

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Effet de la subdivision d'un bassin versant sur le débit de pointe dans la modélisation pluie débit par HEC-HMS.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0021-18

APA Citation (توثيق APA):

Hanafi, Manel (2019). Effet de la subdivision d'un bassin versant sur le débit de pointe dans la modélisation pluie débit par HEC-HMS[Thèse de master, ENSH].

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

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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

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

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

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

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

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: CONCEPTION DE SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT

THEME :

**EFFET DE LA SUBDIVISION D'UN BASSIN VERSANT
SUR LE DEBIT DE POINTE DANS LA MODELISATION
PLUIE – DEBIT PAR HEC – HMS**

Présenté par :

HANAFI MANEL

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
Hind.MEDDI	M.C.A	Président
Abdelaziz.RASSOUL	M.C.A	Examineur
Abdelmadjid.BOUFEKANE	M.C.B	Examineur
Samia.KHALED/HOULI	M.A.A	Examineur
Mustapha.BOUKHELIFA	M.A.A	Promoteur

Session Septembre 2019

"Sous de nombreux aspects, la modélisation hydrologique est plus un art qu'une science, et elle a toutes les chances de le rester"
(Loague & Freeze, 1985)

Remerciements

Qu'il nous soit permis ici de remercier toute personne ayant contribué à la réalisation de ce mémoire :

En premier lieu, Mon encadrant Monsieur « Boukhelifa Mustapha », pour sa bonne volonté d'avoir accepté de m'encadrer, pour son suivi, ses bonnes orientations, sa patience de répondre à mes questions et pour l'ensemble de ses conseils de qualité, riches et pertinents.

Les membres du jury, d'avoir fait l'honneur d'évaluer et de juger ce travail, et de me faire bénéficier de leurs judicieuses remarques.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance aux enseignants de l'école, qui, durant le parcours universitaire m'ont guidée soigneusement vers la réussite de mes études, et m'ont fournies les outils nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

*A Mes parents Amar et Farida,
Mes sœurs,
Mon oncle Mouloud et TaTa Nacera.*

ملخص

ان تقسيم الاحواض المائية الى أجزاء يسهل معرفة و فهمها أوضح لهيدرولوجيا الحوض المائي, كما له أهمية في نمذجة التساقط. لهذا التقسيم تأثير كبير على التدفق. و بناء على ذلك تم تطوير العديد من التطبيقات التي تحول التساقط الى جريان .

و في هذا النطاق تمت هذه الدراسة باستخدام تطبيق النموذج الهيدرولوجي HEC-HMS على الحوض المائي لواد الرغاية الذي له أهمية كبيرة في المنطقة و ذلك عن طريق المقارنة بين هذا الحوض من دون تقسيمه ثم مع نفس الحوض و لكن بتقسيمه الى أجزاء هيدرولوجية مناسبة (على التسلسل، على التفرع، او الى وحدات هيدرولوجية) .

الكلمات المفتاحية: التقسيم، النموذج الهيدرولوجي، التدفق، HEC-HMS .

Résumé

Le modèle pluie-débit, HEC-HMS, utilise la subdivision pour simuler le comportement du ruissellement des bassins versants complexes présentant des physiographies ou des conditions de stockage hétérogène ou stockage. Dans ce contexte, On a évalué l'effet de la subdivision sur le débit de pointe. L'approche retenue vise à comparer systématiquement le bassin versant non subdivisé avec un modèle à deux sous-bassins afin de déterminer les facteurs les plus sensibles. La sensibilité des débits de pointe est évaluée par rapport à la subdivision hydrologique, la subdivision en série avec une surface totale variable et la subdivision parallèle avec variation proportionnelle de la surface. Les résultats obtenus montrent que la subdivision a une influence directe sur le débit de pointe et que la configuration (découpage) qui doit être retenue dépend des caractéristiques morphologiques du bassin versant.

Les mots-clés: subdivision, modèle pluie-débit, débit de pointe, HEC-HMS.

Abstract

Watershed subdivision into sub watershed make the understanding of the hydrological behavior easier as it is important to represent the process of runoff modeling. This subdivision has with no doubt effect on the peak discharge .Therefore, several models which transform rainfall into runoff have been developed in order to simulate the hydrographs .

In that respect, this study is elaborated through hydrologic modeling system HEC-HMS applied on watershed of Wadi Reghaia which represents the principal river in the area in .The main objective is to compare unsub-divided watershed with subdivided one (in term of hydrologic subdivision ,series subdivision and parallel subdivision) .

Key words: subdivision, hydrologic modeling, peak discharge, HEC-HMS.

TABLE DES MATIERES

Introduction générale

Chapitre I: Modalisation hydrologique de la relation pluie-débit à Travers HEC-HMS

Introduction	2
I.1 Définition d'un modèle.....	2
I.2 Le modèle hydrologique Pluie-Débit.....	2
I.2.1 Fonction de production	3
I.2.2 Fonction de transfert	4
I.3 Présentation de HEC_HMS :	4
I.4 Principe de fonctionnement du HEC-HMS	5
I.5 Modélisation des précipitations :	6
I.5.1 Méthodes basées sur les évènements pluvieux mesuré sur le terrain	6
I.5.2 Méthodes basées sur les évènements pluvieux hypothétiques.....	6
I.6 Calcul des volumes de ruissellements (Modèle de fonction de production).....	7
I.6.1 Le modèle de pertes initiales et à taux constant.....	7
I.6.2 Le modèle du Curve Number (SCS-CN)	8
I.6.3 Le modèle de Green & Ampt.....	10
I.6.4 Limites d'application des modèles de ruissellement utilisés avec le HEC-HMS	11
I.7 Modélisation du ruissellement direct (modèle de fonction de transfert)	13
I.7.1 Les modèles de l'hydrogramme unitaire (HU)	13
I.7.1.1 Hydrogramme unitaire spécifié par l'utilisateur	14
I.7.1.2 Hydrogramme unitaire paramétrique et synthétique(HUS)	14
I.7.2.1 Le modèle de SNYDER.....	14
I.7.2.2 Le modèle du SCS (Soil Conservation Service)	14
I.7.2.3 Le modèle de CLARK (et ModCLARK):	15
I.7.3 Modèle de l'onde cinématique	15
I.8 Modélisation des écoulements fluviaux avec HEC-HMS	17
I.8.1 Modèle de Puls (modified puls).....	18
II.8.2 Modèle de Muskingum.....	18
I.8.3 Le modèle du décalage (lag model)	19

I.8.4 Le modèle de l'onde cinématique (Kinematic-wave).....	19
I.8.5 Le modèle Muskingum-Cunge	19
I.9 Le calage des modèles	19
Conclusion.....	22

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.

Introduction :	24
I.1. Localisation de la zone d'étude	24
I.2. Situation Climatique	25
I.2.1. Températures	25
I.2.4. La pluviométrie	26
I.3. Contexte Géologique	26
I.4. Occupation des sols	28
I.5. Etude hydromorphologique du bassin versant	28
I.5.1. Caractéristique hydromorphométriques du bassin de Réghaia	29
I.5.1.1. Caractéristiques du bassin versant	29
I.5.1.2. Forme	29
I.5.1.3. Relief	31
I.5.1.4. Réseau hydrographique	34
Conclusion	35

Chapitre III : Estimation des hydrogrammes des crues

Introduction	37
III.1. Le Choix des modèles Utilisées	37
III.1.1. Infiltrations	37
III.1.1.2. Application de la méthode de SCS-CN:.....	37
III.1.2. Ruissellement.....	37
III.2. Bassin versant de Réghaia sans Subdivision :.....	38
III.2.1. Calcul du temps de concentration:.....	38
III.2.2. Calcul de temps de parcours :.....	38
III.2.3. Détermination du Curve Number <i>CN</i>	39
III.2.4. Détermination de pourcentage de surfaces imperméables :	39
III.2.5. Présentation du bassin sur HEC-HMS	41

III.2.6.Résultats et simulation de l'hydrogramme de crue pour le bassin sans subdivision.....	42
III.2.6.1.simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Synthétique pour le bassin sans subdivision	42
III.2.6.2.simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Réelles pour le bassin sans subdivision	46
III.3.Bassin versant de Réghaia avec Subdivision hydrologique	48
III.3.1.Résultats et simulation de l'hydrogramme de crue pour le bassin avec subdivision hydrologique	51
III.3.1.1.simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Synthétique pour le bassin avec subdivision hydrologique.....	51
III.3.1.2.simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Réelles pour le bassin avec subdivision	55
III.4.Bassin versant de Réghaia avec Subdivision en séries	56
III.4.1.Résultats et simulation de l'hydrogramme de crue pour le bassin avec subdivision en série.....	60
III.4.1.1.simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Synthétique pour le bassin avec subdivision en série	60
III.4.1.2.simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Réelles pour le bassin avec subdivision en série	63
III.5.Bassin versant de Réghaia avec Subdivision en parallèle	65
III.5.1.Résultats et simulation de l'hydrogramme de crue pour le bassin avec subdivision en Parallèles.....	69
III.5.1.1.simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Synthétique pour le bassin avec subdivision en Parallèles.....	69
III.4.1.1.simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Réelles pour le bassin avec subdivision en Parallèles.....	74
Conclusion.....	75
 Chapitre IV: Estimation de l'effet de la subdivision des sous-bassins sur le débit de pointe	
IV.1.Exploitation des résultats	77
IV.2.Effet de la subdivision hydrologique	77
IV.3.Effet de la subdivision en série	79
IV.4.Effet de la subdivision en Parallèles	80
Conclusion générale	

Annexe

Référence bibliographique

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. 1: Le taux de pertes constant pour les différents types du sol. (Skaggs & Khaleel, 1982).....	9
Tableau I. 2: Estimation des différentes classes de la texture du sol. (Hydrologic Engineering Center, 2000).....	12
Tableau I. 3: Les avantages et les inconvénients des modèles de pertes incluent dans le modèle HEC-HMS.(MESSAK, s. d.)	12
Tableau I. 4: Diverses informations à connaître pour chaque élément du bassin. (Hydrologic Engineering Center, 2000)	18
Tableau I. 5: Valeurs minimales et maximales des différents modèles incluent dans le modèle HEC HMS. (Hydrologic Engineering Center, 2000)	22
Tableau II. 1: Températures moyennes mensuelles – (Période : 2012-2013)	25
Tableau II. 2: Précipitations mensuelles en mm (période : 2012-2013).....	26
Tableau II. 3: Surfaces partielles du bassin versant par tranche d’altitudes.....	32
Tableau II. 4: Calcul de la hauteur moyenne.....	33
Tableau II. 5 : Calcul la pente de Roche.	34
Tableau II. 6: Récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques du bassin d’oued Réghaia.....	35
Tableau III. 1: Calcul du temps de concentration et de parcours de bassin versant de Réghaia.	39
Tableau III. 2: détermination du CN de BV_ Réghaia	40
Tableau III. 3: Curve number et pourcentages de surfaces imperméabilisées.	40
Tableau III. 4: Les quantiles de différents durées	43
Tableau III. 5: Résultats globaux de débits pour un bassin non subdivisé.....	43
Tableau III. 6: la lame d'eau enregistré... ..	46
Tableau III. 7: Résultats de débits pour un bassin non subdivisé (pluie réel).	46
Tableau III. 8: Calcul du temps de concentration et de parcours des sous bassins	48
Tableau III. 9: Exemple de détermination du CN-SB-Réghaia_Aval.....	49
Tableau III. 10 : Curve number et pourcentages de surfaces imperméabilisées des sous bassins.	49
Tableau III. 11: Résultats globaux de débits des sous bassins	51
Tableau III. 12: Résultats de débits pour un bassin subdivisé hydrologiquement(pluie réel).....	55
Tableau III. 13: Calcul du temps de concentration des sous bassin en séries.	57
Tableau III. 14: détermination du CN de SBS1.....	58
Tableau III. 14: détermination du CN de SBS2.....	58
Tableau III. 16: Curve number et pourcentages de surfaces imperméabilisées des sous-bassin en série	59
Tableau III. 17: Résultats globaux de débits des sous bassins en série.....	60
Tableau III. 18: Résultats globaux de débits des sous bassins en série(pluie réel).....	63
Tableau III. 19: Calcul du temps de concentration et de parcours pour un bassin subdivisés en Parallèles	65
Tableau III. 20: Exemple de la détermination du CN de SBP1	66
Tableau III. 21: Curve number et pourcentages de surfaces imperméabilisées pour des sousbassin subdivisées en Parallèles	66

Tableau III. 22: Résultats globaux de débits pour une subdivision en parallèle 69

Tableau III. 23:Résultats globaux de débits des sous bassins en Parallèles (Pluie réel)74

Tableau IV. 1:comparaison de débit de pointe au niveau d'exutoire (subdivision hydrologique)
..... .78

Tableau IV. 2:comparaison de débit de point au niveau d'exutoire (subdivision en série) 80

Tableau IV. 3:comparaison de débit de point au niveau d'exutoire (subdivision en parallèle) ... 81

LISTE DES FIGURES

Figure I. 1: Décomposition d'un modèle pluie-débit.....	3
Figure I. 2: Les différentes approches de la modélisation.	5
Figure I. 3: Répartition de la précipitation au cours de l'évènement (Hydrologic Engineering Center, 2000).....	7
Figure I. 4: Définition des caractéristiques de l'HU	13
Figure I. 5: l'hydrogramme unitaire de SCS (Hydrologic Engineering Center, 2000)	15
Figure I. 6: Modélisation d'un modèle de bassin pour le modèle d'onde cinématique (Hydrologic Engineering Center, 2000)	16
Figure I. 7: Exemple de modèle Lag. (Hydrologic Engineering Center, 2000).....	19
Figure II. 1: Situation de la région de zone d'étude (Réghaia)	24
Figure II. 1: Situation de la région de zone d'étude (Réghaia)	24
Figure II. 2: Image satellitaire de la zone d'étude (délimitation de bassin versant) - Commune Réghaia (2019)	25
Figure II. 3: Extrait de la carte géologique d'Alger	27
Figure II. 4: Délimitation et réseau hydrographique des bassins versant	29
Figure II. 5: Répartition et courbe hypsométrique (Reghaia).	32
.....	
Figure III. 1: Bassin versant de Réghaia sans subdivision	38
Figure III. 2: estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin non-subdivisée (Google Earth, 2018).	41
Figure III. 3: Représentation du schéma d'écoulement sur HEC-HMS pour un bassin non-subdivisées.	42
Figure III. 4: Hydrogramme de bassin versant Réghaia 24H-10ans.	43
Figure III. 5: Hydrogramme de bassin versant Réghaia 24H-50ans.	44
Figure III. 6 : Hydrogramme de bassin versant Réghaia 6H-100ans.	44
Figure III. 7: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia 24H-10ans.	45
Figure III. 8: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia 24H-50ans.....	45
Figure III. 9: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia 6H-100ans.....	46
Figure III. 10: Hydrogramme d'une averse réelle de bassin versant Réghaia	47
Figure III. 11: Hydrogramme d'une averse réelle de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia	47
Figure III. 12: Division en sous bassin.....	48
Figure III. 13: estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin subdivisée hydrologiquement (Google Earth, 2018).	50
Figure III. 14: Représentation du schéma d'écoulement sur HEC-HMS pour un bassin subdivisées en sous-bassin.	50
Figure III. 15: Hydrogramme de sous-bassin Réghaia-Aval 24H-10ans.	52
Figure III. 16: Hydrogramme de sous-bassin Réghaia-Aval 24H-50ans.	52
Figure III. 17: Hydrogramme de sous-bassin Réghaia-Aval 6H-100ans	53
Figure III. 18: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisée hydrologiquement 24H-10ans.	53
Figure III. 19: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisée hydrologiquement 24H-50ans.	54

Figure III. 20: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour bassin subdivisée hydrologiquement 6H-100ans.	54
Figure III. 21: Hydrogramme d'une averse réelle de sous-bassin Réghaia-Aval	55
Figure III. 22: Hydrogramme d'une averse réelle de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour bassin subdivisé hydrologiquement	56
Figure III. 23: subdivision en série et en parallèle	56
Figure III. 24: Division de bassin versant en series.....	57
Figure III. 25: Estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin subdivisée en serie (Google Earth, 2018).	59
Figure III. 26: Représentation du schéma d'écoulement sur HEC-HMS pour un bassin subdivisées en série	59
Figure III. 27: Hydrogramme de sous-bassin SBS2-24H-10ans.	60
Figure III. 28: Hydrogramme de sous-bassin SBS2-24H-50ans.	61
Figure III. 29: Hydrogramme de sous-bassin SBS2-6H-100ans.	61
Figure III. 30: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en série 24H-10ans.	62
Figure III. 31: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en série 24H-50ans.	62
Figure III. 32: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en série 6H-100ans.	63
Figure III. 33: Hydrogramme d'une averse réelle de sous-bassin SBS2.	64
Figure III. 34: Hydrogramme d'une averse réelle de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en série.....	64
Figure III. 35: Division de bassin versant en parallèle.....	65
Figure III. 36: estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin subdivisée en parallèle (SBP1-SBP2)(Google Earth,2018).....	67
Figure III. 37: estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin subdivisée en parallèle(SBP3-SBP4)(Google Earth,2018).....	67
Figure III. 38: estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin subdivisée en parallèle(SBP5-SBP6)(Google Earth,2018).....	68
Figure III. 39: estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin subdivisée en parallèle (SBP7-SBP8)(Google Earth,2018).....	68
Figure III. 40: Représentation du schéma d'écoulement sur HEC-HMS pour un bassin subdivisées en parallèle	69
Figure III. 41: Hydrogramme de sous-bassin SBP2-24H-50ans.	70
Figure III. 42: Hydrogramme de sous-bassin SBP3-24H-50ans.	70
Figure III. 43: Hydrogramme de sous-bassin SBP6-24H-50	71
Figure III. 44: Hydrogramme de sous-bassin SBP8-24H-50ans.	71
Figure III. 45: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en Parallèles(SBP2) 24H-50ans.	72
Figure III. 46: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en parallèle (SBP3) 24H-50ans.	72
Figure III. 47: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en parallèle (SBP6) 24H-50ans.	73
Figure III. 48: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en Parallèles (SBP8) 24H-50ans.	73
Figure III. 49: Hydrogramme d'une averse réelle de sous-bassin SBS2.	74

Figure III. 50: Hydrogramme d'une averse réelle de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisé en Parallèles 75

Figure IV. 1: Comparaison entre un bassin non subdivisé et subdivisé hydrologiquement..... 78

Figure IV. 2: Comparaison entre un bassin non subdivisé et subdivisé en série..... 79

Figure IV. 3: Comparaison entre un bassin non subdivisé et subdivisé en parallèle..... 81

LISTE DES ABREVIATIONS

- ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- BV : Bassin versant
- CN : Curve number
- DRE : Direction de Ressource en Eau
- HU : Hydrogramme unitaire
- NE : Nord-Est
- NO : Nord-Ouest
- O.N.M : Office Nationale de météorologie
- SCS : Soil Conservation Service
- USDA : United States Department of Agriculture

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Parmi les disciplines de la science de l'hydrologie c'est la modélisation hydrologique. Ce concept apparaît vers les années cinquante (Nascimento, 1995). Elle étudie la simulation de la transformation de la pluie en débit à l'échelle du bassin versant. Il s'agit d'une représentation mathématique simplifiée de tout ou partie des processus du cycle hydrologique par un ensemble de concepts hydrologiques exprimés en langage mathématique et reliés entre eux dans des séquences temporelle et spatiale correspondant à celles que l'on observe dans la nature. Il existe aujourd'hui un très grand nombre de modèles, classés dans différentes catégories, à savoir : déterministe (par opposition à stochastique), conceptuel (par opposition à empirique), global (par opposition à distribué).

Le souci de la modélisation pluie-débit est de mettre à la disposition des ingénieurs un outil «simple» permettant l'estimation ou la prévision des débits pour une étude. Dans ce contexte, Il a été démontré par plusieurs chercheurs (J. Casey et al, 2015) que la subdivision de bassin versant provoque une augmentation de débit de pointe, et dans des cas spécifique une diminution de ce dernier, Le but de ce travail est d'utiliser le système de modalisation hydrologique HEC-HMS afin de faire la simulation des hydrogrammes et de prouver l'effet de la subdivision sur le débit de pointe.

Pour ce faire, nous allons appliquer les modèles existant dans le logiciel HEC-HMS sur le bassin versant d'Oued Réghaia (W .Alger). L'objectif est de faire une meilleure simulation afin de comparer un bassin versant non-subdivisé et le même bassin subdivisé soit hydrologiquement, soit une subdivision en série ou en Parallèles de bassin. Ainsi, ce travail de master en une évaluation de l'effet de la subdivision hydrologique des bassins versant sur les débits pointes aux exutoires.

Cette étude est structurée en quatre chapitres :

Le premier chapitre, nous présentons l'état de l'art de la modélisation pluie-débit à travers HEC-HMS.

Le second chapitre, donne une présentation du la zone d'étude choisit, ainsi qu'un aperçu géologique et morphologique sur le bassin versant.

Le troisième chapitre, sera consacré à l'estimation des hydrogrammes de crue au niveau de l'exutoire de bassin versant.

Enfin, le quatrième chapitre porte sur les conclusions tirées sur l'effet de la subdivision de bassin versant sur le débit de pointe.

CHAPITRE I

MODALISATION HYDROLOGIQUE DE LA RELATION PLUIE-DEBIT A TRAVERS HEC-HMS

Chapitre I : Modalisation hydrologique de la relation pluie-débit à travers HEC-HMS

Introduction

En hydrologie, Un modèle est la plupart du temps une représentation mathématique d'un bassin, d'un système d'eau, d'une série de donnée(Hubert, 1996), la modélisation hydrologique concerne généralement la relation pluie-débit, c'est à dire que les modèles utilisent la pluie comme variable d'entrée et calculent un hydro-gramme en sortie du bassin.

Le modèle hydrologique HEC-HMS permet de calculer des hydro-grammes de crues pour plusieurs objectifs à savoir la gestion des bassins versants notamment la Conception de système de drainage urbain et agricole, et d'évacuateur de crues de barrages, la prévision des conséquences des inondations et la régularisation des cours d'eau (étude des apports).

Le modèle hydrologique HEC-HMS est constitué de plusieurs Modèles qui se basent sur trois méthodes fondamentales : Des modèles pour le calcul des précipitations, volume de ruissellement, ruissellement direct et les écoulements fluviaux.

Avant de commencer notre étude, il est important de présenter HEC-HMS ainsi que les Modèles développés sous ce modèle.

I.1 Définition d'un modèle

Un modèle est une représentation schématique d'un phénomène physique, afin d'en avoir une meilleure compréhension ou d'analyser l'influence qu'il exerce. D'après *Payraudeau (2002)* le modèle hydrologique rend le système complexe plus simple(PAYRAUDEAU, 2002). « La représentation peut être physique, analogique ou mathématique »(Hennie, 2005). On peut le définir comme une maquette qui représente d'une manière convenable la réalité. Un modèle hydrologique permet la transformation d'une ou de plusieurs entrées météorologiques (pluie, évapotranspiration...) en sortie hydrométrique (débit, hauteur d'eau). C'est une reconstitution, plus ou moins proche de la réalité physique selon le niveau de complexité du modèle et les hypothèses retenues, des processus de genèse et de propagation des crues et des facteurs associés. il existe une très grande variété de modèles hydrologiques(Ambroise, 1999).

Des classifications des modèles, d'après plusieurs critères, ont été proposées dans la littérature (Ambroise, 1999)-(Kampf & Burges, 2007). Les modèles se distinguent selon leur degré d'abstraction, leur représentation du bassin, ou encore selon la représentation temporelle des phénomènes.

I.2 Le modèle hydrologique Pluie-Débit

Dans le cadre d'une description des processus selon le principe établi par Horton, la transformation de la pluie en hydrogramme de crue se traduit par l'application successive de deux fonctions, nommées respectivement **fonction de production** (ou fonction d'infiltration) et **fonction de transfert**. La fonction de production permet de déterminer le hyétogramme de pluie nette à partir de la pluie brute. La fonction de transfert permet quant à elle de déterminer l'hydrogramme de crue résultant de la pluie nette (la pluie nette est la fraction de pluie brute participant totalement à l'écoulement).(Musy, 2005)

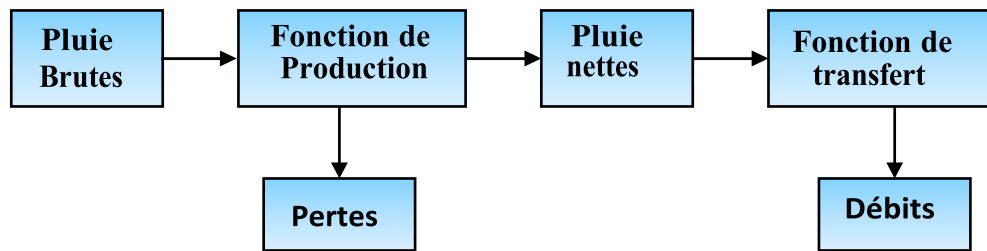


Figure I. 1: Décomposition d'un modèle pluie-débit.

I.2.1 Fonction de production

La fonction de production transforme la pluie brute observée PB en pluie nette PN, en enlevant les pertes (voir figure I.1). La pluie nette est la partie de la pluie brute qui arrive par ruissellement de surface à l'exutoire. Par déduction, les pertes W correspondent à l'infiltration dans les couches superficielles du sol bien sûr mais aussi à l'interception par la végétation, au stockage dans les flaques, à la percolation vers les nappes profondes, à la reprise par évaporation . . . (Ribstein, 1992)

I.2.2 Fonction de transfert

Une fonction de production qui prend en compte toute la non-linéarité du processus pluie-débit et une fonction de transfert qui calcule les débits en considérant le système comme linéaire et invariant (figure I.1). Avec ces définitions, l'identification du modèle de transfert se réduit à la résolution de l'intégrale suivante :

$$Q_t = \int_0^{\infty} h(r)PN(t-r)dr \dots\dots\dots(I.1)$$

I.3 Présentation de HEC_HMS :

HEC-HMS (Système de modélisation hydrologique) est un logiciel de simulation des processus hydrologique des bassins versant développée par *Hydrologic Engineering Center (HEC)* du *US army corps of Engineers*.

Le logiciel a été mise en place en 1992 en remplacement le logiciel HEC-1. HEC-HMS a les mêmes capacités de simulation que le HEC-1, mais avec l'ajout de plusieurs nouvelles fonctionnalités. (Hydrologic Engineering Center, 2000)

Le programme est destiné de simuler les eaux de ruissellement des bassins versant dendritique et d'établir les hydro grammes de crue.

Il nous permet pour chaque processus de choisir parmi plusieurs choix de modèles mathématiques (formules empiriques), le modèle qui convient plus avec les différents environnements et conditions ce qui nécessite la bonne connaissance de bassin versant et son hydrologie.

HEC HMS est utilisé pour :

- ✓ L'étude d'inondation par l'estimation des hydro-grammes de crues du réseau hydrographique de chaque sous bassin;
- ✓ La régularisation des cours d'eau (étude des apports);
- ✓ Gérer les bassins versants;
- ✓ La Conception de système de drainage (assainissement) urbain et agricole, et d'évacuateur de crues de barrages;
- ✓ La Recherche, évaluation des débits;
- ✓ L'impact de l'urbanisation sur les écoulements dans les cours d'eau;
- ✓ Le Suivi en temps réel de l'évolution des crues (inondations).

I.4 Principe de fonctionnement du HEC-HMS

Pour simuler le comportement hydrologique d'un Bassin Versant, le logiciel HEC-HMS prend en compte les différents paramètres suivants:

- **les précipitations:** ou ces données sont fournis à partir des pluviomètres (des relevés réels) ou à partir des évènements pluvieux théoriques basés sur une étude statistique.(Soubelet & Fauzan, 2000)
- **les pertes** (par infiltration, évapotranspiration).
- **les ruissellements directs** :qui prend en considération les écoulements de surface.(Soubelet & Fauzan, 2000)
- **l'hydrologie fluviale** : c'est à dire le comportement de l'eau lorsqu'elle se trouve dans le lit de la rivière.(Soubelet & Fauzan, 2000)

« Ces paramètres sont ensuite modélisés mathématiquement par des équations qui permettent d'obtenir la réponse du système hydrogéologique».(Soubelet & Fauzan, 2000)

Les différents modèles utilisés peuvent être classés selon la (figure I.2) suivant:

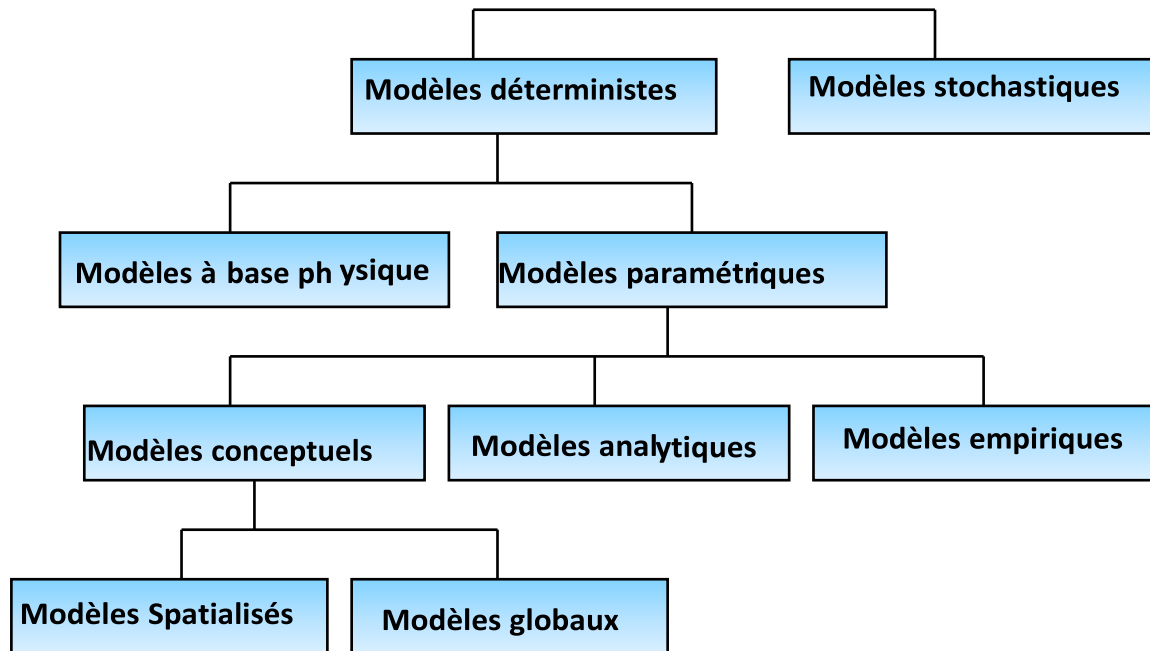


Figure I. 2: Les différentes approches de la modélisation.

En fait, un modèle est composé des éléments qui suivent :

- Les variables d'état : qui décrit l'état hydrologique dans les équations de logiciel;
- Les paramètres : C'est les mesures numériques du système réel (elles peuvent avoir une signification physique ou non);
- Les conditions aux limites;
- Les conditions initiales.

I.5 Modélisation des précipitations :

Les précipitations est l'un des paramètres essentiels dans la modalisation hydrologique d'un bassin versant, Le modèle HEC-HMS fournit trois types de données de précipitations qui sont :

- des relevés pluviométriques d'un évènement réel;
- des hauteurs d'eau théoriques obtenues à partir d'une étude fréquentielle;
- des données relatives à un évènement extrême (pluie de projet). (Soubelet & Fauzan, 2000)

I.5.1 Méthodes basées sur les évènements pluvieux mesuré sur le terrain

Les données sont obtenu a partir des pluviomètres situés sur le bassin versant .(Soubelet & Fauzan, 2000) On calcule la moyenne surfacique des précipitations (P_{moy}) à partir de ces relevés :(Soubelet & Fauzan, 2000)

$$P_{moy} = \frac{\sum_i(w_i \sum_T P_i(t))}{\sum_i w_i} \dots\dots\dots (I.2)$$

Où:

w_i : Le coefficient de pondération ;

$P_i(t)$: La hauteur des précipitations.

Il faut ensuite donner la répartition temporelle de ces précipitations à partir de la répartition typique de l'évènement pluvieux $P_{typ}(t)$ (Soubelet & Fauzan, 2000):

$$P_{moy}(t) = \left[\frac{P_{typ}(t)}{\sum_t P_{typ}(t)} \right] P_{moy} \quad \text{Ou} \quad P_{typ}(t) = \left[\frac{\sum_j P_j(t).w_j}{\sum_t w_j} \right] \dots\dots\dots (I.3)$$

Avec,

w_j : coefficients de pondération affectés au pluviomètre j

Cette méthode comprend deux étapes (calcul de P_{moy} puis répartition temporelle) est la réalisation directe d'hyétographe et cela à partir de la méthode :l'inverse du carré des distances .(Soubelet & Fauzan, 2000).

I.5.2 Méthodes basées sur les évènements pluvieux hypothétiques

Ces des évènements qui n'ont pas issue de relevé réel .

Il existe trois catégories d'évènements pluvieux standards :

- Pluie hypothétique fondée sur la fréquence ;
- Pluie de projet standard ; Elle utilise des paramètres qui sont connu dans le territoire américain seulement.
- Pluie hypothétique dont la distribution est définie par l'utilisateur .(Henine, 2005) comme le montre la figure suivante :

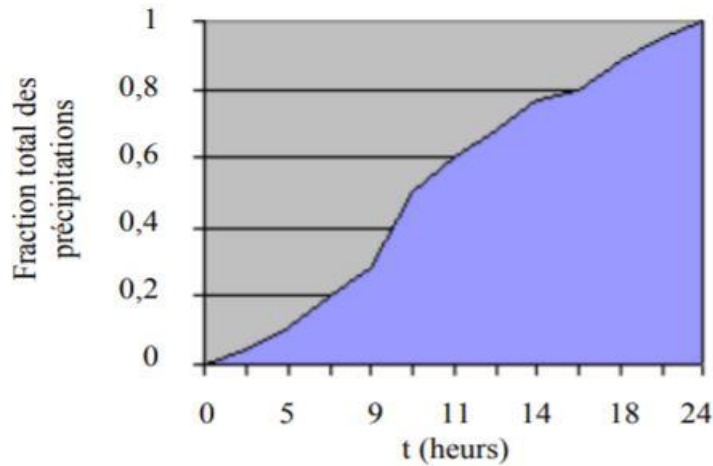


Figure I. 3: Répartition de la précipitation au cours de l'évènement (Hydrologic Engineering Center, 2000)

I.6 Calcul des volumes de ruissellements (Modèle de fonction de production)

Le volume de ruissellements se calcule par le logiciel en éliminant aux précipitations les volumes d'eau qui sont stockées, infiltrées ou évaporées.

En outre, on distingue deux types de surface dans un bassin versant :

- les surfaces imperméables où l'écoulement se fait direct sans pertes ;
- les surfaces perméables soumises à des pertes qu'on peut les décrire par les différents modèles qui suivent :
 - ✓ Le modèle de perte initiale (et déficit) à taux constant ;
 - ✓ Le modèle fondé sur le Curve Number (CN) ;
 - ✓ Le modèle de Green et Ampt.

I.6.1 Le modèle de pertes initiales et à taux constant

On considère ces deux hypothèses :

- (f_c) est constant ;
- L'existence de perte initiale (I_a) .(Henine, 2005) Tant que la n'est pas atteint il n'y a pas de ruissellement.(Henine, 2005)

Le fonctionnement se fait par les expressions suivantes :

$$\text{Si } \sum_i p_i \leq I_a \text{ alors } p_{et} = 0$$

$$\text{Si } \sum_i p_i \geq I_a \text{ et } p_{et} \geq f_c \text{ alors } p_{et} = p_t - f_c \dots\dots\dots(I.5)$$

$$\text{Si } \sum_i p_i \geq I_a \text{ et } p_{et} \leq f_c \text{ alors } p_{et} = 0$$

Tel que ; Pt : La moyenne des précipitations ;

Pet : le ruissellement au temps t.

La difficulté de ces méthodes se présente dans:

Ces méthodes sont difficiles à appliquées à cause de :

- la détermination des pertes initiales.(Soubelet & Fauzan, 2000)
- le taux de perte constant qui est exprimé en mm/est donné par le tableau I.1 :

Tableau I. 1: Le taux de pertes constant pour les différents types du sol. (Skaggs & Khaleel, 1982)

<i>Groupes</i>	<i>Type de sol</i>	<i>Ordre de grandeur du taux de perte (cm/h)</i>
A	Sable profond, lœss profond, limons agrégés	0.75 à 1.1
B	Lœss peu profond, terre sableuse	0.35 à 0.75
C	Terre argileuse, terre sableuse peu profonde, sols à faible teneur en matière organique, sols argileux	0.12 à 0.35
D	Sols gonflant fortement sous l'effet de l'eau, argiles plastiques lourdes, sols salins.	0 à 0.12

Remarque : 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 "Déficit". (Soubelet & Fauzan, 2000)

I.6.2 Le modèle du Curve Number (SCS-CN)

Le modèle SCS-CN a été proposé aux États-Unis en 1954 par le Soil Conservation Service (SCS), Après plus de 20 années d'études théoriques et expérimentales. Ce modèle fut développé par trois consultants privés, Horner, Horton et Sherman.(Boukhelifa, 2011)

Le concept essentiel du modèle est de résumer les propriétés hydrodynamiques de la couverture du sol à l'aide de courbes auxquelles sont attribués des numéros selon le sol. Ces courbes sont dites courbes numérotées (CN) (Curve Number). Le CN est aussi décrit comme étant un coefficient d'aptitude au ruissellement (Gaume, 2002).(Boukhelifa, 2011)

Ce modèle a été initialement développé pour relier le cumul de pluie et le volume écoulé à l'échelle d'une parcelle et d'un événement pluvieux. Il est utilisé ici pour représenter l'évolution du coefficient d'écoulement ou des surfaces contributives à l'échelle d'un bassin versant, au cours d'un événement pluvieux. Il a été retenu pour sa simplicité.(Gaume, 2007)

Ce modèle estime le ruissellement comme une fonction des précipitations cumulées, L'équation principale de SCS est donnée par :

$$Q = \frac{(p-I_a)^2}{(p-I_a)+s} \dots\dots\dots(I.6)$$

Où,

- Q: Ruissellement cumulé (mm) ;
- P : précipitation cumulée (mm);
- I_a : Les pertes initiales (mm) ;
- S : perte maximale potentielle (mm).

I_a qui représente les pertes de l'évaporation et l'infiltration, l'interception de végétation ..., est donnée à la suite de nombreuses études expérimentales par la relation empirique suivante :

$$I_a = 0.2S \dots\dots\dots(I.7)$$

On trouve donc:

$$p_e = \frac{(p-0.2S)^2}{p+0.8S} \dots\dots\dots(I.8)$$

Tel que, S représente la rétention maximale potentielle, Elle caractérise les conditions de couverture du sol. La relation entre S et CN (Curve Number) est donnée par l'équation suivante :

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \dots\dots\dots(I.9)$$

Les valeurs de CN sont estimées en fonction des conditions hydriques antécédente et le couvert végétal du bassin versant, ce nombre est estimé dans les tableaux des données en **annexe I** du manuel de référence technique HEC-HMS, ou le CN est exprimé en fonction de quatre groupe (sol de type A, de type B, de type C, de type D).

Le bassin versant qui se compose de type et couvertures végétales différents, on établit un CN moyen donné par la relation suivante :

$$CN_{moy} = \frac{\sum_i a_{ij} CN_i}{\sum A_i} \dots\dots\dots(I.10)$$

Où,

a_{ij} : la surface de la subdivision ;

A_i : la surface du sous bassin.

I.6.3 Le modèle de Green & Ampt

Ce modèle se base sur la méthode d’infiltration de Green et Ampt , fondé sur le principe de conservation de la masse et de la loi de Darcy généralisée, l’équation qui représente les pertes est donnée par la formule suivante :

$$f_t = K \left[\frac{1 + (\phi - \theta_i) S_f}{F_t} \right] \dots\dots\dots(I.11)$$

Où,

K : Conductivité hydraulique, ou ces valeurs en fonctions de texture du sol sont donnée par le tableau I.2 ;

φ: la porosité ;

θ_i: la quantité initiale d’eau contenue dans le sol.

S_f : l’aspiration avant mouillage ;

F_t : les pertes cumulées.

Tableau I. 2: Estimation des différentes classes de la texture du sol. (Hydrologic Engineering Center, 2000)

<i>Texture</i>	<i>Porosité</i>	<i>Conductivité hydraulique</i>	<i>Aspersion avant mouillage</i>
Sable	0.437	21.00	10.6
Sable glaiseux	0.437	6.11	14.2
Terre sableuse	0.453	2.59	22.2
Terre	0.463	1.32	31.5
Terre-Limons	0.501	0.68	40.4
Terre Argileuse sableuse	0.398	0.43	44.9
Terre argileuse	0.464	0.23	44.6
Terre-Argile-limons	0.471	0.15	58.1
Argile sableuse	0.430	0.12	63.6
Argile-limons	0.479	0.09	64.7
Limons	0.475	0.06	71.4

I.6.4 Limites d'application des modèles de ruissellement utilisés avec le HEC-HMS

Lors l'utilisation de logiciel HEC-HMS, il faut tout d'abord faire le bon choix de modèle et estimer ces différents paramètres,

Le tableau qui suit représente les différents avantages et inconvénients des modèles de ruissellement.

Tableau I. 3: Les avantages et les inconvénients des modèles de pertes incluent dans le modèle HEC-HMS. (MESSAK, s. d.)

<i>MODELE</i>	<i>AVANTAGES</i>	<i>INCONVENIENTS</i>
Modèle de pertes initiales et à taux constant et le modèle déficitaire à taux constant	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Le succès de ces modèles aux Etats Unis. ✓ Les modèles contiennent quelques paramètres nécessaires qui expliquent la variation du volume de l'écoulement. ✓ Le modèle à déficit est utilisé aussi pour les simulations à long terme. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Son application est difficile pour les bassins non jaugés ✓ Le modèle paraît très simplifié pour prévoir les pertes au cours de l'événement, même s'il prévoit bien les pertes totales
La méthode de Curve Number (CN)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La simplicité de la méthode . ✓ Compte seulement sur un paramètre, qui change en fonction du type de sol, de l'occupation et l'utilisation de la terre, les conditions en surface, et l'état antécédent d'humidité. ✓ Méthode largement admise aux USA et à l'étranger. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La méthode ne tient pas compte de la théorie des écoulements non saturés. ✓ Le taux d'infiltration approchera zéro pour une précipitation à longue durée, plutôt que constante. ✓ Ce modèle a été développé avec des données de petits bassins versants agricoles aux Etats Unis, donc son applicabilité ailleurs est incertaine.
La méthode de Green & Ampt	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Les différents paramètres peuvent être estimés à partir des informations sur le sol, pour des bassins versants non jaugés. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Il est moins efficace par rapport aux modèles empiriques.

I.7 Modélisation du ruissellement direct (modèle de fonction de transfert)

Dans la partie de ruissellement direct, on va déterminer les hydrogrammes résultant de la pluie nette. Le logiciel simule ce processus comme transformation de précipitations excédentaires.

I.7.1 Les modèles de l'hydrogramme unitaire (HU)

L'hydrogramme unitaire (HU) d'un bassin versant est l'hydrogramme de ruissellement direct résultant d'une pluie nette, uniforme et constante, d'une durée de référence (D), suffisamment longue pour générer un écoulement sur l'ensemble de bassin (Musy, 1998). Les différentes caractéristiques de l'HU sont représentées par la figure suivante :

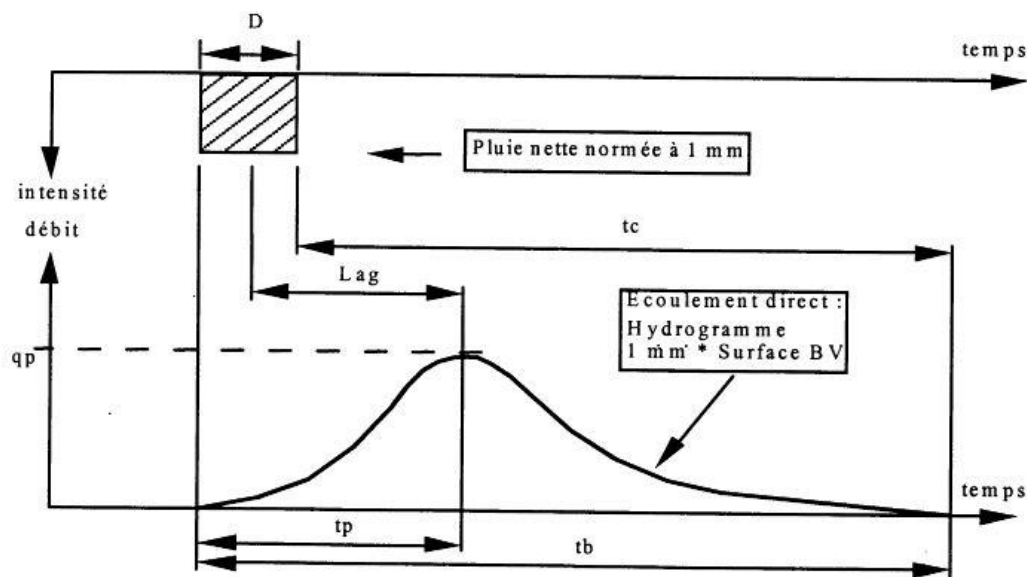


Figure I. 4: Définition des caractéristiques de l'HU

Cette méthode a été proposée par Sherman en 1932, Elle nous permet de déterminer les hydrogrammes de crue lorsque seules les données de précipitations sont connues (Musy, 1998).

« L'hydrogramme unitaire donne le débit de ruissellement par unité de hauteur d'eau tombée sur le bassin versant ». (Henine, 2005)

On donne donc l'équation de convolution suivante :

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq m} P_m U_{n-m+1} \dots \dots \dots (I.12)$$

Où,

- Q_n : le débit de ruissellement ;
- P_m : représente l'excès de précipitation ;
- U_{n-m+1} : la valeur de l'hydrogramme.

Les différents modèles de HU sont :

I.7.1.1 Hydrogramme unitaire spécifié par l'utilisateur

Ce modèle exige la détermination de l'HU à partir des données de précipitations complètes, ce qui rend son utilisation dans la pratique négligeable. De plus, l'hydrogramme obtenu est applicable seulement lorsqu'il s'agit des événements pluvieux qui ont la même durée. Dans cette méthode, l'HU est déterminé à partir de la formule précédente.

I.7.1.2 Hydrogramme unitaire paramétrique et synthétique(HUS)

Le Soil Conservation Service (SCS) a effectué la synthèse d'un grand nombre de HU identifiés sur des bassins versants de taille et de régions différents aux États-Unis. (Musy, 1998)

Un hydrogramme unitaire paramétrique est obtenu à partir de plusieurs paramètres (l'amplitude et l'instant du pic). (Henine, 2005) Un hydrogramme unitaire synthétique met en relation les paramètres d'un hydrogramme unitaire paramétrique et les caractéristiques du bassin versant. (Soubelet & Fauzan, 2000)

Il existe 4 modèles d'HU synthétiques dans le logiciel HEC-HMS:

I.7.2.1 Le modèle de SNYDER

Snyder (1938) a estimé l'hydrogramme unitaire à partir des caractéristiques de bassin versant. Ce modèle est basé sur 3 paramètres qui sont : le pic de l'hydrographe, l'amplitude de pic et le décalage entre le maximum du hydrographe d'excès de pluie. En outre, il est fondé aussi sur le décalage temporel (T_p), qui est estimé :

$$T_p = 5.5T_c \dots\dots\dots (I.13)$$

Où :

T_c : est la durée de l'évènement.

I.7.2.2 Le modèle du SCS (Soil Conservation Service)

Ce modèle repose sur l'hydrogramme unitaire normalisé, c'est-à-dire, la moyenne de nombreux hydrogrammes unitaires calculés pour différents bassins versants, donné dans la figure suivante :

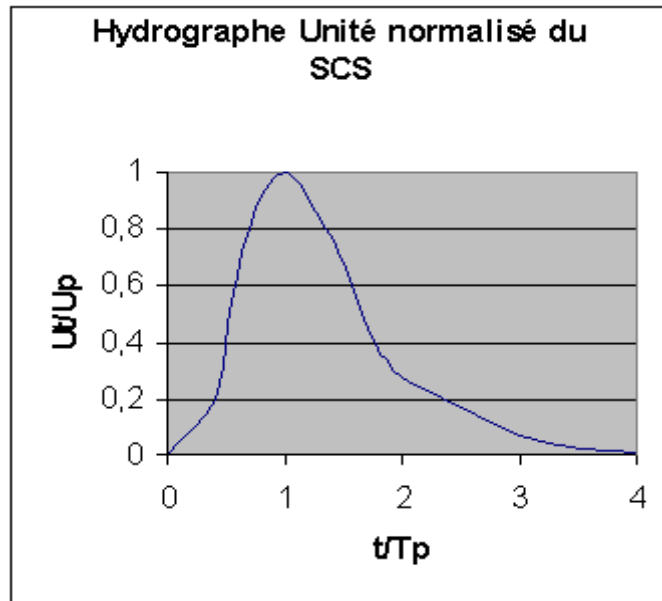


Figure I. 5: l'hydrogramme unitaire de SCS (Hydrologic Engineering Center, 2000)

L'instant du pic T_p et le débit maximal U_p sont représentés par les formules empiriques suivantes :

$$U_p = 2.08 \frac{A_d}{T_p} \quad \text{et} \quad T_p = \frac{\Delta t}{2} + 0.6 T_c \dots\dots\dots(I.14)$$

Tel que,

Δt : La durée de l'excès de précipitation ;

T_c : le temps de concentration du bassin.

I.7.2.3 Le modèle de CLARK (et ModCLARK)

C'est un modèle qui comprend 2 processus : le mouvement de l'eau et l'atténuation de cette quantité d'eau. (Henine, 2005)

I.7.3 Modèle de l'onde cinématique

C'est un modèle conceptuel qui représente les versants du bassin comme des canaux à surface libre dont le débit entrant correspond à l'excès de précipitations.(Soubelet & Fauzan, 2000).

L'équation de mouvement et celle de continuité donnent :

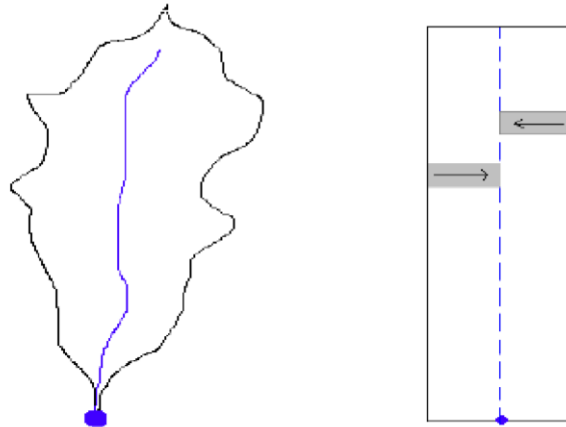


Figure I. 6: Modélisation d'un modèle de bassin pour le modèle d'onde cinématique (Hydrologic Engineering Center, 2000)

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \alpha^{m-1} \frac{\partial A_T}{\partial x} = q ; \quad \text{Avec,} \quad \alpha = 1.486 \frac{S^{0.5}}{N} \text{ et } m = \frac{5}{3} N \dots\dots\dots(I.15)$$

Où,

A_T : La section transverse ;

S : est la pente ;

N : est un coefficient de rugosité tabulé ;

q : est le débit d'apport latéral par unité de longueur du canal.

Ce tableau ci-dessous représente les diverses informations pour chaque élément de bassin versant :

Tableau I. 4: Diverses informations à connaître pour chaque élément du bassin.
(Hydrologic Engineering Center, 2000)

<i>Plans de ruissellement de surface</i>	<i>Collecteurs</i>	<i>Cours d'eau principal</i>
Longueur, Pente, Coefficient de rugosité, Aire représentée par le plan, Paramètres de pertes.	Aire drainée par le canal, Longueur caractéristique, Pente du canal, Forme de la section, Dimensions représentatives de la section, Coefficient de Manning.	Longueur du canal, Pente du canal, Forme de la section, Dimensions représentatives de la section, Coefficient de Manning.

I.8 Modélisation des écoulements fluviaux avec HEC-HMS

A partir de l'hydrogramme amont, le logiciel utilise ces modèles d'écoulements fluviaux pour déterminer l'hydrogramme en aval de bassin versant .ces modèles sont fondés sur des équations de continuité et de quantité de mouvement suivante :

Equation de continuité

Elle est donnée sous la forme suivante : (Henderson, 1966)

$$A \frac{\partial v}{\partial x} + VB \frac{\partial y}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = q \dots\dots\dots(I.16)$$

Tel que,

A : L'aire de la section du cours d'eau ;

B : Largeur de la surface libre ;

q : Le débit unitaire;

I.8.1 Modèle de Puls (modified puls)

Il est fondé sur les différences finies de l'équation de continui tout en considérant qu'il n'y a pas d'apports latéraux. (Soubelet & Fauzan, 2000)

L'équation de continuité devient alors :

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots(I.17)$$

On utilise alors la méthode des différences finies en écrivant que :

$$I_t - O_t = \frac{\Delta S_t}{\Delta t} \dots\dots\dots(I.18)$$

Où

I_t et O_t : sont les débits moyens respectivement amont et aval pendant une période Δt ;
 ΔS_t : étant la variation du stock d'eau durant le même pas de temps.

On obtient alors l'équation suivante :

$$\frac{S_t}{\Delta t} + \frac{O_t}{2} = \left(\frac{I_{t-1} + I_t}{2} \right) + \left(\frac{S_{t-1}}{\Delta t} - \frac{O_{t-1}}{2} \right) \dots\dots\dots(I.19)$$

I.8.2 Modèle de Muskingum

Ce modèle fut développé en 1939 par McCarthy. Il est très utilisé en ingénierie hydrologique. Cunge (1969) a démontré que ce modèle est numériquement équivalent aux équations de Saint-Venant via l'équation de diffusion d'une onde. (Sahar, Olf, & Hamadi, 2015)

Ce modèle est basé les différences finies de l'équation de continuité :

$$\left(\frac{I_{t-1} + I_t}{2} \right) - \left(\frac{O_{t-1} + O_t}{2} \right) = \left(\frac{S_t - S_{t-1}}{\Delta t} \right) \dots\dots\dots(I.20)$$

On écrit ensuite que le volume d'eau stocké :

$$S_t = T_p O_t + T_p X (I_t - O_t) = T_p (X I_t + (1 - X) O_t) \dots\dots\dots(I.21)$$

Avec,

T_p : Temps de parcours ;

X : paramètre permettant une pondération ($0 < X < 0.5$).

Finalement, on obtient l'équation suivante :

$$O_t = \left(\frac{\Delta t - 2T_p X}{2T_p(1-X) + \Delta t} \right) I_t + \left(\frac{\Delta t - 2T_p X}{2T_p(1-X) + \Delta t} \right) I_{t-1} + \left(\frac{2T_p(1-X) - \Delta t}{2T_p(1-X) + \Delta t} \right) O_{t-1} \dots\dots\dots(I.22)$$

Connaissant les valeurs de T_p , X , Δt pour tous les instants t , et de la condition initiale (O_0). HEC-HMS calcule par récurrence l'hydrogramme amont. (Soubelet & Fauzan, 2000)

I.8.3 Le modèle du décalage (lag model)

Ce modèle est utilisé dans la modalisation du drainage urbain (MESSAK, s. d.), On considère que l'hydrogramme aval est simplement l'hydrogramme amont décalé dans le temps d'une certaine durée (lag) (MESSAK, s. d.), La valeur de ce décalage peut être estimée comme la durée entre les deux pics des deux hydrographes. (MESSAK, s. d.)

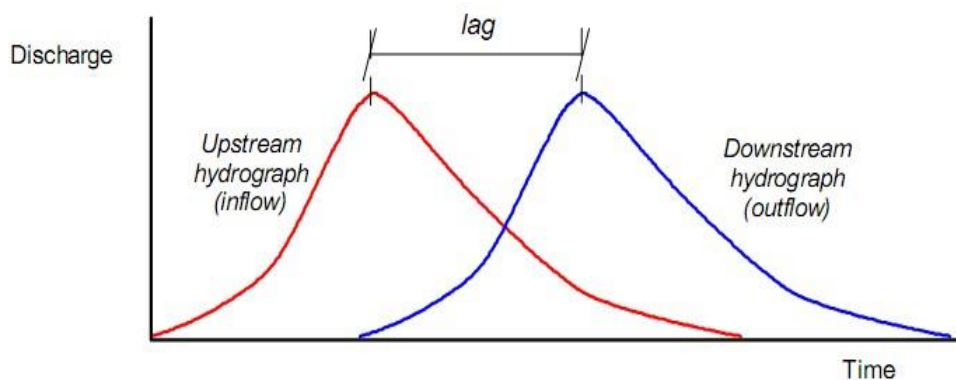


Figure I. 7: Exemple de modèle Lag. (Hydrologic Engineering Center, 2000)

I.8.4 Le modèle de l'onde cinématique (Kinematic-wave)

Ce modèle comme on la décrit auparavant est basé sur les équations de différences finies, de continuité et l'équation de mouvement.

I.8.5 Le modèle Muskingum-Cunge

Le modèle Muskingum est facile à utiliser mais emploie des paramètres qui n'ont pas de signification physique et qui sont donc difficiles à évaluer. Le modèle de Muskingum-Cunge évite ces erreurs. (MESSAK, s. d.)

I.9 Le calage des modèles

Le calage à partir des données pluie-débit est la solution la plus utilisée pour déterminer les modèles convenables. (Soubelet & Fauzan, 2000)

La première étape du calage d'un modèle est la collecte des données hydrologiques du bassin versant (précipitations, débits en fonction du temps, ...). Puis, HEC-HMS effectue un premier calcul de l'hydrographe à l'exutoire du bassin versant. Il compare aussitôt cet hydrographe à l'hydrographe réel observé. (MESSAK, s. d.)

➤ **Valeurs limites des différents paramètres introduits dans les modélisations**

le tableau suivant donne les valeurs minimales et maximales acceptées par le logiciel HEC-HMS:

Tableau I. 5: Valeurs minimales et maximales des différents modèles incluent dans le modèle HEC HMS. (Hydrologic Engineering Center, 2000)

<i>Modèle</i>	<i>Paramètres</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Perte initiale et à taux constant	Perte initiale Taux de perte constant	0 mm 0mm/h	500mm 300mm/h
Modèle de perte SCS	Rétention initiale Curve Number (CN)	0 mm 1	500 mm 100
Modèle de perte de GREEN et AMPT	Déficit hydrique Conductivité hydraulique Wetting front suction	0 0 mm/h 0 mm	1 250mm/h 1000 mm
Hydrographe unitaire de CLARK	Temps de concentration Coefficient de stockage	h 0 h	500 h 150 h
Hydrographe unitaire de SNYDER	Décalage Cp	0.1 h 0.1	500 h 1.0
Hydrographe unitaire du SCS	Décalage	0.1 min	30 000min
Onde cinématique	Coefficient de Manning (n)	0	1
Ecoulement souterrain	Ecoulement souterrain initial Facteur de récession Rapport débit/pic max	0 m ³ /s 0.000011 0	100 000m ³ /s - 1
Modèle de Muskingum	K X	0.1 h 0	150h 0.5

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le logiciel HEC-HMS et les Modèles développés sous ce modèle (calcul des précipitations, le volume de ruissellement, le ruissellement direct et calcul des écoulements fluviaux).

Le choix de HEC-HMS pour subdiviser le bassin versant afin de savoir son comportement sur le débit de point, est justifié pour les raisons suivantes:

- ✓ Le modèle HEC-HMS est un modèle qui est adapté théoriquement à N'importe quel type de climat ; en plus sa capacité de faire la bonne simulation des pertes et l'écoulement de surface, l'écoulement souterrain et l'écoulement fluvial;
- ✓ La fiabilité des résultats obtenus lors de son application à des bassins versants Américains nous a encouragé à appliquer ce modèle à des bassins versants Méditerranéens.

CHAPITRE II

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.

Introduction

Pour savoir l'impact de la subdivision du bassin versant sur le débit de pointe, on choisit le bassin versant de l'oued Réghaia l'objet de cette étude, dans ce chapitre, on va calculer les caractéristiques de bassin versant, ce qui constituera une aide à trouver les paramètres nécessaire afin d'utiliser les modèles de logiciel HEC-HMS.

II.1. Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude se trouve dans le bassin versant d'Oued Reghaia qui constitue le principal oued de la zone, mais aussi par d'autres affluents qui vont de moyenne à grande importance, le bassin versant occupe une superficie de 57.31 km².

Il est situé à 27 km à l'est d'Alger, à la limite Nord-est de la plaine de la Mitidja (Longitude 3°19' - 3°21'E ; Latitude 36° 45' - 36°48'N) et à 14 km de Boumerdès. Il est limité :

- Au Nord par la Mer Méditerranée (Lac Reghaia),
- Au Sud par l'autoroute reliant Alger à Constantine,
- à l'Est par la ville de Boudouaou ;
- à l'Ouest par la ville d'Ain Taya.

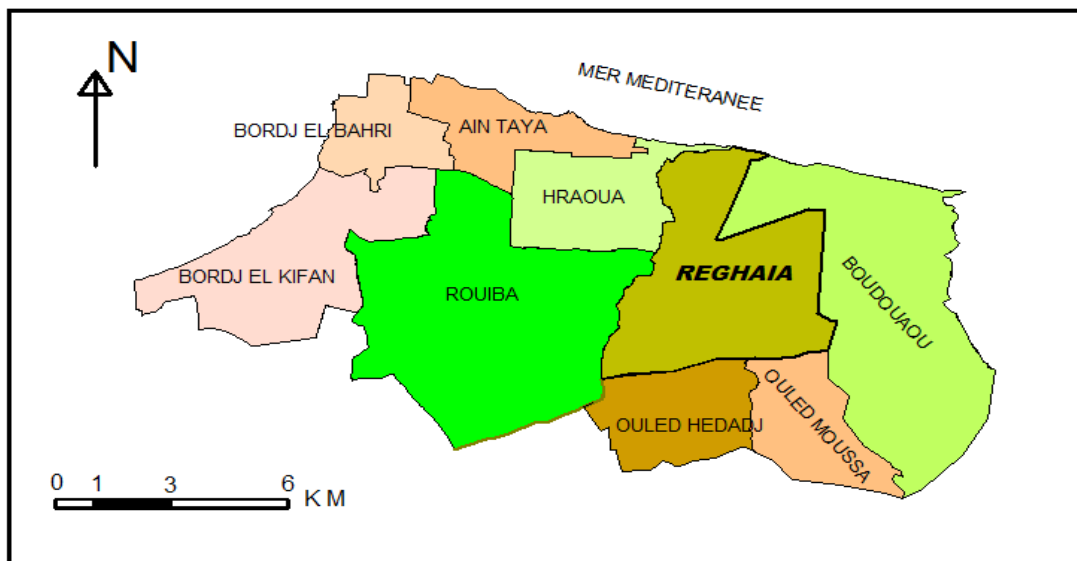


Figure II. 1: Situation de la région de zone d'étude (Réghaia)



Figure II. 2:Image satellitaire de la zone d'étude (délimitation de bassin versant) - Commune Réghaïa (2018)

II.2.Situation Climatique

La zone d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen, doux et pluvieux en hiver, humide et tempéré en été.

II.2.1.Températures

Nous prenons en compte dans notre étude les données de la station climatologique de Station de Dar El Beida.

Tableau II. 1:Températures moyennes mensuelles – (Période : 2012-2013)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin.	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
T_{moy}	12	13	14	16	19	22	25	26	24	20	16	13
T_{max}	15	16	18	20	22	26	28	29	27	23	19	16
T_{min}	9	10	11	12	15	18	21	22	20	17	13	10

Source :(O.N.M)

Le gradient de température moyenne du mois le plus froid (janvier-décembre) au mois le plus chaud (juillet-aout) varie, de 9° C à 28° C pour la région.

II.2.2.La pluviométrie

D'après les événements historiques pluviométriques mesurés par les différentes stations qui entourent la zone, on peut dire que nous sommes dans une zone à importante intensité d'averses. Sachant que les valeurs atteintes sont 152 mm/24H en octobre 1973 dans la région de Réghaïa et de 110 mm/24H en décembre 1986 relevée sur la station du Hamiz-Barrage traduisent la rapidité et le caractère torrentiel des pluies. La pluviométrie de la station de Reghaïa est donnée dans le tableau

Tableau II. 2:Précipitations mensuelles en mm (période : 2012-2013)

Année	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	mars	avril	mai	juin	Juil.	Aout
2013	8.1	15.2	47.1	40.4	26.8	8.7	24.6	1.2	4.5	41.1	0	0

Source (ANRH, Blida)

II.3.Contexte Géologique

la zone d'étude s'inscrit dans la region d'Alger qui présente une structure assez complexe, qui peut être représentée comme un dome métamorphique primaire bordé par des terrains sédimentaires tertiaires et quaternaires.

- ✓ **Le primaire** : Représenté par le socle métamorphique constitué de roches cristallophyliennes très tectonisées. Ces roches affleurent entre Sidi Fredj et Bordj El Bahri.
- ✓ **Le tertiaire** : Il recouvre en discordance le socle Metamorphique. On y retrouve :
 - Le Miocène inférieur qui est constitué de grès et de poudingues qui sont particulièrement tectonisés avec des surfaces d'affleurement réduites.
 - Le Pliocène inférieur qui est argilo-marneux. Il affleure dans le Sahel. Il peut atteindre 200 m d'épaisseur.

- ✓ **Le Quaternaire** : La plaine est recouverte d'une très grande épaisseur de sédiments quaternaires qui englobe de nombreux termes lithologiques : sables, grès dunaires, limons eboulis et formations de pentes.

l'étude de bassin versant de oued Réghaia intéressera principalement sur les terrains récents ,
comme le montre l'extrait de carte géologique ci-après :

Alluvions récentes (A2) ; Alluvions actuelles (As) et du Pliocène supérieur (P2A) de faciès argilo sableux, Et aussi une petite partie d'Alluvions anciennes (q).

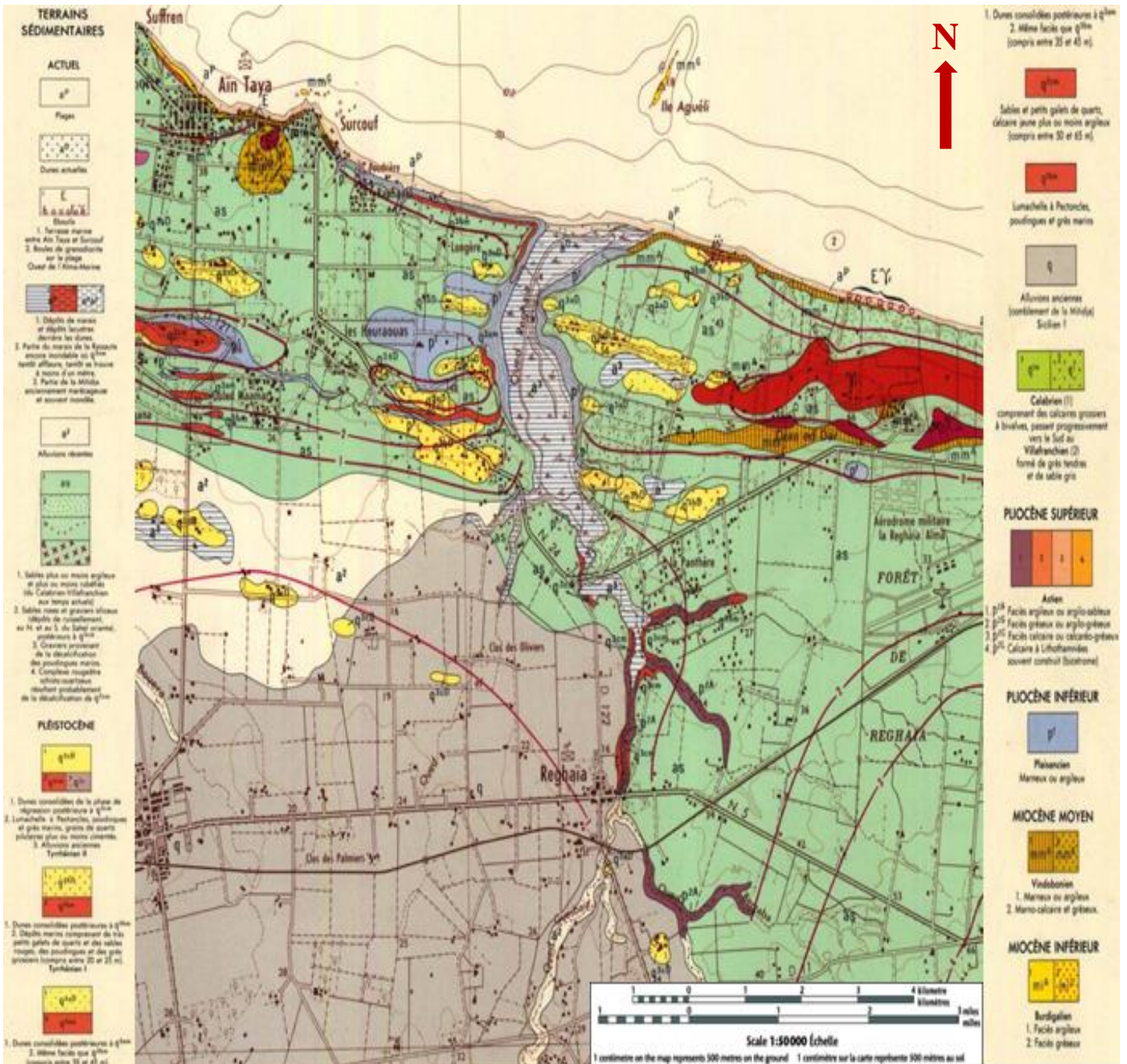


Figure II. 3: Extrait de la carte géologique d'Alger

II.4.Occupation des sols

On peut d'une façon générale classer les sols en quatre catégories. Cette classification n'a pas pour objet de détailler l'occupation des sols au sens d'un plan local d'urbanisme mais d'apporter une classification d'aptitude au ruissellement :

- **Les zones d'habitats dispersés** : traduisant une imperméabilisation modérée des sols, ces zones sont caractérisées par des surfaces unitaires faibles de l'ordre de l'hectare, elles sont cependant les plus nombreuses sur l'ensemble du périmètre d'étude. Elles sont constituées de maisons isolées, d'accès en terre reliant les constructions et des jardins aménagés dans l'enceinte des propriétés.
- **Les zones d'habitats moyennement denses** : représentant une imperméabilisation forte des sols, ces zones sont caractérisées par des surfaces unitaires variables allant de l'hectare à la centaine d'hectares. Elles sont constituées de lotissements résidentiels, de zones d'activités faiblement construites et de routes bitumées.
- **Les zones d'habitats denses** : correspondent à une imperméabilisation très forte des sols, ces zones sont caractérisées par des surfaces unitaires étendues de l'ordre de la dizaine à la centaine d'hectares, elles sont de ce fait les moins nombreuses sur l'ensemble de la zone d'étude. Elles sont constituées de grands ensembles résidentiels, de grandes zones activités et de voies routières comprises dans cet espace.
- **Les zones caractérisées par une imperméabilisation faible des sols**: Les principaux constituants de ces zones sont : les terrains agricoles, les friches et les zones boisées (forêts).

II.5.Etude hydromorphologique du bassin versant

Les caractéristiques morphométriques et hydrographiques ont été calculées à partir de logiciel Global Mapper.

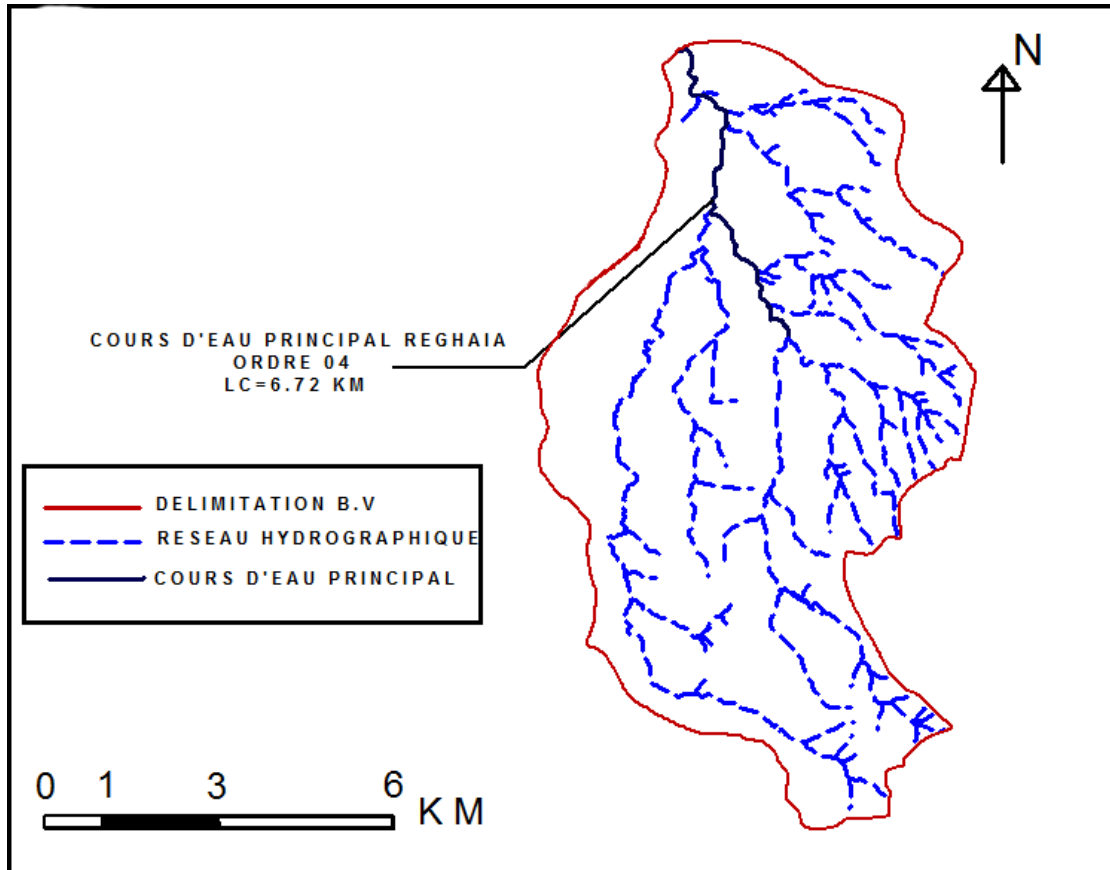


Figure II. 4: Délimitation et réseau hydrographique des bassins versant

II.5.1. Caractéristique hydromorphométriques du bassin de Réghaia

II.5.1.1. Caractéristiques du bassin versant

- **Surface** : Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations, il est donc tout à fait logique que ce paramètre soit le premier à rechercher. Cette surface est égal à :

$$S = 57.31 \text{ Km}^2$$

- **Périmètre** : C'est la limite extérieure du bassin.

$$P = 39.60 \text{ Km}$$

- **Longueur du cours d'eau principal**

$$L_c = 6.72 \text{ Km}$$

II.5.1.2. Forme

On veut dire par la forme de bassin versant la configuration géométrique quand on la projette sur un plan horizontal. La forme a un effet sur le temps de réponse de bassin versant ce qui influe sur l'hydrogramme de crue.

• **Indice de compacité de Gravelius**

défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface.(Bendjoudi & Hubert, 2002) Le coefficient de compacité de Gravelius s'exprime par:

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \text{ (Gravelius ,1914).....(II.1)}$$

$$K_c = 1.46$$

Où :

S: La superficie du bassin versant (Km²);

P: Le Périmètre du bassin versant (Km).

La valeur de l'indice de compacité de Gravelius est supérieur à 1, Le bassin versant est donc de forme allongée.

• **Facteur de forme**

Facteur de forme ou de Horton R_f , c'est le rapport de la surface de bassin versant à celui de carre de sa longueur maximale :

$$R_f = \frac{S}{L_c^2} \text{ (Llamas, 1998) (II.2)}$$

$$R_f = 1.27$$

Tel que,

S: La surface du bassin versant (Km²);

L_c : Longueur du cours d'eau principal.

L'indice est supérieur à 1 si la forme du bassin est allongée.

• **Elancement**

Défini par Schumm, l'élancement est le rapport entre le diamètre d'un cercle ayant la même superficie que le bassin et la longueur maximale du bassin. Ce coefficient varie entre 1 pour les bassins plats et 0.6 pour ceux dont le relief est accentué.

$$R_e = \frac{D}{L_m} = 1.128 \frac{\sqrt{S}}{L_m} \text{ (Llamas, 1998) (II.3)}$$

$$R_e = 1.27$$

Où :

R_e : Elancement;

S: La superficie du bassin versant (Km²);

L : la longueur maximale du bassin (Km).

Donc, Le bassin versant est plat, car l'indice varie entre la valeur de 1.

• **Rayon de compacité de Gravelius R_c**

C'est le rapport entre la superficie du bassin et celle du cercle dont la circonférence est égale au périmètre du bassin :

$$R_c = \frac{4\pi S}{P^2} \text{ (McCuen, 1998)} \dots\dots\dots \text{(II.4)}$$

$$R_c = \mathbf{0.46}$$

Où :

R_c : Rayon de circularité;

S : La superficie du bassin versant (Km²);

P : Le Périmètre du bassin versant (Km).

• **Rectangle équivalent**

Un autre paramètre permet de comparer les bassins versant entre eux, c'est le rectangle équivalent.(MESSAK, s. d.) C'est une transformation purement géométrique où la forme du bassin est rendue comme état celle d'un rectangle ayant même superficie que le bassin versant.(MESSAK, s. d.) La largeur et la longueur de ce rectangle sont évaluées par les relations suivantes, avec la condition de K_c supérieur à 1,12 (MESSAK, s. d.) :

$$L, l = K_c \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left(1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c}\right)^2} \right) \text{ (Gravelius ,1914)} \dots\dots\dots \text{(II.5)}$$

$$L = \mathbf{16.10 \text{ Km}}$$

$$l = \mathbf{3.56 \text{ Km}}$$

Où :

L : La longueur du rectangle équivalent(Km) ;

l : La largeur du rectangle équivalent(Km) ;

S : La superficie du bassin versant (Km²);

K_c : Le coefficient de compacité ou de Gravelius .

Remarque : d'après les valeurs qu'on a obtenu (l'indice de compacité de Gravelius, facteur de Horton ...), Le bassin versant est de forme allongée.

II.5.1.3. Relief

- Courbe hypsométrique

La forme de cette courbe donne une certaine idée sur les pentes du bassin et leur variation en altitude, et permet d'avoir une idée sur l'état de l'érosion du bassin.

Tableau II. 3: Surfaces partielles du bassin versant par tranche d'altitudes.

Altitudes	Surfaces partielles	Surfaces cumulés	Surfaces partielles	Surfaces cumulés
<i>M</i>	<i>Km²</i>	<i>Km²</i>	%	%
200-175	0.42	0.42	0.73	0.73
175-150	0.58	1	1.01	1.74
150-125	2.62	3.62	4.55	6.28
125-100	4.46	8.08	7.74	14.03
100-75	10.56	18.64	18.33	32.36
75-50	11.32	29.96	19.65	52.01
50-25	17.58	47.54	30.52	82.53
25-0	9.77	57.31	16.96	100.00
Somme	57.31	57.31	100	100

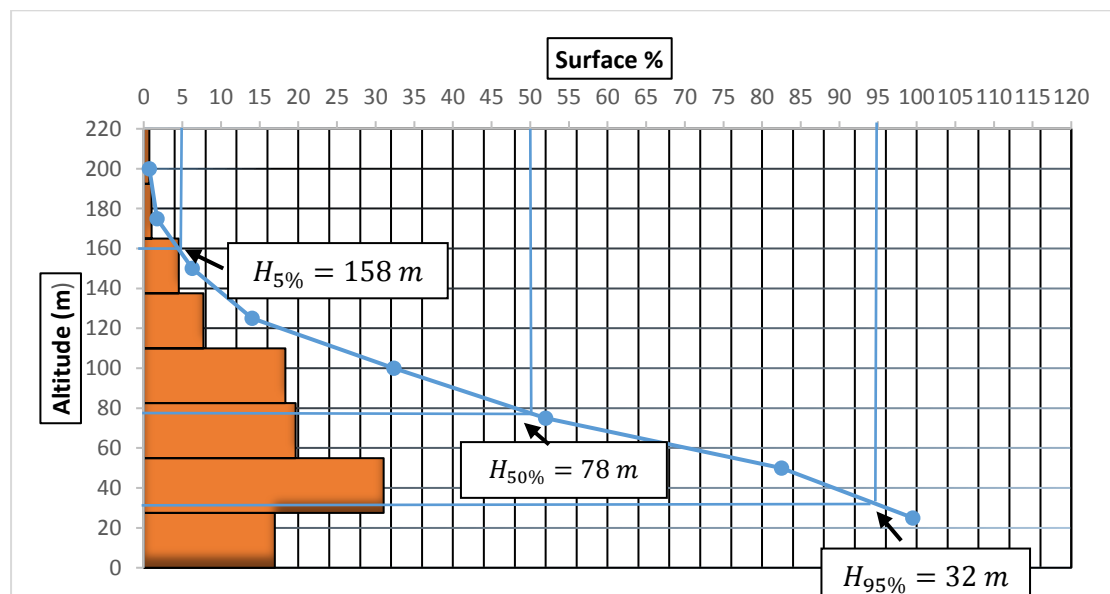


Figure II. 5: Répartition et courbe hypsométrique (Reghaia).

Remarque

D'après la répartition de la courbe, on voit qu'elle se rapproche beaucoup de celle d'un bassin mature en équilibre.

- **Altitude moyenne**

C'est l'altitude qui correspondant à la moyenne de la courbe hypsométrique.

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i H_i}{S} = 60.16 \text{ m} \dots\dots\dots (II.6)$$

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveaux consécutives.

S_i : Surface partielle comprise entre deux courbes consécutives.

Tableau II. 4: Calcul de la hauteur moyenne.

H_i	S_i	$H_i S_i$
187.5	0.42	187.5
162.5	0.58	162.5
137.5	2.62	137.5
112.5	4.46	112.5
87.5	10.56	87.5
62.5	11.32	62.5
37.5	17.58	37.5
12.5	9.77	12.5
	Total	3447.88

- **Indice de pente globale**

Il est donné par la relation qui suit :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \text{ (Dubreuil, 1974)} \dots\dots\dots (II.7)$$

D : est le dénivelée entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ (m).

L : est la longueur du rectangle équivalent (Km).

$H_{5\%}$ et $H_{95\%}$: Sont respectivement les altitudes correspondantes à $S_{5\%}$ et $S_{95\%}$ tirées directement de la courbe hypsométrique (figure II.5).

$$I_g = \frac{158 - 32}{16.10} = 7.78 \text{ m/km}$$

- **Indice de pente de Roche**

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_1^8 \sqrt{S_i (H_i - H_{i-1})} = \frac{95.36}{\sqrt{16100}} = 0.75 \text{ (Roche, 1963)} \dots\dots\dots (II.8)$$

L : La longueur du rectangle équivalent du bassin versant (m).

S_i : Surface partielle (%) comprise entre deux courbes de niveau consécutives H_i et H_{i-1} (m).

Tableau II. 5 : Calcul la pente de Roche.

H_i (m)	$H_i - H_{i-1}$ (m)	S_i (%)	$\sqrt{S_i(H_i - H_{i-1})}$
200			
175	25	0.42	3.24
150	25	0.58	3.81
125	25	2.62	8.09
100	25	4.46	10.56
75	25	10.56	16.25
50	25	11.32	16.82
25	25	17.58	20.96
0	25	9.77	15.63
		Total	95.36

- **Pente moyenne du bassin versant**

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5l_1 + l_2 + l_3 + \dots + 0.5l_n)}{S} \dots\dots\dots (II.9)$$

ΔH : C'est la dénivelée (m) $H_{5\%} - H_{95\%}$

l_1 : La longueur de la courbe de niveau d'ordre 1, 2, ... (Km)

S : Surface du bassin versant (Km^2).

$$I_m = \frac{126[0.5(9.35) + 9.17 + 14.94 + 19.64 + 22.69 + 0.5(18.99)]}{57.31}$$

$$I_m = 17.72 \%$$

II.5.1.4. Réseau hydrographique

C'est l'ensemble des canaux de drainage naturels, permanents ou temporaires, par où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines.(Dacharry, 1999)

- **Pente moyenne du cours d'eau principal**

$$I_c = \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots\dots\dots (II.10)$$

$$I_c = \frac{37.5}{6.72} = 5.58 \text{ m/Km}$$

ΔH : Dénivelée entre deux points suffisamment distants (m).

ΔL : Distance entre ces deux points (Km)

- **Densité de drainage**

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \quad (\text{Horton, 1945}) \dots \dots \dots (II.11)$$

$\sum L_i$: La somme des longueurs de tous les cours d'eau d'ordre i (Km).

$$D_d = \frac{103.61}{56.31} = \mathbf{1.81 \text{ Km/Km}^2}$$

D_d de l'ordre de 2 à 3 pour des régions à développement très limité.

Conclusion

A la fin de ce chapitre, on a pu calculer les caractéristiques hydromorphométriques du bassin d'oued Réghaia illustré dans le tableau II.7.

Tableau II. 6: Récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques du bassin d'oued Réghaia

<i>Caractéristiques</i>	<i>Notation</i>	<i>Unité</i>	<i>Valeur</i>
La surface	S	Km^2	57.31
Le Périmètre	P	Km	39.60
La longueur du cours d'eau principal	L_c	Km	6.72
La longueur	L	Km	16.10
La largeur	l	Km	3.56
L'altitude maximale	H_{max}	m	200
L'altitude moyenne	H_{moy}	m	60.16
L'altitude médiane	$H_{50\%}$	m	78
L'altitude minimale	H_{min}	m	0
L'altitude 5%	$H_{5\%}$	m	158
L'altitude 95%	$H_{95\%}$	m	32
L'Indice de compacité	K_c	/	1.46
L'Indice de pente global	I_g	m/Km	7.78
La Pente moyenne	I_m	%	17.72
L'indice de pente de Roche	I_p	%	0.75
La pente moyenne du cours d'eau principal	I_c	m/Km	5.58
La densité de drainage	D_d	Km/Km^2	1.81

Les résultats montrent que le bassin versant a une forme allongée, et la répartition de la courbe hypsométrique, elle se rapproche beaucoup de celle d'un bassin mature en équilibre.

CHAPITRE III

ESTIMATION DES HYDROGRAMMES DES CRUES

Chapitre III : Estimation des hydrogrammes des crues

Introduction

Pour estimer les hydrogrammes des crues et pouvoir effectuer les simulations nécessaires, Il est nécessaire de créer une base de données caractérisant le bassin versant afin de l'application de modèle HEC-HMS qui sont : Les caractéristiques morpho métriques (Les surfaces des sous bassin, type de sol, couvert végétal), météorologiques (Les précipitations), Les données de contrôle (La date initiale et final, l'intervalle de temps de calcul)

Le modèle HEC-HMS est composé de trois parties, qui permettent l'utilisation des différentes méthodes et pluviométrie qui sont :

- ✓ la modélisation du bassin versant ;
- ✓ la modélisation de la météorologie ;
- ✓ les spécifications de contrôle .

III.1. Le Choix des modèles Utilisées

Les modèles proposées a pour objectif d'estimer le débit maximal probable de bassin versant de l'Oued Réghaia ainsi que le volume a son exutoire, et de déterminer les hydrogrammes de crue pour cela on fait le choix des modèles suivants:

III.1.1. Infiltrations

Pour une modélisation simple et continue de l'infiltration et de l'évapotranspiration On prend dans notre étude **la méthode de SCS (CN)**.

La méthode de "Curve Number" (CN) du service de conservation de l'USDA (SCS, USDA), connue également sous le nom de la méthode de couverture hydrologique des sols, est un procédé largement utilisé pour l'évaluation de l'écoulement superficiel.

III.1.1.2. Application de la méthode de SCS-CN:

Pour déterminer les paramètres d'entrée (Surface, curve number, temps de parcours), on passe par plusieurs étapes :

- ✓ Division en sous bassin.
- ✓ Calcul du temps de concentration de chaque sous bassin.
- ✓ Caractérisation des surfaces homogène.
- ✓ Détermination de *CN* de chaque surface.
- ✓ Détermination de pourcentage de surface imperméabilisée

III.1.2. Ruissellement

Dans la modalisation de ruissellement, on va utiliser la méthode des hydrogrammes unitaires. Le modèle retenu est celui de **l'hydrogramme unitaire de SCS** (*SCS unit hydrograph*).

L'hydrogramme unitaire par la méthode (SCS) est fondé sur la transformation des pluies en débit avec l'utilisation du temps de réponse (T lag). On considère d'après les données expérimentales nombreuses que :

$$\text{Lag} = 0.6 T_c$$

Avec ; T_c : est le temps de concentration.

III.2.Bassin versant de Réghaia sans Subdivision :

Tout d'abord, on commence le travail en laissant le bassin versant sans aucun subdivisions.

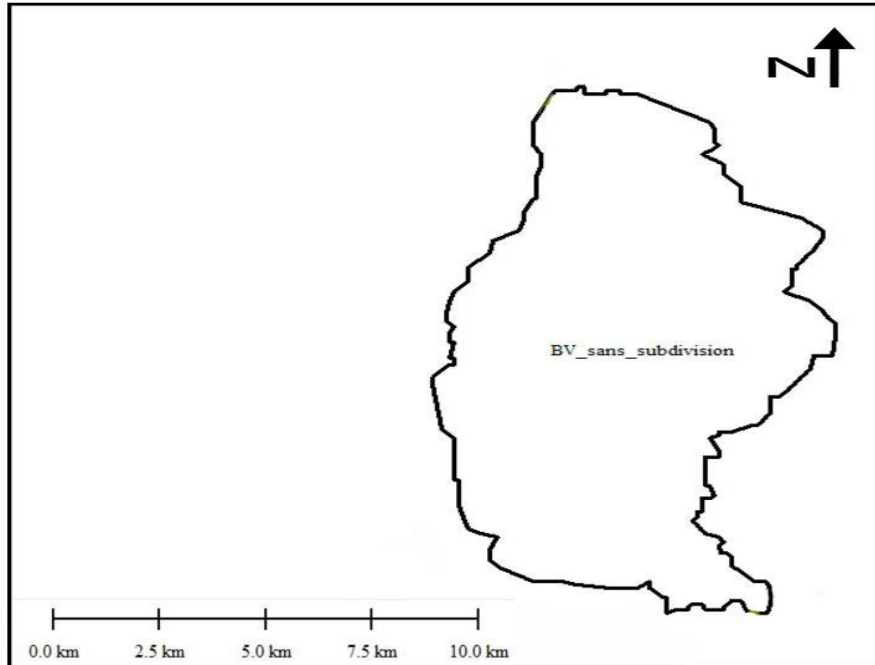


Figure III. 1: Bassin versant de Réghaia sans subdivision

III.2.1.Calcul du temps de concentration:

Pour le calcul du temps de concentration, nous avons utilisé la formule de kirpich qui est assez bien adaptées à l’approche SCS et notamment elle est préférable pour les bassins de petite taille.

✓ **Formule de Kirpich** (Chow et al, 1988)

$$t_c = 0.0078 \times L^{0.77} \times \left(\frac{(H_{max}-H_{min})}{L} \right)^{-0.385} \dots\dots\dots(III.1)$$

Ou; L : Longueur du cours d’eau dans le sous bassin (m).

H_{max} : Hauteur maximale dans le sous bassin (m).

H_{min} : Hauteur minimale dans le sous bassin (m).

III.2.2.Calcul de temps de parcours :

Le temps de parcours (**lag**) est estimé : $lag = 0.6 * t_c$ (Hydrologic Engineering Center, 2000)

Le (tableau III.1) résume le calcul du temps de concentration et de parcours :

Tableau III. 1: Calcul du temps de concentration et de parcours de bassin versant de Réghaia.

BV	Surface (km)	H _{max} (m)	H _{min} (m)	L _p (m)	H _{max} – H _{min}	Kirpitch (min)	lag(min)
Réghaia	57.31	206	0	15480	206	69.25	41.55

III.2.3.Détermination du Curve Number (CN)

Le CN dépend de trois paramètres suivant :

- Classe géologique (A , B , C, D).
- Couvert végétal (bonne, moyenne, mauvaise).
- Condition d’humectation initiale (I, II, III).

Pour pouvoir le déterminer, on utilise des tableaux (**annexe I**).

Avant de déterminer le CN, il faut passer par les étapes suivant :

- ✓ Projection de bassin versant sur un fond d’image extrait de *Google Earth* ;
- ✓ Savoir le caractère des surfaces, dans notre cas on a constaté que le coté amont de la zone d’étude est plutôt agricole tandis que son coté aval est urbanisé et à caractère industriel. Alors, on a caractérisé quatre types de surfaces et ensuite calculé le CN_{pondéré} :
 - Agricole.
 - Habitats dense.
 - Habitats moyennement dense.
 - Habitats dispersés.

$$CN_p = \frac{\sum S_i CN_i}{\sum S_i} \dots\dots\dots (III.2)$$

- ✓ Tracer des polygones sur fond d’image issue de *Google Earth* en fonction de caractère de la surface.

III.2.4.Détermination de pourcentage de surfaces imperméables :

C’est l’ensemble des surfaces extrêmement urbanisées (rues goudronnées, trottoirs en béton, toitures de maisons...).

$$C_{imp,\%} = \frac{\sum S_{imp}}{\sum S} * 100 \dots\dots\dots(III.3)$$

Tableau III. 2: détermination du CN de BV_Reghaia .

Type	S(Km ²)	CN	
Hab. Dispersé	0.68	81.5	53.5
Hab. Dispersé	2.42	72	174.24
Hab. moy dense	2.97	75	222.75
Hab. moy dense	6.2	75	465
Hab. Dense	2.28	85	193.8
Hab. moy dense	1.21	81.5	95.43
Hab. Dense	1.1	85	93.5
Hab. Dense	3.97	85	337.45
Hab. Dense	10	85	850
Hab. moy dense	2.48	75	186
Hab. moy dense	0.25	75	18.75
Hab. Dense	3.11	85	264.35
Hab. Dispersé	0.28	72	20.16
agricole	0.32	69	22.08
agricole	0.68	69	46.92
agricole	0.7	69	48.3
agricole	3.92	69	270.48
agricole	0.32	69	22.08
agricole	0.42	69	28.98
agricole	0.78	69	53.82
agricole	2.9	69	200.1
agricole	0.4	69	27.6
agricole	0.9	69	62.1
agricole	1.1	67	73.7
agricole	1.22	69	84.18
agricole	0.87	67	58.29
agricole	0.2	83	16.6
agricole	0.52	69	35.88
agricole	0.5	69	34.5
agricole	0.3	69	20.7
agricole	0.45	67	30.15
agricole	1.63	69	112.47
agricole	0.46	69	31.74
Hab. moy dense	0.18	75	13.5
Hab. dispersé	1.59	72	114.48
		CN_p	76.89

Tableau III. 3: Curve number et pourcentages de surfaces imperméabilisées de BV_Reghaia .

S.B	Surface (Km ²)	CN	S _{imp} (Km ²)	C _{imp,%}
Reghaia	57.31	76.89	25.18	43.94

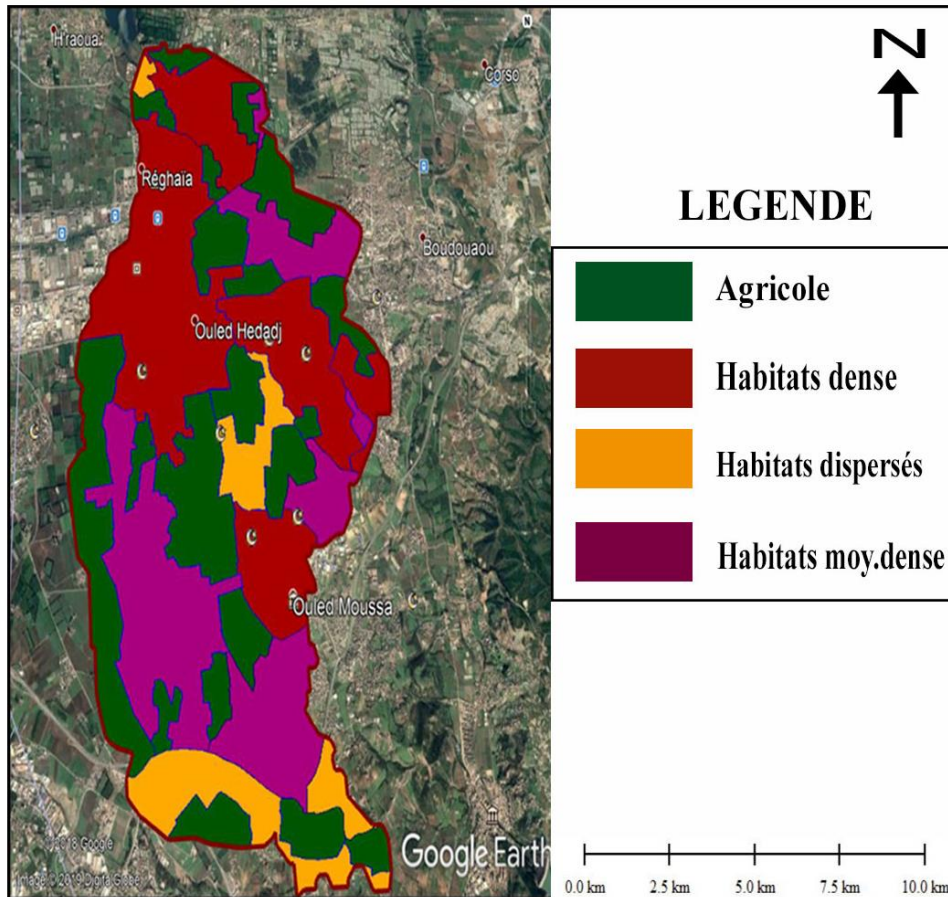









Figure III. 2: estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin non-subdivisée (Google Earth, 2018).

III.2.5. Présentation du bassin sur HEC-HMS

Le modèle HEC HMS fonctionne sous l'environnement Windows où on crée un projet pour regrouper tous les données de la simulation. En outre, Ce logiciel nécessite une étape de préparation des données, qui consiste en une schématisation du bassin versant en dehors de ce logiciel, ce schéma s'appelle modèle du bassin.

Contenu de HEC-HMS

Description physique du bassin versant :

-  Subbasin: sous bassin;
-  Reach : cours d'eau;
-  Réservoir: Lac et barrage;
-  Junction: confluence;
-  Diversion: bifurcation;
-  Source: résurgence et exfiltration;
-  Sink: exutoire et lac.

Mise en route du HEC-HMS

Les principales étapes de simulation avec le logiciel sont :

- ✓ Création d'un nouveau projet;
- ✓ Création du modèle de bassin versant;
- ✓ Création du modèle météorologique;
- ✓ Création du modèle de précipitation;
- ✓ Création de contrôle de la simulation;
- ✓ Création et exécution d'une simulation;
- ✓ Visualisation des résultats.
- ✓ Sauvegarde et quitter HEC HMS.

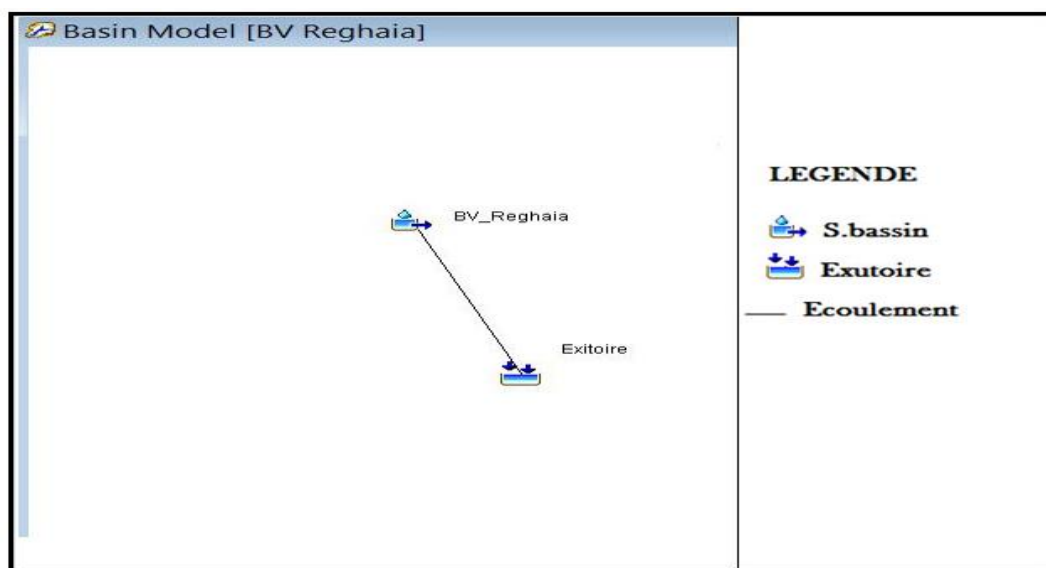


Figure III. 3: Représentation du schéma d'écoulement sur HEC-HMS pour un bassin non-subdivisés.

III.2.6. Résultats et simulation de l'hydrogramme de crue pour le bassin sans subdivision

III.2.6.1. simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Synthétique pour le bassin sans subdivision

Afin de simuler les évènements pluvieux de différentes fréquences et durées de pluies on a utilisé l'ajustement des séries des maximums annuels de pluies de la Station de Rouiba dont le code est (020642) de longueur 24 ans. À savoir :

- T=100 ans D=06 heures.
- T=100 ans D=24 heures.
- T=50 ans D=06 heures.
- T=50 ans D=24 heures.
- T=10 ans D=6 heures.
- T=10ans D=24 heures.

Tableau III. 4: Les quantiles de différents durées

Durée (mm)	15	30	60	120	180	360	720	1440
	Quantiles (min)							
10ans	22	28	36	46	53	68	86	109
50ans	39	49	63	80	92	117	149	190
100ans	48	61	78	99	114	145	185	235

Source : (Boukhelifa et al, 2018)

Les résultats de différents débits sont donnés par le tableau (III.5)

Tableau III. 5: Résultats globaux de débits pour un bassin non subdivisé.

Elément	Code	Débits (m ³ /s) selon (T, Durée)					
		06H 100ans	06H 50ans	06H 10ans	24H 100ans	24H 50ans	24H 10ans
Bassin Versant de Réghaia	BV_Réghaia	912.6	673.4	287.1	1077.3	823	388
Exutoire	Exutoire	912.6	673.4	287.1	1077.3	823	388

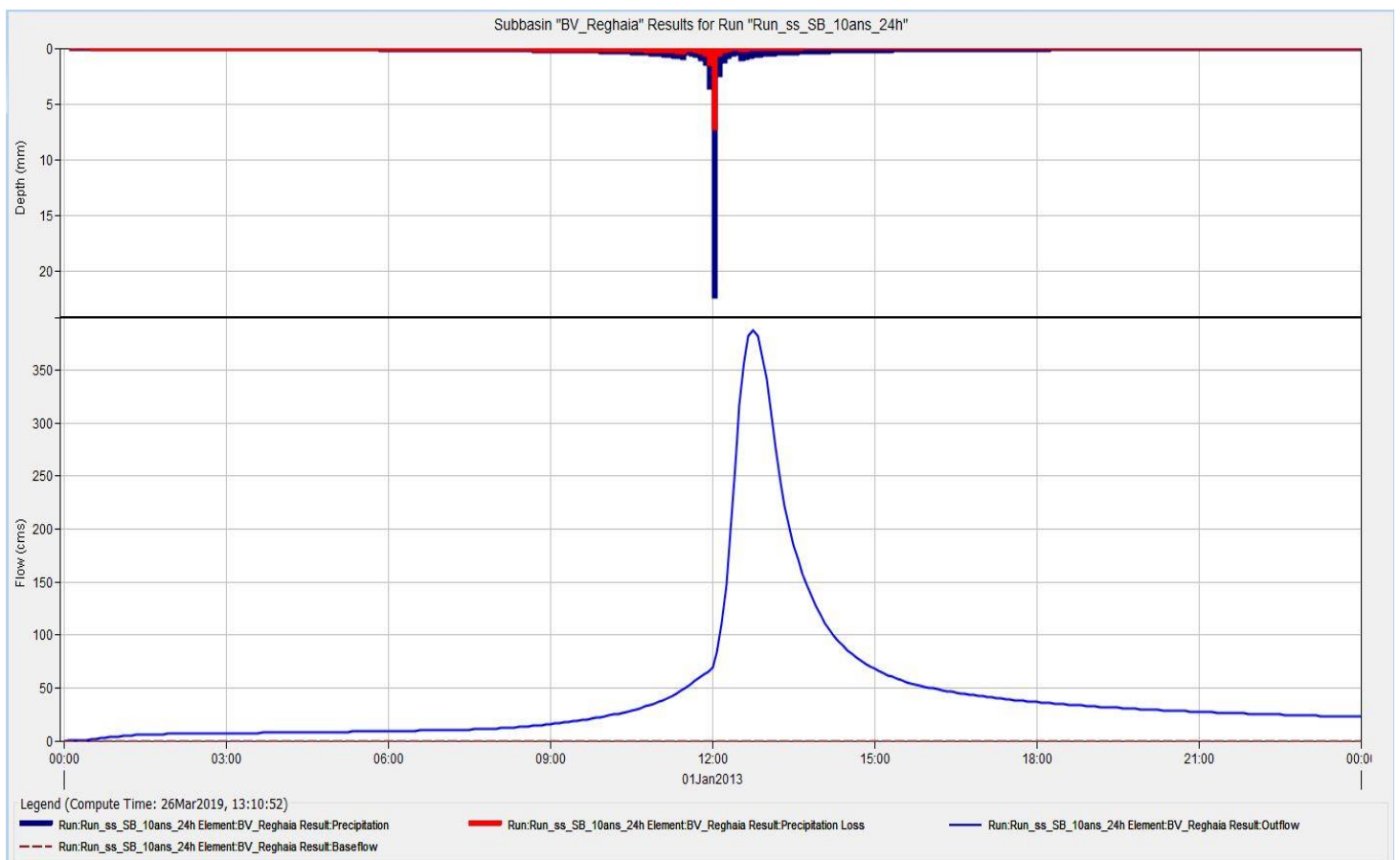


Figure III. 4: Hydrogramme de bassin versant Réghaia 24H-10ans.

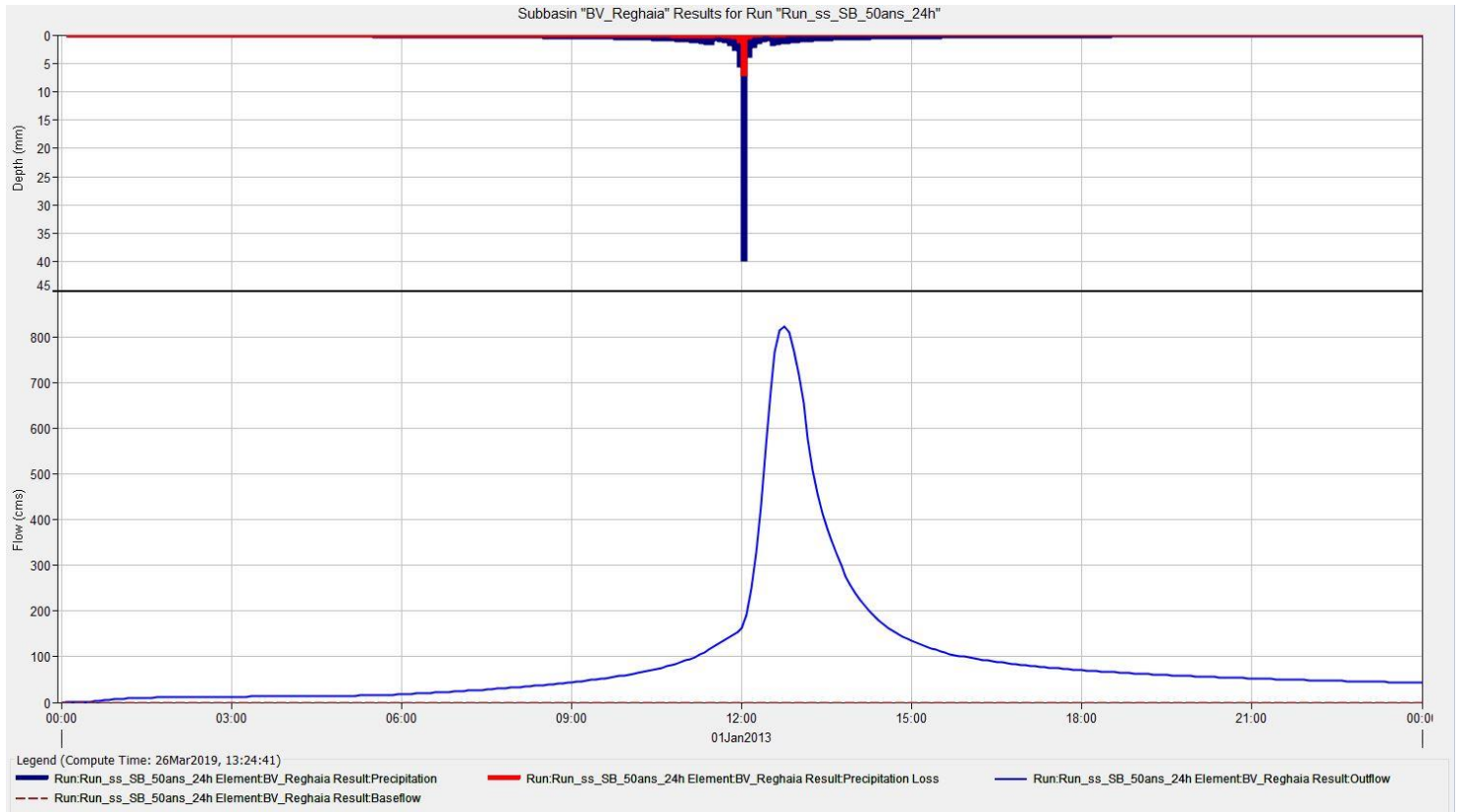


Figure III. 5: Hydrogramme de bassin versant Réghaia 24H-50ans.

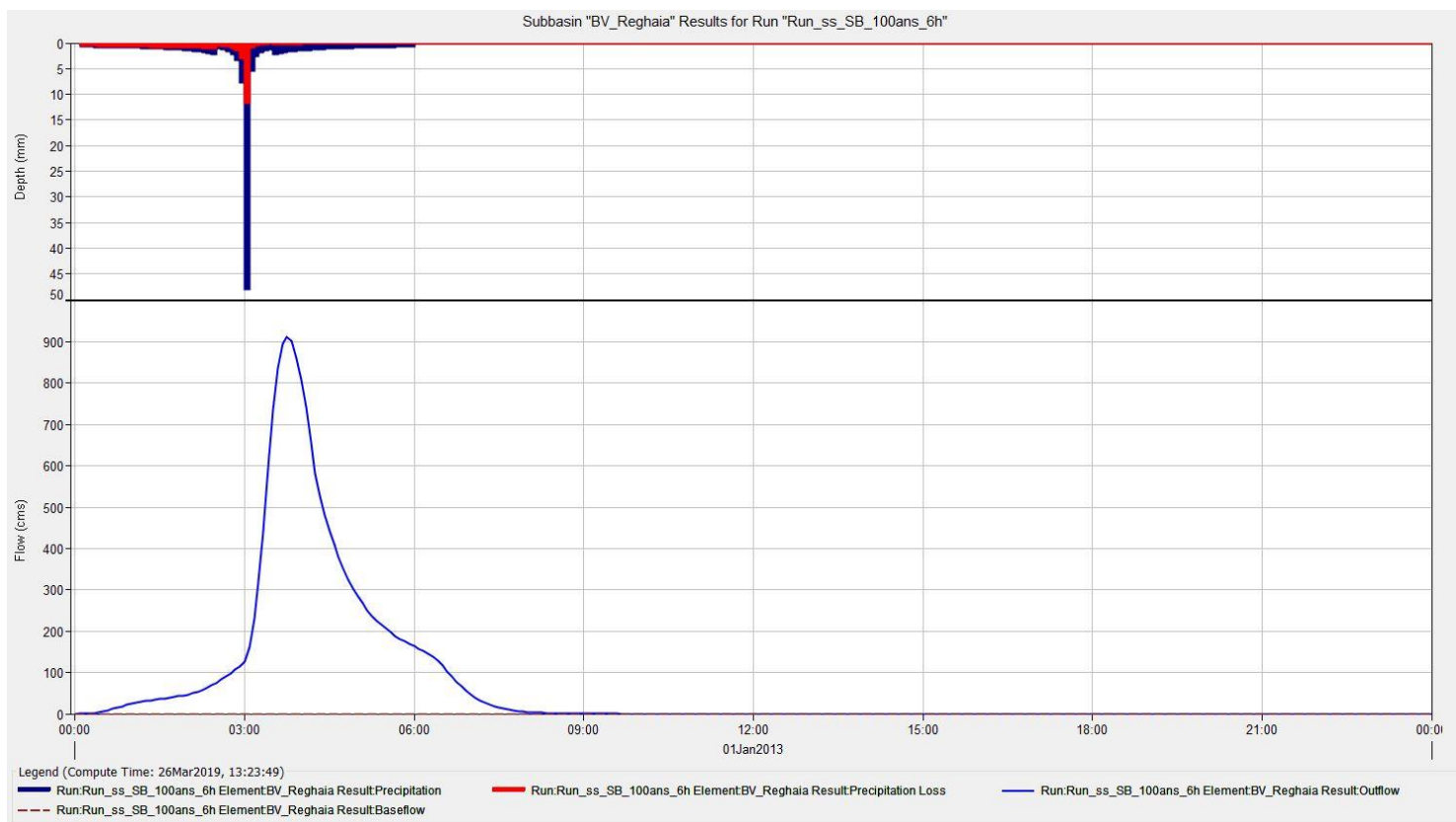


Figure III. 6 : Hydrogramme de bassin versant Réghaia 6H-100ans.

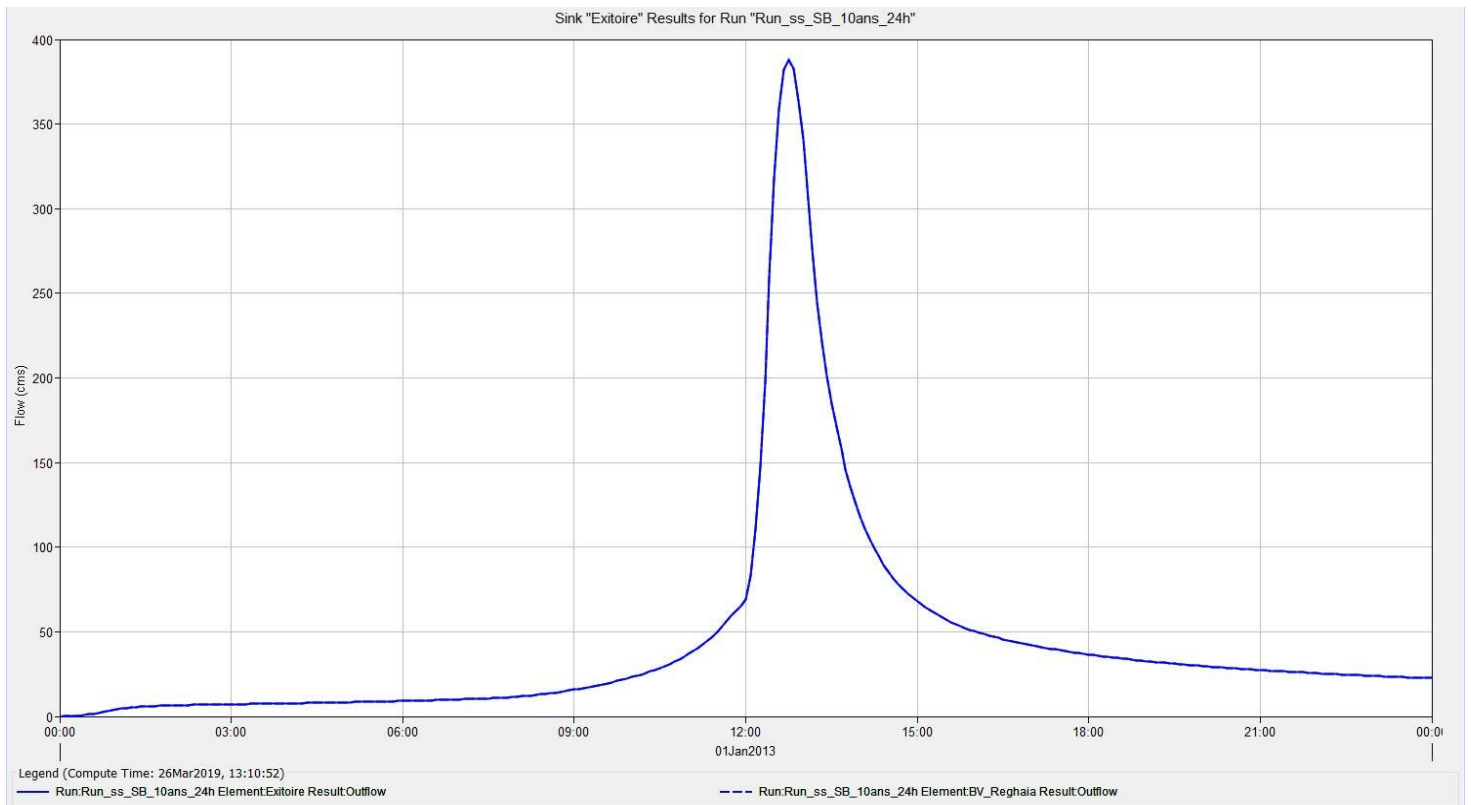


Figure III .7: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia 24H-10ans.

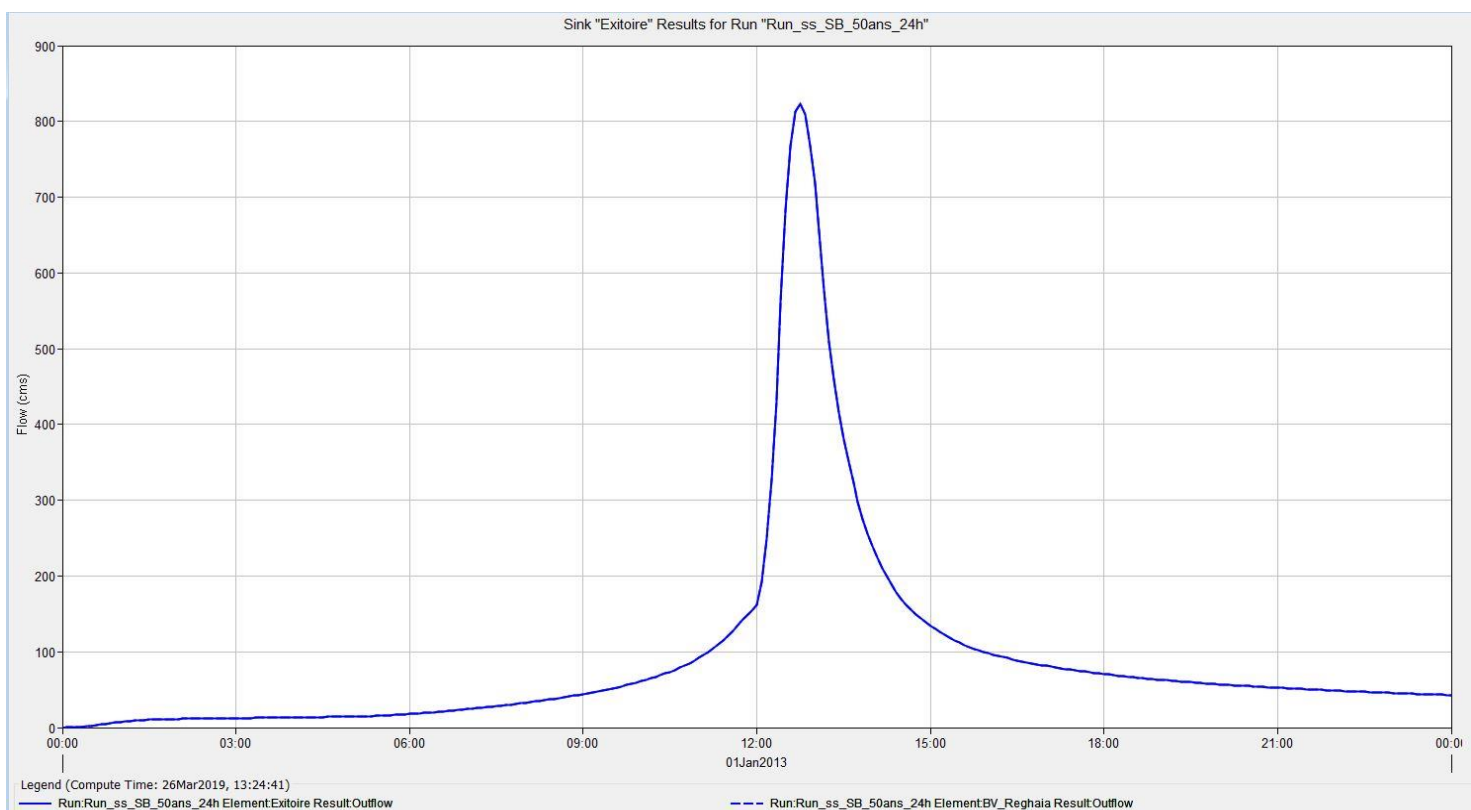


Figure III. 8: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia 24H-50ans.

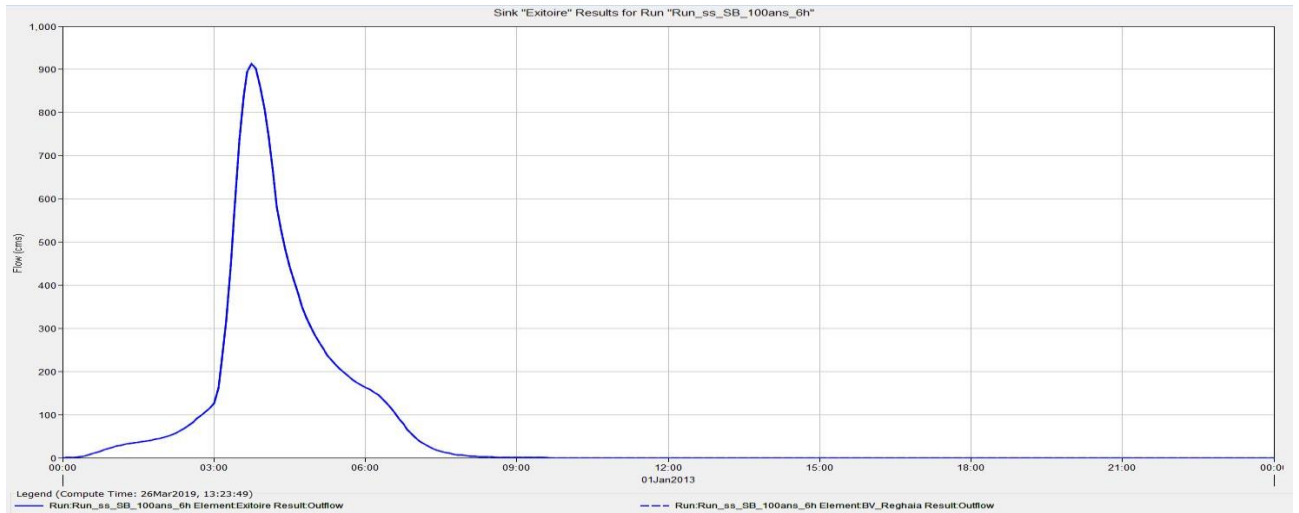


Figure III. 9: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia 6H-100ans.

III.2.6.2.simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Réelles pour le bassin sans subdivision

Dans cette méthode on a pris les pluies Réelles enregistrées au niveau de la station de Bouzareah dont la durée est 15h (date : 11\11\2001 et 12/11\2001) présentée dans le tableau suivant:

Tableau III. 6: la lame d'eau enregistré

Heure	Lame (mm)	Heure	Lame (mm)
19:30	0	03:30	4
20:00	2	04:00	1
20:30	1	04:30	1
21:00	0	05:00	1
21:30	0	05:30	1
22:00	1	06:00	1
22:30	1	06:30	4
23:00	4	07:00	3
23:30	4	07:30	4
00:00	4	08:00	3
00:30	16	08:30	55
01:00	19	09:00	7
01:30	18	09:30	3
02:00	28	10:00	55
02:30	7	10:30	6
03:00	7		

Les résultats de différents débits sont donnés par le tableau (III.6)

Tableau III. 7: Résultats de débits pour un bassin non subdivisé(pluie réel).

Elément	Code	Débits (m ³ /s)
Bassin Versant de Réghaia	BV_Réghaia	807.6
Exutoire	Exutoire	807.6

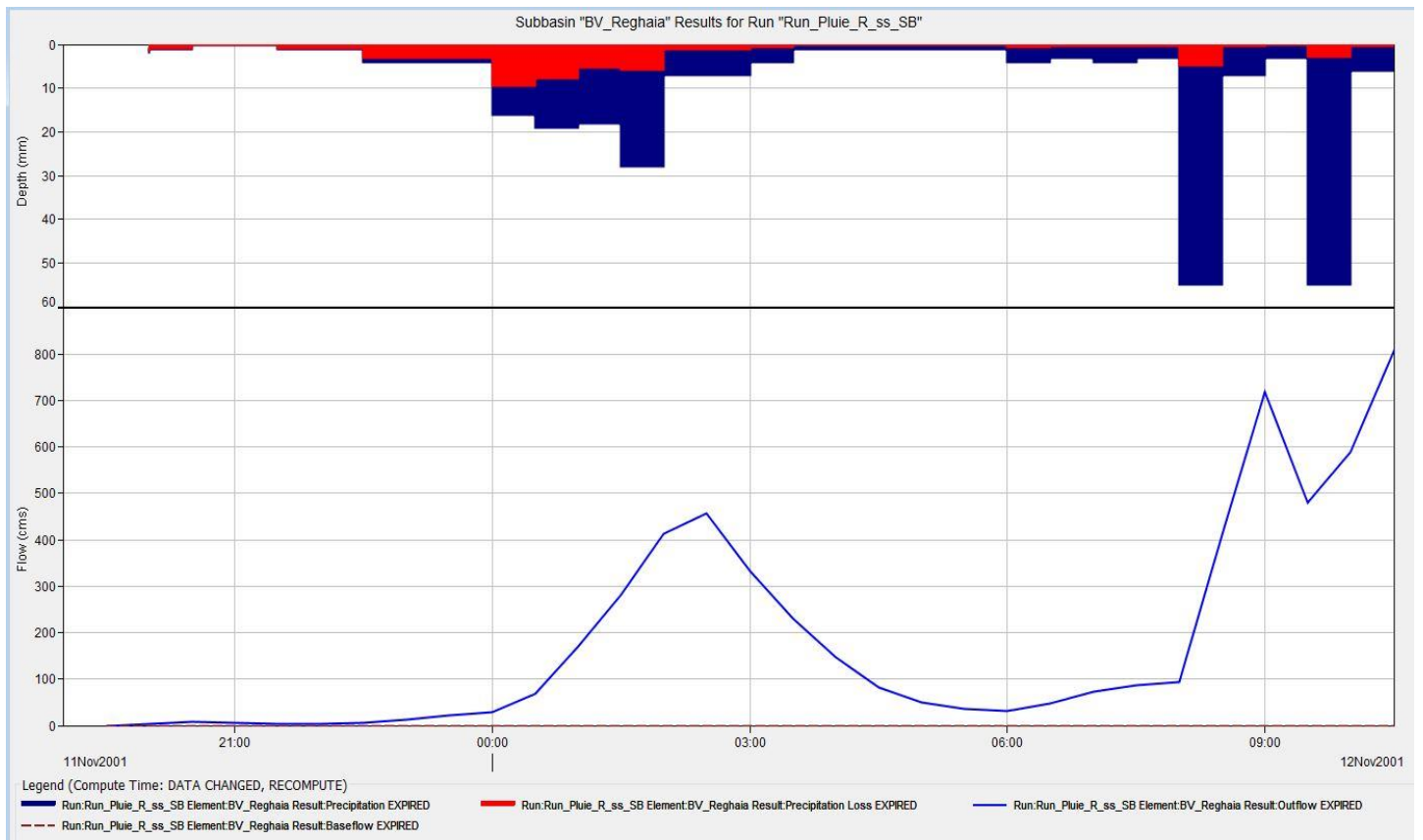


Figure III. 10: Hydrogramme d'une averse réelle de bassin versant Réghaia .

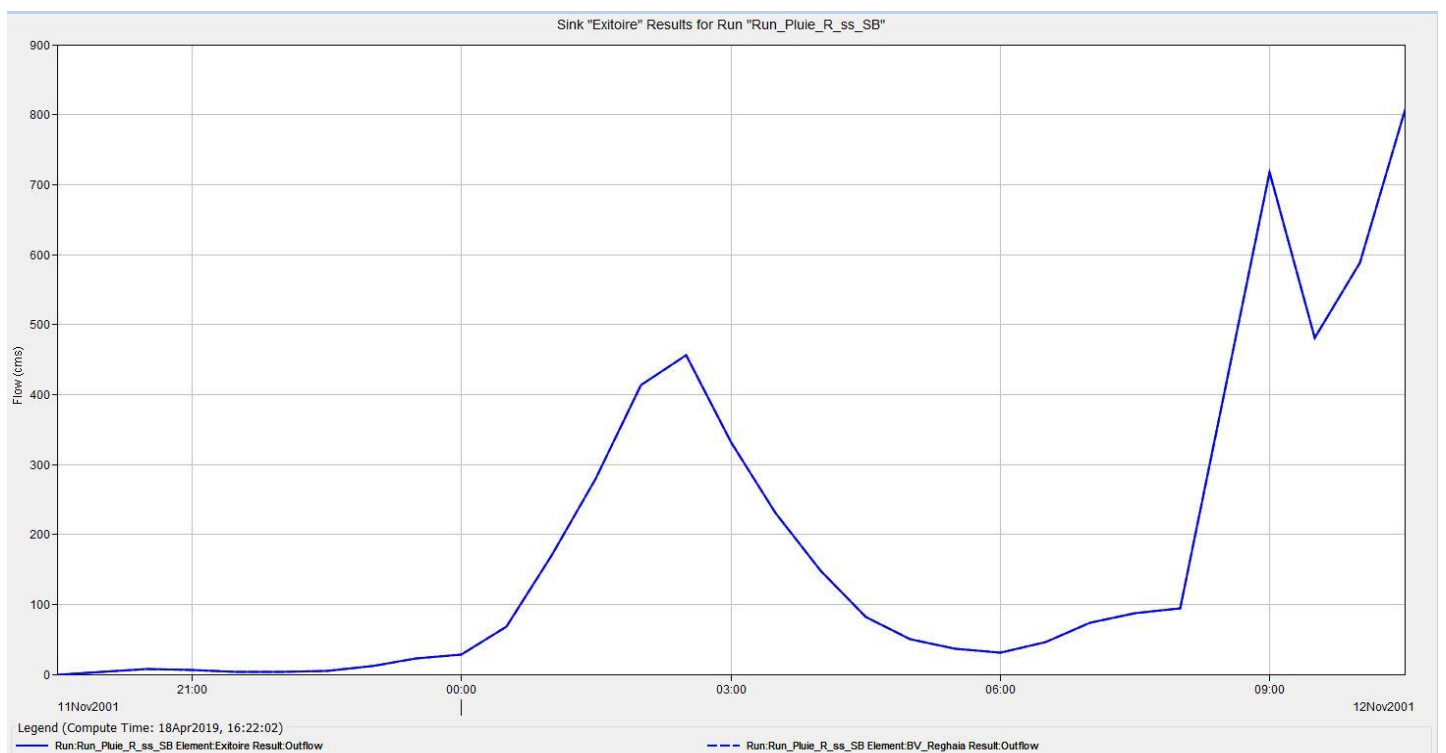


Figure III. 11: Hydrogramme d'une averse réelle de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia .

III.3. Bassin versant de Réghaia avec Subdivision hydrologique

Pour diviser la surface totale en sous bassins on a pris compte des différents affluents naturels, en utilisant les noms donnés par les services de la DRE d'Alger.

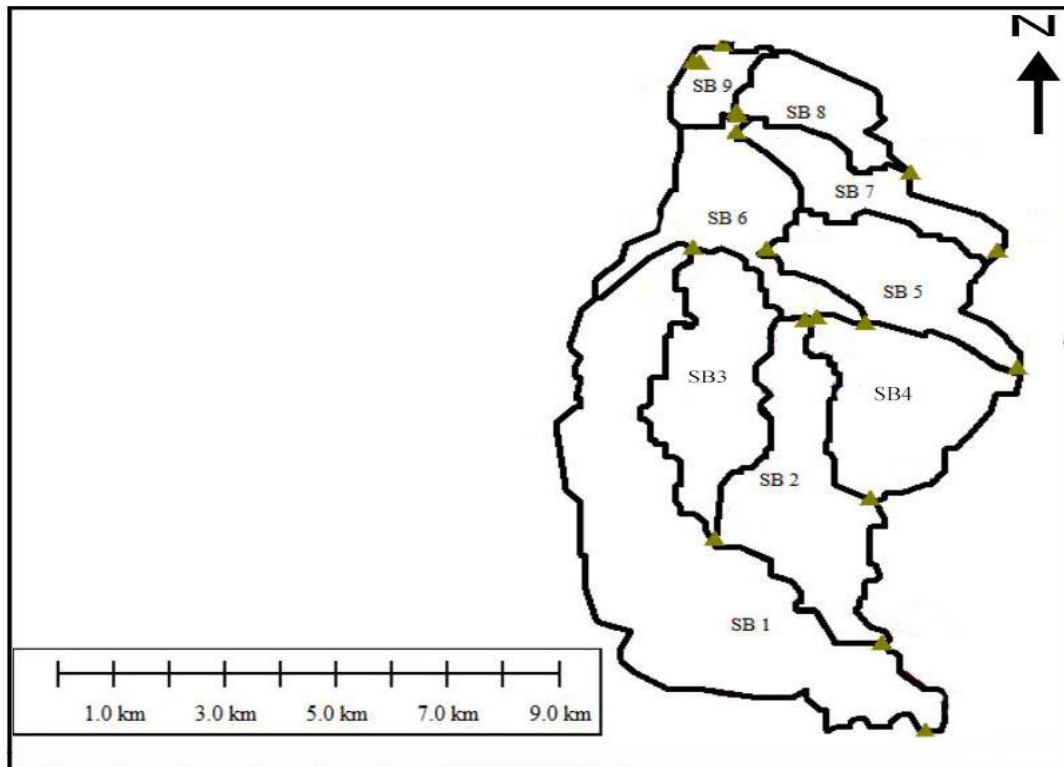


Figure III. 12: Division en sous bassin

Le temps de concentration, le temps de parcours et le curve number calculés pour chaque sous bassin sont données dans les tableaux III.6; III.7, III.8.

Tableau III. 8: Calcul du temps de concentration et de parcours des sous bassins

SB	Code	Surface (Km)	$H_{max}(m)$	$H_{min}(m)$	$L_p(m)$	$H_{max} - H_{min}$	Kirpitch (min)	lag(min)
Guesbain	SB1	17.92	206	17	11.55	189	51.04	30.63
Berrabah	SB2	7.746	154	27	4.82	127	21.68	13.01
Boukerrouch	SB3	6.512	87	16	3.85	71	20.92	12.55
Mekhfi	SB4	6.733	114	30	2.62	84	12.57	7.54
Kerrouch	SB5	5.196	90	16	2.85	74	14.55	8.73
Reghaia_ amont	SB6	5.377	53	4	1.08	49	5.56	3.43
El bey_Djaafri	SB7	3.444	60	5	4.21	55	25.59	15.36
Cheb-Cheb	SB8	2.847	42	4	2.94	38	19.49	11.69
Reghaia-aval	SB9	1.448	29	0	1.41	29	9.26	5.55

Tableau III. 9: Exemple de détermination du CN-SB-Réghaia_Aval.

Type	S(Km ²)	CN	
Agricole	0.4	69	27.6
Hab. Dispersé	0.28	72	20.16
Agricole	0.27	67	18.09
Hab.dense	0.37	85	31.45
Hab.dense	0.12	85	10.2
		CN_p	74.65

Tableau III. 10 : Curve number et pourcentages de surfaces imperméabilisées des sous bassins.

S.B	Surface (Km ²)	CN	S _{imp} (Km ²)	C _{imp,%}
Guesbain	29.757	73.32	3.42	11.49
Berrabah	17.684	81.27	1.950	11.03
Boukerrouch	15.358	79.02	1.8	11.72
Mekhfi	12.005	79.87	3.560	29.65
Kerrouch	12.588	75.08	2.520	20.02
Reghaia_ament	16.785	74.65	3.340	19.90
El bey_Djaafri	12.004	82.57	1.750	14.58
Cheb-Cheb	8.888	75.91	1.282	14.42
Reghaia-aval	5.896	78.78	1.390	23.58

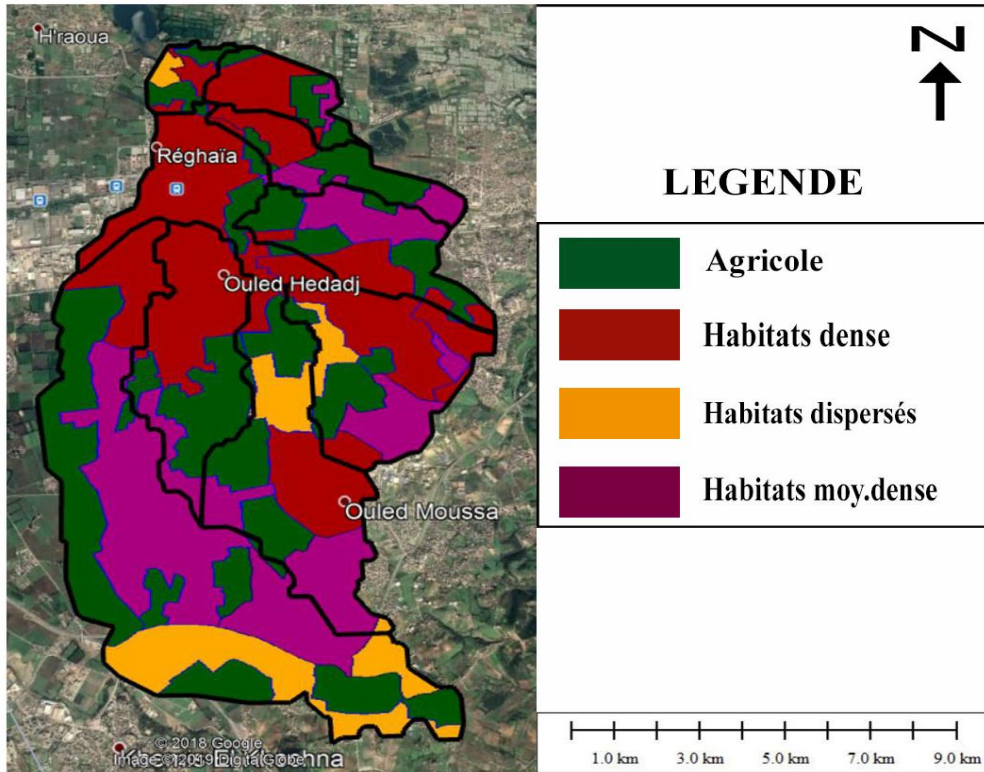


Figure III. 13: estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin subdivisé hydrologiquement (Google Earth, 2018).

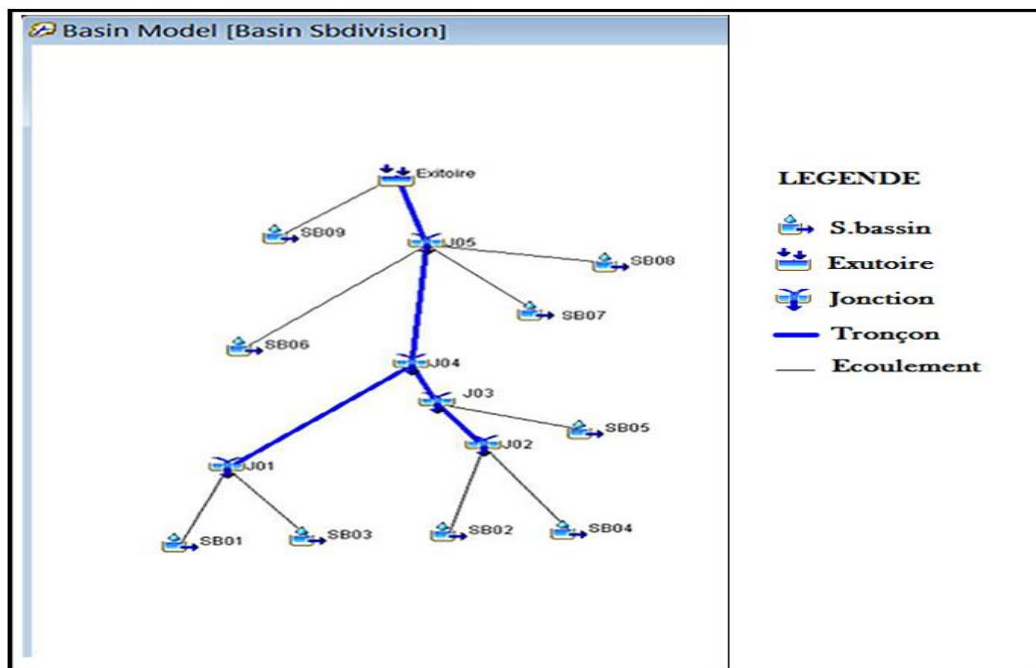


Figure III. 14: Représentation du schéma d'écoulement sur HEC-HMS pour un bassin subdivisées en hydrologique.

III.3.1. Résultats et simulation de l'hydrogramme de crue pour le bassin avec subdivision hydrologique

III.3.1.1. simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Synthétique pour le bassin avec subdivision hydrologique

Tableau III. 11: Résultats globaux de débits des sous bassins .

Elément	Code	Débits (m^3/s) selon (T, Durée)					
		06H 100ans	06H 50ans	6H	24H 100ans	24H 50ans	24H
Jonction	J05	1782.5	1494.2	607.9	2442.6	1857.4	858.3
Boukerrouch	SB03	353.6	296.1	117.8	481.5	366.5	169.2
Guesbain	SB01	372.2	310.9	111.1	551.8	410.7	175.1
Jonction	J01	635.1	532.9	200.1	920.2	690.9	304.0
Tonçon	R02	593.9	501.0	188.4	870.5	653.8	287.9
Tonçon	R01	655.8	540.1	235.9	817.9	630.9	306.6
Kerrouch	SB05	376.8	311.8	124.7	511.7	386.9	176.0
Tonçon	R03	927.0	769.1	325.9	1204.2	922.4	438.2
Berrabah	SB02	418.3	349.8	145.1	549.9	422.1	200.7
Mekhfi	SB04	463.8	380.6	173.5	564.8	437.3	216.6
Jonction	J03	993.8	828.6	347.7	1313.3	1004.0	474.1
Jonction	J02	882.1	730.4	318.6	1114.7	859.4	417.3
Jonction	J04	1520.8	1270.0	514.4	2074.7	1576.2	726.2
Tonçon	R04	1381.8	1148.0	466.6	1861.4	1414.6	652.4
Reghaia_ amont	SB06	535.9	442.9	176.1	729.4	550.7	249.3
El bey_Djaafri	SB07	280.5	230.9	102.1	344.4	266.8	131.3
Cheb-Cheb	SB08	205.1	171.4	65.6	288.9	217.7	97.3
Tronçon	R05	1748.0	1455.6	596.0	2353.9	1791.3	829.9
Reghaia_aval	SB09	215.7	177.5	77.2	272.2	209.2	100.7
Exutoire	Exitoiree	1791.2	1490.2	612.2	2403.0	1829.4	848.9

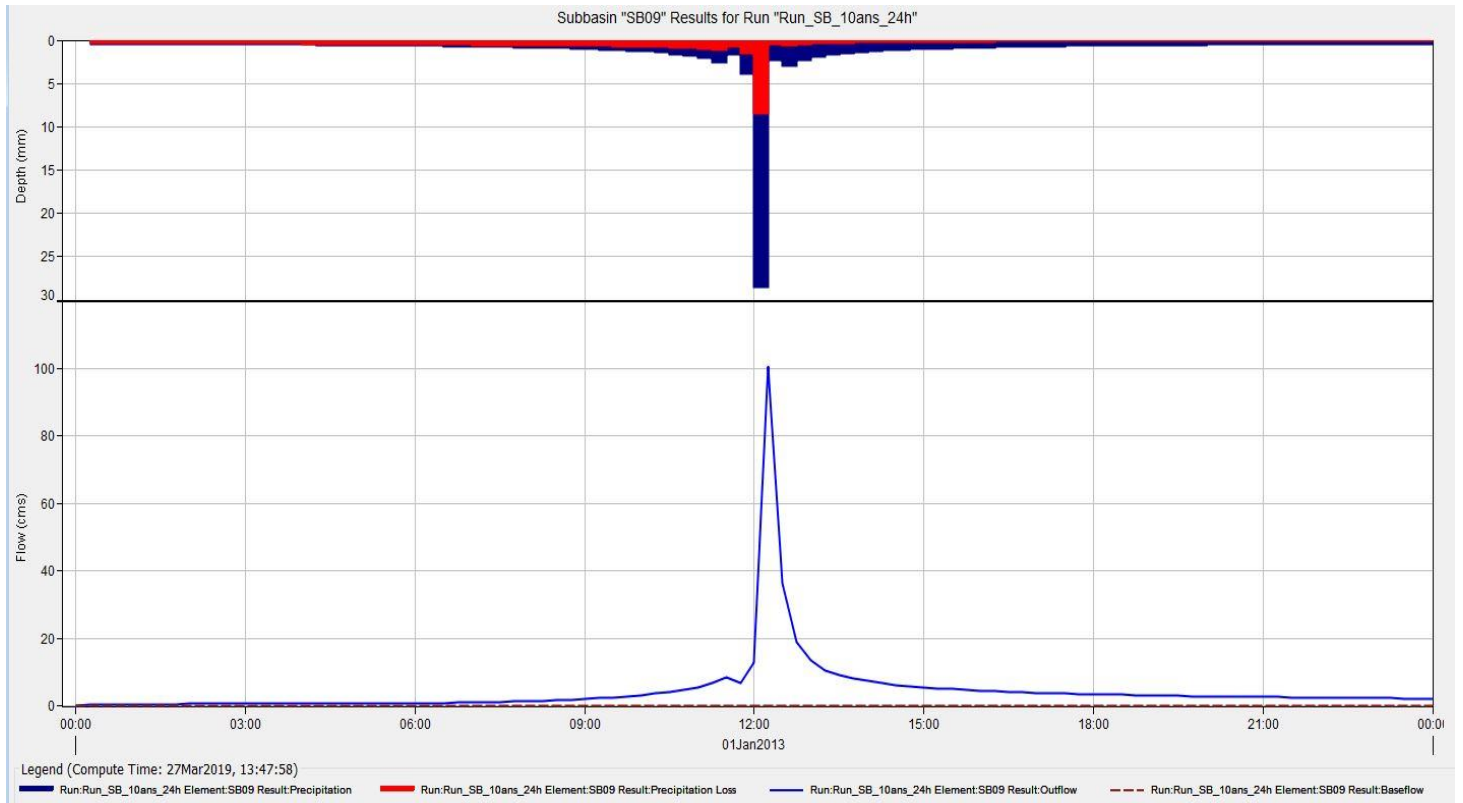


Figure III. 15: Hydrogramme de sous-bassin Réghaia-Aval 24H-10ans.

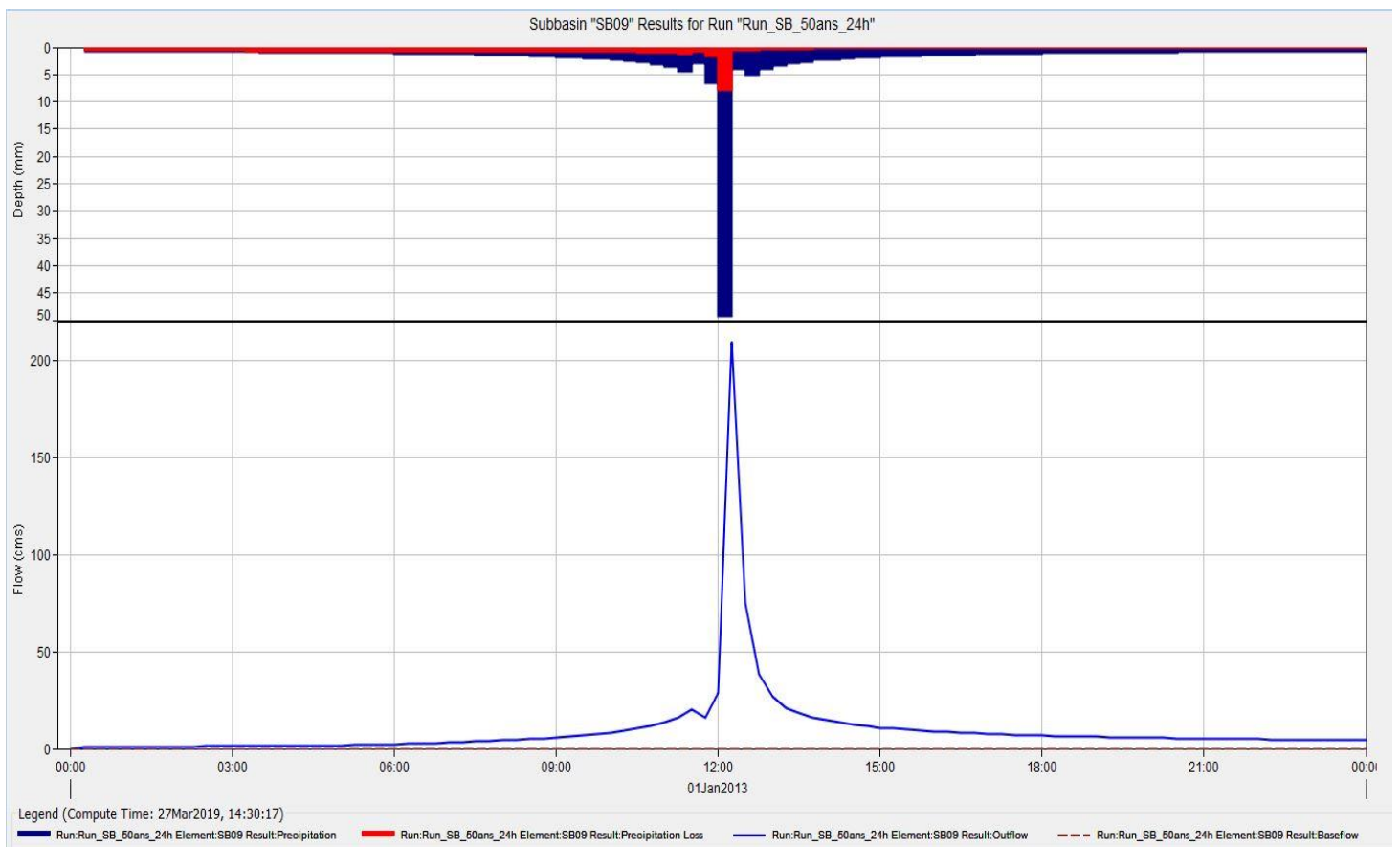


Figure III. 16: Hydrogramme de sous-bassin Réghaia-Aval 24H-50ans.

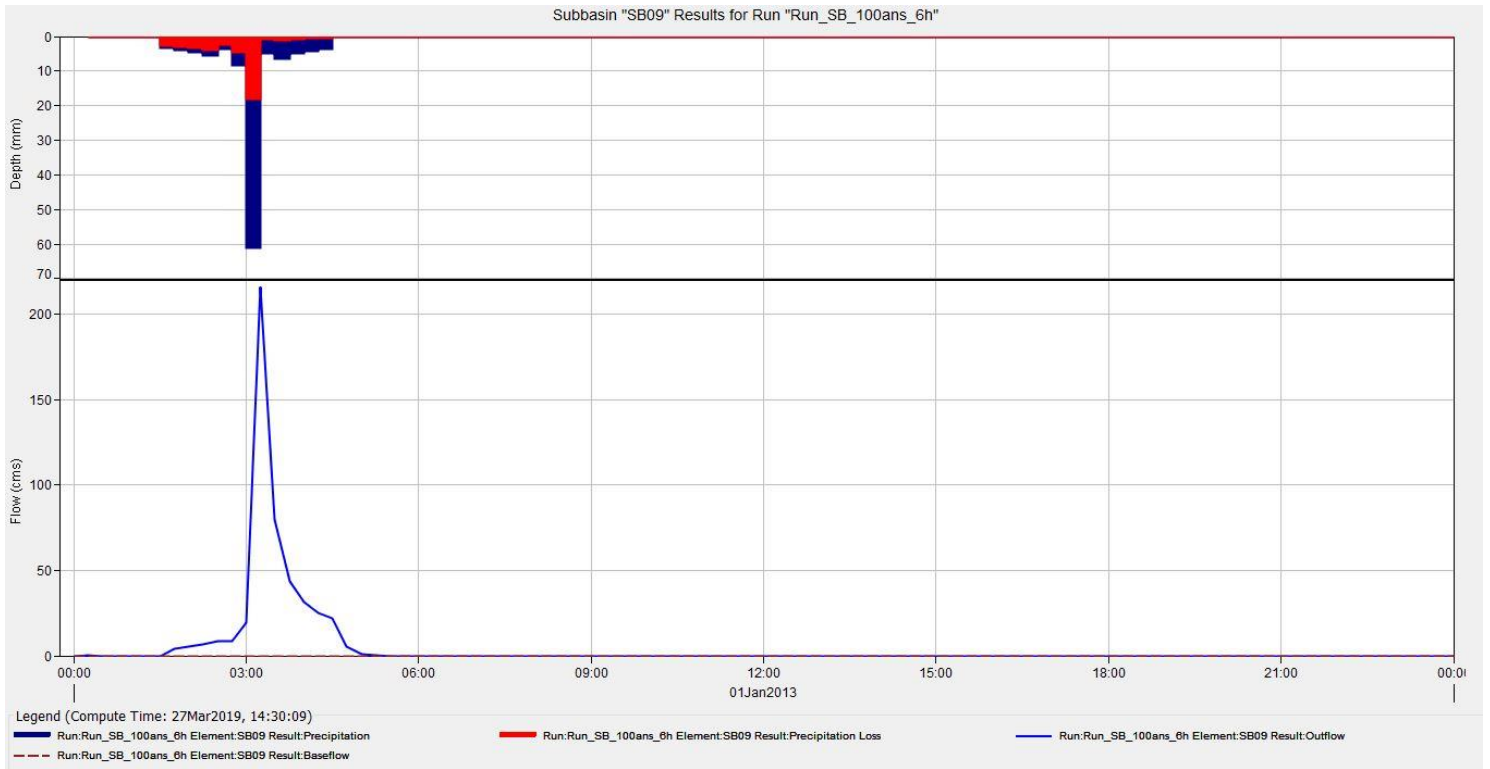


Figure III. 17: Hydrogramme de sous-bassin Réghaia-Aval 6H-100ans

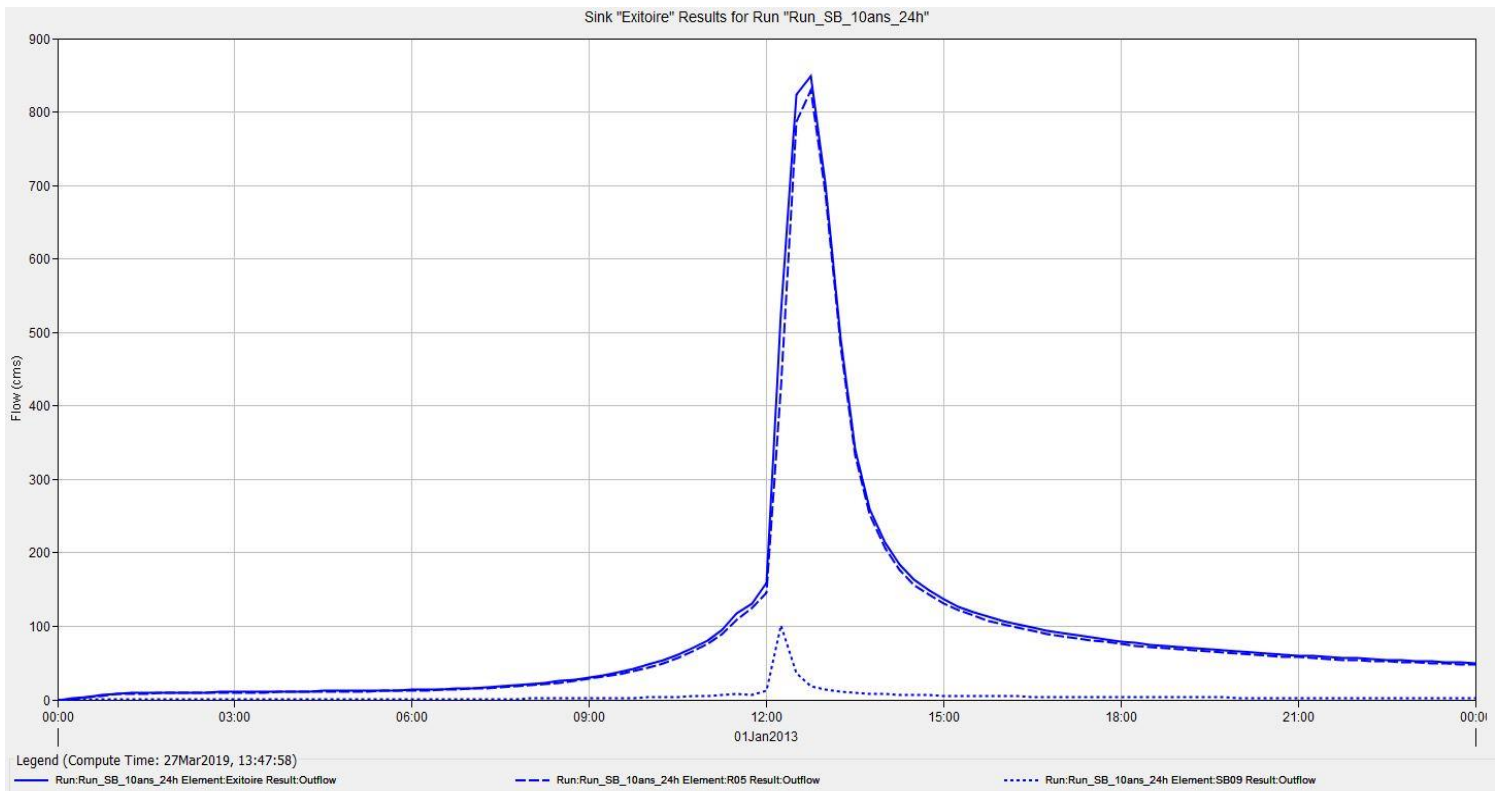


Figure III. 18: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisée hydrologiquement 24H-10ans.

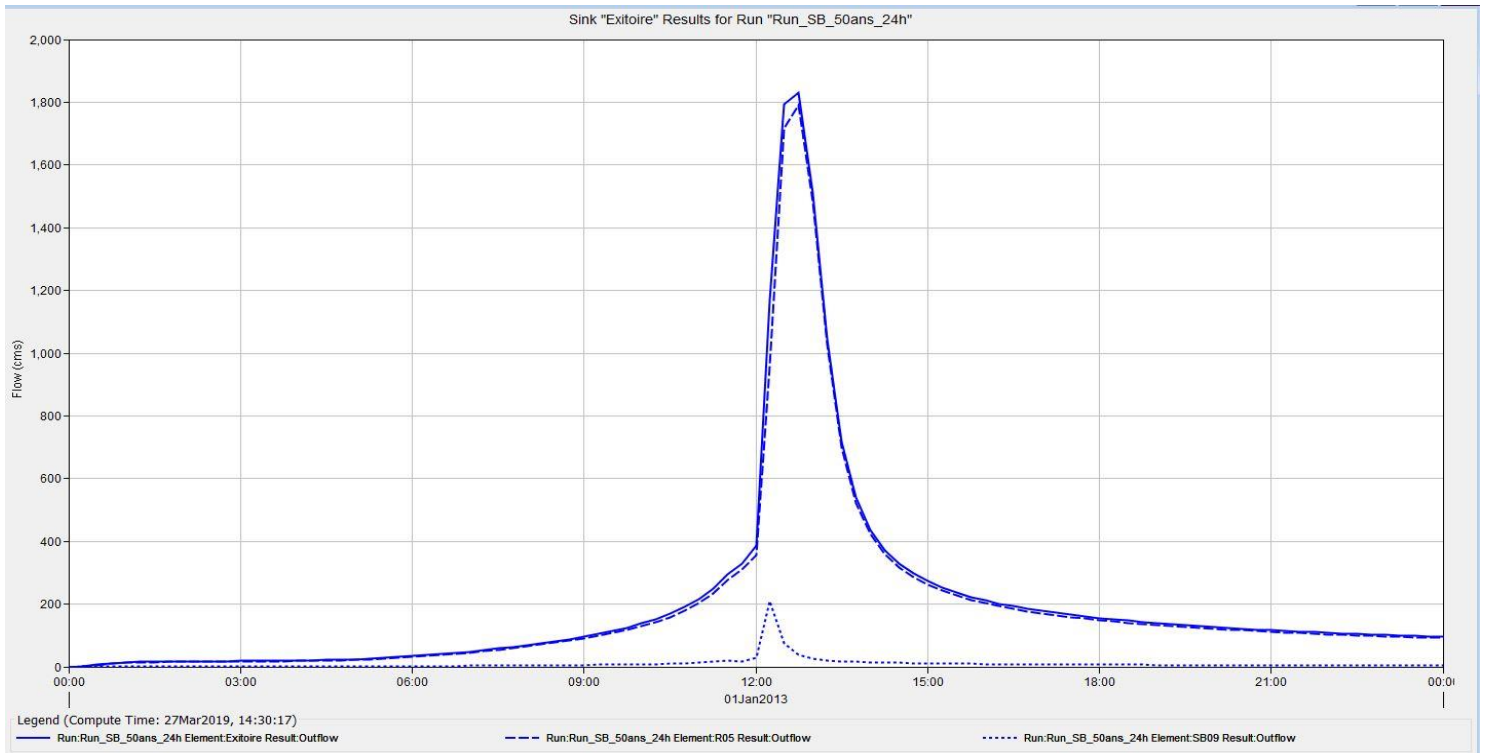


Figure III. 19: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisée hydrologiquemen24H-50ans.

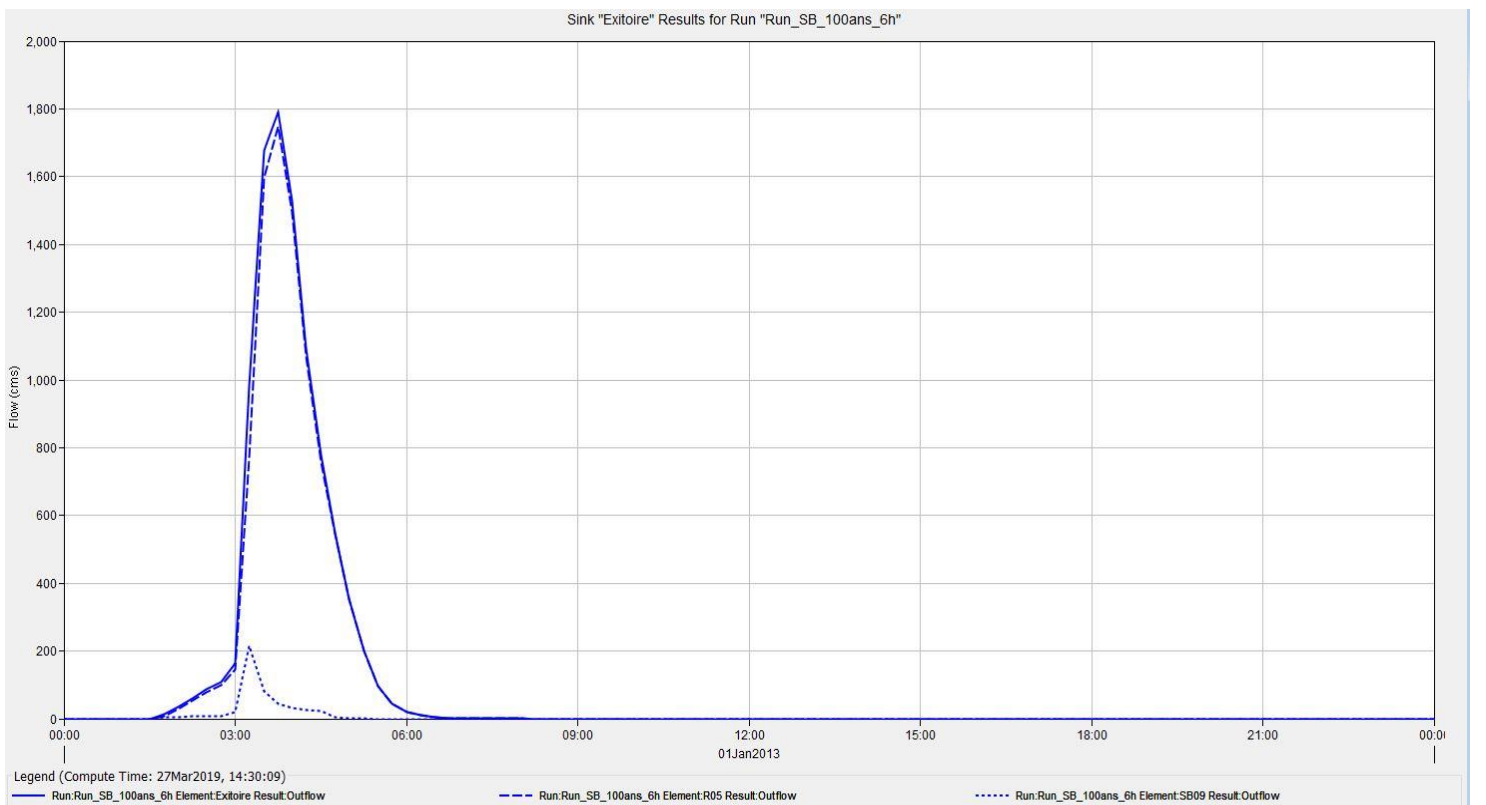


Figure III. 20: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour bassin subdivisée hydrologiquemen 6H-100ans.

III.3.1.2.simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Réelles pour le bassin avec subdivision

Tableau III. 12: Résultats de débits pour un bassin subdivisé hydrologiquement(pluie réel).

Elément	Code	Débits (m ³ /s)
Jonction	J05	1914.3
Boukerrouch	SB03	341.6
Guesbain	SB01	403.9
Jonction	J01	722.5
Tonçon	R02	655.7
Tonçon	R01	572.4
Kerrouch	SB05	275.6
Tonçon	R03	641.1
Berrabah	SB02	397.5
Mekhfi	SB04	270.8
Jonction	J03	848.0
Jonction	J02	668.3
Elément	Code	Débits (m ³ /s)
Jonction	J04	1296.8
Tonçon	R04	1163.1
Reghaia_ amont	SB06	366.6
El bey_Djaafri	SB07	269.2
Cheb-Cheb	SB08	194.6
Tronçon	R05	1607.7
Reghaia_aval	SB09	132.0
Exutoire	Exitoiree	1739.7

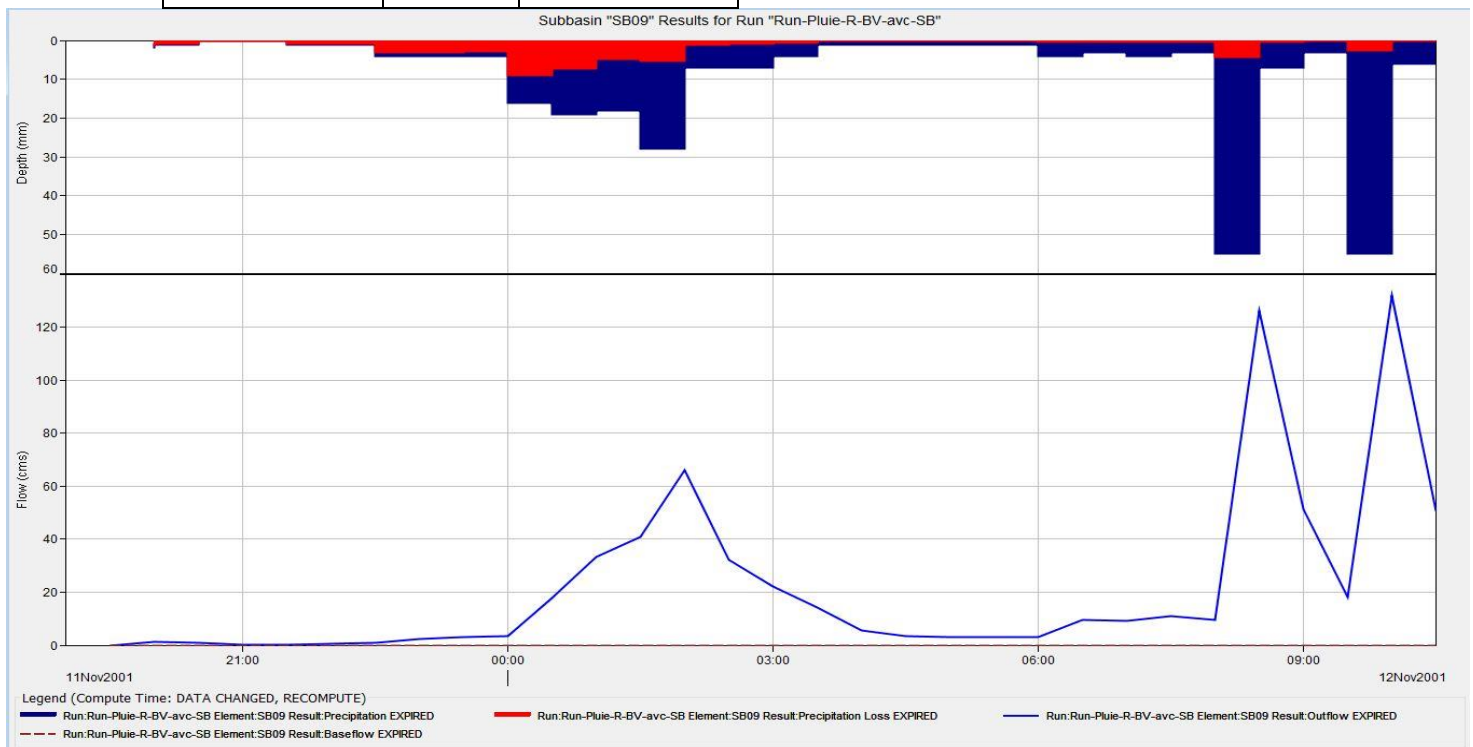


Figure III. 21: Hydrogramme d'une averse réelle de sous-bassin Réghaia-Aval .

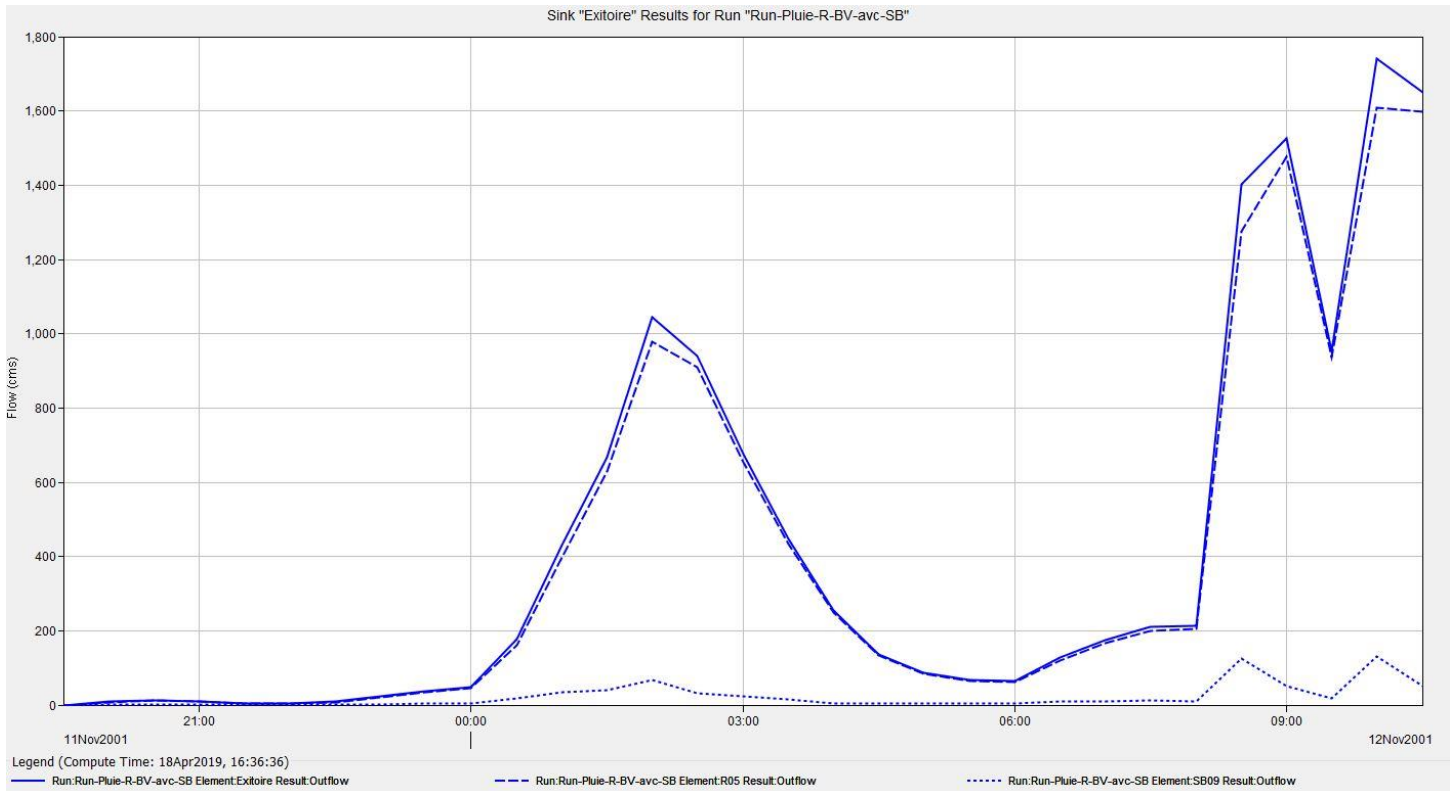


Figure III. 22: Hydrogramme d'une averse réelle de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour bassin subdivisé hydrologiquement.

III.4. Bassin versant de Réghaia avec Subdivision en série :

Il y a deux cas possible dans la subdivision d'un bassin versant comme le montre la figure (III.23), la première est une subdivision en série, La deuxième est une subdivision en parallèle.

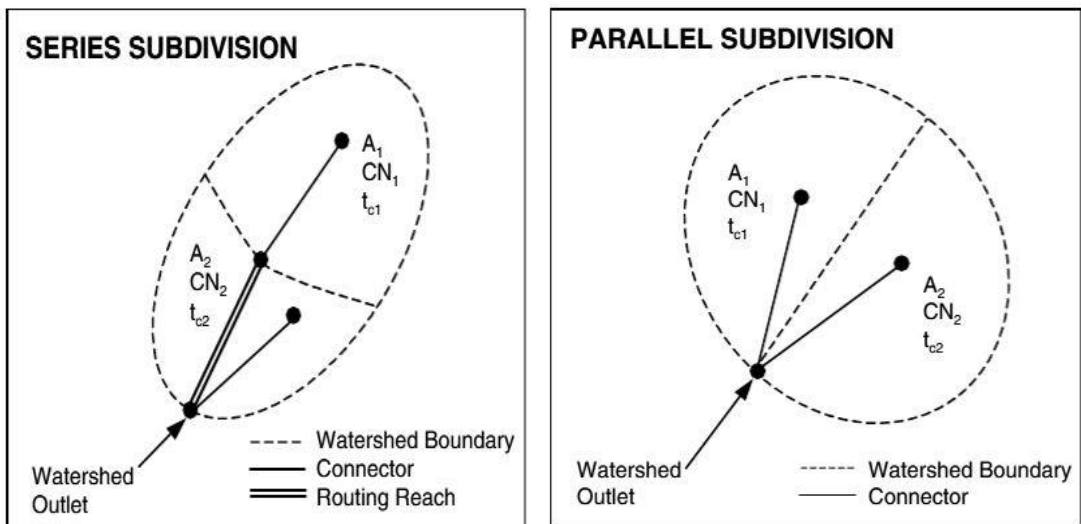


Figure III. 23: subdivision en série et en parallèle

Pour savoir quelle subdivision influe plus sur notre bassin, On fait les mêmes étapes montrées au-dessus, commençant par la subdivision en série.

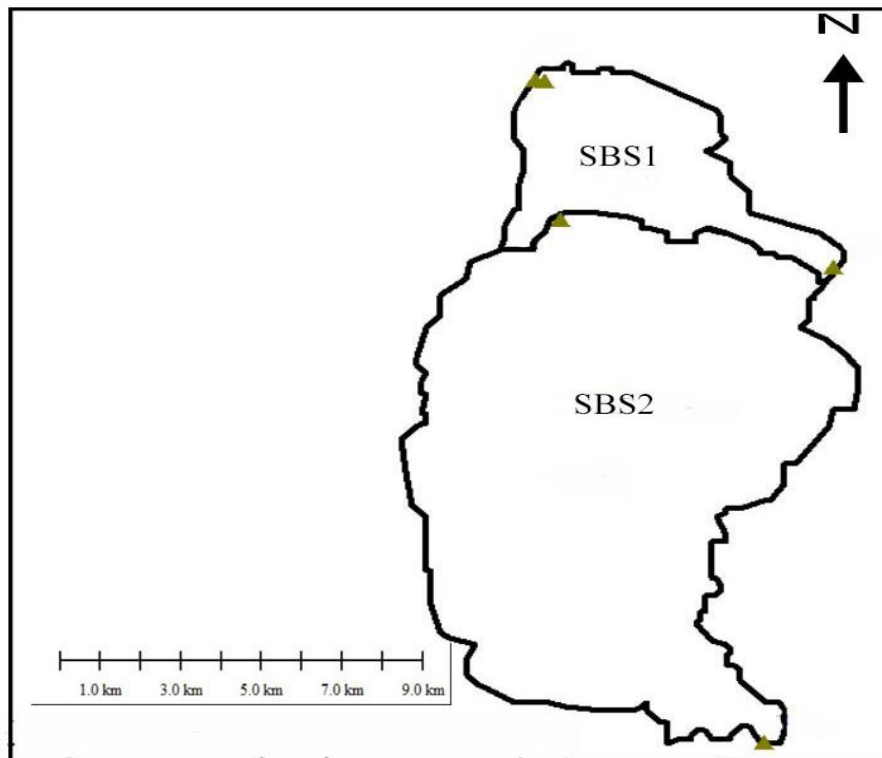


Figure III. 24: Division de bassin versant en series

Tableau III. 13: Calcul du temps de concentration des sous bassin en séries.

Code de SB	Surface (Km)	$H_{max}(m)$	$H_{min}(m)$	$L_p(m)$	$H_{max} - H_{min}$	Kirpitch (min)	lag (min)
SBS1	10.01	60	0	15480	189	111.35	66.81
SBS2	47.279	206	7	12680	127	55.74	33.44

Tableau III. 14:détermination du CN de SBS1

<i>Type</i>	<i>S(Km²)</i>	<i>CN</i>	
Agricole	0.45	67	30.15
Hab. Dispersé	0.28	72	20.16
Hab. Dense	3.11	85	264.35
Agricole	0.46	69	31.74
Agricole	0.5	69	34.5
Agricole	0.3	69	20.7
Hab.moy.dense	0.25	75	18.75
Agricole	1.47	69	101.43
Hab. Moy.dense	0.87	75	65.25
Agricole	0.03	69	2.07
Hab. Dense	2.25	85	191.25
		CN_p	78.27

Tableau III. 15: détermination du CN de SBS2.

<i>Type</i>	<i>S(Km²)</i>	<i>CN</i>	
Hab.dense	7.75	85	658.75
Agricole	1.19	69	82.11
Hab. Moy.dense	1.61	75	120.75
Agricole	0.87	67	58.29
Agricole	0.52	69	35.88
Hab. Dense	3.97	69	273.93
Hab. Dense	1.1	85	93.5
Hab. Moy.dense	0.18	75	13.5
Agricole	0.2	83	16.6
Hab.disperse	1.59	72	114.48
Agricole	1.1	67	73.7
Agricole	2.9	69	200.1
Agricole	0.4	69	27.6
Hab. Moy.dense	6.2	75	465
Agricole	3.92	69	270.48
Agricole	0.78	69	53.82
Hab. Dense	2.28	85	193.8
Agricole	0.9	69	62.1
Hab. Moy.dense	1.21	81.5	95.43
Agricole	0.42	69	28.98
Agricole	0.32	69	22.08
Hab. Moy.dense	2.97	75	222.75
Hab. Disperse	0.68	81.5	35.5
Hab. Desperse	2.42	72	174.24
Agricole	0.32	69	22.08
Agricole	0.68	69	46.92
Agricole	0.7	69	48.3
Agricole	2.9	69	200.1
		CN_p	74.41

Tableau III. 16: Curve number et pourcentages de surfaces imperméabilisées des sous-bassin en série .

S.B	Surface (Km ²)	CN	S _{imp} (Km ²)	C _{imp,%}
SBS1	10.01	78.27	6.092	60.86
SBS2	47.279	74.41	14.92	31.57

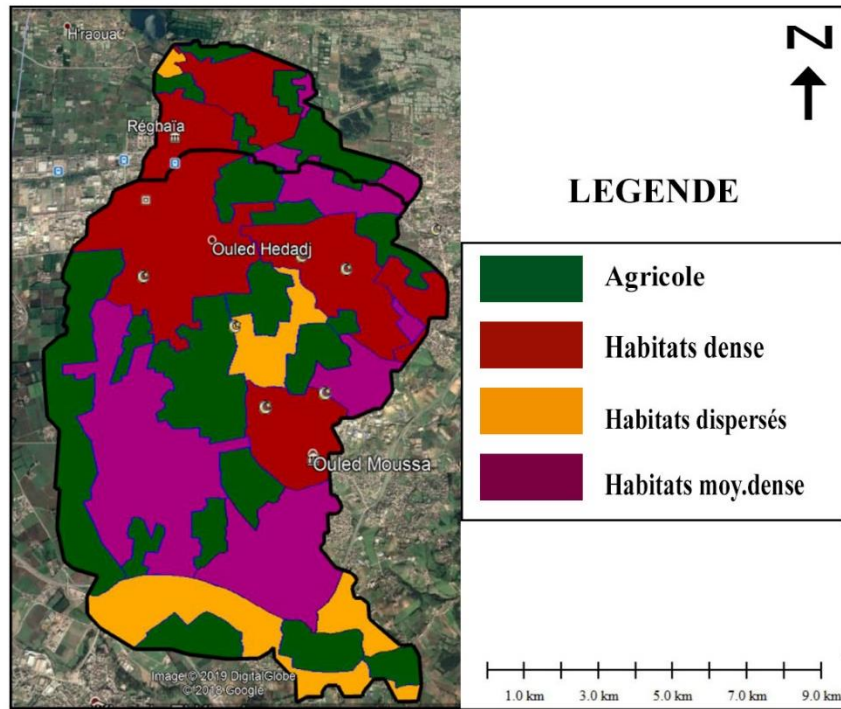


Figure III. 25: Estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin subdivisée en série (Google Earth, 2018).

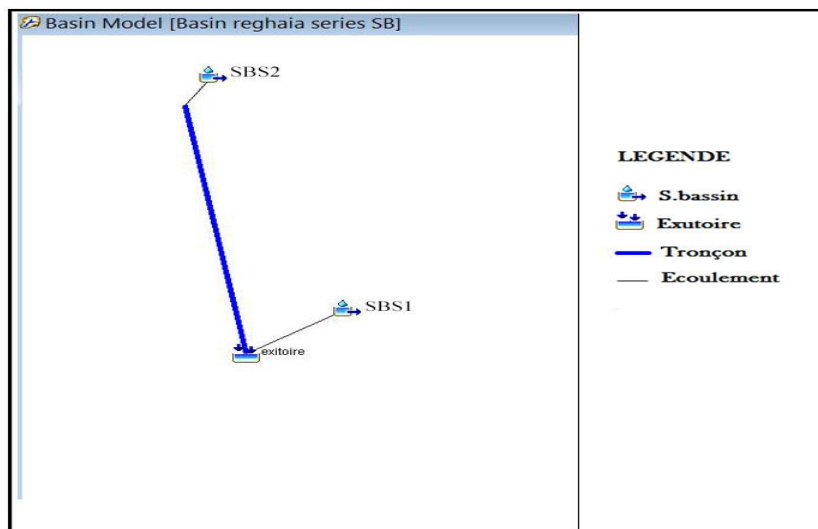


Figure III. 26: Représentation du schéma d'écoulement sur HEC-HMS pour un bassin subdivisées en série .

III.4.1. Résultats et simulation de l'hydrogramme de crue pour le bassin avec subdivision en série

III.4.1.1. simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Synthétique pour le bassin avec subdivision en série

Tableau III. 17: Résultats globaux de débits des sous bassins en série

Elément	Débits (m^3/s) selon (T, Durée)					
	06H 100ans	06H 50ans	6H 10 ans	24H 100ans	24H 50ans	24H 10ans
SBS2	609.0	509.5	192.7	877.4	658.4	289.5
Rive	584.1	487.0	185.4	832.4	625.1	275.6
SBS1	294.1	244.7	92.4	406.3	307.3	138.1
exitoire	619.8	515.1	198.3	871.5	655.4	290.5

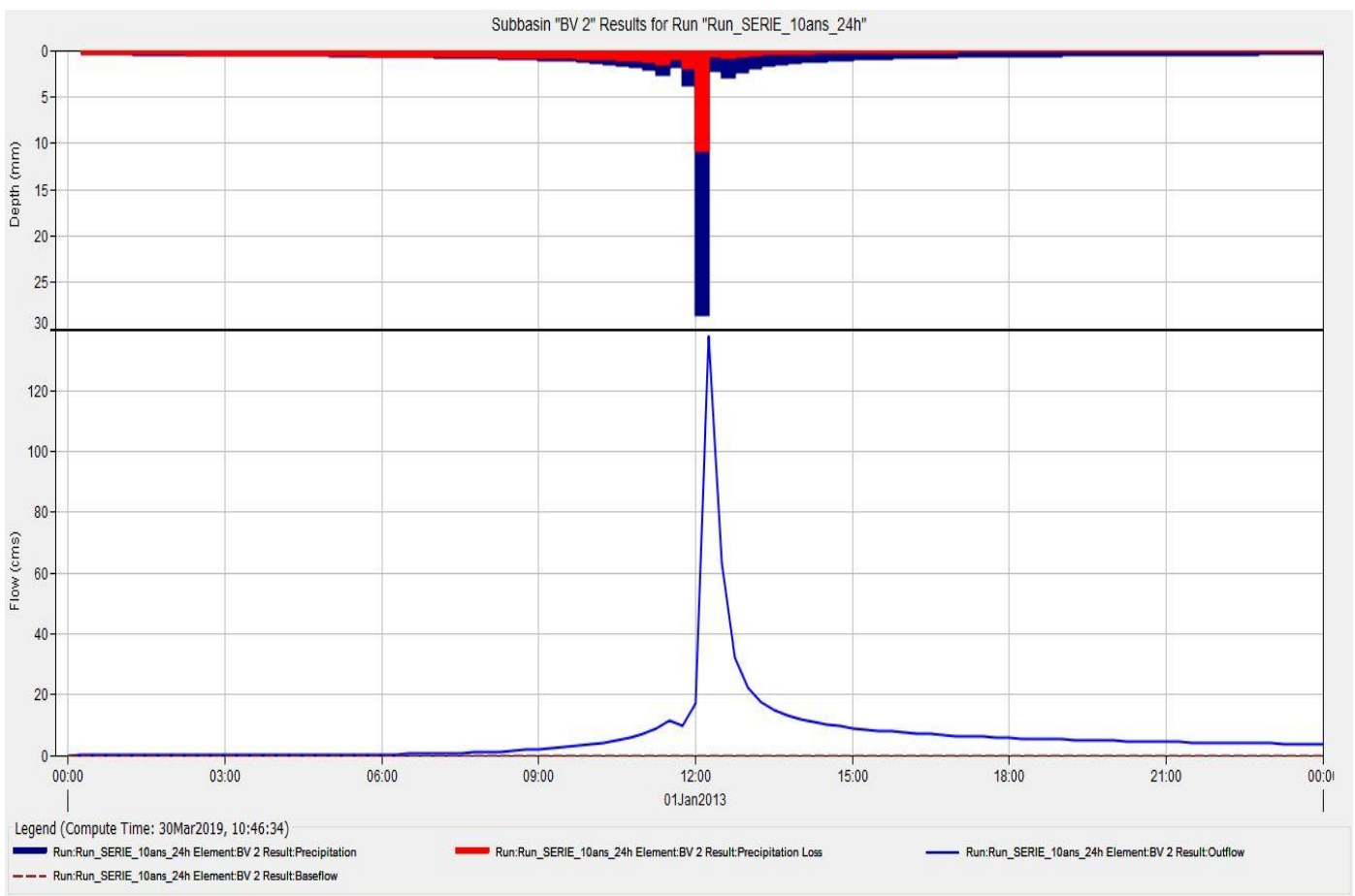


Figure III. 27: Hydrogramme de sous-bassin SBS2-24H-10ans.

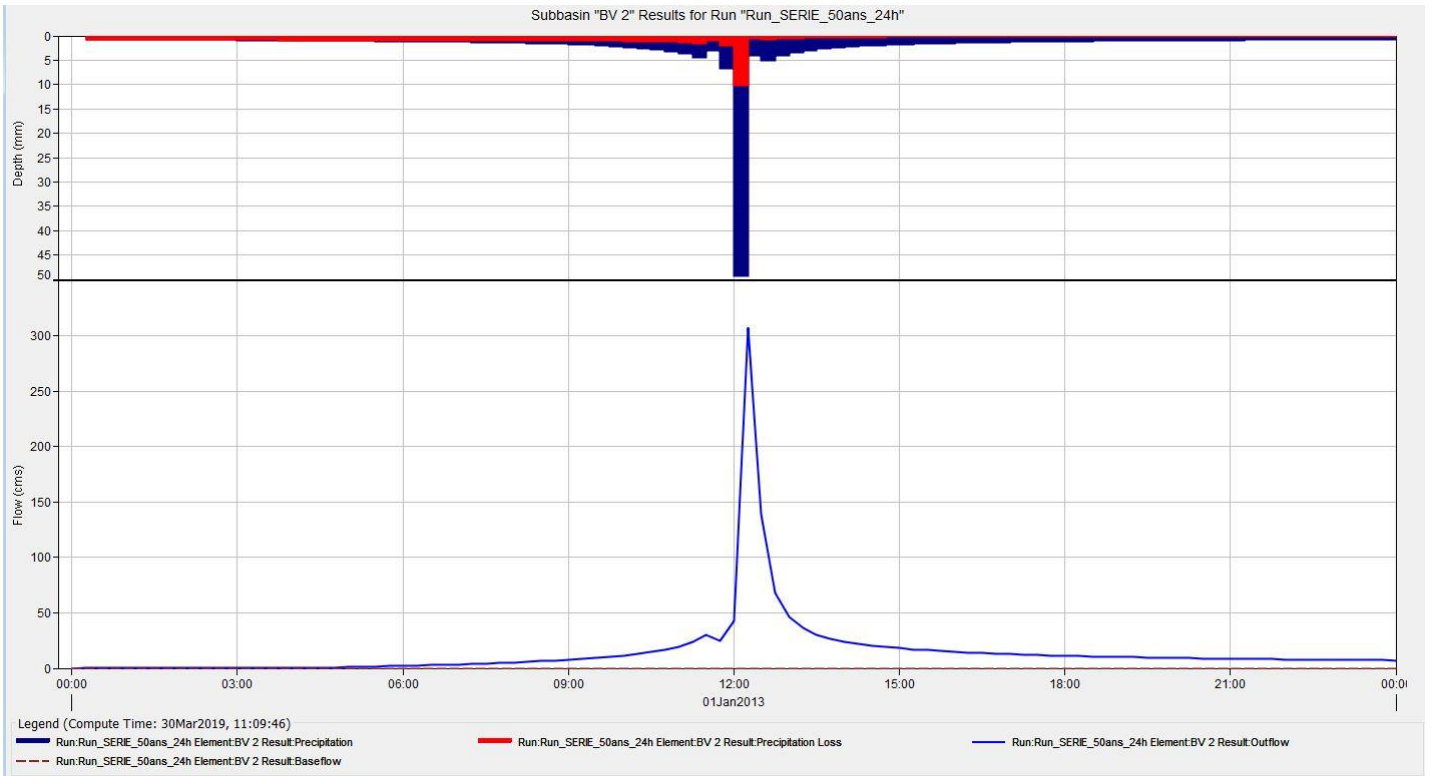


Figure III. 28: Hydrogramme de sous-bassin SBS2-24H-50ans.

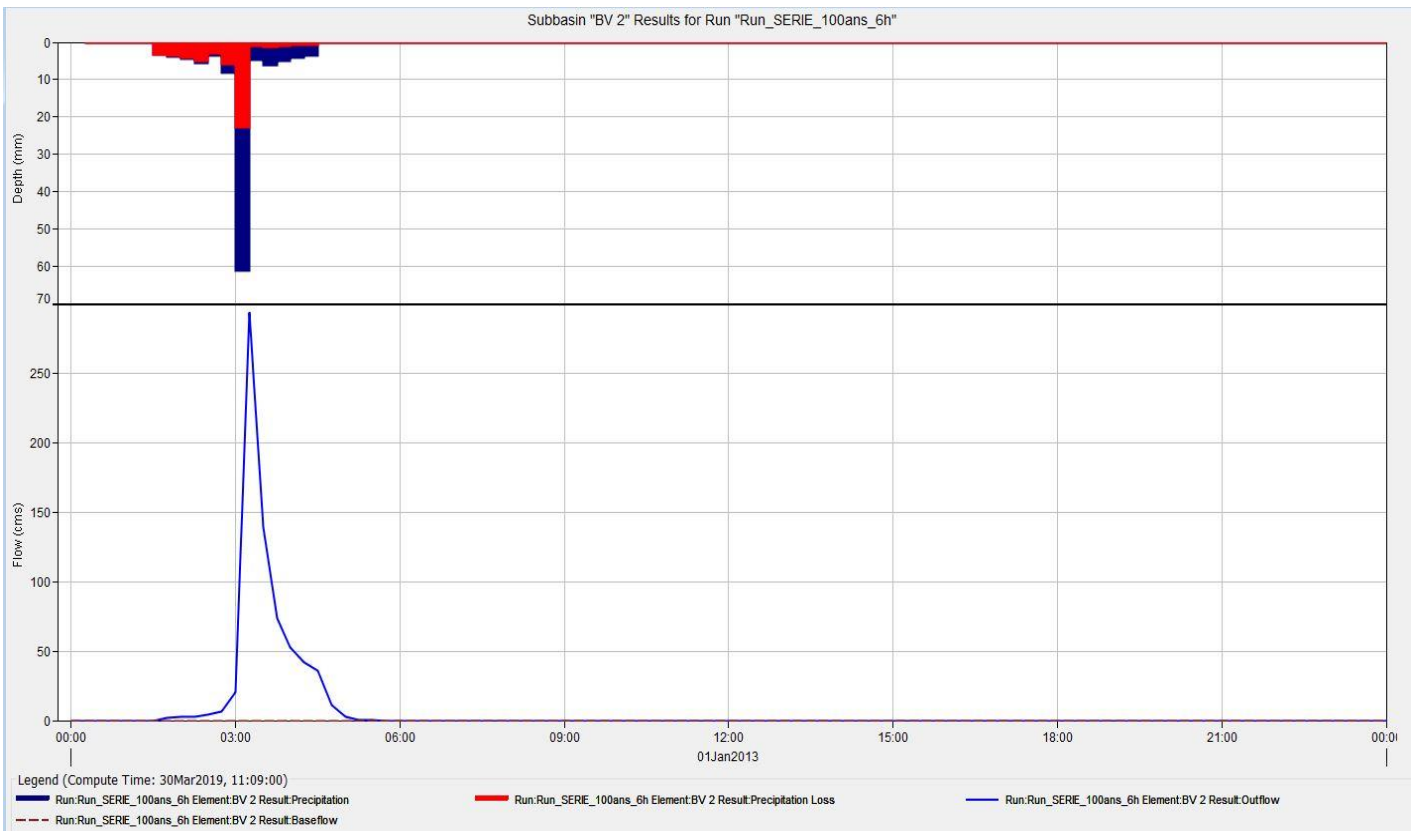


Figure III. 29: Hydrogramme de sous-bassin SBS2-6H-100ans.

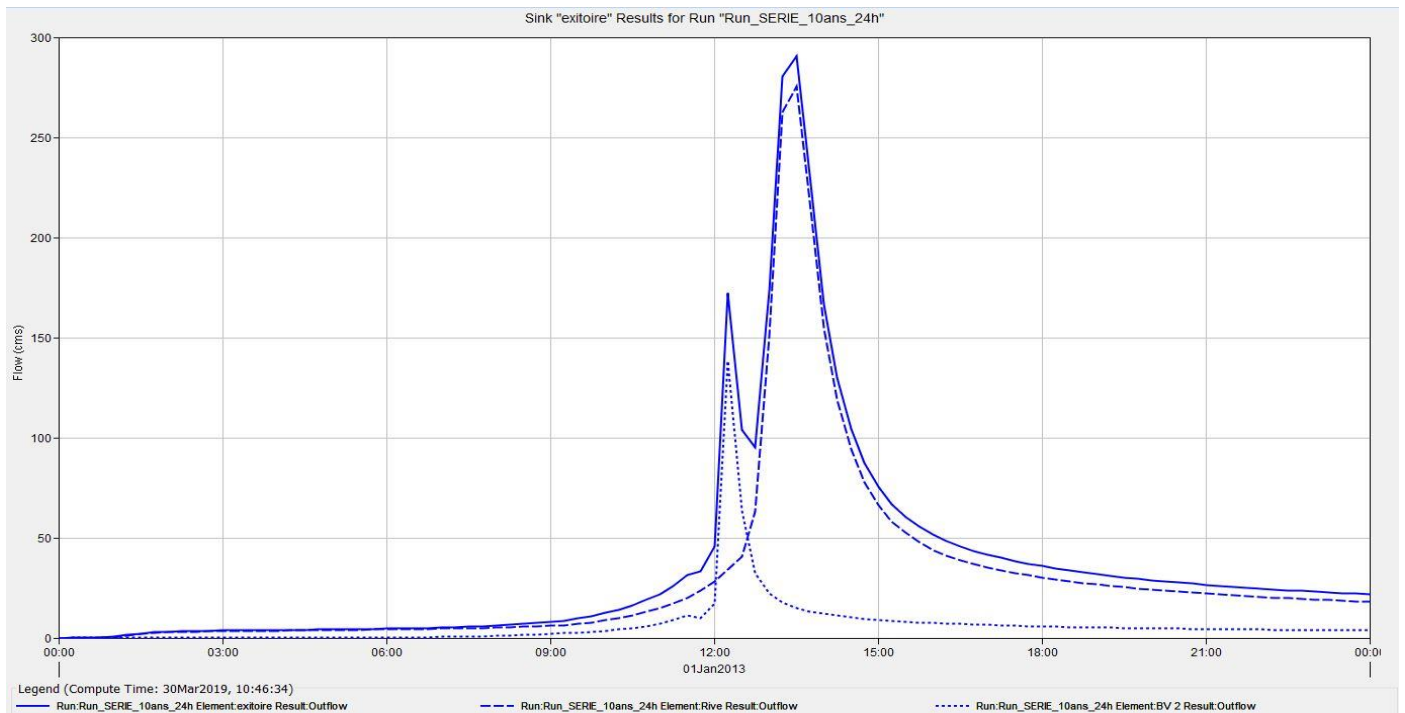


Figure III. 30: Hydrogramme de sortie à l'exitoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en série 24H-10ans.

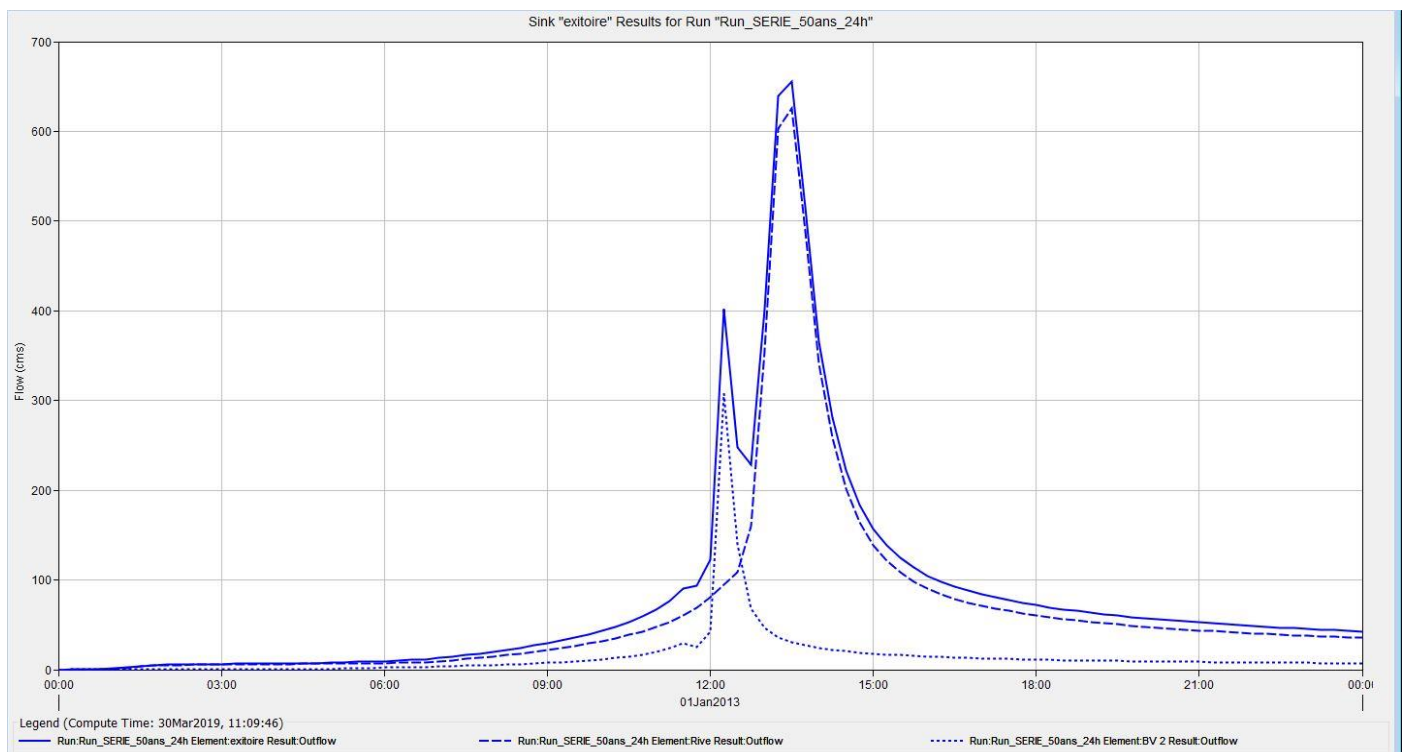


Figure III. 31: Hydrogramme de sortie à l'exitoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en série 24H-50ans.

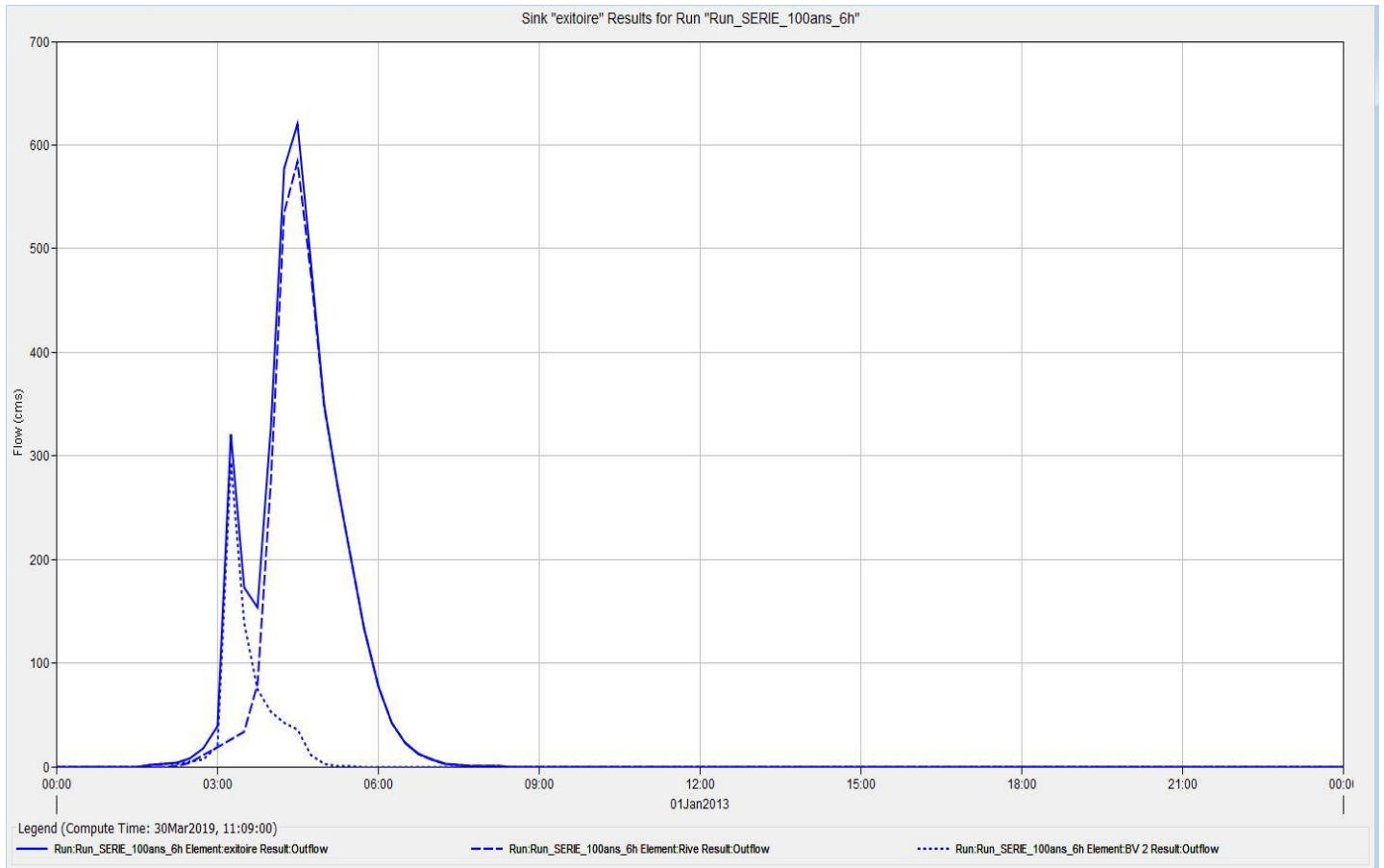


Figure III. 32: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en série 6H-100ans.

III.4.1.2. simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Réelles pour le bassin avec subdivision en série

Tableau III. 18: Résultats globaux de débits des sous bassins en série (pluie réel).

Elément	Code	Débits (m^3/s)
SBS2	SBS2	659.3
Rive	Rive	550.6
SBS1	SBS1	220.9
Exitoire	exitoire	637.8

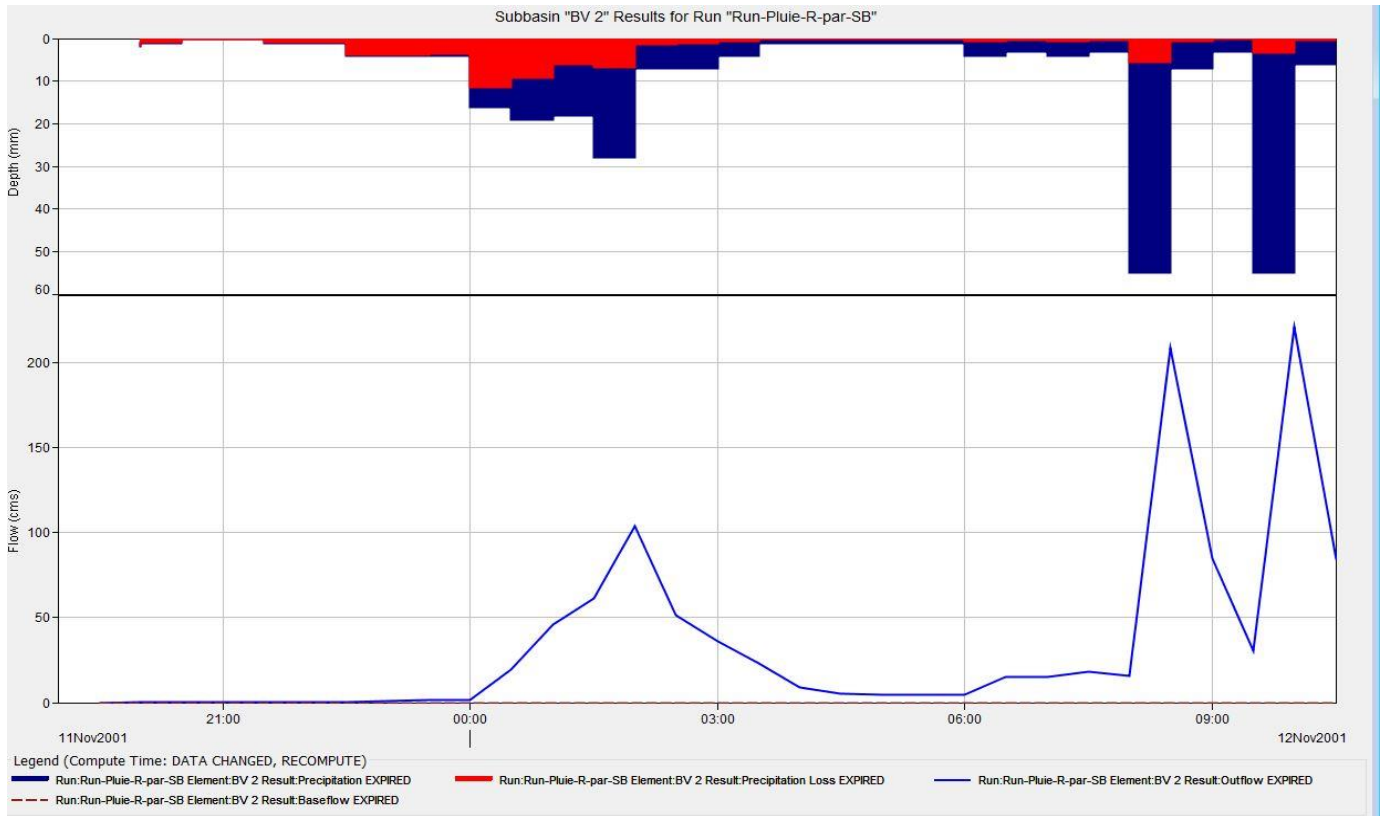


Figure III. 33: Hydrogramme d'une averse réelle de sous-bassin SBS2.

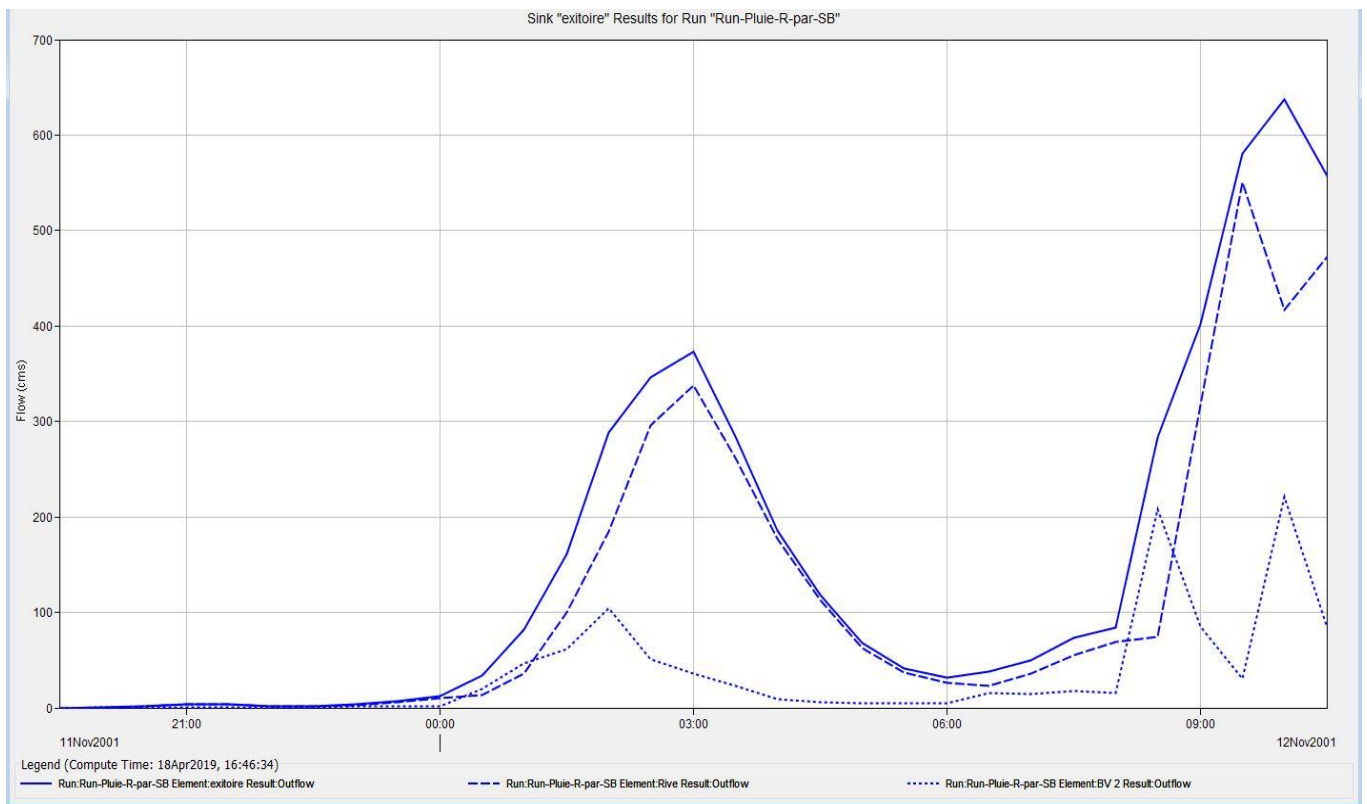


Figure III. 34: Hydrogramme d'une averse réelle de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en série

III.5. Bassin versant de Réghaia avec Subdivision en parallèle :

Afin d'effectuer la subdivision en parallèle, on a pris différents ratios de surfaces tout en tenant compte de la morphologie de bassin.

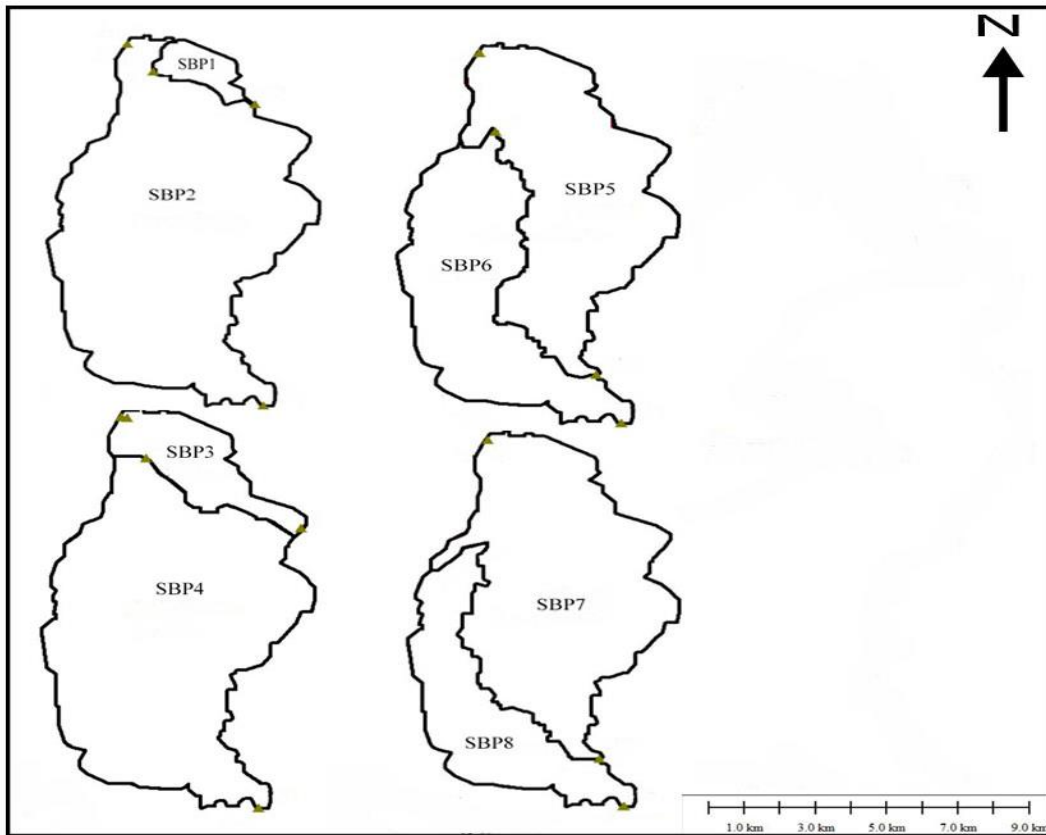


Figure III. 35: Division de bassin versant en parallèle

Tableau III. 19: Calcul du temps de concentration et de parcours pour un bassin subdivisés en Parallèles

Tableau III. 20: Exemple de la détermination du CN de SBP1

Code de SB	Surface (Km)	$H_{max}(m)$	$H_{min}(m)$	$L_p(m)$	$H_{max} - H_{min}$	Kirpitch (min)	lag(min)
SBP1	2.809	42	4	1.407	38	4.80	8.01
SBP2	54.496	206	0	14.24	206	37.73	62.89
SBP3	7.954	60	0	2.914	60	9.71	16.18
SBP4	49.333	206	4	13.94	202	37.09	61.82
SBP5	31.928	154	0	7.406	154	76.51	19.83
SBP6	25.406	206	7	12.383	199	75.5	32.54
SBP7	39.514	206	17	11.467	189	74.10	30.37
SBP8	17.814	154	0	3.839	154	77.09	9.29

Tableau III. 21: Curve number et pourcentages de surfaces imperméabilisées pour des sous bassins subdivisées en Parallèles

Type	S(Km ²)	CN	
Agricole	0.18	67	12.06
Hab. Dense	1.81	85	153.85
Agricole	0.5	69	34.5
Hab.moy. Dense	0.25	75	18.75
Agricole	0.23	69	15.87
		CN _p	79.13

S.B	Surface (Km ²)	CN	S _{imp} (Km ²)	C _{imp,%}
SBP1	2.809	79.13	1.282	45.64
SBP2	54.496	74.88	19.73	36.21
SBP3	7.954	77.09	4.42	55.57
SBP4	49.333	74.77	16.59	33.63
SBP5	31.928	76.51	13.14	41.15
SBP6	25.406	75.50	7.875	31
SBP7	39.514	77.09	16.76	42.42
SBP8	17.814	74.10	4.255	23.89

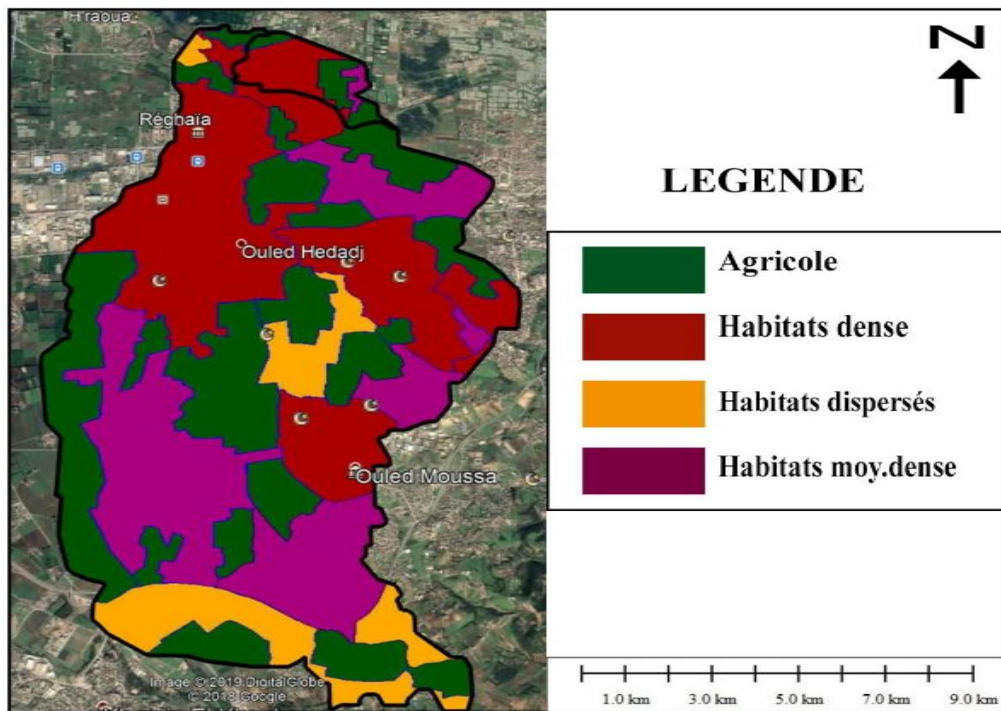


Figure III. 36: estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin subdivisée en parallèle (SBP1-SBP2)(Google Earth,2018)

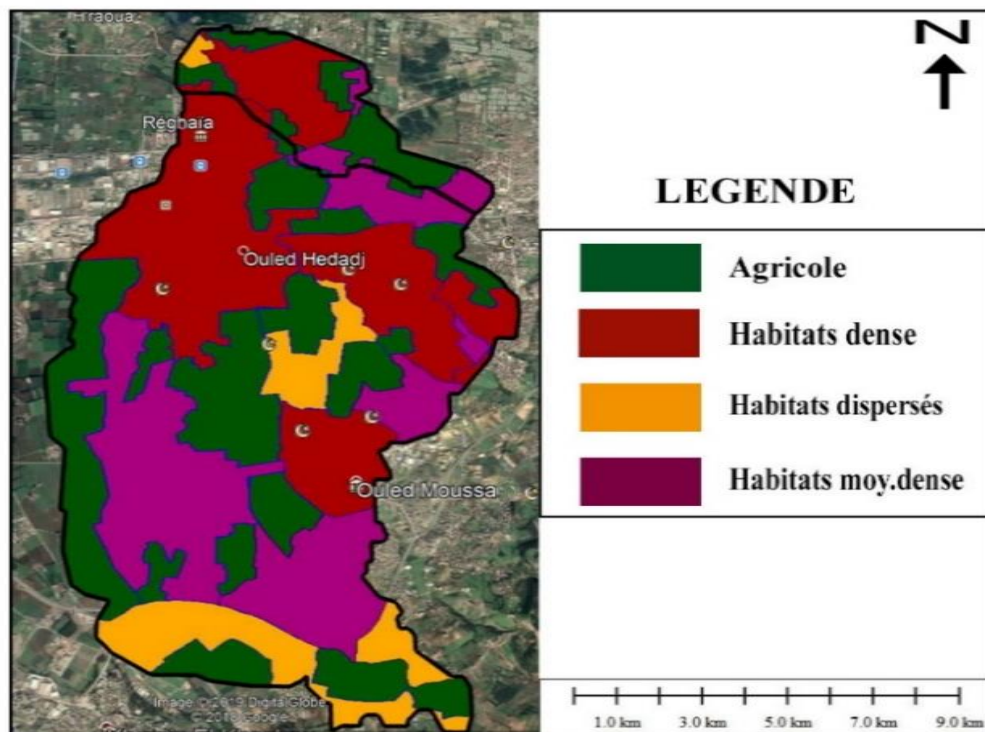


Figure III. 37: estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin subdivisée en parallèle(SBP3-SBP4)(Google Earth,2018)

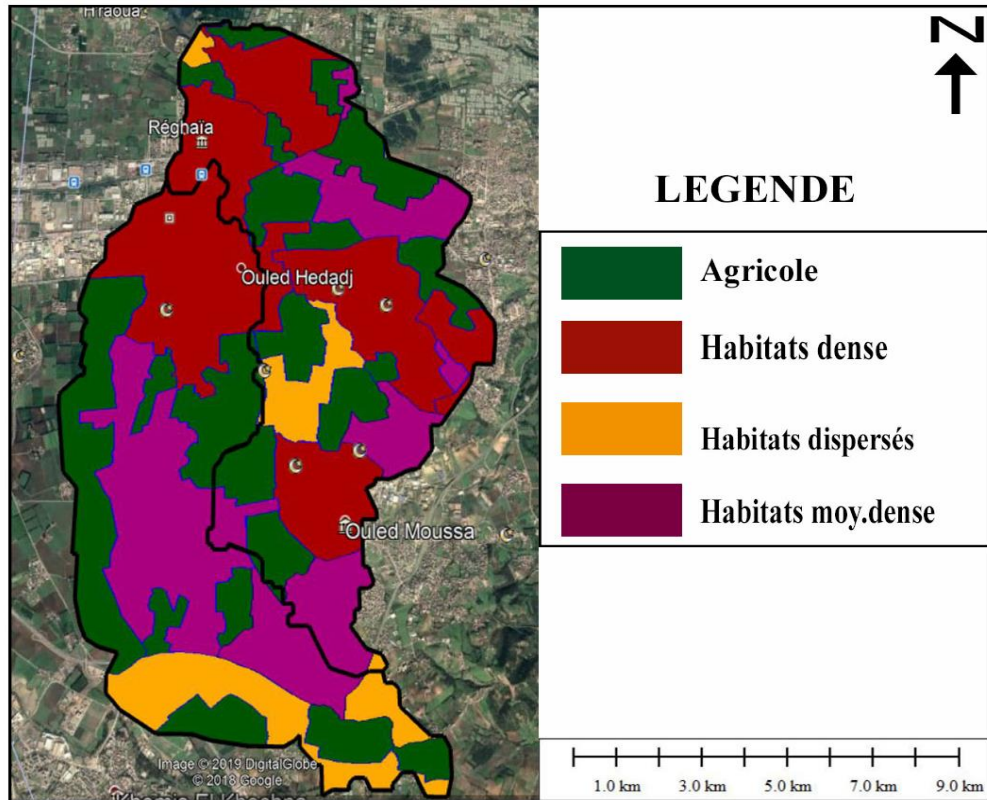


Figure III .38:estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin subdivisée en parallèle(SBP5-SBP6)(Google Earth,2018)

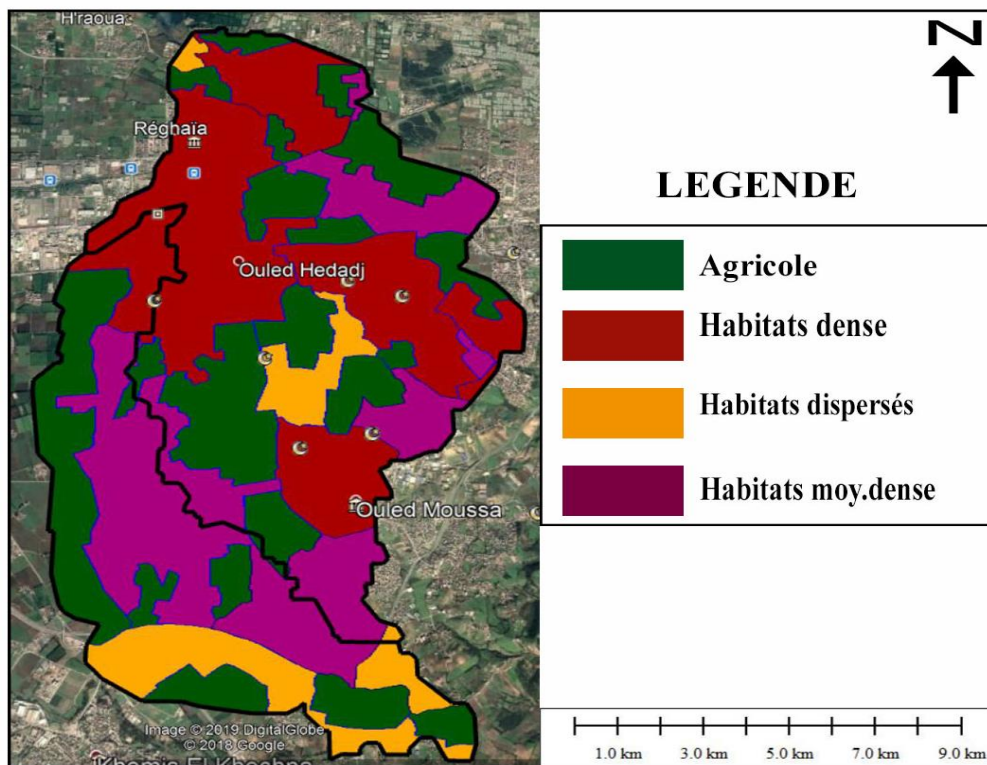


Figure III. 39:estimation du CN sur une image satellitaire pour un bassin subdivisée en parallèle (SBP7-SBP8)(Google Earth,2018)

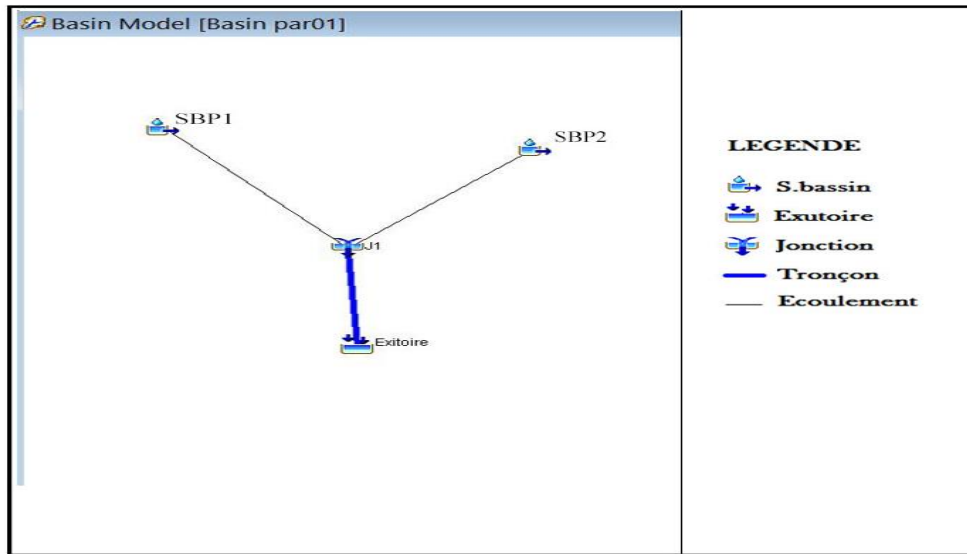


Figure III. 40: Représentation du schéma d'écoulement sur HEC-HMS pour un bassin subdivisé en parallèle .

III.5.1. Résultats et simulation de l'hydrogramme de crue pour le bassin avec subdivision en Parallèles

III.5.1.1. simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Synthétique pour le bassin avec subdivision en Parallèles

Tableau III. 22: Résultats globaux de débits pour une subdivision en parallèle

Elément	Débits (m^3/s) selon (T, Durée)					
	06H 100ans	06H 50ans	6H 10 ans	24H 100ans	24H 50ans	24H 10ans
SBP1	684.0	573.2	228.2	964.9	729.0	328.7
SBP2	90.7	75.4	28.0	125.0	94.6	42.4
J1	703.2	588.6	234.7	987.6	746.5	337.0
R1	683.4	569.1	228.6	944.9	714.8	324.0
Exutoire	683.4	569.1	228.6	944.9	714.8	324.0
SBP4	608.2	510.5	196.9	874.5	658.2	292.2
SBP3	210.0	175.5	62.9	301.3	226.2	98.9
J2	667.0	557.8	216.0	947.5	713.8	317.7
R2	655.1	549.0	212.0	937.2	705.8	313.6
Exutoire	655.1	549.0	212.0	937.2	705.8	313.6
SBP5	608.4	506.6	195.9	843.6	637.2	286.7
SBP6	322.9	271.2	97.3	475.4	355.8	153.8
J3	882.5	742.4	277.5	1276.6	960.1	424.1
R3	837.6	702.4	263.6	1201.1	903.7	399.8
Exutoire	837.6	702.4	263.6	1201.1	903.7	399.8
SBP7	1038.3	869.2	296.8	1522.5	1138.9	488.5
SBP8	195.4	165.6	50.6	315.1	232.0	93.5
J4	1089.6	920.3	308.9	1652.4	1233.0	523.2
R4	815.9	684.8	232.0	1219.0	909.6	386.2
Exutoire	815.9	684.8	232.0	1219.0	909.6	386.2

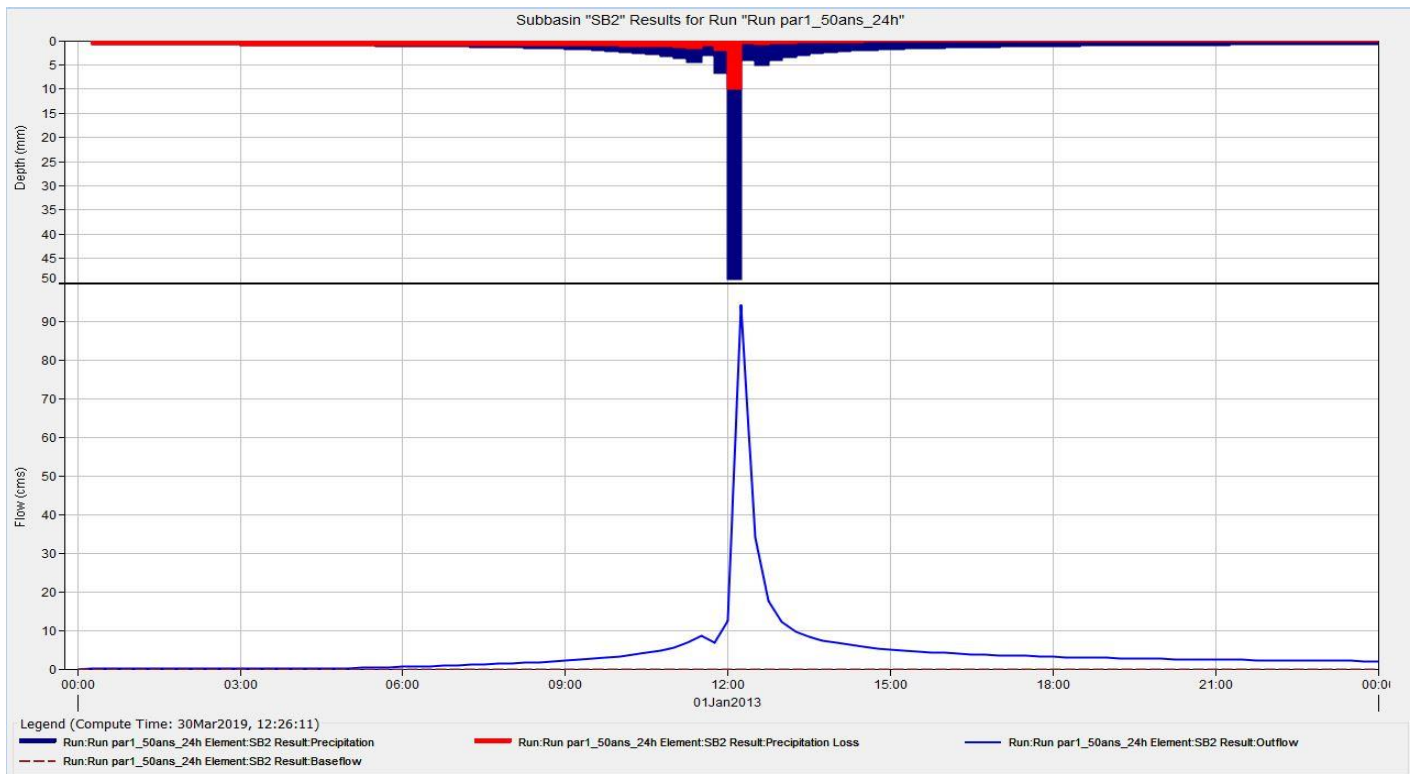


Figure III .41: Hydrogramme de sous-bassin SBP2-24H-50ans.

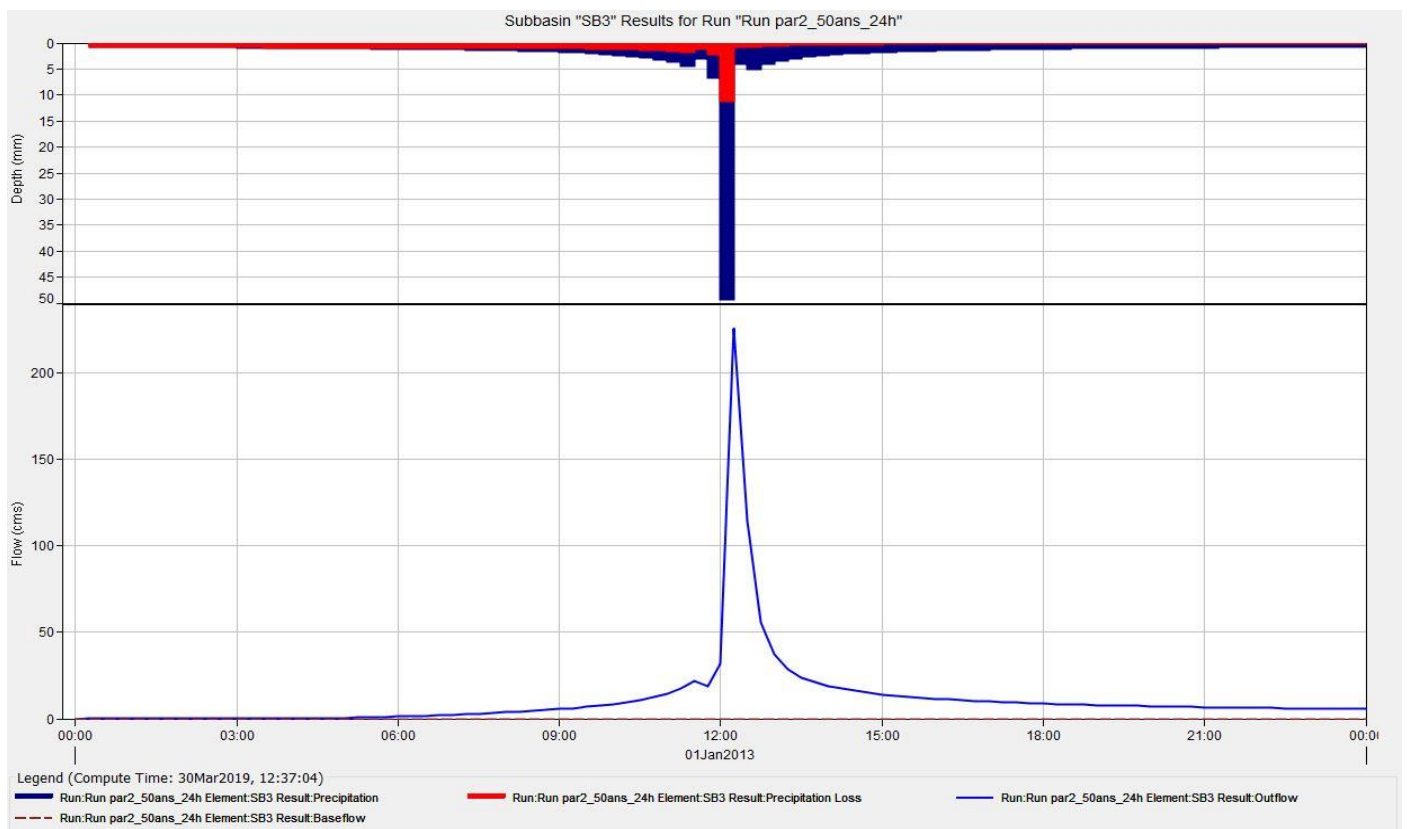


Figure III. 42: Hydrogramme de sous-bassin SBP3-24H-50ans.

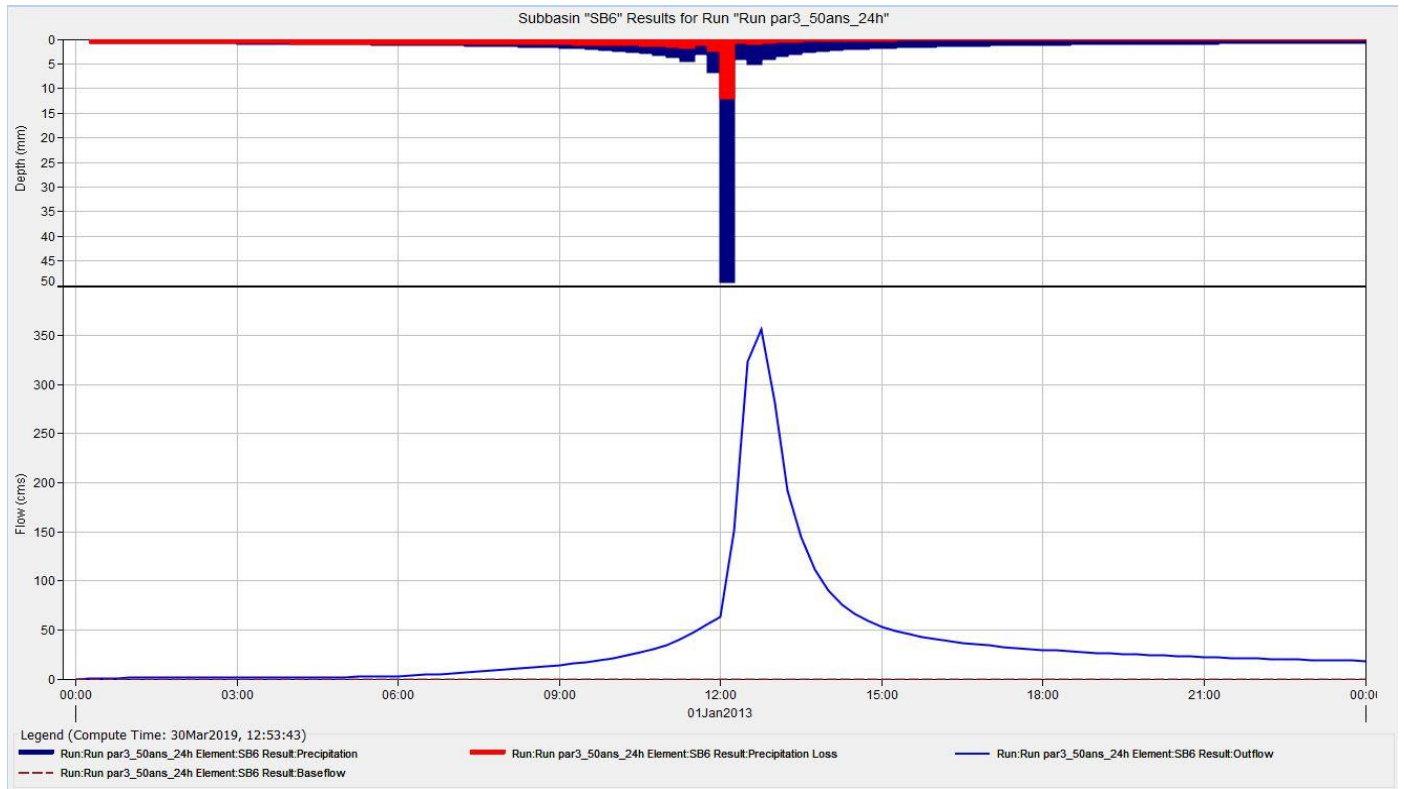


Figure III. 43: Hydrogramme de sous-bassin SBP6-24H-50

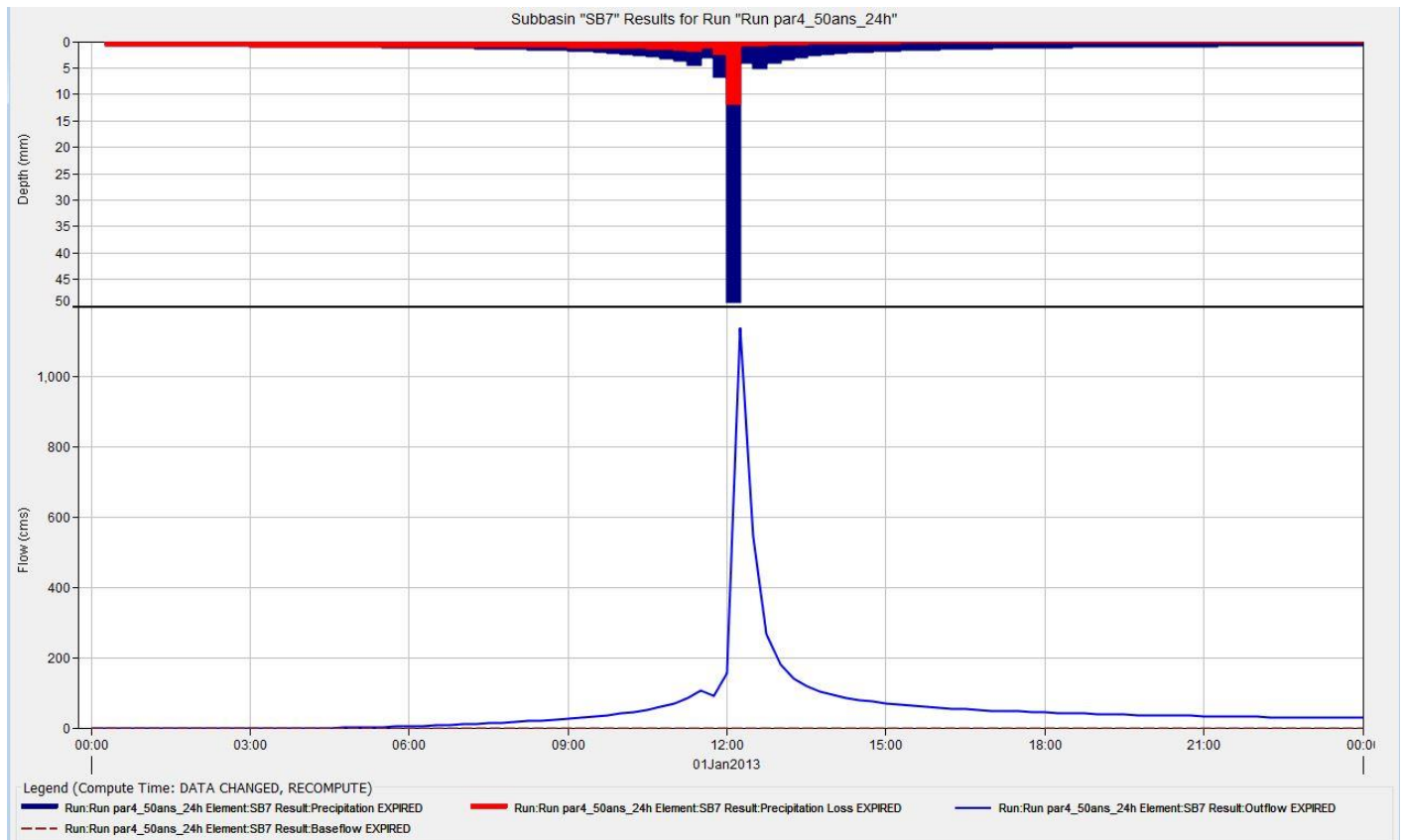


Figure III. 44: Hydrogramme de sous-bassin SBP8-24H-50ans.

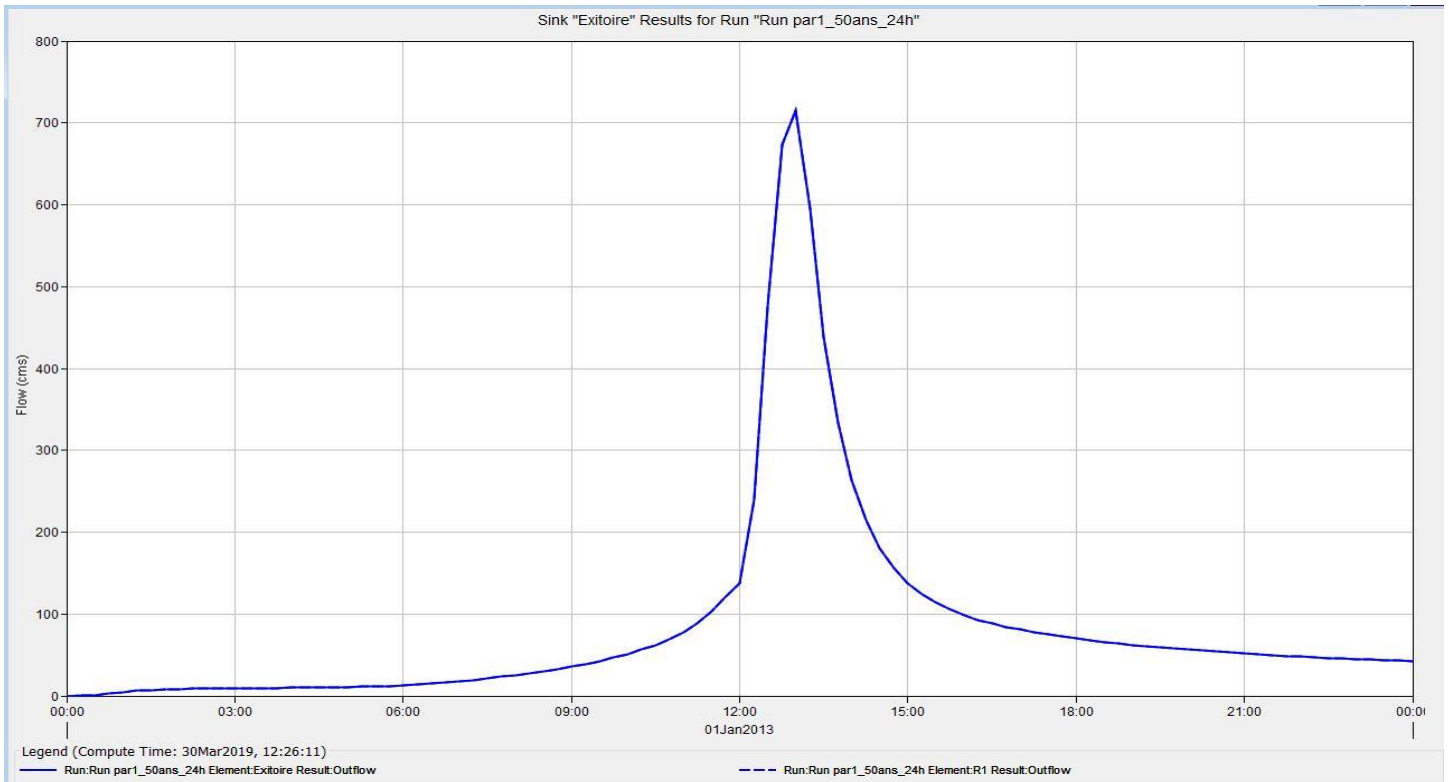


Figure III. 45: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en Parallèles (SBP2)24H-50ans.

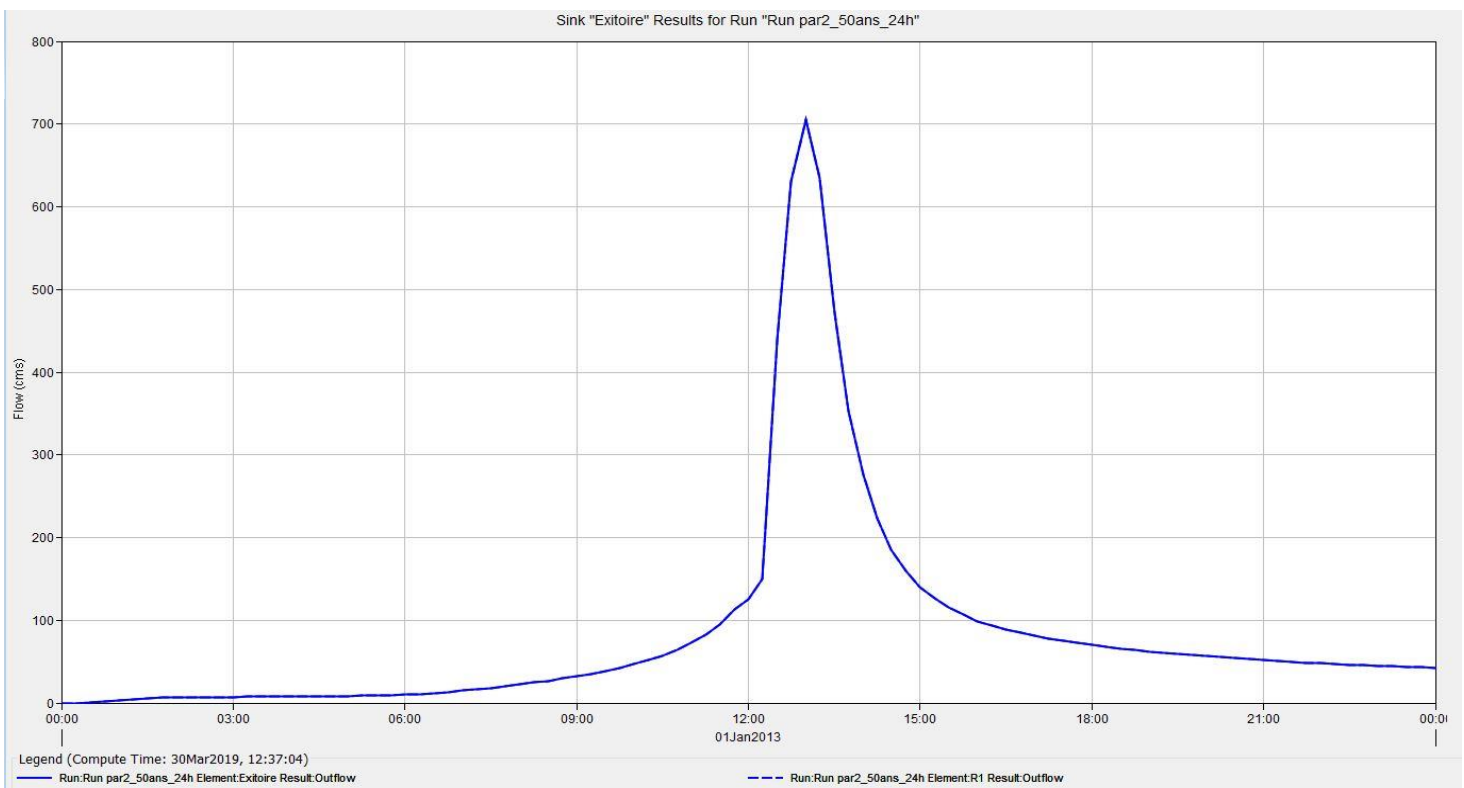


Figure III .46: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en parallèle(SBP3) 24H-50ans.

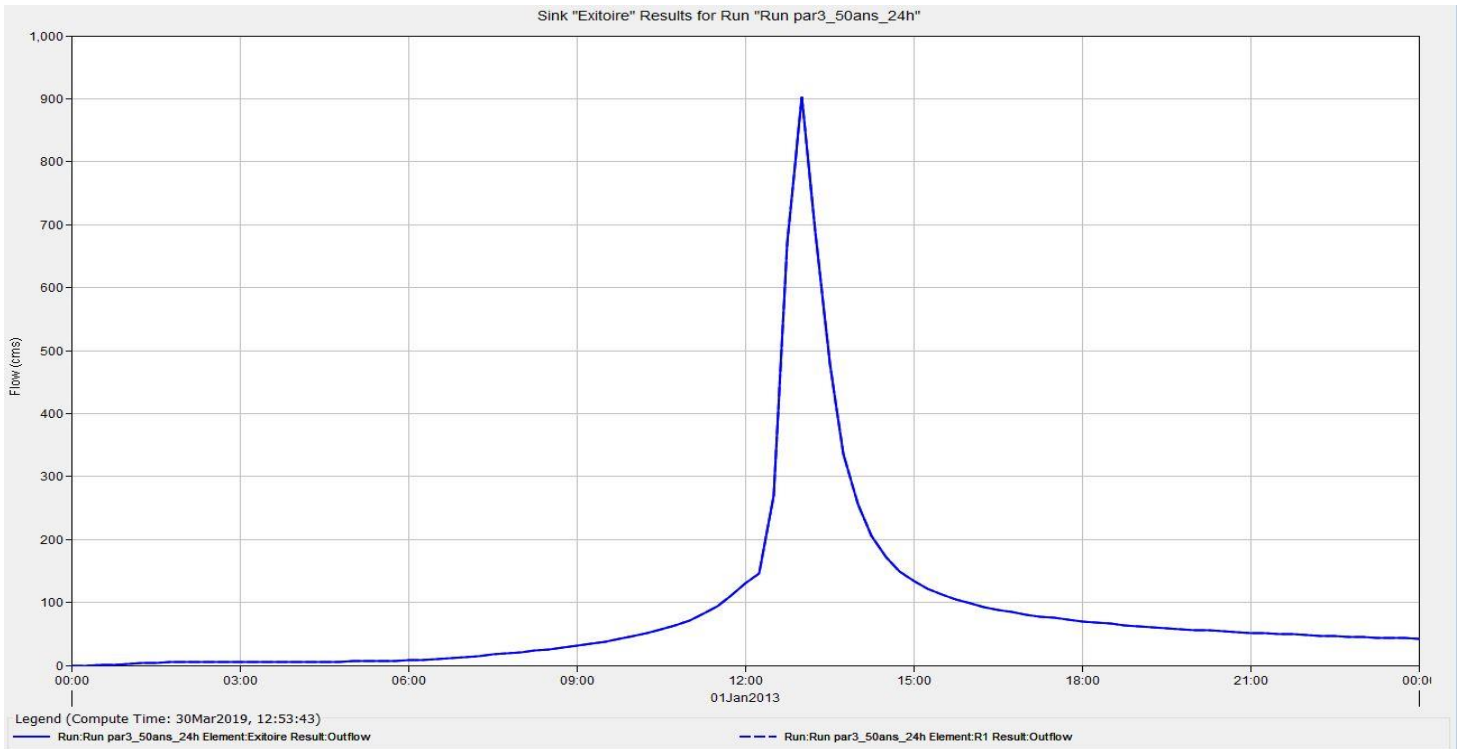


Figure III. 47: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en Parallèles (SBP6) 24H-50ans.

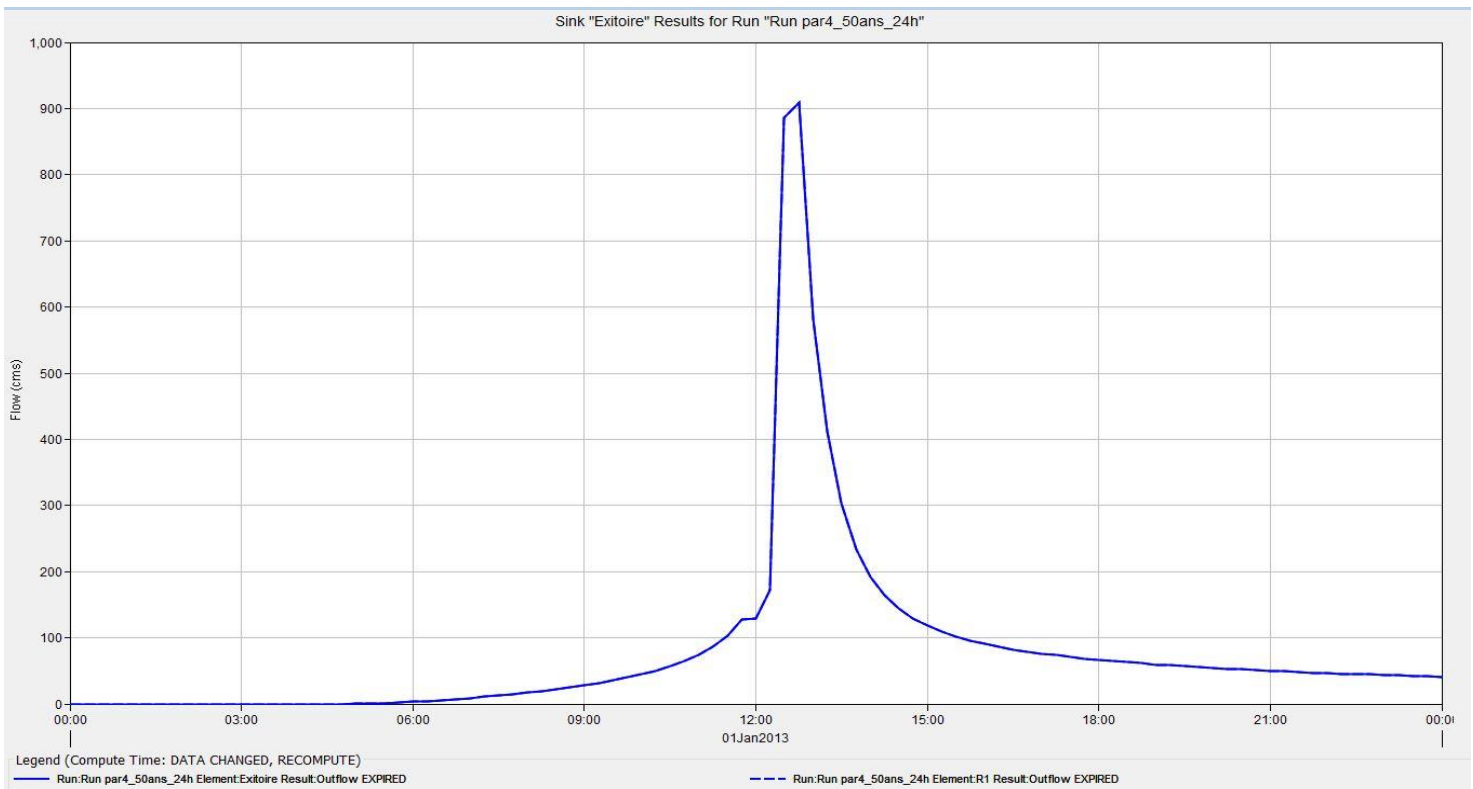


Figure III. 48: Hydrogramme de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisés en Parallèles (SBP8) 24H-50ans.

III.4.1.1.simulation de l'hydrogramme de crue à partir des pluies Réelles pour le bassin avec subdivision en Parallèles

Tableau III. 23:Résultats globaux de débits des sous bassins en Parallèles(Pluie réel)

Elément	Débits (m ³ /s)	Elément	Débits (m ³ /s)	Elément	Débits (m ³ /s)	Elément	Débits (m ³ /s)
SB1	772.0	SB4	696.4	SB5	607.3	SB7	872.6
SB2	62.1	SB3	173.9	SB6	353.2	SB8	245.2
J1	795.7	J1	763.0	J1	920.0	J1	1083.9
R1	754.1	R1	737.4	R1	888.6	R1	915.5
Exitoire	754.1	Exitoire	737.4	Exitoire	888.6	Exitoire	915.5

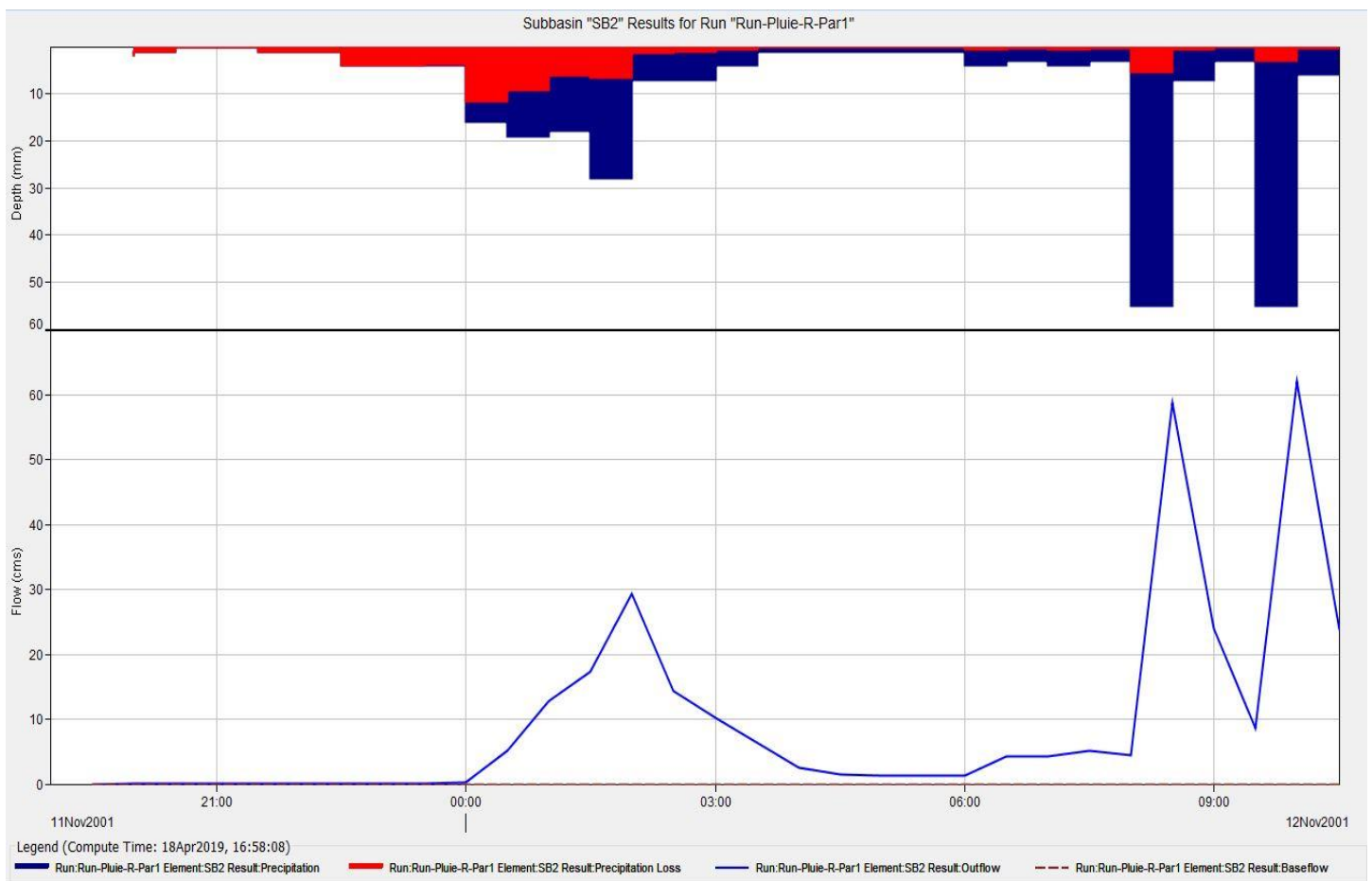


Figure III. 49: Hydrogramme d'une averse réelle de sous-bassin SBP2.

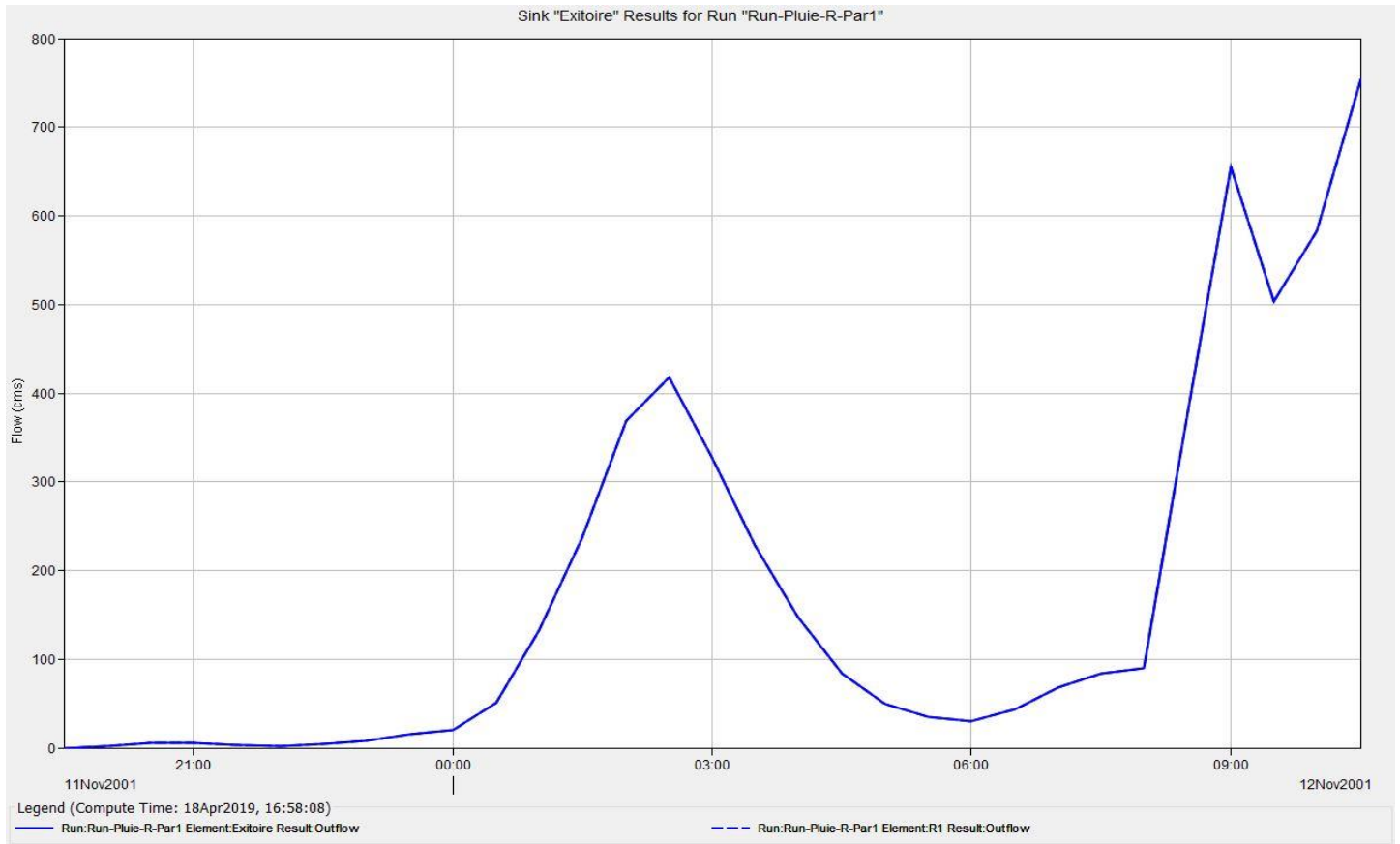


Figure III. 50: Hydrogramme d'une averse réelle de sortie à l'exutoire d'Oued Reghaia pour un bassin subdivisé en Parallèles

Conclusion

A la fin de ce chapitre on a pu à l'aide de logiciel HEC-HMS faire la simulation des hydrogrammes de crue et savoir tous les débits de points dont les différentes subdivisions sur le bassin versant de Réghaia (bassin sans subdivision, bassin avec des subdivisions en plusieurs sous bassin, bassin avec subdivision en série, bassin avec subdivision en Parallèles).

L'effet de différentes subdivisions sur le débit de pointe sera détaillé dans le dernier chapitre.

CHAPITRE IV

ESTIMATION DE L'EFFET DE LA SUBDIVISION DES SOUS-BASSINS SUR LE DEBIT DE POINTE

Chapitre IV: Estimation de l'effet de la subdivision des sous-bassins sur le débit de pointe

IV.1. Exploitation des résultats

L'objectif de cette étude est de comparer un bassin versant non subdivisé avec un autre subdivisé en utilisant les résultats trouvés dans la modélisation à travers le logiciel HEC HMS (chapitre 03), pour cela on a évolué le débit de pointe pour une : subdivision hydrologique, subdivision en série, subdivision en Parallèles.

IV.2. Effet de la subdivision hydrologique

Pour savoir l'effet de la subdivision de bassin versant, on a pris l'exemple de bassin versant de l'oued Réghaia qui a une surface de 57,31 km².

Tout d'abord, on a subdivisé le bassin choisit en neuf sous bassin élémentaires, en tenant compte de point de confluence où se rejoignent plusieurs cours d'eau (subdivision hydrologique).

A travers le logiciel HEC-HMS, on a modélisé le bassin versant et extraire les différents débits de pointe au niveau de l'exutoire, La comparaison entre le bassin versant subdivisé et non subdivisé est donnée dans la figure IV.1

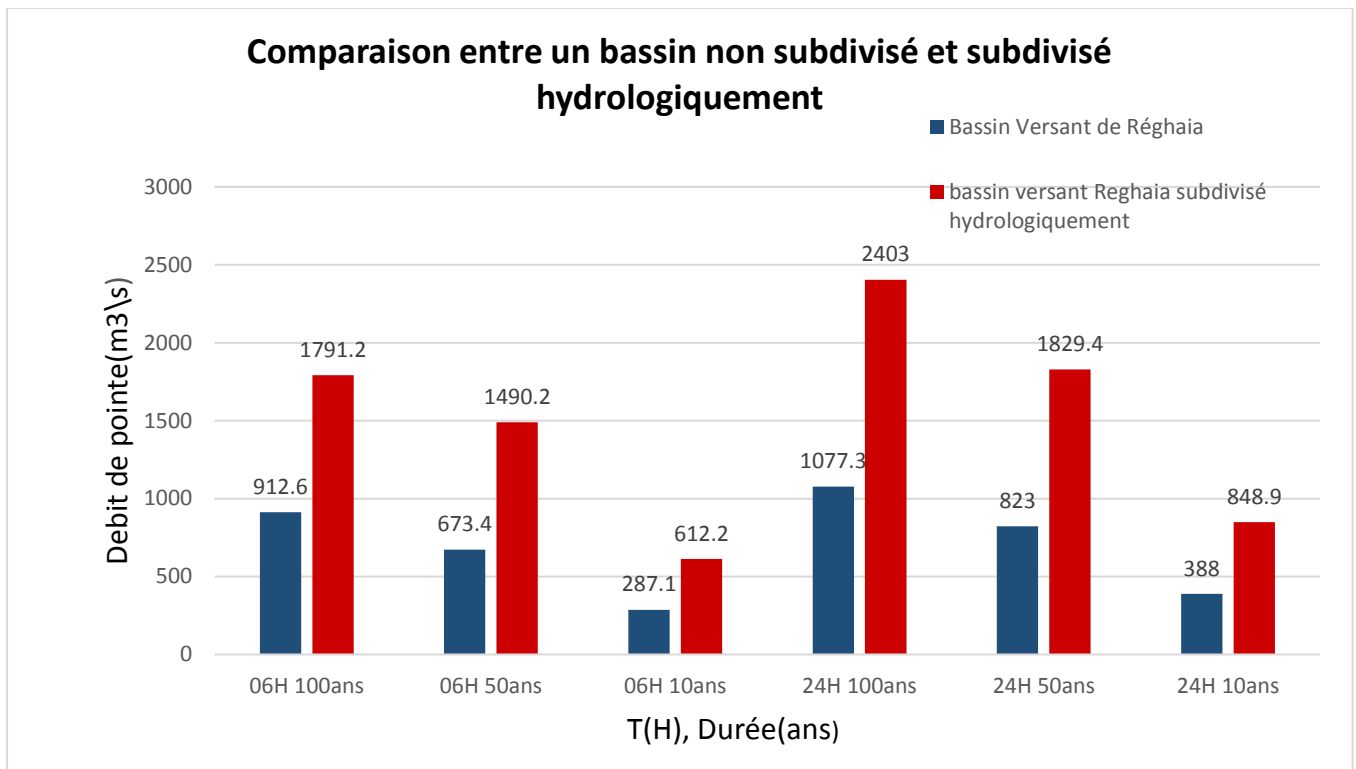


Figure IV. 1: Comparaison entre un bassin non subdivisé et subdivisé hydrologiquement

Tableau IV. 1: comparaison de débit de pointe au niveau d'exutoire (subdivision hydrologique)

(durée,T)	24h10ans	24h50ans	24h100ans	06h10ans	06h50ans	06h100ans
Bv-subdivisé	848.9	1829.4	2403	612.2	1490.2	1791.2
Bv-non-subdivisé	388	823	1077.3	287.1	673.4	912.6
Avec sub/sans sub	2.19	2.22	2.23	2.13	2.21	1.96

D'après le tableau et le graphe :

Les résultats montrent que la subdivision hydrologique provoque des débits deux fois plus grand, quel que soit la durée et la période de retour, Cette différence a une préoccupation particulière car on remarque que le débit de point augmente avec la subdivision (quand le nombre des sous bassins augmente ,le débit augmente) , Le volume de ruissellement est approximativement constant car le CN (*curve number*) n'a pas été changé .

La subdivision a des conséquences évidentes sur la conception si l'ouvrage est placé au niveau de l'exutoire de bassin versant, ou s'il s'agit des petites subdivisions cela conduit à un sous-estime de débit de point ainsi un sous dimensionnement des ouvrages. En revanche, Les grandes subdivisions provoquent un surdimensionnement des ouvrages.

A partir de l'exemple traité (Bassin versant de oued Réghaia) , et des études déjà faites sur des bassins versants américains (G. Norris & C. T. Haan, 1993; Rojas et al, 2008; Tripathi et al, 2006) ,Il est évident que le débit de pointe (Q_p) calculé est sensible à la subdivision .généralement ,Il augmente avec le degré de la subdivision (Le nombre des sous bassins).

IV.3.Effet de la subdivision en série

On a prouvé d'après l'expérience précédente que la subdivision hydrologique a provoqué une augmentation de débit de pointe ou le débit de pointe augmente avec le degré de subdivision .Dans la subdivision, on peut tomber sur deux autres cas possibles (une subdivision en série et en parallèle)

La deuxième expérience était de subdiviser le bassin versant en deux sous bassin (SBS1-SBS2) en série, dont leurs surfaces est respectivement (10.01-47.28 km²), on a examiné si cette différence (18-82)% de surface des sous bassins a un effet sur la modalisation de débit de pointe.

Les valeurs de débit au niveau d'exutoire pour le bassin versant subdivisé en série et le bassin versant sans aucun subdivision avec leurs comparaisons est présenté dans la figure IV.2 et le tableau IV.2 :

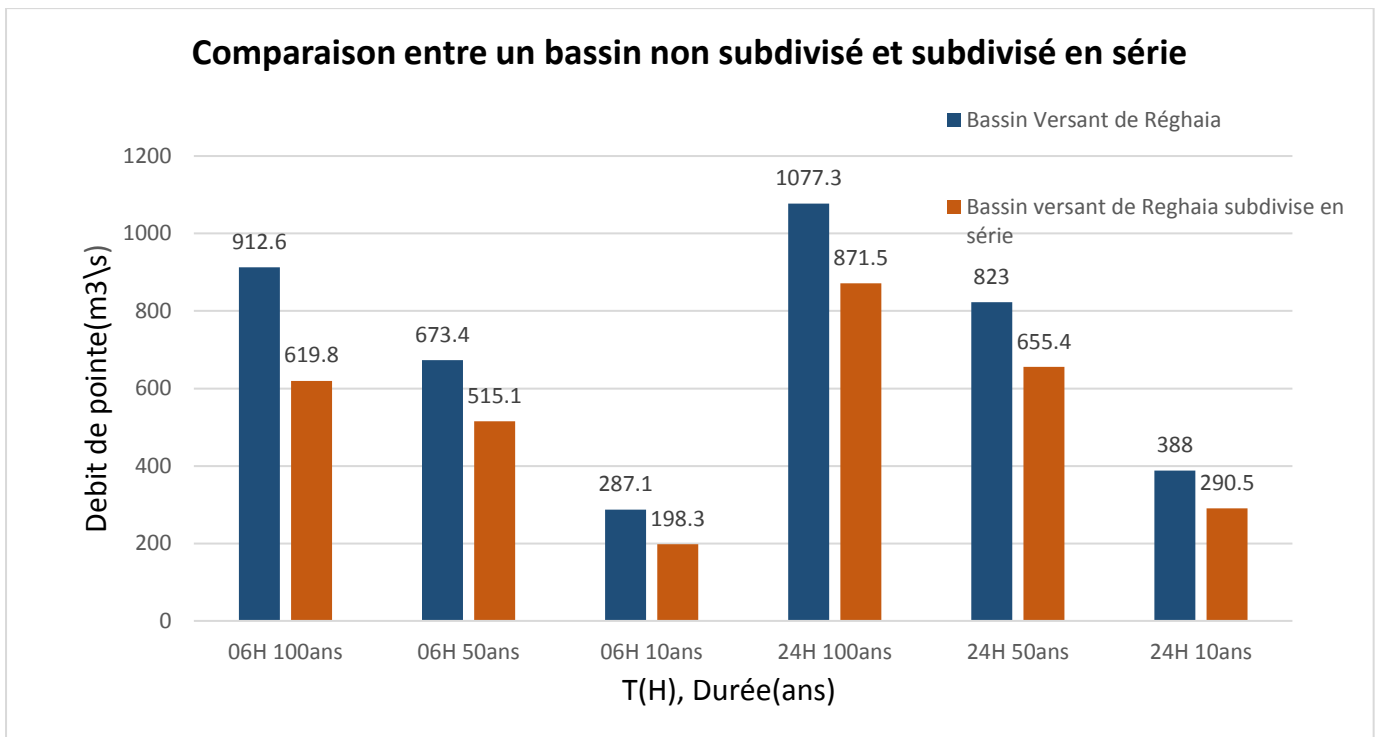


Figure IV. 2: Comparaison entre un basin non subdivisé et subdivisé en série

Tableau IV. 2: comparaison de débit de point au niveau d'exutoire (subdivision en série)

(durée,T)	6h10ans	6h50ans	6h100ans	24h10ans	24h50ans	24h100ans
Bv-subdivisé	619.8	515.1	198.3	871.5	655.4	290.5
Bv-non-subdivisé	912.6	673.4	287.1	1077.3	823	388
Avec sub/sans sub	0.68	0.76	0.69	0.81	0.80	0.75

Les résultats montrent que le débit de pointe obtenu par cette subdivision quel que soit la durée et la période de retour est de (20-30)% plus faible par rapport au non subdivisé.

D'après cette expérience, On conclut que la subdivision en série n'a pas de grande influence sur le débit de pointe. Mais, Elle reste relativement sensible au ratio de surface utilisé (18-82)%, Cette grande différence de surface entre les deux sous bassins a joué un rôle important dans cette subdivision, Cela est due aussi à la valeur élevée de temps de concentration (t_c) et engendre une réponse hydrologique plus faible.

Ainsi. S'il s'agit de grande différence de surface entre les deux sous bassins (18-82)%, la subdivision n'a pas de grande influence.

IV.4.Effet de la subdivision en Parallèles

Dans cette expérience on a évalué comment la subdivision en Parallèles affecte le débit de pointe tout en laissant la surface total constant ($57,03 \text{ km}^2$), pour cela, on divise à chaque fois le bassin versant en deux sous bassin (SBP1, SBP2/ SBP3, SBP4/ SBP5, SBP6/ SBP7, SBP8), tout en variant leurs surface.

En effet, deux sous bassins en parallèles a été utilisé, La surface relatives de ces deux sous bassin a été variée avec un accroissement de surface comme est montré ci-dessous :

- ✓ La 1^{ère} Subdivision en parallèle : SBP1 (5%) - SBP2 (95)% ;
- ✓ La 2^{ème} Subdivision en parallèle : SBP3 (14%)-SBP4 (86)% ;
- ✓ La 3^{ème} Subdivision en parallèle : SBP5 (56%)-SBP6 (44)% ;
- ✓ La 4^{ème} Subdivision en parallèle : SBP7 (69%)-SBP8 (31)%.

En utilisant les valeurs de débit de pointe donné par la modalisation au niveau de l'exutoire, La comparaison entre le bassin versant subdiviser et non subdivisé est donnée dans la figure IV.3 et la tableau IV.3 .

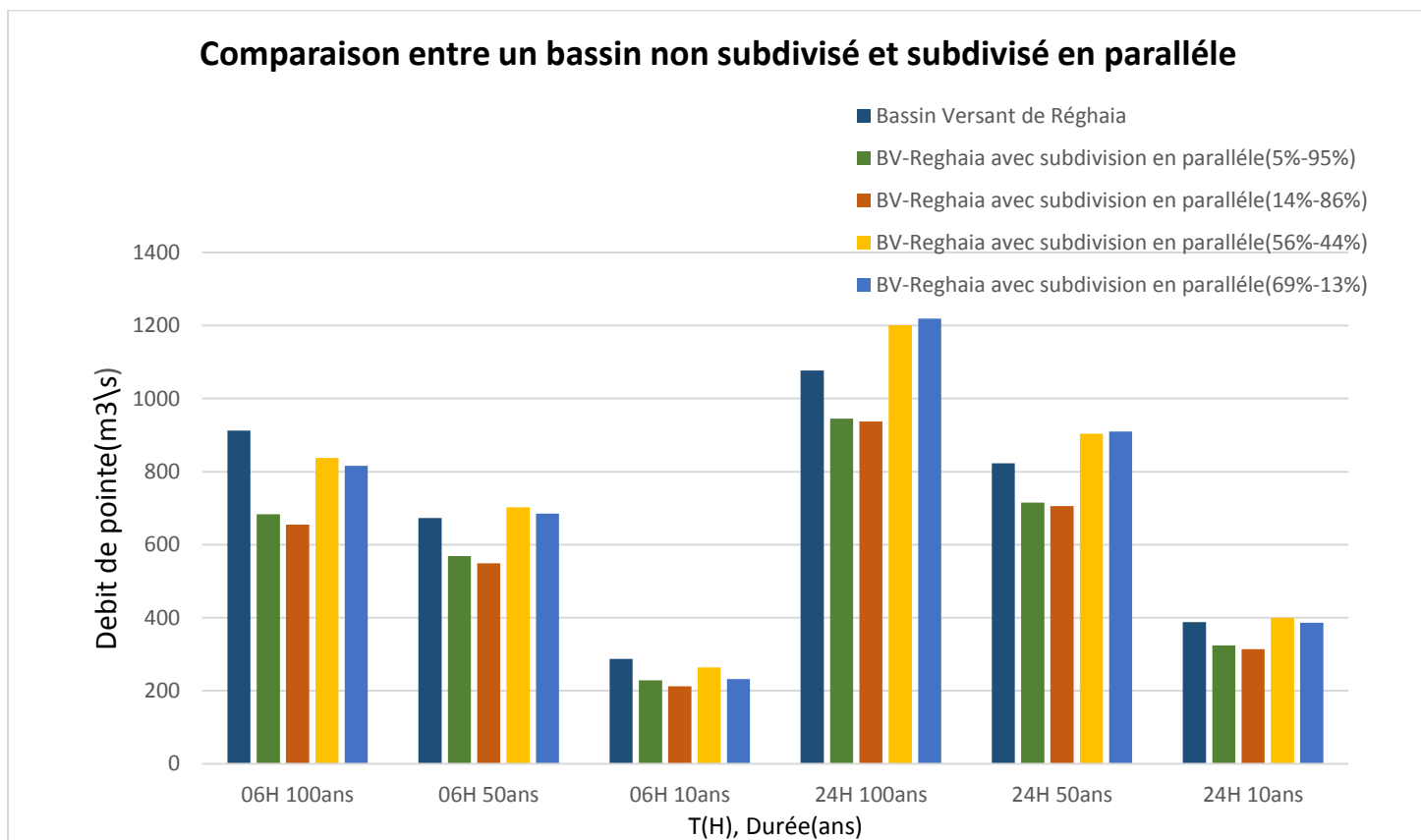


Figure IV. 3: Comparaison entre un bassin non subdivisé et subdivisé en parallèle

Tableau IV. 3: comparaison de débit de point au niveau d'exutoire (subdivision en parallèle)

(durée,T)	6h10ans	6h50ans	6h100ans	24h10ans	24h50ans	24h100ans
Bv-subdivisé (5-95)%	683.4	569.1	228.6	944.9	714.8	324
Bv-subdivisé (14-86)%	655.1	549	212	937.2	705.8	313.6
Bv-subdivisé (56-44)%	837.6	702.4	263.6	1201.1	903.7	399.8
Bv-subdivisé (69-31)%	815.9	684.8	232	1219	909.6	386.2
Bv-non-subdivisé	912.6	673.4	287.1	1077.3	823	388
Avec sub (5-95) %/sans sub	0.75	0.85	0.80	0.88	0.87	0.84
Avec sub (14-86)%/sans sub	0.72	0.82	0.74	0.87	0.86	0.81
Avec sub (56-44)%/sans sub	0.92	1.04	0.92	1.11	1.10	1.03
Avec sub (69-31) %/sans sub	0.89	1.02	0.81	1.13	1.11	1.00

On remarque que quand le ratio des surfaces des sous bassin était inférieur approximativement de 20% (ratio: (5-95) %, (14-86) %), le débit de pointe de bassin versant subdivisé est inférieur de 20 % en le comparant au non subdivisé quel que soit les différentes durée et période de retour.

Quand le ratio des surfaces sont approchées (40 au 50%) et la durée est 24h quel que soit la période de retour, la subdivision en parallèle a provoqué une augmentation approximative de 10% sur le débit de point (Plus de 10%).

Et lorsque la durée est de 6h avec le même ratio de surface, la subdivision a provoqué un débit de pointe moins de 10% par rapport au non subdivisé dans les différentes périodes de retour.

La subdivision en parallèle produit des débit de pointe plus élevé lorsque il s'agit de petite différence de surface entre les deux sous bassins avec des durées de 24 h pour différentes les périodes de retour de (10, 50,100 ans) .En revanche, On a marqué des débits plus faible lors la différence de surface relative est grande .

Conclusion

Dans l'intérêt de savoir l'impact de la subdivision de bassin versant sur le débit de pointe et de simuler un modèle pluie-débit pour une meilleure compréhension du comportement hydrologique du bassin versant de l'Oued Réghaia ; nous avons entamé l'application du modèle semi-distribué HEC-HMS.

A partir des résultats obtenus dans ce dernier chapitre, on a marqué une augmentation de débit lors de la subdivision hydrologique quel que soit la durée et la période de retour.

On remarque que le modèle donne des résultats comparables au bassin non subdivisé lorsqu'on découpe le bassin en série ou en parallèle avec des rations des surfaces rapprochées et des durées inférieur à 6h. Pour la durée plus de 6h et des grandes proportions des surfaces des sous bassins le modèle donne des résultats un peu différent.

Les résultats obtenus dans cette étude, montrent d'abord que le modèle HEC-HMS donne des résultats plus ou moins acceptables lorsque la durée est inférieur à 6h et la période de retour inférieur a 10 ans, et pour des sous bassin de grande proportions du surface avec des grand fréquence et durée, et Cela sans variation de CN (presque la même valeur).Donc , il faut toujours faire le calage de modèle pour éviter de tomber sur des sou dimensionnement ou surdimensionnement des ouvrages.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans le but de simuler un modèle pluie-débit pour une meilleure compréhension de l'effet de la subdivision sur le débit de pointe du bassin versant de l'Oued Réghaia ; nous avons entamé l'application du modèle américaine HEC-HMS.

Il s'agit de présenter une recherche bibliographique détaillée sur ce modèle et de vérifier sa fiabilité à générer des données de débit dans les sous bassins de la zone d'étude. Nous avons commencé le travail par des généralités sur la modélisation hydrologiques (relation pluie-débit) .Ensuit, une représentation des modèles intégrés dans le logiciel HEC-HMS. Ensuite nous avons présenté la zone d'étude et calculer les différents paramètres nécessaires à l'utilisation de modèle.

Ce modèle est conçu pour simuler les précipitations en ruissellement par plusieurs méthodes, parmi ces nombreux méthodes on a utilisés les méthodes de SCS (*Soil Conservation Service*) puisqu'elle est simple a appliquées et qui n'exigent pas beaucoup de paramètres comme les autre méthodes incluent sur ce modèle, et afin de simuler les hydrogrammes de crue on a utilisé des pluies réels et Synthétiques (la méthode de *Frequency storm*).

Pour l'application du modèle du HEC-HMS, les paramètres d'entrés utilisés sont les précipitations, Curve number (CN), pourcentage de surface perméabilisé, le temps de parcours. Le paramètre de sortie étant l'hyétogramme de pluie, hydrogramme de crue,débit de pointe .

Les résultats obtenus par l'application de modèle montrent que la subdivision hydrologique, en série, en Parallèles a provoquée des augmentations et diminutions de débit de pointe, On a montré que quand il s'agit de petite différence de surface entre les sous bassin et des périodes de retour inférieure à 10 ans et durée inférieure à 6h, les résultats s'approchent au bassin sans subdivision. Par contre, on a marqué une petite variation de débit lorsqu'il s'agit de grande proportion entre les surfaces et une augmentation de débit lors de la subdivision hydrologique, Ce qui nécessite le calage de modèle.

A la fin de ce travail, nous pouvons dire que l'application des modèles du HEC-HMS aux données du bassin versant d'Oued Réghaia montre que la subdivision à une influence directe sur le débit de pointe et que la configuration (découpage) qui doit être retenue dépend des caractéristiques morphologiques du bassin versant. Ces résultats concordent avec d'autres travaux à travers le monde.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Ambroise, B. (1999).** La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant : Processus, facteurs, modèles. Bucarest: H.G.A.
- Bendjoudi, H., & Hubert, P. (2002).** Le coefficient de compacité de Gravelius : Analyse critique d'un indice de forme des bassins versants. *Hydrological Sciences Journal*, 47(6), 921-930. <https://doi.org/10.1080/02626660209493000>
- Boukhelifa, M. (2011).** Contribution à la modalisation de relation « pluie débit » en absence de données hydrométriques : cas d'une zone urbaine (ville de tipasa). Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique.
- Boukhelifa, M., Meddi, M., & Gaume, E. (2018).** Integrated Bayesian Estimation of Intensity-Duration-Frequency Curves : Consolidation and Extensive Testing of a Method. *Water Resources Research*, 54(10)(7459–7477).
- J. Casey, M., Stagge, J., Moglen, G., & H. McCuen, R. (2015).** Effects of Watershed Subdivision on Peak Discharge in Rainfall-Runoff Modeling in the WinTR-20 Model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20, 04015020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001188](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001188)
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1988).** *Applied Hydrology* (1 edition). New York: McGraw-Hill Science/Engineering/Math
- Dacharry, M. (1999).** RESEAU HYDROGRAPHIQUE. Consulté 17 août 2019, à l'adresse <https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICRESHY.HTM>
- DUBREUIL, P. (1974).** Initiation à l'analyse hydrologique (dix exercices suivis des corrigés). Paris: ORSTOM, 216 p. ISBN 2-225-40140-3
- Gaume, E. (2007).** *Eléments d'analyse sur les crues éclair*. 360.
- Gravelius, H. (1914)** Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde. Band I: Flufikunde (Compendium of Hydrology, Vol. I. Rivers, in German). Goschen, Berlin.
- Henderson, F. M. (1966).** *Open channel flow*. New York: Macmillan.
- Henine, housine. (2005).** Interfaçage entre un modèle hydrologique/modèle hydrodynamique au sein d'un système d'information intégré sous Web incluent les SIG. Ecole Nationale polytechnique, Alger, Algerie.
- Hubert, P. (1996).** MODELE. Consulté 2 août 2019, à l'adresse Dictionnaire français d'hydrologie website: <https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICMODEL.HTM>
- Hydrologic Engineering Center. (2000).** HEC-HMS Technical Reference Manual. 148.
- Horton, R.E. (1945).** Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56, 2 75-3 70
- Kampf, S. K., & Burges, S. J. (2007).** A framework for classifying and comparing distributed hillslope and catchment hydrologic models. *Water Resources Research*, 43(5). <https://doi.org/10.1029/2006WR005370>

- Llamas, J. (1998).** HYDROLOGIE GENERALE. Principes et applications, 2ème édition. Boucherville, Québec: Gaëtan Morin.
- Loague, M., & Freeze, R. A. (1985).** A Comparison of Rainfall-Runoff Modeling Techniques on Small Upland Catchments. WATER RESOURCES RESEARCH, 21.
- McCuen, R. H. (1998).** Hydrologic Analysis and Design. Prentice Hall.
- MESSAK, A. (s. d.).** MODELISATION PLUIE-DEBIT DES BASSINS VERSANTS DE L'OUED MINA : APPLICATION DU MODELE HYDROLOGIQUE HEC-HMS - PDF. Consulté 31 juillet 2019, à l'adresse <https://docplayer.fr/134109351-Modelisation-pluie-debit-des-bassins-versants-de-l-oued-mina-application-du-modele-hydrologique-hec-hms.html>
- Musy, A. (1998).** Hydrologie appliquée. École polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Musy, A. (2005).** Chapitre 11—La réponse hydrologique. Consulté 2 août 2019, à l'adresse <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre11/chapitre11.html>
- Nascimento, N. d'oliveira. (1995).** Appréciation l'aide d'un modèle empirique des effets d'Actions anthropiques sur la relation pluie-débit l'Echelle d'un bassin versant.
- G. Norris, & C. T. Haan. (1993).** Impact of Subdividing Watersheds on Estimated Hydrographs. Applied Engineering in Agriculture, 9(5), 443-445. <https://doi.org/10.13031/2013.26007>
- PAYRAUDEAU, S. (2002).** MODALISATION DISTRIBUEE DES FLUX D'AZOTE SUR DES PETITS BASSINS VERSANTS MEDETERRANEENS. L'Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts, Montpellier.
- Ribstein, P. (1992).** Modèles de crues et petits bassins versants au Sahel. La Houille Blanche, (1), 85-91. <https://doi.org/10.1051/lhb/1992005>
- Roche, M. (1963).** Hydrologie de surface Gauthier-Villars ORSTOM, Paris, France.
- Rojas, R. M., Velleux, M., Julien, P. Y., & Johnson, B. E. (2008).** Grid Scale Effects on Watershed Soil Erosion Models. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(2008\)13:9\(793\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(2008)13:9(793))
- Sahar, A., Olfa, H., & Hamadi, H. (2015).** Application du modèle de Muskingum pour la prévision des crues de la Medjerda en Tunisie. 9.
- Skaggs, R. W., & Khaleel, R. (1982).** 'Infiltration, Hydrologic modeling of small watersheds.
- Soubelet, T., & Fauzan, M. (2000).** Manuel de references techniques. Consulté 5 août 2019, à l'adresse <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0001/travaux/optsee/bei/2/g24/index.htm>
- Touaïbia, B. (2004).** Manuel pratique d'hydrologie.
- Tripathi, M. P., Raghuvanshi, N. S., & Rao, G. P. (2006).** Effect of watershed subdivision on simulation of water balance components. Hydrological Processes, 20(5), 1137-1156. <https://doi.org/10.1002/hyp.5927>

ANNEXE

Annexe I:Le tableau de Runoff curve number(CN) (Hydrologic Engineering Center, 2000)

SCS TR-55 Table 2-2a – Runoff curve numbers for urban areas¹

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type and hydrologic condition	Average percent impervious area ²	A	B	C	D
<i>Fully developed urban areas</i>					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) ³ :					
Poor condition (grass cover < 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only) ⁴		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size					
1/8 acre or less (town houses)	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acre	12	46	65	77	82
<i>Developing urban areas</i>					
Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation) ⁵		77	86	91	94
Idle lands (CN's are determined using cover types similar to those in table 2-2c)					

SCS TR-55 Table 2-2b – Runoff curve numbers for cultivated agricultural lands¹

Cover description			Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Treatment ²	Hydrologic condition ³	A	B	C	D
Fallow	Bare soil	–	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	SR + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced (C & T)	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
	C & T + CR	Poor	65	73	79	81
Good		61	70	77	80	
Small grain	SR	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	C	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
	C & T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
	C & T + CR	Poor	60	71	78	81
Good		58	69	77	80	
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	SR	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	C	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	C & T	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

SCS TR-55 Table 2-2c – Runoff curve numbers for other agricultural lands¹

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type and hydrologic condition	Hydrologic condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range – continuous forage for grazing. ²	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow – continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	–	30	58	71	78
Brush – brush-weed mixture with brush the major element. ³	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 ⁴	48	65	73
Woods – grass combination (orchard or tree farm). ⁵	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. ⁶	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30 ⁴	55	70	77
Farmsteads – buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	–	59	74	82	86

SCS TR-55 Table 2-2d – Runoff curve numbers for arid and semiarid rangelands¹

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition ²	A ³	B	C	D
Herbaceous – mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element.	Poor	80	87	93	
	Fair	71	81	89	
	Good	62	74	85	
Oak-aspen – mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush	Poor	66	74	79	
	Fair	48	57	63	
	Good	30	41	48	
Pinyon-juniper – pinyon, juniper, or both; grass understory.	Poor	75	85	89	
	Fair	58	73	80	
	Good	41	61	71	
Sagebrush with grass understory.	Poor	67	80	85	
	Fair	51	63	70	
	Good	35	47	55	
Desert shrub – major plants include saltbrush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus.	Poor	63	77	85	88
	Fair	55	72	81	86
	Good	49	68	79	84