

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Modélisation hydrologique des bassins de la Mitidja..

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0025-18

APA Citation (APA توثيق):

Hamdine, Farah (2019). Modélisation hydrologique des bassins de la Mitidja.[Thèse de master, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics.

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR
HYDRAULICS

"The MujahidAbdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري
"المجاهد عبد الله عرباوي"

ⵎⵓⵔⵉⵏⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: ASSAINISSEMENT

THEME :

**MODELISATION HYDROLOGIQUE DES BASSINS DE LA
MITIDJA**

Présenté par :
HAMDINE Farah

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
SALAH Boualem	Professeur	Président
HACHEMI Abdelkader	M.C.B	Examinateur
MOKRANE Wahiba	M.A.A	Examinatrice
TAFAT Leila	M.A.A	Examinatrice
MEDDI Mohamed	Professeur	Promoteur

Session septembre 2019

Remerciements

La construction de ce mémoire n'aurait été possible sans l'intervention de certaines personnes. Qu'elles trouvent ici l'expression de mon plus sincère remerciement pour leurs précieux conseils.

Tout d'abord, je tiens à remercier mon promoteur Mr MEDDI Mohamed pour l'orientation, la confiance, et la patience qui ont constitué un mémoire considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce mémoire un hommage vivant à sa haute personnalité.

Je désire remercier les membres du jury qui ont pris le temps de lire et de discuter de mon mémoire : Mr SALAH Boualem qui me fait l'honneur de présider ce jury. Aussi j'exprime toute ma reconnaissance à Mme MOKRANE, Mme TAFAT, et Mr HACHEMI, qu'ils trouvent ici l'expression de mes vifs remerciements pour avoir bien jugé ce travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Je remercie ma très chère mère pour son soutien, encouragements et amour inconditionnel, une pensée spéciale à mon regretté père que j'aurais tant aimé le voir parmi nous et qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

Je remercie aussi mon frère, ma sœur qui ont toujours été là pour moi, à me porter au delà des limites.

Je profite de remercier mes copines : pour leur sincère amitié et soutiens aussi moral que physique durant ce long parcours.

ملخص

يرتبط التنبؤ بنظام الدورة المائية بالتغير المناخي الذي يؤثر على توازن الطبيعة، لذلك ظهرت طرق مختلفة منها نماذج تدفق المطر هيدرولوجيا. كجزء من دراستنا، اخترنا النموذج المفاهيمي للهندسة الريفية ذو معلمتان قابلتان للتعديل في خطوة زمنية شهرية Gr2m الذي وضعته مجموعة من Cemagref (أنتوني) من قبل مولحي في عام 2003 و قمنا بتطبيقه على مجتمعات المياه بسهل متيجة للتنبؤ بالتغيرات الهيدرولوجية في الأفق المستقبلية و هذا من خلال الفترات المرجعية من السنوات السابقة (1960-2003).

يتمثل النموذج في انقسامه إلى خزانين: خزان الإنتاج و خزان التوجيه إضافة لمخرج خارجي غير الغلاف الجوي كل ذلك عبر صيغ رياضية و خوارزمية مصممة جيدا. تم تقسيم عملنا إلى مرحلتين: المعايرة و التحقق من المعلمات من خلال محاكاة التدفق من هطول الأمطار و النتح المحتمل الشهريين و مقارنته مع التدفق المرصود.

الكلمات المفتاحية: تغير المناخ، نماذج تدفق الأمطار، الهيدرولوجيا، نموذج Gr2m ، متيجة.

Résumé

La prévision du comportement du cycle de l'eau est liée au changement climatique qui a affecté l'équilibre de la nature, pour cela diverses méthodes ont vu le jour parmi elles les modèles pluie-débit dans l'hydrologie. Dans le cadre de notre étude nous avons choisi le modèle conceptuel du Génie Rural à deux paramètres réglables au pas de temps mensuel (GR2M) développé par un groupe de Cemagref (Antony) par Mouelhi en 2003 et nous l'avons appliqué sur le bassin versant de la plaine de la Mitidja pour la prévision des changements hydrologiques dans les horizons futurs et cela à partir des périodes référentielles des années précédentes (1969-2003).

Le modèle Gr2m consiste en sa répartition en deux réservoirs : réservoir de production et réservoir de routage ajoutant une sortie externe du bassin autre que l'atmosphère tout cela par résolution mathématique et un algorithme bien conçu. Notre travail était réparti en deux étapes : la calibration et la validation des paramètres par simulation de débit à partir de la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle mensuelles et de le comparer avec le débit observé.

Mots clés : Changement climatique, modèles pluie-débit, hydrologie, modèle Gr2m, Mitidja.

Abstract

The prediction of the behaviour of the water cycle is linked to the climatic change which affects the balance of nature. For that various methods have emerged, among them the models rain-flow in hydrology. As part of our study, we have chosen the conceptual model of Rural Engineering with two parameters adjustable in the monthly time step (GR2M) developed by a group of Cemagref (Antony) by Mouelhi in 2003 and we applied it on the watershed of the Mitidja plain for the prediction of hydrological changes in future horizons and this from the reference periods of previous years (1969-2003). The Gr2m model divides into two tanks: production tank and routing tank adding an external output of the basin other than the atmosphere; all this by mathematical resolution and a well-designed algorithm. Our work is divided into two stages: calibration and validation of the parameters by flow simulation from the rainfall and monthly potential evapotranspiration and comparing it with the observed flow.

Key words: Climate change, rainfall-runoff models, hydrology, Gr2m model, Mitidja.

SOMMAIRE

Introduction générale	9
Chapitre I : Présentation de la région de Mitidja	11
I.1 Introduction :	11
I.2 Présentation de la plaine de la Mitidja :.....	11
I.2.1 Situation géographique :.....	11
I.2.2 Situation morpho-géologique :	12
I.2.3 Situation démographique :	13
I.3 Ressources en eau :	13
I.4 Situation Climatologique :	14
I.4.1 Pluviométrie :	14
I.4.2 Température :	15
I.4.3 Evaporation :	15
I.5 Conclusion :	15
Chapitre II : Modèles pluie-débit	17
II.1 Introduction :	17
II.2 Définition du modèle hydrologique :	17
II.3 Définition de la modélisation pluie-débit :	18
II.3.1 Objectif de la modélisation :	18
II.4 Histoire d'apparition des modèles hydrologiques:	19
II.5 Classification des modèles :	19
II.5.1 Le modèle déterministe :	20
II.5.2 Le modèle probabiliste :	21
II.5.3 Le modèle événementiel :	21
II.5.4 Le modèle global ou distribué :	22
II.6 Classification basée sur la représentation des processus hydrologiques :	22
II.6.1 La modélisation de type boîte noire :	22
II.6.2 Un modèle hydrologique à base physique :	22
II.6.3 Un modèle à réservoir :	22
II.7 Exemple de quelques modèles :	23
1 TOPMODEL : les aires contributives saturées	23

2 HEC HMS	23
3 HYDROTEL : l'intégration des données de télédétection	24
4 MIKE SHE : la modélisation hydrologique complète	24
5 TOPKAPI : les ondes cinématiques opérationnelles.....	24
6 AIGA : la méthode spécifique aux crues éclair.....	25
II.8 Les modèles Génie Rural GR :	25
II.8.1 Le calage et validation d'un modèle.....	25
II.8.2 Critères de qualité :	26
II.8.3 Objectifs de développement :.....	26
II.8.4 Mode de développement :	26
II.8.5 Le modèle pluie-débit annuel GR1A :	27
II.8.6 Le modèle pluie-débit journalier GR4J :	27
II.8.7 Le modèle pluie-débit mensuel GR2M :	27
II.9 Conclusion :.....	30
Chapitre III : Modélisation des bassins de la Mitidja.....	32
III.1 Introduction :	32
III.2 Fonctionnement du modèle GR2M :	32
III.2.1 Les données du modèle :	32
III.2.1.1 Les données pluviométriques :	32
III.2.1.2 L'évapotranspiration potentielle:.....	33
III.2.1.3 Les données hydrométriques :	33
III.2.2 Méthodologie de modélisation.....	34
III.2.2.1 Le calage :.....	34
III.2.2.2 La validation :	34
III.2.3 Optimisation des paramètres de calage du modèle :.....	34
III.2.4 Initialisation du système et la période de mise en route :.....	35
III.3 Approche :.....	35
III.3.2 Résultats de manipulation du modèle GR2M :	37
III.3.3 Discussion des résultats du calage et de la validation :	38
III.4 Conclusion :.....	64
Conclusion générale	65
Références bibliographiques	67

Liste des Figures

<i>Figure 1</i> carte de situation géographique de la Mitidja (Yahiaoui, 2011)	12
<i>Figure 2</i> Carte morphogéologique de la Mitidja (Gharbi, 2010).....	12
<i>Figure 3</i> Limite du bassin versant de la plaine de la Mitidja (Yahiaoui, 2011)	14
<i>Figure 4</i> Composants d'un modèle (Singh, 1995)	20
<i>Figure 5</i> Classification des modèles proposée par Singh (1995)	20
<i>Figure 6</i> Schéma de la structure du modèle Gr2m (Cemagref).....	28
<i>Figure 7</i> Carte des bassins versants de la Mitidja(Yahiaoui, 2011).....	36
<i>Figure 8</i> Graphe du niveau du réservoir de production S de la station d'Attatba par modèle GR2M (calage).....	39
<i>Figure 9</i> Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station d'Attatba par modèle GR2M (calage).....	39
<i>Figure 10</i> Hydrogramme des débits et de pluies de la station d'Attatba (calage).....	39
<i>Figure 11</i> Graphe des débits simulés et débits observés de la station Attatba GR2M(calage)	40
<i>Figure 12</i> Graphe du niveau du réservoir de production S de la station d'Attatba par modèle GR2M (validation)	40
<i>Figure 13</i> Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station d'Attatba par modèle GR2M (validation)	41
<i>Figure 14</i> Hydrogramme des débits et de pluies de la station d'Attatba (validation)	41
<i>Figure 15</i> Graphes des débits	42
<i>Figure 16</i> Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de bouroumi par modèle GR2M (calage).....	42
<i>Figure 17</i> Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de bouroumi par modèle GR2M (calage)	43
<i>Figure 18</i> Hydrogramme des débits et de pluies de la station de bouroumi (calage)	43
<i>Figure 19</i> Graphe des débits.....	43
<i>Figure 20</i> Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de bouroumi par modèle GR2M (validation)	44
<i>Figure 21</i> Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de bouroumi par modèle GR2M (validation)	44
<i>Figure 22</i> Hydrogramme des débits et de pluies de la station de bouroumi (validation)	45
<i>Figure 23</i> Graphe des débits.....	45
<i>Figure 24</i> Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de boumedfea par modèle GR2M (calage).....	46

<i>Figure 25 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de boumedfea par modèle GR2M (calage)</i>	46
<i>Figure 26 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de boumedfea (calage)</i>	47
<i>Figure 27 Graphe des débits.....</i>	47
<i>Figure 28 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de boumedfea par modèle GR2M (validation)</i>	48
<i>Figure 29 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de boumedfea par modèle GR2M (validation)</i>	48
<i>Figure 30 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de boumedfea (validation)</i>	49
<i>Figure 31 Graphe des débits.....</i>	49
<i>Figure 32 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station d'el affroun par modèle GR2M (calage).....</i>	50
<i>Figure 33 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station d'el affroun par modèle GR2M (calage).....</i>	50
<i>Figure 34 Hydrogramme des débits et de pluies de la station d'el affroun (calage)</i>	51
<i>Figure 35 Graphe des débits.....</i>	51
<i>Figure 36 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station d'el affroun par modèle GR2M (validation)</i>	52
<i>Figure 37 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station d'el affroun par modèle GR2M (validation)</i>	52
<i>Figure 38 Hydrogramme des débits et de pluies de la station d'el affroun (validation).....</i>	53
<i>Figure 39 Graphe des débits.....</i>	53
<i>Figure 40 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de fer-à-cheval par modèle GR2M (calage).....</i>	54
<i>Figure 41 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de fer-à-cheval par modèle GR2M (calage)</i>	54
<i>Figure 42 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de fer-à- cheval (calage)</i>	55
<i>Figure 43 Graphe des débits.....</i>	55
<i>Figure 44 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de fer-à- cheval par modèle GR2M (validation)</i>	56
<i>Figure 45 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de fer-à-cheval par modèle GR2M (validation)</i>	56
<i>Figure 46 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de fer-à-cheval (validation)</i>	56
<i>Figure 47 Graphe des débits.....</i>	57
<i>Figure 48 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de hadjout par modèle GR2M (calage).....</i>	57
<i>Figure 49 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de hadjout par modèle GR2M (calage).....</i>	58

<i>Figure 50 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de hadjout (validation)</i>	<i>58</i>
<i>Figure 51 Graphe des débits.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure 52 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de hadjout par modèle GR2M (validation)</i>	<i>59</i>
<i>Figure 53 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de hadjout par modèle GR2M (validation)</i>	<i>59</i>
<i>Figure 54 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de hadjout (validation)</i>	<i>59</i>
<i>Figure 55 Graphe des débits.....</i>	<i>60</i>
<i>Figure 56 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de larbaa par modèle GR2M (calage).....</i>	<i>60</i>
<i>Figure 57 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de larbaa par modèle GR2M (calage).....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 58 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de larbaa (calage)</i>	<i>61</i>
<i>Figure 59 Graphe des débits.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 60 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de larbaa par modèle GR2M (validation)</i>	<i>62</i>
<i>Figure 61 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station d'e larbaa par modèle GR2M (validation)</i>	<i>62</i>
<i>Figure 62 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de larbaa (validation).....</i>	<i>63</i>
<i>Figure 63 Graphe des débits.....</i>	<i>63</i>

Liste des Tableaux

<i>Tableau 1 Parmètres du modèle Gr2m.....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 2 Données des stations hydrométriques de la Mitidja (Kortbi, 2012).....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 3 Résultats de calage et de validation par modèle GR2M</i>	<i>38</i>

Introduction générale

Avec le changement climatique que la terre vit en ces dernières années : augmentation de la température, fonte des glaces etc, la nature a bel et bien été déséquilibrée, affectant par ce fait plusieurs bases de sciences auxquelles nous faisons référence pour les années futures.

Parmi elles il y a l'hydrologie, cette science qui étudie le cycle de l'eau et ses changements de phase dans la nature est concernée. En fait, l'eau, cet élément essentiel pour la survie des êtres vivants que ce soient humains animaux ou plantes, existe sous différentes formes dans les lacs, les rivières et les océans, malheureusement l'augmentation de la température terrestre a accéléré son évaporation engendrant ainsi la diminution du volume des surfaces des bassins versants et ralentir la retenue en eau. C'est un phénomène mondial qui a touché tous les pays l'Algérie y compris.

Pour étudier le comportement de ces flaques d'eau, les sciences basiques ne suffisent plus toutes seules et enfin les recherches ont survécu à la création de la modélisation hydrologique par logiciels des modèles pluie-débit ci proches de la réalité et l'illustrent assez bien et cela par similitude de ce comportement dans le futur à partir des années antérieures.

La région qu'on a prise en compte dans cette thèse est le bassin versant de la Mitidja avec adaptation au modèle hydrologique GR2M (Génie Rural à deux paramètres par pas mensuel) appartenant à la famille des modèles GR. Il est développé par le groupe hydrologie du Cemagref (Antony) en France en 2003 par Mouelhi la version la mieux adaptée. En effet, c'est un modèle conceptuel de type à réservoir qui à travers les données d'entrée les pluies et l'évapotranspiration mensuelles fait la simulation du débit en lame d'eau écoulée. A réservoir car il fonctionne par deux réservoirs : celui de la production et celui de routage avec une sortie sur un milieu hors que l'atmosphère. Nous divisons les périodes de calculs en deux phases : le calage et la validation pour l'évaluation de la performance des paramètres du modèle.

Comme première place, un aperçu sur la zone d'étude sera présenté dans la thèse. Ensuite, une définition des modèles pluie-débit, leur classification et leur historique seront entamés ainsi que les modèles de la famille GR et plus particulièrement le modèle Gr2m. enfin, les résultats de l'application sur les différentes stations hydrométriques des bassins de la Mitidja et leurs discussions sont apportés dans cet humble travail.

Chapitre I :

Présentation de la région de

la Mitidja

Chapitre I : Présentation de la région de Mitidja

I.1 Introduction :

Le choix d'un bassin comme échantillon d'étude pour la simulation et l'évaluation des performances de n'importe quel modèle hydrologique testé est indispensable dans la recherche. Notre choix est porté sur la région de la Mitidja et ce chapitre est consacré à sa présentation sous de diverses situations introduisant ainsi une idée sur la nature hydrologique qui va être traitée.

I.2 Présentation de la plaine de la Mitidja :

I.2.1 Situation géographique :

Orientée parallèlement au relief côtier dans une direction est-nord-est vers ouest-sud-ouest, la plaine de la Mitidja est limitée à l'est par l'oued Boudouaou, à l'ouest par l'oued Nador tandis que ses deux principaux flancs sont bordés par deux reliefs élevés : les collines du Sahel Algérois au nord et l'Atlas Blidéen au sud. Elle s'allonge d'est en ouest sur une centaine de kilomètres et s'étire sur une largeur variant de 5 à 20 km avec une superficie de 1400 km². D'altitude moyenne de 100 m, elle présente une faible pente orientée vers la mer (wikipedia, s. d.).

La Mitidja fait partie du bassin Algérois codé 02 par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (abrégée ANRH), et va de la région de Reghaia à l'Est jusqu'à la région de Hadjout à l'Ouest (Zamiche et al, 2018); atteignant quatre wilayas (régions administratives) : Boumerdes à l'Est, Alger au Nord, Blida au Sud et enfin Tipaza à l'Ouest (figure 1).

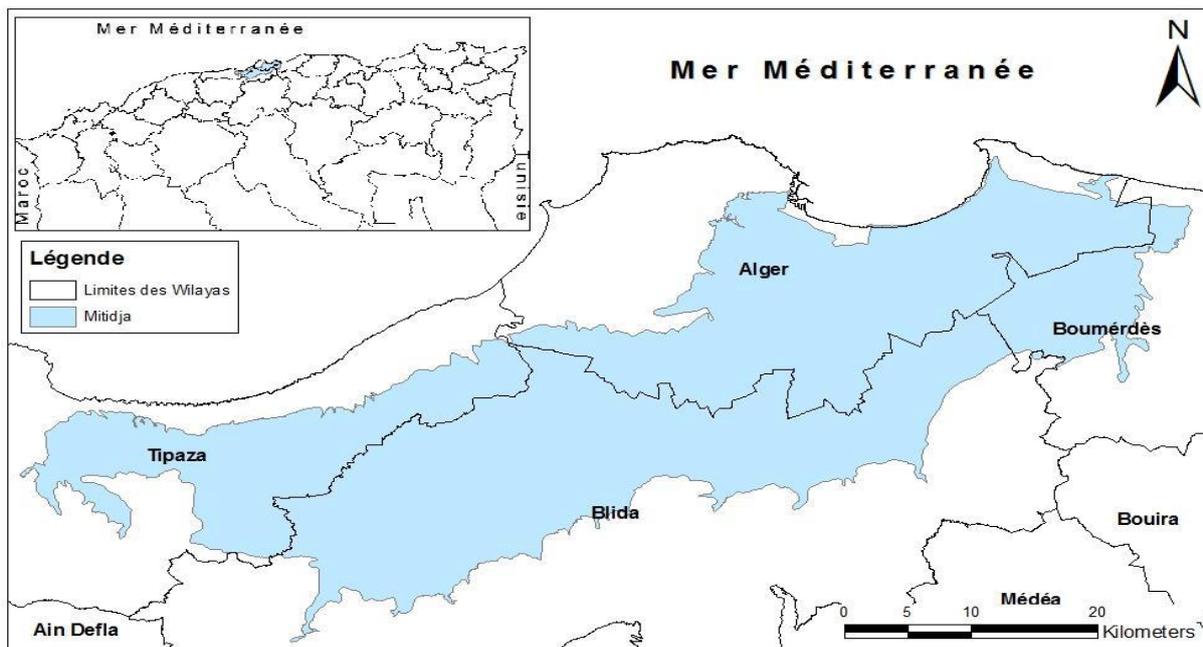


Figure 1 carte de situation géographique de la Mitidja (Yahiaoui, 2011)

I.2.2 Situation morpho-géologique :

Le bassin de la Mitidja, formé par un effondrement rempli de dépôts d'âge plio-quaternaire, est un bassin alluvial intra montagneux. Il se compose principalement de matériaux alluviaux grossiers (des graviers, des galets, des limons ou argiles) (Zamiche et al, 2018).

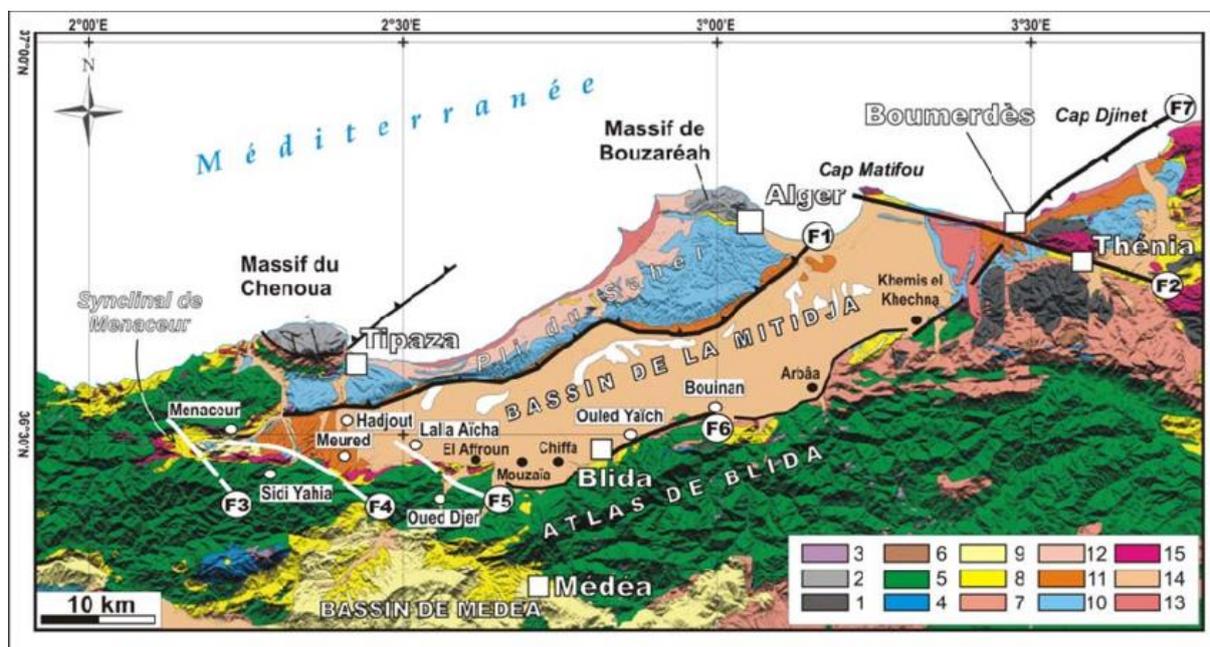


Figure 2 Carte morphogéologique de la Mitidja (Gharbi, 2010)

1.2.3 Situation démographique :

La plaine de la Mitidja comprend des pôles urbains très importants, dont on peut citer : Blida, Chiffa et El Affroun dans la wilaya de Blida ou encore Dar El Beida et El Harrach dans la wilaya d'Alger qui ont connus de très fortes expansions ces dernières années. En 1998, la population totale de la plaine de la Mitidja était estimée à environ 2 millions d'habitants, avec une densité de 60 habitants/km² (Yahiaoui, 2011).

La plaine de la Mitidja est réputée pour être l'une des régions les plus fertiles d'Algérie. Les conditions climatiques favorables et le relief relativement plat de la plaine en font une excellente région agricole avec une superficie de 129000 ha (Yahiaoui, 2011)

En plus des activités agricoles, plusieurs industries activent au Centre et à l'Est de la plaine (Larbaa, Blida, Rouiba, Reghaia, ...) ; parmi ces industries on peut citer : (Yahiaoui, 2011)

- Les industries de transformation de fer et autres métaux.
- Les industries chimiques.
- Les industries alimentaires.
- Les industries de fabrications de papier ... etc.

I.3 Ressources en eau :

Selon l'ABH (Agence de Bassin Hydrographique, 2000) de l'Algérois, la ressource en eau souterraine de la Mitidja est de 328 Hm³ » (Yahiaoui, 2011).

Quant aux eaux superficielles de la plaine, elles sont emmagasinées dans les trois barrages existant dans la plaine : (Yahiaoui, 2011)

- Le barrage du Hamiz avec un volume d'environ 15.6 Hm³.
- Le barrage Boukerdane avec un volume de 90 Hm³.
- Le barrage de Bouroumi avec un volume d'environ 200 Hm³.

L'aquifère de la Mitidja était une principale ressource d'eau de la région pour l'alimentation en eau potable, l'agriculture et les industries d'où sa surexploitation. L'explosion démographique dans la région n'a fait qu'empirer la chose.

En plus des barrages précédemment cités, les barrages de Keddara (wilaya de Boumerdes) et celui de Taksebt (Tizi-Ouzou wilaya limitrophe à la wilaya de Boumerdes) viennent renforcer les ressources de la plaine de la Mitidja pour répondre aux besoins de ses consommateurs. Ajouter à cela les ressources non-conventionnelles produites par les deux stations de dessalement de la wilaya d'Alger et de Tipaza. Malgré tous ces 7 renforcements, l'aquifère de la plaine de la Mitidja reste fortement déficitaire. Ce déficit a causé une intrusion

- Saison humide (pluvieuse) de Novembre à Avril ;
- Saison sèche de Juin à Août ;
- Saison à pluviométrie moyenne (Mai, Septembre et Octobre).

1.4.2 Température :

Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de 42 ans (1969 à 2003) au niveau des diverses stations de la Mitidja.

Les valeurs obtenues montrent que les étés sont chauds tandis que les hivers doux avec une température moyenne entre les deux saisons.

1.4.3 Evaporation :

Le relevé de l'évaporation est enregistré à partir d'une série de 42 ans (de 1969 à 2003) dans les mêmes stations. Ce que nous pouvons apercevoir à travers lui est que le maximum de l'évaporation est atteint au mois de Juillet quand la température reste élevée pour longtemps et le minimum est enregistré au mois de Février en hiver.

1.5 Conclusion :

Ce chapitre résume dans l'ensemble un aperçu sur notre zone d'étude qui est la Mitidja appartenant au Sahel Algérois code 02, son climat est de type méditerranéen, elle se caractérise par les étés chauds et hivers doux. Le plus important est les séries pluviométriques et l'évapotranspiration potentielle prises en mesure à partir de dix stations hydrométriques de la région que nous allons appliquer dans notre modèle.

Chapitre II :

Modèles pluie-débit

Chapitre II : Modèles pluie-débit

II.1 Introduction :

La simulation du débit d'un bassin versant permet de résoudre de multiples questions d'ingénierie et de gestion des ressources en eau, comme le dimensionnement et la prévision des crues ou des étiages, la détection d'impact, etc. Les recherches réalisées sont toutes basées sur les précipitations, et permettent ainsi la compréhension du processus de génération des débits et le fonctionnement du bassin versant. Du coup, les modèles hydrologiques ou modèles pluie-débit surviennent à combiner entre la lame d'eau précipitée sur un bassin versant et son débit à l'exutoire et s'introduisent officiellement dans l'hydrologie.

Ce chapitre porte des informations sur les modèles hydrologiques de leur apparition jusqu'aux différents exemples de ses types. Et finalement une description du modèle au quel porte notre recherche comme axe principal.

II.2 Définition du modèle hydrologique :

Un modèle est une représentation approchée des systèmes hydrologiques complexes en une figuration simplifiée du cycle de l'eau par des résolutions mathématiques ou physiques proches de la réalité. Un modèle à l'échelle du bassin versant représente aussi les conditions aux quelles ce dernier est soumis. Il n'y pas de modèles hydrologiques parfaits applicables pour tout les bassins versants à toutes les échelles d'espace et de temps car les conditions d'utilisation de chaque type de modèle sont spécifiques à une certaine région et un certain climat pour un optimum rapprochement du naturel.

La modélisation est une illustration du monde réel en format numérique, c'est-à-dire un modèle hydrologique décrit un phénomène naturel, une démarche d'une partie ou de la totalité du cycle de l'eau. Puisque la simulation du débit n'est pas tout à fait exacte à la réalité donc ces modèles comportent des décalages et résultats parfois erronés. Mais ça ne reste que c'est une méthode très efficace de prévision pour des horizons à venir.

Seulement les données les plus pertinentes et qui comportent moins d'erreurs possibles qui sont choisies par le modélisateur, pour une meilleur simulation. Le modèle est développé en se basant majoritairement sur trois éléments :

1- le système observé et sa discrétisation spatiale et temporelle, qui en définissent l'objet et ses limites (spatiales ou temporelles). La connaissance du système est conditionnée par la mesure de ses caractéristiques et l'acquisition de données sur les flux, les stocks et les transformations de phase. Dans notre cas, le système étudié est le bassin versant(Perrin 2002).

2- l'objectif de la modélisation, pour lequel le modèle est développé. Le modèle est construit pour répondre à des questions et peut ainsi, au delà d'un outil de représentation, être également un instrument de connaissance (recherche la représentation de la transformation de la pluie en débit) (Perrin 2002).

3- le choix d'une formulation de la réalité. Après la définition des deux points précédents, l'essentiel la démarche de modélisation consiste à trouver la formulation de la réalité la plus satisfaisante relativement aux objectifs fixés. La formulation d'un modèle est conditionnée par la connaissance antérieure des processus ou des systèmes considérés, par les idées de l'imagination du modélisateur et par les hypothèses qui sont formulées (Perrin 2002).

II.3 Définition de la modélisation pluie-débit :

La modélisation pluie débit est une discipline des sciences hydrologiques qui s'intéresse principalement au cycle hydrologique afin d'aboutir à un outil de travail exploitable dans différents domaines. Deux dimensions définissent la modélisation pluie-débit. La première est l'échelle d'espace. Pour différentes superficies, allant d'une maille de quelques mètres carrés au bassin versant de quelques dizaines de milliers de kilomètres carrés, il existe une littérature très riche qui va de la proposition de divers types de modèles jusqu'à la critique de ceux ci. La deuxième dimension est l'échelle de temps. Du pas de temps horaire jusqu'au pas de temps pluriannuel, on trouve dans la littérature de nombreux modèles fonctionnant à chaque pas de temps (Cherifi, 2001).

II.3.1 Objectif de la modélisation :

La modélisation pluie-débit vient pour répondre à de nombreuses problématiques concernant l'eau, gestion des risques et de la ressource. Si des aspects de qualité des eaux peuvent être étroitement liés à des aspects de quantité, nous nous intéresserons ici uniquement à une modélisation pluie-débit quantitative, dont nous donnons quelques-unes de ces problématiques: (Medane, 2012)

- Simulation de débits, pour le comblement de lacunes dans des séries de données, la reconstitution de débits historiques (les données de pluie étant souvent disponibles sur des périodes beaucoup plus longues que les débits) ou pour permettre des traitements statistiques;

- Prédétermination des débits de crue ou d'étiage: on désire savoir avec quelle fréquence des débits de crue (supérieurs à un seuil de risque par exemple) ou des faibles débits (en deçà d'un débit réservé par exemple) risquent de se produire, et sur quelle durée. On se place ici dans une démarche d'analyse fréquentielle. Cette connaissance peut permettre le dimensionnement d'ouvrages et de réservoirs ou d'aménagements dans le lit (mineur à majeur) du cours d'eau;

- Prévion des crues et des étiages: il s'agit d'évaluer par avance (avec un délai de quelques heures à quelques jours), connaissant l'état du bassin, les débits de crues susceptibles de présenter des risques (inondation) ou les débits d'étiages pouvant demander de

mettre en place une gestion particulière de la ressource (par des barrages-réservoirs par exemple) pour assurer l'approvisionnement en eau ou la préservation de la vie halieutique. On s'inscrit ici dans une démarche d'analyse en continu du bassin;

- Influence d'aménagements sur l'hydrologie: on désire pouvoir prédire les changements de la réponse du bassin suite à des modifications des caractéristiques du bassin d'origine humaine ou à des changements environnementaux.

II.4 Histoire d'apparition des modèles hydrologiques:

En 1952-1953, le groupe de chercheurs de l'université de New York (Stoker, Issacson et Troesch) a pu développer, par programmation sur ordinateur, un modèle moderne de la propagation des crues le long d'un tronçon de Mississipi. C'est à partir de cette date que la modélisation mathématique en hydraulique et en hydrologie est introduite en ordinateurs digitaux.

Cependant, les modèles ont subi plusieurs transformations passant par quatre générations :

- Première génération: 1950-1960, des formules numérisées.
- Deuxième génération: 1960-1970, des modèles numériques spécifiques. Ce sont des programmes à but unique et pour leur utilisation pour une autre application il fallait faire d'importantes modifications.
- Troisième génération : 1965-1995, une série de systèmes généraux de simulation par modélisation, conçus pour simuler la propagation des crues, permettant la construction d'un modèle applicable pour différents bassins versants : généralisation.
- Quatrième génération: jusqu'à nos jours, les progiciels véritables, il s'agit d'une modélisation des systèmes généraux d'une manière conversationnelle.

II.5 Classification des modèles :

Si la modélisation pluie-débit représente un étroit domaine de l'hydrologie, elle n'en est pas moins féconde en termes de production de modèles. Le développement des moyens de calculs informatiques a certainement été l'un des facteurs majeurs ayant favorisé l'essor de ce secteur de recherche depuis le début des années 60, avec la création de dizaines de modèles. Encore aujourd'hui, de nouveaux modèles sont très souvent proposés dans la littérature. Ce foisonnement tient d'une part de la diversité des approches possibles, qui font appel à des concepts et des points de vue différents sur la manière de représenter la réponse d'un bassin versant à des événements de pluie. Il tient certainement d'autre part d'un certain degré d'ignorance sur la meilleure façon de modéliser la relation pluie-débit. Devant la complexité

et la diversité des systèmes observés, il est probable cependant que la solution miracle n'existe pas (Medane, 2012).

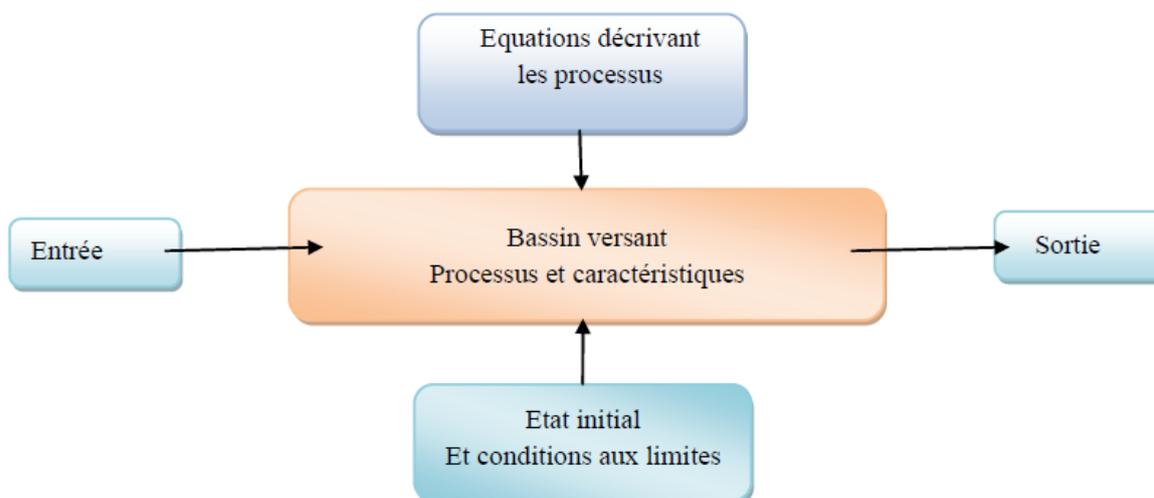


Figure 4 Composants d'un modèle (Singh, 1995)

Puisque il existe plusieurs points de vue de l'importance des données et des modèles donc presque chaque hydrologue propose une classification par rapport aux caractéristiques. Cela a entraîné une diversité plus au moins uniforme.

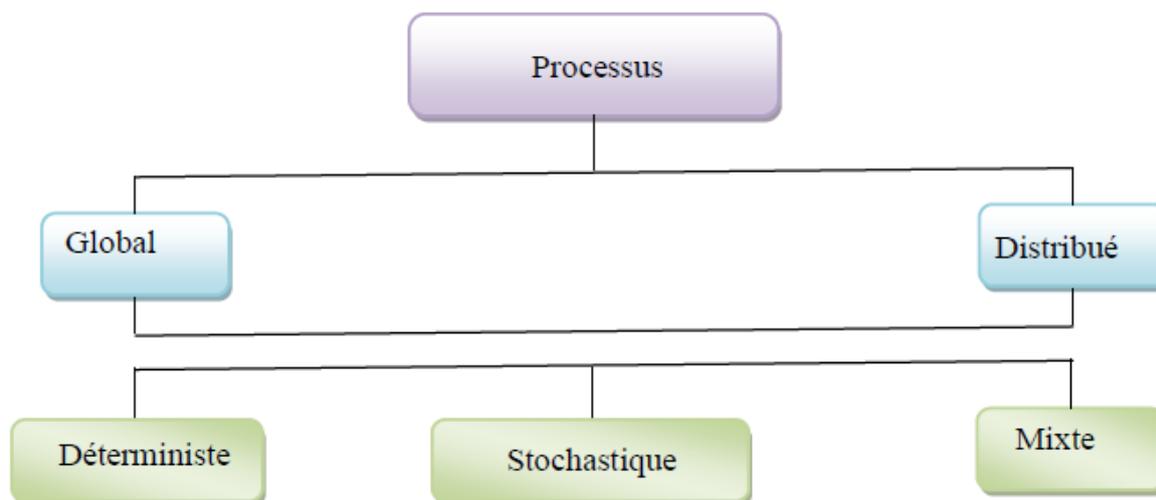


Figure 5 Classification des modèles proposée par Singh (1995)

II.5.1 Le modèle déterministe :

S'appuie sur la description du bassin versant et prend en compte une ou plusieurs de ses caractéristiques physiques (pente, superficie, type de sol, occupation du sol, ...). Les modèles déterministes ont pour application la prévision hydrologique pour la gestion des ouvrages hydrauliques ou pour la prévision des crues, la délimitation des zones inondables, la gestion du territoire, la quantification des impacts potentiels des changements climatiques. La

méthode des crues maximales probables – PMP/PMF probable maximum précipitation, probable maximum flood – qui supposent l'existence d'une valeur maximale des précipitations sur une région donnée et donc des crues sur un bassin versant est une méthode déterministe (Medane, 2012).

Il y a aussi les modèles cinématiques (descriptifs) ou dynamiques (explicatifs), suivant que l'évolution temporelle du système est simplement décrite ou mise en relation avec les forces qui en sont la cause (Medane, 2012).

II.5.2 Le modèle probabiliste :

Sert à établir des critères de conception d'ouvrages (par exemple : dimensionnement des évacuateurs de crue des ouvrages hydrauliques grâce au calcul de la crue et de la cote de projet) ou à vérifier les performances d'ouvrages existants. La finalité du modèle probabiliste est de fournir des grandeurs statistiques de variables hydrologiques : débits maximum de pointe crue d'une occurrence donnée, précipitations minimales d'une durée donnée et d'une période de retour donnée (Medane, 2012).

❖ Le modèle statistique et stochastique

Au sein des modèles probabilistes, on distingue les modèles statistiques – ajustement de lois statistiques, méthode du Gradex ... – et les modèles stochastiques qui représentent la nature aléatoire des phénomènes hydrométéorologiques à l'aide de distributions statistiques. Le générateur stochastique de pluie horaire de la méthode SHYPRE (Cernesson, 1993, Arnaud, 1997) permet ainsi la simulation de longues séries de précipitations grâce à la connaissance de lois de probabilité décrivant les phénomènes pluvieux (durée et nombre des averses, intensité maximale de l'averse, position du maximum, ...) et issues des observations (Medane, 2012).

II.5.3 Le modèle événementiel :

A pour objet la simulation d'un événement borné dans le temps. On modélise par exemple de manière événementielle une crue sur la durée de l'événement pluvieux l'ayant générée, augmentée du temps de concentration. Une telle modélisation requiert la détermination des conditions initiales (débit de base au début de la simulation, humidité du sol) et néglige certains processus hydrologiques considérés comme mineurs par rapport au processus principal étudié. Dans le cas d'une modélisation événementielle de crues au pas de temps horaire, l'évaporation et l'évapotranspiration sont par exemple négligées et les écoulements de sub-surface ne sont pas modélisés. Une modélisation événementielle présente donc l'avantage théorique de prendre en compte un nombre réduit de variables d'entrée, avantage contrebalancé par le besoin d'une initialisation qui fait souvent l'objet d'un calage alors qu'elle est le résultat de processus continus (Medane, 2012).

II.5.4 Le modèle global ou distribué :

Selon comment sont considérés le territoire étudié et les processus hydrologiques, on parle de modèle global ou de modèle distribué. Le bassin est considéré comme une seule entité qui réagit dans son ensemble. Les caractéristiques physiques et les grandeurs météorologiques sont considérées comme uniformes à l'échelle du bassin versant assimilé à une unité ponctuelle. Il s'agit de valeurs moyennes applicables à tout le bassin versant. Les processus hydrologiques sont simulés pour l'ensemble du bassin versant (Medane, 2012).

II.6 Classification basée sur la représentation des processus hydrologiques :

Perrin (Perrin, 2000) distingue trois types de modèles se basant sur une classification suivant le degré de complexité avec lequel les processus hydrologiques sont traduits: type boîte noire, à base physique et à réservoirs : (Medane 2012)

II.6.1 La modélisation de type boîte noire :

C'est une schématisation sans lien direct avec la réalité prenant compte les variables d'entrée et de sortie d'un bassin quelque soit sa nature physique. Il s'agit d'une description purement mathématique et globale de la transformation pluie-débit sans décomposition en processus et pour seul but 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).

II.6.2 Un modèle hydrologique à base physique :

Met en œuvre des équations qui décrivent la physique des processus hydrologiques : infiltration avec l'équation de Green et Ampt ou le modèle de Philip, évapotranspiration avec la formule de Penman, écoulement dans les zones saturée et non saturée avec les équations de Boussinesq et de Richards ou encore écoulement à surface libre avec les équations de Barré de Saint-Venant. Ces équations s'appuient sur des paramètres physiques mesurables, comme la conductivité hydraulique des sols à saturation, qui ne nécessitent pas en théorie d'être calibrés.

Il y a aussi les modèles empiriques, conceptuels ou théoriques (fondés sur la physique), suivant les relations utilisées pour modéliser la transformation de la pluie en débit et suivant la représentation du système modélisé.

II.6.3 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.

II.7 Exemple de quelques modèles :

1 TOPMODEL : les aires contributives saturées

TOPMODEL (TOPography based hydrological MODEL) est un modèle hydrologique initialement développé par (Beven & Kirkby, 1979), (Beven, 1989), (Beven, 1992) à l'Université de Lancaster. Il s'agit d'un modèle pluie-débit qui suit une approche articulée autour de deux idées centrales (Medane 2012):

- le ruissellement se produit sur des zones contributives variables,
- la topographie influence la manière dont se produit le ruissellement.

L'originalité de TOPMODEL réside dans la définition de l'indice topographique. Cet indice est un paramètre dynamique qui traduit la propension qu'a un pixel à se saturer plus ou moins vite. TOPMODEL modélise le sol à l'échelle du versant de la façon suivante :

- la surface du sol donne lieu au ruissellement superficiel (Horton ou Aires contributives saturées),
- la zone racinaire retient l'eau de pluie en début d'événement,
- la zone insaturée transfère la pluie infiltrée vers la zone saturée selon l'équation de Darcy,
- la zone saturée s'écoule vers l'exutoire.

2 HEC HMS :

Ce logiciel a été développé par le HEC (Hydrologic Engineer Center) de US Army corps of Engineers. La première version de ce logiciel est apparue en 1995. Il s'agit d'un modèle pluie-débit, constitué par un ensemble de modèles hydrologiques qui permettent de décrire le fonctionnement d'un bassin versant de manière spatialisée. La géométrie du bassin versant peut être conceptualisée par un ensemble de sous unités hydrologiques liées entre elles par des éléments hydrauliques. Cette description se fait à l'aide d'outils géométriques prédéfinis. La description des pluies se fait par l'introduction d'observations faites sur des pluviographes ou bien de pluies synthétiques.

Chacune des unités hydrologiques ainsi que chacun de ces éléments de liaison sont caractérisés par de multiples modèles de simulation hydrologiques et hydrauliques. Parmi ces modèles, on trouve:

- les modèles de pertes par infiltration, retenue ou évapotranspiration qui permettent d'évaluer le ruissellement : modèle de perte initiale et à taux constant, modèle à déficit et à taux de perte constant, modèle basée sur le Curve Number (CN), modèle de Green et Ampt.
- les modèles de ruissellement direct sur les versants : les modèles liés à la méthode de l'hydrogramme unitaire, le modèle de l'onde cinématique.
- les modèles des écoulements souterrains : le modèle constant, le modèle à récession exponentielle, le modèle à réservoir linéaire.
- les modèles d'hydrologie fluviale dont les équations de base sont celles des écoulements à surface libre : le modèle Muskingum, le modèle du décalage (lag model), le

modèle de l'onde cinématique, le modèle de Muskingum-Cunge ; ces modèles prennent en compte la géométrie des tronçons (bifurcations, confluences).

3 HYDROTEL : l'intégration des données de télédétection

Ce modèle a été conçu en collaboration entre l'INRS EAU Canada et Laboratoire d'Hydrologie et Modélisation de Montpellier (Fortin et al., 1995), dans le but de créer un outil capable d'intégrer et de gérer la spatialisation des données et des processus physiques. Il utilise ainsi les données issues de la télédétection et les SIG. Il se décompose en 2 modules : PHYSITEL (pour le traitement du MNT en vue de la détermination des unités hydrologiques du bassin et de son réseau de drainage) et HYDROTEL (pour la simulation hydrologique). Ce dernier module intègre, en plus des résultats de PHYSITEL, le type de sol, sa profondeur racinaire, la pluie (sous forme de pluviographes), l'occupation des sols et les caractéristiques de la végétation (albédo, indice foliaire). Il simule l'ETP, la fonte des neiges, le ruissellement superficiel (par l'onde cinématique), la propagation de la crue dans la rivière avec l'onde cinématique ou l'onde diffusante.

Ce modèle présente l'avantage d'intégrer l'imagerie satellitale, d'utiliser des équations physiques pour modéliser les processus de genèse et de propagation de crues et de se présenter sous la forme d'une interface conviviale. Toutefois, il nécessite une grande quantité d'informations pour son calage initial. De plus, son pas de temps horaire est très limitatif pour la prévision des crues éclair.

4 MIKE SHE : la modélisation hydrologique complète

MIKE est une famille de logiciels qui traitent d'écoulements dans les rivières, de crues en 1 et 2D, d'hydrologie intégrée (MIKE SHE) et de management hydrologique assisté par un Système d'Information Géographique. MIKE SHE qui est un modèle physique au sens de (Bonell, 1993), comprend plusieurs modules :

- Evapotranspiration
- Ecoulement dans la zone non saturée basée sur l'équation de Richards
- Ecoulement dans la zone saturée
- Ecoulement superficiel dans les cours d'eau et sur les versants selon l'équation de l'onde diffusante

Ainsi que des modules propres à des applications particulières comme l'irrigation. Les inconvénients majeurs de ce type de logiciels résident dans leur coût, leur non modularité, l'inaccessibilité de leur code source et le manque de détails des équations programmées.

5 TOPKAPI : les ondes cinématiques opérationnelles

TOPKAPI signifie TOPographic Kinematic Approximation and Integration. Il a été conçu et développé par (Liu & Todini, 2002). Il s'agit d'un modèle hydrologique distribué à base physique. Les équations de l'onde cinématique sont intégrées à différentes échelles pour permettre une résolution de la transformation pluie-débit et de la propagation de la crue dans la rivière rapide. Il prend en compte l'évapotranspiration, la fonte des neiges et les transferts de l'eau dans le sol, en surface et dans les cours d'eau. En particulier, il modélise l'apparition

du ruissellement superficiel par saturation des zones contributives. Les paramètres de ce modèle sont invariants par changement d'échelle et se déterminent à partir de différentes données : le MNT, la carte des sols, la carte de la végétation, la carte d'occupation des sols. Il a été utilisé pour l'analyse de crues extrêmes, la détermination des impacts des changements climatiques, l'extension à des bassins non jaugés, le couplage avec des modèles généraux de circulation.

6 AIGA : la méthode spécifique aux crues éclair

Il s'agit d'une méthode développée conjointement par Météo France et le Cémagref qui a pour vocation la prévision opérationnelle des crues éclair (Gregoris et al., 2001). Les pluies introduites dans le modèle sont d'une part les pluies du radar météorologique (reçues toutes les 15 minutes) et d'autre part une précipitation prévue à une heure. Le modèle hydrologique à l'échelle du bassin versant utilisé est la méthode du SCS (US soil Conservation Service). Il faut fournir à cette méthode 2 paramètres ainsi qu'une condition initiale d'humidité. Cette dernière est fournie quotidiennement par ISBA. La sortie d'AIGA est une évaluation du risque basé sur la période de retour de l'événement ainsi prévu (2 à 10 ans, 10 à 50 ans, au-delà de 50 ans).

II.8 Les modèles Génie Rural GR :

Dans cette partie, nous développerons plus particulièrement la description de ce modèle que nous allons appliquer sur le bassin de la Mitidja.

Depuis une vingtaine d'années, la division hydrologie du groupe Cemagref Antony commence le développement d'une série de modèles GR pour Génie Rural de l'hydrologie opérationnelle. Ce sont des modèles conceptuels à réservoirs dont leur approche est globale. Le pas de temps de base était journalier (principe de parcimonie : GR3J trois paramètres ajustables) jusqu'à construction des modèles à pas de temps mensuel, annuel et interannuel.

II.8.1 Le calage et validation d'un modèle

Le calage consiste à sélectionner le jeu de paramètres d'un modèle pour que ce dernier simule le comportement hydrologique du bassin versant avec un maximum rapprochement de la réalité.

Le critère utilisé est le critère des moindres carrés des erreurs, présenté sous la forme adimensionnelle du critère de Nash borné. L'opération de calage consiste à trouver des valeurs des paramètres du modèle qui minimise l'erreur de modélisation sur la période considérée. Une période de 5 ans généralement est utilisée pour caler le modèle (Medane, 2012).

La validation porte sur l'application des modèles sur d'autres données non utilisées lors du calage des modèles.

II.8.2 Critères de qualité :

Pour vérifier si le modèle est valide, une comparaison des débits calculés et observés est effectuée à travers un critère de qualité. Pour les modèles conceptuels nous utilisons généralement le critère de Nash & Sutcliffe (1970) représenté dans l'équation suivante:

$$\text{Nash (Q)} = 100 \times \left[1 - \frac{\sum_i (Q_{i,\text{obs}} - Q_{i,\text{cal}})^2}{\sum_i (Q_{i,\text{obs}} - \bar{Q}_{\text{obs}})^2} \right]$$

$Q_{i,\text{obs}}$ et $Q_{i,\text{cal}}$ sont les débits observés et calculés au pas de temps i ,

Q_{obs} , est la moyenne des débits observés sur la période considérée.

Ce critère a été calculé en utilisant la racine carré des débits pour tenir compte de certaines valeurs particulières des débits tels que les débits de pointe, ou les débits d'étiage.

En pratique, lorsque le critère de Nash est faible (<70%) nous présumons que la simulation est de mauvaise qualité et est acceptable lorsqu'il est supérieur à 70%. Quant à 100% elle n'est presque jamais atteinte.

II.8.3 Objectifs de développement :

La simulation du débit à l'exutoire d'un bassin versant est nécessaire voire indispensable pour de nombreuses applications d'ingénierie et de gestion de la ressource en eau, telles que le dimensionnement et la gestion d'ouvrages, la prévision des crues ou des étiages, la détection d'impact, etc. C'est pour répondre à ces questions que le Cemagref a commencé à développer au début des années 1980 des modèles hydrologiques (du Génie Rural – GR) permettant de faire le lien entre la lame d'eau précipitée sur un bassin versant et son débit à l'exutoire (Medane, 2012).

Au-delà de leur aspect pratique, ces modèles ont soulevé des questions essentielles sur la façon de représenter la transformation de la pluie en débit à l'échelle du bassin versant (Medane, 2012).

II.8.4 Mode de développement :

Bien que ces modèles soient parfois apparentés à des modèles conceptuels du fait de leur structure à réservoirs, ce sont en fait des modèles empiriques: leur construction s'est faite sur la base de grands jeux de données et en découvrant progressivement la structure permettant de reproduire au mieux le comportement hydrologique du bassin versant (c'est-à-dire sa réponse aux pluies). Les idées suivantes se sont progressivement imposées au cours du développement de ces modèles pour permettre d'obtenir des modèles fiables et robustes: (Medane, 2012)

- représentation globale du bassin versant,
- approche empirique de développement sans recours a priori à la physique des écoulements,

- augmentation progressive de la complexité de la structure du modèle en partant de structures simples,
- justification de la complexité de la structure d'un modèle par ses performances,
- recherche de structures de modèle générales (applicables à des bassins variés),
- utilisation de larges échantillons de bassins versants pour tester les performances des modèles,
- évaluation d'un modèle par comparaison à d'autres structures de modèle.

II.8.5 Le modèle pluie-débit annuel GR1A :

Le développement de ce modèle global pluie-débit à un seul paramètre GR1A (modèle du Génie Rural à 1 paramètre Annuel) a été introduit à la fin des années 1990 par l'unité d'hydrologie au Cemagref ayant pour but la réalisation d'un modèle pluie-débit fiable et robuste dans le cas de l'utiliser et de l'appliquer pour la gestion et l'évaluation des ressources en eau de grand pas de temps.

II.8.6 Le modèle pluie-débit journalier GR4J :

Le développement de ce modèle global pluie-débit à quatre paramètres GR4J (modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journalier) a été introduit au début des années 1980 par l'unité d'hydrologie au Cemagref ayant pour but la réalisation d'un modèle pluie-débit fiable et robuste dans le cas de l'utiliser et de l'appliquer pour la gestion des ressources en eau, dimensionnement des ouvrages, détection d'impact, prévision des crues et des étiages, etc.

II.8.7 Le modèle pluie-débit mensuel GR2M :

Le développement de ce modèle global pluie-débit à quatre paramètres GR2M (modèle du Génie Rural à 2 paramètres Mensuel) a été introduit à la fin des années 1980 par l'unité d'hydrologie au Cemagref ayant pour but la réalisation d'un modèle pluie-débit fiable et robuste dans le cas de l'utiliser et de l'appliquer pour les étiages et la gestion des ressources en eau. Plusieurs versions ont été proposées de ce modèle par différents chercheurs citant Kabouya (1990), Kabouya et Michel (1991), Makhlouf (1994), Makhlouf et Michel (1994), Mouelhi (2003) et Mouelhi et al. (2006b), sachant que chaque version été plus performante que sa précédente. La structure de la dernière version celle de Mouelhi et al. (2006b), l'associe à des modèles conceptuels à réservoirs, pourtant est empirique, en suivant l'état d'humidité du bassin comme meilleur moyen de s'abstenir des conditions antérieures et pour que le modèle fonctionne en continu. Il consiste en une répartition en deux réservoirs : réservoirs de production et réservoir de routage en addition d'une sortie autre que le milieu atmosphérique car c'est la bonne illustration du comportement hydrologique.

❖ Représentation mathématique :

Un schéma de la structure est présenté dans la figure 6.

Tel que : P_k est la pluie mensuelle du mois k et E l'évapotranspiration potentielle moyenne pour le même mois calendaire.

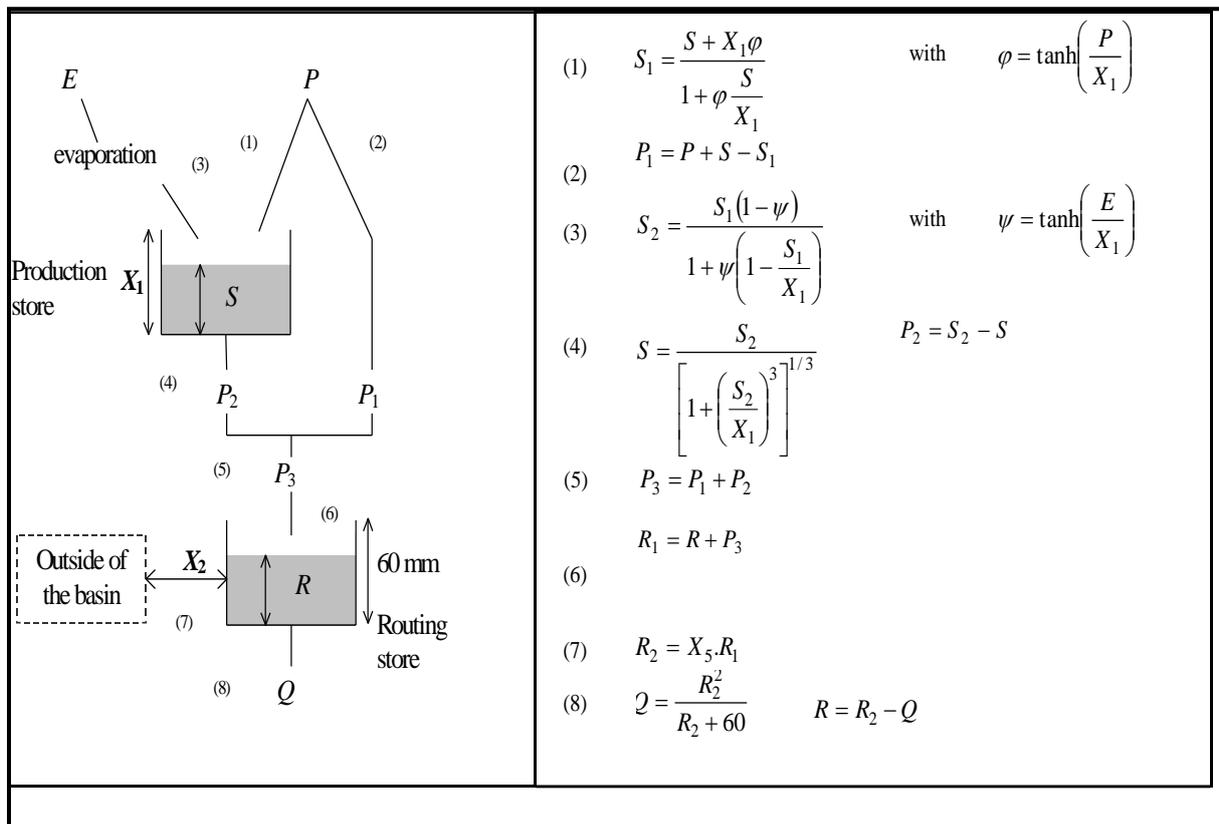


Figure 6 Schéma de la structure du modèle Gr2m (Cemagref)

Les deux entrées pluie (P) et évaporation potentielle (E) sont modulées dans la même portion et concomitamment en multipliant les valeurs de ces entrées par un coefficient X_1 ($0 < X_1 < 1$) qui est un des paramètres de modèle (Saidi, 2012).

Ce paramètre est pareil à un coefficient d'ajustement des entrées. En effet, les précipitations et les ETP sont des variables souvent douteuses, donc il est justicieux de laisser le modèle choisir la valeur corrective à attribuer. En suite, soustraction d'une quantité Z à chacune des pluie modulée P' et l'évapotranspiration potentielle modulée E' du moins considéré.

$$P' = X_1 P$$

$$E' = X_1 E$$

Cette quantité joue le rôle d'interception et permet de calculer les précipitations et les ETP nettes participant à l'écoulement. Au pas de temps mensuel, cette quantité sert à amortir l'effet brutal des entrées dans le modèle (Saidi, 2012).

La quantité Z est de la forme :

$$Z = \frac{P'E'}{(P^{1/2} + E^{1/2})^2}$$

Ces opérations sur la pluie et l'évapotranspiration donnent respectivement :

$$PN = X_1 P - Z$$

$$EN = X_1 E - Z$$

Soit H le niveau du réservoir sol en début du pas de temps. Une partie de PN augmente le niveau du réservoir, qui devient H_1 :

$$H_1 = \frac{H + AV}{1 + H \frac{V}{A}}$$

$$\text{Avec } V = \tanh\left(\frac{PN}{A}\right)$$

Le complément de PN est donc :

$$Pe = PN - (H_1 - H)$$

Sous l'effet de EN , le niveau H_1 du réservoir sol devient H_2

$$H_2 = \frac{H_1(1 - W)}{1 + W\left(1 - \frac{H_1}{A}\right)}$$

$$\text{Où } W = \tanh \frac{EN}{A}$$

H_2 correspond au niveau de réservoir pour le pas de temps suivant.

Nous pouvons déduire l'évapotranspiration réelle en faisant la différence entre les niveaux du réservoir sol au début et à la fin de chaque pas de temps.

Le réservoir eau gravitaire reçoit $(1 - \phi)P_2$, tandis que ϕP_e s'écoule directement.

Le niveau S du réservoir eau gravitaire au début du mois considéré augmente et devient S_1

$$S_1 = S + (1 - \phi)P_e$$

Le débit délivré par ce réservoir est:

$$Q_g = X_2 S_1$$

Avec $0 < X_2 < 1$, X_2 étant le second paramètre du modèle.

Le niveau S_2 du réservoir à la fin du pas de temps de calcul est alors :

$$S_2 = S_1 - Q_g$$

L'écoulement total Q s'écrit alors :

$$Q = Q_g + \phi P_e$$

❖ Paramètres :

Le modèle a deux paramètres ajustables :

- **X1** : Capacité du réservoir de production (mm).
- **X2** : Coefficient d'échanges souterrains (-).

Sur un large échantillon de bassins versants, on obtient les valeurs données dans le tableau 1 :

Tableau 1 Paramètres du modèle Gr2m

Paramètre	Médiane	Intervalle de confiance à 90%
X1 (mm)	380	140-2640
X2 (-)	0,92	0,21-1,31

II.9 Conclusion :

Après la compréhension des différentes notions du modèle hydrologique (modèle pluie-débit), et après une bonne explication du fonctionnement du modèle du génie rurale choisi Gr2m. de la nous pouvons procéder à son application à l'échelle du bassin versant de la Mitidja.

Chapitre III :

Modélisation des bassins de

la Mitidja

Chapitre III : Modélisation des bassins de la Mitidja

III.1 Introduction :

Notre recherche était consacrée au modèle du génie rural Gr2m avec une démonstration de son fonctionnement à partir des bassins de la Mitidja et cela par les données référentielles des stations hydrométriques qui se propagent dans la région. Les résultats trouvés et leurs discussions sont apportés dans ce chapitre.

III.2 Fonctionnement du modèle GR2M :

III.2.1 Les données du modèle :

III.2.1.1 Les données pluviométriques :

La précipitation est la source principale de notre approvisionnement en eau, les relevés de précipitation sont donc à la base de nombreuses études et projets qui ont trait aux approvisionnements en eau, aux inondations, à la sécheresse, à l'irrigation et aux structures de contrôle ainsi qu'aux études de modélisation hydrologique (Saidi, 2012). La précipitation comprend toutes les formes d'humidité tombant de l'atmosphère à la surface de la terre. Sa source primaire est la vapeur d'eau présentée sous forme de vapeur, de liquide et de solide. Elle s'accroît par l'évaporation et la transpiration et elle décroît avec la précipitation. Une étude faite par Allis, et al, (1963) a démontré que "la vraie précipitation pour une région donnée est inconnue". Ceci est sans doute dû à l'erreur instrumentale des pluviomètres et à l'hétérogénéité naturelle de la précipitation. Les erreurs commises dans la mesure des pluies sont généralement dues au changement du type de pluviomètre, l'inclinaison du pluviomètre, l'évaporation et l'effet du vent. Lorsque la précipitation est relativement uniforme et que les mesures sont représentatives, la moyenne arithmétique de plusieurs valeurs peut fournir un estimé satisfaisant de la quantité de pluie moyenne d'une région, ainsi que par la méthode des polygones de Thiessen et celle des isohyètes (Oray, 1972). Nous avons appliqué la méthode de Thiessen pour calculer la précipitation moyenne, c'est une méthode purement géométrique, Elle permet d'identifier à partir de la densité du réseau pluviométrique, les zones d'influences et la précipitation moyenne, cette dernière est donnée par l'expression suivante (Saidi, 2012):

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S}$$

Avec :

S_i : Surface d'influence du pluviomètre i

P_i : Précipitation au poste i

S : Surface du bassin versant

III.2.1.2 L'évapotranspiration potentielle:

L'évapotranspiration notée ETP, implique l'eau utilisée par les procédés d'évaporation et de transpiration il est évident que Plusieurs facteurs, notamment les facteurs climatiques qui influent l'évaporation affectent aussi l'évapotranspiration. Parmi ces facteurs l'intensité et la durée de la radiation solaire, les conditions du vent, l'humidité relative, le couvert nuageux, la pression atmosphérique et d'autres. Elle est estimée par une mesure par évaporomètre ou déduite par des formules empiriques telles que celles de Penman, Turc, Thorntwaite ... etc. L'unité de l'évapotranspiration est le millimètre sur le pas de temps désiré (mois dans notre cas). Les données de l'ETP, utilisées ont été calculées par la formule de Thorntwaite, c'est une méthode empirique qui a été établie par ajustement statistique (Thorntwaite, 1951). Il est souvent aisé de calculer L'ETP par cette formule car elle nécessite des données climatiques relativement simple à acquérir (Saidi, 2012).

La formule de Thornthwaite est la suivante :

$$ETP \text{ (mm)} = 16 \cdot (10 \cdot (T/I))^a \cdot F(\lambda)$$

Avec :

T : Température moyenne de la période considérée en °C;

I : indice thermique annuel qui est la somme des douze indices thermiques mensuels i , avec

$$i = (T/5)^{1.514}$$

a est une fonction complexe $a = (6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3) - (7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2) + (1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I) + 0,49$

$F(\lambda)$ est un terme correctif qui intègre la durée théorique d'insolation dépendant de la latitude et du mois.

III.2.1.3 Les données hydrométriques :

Suite à une pluie tombée sur le bassin versant, tout un mécanisme complexe d'interaction de phénomènes hydrologiques et climatologiques se met en oeuvre. Il se traduit par une circulation directe ou indirecte, de l'eau à travers le sol ou le sous-sol en passant par les cours d'eau secondaires puis principaux, et finissant par l'exutoire du bassin versant.

A l'échelle globale du bassin versant, le débit à l'exutoire traduit la réaction de tout le bassin suite à une pluie. Il est mesuré par différentes techniques hydrométriques, par exemple: le jaugeage par moulinet ou le jaugeage chimique. Ce débit est exprimé en mètre cube par seconde (m^3/s). Pour les nécessités de calcul du modèle, les débits sont exprimés en mm d'eau par mois (apports) (Saidi, 2012).

La formule de transformation est la suivante :

$$Q \text{ (mm/mois)} = (Q \text{ (m}^3\text{/s)} * 24 * 3600 * (30 ; 31 ; 29) * 1000) / A \text{ (m}^2\text{)}$$

III.2.2 Méthodologie de modélisation

Le modèle retenu (GR2M) fonctionne au pas de temps mensuel. Ce modèle, de type conceptuel, est réglé par deux paramètres (GR pour **G**énie **R**ural, **2** pour Deux paramètres, **M** pour le pas de temps **M**ensuel). Deux paramètres, X1 et X2 règle la génération de débits mensuels. Les valeurs de ces deux paramètres sont déduites d'une période d'apprentissage durant laquelle sont comparés les débits observés et ceux calculés par le modèle grâce à la seule connaissance des pluies de chaque mois. A travers ces valeurs, on vise à réduire l'écart entre débits observés et débits calculés (Saidi, 2012).

III.2.2.1 Le calage :

Le calage consiste à sélectionner le jeu de paramètres du modèle pour que ce dernier simule le comportement hydrologique du bassin versant avec un maximum rapprochement de la réalité à travers des résolutions mathématiques et des algorithmes établis en fonction du type de simulation.

Cette opération peut être exécutée manuellement, par essais et erreurs ou automatiquement à partir d'algorithmes de recherche d'optimum.

III.2.2.2 La validation :

C'est la phase de contrôle pour s'assurer la représentation du monde réel est bien faite et les sorties correspondent à de vrais observations.

La validation consiste à sélectionner le jeu de paramètres du modèle pour que ce dernier simule le comportement hydrologique du bassin versant et de le comparer aux sorties réelles.

III.2.3 Optimisation des paramètres de calage du modèle :

L'optimisation des paramètres d'un modèle pluie-débit a pour but de trouver le jeu de paramètres qui rapproche le plus possible le comportement du modèle de celui du bassin modélisé, la similitude des comportements étant qualifiée par un critère servant à l'optimisation des paramètres et mesurant ce degré de similitude (Saidi, 2012). Le calage demande donc le choix à la fois d'un critère de qualité, d'une méthode pour identifier les paramètres, ainsi que de séries de données destinées à fournir l'information nécessaire au calage (Saidi 2012). C'est une phase délicate, souvent plus délicate que le modèle a un nombre élevé de paramètres. Avec l'amélioration des moyens de calcul, les méthodes automatiques de calage sont de plus en plus utilisées, par opposition à des techniques manuelles utilisant généralement des critères graphiques (Saidi, 2012).

Le modèle GR2M a été programmé sur une feuille Excel version 1.0 créée en Octobre 2006 et c'est la dernière version développée par Cemagref .Nous avons divisé les séries

d'observation en deux sous périodes, l'une pour le calage du modèle et l'autre pour la validation de ce dernier pour chacune des dix stations. Les paramètres du modèle sont optimisés à l'aide de l'outil 'SOLVEUR' du logiciel Excel jusqu'à l'obtention d'une valeur de Nash proche de 100% et d'un meilleur ajustement entre les débits observés et les débits calculés par le modèle.

III.2.4 Initialisation du système et la période de mise en route :

La mise en œuvre d'un modèle pluie-débit, l'évaluation de sa performance ainsi que l'optimisation des paramètres nous oblige à partir d'un état initial du système. Elle consiste à prédéfinir des valeurs initiales pour les paramètres du modèle avant de passer à la phase d'optimisation ou autrement dit avant sa confrontation à la réalité hydrologique observée. Dans le cas où le modèle comporte des réservoirs, cette phase d'initialisation consiste aussi à prédéfinir les niveaux initiaux de ceux-ci avant le calage.

Dans une modélisation empirique ou conceptuelle, cette phase d'initialisation apparaît comme une nécessité physique, généralement cet état initial est défini de façon arbitraire par le modélisateur. Cependant, le choix d'un état initial peut influencer le jeu optimal de paramètres du modèle ainsi que sa performance. Pour remédier à cette contrainte, on choisit généralement une période de mise en route. La période de mise en route est donc une solution au problème du choix arbitraire des niveaux initiaux des réservoirs au début de la période test (Saidi, 2012).

Elle consiste à prendre en compte que les résultats après une durée d'observation fixée au préalable. A titre d'exemple, Perrin (2000) a utilisé une période de mise en route une année. Bouabdallah (1997) a fixé la période de mise en route à 2 ans lors de l'élaboration de GR1A (mouelhi, 2003).

Pour notre cas, la période de mise en route choisie est 12 mois pour un pas de temps mensuel.

III.3 Approche :

La Mitidja est séparée en plusieurs sous bassins grâce aux oueds qui l'alimentent. Cependant plusieurs stations hydrométriques parcourent ces sous bassins, certains possédant même deux stations à la fois tandis que d'autres aucune. Le nombre de points hydrométriques est de dix (10), par contre nous allons éliminer deux stations par manque de données fournies par ces dernières. La carte des bassins de la Mitidja est en figure 07.

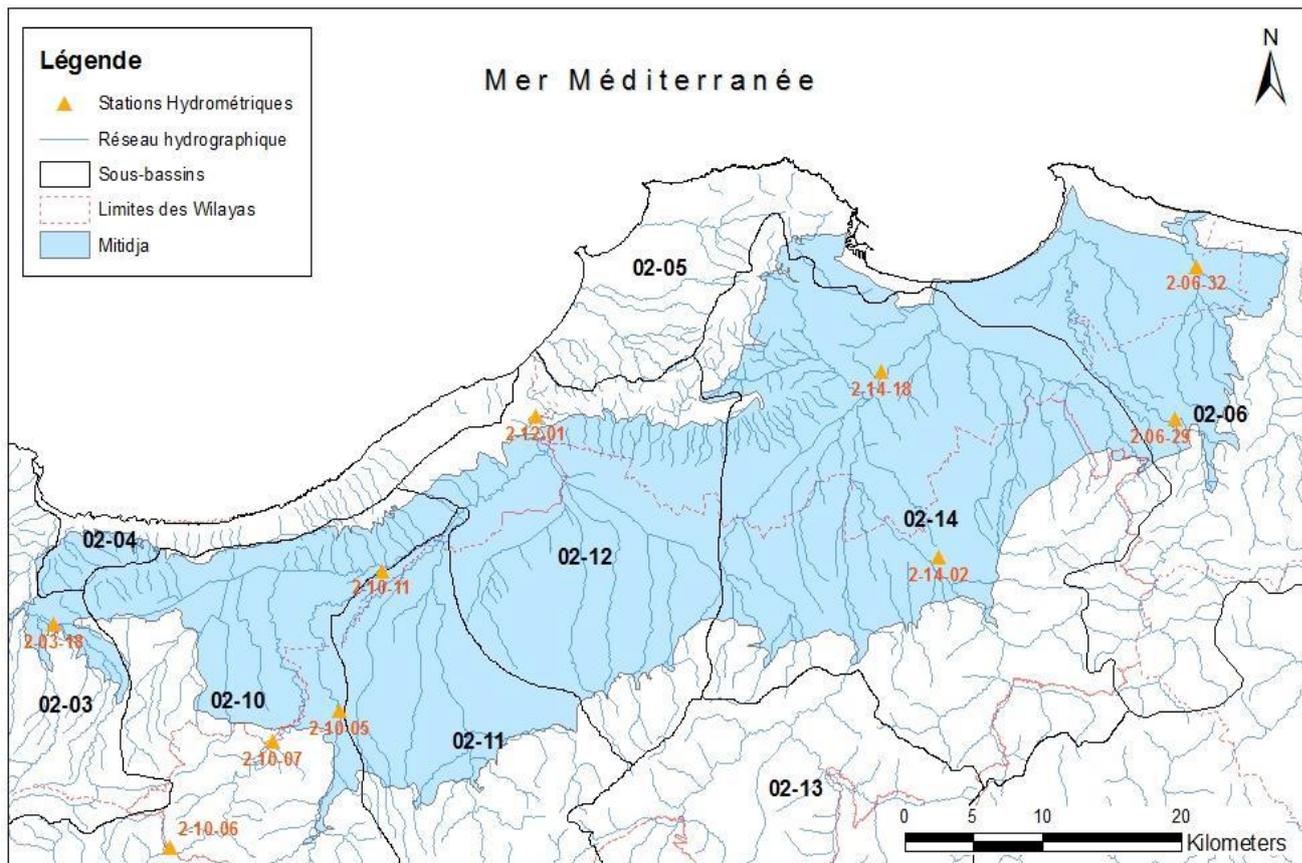


Figure 7 Carte des bassins versants de la Mitidja(Yahiaoui, 2011)

Les données disponibles de chacune des stations sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 2 Données des stations hydrométriques de la Mitidja (Kortbi, 2012)

CODE STATION	Nom du sous-bassin dérivé	Oued	Surface (km ²)	Pluie	ETP	Débit	Pompage
2-03-18	Hadjout	Bourkika	83.01	42 ans (1966-2007)	42 ans (1966-2007)	Nov 1971 – Aout 1991 (lacunes : Mars 1984 / Juin-Juill 1986 / Sep - Nov 1987) [20 ans avec lacunes]	/
2-06-29	Pont D9	Hamiz	157.78	42 ans (1966-2007)	42 ans (1966-2007)	Sep 1973 – Aout 1975 et Sep 1980 – Aout 1983 (lacune : Dec 1980) [5 ans non continus]	24 ans (1982-2005)
2-06-32	Reghaia	Reghaia	50	7 ans (Sep 1986 – Aout 1993)	Sep 1986 – Aout 1993	Sep 1986 – Aout 1993 (lacune : Dec 1992) [7 ans avec une lacune]	24 ans (1982-2005)
2-10-05	Bouroumi	Bouroumi	239.38	42 ans (1966-2007)	42 ans (1966-2007)	Nov 1973 – Aout 1982 et Sep 1983 – Aout 1984 [10 ans non continus]	/
2-10-06	Boumedfaa	Djer	338.95	42 ans (1966-2007)	42 ans (1966-2007)	Sep 1969 – Aout 1996 (lacunes : Aout 1995 / Avril 1996) [27 ans avec lacunes]	/
2-10-07	EL Affroun	Djer	389.43	42 ans (1966-2007)	42 ans (1966-2007)	Sep 1969 – Aout 1994 (lacunes : Oct 1986 – Fev 1987) [25 ans avec lacunes]	/
2-10-11	Attatba	Bouroumi	674.48	42 ans (1966-2007)	42 ans (1966-2007)	Sep 1981 – Aout 1997 (lacune : Aout 1984) [16 ans avec une lacune]	24 ans (1982-2005)
2-12-01	Fer à Cheval	Mazafran	1898.93	42 ans (1966-2007)	42 ans (1966-2007)	Sep 1981 – Juin 1996 (lacunes : Juil 1984 / Juil 1985 / Mars 1991 / Jan-Avril 1996) et Sep 2003 – Aout 2004 (lacune : Nov 2003) [16 ans non continus avec lacunes]	24 ans (1982-2005)
2-14-18	Baraki (pont)	EL Harrach	955.46	42 ans (1966-2007)	42 ans (1966-2007)	Sep 1979 – Juin 1983 (lacune : Nov 1982) et Sep 1985 – Aout 2003 [22 ans non continus avec lacunes]	24 ans (1982-2005)
2-14-02	Larbaa	Djemaa	130	9 ans (Sep 1985 – Aout 1994)	Sep 1985 – Aout 1994	Sep 1985 - Aout 1994 [9 ans]	24 ans (1982-2005) N'a été gardé que la période Sep 1985 – Aout 1994 (9 ans)

III.3.2 Résultats de manipulation du modèle GR2M :

Pour évaluer la performance du modèle, les chroniques de pluviométrie de chaque station sont divisées en deux pour effectuer la phase de calage puis celle du contrôle. Notons que les données entrées dans l'étape de calage ne doivent pas être prises lors de l'étape de validation ou de contrôle.

Les résultats de l'application du modèle Gr2m sur le bassin de la mitidja à travers les huit stations hydrométriques sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 Résultats de calage et de validation par modèle GR2M

	Phase	Période	X1 (mm)	X2	Nash (%)	observation
Attatba	Calibration	1981-1989	6.39	0.03	73.4	
	Validation	1989-1997	6.33	0.02	78.2	
Boumedfea	Calibration	1969-1972	6.30	0.02	89.1	
	Validation	1972-1995	6.30	0.02	76.1	
Bouroumi	Calibration	1973-1978	6.27	0.03	82.6	
	Validation	1978-1982	6.33	0.03	54.5	Nash< 70%
El affroun	Calibration	1969-1977	6.30	0.02	87.3	
	Validation	1977-1985	6.33	0.03	88.5	
Fer-à-cheval	Calibration	1981-1988	6.29	0.01	62.7	Nash< 70%
	Validation	1988-1995	6.31	0.01	75.3	
Hadjout	Calibration	1972-1988	6.30	0.03	77.8	
	Validation	1988-1996	6.28	0.03	70.6	
Larbaa	Calibration	1985-1990	6.48	0.03	78.4	
	Validation	1990-1994	6.34	0.07	50.5	Nash< 70%

Tout d'abord, remarquons que les séries des données diffèrent d'une station hydrométrique à une autre (entre 9 ans dans le cas de la station de Larbaa et 26 ans dans le cas de la station de Boumedfea).

Remarque : Les valeurs très petites du paramètre X2 : coefficient de capacité d'échange, sont dues au fait que les débits observés sont très faibles dans les oueds de la région. La plupart de ces débits mensuels sont de 10^{-3} à 10^{-6} mm/mois.

III.3.3 Discussion des résultats du calage et de la validation :

1- Station d'Attatba (2-10-11) :

- Calage :

Les valeurs obtenues lors de la phase de calibration et de validation ne sont pas de grande différence, les graphes sont représentés en dessous :

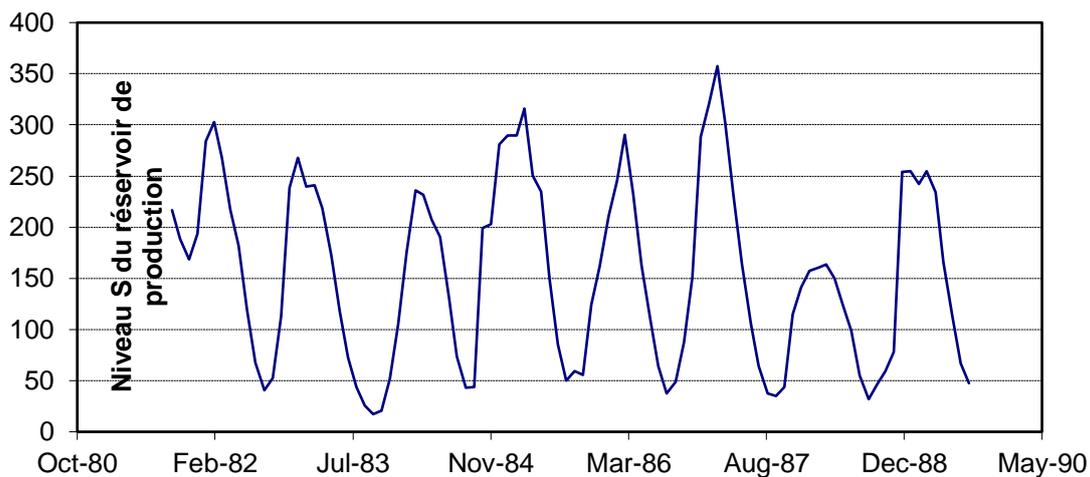


Figure 8 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station d'Attatba par modèle GR2M (calage)

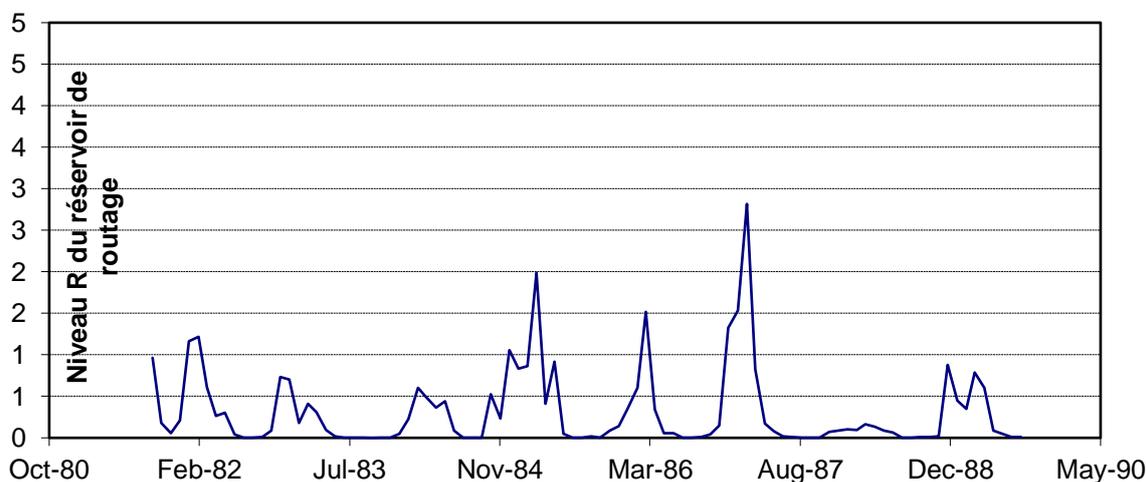


Figure 9 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station d'Attatba par modèle GR2M (calage)

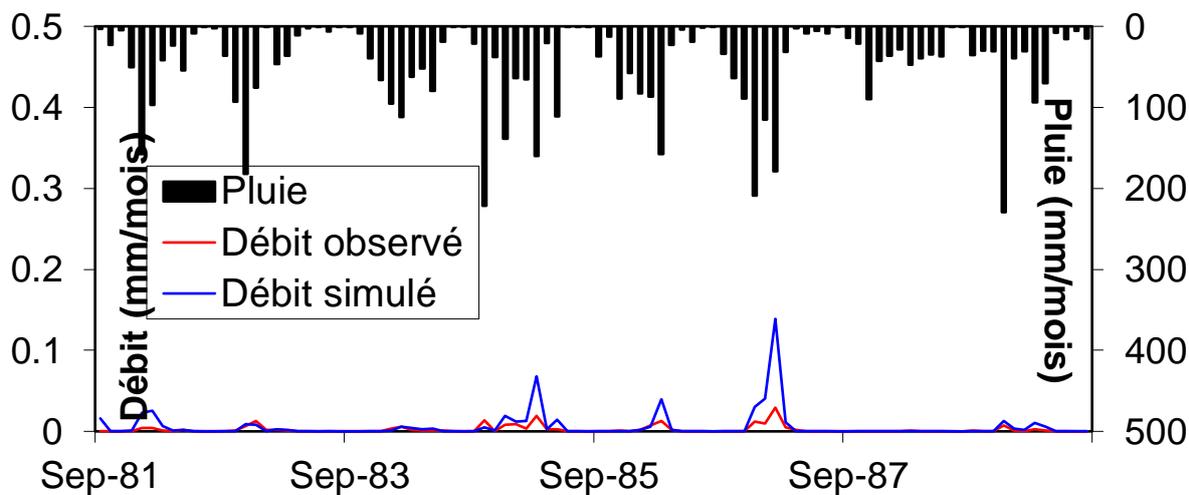


Figure 10 Hydrogramme des débits et de pluies de la station d'Attatba (calage)

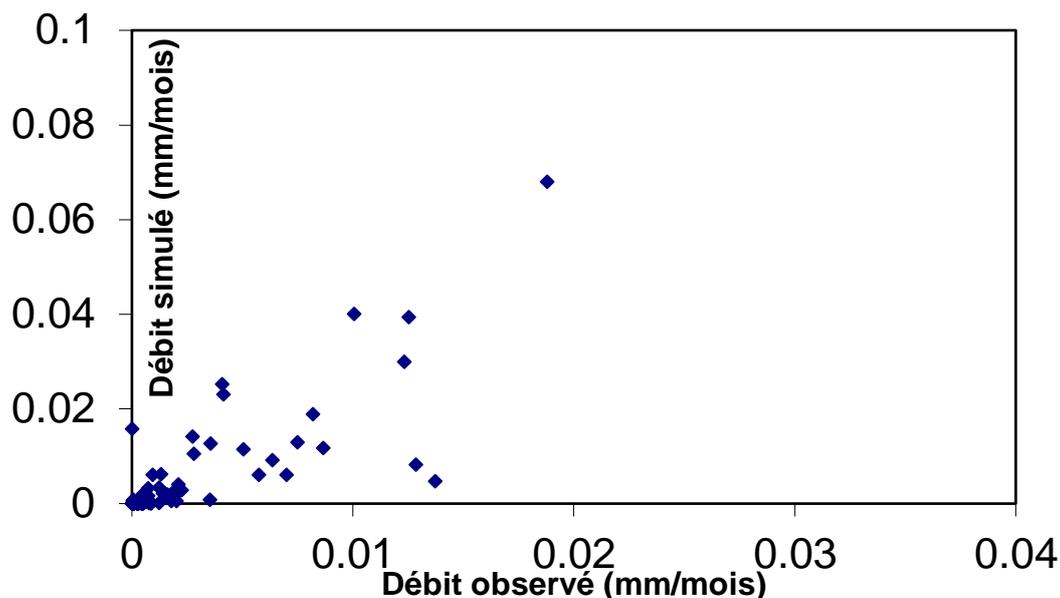


Figure 11 Graphe des débits simulés et débits observés de la station Attatba GR2M(calage)

- Les courbes dessinées dans les graphes représentant les niveaux de remplissage des deux réservoirs du modèle hydrologique respectivement S et R sont similaires. Seulement, l'échelle du réservoir R est plus petite car nous sommes en présence de débits de très faible valeur.
- Homogénéité bien observée entre les deux débits mesuré et calculé dans les graphes. Par contre, l'hydrogramme démontre une surestimation du débit simulé en quelques points et elle est plus remarquable dans l'année 1986.
- La surestimation est due au fait que l'oued Bouroumi est dirigé vers le barrage portant le même nom dans la région, donc l'apport devient très faible.

- Validation :

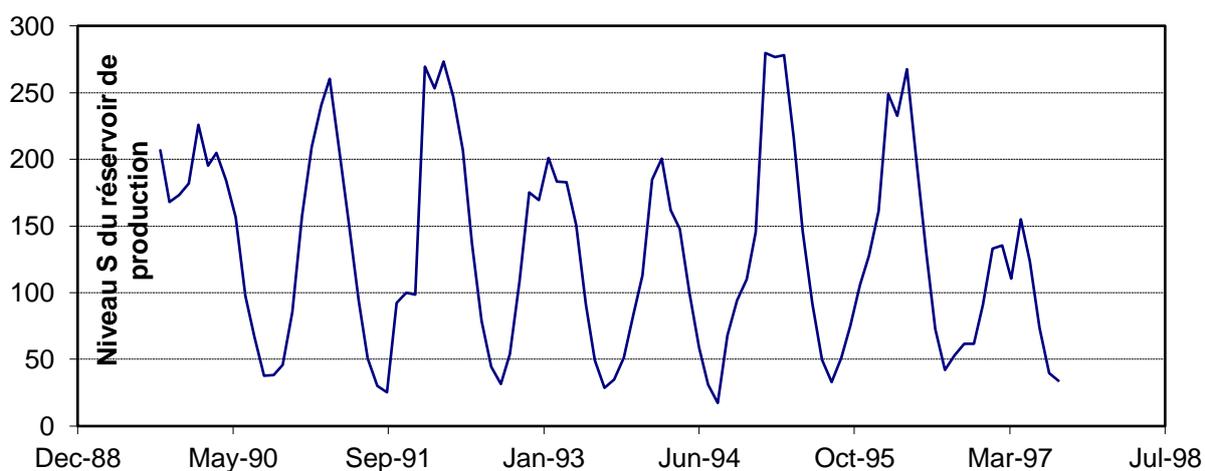


Figure 12 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station d'Attatba par modèle GR2M (validation)

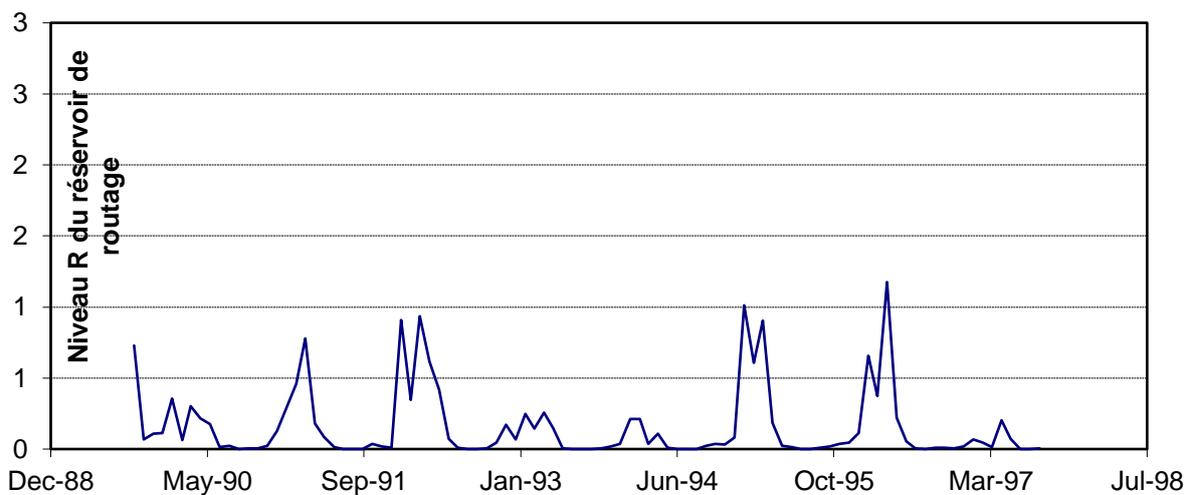


Figure 13 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station d'Attatba par modèle GR2M (validation)

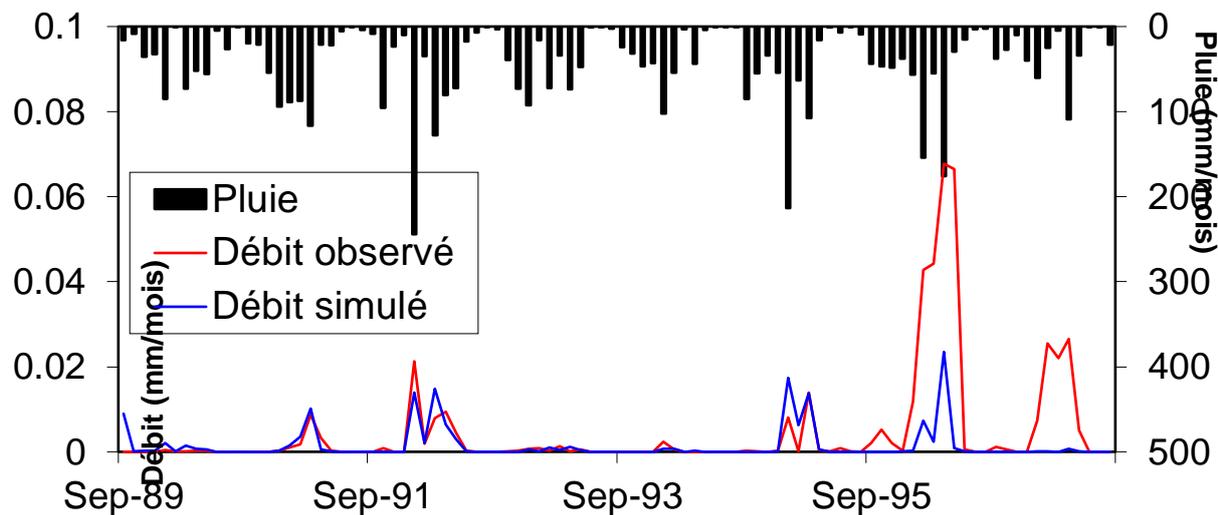


Figure 14 Hydrogramme des débits et de pluies de la station d'Attatba (validation)

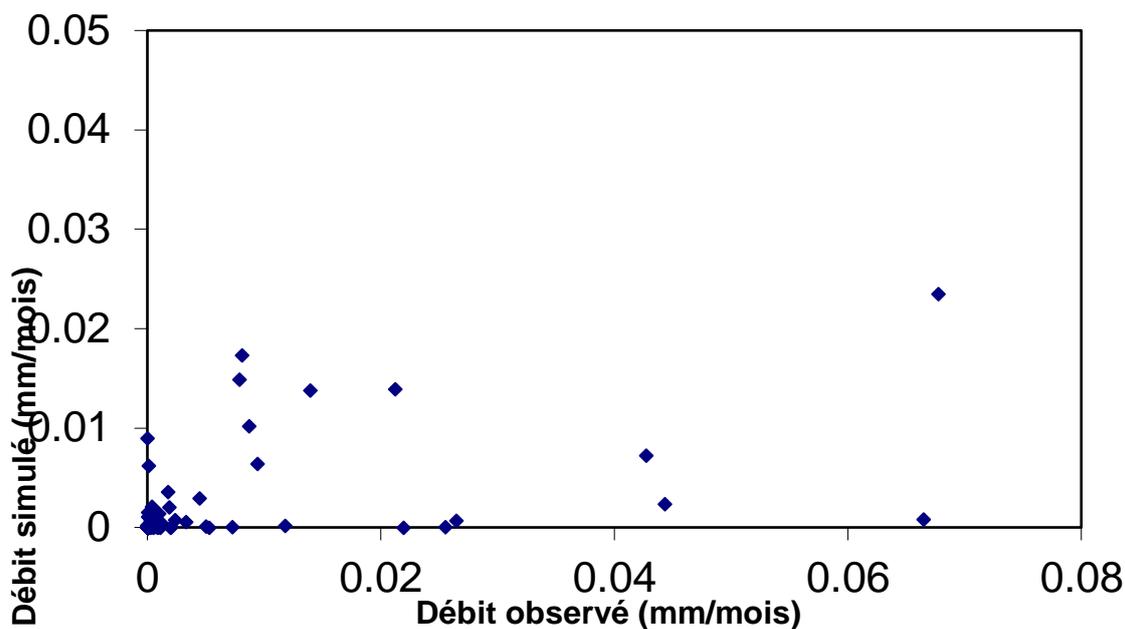


Figure 15 Graphes des débits

- Par contre, dans cette phase le débit simulé est sous-estimé à partir de 1996.
- Le graphe des débits démontre une anarchie dans la disposition des points donc une incohérence entre le débit observé et le débit calculé. Cela prouve l'influence du flux sur l'oued dévié vers le barrage.

2- Station de Bouroumi (2-10-05):

- Calage :

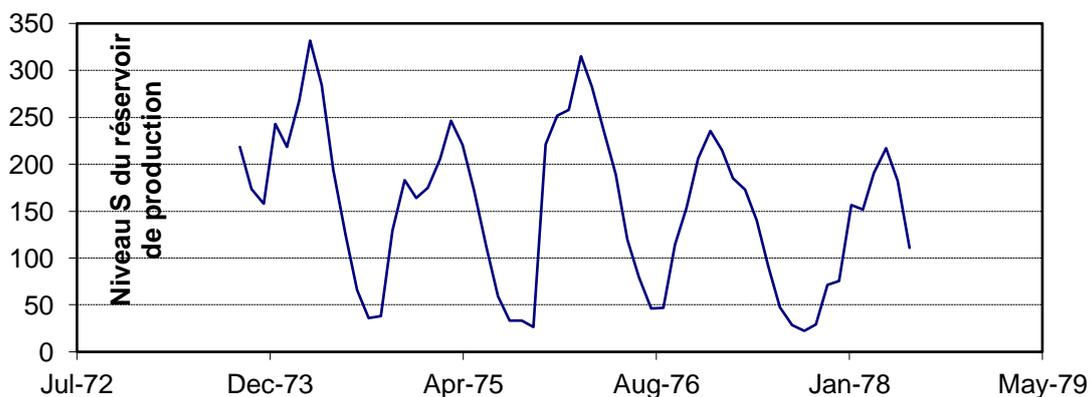


Figure 16 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de bouroumi par modèle GR2M (calage)

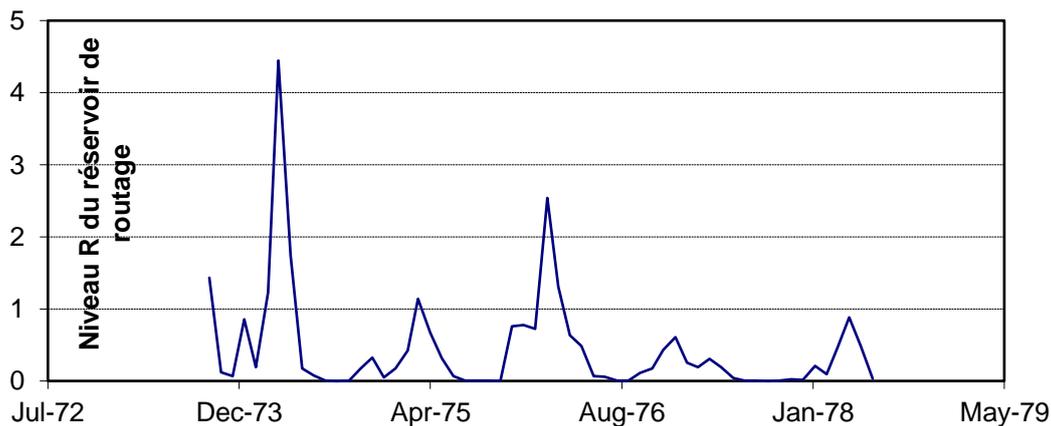


Figure 17 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de bouroumi par modèle GR2M (calage)

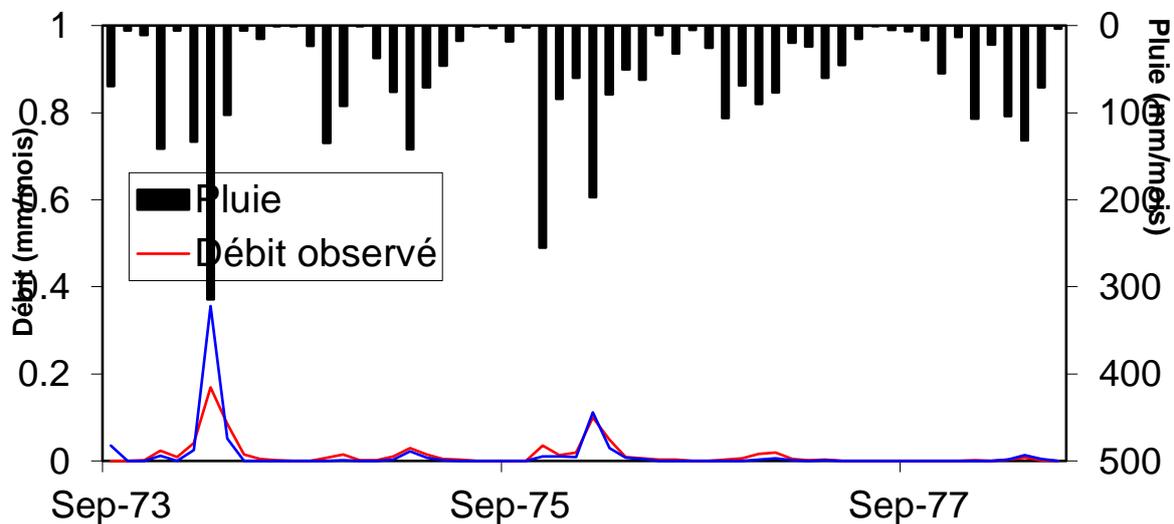


Figure 18 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de bouroumi (calage)

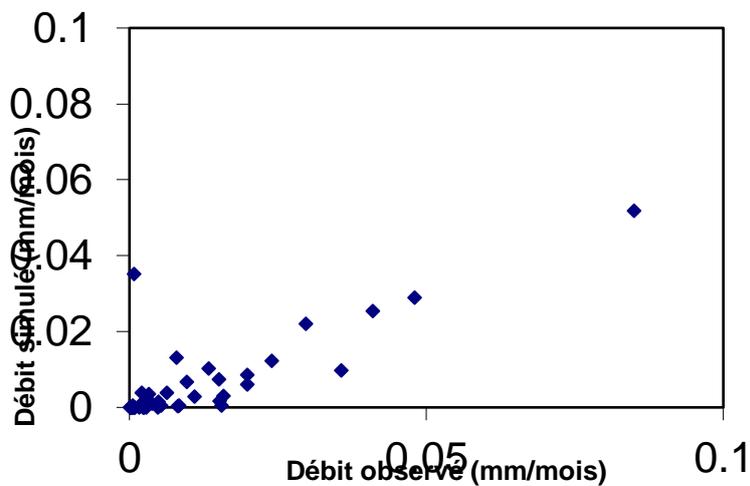


Figure 19 Graphe des débits

- Vidange brusque du réservoir de routage R en 1974 après une rétention en début de l'année à cause d'une forte pluie enregistrée dans le mois et qui a engendré une surestimation du débit simulé par le modèle comme est montré dans l'hydrogramme.
- Similitude entre les deux débits dans l'ensemble des représentations pendant toute la phase, donc sûrement, cette partie du bassin est moins affectée par le barrage par rapport à celle du sous bassin versant d'Attatba.

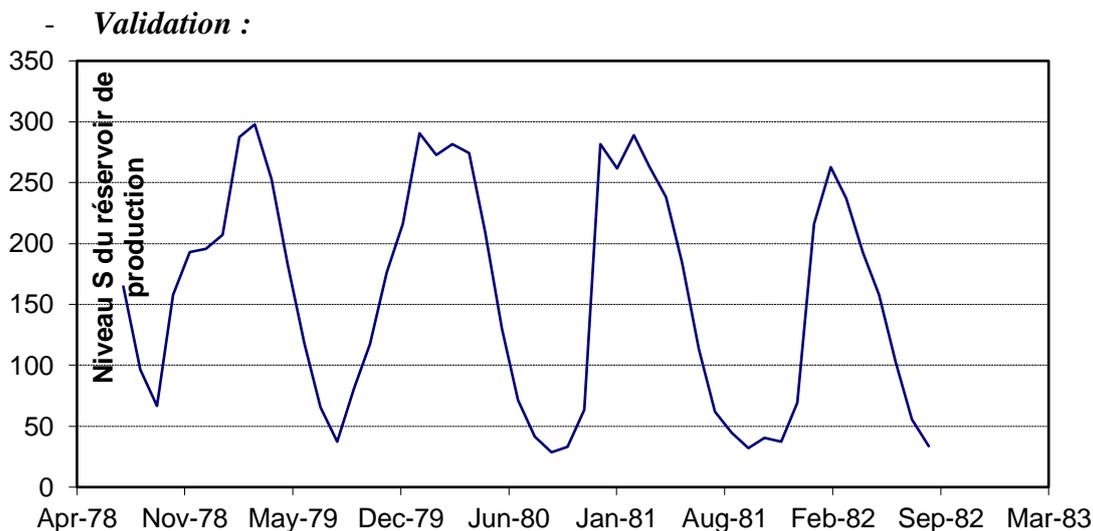


Figure 20 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de bouroumi par modèle GR2M (validation)

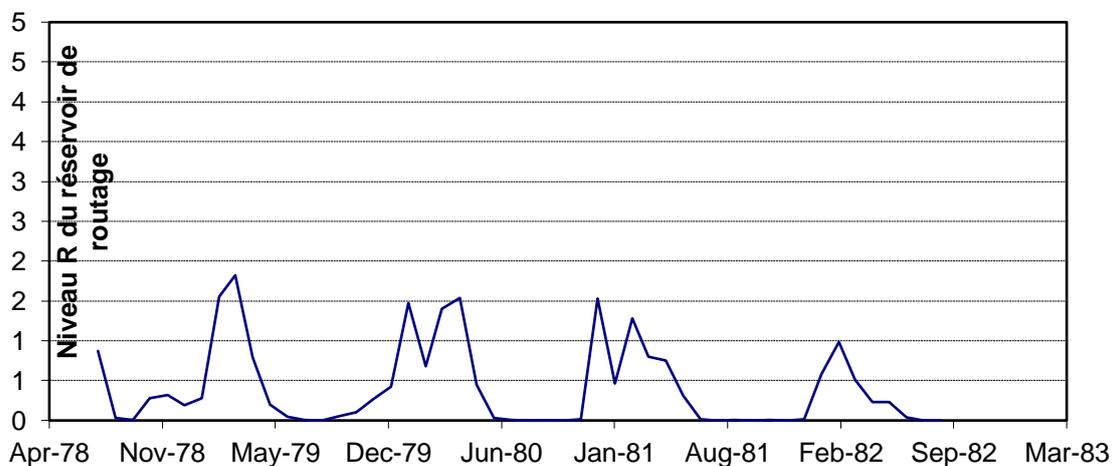


Figure 21 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de bouroumi par modèle GR2M (validation)

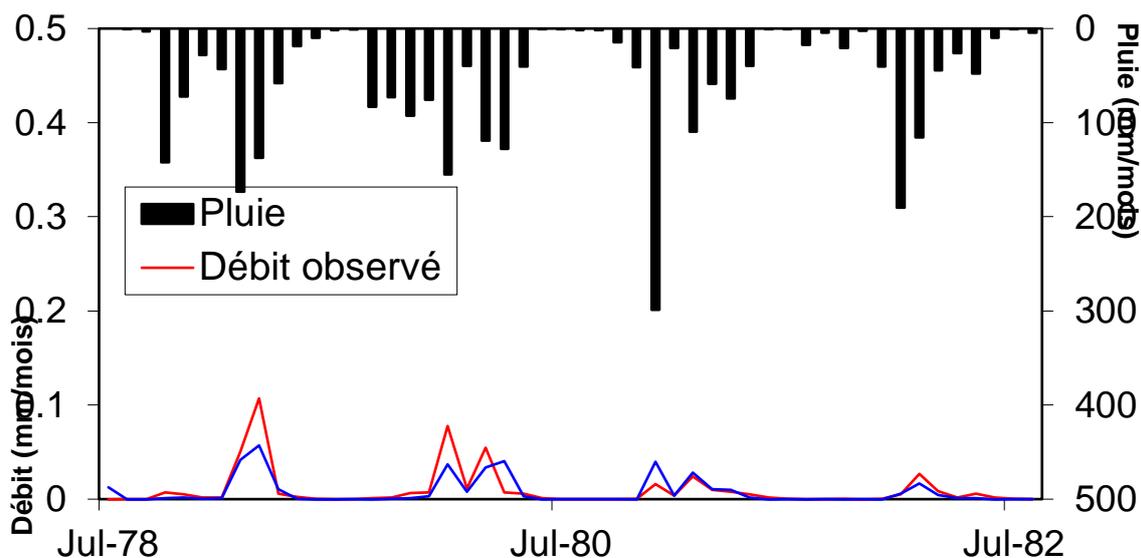


Figure 22 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de Bouroumi (validation)

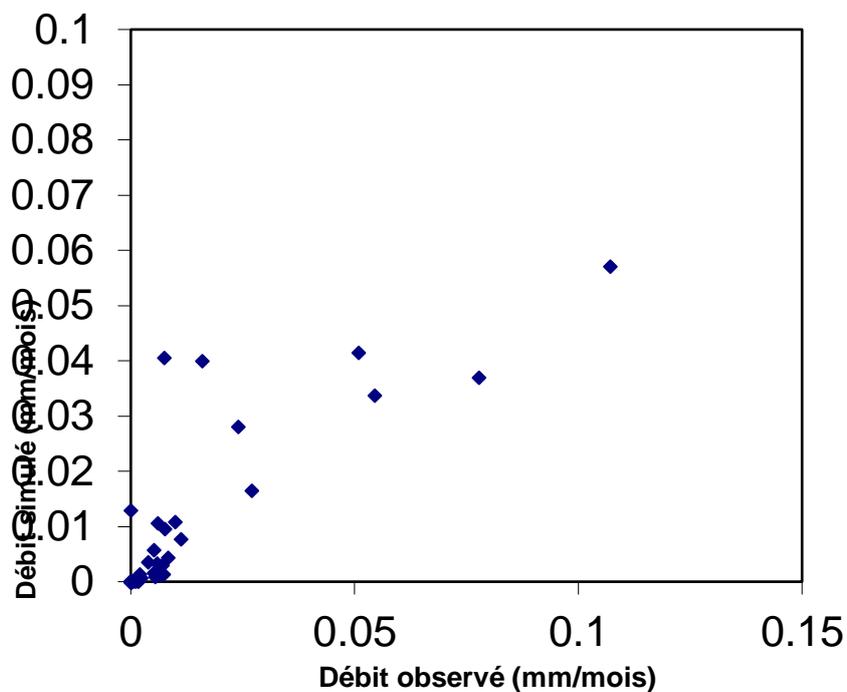


Figure 23 Graphe des débits

- Dans la phase de validation du modèle de la station de Bouroumi il y a une petite perturbation d'où le coefficient de Nash soit inférieur à 70%. Cela est dû au manque de données pour cette période car elle n'atteint pas les 5 ans et c'est la période optimum pour un meilleur résultat du modèle GR2M.

3- Station de Boumedfea (02-10-06):

- Calage :

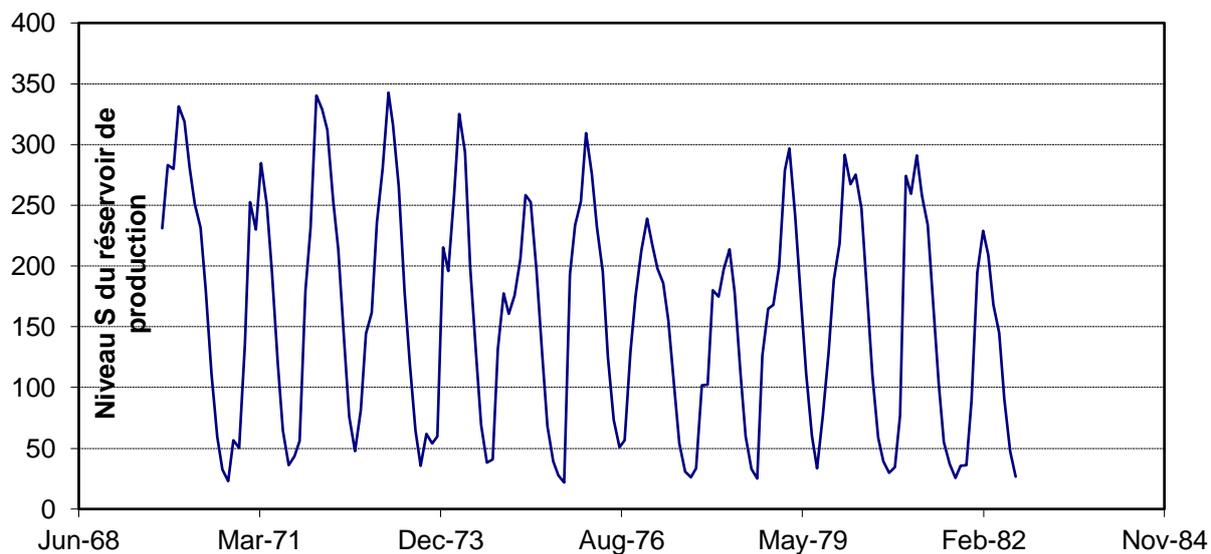


Figure 24 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de boumedfea par modèle GR2M (calage)

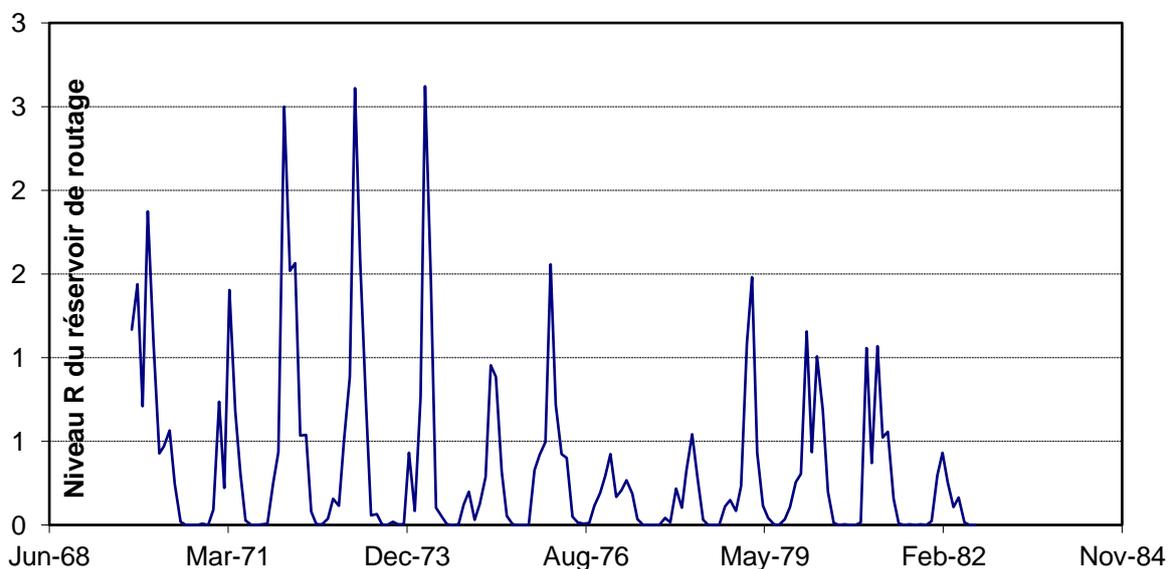


Figure 25 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de boumedfea par modèle GR2M (calage)

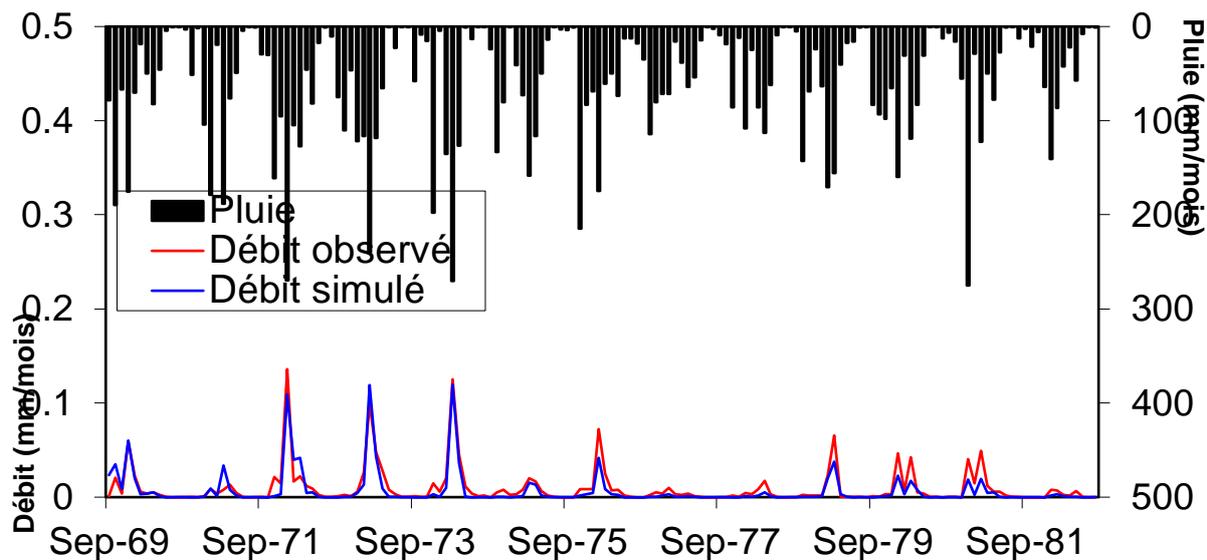


Figure 26 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de boumedfea (calage)

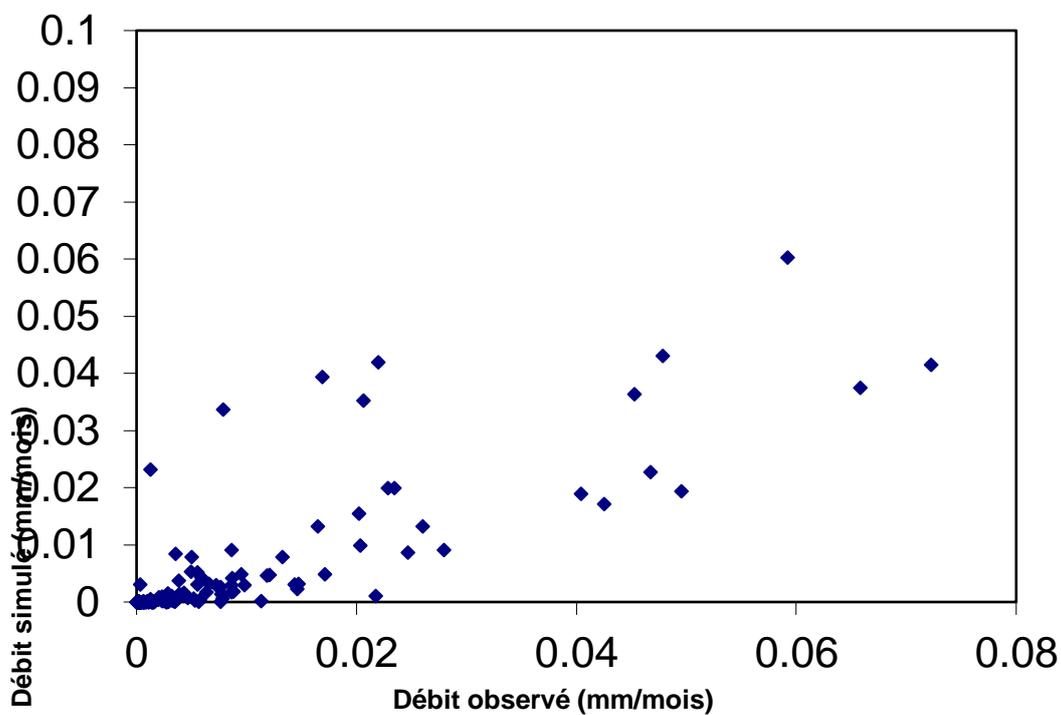


Figure 27 Graphedes débits

- Validation :

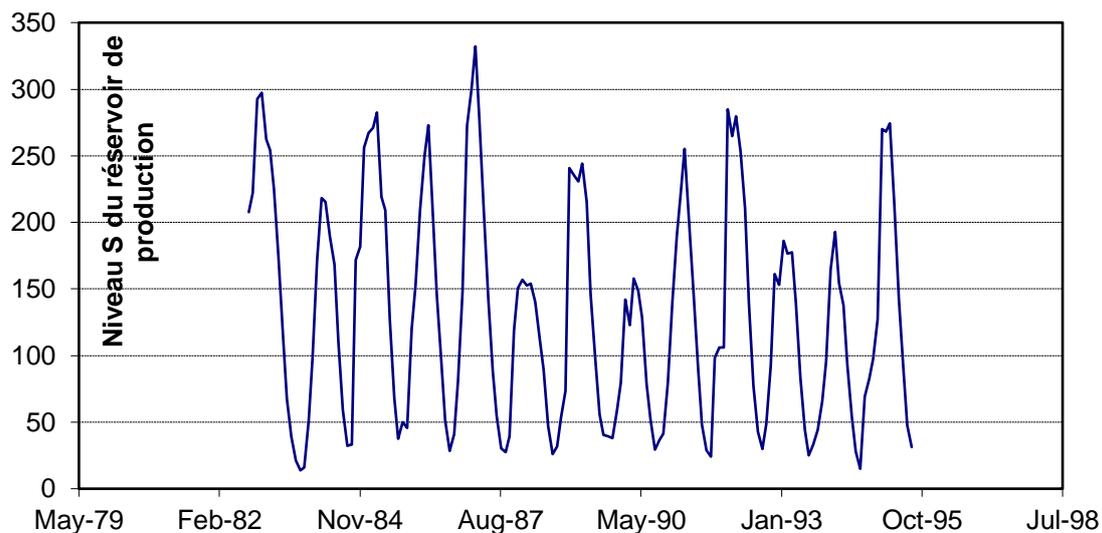


Figure 28 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de boumedfea par modèle GR2M (validation)

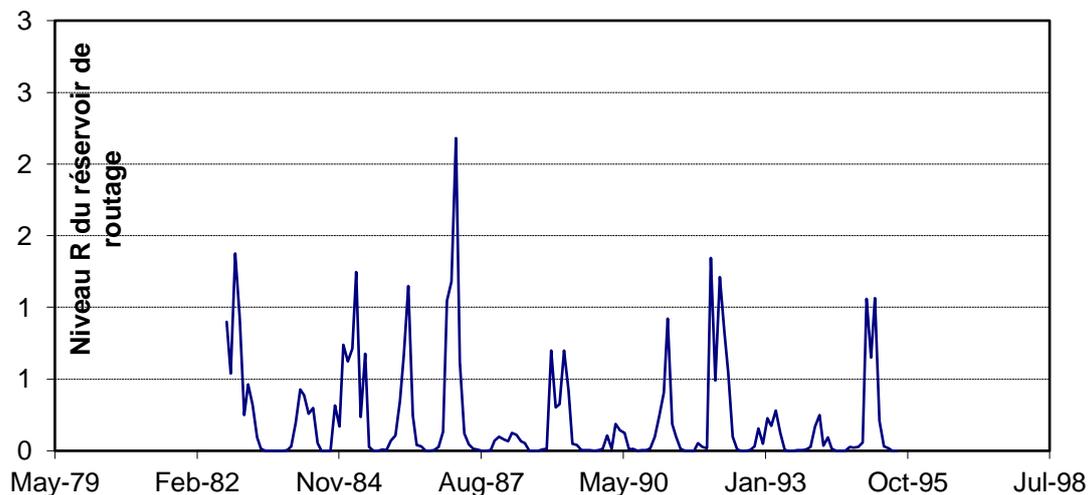


Figure 29 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de boumedfea par modèle GR2M (validation)

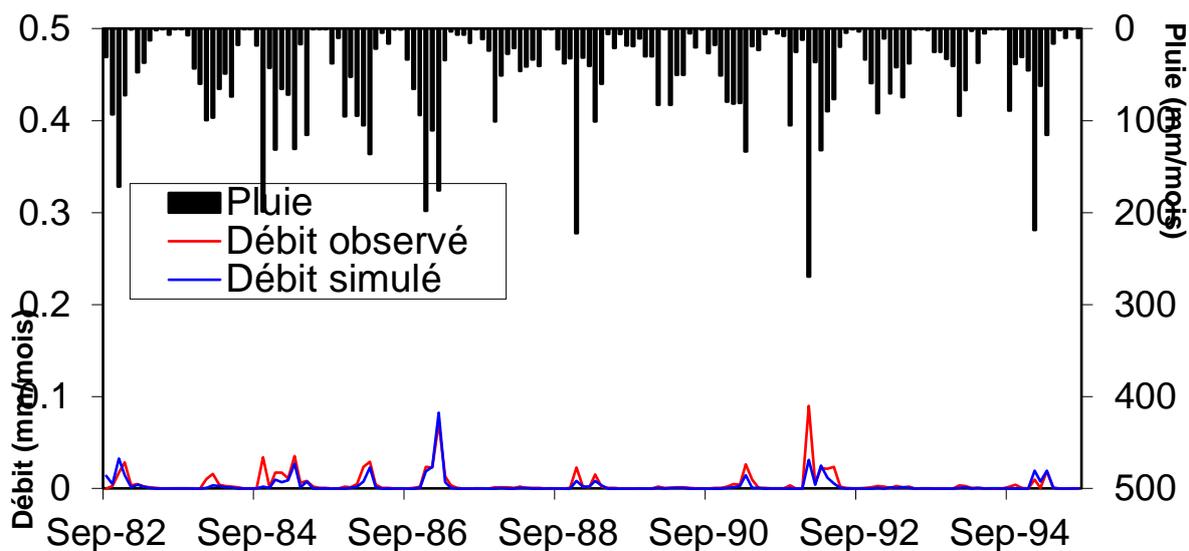


Figure 30 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de boumedfea (validation)

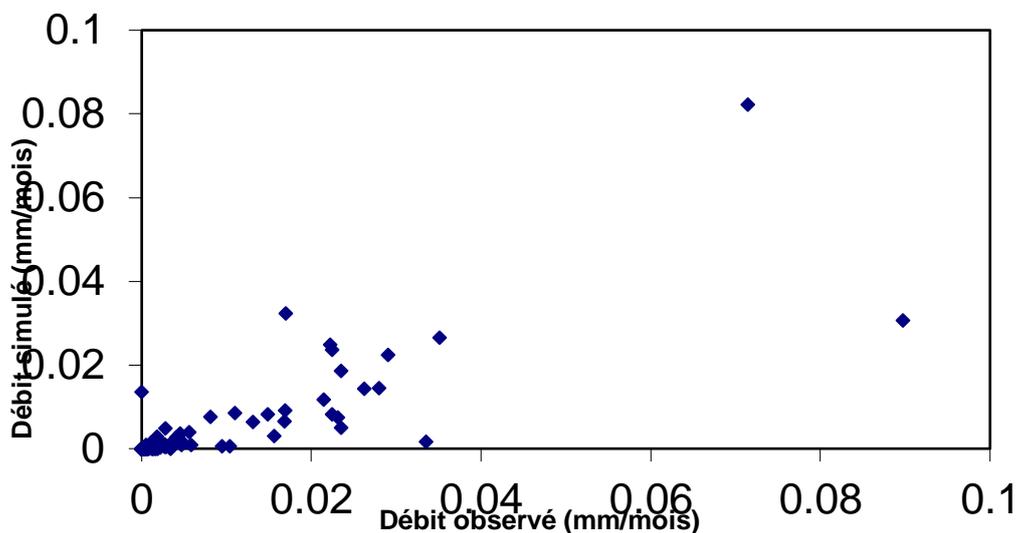


Figure 31 Graphe des débits

- La chronique des précipitations est assez longue pour cette station (13 ans pour chaque phase).
- Grande similitude entre les deux débits observé et calculé ce qui implique une très bonne simulation exécutée par le modèle GR2M.
- Les paramètres du modèle sont identiques dans les deux phases :
Capacité de production : $X1= 6,30$ mm tandis que le coefficient d'échange $X2=0,02$
- Bonne résolution vue que le coefficient de Nash dépasse largement les 70% (89,1% dans la calibration et 76,1% dans la validation).
- La disponibilité des données : chroniques longues des pluies et de l'ETP, a amélioré la performance du modèle hydrologique.

4- Station d'El Affroun (02-10-07) :

- Calage :

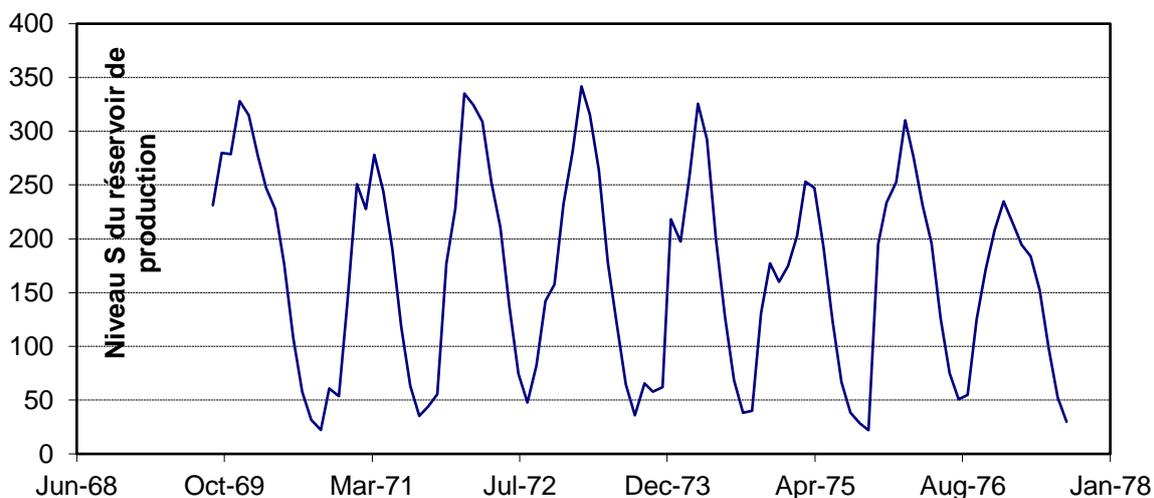


Figure 32 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station d'el affroun par modèle GR2M (calage)

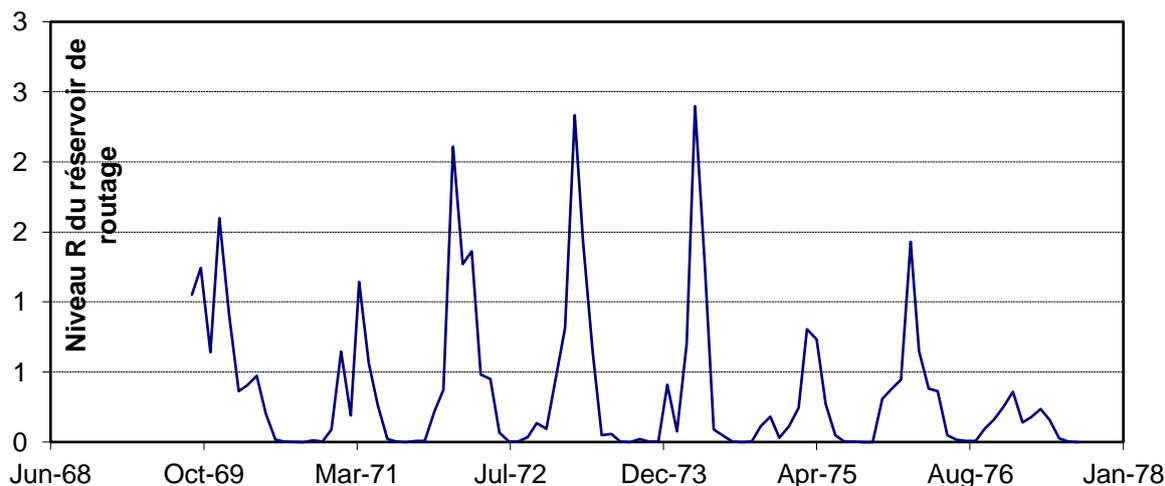


Figure 33 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station d'el affroun par modèle GR2M (calage)

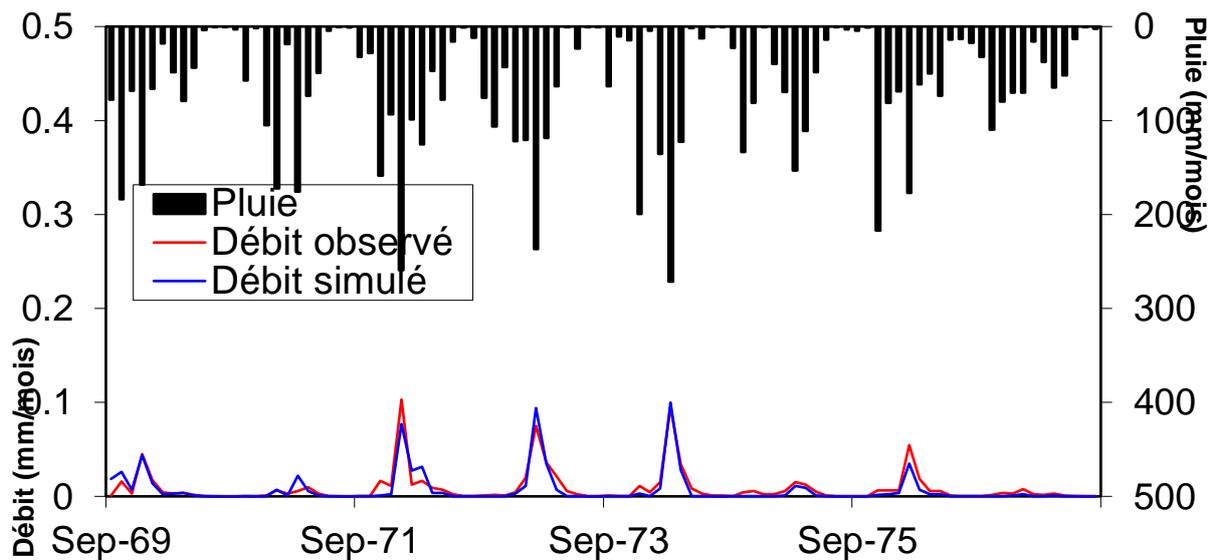


Figure 34 Hydrogramme des débits et de pluies de la station d'el affroun (calage)

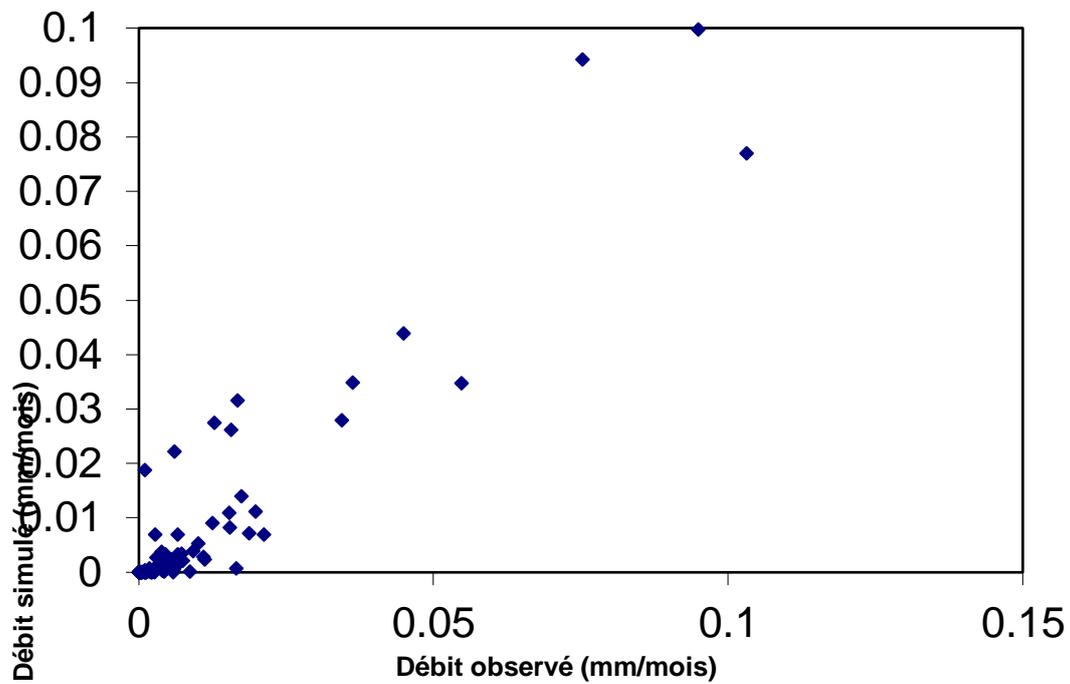


Figure 35 Graphe des débits

- *Validation :*

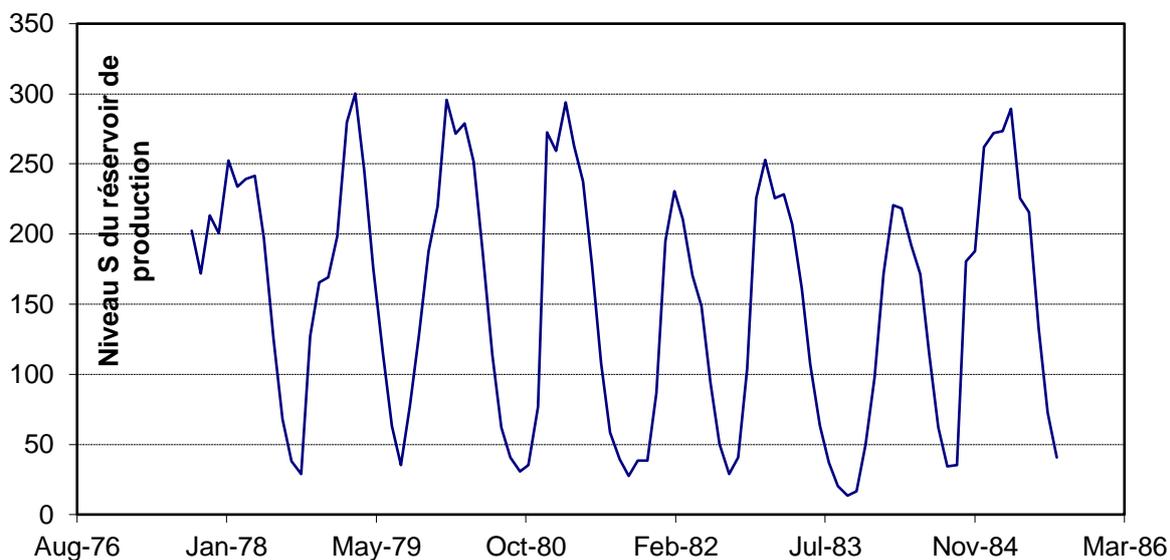


Figure 36 Graphe du niveau du réservoir de production *S* de la station d'el affroun par modèle *GR2M* (validation)

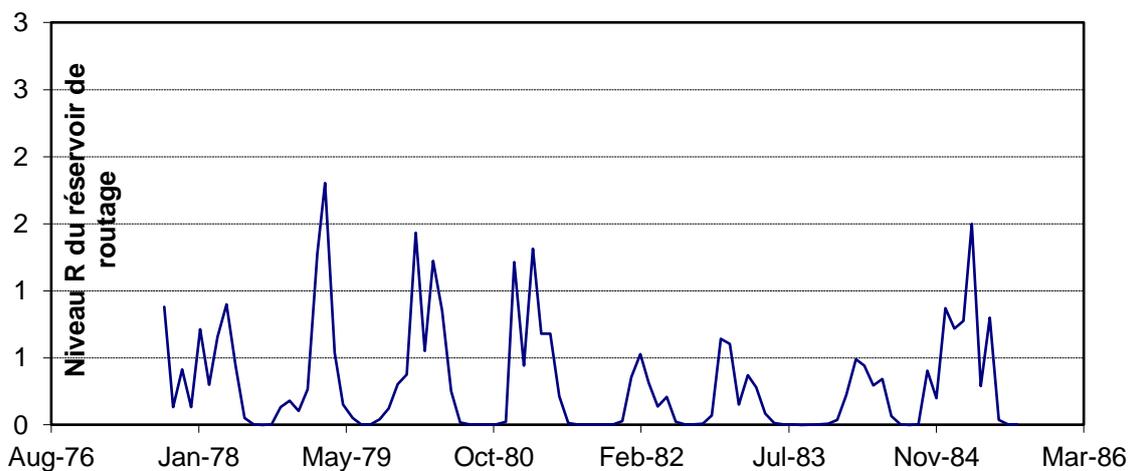


Figure 37 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage *R* station d'el affroun par modèle *GR2M* (validation)

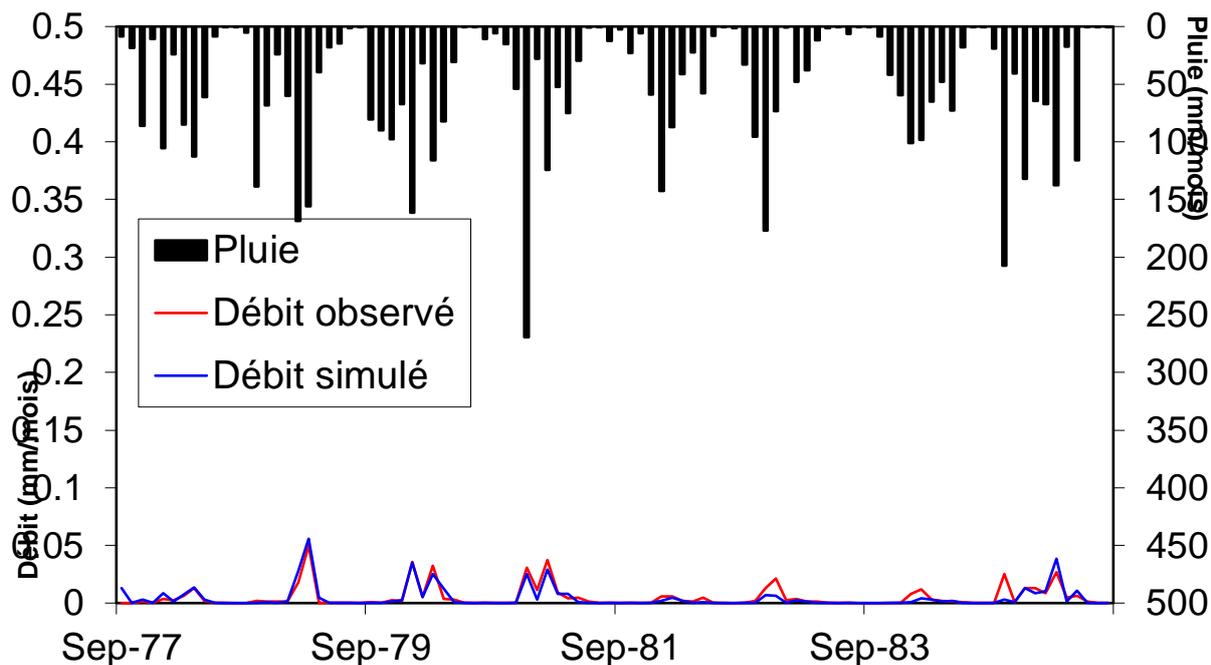


Figure 38 Hydrogramme des débits et de pluies de la station d'el affroun (validation)

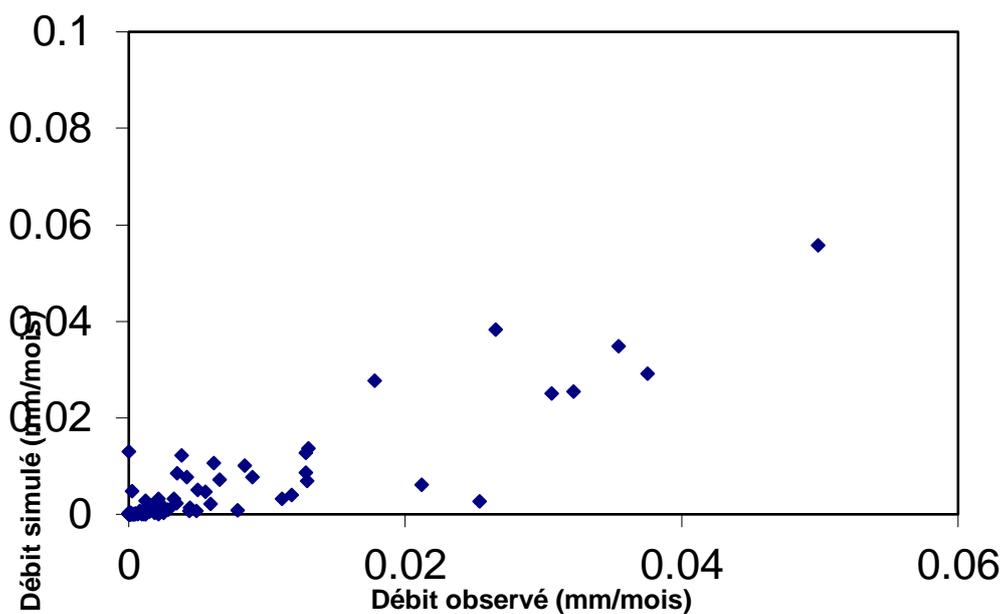


Figure 39 Graphe des débits

- Très grande similitude entre les deux débits observé et calculé presque parfaite même ce qui implique une très bonne simulation exécutée par le modèle GR2M.
- Les valeurs des paramètres du modèle sont voisines dans les deux phases :
- Bonne résolution vue que le coefficient de Nash dépasse largement les 80% (87.3% dans la calibration et 88,5% dans la validation).
- La disponibilité des données : chroniques longues des pluies et de l'ETP, a amélioré la performance du modèle hydrologique.
- La répartition des points des débits est dirigé vers une droite dans le même sens.

5- Station de Fer-à-cheval (02-12-01) :

- Calage :

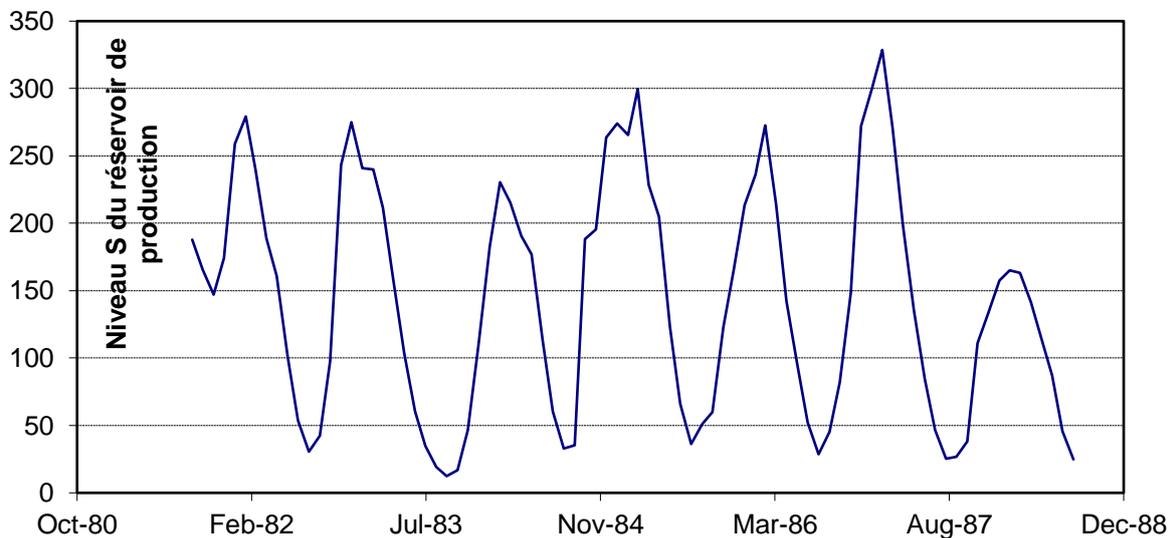


Figure 40 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de fer-à-cheval par modèle GR2M (calage)

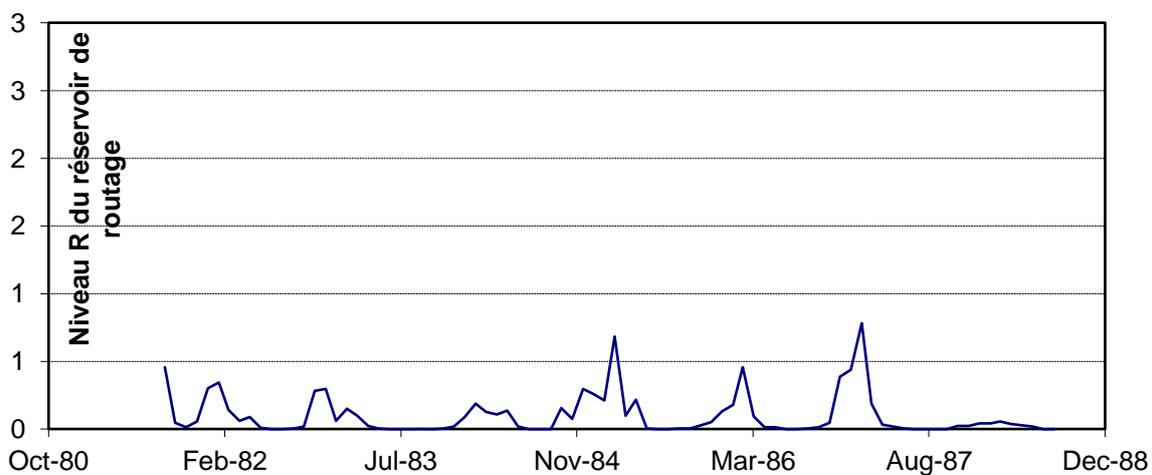


Figure 41 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de fer-à-cheval par modèle GR2M (calage)

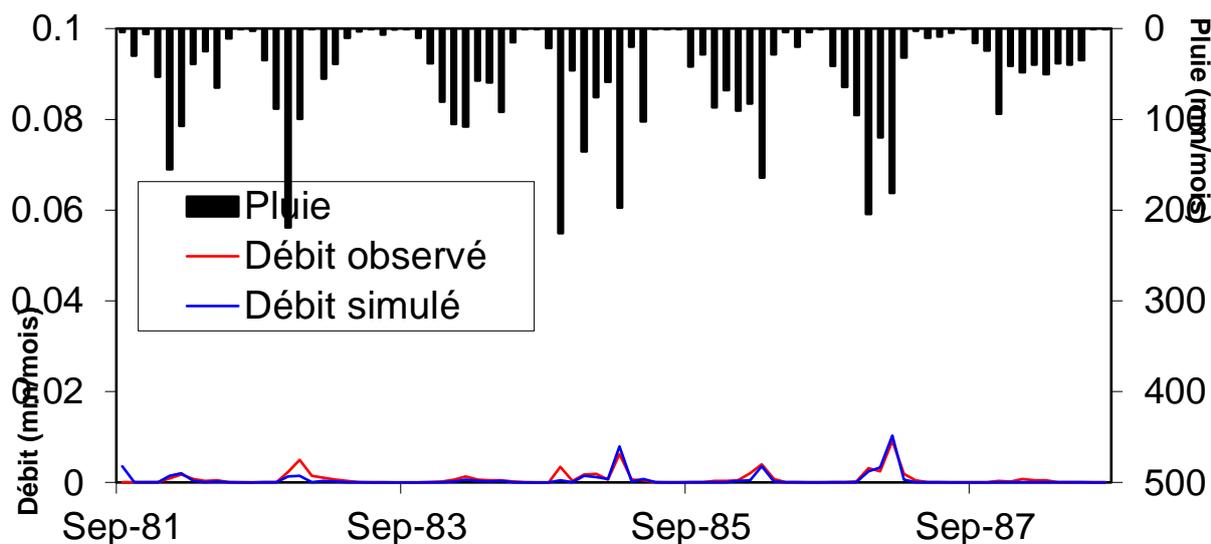


Figure 42 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de fer-à- cheval (calage)

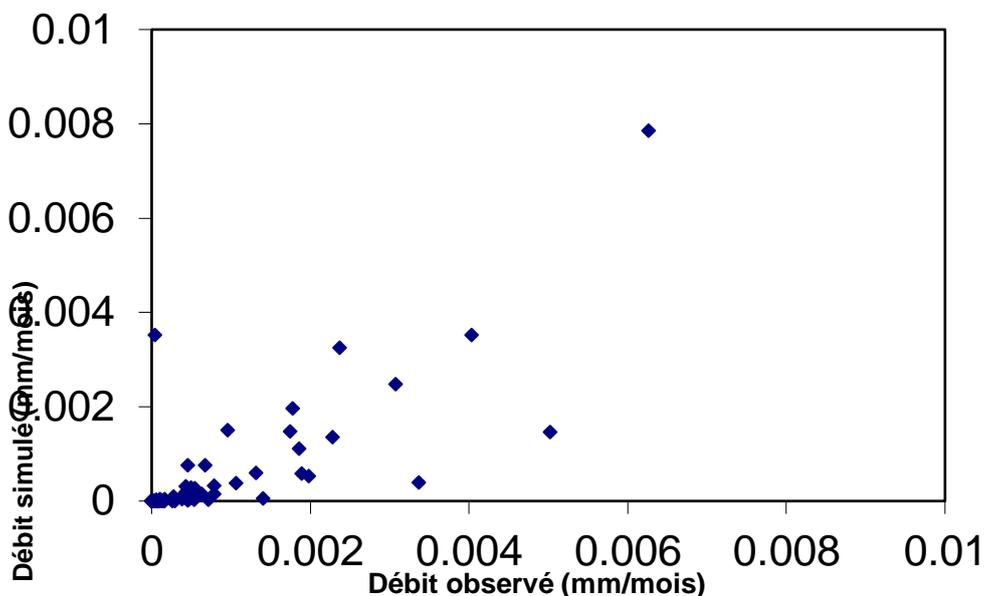


Figure 43 Graphe des débits

- Le débit est très très faible presque nul comme les graphes les démontrent malgré les précipitations enregistrées pendant la période.
- En revanche, la courbe du débit calculé épouse bien la courbe du débit mesuré.
- Le coefficient de Nash est inférieur à 70%.
- Ces anomalies enregistrées sont conséquences de la grande superficie couvrant le bassin : 1898,93 Km²) car la surface d'eau met plus de temps pour se propager dans une telle surface par rapport aux autres du bassin plus petites.

- Validation :

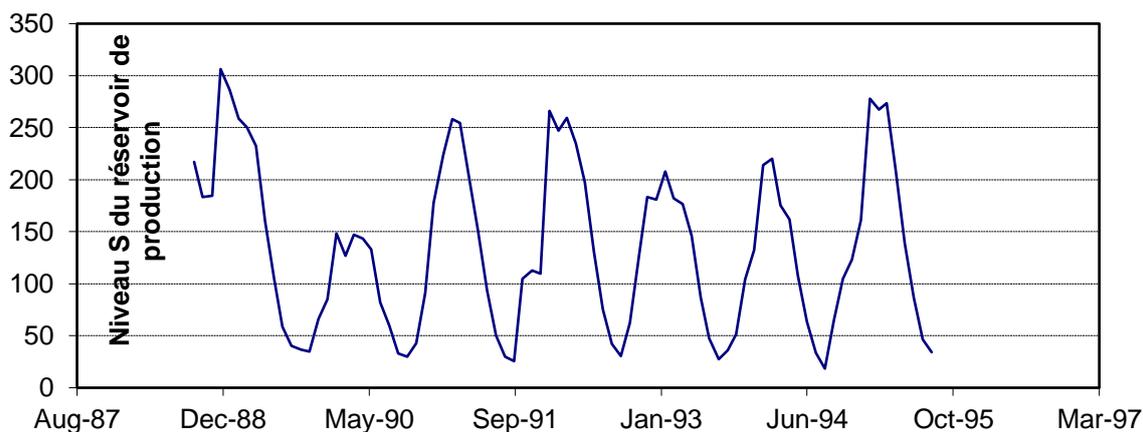


Figure 44 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de fer-à-cheval par modèle GR2M (validation)

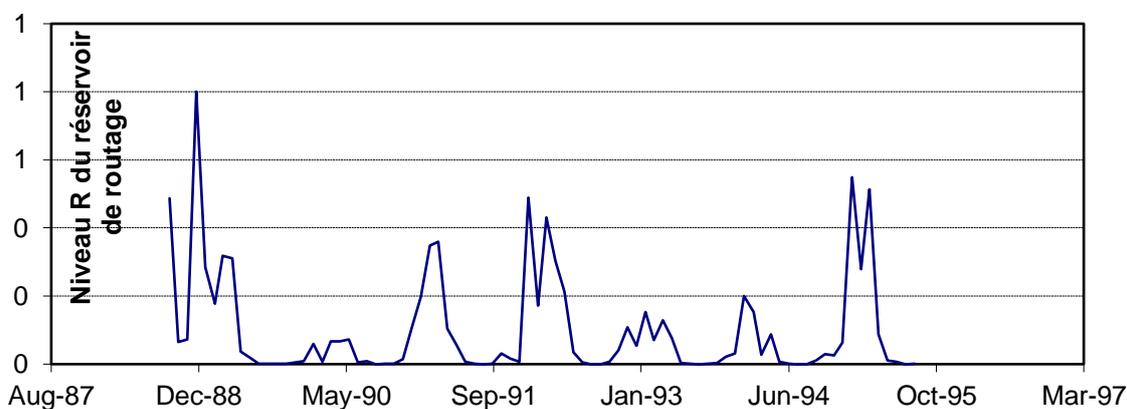


Figure 45 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de fer-à-cheval par modèle GR2M (validation)

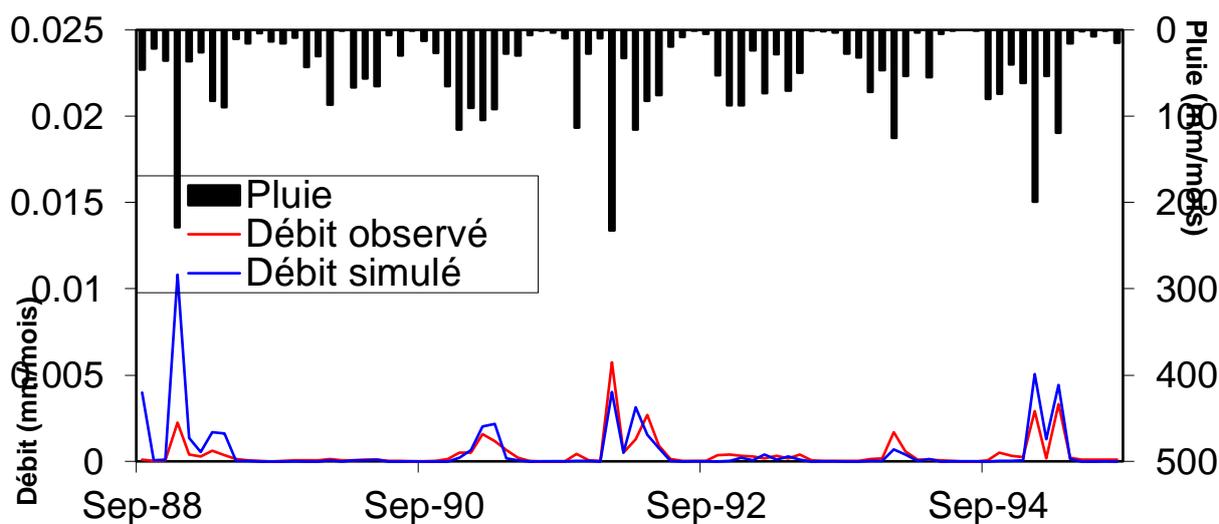


Figure 46 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de fer-à-cheval (validation)

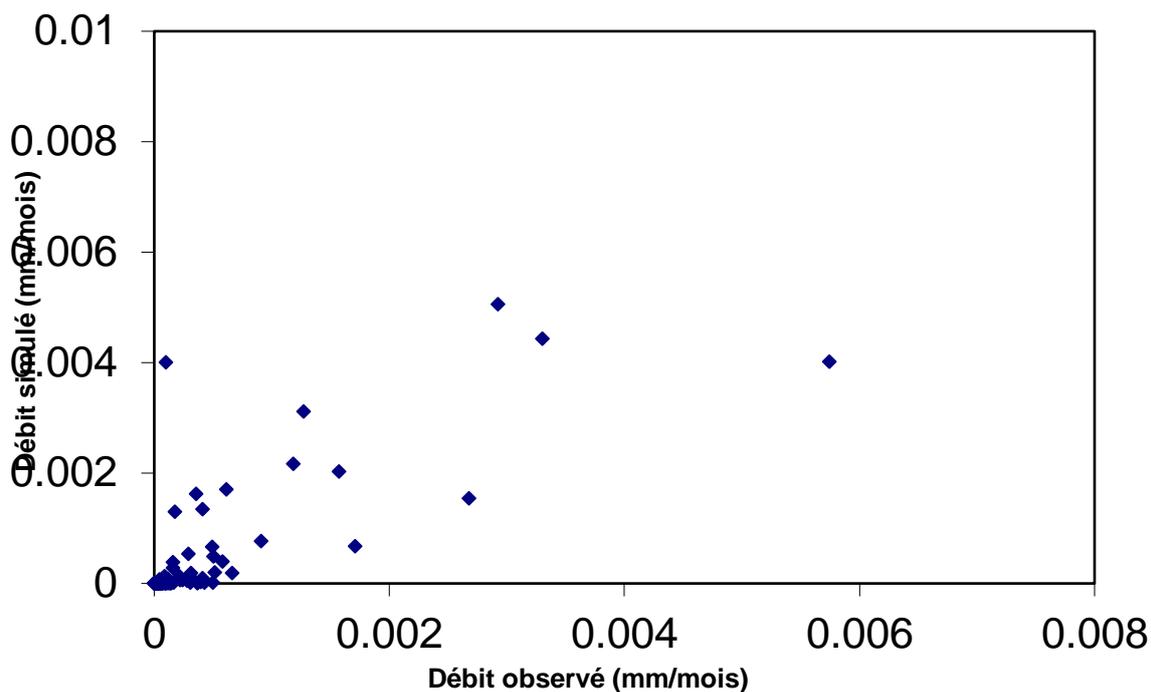


Figure 47 Graphe des débits

- Les débits simulé et observé sont homogènes à part un enregistrement d'un pique de surestimation du débit calculé en 1988.
- Bon coefficient de Nash 75,3%
- Les paramètres du modèle dans les deux phases sont : X1 très petite différence, et le X2 identique.
- A partir des valeurs obtenues, nous concluons que le bassin commençait à prendre vie pendant cette période peut être parce que toute sa surface devient immergée

6- Station de Hadjout (02-03-18) :

- *Calage :*

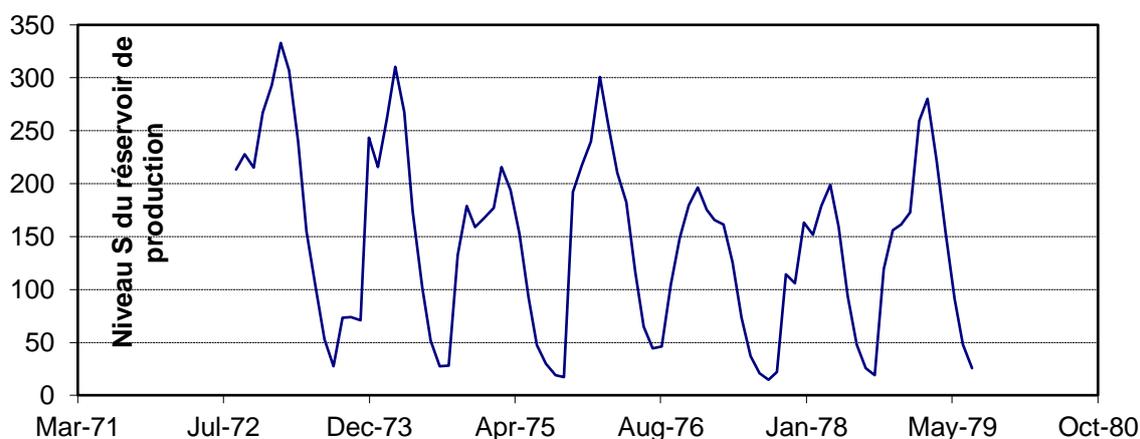


Figure 48 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de hadjout par modèle GR2M (calage)

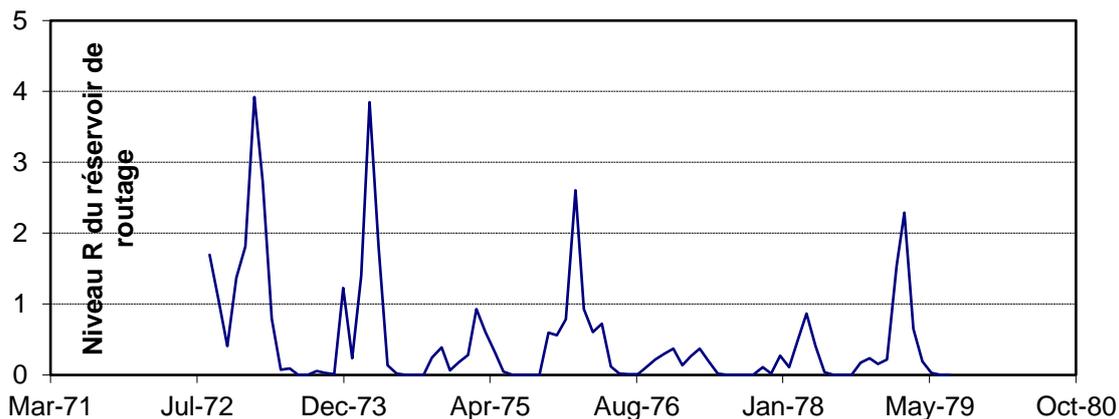


Figure 49 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de hadjout par modèle GR2M (calage)

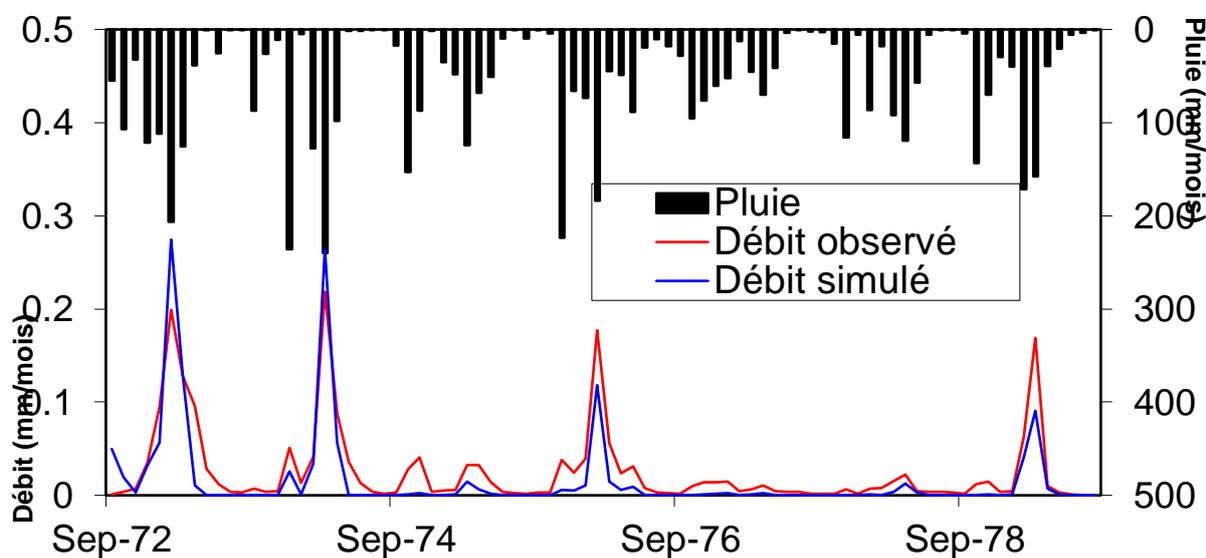


Figure 50 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de hadjout (validation)

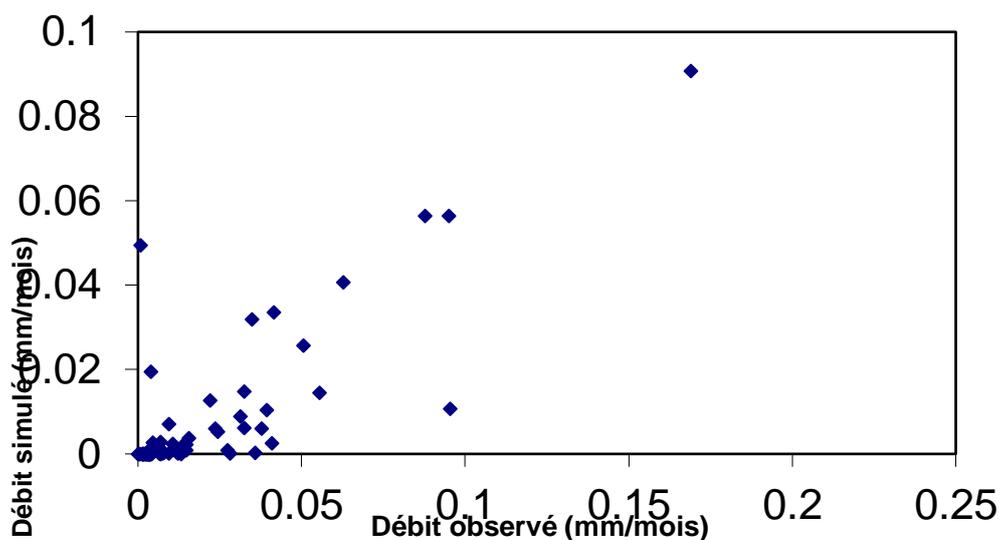


Figure 51 Graphe des débits

- Validation :

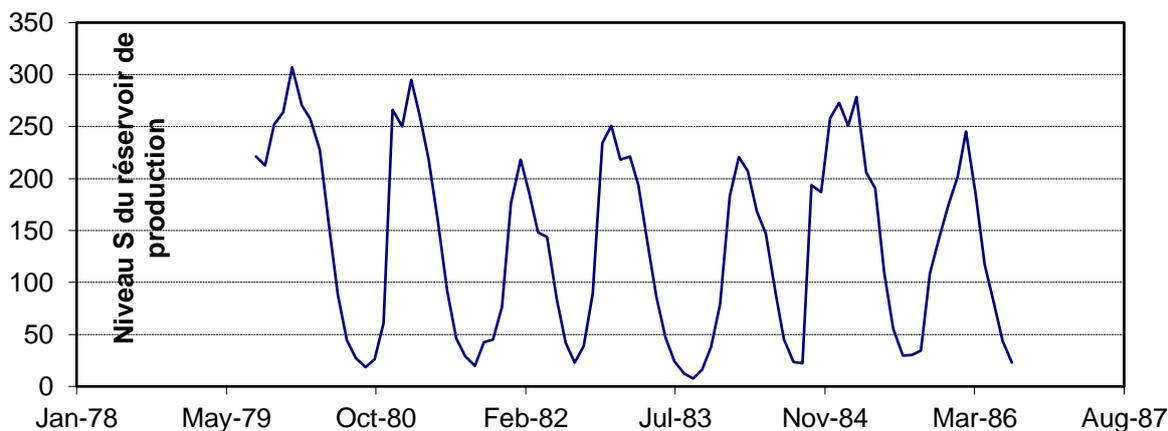


Figure 52 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de hadjout par modèle GR2M (validation)

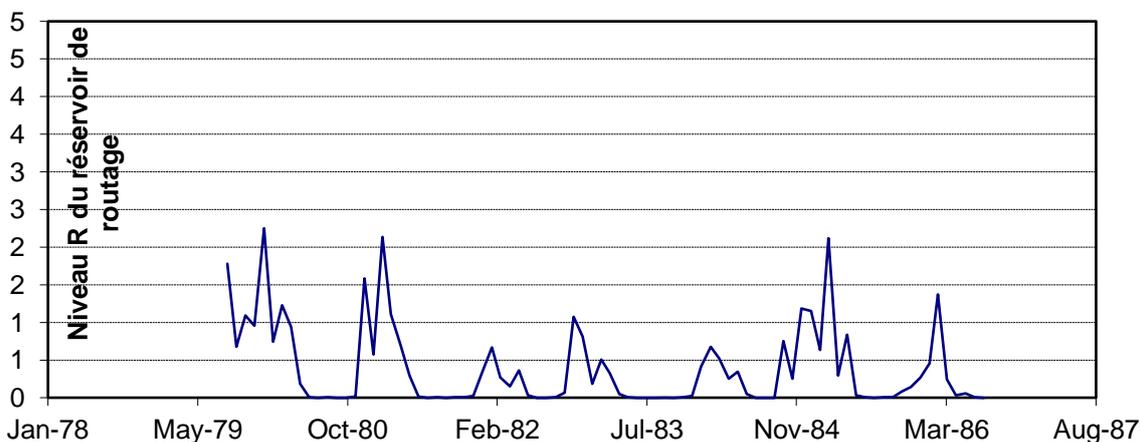


Figure 53 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de hadjout par modèle GR2M (validation)

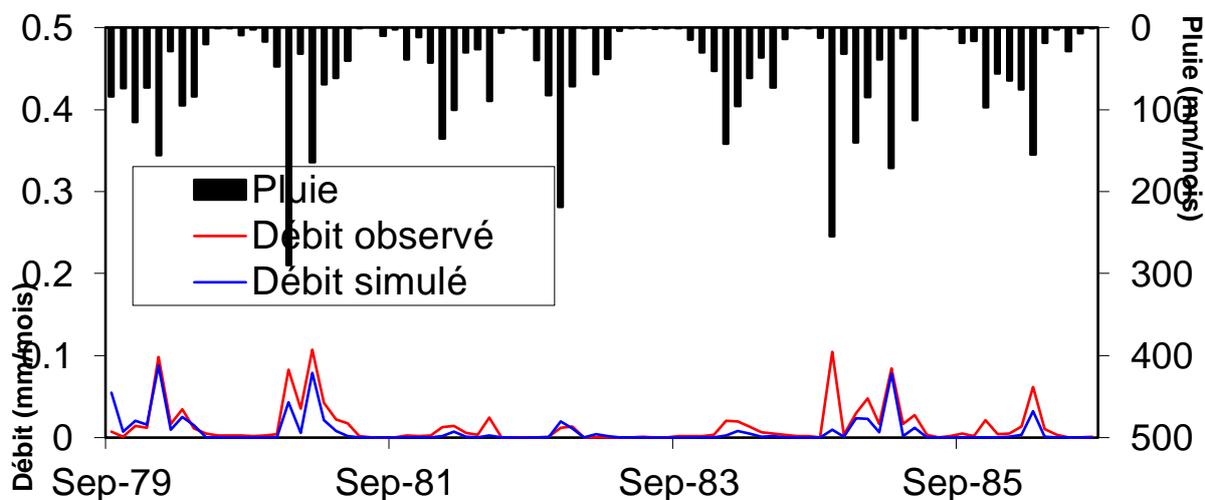


Figure 54 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de hadjout (validation)

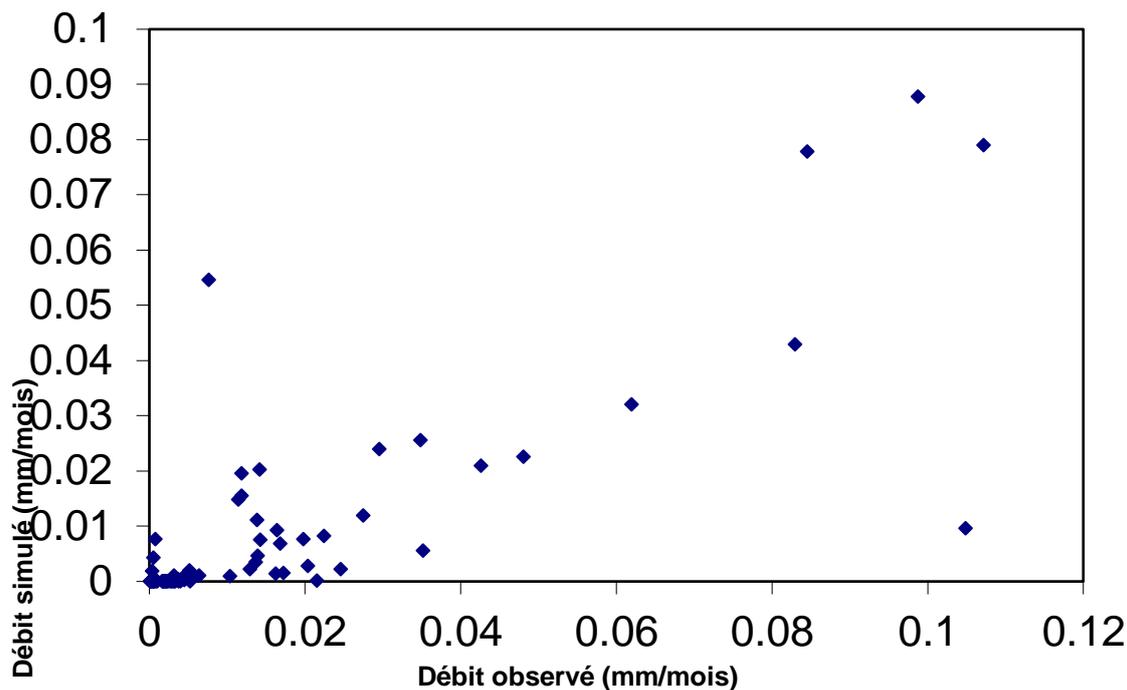


Figure 55 Graphe des débits

- Homogénéité entre les deux débits dans l'ensemble des graphes pendant les deux phases, à part quelques dépassements du débit observé quand les précipitations sont plus fortes.
- Les paramètres du modèle X1 et X2 sont presque identiques.
- Le coefficient de Nash est acceptable et dépasse 70% pour les deux étapes.

7- Station de Larbaa (02-14-02) :

- *Calage :*

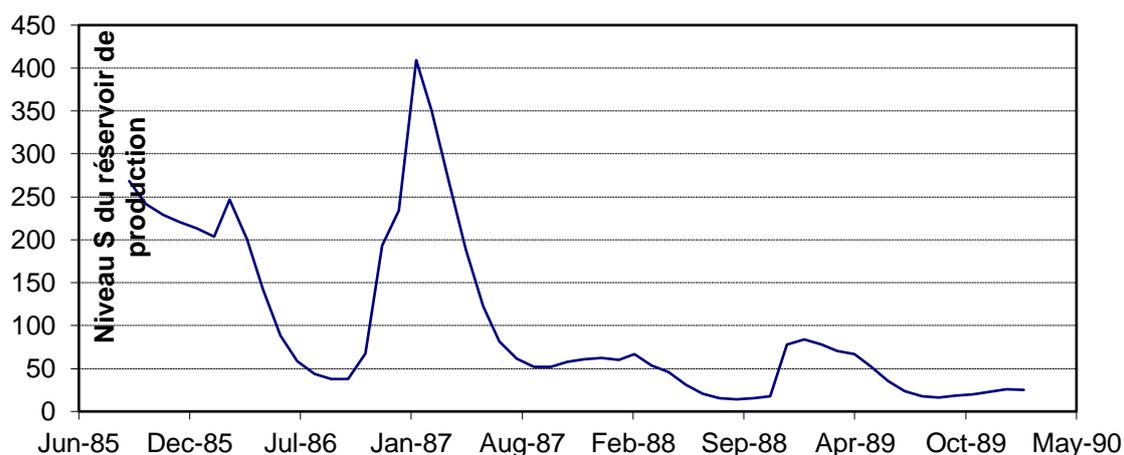


Figure 56 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de larbaa par modèle GR2M (calage)

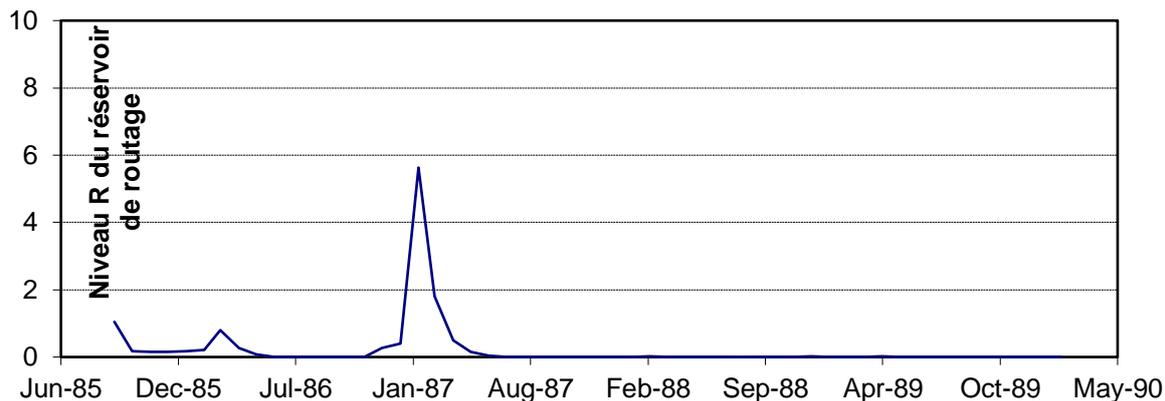


Figure 57 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station de larbaa par modèle GR2M (calage)

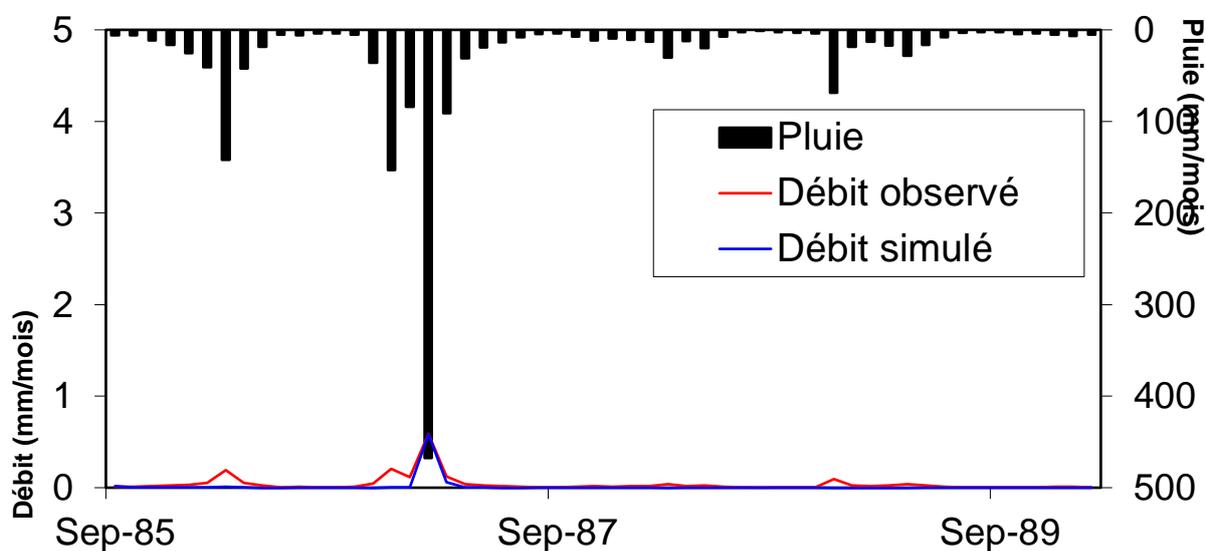


Figure 58 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de larbaa (calage)

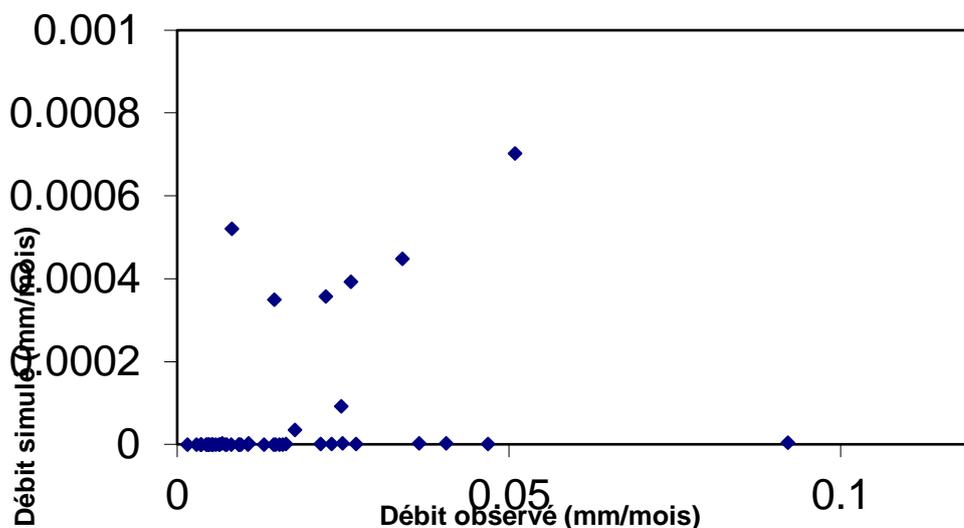


Figure 59 Graphe des débits

- Un pic très remarquable dans tous les graphes en mai 1987 du à une forte précipitation enregistrée.
- Débit simulé presque nul à cause des données insuffisantes car la série pluviométrique ne dépasse pas les 5 ans.

- *Validation :*

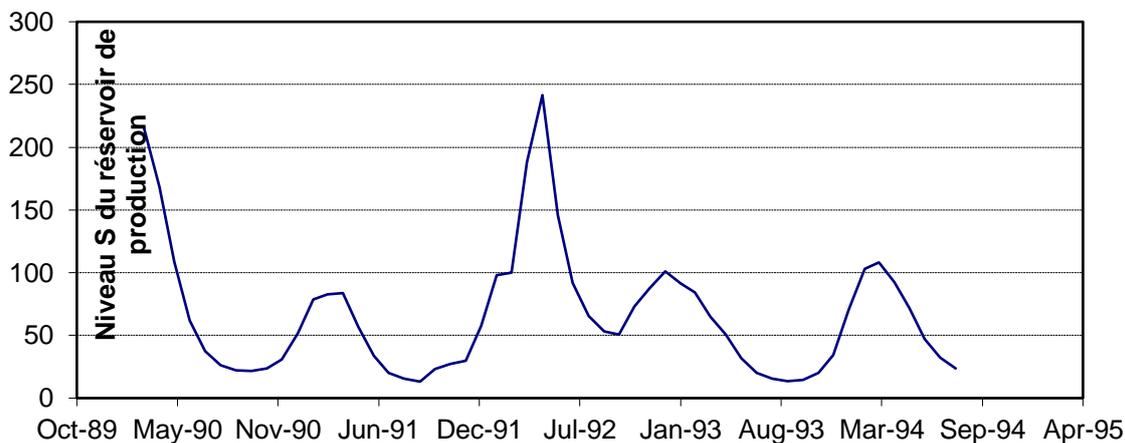


Figure 60 Graphe du niveau du réservoir de production S de la station de larbaa par modèle GR2M (validation)

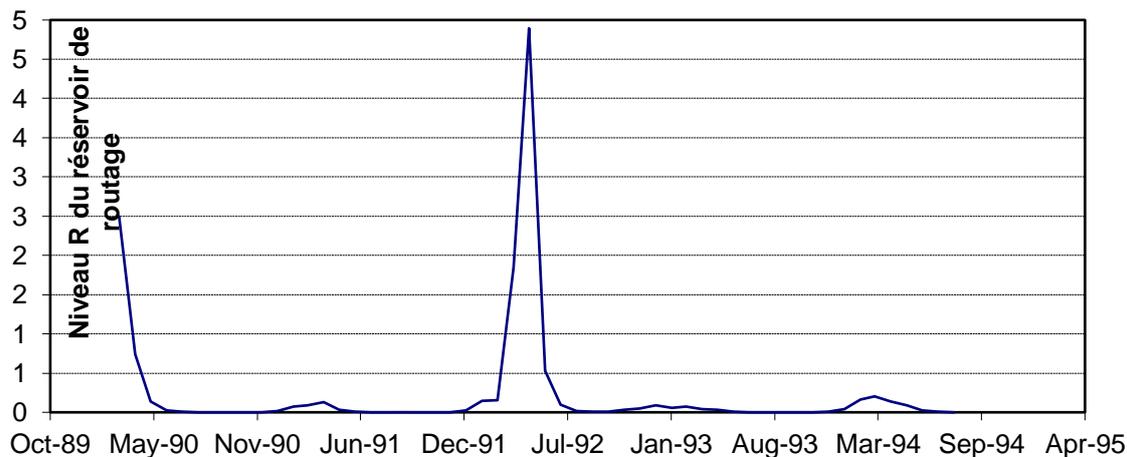


Figure 61 Graphe du niveau de remplissage du réservoir de routage R station d'e larbaa par modèle GR2M (validation)

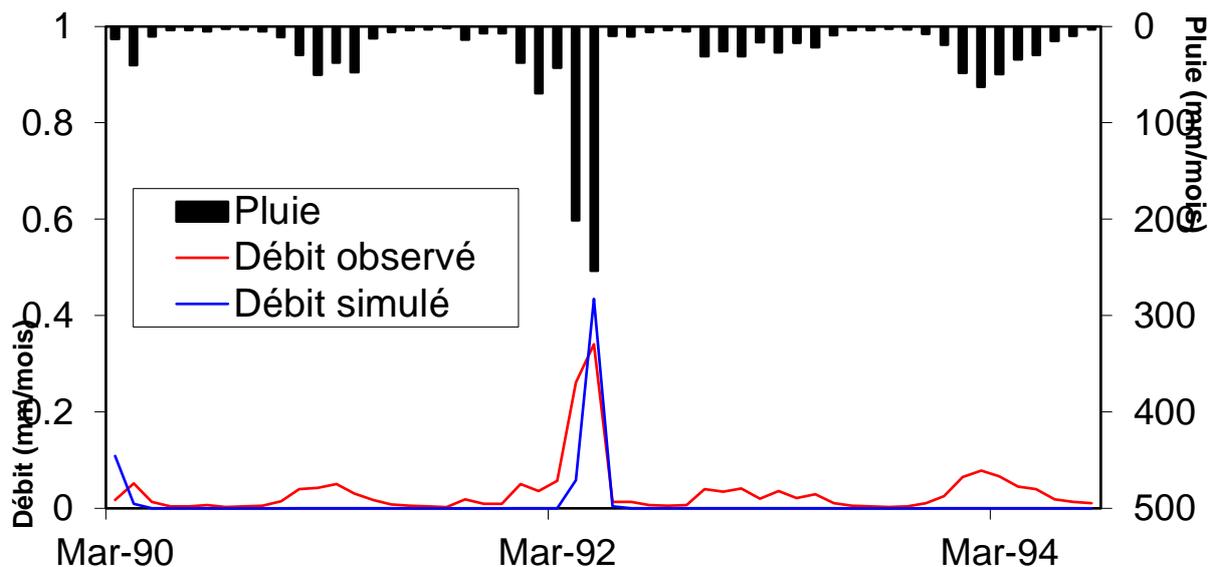


Figure 62 Hydrogramme des débits et de pluies de la station de larbaa (validation)

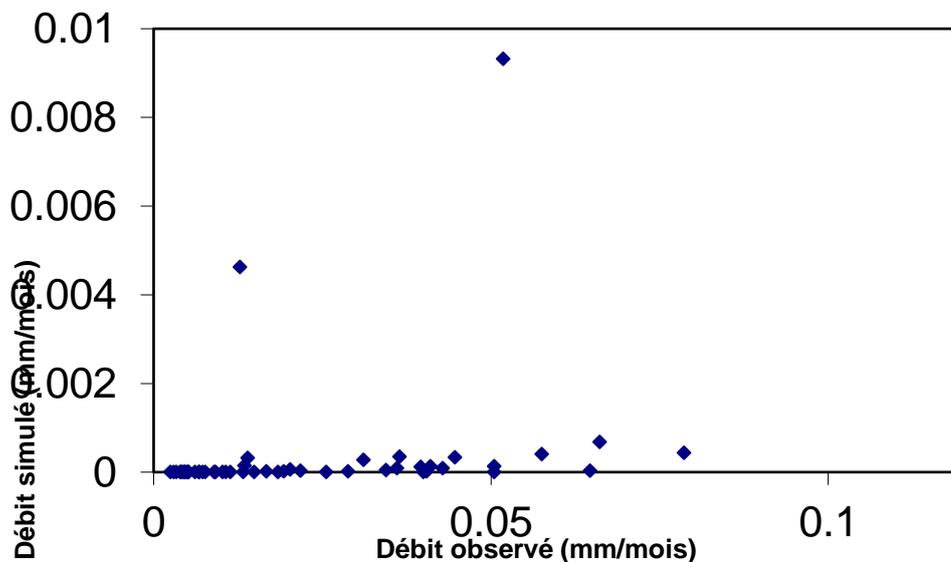


Figure 63 Graphe des débits

- Un pique remarquable dans tous les graphes enregistré dans l'année 1992 par la forte pluie tombé au mois d'avril : le débit mesuré est très faible dont la surestimation du débit simulé.
- Débit simulé presque nul à cause des données insuffisantes car la série pluviométrique ne dépasse pas les 5 ans. Car entre la période de mise en marche et la période de test prise pour 12 mois, le modèle ne peut pas être performant.
- D'ailleurs, même le coefficient de Nash est inférieur à 70%.

III.4 Conclusion :

Après la discussion des résultats de simulation obtenus par le modèle Gr2m nous pouvons constater qu'il n'était pas bien performant dans toutes les stations du bassin versant de la Mitidja cela est dû aux valeurs de débit de base trop faibles dans les différents oueds alimentant ce dernier et pour de différentes raisons, majoritairement leur surexploitation, redirection vers les barrages (cas de oued bouroumi), pompage pour l'alimentation des stations d'épuration ou grandes superficies.

Le modèle hydrologique est bien constitué et illustre bel et bien la réalité malgré quelques perturbations du débit simulé, il nous aide sûrement à gérer les ressources en eau et la prévention à leur surexploitation dans les horizons futurs surtout que le niveau d'eau du bassin versant de la Mitidja se réduit de jour en jour et laisse place à l'intrusion marine qui ne cesse elle-même d'accroître et de s'incorporer à l'eau douce.

Nous constatons que le modèle GR2M ne peut s'appliquer à l'ensemble des bassins étudiés. Cela est dû principalement à la perturbation du régime hydrologique de certains oueds par l'existence de pompage et de barrages. Aussi, d'autres paramètres intrinsèques comme la lithologie, couvert végétal et géologie ne sont pas considérés directement dans le modèle comme paramètres explicatifs mais plutôt implicitement à travers les deux paramètres X1 et X2. Il serait donc, judicieux d'essayer d'autres modèles pour faire sortir le meilleur dans la simulation des débits dans la région Ce modèle a montré ces limites dans certaines régions du pays et du Maghreb : (Medane, 2012) ; (Zamiche, Hamaidi-Chergui, et Demiai 2018; Saidi 2012) ; (Gherissi 2012) ; (Cherifi 2001; Bachir et al. 2015) ; (Ouhamdouch et al. 2019) etc.

Conclusion générale

Le terme de modèles hydrologiques qui était très méconnu est devenu visiblement la nouvelle méthode adaptée en hydrologie. Par conséquent, il existe une variété des modèles pluie-débit, différentes structures grâce à des résolutions mathématiques adéquates et un algorithme bien conçu. Leur but est de faire la simulation du débit pour répondre aux problèmes de gestion des ressources en eau, le dimensionnement des barrages ainsi la prévention contre la sécheresse et diminution des surfaces d'eau.

Le modèle hydrologique choisi GR2M est bien constitué et illustre bel et bien la réalité malgré quelques perturbations du débit simulé, il nous aide sûrement à résoudre les problèmes cités précédemment et à l'alerte de surexploitation dans les horizons futurs comme le niveau d'eau du bassin versant de la Mitidja qui se réduit de jour en jour et laisse place à l'intrusion marine qui ne cesse elle-même d'accroître et de s'incorporer avec l'eau douce.

A travers une modélisation hydrologique, nous pouvons aboutir à des solutions de résolutions extrêmes, comme dans le cas de notre étude dans les horizons prochains. Le modèle conceptuel GR2M est appliqué sur les bassins algériens comme dans tout le maghreb (Maroc et Tunisie), en Afrique de même (Benin et Côte d'Ivoire). Malgré son bon développement et ses performances, sa dernière version est toujours mise en épreuve pour l'améliorer et réduire les écarts entre le modèle et la réalité au minimum possible pour une perfection et un optimum de satisfaction.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- Bachir, Sakaa, Boulghobra Nouar, Chaffai Hicham, Hani Azzedine, et Djabri Larbi. 2015. « Application of GR2M for Rainfall-Runoff Modeling in Kébir Rhumel Watershed, North East of Algeria », 9.
- Cherifi, S. 2001. « Application de modèle GR2M sur le bassin de la Soummam et de l'Isser ». Thèse de Magister, Alger, Algérie: Ecole Nationale Polytechnique ENP.
- Fouchier, C. 2010. « Développement d'une méthodologie pour la connaissance régionale des crues. » Thèse de doctorat, Thèse préparée au sein du Groupe de Recherche en Hydrologie, Cemagref, Aix-en-Provence.: L'université Montpellier II Sciences Et Techniques Du Languedoc.
- Gherissi, R. 2012. « UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMEN », 156.
- Larbi, A. 2012. « Utilisation d'un SIG et d'un modèle mathématique pour la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle du bassin côtier algérois 02a. » Université des Sciences et Technologie – Houari Boumediène (USTHB), Alger, Algérie.
- Maagbi, H. 2018. « Conception du réseau d'irrigation du périmètre de la Mitidja Ouest (secteur sud) situé à Mouzaia W.Blida d'une superficie de 500 ha ». Blida, Algérie: Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH).
- Medane, Kheira. 2012. « HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DU BASSIN VERSANT DE L'OUED BOUMESSAOUD (TAFNA NW- ALGERIEN). » Thèse de Magister, Tlemcen, Algérie: université Aboubakr Belkaid. <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/2317/1/Modelisation-pluie-debit.pdf>.
- mouelhi, S. 2003. « Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier ». Thèse de doctorat, France: Engref. <https://webgr.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/07/2003-MOUELHI-THESE.pdf>.
- Ouhamdouch, Salah, Mohammed Bahir, Paula M. Carreira, et Kamel Zouari. 2019. « Climate Change Impact on Future Flows in Semi-Arid Environment, Case of Essaouira Basin (Morocco) ». In *Advances in Sustainable and Environmental Hydrology, Hydrogeology, Hydrochemistry and Water Resources*, édité par Helder I. Chaminé, Maurizio Barbieri, Ozgur Kisi, Mingjie Chen, et Broder J. Merkel, 305-8. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01572-5_72.
- Perrin, Charles. 2002. « Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative ». *La Houille Blanche*, n° 6-7 (octobre): 84-91. <https://doi.org/10.1051/lhb/2002089>.
- Perrin, Charles, Claude Michel, et Vazken Andréassian. 2000. « Modèles hydrologiques du Génie Rural (GR) », 16.
- Saidi, Hayet. 2012. « Impact des changements climatiques sur le régime des cours d'eau : cas de l'Oued Mina (W.Relizane) ». Thèse de Magister, Blida, Algérie: Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH).

wikipedia. s. d. « Mitidja ». In . <https://fr.wikipedia.org/wiki/Mitidja>.

Yahiaoui, Samir. 2011. « Evaluation de la qualité des eaux souterraines de la Mitidja et leur aptitude à l'irrigation. » Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH), Blida, Algérie.

Zamiche, S, F Hamaidi-Chergui, et A Demiai. 2018. « Pollution of the quaternary aquifer of mitidja (Algeria) by nitrates: origins and impacts on the quality of water for human consumption. », J. Fundam. Appl. Sci, , n° 10(1): 113-31.

<https://webgr.irstea.fr/modeles/mensuel-gr2m/>

<https://webgr.irstea.fr/modeles/mensuel-gr2m/fonctionnement-gr2m/>

<https://www.researchgate.net/search=modèle-GR2M>

<https://astee-tsm.fr/articles/tsm/abs/2017/04/tsm201705p87/tsm201705p87.html>