N° d'ordre:

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Géologie

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master académique en Sciences de la Terre

Option : Hydro-système et ressources en eau.

Thème :

Modélisation pluie-débit par le logiciel HEC-HMS de sous bassin versant L'oued Deurdeur_ haut chéliff (nord-ouest Algérien)

Présenté par :
Lansari abdelhadi
Khitri abdnnour

Dirigé par :
-Mme BELKHIR Khadidja

Jury de soutenance :

Nom	prénom	Grade	Qualité	université
Mme. Bakhti	Amel	MCB	Président	Oran2
Mr. Bergan	Cheikh	MCB	Examinateur	USTO
Mme. Belkhir	Khadidja	MAA	Encadreur	Oran2

Oran, 2025

Remerciements

الحمد لله الذي بنعمته تتمّ الصالحات، وبفضله وتوفيقه بلغنا هذا الجهد ختامه.

نهدي هذا العمل المتواضع، ثمرة تعبنا المشترك، إلى من كان لهم الفضل بعد الله في بلوغ هذه المرحلة:

إلى أستاذتنا المشرفة بلخير خديجة، التي ساندتنا بعلمها ووقتها وصبرها، وكانت لنا خير دليل في مسار إعداد هذه المذكرة، فكل الامتنان والتقدير لها.

وإلى أساتذتنا الأفاضل المشرفين على مناقشة هذا العمل، الذين خصّونا من وقتهم وجهدهم لقراءته وتقييمه، فكل الشكر والاحترام لهم.

إلى أساتذتنا جميعًا على مدار سنوات الدراسة، الذين كانوا لنا شموع علم ونورًا في طريق الفهم والنمو.

إلى والدينا الأحبّة، دعاؤكم كان زادنا، وصبركم كان قوتنا، ورضاكم كان غايتنا.

وإلى أصدقائنا الأعزاء، من كانوا إلى جانبنا بالكلمة الطيبة، والتشجيع الصادق، والمواقف التي لا تُنسى.

نهدي هذه الصفحات، لا لأنها نهاية، بل لأنها بداية جديدة نحمل فيها كل جميل تعلّمناه منكم.





Lansari abdelhadi

Khitri abdnnour

Sommaire

Sommaire

Sommaire.....II

Liste des tableaux V

Liste des figures.....II

Introduction générale..... 1

Chapitre I: les modèles hydrologiques et la gestion des crues

Introduction 4

1. Les crues..... 4

1 .1. Définition 4

1.2. Les causes de la crue : 5

1.3. Typologie des crues..... 5

2. Les modèles hydrologiques : 6

2.1. Définition : 6

2.2. Pourquoi du modèle hydrologique : 6

2.3. Types de modèles hydrologiques : 7

2.4. Applications du modèle..... 8

2.5. Structure d'un modèle hydrologique..... 8

2.6. Les différentes approches de la modélisation : 9

2.6.1. Modèles stochastiques : 10

2.6.2. Modèles déterministes : 10

2.6.3. Modèles à base physique : 11

2.6.4. Modèles paramétriques : 11

2.6.5. Modèles empiriques : 11

2.6.6. Modèles analytiques : 11

2.6.7. Modèles conceptuels : 11

2.6.8. Modèles globaux : 12

2.6.9. Modèles spatialisés : 12

3. Le modèle hec-hms..... 14

4. Modèle météorologique..... 16

Sommaire

5. Modélisation des pertes 18

5.1. Concept de base 18

5.2. Le modèle de pertes initiales et à taux constant 18

5.3. Le modèle du curve number (cn) 20

5.4 la méthode cn en grille 21

6.le routage hydrologique 22

Conclusion 24

Chapitre II : description de la zone d'étude

Introduction : 27

1. Situation géographique 27

1.1 présentation générale de la région hydrographique « cheliff zahrez » : 27

1.2. Situation géographique de l'oued du haut cheliff 27

1.3 situation géographique de sous bassin de l'oued deurdeur 27

2. Contexte géologique du secteur d'étude : 29

3. Géomorphologie et morphométrie 30

3.1. Paramètres géométriques 30

3.2. Caractéristiques de forme 31

3.2.1. Indice de compacité de gravelius (kc) 31

3.2.2. Dimension du rectangle équivalent 31

3.3. Etude du relief 32

3.3.2. Indice de pente et dénivelée 36

3.4. Etude de la température 38

3.5. L'humidité 39

3.6. L'évapotranspiration 40

3.7. Etude des précipitations et débits : 41

3.7.1. Les stations pluviométriques et hydrométriques : 41

3.7.2. Précipitations mensuelles de bassin oued derdeur : 43

Sommaire

3.7.3. Variation annuelle des précipitations pour la période 1991-2010 44
3.7.4. Diagramme ombrothermique de gaussen : 45
3.8.Débits moyens annuels et mensuels :..... 51

Chapitre III : Modélisation pluies-débits par le modèle hec-hms

1. Introduction : 58
2. Le processus de fonctionnement..... 58
3. Fonctionnalités 58
4 .les données nécessaires à l'application de simulation avec hec-hms :[16] 61
5. Les données 62
6. Sultats et discussion..... 64
6.1. Calibrage et validation du modèle..... 64
6.2. Avant calibrage (crue 2009& crue 1994)..... 65
6.3. Crue févr2009& crue janv 1994 après le calibrage..... 67
7. Evaluation du modèle 70
8. Exploitation du modèle hydrologique : 73
9. Conclusion..... 73
Conclusion générale 75
Refrences bibliographiques 77

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1: le taux de pertes constant pour les différents types du sol. [12] 20
Tableau II.2: Caractères morphologiques des sous bassins versants du Haut Chélif. 32
Tableau II.3: Les Surfaces / Altitude 33
Tableau II.4: Les Altitudes Caractéristiques Des Sous Bassins.....35
Tableau II.5*:* Indice De Pente Et Classes De Relief Des Sous Bassins. 37
Tableau II.6*:* Températures Moyennes Mensuelles Et Annuelle Pour La Station De Miliana Pour La Période 1990-2010 *(ONM, Alger)* 38
Tableau II.7: Humidité relative mensuelles moyenne à la station derdeur barrage1975-2007 (ANRH)..39
Tableau II.8: Caractéristiques des stations pluviométriques.....41
Tableau II.9: Caracteristiques des stations hydrometriques 41
Tableau III.10: Données De Base Des Sous-Bassins Versants.....62
Tableau III.11: des paramètres hydrologiques et géomorphologiques des sous-bassins utilisés dans la configuration du modèle HEC-HMS 64

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Schématisation d'un modèle global pluie-débit (Koffi, 2007).[6] 9
Figure I.2: Les différentes approches de modélisation 10
Figure I.3: Schématisation du bassin versant [HEC-HMS02] 15
Figure I.4: Hyétogramme de la Pluie (T=20 ans) 17
Figure II.5: situation géographique de la zone d'étude 28
Figure II.6: situation géographique de sous bassin Oued Deurdeur (Hani) 28
Figure II.7: Cadre géologique (Perrodon 1967 - Mattauer 1958). 30
Figure II.8: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Oued Deurdeur. 34
Figure II.9: Carte géomorphologique de la zone d'étude. (Propre étude) 35
Figure II.10: le réseau hydrographie Deurdeur. 37
Figure II.11: Température moyenne mensuelle de la station de DerdeurBarrage (1996-2009) 38
Figure II.12: Variation de l'humidité mensuelle moyenne de la station derdeur barrage1975-2007 39
Figure II.13: La carte de l'évapotranspiration du Haut Chélif *(ABH-CZ, 2004).* 40
Figure II.14: Répartition des stations pluviométriques et hydrométriques de la zone d'étude. 42
Figure II.15: Variation des précipitations moyennes mensuelles du Oued Derdeur(1990-2010)43
Figure II.16: Variation des précipitations moyennes saisonniéres du Oued Derdeur(1990-2010). 44
Figure II.17: Variation annuelle des précipitations du bassin de L'oued 44
Figure II.18: Diagramme ombro-thermique de la station Derdeur 1991-2010) 45
Figure II.19: Variation annuelle des précipitations journalières maximales du bassin de L'oued Derdeur (1991-2010). 46
Figure II.20: Ajustement des pluies maximales journalières à différentes loi période (1991/2010) 47
Figure II.21:D'après histogramme la loi la plus adéquat la distribution par la loi de Gumbel et lognormal 47
Figure II.22:Ajustement des pluies maximales journalières à différentes loi 48
Figure II.23 : "Courbe d'ajustement statistique des pluies extrêmes par la loi de Gumbel" 48
Figure II.24:Évolution des hauteurs de pluie en fonction du temps pour différentes périodes de retour (Station 11601) ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.25; Courbes IDF représentant l'intensité des pluies selon la durée et la période de retour Courbe embro_thermique ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure II.26: variation des débits annuels station Marbout blanc 52
Figure II.27: Régime mensuel de sous bassin Oued Derdeur 52
Figure II.28: Relation inter mensuelle des débits et des pluies ……..53

Liste des figures

Figure II.29: Variation des débits maximaux journaliers 54
Figure II.30: Ajustement des débits journaliers maximums à une loi de log P Pearson III..... 55
Figure II.31: Ajustement des débits journaliers maximums à une loi de log P Pearson III..... 56

Figure III.32: Délimitation du bassin versant importé depuis le fichier .amtn dans HEC-HMS59
Figure III.33: Fenêtre De L'interface Du HEC-HMS Représente Le Bassin Versant Et Leurs Sous Bassins (Propre Etude)..... 60
Figure III.34: Données de base des reach..... 62
Figure III.35: La carte de curve number du bassin oued derdeur..... 63
Figure III.36: Fenêtre Représente Le Graphe De Pluie Et Le Débit Simule- L Exutoire 2009 (Avant Calibration)..... 65
Figure III.37: Fenêtre représente les résultats de simulation - l'exutoire (avant calibration)... 66
Figure III.38: Fenêtre représente le graphe de pluie et le débit simule- l exutoire 1994 (avant calibration)..... 66
Figure III.39: Fenêtre représente les résultats de simulation - l'exutoire (avant calibration)... 67
Figure III.40:Comparaison Des Débits Simulés Et Observés Pour La Crue De Février 2009 Après Le Calibrage..... 67
Figure III.41:Résultats de la calibration pour la crue de janvier 1994 – Fonction objectif..... 68
Figure III.42: Hydrogramme observé vs. simulé pour la crue de janvier 1994 après calibrage dans HEC-HMS..... 68
Figure III.43: Fenêtre des résultats de la fonction objectif – Calibration de la crue du 7 au 18 février 2009 (Nash-Sutcliffe normalisé)..... 69
Figure III.44:hydrogramme Avant validation Nash 0,64 70
Figure III.45: hydrogramme Apres validation -Nash 0,99 R^2 0,98 71
Figure III.46: : la corrélation entre débits observés et débits simulés 72
Figure III.47: Fenêtre représente les résultats de performance après la validation(le volume ruisselé ; débit de pointe, le temps de pic)..... 72

Summary:

This study aims to model floods in the Derdeur River, a sub-basin of the Upper Chéliff located in the province of Aïn Defla, Algeria. The basin features a marked mountainous topography, with a maximum elevation reaching 1,800 m and an elongated shape (Kc = 1.78), favoring rapid runoff and short-term floods. In the context of hydrological risk management, the use of a reliable model is essential to anticipate extreme events and optimize prevention measures.

To ensure the overall consistency of simulated results, it is necessary to develop a validation process. To this end, a sensitivity analysis was performed by adjusting the values of various HEC-HMS model parameters for the watershed. After running the model several times, the simulated flow results were compared with the monitoring values at the basin outlet (where the discharge station is located) for each parameter change. In this regard, the number of CN curves, the SCS lag time and the initial abstraction are calibrated. The measurement results confirmed those of the model and showed that the difference between the observed peak flow and the validated model was about 3.1%, with an R^2 value of 0.98 and a Nash-Sutcliffe efficiency of 0.99. This study concludes that the HEC-HMS has proven to be a powerful tool for rainfall-runoff modeling in the Derdeur wadi basin

Keywords: calibration, flood modeling, HEC-HMS, validation, Nash-Sutcliffe

Résumé :

Cette étude vise à modéliser les crues de l'oued Derdeur, un sous-bassin du haut Chéliff situé dans la wilaya d'Aïn Defla, en Algérie. Le bassin présente une topographie montagneuse marquée, avec une altitude maximale atteignant 1800 m et une forme allongée (Kc = 1,78), favorisant le ruissellement rapide et des crues de courte durée. Dans le contexte de la gestion des risques hydrologiques, l'utilisation d'un modèle fiable est essentielle pour anticiper les événements extrêmes et optimiser les mesures de prévention.

Pour garantir la cohérence globale des résultats simulés, il est nécessaire de développer un processus de validation. Pour cela Une analyse de sensibilité a été réalisée en ajustant les valeurs de différents paramètres de modèle HEC-HMS pour le bassin versant. Après avoir exécuté le modèle à plusieurs reprises, les résultats de débit simulé ont été comparés aux valeurs de suivi à l'exutoire du bassin (où se trouve la station de décharge) à chaque

modification des paramètres. À cet égard, le nombre de courbes CN, le temps décalage SCS (lag time) et **Ia** abstraction initial sont calibrés. Les résultats des mesures ont confirmé ceux du modèle et ont montré que la différence entre le débit de pointe observé et le modèle validé était d'environ 3.1 %, avec une valeur R^2de 0,98 et une efficacité Nash-Sutcliffe de 0,99. La présente étude conclut que, le HEC-HMS s'est révélé un outil performant pour la modélisation pluie- débit dans le bassin de l'oued Derdeur.
Mots clés : calibrage, modélisation des inondations, HEC-HMS, validation, Nash-Sutcliffe

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى نمذجة الفيضانات في وادي دردور، وهو حوض فرعي من الحوض الأعلى للشلف، ويقع في ولاية عين الدفلى، الجزائر. يتميز الحوض بطبوغرافية جبلية واضحة، حيث يبلغ الارتفاع الأقصى 1800 متر، ويأخذ شكلاً ممدوداً(Kc = 1.78) ، مما يُسهم في الجريان السطحي السريع وحدوث الفيضانات قصيرة الأمد. وفي سياق إدارة المخاطر الهيدرولوجية، فإن استخدام نموذج موثوق يُعد أمراً ضرورياً للتنبؤ بالأحداث القصوى وتحسين إجراءات الوقاية.

ولضمان الاتساق العام في النتائج المحاكاة، كان من الضروري تطوير عملية تحقق (تحقيق من الصحة). ولهذا الغرض، أُجريت تحليلات حساسية من خلال ضبط قيم مختلف معلمات نموذج HEC-HMS للحوض. وبعد تشغيل النموذج عدة مرات، تم مقارنة نتائج التدفقات المحاكاة مع القيم المرصودة عند مخرج الحوض (حيث تقع محطة القياس) عند كل تغيير في المعلمات. وفي هذا السياق، تم معايرة عدد منحنياتCN ، ووقت التأخر حسب طريقةSCS ، والامتصاص الابتدائي. وقد أكدت نتائج القياس صحة النموذج، حيث أظهرت أن الفرق بين التدفق الأقصى المرصود وذلك المقدر من النموذج لم يتجاوز 3.1%، بقيمة R^2 بلغت 0.98، وكفاءة ناش-ساتكليف بلغت 0.99. وتخلص هذه الدراسة إلى أن نموذج HEC-HMSأثبت فعاليته كأداة قوية لنمذجة العلاقة بين الأمطار والجريان السطحي في حوض وادي دردور.

الكلمات المفتاحية: المعايرة، نمذجة الفيضانات، HEC-HMS، التحقق، كفاءة ناش-ساتكليف.



Introduction générale

Introduction générale

L'eau, élément fondamental à la vie, représente un enjeu stratégique majeur pour le développement durable des sociétés humaines. Dans un contexte mondial marqué par le changement climatique, l'urbanisation croissante et l'augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes, la gestion efficace et rationnelle des ressources hydriques s'impose comme une priorité absolue. Parmi les problématiques hydrologiques les plus préoccupantes figure la gestion des crues, qui constitue un risque naturel aux conséquences humaines, économiques et environnementales considérables. Les inondations récurrentes mettent en lumière la vulnérabilité de nos systèmes territoriaux et la nécessité d'adopter des outils de prévision et de prévention plus performants.

Dans cette optique, les modèles hydrologiques apparaissent comme des outils scientifiques et techniques incontournables. Ces modèles permettent de simuler les processus complexes du cycle de l'eau à différentes échelles spatiales et temporelles, et jouent un rôle crucial dans la compréhension du comportement hydrologique des bassins versants. Qu'ils soient conceptuels, déterministes, stochastiques ou à base physique, ces modèles sont largement utilisés pour anticiper les crues, dimensionner les ouvrages hydrauliques, évaluer les impacts du changement climatique et analyser les effets de l'occupation du sol sur l'écoulement des eaux.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'analyse et de l'application de la modélisation hydrologique à travers l'outil HEC-HMS, afin de mieux comprendre le comportement hydrologique du bassin versant de l'Oued Deurdeur. Une attention particulière est accordée à la précision des données météorologiques, aux caractéristiques géomorphologiques du bassin, ainsi qu'à la calibration des paramètres du modèle. L'objectif ultime est d'améliorer les capacités de prévision hydrologique et de proposer des solutions durables pour atténuer les effets dévastateurs des inondations.

Le premier chapitre est consacré à la présentation des modèles hydrologiques et leur importance dans la gestion des crues. Le deuxième chapitre porte sur la description détaillée de la zone d'étude, à savoir le bassin versant de l'Oued Deurdeur, en analysant ses caractéristiques géographiques, géologiques, climatiques et morphométriques. Enfin, le troisième chapitre traite de la modélisation pluie-débit à l'aide du logiciel HEC-HMS, avec

une application concrète sur le bassin étudié afin d'évaluer les scénarios de crues et d'optimiser la gestion du risque hydrologique.

CHAPITRE I: LES MODÈLES HYDROLOGIQUES ET LA GESTION DES CRUES

Introduction

L'eau est une ressource essentielle pour le développement des sociétés humaines et le maintien des écosystèmes naturels. Sa gestion efficace est devenue un enjeu stratégique majeur, notamment dans un contexte de changement climatique et d'urbanisation croissante. Parmi les défis majeurs liés à l'hydrologie, la gestion des crues occupe une place centrale en raison des impacts socio-économiques et environnementaux qu'elles peuvent engendrer. En effet, les inondations constituent l'un des risques naturels les plus dévastateurs, causant chaque année des pertes humaines et matérielles considérables à travers le monde.

Face à ces défis, la compréhension du comportement hydrologique des bassins versants et la prévision des événements extrêmes sont devenues des priorités pour les chercheurs et les gestionnaires de l'eau. L'hydrologie, en tant que science, s'appuie sur une diversité d'approches et d'outils permettant de modéliser les processus hydrologiques et d'évaluer leur dynamique dans le temps et l'espace. Les modèles hydrologiques jouent ainsi un rôle fondamental dans l'analyse des phénomènes liés au cycle de l'eau, en offrant des outils de simulation et de prévision adaptés aux différentes échelles spatiales et temporelles.

Les modèles hydrologiques sont utilisés pour diverses applications, allant de la gestion des ressources en eau à l'évaluation des risques hydrologiques. Dans le cadre de la gestion des crues, ces modèles permettent d'anticiper les débits de pointe, d'évaluer les impacts des aménagements hydrauliques et de proposer des stratégies d'atténuation des risques. Grâce aux avancées technologiques et aux progrès en modélisation numérique, les approches hydrologiques se sont considérablement améliorées, intégrant des paramètres physiques, statistiques et empiriques pour une meilleure représentation des processus hydrologiques.

1. Les crues

1 .1. Définition

Les crues sont un phénomène naturel. Toutefois, les catastrophes entraînées par les inondations sont le résultat d'une interaction entre ce phénomène naturel et des processus écologiques, économiques et sociaux.(Belagoune ,2012).

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s 'écoule dans la rivière et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. De nombreux géographes et hydrologues ont adopté le critère qu'une rivière est en crue lorsque son Débit est trois à cinq fois supérieur à son débit moyen. De façon plus pratique, on admet Qu'une rivière est en

crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur. Il s'a git d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module on parle alors de crue critique, la quelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines.

Une crue se caractérise par son hydrogramme graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de ce hydrogramme qui est appelé « crue », la partie descendante étant « la décrue ». Une crue se définit par différents critère s : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume.(FREY,1991**) [1]**

1.2. Les causes de la crue :

La crue est la conjugaison brutale de plusieurs facteurs :

- l'augmentation brutale du débit en amont provoqué soit par des eaux en amont due à un réchauffement rapide (fonte des neiges ou de glacier) ou un évènement accidentel (rupture de barrage...).
- **b.** Cet apport excessif est renforcé par une diminution de l'infiltration et du stockage en amont (urbanisation excessive et non contrôlée, antécédents pluvieux récents), par l'encombrement du lit du cours d'eau provoquant des mini barrages qui cèdent lorsque la pression des eaux est trop forte.
- **c.** La baisse de l'écoulement sur le site et en aval causée par l'encombrement du cours d'eau à caractère accidentel (éboulement, glissement terrain,travaux dans le lit du cours d'eau) ou due à la négligence (urbanisation, absence de nettoyage.

Parmi ces facteurs, certains sont prévisibles, d'autres ne le sont pas, certains sont imparables, d'autres peuvent être évités. En ce qui concerne les causes imparables (précipitations, sol saturé ...), la prévention est basée uniquement sur la mise en alerte et la surveillance. (Bachi, 2011) **[2]**

1.3. Typologie des crues

Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe (ou débit maximum) et son volume (KLEMES, 1975). Les crues peuvent être classées en trois grands types en fonction de leur importance et l'intervalle de récurrence :

- les crues décennales sont des crues moyennes à fortes (statistiquement, chaque année, il y a une chance sur dix pour qu'un tel événement se produise ou soit dépassé),

- **b.** les crues centennales sont des crues fortes à très fortes (statistiquement, chaque année, il y a un risque sur cent pour qu'un tel événement se produise ou soit dépassé),
- **c.** les crues millenales sont des crues exceptionnelles (statistiquement, chaque année, il y a une chance sur mille pour qu'un tel événement se produise ou soit dépassé).

La désignation centennale ou millennale caractérise une probabilité moyenne d'apparition de la crue chaque année, mais ne renseigne pas sur la durée qui sépare deux événements. Ainsi, la crue de projet est une crue de récurrence donnée (fonction de l'environnement et d'impératifs technologiques) servant à calculer les dimensions des ouvrages hydrauliques et la résistance des ouvrages de génie civil (Glossaire International d'Hydrologie) **[3]**

2. Les modèles hydrologiques :

2.1. Définition :

Un modèle hydrologique, ou modèle pluie-débit, est un outil numérique de représentation de la relation pluie-débit à l'échelle d'un bassin versant. Il permet de transformer des séries temporelles dérivante climat d'un bassin versant donné (séries de précipitations et de températures par exemple, séries qui sont les entrées du modèle hydrologique) en une série de débits (sortie du modèle hydrologique). De nombreux modèles hydrologiques ont été développés depuis la fin des années 1960. Le choix du type de modèle à utiliser dépend généralement de l'objectif de modélisation ainsi que des données d'entrées disponibles.[4]

2.2. Pourquoi du modèle hydrologique :

Les modèles hydrologiques, sont nés bien avant l'avènement de l'informatique ils sont utilisé soit pour effectuer des prévisions. Soit pour dimensionner des ouvrages ou enfin pour délimiter des zones inondables. On peut distinguer trois types d'utilisation de la modélisation

hydrologique à savoir :

La modélisation comme outils de recherche dans ce cas elle peut être utilisée pour interpréter des données mesurées. Déférentes scénarios de fonctionnement hydrologique des bassins versant peuvent alors être confrontés aux mesures.

La modélisation comme outils de prévision elle servira alors à anticiper les évolutions futures du débit il s'agit de l'utilisation opérationnelles la plus courant des modèles hydrologiques.

La modélisation comme outils d'extrapolation elle permettra alors la reconstitution des débits plausibles.[4]

2.3. Types de modèles hydrologiques :

Un modèle est une représentation d'un phénomène physique, afin d'en avoir une meilleur compréhension ou d'analyser l'influence qu'il exerce. La représentation peut être physique, analogique ou mathématique Dans le premier cas, le modèle est une maquette qui reproduit d'une manière adéquate la réalité. Les modèles analogiques utilisent les similitudes qui existent entre le phénomène à étudier et un autre phénomène physique.

La modélisation mathématique est un outil essentiel pour la connaissance des phénomènes naturels, elle essaye d'établir un lien entre les variables d'entrée et de sortie par des relations mathématiques.

Au cours de ces dernières années, les efforts de la recherche pour la compréhension du cycle de l'eau dans les milieux naturels (bassin versant, rivières, nappes, etc.), associés aux développements de l'informatique, se sont concrétisés par l'apparition d'une multitude de modèles mathématiques. On peut distinguer trois types d'utilisation des modèles mathématiques en hydrologie.

- **a.La modélisation comme outil de recherche :**

La modélisation peut être utilisée pour interpréter des données mesurées.

Différents scénarios de fonctionnement hydrologique des bassins versants peuvent être confrontés aux mesures.

- **b. La modélisation comme outil de prévision :**

Elle nous donne une anticipation des évolutions futures du débit d'un cours d'eau. Il s'agit de l'utilisation opérationnelle la plus courante des modèles hydrologiques. Dans la plupart des cas cependant, les modèles développés sont basés sur des régressions linéaires entre les variables indépendantes (pluie, débit amont) et les variables dépendantes (débits aval), et font peu appel aux connaissances sur les processus hydrologiques.

- **c. La modélisation comme outil d'extrapolation :**

Reconstitution de séries de débits possibles. Dans certains cas, comme par exemple le dimensionnement de déversoirs de sécurité de barrages hydroélectriques ou encore la délimitation de zones inondables dans le cadre d'un plan de prévention des risques.

L'utilisation de longues séries de pluies éventuellement générées à l'aide d'un modèle stochastique de pluie couplées à un modèle hydrologique permet de reconstituer des scénarios rares.[5]

2.4. Applications du modèle

La modélisation pluie-débit a de nombreuses applications ;

Parmi lesquelles on peut citer :

- Estimation des débits de rivières pour des sites non jaugés.
- Dimensionnement des ouvrages d'art (barrages, ponts, déversoirs de sécurité…).
- Délimitation des zones inondables.
- Simulation des débits pour des reconstitutions historiques.
- Prévision des crues.
- Détection de l'influence des changements d'occupation du sol.
- Simulation de l'impact du changement climatique.
- Pré détermination des débits de crue ou d'étiage (fréquence et durée).[6]

2.5. Structure d'un modèle hydrologique

On distingue quatre types de variables qui peuvent exister en totalité ou en partie dans chaque modèle [Gaume, 2002 et Boudahraa, 2007] (Fig.2.1) :

➢ **Variables d'entrée** : le modèle fait appel à ces variables qui dépendent du temps et/ou de l'espace (Pluie, ETP, …).

➢ **Variables de sortie** : le modèle répond par un ensemble de variables (débit, flux ou concentration en polluants).

➢ **Variable d'état** : elle permet de caractériser l'état du système modélisé et peuvent évoluer en fonction du temps (niveau de remplissage des réservoirs d'eau d'un bassin versant, taux de saturation des sols, …).

➢ **Paramètres de calage** : en plus des variables, la modélisation fait intervenir des variables dont la valeur doit être déterminée par calage (conductivité hydraulique à saturation…).[6]

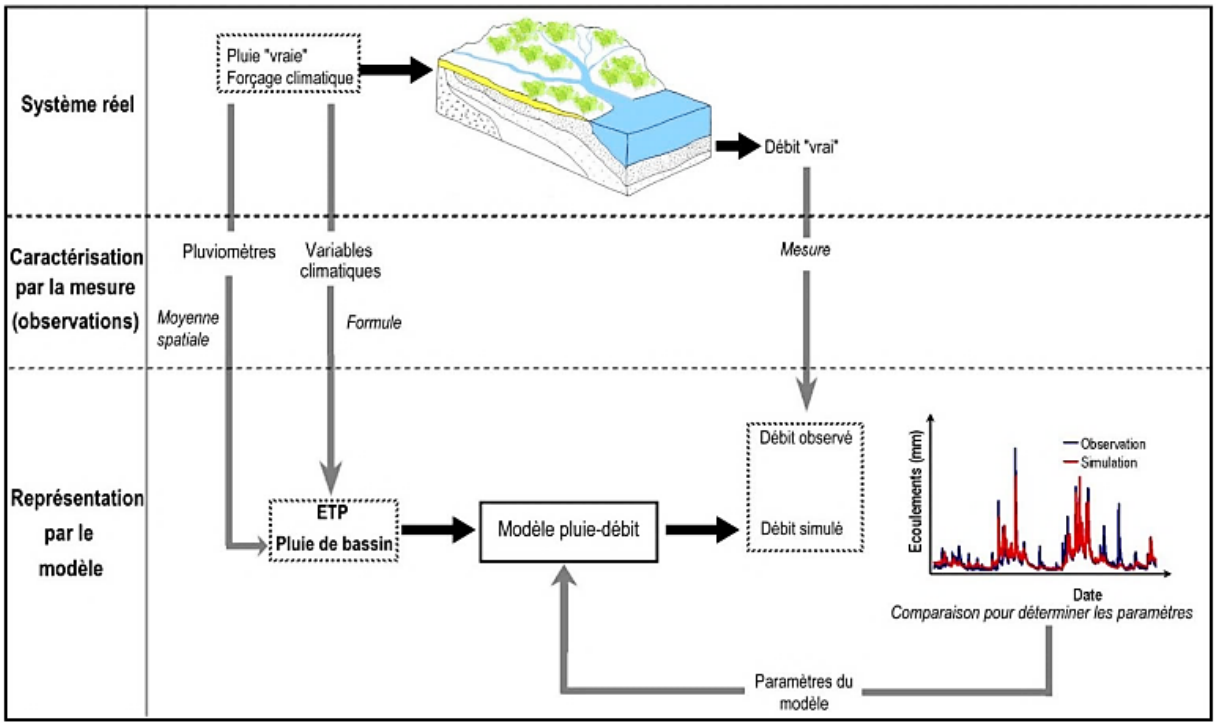


FIGURE I.1 : SCHEMATISATION D'UN MODELE GLOBAL PLUIE-DEBIT (KOFFI, 2007).[6]

2.6. Les différentes approches de la modélisation :

Le terme de modèle recouvre une large variété d'outils, à la philosophie et aux objectifs différents. Les approches habituellement utilisées dans la modélisation pluie-débit apparaissent en sombre dans la figure2.2.

Quelques logiciels de modélisation hydrologiques seront présentés dans la section suivante, nous nous contentons de donner ici une simple définition des différentes approches.[7]

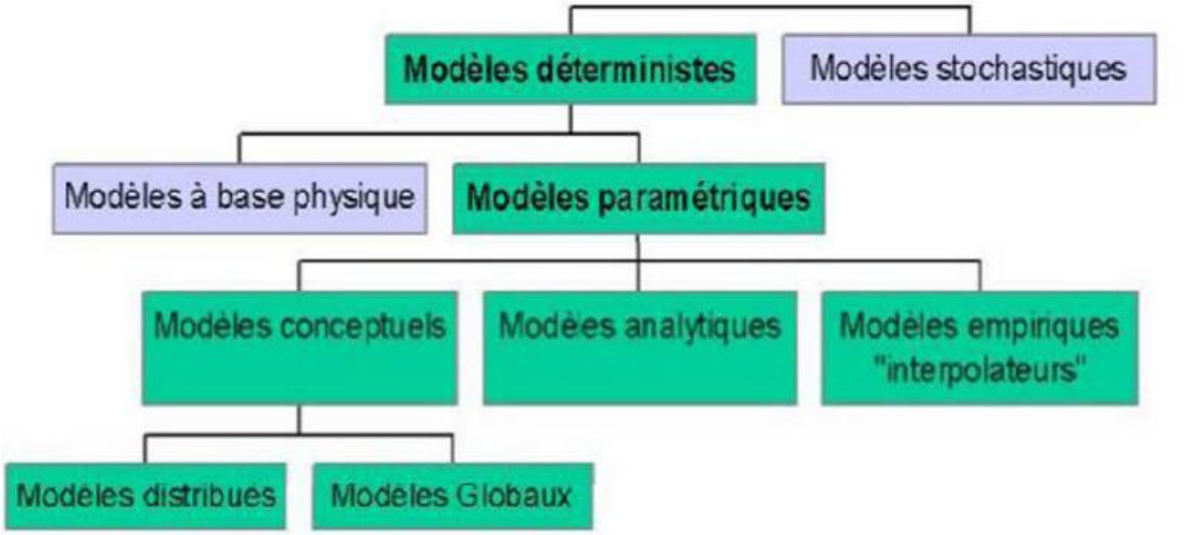


FIGURE I.2: LES DIFFERENTES APPROCHES DE MODELISATION

2.6.1. Modèles stochastiques :

Compte tenu des incertitudes sur les données et quelquefois même sur les processus en jeu, une modélisation stochastique peut sembler appropriée, qu'il s'agisse de l'hydrologie ou de l'environnement. Ainsi Jensen (1992) considère qu'une approche stochastique est un moyen rationnel de traiter la caractérisation spatiale de la variabilité, et d'établir un lien entre les incertitudes des paramètres et celles des prédictions.

Toutefois cette approche, qui semble par ailleurs le meilleur moyen de caractériser la variabilité des grandeurs, nécessite la connaissance des lois de probabilité les plus courantes pour la variabilité considérée ou au moins de leurs premiers moments [**9**].

2.6.2. Modèles déterministes :

Un modèle est dit déterministe si aucune de ses grandeurs n'est considérée comme aléatoire. La plupart des modèles hydrologiques sont déterministes.

Ces modèles associés à chaque jeu de variables de forçage (variables indépendantes d'entrée du modèle, peuvent être essentiellement des mesures de pluie), de variables d'état (variable permettant de caractériser l'état du système modélisé, par exemple : le niveau de remplissage des différents « réservoirs » d'eau du bassin versant, taux de saturation des sols, profondeur des sols…etc.) et de paramètres, une valeur de réalisation unique des variables de sortie (il s'agit essentiellement des débits simulés à l'exutoire d'un bassin versant) [**10**].

2.6.3. Modèles à base physique :

Le modèle à base physique est basé uniquement sur des équations de la physique, et ne comportant idéalement aucun paramètre. Il n'existe pas de modèle à base physique au sens strict en hydrologie.

Certains modèles comme le SHE tendent à s'en rapprocher. L'importance de l'hétérogénéité spatiale dans la réponse hydrologique des bassins versants rend cependant difficile voire impossible l'utilisation de tels modèles.

La précision spatiale des données disponibles en particulier concernant les types de sols et leurs profondeurs n'est pas suffisante [**8**].

Dans la pratique, les profondeurs et les conductivités moyennes des sols représentatives de sous parties du bassin versant doivent être évaluées par calage et deviennent, de fait, des paramètres et non des données.

2.6.4. Modèles paramétriques :

Les modèles paramétriques sont les modèles incluant des paramètres dont la valeur doit être estimée par calage.[7]

2.6.5. Modèles empiriques :

Le type de fonctions reliant les variables est fixé à priori (fonctions polynomiales, fonctions sigmoïdes). Le niveau de complexité (nombre de fonctions à utiliser, ordre du polynôme) étant fixé, le calage consiste alors à déterminer la combinaison de fonctions s'ajustant le mieux aux données mesurées [**8**].

2.6.6. Modèles analytiques :

Ce sont des modèles pour lesquels les relations entre les variables de sortie et les variables d’entrée ont été établies par analyse de séries de données mesurées.

L'exemple type est celui des modèles linéaires : les paramètres de ces modèles sont liés aux coefficients de corrélation entre les variables.

Notons que l'analyse des données peut conduire au choix de relations non linéaire entre les variables [**8**].

2.6.7. Modèles conceptuels :

Ce type de modèle repose sur l’analogie remarquée entre le fonctionnement d’un bassin versant et un ensemble de réservoirs interconnectés.

Nous notons d'ailleurs qu'il serait plus judicieux de regrouper ces modèles sous la dénomination « Modèle conceptuel à réservoir ». Plus précisément, quand la structure du système et des lois le régissant sont inconnues ou lorsque la pauvreté des informations et la complexité des phénomènes en jeu prévalent, le comportement du système en question est simplifié.

Ainsi, les modèles conceptuels intègrent des facteurs complexes en essayant de décrire le concept physique du comportement du système par une représentation plus simple.

Au travers de ce type de modélisation, sont construites des structures empiriques censées reproduire les sorties du système étudié à partir des variables d'entrée (pluie, évapotranspiration, fertilisation, pratiques agricoles).

Ce type de modèle reproduit donc au mieux le comportement d'un système, plutôt qu'il n'avance d'explications causales sur son comportement.

Le modèle CEQUEAU est un parfait exemple de modèle conceptuel que nous présenterons dans la section suivante.[7]

2.6.8. Modèles globaux :

Les modèles globaux offrent à l'utilisateur un choix très attractif, car il présente une structure très simplifiée, il ne demande pas trop de données, faciles à utiliser et à calibrer. La représentation du processus hydrologique est très simplifiée.

Il peut souvent mener à des résultats satisfaisants, et spécialement si l'objectif majeur est la prévision d'une crue.

Un exemple de ce type de modèle est le modèle IHRACRES.[7]

2.6.9. Modèles Spatialisés :

Actuellement plusieurs modèles spatialisés correspondant à des différentes écoles hydrologiques sont en phase avancée de développement.

En principe, les modèles spatialisés sont des modèles qui utilisent des entrées et des sorties où les caractéristiques des bassins versants sont distribuées dans l'espace. La spatialisation peut être arbitraire ou basée sur des divisions morphologiques naturelles (découpage en sous bassins) ou hydrologiques (aires contributives)

Nous pouvons classer les modèles spatialisés en trois grands types:

- Modèles conceptuels spatialisés ou semi-spatialisés.

- Modèles physiques spatialisés.
- Modèles physiques conceptuels semi-spatialisés.[7]

a. Modèles conceptuels spatialisés ou semi-spatialisés :

Les modèles conceptuels spatialisés ou semi-spatialisés représentent un grand progrès sur les modèles globaux quand il s'agit d'analyser le fonctionnement interne d'un bassin.

Le bassin versant est discrétisé en unités spatiales (mailles ou sous-bassins) considérées comme homogènes, qui se vident les unes dans les autres de l'amont en aval.

Ainsi, on a la possibilité de tenir compte de la répartition spatiale des facteurs et de suivre la genèse et la propagation des débits à l'intérieur du bassin.

C'est le cas du modèle CEQUEAU [Morin] et du modèle HEC-HMS.[7]

b. Modèles physiques spatialisés :

Les modèles à base physique spatialisés sont des modèles qui décrivent les mécanismes internes d'un système (bassin versant) ayant comme base les lois de la mécanique, de la physique, de la thermodynamique, etc.

Du point de vue théorique, ces modèles sont indépendants de tout calage parce que leurs paramètres sont mesurables.

Ils permettent une description théorique unifiée de la plupart des flux observés dans un bassin versant et servent à modéliser les principaux processus hydrologiques comme :

- L'écoulement de surface à partir des équations de Saint-Venant ;
- L'écoulement en milieu saturé à partir des équations de Darcy ;
- L'écoulement en milieu non saturé à partir des équations de Richards ;
- L'évapotranspiration à partir des équations de conservation ou de relations entre flux.

A partir d'un découpage de l'espace en mailles de taille adaptée au problème à traiter, ils simulent les diverses composantes du cycle de l'eau sur chaque maille (ruissellement, infiltration, évapotranspiration) et convolent les transferts de maille à maille, jusqu'au réseau hydrographique constitué. Ces modèles sont complexes à mettre en oeuvre et exigent d'importantes quantités de données. Ils sont bien adaptés à la simulation de la diversité d'un bassin. Cependant, ces modèles ne peuvent traiter les grands bassins en raison de leur grande hétérogénéité morphologique et météorologique. Parmi ces modèles on peut citer le modèle SHE.

c. Modèles physiques conceptuels semi-spatialisés :

Pour dépasser les limites de chacune des approches précédentes (modèles conceptuels trop peu réalistes, modèles à base physique trop complexes), il est intéressant d'essayer une modélisation hydrologique qui peut être :

A base physique, fondée sur les processus réels mais simplifiés ;

Semi-spatialisée, fondée sur une discrétisation en unités relativement homogènes, qui permettent de tenir compte de la variabilité spatiale de la structure du bassin versant[7]

3. Le Modèle HEC-HMS

Le HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) est un logiciel qui simule le comportement hydrologique d'un Bassin Versant suite à des événements pluvieux prédéterminés, développé par Hydrologic Engineering Center (HEC) du corps de l'armée américaine des ingénieurs. Ce logiciel permet de calculer des hydrogrammes de crues pour plusieurs objectifs à savoir les études de drainage urbain, la prévision des crues et leur impact, la conception des réservoirs, la réduction des effets des inondations. Le programme présente une interface graphique, des composantes hydrologiques intégrées, un système spécifique de stockage de données (DSS) et des outils de gestion, etc.

Le logiciel HEC-HMS permet de traiter ou de simuler à la fois les différentes données suivantes :

- Les précipitations : Ces données peuvent correspondre à des relevés pluviométriques réels d'événements pluvieux ordinaires ou exceptionnels mais aussi à des événements pluvieux théoriques basés sur une étude statistique ;
- les pertes (par infiltration, retenue ou évapotranspiration) qui permettent d'évaluer le ruissellement à partir des précipitations et des caractéristiques du bassin versant ;
- Les ruissellements directs qui prennent en compte les écoulements de surface, les stockages et les pertes de charge ;
- L'hydrologie fluviale, concernée par l'écoulement de l'eau dans le lit de la rivière.

Ces différents paramètres seront ensuite modélisés mathématiquement par un ensemble de modèles intégrés dans HEC-HMS et qui permettront d'obtenir la réponse du système hydrologique global suite à un changement de conditions hydrométéorologiques.

a- Schématisation du bassin versant

Avec le HEC-HMS, le bassin versant est découpé en plusieurs sous-bassins délimités par les lignes de partage des eaux. Chacun est représenté par un élément appelé « subbasin ». Ce dernier contient l'ensemble des paramètres physiques et hydrologiques nécessaires pour la simulation à savoir : la surface et le nom du sous-bassin, les méthodes de calcul des « pertes », l'« écoulement de surface » et l' « écoulement souterrain». De même que les sous bassins, les cours d'eau sont aussi modélisés et représentés par des éléments hydrologiques appelés « reach » que chacun contient la méthode décrivant leur fonction de transfert et les informations nécessaires pour cette dernière telles que : Le type de la surface équivalente (sphérique ou prismatique), la longueur, le coefficient de Manning, etc. On peut aussi inclure les réservoirs dans la schématisation du bassin versant, ces derniers sont représentés par l'élément « Réservoir ». L'ensemble de ces éléments doit être relié pour former un réseau en incluant des jonctions, des bifurcations, des sources et des puits (voire l'exemple de la Figure I.3.1).

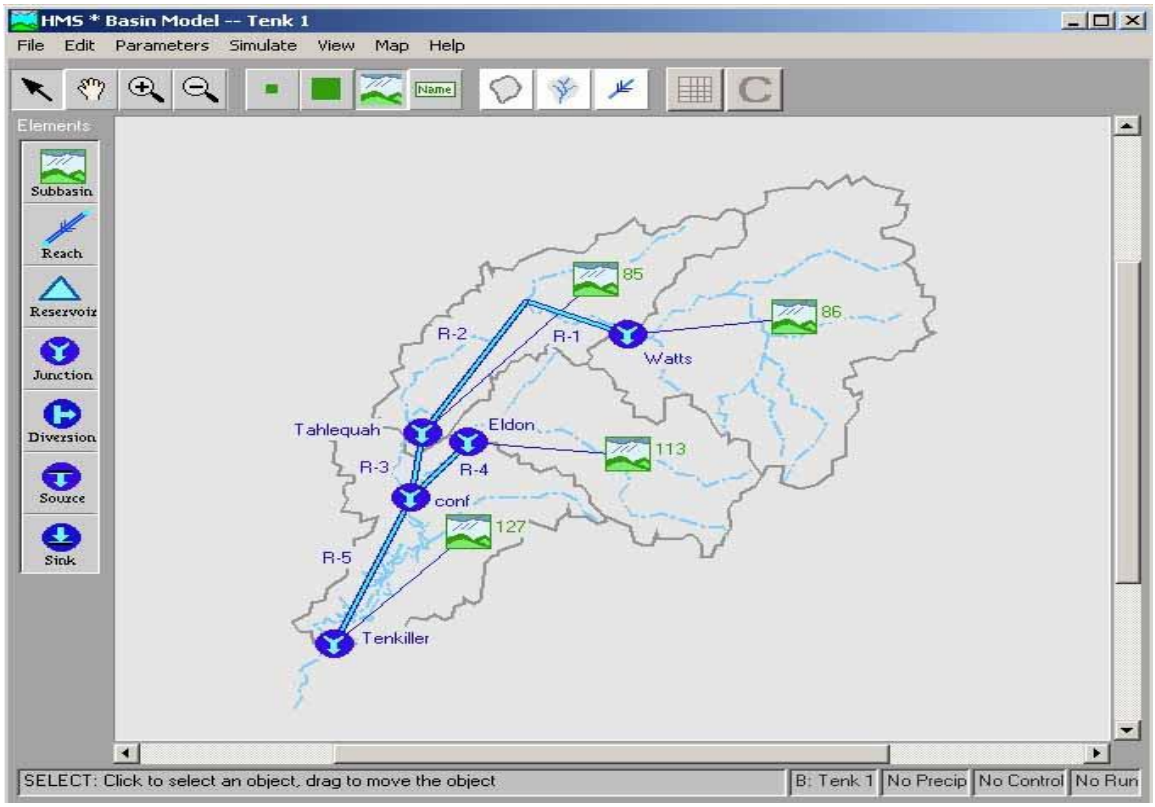


FIGURE I.3: SCHEMATISATION DU BASSIN VERSANT [HEC-HMS02]

b- Les données météorologiques

En plus du modèle du bassin, le modèle requiert des données des précipitations et d'évapotranspirations sur chacun des sous-bassins et des données hydrométriques pour les besoins de calage par la suite.

Il existe plusieurs modèles de précipitations et d'évapotranspirations disponibles dans HEC-HMS. L'utilisateur doit choisir un modèle convenable pour le calcul. Ces modèles sont :

- Méthode de pondération des données ;
- Inverse du carré de la distance ;
- Les précipitations en grille ;
- La pluie hypothétique ;
- La méthode des hyétographes [11]
-

4. Modèle météorologique

a) Précipitations

L'utilisation des données pluviométriques est essentielle et fondamentale pour le processus pluie-débit. Les données pluviométriques sont le moteur de la relation. La précision des données de précipitations en un point (c'est-à-dire au niveau du pluviomètre) est extrêmement importante pour toute l'utilisation restante des données. Les données de précipitation existent sous plusieurs formes. Le modèle HEC-HMS prend en compte cette variété de présentation des données de précipitations. Pour cela, il propose sept types d'événements pluvieux, la plupart sont spécifiques aux réseaux américains de mesure des précipitations.

On peut créer avec le logiciel HEC-HMS des évènements pluvieux hypothétiques, c'est-à-dire réaliser une simulation à partir de données qui ne sont pas issues de relevés réels. Cela peut s'avérer utile en particulier lorsqu'on veut connaître les volumes d'écoulements pour dimensionner des ouvrages d'art. On peut créer trois types d'évènements pluvieux standards :

- Pluie hypothétique basée sur la fréquence ;

- Pluie de projet standard : cette méthode fait intervenir des paramètres définis uniquement pour le territoire américain par certains organismes ;

- Pluie hypothétique dont la distribution est définie par l'utilisateur.

La méthode de la pluie hypothétique basée sur la fréquence a été appliquée pour le cas de notre zone d'étude. L'objectif de cette méthode est de définir un événement pour lequel l'intensité et la durée des pluies sont déterminées pour une probabilité de dépassement donnée. Pour définir cet évènement avec HEC-HMS l'utilisateur doit spécifier la hauteur de précipitation en chaque pas de temps pour une probabilité de dépassement choisi. L'intensité des pluies peut être déduite à partir des courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence).

Les données pluviométriques utilisées pour l'élaboration de l'hyétogramme de la zone d'étude sont issues de la station pluviométrique d'Ain Charchar pour la période de 1983-2003. La méthode de Gumbel a été appliquée pour la détermination de la hauteur d'eau pour différentes périodes de retour. Les figures (4.1) illustre les hyétogrammes de pluie issus à partir de la méthode de pluie basée sur la fréquence pour différentes périodes de retour (11)

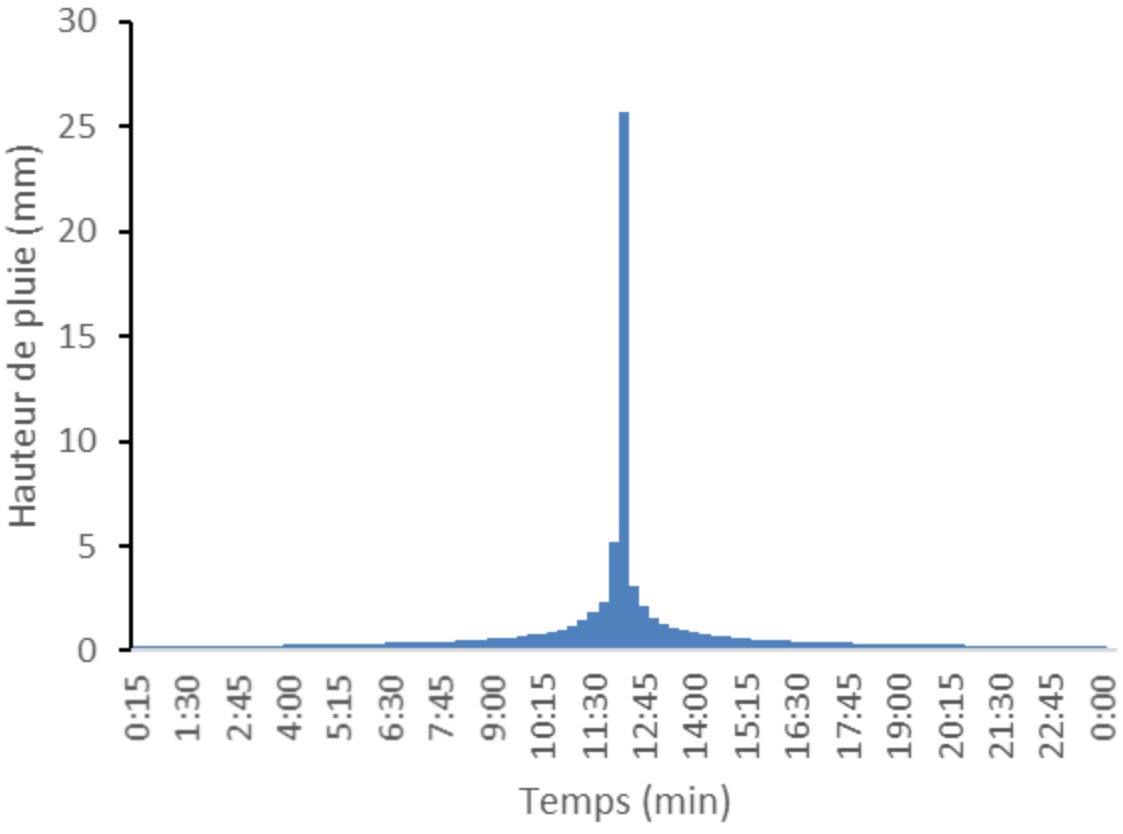


FIGURE I.4: HYETOGRAMME DE LA PLUIE (T=20 ANS)

b) Évapotranspiration

Comme dans le cas de l'infiltration, une théorie bien développée de l'évapotranspiration (ET) existe pour des conditions idéales, des conditions où les propriétés du sol et de la couverture végétale sont bien définies.

Cependant, la théorie, comme dans le cas de l'infiltration, est rarement mise en oeuvre dans un modèle de bassin versant car la situation réelle sur le terrain s'écarte considérablement des conditions idéales supposées dans la théorie. Au lieu de cela, la théorie est utilisée comme base pour développer de nombreuses méthodes paramétriques qui tentent de saisir l'essence du processus d'évapotranspiration.

5. Modélisation des pertes

HEC-HMS calcule les volumes d'écoulements en soustrayant aux précipitations les quantités d'eau qui sont stockées, infiltrées ou évaporées sur le bassin versant. L'interception, l'infiltration, le stockage et l'évaporation sont représentés par le HEC comme étant des « pertes

5.1. Concept de base

Les surfaces d'un bassin versant sont classées en deux catégories :

a. Surfaces directement connectées et imperméables, où l'écoulement est direct et se fait sans pertes. Dans ce cas on utilise le modèle « sans pertes » ;

b. Surfaces perméables soumises à des pertes décrites par les différents modèles suivants :

- Modèle de perte initiale et à taux constant ;
- Modèle à déficit et à taux de perte constant ;
- Modèle basé sur le Curve Number (CN) ;
- Modèle de Green et Ampt.

Pour tous ces modèles, les pertes sont calculées pour chaque intervalle de temps et soustraites à la moyenne surfacique de précipitations de cet intervalle. La quantité d'eau restante désigne l'excès de précipitation. Cette quantité est considérée uniforme sur tout le bassin versant et représente le volume d'écoulement de surface**.[11]**

5.2. Le modèle de pertes initiales et à taux constant

Ce modèle considère que le potentiel du taux de pertes maximum, noté *fc*, est constant, et inclut le taux de pertes initiales *Ia* qui représente l'interception et le stockage dans les

dépressions de surfaces. L'interception est une conséquence de l'absorption de la p luie par le couvert végétal et le stockage de surface est la conséquence de la topographie du bassin versant : l'eau stockée dans les dépressions de surface sera soit évaporée soit infiltrée. Tant que *Ia* n'est pas atteint, il n'y a pas de ruissellement.

On peut résumer ce fonctionnement de la manière suivante :

Si $P_t \leq I_o$, alors $P_{et} = 0$

Si $P_t > I_o$ et $(P_t - I_o) \leq f_c$, alors $P_{et} = 0$ **(Ep01)**

Si $P_t > I_o$ et $(P_t - I_o) > f_c$, alors $P_{et} = P_t - I_o - f_c$

où, Pt : La moyenne surfacique des précipitations au temps t ; Pet : le ruissellement au temps t donné par :

$$P_{et} = \begin{cases} P_t - f_c & \text{si} \quad P_t > f_c \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \qquad \textbf{(Ep02)}$$

La difficulté de cette méthode réside dans la détermination des pertes initiales et du taux de pertes constantes. La première dépend des conditions qui ont précédés l'évènement pluvieux à étudier (par exemple si le sol était déjà saturé en eau par des pluies précédentes, les pertes initiales seront quasiment nulles). Ces pertes dépendent aussi de l'aménagement et de la nature des sols. Le second dépend des propriétés physiques du sol du bassin et de la nature du sol.

Si le sol du bassin versant est saturé, *Ia* sera proche de zéro. Si le sol est drainé, alors *Ia* représentera la quantité d'eau qui tombe sur le bassin versant sans qu'il y ait de ruissellement ; cette quantité est fonction de la nature de terrain du bassin versant, occupation du sol, type et utilisation du sol. A titre indicatif, on estime que ces pertes sont égales à 10 ou 20% de la pluie totale pour une forêt, alors qu'en zone urbaine elles sont comprises entre 2 et 5 mm de hauteur d'eau.

Le taux de perte constant qui correspond au pouvoir d'absorption du sol est exprimé en mm/h.

On peut toutefois se servir des valeurs données dans le tableau suivant :

TABLEAU I.1: LE TAUX DE PERTES CONSTANT POUR LES DIFFERENTS TYPES DU SOL. [12]

Groupe	Type du sol	Ordre de grandeur du taux de pertes (mm/h)
A	Sable profond, lœss profond, limons agrégés	7.5 à 11
B	Lœss peu profond, terre sableuse	3.5 à 7.5
C	Terre argileuse, terre sableuse peu profonde, sols à faible teneur en matière organique, sols argileux	1.2 à 3.5
D	Sols gonflant fortement sous l'effet de l'eau, argiles plastiques lourdes, sols salins.	0 à 1.2

Une variante de ce modèle est le modèle quasi continu qui prend en compte des périodes sans pluie au cours de l'évènement et qui intègre donc une régénération (avec un taux à fixer) des pertes initiales. C'est le modèle "Déficitaire et à taux constant". Pour utiliser ce modèle avec le HEC-HMS on doit spécifier le taux de pertes initiales, le taux de pertes constant et le taux de régénération. Ce dernier peut être estimé comme étant la somme du taux d'évaporation et du taux de percolation.

N.B: en général on ne déterminera pas directement les pertes initiales et le taux de pertes mais

on procèdera plutôt à un calage du modèle à partir de données réelles.[11]

5.3. Le modèle du Curve Number (CN)

Ce modèle estime l'excès des précipitations comme une fonction des précipitations cumulées, de la couverture et de l'humidité initiale du sol à partir de l'équation suivante :

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \qquad \textbf{(Ep03)}$$

où, Pe : L'excès des précipitations ; P : est le total des précipitations accumulées au temps

t ; Ia : Les pertes initiales et S : est le potentiel maximum de rétention.

On a par ailleurs la relation empirique ci-dessous, qui a été développée à partir d'une analyse menée sur un ensemble de petits bassins versants expérimentaux qui donne Ia en fonction de

$$I_a = 0.2S$$

On obtient donc :

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \qquad \text{(Ep04)}$$

Le potentiel de rétention maximum, S, et les caractéristiques du bassin versant sont reliées par

l'intermédiaire du nombre de courbe CN (Curve N umber) par :

$$S = \frac{25400 - 254\,CN}{CN} \qquad \text{(Ep05)}$$

CN peut être estimé comme une fonction du type du sol, d'occupation du sol et des conditions hydriques précédentes du bassin versant : ce nombre peut être estimé à partir des tables des données en annexe A du manuel de référence technique HEC-HM, qui expriment CN en fonction du type de la couverture végétale.

Pour un bassin versant composé de différents types de sols ou de couvertures végétales, on peut établir un CN moyen par la relation suivante :

$$CN_{moy} = \frac{\sum_i a_{ij} CN_i}{\sum_i A_i} \qquad \text{(Ep06)}$$

où, j : L'indice associé à la subdivision du bassin de type de sol uniforme ; aij : l'aire de la subdivision j dans le sous-bassin i et Ai : l'aire du sous-bassin *i*.[11]

5.4 La méthode CN en grille

Une autre alternative de la méthode de CN qui peut être utilisée par le HEC-HMS est celle de CN en grille, avec cette option, la subdivision de l'équation (Ep03) sera des cellules d'une grille, dans la base de données, où chaque cellule doit inclure : sa localisation, sa distance de l'exutoire, ses dimensions et son CN (qui est donné en fonction du type de sol). Ainsi, le HEC calcul l'excès des précipitations pour chaque cellule indépendamment en utilisant l'équation (III-11), ensuite, il calcule l'excès total au niveau de l'exutoire en utilisant la méthode de ModClark (cette méthode sera présentée dans la section suivante). Ce qui veut dire que la méthode de CN en grille n'est compatible qu'avec cette méthode de calcul.[11]

6.Le routage hydrologique

Il permet de calculer l'hydrogramme à l'aval du bassin versant, connaissant l'hydrogramme amont. Tous ces formalismes utilisent les équations de continuité et de quantité de mouvement pour la simulation

- « Lag »;
-« Muskingum »;
-« Modified Puls »;
- « Kinematic-wave »;
- « Muskingum Cunge ».

Dans notre étude on a choisi le modèle de Muskingum qui représente le contexte de notre travail, et il repose sur les deux paramètres "X" et K ». Le modèle Muskingum utilise une approximation simple en différences finies de l'équation de continuité

$$\left(\frac{I_{t-1}+I_t}{2}\right)-\left(\frac{O_{t-1}+O_t}{2}\right)=\left(\frac{S_t-S_{t-1}}{2}\right) \qquad \text{(Ep07)}$$

Le stockage dans le bief est modélisé comme la somme du stockage du prisme et du stockage d'angle. Comme illustré dans la figure (III.8) ci-dessous, le stockage du prisme est le volume défini par un profil de surface d'eau à écoulement constant, tandis que le stockage du coin est le volume supplémentaire sous le profil de l'onde de crue. Pendant les phases montantes de la crue, le stockage du coin est positif et s'ajoute au stockage du prisme. Pendant les phases de chute d'une crue, le stockage d'angle est négatif et est soustrait du stockage du prisme.

Avec la méthode Muskingum, le stockage à portée de main se visualise en deux parties :

Stockage de prisme et stockage d'angle. Le stockage prismatique est essentiellemY7-y$-

nt le stockage sous le profil de surface de l'eau à un écoulement constant.

Le volume de stockage du prisme est le débit de sortie, « O », multiplié par le temps de parcours à travers le bief, K. Le volume de stockage de coin est une différence pondérée entre l'entrée et la sortie, multipliée par le temps de parcours K. Ainsi, le modèle de Muskingum définit le stockage comme :

$$S_t = KO_t + KX(I_t - O_t) = K(XI_t + (1-X)O_t)$$

Avec K temps de parcours, et X paramètres permettant une pondération (0<X<0.5). Ainsi, si le stockage d'eau dans la rivière est contrôlé par les conditions en aval, on met X=0 (On trouve le modèle de réservoir linéaire présenté plus haut). Au contraire, on prendra X=0.5, pour donner un poids similaire aux débits entrants et sortants. Finalement on obtient l'équation suivante :

$$O_t = \left(\frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t}\right) I_t + \left(\frac{\Delta t + 2KX}{2K(1-X) + \Delta t}\right) I_{t-1} + \left(\frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t}\right) O_{t-1}$$

(Ep08)

Connaissant les valeurs de K, X, It pour tous les temps t, et de la condition initiale Ot=0.

HEC-HMS calcule par récurrence l'hydrogramme amont. Les paramètres K et X peuvent être évidemment estimés par une série d'essais successifs corrigés au fur et à mesure. Pourtant K peut être aussi mesuré comme l'intervalle entre deux points similaires dépendant respectivement des hydrogrammes amont et aval, si ceux-ci sont disponibles.[13]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré les modèles hydrologiques et leur rôle essentiel dans la gestion des crues. Nous avons d'abord défini les crues et analysé leurs causes, leur typologie et leurs impacts. Ensuite, nous avons examiné les modèles hydrologiques, en mettant en évidence leur importance pour la prévision des événements hydrologiques extrêmes et leur utilisation dans divers domaines tels que la gestion des ressources en eau, la prévention des inondations et la conception des infrastructures hydrauliques.

Les modèles hydrologiques, qu'ils soient déterministes, stochastiques, conceptuels ou basés sur la physique, permettent une meilleure compréhension du cycle de l'eau et offrent des outils précieux pour l'anticipation des risques liés aux crues. Grâce aux avancées technologiques et à l'amélioration des méthodes de modélisation, ces outils deviennent de plus en plus précis et adaptés aux réalités hydrologiques des bassins versants.

Ainsi, l'étude des modèles hydrologiques constitue un élément fondamental pour la gestion durable des ressources en eau et la prévention des catastrophes naturelles. Dans les chapitres suivants, nous approfondirons l'application de ces modèles à des cas concrets et analyserons leur efficacité dans différents contextes hydrologiques.

Chapitre II : Description de la zone d'étude

Introduction :

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons aux différentes caractéristiques de notre zone d'étude, à savoir le bassin versant de l'Oued Deurdeur. Pour cela, nous commencerons par situer cette zone dans son contexte géographique général. Ensuite, nous analyserons les principaux éléments qui influencent son cadre physico-géographique, en abordant successivement la géomorphologie générale, le contexte géologique et les conditions climatiques qui régissent ce bassin. Cette approche nous permettra de mieux comprendre les spécificités de l'Oued Deurdeur et leur impact sur son hydrologie.

1. Situation géographique

1.1 Présentation générale de la région hydrographique « cheliff zahrez » :

La région hydrographique cheliff-zahrez s'étend sur une superficie de 54000km², elle regroupe trois bassins hydrographiques : le côtier Dahra (3201km²) le bassin endoréique du zahrez (8989km²)) et le bassin de Chéliff (437500kmm²) (ANBT,2008)

Les bassins versants du Chéliff sont classiquement subdivisés en trois grands ensembles :

- Les bassins versant de bas Chéliff
- Les bassins versants du moyen Chéliff
- Les bassins versants du haut Chéliff auxquels appartient la région étudiée.

1.2. Situation géographique de l'oued du haut cheliff

Le bassin versant du haut Chéliff occupe une superficie totale de 4745km², il est situé entre35°,70 et 36°30 de latitude Nord, 2et 3°,25 de longitude Est. Au point de vue administratif, le bassin du haut Chéliff s'étend sur la quasi-totalité de la superficie de la wilaya de Ain Defla (**ANBT,2008).**

1.3 Situation géographique de sous bassin de l'oued Deurdeur

L'oued deurdeur est un courant et à une altitude de 271m. Elle est située au Nord-Est de l'oued Slimane proche de Sidi Boumazad, dans la région de Ain Defla de Latitude 36°13'32N et de longitude 21°15'45S.

Avec une superficie de 506km² un bassin bien plus ramassé autour de son conduit d'écoulement principal. Mais pour ce bassin 63% de la surface est au-dessus de 100m, ces

vallées est profonde certes, mais beaucoup moins large que dans des formations marneuses. (ANBT,2008).

Près de la moitié du bassin est occupé par un plateau grés-calcaire (crétacé du djrhles et djechoun) culminant à 1000-1500m d'altitude, aux couches subhorizontales, couvert d'un foret bien conservé des vallées profondes mais étroite l'entaillent, en majorité fossiles ou ne coulant que lors des crues exceptionnelles (ANBT,2008).

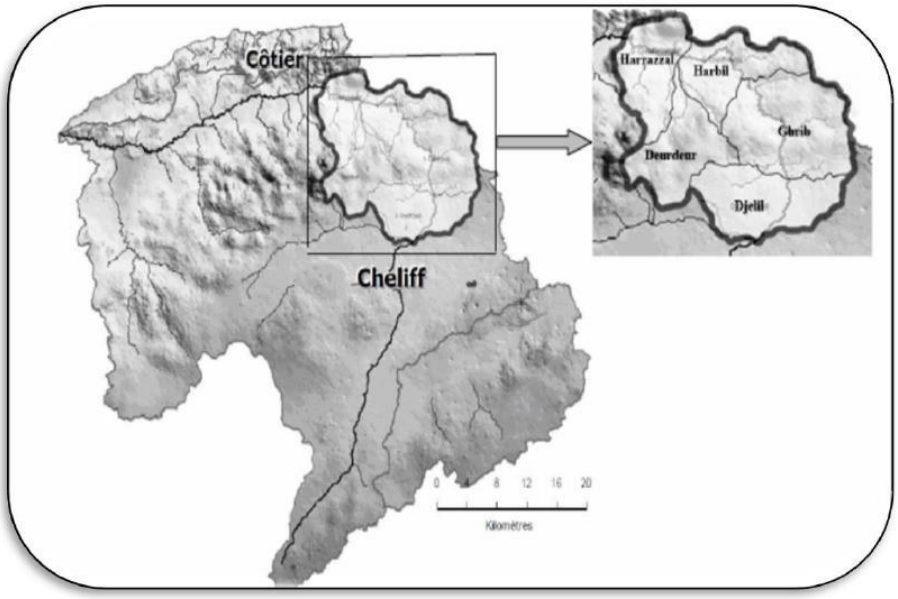


FIGURE II.5: SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

- **la cartes les stations hydro et pluviométrique et le barrage de derdeur :**

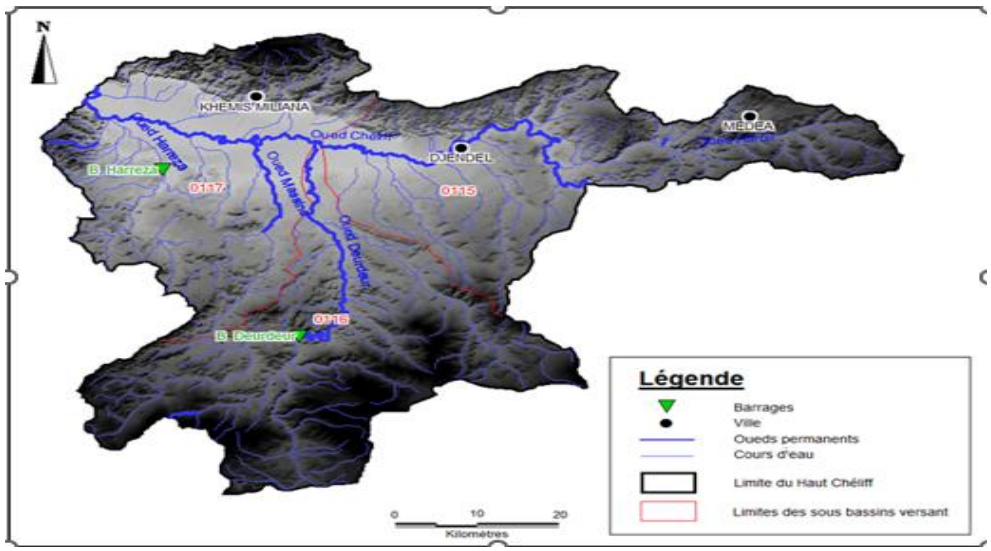


FIGURE II.6: SITUATION GEOGRAPHIQUE DE SOUS BASSIN OUED DEURDEUR (HANI)

Avec une superficie de 857.64 km² un bassin bien plus ramassé autour de son conduit d'écoulement principal. Mais pour ce bassin 63% de la surface est au-dessus de 100m, ces vallées est profonde certes, mais beaucoup moins large que dans des formations marneuses. (ANBT,2008).

Près de la moitié du bassin est occupé par un plateau grés-calcaire (crétacé du djrhles et djechoun) culminant à 1000-1500m d'altitude, aux couches subhorizontales, couvert d'un foret bien conservé des vallées profondes mais étroite l'entaillent, en majorité fossiles ou ne coulant que lors des crues exceptionnelles (ANBT,2008).

Le rôle de Deurdeur est de compléter l'action de Ghrib qui doit exercer sur les irrégularités et les diminutions des fournitures. Il agit à la fois par sa capacité et les apports qu'il reçoit (ANBT,2008).

L'oued Deurdeur, à son arrivée dans la plaine de Chéliff a un bassin versant et un régime hydrologique très semblable à ceux de l'oued Fodda (ANBT,2008)

2. Contexte Géologique du secteur d'étude :

La plaine du haut Chélif est une dépression de remplissage alluvionnaire formée de deux compartiments séparés par un seuil dont l'axe passe à côté d'Oued Souffay dans la partie sud-est. Ce seuil est dû à une remontée du substratum crétacé qui traduit l'avancement des terrains crétacés vers le centre de la plaine. A l'ouest de l'Oued Deurdeur, les formations géologiques appartiennes au miocène représenté par des niveaux gréso-conglomératiques bien développées.

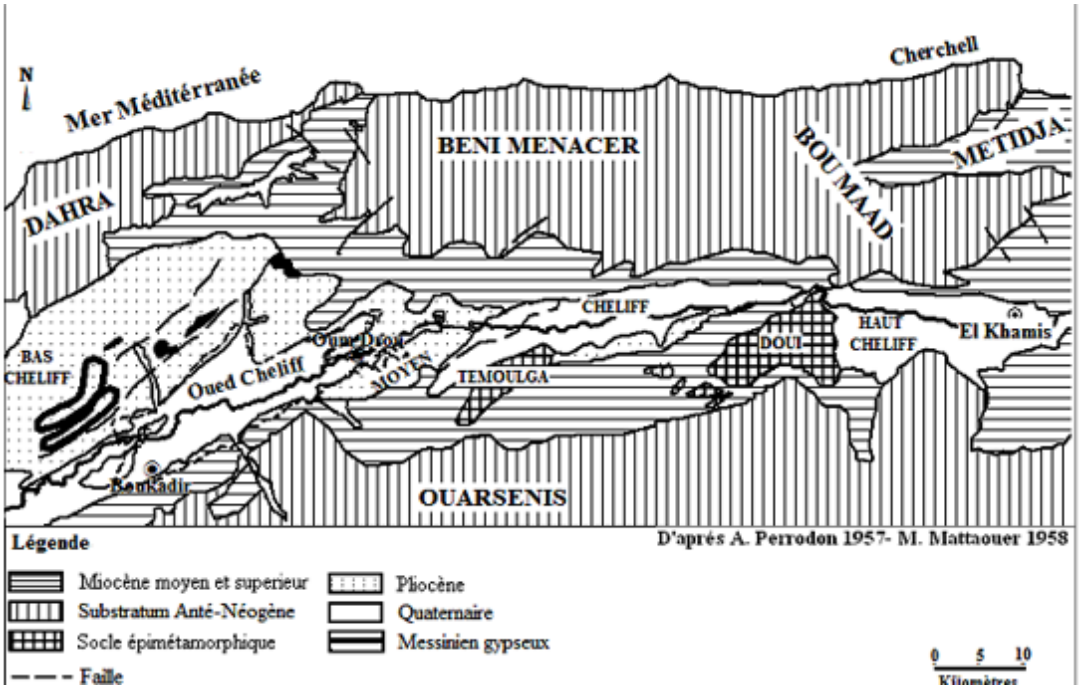


FIGURE II.7: CADRE GEOLOGIQUE (PERRODON 1967 - MATTAUER 1958).

3. Géomorphologie Et Morphométrie

La connaissance des caractéristiques topographiques et morphologiques, telles que : la forme, le relief, la disposition du réseau hydrographique, la nature du sol et le couvert végétal est très importante pour l'analyse du comportement hydrologique (l'écoulement, l'infiltration… etc) d'un bassin versant.

Nous avons déduit les caractéristiques morphologiques du bassin de L'oued Deurdeur à partir de techniques digitales et de modèles numériques du terrain MNT. Le bassin occupe une superficie de 857.64km² pour un périmètre de 185.65 km

3.1. Paramètres géométriques

Après avoir délimité le bassin versant, on a procédé à sa planimétrie pour définir sa superficie et son périmètre. Le bassin de l'Oued Derdeur est d'une superficie de 857.64km², et d'un périmètre de 185.65 km.

3.2. Caractéristiques de forme

3.2.1. Indice de compacité de GRAVELIUS (Kc)

La forme du bassin versant joue un rôle très important sur l'hydrogramme résultant d'une averse à l'exutoire du bassin. En effet, un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin plus au moins ramassé, vu que les conditions physiques et le relief sont constants. Kc compare le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle d'une même surface.

$$Kc=\frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \approx 0.28\frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

Kc : Indice de compacité de GRAVELIUS ;

P : Périmètre du bassin en km ;

A **:** Surface du bassin en km^2

KG = 1	…… bassin circulaire.
1 <KG< 1.3	…… bassin compact.
KG > 1.3	…… bassin allongé.

Le coefficient Kc est supérieur à 1 et d'autant plus voisin de cette valeur que le bassin est compact. Avec Kc = 1.78, le bassin versant du haut Chélif correspond à un bassin peu compact et allongé.

3.2.2. Dimension du rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est un modèle de représentation développé par *ROCHE*. Ce modèle permet la comparaison entre les bassins du point de vue caractéristiques tel que l'écoulement ; le bassin devient similaire à un rectangle de même périmètre, les courbes de niveau deviennent parallèles à sa largeur. La longueur et la largeur du rectangle sont calculées à l'aide des relations suivantes :

A - la longueur (L): $L = \frac{Kc.\sqrt{A}}{1.12}\ (1+\sqrt{1-(\frac{1.12}{Kc})^2})$

B - la largeur (l): $L = \frac{Kc.\sqrt{A}}{1.12}\ (1-\sqrt{1-(\frac{1.12}{Kc})^2})$

Avec :

L : La longueur du sous bassin versant, en Km.

l : La largeur du sous bassin versant en Km.

A : La superficie du sous bassin versant en Km².

Kc : Indice de compacité de GRAVELIUS.

Les résultats obtenus des paramètres de forme de sous bassin versant sont représentés dans le tableau suivant

TABLEAU II.2: CARACTERES MORPHOLOGIQUES DES SOUS BASSINS VERSANTS DU HAUT CHELIF.

Code	Nom	Périmètre (km)	Superficie (km²)	Altitude moyenne (m)	Rectangle équivalant		Kc	Forme
					L (Km)	l (Km)		
0116	Deurdeur	185.65	857.64	918	82.72	10.37	1.78	Allongé

Les valeurs de l'indice de compacité obtenues pour le sous bassin Oued Deurdeur montrent que nous avons affaire à un bassin qui présente une forme assez allongée avec une valeurs de "KG" égale à 1,78. La dimension du rectangle équivalent confirme l'allongement de sous bassin. (L > 5*l).

3.3. Etude du relief

Le relief est un facteur essentiel dans la détermination de l'aptitude des terrains au ruissellement et l'évaporation. Le relief du bassin versant du Haut Chélif est caractérisé par :

- Le Massif du Dahra situé au Nord dont la partie méridionale représentée par Djebel Zaccar avec une altitude maximale de 1576 m.
- Au centre, les plaines de l'Oued Chélif qui forment une étroite bande d'une dizaine de kilomètres de largeur avec une altitude moyenne de 250 m.
- Au Sud, les collines qui constituent les piémonts de l'imposant massif de l'Ouarsenis se dressent en rangs dispersés ne sont pas très étendues (5 à 10 kilomètres de large).

3.3.1. La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique met en relief la pente du bassin. Elle représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Les surfaces partielles par tranche

d'altitude sont données dans **le tableau 1,** la courbe hypsométrique correspondant au sous-bassin est présentée par la figure

TABLEAU II.3: LES SURFACES / ALTITUDE

Altitudes	surface partiel	surface cumul
1750	0.13	0.13
1650	0.52	0.65
1550	1.4	2.05
1450	3.19	5.24
1350	5.07	10.31
1250	8.11	18.42
1150		30.39
1050	12.05	42.44
950	11.29	53.77
850	10.04	63.77
750	9.43	73.2
650	9.61	82.81
550	7.51	90.32
450	5.31	95.63
350	3.69	99.32
250	0.68	100

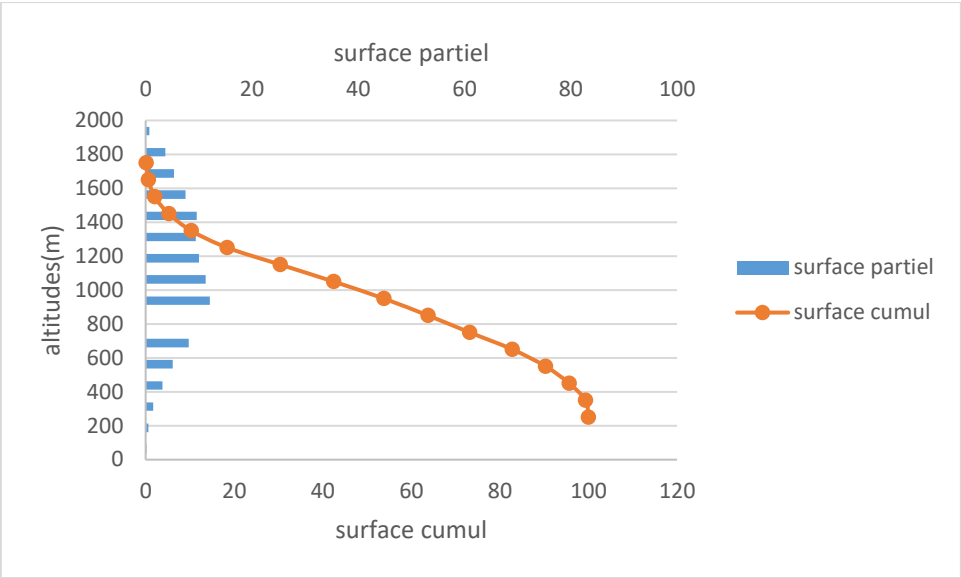


FIGURE II.8: COURBE HYPSOMETRIQUE ET DIAGRAMME DES FREQUENCES ALTIMETRIQUES DU BASSIN OUED DEURDEUR.

D'après la courbes hypsométriques, on remarque un stade de maturité dans le bassin versant d'oued Deurdeur traduise un équilibre entre l'érosion et le remblaiement.

Les principales caractéristiques altimétriques correspondent à :

1. L'altitude moyenne (H) : c'est le rapport entre la somme des surfaces élémentaires par l'altitude moyenne correspondante et la surface totale du bassin versant (A).

$$H_{moy} = \frac{\Sigma a_i h_i}{A}$$

a_i **:** Surface élémentaire entre deux courbes de niveau (Km^2)

h_i **:** Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m)

A **:** Surface totale du bassin versant (Km^2)

2. L'altitude maximale (H_{max}) traduite par le point le plus haut du bassin.
3. L'altitude médiane ($H_{méd}$) correspondant à 50% de la surface cumulée.
4. L'altitude minimale (H_{min}) caractérisant le point le plus bas du bassin.

Les résultats obtenus pour le sou bassin de l'étude sont mentionnés dans le tableau suivant.

TABLEAU II.4: LES ALTITUDES CARACTERISTIQUES DES SOUS BASSINS.

Sous-bassins versants	H_{min} (m)	H_{max} (m)	$H_{méd}$ (m)	H_{moy} (m)
O. Deurdeur	270	1800	930	918.38

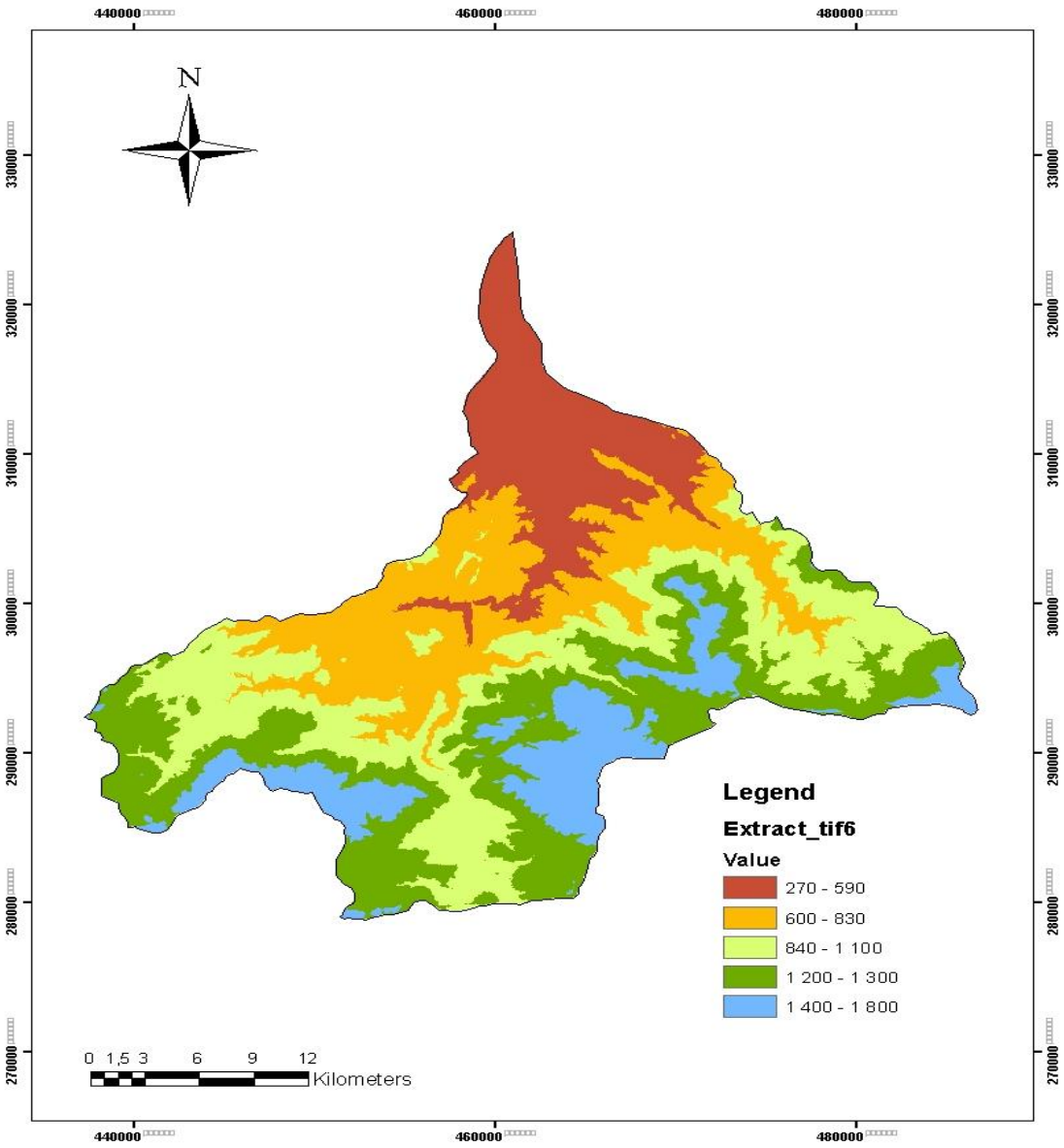


FIGURE II.9: CARTE GEOMORPHOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE. (PROPRE ETUDE)

L'altitude maximale (1800m) caractérise le sous bassin de Deurdeur alors que l'altitude minimale (270m). Il est à remarquer que, dans le bassin O. Deurdeur l'importance du volume montagneux est bien illustrée dans la figure 06, ce caractère favorise bien le ruissellement.

3.3.2. Indice de pente et dénivelée

3.3.2.1. Indice de pente globale (Ig)

Cet indice représente la pente moyenne de 90% de la superficie du bassin, il est obtenu à partir de la courbe hypsométrique, en prenant la dénivelée (D) entre les altitudes $H_{5\%}$-$H_{95\%}$.

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

Avec :

D : la dénivelée égale à $H_{5\%}$-$H_{95\%}$ (m)

L : la langueur du rectangle équivalent (Km)

3.3.2.2. La dénivelée spécifique (Ds)

$$Ds = Ig\sqrt{A}$$

Pour permettre une comparaison des bassins versants entre eux du point de vue relief, on détermine la dénivelée spécifique qui sert de base à une classification proposée par l'ORSTOM.

Avec :

- Classe R1 Ds < 10 m relief très faible
- Classe R2 10 m < Ds < 25 m relief faible
- Classe R3 25 m < Ds < 50 m relief assez faible
- Classe R4 50 m < Ds < 100 m relief modéré
- Classe R5 100 m < Ds < 250 m relief assez fort
- Classe R6 250 m < Ds < 500 m relief fort
- Classe R7 Ds > 500 m relief très fort

Les résultats des calculs sont portés dans le tableau suivant :

TABLEAU II.5*:* INDICE DE PENTE ET CLASSES DE RELIEF DES SOUS BASSINS.

Code du sous bassin	Nom du sous bassin	Superficie (Km²)	Ig	Ds	Classement de relief
0116	O. Deurdeur	850.954	10.82	315,63	Relief fort

Toutefois, les résultats (Tabl. 3) permettent de montrer que les plus fortes valeurs de l'indice de pente globale (Ig) et la dénivelée spécifique (Ds) concernent les sous bassins Oued Deurdeur.

Ces valeurs traduisent bien d'ailleurs l'importance du volume montagneux et la forte incision du relief dans ces secteurs.

On constate, par ailleurs, que le bassin de L'oued Derdeur se classe dans la catégorie du relief fort.

On va ajouter une étude sur le réseau hydrographie

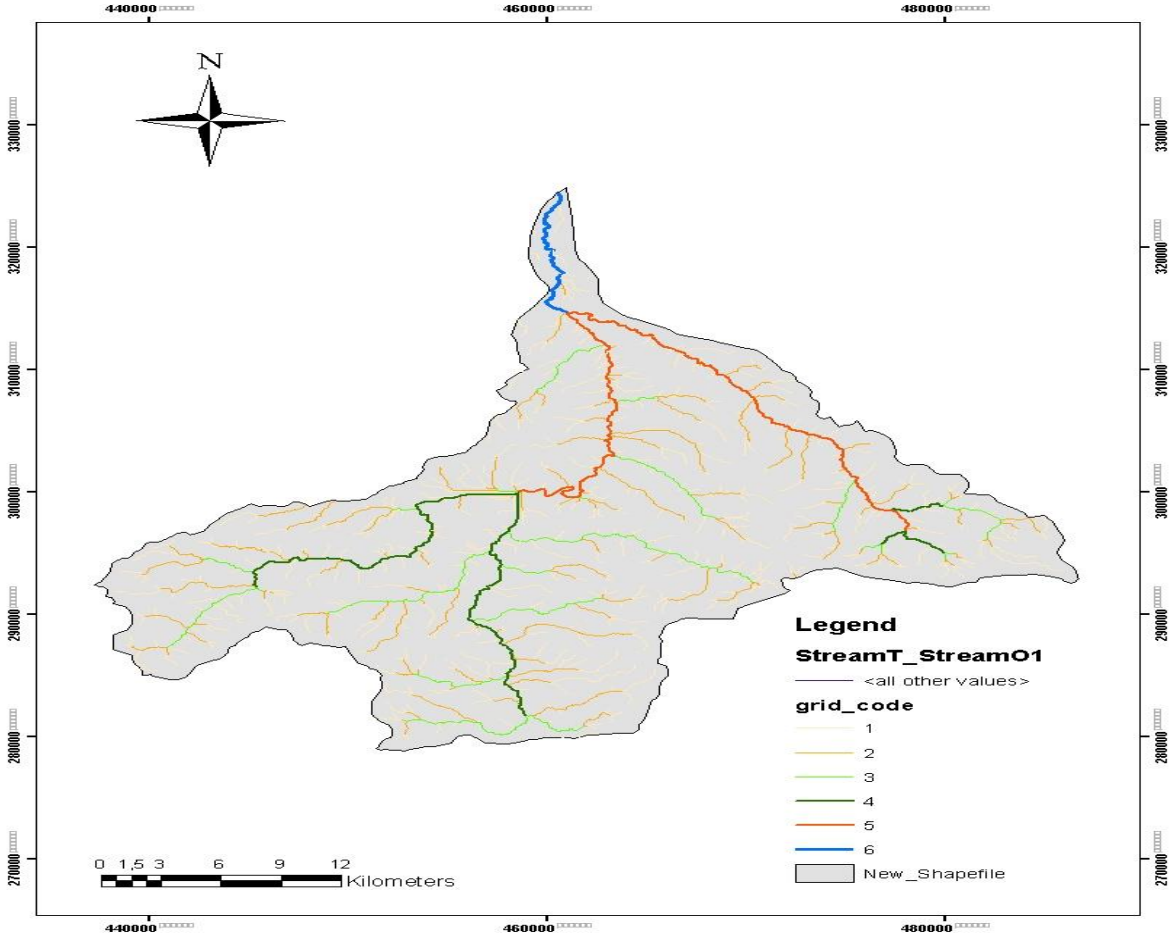


FIGURE II.10: LE RESEAU HYDROGRAPHIE DEURDEUR.

3.4. Etude de la température

Les températures traduisent la prépondérance des influences continentales sur les influences maritimes. Elles varient selon l'altitude, la vitesse et la direction des vents.

Selon les données enregistrées par l'Office National de la Météorologie (ONM), on note les valeurs suivantes concernant la station de Derdeur -barrage(1990-2010).

TABLEAU II.6: TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLE POUR LA STATION DE MILIANA POUR LA PERIODE 1990-2010 *(ONM, ALGER)*

Paramètres \ Mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	**Moyenne Annuelle**
T° minimale (°c)	18,4	15	9,5	7	6,1	6,4	9	10,4	14,2	19,7	22,1	22,3	**13,4**
T° maximale (°c)	29,2	24,2	16,5	13,1	12,7	13,7	17,6	19,4	24,1	31,1	34,2	34,3	**22,5**
T° moyenne (°c)	23,8	19,6	13	10,1	9,4	10,1	13,3	14,9	19,2	25,4	28,1	28,3	**18,0**

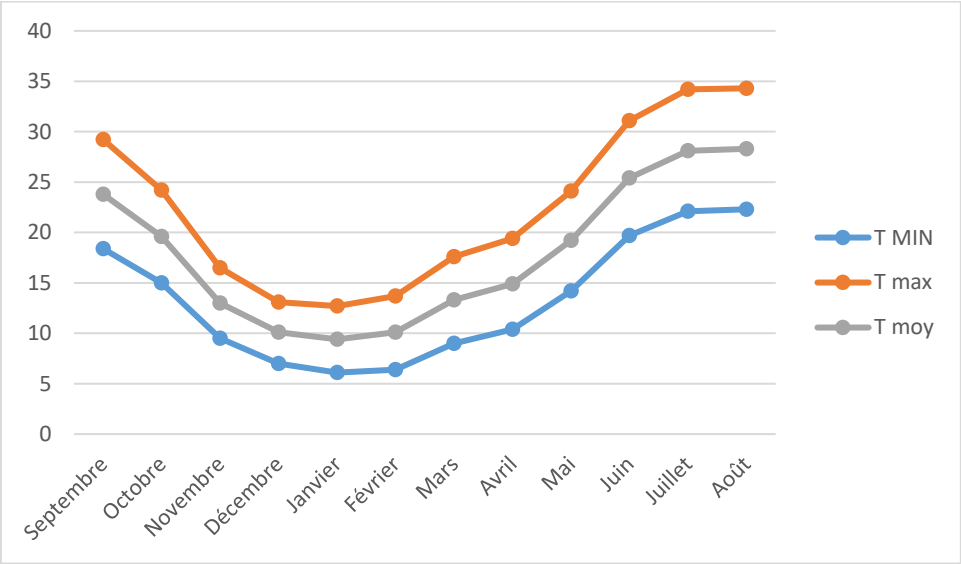


FIGURE II.11: TEMPERATURE MOYENNE MENSUELLE DE LA STATION DE DERDEURBARRAGE (1996-2009)

La courbe de variation des températures moyennes mensuelles montre :

- Une moyenne annuelle de l'ordre de 18 °C.
- Un pôle froid qui correspond aux mois de Décembre, Janvier et Février, où la température minimale atteint les 06 °C au mois de Janvier.
- Un pôle chaud qui correspond aux mois de Juin, Juillet et Août, avec une température maximale de 34 °C au mois d'Août.

3.5. L'humidité

Dans la plaine de Khemis-Miliana, la plus grande valeur d'humidité relative de l'air est atteinte pendant la période hivernale, avec 78,85% au mois de Janvier, et la plus basse, pendant la période estivale avec 47,72% au mois de Juillet.

Le tableau suivant regroupe les données (ANRH) disponibles sur l'humidité relative de l'atmosphère enregistrées à la station de Derdeur .

TABLEAU II.7: HUMIDITE RELATIVE MENSUELLES MOYENNE A LA STATION DERDEUR BARRAGE1975-2007 (ANRH).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
Humidité Relative %	59,51	64,62	73,73	78,70	78,85	77,33	72,16	68,02	60,42	51,56	47,72	48,36

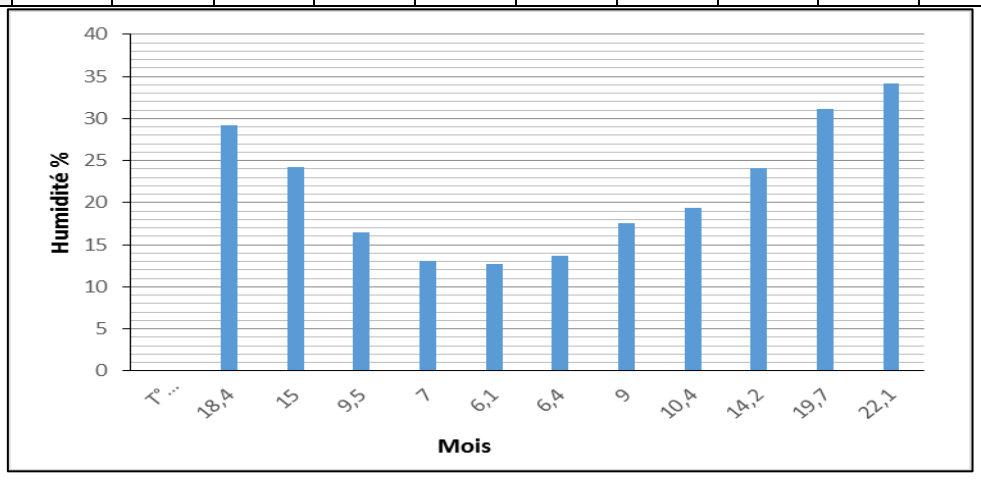


FIGURE II.12: VARIATION DE L'HUMIDITE MENSUELLE MOYENNE DE LA STATION DERDEUR BARRAGE1975-2007

3.6. L'évapotranspiration

L'émission de la vapeur d'eau ou évapotranspiration (exprimée en mm), résulte de deux phénomènes : l'évaporation, qui est un phénomène purement physique, et la transpiration des plantes. La recharge des nappes phréatiques par les précipitations tombant en période d'activité du couvert végétal peut être limitée.

En effet, la majorité de l'eau est évapotranspiré par la végétation. Elle englobe la perte en eau due au climat, les pertes provenant de l'évaporation du sol et de la transpiration des plantes.

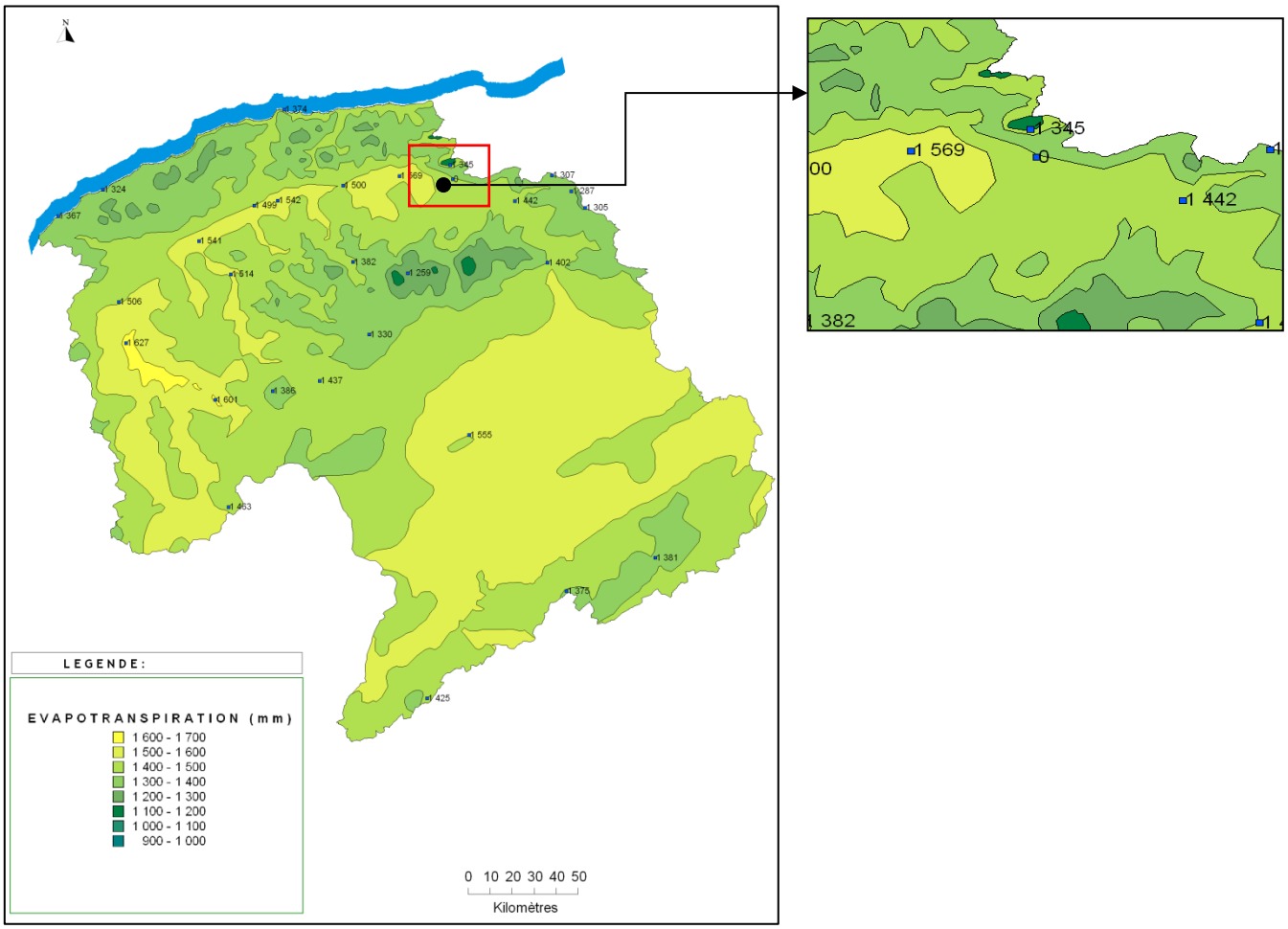


FIGURE II.13: LA CARTE DE L'EVAPOTRANSPIRATION DU HAUT CHELIF *(ABH-CZ, 2004).*

D'après la carte de l'évapotranspiration représentée par la ***(Fig.13)***, on observe de fortes valeurs dans la vallée du Haut Chélif. Elle atteint une valeur maximale de 1442 mm dans la

station de Ghrib Barrage ; par contre on enregistre de faibles valeurs dans les stations de Thneiet El-Had (1258 mm) et Ouzera (1289 mm) situées dans les piémonts du bassin du Haut Chélif.

3.7. Etude des précipitations et débits :

Les précipitations permettent, dans une certaine mesure, de préciser le débit d'écoulement et d'estimer la recharge des nappes au niveau du bassin versant. Par conséquent, leur étude est une étape importante en hydrologie.

3.7.1. Les stations pluviométriques et hydrométriques :

Nous avons choisi d'étudier les enregistrements de deux stations (Fig.13), celle de Marabout Blanc, et la station de barrage Deudeur. Celles-ci ont récolté des informations pendant une longue période, ce qui nous a permis d'avoir des transcriptions de données qui s'étalent sur une période de vingt années (1991-2010).

Les caractéristiques des stations sont résumées dans les tableaux, ci-dessous;

TABLEAU II.8: CARACTERISTIQUES DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES

Code Station	Nom de la Station	Altitude	Cordonnées Lambert		Période d'obs	Duréé (An)
			X	Y		
011601	Marabout Blanc	335	460100	315750	1990-2011	22
011609	Deurdeur barrage	575	458800	300050	1984-2011	28

TABLEAU II.9: CARACTERISTIQUES DES STATIONS HYDROMETRIQUES

Code Station	Nom de la Station	Oued	Cordonnées Lambert		Période d'obs	Duréé (An)	Equipements
			X	Y			
011601	Marabout Blanc	Deurdeur	460750	215600	1990 à 2009	20	BE /LP /PO

BE : Batterie d'échelle limnimetrique. LP : Limnigraphe pneumatique (à pression). PO : Pont.

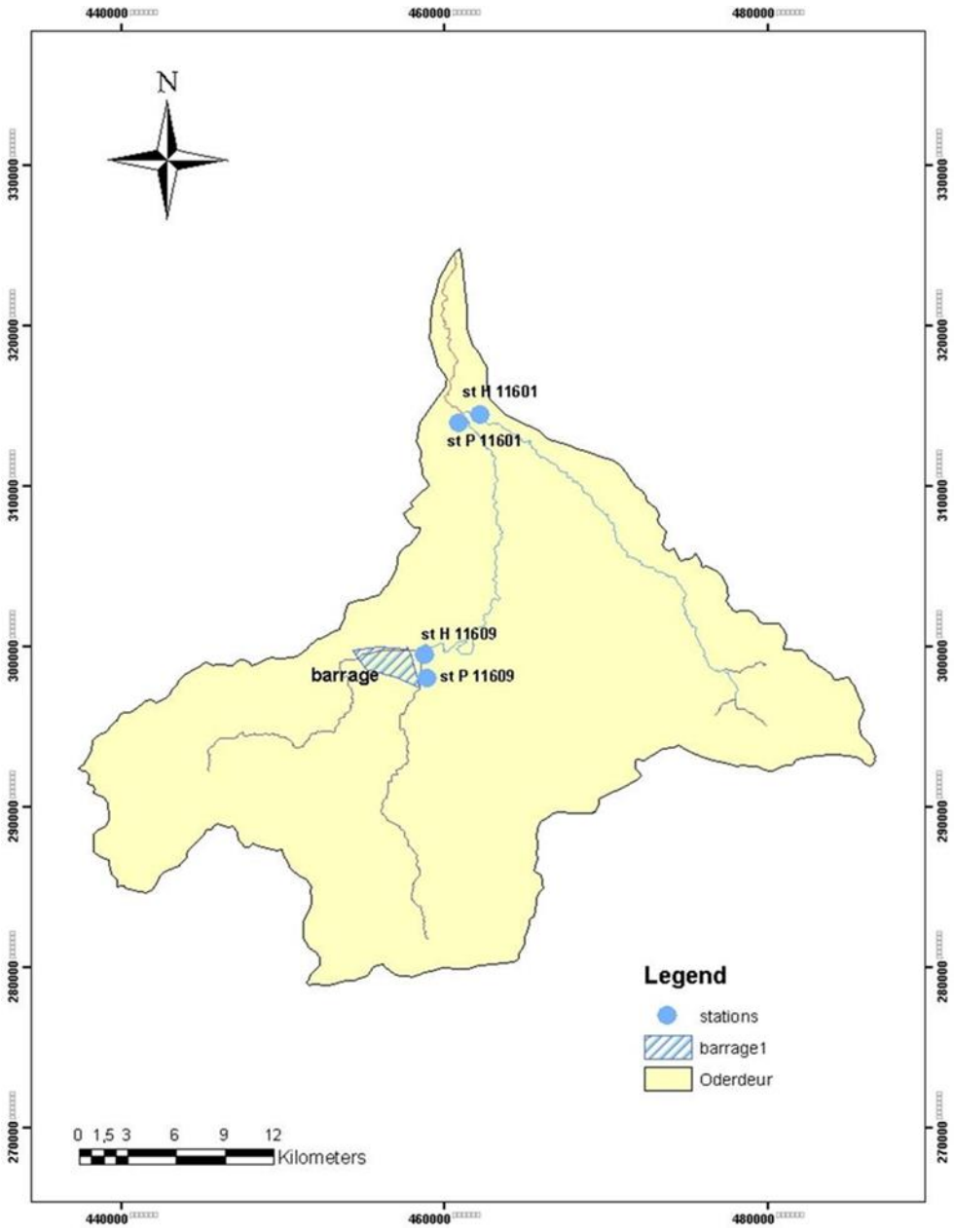


FIGURE II.14: REPARTITION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES ET HYDROMETRIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

3.7.2. Précipitations mensuelles de bassin oued derdeur :

Nous avons vu utile de présenté les variations mensuelles des précipitations au niveau de la station Marabout Blanc, il en ressort les constations suivantes :

- Une période pluvieuse s'étalant depuis le mois de novembre jusqu'au mois de février. Cette période correspond à la saison hivernale donc à la période humide durant laquelle les précipitations représentent les 54 % de la moyenne des précipitations annuelles.
- Une période déficitaire correspondant à la saison sèche durant laquelle les précipitations ne représentent que 3 % du total annuel.

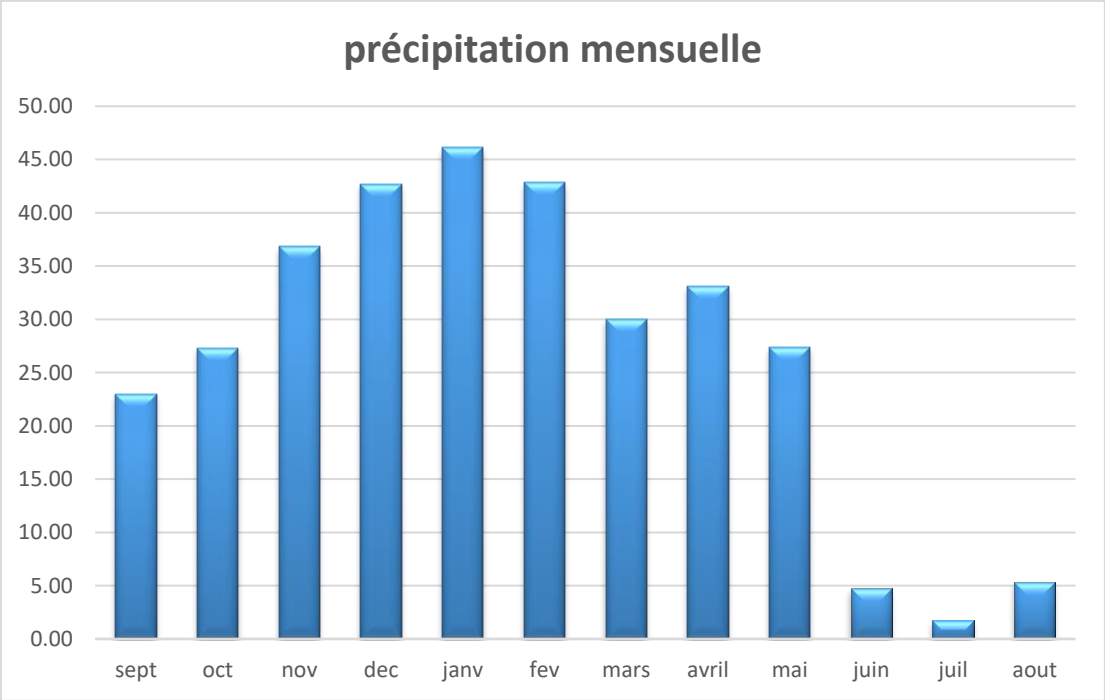


FIGURE II.15: VARIATION DES PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES DU OUED DERDEUR(1990-2010)

Précipitation saisonnières : Pour démontrer la variabilité saisonnière des quantités de pluies reçus pour la station nous avons calculé les moyennes des pluies résumées dans le tableau ci-dessous pour la période d'automne, hiver, printemps et d'été :

automne	hiver	printemps	Été
24,9	65,5	35,8	0,47

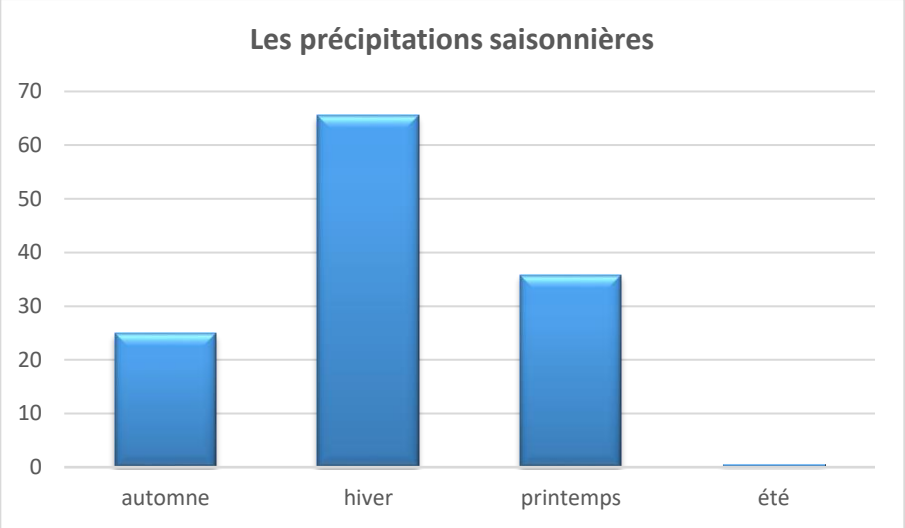


FIGURE II.16: VARIATION DES PRECIPITATIONS MOYENNES SAISONNIERES DU OUED DERDEUR(1990-2010).

Au niveau de cette station, les plus fortes précipitations sont enregistrés en hiver 65.5mm suivi d'une quantité moindre en printemps et la plus faible quantité est noté dans la période d'été 0.47 mm.

3.7.3. Variation annuelle des précipitations pour la période 1991-2010

Nous avons reporté les totaux annuels enregistrés au niveau de stations étudiés durant la période 1990- 2010.

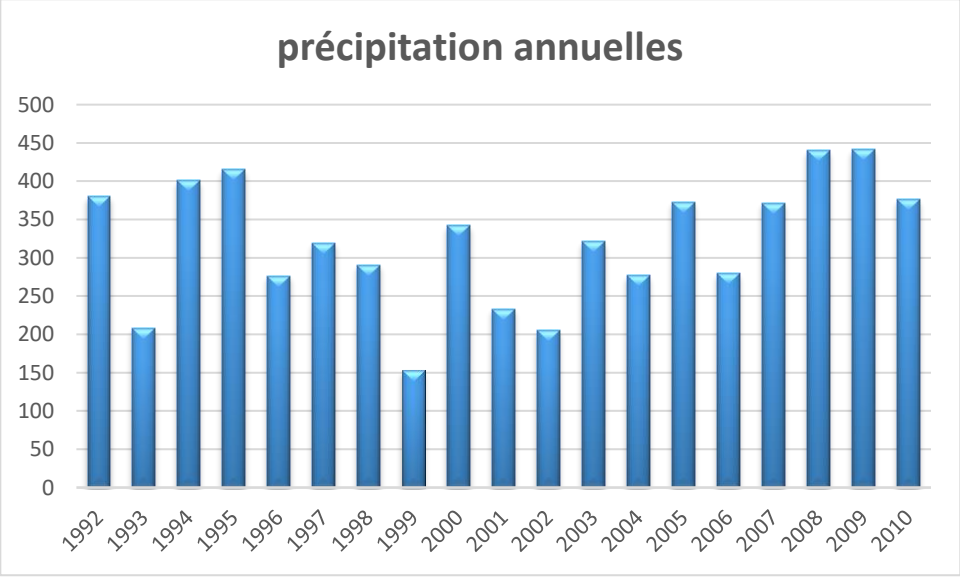


FIGURE II.17: VARIATION ANNUELLE DES PRECIPITATIONS DU BASSIN DE L'OUED

On enregistre la quantité la plus faible vers les années 1999 avoisinant les 150 mm. par contre cette quantité à tendance d'augmenté depuis les année 2008 on enregistrons des quantités avoisinant les 450 mm.

3.7.4. Diagramme Ombrothermique de Gaussen :

La méthode de ***Gaussen*** utilise un graphe Ombrothermique aux échelles suivantes :

- Une échelle logarithmique pour les précipitations.
- Une échelle linéaire pour les températures

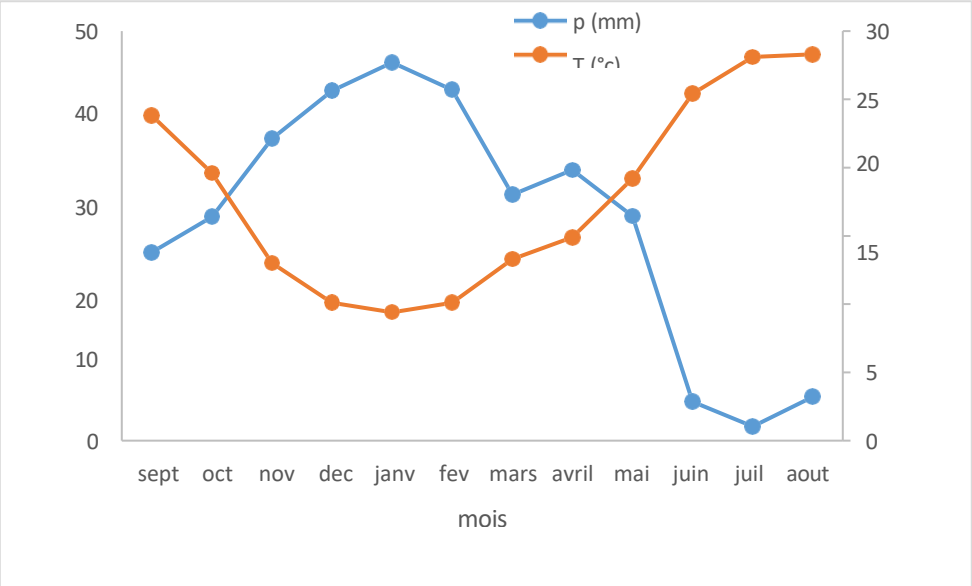


FIGURE II.18: DIAGRAMME OMBRO-THERMIQUE DE LA STATION DERDEUR 1991-2010)

L'analyse du diagramme Ombrothermique de ***Gaussen (Fig)***, montre que la période de sècheresse de la région de L'oued Deurdeur compte sept (7) mois pendant l'année. Elle débute au mois d'avril et se termine au mois d'Octobre.

Ajustement des pluies journalières maximal par la loi de **Gumbel :**

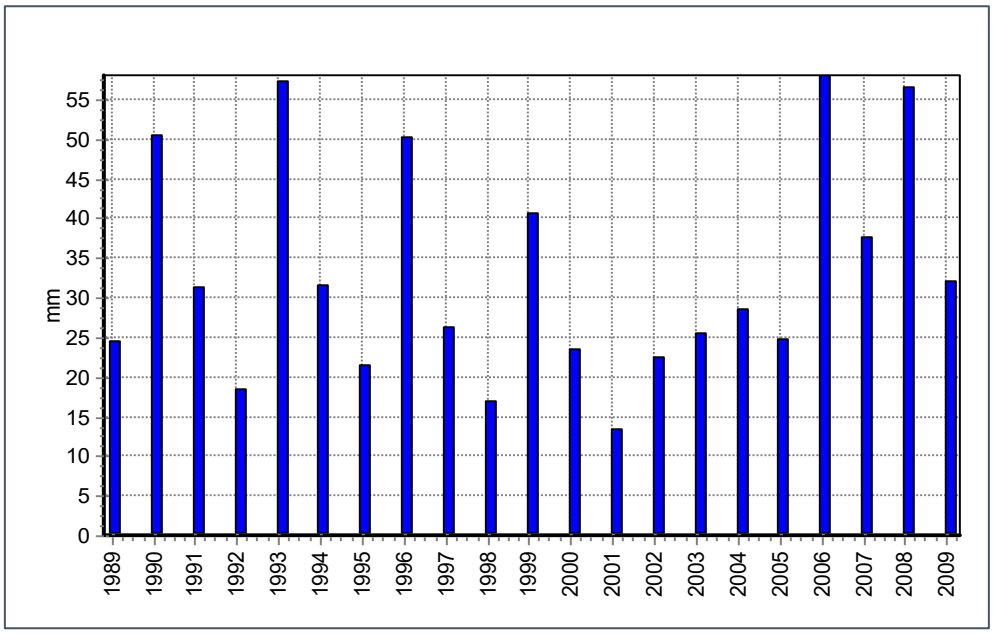


FIGURE II.19: VARIATION ANNUELLE DES PRECIPITATIONS JOURNALIERES MAXIMALES DU BASSIN DE L'OUED DERDEUR (1991-2010).

Les calculs statistiques :

Taille de l'échantillon	**N**	21
Moyenne	**M**	32,9
Ecart type	**S**	14,0
Coefficient de variation	**Cv**	0,43
Minimal	**min**	13,30
Maximal	**max**	58,0

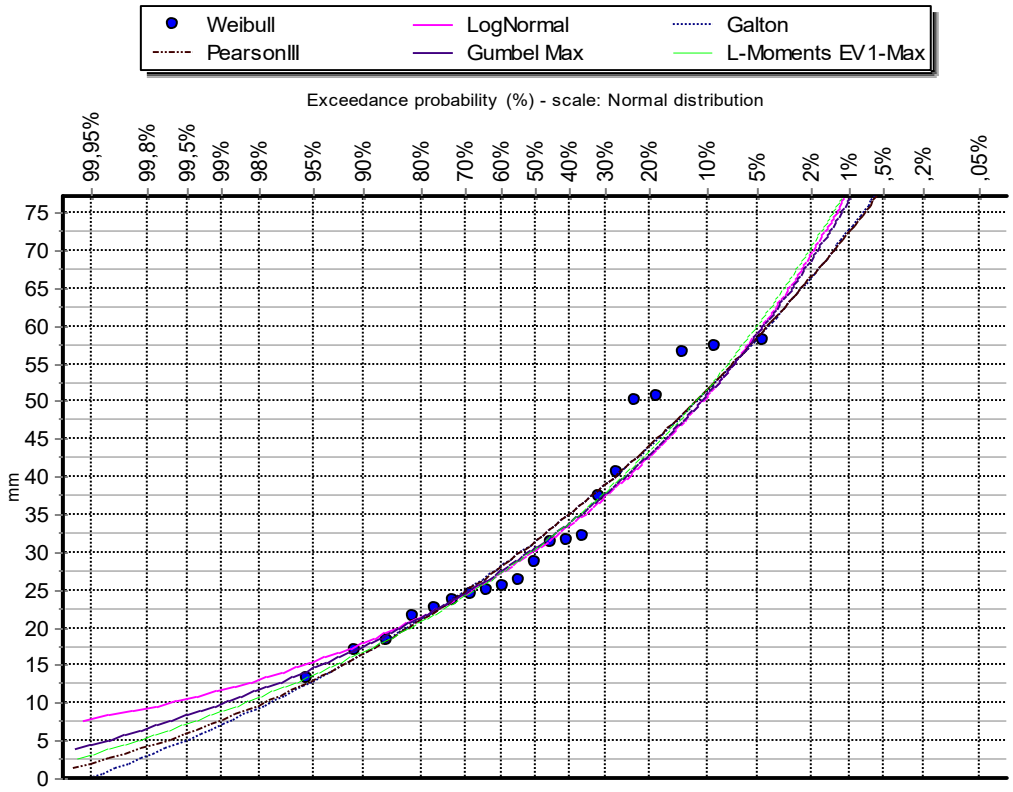


FIGURE II.20: AJUSTEMENT DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES A DIFFERENTES LOI PERIODE (1991/2010)

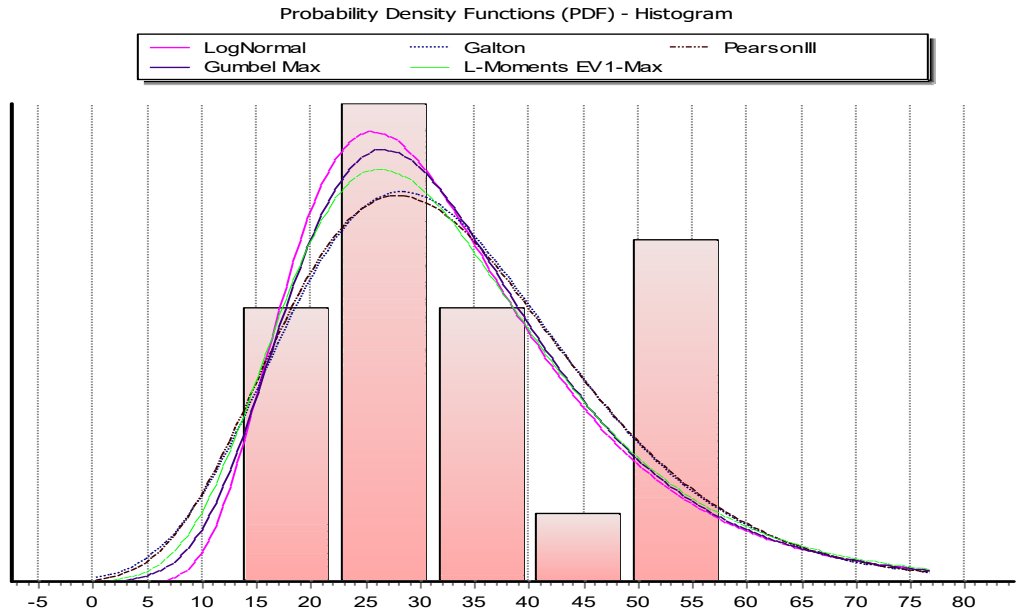


FIGURE II.21:D'APRES HISTOGRAMME LA LOI LA PLUS ADEQUAT LA DISTRIBUTION PAR LA LOI DE GUMBEL ET LOGNORMAL

L'intervalle de confidence:

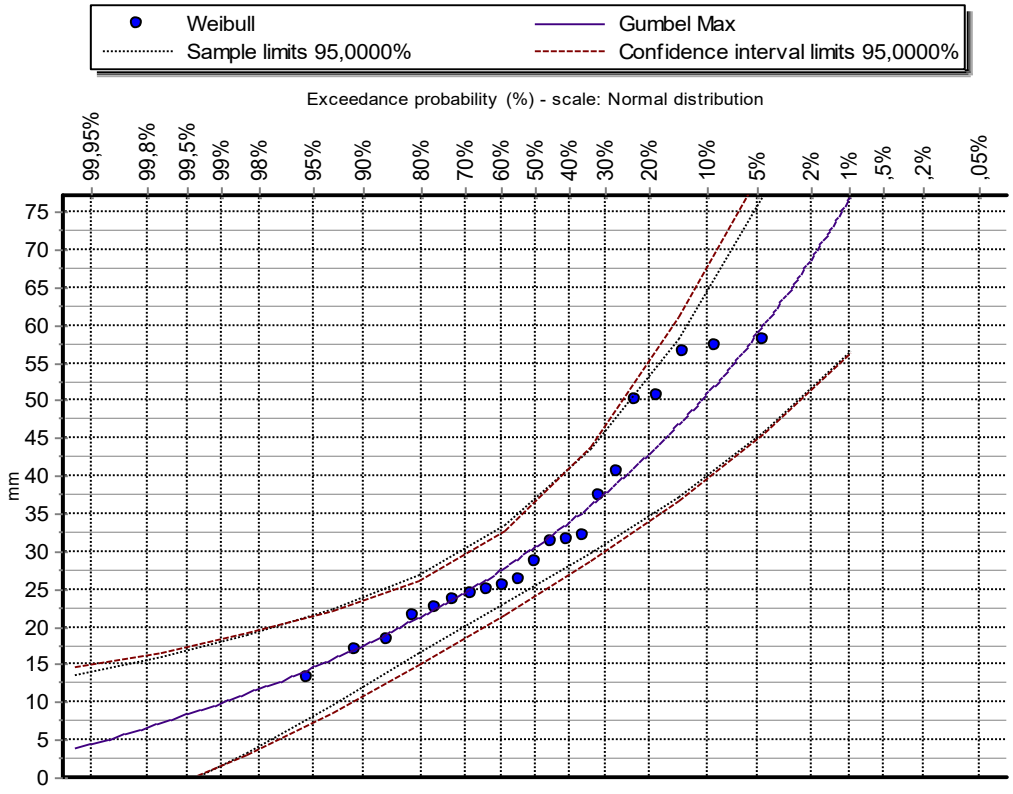


FIGURE II.22:AJUSTEMENT DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES A DIFFERENTES LOI PERIODE (1991/2010)

Calcule de pjmax pour les différentes périodes de retour :

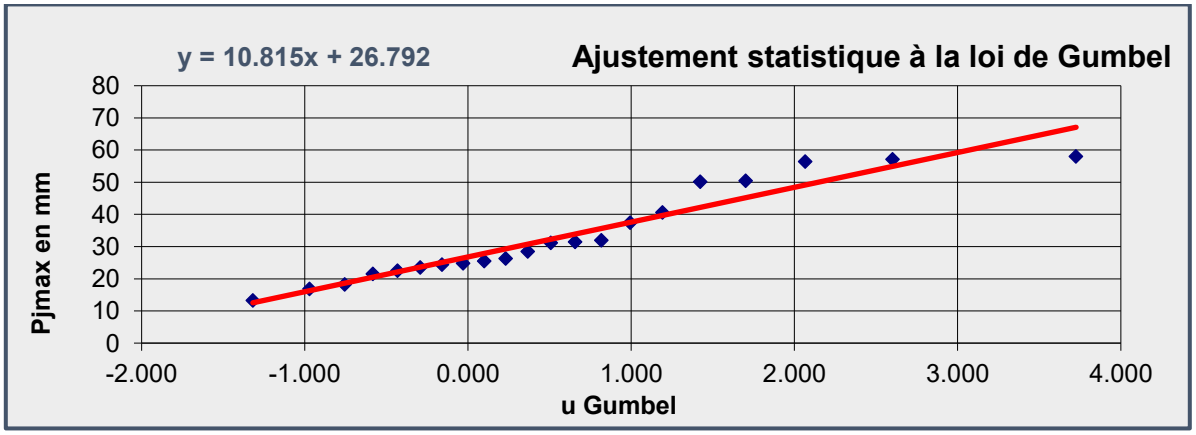


FIGURE II.23 : "COURBE D'AJUSTEMENT STATISTIQUE DES PLUIES EXTREMES PAR LA LOI DE GUMBEL"

T	F	u	Pjmax
2	0,5	0,37	31
5	0,8	1,50	43
10	**0,9**	**2,25**	51
20	0,95	2,97	59
25	0,96	3,20	61
50	0,98	3,90	69
100	0,99	4,60	77

Pluie courte durée et courbe IDF pour la station Marabout Blanc(11601):

Pour mieux caractériser l'écoulement fluvial extrême ayant trait aux crues et les inondations, il faut descendre à une échelle temporelle encore plus fine dans l'analyse des pluies extrêmes, à l'échelle des pluies horaires, pour une analyse complète des événements averse-crue observés sur le bassin. Le calcul des pluies de courtes durées pour différentes fréquences a été effectuée à l'aide de la relation de Body exprimée par:

$$F = Pj_{max}\left(\frac{t}{24}\right)^{b}$$

Avec :

F : Pluie de courte durée de fréquence donnée (mm).

Pjmax : Pluie maximale journalière de fréquence donnée (mm).

t : Temps (heure).

b : Exposant climatique calculé par la relation:

$$b = 1 + \frac{\ln\left(\frac{\overline{Pj}_{max}}{24}\right) - \ln(25)}{\ln(24) - \ln(0.5)}$$

La valeur de l'exposant climatique de la station Marbout blanc **b= 0.24**

- L'intensité de pluies (**It**) est donnée par la formule suivante:

$$I_t = \frac{F}{t}$$

Les graphes sur les figures (24 et 25) représentent les courbes des pluies à courte durée et les courbes Intensité-Durée-Fréquence pour les trois stations et à différentes fréquences

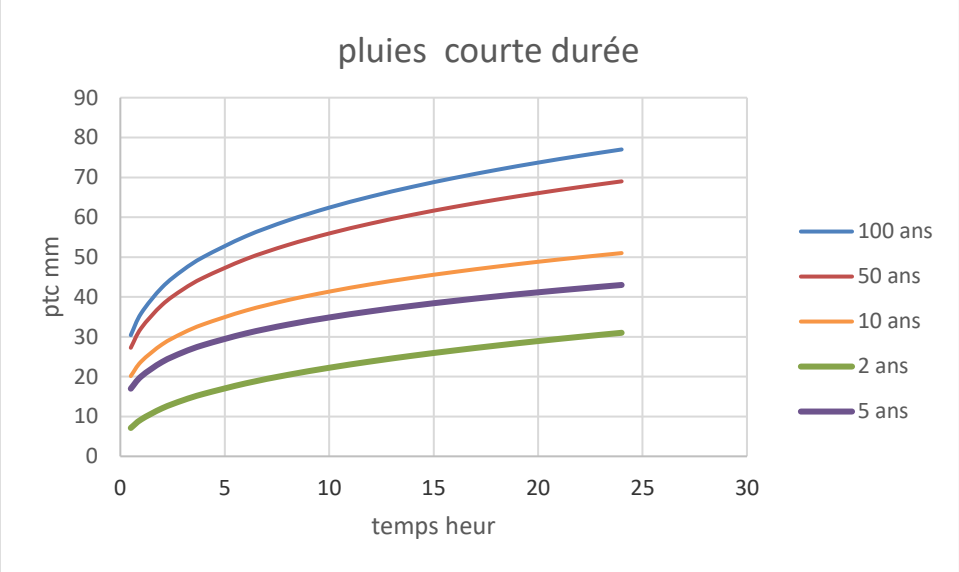


FIGURE II.24 : Courbe des pluies à courte durée à Marbout blanc

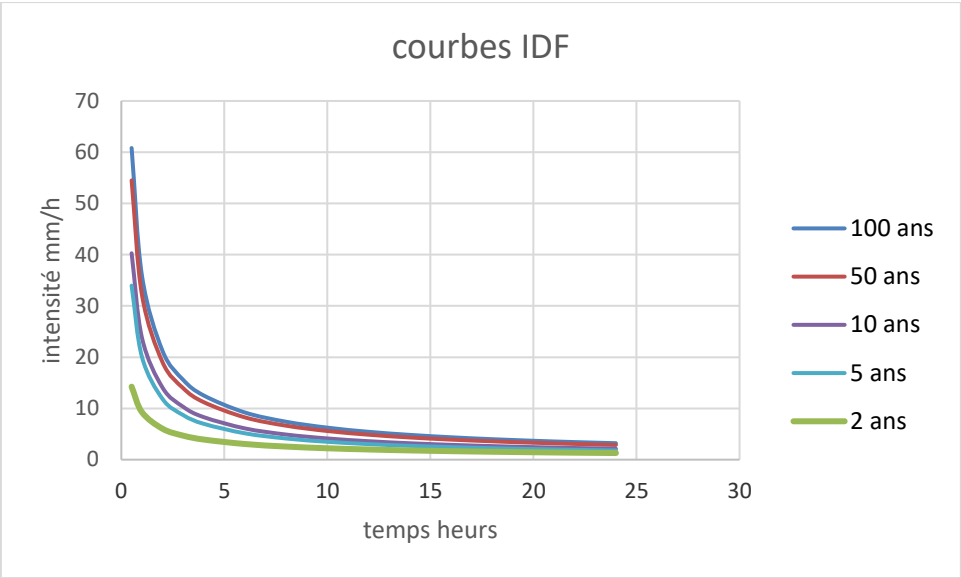


FIGURE II.25: COURBES IDF REPRESENTANT L'INTENSITE DES PLUIES SELON LES PERIODES DE RETOUR

.

3.8. Débits moyens annuels et mensuels :

L'analyse des débits mesurés sur une période de 20ans (de 1990 à 2010 à la station marabout blanc- 11601(30 Km en aval de l'oued derdeur) est basée sur les données recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH).

A l'échelle annuelle, l'oued Derdeur reçoit un débit moyen de 0.75 m3/s pour une surface drainée de 850.954 km ^{2}, le débit moyen est très faible justifié par la nature peu fréquente de l'écoulement, de courte durée et de type orageux ; ainsi, 10 années sur 20 présentent des débits supérieurs au débit moyen interannuel. Le maximum moyen annuel de 2.24 m3/s a été observé en 1998_1999, alors que le minimum moyen annuel de 0.02 m3/s a été remarqué en 1995-1996 ce qui confirme la grande variabilité interannuelle de débits dans la région d'étude.

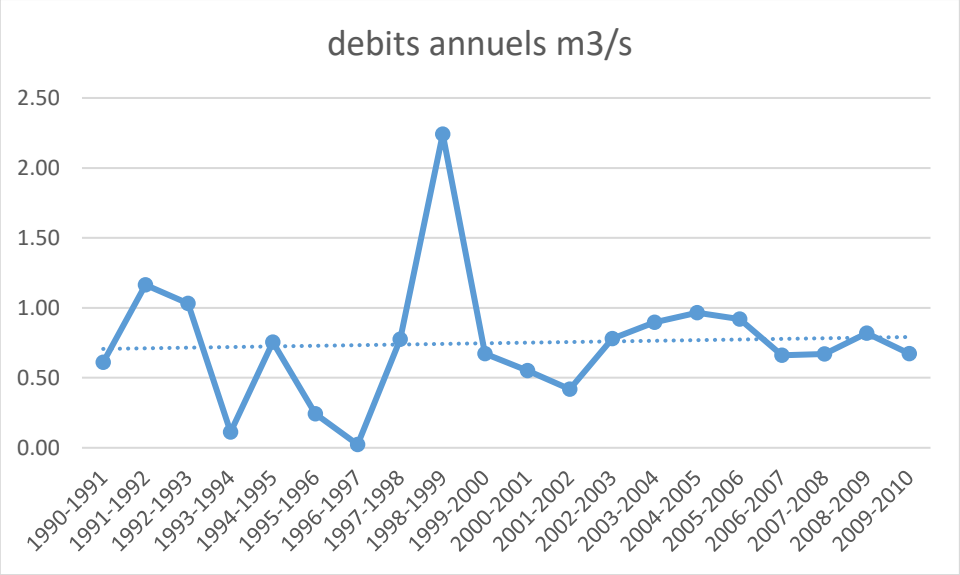


FIGURE II.24: VARIATION DES DEBITS ANNUELS STATION MARBOUT BLANC

3.8.1. Les débits mensuels

La figure27 montre que la station de Marabout Blanc (sous bassin de Deurdeur) est affectée par les lâchés de barrage Derdeur ce qui a donné des débits importants en périodes estivale par rapport aux périodes hivernale ; on remarque Le débit maximum mensuel de 1.14 m3/s est enregistré en aout. Le mois de décembre est considéré comme le plus sec de l'année avec un débit minimum mensuel de 0.23 m3/s.

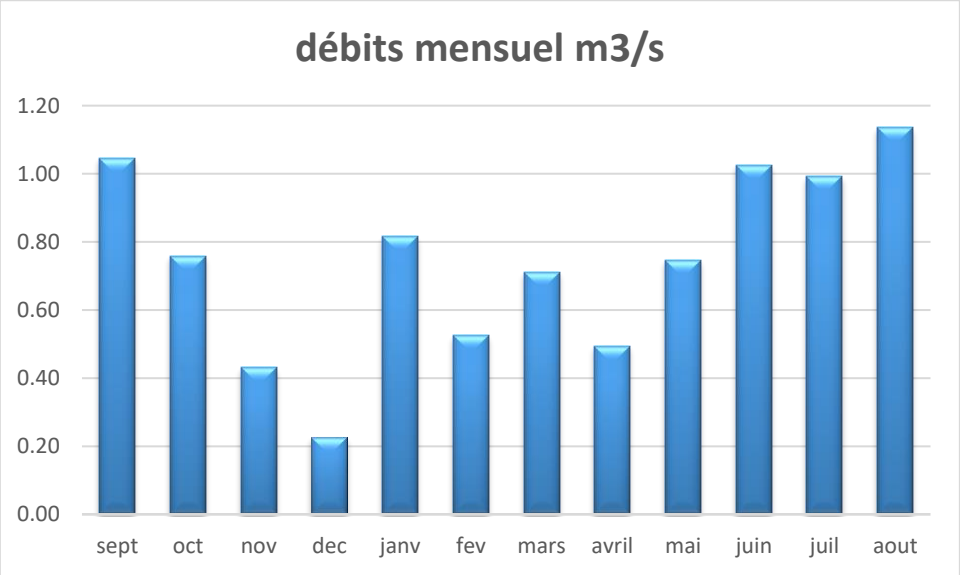


FIGURE II.25: REGIME MENSUEL DE SOUS BASSIN OUED DERDEUR

3.8.2 Relation inter mensuelle des débits et des pluies :

La confrontation entre les précipitations moyennes mensuelles et les débits moyens mensuels nous montre que les débits ne suivent pas exactement les hauteurs mensuelles pluviométriques. Ceci est net dans les mois juillet ; aout, septembre. Il est intéressant de constater d'après cette figure (Figure II.28), l'importance de la rétention et de la restitution du bassin versant de L'oued Deurdeur.

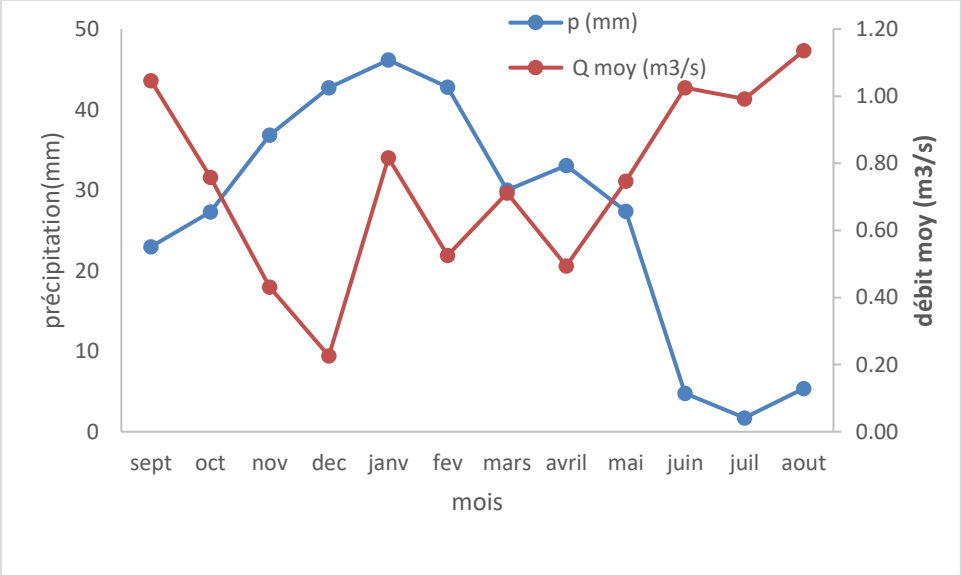


FIGURE II.28: Relation inter mensuelle des débits et des pluies

Le maximum des débits ne concorde pas forcément au maximum pluviométrique, car le mois le plus humide n'offre pas le plus grand débit, par conséquent, la réponse hydrologique du bassin de l'oued Deurdeur ne dépend pas de la hauteur de la pluie mensuelle et leur abondance mais plutôt de son intensité. Ce qui explique le lien entre l'écoulement et l'intensité des pluies orageuses qui tombent en automne qui provoquent des inondations ravageuses.

3.8.3. L'étude des débits extrêmes de l'oued Derdeur

Les crues du bassin versant l'oued Deurdeur sont exclusivement d'origine pluviale. Elles résultent généralement de fortes averses. La morphologie du bassin contribue à amplifier les

débits de pointe observés aux exutoires qui varient de quelques m3/s à 432 m3/s (Figure II.29) où le maximum est enregistré le 20 septembre 1994., la région a connu trois crues de débits de pointe supérieure à 100m3/s. Les crues sont généralement de courte durée, avec des temps de montée assez courts, et des décrues plus lentes, généralement suivies d'un tarissement prolongé. Variation des débits maximaux journaliers :

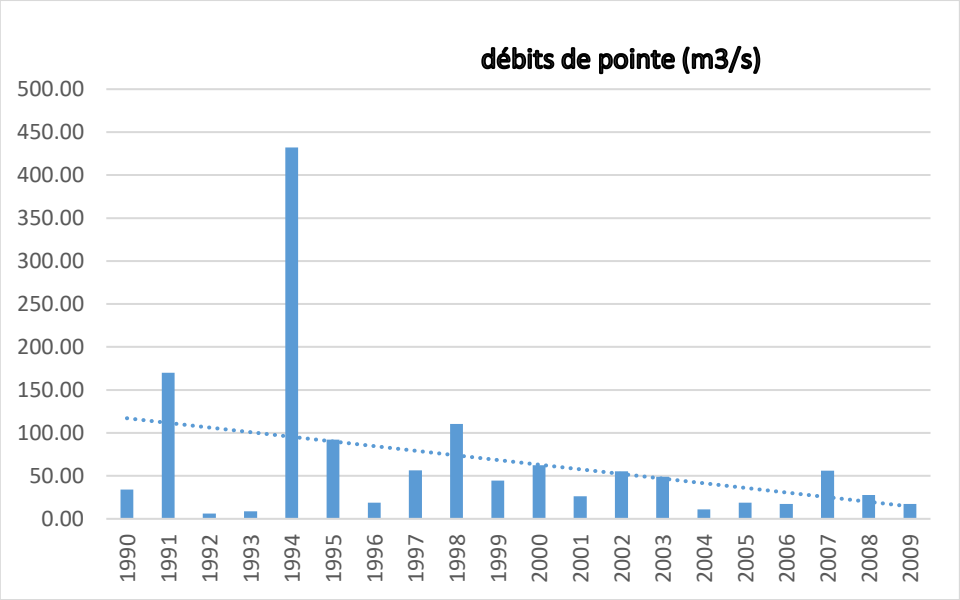


FIGURE II.29: VARIATION DES DEBITS MAXIMAUX JOURNALIERS

3.8.2. Analyse fréquentielle des crues maximales annuelles :

L'analyse fréquentielle en hydrologie est une approche statistique de prédiction basée sur des calculs probabilistes utilisant l'historique des événements pour prédire des fréquences d'apparitions futures. Cette analyse devra permettre, d'estimer les quantiles correspondant aux périodes de retour, retenues dans le cadre de la présente étude : 10, 20, 50, 100 et 200 ans. Après avoir testé plusieurs lois (log normal, GEV, Galton, Gumbel, log Pearson III), l'échantillon de 21 ans de débits max de l'Oued Derdeur s'adapte bien à la loi de log Pearson III (Fig31).

Taille de l'échantillon	N	21
Moyenne	M	64,1
Ecart type	S	92,9
Coefficient de variation	Cv	1,45
Minimal	min	6,22
Maximal	max	432,0

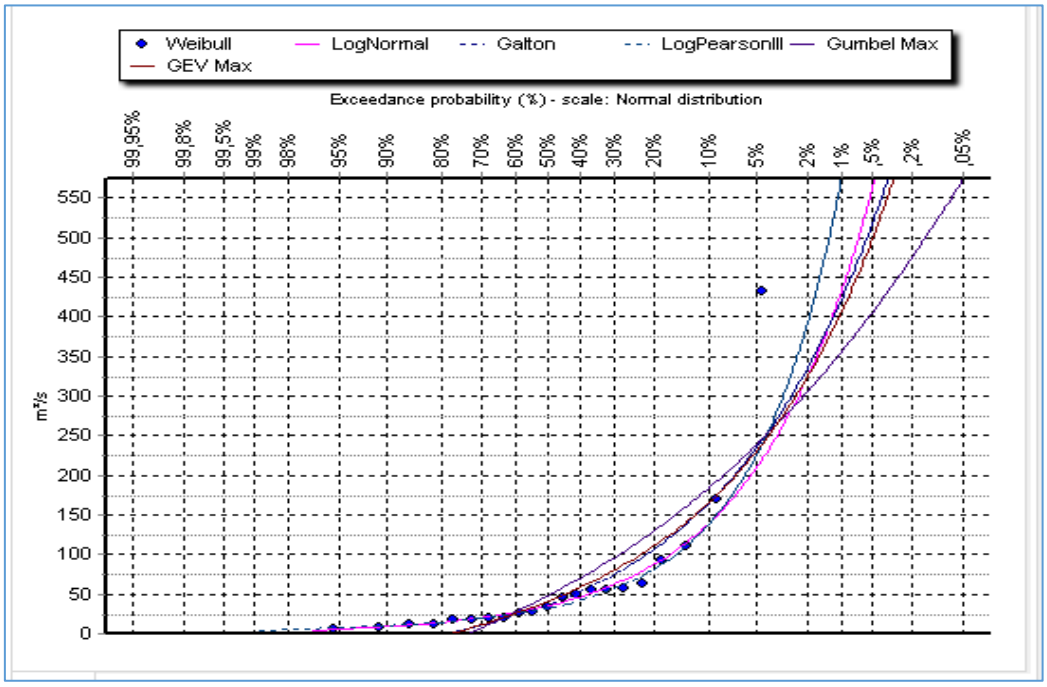


FIGURE II.30: AJUSTEMENT DES DEBITS JOURNALIERS MAXIMUMS A UNE LOI DE LOG P PEARSON III

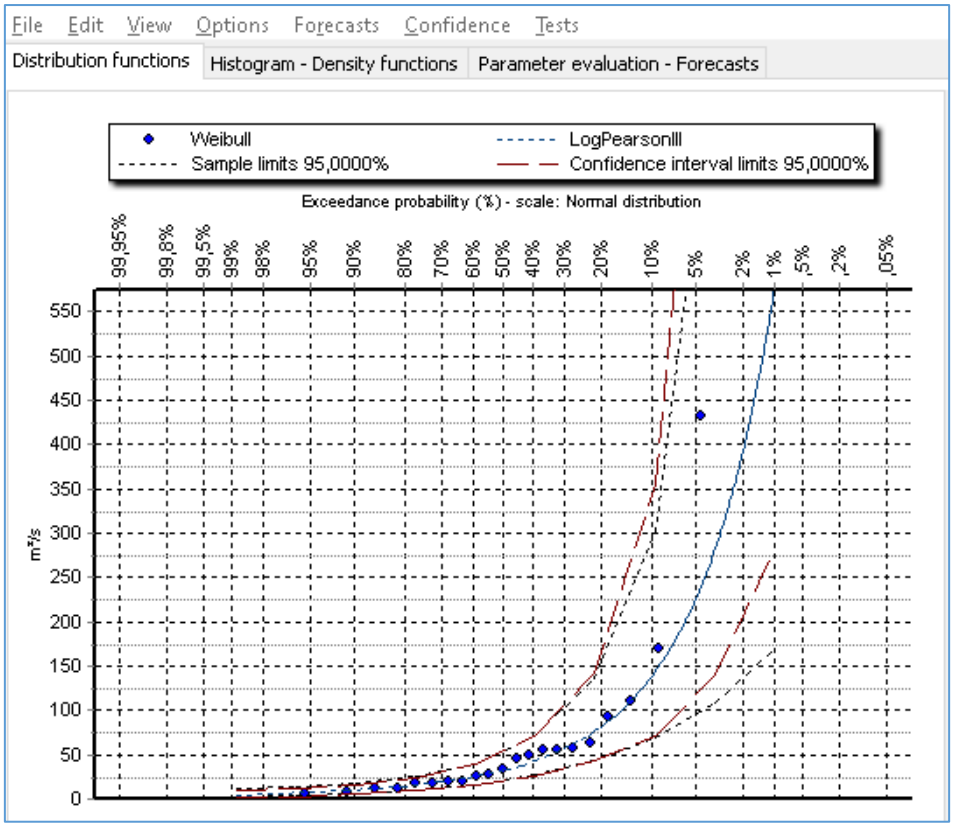


FIGURE II.31: AJUSTEMENT DES DEBITS JOURNALIERS MAXIMUMS A UNE LOI DE LOG PEARSON III

-L'analyse fréquentielle de la série de débits maximaux de l'Oued Derdeur permet d'estimer les probabilités d'occurrence des crues et leurs périodes de retour (Tableau)

T	F	u	Qjmax
2	0,5	0,37	52
5	0,8	1,50	122
10	**0,9**	**2,25**	169
20	0,95	2,97	214
25	0,96	3,20	228
50	0,98	3,90	272
100	0,99	4,60	315

Chapitre III :

Modélisation pluies-débits par le modèle HEC-HMS

Chapitre III: Modélisation pluies-débits par le modèle HEC-HMS

1. Introduction :

Le HEC-HMS est un système complet de modélisation hydrologique des bassins versants qui permet de simuler les processus pluie-débit, depuis les précipitations brutes jusqu'au débit total de ruissellement à un temps donné, à un point donné du bassin étudié. Sa conception a été lancée par l'USACE pour évoluer vers une nouvelle génération du logiciel qui va remplacer son antécédent le HEC-HMS.

En effet, afin de s'adapter aux différents contextes d'études, ce modèle opère selon le principe de tâches distinctes, c'est-à-dire qu'il simule le bassin à un système uniforme composé de plusieurs composantes assurant chacune de représenter un aspect particulier du processus pluie-débit et agissant successivement pour produire l'hydrogramme de l'écoulement. Pour y parvenir, chaque tâche est confiée à un formalisme d'un module choisi librement par l'utilisateur en fonction de ses besoins et ses données, ainsi, en mutant les formalismes d'un module, le HEC-HMS peut changer de type de modèle, par exemple passer d'un modèle événementiel à un modèle continu, de global au distribué, d'empirique au conceptuel et ainsi de suite. **[14,15]**

2. Le processus de fonctionnement

Comme nous venons de le mentionner au chapitre précèdent, le HEC-HMS attribue à chaque module une étape de la transformation pluie-débit, et c'est la combinaison des résultats des modules les uns aux autres qui donne l'hydrogramme final. **[3]**

3. Fonctionnalités

Les données d'entrée peuvent être conçues pour les éléments du bassin versant comme les sous bassins et les tronçons de cours d'eau ou bien simultanément pour des groupes d'éléments analogues. Les tableaux et formulaires pour l'introduction de données nécessaires sont accessibles {partir d'un schéma visuel du bassin versant. Pour effectuer une première simulation, il est nécessaire de créer une base de données pour caractériser le bassin versant et déterminer les averses qui seront employées comme données d'entrée du modèle.

Les principales étapes de la simulation sent :

- Démarrage d'un nouveau projet;
- Définition du modèle de bassin versant;
- Données de la ou des stations météorologiques;
- Définition du modèle de précipitation;

- Définition des paramètres de contrôle de la simulation;
- Création et exécution d'une simulation;
- Visualisation des résultats. **[14,15]**

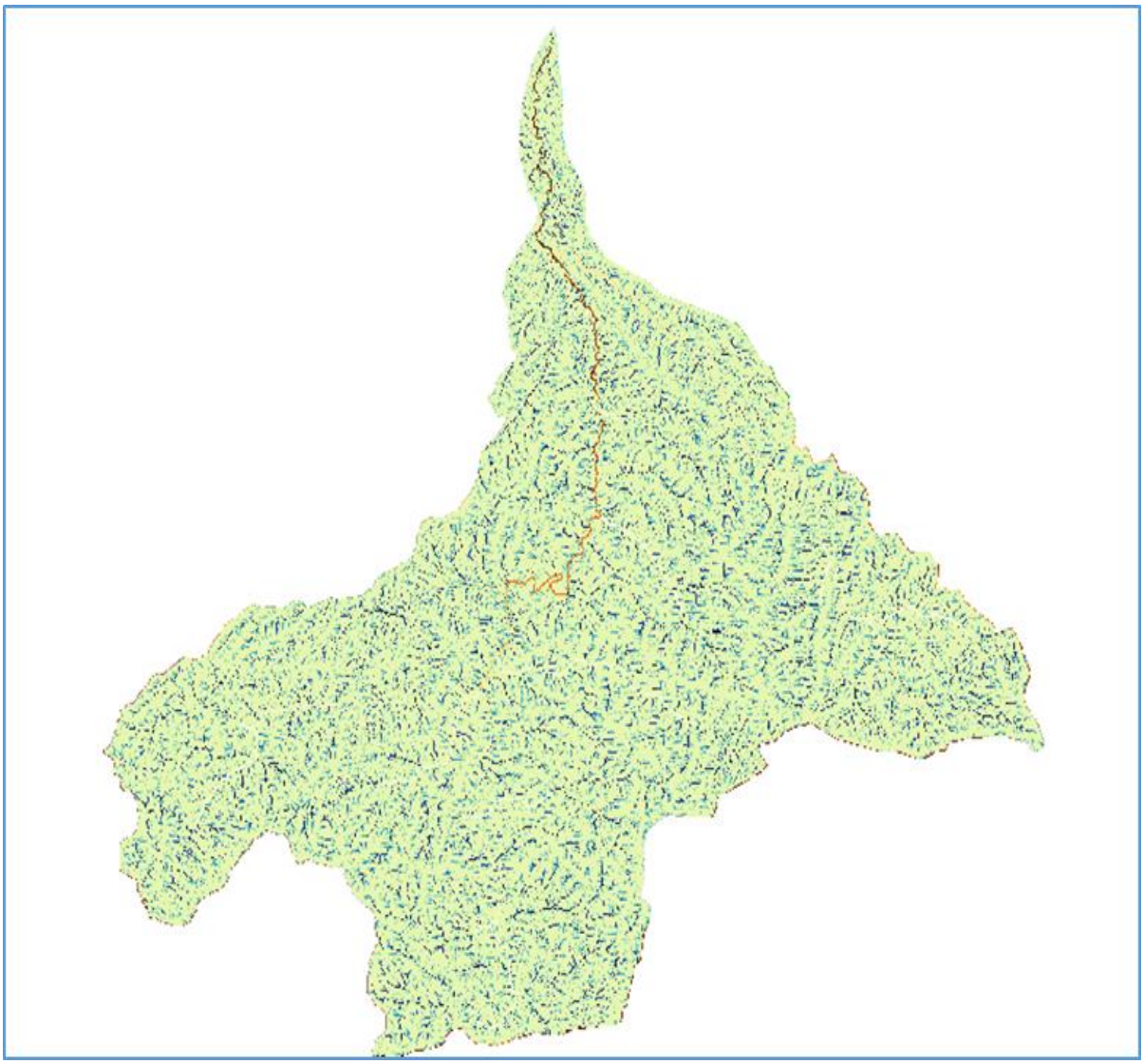


FIGURE III.32: DELIMITATION DU BASSIN VERSANT IMPORTE DEPUIS LE FICHIER .AMTN DANS HEC-HMS

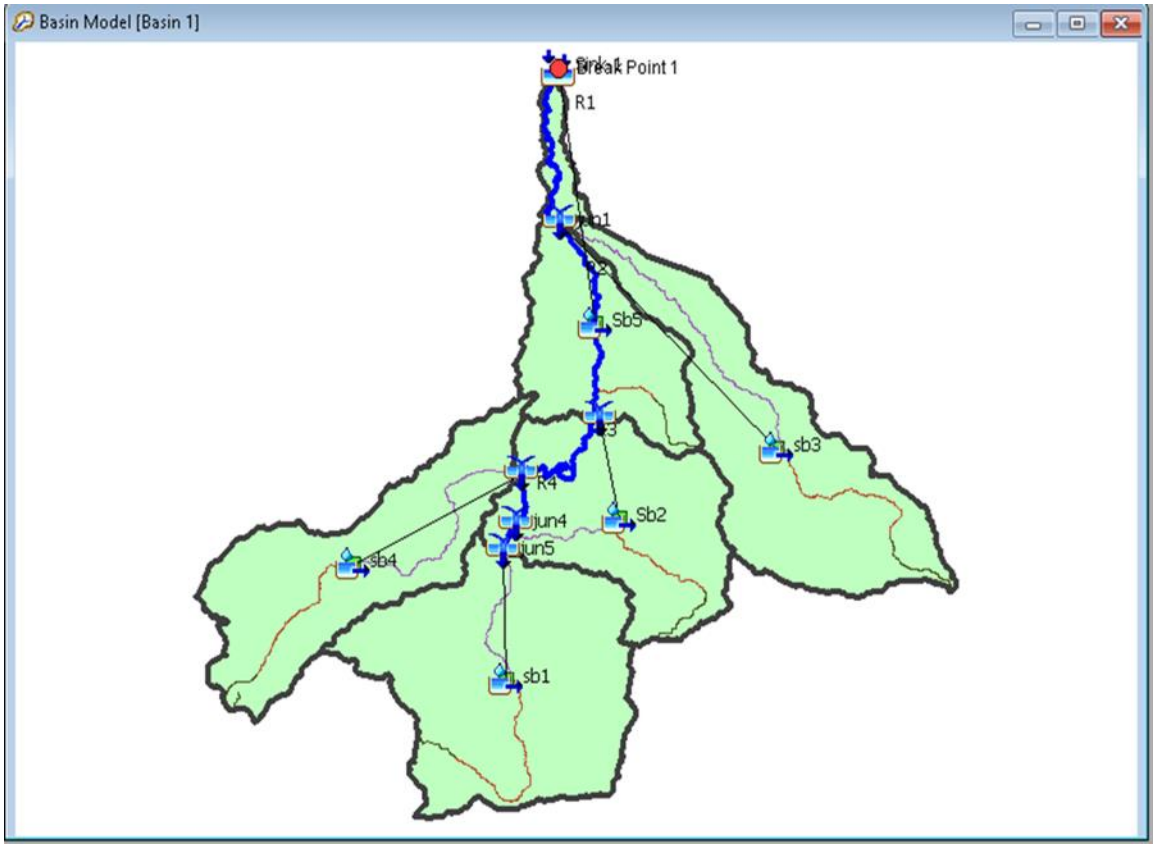


FIGURE III.33: FENETRE DE L'INTERFACE DU HEC-HMS REPRESENTE LE BASSIN VERSANT ET LEURS SOUS BASSINS (PROPRE ETUDE)

La première étape consiste à schématiser le bassin versant étudié en éléments fondamentaux connectés entre eux sous forme d'un arbre ramifié. Le HEC-HMS offre l'opportunité de représenter toutes les entités naturelles ou artificielles installées dans un bassin et qui influencent le processus de transformation pluie-débit, allant depuis les sous bassins, les exutoires jusqu'aux canaux de rivières et les canaux de diversion d'eau, en passant par les réservoirs, les retenues de barrages,…etc. Les éléments et leurs rôles dans la représentation de l'état du bassin versant sont les suivants:

- L'élément « Subbasin » : matérialise le bassin si la modélisation est globale, et les sous-bassins si on opte pour une modélisation semi-distribuée. Parmi ses attributs de base : la surface, la fonction de production associée et la fonction de transfert associée.
- L'élément « Reach » : représente le plus souvent la rivière, et sert à faire la connexion entre les autres éléments. L'information de base attachée est la fonction de routage.

- L'élément « Réservoir » : décrit les réservoirs, les retenues de barrage,…etc. ses caractéristiques attribués permettent de définir les conditions stockage-déstockage.
- L'élément « Source » : permet d'ajouter des stations de mesure de débit ou de représenter les conditions aux limites.
- L'élément « Jonction » : utilisé pour combiner aux moins deux débits véhiculés par deux éléments, comme dans le cas d'une confluence entre deux rivières.
- L'élément « Diversion » : représente des endroits où se produit des prélèvements d'eau, c'est le cas par exemple des seguias et des canaux de diversion.
- L'élément « Sink » : simule l'exutoire des sous bassins versants. **[14,15]**
- Dans notre cas, cette étape sera totalement et automatiquement réalisée par le logiciel WMS lors de la phase de caractérisation physique.

4 .Les données nécessaires à l'application de simulation avec HEC-HMS :[16]

L'application du modèle HEC-HMS nécessite une banque de données concernant le bassin ou les sites étudiés, afin qu'on puisse appliquer le modèle. Parmi les données indispensables on peut citer dans notre cas:

Les caractéristiques morpho-métriques des bassins :

- Les surfaces des sous bassins versants
- Type de sol
- Couvert végétal

Les caractéristiques météorologiques :

- Les précipitations
- L'évapotranspiration
- Les données de spécifications de contrôle
- La date initiale
- La date finale
- L'intervalle de temps de calcul

5. Les données

Les données nécessaires à la modélisation des sous-bassins sont représenté dans le tableau suivant :

TABLEAU III.10: DONNEES DE BASE DES SOUS-BASSINS VERSANTS.

Sous bassin	Long oued km	Pente oued m/m	Long oued principale	Pente oued principale	Pente du sous bassins	Relief du bassin	Ratio élongation	Densité drainage
Sb1	29.97039	0.02679	10.21546	0 .02134	0.26484	1181.000	0.54952	0.11693
Sb2	37.18757	0.02954	23.20012	0.01718	0.30482	1201.00	0.36055	0.22297
Sb3	45.88205	0.02816	25.76400	0.01324	0.24552	1292.00	0.32653	0.18164
Sb4	36.43274	0.03167	21.59174	0.00625	0.15894	1160.00	0.32818	0.25678

Reach	Length (KM)	Slope (M/M)	Relief (M)	Sinuosity
R5	2,21857	0,01217	27,00000	1,24089
R4	3,48033	0,00460	16,00000	1,12488
R3	11,57929	0,00915	106,00000	1,94076
R2	15,78339	0,00824	130,00000	1,30762
R1	13,02815	0,00545	71,00000	1,40059

FIGURE III.34: DONNEES DE BASE DES REACH

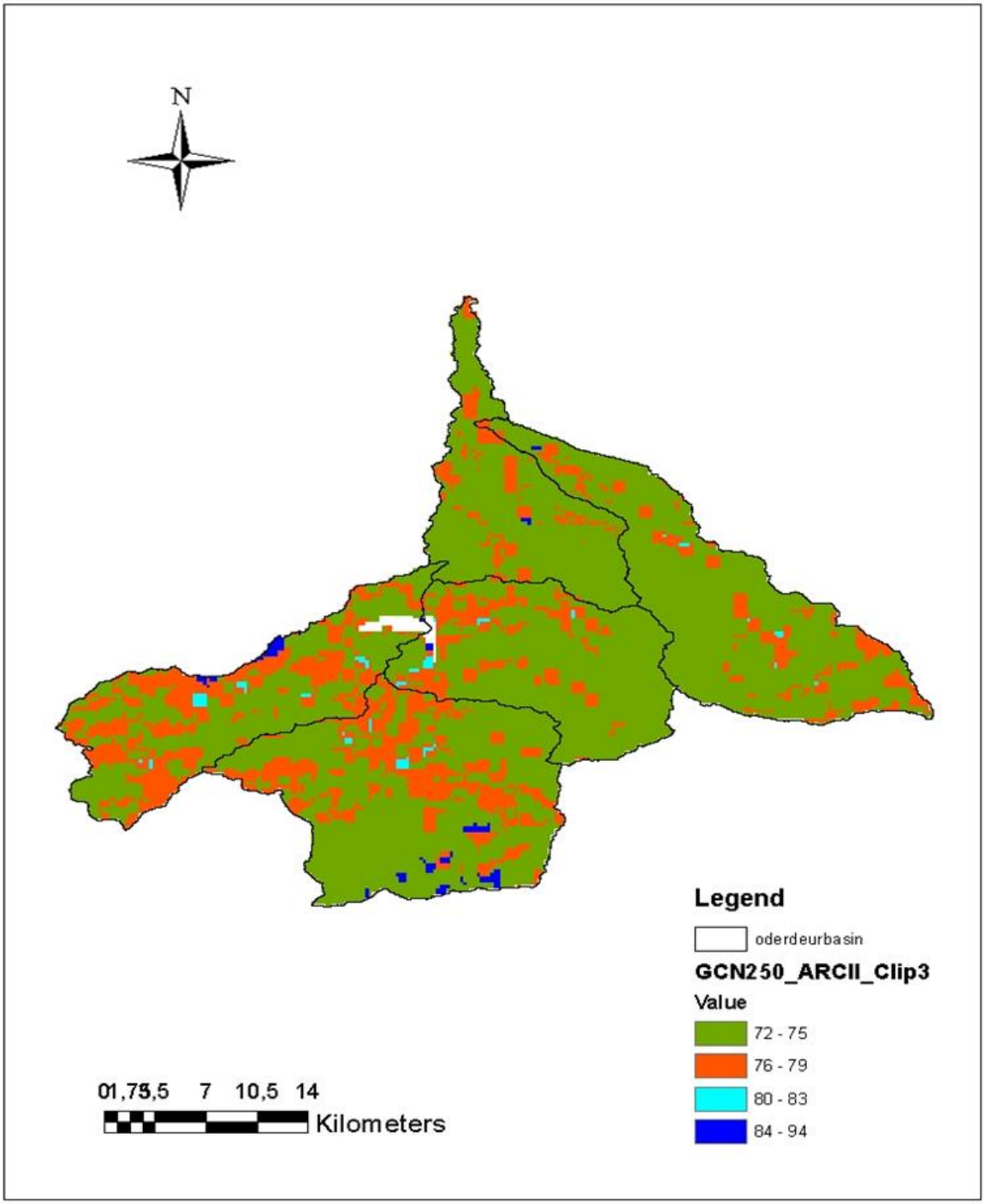


FIGURE III.35: LA CARTE DE CURVE NUMBER DU BASSIN OUED DERDEUR

TABLEAU III.11: DES PARAMETRES HYDROLOGIQUES ET GEOMORPHOLOGIQUES DES SOUS-BASSINS UTILISES DANS LA CONFIGURATION DU MODELE HEC-HMS

sous basin	longues flow	basin slope	area km	CN	S	y %	tc(scs) min	lagT hr	lagT min	la=02*s
sb1	2997039	26484	21303	76	316	2648	59	36	2134	63
sb4	352194	22853	15223	78	282	2285	77	46	2757	56
Sb2	3718757	30482	1412	73	370	3048	63	38	2252	74
sb3	4588205	24552	17628	75	333	2455	89	53	3202	67
Sb5	3643274	15894	11228	74	351	1589	109	65	3910	70

Ce tableau présente les principales caractéristiques hydrologiques et géomorphologiques des sous-bassins analysés dans le cadre de la modélisation à l'aide du logiciel HEC-HMS. Il inclut des données telles que la longueur d'écoulement, la pente du bassin, la superficie, ainsi que des paramètres calculés comme le temps de concentration (Tc), le temps de retard (Lag time) et le facteur CN. Ces paramètres jouent un rôle essentiel dans la simulation du ruissellement et l'estimation de la réponse hydrologique de chaque sous-bassin**.**

6. Résultats Et Discussion

6.1. Calibrage Et Validation Du Modèle

La réussite de l'application du modèle hydrologique de bassin versant dépend de la qualité de son calibrage, qui dépend à son tour de ses capacités techniques et de la qualité des données d'entrée. Le modèle de bassin versant HEC-HMS est calibré pour la simulation événementielle. L'objectif du calibrage du modèle est de faire correspondre les volumes de ruissellement simulés observés, les pics de ruissellement et la chronologie des hydrogrammes avec les valeurs observées.

Dans la présente étude, une combinaison de techniques de calibrage manuelles et automatisées a été utilisée. Le calibrage automatisé, appelé « optimisation d'essai » dans HEC-HMS, a permis d'obtenir des valeurs de paramètres optimales offrant la meilleure adéquation entre les valeurs de débit observées et simulées [RUELLAND et al. 2008].

Les résultats du modèle hydrologique ont montré une bonne adéquation entre la forme de l'hydrogramme simulé et celle observée. Les figures 40 et 42 présentent une comparaison chronologique des débits simulés et observés à l'exutoire du bassin versant pour les périodes du07 au 18 février 2009 et du 04 au 14 janvier 1994 (nous nous limitons à la modélisation des crues de courte durée pour lesquelles le processus d'évapotranspiration est négligeable).

Les valeurs maximales du débit mesuré correspondent bien aux valeurs du débit simulé, bien que le modèle ait eu tendance à surestimer le ruissellement observé lors des mesures de cours d'eau. Après calibrage du modèle, nous constatons une forte diminution du débit de pointe par rapport à avant calibration :

6.2. Avant calibrage (crue 2009& crue 1994)

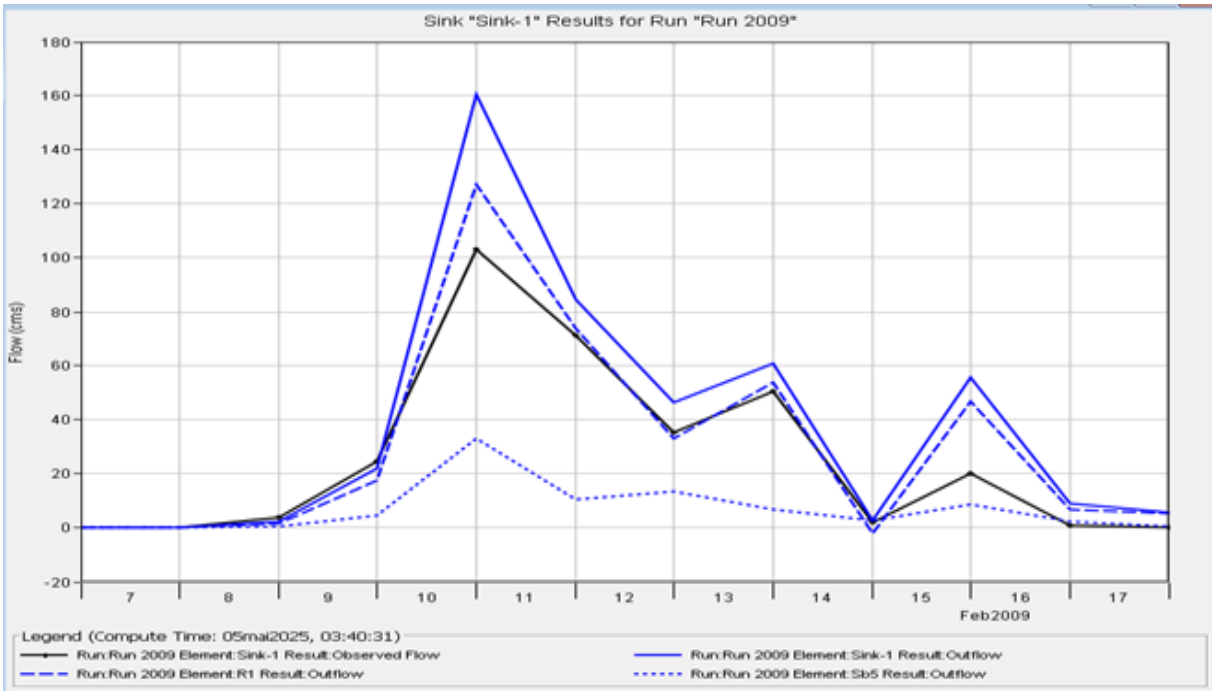


FIGURE III.36: FENETRE REPRESENTE LE GRAPHE DE PLUIE ET LE DEBIT SIMULE- L EXUTOIRE 2009 (AVANT CALIBRATION)

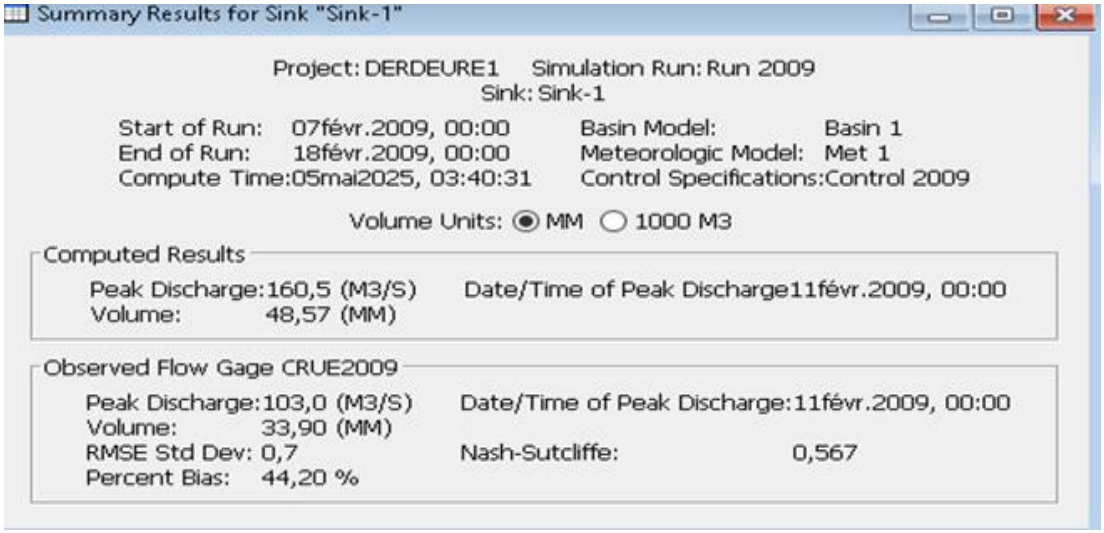


FIGURE III.37: FENETRE REPRESENTE LES RESULTATS DE SIMULATION - L'EXUTOIRE (AVANT CALIBRATION)

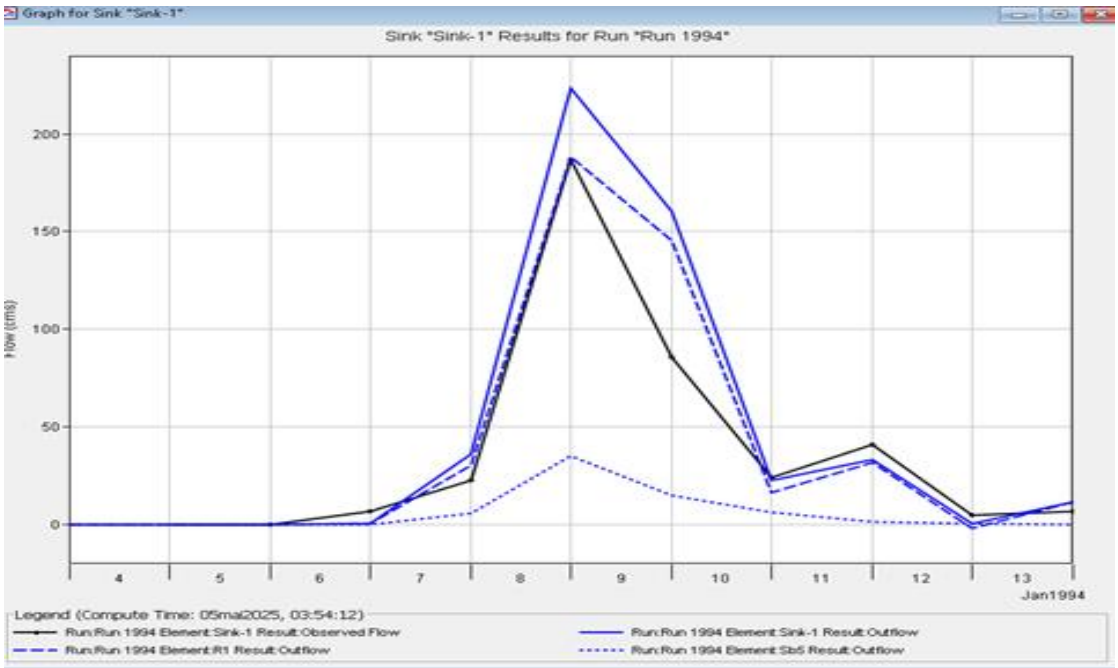


FIGURE III.38: FENETRE REPRESENTE LE GRAPHE DE PLUIE ET LE DEBIT SIMULE- L' EXUTOIRE 1994 (AVANT CALIBRATION)

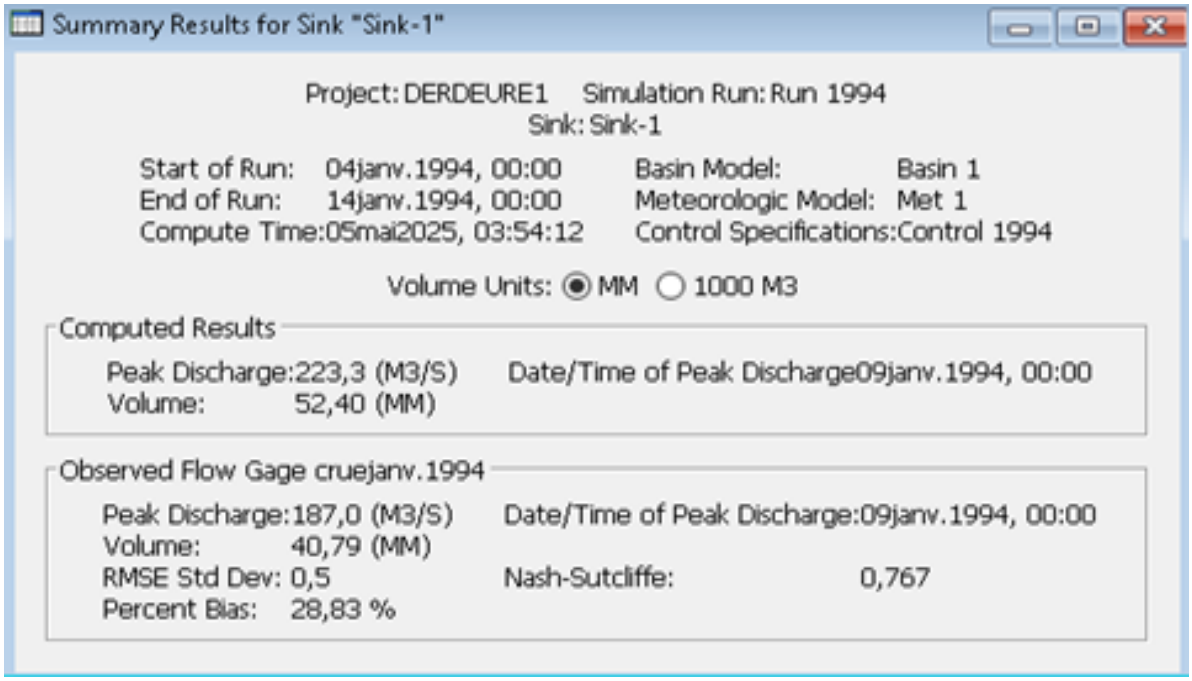


FIGURE III.39: FENETRE REPRESENTE LES RESULTATS DE SIMULATION - L'EXUTOIRE (AVANT CALIBRATION)

6.3. Crue févr2009& crue janv 1994 après le calibrage

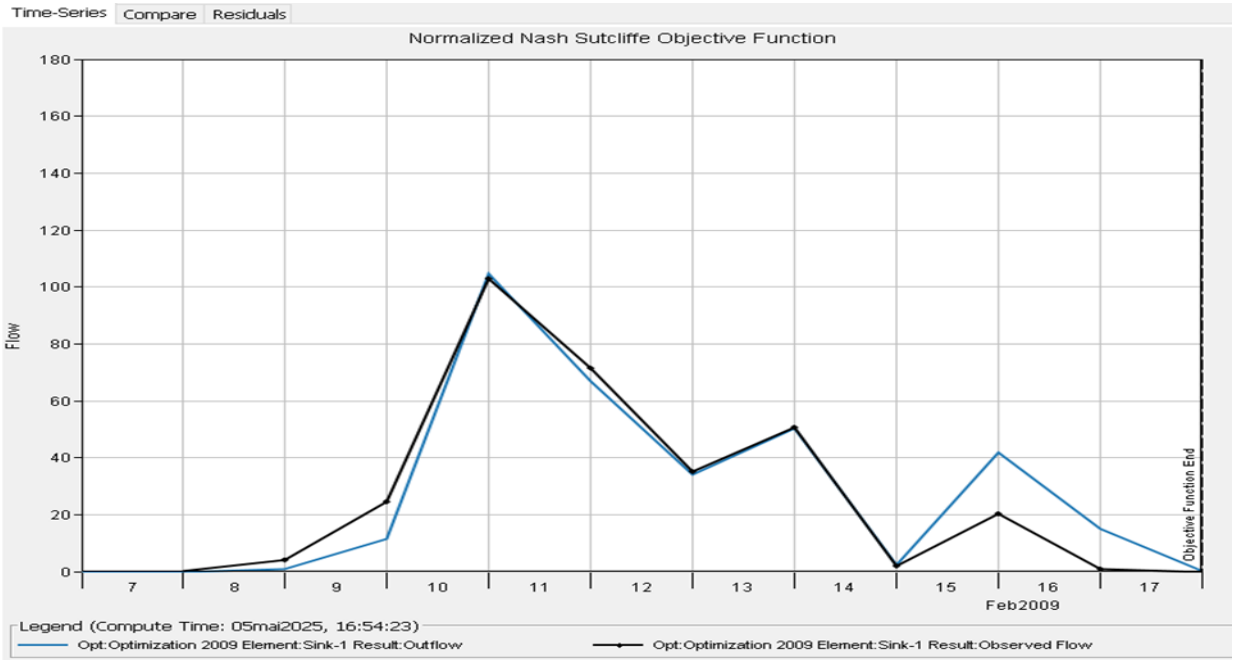


FIGURE III.40:COMPARAISON DES DEBITS SIMULES ET OBSERVES POUR LA CRUE DE FEVRIER 2009 APRES LE CALIBRAGE

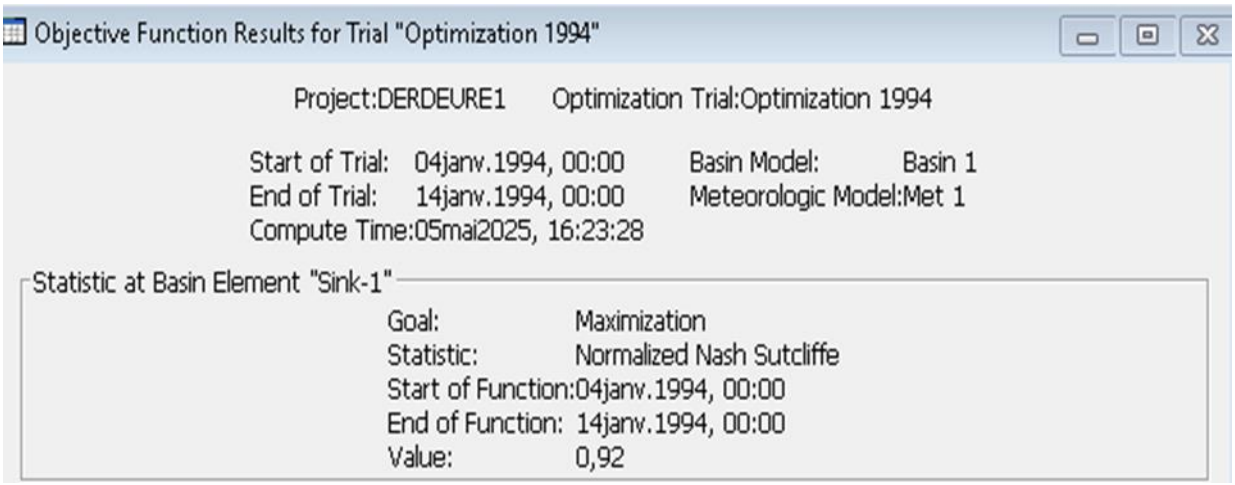


FIGURE III.41:RESULTATS DE LA CALIBRATION POUR LA CRUE DE JANVIER 1994 – FONCTION OBJECTIF

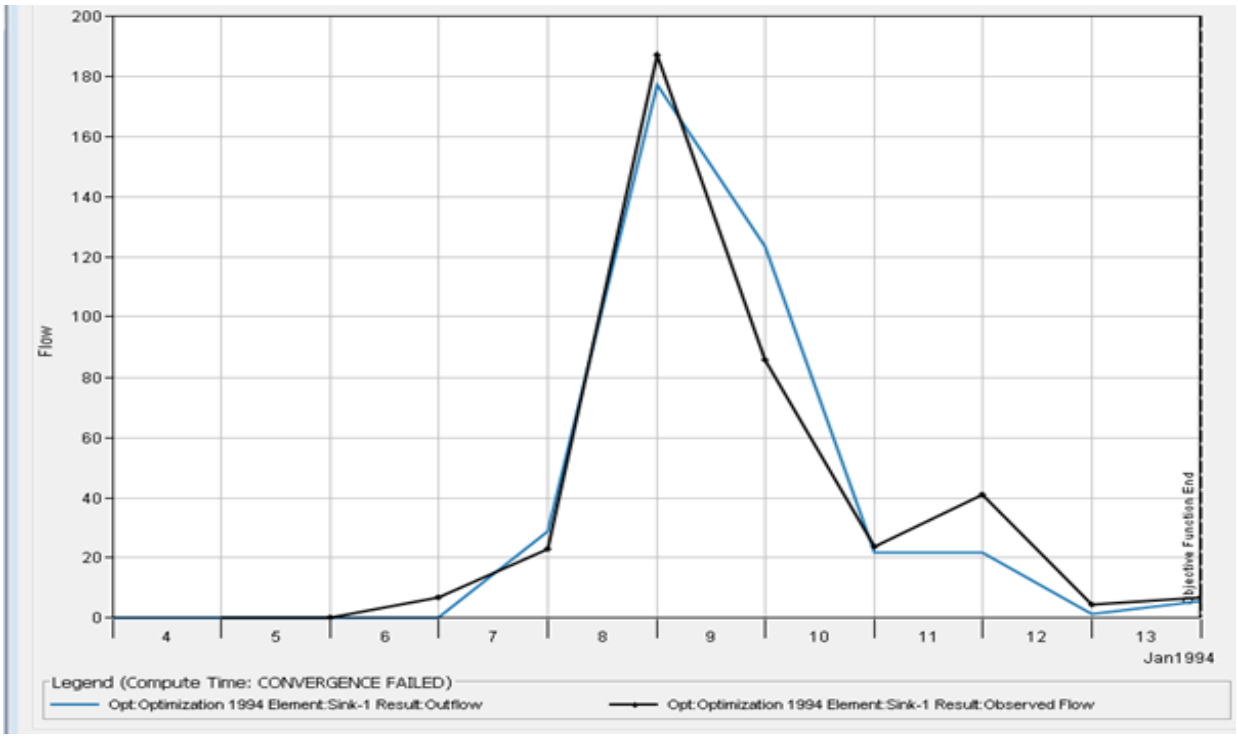


FIGURE III.42: HYDROGRAMME OBSERVE VS. SIMULE POUR LA CRUE DE JANVIER 1994 APRES CALIBRAGE DANS HEC-HMS

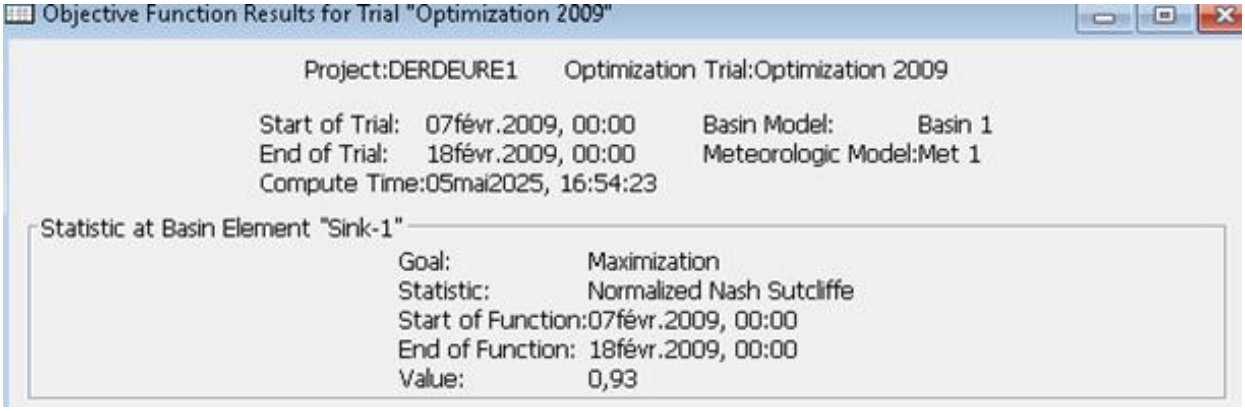


FIGURE III.43: FENETRE DES RESULTATS DE LA FONCTION OBJECTIF – CALIBRATION DE LA CRUE DU 7 AU 18 FEVRIER 2009 (NASH-SUTCLIFFE NORMALISE)

Les valeurs des paramètres calibrés sont présentées dans le tableau suivant :

Sous basin	Parameters	Valeur initiale	Valeur optimisée
sb1	Numéro de courbe SCS - Numéro de courbe	76	94.555
sb4	Numéro de courbe SCS - Numéro de courbe	78	94.597
Sb2	Numéro de courbe SCS - Numéro de courbe	73	93.383
sb3	Numéro de courbe SCS - Numéro de courbe	75	93.424
Sb5	Numéro de courbe SCS - Numéro de courbe	74	93.018
sb1	Numéro de courbe SCS - Abstraction initiale	63	396.95
sb4	Numéro de courbe SCS - Abstraction initiale	56	395.19
Sb2	Numéro de courbe SCS - Abstraction initiale	74	311.35
sb1	Numéro de courbe SCS - Abstraction initiale	63	46.083
Sb5	Numéro de courbe SCS - Abstraction initiale	70	10.284
sb1	Hydrogramme unitaire SCS - Temps de latence	2134	464.7
sb4	Hydrogramme unitaire SCS - Temps de latence	2757	317.12
Sb2	Hydrogramme unitaire SCS - Temps de latence	3202	169.23
sb3	Hydrogramme unitaire SCS - Temps de latence	3202	20.539
Sb5	Hydrogramme unitaire SCS - Temps de latence	3910	21.809

7. Évaluation Du Modèle

Le modèle calibré a ensuite été utilisé pour estimer le débit du bassin versant de l'oued Derdeur sur la période de précipitations du 20 au 30 novembre 2007. Les hydrogrammes observés et simulés avant et après validation sont présentés aux figures.

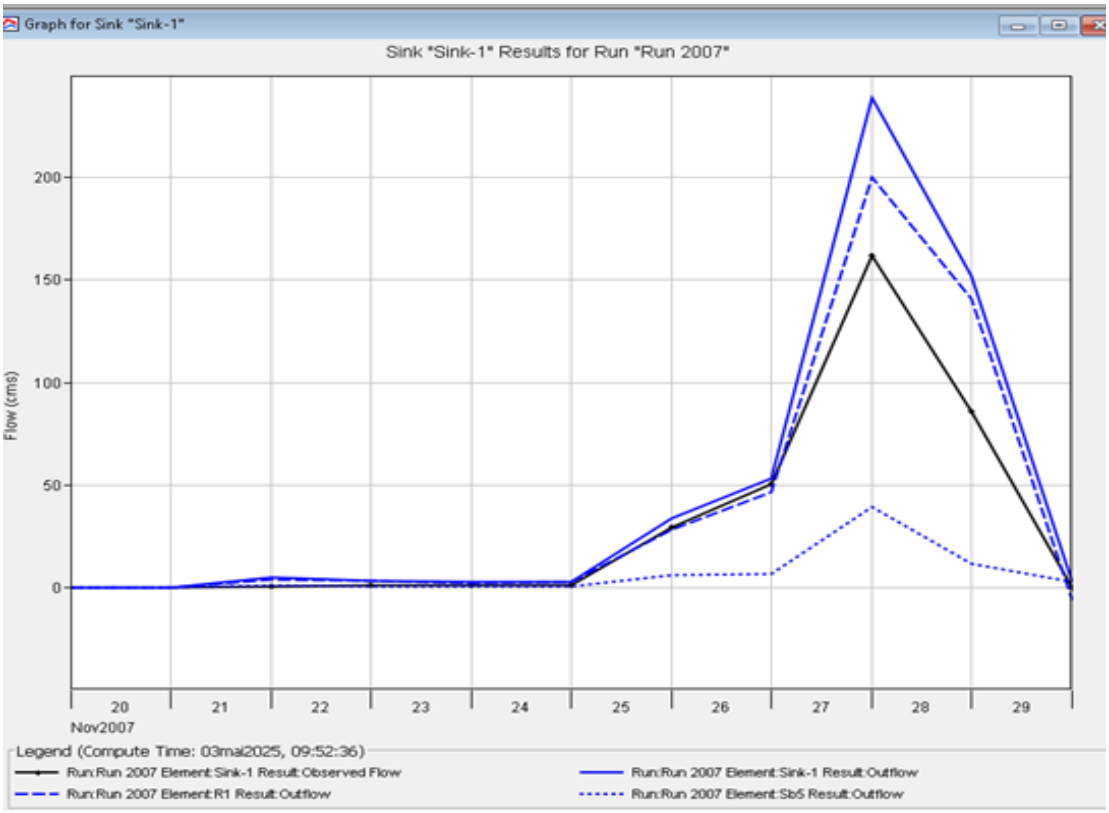


FIGURE III.44:HYDROGRAMME AVANT VALIDATION NASH 0,64

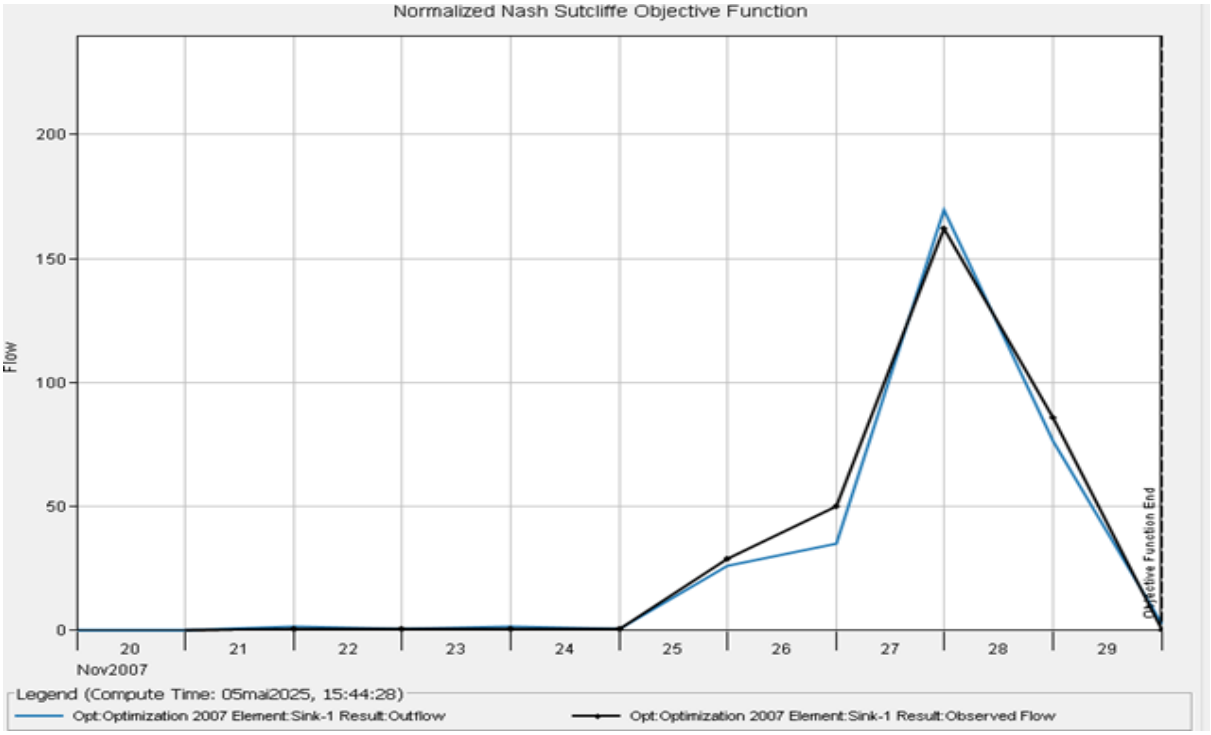


FIGURE III.45: HYDROGRAMME APRES VALIDATION -NASH 0,99 R^2 0,98

Project:DERDEURE1 Optimization Trial:Optimization 2007

Start of Trial: 20nov.2007, 00:00 Basin Model: Basin 1
End of Trial: 30nov.2007, 00:00 Meteorologic Model:Met 1
Compute Time:05mai2025, 15:44:28

Statistic at Basin Element "Sink-1"

Goal: Maximization
Statistic: Normalized Nash Sutcliffe
Start of Function:20nov.2007, 00:00
End of Function: 30nov.2007, 00:00
Value: 0,99

La performance du modèle est évaluée à l'aide de deux indicateurs de performance, à savoir NS et R2, qui ont respectivement des valeurs de 0,99 et 0,98.

Le coefficient de corrélation indique la précision du modèle. Une valeur de 1 indique une prédiction parfaite [RAZI et al. 2010]. Le graphique des débits simulés et observés après la période de validation (du 20 au 30 novembre 2007) est présenté à la figure suivante :

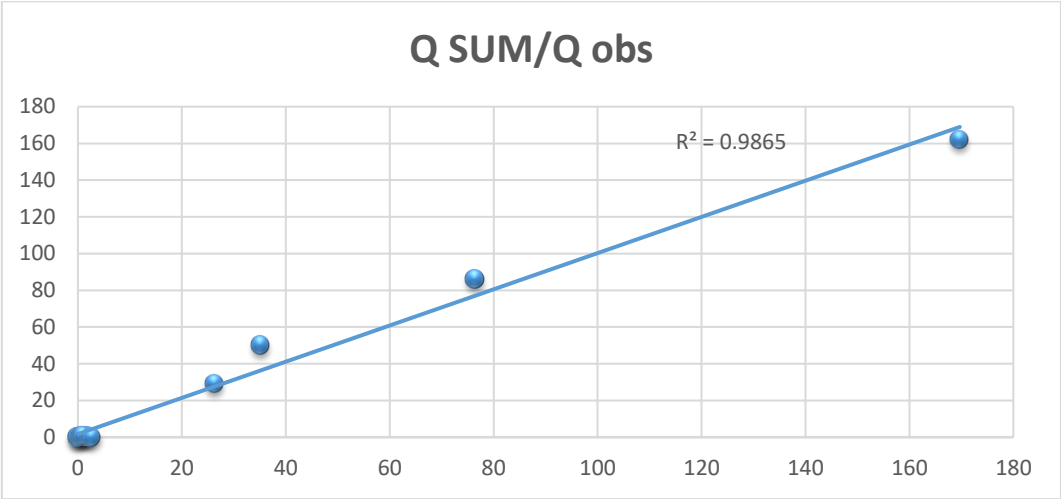
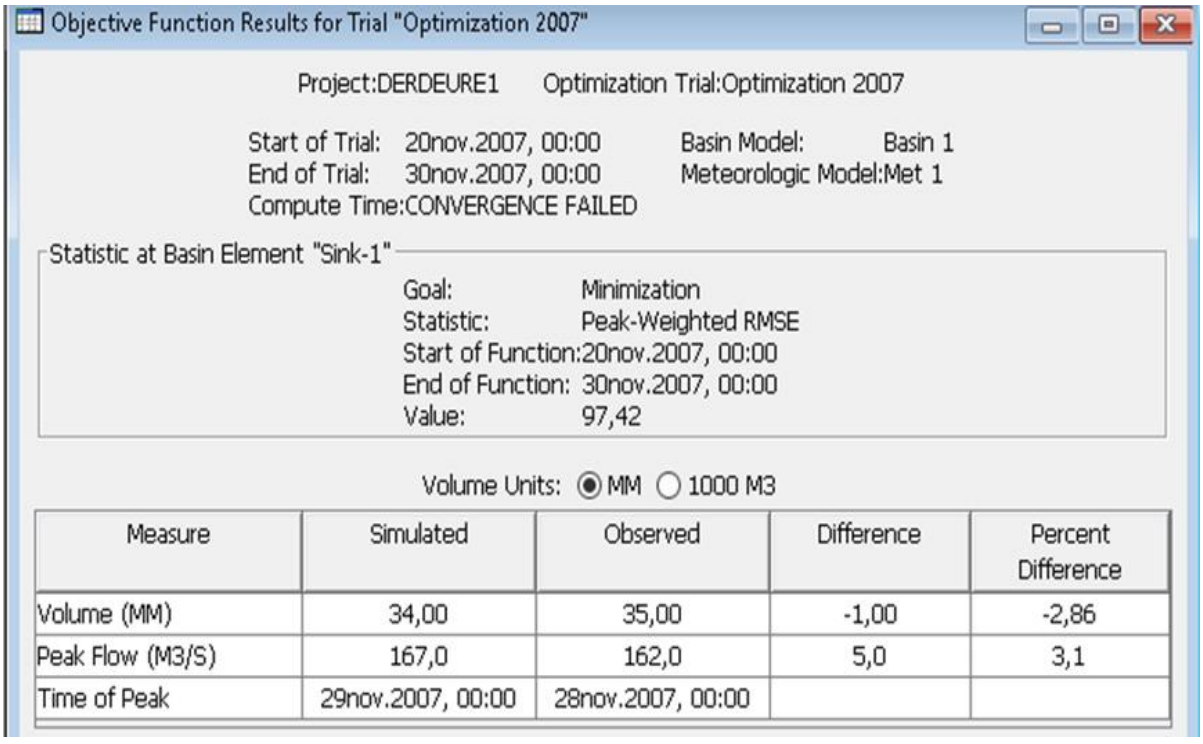


FIGURE46: LA CORRELATION ENTRE DEBITS OBSERVES ET DEBITS SIMULES

. Les résultats des mesures ont confirmé ceux du modèle et ont montré que La différence entre débit simulé et observé est estimée à 3.1 %, et la différence entre le volume ruisselé simulé et observé est d'environ 2.86 % présentés dans la Figure III.47



Measure	Simulated	Observed	Difference	Percent Difference
Volume (MM)	34,00	35,00	-1,00	-2,86
Peak Flow (M3/S)	167,0	162,0	5,0	3,1
Time of Peak	29nov.2007, 00:00	28nov.2007, 00:00		

FIGURE III.47: FENETRE REPRESENTE LES RESULTATS DE PERFORMANCE APRES LA VALIDATION(LE VOLUME RUISSELE ; DEBIT DE POINTE, LE TEMPS DE PIC)

8. Exploitation du modèle hydrologique :

Une fois le modèle calé et validé, il pourra servir à simuler les crues de projet à partir des pluies de projet synthétiques de période de retour 10, 20, 50 et 100 ans. Ces hydrogrammes de projet seront ensuite injectés dans le modèle hydraulique.

Après avoir validé complètement le modèle HEC-HMS sur le bassin versant du L'oued Deurdeur, on peut l'utiliser pour la protection contre les inondations, en utilisant ce qu'on appelle la modélisation à temps réel qui repose sur le principe de reconstitution du débit à l'exutoire pour chaque pas de temps pour lequel la donnée pluie est mesurée, par conséquent on peut reconstituer l'hydrogramme d'une crue au fur et à mesure de l'enregistrement de la hauteur de pluie. Ce système d'alarme s'avère plus efficace que celui qui se base sur la mesure de la hauteur d'eau dans la rivière en amont du bassin versant.

9. Conclusion

L'estimation du ruissellement est indispensable à la pérennité des ressources en eau, mais les données de suivi sont limitées dans cette région. Cette recherche vise à étudier l'efficacité du modèle HEC-HMS dans le bassin de L'oued DERDEUR.

Une analyse de sensibilité a été réalisée en ajustant les valeurs de différents paramètres des deux modèles HEC-HMS pour le bassin versant. Après avoir exécuté les modèles à plusieurs reprises, les résultats de débit simulé ont été comparés aux valeurs de suivi à l'exutoire du bassin (où se trouve la station de décharge) à chaque modification des paramètres. À cet égard, le nombre de courbes CN, le décalage SCS (lag time) et **Ia** abstraction initial sont calibrés pour deux événements de pluie et de crue, dont un événement pour valider le modèle. Les résultats des mesures ont confirmé ceux du modèle et ont montré que la différence entre le débit de pointe observé et le modèle validé était d'environ 2,86 %, avec une valeur R2 de 0,98 et une efficacité Nash-Sutcliffe de 0,99. La présente étude conclut que le modèle peut être utilisé pour l'oued Derdeur.

Conclusion générale

Conclusion générale

La présente étude nous a permis d'explorer en profondeur le potentiel de la modélisation hydrologique comme outil d'aide à la décision dans la gestion des ressources en eau et la prévention des risques d'inondation. En s'appuyant sur une analyse détaillée des caractéristiques hydrologiques, climatiques, morphométriques et géographiques du bassin versant de l'oued Deurdeur, combinée à l'utilisation du modèle HEC-HMS, nous avons pu simuler le comportement hydrologique du bassin et en évaluer les réponses face à différents scénarios de précipitation.

Les résultats obtenus mettent en évidence l'importance d'une modélisation précise et bien calibrée pour la prévision des crues. Ils soulignent également le rôle fondamental que peuvent jouer les données hydrométéorologiques fiables, l'analyse statistique des événements extrêmes et la compréhension fine du terrain dans l'optimisation des mesures de prévention et de protection.

Face aux défis posés par les changements climatiques, l'urbanisation non maîtrisée et la variabilité hydrologique croissante, il devient indispensable de promouvoir une gestion intégrée et intelligente des bassins versants. La modélisation, loin d'être une simple abstraction théorique, se révèle être un outil pragmatique et indispensable pour appuyer les politiques publiques, guider les choix d'aménagement et renforcer la résilience des territoires face aux aléas hydrologiques.

Ainsi, cette recherche constitue une base solide pour des études futures orientées vers l'amélioration continue des modèles, l'intégration de nouvelles données satellitaires ou l'utilisation de l'intelligence artificielle, afin d'enrichir encore davantage les capacités de prédiction et de gestion durable des systèmes hydriques

Références Bibliographiques

Refrences Bibliographiques

1. [Ouazar-2002] D. OUAZAR, P. PRASTACOS & N. WAJDI, Watershed characterization, potential reservoir sites inventory and development of a geographical information system database, Report D1.1 WADI, EMI Maroc, December 2OO2.
2. au sein d'un système d'information intégré sous webincluant les SIGJury-République Algérienne Démocratique et PopulaireMinistère de l'Enseignement Supérieure & de la Recherche Scientifique Ecole Nationale Polytechnique.Département d'Hydraulique
3. Bachi .M, 2011, Problématique du risque inondation en milieu urbain ; cas de l'agglomération de sidi Bel Abbes, Magister en Hydraulique : Option Ecoulement et Transport solide, université de Tlemcen.
4. C.P.MAFTEI, Etudes concernant les écoulements superficiels modélisation spatialisée del'écoulement sur le bassin versant de Voinesti-Roumanie, Mai 2002
5. E. GAUME,Hydrologie : Cycle de l'eau et modélisation pluie-débit, ENPC - CEREVE,Novembre 2000.
6. FREY.P, ,1991 Etude expérimentale et simulation numérique du transport turbulent de particules solides dans un décanteur, Docteur, spécialité : Mécanique, L'école centrale de Lyon.
7. Gaume E.,2002. Chapitre 2 et 3 ; Hydrologie de bassins versants et modèlisation Pluie-débit ; Ecole Nationale des ponts et Chaussées.71 p.
8. Ghrib, Algeria. Journal of Water and Land Development, 30(1), 87-100.
9. HENINE Hocine -Interfaçage entre un modèle hydrologique et un modèle hydrodynamique
10. HICHOUR Mustaph & FETATI Zakarya - Modélisation pluie-débit cas du bassin versant de L'oued Harrezza, Wilaya de Ain Defla Nord-Ouest Algérien, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, 2024
11. hydrological modelling software system HEC-HMS–watershed's case of wadi Cheliff-
12. KHELAIFIA Amar El Monder-Cartographie des inondations par HEC-HMS et HEC-RAS : Cas du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest – Algérie-UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABABADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY-2022/2023

Refrences Bibliographiques

13. l'Oued Cheliff-Ghrib. Thèse de doctorat en sciences, université Hassiba ben Bouali Chlef.
14. Laroussi BELOULOU -Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas dela ville de Annaba (Nord-Est Algérien)- Décembre 2008
15. M. VAUCLIN et G. VACHAUD, Modélisation des écoulements d'eau dans le milieunaturel : approche déterministe ou stochastique ? Institut de mécanique de Grenoble, 1991
16. Mémoire, modélisation pluie-débit par le logiciel hec-hms cas de bv oued Boussellam 2015/2016 (université M'sila**)**
17. Mokhtari, E. H., Remini, B., & Hamoudi, S. A. (2016). Modelling of the rain–flow by
18. Mokhtari, E.2017. Contribution à l'étude du transport solide en suspension Bassin de
19. Salhi Abdessalem-Modélisation Pluie – Débit par l'application dumodèle hydrologique HEC HMS dans le bassinversant du barrage de Beni Haroun-Année universitaire : 2020 /2021
20. ZAOUI Raine-Modélisation hydrologique pluie-débit appliqué au sous bassin de bassin versants d'oued Ressoul (Nord-Est Algérien)- Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma Faculté des Sciences et de la Technologie-Juin 2022