

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE SCIENCE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT hydraulique

N° :.....



DOMAINE : SCIENCE TECHNOLOGIE

FILIERE : hydraulique

OPTION : ouvrage

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

PAR :

BERRA Fatiha

MANSOUR Chahra

Intitulé

MODELISATION PLUIE DEBUT PAR LES LOGICIELLE
HEC-HMC " ET ARC-GISS DE BASSIN VERSANT
L'OUED FORMATOU

Devant le jury composé de :

	Université de M'sila	Président
BERGHOUT ALI	Université de M'sila	Rapporteur
	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

Nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné la santé, le courage et la foi pour réaliser ce modeste travail avec volonté

Je tiens dans un premier temps à remercier mon encadreur de mémoire le Dr. BERGHOUT ALI, de m'avoir accordé la liberté et la confiance dans l'élaboration de mes travaux de recherche.

Je voudrais préciser à son sujet que, même continuellement pris par ses propres préoccupations, il a su, grâce à sa modestie et à la clarté de ses idées de m'orienter et de faire des choix décisifs

Enfin, j'exprime ma grande gratitude pour les membres du jury qui évaluera notre travail.

DÉDICACES

Je dédie ce travail à :

A mon cher père, Mohammed

*A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et
tout mon respect*

A ma chère mère, Feguas Hassina

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit
non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre
heureuse.*

A Ma Chère Tante Feguas Khadidja EST SES ENFANTS

Ma chère grande sœur Samia et mon beau-frère Rami Jaber mes
chers frères pour leurs sacrifices et leurs encouragements durant toutes
mes études.

A toute ma famille et mes belles amies Chahra ,GHADA ,SARRA
en particulier ma belle binôme Mansour Chahra qui a enseigné et
travaillée, ainsi qu'à tous les étudiants de ma promotion

FATIHA

DEDICASES

Je dédie ce travail à :

La mémoire de Mon père Ahmed

A ma chère mère Chaa Saliha

et mes chères grandes sœurs Siham ,Linda, Amel ,Noua et mes chers frères Salh , Said, Hamza pour leurs sacrifices et leurs encouragements durant toutes mes études.

*A toute ma famille et mes belles amies YASMINE ,GHADA ,SARRA ,
MERIEM , CHAHRA*

en particulier ma belle binôme Berra Fatiha qui a enseigné et travaillée, ainsi qu'à tous les étudiants de ma promotion

CHAHRA

Sommaire	
Listes des figure	
Listes des tableaux	
Introduction générale	1
Chapitre I :ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
Introduction	4
MODELISATION APERÇUE GENERAL HYDROLOGIQUE	5
La modélisation hydrologique	6
Bilan hydrologique d'un bassin versant	6
Modèles hydrologiques de bassin versant	7
La modélisation pluie-débit	7
- Les modèles hydrologiques	9
-Classification des modèles hydrologiques	10
Modèles stochastiques	11
Modèles déterministes	11
Modèles à base physique	12
Modèles paramétriques	12
Modèles empiriques	12
Modèles analytiques	12
Modèles conceptuels	13
Modèles globaux	13
La modélisation pluie-débit	13
Conclusion	15
Chapitre II :DESCRIPTION DE LA ZONE DETUDE	
II.1. Introduction	17
Situation géographique	17
Définitions du bassin versant	18
Hydrographie du bassin versant	19
Condition du sol	20
Découpage administratif	21
Paramètres du relief	22
Ecologie de la Soummam	25
Climatologie	25

Les précipitations	26
Caractéristiques hydrographiques du sous bassin versant Fermato	26
Indice de compacité de Gravelius	26
Surface du bassin versant	27
Le rectangle équivalent	27
Temps de concentration	28
Altitudes caractéristiques	29
II.5 Les caractéristiques du réseau hydrographique :	29
II.5.1 Densité de drainage (Dd)	29
II.6 Etude climatologie	30
II.6.1 Les températures	30
Les précipitations	31
Étude de la pluviométrie interannuelle	32
Chapitre III .Description des logiciels Arc Gis, HecGeo HMS et HEC-HMS	
Introduction :	33
La description du modèle ArcGis	33
Présentation du logiciel ArcGis	33
Le principe directeur d'un SIG est le suivant :	33
La description du modèle HEC-HMS	38
Les caractéristiques générales du modèle	39
Le processus de fonctionnement	39
Le module structural du bassin	39
La structure du modèle HEC-HMS choisie	41
- La modélisation	41
Le module météorologique : les averses NRCS	41
La fonction de production : la NRCS CN	43
.1. Le concept de base	43
Les variables	45
8.3. Les paramètre	49
III-. Les fonctions de transfert : l'hydrogramme unitaire de la NRCS et de Clark:	47
9.2. L'hydrogramme unitaire de la NRCS	47
a. Le concept de base	49
CHAPITRE IV: APPLICATION DU MODELE	

Introduction	54
IV-1-Le processus de fonctionnement:	54
IV-2-1 Les données nécessaires à l'application de simulation avec HEC-HMS :	54
Les caractéristiques morphométriques des bassins	58
Les caractéristiques météorologiques	58
a- Découpage des bassins	58
b- La carte de sols	60
c- La carte d'occupation du sol ou du couvert végétal	61
d- Le pourcentage d'imperméable	61
Curve number CN	61
b-Abstraction Initiale Ia:	62
c- La pluie	63
Les dates des précipitations choisies .	63
Fonction de transfert : l'hydrogramme unitaire de la NRCS	74
a- Le concept de base	74
b- b- Les paramètres	75
Le débit de base : la récession exponentielle	76
1- Le concept de base	76
-2- La variable	77
3- Les paramètres	77
- L'élaboration du modèle(pluie - débit liquide)	78
- La calibration du modèle	79
Quelques graphes de type 1a	80
Quelques graphes de type 2	84
Conclusion générale	92
Référence Et Bibliographie	

Listes des figure

Figure I.1 : donne une classification des modèles hydrologiques en se basant sur ces critères	11
Figure II. la situation de la zone d'Eude para port au bassin hydrographique de l'Algérie de nord	18
Figure II.3 : découpage de carte du sols du bassin versant oued fermatou	21
Figure II.4 : situation de la zone d'Eude para port au wilayas limitrophes	21
Figure II.5 : carte de relief du bassin versant oued fermatou	23
Figure II.6 : Carte géologique du bassin versant de la Soummam	24
FigureII.7. : représenté l'altitude de bassin versant OUED FERMATOU d'après Arc-gis	29
Figure II.8 : diagramme de température de la région	30
FigureII.9 : Courbe de température de la région	31
FigureIII.1 : présente la distribution d'une averse de 20 mm selon e les quatre types	42
Figure III.2 : La notion d'hydrogramme unitaire et ses caractéristiques fondamentales	48
Figure III-3 : L'illustration de la méthode de la récession exponentielle	51
figureIV-1 : Fenêtre de l'interface du HEC-HMS représente le Bassin Fermato et ses sous bassins	56
Figure IV .2 : Découpage du bassin versant oued Fermatou.	59
Figure IV .3 : Carte représenté les précipitations10 des sous bassins	64
Figure IV .4 :Carte représenté les précipitations09 des sous bassins	65
Figure IV .5 :Carte représenté les précipitations08 des sous bassins	66
Figure IV 6 :Carte représenté les précipitations07 des sous bassins	67
Figure IV .7 :Carte représenté les précipitations06 des sous bassins	68
Figure IV .8 :Carte représenté les précipitations05 des sous bassins	69
Figure IV .9 :Carte représenté les précipitations04 des sous bassins	70
Figure IV.10 : Carte représenté les précipitations03 des sous bassins	71

Figure IV.11 représenté les précipitations02 des sous bassins	72
Figure IV .12 :Carte représenté les précipitations05 des sous bassins	73
FigureIV- : La notion d'hydrogramme unitaire et ses caractéristiques fondamentales	74
Figure-IV.13 : L'illustration de la méthode de la récession exponentielle, d'après (USACE, 2013)	77
Figure.IV.14 : fenêtre représente le graphe de pluie débit d'averse type 1.a	80
Figure.IV.15 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 1.a	81
Figure.IV.16 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 1.a	81
Figure.IV.17 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 1.a	82
Figure.IV.18 fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 1.a	82
Figure.IV.19 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 1.a	83
Figure.IV.20 fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 1.a	83
Figure.IV.21 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 02	84
Figure.IV.22 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 02	84
Figure.IV.23 fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 02	85
Figure.IV.25 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 02	85
Figure.IV.24 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 02	86
Figure.IV.26 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 02	86
Figure.IV.27 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 02	87
Figure.IV.28 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 02	87
Figure.IV.29 fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 02	88

Listes des tableaux

TableauII.1 :représenté les résultats de temps de concentration	28
TableauII .2 :represente le a temperature de la région	31
Tableau II.3 : Pluviométrie annuelle en (mm).	32
Tableau –III-1 : Les capacités initiales i_0 et finales i_f d'infiltration en fonction des classes de sols définies par le NRCS (D'après Hillel, 1974)	45
TableauIII.2 : Les valeurs usuelles de l'abstraction initiale I_a et du coefficient CN	47
Tableau –IV.1 :Caractéristiques topographiques des sous bassins formant le bassin Oued Fermatou	60
Tableau –IV.2:Caractéristiques topographiques du réseau hydrographique du bassin oued Fermatou	60
Tableau IV.3: Tables NRCS des valeurs de CN (USACE, 2013)	61
Tableau IV4. :représentées valeurs de précipitation10	64
Tableau IV.5 :représentées valeurs de précipitation09	65
Tableau IV.6 :représentées valeurs de précipitation08	66
Tableau IV. 7:représentées valeurs de précipitation07	67
Tableau IV. 8:représentées valeurs de précipitation06	68
Tableau IV.9 :représentées valeurs de précipitation 05	69
Tableau IV.10 :représentées valeurs de précipitation04	70
Tableau IV.11 :représentées valeurs de précipitation03	71
Tableau IV.12 :représentées valeurs de précipitation01	72
Tableau IV.13 :représentées valeurs de précipitation01	73
Tableau IV.14:Les valeurs des T_{lag} calculé.	76
Tableau IV.15: Les entrées à saisir pour chaque fichier de simulation	79



Introduction générale

Introduction générale

Dans un bassin versant, la transformation de la pluie en débit résulte d'un certain nombre de mécanismes complexes qui interviennent simultanément à différentes échelles spatiales et temporelles. De ce fait le modèle pluie-débit trouve sa nécessité dans la mesure où le modèle conçu à partir des chroniques de pluies observées, peut générer des débits qui soient les plus proches possibles des débits observés, c'est à dire à partir des observations de pluie tombée, on peut arriver à reproduire (ou à prédire) la réponse en débit du bassin. La modélisation pluie-débit permet de décrire la transformation de ces pluies en débits dans les cours d'eau d'un bassin versant en tenant compte de la réalité du terrain.

La transformation pluie-débit nous permet de maîtriser la prévision des débits pour deux objectifs distincts:

- * La bonne exploitation des aménagements hydrauliques. En effet, l'utilisation régulière de la prévision de débit permet d'optimiser la régulation des aménagements disposant d'une certaine accumulation, de procéder à des vidanges préventives lors des crues, d'éviter des déversements et d'augmenter les performances au sens large d'un aménagement.

- * Assurer la sécurité des populations et des biens. Elle est utilisée comme une aide efficace à la décision lors de situations de crise.

Notre modélisation (pluie-débit) est appliquée à une partie du bassin versant de la BOUSSELAM appartenant au bassin versant de SOUMAM n°15 selon la nomenclature adoptée par l'ANRH, qui est «Oued FERMATOU».

Des événements hydrologiques extrêmes se sont produits à son niveau. Ces crues sont intéressantes à analyser tant sur l'aspect forme que sur l'aspect de leur dynamique.

Le bassin versant d'Oued FERMATOU est contrôlé par quatre stations pluviométriques et une station hydrométrique.

Introduction générale

Le principe de la modélisation pluie-débit par le logiciel HEC-HMS permet d'obtenir des informations sur le fonctionnement du système hydrologique du bassin versant.

Notre travail sera élaboré selon les étapes suivantes : Généralités sur la modélisation hydrologique, présentation de la zone d'étude et méthodologie et application du Hec-Hms.

Ce travail est structuré de la façon suivante :

Le premier chapitre présente un aperçu des généralités sur la modélisation hydrologique.

Le second chapitre sera consacré à une description générale du bassin versant d'Oued Soumam en général et le sous bassin Fermatou en particulier.

Le troisième chapitre sera réservé à une description générale des logiciels utilisés dans cette étude à savoir l'Arc-Gis, Hec-Geo-Hms et Hec-Hms.

Le dernier chapitre qui est le fond de notre travail, sera consacré à l'application pour notre bassin versant Fermatou.

En fin, le travail est conclu par une synthèse et une conclusion générale de cette étude dans laquelle on propose quelques voies pour des recherches futures.

Chapitre I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction :

Dans un bassin versant, la transformation de la pluie en débit résulte d'un certain nombre de mécanismes complexes qui interviennent simultanément à différentes échelles spatiales et temporelles. De ce fait le modèle pluie-débit trouve sa nécessité dans la mesure où le modèle conçu à partir des chroniques de pluies observées, peut générer des débits qui soient les plus proches possibles des débits observés, c'est à dire à partir des observations de pluie tombée, on peut arriver à reproduire (ou à prédire) la réponse en débit du bassin. La modélisation pluie-débit permet de décrire la transformation de ces pluies en débits dans les cours d'eau d'un bassin versant en tenant compte de la réalité du terrain.

La transformation pluie-débit nous permet de maîtriser la prévision des débits pour deux objectifs distincts:

* La bonne exploitation des aménagements hydrauliques. En effet, l'utilisation régulière de la prévision de débit permet d'optimiser la régulation des aménagements disposant d'une certaine accumulation, de procéder à des vidanges préventives lors des crues, d'éviter des déversements et d'augmenter les performances au sens large d'un aménagement.

* Assurer la sécurité des populations et des biens. Elle est utilisée comme une aide efficace à la décision lors de situations de crise.

Notre modélisation (pluie-débit) est appliquée à une partie du bassin versant de la BOUSSELAM appartenant au bassin versant de SOUMAM n°15 selon la nomenclature adoptée par l'ANRH, qui est «Oued FERMATOU». Des événements hydrologiques extrêmes se sont produits à son niveau. Ces crues sont intéressantes à analyser tant sur l'aspect forme que sur l'aspect de leur dynamique.

Le bassin versant d'Oued FERMATOU est contrôlé par quatre stations pluviométriques et une station hydrométrique.

Le principe de la modélisation pluie-débit par le logiciel HEC-HMS permet d'obtenir des informations sur le fonctionnement du système hydrologique du bassin versant.

Notre travail sera élaboré selon les étapes suivantes : Généralités sur la modélisation hydrologique, présentation de la zone d'étude et méthodologie et application du Hec-Hms

MODELISATION APERÇUE GENERAL HYDROLOGIQUE

Ce chapitre est consacré à la modélisation hydrologique à travers une présentation des différents types de modèles rencontrés dans la hydrologique et d'un exemple de procédure de modélisation.

La modélisation hydrologique a pour objectif de représenter mathématiquement les processus hydrologiques. La modélisation du comportement hydrologique des bassins versants touche plusieurs domaines d'application (gestion des ressources en eau, aménagement du Territoire ...). Dans un contexte opérationnel, les modèles hydrologiques sont utilisés pour répondre à deux problématiques principales :

***L'évaluation des risques hydrologiques liés aux phénomènes de crues et la gestion de la ressource en eau liée à l'apparition des étiages. On définira en suite les fonctions de production et de transfert généralement utilisées dans nombre de modèles qui traitent de la transformation de la pluie en débit.

***La seconde partie traitera de la modélisation pluie-débit. Après avoir défini les objectifs de la modélisation, on donnera une classification des différents modèles hydrologiques. On terminera par une description du processus de la modélisation pluie débit.

La modélisation hydrologique:

La modélisation consiste à mettre un processus en équation. La modélisation hydrologique revient à la traduction mathématique du cycle de l'eau : ses réservoirs et processus doivent être conceptualisés et simplifiés sous forme d'équations.

***Les objectifs de modélisation sont multiples : prévisions (crues, sécheresse, gestion de, l'irrigation, d'ouvrages hydroélectriques, recharge d'aquifères) ou simulations de scénarios (changement climatique ; aménagements de bassins d'un point de vue qualité ou quantité d'eau).La modélisation du comportement hydrologique des bassins versants doit pouvoir décrire les différentes étapes de la transformation pluie-débit.

Un grand nombre de modèles de structures différentes, combinant généralement des fonctions linéaires et non-linéaires ont été développés depuis le début des années 1960

***Bilan hydrologique d'un bassin versant:

Un bassin versant est défini par rapport à une section droite d'un cours d'eau être présente la superficie drainée par ce cours d'eau à l'amont de ladite section. Toute eau qui ruisselle à l'intérieur du bassin versant transite donc par la section droite considérée appelée exutoire. L'eau précipitée à l'échelle du bassin versant se répartit en eau interceptée, retenue à la surface du sol, infiltrée et ruisselée. La totalité de l'eau interceptée et retenue à la surface du sol et une partie de l'eau infiltrée est perdue par évaporation et évapotranspiration. La hauteur d'eau ruisselée en surface ou pluie nette se transforme ruissellement direct et constitue l'essentiel de l'écoulement vers l'exutoire. Les autres composantes de l'écoulement à l'exutoire sont l'écoulement retardé et le débit de base qui

proviennent respectivement de l'eau infiltrée en zone non saturée et de l'eau des nappes souterraines.

Notre étude se basera essentiellement sur la transformation de la pluie précipitée en débit à l'exutoire du bassin versant. Les modèles utilisés dans ce travail sont des modèles à deux fonctions de transformation indépendantes et juxtaposées. La pluie observée est tout d'abord transformée en eau disponible pour le ruissellement au moyen d'une fonction de production ; le transfert de cette eau du lieu de production à l'exutoire du bassin versant se fait ensuite au moyen d'une fonction de transfert.

*****Modèles hydrologiques de bassin versant:**

La modélisation hydrologique de bassin versant s'intéresse au cycle de l'eau sur un bassin ; elle inclut donc des fonctions de production (liées aux transferts verticaux) et des fonctions de transfert (liées aux redistributions latérales). Un modèle est construit afin de répondre à une question posée dans un milieu donné et suivant une formulation de la réalité choisie. Il doit aussi tenir compte des données de forçage et de validation disponibles ainsi que de la résolution spatio-temporelle de ces données.

Il existe une très grande variété de modèles hydrologiques, car les processus pris en compte et l'approche adoptée pour les conceptualiser diffèrent selon les auteurs.

La modélisation pluie-débit:

***Définitions:**

Très souvent, il y a insuffisance de données de débits alors que les données pluviométriques sont généralement abondantes. Il apparaît donc nécessaire, en vue d'une meilleure gestion des ressources en eau par une connaissance plus précise des quantités d'eau disponible, de transformer les données pluviométriques en données hydrométriques .

D'où l'intérêt de la modélisation pluie-débit basée sur l'utilisation de modèles simulant la réalité.

Un modèle peut être défini comme la représentation simplifiée d'un phénomène naturel complexe permettant la simulation d'un processus physique. En particulier, un modèle de transformation pluie-débit est un outil qui permet de générer, à partir d'une série de données pluviométriques et d'évapotranspiration potentielle, des débits les plus proches possibles de ceux réellement observés ou potentiellement observables à l'exutoire d'un bassin versant. Un modèle doit répondre à deux critères bien souvent antagonistes : il doit être suffisamment simple pour que sa formulation soit possible et que son exploitation soit aisée et le plus complet possible pour décrire plus fidèlement le système étudié.

Plusieurs auteurs ont proposé une classification : à titre d'exemple Refsgaard et Storm (1996) classent les modèles en trois catégories:

- **les modèles conceptuels:** considèrent le bassin versant, comme un ensemble de réservoirs interconnectés.
- les modèles empiriques:** de type boîte noire, cherchent à reproduire la dynamique des variables de sortie sans tenter de décrire les processus élémentaires.
- les modèles distribués à base physique:** cherchent à décrire l'ensemble des processus élémentaires en tout point du bassin versant.

La notion de modèles physiques est à opposer à celle de modèles conceptuels, ainsi que l'on oppose modèles distribués à modèles global au niveau de la description spatiale du bassin versant.

Il n'y a pas de conflit entre ces différents modèles qui ont été développés à des fins différentes : les modèles physiques et distribués pour une étude plus fine des processus hydrologiques, et les modèles conceptuels pour une détermination des paramètres moyens sur le bassin étudié et des débits à l'exutoire uniquement

- Les modèles hydrologiques:

Un modèle est une représentation d'un phénomène physique, dans le but de comprendre les processus qui le régissent. Cette représentation peut être physique, analogique ou mathématique. Dans le premier cas, le modèle est une maquette qui reproduit d'une manière plus au moins adéquate la réalité. Les modèles analogiques se basent sur les similitudes entre le phénomène à étudier et un autre phénomène physique. La modélisation mathématique est un outil essentiel pour la connaissance des phénomènes naturels, elle essaye d'établir un lien entre les variables d'entrée et de sortie par des relations mathématiques. Au cours de ces dernières années, les efforts de la recherche pour la compréhension du cycle de l'eau dans les milieux naturels (bassins versants, rivières, nappes, etc.), associés aux développements de l'informatique, se sont concrétisés par l'apparition d'une multitude de modèles mathématiques.

On peut distinguer trois types d'utilisation des modèles mathématiques en hydrologie:

- La modélisation comme outil de recherche : La modélisation peut être utilisée pour interpréter des données mesurées. Différents scénarios de fonctionnement hydrologique des bassins versants peuvent être confrontés aux mesures.

- La modélisation comme outil de prévision : elle nous donne une anticipation des évolutions futures du débit d'un cours d'eau. Il s'agit de

l'utilisation opérationnelle la plus courante des modèles hydrologiques. Dans la plupart des cas cependant, les modèles développés sont basés sur des régressions linéaires entre les variables indépendantes (pluie, débits amont) et les variables dépendantes (débits aval), et font peu appel aux connaissances sur les processus hydrologiques.

- La modélisation comme outil d'extrapolation : reconstitution de séries de débits plausibles. Dans certains cas, comme par exemple le dimensionnement de déversoirs de sécurité de barrages hydroélectriques ou encore la délimitation de zones inondables. La modélisation du comportement hydrologique des bassins versants est incontournable chaque fois qu'on s'intéresse à des problèmes liés à la gestion des ressources en eau, à l'aménagement du territoire et aux différents risques hydrologiques (sécheresse, inondation. ...).

Cette modélisation doit décrire de manière fidèle et réaliste les différentes étapes liées à la transformation de la pluie en débit. On l'utilise aussi pour obtenir des informations intéressantes

pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

-Classification des modèles hydrologiques:

Depuis l'apparition de la modélisation hydrologique, de nombreux modèles ont été développés en fonction des objectifs recherchés, sur base de différents choix d'élaboration, menant à une multitude de modèles exploitables dont chacun est doté de champs d'application et de validité restreints. Les différences portent notamment sur les options de simulation en termes de discrétisation spatiale : les modèles sont globaux ou distribués. Et enfin, ils diffèrent au point de vue de l'expression des phénomènes hydrologiques, liés soit à des équations empiriques, soit à des équations physiques, soit à une simplification plus ou moins poussée de ces équations physiques (approche conceptuelle). Bref, les critères de classification des modèles reposent

principalement sur la représentation de l'espace, du temps et des processus décrits (Singh, 1995 Payraudeau, 2002).

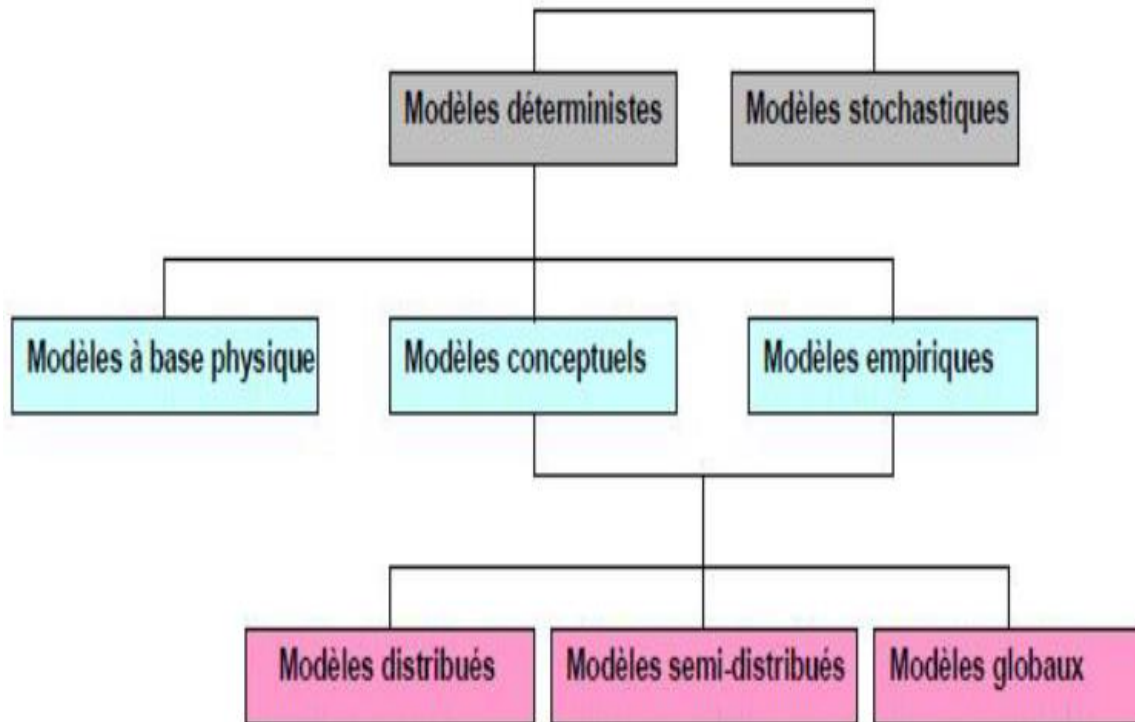


Figure I.1 : donne une classification des modèles hydrologiques en se basant sur ces critères

Modèles stochastiques:

La modélisation stochastique peut être envisagée dans le cas où il y a des incertitudes sur les données ou parfois même sur les processus mis en jeu. Ainsi Jensen (1992) considère qu'une approche stochastique est un moyen rationnel de traiter la caractérisation spatiale de la variabilité, et d'établir un lien entre les incertitudes des paramètres et celles des prédictions. Toutefois cette approche, qui semble par ailleurs le meilleur moyen de caractériser la variabilité es grandeurs, nécessite la connaissance des lois de probabilité les plus courantes pour la variabilité considérée ou au moins de leurs premiers moments

Modèles déterministes:

Un modèle est dit déterministe (par opposition à stochastique) si aucune de ses grandeurs n'est considérée comme aléatoire, c'est à dire

résultant soit de l'observation soit de grandeurs reconstituées. La plupart des modèles hydrologiques sont déterministes. Ces modèles associés à chaque jeu de variables de forçage, de variables d'état et de paramètres, une valeur de réalisation unique des variables de sortie (il s'agit essentiellement des débits simulés à l'exutoire d'un bassin versant).

Modèles à base physique

Le modèle à base physique est basé uniquement sur des équations de la physique, et ne comportant idéalement aucun paramètre. Il n'existe pas de modèle à base physique au sens strict en hydrologie. L'importance de l'hétérogénéité spatiales dans la réponse hydrologique des bassins versants rend cependant difficile voire impossible l'utilisation de tels modèles. La précision spatiale des données disponibles en particulier concernant les types de sols et leurs profondeurs n'est pas suffisante. Dans la pratique, les profondeurs et les conductivités moyennes des sols représentatifs de sous parties du bassin versant doivent être évaluées par calage

Modèles paramétriques:

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

Modèles empiriques:

Les modèles empiriques reposent sur les relations observées entre les entrées et les sorties de l'hydro-système considéré. Ils expriment la relation entre variables d'entrée et de sortie du système (relation pluie débit) à l'aide d'un ensemble d'équations développées et ajustées sur la base des données obtenues sur les systèmes. Un modèle empirique ne cherche pas à décrire les causes du phénomène hydrologique considéré ni de ni à expliquer le fonctionnement du système, les systèmes est vu comme une boîte noire.

Modèles analytiques:

Ce sont des modèles pour lesquels les relations entre les variables de sortie et les variables d'entrée ont été établies par analyse de séries de données mesurées. L'exemple type est celui des modèles linéaires : les paramètres de ces modèles sont liés aux coefficients de corrélation entre les variables. Notons que l'analyse des données peut conduire au choix de relations non linéaires entre les variables.

Modèles conceptuels:

Les modèles conceptuels considèrent en générale le bassin versant, après quelques simplifications du cycle de l'eau, comme un ensemble de réservoirs interconnectés. Ce type de modèle reproduit donc au mieux le comportement d'un système, plutôt qu'il n'avance d'explications causales sur son comportement. Le modèle CEQUEAU est un parfait exemple de modèle conceptuel que nous présenterons dans la section suivante.

Modèles globaux:

Dans un modèle global le bassin est considéré comme une entité unique. Des relations empiriques (issues de l'expérience) relient les entrées et les sorties sans chercher à se rapprocher d'une loi physique. Les modèles globaux offrent à l'utilisateur un choix très attractif, car il présente une structure très simplifiée, il ne demande pas trop de données, faciles à utiliser et à calibrer. La représentation du processus hydrologique est très simplifiée. Il peut souvent mener à des résultats satisfaisants, spécialement si l'objectif majeur est la prévision d'une crue.

La modélisation pluie-débit :

Le cycle de l'eau fait l'objet d'un très grand nombre de modélisations répondant chacune à des objectifs précis. Certains de ces objectifs étant parfois contradictoires par les différents utilisateurs de l'eau (urbanistes, aménageurs, agriculteurs, gestionnaires de voies navigables, gestionnaires de centrales électriques, de réseaux d'alimentation en eau potable et d'épuration, ...) que naît la multiplicité des modèles.

Un modèle pluie-débit : définition et objectif :

i) Qu'est-ce qu'un modèle pluie-débit ?

En hydrologie, un modèle pluie-débit est une représentation mathématique simplifiée du

Comportement d'un bassin versant. Il est généralement défini par :

1) Ses variables d'entrée (variables indépendantes) : il s'agit des entrées du modèle, qui sont essentiellement les chroniques de pluie, d'évapotranspiration (ETP) ou de température,

2) Ses variables de sortie (variables dépendantes) : il s'agit des sorties du modèle, qui sont

Généralement les débits simulés à l'exutoire du bassin versant, mais qui peuvent parfois être

aussi des niveaux piézométriques, ou d'une autre variable intéressant le modélisateur.

3) Ses variables d'état : il s'agit des variables internes au système, qui évoluent en fonction du temps et rendent compte de l'état du système à un moment donné. Typiquement, ces variables sont les niveaux de remplissage des différents réservoirs (neige / production / routage),

4) Ses paramètres : les paramètres des modèles hydrologiques, qu'ils aient une pseudo-signification physique ou qu'ils soient calés, servent à adapter la paramétrisation des lois régissant le fonctionnement du modèle, au bassin versant étudié,

5) Ses performances : il s'agit d'estimer l'amplitude des erreurs de modélisation, calculées généralement sur la base d'une mesure de l'écart entre les valeurs simulées et les valeurs mesurées.

Conclusion :

Il s'avère que la description des processus qui entrent en jeu dans la réponse hydrologique d'un bassin versant n'est pas une tâche aussi facile, cette description demande la connaissance et la maîtrise d'une variété de facteurs et de paramètres. Des renseignements suffisants sur ces données ne sont pas toujours disponibles pour tous les bassins versants, d'où la nécessité de s'investir davantage dans l'étude de détermination de ces données pour développer des modèles qui représentent le mieux la réponse hydrologique du bassin.

Chapitre II

***DESCRIPTION DE LA ZONE
DETUDE***

II.1. Introduction

L'étude détaillée du bassin versant d'un cours d'eau est indispensable avant toute modélisation numérique ou étude d'impact environnemental.

. L'objet de ce chapitre est d'accéder à une connaissance générale des principales caractéristiques du bassin versant de la Soummam en général et bassin versant Fermatou plus précisément. Cette partie sera donc avant tout descriptive et qualitative. Dans un premier temps, nous allons décrire globalement le bassin versant, en le situant géographiquement, en étudiant sa topologie et sa nature géologique. Ensuite, nous allons chercher à étudier plus précisément le cours d'eau.

Situation géographique :

Dans ces hauts plateaux sétifiennes, dans la partie Est du bassin versant Soummam, se situe le sous bassin versant FERMATOU ; Il s'étend sur une surface de 104.64 km²; de forme allongée; limité par les coordonnées géographiques suivantes : Latitudes entre 36,22 et 36,36 au Nord et Longitude entre 5,39 et 5,52 à l'Est. De périmètre 63.97 km

Au Nord, le bassin est délimité principalement par la chaîne montagneuse du Djurdjura, dont le sommet le plus élevé est de 2 308 m d'altitude (Lalla khedidja), tandis que sa limite au sud située aux monts du Hodna. Moins élevée que le Djurdjura (l'altitude maximale est de 1862 m). Vers l'Est et l'Ouest le bassin de la Soummam est ouvert, c'est dans cette partie du bassin que se situent les hauts plateaux de Sétif et de Bouira.

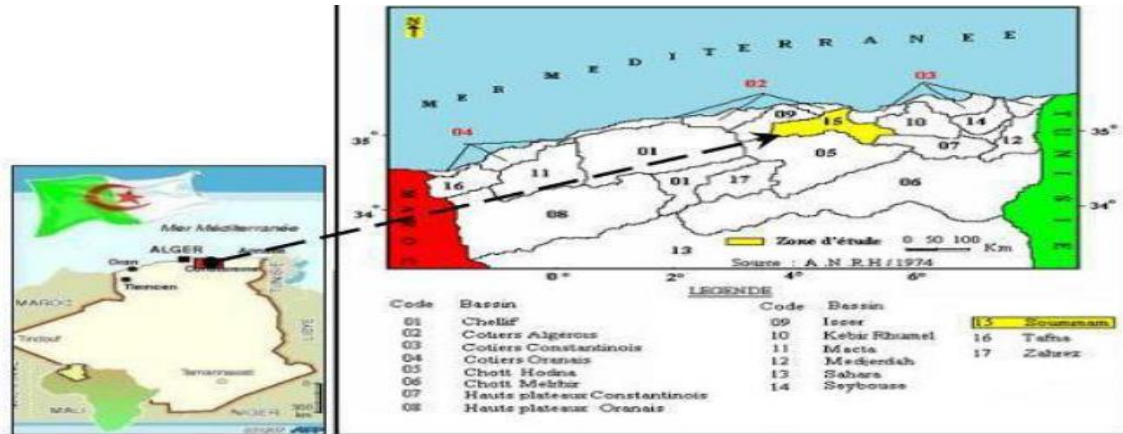


Figure II. la situation de la zone d'Etude para port au bassin hydrographique de l'Algérie de nord

Définitions du bassin versant:

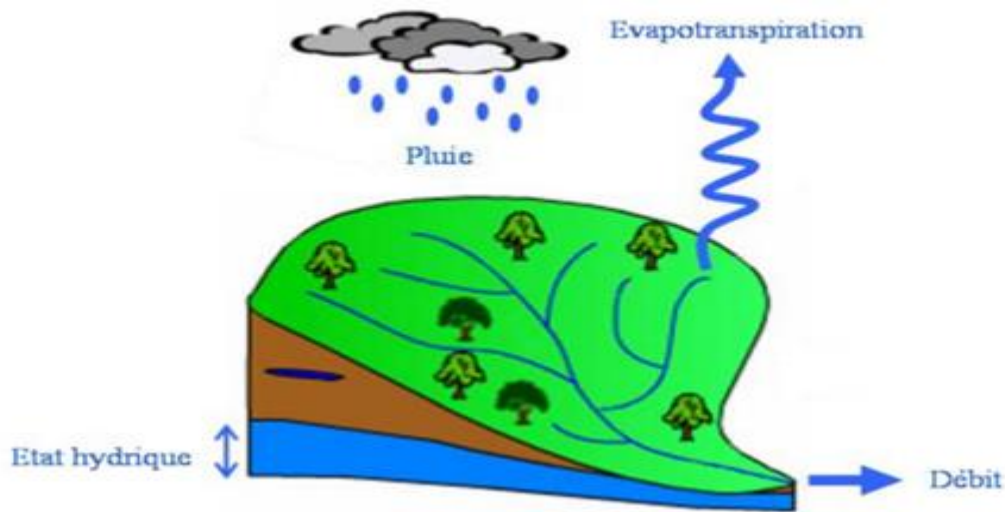
Le bassin versant est l'ensemble des territoires superficiels et souterrains qui se drainent vers le même exutoire.

On distingue habituellement:

-Le bassin fonctionnel: portion de l'espace géographique dont les eaux se drainent vers un même cours d'eau.

-Le bassin topographique: portion de l'espace géographique dont les pentes convergent vers un même cours d'eau. Il peut être identique au bassin fonctionnel ou différent selon la géologie ou la perméabilité du terrain. Toutefois, la délimitation topographique nécessaire à la détermination en surface du bassin versant naturel n'est pas suffisante. Lorsqu'un sol perméable recouvre un substratum imperméable, la division des eaux selon la topographie ne correspond pas toujours à la ligne de partage effective des eaux souterraines

Le bassin versant est alors différent du bassin versant délimité strictement par la topographie. Il est appelé dans ce cas bassin versant réel.



Hydrographie du bassin versant :

Le bassin versant de la Soummam est très développé hydrographiquement par ses divers affluents (cours d'eau), ses eaux dont la majorité est drainé par l'Oued de Bou-Sellam et le Sahel qui en se joignant près d'Akbou forment l'Oued de la Soummam. En ce qui concerne les eaux souterraines, dans la grande partie de bassin versant de la Soummam, elles sont confinées dans des couches profondes et ne peuvent remonter en surface que par des courants ascendants. Le bassin versant de la Soummam, ayant pour exutoire la mer draine un cours d'eau d'une longueur de 150 Km, allant de Bou-Sellam à Oued Rhir.

L'Oued Fermatou qui est l'affluent principal d'Oued Sellam drainant la partie Nord du sous bassin versant de Oued Sellam à partir de la chaîne montagneuse Tababourt.

*Conditions climatiques : Les conditions climatiques dans le bassin versant de la Soummam ne sont pas uniformes, à Bejaia et dans la basse vallée de la

Soummam, le climat est essentiellement méditerranéen généralement humide avec de légers changements de température.

Sur les plateaux de Sétif ou se situe notre sous bassin d'étude et de Bouira le climat est continental avec des hivers humides et des étés chauds. Les précipitations annuelles de la Soummam varient énormément entre environ 300 mm sur les plateaux de Sétif et 1000 mm près de la cote de Bejaia, elles atteignent approximativement 1500 mm sur les flancs Sud du massif du Djurdjura. Les étés sont secs, avec seulement 30% des précipitations annuelles pendant la période allant d'Avril à Septembre.

Condition du sol :

Dans le bassin versant de la Soummam on trouve des types de sols anciens de formation paléo marécageuse qui sont caractérisés par des formations bien accentués. La carte des sols du bassin de la Soummam a été extraite de la carte des sols de l'Algérie faite par J. Durand en 1954.

La majorité des sols dans le bassin de la Soummam y compris le sous bassin versant Fermatou sont des sols calcaires (riches en calcaire). Ces sols ont généralement une texture légère et sont donc perméables.

Au nord du bassin, on rencontre des sols insaturés qui ne contiennent pas de calcaire dont l'argile peut être plus abondante en surface qu'en profondeur; leurs roches mères sont généralement imperméables ou donnent des produits de décomposition imperméables. Le long des oueds, les sols existants sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux. En outre on rencontre, en petites quantités des sols calciques et des sols en équilibre peu épais, plus ou moins riches en calcaire et très pauvres en sels solubles.

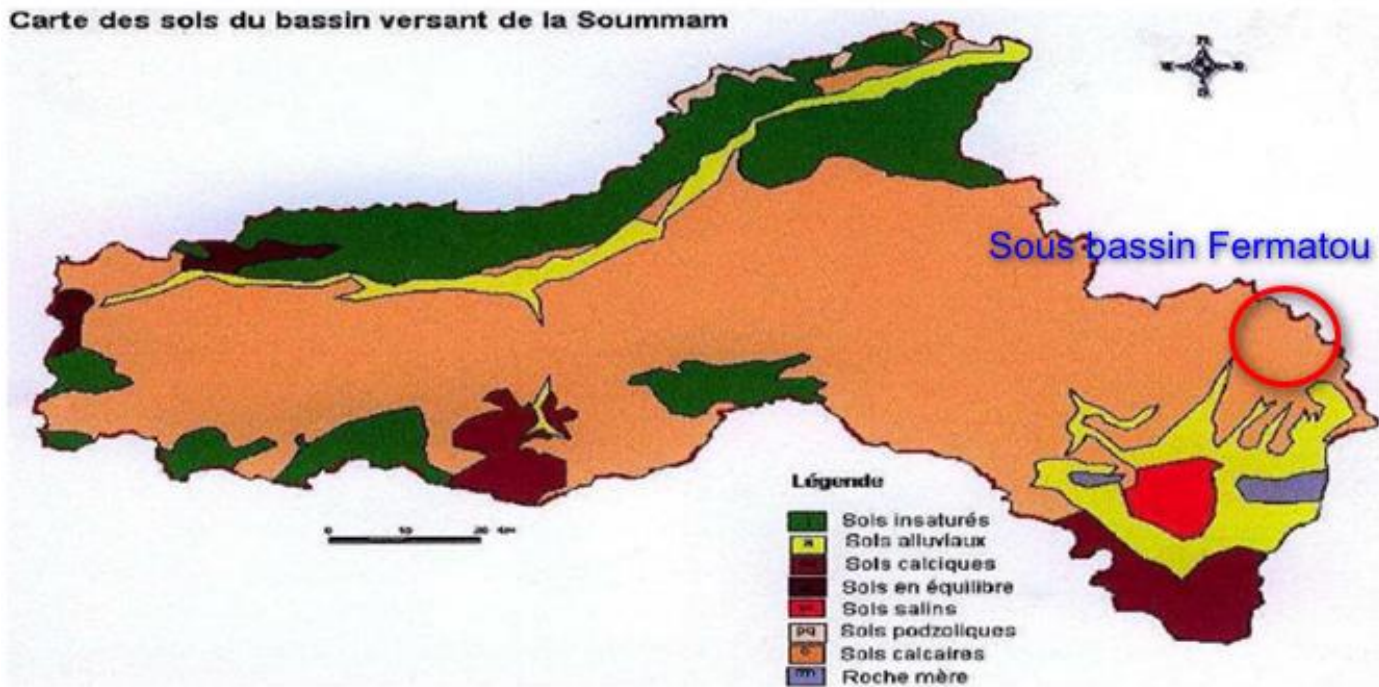


Figure II.3 : découpage de carte du sols du bassin versant oued fergatou

Découpage administratif :

Selon le découpage administratif, la zone d'étude couvre quatre wilayas, Béjaïa, Bouira, Sétif et Bordj Bou Arréridj et le sous bassin de Fergatou se situe dans la wilaya de Sétif.



Figure II.4 : situation de la zone d'Eude para port au wilayas limitrophes

Paramètres du relief:

Le relief joue un rôle important sur le comportement hydrologique d'un bassin, il détermine en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement, l'infiltration et la vaporisation. Le relief de la Soummam présente une forme assez irrégulière ; au nord, le bassin est limité par les chaînes de Djurdjura, au sud par les montagnes de Bibans et des Djebels Mansourah, à l'Est par les montagnes de la petites Kabylie. En allant de Bouira vers Akbou, l'orographie du bassin est très prononcée, l'altitude n'est en aucun endroit inférieure à 1500 m. C'est dans cette région, près de Maillot (M'Chedallah) qu'est situé le point culminant (Lalla Khedidja) de la Soummam (2308 m). L'altitude diminue graduellement en avançant d'Akbou vers la mer. Les montagnes de la petite Kabylie sont également prononcées de point de vue altitude, leur plus haut sommet atteint 2004 m au Djebel Babor qui limite le sous bassin versant Fermatou au Nord. De même les chaînes montagneuses du sud ne restent pas orthographiquement en arrière par rapport aux massifs cités précédemment, les pics sont atteints aux Bibans 1832 m et Djebel Mansourah 1836m. [3]

La longueur de la vallée (longueur du lit majeur) est de 65 km pour une dénivellation de 166 m, soit une pente moyenne de 2,5 ‰. La longueur développée suivant le lit mineur (basses eaux) est de 90 km, soit une pente moyenne de 1,85 ‰. La pente varie de 3,0 ‰ à 3,5 ‰ entre Akbou et Takrietz. Puis l'on note au passage des gorges de Takrietz et de Sidi Aich un adoucissement notable, la pente étant de l'ordre de 2 ‰. A l'aval de Sidi Aich, la rivière retrouve une pente plus forte, de l'ordre de 3 ‰ qui varie ensuite régulièrement jusqu'à l'embouchure où elle est de l'ordre de 0,2 ‰.

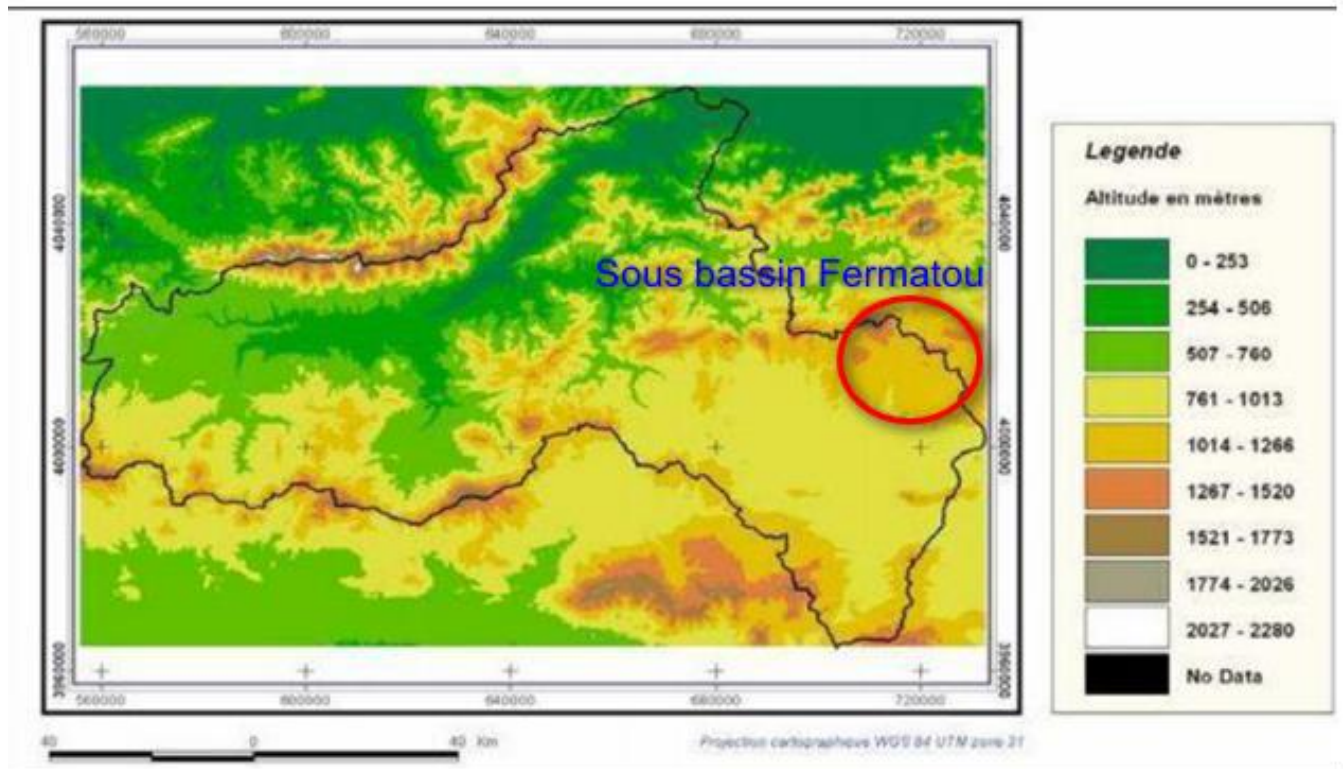


Figure II.5 : carte de relief du bassin versant oued fermatou

-La géologie: Il y a une complexité géologique des terrains formant le bassin versant de la Soummam, on distingue:

-Le Quaternaire : représenté par des alluvions le long des Oueds et au niveau des hautes plaines.

-Le Pliocène Continental : le coteau du Sahel est couronné par des graviers siliceux et fluviaux. Ailleurs, il est conglomératique sinon caillouteux.

-Le Miocène : il s'agit essentiellement du Miocène inférieur. Il est continu depuis l'ouest de Bejaia jusqu'aux environs de Sidi Aich. Il affleure également du côté de Djebel Mansourah sous forme de grès.

-L'Oligocène : il est généralement argilo-gréseux. Il affleure en abondance à partir de Tazmalt et de part et d'autre de la vallée de la Soummam, en allant vers l'ouest. On note également sa présence au niveau de la chaîne de Gouraya et de la région de Béni-Mansour.

-L'Eocène : il est quasiment marneux, parfois calcaro-marneux. Il affleure surtout au niveau des hautes plaines.

-Le Crétacé : se présente, en général, sous forme de flysch. Il est étendu, continu depuis chaîne des Bibans jusqu'aux montagnes de la petite Kabylie. Le faciès est marneux au Crétacé supérieur (Sénonien). Il est schisteux, sous forme de bancs de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur avec quelques intercalations de grès au crétacé moyen (Albien) et apparaît dans la région de Béni-Mansour et la chaîne des Bibans. Il est gréseux pélitique, parfois carbonaté-gréseux au crétacé inférieur.

-Le Jurassique : il affleure surtout au niveau de la chaîne calcaire et le long de sa continuité vers l'est. Il est principalement calcaire-dolomitique.

-Le Trias : il est de faciès gypso-salin et apparaît le long de contacts anormaux (contact des nappes de charriage) dans le Tell méridional et est présenté par des conglomérats et des grès rougeâtres dans le Tell septentrional.

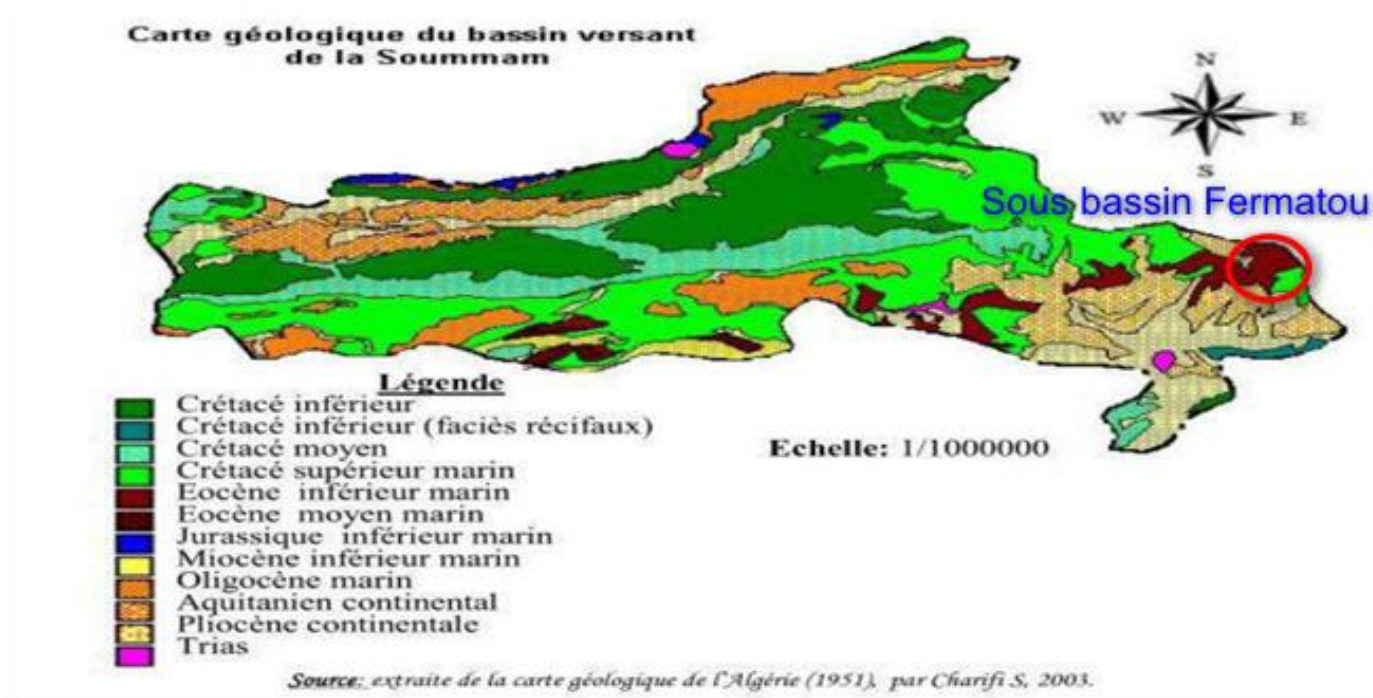


Figure II.6 : Carte géologique du bassin versant de la Soummam

Ecologie de la Soummam:

Le bassin de la Soummam est particulièrement varié au point de vue écologie (et donc agronomique) du fait de l'interférence entre l'accroissement de la sécheresse vers le sud d'une part et le compartimentage du relief de l'autre. Les chaînes constituent des obstacles au mouvement des masses d'air, qu'elles viennent du Sahara et soient desséchantes ou qu'elles soient issues de la Méditerranée donc riches en vapeur d'eau.

Les reliefs raides et élevés provoquent aussi une élévation des masses d'air favorable aux condensations, notamment aux averses violentes de connexion. Ils introduisent aussi un étagement qui permet à la neige de persister des semaines sur le flanc des hautes crêtes du Djurdjura, à quelques kilomètres des oranges de la vallée. Enfin, la lithologie, la nature des roches vient encore introduire des différences supplémentaires au niveau de la nature des sols.

Climatologie :

Dans chaque pays, chaque village, les caractéristiques moyennes des saisons déterminent le climat. On peut définir les climats à partir de deux phénomènes température et les précipitations, c'est à dire la pluie, la neige ou la grêle. Dans les grandes lignes, on décrit un type de climat, mais tant d'éléments le modifient.

Une région de montagne ne subira pas le même climat qu'une plaine. Une vallée située sur le versant d'une montagne n'a pas le même climat qu'une autre vallée sur le versant opposé, même si les deux sont à la même altitude.

Le climat du bassin versant de la Soummam, montre une série de transition entre climat humide, dans les montagnes proches de la Méditerranée, et climat semi-aride des hautes-plaines (sous bassin Fermatou). Mais partout les averses sont fréquentes et règne aussi en été une sécheresse prolongée. Les argiles se

dessèchent, se fendillent, ce qui favorisant certaines phénomènes (ruissellement, mouvement de masse et surtout nuit à la végétation)

Les précipitations:

Selon la situation géologique et la saison, les précipitations se caractérisent par des intensités, une durée et une fréquence très différentes. Les pluies peuvent être de très fortes intensités, ou alors être très faibles et persister plusieurs jours durant. La pluviométrie dans le sous bassin Fermatou dépasse généralement 600 mm/an. Dans les montagnes, elle atteint 1000 mm et ne descend en dessous de 600 mm que dans la vallée de la Haute-Soummam et les montagnes d'Ighil Ali [8]. En fait, plus on pénètre dans la vallée de la Soummam à partir de Béjaia, plus les précipitations diminuent. C'est la conséquence de l'effet de barrière de la chaîne de Djurdjura vis-à-vis des vents humides venant du nord-ouest, d'une part, et de l'effet de continentalité (la vapeur d'eau diminue si la distance de la mer augmente).

La part prépondérante des précipitations se limite aux mois d'hiver, les mois d'été sont secs (climat méditerranéen). Dans la vallée, il ne neige pratiquement jamais. Dans les montagnes, on enregistre, en moyenne, un minimum de 5 jours/an et un maximum de 10 jours/an de précipitations neigeuses.

Caractéristiques hydrographiques du sous bassin versant Fermato

Indice de compacité de Gravelius :

L'indice de Gravelius « K_G » appelé aussi indice de forme, cet indice caractérise la forme et l'allongement du bassin versant.

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot S}} = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Avec :

P: Périmètre du bassin versant,

S: Surface du bassin versant,

Plus le K_G sera proche de 1, plus le bassin aura une forme ramassé et plus le temps de concentration sera court.

Si K_G est proche de 1 le BV est de forme circulaire

Si $K_G \geq 1$ le BV est de forme allongée

Si $K_G = 1,12$ le bassin versant est carré

Dans notre cas du bassin

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot S}} = 0,28 \cdot \frac{63,97}{\sqrt{104,62}} = 1,75$$

➤ Le bv est de forme allongée

Le rectangle équivalent :

Afin de faciliter la comparaison entre les bassins versants, les hydrologues ont introduit la notion du rectangle équivalent. C'est une pure transformation géométrique du bassin versant, il est modélisé par un bassin de forme rectangulaire qu'on appelle rectangle équivalent, tels qu'il a les mêmes caractéristiques géométriques : la même superficie, le même périmètre, le même indice de forme et les mêmes caractéristiques climatiques. Les courbes de niveau dans le bassin modèle sont parallèles.

Si (L et l représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent).

Alors le : périmètre du rectangle équivalent vaut : $P = 2(l + L)$.

La surface du rectangle équivalent vaut : $S = L \times l$.

- La longueur du rectangle équivalent :

$$L = \frac{K_G \sqrt{S}}{1,128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_G} \right)^2} \right)$$

- La largeur du rectangle équivalent :

$$l = \frac{K_G \sqrt{S}}{1,128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_G} \right)^2} \right)$$

Avec :

L : La longueur du rectangle équivalent

l : La largeur du rectangle équivalent

S : La superficie du bassin versant

K_G : Le coefficient de compacité ou de Gravelius.

$$\text{➤ } L = \frac{1.75\sqrt{104.62}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.75}\right)^2}\right)$$

$$\text{➤ } L = 27.99 \text{ km}$$

$$\text{➤ } l = \frac{1.75\sqrt{104.62}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.75}\right)^2}\right)$$

$$\text{➤ } l = 3.74 \text{ km}$$

$$p = 2(27.99 + 3.74) = 63.46 \text{ km}$$

$$s = 27.99 * 3.74 = 104.68 \text{ km}^2$$

Temps de concentration :

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire, pour son calcul,

$$T_c = t_{lag} / 0.6$$

Tableau II.1 : représenté les résultats de temps de concentration

BVS	TLAG (min)	Tc (min)
bv_01	49,6	82,6
bv_03	57,0	95,0
bv_04	10,8	18,0
bv_05	11,4	19,0
bv_02	83,4	139,0

Altitudes caractéristiques :

Certaines altitudes sont caractéristiques pour un bassin versant. Elles donnent des indications supplémentaires sur le potentiel érosif du bassin, et sont représentés par :

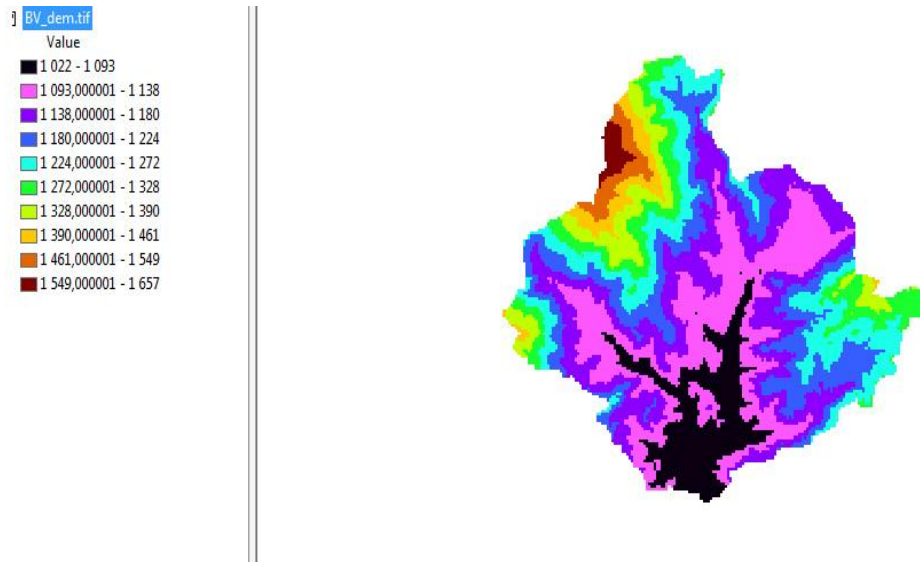


Figure II.7. : représenté l'altitude de bassin versant OUED FERMATOU d'après Arc-gis

L'altitude moyenne définie par l'altitude correspondant à la moyenne de la courbe hypsométrique ($H_{moy} = 1199.8 \text{ m}$).

- L'altitude la plus fréquente définie par le maximum de la courbe des fréquences altimétriques ($H_{max} = 1657 \text{ m}$).
- L'altitude de fréquence $\frac{1}{2}$ définie par l'altitude correspondante au point d'abscisse $\frac{1}{2}$ de la courbe des fréquences altimétriques ($H_{min} = 1022 \text{ m}$).

II.5 Les caractéristiques du réseau hydrographique :

II.5.1 Densité de drainage (Dd) :

La densité de drainage peut donner un aperçu sur la lithologie du bassin versant et permet de comparer l'écoulement superficiel au niveau de plusieurs bassins. Elle est donnée par la relation suivante :

$$Dd = Li/A$$

Li : longueur des talwegs (en km) et A : la superficie du bassin (en km^2)

- $Dd = 11.98816/104.62$
- $Dd = 0.11 \text{ (km /km}^2\text{)}$

II.6 Etude climatologie :

II.6.1 Les températures :

La température de l'air est un paramètre important qui régit les déperditions d'eau qui s'opèrent par le phénomène de l'évapotranspiration.

L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elles qui nous permettent d'évaluer le déficit d'écoulement des bassins versants.

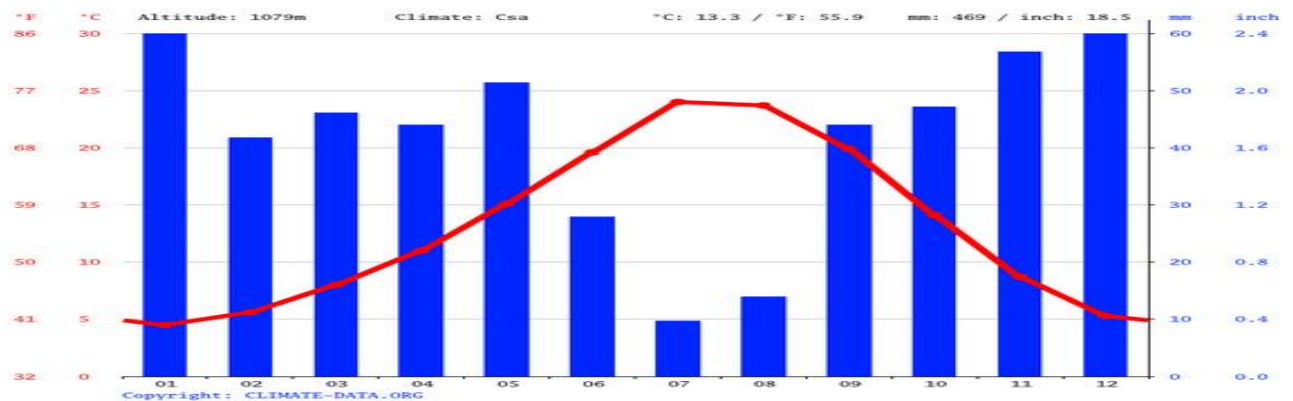


Figure II.8 : diagramme de température de la région

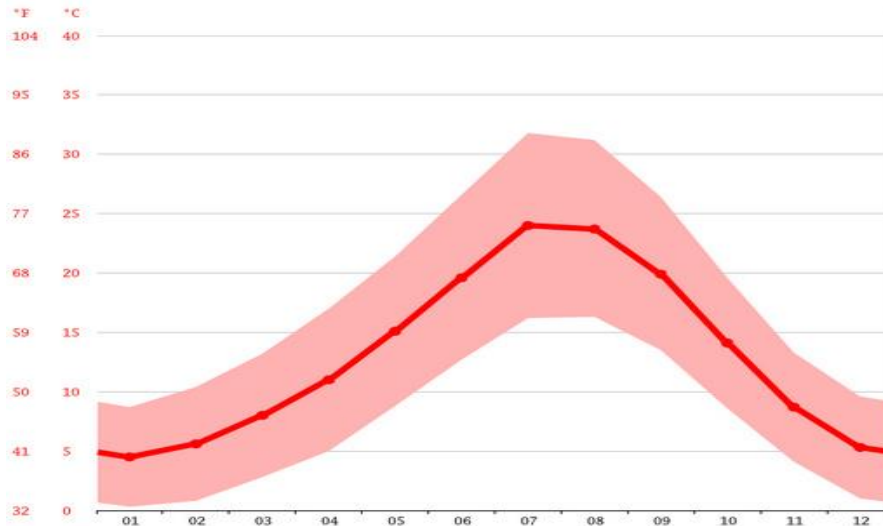


Figure II.9 : Courbe de température de la région

Tableau II .2 : représente le a température de la région

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	4.5	5.6	8	11	15.1	19.6	24	23.7	19.9	14.1	8.7	5.3
Température minimale moyenne (°C)	0.3	0.8	2.8	5	8.8	12.7	16.2	16.3	13.5	8.6	4.1	1
Température maximale (°C)	8.7	10.4	13.2	17	21.4	26.6	31.8	31.2	26.4	19.6	13.3	9.6

Les précipitations :

Le terme précipitations englobe toutes les eaux météoriques, la hauteur de la lame d'eau recueillie par le pluviomètre, quelque soit son l'origine de cette eau, pluie, neige, grêle, ou autres formes de condensation. Nous intéresserons dans cette étude uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur principal dans le comportement hydrologique de la région. Elles sont relativement moins importantes, variables et irrégulières d'une autre année.

Étude de la pluviométrie interannuelle :**Tableau II.3 : Pluviométrie annuelle en (mm).**

dates	station		
	pluie 150610	pluie 150611	pluie 100613
07/02/1993	10,10	13,8	14,7
04/01/1993	45,70	20	38,4
26/03/1993	12,10	8	19,3
27/04/1993	8,80	11,3	16,8
22/09/1992	26,00	31,9	31,7
04/05/1993	21,30	22,4	23,2
09/12/1992	42,80	29	34,8
07/11/1992	13,60	17,5	17,3
03/04/1994	16,70	16,5	14,6
08/02/1994	28,10	24,4	70,9

Chapitre III

PRESENTATION DU MODELE

HEC-RAS, HEC HMS ET ARC-GIS

Introduction :

Le modèle hydrologique déterministe et conceptuel HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) a longtemps été un modèle appliqué à la simulation d'un événement donné. Par contre, les versions récentes permettent de simuler en continu sur une longue période grâce à des modules de calculs d'évapotranspiration, d'humidité du sol et d'accumulation/fonte de neige. HEC-HMS est un modèle distribué qui permet de subdiviser un bassin versant en plusieurs parties, appelées sous-bassins, qui sont considérées comme ayant chacune des caractéristiques homogènes. Il est particulièrement bien adapté pour simuler le comportement hydrologique de bassins versants non urbanisés. HEC-HMS permet également de simuler et d'incorporer des réservoirs et des dérivations.

HEC-HMS sous ArcGis :

La description du modèle ArcGis :**Présentation du logiciel ArcGis :**

ArcGis est un logiciel permettant d'exploiter un Système d'Information Géographique (SIG).

Un logiciel SIG permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement de données géographiques. De plus, il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée.

Le principe directeur d'un SIG est le suivant :

Nous avons d'un côté les données géométriques et de l'autre les données attributaires. Ces données sont stockées sous format numérique et organisées par couches (appelées aussi « shapefiles » dans ArcGIS).

ArcGIS est un système regroupant des logiciels clients (ArcView ,ArcEditor , ArcInfo et ArcExplorer) et des logiciels serveurs (ArcSDE et ArcIMS). ArcView est un Système d'Information Géographique permettant de visualiser, d'interroger, d'analyser pour explorer, sélectionner, afficher, éditer, analyser, symboliser et classifier les données ou pour créer automatiquement, mettre à jour ou gérer les métadonnées. ArcView 9 comprend ArcCatalog, ArcMap et une version allégée d'ArcToolBox.

ArcCatalog fournit à l'utilisateur des fonctions de :

- Manipulation des données (créer, définir, déplacer, renommer, ...)
- Consultation des données (affichage, interrogation, ...)
- Documentation des données (métadonnées)

ArcMap est l'application centrale d'ArcView. Elle permet de réaliser les tâches suivantes :

- Visualiser des données spatiales et attributaires (Etiquetage, symbologie, filtrage d'entités, ...)

Couplage ArcGIS – HEC-GeoHMS :

Les extensions HEC-GeoHMS et HEC-GeoRAS permettent de faciliter le travail de modélisation. Ces extensions sont gratuites, par contre il faut disposer d'un logiciel de système d'information géographique (SIG) ainsi que des extensions Spatial Analyst et 3D Analyst.

Pour la présente étude les versions suivantes ont été utilisées :

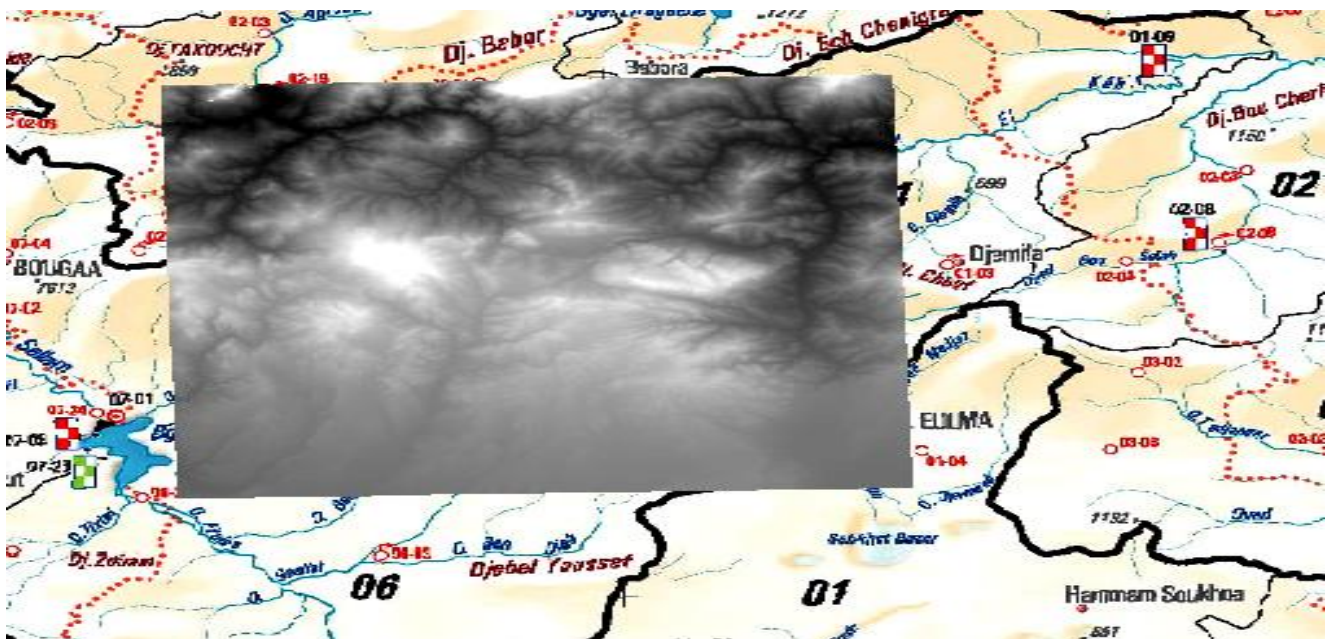
- ArcGIS 10.3 logiciel de système d'information géographique
- HEC-GeoHMS 10.3 outil hydrologique géospatial
- HEC-HMS 4.2 modélisation hydrologique

HEC-GeoHMS a été développé comme un outil hydrologique géospatial pour les ingénieurs et hydrologues. Il assiste l'utilisateur pour la délimitation en sous bassins versants, ainsi que la détermination des paramètres hydrologiques qui seront directement employées par HEC-HMS (le logiciel de modélisation hydrologique).

Les étapes de répartition du bassin en sous bassin par HEC-GeoHMS :

A partir du MNT, sont réalisées neuf opérations qui permettent d'obtenir la schématisation du modèle de bassin :

1. Correction du MNT par un remplissage des cuvettes (FillSinks) afin de pouvoir déterminer le sens d'écoulement dans l'étape suivante.



2. Sens de l'écoulement (Flow direction). Lors de cette étape la direction de chaque cellule est définie selon les 8 directions possibles (Nord, Nord - Est, Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ouest, Ouest, Nord Ouest).



3. Accumulation de l'écoulement (Flow Accumulation). Cette étape détermine le nombre de cellules ascendantes s'écoulant dans une cellule donnée.



4. Définition du cours d'eau (Stream Definition). Cette étape classe toutes les cellules dont l'accumulation d'écoulement est plus grande qu'un seuil défini par l'utilisateur.

6. Segmentation du cours d'eau (Stream Segmentation). Cette étape divise les cours d'eau en des segments. Les segments de cours d'eau sont des sections d'un cours d'eau qui relient deux jonctions successives ou une jonction et un exutoire ou une jonction et une diffluence.



7. Délimitation en sous-bassins (Catchment Grid Delineation). Cette étape trace les limites des sous-bassins pour chaque segment de cours d'eau.
7. Polygones des sous-bassins (Catchment Polygone Processing). Cette étape convertit la représentation en grille des sous-bassins en représentation vectorielle.
8. Traitement des segments de cours d'eau (Drainage Line Processing). Cette étape convertit les ruisseaux de la représentation en grille en représentation vectorielle.
9. Agrégation des lignes de partage (Adjoint Catchment Processing). Cette étape agrège les sous-bassins à chaque confluence de ruisseaux

La définition des cours d'eau ne semble donc pas satisfaisante. La résolution spatiale du MNT est probablement insuffisante pour tenir compte des rectifications de cours d'eau.

Le découpage initial en sous-bassins peut être amené par l'utilisateur. Pour ce faire, il faut d'abord créer un nouveau projet et définir la zone d'étude en indiquant l'exutoire du bassin versant.

L'étude hydrologique doit permettre d'estimer les débits de ruissellement de chaque sous bassin versant. Ces débits seront injectés dans le modèle hydraulique. Nous distinguons deux types d'apports latéraux. Selon le type d'apports latéraux, l'injection dans le modèle hydraulique sera différente :

- Les apports latéraux ponctuels, provenant des affluents de Oued Fermatou, sont injectés à la confluence entre oued Fermatou et l'affluent en question,
- Les apports latéraux diffus, provenant des bassins intermédiaires drainés par la BV, sont uniformément répartis sur le tronçon de rivière correspondant à l'apport.

La description du modèle HEC-HMS :

Dans cette rubrique, l'accent sera mis sur le modèle HEC-HMS dont nous allons nous servir pour la modélisation du oued Fermatou, de point de vue générale, en traitant des points tels que : sa création, son mode de fonctionnement, ses capacités, ses modules, ses formalismes.

Notez bien que cette description ne portera que sur l'aptitude de modélisation événementielle du HEC-HMS, vu que c'est elle qui nous intéresse dans notre étude.

Les caractéristiques générales du modèle :

Le HEC-HMS est un système complet de modélisation hydrologique des bassins versants qui permet de simuler les processus pluie - débit, depuis les précipitations brutes jusqu'au débit total de ruissellement à un temps donné, à un point donné du bassin étudié. Sa conception a été lancée par l'USACE pour évoluer vers une nouvelle génération du logiciel qui va remplacer son antécédent le HEC-1, tous appartenant à la fameuse HEC (HEC-RAS, HEC-GeoRAS, HECGeoHMS ...).

Le HEC-HMS a été largement employé et validé dans plusieurs bassins versants à climats contrastés à travers le monde, il a été utilisé lors pour la prévention contre les dégâts des inondations dans les zones potentielles à cet aléa, ainsi que par les bureaux d'études, sur les bassins de moyenne et grande taille, pour leurs études hydrologiques de détermination des quantiles de débit.

Le processus de fonctionnement :

Comme nous venons de le mentionner ci-dessus, le HEC-HMS attribue à chaque module une étape de la transformation pluie-débit, et c'est la combinaison des résultats des modules les uns aux autres qui donne l'hydrogramme final. En général, dans le cas d'une modélisation événementielle, c'est l'enchaînement schématisé sur la figure suivante qui est suivi à la lettre pour aboutir au débit de l'exutoire

Le module structural du bassin :

Il consiste à schématiser le bassin versant étudié en éléments fondamentaux connectés entre eux sous forme d'un arbre ramifié.

Le HEC-HMS offre l'opportunité de représenter toutes les entités naturelles ou artificielles installées dans un bassin et qui influencent le processus de

transformation pluie-débit, allant depuis les sous bassins, les exutoires jusqu'aux canaux de rivières et les canaux de diversion d'eau, en passant par les réservoirs, les retenues de barrages,...etc.

Dans ce qui suit, on cite ces éléments et leurs rôles dans la représentation de l'état du bassin versant :

L'élément « Subbassin » : matérialise le bassin si la modélisation est globale, et les sous

bassins si on opte pour une modélisation semi-distribuée.

Parmi ses attributs de base : la surface, la fonction de production associée et la fonction de transfert associée.

- L'élément « Reach » : représente le plus souvent la rivière, et sert à faire la connexion

entre les autres éléments. L'information de base attachée est la fonction de routage.

- L'élément « Réservoir » : décrit les réservoirs, les retenues de barrage,...etc. ses caractéristiques attribués permettent de définir les conditions stockage-déstockage.

- L'élément « Source » : permet d'ajouter des stations de mesure de débit ou de représenter les conditions aux limites.

- L'élément « Jonction » : utilisé pour combiner aux moins deux débits véhiculés par

deux éléments, comme dans le cas d'une confluence entre deux rivières.

- L'élément « Diversion » : représente des endroits où se produit des prélèvements d'eau,

c'est le cas par exemple des seguias et des canaux de diversion.

- L'élément « Sink » : simule l'exutoire des sous bassins versants.

La structure du modèle HEC-HMS choisie:

Dans cette section, nous allons évoquer précisément la combinaison modulaire choisie pour modéliser notre sous bassin versant, en expliquant ses concepts de base, en citant ses variables et ses paramètres et la façon dont nous allons les estimer et en listant ses avantages et ses limites, sans oublier la justification du choix à la fois du modèle et de la combinaison modulaire.

- La modélisation :

Le sous bassin versant Oued Fermatou est instrumenté avec un réseau de mesure composé de : quatre pluviomètres et une station hydrométrique, le bassin versant de Fermatou bien renseigné.

La compréhension du fonctionnement hydrologique de notre bassin, nécessite une modélisation hydrologique qui elle aussi va être confrontée au problème d'absence des distributions temporelles des pluviographes. Mais ceci va être surmonté en essayant une nouvelle alternative nommée les averses type NRCS décrite dans la partie ci-dessous. De ce qui précède, on voit que les points forts de HEC-HMS commencent déjà à se révéler, alors qu'on n'a pas encore touché à la modélisation proprement dite.

- Le module météorologique : les averses NRCS:

Le NRCS connu auparavant sous le SCS, est un service attaché au département d'agriculture des États Unis, chargé de conserver, planifier et porter de l'assistance dans les domaines de la gestion du sol, l'eau, l'air, la phytologie et la flore. Dans cette optique, il a développé en 1986 [26] une méthode pour la construction d'averses de projet nécessaire pour la prévision des débits de projets des ouvrages hydrauliques ou des constructions en contact éventuel avec les cours d'eau, et pour la protection contre les inondations. Cette approche s'est basée sur l'analyse d'un nombre considérable d'observations d'averses sur tout le pays [26].

Les averses de projet ainsi définies, attribuent une distribution temporelle à une hauteur de pluie donnée enregistrée pendant 24 heures.

Ces observations, faites à travers tout le pays, ont été analysées et ont finalement donné lieu à quatre types d'averses de projet selon la position géographique et donc le climat dominant[28].

Pour assimiler la différence entre ces averses, :

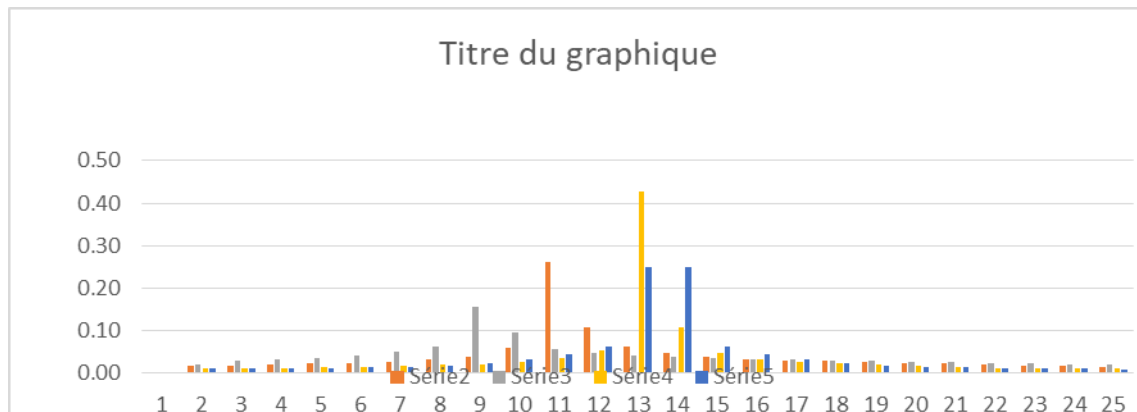


Figure III.1 : présente la distribution d'une averse de 20 mm selon e les quatre types

Dès un premier aperçu, on remarque que les quatre types se distinguent par leurs intensités, leurs heures de pointe et par leurs formes. Pour ce qui est de l'intensité maximale, l'ordre décroissant commence par le type II, puis le III, ensuite le type I et enfin le IA. Ces intensités différentes vont sans doute provoquer, lors des simulations, des débits de pointe qui vont sous-estimer ou surestimer les débits observés en fonction de l'intensité maximale réelle qu'on aurait enregistrée si on avait un pluviographe. En ce qui concerne l'heure de pointe, on constate qu'elle est avant midi pour tous les types, débutant par le IA vers 8h, le type I vers 10h et vers 12h pour le II et le III. Cette propriété d'heure de pointe, va influencer à son tour l'heure du débit pointe simulé qui va se manifester soit tôt soit tard, en fonction de l'heure de pointe réelle de l'averse qu'on aurait enregistrée si on possédait un pluviographe. Pour la forme, on voit que l'averse type IA est la plus éparpillée sur les 24h suivie par le type III, le type I et enfin le II qui est la plus serrée. La forme de l'averse va conditionner la

forme de l'hydrogramme, puisque on connaît que la forme de ce dernier découle de celle de l'averse, par conséquent cette forme va soit sous-estimer soit

surestimer le volume de la crue, tout dépend de la forme réelle de la distribution journalière de l'averse qu'on aurait enregistrée facilement si on avait un pluviographe.

Lors de la modélisation, et puisque il n'y a pas de choix de préférence, nous allons utiliser les quatre types pour chaque événement, et essayer d'en déduire, en comparant les résultats de chaque type, l'averse la mieux appropriée à notre contexte

La fonction de production : la NRCS CN:

.1. Le concept de base:

De même que pour les averses, la mise en place de cette fonction a été réalisée par le NRCS en coopération, cette fois-ci, avec trois consultants privés à savoir : Horner, Horton et Sherman [26].

Cette fonction de production apparue en 1950 et surnommée autrefois la SCS CN est le fruit de plus de deux décennies d'analyses des relations pluies-débits sur des petits bassins. Elle relie la pluie nette participante au ruissellement à trois facteurs fondamentaux : l'occupation du sol, le type de sol et l'humidité antécédente, selon l'équation suivante

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

Avec : P_e : les précipitations nettes au temps t ;

P : les précipitations brutes au temps t ;

I_a : l'abstraction initiale ;

S : le potentiel maximum de rétention.

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$

Après avoir effectué de nombreuses expériences, le NRCS a proposé une relation empirique supplémentaire liant l'abstraction initiale d'un bassin versant au potentiel maximum de rétention [30]:

$$I_a = 0.2 * S$$

Ainsi, l'équation (1) devient :

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

Pour chaque pas de temps, la pluie nette est la différence de la valeur de P_e au début et à la fin du pas de temps. L'influence des deux premiers facteurs susmentionnés est estimée par le paramètre CN qui est relié à S par l'équation [30] :

A lors que pour intégrer l'influence de l'humidité antécédente, on fait appel à la hauteur de pluie tombée pendant les cinq derniers jours précédant l'événement de crue (NRCS).

Ensuite, on définit soit un CN normal, sec ou humide. tout en respectant le tableau ci-après

Types de CN	Hauteur de pluie (mm) sur les 5 jours antérieurs		
	Base annuelle	Base saisonnière	
		Période de végétation	Période hivernale
CN(I) : conditions sèches	H < 12.5	H < 35	H < 12.5
CN(II) : conditions normales	12.5 < H < 37.5	35 < H < 53	12.5 < H < 27.5
CN(III) : conditions humides	H > 37.5	H > 53	H > 27.5

La relation pluie antérieure et type de CN pour la méthode NRCS CN

Donc, selon les conditions d'humidité antérieure propres à chaque événement, on est amené à convertir la valeur de CN normal (lue sur les tables NRCS) au CN sec (I) ou humide en appliquant les formules ci-dessous

$$CN(1) = \frac{4.2 \cdot cn(2)}{10 - 0.058 \cdot cn(2)}$$

$$CN = \frac{23 \cdot cn(2)}{10 + 0.13 \cdot cn(2)}$$

Les variables:

∅ La carte d'occupation du sol : cette donnée sert en combinaison avec la carte des sols à déterminer la valeur de CN normal pour chaque composé hydrologique de sol. Elle doit être conforme à la classification NRCS qui définit les classes d'occupation du sol en quatre grands groupes : les zones urbaines, les terres agricoles, les terres agricoles cultivées et les zones arides et semi-arides. Cette classification renferme la majorité des classes susceptibles d'être présentes sur le terrain avec une précision décisive.

∅ La carte de sols : elle aide à estimer la valeur de CN normal pour chaque composé hydrologique de sol. Comme la carte d'occupation du sol, la carte des sols doit être conforme à la classification NRCS des sols simplifiée dans le tableau ci-joint

Type de sol	groupe	I0 (mm/h)	If (mm/h)
Sable	A	250	12-8
Limon sableux	B	200	8-4
Limon argileux	C	130	4-1
Argil	D	75	1-0

Tableau –III-1 : Les capacités initiales i0 et finales if d'infiltration en fonction des classes de sols définies par le NRCS (D'après Hillel, 1974)

∅ Le pourcentage d'imperméable : il désigne la portion de la surface du bassin considérée comme étanche et directement connectée au réseau de drainage. Ce pourcentage est déduit lors de l'élaboration de la carte d'occupation du sol.

8.3. Les paramètre:

Ø CN : sa valeur varie entre 100 (surface d'eau) et 30 pour des sols très perméables à haut potentiel d'infiltration [30]. Il est déterminé pour un composé hydrologique de sol à partir de tables NRCS (annexe 3) où on combine la nature de l'utilisation du sol, son traitement, les

conditions hydrologiques avec le type de sol pour trouver la valeur de CN normal, qui va être utilisée directement dans les équations citées, ou après l'avoir convertie selon la hauteur de pluie tombée pendant les cinq jours avant l'événement.

Pour un bassin versant composé de plusieurs classes d'occupation du sol et de type de sols, un CN composite doit être calculé par la formule :

$$CN_{\text{composite}} = \frac{\sum A_i C N_i}{\sum A_i}$$

Où : CN composite : le CN utilisé pour l'ensemble du bassin par la fonction de production ;

CN i : le CN d'un composé hydrologique du sol (classe d'occupation du sol + classe de sol) ;

A i : surface de drainage du composé hydrologique du sol.

Ø Ia : abstraction initiale mesurée en mm, elle correspond aux pertes initiales provenant durant la première phase de l'événement pluvieux, dû aux interceptions, au stockage naturel dans les dépressions,...etc.

L'écoulement ne débute qu'une fois la pluie brute dépasse la valeur de Ia. On estime sa valeur le plus souvent par calibration, cependant il existe des tableaux qui donnent des ordres de grandeur de ce paramètre.

CN normal	La(mm)	Nature
75	9	Bois
80	8	Broussailles
85	5	Vergers
85	8	Labour ou nu
89	3	urbain

TableauIII.2 : Les valeurs usuelles de l'abstraction initiale Ia et du coefficient CN

Il reste à signaler que les valeurs de ces deux paramètres peuvent être calibrées par le modèle HEC-HMS

III-. Les fonctions de transfert : l'hydrogramme unitaire de la NRCS et de Clark:

Puisque nous avons s'en servit de deux fonctions de transfert lors de la modélisation pour évaluer la sensibilité du modèle aux formalismes utilisés, nous présenterons chacune des deux séparément. Mais avant d'y procéder, on va traiter la notion d'hydrogramme unitaire.

9.1. L'hydrogramme unitaire:

Comme définit par Sherman en 1932, l'hydrogramme unitaire 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 du bassin [26]. De cet hydrogramme unitaire on peut facilement ressortir l'hydrogramme provoquée par n'importe quelle hauteur de pluie nette, en se référant à sa règle fondamentale :

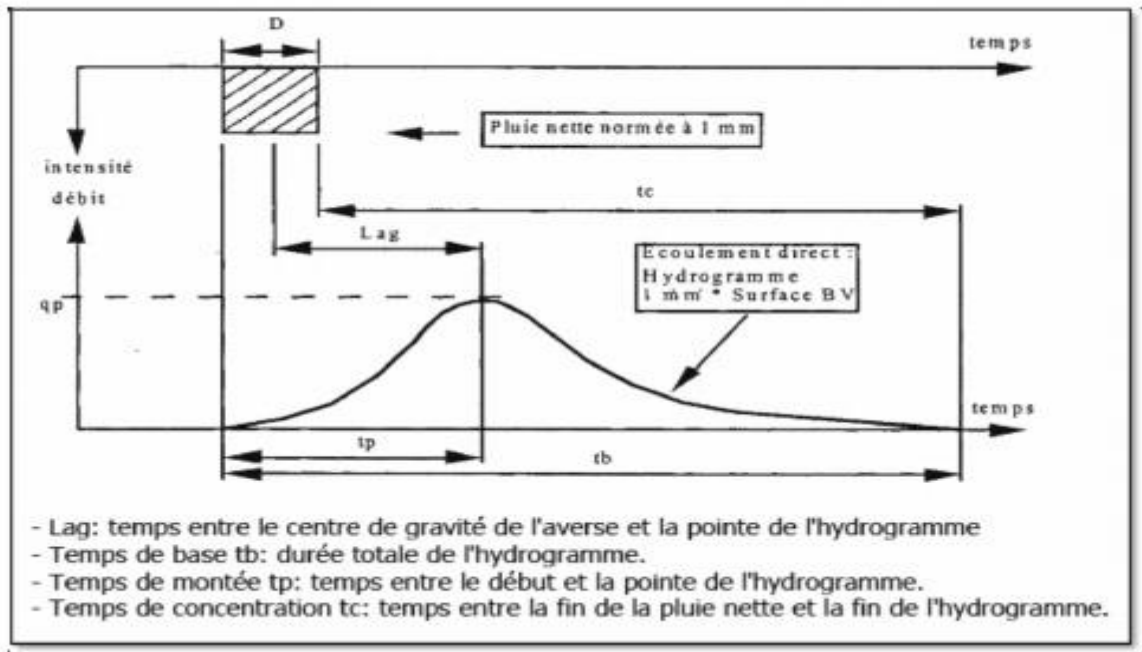


Figure III.2 : La notion d'hydrogramme unitaire et ses caractéristiques fondamentales

La relation pluie nette et ruissellement est linéaire. La figure ci-dessous illustre la notion de l'hydrogramme unitaire et ses paramètres clés

Lors de l'utilisation de l'hydrogramme unitaire comme fonction de transfert, il faut valider ses hypothèses qui lui sont associées sur le bassin versant d'étude, ou au moins de les prendre en considération lors de l'analyse des résultats. Ces hypothèses sont :

- La pluie nette est uniforme sur le bassin et constante dans le temps ;
- Les caractéristiques de l'hydrogramme unitaire sont invariantes dans le temps: la durée de l'hydrogramme de ruissellement direct (temps de base t_b) est constante et indépendante de l'intensité de la pluie ;
- La réponse du bassin aux pluies est linéaire: pour une même durée de référence D , les ordonnées de l'hydrogramme unitaire sont proportionnelles au volume de la pluie nette ;
- L'hydrogramme unitaire reflète l'ensemble des caractéristiques physiques du bassin versant.

9.2. L'hydrogramme unitaire de la NRCS :

a. Le concept de base

Cet hydrogramme développé par le NRCS découle d'un grand nombre de petits bassins sur tous les États-Unis .[30]. Il exprime le débit U_t comme proportionnel au débit de pointe U_p , pour chaque temps t , fraction du temps de pointe T_p .

$$U_p = c \frac{A}{T_p}$$

Avec, A : surface du bassin versant ;

C : constante de conversion (2.08 pour le système international).

Le temps de pointe T_p est relié à la durée de la pluie nette par la formule :

$$T_p = T_{lag} + \frac{\Delta t}{2}$$

Où : Δt : la durée de la pluie nette (c'est le pas de temps de simulation) ;

T_{lag} : le Lag du bassin (différence entre le pic de la pluie nette et le pic de l'hydrogramme).

Une fois le T_{lag} calculé, le modèle résout l'équation (5), puis (6) pour trouver successivement le temps et le débit de pointe de l'hydrogramme, qui vont permettre de concevoir l'hydrogramme de simulation en reposant sur le principe de linéarité de la réponse.

b. Les paramètres

Le seul paramètre de cette méthode est le T_{lag} , il sera calculé directement par la formule NRCS définie comme suit :

$$T_{log} = L^{0.8} * \left(\left(\frac{1000}{cn} \right) - 10 \right) + 1 / (1900 * \sqrt{y})$$

Avec, T_{lag} : le lag en heures ;

L : la longueur depuis l'exutoire jusqu'à l'amont du plus grand cours d'eau en pied ;

CN : le CN composite du bassin

Y : pente du bassin en %.

9.3. L'hydrogramme Unitaire de Clark

a. Le concept de base

L'hydrogramme unitaire de Clark interprète deux processus importants dans la transformation pluie nette débit qui sont :

- L'atténuation : reflète le stockage temporaire de la pluie nette dans le bassin versant qui baisse l'ampleur du débit.
- La translation : représente le mouvement de la pluie nette le long du réseau de drainage depuis son origine jusqu'à l'exutoire.

L'hydrogramme en question est fréquemment utilisé pour les modélisations événementielles [31], cette méthode se montre très efficace pour reproduire des hydrogrammes complexes dans des bassins présentant une topographie et occupation du sol variés (Sabot 1988 in [31]).

b. Les paramètres

Cet hydrogramme possède deux paramètres qui renvoient chacun à l'un des processus pris en compte:

Ø **Le temps de concentration TC** : résume le processus de translation de la pluie nette le long du réseau hydrographique.

Ø **Le coefficient de stockage St** : représente le phénomène de stockage provisoire de la pluie nette dans le bassin versant.

III- 10_ Le débit de base : la récession exponentielle:

10-1- Le concept de base:

Ce formalisme donne la possibilité de simuler la contribution du réservoir souterrain au débit avant et après le pic ou les pics de l'événement de crue, et ceci en établissant une relation exponentielle entre le débit à deux temps consécutifs, cette relation est formalisée par l'équation suivante :

$$Q_t = Q_0 * k^t$$

Où, Q_t : le débit au temps t ;

Q_0 : le débit initial ;

K : la constante de décroissance exponentielle.

En effet, avant le pic de l'hydrogramme, et connaissant le débit initial, l'équation (24) s'active et commence à reproduire le débit total composé uniquement du débit de base de la rivière, jusqu'au point de début de la crue, depuis lequel ce module agira en parallèle avec le module de la fonction de transfert pour restituer le débit total composé à la fois d'un débit de base en décroissance et d'un débit de surface en forte action. Ce constat demeure actif jusqu'à un certain point nommé seuil, où l'ampleur de participation dans le débit total se renverse. La figure ci-après illustre comment intervient ce module dans le ruissellement :

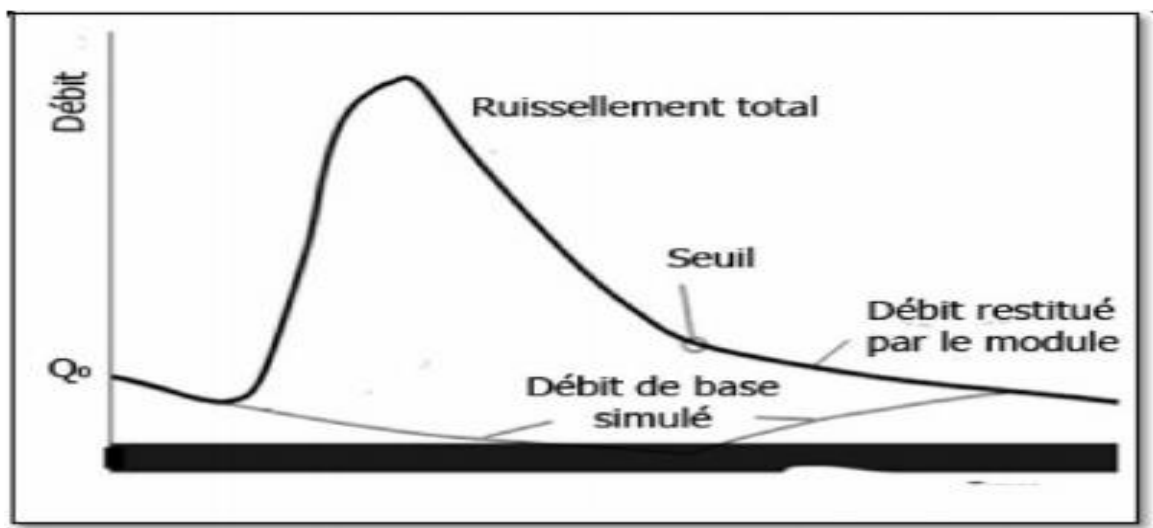


Figure III-3 : L'illustration de la méthode de la récession exponentielle

10.2. La variable

La seule variable d'entrée est le débit initial pour chaque événement de crue, issu de la lecture son hydrogramme.

10.3. Les paramètres:

Les deux paramètres du module sont :

Ø La constante de récession RC : ce paramètre dépend des propriétés hydrogéologiques du réservoir souterrain. Elle varie entre 0 et 1. Si sa valeur vaut 1, la contribution du module sera constante avec

Qt=Q0. Puisque, on n'a pas d'informations permettant d'attribuer une valeur initiale à ce paramètre, et que sa valeur peut être calibrée, on se contentera d'une valeur bibliographique en attendant sa calibration.

Chapitre IV

METHODOLOGIE L'APPLICATION

DU HEC-HMS

Introduction

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

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

IV-1-Le processus de fonctionnement:

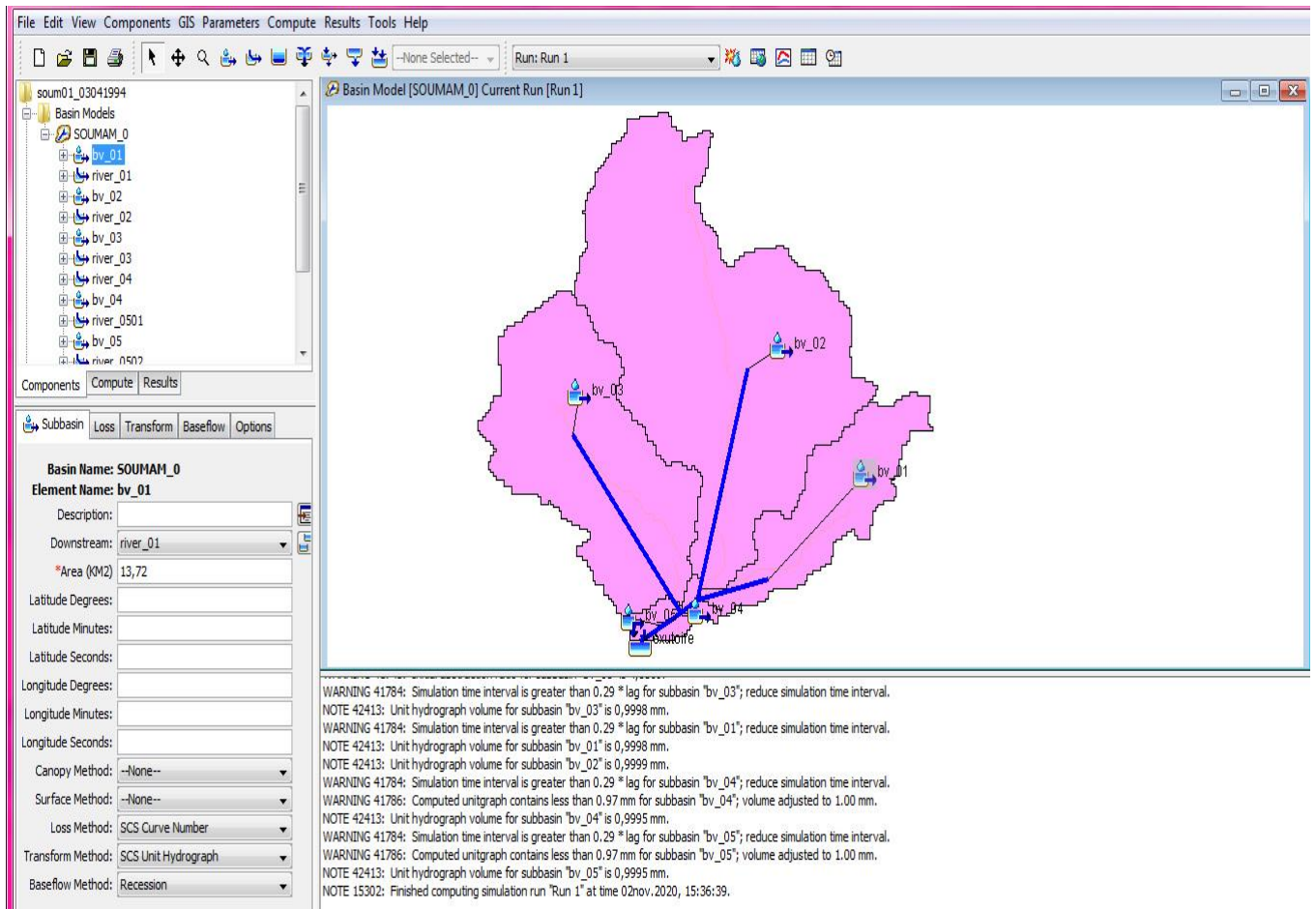
Comme nous venons de le mentionner au chapitre précédent, le HEC-HMS attribue à chaque module une étape de la transformation pluie-débit, etc'est la combinaison des résultats des modules les uns aux autres qui donne l'hydro-gramme final

IV-1-1 FONCTIONNALITES :

Les données d'entrée peuvent être conçues pour les éléments du bassin versant comme les sous bassins et les tronçons de cours d'eau ou bien simultanément pour des groupes d'éléments analogues. Les tableaux et formulaires pour l'introduction de données nécessaires sont accessibles {partir d'un schéma

visuel du bassin versant. Pour effectuer une première simulation, il est nécessaire de créer une base de données pour caractériser le bassin versant et déterminer les averses qui seront employées comme données d'entrée du modèle. Les principales étapes de la simulation sont :

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



figureIV-1 : Fenêtre de l'interface du HEC-HMS représente le Bassin Fermato et ses sous bassins

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

- L'élément « Subbassin » : matérialise le bassin si la modélisation est globale, et les sous bassins si on opte pour une modélisation semi-distribuée. Parmi ses attributs de base : la surface, la fonction de production associée et la fonction de transfert associée.

- L'élément « Reach » : (river) représente le plus souvent la rivière, et sert à faire la connexion entre les autres éléments. L'information de base attachée est la fonction de routage.

- L'élément « Réservoir » : (exécutoire) décrit les réservoirs, les retenues de barrage,...etc. ses caractéristiques attribués permettent de définir les conditions stockage-déstockage.

- élément « Source » : permet d'ajouter des stations de mesure de débit ou de représenter les conditions aux limites

- L'élément « Jonction » : utilisé pour combiner aux moins deux débits véhiculés par deux éléments, comme dans le cas d'une confluence entre deux rivières.

- L'élément « Diversion » : représente des endroits où se produit des prélèvements d'eau, c'est le cas par exemple des seguias et des canaux de diversion.

- L'élément « Sink » : simule l'exutoire des sous bassins versants.

IV-2-1 Les données nécessaires à l'application de simulation avec HEC-HMS :

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

►► Les caractéristiques morphométriques des bassins :

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

►► Les caractéristiques météorologiques :

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

- Les variables

a- Découpage des bassins : Le bassin a été découpé en sous bassins plus au moins homogènes des points de vues les différents facteurs (lithologique, hydrologique).

Pour cela, le bassin est découpé en dix (5) sous bassins.

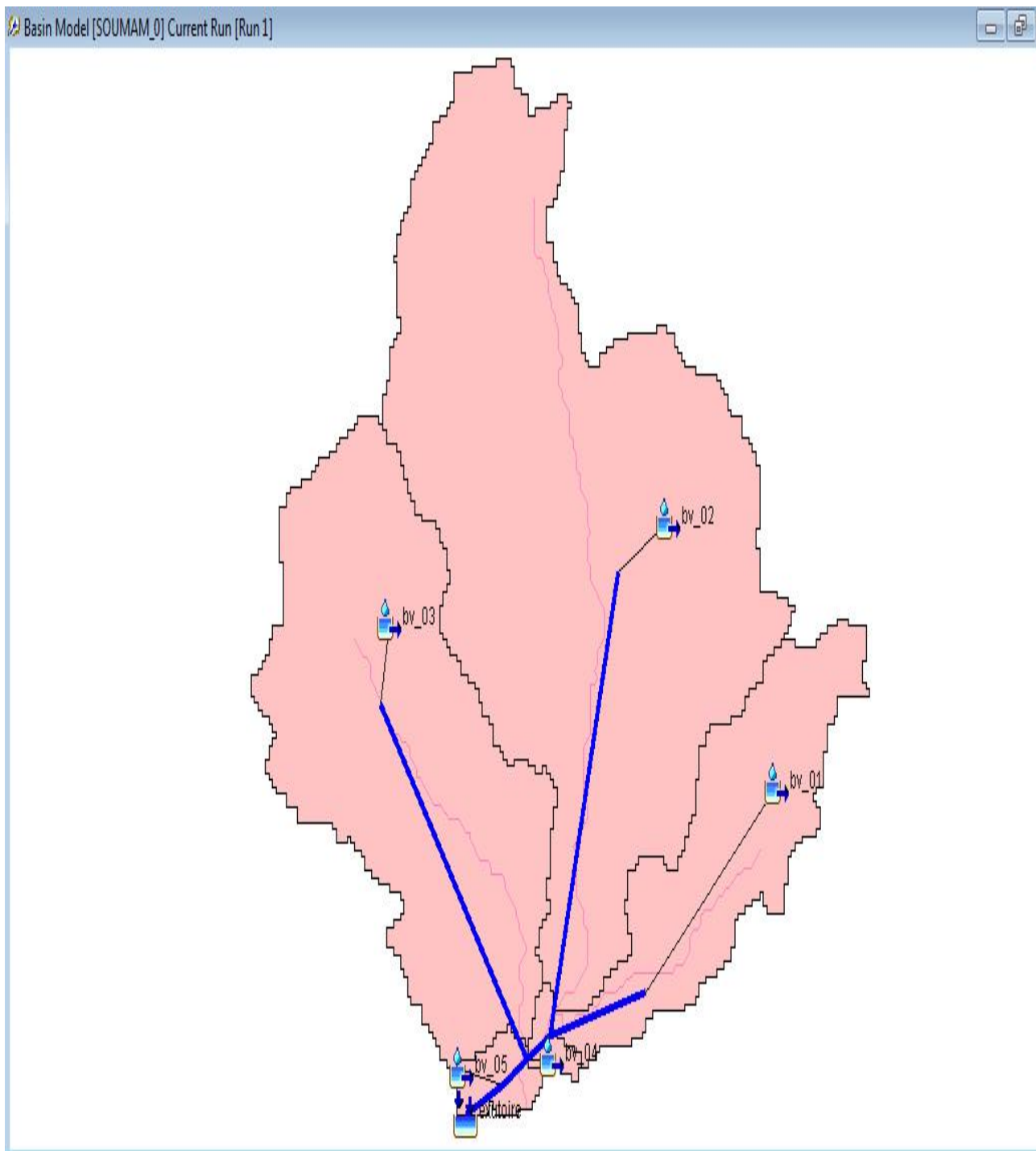


Figure IV .2 : Découpage du bassin versant oued Fermatou.

Tableau –IV.1 :Caractéristiques topographiques des sous bassins formant le bassin Oued Fermatou

N° S/Bassin	Surface (km ²)	Pente du s/bassin (%)	Longueur du talweg (km)
SBV01	13.72	12,158729	
SBV02	57.21	13,030194	
SBV03	30.59	10,285411	
SBV04	7.27	9,97191	
SBV05	15.93	12,462811	

Ces sous bassins sont drainés par un réseau hydrographique de caractéristiques suivantes :

Tableau –IV.2:Caractéristiques topographiques du réseau hydrographique du bassin oued Fermatou

Talweg	Longueur (m)	Pente (m/m)
RIVER 1	6161.01	2.30
RIVER 2	11988.16	1.13
RIVER 3	7664.49	1.14
RIVER 4	823.66	0.97
RIVER 5	866.30	0.98

b- **La carte de sols** : cette donnée sert à déterminer la valeur de CN normal. Elle doit être conforme à la classification NRCS qui définit les classes d'occupation du sol en quatre grands groupes.

Cette classification est la suivante (Cane,1985) :

- Groupe "A" : sols à faible potentiel de ruissellement.
- Groupe "B" : sols présentant une vitesse d'infiltration modérée et une transmissivité moyenne ;
- Groupe "C" : sols à vitesse d'infiltration lente et de transmissivité faible.
- Groupe "D" : sols à fort potentiel de ruissellement.

La lithologie du site de l'étude est sol a fort potentiel de ruissellement (calcaire), elle est classée dans le groupe D

c- La carte d'occupation du sol ou du couvert végétal : Le couvert végétal du site de notre étude est moyen.

d- Le pourcentage d'imperméable : Ce pourcentage est déduit en fonction du type du sol.

Les valeurs de ce paramètre ont été calibrées par le modèle HEC-HMS.

Les paramètres

a- Curve number CN : sa valeur varie entre 100 (surface d'eau) et 30 pour des sols très perméables à haut potentiel d'infiltration (USACE, 2013). Il est dans l'ordre de 86 pour le site de notre étude.

CN normal	La(mm)	Nature
75	9	Bois
80	8	Broussailles
85	5	Vergers
85	8	Labour ou nu
89	3	urbain

Tableau IV.3: Tables NRCS des valeurs de CN (USACE, 2013)

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)					

b-Abstraction Initiale Ia:

abstraction initiale en mm, elle correspond aux pertes initiales provenant durant la première phase de l'événement pluvieux, il existe des tableaux qui donnent des ordres de grandeur de ce paramètre.

Les valeurs de ce paramètre ont été calibrées par le modèle HEC-HMS.

c- La pluie :

Pour chaque événement, la pluie devrait être saisie sous forme de la hauteur de pluie tombée sur le sous bassin pendant le jour où cet événement est survenu, au quelle nous associons chaque fois une des quatre distributions NRCS.

Après le balayage des débits et des pluies maximales journalières durant les périodes précisées, le nombre d'événements que nous avons choisi est de 10.

Les événements sélectionnés sont les suivantes :

Les dates des précipitations choisies .

dates
07/02/1993
04/01/1993
26/03/1993
27/04/1993
22/09/1992
04/05/1993
09/12/1992
07/11/1992
03/04/1994

Nous appliquerons les pluies maximales journalières estimées aux sous bassins à partir des celles enregistrées aux stations pluviométriques situées dans le bassin durant les mêmes dates, comme variable d'entrée au modèle HEC-HMS.

Les cartes des précipitations

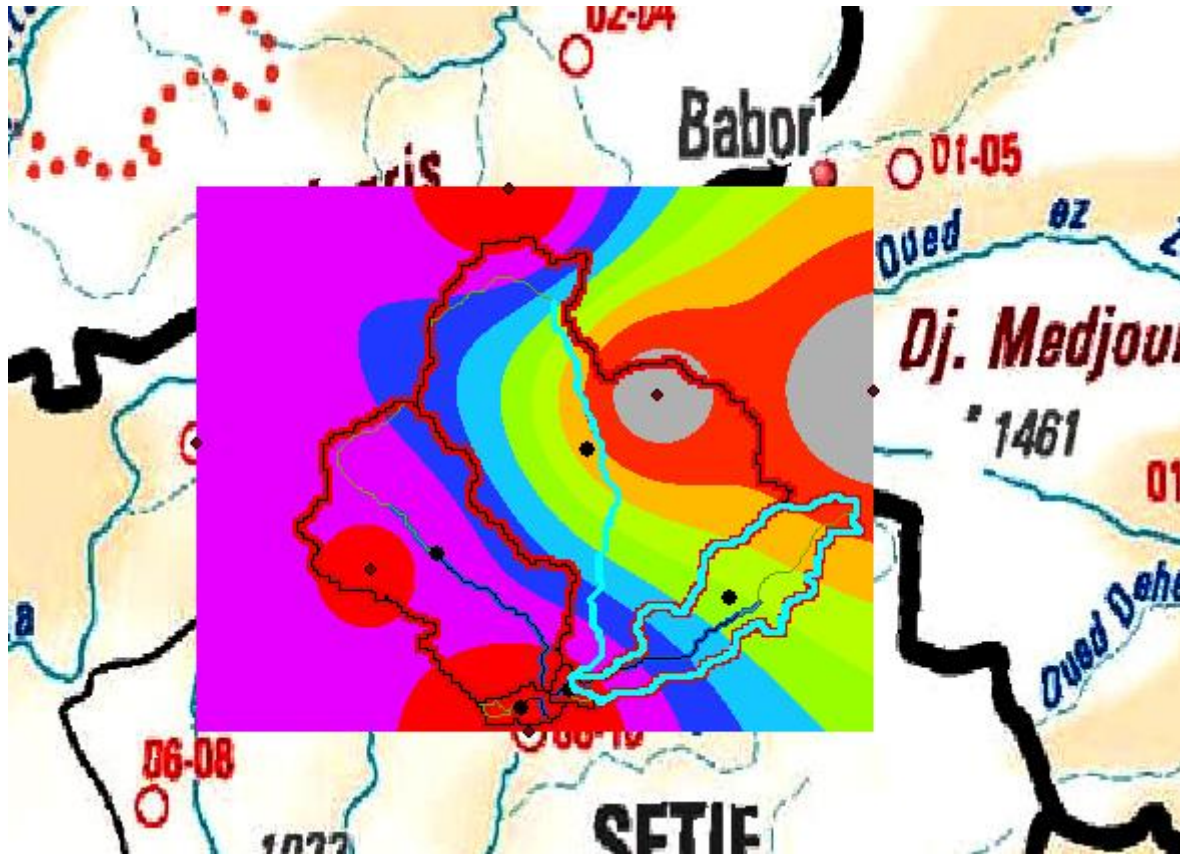


Figure IV .3 : Carte représenté les précipitations10 des sous bassins

Tableau IV4. :représentées valeurs de précipitation10

PREC_10

Rowid	GRIDCODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5	9315	30645309,7	15,971079	16,639919	0,66884	16,356828	0,127885	152363,854
2	6	17424	57323014,1	14,600067	16,532942	1,932875	15,531739	0,513675	270625,021
3	7	4182	13758312,9	14,83382	16,562757	1,728937	15,57018	0,430768	65114,4929
4	8	225	740224,872	16,493645	16,654299	0,160654	16,579305	0,036127	3730,34372
5	9	483	1589016,06	16,601118	16,697561	0,096443	16,661589	0,020893	8047,54746

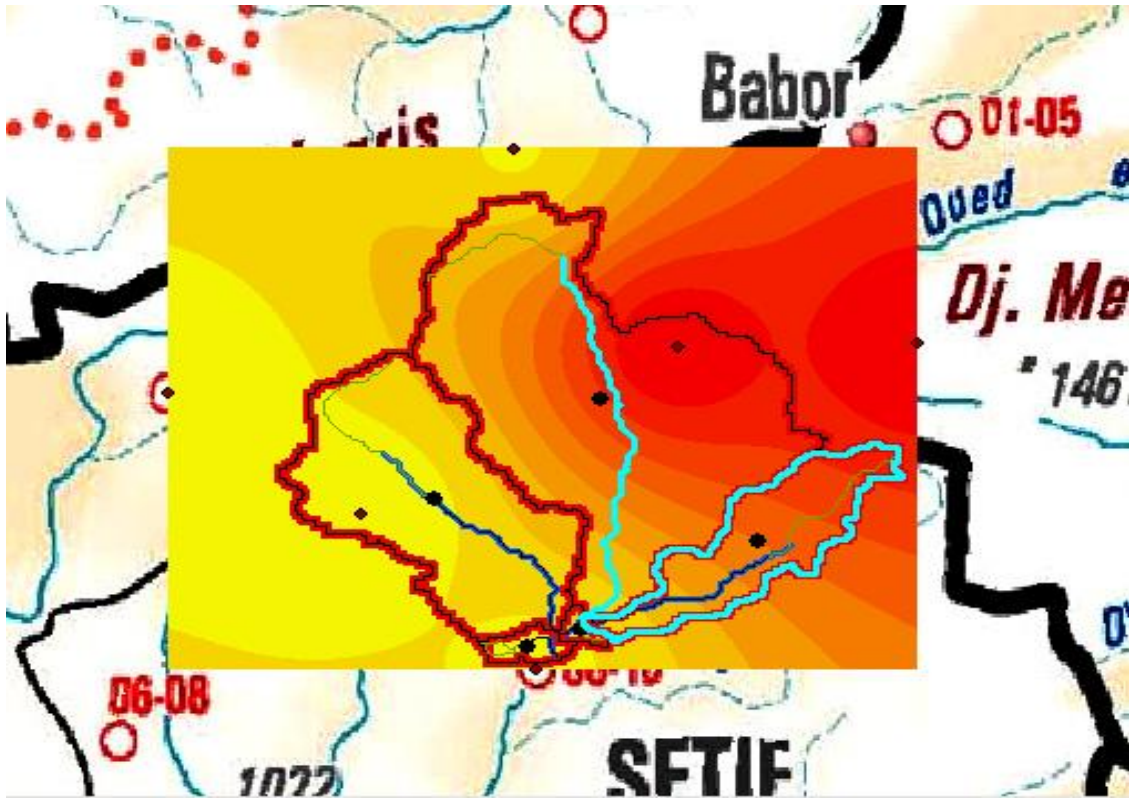


Figure IV .4 :Carte représenté les précipitations09 des sous bassins

Tableau IV.5 :représentées valeurs de précipitation09

PREC_09

Rowid	GRIDCODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
2	6	17424	57323014,1	30,740162	70,898483	40,158321	50,279406	11,066551	876068,362
3	7	4182	13758312,9	30,222546	64,232178	34,009632	49,453161	8,655306	206813,121
1	5	9315	30645309,7	24,401033	40,390457	15,989424	29,951637	3,364708	278999,496
4	8	225	740224,872	28,758226	31,260839	2,502613	29,938668	0,574606	6736,20039
5	9	483	1589016,06	28,133167	29,186127	1,052959	28,588395	0,25025	13808,1948

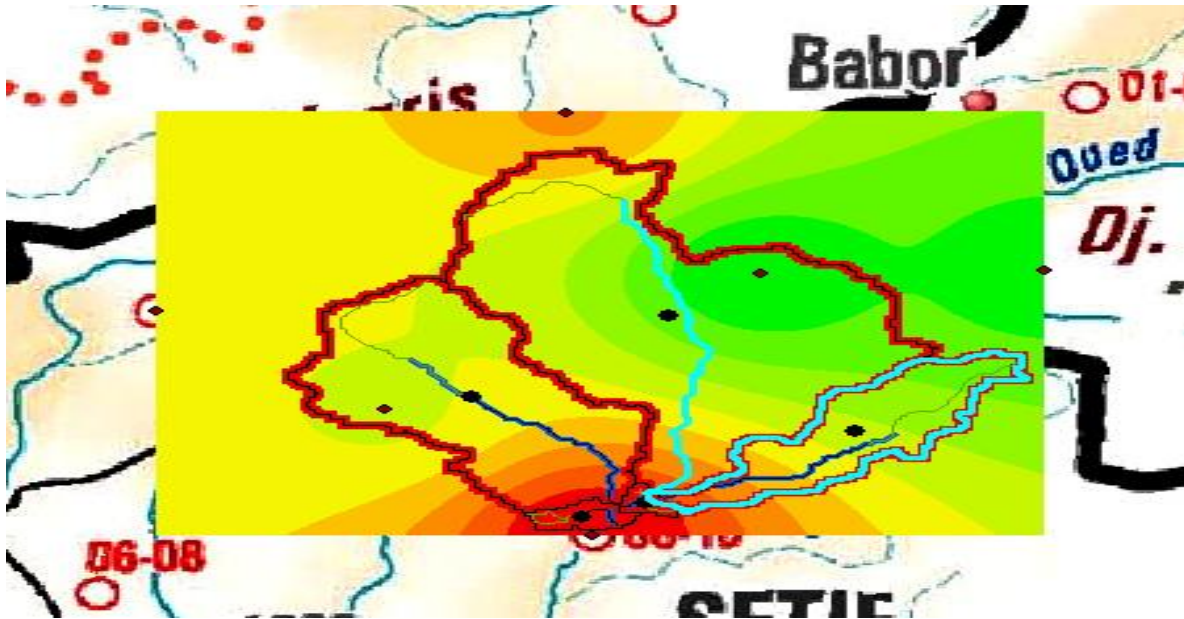


Figure IV .5 :Carte représenté les précipitations08 des sous bassins

Tableau IV.6 :représentées valeurs de précipitation08

PREC_08

Rowid	GRIDCODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5	9315	30645309,7	21,408564	22,419271	1,010708	22,196064	0,255462	206756,338
2	6	17424	57323014,1	21,547544	23,199955	1,652411	22,590251	0,342386	393612,533
3	7	4182	13758312,9	21,496805	22,930538	1,433733	22,427327	0,350115	93791,0799
4	8	225	740224,872	21,371105	21,60041	0,229305	21,476365	0,050552	4832,18204
5	9	483	1589016,06	21,304012	21,499249	0,195236	21,367236	0,039398	10320,3752

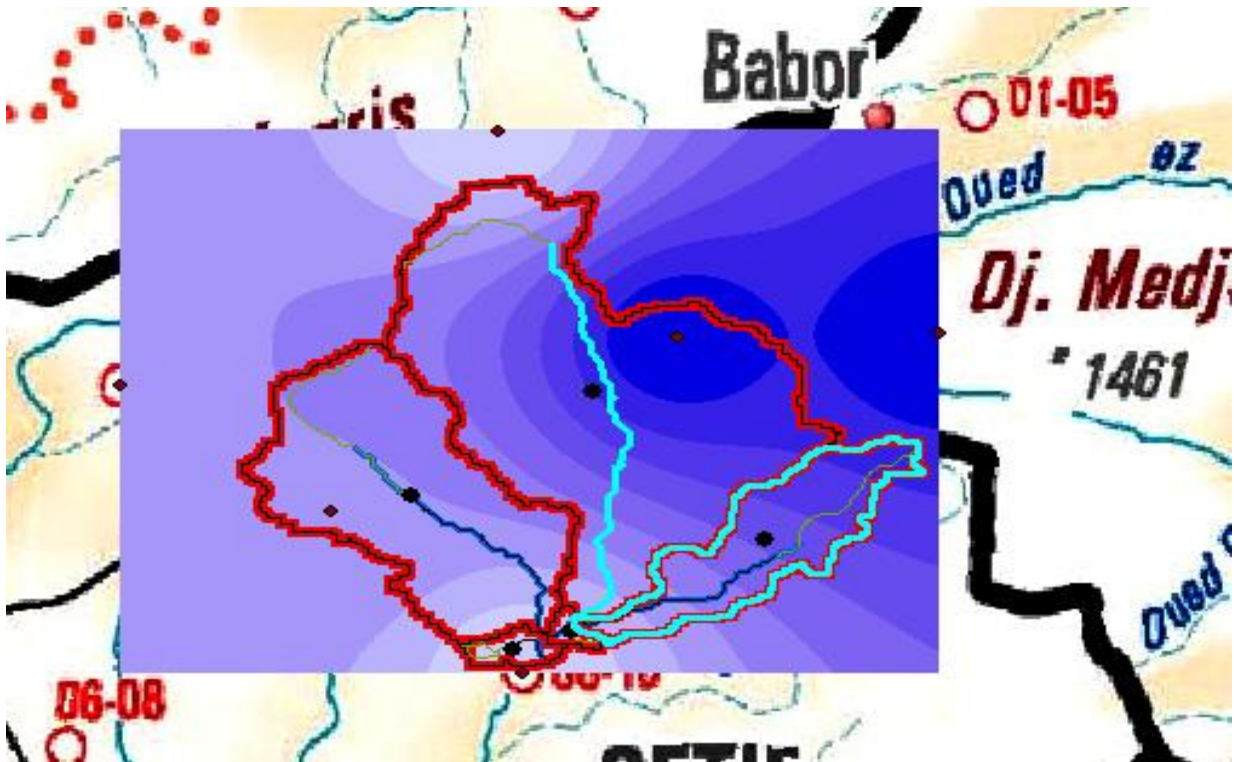


Figure IV 6 :Carte représenté les précipitations07 des sous bassins

Tableau IV. 7:représentées valeurs de précipitation07

PREC_07

Rowid	GRIDCODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5	9315	30645309,7	9,121119	12,192506	3,071387	11,149353	0,614774	103856,226
2	6	17424	57323014,1	9,357432	16,799751	7,442319	13,479438	1,842373	234865,729
3	7	4182	13758312,9	9,438957	15,665769	6,226811	13,196369	1,538782	55187,2158
4	8	225	740224,872	9,022893	9,769796	0,746903	9,367971	0,165832	2107,79357
5	9	483	1589016,06	8,812284	9,366838	0,554554	9,001195	0,114445	4347,57721

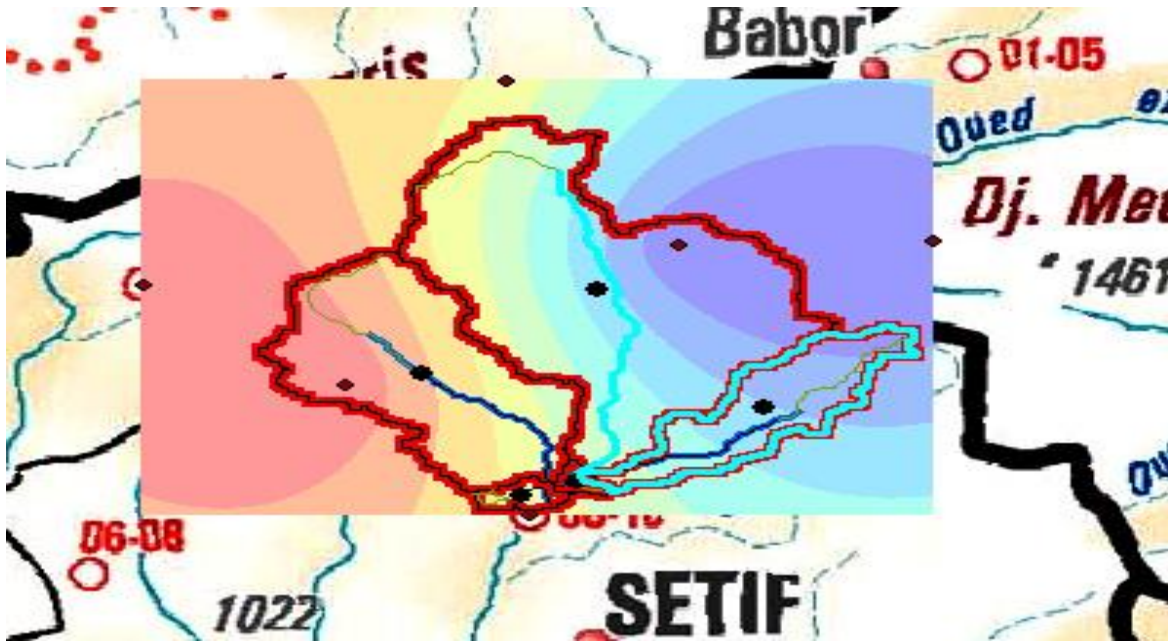


Figure IV .7 :Carte représenté les précipitations06 des sous bassins

Tableau IV. 8:représentées valeurs de précipitation06

PREC_06

Rowid	GRIDCODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5	9315	30645309,7	7,856492	14,108757	6,252265	10,408513	1,524225	96955,2983
2	6	17424	57323014,1	10,851697	19,342129	8,490432	15,312906	2,285533	266812,068
3	7	4182	13758312,9	13,079543	18,543486	5,463943	16,505338	1,338359	69025,3231
4	8	225	740224,872	12,560305	13,435366	0,875061	12,976959	0,207053	2919,81569
5	9	483	1589016,06	11,143634	12,79709	1,653456	11,978095	0,39634	5785,41969

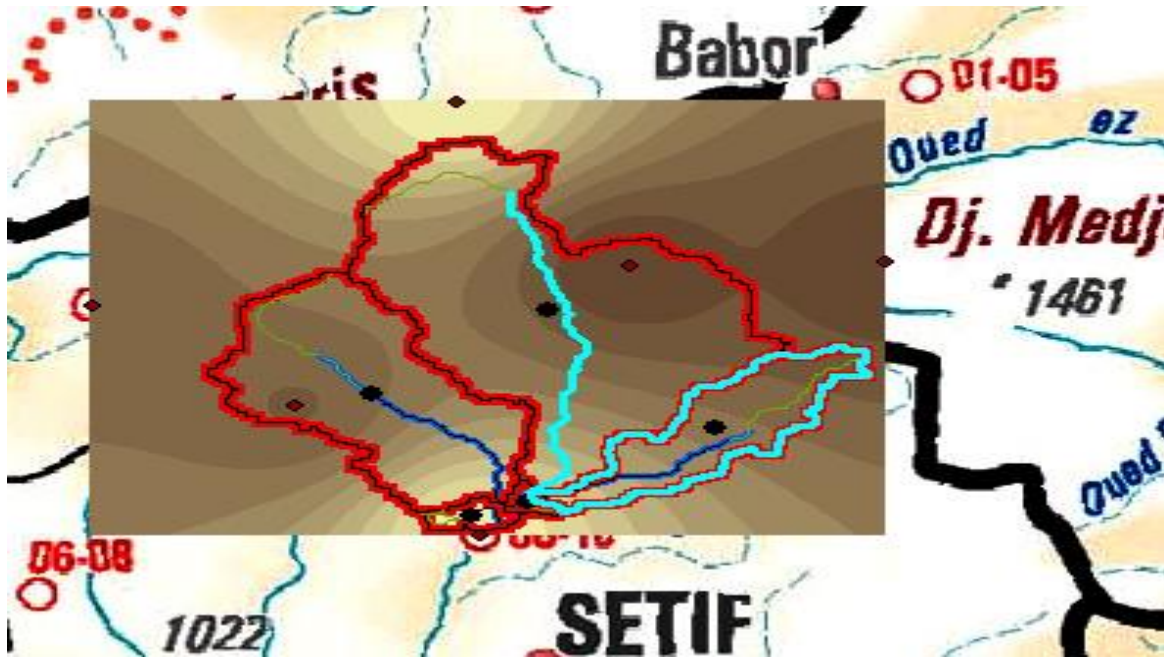


Figure IV .8 :Carte représenté les précipitations05 des sous bassins

Tableau IV.9 :représentées valeurs de précipitation 05

PREC_05

Rowid	GRIDCODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5	9315	30645309,7	10,412918	13,799867	3,386949	12,878221	0,857956	119960,63
2	6	17424	57323014,1	10,457975	14,699884	4,241909	13,192076	0,938024	229858,738
3	7	4182	13758312,9	10,64146	14,143162	3,501701	12,927151	0,835786	54061,3443
4	8	225	740224,872	10,299782	10,929765	0,629983	10,587672	0,138413	2382,22625
5	9	483	1589016,06	10,111423	10,693183	0,581759	10,294327	0,116039	4972,15998

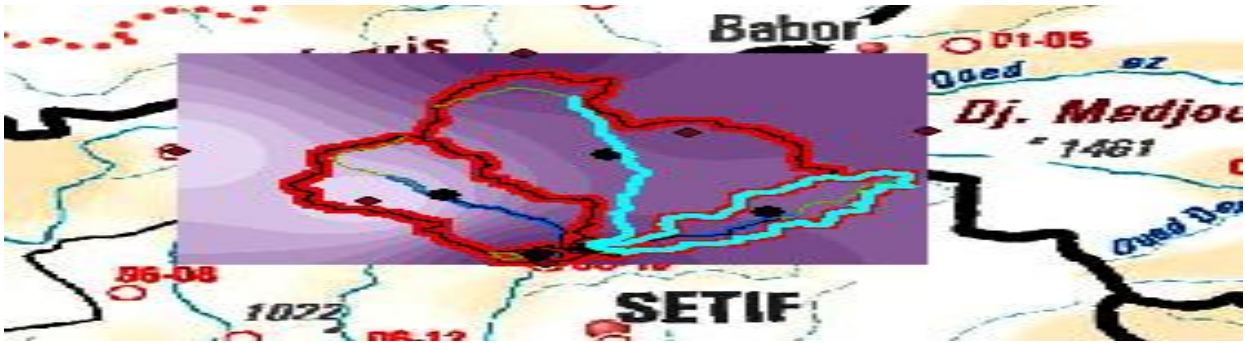


Figure IV .9 :Carte représenté les précipitations04 des sous bassins

Tableau IV.10 :représentées valeurs de précipitation04

PREC_04

Rowid	GRIDCODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5	9315	30645309,7	20,00136	44,195824	24,194464	28,685377	6,424734	267204,285
2	6	17424	57323014,1	28,796766	44,224339	15,427572	37,088303	2,483905	646226,587
3	7	4182	13758312,9	37,546619	43,284035	5,737415	38,36993	1,150253	160463,048
4	8	225	740224,872	41,952892	44,744251	2,791359	43,486645	0,609909	9784,49519
5	9	483	1589016,06	42,389874	45,643032	3,253159	44,692619	0,633592	21586,5349

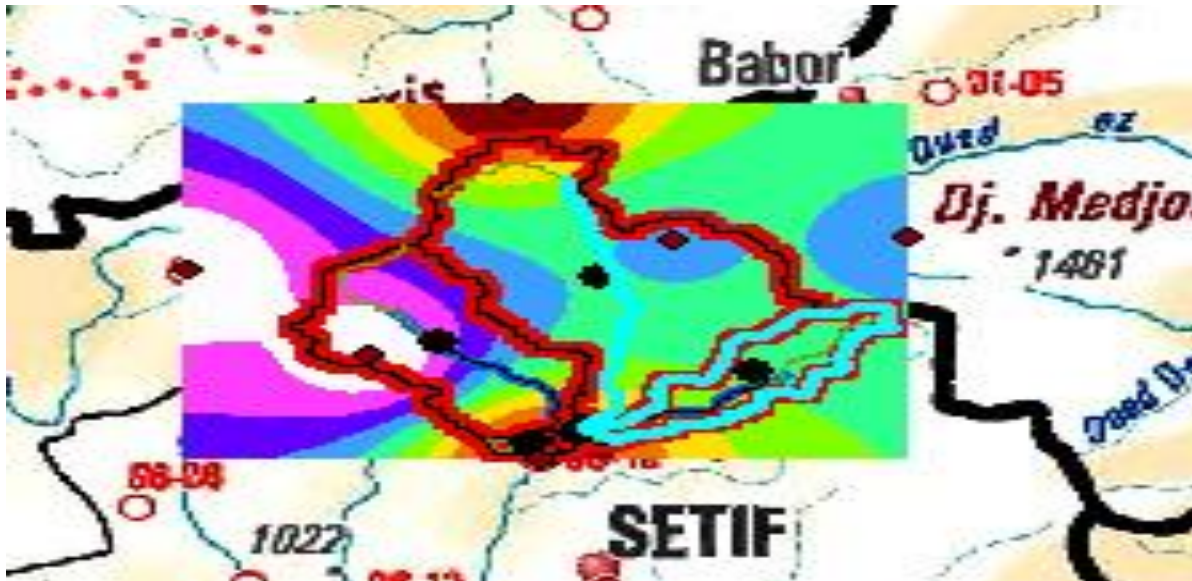


Figure IV.10 : Carte représenté les précipitations03 des sous bassins

Tableau IV.11 :représentées valeurs de précipitation03

PREC_03

Rowid	GRIDCODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5	9315	30645309,7	29,00065	41,876766	12,876116	33,258684	3,354697	309804,639
2	6	17424	57323014,1	32,908276	41,677094	8,768818	35,993706	1,576602	627154,338
3	7	4182	13758312,9	35,154259	41,271294	6,117035	36,764727	1,374446	153750,086
4	8	225	740224,872	40,44141	42,212193	1,770782	41,409395	0,387376	9317,11393
5	9	483	1589016,06	40,880997	42,76553	1,884533	42,199637	0,370021	20382,4247

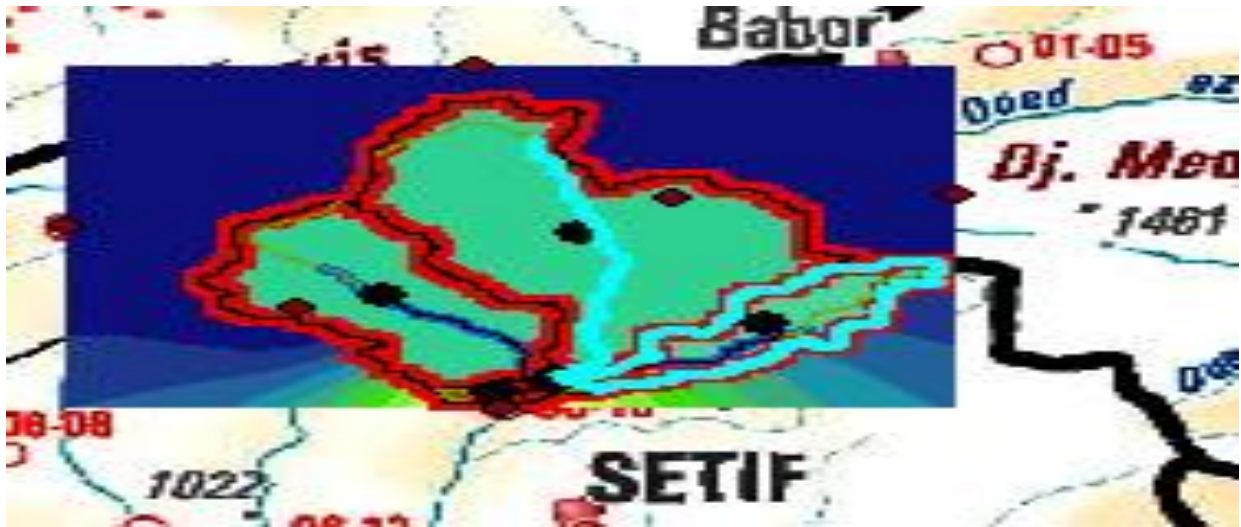


Figure IV.11 représenté les précipitations⁰² des sous bassins

Tableau IV.12 :représentées valeurs de précipitation⁰²

PREC_02									
Rowid	GRIDCODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5	9315	30645309,7	13,92818	17,499878	3,571698	16,597419	0,933065	154604,961
2	6	17424	57323014,1	14,308491	17,362764	3,054274	16,879686	0,537089	294111,646
3	7	4182	13758312,9	14,162521	17,120115	2,957594	16,255384	0,701136	67980,0164
4	8	225	740224,872	13,809625	14,461521	0,651896	14,107677	0,143108	3174,22737
5	9	483	1589016,06	13,612068	14,231853	0,619785	13,805643	0,123327	6668,12555

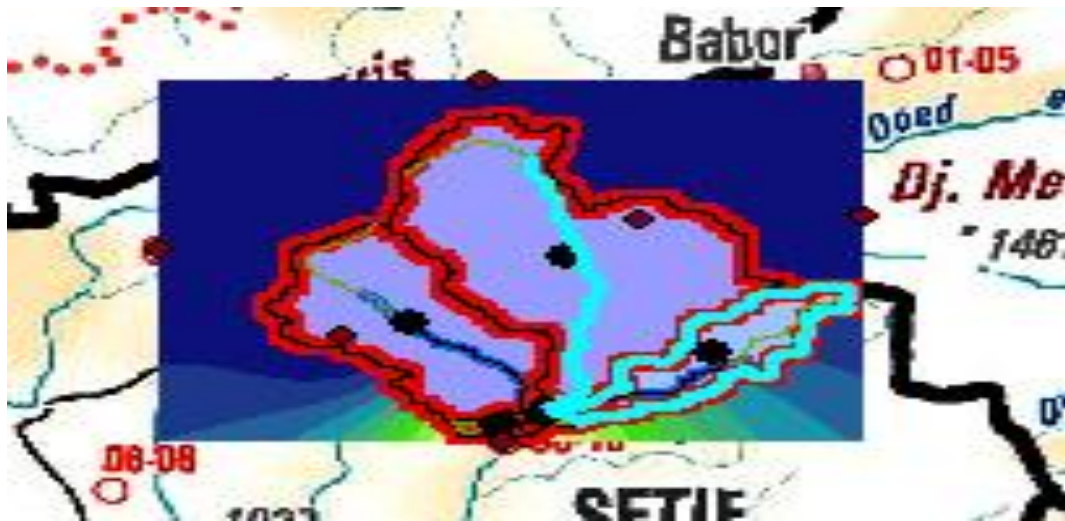


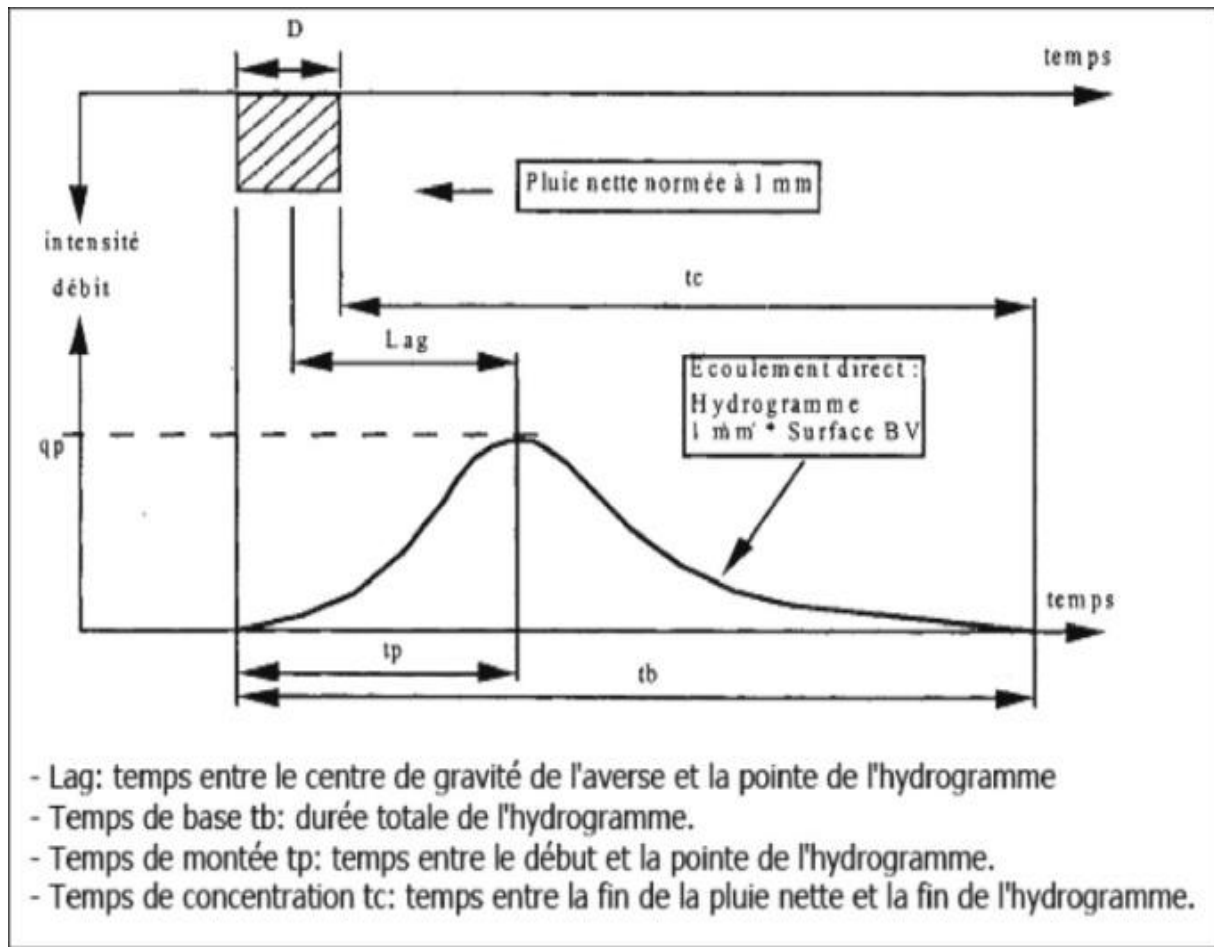
Figure IV .12 :Carte représenté les précipitations05 des sous bassins

Tableau IV.13 :représentées valeurs de précipitation01

PREC_01

Rowid	GRIDCODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5	9315	30645309,7	26,499723	31,899817	5,400093	30,546916	1,411135	284544,52
2	6	17424	57323014,1	27,079857	31,744934	4,665077	31,02439	0,826808	540568,973
3	7	4182	13758312,9	26,857443	31,414896	4,557453	30,072744	1,081432	125764,217
4	8	225	740224,872	26,319221	27,312979	0,993757	26,773666	0,218183	6024,07483
5	9	483	1589016,06	26,018368	26,959951	0,941584	26,312789	0,187437	12709,077

Fonction de transfert : l'hydrogramme unitaire de la NRCS



FigureIV- : La notion d'hydrogramme unitaire et ses caractéristiques fondamentales

La fonction de transfert choisie dans cette étude est l'hydrogramme unitaire de la NRCS.

a- Le concept de base

Cet hydrogramme développé par le NRCS découle d'un grand nombre de petits bassins sur tous les États Unis (Laborde, 2007). Il exprime le débit U_t comme proportionnel au débit de pointe U_p , pour chaque temps t , fraction du temps de pointe T_p .

$$U_p = C \frac{A}{T_p}$$

$$U_p = c A / T_p$$

Avec, A : surface du bassin versant ;

C : constante de conversion (2.08 pour le système international).

Le temps de pointe T_p est relié à la durée de la pluie nette par la formule :

$$T_p = T_{lag} \frac{\Delta t}{2}$$

Où : Δt : la durée de la pluie nette (c'est le pas de temps de simulation) ;

T_{Lag} : le Lag du bassin (différence entre le pic de la pluie nette et le pic de l'hydrogramme).

Une fois le T_{Lag} calculé, le modèle résout l'équation (IX-11), puis (IX-12) pour trouver successivement le temps et le débit de pointe de l'hydrogramme, qui vont permettre de concevoir l'hydrogramme de simulation en reposant sur le principe de linéarité de la réponse.

b- Les paramètres

Le seul paramètre de cette méthode est le T_{Lag} , il sera calculé directement par la formule NRCS définie comme suit :

$$T_{lag} = L^{0,8} \times \left(\left(\left(\frac{1000}{CN} \right) - 10 \right) + 1 \right)^{0,7} / (1900 \times \sqrt{Y}) \quad (\text{IX-13})$$

Avec, T_{Lag} : le lag en heures ;

L : la longueur depuis l'exutoire jusqu'à l'amont du plus grand cours d'eau en pied ;

CN : le curvenumber composite du bassin ;

Y : pente du bassin en %.

Tableau IV.14: Les valeurs des T_{lag} calculé.

N° S/Bassi n	T_{lag} (min)
BV01	33
BV02	55.6
BV03	38
BV04	7.2
BV05	7.6

Le débit de base : la récession exponentielle

1- Le concept de base

Ce formalisme donne la possibilité de simuler la contribution du réservoir souterrain au débit avant et après le pic ou les pics de l'événement de crue, et ceci en établissant une relation exponentielle entre le débit à deux temps consécutifs, cette relation est formalisée par l'équation (USACE, 2013) :

$$Q_t = Q_0 \times k^t \quad (\text{IX-14})$$

Où, Q_t : le débit au temps t ;

Q_0 : le débit initial ;

K : la constante de décroissance exponentielle.

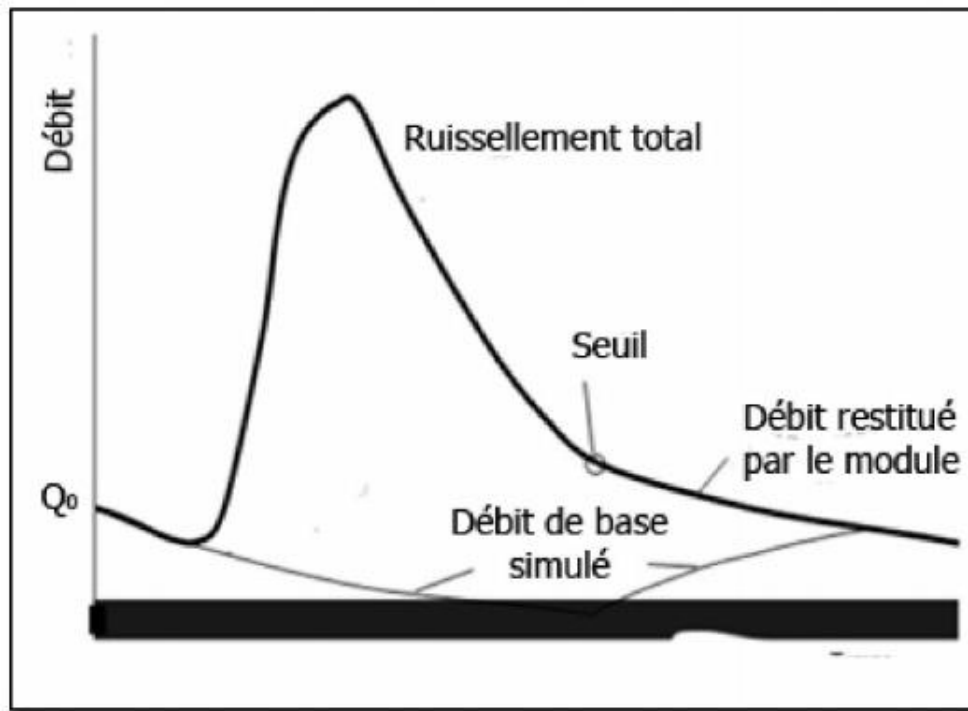


Figure-IV.13 : L'illustration de la méthode de la récession exponentielle, d'après (USACE, 2013)

-2- La variable

La seule variable d'entrée est le débit initial pour chaque événement de crue, issu de la lecture son hydrogramme.

3- Les paramètre

Les deux paramètres du module sont :

a-La constante de récession RC : ce paramètre dépend des propriétés hydrogéologiques du réservoir souterrain. Elle varie entre 0 et 1. Si sa valeur vaut 1, la contribution du module sera constante avec $Q_t = Q_0$. Puisque, on n'a pas d'informations permettant d'attribuer une valeur initiale à ce paramètre, et que sa valeur peut être calibrée, on se contentera de la valeur 0,1 en attendant sa calibration(USACE, 2013).

b- Le seuil Td : lui aussi varie entre 0 et 1. Il est lié au débit de pointe sous forme de rapport. De même que le RC, on se contentera de la valeur 0,1 en attendant sa calibration(USACE, 2013).

- L'élaboration du modèle(pluie - débit liquide)

Avant de débiter la calibration, nous avons préparé tous les fichiers de simulation des dix événements préalablement présélectionnés pour chaque bassin, en prenant en compte les quatre types d'averses NRCS et pour analyser la sensibilité du modèle successivement aux types d'averse. Ainsi, nous avons 40 fichiers de simulation.

Pour chacun des 08 fichiers de simulation, on aura les données suivantes :

Tableau IV.15: Les entrées à saisir pour chaque fichier de simulation

Module du modèle	Entrée	Unité
Module bassin	La surface du sous bassin	km ²
	Le talweg : Longueur,	m
	penne, coef de Maning	m/m, -
	La forme de la section moyenne	-
	Les dimensions de la section	m
Module météorologique	Pluie	mm
	Le type d'averse	-
	Affectation des pluies aux sous bassins	-
Contrôle spécifications	Date et heure du début et la fin de l'événement	-
Séries de données pluviométriques et hydrométriques	Pluie enregistrée ou estimée pour chaque sous bassin	mm
	Débit enregistré (existant) au nœud	m ³ /s
Module de la fonction de production CSCN	Abstraction initiale « Ia »	mm
	Curve Nombre « CN »	-
	Le pourcentage d'imperméable	-
SCS unit hydrographe	Lag time	mm
Débit de base	Débit initial	m ³ /s
	Récession	-
	Ratio	-

- La calibration du modèle

Afin d'aboutir aux valeurs optimisées des paramètres du modèle, la calibration a été effectuée pour les 40 fichiers de simulations en utilisant le débit de pointe.

À partir des résultats de la calibration, nous pouvons constater d'une manière générale que les valeurs optimisées des paramètres, les débits de pointe et les volumes simulés varient tous en fonction de l'événement et du type de l'averse sélectionné.

D'après cette calibration, nous concluons, que les averses types IA et type 2 ont été les mieux classés dans la restitution des caractéristiques de l'hydrogramme.

Quelques graphes de type 1a : (exutoire de chaque précipitation)

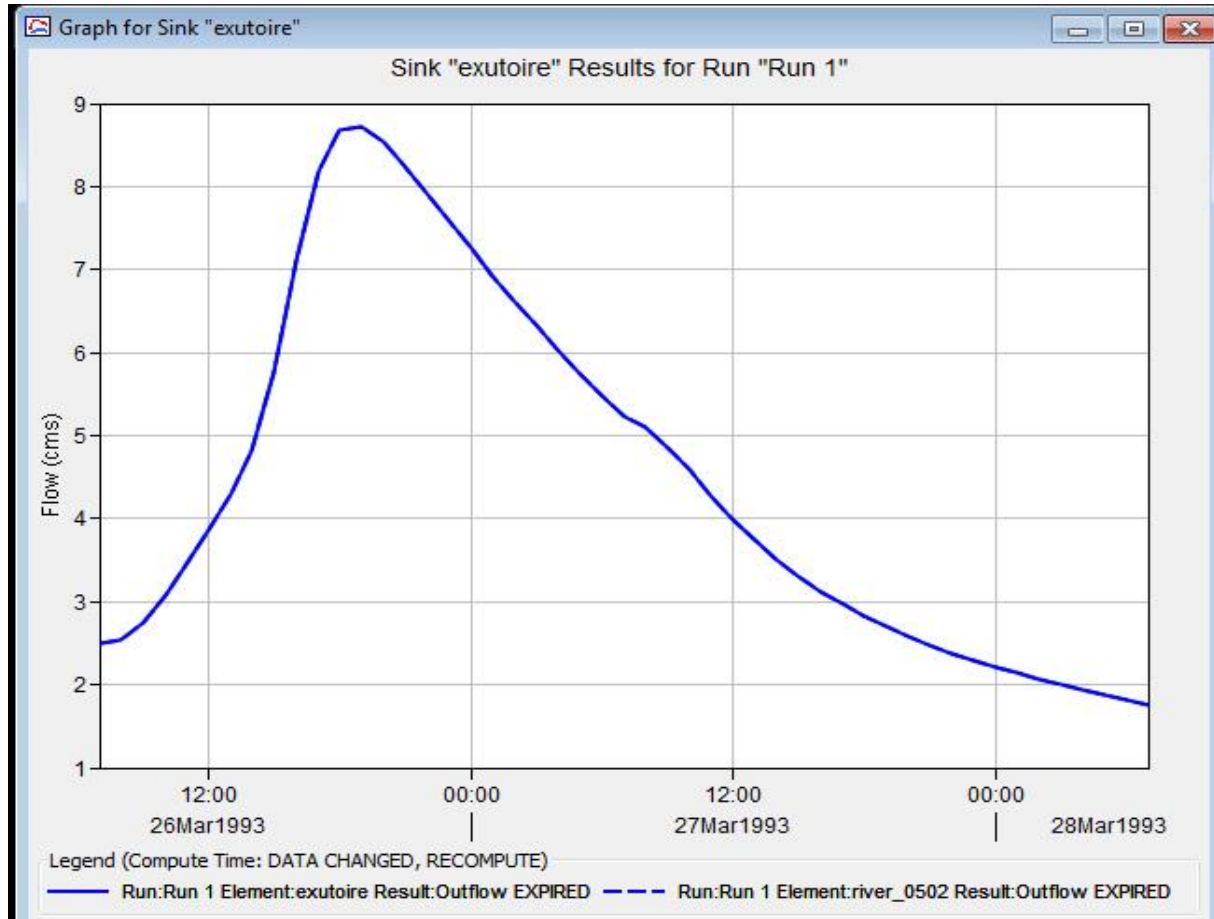


Figure.IV.14 : fenêtre représente le graphe de pluie débit d'averse type 1.a

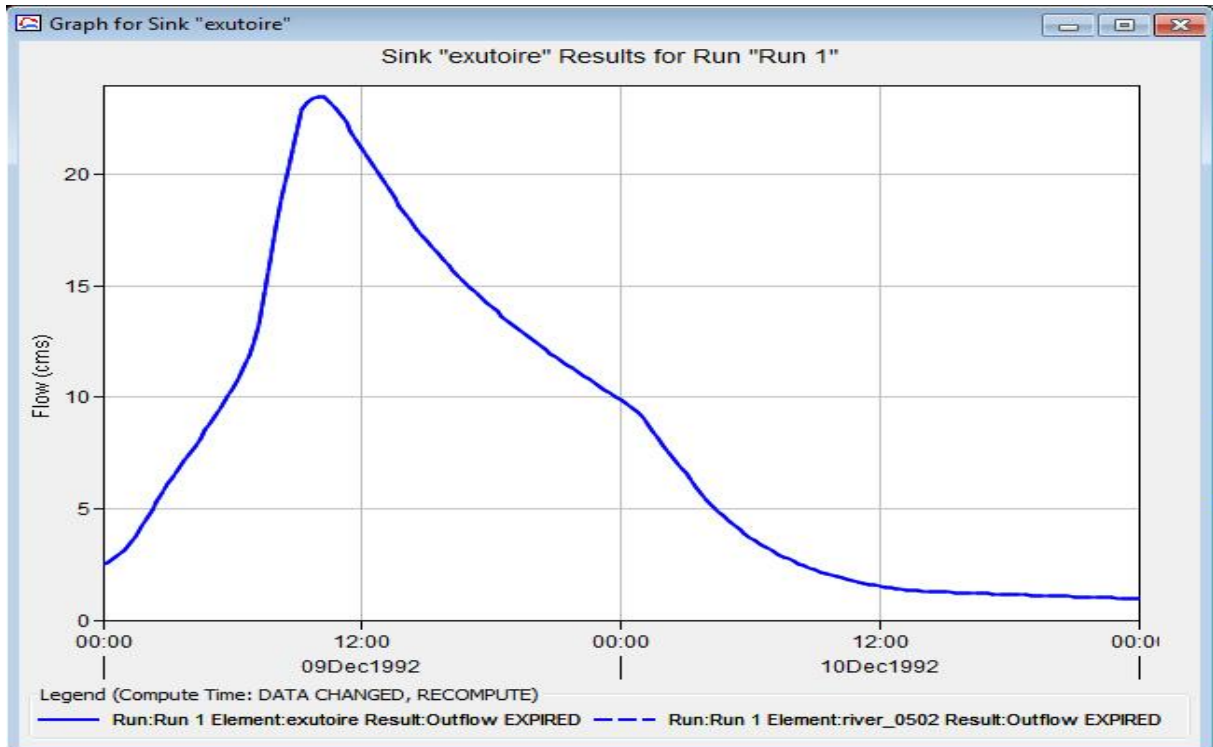


Figure.IV.15 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 1.a

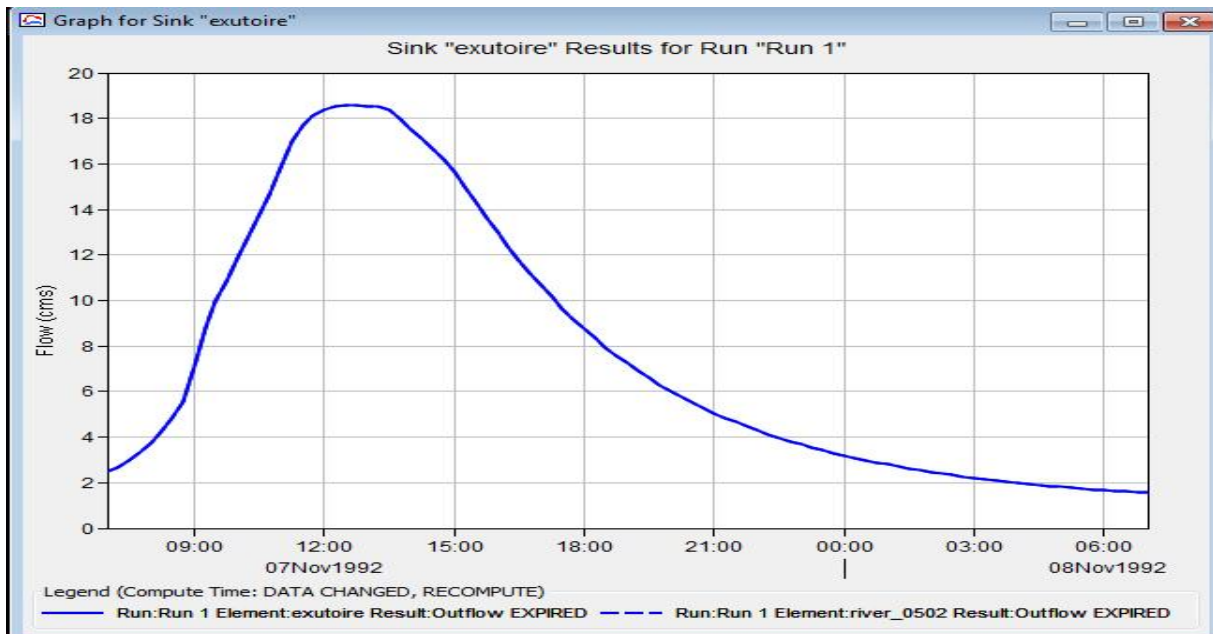


Figure.IV.16 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 1.a



Figure.IV.17 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 1.a

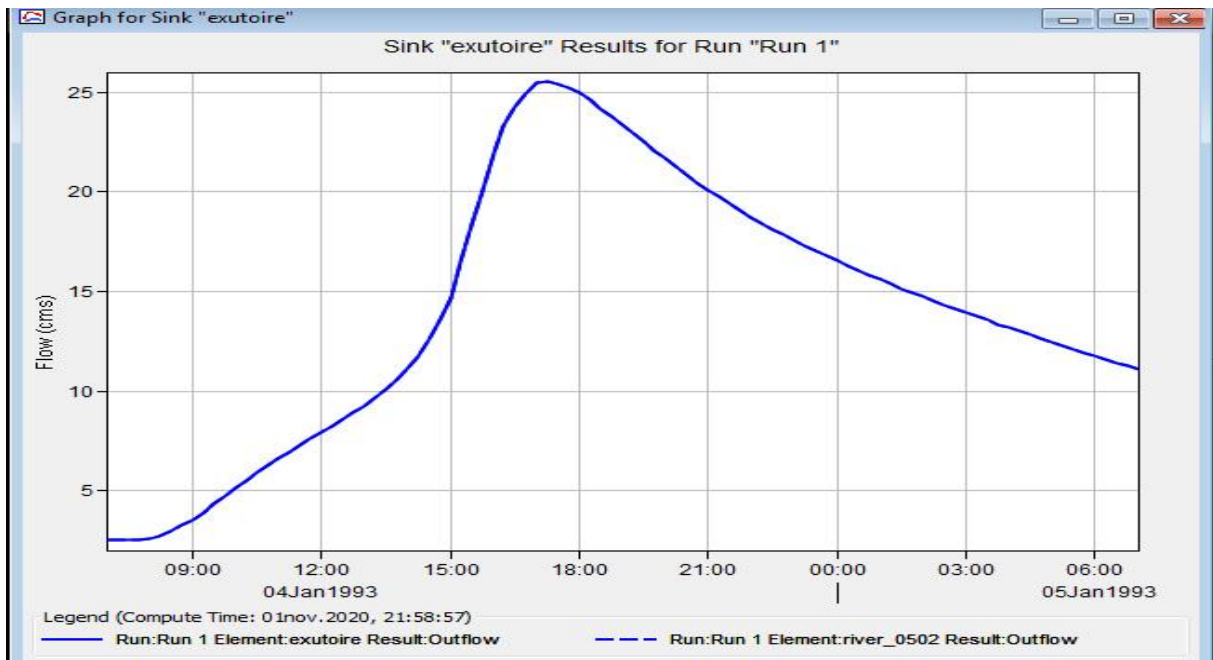


Figure.IV.18 fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 1.a

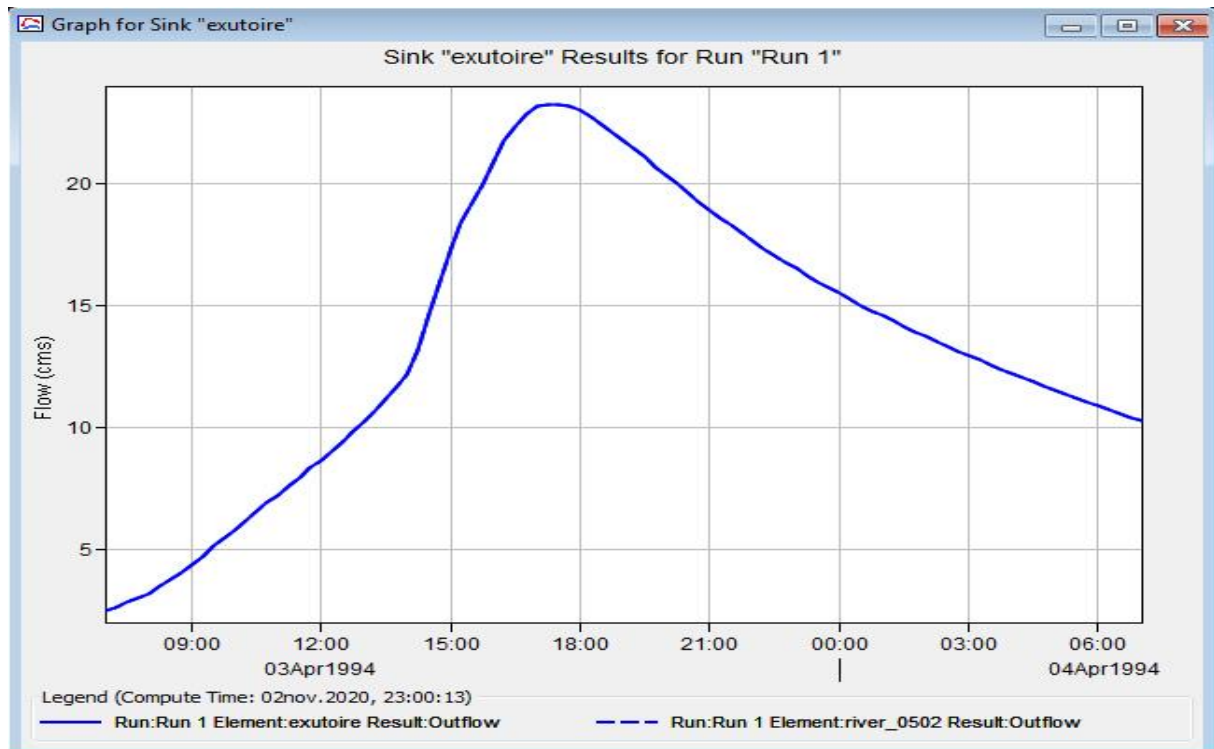


Figure.IV.19 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 1.a

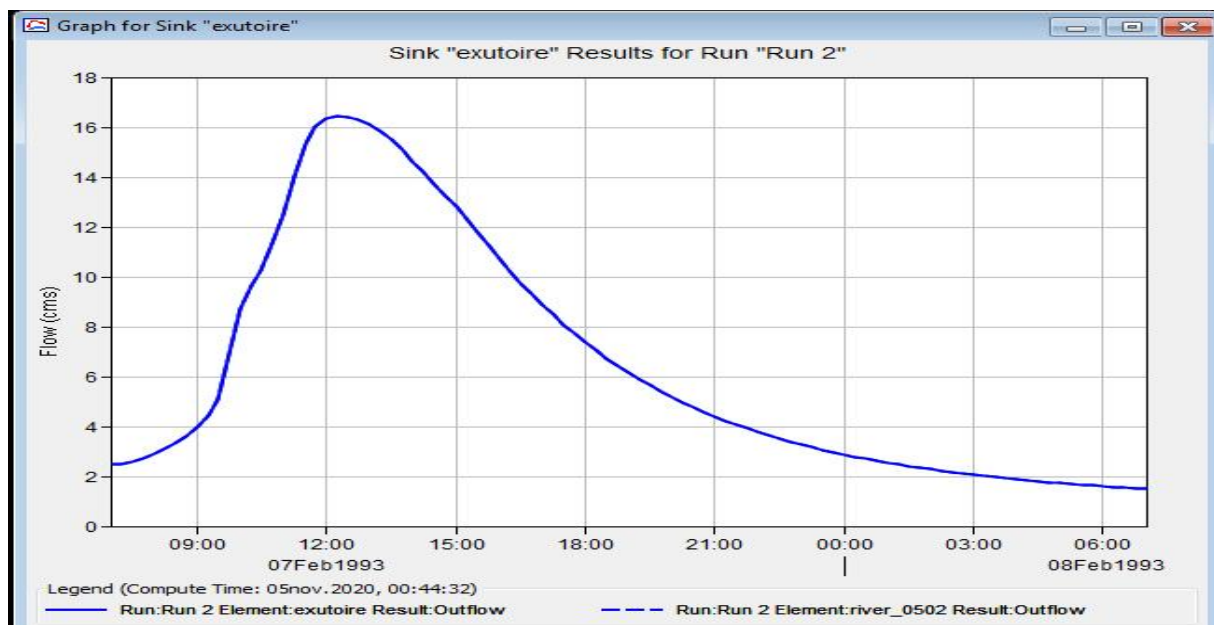


Figure.IV.20 fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 1.a

Type2 : (exutoire de chaque précipitation)

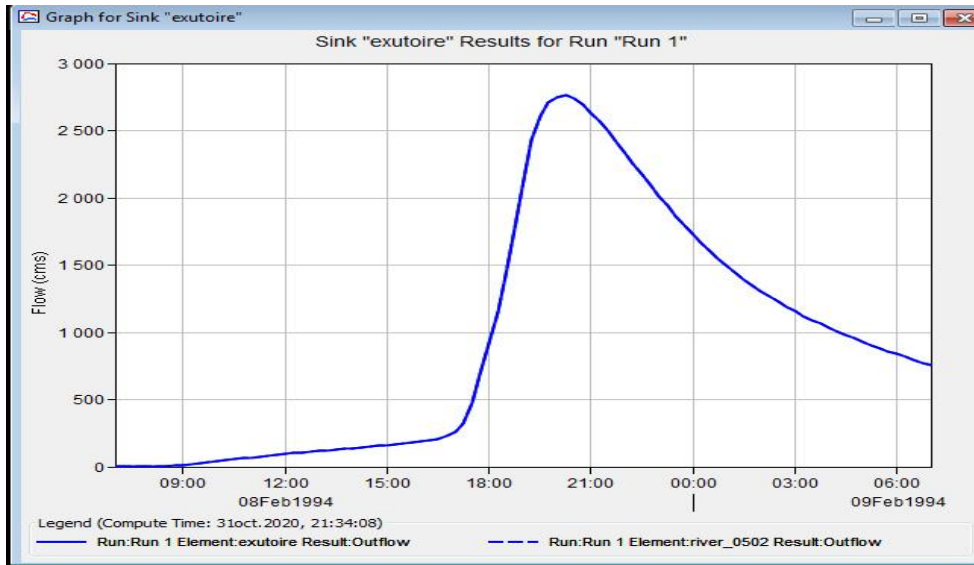


Figure.IV.21 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 02

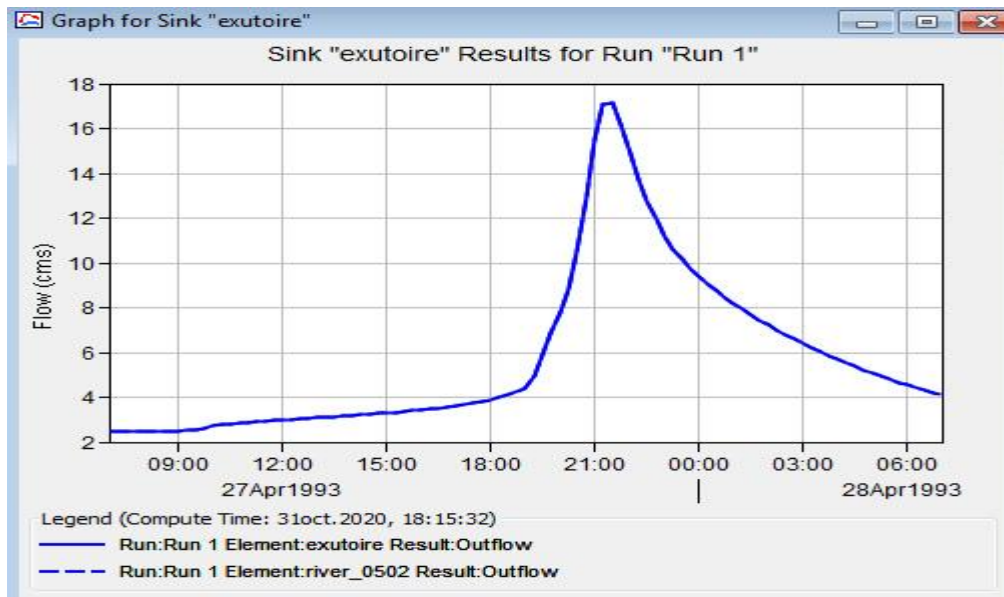


Figure.IV.22 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 02

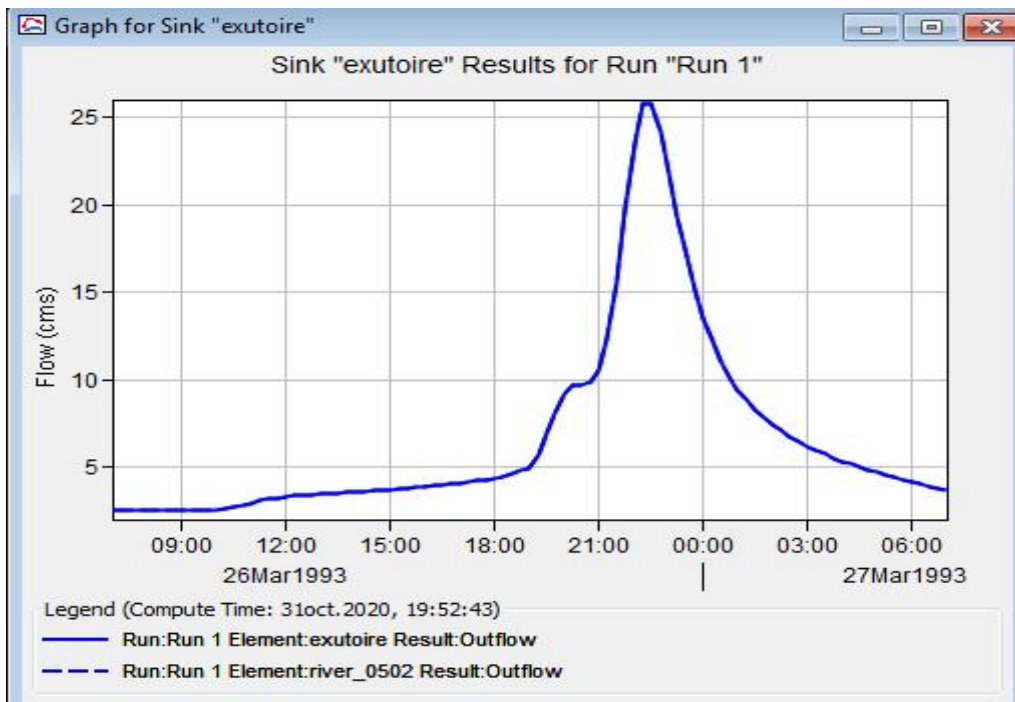


Figure.IV.23 fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 02

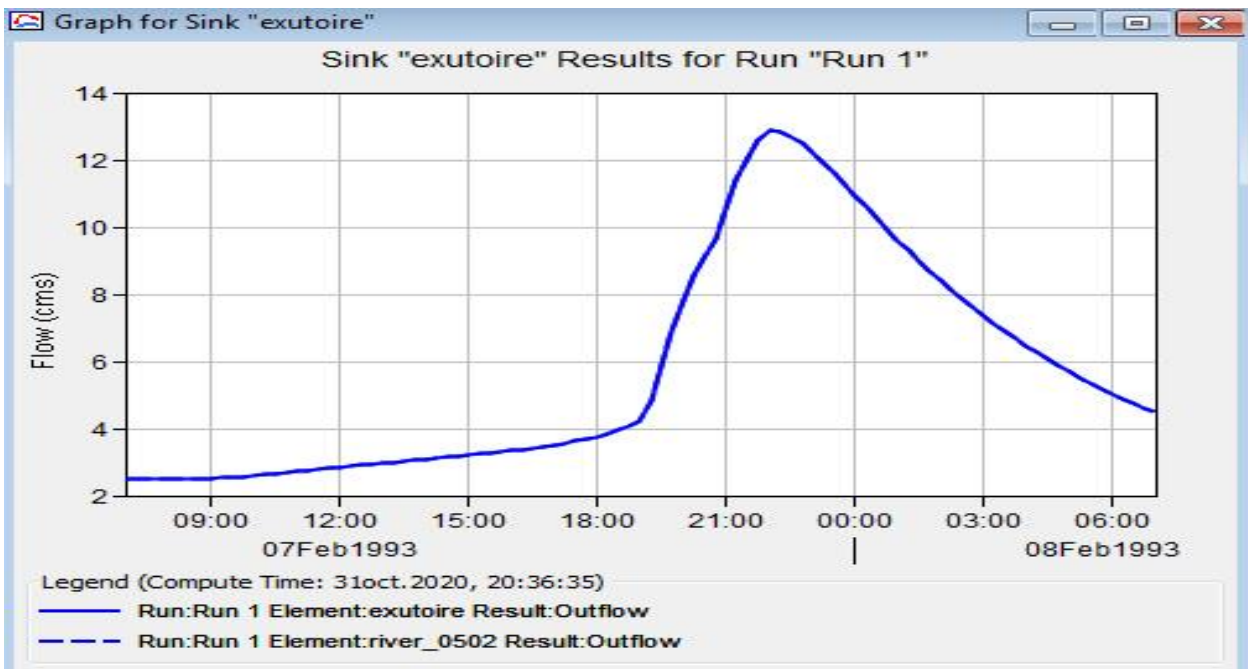


Figure.IV.25 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 02

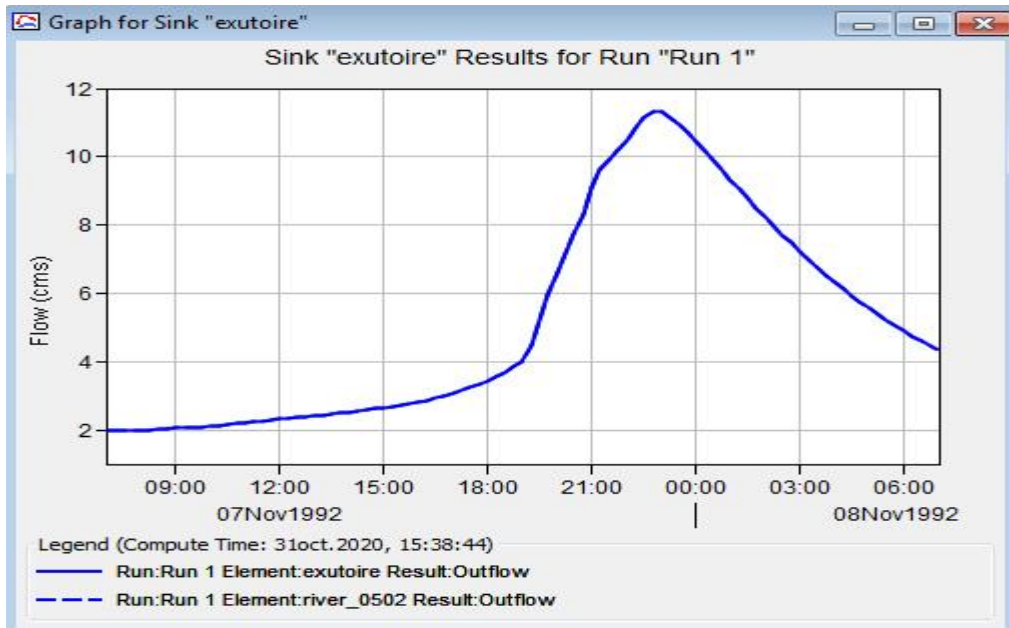


Figure.IV.24 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 02

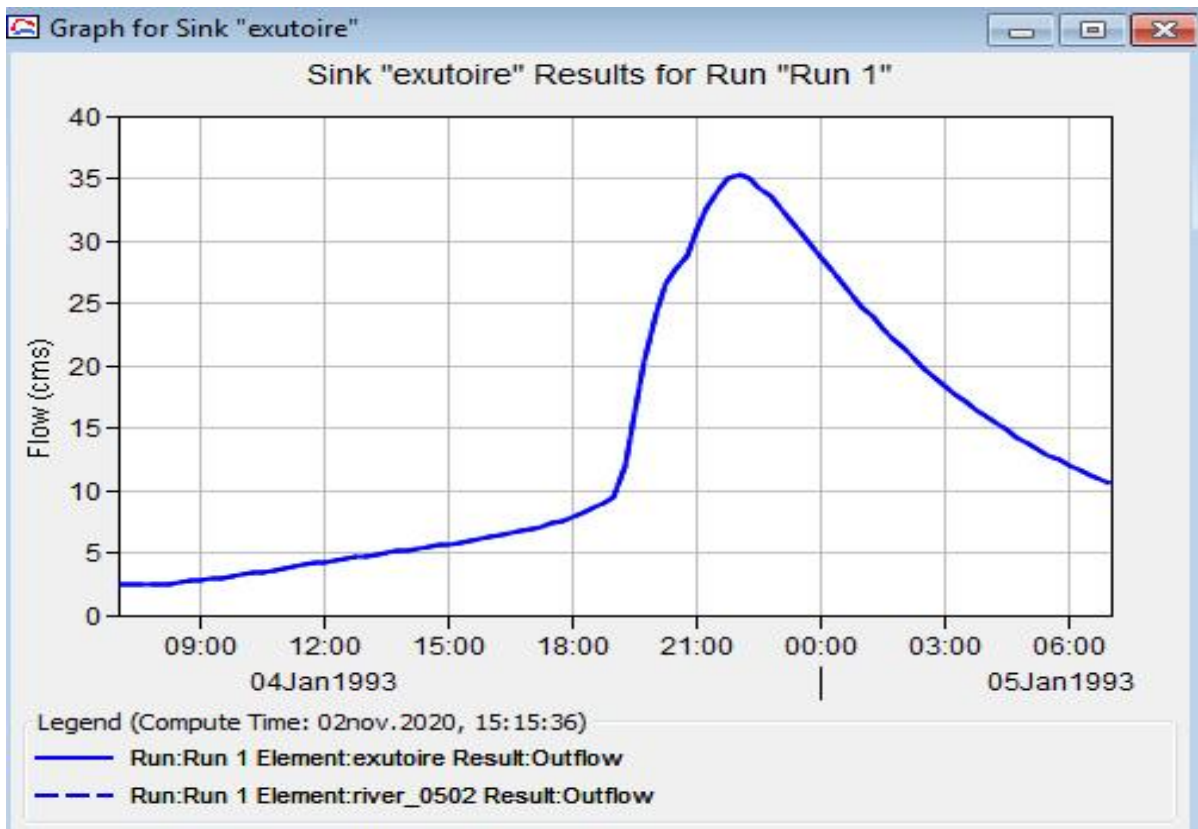


Figure.IV.26 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 02

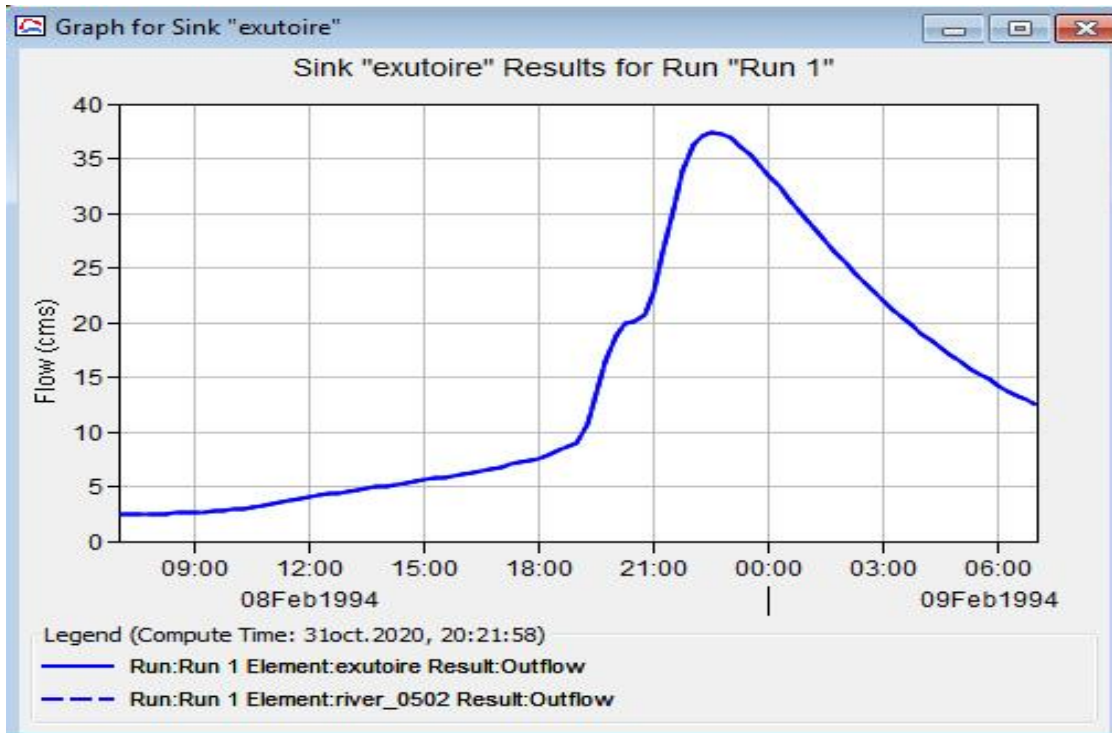


Figure.IV.27 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 02

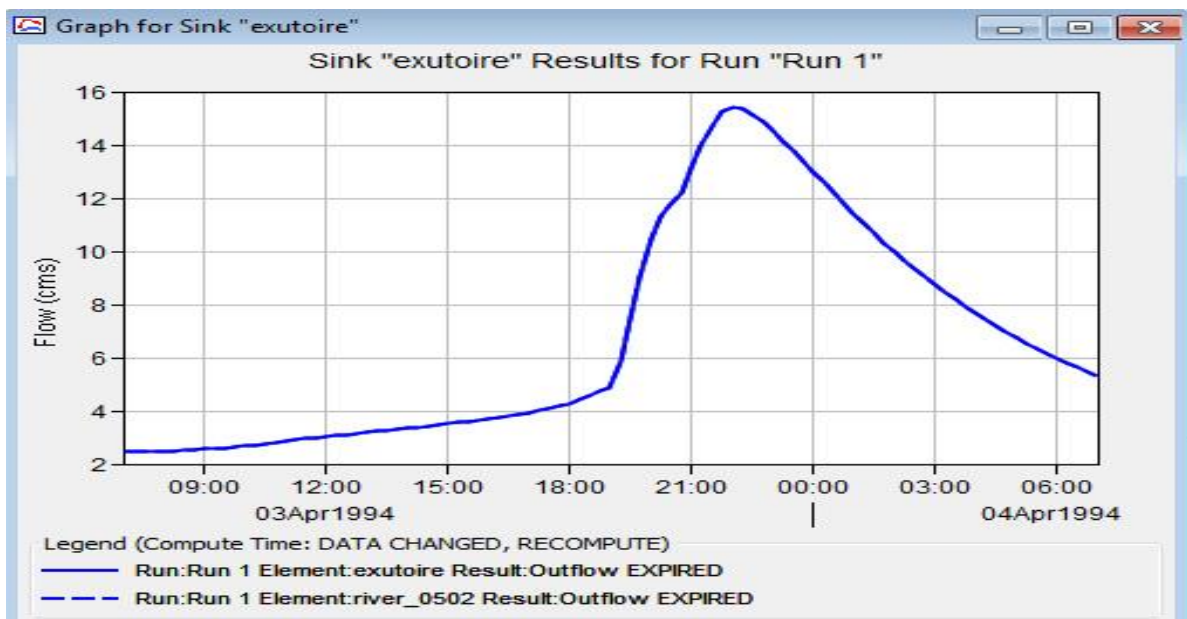


Figure.IV.28 : fenêtre représente le graphe de pluie débit simulé d'averse type 02

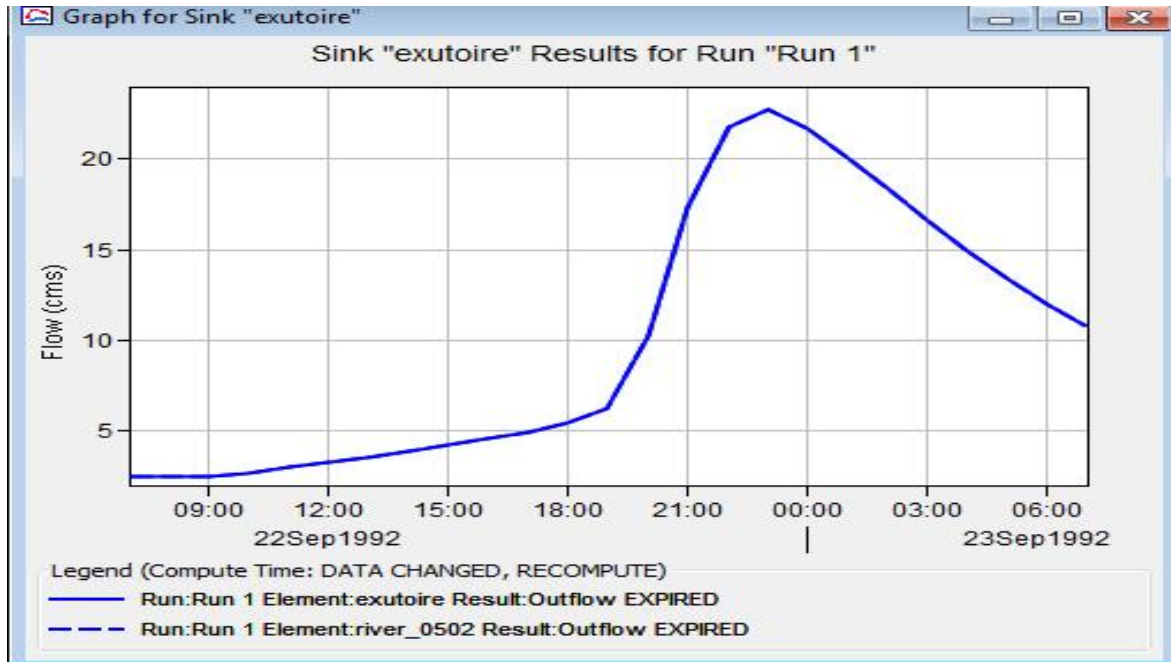


Figure.IV.29 fenêtre représente le graphe de pluie débit simule d'averse type 02



Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale

La mise en service de la modélisation comme outil pour la compréhension du fonctionnement hydrologique des bassins versants, et d'aide à la décision est l'une des meilleures méthodes reconnues à la fois simple et fructueuse. Dans cette optique, la présente étude s'intéressait premièrement à appliquer une combinaison modulaire appropriée du modèle ARC-gis ,HEC-HMS au bassin versant de SOUMMAM (Oued Bousselem ,Oued Fermato). Ensuite, après la calibration du modèle, il doit être validé sur au moins l'un des événements présélectionnés. En revanche, avant de procéder à la réalisation de cette objectif, il nous a été d'une grande utilité de passer en revue l'historique de modélisation du bassin en question et la description du modèle Arc-Gis ,HEC-HMS et de sa combinaison modulaire choisie, puis l'étude hydro-géomorphologique. Pour la première partie, elle expose les différentes phases de modélisation pour les quatre études sans oublier les problèmes que leurs auteur sont confrontés, en l'occurrence la mauvaise qualité et quantité des données, la sur - paramétration et l'hétérogénéité spatio-temporelle des pluies, ensuite cette partie décrit le modèle HEC-HMS.

La deuxième quant à elle, visait à déceler les propriétés spéciales du bassin versant, telles que : la morphologie du bassin versant la géologie et les problèmes d'hétérogénéité spatio-temporelle des précipitations,...etc. Les conclusions tirées de cette étude étaient décisives dans la compréhension et l'anticipation des résultats de la modélisation. L'étape de la modélisation a été précédée par la détermination de Curve number (CN) a partir des cartes d'occupation du sol et type de sol conformes aux prescriptions du NRCS, et la présélection des événements de simulation. Une fois fini, on a commencé par la calibration du modèle pour étudier la sensibilité de notre contexte aux formalismes de la fonction de transfert et aux types d'averses de projet.

Les résultats obtenus de point de vue fonction objective ont permis de classer l'averse NRCS type 2 et le formalisme de Lag comme les mieux appropriés au l OUED FERMATO , et d'éliminer les événements faute de leurs valeurs de fonctions objectives. Une fois le modèle calé et validé, il pourra servir à simuler les crues de projet à partir des pluies de projet synthétiques de période de retour 10, 20, 50 et 100 ans

A long terme, on envisage pour les études postérieures de soulever des défis beaucoup plus enthousiastes comme par exemple :

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



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]AMEL AZZI , Analyse des changements climatiques dans le bassin versant de la Soummam :réflexion en termes de conséquences hydrologiques. Université HOUARI BOUMEDIEN2013.
- [2]PERRIER ,Défense contre les eaux nuisibles de l'oued Soummam mémoire préliminaire, PARIS 1964.
- [3] CHARIFI .S: Application du modèle hydrologique GR2M sur les le bassin versant de la Soummam et de l'Isser. Mémoire de magistère. Ecole National polytechnique. Alger.2006.
- [4]AMOUR abdellh, caractérisation des crues pluviales dans les sous le bassin versant de la Soummam .
- [5]COYEN Bellier ,La météo et ses secrets , Edition Fernand Nathan France ,1982
Technologie des eaux résiduaires ,production ,collecte ,traitement et analyse des eaux résiduaires, Edition Springer- verlag PARIS.
- [6]A.GILLOT-PETRE, La météo et ses secrets, Edition Fernand Nathan France,1982
- [7]Technologie des eaux résiduaires production , collecte, traitement et analyse des eaux résiduaires, Edition Springer-verlag PARIS.
- [8] VIZITERV,GAUFF, Etude d'approvisionnement en eau potable et industrielle des agglomérations du couloir AKBOU-BEJAIA à partir du Barrage Tichi-HAF ,rapport de synthèse de la collecte des données 1987.
- [9]Résultats météorologique, station météorologique de Bejaia,2002.
- [10]NALOUF FARID, Estimation du bilan hydrologique à l'échelle du bassin versant de la Soummam.
- [11]BESSOUH Abdellah et DJADDA Sami ,Estimation du bilan particulière en milieu estuarien de bassin versant de la Soummam .mémoire de fin de cycle.
- [12]DHWB :Etude de la protection de la ville de Bejaia contre les inondations(Rapport de la mission C).BUREAU d'etude : INGEROP?2006.
- [13]C.GOMELLA,H.GUERREE ,Le traitement des eaux publiques , industrielles et privées ,Edition EUROLLES 1978.
- [14]H.GUERREE,C.GOUMELLA , les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales, Edition EYROLLES PARES,1982.

- [15] Direction de la planification et de l'aménagement de territoire, Annuaire statistique de la wilaya de Bejaia ,Résultats 2003.
- [16] **POLLUTION** de la Soummam ,rapport service d' environnement, 1997.
- [17]**S.HEBERT,S.LEGERE**, Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petit cours d'eau ,Québec, Octobre 2000.
- [18]**J.LEROY**, La pollution des eaux, Edition Paris, 1999.
- [19]**G de MARSILY** ,Hydrogéologie Quantitative, Edition MASSON,1981.
- [20]**AHBARI Abdellatif** ,(Anné2013),Le bassin versant de la Soummam .
- [21] **MAME Samir**,(Anné 2014);Protection de la ville de Beni-ounif.
- [22]**MEFTHAH Abderrahmane**,(Promotion:2014),modélisation pluie-débit par le logiciel HICHMS ces de BV OUDE CHELIFF-GHRIB, Mémoire Master.
- [23] **BOUZIANE A.** (2009) : Cours de modélisation hydrologique. École MOHMMADIA d'ingénieurs, Université Mohmmmed V, Rabat. 120p.
- [24] **Chang C.W.** (2009) : Application of SCS CN Method in HEC-HMS in ShihMen Watershed - Simulation of Rainfall-Runoff Hydrologic Model. Electronic Theses, Treatises and Dissertations, Paper 3900. 96p.
- [25] **Musy A. et Higy C.** (1998) : Hydrologie appliquée, Edition *H*G*A*, Bucarest,. ISBN:
- [26] **Motevalli S., Hosseinzadeh M., Esmaili R., Derafshi K. et Gharehchahi S.** (2012) : Assessing the Effects of Land useChange on Hydrologic Balance of Kan Watershed using SCS and HEC-HMS Hydrological Models – Tehran, IRAN.Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(8): 510-519, 2012. ISSN 1991-8178.
- [27] **United States, Department of Agriculture** (1986) : Urban hydrology for small watersheds, Technical Release 55 (TR-55). (Second Edition). Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division. 160p.
- [28] **USACE** (1994) : Flood-Runoff Analysis Engineering Manuel. N° 110-2-1417, Washington
- [29] **USACE** (2000) : Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual version 3.5. HydrologicEngineering Center. 138 p.
- [30] **TRAMBLAY Y.** (2012) : Modélisation des crues dans le bassin du barrage Makhazine. Rapport interne de l'ABH deLoukous. Maroc. 34p.

Résumé:

Notre étude représente une contribution à l'élaboration d'une méthodologie de travail et de planification pour la prévision du risque par l'utilisation de la modélisation hydrologique et la simulation du comportement pluie-débit. Notre modélisation (pluie-débit) est appliquée à une partie du bassin versant de la Soummam qui est «Oued SAHEL» en utilisant le logiciel HEC-HMS qui permet d'obtenir des informations sur le fonctionnement du système hydrologique du bassin versant.

Abstract :

Our study represents a contribution to the development of a methodology of work and planning for risk prediction by the use of hydrological modeling and simulation of rainfall-runoff behavior. Our modeling (rainfall-runoff) is applied to a part of the watershed of Soummam "Oued Sahel" using the HEC-HMS software that provides information about the functioning of the hydrological system of the watershed.

المخلص :

تمثل دراستنا مساهمة في تطوير منهجية عمل وتخطيط للتنبؤ بالمخاطر من خلال استخدام النمذجة الهيدرولوجية ومحاكاة سلوك الجريان السطحي لهطول الأمطار. من مستجمعات المياه في سومام وهي "واد فرماتو" باستخدام برنامج HEC-HMS الذي يوفر معلومات عن عمل النظام الهيدرولوجي لمستجمعات المياه.