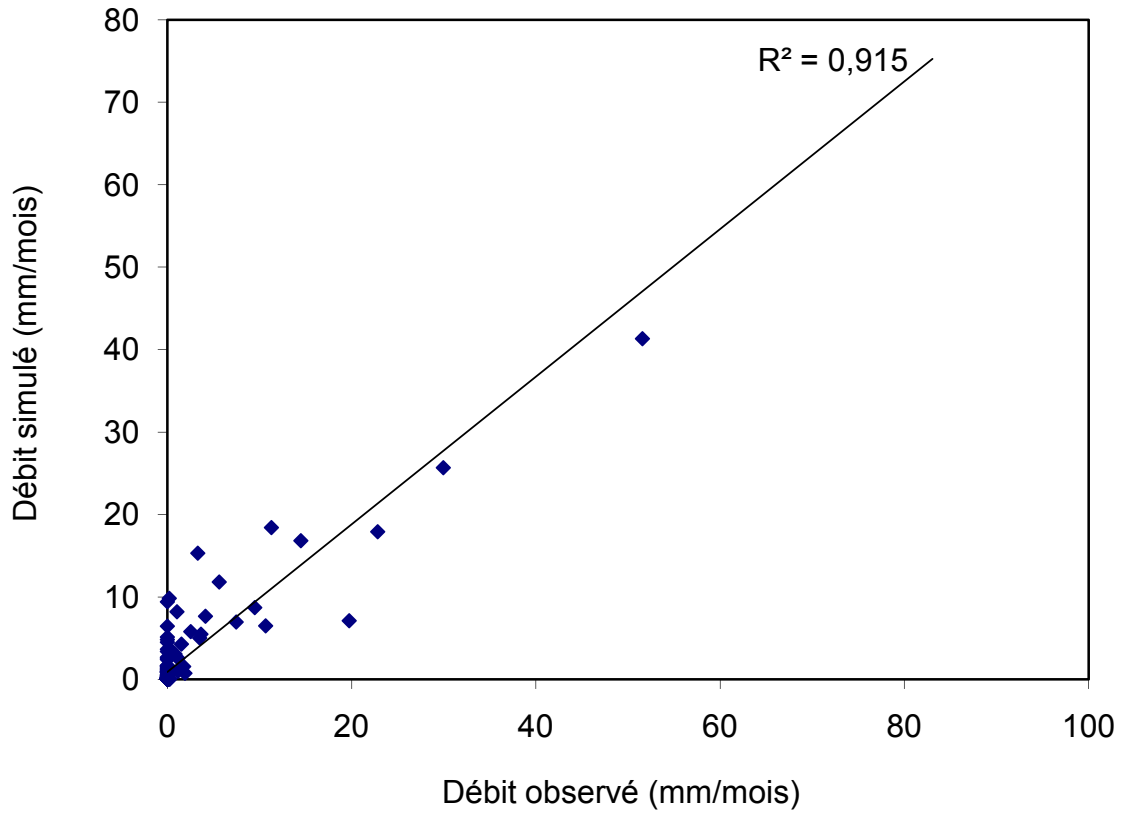


Figure IV.13 : Corrélation entre Débits observés -Débits simulés

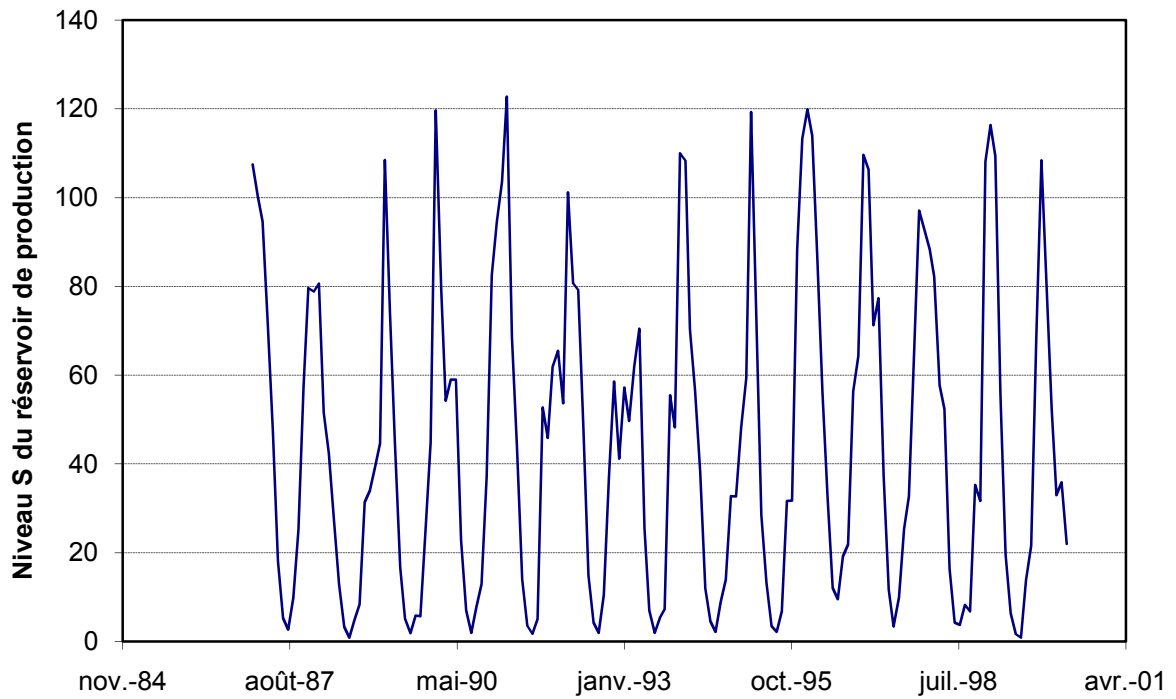


Figure IV.14 Courbe du niveau S du réservoir de routage de production

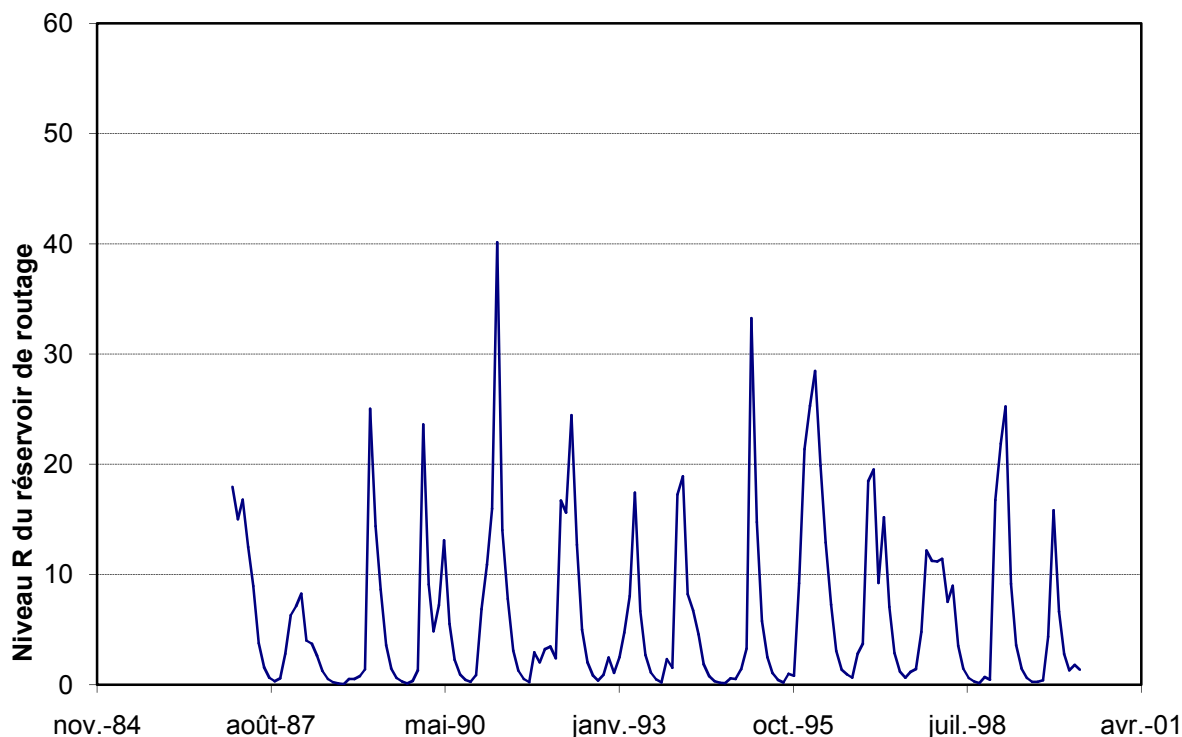


Figure IV. 15. Courbe du niveau R du réservoir de routage

Calage du modèle GR2M avec les précipitations de la station de Meffrouch (ETP de Turc)

Les résultats (tableau IV.6) du critère de Nash et des coefficients de détermination pour les deux méthodes d'ETP (Thornthwaite et Turc) sont proches et assez significatifs, ainsi que la bonne superposition des courbes des débits observés et des débits simulés nous permet de dire que le calage paraît correct et parfait

**b - Validation du modèle GR2M :**

Tableau IV .7 : Les variations de coefficients de corrélation de la validation du modèle GR2M (Janv. 2001/Déc. 2009)

Coefficient de détermination (R <sup>2</sup> )	
ETP Thornthwaite	ETP turc
0.866	0.911

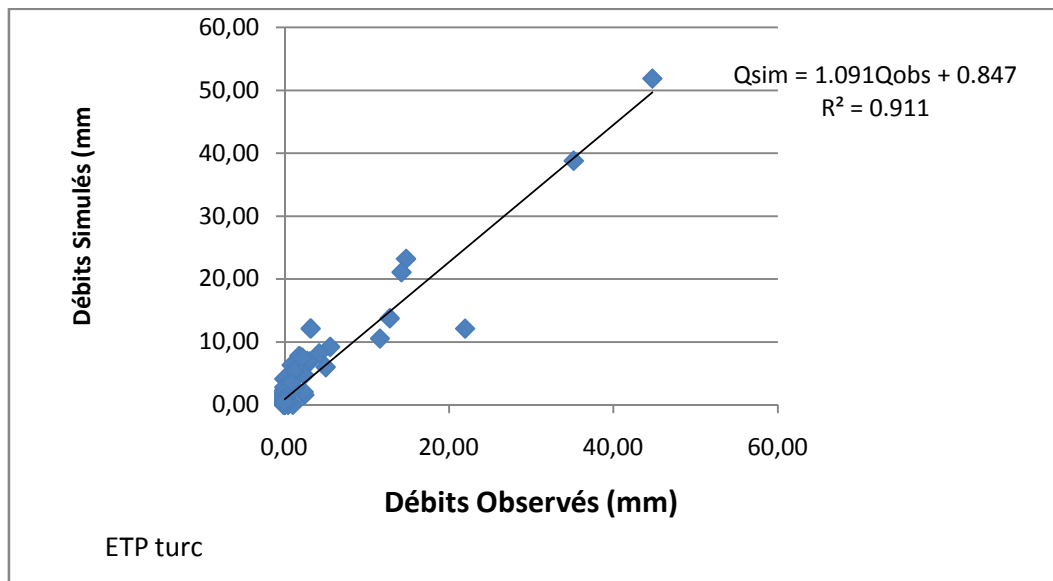
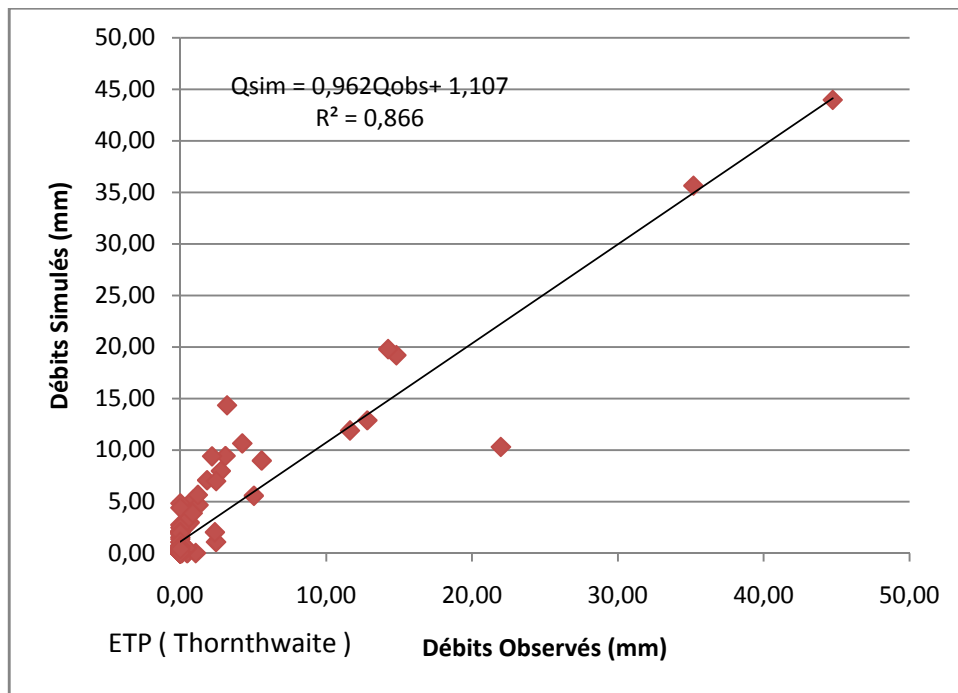


Figure. IV.16 - Validation du GR2M

D'après les résultats des coefficients de détermination ( $R^2$ ) obtenues par l'utilisation des ETP de Turc et Thornthwaite entre Q simulé –Q observé, on peut dire que la modèle GR2M appliquée au bassin du Meffrouch est bien calé.



### IV.2 .3 Modèle journalier GR4J:

C'est le modèle globale à Quatre (4) paramètres pour la simulation de débits. On utilise à l'entrée du modèle les valeurs des précipitations journalières observées (mm), de l'ETP calculée par la méthode d'Oudin (mm) et des débits journaliers observés exprimés en lames d'eau écoulées (mm). La version utilisée ici est celle présentée par Perrin (2002) et Perrin et al. (2003).

#### a- Calage de modèle GR4J :

Pour la modélisation pluie –débit à l'échelle journalière appliquée sur le bassin versant de Meffrouch, on prend 730 jours pour le calage, correspondant à la période allant du 1/01/2000 jusqu'un 31/12/2001. On procède ensuite au changement au niveau des 4 paramètres du modèle jusqu'à l'obtention des valeurs optimum des coefficients de détermination, et du critère de Nash (valeur égale ou supérieure à 70%). Les résultats du calage sont consignés dans le tableau 8 :

Tableau IV.8 : Résultats de Calage par le modèle GR4J

Critères	Station de Meffrouch
X1	6.28
X2	-2.11
X3	3.68
X4	0.34
Nash (%)	53.6
R <sub>0</sub>	0.7
R <sup>2</sup>	0.447
Bilan %	223.2

Avec

X1 : capacité du réservoir de production (mm)

X2 : Paramètre d'échange (mm)

X3 : Capacité du réservoir de routage (mm)

X4 : Délai (jours)

R0 : Capacité du réservoir de routage (max. : 60mm)

R<sup>2</sup> : Coefficient de corrélation.

A partir d'un critère de d'efficacité (Nash) et un coefficient de corrélation Entre les débits simulés et les débits observés on remarque que les valeurs sont faibles (Nash <70% et R<sup>2</sup><0,5) on peut considérer le calage comme médiocre. Il est à noter que la valeur négative de X2 reflète une recharge de la nappe souterraine (Oddos, 2002).

Le taux du réservoir de production varie entre 0.038 mm et 0.680 mm (Fig. IV.19) et la capacité du réservoir de routage varie entre 0.211mm et 524 mm (Fig. IV.20)

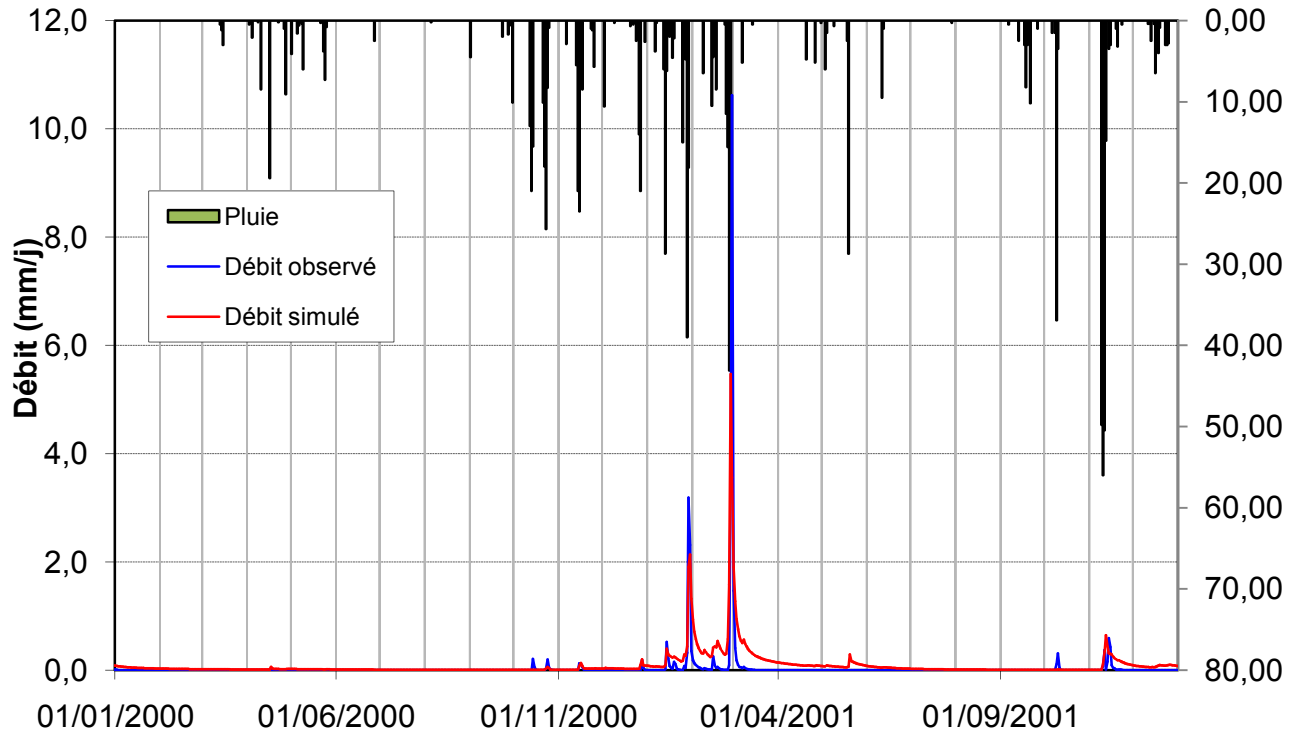


Figure IV.17. Visualisation de la qualité du calage

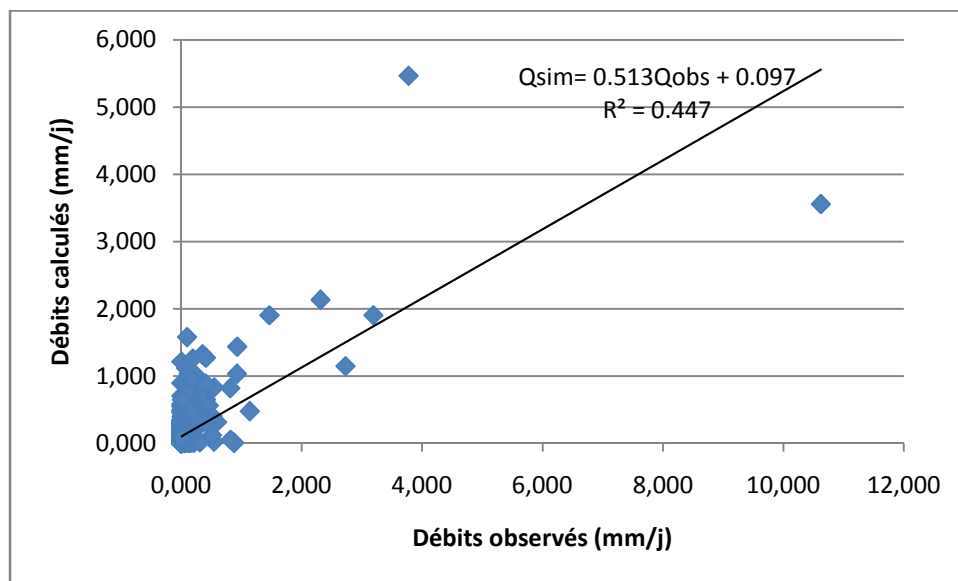


Figure IV.18. Corrélation entre Qsim –Qob

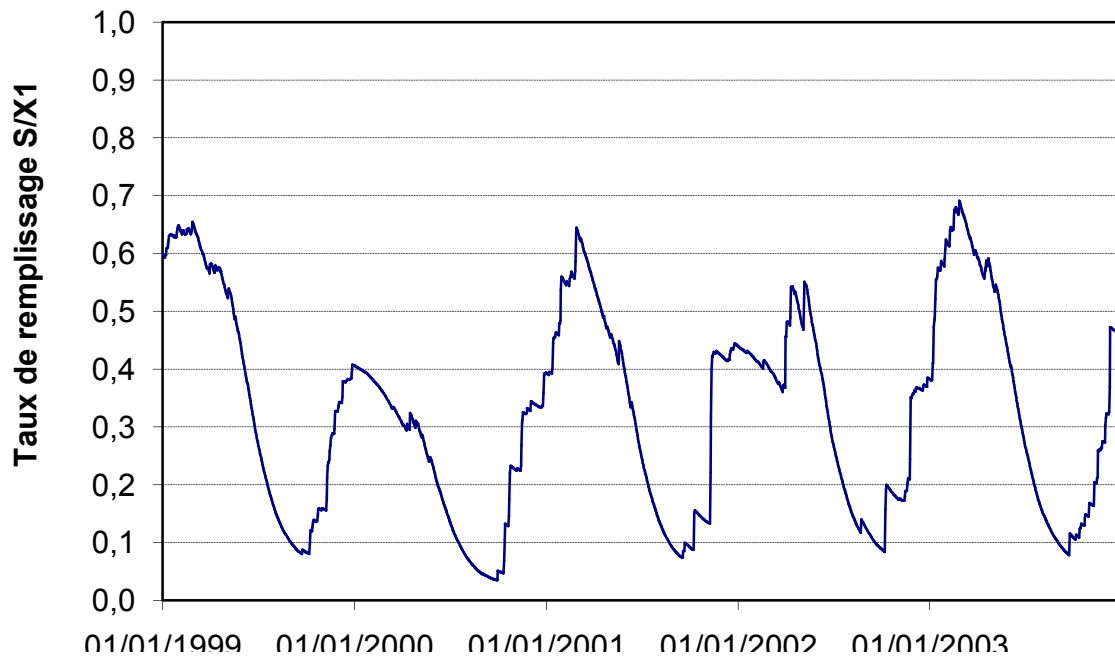


Figure IV.19: Courbe du niveau S du réservoir de production

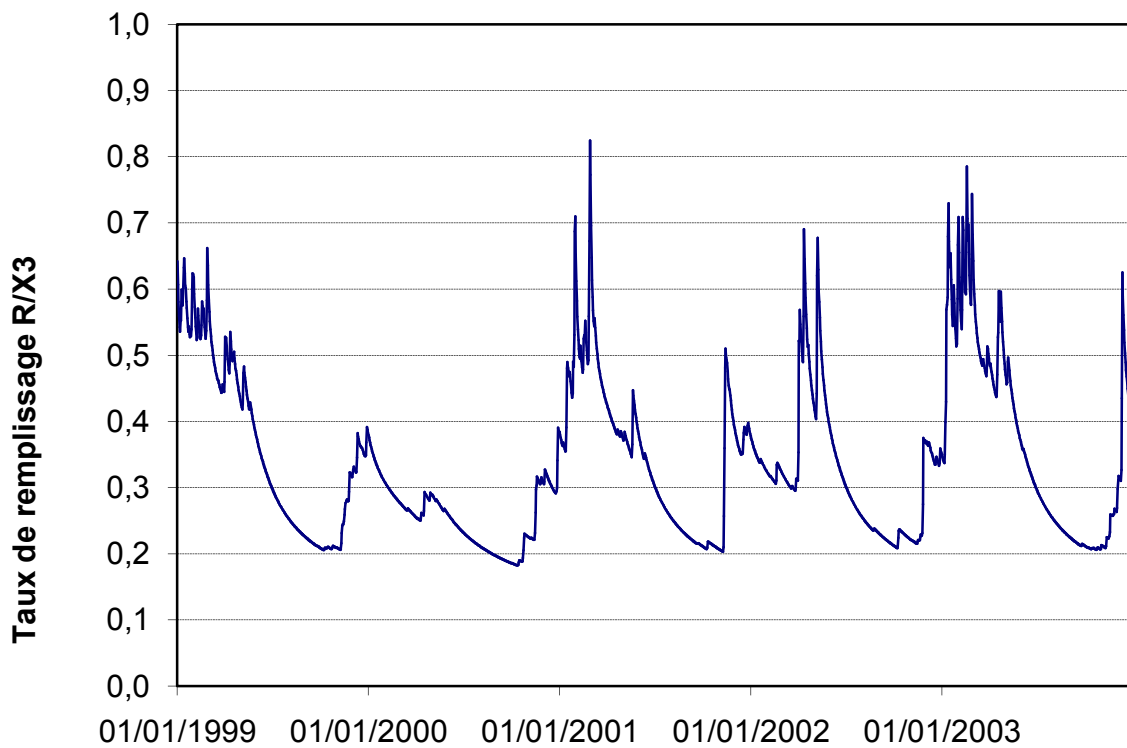


Figure IV. 20 : Courbe du niveau R du réservoir de routage

### b- Validation du modèle

La période choisie pour cette phase comprend de nouvelles données des précipitations et d'évapotranspiration qui n'ont pas été utilisées pour le calage ; elle s'étale du (1/01/2002 au 31/12/2003)

Tableau IV.9 : valeur du coefficient de corrélation lors de la validation GR4j

Critères	coefficients de détermination ( $R^2$ )
Station de Meffrouch	0.295

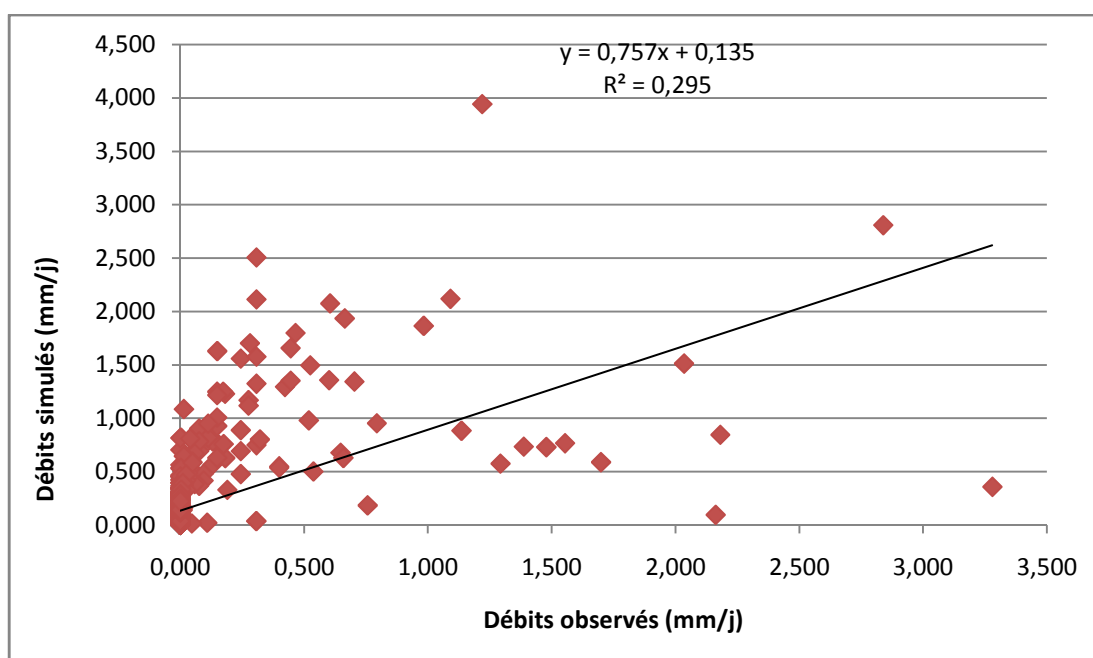


Figure IV .21.validation de modèle GR4J

Selon le tableau IV.6 et la figure IV.13, la validation du modèle GR4J, donne la valeur de coefficient de détermination ( $R$ ) inférieur à 80%, cela traduit que le modèle GR4J appliquée à Oued Meffrouch n'est pas validé.

### IV.3. Présentation des résultats de comparaison de la simulation par les Deux modèles HBV light et le GR4J

La comparaison est effectuée entre l'application de l'approche globale, représentée ici par le modèle HBV light, et la modélisation par le modèle globale GR4J sur le bassin versant de Meffrouch d'une superficie de 90 km<sup>2</sup>. La

période utilisée dans cette étude est la même pour des deux modèles et s'étend de 1/1/2000 à 31/12/2003.

Les résultats obtenus en simulant les débits quotidiens des deux modèles HBV et GR4J pendant la période de calage (2000/2001) sont résumés sur la figure IV.11 et le tableau suivants :

Tableau IV.10 : Comparaison de la simulation par les modèles GR4J et HBV Light du bassin versant de l'Oued Meffrouch

Paramètres	<b>HBV</b> Période de calage (2000/2001)	<b>GR4J</b> Période de calage (2000/2001)
Nash NS	56.24	53.6
Le coefficient de corrélation $R^2$	0.5645	0.3592

La simulation des débits quotidiens par le modèle HBV pendant la période de calage a donné un résultat extrêmement proche de celui obtenu avec le modèle GR4J (ni module neige, ni correction d'ETP) avec des paramètres : ( $X_1= 221$  mm,  $X_2= 0.999$  mm,  $X_3= 7.15$  mm et  $X_4= 4.5$  jours) et la valeur du Nash = 53.6 %

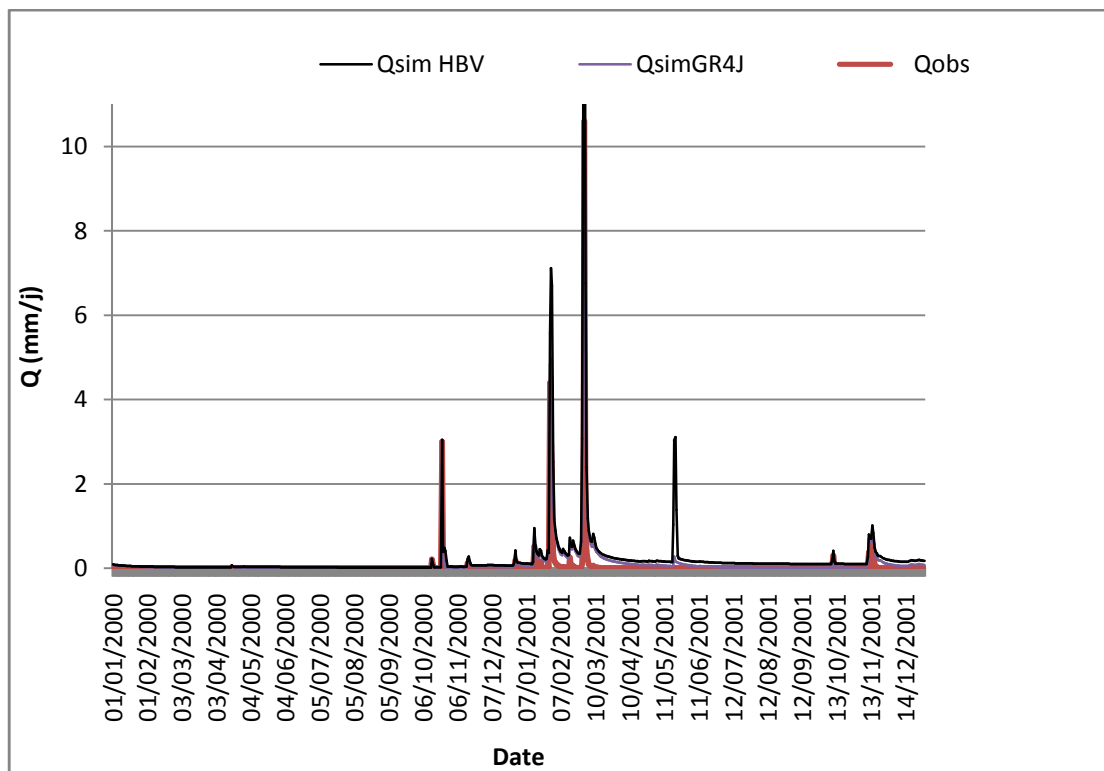


Figure IV.22 : comparaisons de la Simulation des débits de bassin versant de Meffrouch par le modèle HBV et GR4j

La forme des deux courbes (Débits simulé et observé) par les deux modèles HBV light et GR4J est sensiblement la même. Une chute de neige du début de l'année 2001 à la fin de la mi-mai donne une meilleure simulation pendant cette période par le modèle HBV

Pour la validation, les résultats du tableau suivant montrent l'inefficacité des deux modèles journaliers dans leur application au bassin de l'oued Meffrouch

Tableau IV.11 : Comparaison des coefficients de Corrélations par les modèles GR4J et HBV Light du bassin versant de l'Oued Meffrouch

Paramètres	<b>HBV</b> Période de Validation (2002/2003)	<b>GR4J</b> Période de Validation (2002/2003)
Le coefficient de corrélation $R^2$	0.1088	0.2946

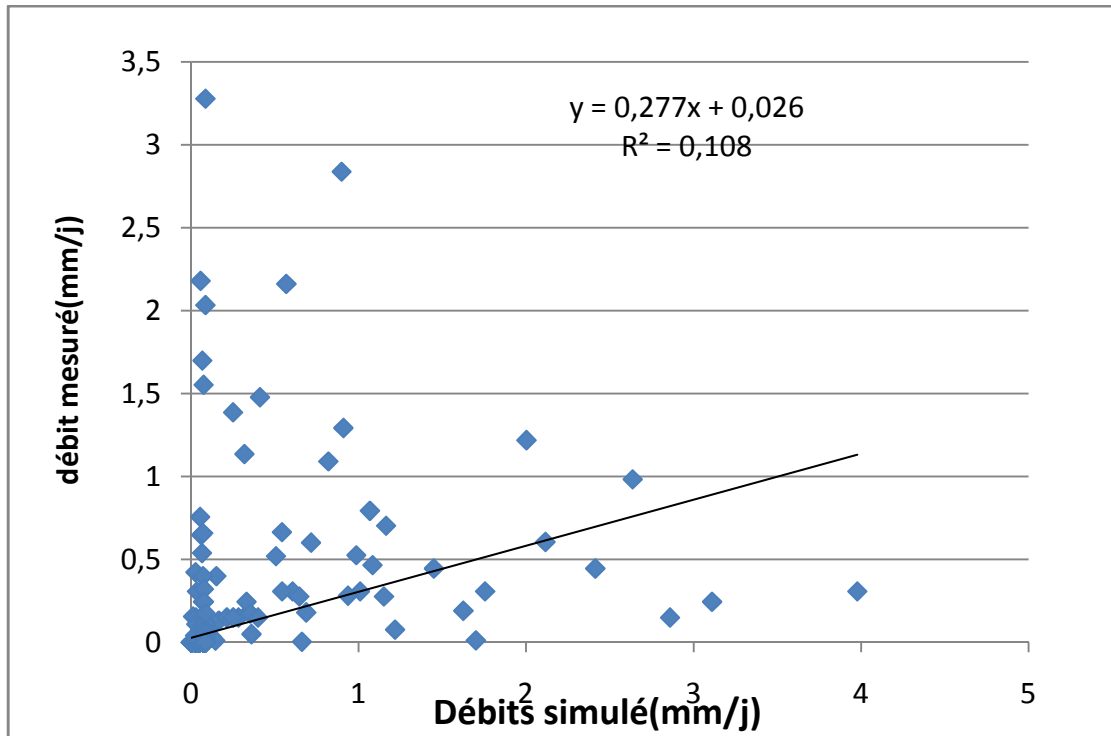


Figure IV. 23 validation de HBV light

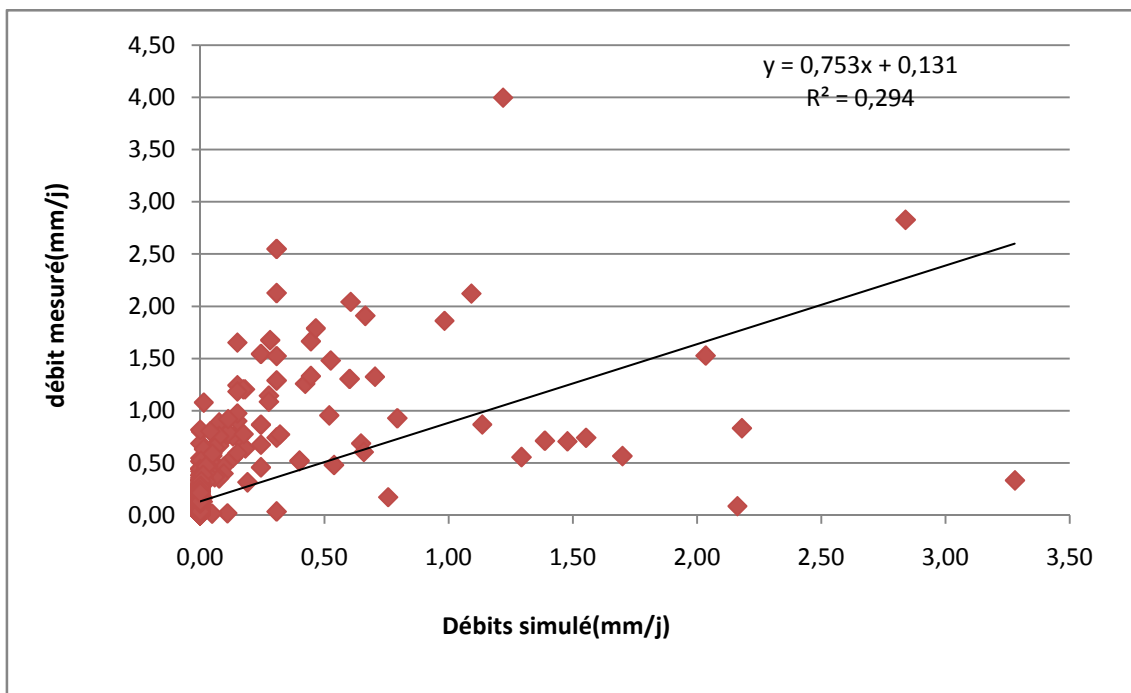


Figure IV.24. Validation de GR4J

***CONCLUSION GENERALE***



### Conclusion générale :

Ce travail s'articule autour de la simulation des débits à l'échelle du bassin versant l'oued Meffrouch par utilisation des modèles hydrologique conceptuel de type semi distribué HBV et le modèle global GR à partir des données pluviométriques. Cette étude, nous a permis de faire ressortir les principaux résultats qui Suivants :

Le bassin versant de Meffrouch situ au sud -ouest de la ville de Tlemcen d'une superficie de 90 km<sup>2</sup> a une forme allongée. L'oued Nachef qui draine le sous bassin versant de Meffrouch est long de 14.25 km. Son relief est assez fort caractérisé par un dénivelé spécifique de 161.27m

La géologie du bassin versant est caractérisée par un domaine marneux du miocène en nord et par un domaine calcareux dolomitique du Jurassique au sud.

Le climat au niveau du bassin versant du Meffrouch est tempéré avec un hiver relativement frais et pluvieux et un été chaud et sec. Les précipitations annuelles évaluées à 607.86 mm avec une saison humide en Hiver, au Printemps et en Automne par contre la saison sèche est en été.

L'analyse statistique des séries de précipitations annuelles met en évidence l'ajustement par deux lois (normal et log normal)

L'étude hydrologique du bassin versant de Meffrouch sur la période 1988-1989-2009/2010 donne un débit moyenne de 0.07 m<sup>3</sup>/s correspondant à la valeur une lame d'eau écoulée de 24 mm

Le modèle distribué HBV développé par le SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute) se compose de trois routines principales: une routine de neige, une Routine de sol, une routine de réponse qui sont contrôlées par 15 paramètres de modèle. Les paramètres d'entrés utilisés sont les températures et les précipitations journalières, ainsi que les estimations mensuelles de l'évapotranspiration potentielle et les débits journaliers, ils sont différents de ceux du modèle GR4j (il n'ya pas module pour la neige, ni correction de ETP) qui ne sont que 4 paramètres avec les donnée d'entrés (les précipitations, l'évapotranspiration potentielle journalières, les débits journalières)

L'étude de la performance de ces deux modèles a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les simulations des débits journaliers sur le bassin de Meffrouch montrent des performances non acceptables pour le modèle semi distribué HBV.
- Pour le modèle globale GR4J le coefficient de Nash de 53.6% et le coefficient de détermination  $R^2$  de 0.295 donnent un calage médiocre.
- Le modèle global GR4J appliqué sur le bassin à Meffrouch montre de performances inférieures à celles du modèle globale HBV, Bien que les valeurs de Nash sont  $<70\%$  (56.24 % pour HBV, et 53.6 % pour GR4j)

La modélisation pluie –débit par l’application du modèle GR (annuel, mensuel) pour le bassin versant de Meffrouch s’avère intéressante et donne des résultats appréciables (voire le tableau):

		calage	$R^2$
GR1A	ETP Turc	83	0.716
	ETP Thornthwaite	78	0.691
GR2M	ETP turc	88.26	0.911
	ETP Thornthwaite	86.5	0.866

La simulation des débits par le modèle GR1A est satisfaisante par les deux méthodes ETP Turc ou de Thornthwaite à partir de la valeur de Nash-Sutcliffe obtenues ainsi que la valeur du coefficient de détermination  $R^2$ . Le paramètre  $X=0.73 < 1$  traduit que notre bassin gagne de l’eau

Pour le modèle mensuel (GR2M) la simulation du débit mensuel est parfaite pour la méthode d’ETP turc (Nash=88.26 %) et par ETP de Thornthwaite (Nash=86.5%) Avec une bonne corrélation des débits observées et simulées

En conclusion. L’ajout d’un module neige à un modèle pluie-débit peut améliorer la performance du modèle dans les bassins versants qui sont caractérisés par un couvert neigeux qui persistent tout au long de l’hiver.

**Références**  
**Bibliographiques**

- Anctil F., Perrin C. et Andreassian V. (2004).** Impact of the length of observed records on the performance of ANN and of conceptual parsimonious rainfall-runoff forecasting models. *Environmental Modelling & Software*, vol 19, n° 4, 357-368.
- Ambroise B. (1998).** La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant - Processus, Facteurs, Modèles. \*H\*G\*A\* (Ed.), Bucarest, 200 p
- BELARBI. H (2010)** Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la TAFNA, Mémoire de Magister, Sciences et technologies de l'eau Université ABOU BEKR BELKAID p3
- BOUANANI, A. (2004)** Hydrologie transport solide et modélisation : étude de quelques sous bassins de la Tafna. *Doctorat d'Etat.Univ.* Tlemcen, Algérie P12
- BENSAOULA F. (2006)** Hydrogéologie, karstification et vulnérabilité des eaux karstiques, Mise au point d'outils pour leur protection (application aux monts de Tlemcen-ouest Oranais). Doctorat d'Etat.Université Tlemcen, Algérie p36
- BENSAOULA F, ADJIM M, BENSALAH M (2007)** L'importance des eaux karstiques dans l'approvisionnement en eau de la population de Tlemcen Larhyss journal:57-64
- BRETON-DUFOUR (2017)** Étude de méthodes de régionalisation des paramètres des modèles hydrologiques et application à un bassin versant non jaugé au Mexique Mémoire la maîtrise avec mémoire en génie de la construction Université du Québec .p3
- BOURQUI M (2008)** : Impact de la variabilité spatiale des pluies sur les performances des modèles hydrologiques thèse Docteur de l'engref école Nationale Génie rurale .des eaux des forets ,p91
- Box, G.E.P. et Jenkins, G.M. (1976).** Time series analysis - Forecasting and control. Holden Day (Ed.), Oakland, California, 575 p.
- BOUGUERNE A, (2017)** : Relation pluie- débit et concentration des polluants dans les Oueds Boussalem et Rhumel. Est Algérien. Thèse de Doctorat Département d'Hydraulique, université Batna 2, p63
- BERGSTRÖM, S (1992)** the HBV Model its structure and applications ISSN 0283-1104, SMHI Reports Hydrology.P2
- BENJAMIN .S (2015):** Medelling hydrological impacts of forest Clearcutting through parameter Regionalization, Department of earth sciences .Uppsala University.p7
- FOUCHIER C. (2010).** Développement d'une méthodologie pour la connaissance régionale des crues. Thèse De Doctorat De L'université

Montpellier II Sciences Et Techniques Du Languedoc. Thèse préparée au sein du Groupe de Recherche en Hydrologie, Cemagref, Aix-en-Provence., P266.

**GHENIM A., MEGNOUNIF A. (2011)** : Sévérité de la sécheresse dans le Nord-Ouest de l'Algérie, *Laboratoire "Eaux et Ouvrages dans Leur Environnement"*. Université de Tlemcen, Faculté de Technologie, fig1

**GAUME E. (2002)**- Un parcours dans l'étude des phénomènes extrêmes en hydrologies. Mém. H.D.R., Ecole National des Ponts et Chaussées. 269 p

**GHENIM A., MEGNOUNIF A., (2013)** : Ampleur de la sécheresse dans le bassin d'alimentation du barrage Meffrouch (Nord-ouest de l'Algérie) .physio – Géo, volume 7/-1,35-49,fig 1

**GEVIN P., (1952)** : Eléments de technologie des barrages Algériens et quelque ouvrage annexes, le projet de barrage sur l'oued Meffrouch .Tome1, la géologie et les problèmes de l'eau en l'Algérie, 19p

**HENINE H. (2005)**, Interfaçage entre un modèle hydrologique/modèle hydrodynamique au sein d'un système d'information intégré sous web incluent les SIG Mémoire de magister 2005.p57

**LEQUIEN A., (2003)**. Analyse et évaluation des crues extrêmes par modélisation hydrologique spatialisée, école doctorale, science de la terre et de l'eau, université montpellier II, p60

**LOBLIGEOIS F , (2014)** Mieux connaître la distribution spatiale des pluies améliore-t-il la modélisation des crues ? Diagnostic sur 181 bassins versants français thèse pour obtenir le grade de docteur École doctorale *Géosciences et Ressources Naturelles*, p41

**MAIDMENT, D.R. (1992)**. Hydrology. In: *Applied Hydrology*, D. R. Maidment (Ed.), McGraw Hill, New-York, 1412 p.

**NASCIMENTO N.O. (1995)**. Appréciation à l'aide d'un modèle empirique des effets d'action anthropiques sur la relation pluie-débit à l'échelle du bassin versant. Thèse de Doctorat, CERGRENE/ENPC, Paris, 550 pp

**NASH JE, SUTCLIFFE JV. (1970)**- River flow forecasting through conceptual Models. Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, n° 10, pp 282-290.

**NASH, J.E. ET SUTCLIFFE, J.V., (1970)**. River flow forecasting through conceptual models. Part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 27(3), 282-290

**KAZI TANI, A.H. (2002)** étude du bassin versant meffrouch en vue d'un aménagement hydro-agricole mémoire ingénieur d'état en hydraulique, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen 8,15p

**ODDOS, A. (2002).** Intérêt d'une approche semi distribuée par rapport à une approche Globale en modélisation pluie-débit. *Mémoire du Diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES et du DEA*, Mécanique et ingénierie option Sciences de l'eau, Université Louis Pasteur Strasbourg, 99 p.

**PERRIN C. (2000)-** Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers D'une approche comparative. *Thèse de Doctorat, INPG (Grenoble) / Cemagref (Antony)*, p 32,36,

**PERRIN, MICHEL, VAZKEN, (2007)** Modèles hydrologiques du Génie Rural (GR) p 5, 6 8 fig 1 Cemagref, d'après Perrin, 2000).

**SINGH, V.P. ET WOOLHISER D.A. 2002.** «Mathematical modeling of watershed hydrology» *Journal of Hydrologic Engineering*. En ligne. Vol 7 issue4, p 270–292.

< [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2002\)7:4\(270\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)1084-0699(2002)7:4(270)) >

Consulté le 5 juin 2015

**SEIBERT J., (2005)** HBV light version 2 User's Manual, Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University PART 2 - The HBV model -1, Fig 8.

**SEIBERT, J., UHLENBROOK .S. LEIBUNDGUT.C, AND HOLDINGS. (2000).** Multiscal and Validation of a Conceptual Rainfall-Runoff Model, Pergamon, *Phys. Chem. Earth (B)*, Vol. 25, No. 1, Elseiver Science Ltd, 59-64.

**VAZKEN A., (1999)** la modélisation pluie-débit sur les bassins versants de nouvelle Calédonie. .Université Pierre Curie .Université Paris-Sud, Ecole des Mines de Paris& Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, P25

## ملخص

تركز هذه الدراسة على تقييم أداء النموذج الهيدرولوجي شبه الموزع HBV المطبق في الحوض الهيدروغرافي لوادي مفروش (90 كيلومتر مربع) وتطبيق النماذج الهندسة الريفية GR مع خطوات زمنية مختلفة (سنوية ، شهرية ، يومية) أولاً ، شرعنا في الخصائص الجيولوجية والفيزيائية والمناخية التي تتحكم في التدفق والدراسة الهيدرولوجية لحوض الهيدروغرافي لوادي مفروش استناداً إلى تحليل بيانات هطول الأمطار. في المرة الثانية درسنا محاكاة التدفقات اليومية بواسطة نموذجين HBV و GR4J نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها عن طريق تطبيق نماذج (HBV و GR4J) على الحوض وادي مفروش ليست جيدة مثل تلك التي حصل عليها GR1J و GR2J

**كلمات البحث :** الهيدرولوجيا ، وادي مفروش ، النمذجة ، هطول الأمطار ، HBV ، GR1A ، GR2M ، GR4j

## RESUME

Cette étude porte sur l'évaluation de la performance du modèle hydrologique semi-distribué HBV appliqué au niveau du bassin versant de l'oued Meffrouch (90km<sup>2</sup>) et sur l'application des modèles Génie Rural GR avec différentes pas de temps (Annuel, Mensuel, et Journalier) Dans un premier temps, nous avons procédé à la description des caractéristiques géologiques, physiques, et climatiques qui contrôlent l'écoulement et à une étude hydrologique du bassin versant de l'oued Meffrouch basé sur l'analyse des données hydrométriques. Dans un deuxième temps nous avons réalisé des simulations des débits journaliers par deux modèles pluie-débit conceptuel HBV et GR4J Les résultats de simulation obtenus par l'application des modèles (HBV et GR4J) sur le bassin versant d'Oued Meffrouch ne sont pas aussi bons que celles obtenues par le GR1A et GR2M

**Mots clés:** Hydrologie, Bassin versant, Oued Meffrouch , Modélisation, pluie-Débit, HBV, GR1A, GR2M, GR4j,

## ABSTRACT

*This study focuses on the evaluation of HBV semi-distributed hydrological model performance applied at the Oued Meffrouch watershed (90km<sup>2</sup>) and the application of GR global models with different time steps (annual, monthly, and daily). )*

*First, we proceeded with a description of the geological, physical, and climatic characteristics that control the flow and have done a hydrological study of the watershed of the Oued Meffrouch based on the analysis of hydrometric data. In a second time we studied the simulation of the daily flows by two conceptual rain-flow models HBV and GR4J*

*The simulation results obtained by the application of models (HBV and GR4J) on the watershed of Oued Meffrouch are not as good as those obtained by GR1A and GR2M*

**Keywords:** Hydrology, Watershed, Oued Meffrouch, Modeling, Rain-Flow, HBV, GR1A, GR2M, GR4j,