



Université d'Oran 2  
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

## Mémoire

---

# Modélisation PLUIE\_DEBIT PAR L'APPLICATION DU LOGICIEL HEC\_HMS DANS LE BASSIN VERSANT OUED TARIA \_ WILAYA DE MASCARA NORD OUEST AGERIEN

Présentés par :

**-Chakour Elhadja yasmina**

**-benadouda aBdelaziz**

SOUTENU LE / 10 /2021

Devant la commission d'examen :

| Nom et Prénoms           | Grade                        | Etablissement     |                    |
|--------------------------|------------------------------|-------------------|--------------------|
| <b>Mme. BAKRITI Amel</b> | <b>Maitre de conférences</b> | <b>ORAN 2-MBA</b> | <b>Présidente</b>  |
| <b>Mme. BELKHIR k</b>    | <b>MAA</b>                   | <b>ORAN 2-MBA</b> | <b>Rapporteur</b>  |
| <b>Mr. FOUKRACH</b>      | <b>MAA</b>                   | <b>ORAN 2-MBA</b> | <b>Examinateur</b> |

## Remerciement

Je saisi l'occasion à travers ce modeste travail pour présenter NOUS remerciements

D'abord au bon dieu tout puissant qui nous a donnés le courage, la santé, la volonté et la

Patience. En suite à mon encadreur Madame : **BELKHIR KHADIDJA** qui a été

Présente par ces conseils et son savoir.

Toute la gratitude à nos professeurs et enseignants qui nous ont guidés au cours de notre formation, et nos respects aux membres de jury qui nous feront l'honneur d'apprécier ce travail.

## *DEDICACE*

*Je dédie ce modeste mémoire qui est l'accomplissement d'une longue année d'études, en premier lieu à :*

*Ma très chère mère à qui je dois beaucoup pour ces sacrifices, son amour, son aide et son soutien*

*Mon père qui m'a soutenu et a su me donner le courage à chaque instant*

*A Mes frères kadiro et miloud*

*A mon mari pour le soutien moral*

*A mes grandes mères*

*A toute mes tantes*

*A ma cousine meriem*

*A tout mes amis(es) et mes connaissances.*

*Yasmina*

## **Résumé**

Les bassins versants semi-arides Algériens ayant des pluies généralement irrégulières et parfois torrentiels, sont caractérisés par l'absence de réseaux de mesures hydrologiques et notamment hydrométriques. Par conséquent, plusieurs modèles transformant les pluies en débits ont été développés pour simuler les hydrogrammes de crues. Dans ce contexte cette étude a été élaborée moyennant le modèle hydrologique HEC-HMS (Système de modélisation hydrologique) qui s'intéresse à la transformation pluie-débit dans les bassins versants ruraux et urbains,

La détermination de l'ensemble des paramètres géomorphologiques, géologiques, hydrologiques et climatiques des sous bassins versants de l'oued TARIA et l'introduction de ces caractéristiques du bassin et des données des pluies maximales journalières et /ou pluies fréquentielles dans le modèle hydrologique universel HEC-HMS, a permis de calculer les différents hydrogramme de crue, la performance du modèle hydrologique est généralement effectuée et rapportée par le biais de comparaisons de variables simulées et observées. Nous avons utilisé deux fonctions objectives RMSE et PEPD et l'hydrogramme de crue observé pour la période de 27 à 28 septembre 1999.

**Mots clés :** , pluie-débit, bassin versant, modèle HEC-HMS, hydrogramme, RMSE, PEPD

## **Abstract:**

The semi-arid Algerian watersheds with generally irregular and sometimes torrential rains are characterized by the absence of hydrological and especially hydrometric measurement networks. Therefore, several models transforming rainfall into discharge have been developed to simulate flood hydrographs. In this context, this study was developed using the HEC-HMS hydrological model (Hydrological Modeling System) which is interested in the rainfall-flow transformation in rural and urban watersheds,

The determination of all the geomorphological, geological, hydrological and climatic parameters of the sub-watersheds of the TARIA wadi and the introduction of these characteristics of the basin and the data of maximum daily rains and / or frequency rains in the universal hydrological model HEC-HMS, made it possible to calculate the different flood hydrographs, the performance of the hydrological model is generally carried out and reported through comparisons of simulated and observed variables. We used two objective functions RMSE and PEPD and the observed flood hydrograph for the period September 27-28, 1999.

**Keywords:** rainfall-discharge, catchment area, HEC-HMS model, hydrographs, RMSE, PEPD

|   |    |
|---|----|
| Liste de figure   |    |
| Liste de tableau  |    |
| Introduction général  |    |
| <b>Chapitre I :Modélisation hydrologique</b>                    |    |
| I.1 Introduction .....  | 1  |
| I.2 Les modèles hydrologique .....                              | 1  |
| I.3 Principes des modèles hydrologiques.....                    | 1  |
| I.4 Utilisation des modèles hydrologiques.....                  | 2  |
| I.5 Pourquoi du modèle hydrologique.....                        | 2  |
| I.6 Critères de qualité d'un modèle hydrologique.....           | 3  |
| I.7 Caractéristiques intrinsèques d'un modèle hydrologique..... | 3  |
| I.8 Classification des modèles hydrologiques.....               | 4  |
| I.8.1 Le modèle déterministe.....                               | 6  |
| I.8.2 Le modèle statistique et stochastique.....                | 6  |
| I.8.3 Le modèle global.....                                     | 6  |
| I.8.4 Modèles Spatialisés (distribués).....                     |    |
| I.8.5 Les modèles empiriques.....                               | 7  |
| I.8.6 Modèles physiques spatialisés.....                        | 7  |
| I.8.7 Modèles physiques conceptuels semi spatialisés.....       | 8  |
| I.8.8. Les modèles conceptuels (à réservoirs).....              | 8  |
| I.8.9 Les modèles boîte noire.....                              | 8  |
| I.8.10.Modèles paramétriques.....                               | 8  |
| I.8.11 Modèles analytiques.....                                 | 9  |
| I.8.12 Modèle pluie-débit.....                                  | 9  |
| I.8.12.1 Classification des modèles pluie-débit.....            | 10 |
| I.8.13 Modèle débit-débit .....                                 | 10 |
| I.9 La nature des unités élémentaires.....                      | 11 |

|   |    |
|---|----|
| I.10 Calage et performance d'un modèle hydrologique.....                | 11 |
| I.11 HEC-HMS.....   | 13 |
| I.12 La fonction de transfert SCS UH (Hydrogramme unitaire du SCS)..... | 15 |
| I.13 Le concept de base.....  | 15 |
| I.14 Développement du modèle.....                                       | 16 |
| I.15 Représentation du modèle de la pluie.....                          | 20 |
| I.16 Le module du débit de base.....                                    | 22 |
| I.17 Le module de routage.....  | 23 |
| I.18 La fonction objective.....   | 23 |
| I.19 La fonction d'optimisation automatique.....                        | 24 |
| I.20 Justification du choix du modèle.....                              | 26 |
| <b>Chapitre II : présentation de la zone</b>                            |    |
| II.1. Présentation Géographique du bassin .....                         | 28 |
| II.2. Etude du relief.....  | 29 |
| II.3. Etude géologique de la zone d'étude.....                          | 30 |
| II.3.1. Introduction.....   | 30 |
| II.3.2.Paléogéographie.....   | 31 |
| II.3.3. Lithostratigraphie.....   | 31 |
| II.4.la courbe hypsométrique.....                                       | 34 |
| II.5.Détermination des altitudes:.....                                  | 38 |
| II.6. Caractéristique physique du bassin.....                           | 39 |
| II.6.1. Définition.....   | 39 |
| II.6.2. Caractéristiques de la disposition sur le plan.....             | 39 |
| II.7. Détermination des indices de pente.....                           | 42 |
| II.7.1. Indice de pente globale.....                                    | 43 |
| II.7.2. indice de pente moyenne.....                                    | 44 |
| II.7.3. Dénivelée spécifique : «Ds».....                                | 41 |
| II.8. Etude du réseau hydrographique.....                               | 42 |

|   |    |
|---|----|
| II.8.1. Classification des thalwegs.....                  | 42 |
| II.8.2 - Densité de drainage.....                         | 47 |
| II.8.3 - Fréquence des cours d'eau.....                   | 47 |
| II.8.4. Fréquence des thalwegs élémentaires.....          | 48 |
| II.8.5. Rapport de confluence.....                        | 48 |
| II.8.6 - Rapport de longueur.....                         | 49 |
| II.8.7. Coefficient de torrentialité.....                 | 50 |
| II.8.8. Profil en long.....                               | 51 |
| II.9. Détermination du temps de concentration «Tc»:.....  | 52 |
| II.10.étude climatiques.....                              | 54 |
| II.10.1. Température mensuelle et annuelle.....           | 54 |
| II.10.2. Humidité relative.....                           | 55 |
| II.10 .3 EVAPORATION.....                                 | 55 |
| II.10 .4 - ANALYSE DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES..... | 57 |
| Ajustement des pluies maximales journalières.....         | 59 |
| Conclusion .....  | 64 |
| <br><b>Chapitre III : application du Modèle HEC-HMS</b>   |    |
| III.1 Introduction .....                                  | 66 |
| III.2 Etapes d'une simulation avec HEC-HMS .....          | 66 |
| III.3 Modélisation du bassin versant.....                 | 67 |
| III.3.1 Infiltrations.....                                | 68 |
| III.3.2 Ruissellement.....                                | 68 |
| III.3.3 Les données de bases d'entré.....                 | 68 |
| III.4 Modélisation de la météorologie.....                | 70 |
| III.5 Les données de spécifications de contrôle.....      | 67 |
| III.6 Exploitation des résultats.....                     | 71 |
| III.6.1 Débits et volumes obtenus .....                   | 72 |

|   |    |
|---|----|
| III.6.2 ETUDE DE LA PERFORMANCE DU MODELE.....                      | 75 |
| III.6.2.1 Optimisation par la fonction objective RMSE.....          | 75 |
| III.6.2.2 Optimisation par la fonction objective PEPD.....          | 77 |
| III.7. Comparaison entre les fonctions objectives RMSE et PEPD..... | 78 |
| Conclusion générale .....   | 79 |



# Liste de figure

## Liste de figure

### Chapitre I : Modélisation hydrologique

|   |    |
|---|----|
| Figure I.1 : les modèles hydrologiques<br>.....                                       | 5  |
| Figure I.2 : diagramme de HEC- HMS.....   | 14 |
| Figure I.3 : séparation de la pluie (p) en ruissèleme.....                            | 16 |
| Figure I.4 : Facteurs de réduction des hauteurs déduits à partir des courbes HDF..... | 20 |
| Figure I.5: Averse hypothétique de type<br>SCS.....                                   | 21 |

### Chapitre II : présentation de la zone

|   |    |
|---|----|
| Figure II.1 : Carte de localisation de bassin versant oued Taria.....                                   | 29 |
| Figure II.2 : Carte des courbes de niveau dans le bassin versant d'Oued Taria.....                      | 30 |
| Figure II. 3 : Lithostrastigraphie.....   | 32 |
| Figure II.4: Carte hypsométrique dans le bassin versant d'Oued Taria.....                               | 36 |
| Figure II.5: Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Taria.....                                   | 37 |
| Figure II.6: Rectangle équivalent du bassin versant d'OUED TARIA.....                                   | 42 |
| Figure II.7 : Classification de pentes du bassin versant de l'Oued Taria.....                           | 44 |
| Figure II.8: Carte du réseau hydrographique dans le bassin versant d'oued Taria.....                    | 46 |
| Figure II.9 : Rapport de confluence.....  | 49 |
| Figure II.10 : Rapport de longueur.....   | 52 |
| Figure II.11 : profil en long de l'oued Taria.....  | 52 |
| Figure II.12 : Carte des sous bassins de bassin versant de l'Oued Taria.....                            | 54 |
| Figure II. 13 : températures moyennes.....  | 52 |
| Figure II. 14 : valeurs moyennes.....   | 57 |
| Figure II.15 : évaporations moyennes en(mm) .....   | 57 |
| Figure II.16 : Représentation graphiques des précipitations maximales journalières fréquentielles...58  | 58 |
| Fig. II.17: Ajustement des pluies maximales journalières de la station de Saida à la loi de Gumbel..... | 59 |
| Figure II.18 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies journalières maximales (1977-2014).....         | 60 |
| Figure II 19 : Courbe Intensité-Durée-Fréquence.....  | 63 |

|   |    |
|---|----|
| Figure II 20: Courbe des pluies à courte durée.....   | 63 |
| Chapitre III : application du Modèle HEC-HMS  |    |
| Figure III.1 : Représentation du bassin versant de L'Oued Taria dans le modèle HEC-HMS.....       | 67 |
| Figure III.2 : Fenêtres des données de l'élément (sous bassin).....                               | 70 |
| Figure III.3 : Fenêtres des données météorologiques de fréquence de 1%.....                       | 71 |
| Figure III.4 : Fenêtre de spécifications du contrôle.....   | 71 |
| Figure III-5 : hydrogramme de crue de chaque sous bassin.....                                     | 74 |
| Figure III.6 : Hydrogramme de crue à l'exutoire.....  | 75 |
| Figure III. 7: Optimisation des résultats des débits simulés et observés par la méthode RMSE..... | 76 |
| Figure III. 8 : Optimisation des résultats par la méthode PEPD.....                               | 78 |

## Liste de tableau

### Chapitre I : Modélisation hydrologique

|   |    |
|---|----|
| Tableau I.1 : classification des modèles hydrologique .....                           | 5  |
| Tableau I.2 : type d'occupation de sol et son CN associe .....                        | 18 |
| Tableau I.3 : La relation pluie antérieure et type de CN pour la méthode NRCS CN..... | 19 |

### Chapitre II : présentation de la zone

|   |    |
|---|----|
| Tableau II.1 : Répartition des tranches de surface du bassin en fonction de l'altitude.....       | 36 |
| Tableau II.2: 2ème classification de l'Orstom.....  | 45 |
| Tableau II.3: Calcul le rapport de confluence et rapport de longueur.....                         | 46 |
| Tableau II. 4: Calcul de la longueur totale d'OUED TARIA.....                                     | 51 |
| Tableau II.5 : Caractéristiques physiographiques des sous bassins versants de l'oued Taria.....   | 53 |
| Tableau II.6: présente les températures mensuelles. Tmin - Tmoy - Tmax de la station de TARIA ... | 55 |
| Tableau II.7 : humidité relative en %.....  | 55 |
| Tableau II.8: L'évaporation moyenne mensuelle (O.N.M).....  | 58 |
| Tableau II 9: valeurs de la pluie journalière maximale (Station de L'Oued Taria).....             | 60 |
| Tableau II.10 : Pluies de courte durée et intensité.....  | 61 |

### Chapitre III : application du Modèle HEC-HMS

|  |    |
|--|----|
| Tableau III.1 : Données de base des sous-bassins.....                    | 69 |
| Tableau III.2 : Débits et volumes obtenus.....                           | 68 |
| Tableau III.3 : Résultats de simulation du sous bassin 1.....            | 69 |
| Tableau III.4 la différence entre débit simulé et observé.....           | 76 |
| Tableau III.5 : Optimisation des paramètres CN et Lag time par RMSE..... | 76 |
| Tableau III.6 : la différence entre débit simulé et observé.....         | 77 |
| Tableau III.7 valeur optimisée et initial.....                           | 78 |

## Introduction général

Une connaissance adéquate des processus pluie-débit est essentielle pour estimer le volume de ruissellement produit dans un bassin versant. Connaître le volume de ruissellement dans un bassin versant est important pour la planification et la gestion durables de projets liés aux ressources en eau. Les activités d'estimation des volumes de ruissellement et des pics de crue peuvent être facilement simplifiées en adoptant un concept de modélisation et en comprenant la partition des précipitations et les principaux facteurs déclenchant du ruissellement (Ali et al., 2011). Le type d'approche de modélisation dépend normalement de l'objet, de la disponibilité des données et de la facilité d'utilisation (Beven, 2012). Les modèles pluie-débit sont souvent utilisés comme outils pour la modélisation des inondations, la surveillance des niveaux d'eau dans différentes conditions de l'eau et la prévision d'inondations (El Alfy, 2016). Diverses techniques de modélisation ont été utilisées pour prédire le débit, telles que les modèles distribués à base physique (Ghumman et al., 2017), les modèles stochastiques et les modèles conceptuels globaux (Pham et al., 2018 ; Anshuman et al., 2018). Bien que les modèles physiques utilisent des procédures physiques associées à la modélisation pluie-débit, leur utilisation fructueuse est limitée, principalement en raison de la difficulté d'évaluer les paramètres en jeu ainsi que de la complexité de l'équation de base. Les incertitudes associées aux résultats de ces modèles et les identités de leurs paramètres doivent être examinées (Ahmadalipour et Moradkhani, 2017 ; Bastidas et al., 1999). Dans cette étude, cette tâche est réalisée en effectuant une analyse de sensibilité à l'aide du système de modélisation hydrologique du centre d'ingénierie hydrologique (HEC-HMS). Le modèle HEC-HMS a été mis au point pour simuler le processus pluie-débit du bassin versant de l'oued Taia. Ceci concerne un modèle (conceptuel) déterministe, semi-distribué, événementiel / continu et mathématique qui reconnaît d'autres modèles discrets dans l'attribution de chaque composante du processus de ruissellement (évaporation, ruissellement de surface, infiltration et recharge des nappes souterraines). Ce modèle unique comprend divers sous modèles qui calculent les pertes par infiltration, le ruissellement direct et le débit à l'exutoire (Ibrahim-Bathis et Ahmed, S.A, 2016). Le modèle HEC-HMS a été utilisé pour prédire le débit des bassins versant dans différentes régions et conditions climatiques du monde entier (Halwatura et Najim, 2013), mais de nombreuses études font état d'une incertitude concernant les résultats de ces prévisions (Yilma et Moges, 2007). Le processus d'évaluation de la performance d'un modèle hydrologique exige que l'hydrologue fasse des estimations subjectives et / ou objectives de la «proximité» du comportement simulé du modèle aux observations (généralement le débit d'un cours d'eau) effectuées dans le bassin versant. L'approche la plus fondamentale pour évaluer les performances du modèle en termes de comportements consiste à inspecter visuellement les hydrogrammes simulés et observés. Dans cette approche, on peut formuler des évaluations subjectives du comportement du modèle qui sont généralement liées au

comportement systématique (par exemple, sur- ou sous-estimation) et au comportement dynamique du modèle. Toutefois, l'évaluation objective nécessite généralement l'utilisation d'une estimation mathématique de l'erreur entre la ou les variables hydrologiques simulées et observées. Les critères de performance sont définis en tant que mesures mathématiques de la performance d'un modèle par rapport aux observations disponibles (Anshuman et al, 2018). En règle générale, de nombreux critères de performance contiennent une somme du terme d'erreur (différence entre la variable simulée et la variable observée à chaque pas de temps) normalisée par une mesure de la variabilité dans les observations. De nombreux chercheurs ont utilisé des indicateurs statistiques pour évaluer les performances des modèles (Gupta et al., 2009 ; Wang et Solomatine, 2018).

L'objectif de cette étude était d'élaborer un modèle pluie-débit, évaluer le volume de ruissellement du bassin versant de l'oued Taria et l'évaluation du comportement du bassin versant à partir de la comparaison de deux fonctions objectives à savoir RMSE et PEPD afin de connaître les paramètres qui ont une grande sensibilité sur la sortie du modèle lors de la comparaison de l'hydrogramme de crue simulé et observé, duquel les données des débits observés pendant la période de 27 et 28 septembre 1999 étaient employées pour les comparés aux débits simulé par HEC-HMS.

Ce travail est structuré en trois chapitres:

- La première partie sera consacrée à l'étude de la modélisation hydrologique pluie\_débit, elle s'intéressera à la présentation des différents modèles utilisés et la théorie du modèle hydrologique HEC-HMS.
- La deuxième partie comportera sur la présentation du bassin versant de l'oued Taria tel que les caractéristiques physiques et hydroclimatologiques.
- La troisième et dernière partie sera donc réservée à l'application du modèle hydrologique HEC-HMS au bassin versant de l'oued Taria où on décrit l'utilisation du modèle ainsi que son application au bassin versant.

# Chapitre I :

# Modélisation hydrologique

## **I-1 Introduction**

Le modèle est "une représentation simplifiée, relativement abstraite, d'un processus, d'un système, en vue de le décrire, de l'expliquer ou de le prévoir". La modélisation hydrologique est donc une représentation, partielle ou totale, du cycle de l'eau. Dans ce travail, on se limite à l'étude des modèles pluie-débit, qui représentent la transformation de la pluie en écoulement sur les surfaces continentales. Les applications de ces modèles sont multiples, et permettent de simuler l'impact d'aménagements anthropiques sur l'hydrologie d'un bassin versant (construction d'un barrage, imperméabilisation d'une zone par construction), de gérer les alertes de crue sur les bassins versants ou encore de reconstituer des chroniques de débits sur des bassins sur lesquels on ne dispose que de chroniques de pluies.

## **I.2 Les modèles hydrologiques**

**Un modèle hydrologique, ou modèle pluie-débit**, est un outil numérique de représentation de la relation pluie-débit à l'échelle d'un bassin versant. Il permet de transformer des séries temporelles dérivant du climat d'un bassin versant donné (séries de précipitations et de températures par exemple, séries qui sont les entrées du modèle hydrologique) en une série de débits (sortie du modèle hydrologique).

De nombreux modèles hydrologiques ont été développés depuis la fin des années 1960. Le choix du type de modèle à utiliser dépend généralement de l'objectif de modélisation ainsi que des données d'entrées disponibles.

## **I.3 Principes des modèles hydrologiques**

Les modèles hydrologiques permettent donc de transformer des séries décrivant le climat d'un bassin versant (typiquement des séries de précipitations et de températures) en une série de débits. Cette transformation est souvent divisée en deux parties:

Une première partie souvent appelée la "production", qui consiste en la détermination de bilans d'eau à l'échelle du bassin versant. Ce bilan permet notamment de répartir la pluie brute observée (la totalité de la pluie qui est tombée sur le bassin versant et qui est mesurée par un ou

➤ plusieurs pluviomètres) en pluie "nette" (la proportion de la pluie brute qui participe au débit du bassin versant étudié), en quantité d'eau évapotranspirée et en quantité d'eau stockée par le bassin versant.



➤ Une deuxième partie souvent appelé le "transfert" ou "le routage", qui consiste à répartir dans le temps la quantité d'eau participant au débit du bassin versant étudié.

#### **I.4 Utilisation des modèles hydrologiques**

Un modèle hydrologique peut être utilisé dans plusieurs contextes:

- Préviation decrues
- Préviation d'étiages
- Prédétermination de débit extrême,
- Études d'impact anthropique sur l'hydrologie (construction d'aménagements hydrauliques (barrage par exemple), changements d'occupation du sol, etc.).
- Études d'impact de changements climatiques sur l'hydrologie.
- Simulation de débits pour combler des lacunes dans les données et reconstituer des séries de débits historiques.

#### **I.5 Pourquoi du modèle hydrologique**

Les modèles hydrologiques, sont nés bien avant l'avènement de l'informatique ils sont utilisés soit pour effectuer des prévisions. Soit pour dimensionner des ouvrages ou enfin pour délimiter des zones inondables.

On peut distinguer trois types d'utilisation de la modélisation hydrologique à savoir :

- La modélisation comme outils de recherche dans ce cas elle peut être utilisée pour interpréter des données mesurées. Différents scénarios de fonctionnement hydrologique des bassins versants peuvent alors être confrontés aux mesures
- La modélisation comme outils de prévision elle servira alors à anticiper les évolutions futures du débit il s'agit de l'utilisation opérationnelles la plus courante des modèles hydrologiques.
- La modélisation comme outils d'extrapolation elle permettra alors la reconstitution du débits plausibles.

#### **I.6 Critères de qualité d'un modèle hydrologique**

Lors de l'élaboration d'un modèle, l'ambition de l'hydrologue est d'obtenir un outil le plus performant possible. Il est de coutume d'apprécier la qualité d'un modèle et ses aptitudes selon certains Enterrés tels que :

- **Précision** : Il se doit de reconstituer au mieux les débits observés.
- **Robustesse** : Il doit pouvoir garder une bonne précision même dans des conditions extrêmes.
- **Généralité** : Il doit pouvoir simuler aussi bien les crues que les étiages.
- **Universalité** : Il doit pouvoir être utilisé pour des bassins versants très différents.
- **Richesse** : Il doit pouvoir intégrer un grand nombre de caractéristiques permettant de différencier le comportement d'un bassin à un autre.
- **Adaptabilité** : Il doit pouvoir être corrigé pour tenir compte de nouvelles données sur le bassin modélisé. En réalité, il est pratiquement impossible de satisfaire tous ces enterrés simultanément. L'objectif de l'utilisateur du modèle définira donc ceux qu'il faudra privilégier par rapport aux autres.

**I.7 Caractéristiques intrinsèques d'un modèle hydrologique** Chaque modèle traite le problème avec un point de vue qui dépend de sa finalité. Cependant, quelques caractéristiques fondamentales concernant le découpage dans le temps et dans l'espace se retrouvent dans tous les modèles

- **Découpage dans le temps** Celui-ci est souvent fait par intervalles égaux. On différencie trois pas de temps:
  - **Pas de temps de fonctionnement ou de calcul** Il correspond à celui des données d'entrée. C'est donc le plus fin et celui auquel l'on se réfère pour un modèle donné.
  - **Pas de temps de calage** c'est celui utilisé pour le calcul des différents critères statistiques et pour le calage des paramètres du modèle. Il correspond généralement au pas de temps des grandeurs sorties (débits).
  - **Pas de temps d'utilisation** Il peut différer des deux précédents et dépend essentiellement de l'utilisation que l'on fait du modèle.

L'utilisation de plusieurs pas de temps, mensuel, journalier et par événements, permet de mieux appréhender les phénomènes physiques. D'après Ibiza (1988), la description phénoménologique fine et complète n'est possible qu'aux petits pas de temps inférieurs à l'heure. Au pas de temps journalier, les différents écoulements rapides se sont déjà regroupés. On ne possède donc plus

d'informations sur la forme de l'averse et l'on doit se baser sur une substitution par une forme moyenne d'averse pour un climat donné. Au pas de temps mensuel, la détermination des écoulements se base sur des considérations encore plus globales et les circonstances particulières de chaque événement ne sont plus apparentes. Le nombre de paramètres augmente au fur et à mesure que la description des phénomènes devient plus précise donc que le pas de temps s'affine.

- **Découpage dans l'espace** : Le modèle s'applique à un bassin versant d'une superficie donnée. Ce bassin peut être considéré comme une unité ponctuelle : le modèle est donc global, ou comme une juxtaposition de sous-bassins globaux entre lesquels s'effectuent des transferts : le modèle est alors distribué

## **I.8 Classification des modèles hydrologiques**

Il existe, dans la littérature de nombreux modèles hydrologiques de bassins versant ayant, chacun leur spécificités et leur domaines d'application et peuvent être fonction de plusieurs caractéristiques (Borah, 2011).

Une fois le modèle choisit, il faut évaluer sa capacité à représenter la réalité, ceci se fait le plus souvent en comparant les résultats du modèles avec les observations, c'est une étape très délicate. , le tableau n°1 propose de classer les différents types des modèles selon leur caractéristiques (Wheater, 2002 ; Singh and Frevert, 2006 ; Wagener et al. 2007).

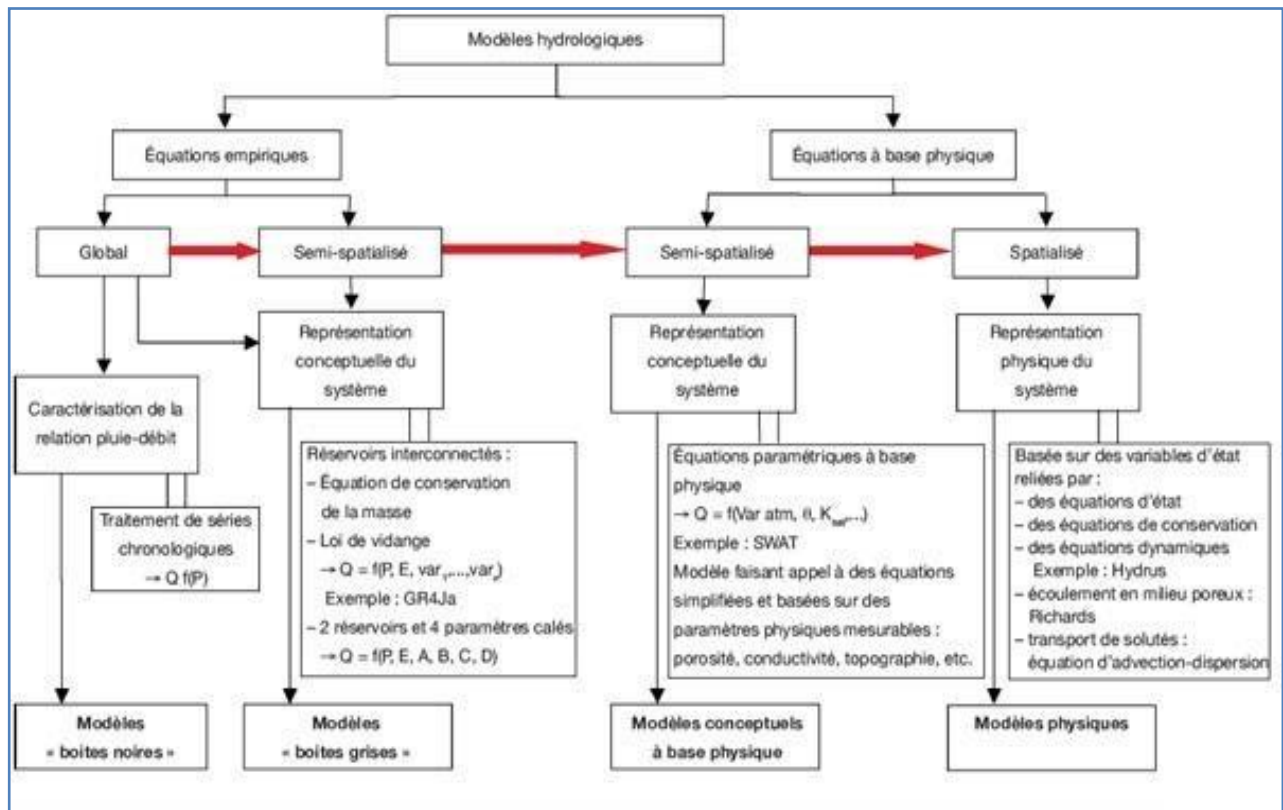


Figure I.1 : Les modèles hydrologiques

Tableau I.1 : classification des modèles hydrologiques

| Caractéristique                                  | Type de Modèle                               |
|--|--|
| Selon la nature de la variable                   | Modèle déterministe (variable non aléatoire) |
|  | Modèle stochastique (variable aléatoires)    |
| Traitement de l'espace (homogénéité du bassin)   | Modèle globale                               |
|  | Modèle semi-distribué(ou semi-global)        |
|  | Modèle spécialisé                            |
| Fondement théorique et approche de développement | Modèle empirique                             |

|                           |  |
|---------------------------|--|
|                           | <b>Modèle conceptuelle</b><br><b>Modèle a la base physique</b>                   |
| <b>Evolution temporel</b> | <b>Modèle cinématique (descriptifs)</b><br><b>Modèle dynamique (explicatifs)</b> |
| <b>Fonction objectif</b>  | <b>Modèle de simulation</b><br><b>Modèle de gestion</b>                          |

### **I.8.1 Le modèle déterministe**

Il s'appuie sur la description du bassin versant et prend en compte une ou plusieurs de ses caractéristiques physiques (pente, superficie, type de sol, occupation du sol, ...).

Les modèles déterministes ont pour application la prévision hydrologique pour la gestion des ouvrages hydrauliques ou pour la prévision des crues, la délimitation des zones inondables, la gestion du territoire, la quantification des impacts potentiels des changements climatiques.

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.

### **I.8.2 Le modèle statistique et stochastique**

Au sein des modèles probabilistes, on distingue :

- le modèle statistique ajustement de lois statistiques, méthode du Gradex.
- 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. Les modèles stochastiques utilisent des variables aléatoires pour représenter l'incertitude de processus et génèrent des résultats différents à partir d'un ensemble de données d'entrée et de valeurs de paramètres lorsqu'elles s'exécutent dans des conditions identiques.
- **I.8.3 Le modèle global**
- 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 exemple les modèles GR

- **I.8.4 Modèles Spatialisés (distribués)**

- Les modèles spatialisés sont des modèles qui utilisent des entrées et des sorties où les caractéristiques des bassins versants sont distribuées dans l'espace. La spatialisation peut être arbitraire ou basée sur des divisions morphologiques naturelles (découpage en sous bassins) ou hydrologiques (aires contributives).
- Nous pouvons classer les modèles spatialisés en trois grands types :

- 7

- **I.8.4.a Modèles conceptuels spatialisés ou semi-spatialisés**

- (Le bassin versant est discrétisé en unités spatiales mailles ou sous bassins; considérées comme homogènes)

- 

- **I.8.4.b Modèles physiques spatialisés**

- 

- (Sont des modèles qui décrivent les mécanismes internes d'un système (bassin versant) ayant comme base les lois de la mécanique, de la physique, de la thermodynamique),

- **I.8.4.c Modèles physiques conceptuels semi spatialisés**

- A base physique, fondée sur les processus réels mais simplifiés
- Semi-spatialisée, fondée sur une discrétisation en unités relativement homogènes,

### **I.8.5 Les modèles empiriques :**

Dans ces modèles, la transformation pluie-débit se fait non pas par l'application des lois physiques à un milieu et ses conditions aux limites, mais par l'examen des enregistrements des pluies et des débits. Dans cette catégorie, on peut ranger les modèles GR. Le modèle SCS L'utilisation de ces modèles empiriques nécessite une phase de calage des paramètres

### **I.8.6 Modèles physiques spatialisés**

Les modèles à base physique spatialisés sont des modèles qui décrivent les mécanismes internes d'un système (bassin versant) ayant comme base les lois de la mécanique, de la physique, de la thermodynamique, etc. De point de vue théorique, ces modèles sont indépendants de tout calage parce que leurs paramètres sont mesurables. Ils permettent une description théorique unifiée de la plupart des flux observés dans un bassin versant et servent à modéliser les principaux processus hydrologiques comme :

- L'écoulement de surface à partir des équations de Saint-Venant
- L'écoulement en milieu saturé à partir des équations de Darcy

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

À partir d'un découpage de l'espace en mailles détaillées adaptées au problème à traiter, ils simulent les diverses composantes du cycle de l'eau sur chaque maille (Ruissellement, infiltration, évapotranspiration) et convolent les transferts de maille à maille, jusqu'au réseau hydrographique constitué. Ces modèles sont complexes à mettre en œuvre et exigent d'importantes quantités de données. Ils sont bien adaptés à la simulation de la diversité d'un bassin.

Cependant, ces modèles ne peuvent traiter les grands bassins en raison de leur grande hétérogénéité morphologique et météorologique. Parmi ces modèles on peut citer le modèle SHE.

### **I.8.7 Modèles physiques conceptuels semi spatialisés**

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

1. À base physique, fondée sur les processus réels mais simplifiés
2. Semi-spatialisée, fondée sur une discrétisation en unités relativement homogènes, qui permettent de tenir compte de la variabilité spatiale de la structure du bassin versant.

La méthode de discrétisation spatiale varie d'un modèle à l'autre : mailles carrées, sous bassins versants, éléments de versant, plans versant et canal, unités hydrologiques ou aires contributives (modèle TOPMODEL).

### **I.8.8. Les modèles conceptuels (à réservoirs)**

Les modèles à réservoirs c'est la modélisation d'un système hydrologique par un ou un jeu de réservoirs qui emmagasine la pluie pour la distribuer après. Ces modèles essaient de représenter le cycle hydrologique par une conceptualisation des différents mécanismes, en introduisant des hypothèses jugées capables de traduire la physique de la relation pluie-débit et reliées dans leur ordre conceptuel logique. Exemple le modèle TOPMODEL.

### **I.8.9 Les modèles 'boîte noire' :**

Dans une telle modélisation les bassins versants sont considérés comme des boîtes noires qui essaient de représenter théoriquement le prototype hydrologique en utilisant le système matriciel pour modéliser certains mécanismes comme le ruissellement.

**I.8.10. Modèles paramétriques :** Les modèles paramétriques sont les modèles incluant des paramètres dont

la valeur doit être estimée par calage.

### **I.8.11 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.

### **I.8.12 Modèle pluie-débit**

Il existe un grand nombre de modèles pluie-débit, qui vont ainsi simuler un débit à l'exutoire d'un bassin versant, en utilisant la précipitation et l'Evapotranspiration potentielle (ETP) comme données d'entrées. Plusieurs auteurs ont classé les modèles en trois catégories (Beven, 2001 ; Singh and Frevert, 2006 ; Orellana et al., 2008 ):

- 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.

Dans cette catégorie de modélisation pluie débit (Les modèles 'boîte noire') il existe plusieurs modèles :

- L'hydrogramme unitaire ;
- Le modèle DPFT (Différence Première de la Fonction de Transfert) ;
- Les modèles ARMAX (Autorégressive Moving Average with Exogenous inputs).
- Les réseaux de neurones artificiels ;



- La logique floue.
- La neurofloue.

### I.8.12.1 Classification des modèles pluie-débit

Les modèles diffèrent suivant la nature du modèle mathématique sous-jacent, le degré D'abstraction du modèle, la nature des unités élémentaires ou encore la nature du processus Représenté

- **La nature du modèle mathématique :**

Sous-jacent. Il peut être **déterministe** si la relation qui lie les variables d'entrée du modèle aux variables de sortie est phénoménologique ou probabiliste (stochastique). Les modèles statistiques ont un phénoménologique ou probabiliste (stochastique). Les modèles statistiques ont un pas sur la dynamique de la crue encours.

**Le degré d'abstraction du modèle :** On parle de **modèles à base physique** lorsque les phénomènes sont décrits à l'aide des lois de la mécanique des fluides ou de la physique des écoulements d'eau dans les sols : loi de Richards pour le transfert en milieu non saturé, loi de Darcy pour le transfert en milieu saturé, loi de Barré-Saint-Venant pour le ruissellement de surface. Ces modèles ne nécessitent pas *a priori* de phase de calage de leurs paramètres puisqu'ils utilisent des paramètres mesurables sur le terrain.

### I.8.13 Modèledébit-débit :

En plus de ces modèles pluie-débit il existe des modèles débit-débit, ces modèles vont simuler un débit sortant à un point aval en fonction d'un débit entrant à un point amont. On peut classer en deux grands domaines ces modèles (Beven, 2001) :

Les modèles globaux réalisent le transfert de l'écoulement d'un point amont à un point aval. Ils ne permettent l'estimation du débit qu'au point aval.

- les modèles distribués prennent explicitement en compte la variabilité spatiale des processus, des variables d'entrée, des conditions aux limites et des caractéristiques du bassin versant. Ils permettent donc l'estimation du débit (et de la hauteur d'eau) en tout point du réseau hydrographique.

Ces modèles débit-débit négligent en général la modélisation des apports latéraux, en le traitant principalement sous deux formes : ponctuels ou uniformément réparties. Nous proposerons ici une approche permettant de traiter la quantification des apports latéraux via une modélisation pluie-débit du bassin intermédiaire alimentant le bief de rivière considéré.

Dans notre cas, cette modélisation simplifiée des écoulements présente deux avantages :

La possibilité d'être utilisée sur des biefs sans données topographiques et la possibilité d'être appliquée sur des biefs de longueur importante.

### **I.9 La nature des unités élémentaires**

De représentation du bassin versant. Les modèles spatialisés travaillent à partir d'une unité élémentaire discrétisée qui permet de tirer parti de la variabilité spatiale des facteurs géographiques et météorologiques qui conditionnent la réponse des bassins versants. Cette unité des triangles irréguliers, des tubes de courant. L'avantage des modèles spatialisés est de pouvoir simuler l'évolution des variables internes du modèle en tout point bassin versant.

Le développement, la validation et l'utilisation des modèles spatialisés a été freiné par la limitation des capacités informatique. Elle est aujourd'hui en plein développement, encouragée par l'acquisition de données spatialisées issues de l'imagerie radar ou satellite et l'augmentation des performances des processeurs informatique.

### **I.10 Calage et performance d'un modèle hydrologique**

Le calage d'un modèle consiste à déterminer, sur un échantillon d'événements de référence, un ou plusieurs jeux de paramètres avec lesquels les simulations du modèle approchent au mieux les hydrogrammes de la base de données de référence.

La plupart du temps, on utilise une méthode d'optimisation qui détermine un jeu «optimal» Au sens où la distance entre les simulations du modèle et les hydrogrammes de référence est minimale.

#### **I.10.1 La nécessité de calage**

La nécessité de cette phase de calage des paramètres a plusieurs origines :

- La schématisation du fonctionnement du bassin versant repose sur des objets conceptuels (de type réservoir) dont les paramètres n'ont pas de signification hydrologique et ne sont donc pas mesurables
- Le modèle repose sur des hypothèses physiques qui ne sont pas acceptables pour le fonctionnement du bassin considéré. Le calage aura donc tendance à identifier un comportement marginal du modèle, en forçant les paramètres vers des valeurs dont l'interprétation ne correspond pas à la physique du modèle
- L'intégration et la résolution des équations différentielles qui régissent le fonctionnement interne d'un modèle distribué peuvent être soumises à un biais
- Résolution des équations.

- La variabilité spatiale d'un descripteur du bassin versant n'est pas appréhendée par le modèle (faute de données ou mesures disponibles). Il s'agit alors de caler un paramètre qui sera représentatif de la valeur moyenne du paramètre sur le bassin.
- Les données fournies à l'entrée et à la sortie des modèles sont soumises à des incertitudes de mesure. Le calage des paramètres du modèle doit permettre de compenser ces erreurs.

### **I.10.2 Pour caler un modèle, il faut donc choisir**

Une base de données d'événements (pluie et hydrogramme de crue) de référence. Un critère ou indicateur pour évaluer l'ajustement des simulations du modèle aux données de calage pour un jeu de paramètres donné.

Une méthode d'exploration de l'espace des paramètres du modèle pour explorer les paramètres et pour évaluer les modélisations, on peut procéder « à la main », en testant des jeux de paramètres au hasard ou prédéfinis et en évaluant visuellement l'ajustement des simulations des modèles aux données de référence.

Cette méthode s'appliquera si on a une bonne connaissance de la sensibilité des différents paramètres différents paramètres du modèle et/ou si le modèle est relativement parcimonieux. Dans le cas contraire, on utilisera une méthode d'optimisation automatique associée à des critères de performance.

On propose dans le paragraphe suivant une revue des méthodes automatiques de calage des modèles.

On présentera ensuite les critères d'évaluation des performances des simulations des modèles utilisés dans cette étude.

### **I.10.3 Les méthodes automatiques de calage des modèles**

Les critères objectifs ou métriques de calage sont également employés (Moriassi et al., 2007; Pushpalatha et al., 2012)

. Les deux grandes catégories de méthode sont les méthodes locales et les méthodes globales.

.

## I.11 HEC-HMS

Le modèle hydrologique distribué HEC-HMS (*Hydrologique Mödling System*) a été développé par l'*Hydrologique Engineering Center* (HEC) du « *US Army Corps of Engineers*» (USACE, 2011).

Le modèle hydrologique déterministe et conceptuel HEC-HMS (*Hydrologique Mödling System*) a pendant longtemps été un modèle essentiellement appliqué à la simulation d'un événement donné. Les versions récentes permettent de simuler en continu sur une longue période grâce à l'intégration de modules de calculs des différents processus 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 sous- bassins, qui sont considérés comme ayant chacune des caractéristiques homogènes. Il est particulièrement bien adapté pour simuler le comportement hydrologique de bassins versants non urbanisés. Le HEC-HMS permet également de simuler et d'incorporer des réservoirs et des dérivations.

Le modèle hydrologique HEC-HMS comprend une interface graphique conviviale, des capacités pour la manipulation des données, résultats et graphiques, un système spécifique de gestion et de stockage de données (DSS View), ainsi que des possibilités d'affichage et d'impression de résultats, et des outils de gestion.

Il est conçu pour résoudre une panoplie de problèmes tels l'hydrologie des crues et le ruissellement sur de petits bassins naturels ou plus encore, sur de petits bassins urbains (Laouacheria et Mansouri, 2015).

Ce logiciel permet de calculer des hydrogrammes de crues pour plusieurs objectifs à savoir les études de drainage urbain, la prévision des crues, la conception des réservoirs et la réduction des effets des inondations.

Le programme dispose d'un environnement de travail entièrement intégré, y compris une base de données, les outils de saisie de données, le moteur de calcul, et les outils de présentation des résultats (Laouacheria et Mansouri, 2015).

Les modules de modèles développés sous HEC-HMS permettent la prise en charge des quatre processus hydrologiques essentiels :

1. Modèles pour le calcul des précipitations
2. du volume de ruissellement
3. du ruissellement direct et des écoulements souterrains.

Dans cette rubrique, l'accent sera mis sur le modèle HEC-HMS dont nous allons se servir pour la modélisation de la zone d'étude, de point de vue générale, en traitant des points tels que : sa création, son mode de fonctionnement, ses capacités, ses modules, ses formalismes, ....etc. 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. Une description détaillée de HEC-HMS et sa documentation complète peuvent être consultées et téléchargés gratuitement sur le site internet de l'USACE pour Windows, à <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/download.html>.

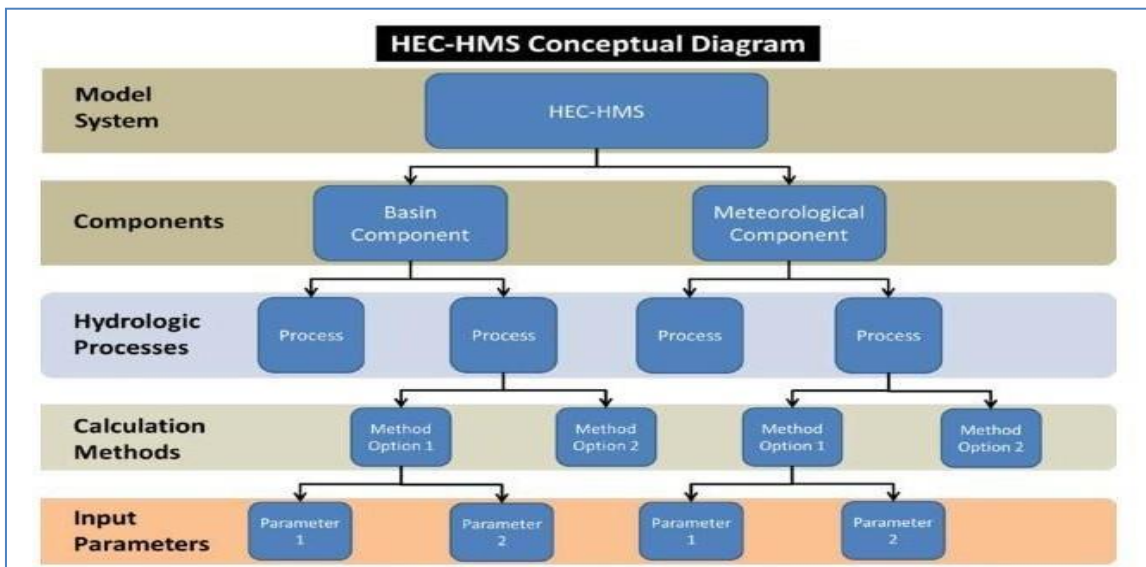


Figure I.2 : Diagramme de HEC-HMS

Le système de modélisation comporte deux volets principaux. Au sein de chaque élément existe différents processus du cycle hydrologique. Pour représenter chaque processus hydrologique, il existe une variété de méthodes de calcul à choisir. Enfin, pour chaque méthode de calcul, les paramètres d'entrée spécifiques, sont nécessaires.

## I.12 La fonction de transfert SCS UH (Hydrogramme unitaire duSCS)

Ce modèle repose sur l'hydrogramme unitaire normalisé (qui est la moyenne de nombreux hydrogrammes unitaires calculés pour différents BVs). L'hydrogramme normalisé représente le débit d'écoulement,  $U_t$ , comme une fraction du débit maximal  $U_p$ , et  $T_p$ , l'instant du pic. Nous avons par ailleurs les relations empiriques suivantes:

$$\begin{cases} U_p = 2.08 \cdot \frac{A}{T_p} \\ T_p = \frac{\Delta t}{2} + 0.6 \cdot T_c \end{cases} \quad (\text{eqII.1})$$

Ou :

$\Delta t$  est la durée de l'excès de précipitation,

$T_c$  est le temps de concentration du bassin. Ainsi, il suffit de connaître le temps de concentration pour remonter à  $T_p$  et  $U_p$  et d'obtenir ainsi l'hydrogramme unitaire désiré par simple multiplication de l'hydrographe unitaire normalisé.

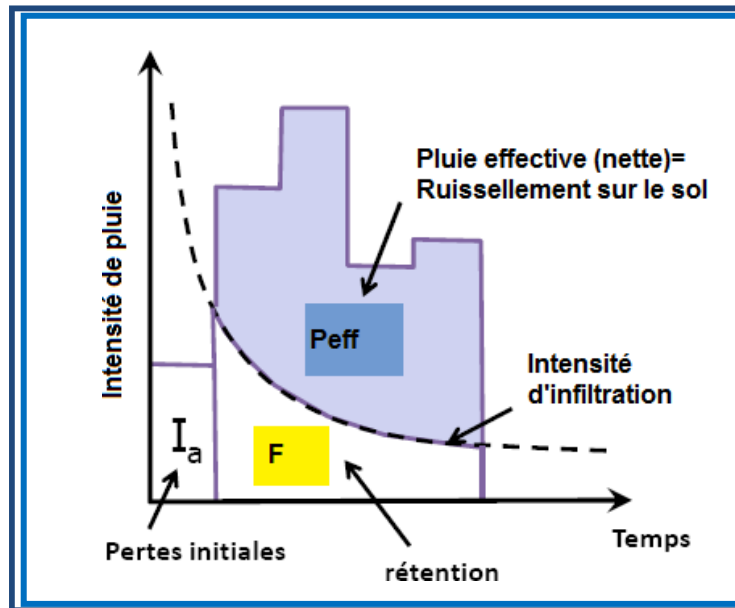
## I.13 Le concept de base

Le SCS-CN est une méthode conceptuelle développée dans les années 1950 qui repose sur une caractérisation empirique de la relation pluie-débit. Les seules données nécessaires sont le type de sol et l'occupation du sol. Cette méthode est intégrée dans de nombreux modèles hydrologiques et d'érosion tels que SWAT, HEC-HMS (US Army Corps of Engineers, 2011), AFFDEF, AGNPS (Agence de contrôle des pollutions du Minnesota, 1987) ou encore CNS. La méthode est applicable sur des bassins versants allant de 0.25 ha à 100 km<sup>2</sup> (SCS, 1972).

Ce modèle simple, qu'on nomme parfois modèle avec indice de ruissellement (curve-number model), a été développé au cours des années 1950 par le NRCS (Natural Resources Conservation Service), autrefois appelé SCS (Soil Conservation Service). La popularité de ce modèle est attribuable essentiellement à sa simplicité, au manque de solutions alternatives et surtout à la base de données qui existe pour la sélection des paramètres en fonction des types de sols. Bien qu'à l'origine cette méthode ait été développée pour calculer des débits pour de petits bassins agricoles et pour évaluer les impacts de différentes pratiques agricoles sur le ruissellement, elle a été subséquemment élargie et appliquée à l'analyse des bassins urbains.

## I.14 Développement du modèle

Le modèle du SCS s'appuie sur le concept que la précipitation totale tombant sur un bassin peut être séparée en trois composantes (voir figure II.16) : la pluie effective ( $P_{eff}$ ), la rétention qui se produit dans le bassin ( $F$ ) et les pertes initiales ( $I_a$ ). La relation entre la précipitation ( $P$ )



et les trois composantes est assumée comme étant la suivante :

Figure I.3: Séparation de la pluie ( $P$ ) en ruissellement ( $Q$ ), pertes initiales ( $I_a$ ) et les pertes par rétention ( $F$ ) Méthode du NRCS

$$\frac{F}{S} = \frac{P_{eff}}{P - I_a} \quad (\text{eqII.2})$$

On appelle infiltration  $F$  la partie de la lame des précipitations  $P$  qui est absorbée par le sol et dirigée vers les couches inférieures. On appelle rétention initiale  $I_a$  (Initial abstraction) la partie des précipitations retenue dans les dépressions et absorbée par évapotranspiration. On appelle ruissellement  $P_{eff}$  cette partie d'une averse qui coule à la surface du sol pendant et immédiatement après cette averse.  $S$  représente la rétention potentielle maximale. Autrement dit, le rapport entre infiltration réelle et infiltration potentielle égale le rapport entre le ruissellement réel et le ruissellement potentiel. La rétention se produisant réellement se définit avec la relation suivante :

$$F = (P - I_a) - P_{\text{eff}} \quad (\text{eqII.3})$$

$$\frac{(P - I_a) - P_{\text{eff}}}{S} = \frac{P_{\text{eff}}}{P - I_a}$$

En réarrangeant pour  $P_{\text{eff}}$  on trouve finalement

$$P_{\text{eff}} = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (\text{eqII.4})$$

(eqII.5)

Soulignons que tous ces paramètres sont exprimés en unités identiques (en millimètres pour le système SI ou en pouces pour le système impérial). Cette équation contient une quantité connue ( $P$ ) et deux inconnues ( $I_a$  et  $S$ ). On pose ensuite, en se basant sur les résultats de simulations, que la perte initiale  $I_a=0,2S$ . Ceci donne donc en transposant dans l'équation (Eq II.5) on obtient:

$$P_{\text{eff}} = \frac{(P - 0.2 S)^2}{(P + 0.8 S)} \quad (\text{eqIII.5})$$

Pour chaque pas de temps, la pluie nette est la différence de la valeur de  $P_{\text{eff}}$  au début et à la fin du pas de temps.

Cette relation est l'équation de base permettant de calculer le ruissellement  $Q$  à partir de la précipitation  $P$ . Pour pouvoir évaluer la seule inconnue,  $S$ , on a développé le concept d'un indice de ruissellement CN (runoff curvenumber). L'indice CN est relié au stockage  $S$  par la relation suivante:

$$h_{\text{eff}} = \frac{\left(h - \frac{1270}{\text{CN}_{\text{II}}} + 12.7\right)^2}{h + \frac{24130}{\text{CN}_{\text{II}}} - 241.3} \quad (\text{iqII.7})$$



La combinaison des équations (Eq II.5 et EqII.6) donne naissance à une équation permettant de calculer la hauteur de la pluie effective:

Le CN est donc simplement une transformation non-linéaire de S qui est un paramètre de stockage; il est déterminé en considérant essentiellement les types de sol en présence dans le bassin et le couvert végétal. Il est important de noter toutefois que la méthode du NRCS a été développée à l'origine comme un indice de ruissellement pour des précipitations de 24 h et qu'elle doit être utilisée avec précaution pour analyser les quantités de ruissellement pour des durées autres que 24 h. Elle est par ailleurs moins appropriée pour l'analyse de petites précipitations et il est reconnu qu'elle devient moins précise pour des quantités de pluie inférieures à 10mm.(Benhamidcha.a.2019)

Le NRCS a par ailleurs classé les sols en quatre catégories en ce qui concerne le potentiel d'infiltration :

**Tableau I.3:** Capacités initiales  $i_0$  et finale  $i_f$  d'infiltration en Fonction des classes de sols définies par le SCS

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 :

$$CN_{\text{composite}} = \frac{\sum A_i * CN_i}{\sum A_i}$$

Remarque que les valeurs présentées au tableau

Soulignons que les valeurs présentées au tableau (VI.5) sont valides pour des conditions antécédentes d'humidité moyennes ( $CN_{II}$ ).

**Tableau I.2:** Type d'occupation de sol et son CN associé

| Occupation de sol | Classes des sols |   |   |   |
|-------------------|------------------|---|---|---|
|                   | A                | B | C | D |
|                   |                  |   |   |   |

|                 |    |    |    |    |
|-----------------|----|----|----|----|
| Bâtis           | 77 | 85 | 90 | 92 |
| Chaussées       | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Trottoirs       | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Espacevert      | 67 | 78 | 85 | 89 |
| Terresagricoles | 67 | 78 | 85 | 89 |
| Forêt           | 36 | 60 | 73 | 79 |

Alors 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:

**Tableau I.3** : La relation pluie antérieure et type de CN pour la méthode NRCS CN

| 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(II) : Conditions humides  | $H > 37.5$                                       | $H > 53$              | $H > 27.5$        |

En général, la perte initiale ( $I_a$ ) tient compte de l'interception, du stockage dans les dépressions et de l'infiltration pendant la première partie de l'averse, avant que le ruissellement ne commence. En pratique, il n'y a pas d'écoulement superficiel jusqu'à ce que la pluie cumulée  $P$ , dépasse la perte initiale ( $I_a$ ). Après le commencement du ruissellement l'infiltration réduit la rétention potentielle de la quantité d'eau infiltrée pendant l'événement.

Si l'infiltration cumulée tend vers  $S$ , l'infiltration tend vers zéro, et l'intensité de la pluie et le taux de la pluie excédentaire sont à peu près égaux. On a cherché par la suite une

expression numérique des relations entre les CN pour les différentes classes d'humidité du sol. Une fois le CN connu pour ces conditions moyennes, on peut utiliser les équations (Eq II.9 et Eq II.10) pour évaluer le CN pour des conditions sèches (CN<sub>I</sub>) ou pratiquement saturées (CN<sub>II</sub>) :

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.334 - 0.01334 CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.4036 + 0.005964 CN_{II}}$$

(eqII.9)

(eqII.10)

### I.15 Représentation du modèle de la pluie

Les données de précipitation existent sous plusieurs formes. Le modèle HEC-HMS prend en compte cette variété de présentation des données de précipitations. Pour cela, il propose sept types d'événements pluvieux, la plupart sont spécifiques aux réseaux américains de mesure des précipitations.

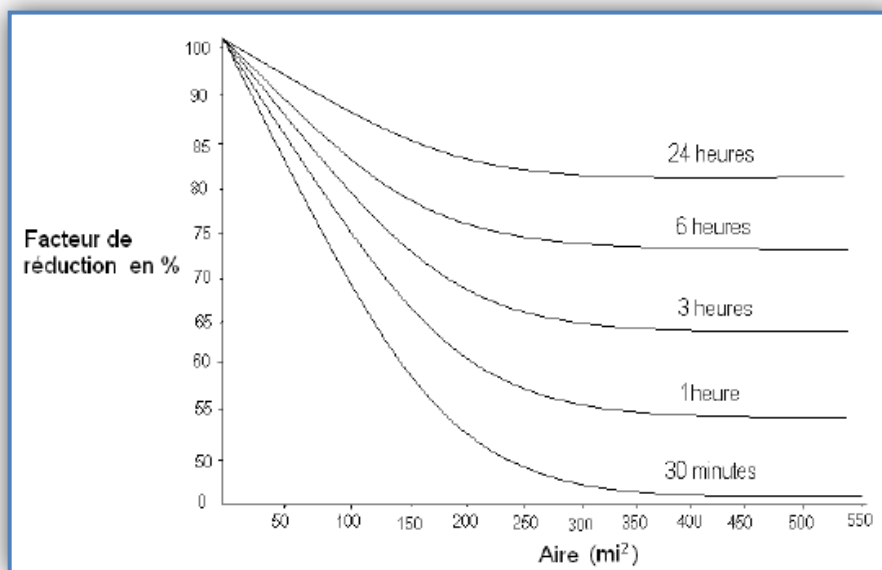
On peut créer avec le logiciel HEC-HMS des événements pluvieux hypothétiques, c'est-à-dire réaliser une simulation à partir de données qui ne sont pas issues de relevés réels. Cela peut s'avérer utile en particulier lorsqu'on veut connaître les volumes d'écoulements pour dimensionner des ouvrages d'art.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

- ✓ Pluie hypothétique basée sur la fréquence;
- ✓ Pluie de projet standard : cette méthode fait intervenir des paramètres définis uniquement pour le territoire américain par certains organismes;
- ✓ Pluie hypothétique dont la distribution est définie par l'utilisateur.

#### I.14.1 Pluie hypothétique basée sur la fréquence

L'objectif de cette méthode est de définir un événement pour lequel la hauteur et la durée des précipitations sont déterminées pour une probabilité de dépassement donnée. Pour définir cet événement avec HEC-HMS l'utilisateur doit spécifier la hauteur de précipitation en chaque pas de temps pour une probabilité de dépassement choisie. Les hauteurs des précipitations peuvent être déduites à partir des courbes HDF (Hauteur-Durée-Fréquence).

HEC-HMS applique un coefficient de correction de surface aux hauteurs données par les courbes HDF. Généralement, la distribution de l'intensité des précipitations est non uniforme sur le bassin versant, la hauteur moyenne sur la surface du bassin est inférieure à la hauteur donnée par les courbes HDF. Pour remédier à ce problème, l'U.S. Weather Bureau, a défini des facteurs qui permettent d'ajuster les hauteurs données par les courbes HDF à la hauteur moyenne. Ces facteurs, exprimés en pourcentage, sont fonction de la surface du bassin et de la durée de la pluie (figure I.4).

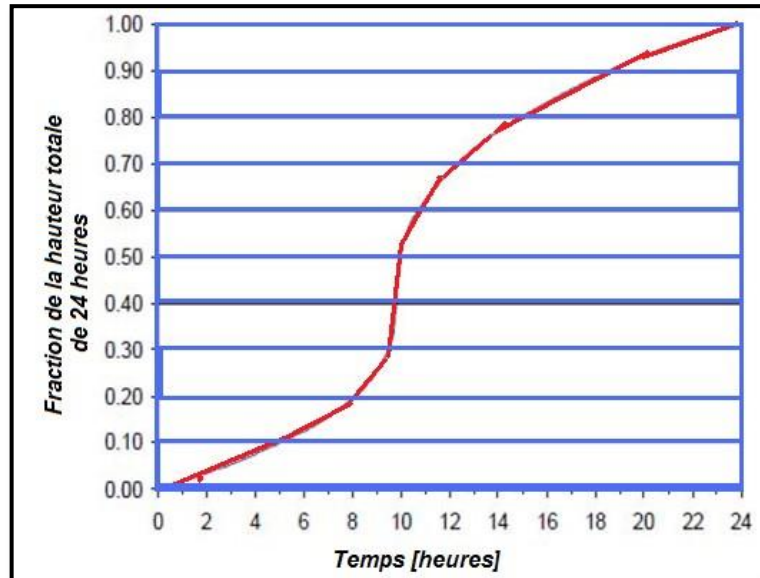


**Figure I.4:** Facteurs de réduction des hauteurs déduits à partir des courbes HDF

HEC-HMS fait une interpolation linéaire pour calculer les hauteurs d'eau en pas de temps régulier. Ensuite, il détermine un histogramme à partir des valeurs incrémentales des hauteurs de précipitations par la méthode dite en « Bloc ». Cette méthode positionne la hauteur maximale en milieu de l'hétérogramme. Les blocs restants sont arrangés alors dans l'ordre décroissant, alternativement avant et après le bloc central.

#### I.14.2 Pluie hypothétique dont la distribution est définie par l'utilisateur

Cette option donne à l'utilisateur la possibilité de définir la hauteur et la distribution de la pluie hypothétique. On peut aussi donner la quantité totale d'eau tombée sur le bassin versant et la fraction de cette quantité à chaque instant. Parmi les pluies hypothétiques les plus utilisées dans les simulations, figurent les pluies SCS. La figure (II.19) illustre le cas



d'une pluie SCS de type I.

**Figure I.5:** Averse hypothétique de type SCS

Lorsque les méthodes de distribution d'intensité pour différentes durées de précipitations sont introuvables pour la zone d'étude, la méthode de la pluie hypothétique basée sur la fréquence inclus dans HEC-HMS a été utilisée pour créer les pluies de projet avec des périodes de retour spécifiées. Cette méthode est basée sur la méthode bloc alternatif. Par la présente, les pluies de projet sont générées sur la base de courbes IDF d'une manière que les quantités de précipitations pour n'importe quel intervalle de temps de la pluie, centrée autour de l'intensité du pic, ont une période de retour cohérente.

### I.16 Le module du débit de base

Celui-ci est l'un des deux modules complémentaires du modèle, à défaut duquel le HEC-HMS peut tourner, mais sa présence améliore la compréhension des mécanismes qui contrôlent le ruissellement dans le bassin sujet d'étude. Le débit de base est la contribution du réservoir souterrain dans l'écoulement, sa connaissance est importante pour modéliser la

récession de l'hydrogramme avant et après la pointe de débit et pour mieux estimer le volume de crue. Trois formalismes sont proposés par le modèle :

- « Constant Monthly » : Constante mensuelle. Il considère l'écoulement souterrain comme fixe pendant des durées d'un mois. Ce débit de base mensuel est donc ajouté au ruissellement direct issu des précipitations nettes. Cette méthode est très simple, mais non adaptée au contexte semi-aride où la variation des conditions de saturation des bassins versants se fait en moins d'un mois.
- « LinearReservoir » : Réservoir linéaire. Il simule le stocke souterrain à un réservoir, ainsi il est toujours associé à la fonction de production typeSMA.
- « Recession » : utilise une récession exponentielle du débit de base. Elle est utilisée pour les bassins ou les volumes de crue sont influencés par les événements pluvieux.

#### **I.17Le module deroutage**

C'est le deuxième des deux modules complémentaires, il permet de calculer un hydrogramme en aval du bassin versant, connaissant l'hydrogramme amont. Tous ces formalismes utilisent les équations de continuité et de quantité de mouvement pour la simulation (USACE, 1994).

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

#### **I.18La fonction objective**

Elle mesure la qualité de l'ajustement de l'hydrogramme simulé à l'hydrogramme observé que ce soit en termes de débit, de volume ou du temps. Le HEC-HMS en compte 7 fonctions objectives à savoir :

- « Peakweighted RMS error » : modification de la fonction objective largement

utilisée qui est l'erreur sur la racine moyenne des carrés de débit. Cette méthode donne plus de poids aux débits en dessus de la moyenne et moins de poids aux débits en dessous.

- « Sum of squared residuals » : la somme des résidus au carré, attribue plus de poids aux larges erreurs et moins aux petites erreurs.
- « Sum of Absolute Residuals » : la somme des résidus absolus, qui ne différencie pas entre les erreurs larges et celles restreintes.
- « Percent Error in Peak Flow » : le pourcentage d'erreur sur le débit de pointe, qui se focalise sur l'ajustement des débits de pointe.
- « Percent Error in Volume » : le pourcentage d'erreur sur le volume, qui se focalise sur l'ajustement des volumes de ruissellement.
- « RMS Log Error » : utilise l'erreur sur la moyenne de la racine carrée des log des débits pour mettre en phase les débits faibles et forts.
- « Time weighted » : donne du poids aux erreurs proches de la fin de l'événement et moins aux erreurs du début.

Le choix de telle ou telle fonction est dicté par la problématique étudiée et/ou les objectifs de la modélisation. Par exemple, si on est amené à faire une délimitation des zones inondables, la fonction objective sur le volume est appréciée, si par contre l'objectif étant de déterminer le débit de projet d'un ouvrage quelconque, la fonction objective conseillée est celle jouant sur le débit de pointe. De l'autre côté si on est en présence d'une modélisation continue pour comprendre le fonctionnement hydrologique d'un bassin, il sera préférable d'opter par exemple à la première fonction qui va s'intéresser plutôt aux grands pics de débits. Ainsi, on choisit la fonction qui nous aidera à résoudre notre problématique et atteindre nos objectifs.

### **I.19 La fonction d'optimisation automatique**

Elle sert à rechercher, sans intervention de l'utilisateur, le jeu de paramètres optimal donnant à la fonction objective sa valeur la meilleure possible. Pour exécuter cette tâche, le HEC-HMS propose 2 méthodes :

- ✓ « Univariate Gradient » : le gradient univarié, ajuste un seul paramètre à la fois en gardant les autres constants.

- ✓ « Nelder et Mead » : utilise une approche qui consiste à optimiser tous les paramètres simultanément.

En conclusion, on peut dire que la diversité des formalismes dont dispose HEC-HMS, le positionne en tête des modèles les plus robustes dans la simulation des ruissellements au sein du bassin, les plus complets dans l'intégration des différentes composantes d'écoulement et les moins exigeants de point de vue données d'entrée. En outre, sa diversité en matière de combinaisons modulaires possibles, laisse à son utilisateur la

Capacité de l'adapter à ses données, ses objectifs, ses besoins mais surtout à son expérience.



## I.120 Justification du choix du modèle

Le choix du modèle a été dicté par plusieurs contraintes de moyens et facteurs de privilège qui font de ce modèle un bon choix. Parmi ceux les plus importants :

- Les données exigées par le modèle sont plus ou moins simples, accessibles et disponibles, donc, le modèle peut donc tourner sans soucis.
- Possibilité d'intégrer les majeurs facteurs affectant la transformation pluie-débit (morphométrie du bassin versant, occupation du sol, types de sols et humidité antérieure), et donc les résultats seront plus réalistes.

Le SCS-CN a été validée sur plusieurs bassins versants dans le monde, et ses résultats sont fiables et similaires aux modèles complexes (Motevalli et al., 2012).

# Chapitre II : présentation de la zone d'étude

## **1-Etude géomorphologique du bassin versant de l' Oued Taria:**

### **II.1. Présentation Géographique du bassin:**

Le Bassin versant de L'OUED TARIA s'étend sur une surface d'environ 1350,36 Km<sup>2</sup>. Il est limité par les montagnes de BENI-CHOUGRANNE au Nord, les montagnes de SAIDA au Sud et à l'Est par les plateaux de Aouf et l'Ouest par les montagnes de Ain Fekan.

Le Bassin versant d'OUED TARIA présente des ensembles naturels, fort variés ce qui justifie ses dimensions. Le périmètre est égal à 222,74 Km.

L'exactitude de la surface et du périmètre du Bassin versant dépend de l'échelle de la carte et de la densité du réseau hydrographique. Plus ce dernier facteur est bien marqué, plus la délimitation est nette et plus le calcul de divers paramètres est plus ou moins précis (le temps de concentration à l'exutoire des eaux de ruissellement en provenance des diverses parties du Bassin).

Pour analyser correctement le comportement hydrologique du Bassin versant, il est nécessaire de mettre en évidence les caractères morphométriques qui le caractérisent, c'est à dire la forme et le relief Ce dernier est présenté par une gamme d'altitudes allant de 489 m à 1335 m.(Mekamene.NE.2016)

Ces paramètres ont l'avantage de se prêter à une analyse quantitative. (Voir **figure N° I.3**).

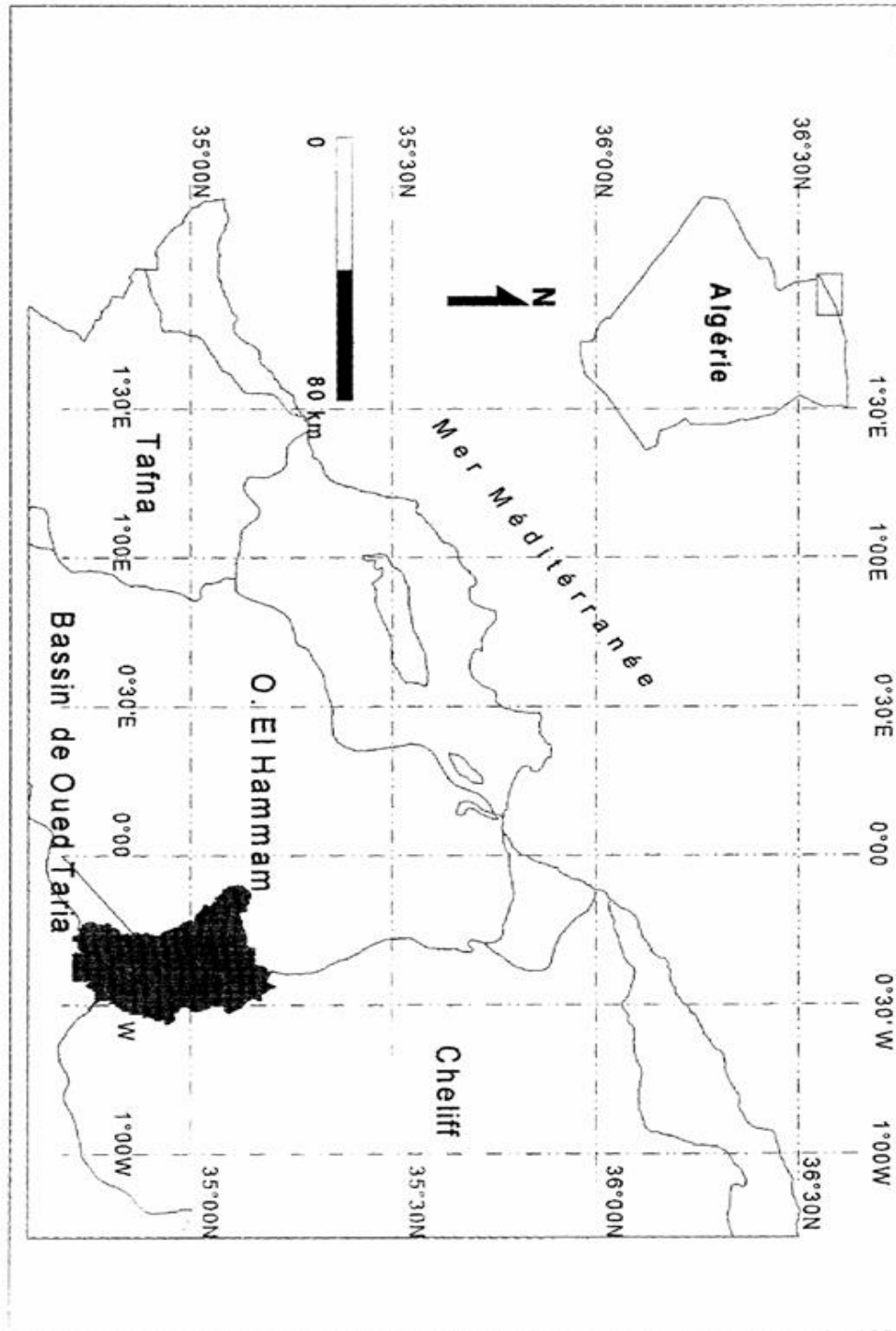


Figure II.1 : Carte de localisation de bassin versant oued Taria.

## II.2. Etude du relief:

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation.

Le but recherché ici, est la détermination de la classe du relief, la hauteur moyenne et le pourcentage des aires partielles entre les différentes courbes de n (figure N°I.2).

Le tableau N° I.1 ci-dessous montre la répartition des tranches de surface du bassin en fonction de l'altitude.

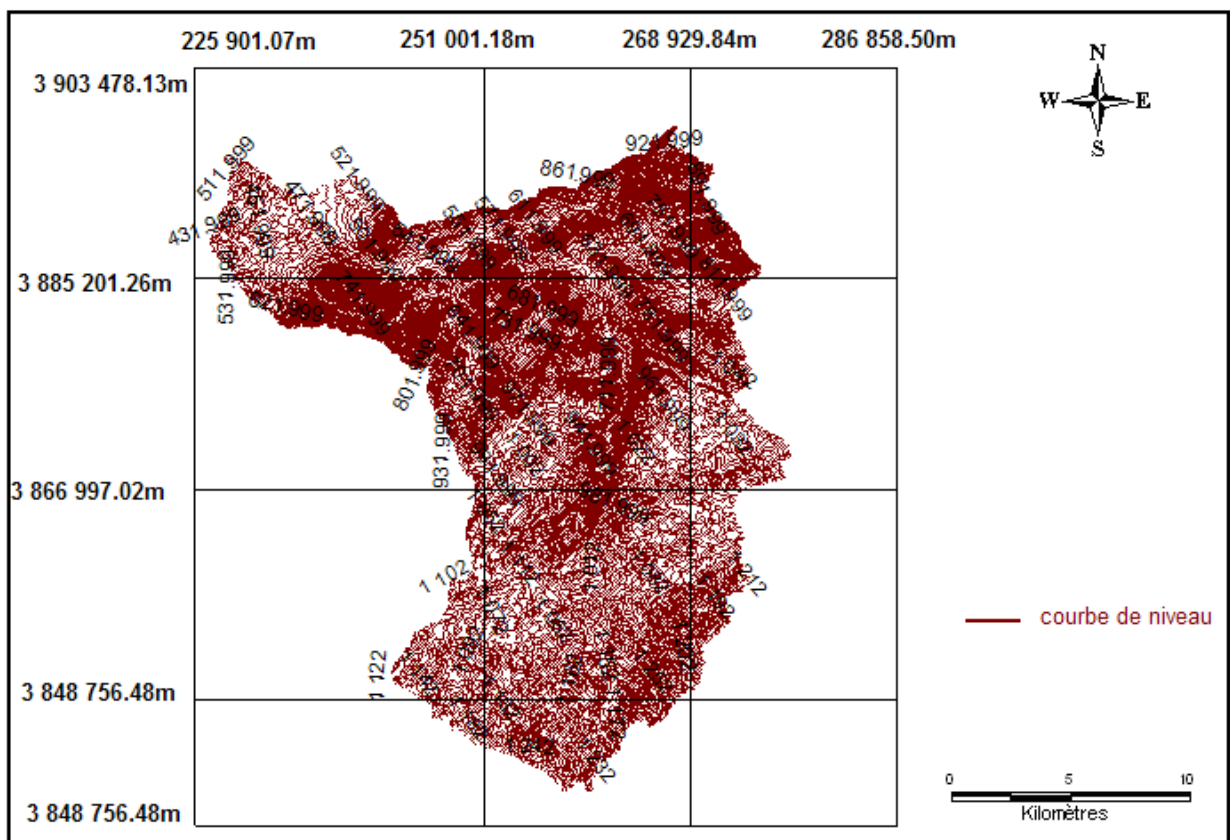


Figure II.2 : Carte des courbes de niveau dans le bassin versant d'Oued Taria.

### II.3. Etude géologique de la zone d'étude

#### II.3.1. Introduction:

Notre zone d'étude est limitée au Nord par l'atlas tellien, au Sud par les hauts plateaux steppiques, est par les monts de Saïda à l'Ouest par les monts de Saïda.

### ***II.3.2. Paléogéographie:***

A la fin des temps Exogènes, la région qui nous intéresse était constituée par un haut pays jurassique, légèrement plissé et fracturé au cours de l'oligocène moyen, est fortement attaqué par l'érosion et possédait un réseau hydrographique sensiblement identique à l'actuel.

Au début des temps Miocènes, la grande transgression quartanier avance vers le Sud, dépassent largement Oued Taria au cours de cette transgression, des vagues brutales reprennent et empâtent les reliefs même les plus tendres.

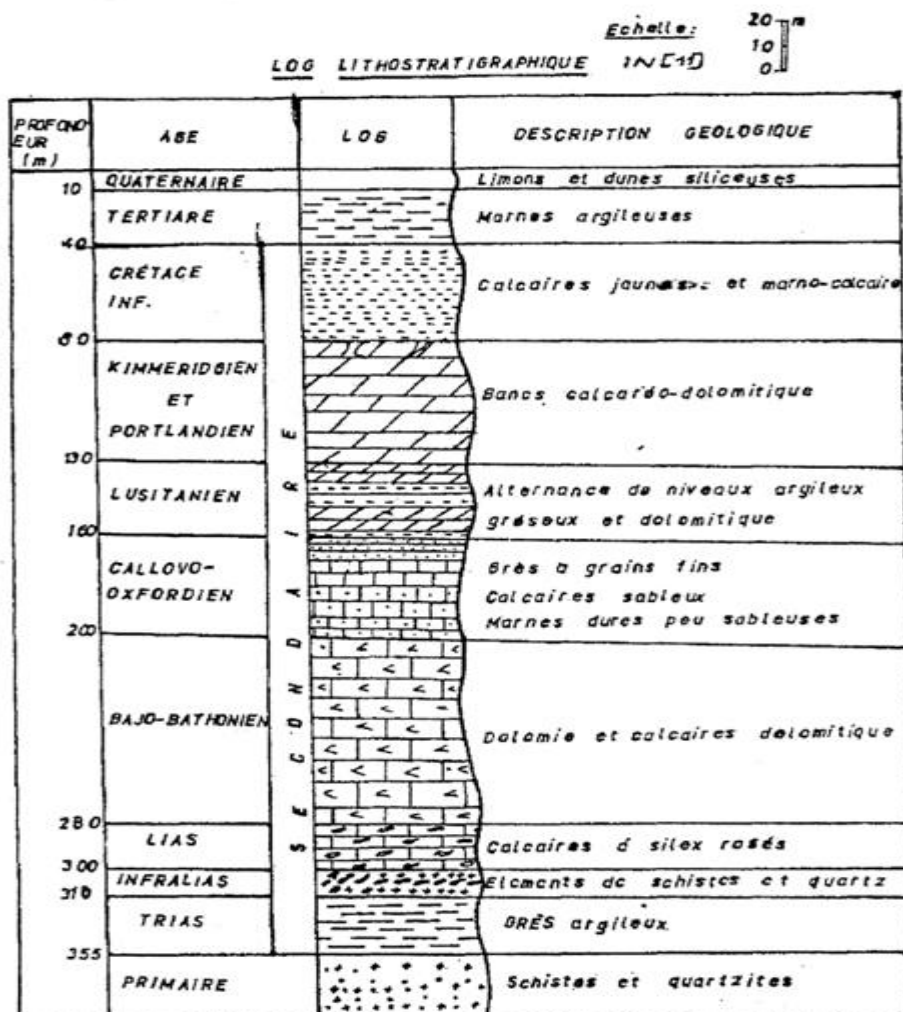
Tandis qu'au large, la mer Miocène dépose des sédiments fins tel que les marnes et argues, en bordure des massifs jurassique émergés, des sédiments détritiques se constituent conglomérats grés.

A la fin des temps Miocène, des mouvements tectoniques verticaux font émerger définitivement la région, entraînant une reprise de l'activité érosive, en même temps que le réseau hydrographique tendait à reprendre son ancienne allure.

Enfin, au début du quaternaire, un dernier mouvement vertical, amenant un abaissement du niveau de base, contraint l'Ouest Taria à encaisser son lit (7).

### ***II.3.3. Lithostratigraphie:***

Notre zone d'étude a une formation très variée, elle est constituée essentiellement des terrains secondaires, tertiaire et quaternaires, nous commençons l'étude par la couche la plus profonde et en se dirigeant vers la surface.



**Figure II. 3 : Lithostratigraphie**

### 1. Le primaire:

C'est des schistes et quartzites, il dépasse 100 m d'épaisseur, très plissé, affleure principalement dans le sud de SAIDA.

### 2. Le secondaire:

**A- Le trias :** C'est une formation gypseuse accompagnée de basaltes et des argues (argiles de SAIDA), il y a présence de faciès carbonaté dans un ensemble très réduit son épaisseur est de 3 à 4 m au niveau de Oued SAIDA. Le membre disparaît: le basalte repose directement sur le socle paléozoïque, constitué des microgranites.

## **B- Jurassique:**

C'est une formation rigide constituée par des calcaires gris qui passe à des calcaires dolomitiques et dolomies, il comprend l'étage du Kimméridgien et du portlandien, son épaisseur est de 300 à 400 m. Il est représenté par les monts de SAIDA

### **Aléno - bajo - bathonien:**

L'ensemble des dolomies supérieures, plus épaisses que les dolomies inférieures allant jusqu'à 150m, leur couleur varie de très blanche grises, jaunâtre ou rosée au Nord - Est de SAIDA, ces dolomies sont moins épaisses et sont surmontées par des marnes et des calcaires argileux.

- Quelques mètres de marnes bleutées.
- 10 à 15 m de marnes vertes.
- 50 m de calcaire.

Elles peuvent passer de la dolomie cristalline à grain fin donnant une roche extrêmement compacte à une dolomie pulvérulente à grands cristaux qui s'altèrent facilement (CALAIR

### **1 Callovo - oxfordien:**

Il est représenté par une formation composée d'intercalations des bancs gréseux et argileux, son épaisseur est de 250 m au Sud - Ouest de SAIDA.

#### **▪ Lusitanien:**

C'est une série argilo - gréseuse de 50 m d'épaisseur, limitée à la partie supérieure de petits bancs dolomitiques, et à la partie inférieure par des couches de marne grise, ce banc (952).

Dolomitique est surmonté d'une alternance de grès, de couleur claire, avec intercalation marneuses au Nord de notre bassin.

#### **▪ Le kimméridgien et le portlandien:**

C'est une série de bancs calcaréo-dolomitiques, d'une centaine de mètres d'épaisseur, caractérisée par la présence de fossiles, zoogènes, riches en Nériidées et en polypiers [6]

## **C - Crétacé Inférieur:**



Se sont des calcaires gréseux et grés fins argileux, c'est une formation plus argileuse (DALLONI, 1924).

Se sont des calcaires gréseux et grés fins argileux, c'est une formation plus argileuse (DALLONI, 1924).

- **Le valanginien**

D'une cinquantaine de mètres d'épaisseur, il apparaît au dessus des assises gréseuses à Taria, surmonté par un ensemble de calcaires jaunes et de marno-calcaires attribué à l'Hantérivien et le Barrémien.

- **Le senonien**

Il recouvre la partie sud de l'extrémité des monts de Saida

### **3. Le Tertiaire:**

Il recouvre les monts de Saida et la partie Nord du bassin des monts de (Béni-chougrane).

#### **A-Eocène:**

Il apparaît dans l'Est du bassin, il est représenté par une alternance de bancs grésocalcaires et des couches marneuses.

#### **B-Oligocène**

Il affleure dans les Béni-chougrane, cette formation est constituée de couches argilo marneuses avec des bancs de grés, à la base s'intercale un conglomérat de base polygénique peu épais.

#### **C-Miocène**

Dans les Béni-chougrane, il est représenté par une formation épaisse de marnes vertes avec un passage conglomératique de bas.

Cette formation constitue le toit imperméable de la nappe d'eau des grès et calcaires lacustres du pliocène. Les marnes sont surmontées par des sables fins argileux à concrétion calcaire vers le Nord-Ouest.

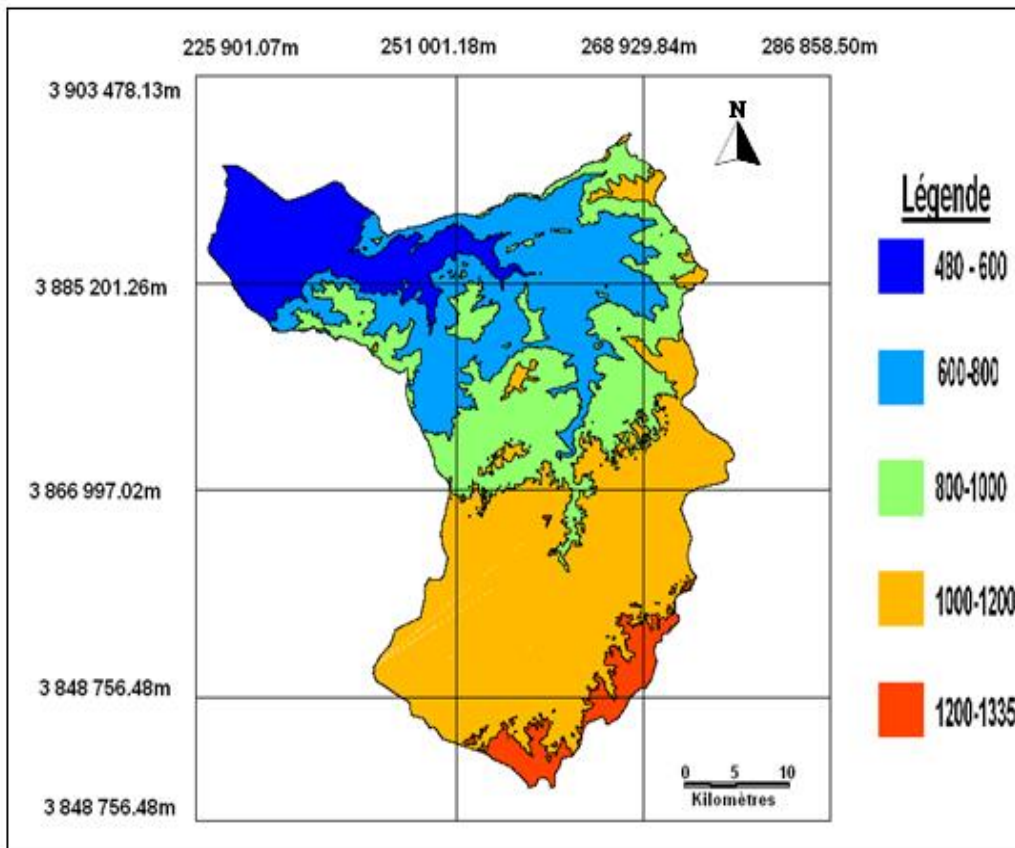
#### **D-Pliocène**

C'est une formation récente, apparaît dans les Beni-chougrane, il est représenté par des grès qui passent à des sables consolidés de couleur jaune. Sur la bordure des Beni-chougrane, les calcaires se prolongent sous la région.

#### **4. Le quaternaire**

Se sont des alluvions quaternaires d'origine fluviale. Sur les calcaires lacustres du pliocène reposent les argues rouges détritiques qui affleurent sur la bordure EST et Nord de la région (2).

#### **II.4. la courbe hypsométrique :**



**Figure II.4: Carte hypsométrique dans le bassin versant d'Oued Taria**

**Tableau II.1 : Répartition des tranches de surface du bassin en fonction de l'altitude**

| Surfaces | Tranches d'Altitudes (m) | Surfaces partielles (Km <sup>2</sup> ) | Surfaces cumulées (Km <sup>2</sup> ) | % de la surface partielle | % de la surface cumulée |
|----------|--------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| S1       | 1335-1200                | 59.20                                  | 59.20                                | 4.38                      | 4.38                    |
| S2       | 1200-1000                | 627.99                                 | 687.19                               | 46.49                     | 50.87                   |
| S3       | 1000-800                 | 294.25                                 | 981.44                               | 21.78                     | 72.65                   |
| S4       | 800-600                  | 307.14                                 | 1288.58                              | 22.74                     | 95.39                   |
| S5       | 600-480                  | 61.77                                  | 1350.35                              | 4.57                      | 99.96                   |

Cetteréparation, appelée aussi la courbe hypsométrique est représentée graphiquement sur (**figure II.4**).

Cette courbe hypsométrique représente le pourcentage des surfaces cumulées en fonction des altitudes, elle présente une convexité vers le bas, cela témoigne d'une faible érosion dans le bassin versant.

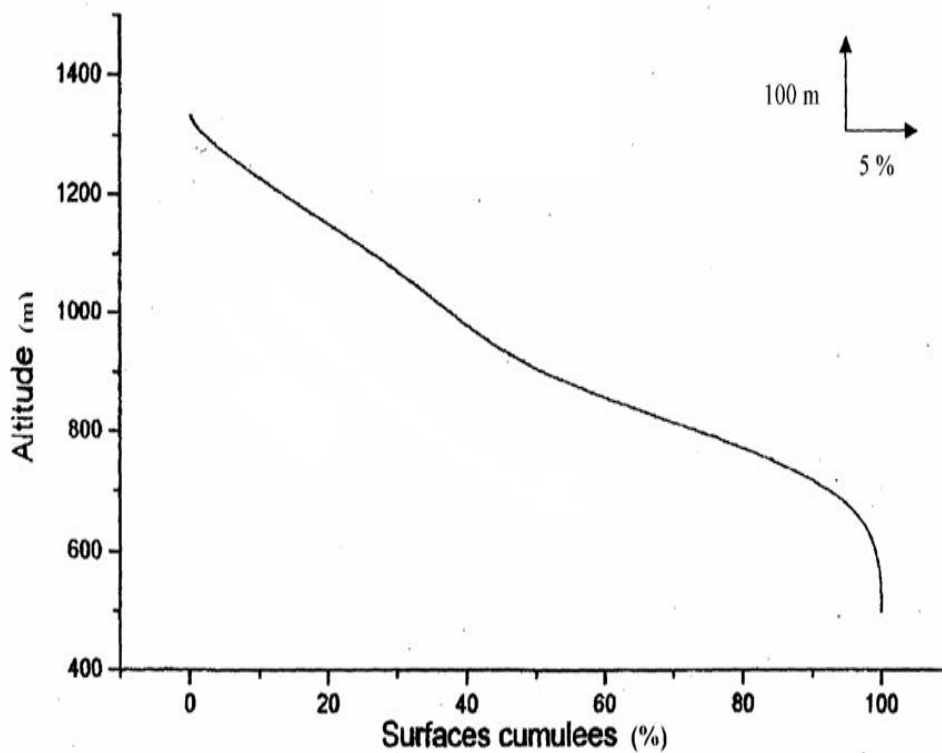
La courbe hypsométrique

$$\% \text{ cumulé} = f(\text{altitudes}).$$

Le diagramme des fréquences altimétriques:

$$\% \text{ partielle} = f(\text{altitude}).$$

**Figure II.5: Courbe hypsométrique du bassin versant de Oued Taria**



## II.5.Détermination des altitudes:

A partir de la courbe hypsométrique, nous déterminons les altitudes caractéristiques suivantes :

### 1) Altitude maximale:

Elle correspond au point le plus haut du bassin versant donc :

$$H_{\max} = 1335 \text{ m.}$$

### 2) Altitude minimale:

Elle correspond au point le plus bas du bassin versant donc  $H_{\min} = 480 \text{ m}$

### 3) Altitude la plus fréquente:

Elle correspond au maximum du diagramme des fréquences altimétrique  $H_{\text{frq}} = 1100 \text{ m.}$

### 4) Altitude médiane:

Elle correspond à l'ordonnée moyenne de la courbe hypsométrique, c'est à dire à 50% de la surface du bassin versant situé au-dessous de cette altitude donc  $H_{\text{med}} = 947 \text{ m.}$

### 5) Altitude moyenne:

Elle correspond au rapport de la somme de la surface élémentaire par l'altitude moyenne correspondante sur la surface totale du bassin versant.

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i \cdot a_i}{A}$$

Avec:

$H_i$  : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).

$a_i$ : Surface élémentaire comprise entre deux courbes de niveau.

$S$  : Surface totale du bassin versant ( $\text{Km}^2$ ).

Les valeurs de  $H_i$ , et  $H_i \cdot a_i$  sont représentées dans le tableau suivant:

D'ou:

$H_{\text{moy}} = 946 \text{ m}$

H 95%: l'altitude correspond a 95% de la surface totale du bassin versant (d'après la courbe hypsométrique)  $H_{95\%} = 720 \text{ m}$ .

H 5% : l'altitude correspond a 5% surface totale du bassin versant (d'après la courbe hypsométrique)  $H_{5\%} = 1270 \text{ m}$

On note que la courbe hypsométrique présente deux zones de différentes pentes La présence d'une faible pente entre  $H_{\text{max}} 1335 \text{ m}$  et  $H_{95\%} = 720 \text{ m}$ , indique l'existence des plaines sur le terrain.

La présence d'une très forte pente entre  $H_{95\%} = 720 \text{ m}$  et  $H_{480} \text{ m}$ , ce qui traduit l'existence de reliefs sur le terrain. (**Voir figure N II.6**).

## **II.6. Caractéristique physique du bassin:**

A pour but la quantification des facteurs caractéristiques du milieu physique d'un bassin versant.

### **II.6.1. Définition:**

Le bassin versant en un point ou plus précisément dans une section droite d'un cours d'eau est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents a l'amont de la dite section; tous les écoulements prenant naissance a l'amont de cette surface doivent traverser la section droite considérée pour poursuivre leur trajet vers l'exutoire.

### **III.6.2. Caractéristiques de la disposition sur le plan:**

Elles englobent les caractéristiques purement géométriques du bassin versant.

#### **II.6.2.1. surface:**

La surface du bassin versant a été déterminé par un logiciel Mapinfo, on a obtenu une surface de

$S = 1350.36 \text{ k m}^2$  (Oran SAIDA échelle 1/500.000)

#### **II.6.2.2. - périmètre:**

L'utilisation d'un logiciel Mapinfo a relevé un contour de bassin versant de  $p = 222.74 \text{ km}$

### II.6.2.3 - Longueur du thalweg principal:

Elle correspond à la longueur du Thalweg le plus long du bassin versant L est de  $L = 46,6$  km

### II.6.2.4 - Largeur moyenne du bassin versant:

Elle est calculée par la relation suivante:

$$L_{\text{moy}} = \frac{S}{L}$$

$$L_{\text{moy}} = 28,65 \text{ km}$$

**Avec:**

S: superficie du bassin versant en  $\text{Km}^2$

L : longueur du thalweg principal en km

### II.6.2.5. Coefficient d'allongement:

Il est obtenu à partir de la relation:

$$Ca = \frac{L^2}{S}$$

$$Ca = 7.07$$

$$S = L \cdot l$$

$$P = 2(L + l)$$

**Avec:**

L: Largeur du rectangle équivalent (Km).

l: Longueur du rectangle équivalent (Km).

P : Périmètre du bassin versant (Km).

S: Surface du bassin versant ( $\text{Km}^2$ ).

D'où la résolution du système d'équation à deux inconnues montre que  $l$  et  $L$  sont des solutions de l'équation:

**Donc:**

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.128} \left[ 1 + \sqrt{1 + \left( \sqrt{\frac{1.128}{Kc}} \right)^2} \right]$$

$$I = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.128} \left[ 1 - \sqrt{1 + \left( \sqrt{\frac{1.128}{Kc}} \right)^2} \right]$$

**Avec:**

Kc: Coefficient de compacité de gravelius.

A: Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

**D'où:**

L=97, 74 Km.

l=13,6Km.



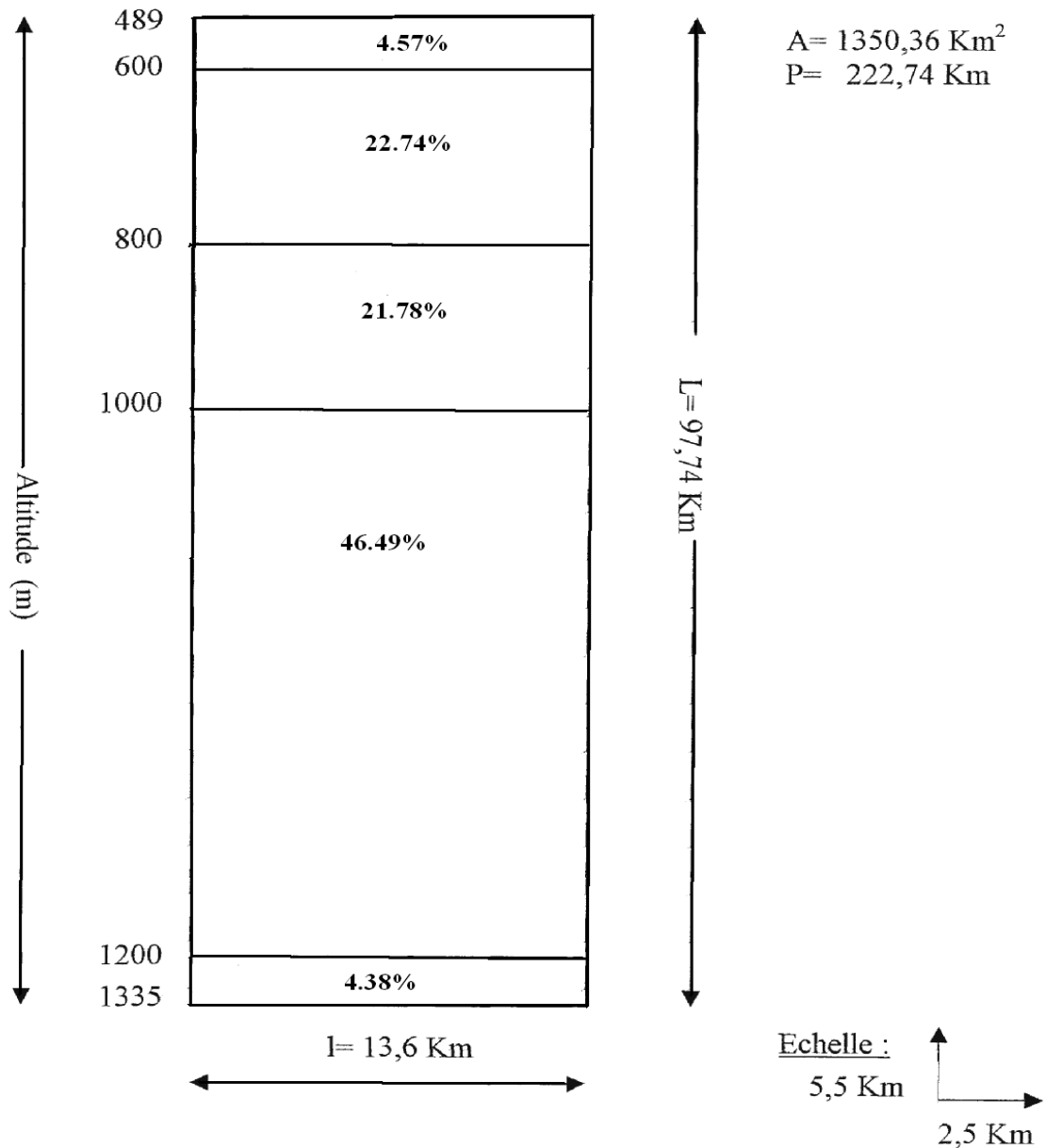


Fig.

Figure II.6: Rectangle équivalent du bassin versant d'OUED TARIA

## II.7. Détermination des indices de pente:

Les indices de pentes sont déterminés à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur le bassin, leur but est de caractériser les pentes d'un bassin versant et de permettre aux comparaisons et classifications de ces dernières.

Ces paramètres (pentes) ont une influence considérable dans le calcul du temps de concentration du bassin et l'importance des crues.

### II.7.1. Indice de pente globale:

C'est le rapport de la dénivelée du bassin à la longueur du rectangle équivalent.

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Avec:

H5% : L'ordonnée à 5% dans la courbe hypsométrique (m).

H95%: L'ordonnée à 95% dans la courbe hypsométrique (m).

L : Longueur du rectangle équivalent (m).

D'ou:

$$I_g = 5,6 \text{ m/Km}$$

$$I_g = 0,56\%$$

### II.7.2. indice de pente moyenne:

C'est le rapport de dénivelée moyenne à la longueur du rectangle équivalent

$$I_{pmax} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Avec:

Hmax: Altitude maximale du bassin versant (m).

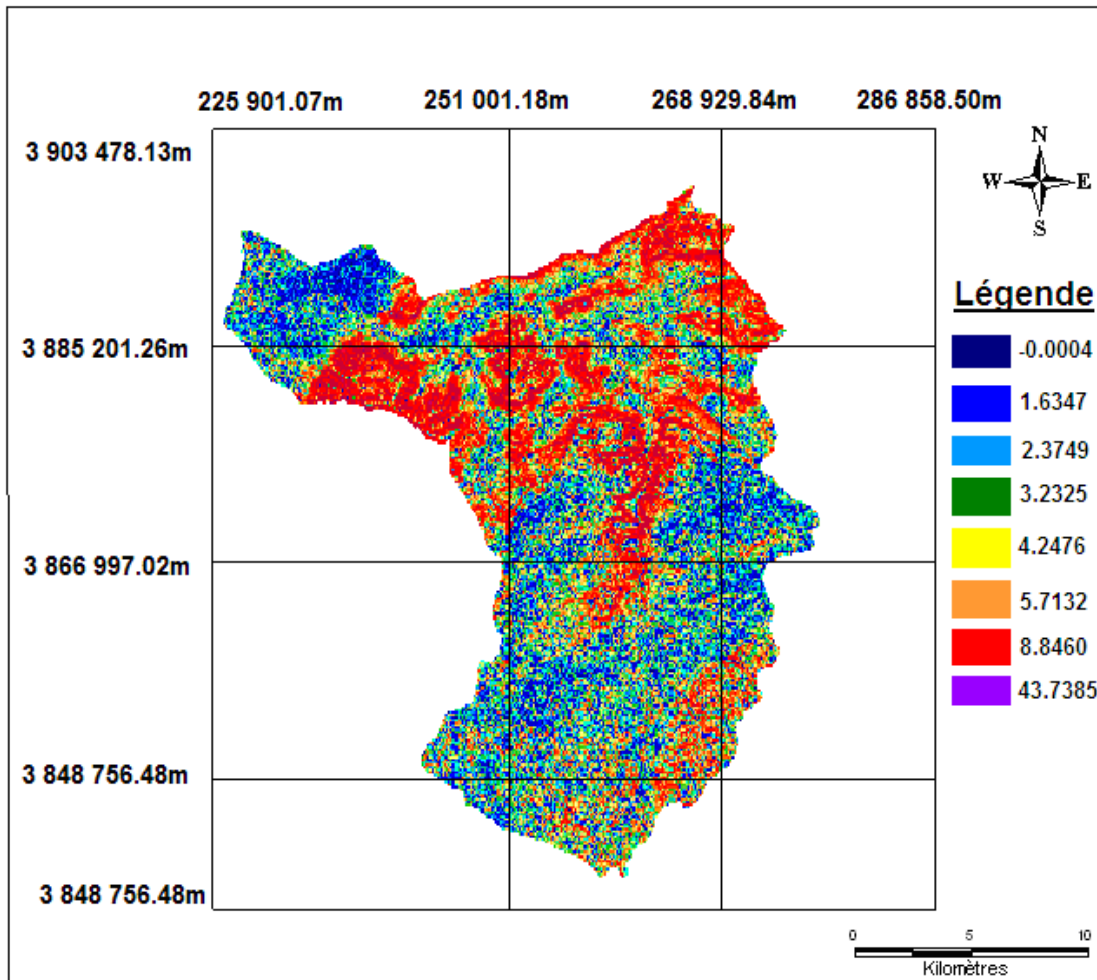
Hmin: Altitude minimale du bassin versant (m).

L : Longueur du rectangle équivalent (m).

D'ou:

$$I_{p_{moy}} = 8,6 \text{ m/Km}$$

$$I_{p_{moy}} = 0,86\%$$



**FigureII.7 : Classification de pentes du bassin versant de l'Oued Taria**

### II.7.3. Dénivelée spécifique : «Ds»

Elle est utile pour la classification des bassins versants, cette dernière ne présente pas l'inconvénient de l'indice de pente globale  $I_g$ . Afin de palier à ce problème ce denier ( $I_g$ ) est corrigé par l'effet de surface.

$$Ds = I_g \times \sqrt{S}$$

Avec: 
$$Ds = \frac{D}{L} \cdot \sqrt{S}$$

D : la dénivelée du bassin.  $D = H_{5\%} - H_{95\%}$  (m).

S : la surface du bassin versant ( $Km^2$ )

L : la longueur du rectangle équivalent (Km).

D'ou:

$$Ds = 318 \text{ m}$$

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie

( $D = H5\% - H95\%$ ) et de la forme du bassin ( $I / L$ ), elle donne lieu à une deuxième classification de L'O.R.S.T.O.M (office des recherches scientifique des travaux Outre Mère) ci-dessous, appliquée a tout bassin quelle que soit sa superficie:

**Tableau II.2:** 2<sup>ème</sup> classification de l'Orstom

|    |                     |                                  |
|----|---------------------|----------------------------------|
| R1 | Relief très faible  | $Ds < 10\text{m}$                |
| R2 | Relief faible       | $10\text{m} < Ds < 25\text{m}$   |
| R3 | Relief assez faible | $25\text{m} < Ds < 50\text{m}$   |
| R4 | Relief modéré       | $50\text{m} < Ds < 100\text{m}$  |
| R5 | Relief assez fort   | $100\text{m} < Ds < 250\text{m}$ |
| R6 | Relief fort         | $250\text{m} < Ds < 500\text{m}$ |
| R7 | Relief très fort    | $Ds > 500\text{m}$               |

D'après cette classification, notre bassin versant se trouve c'est à dire un relief fort.

## II.8. Etude du réseau hydrographique:

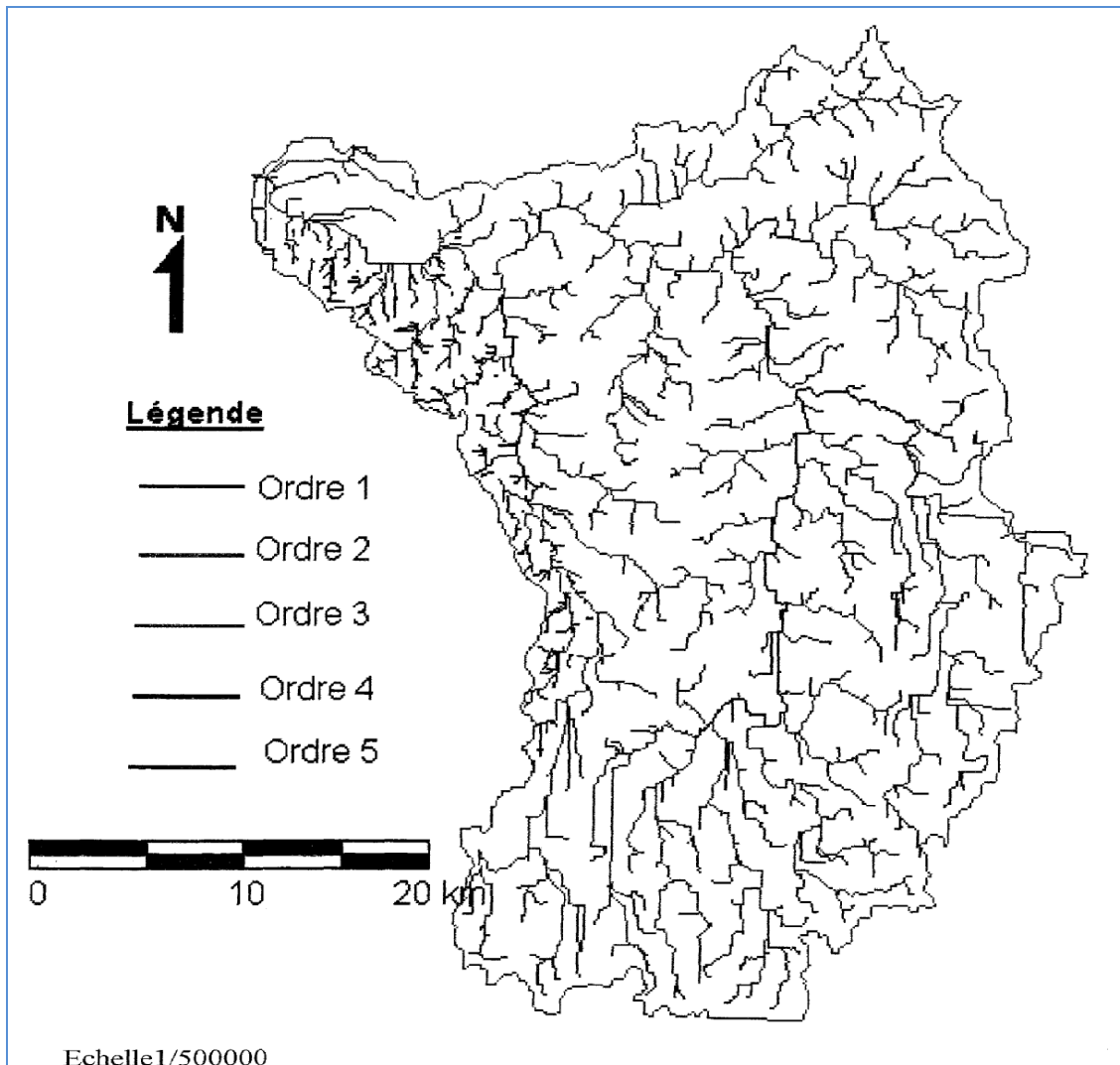
### II.8.1. Classification des thalwegs:

Les paramètres qui caractérisent la forme du réseau hydrographique sont:

- La densité de drainage;
- Le rapport de la longueur;
- Le rapport de la confluence;
- Le temps de concentration;
- Le coefficient de torrentialité;

Pour leur déterminations, il faut procéder a une classification des thalwegs (cours d'eau) par ordre, et on peut pour chaque ordre déterminer le nombre de thalwegs et la longueur totale (**figure N II.09**).

L'ensemble des paramètres calculés est présenté dans **le tableau N° I**.



**Figure II.8:** Carte du réseau hydrographique dans le bassin versant d’oued Taria

**Tableau II.3:** Calcul le rapport de confluence et rapport de longueur.

| <b>Ordre</b> | <b>Nombre</b> | <b>Longueur cumulée (Km)</b> | <b>Longueur moyenne (Km)</b> | <b>Rapport de confluence (Rc)</b> | <b>Rapport de longueur (RL)</b> |
|--------------|---------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| <b>1</b>     | 346           | 520.97                       | 1.5                          | /                                 | 3.64                            |
| <b>2</b>     | 94            | 252.65                       | 2.68                         | 3.68                              | 1.78                            |
| <b>3</b>     | 18            | 128.9                        | 7.16                         | 5.2                               | 2.67                            |
| <b>4</b>     | 06            | 76.80                        | 12.8                         | 3                                 | 1.78                            |
| <b>5</b>     | 01            | 46.60                        | 46.6                         | 6                                 | /                               |
| <b>Total</b> | 465           | 1025.92                      | 70.74                        |                                   |                                 |

### II.8.2 - Densité de drainage:

Appelée aussi densité des thalwegs, elle est définie comme étant le rapport de la longueur totale des cours d'eau de tous les ordres sur la surface drainée. Elle permet de donner une idée sur l'importance du chevelu hydrographique.

$$Dd = \sum \frac{Lx}{S}$$

Avec:

- Dd : Densité de drainage (Km/ km<sup>2</sup>).
- Lx : Longueur cumulée (Km).
- S: Surface de bassin (Km<sup>2</sup>).
- N : nombre d'ordre le plus élevé dans la classification de SCHUM.
- N=5.

D'ou

$$Dd=0,75\text{Km/km}^2.$$

Cette valeur indique que notre bassin est assez bien drainé ce qui permettra une évacuation d'eau rapide. Elle montre aussi l'importance de l'alimentation de

L'OUED TARIA.

L'importance du drainage est due principalement à la nature meuble des formations gréseuses et marneuses.

### II.8.3 - Fréquence des cours d'eau:

Elle correspond au nombre de cours d'eau par unité de surface.

$$F = \frac{N}{S}$$

Avec:

- F fréquence des cours d'eau (Km<sup>2</sup>).
- N : nombre de cours d'eau : N = 242.
- S : surface du bassin (Km).

D'où:

$$F = 0,34 \text{ Km}^2$$

#### II.8.4. Fréquence des thalwegs élémentaires:

C'est le rapport entre le nombre du cours d'eau d'ordre un et celle de surface de bassin versant de L'OUED TARIA

$$Fi = \frac{N1}{S}$$

**Avec:**

- N1 : nombre de cours d'eau d'ordre 1;
- S: surface du bassin versant de L'OUED TARIA (Km<sup>2</sup>)

**D'ou:**

$$Fi = 0.25 \text{ Km}^2$$

#### II.8.5. Rapport de confluence:

C'est le quotient du nombre de thalwegs d'ordre (n) par celui des thalwegs d'ordre supérieur (n + 1), soit:

**Avec:**

$$Rc = \frac{Nn}{Nn + 1}$$

- Rc : rapport de confluence.
- Nn : nombre des thalwegs d'ordre n.
- Nn + 1: nombre des thalwegs d'ordre n + 1.

Il est préférable d'estimer le rapport de confluence graphiquement

**(Figure N°II.14).** Sachant que le graphe se fait sur papier semi-logarithmique on en ordonné on place le nombre des thalwegs et on abscisse on place l'ordre.

La pente de ce droit est le rapport lui-même (Rc), plus ce rapport est grand, plus le bassin est torrentiel.

Le rapport de confluence moyen est égal à la pente de droite ajustée aux points. [1].

**D'ou:**

$$Rc = 4,47$$

Cette valeur indique une bonne organisation du bassin versant de L'OUED

TARIA.

**II.8.6 - Rapport de longueur:** C'est le quotient de la longueur moyenne des thalwegs d'ordre (n + 1) par celle des thalwegs d'ordre (n).

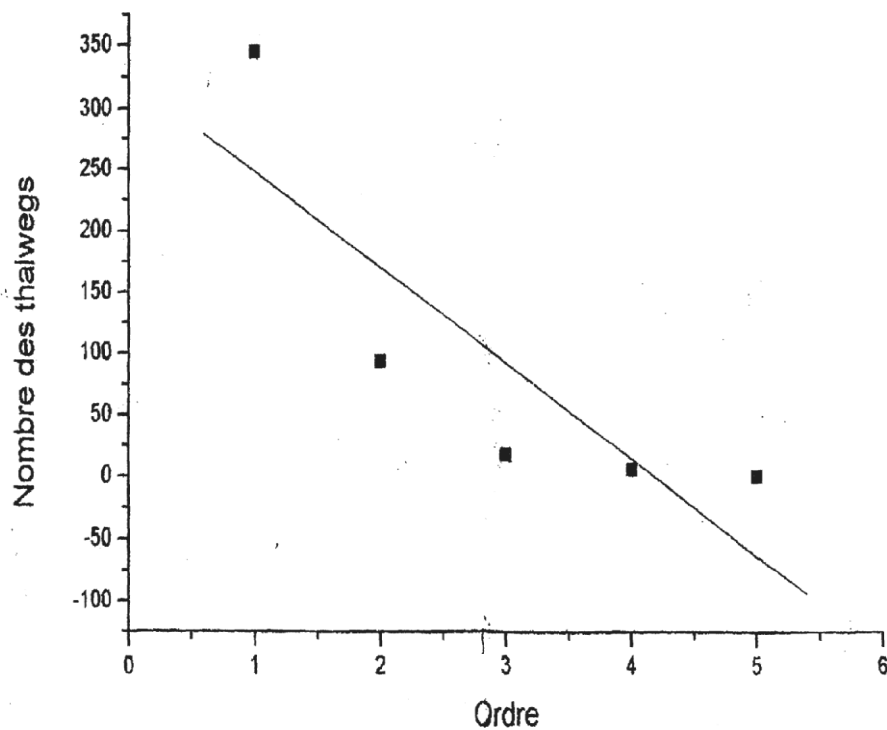
Avec: 
$$Rl = \frac{Ln + 1}{Ln}$$

- RI : rapport de longueur;
- Ln: longueur moyenne des cours d'eau d'ordre (n).
- Ln+1 : longueur moyenne des cours d'eau d'ordre (n+1).

Nous portons sur papier semi-logarithmique les valeurs obtenues généralement les points s'alignent autour d'une droite (**figure II.9**).

Le rapport de longueur moyen est égal à la pente de droite ajustée aux points.

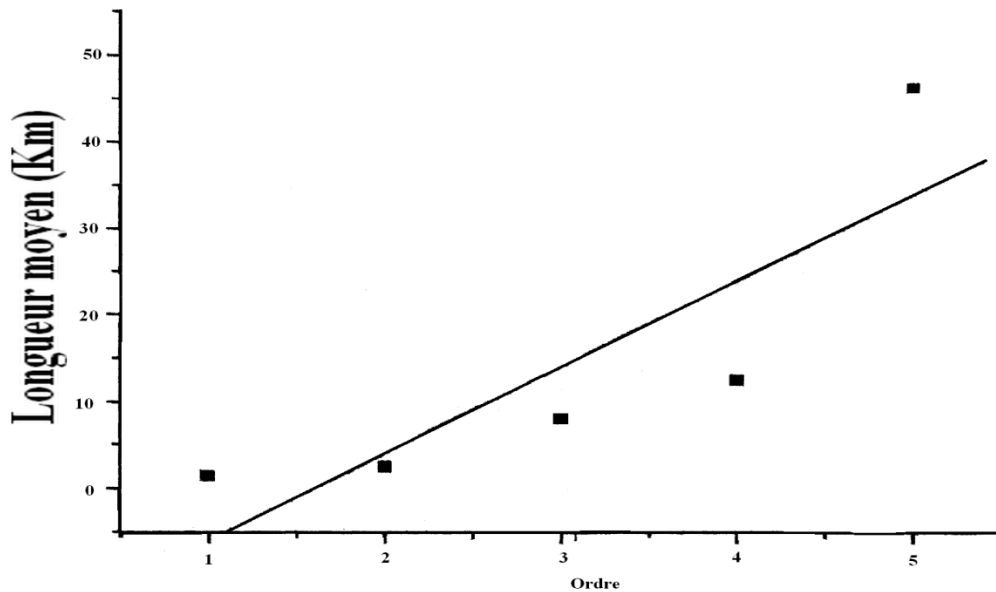
$$Rl = 2,46$$





**Figure II.9 : Rapport de confluence.**

**Figure II.10 : Rapport de longueur**



### **II.8.7. Coefficient de torrentialité:**

C'est le produit de la densité des thalwegs élémentaires par la densité de drainage, il met en évidence le caractère torrentiel du chevelu hydrographique.

$$Ct = Fi.Dd$$

Avec:

- Ct: coefficient de torrentiel Km/Km<sup>4</sup>).
- Fi : fréquence des thalwegs élémentaires (Km<sup>-2</sup>),
- Dd: densité de drainage égale 0,75 (Km/Km<sup>2</sup>).

**D'ou:**

$$Ct = 0,25 \cdot 0,075 = 0,018 \text{ Km}^{-3}.$$

### II.8.8 Profil en long:

Le profil en long d'un cours d'eau est établi d'après une carte d'échelle [1/500000].

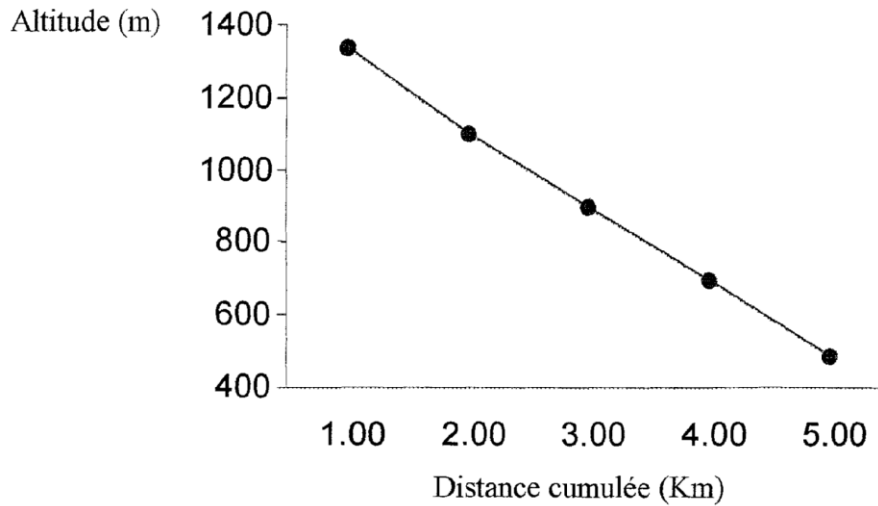
Il est obtenu en portant sur un graphique, en abscisse les distances à l'exutoire ou les longueurs développées par ces cours d'eau à partir d'une limite aval (CONFLUENT, OUED,..) Et en ordonnée l'altitude de point correspondant ou l'altitude du fond du lit.

Les distances sont mesurées au curvimètre à partir de l'exutoire en suivant le cours d'eau principal.

Notons que la pente d'un cours d'eau est un facteur important dans son régime et détermine notamment la vitesse du courant.

**Tableau II.4:** Calcul de la longueur totale d'OUED TARIA.

| <b>Altitude (km)</b> | <b>Distance (Km)</b> | <b>Distance cumul (Km)</b> | <b>Dénivelées (Km)</b> | <b>Pente %</b> |
|----------------------|----------------------|----------------------------|------------------------|----------------|
| <b>1335-1200</b>     | 4.48                 | 4.48                       | 135                    | 3              |
| <b>1200-1000</b>     | 47.56                | 52.04                      | 200                    | 0.4            |
| <b>1000-800</b>      | 22.28                | 74.32                      | 200                    | 0.9            |
| <b>800-600</b>       | 23.26                | 97.58                      | 200                    | 0.8            |
| <b>600-480</b>       | 4.67                 | 100                        | 120                    | 2.5            |



**Figure II.11 : profil en long de l'oued Taria.**

### **II.9. Détermination du temps de concentration «Tc»:**

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. On peut estimer Tc en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie efficace et la fin du ruissellement de surface.

Il est évalué par la formule de GLANDOTTI la plus utilisée en ALGERIE.

$$Tc = \frac{4\sqrt{s} + 1.5L}{0.8\sqrt{Hmoy - Hmin}}$$

**Avec:**

- Tc : Temps de concentration (heures).
- S : Surface de bassin versant (Km<sup>2</sup>).
- L : Longueur du talweg principal (Km).
- Hmoy : Altitude moyenne (m)
- .Hmin: Altitude minimale (m).

**D'ou:**

$$Tc = 14h$$

### II.9.1 Détermination du temps de concentration «Tc» des sous bassins Oued Taria

Tableau II.5 : Caractéristiques physiographiques des sous bassins versants de l'oued Taria

| <b>N BV</b> | <b>P (km)</b> | <b>S (km2)</b> | <b>L</b> | <b>Hmax</b> | <b>Hmin</b> | <b>H moyen</b> | <b>Tc<br/>(Giandotti)</b> |
|-------------|---------------|----------------|----------|-------------|-------------|----------------|---------------------------|
| <b>SB1</b>  | 158.38        | 391.11         | 16.45    | 1200        | 480         | 840            | 6.74                      |
| <b>SB2</b>  | 33.91         | 117            | 12.05    | 1000        | 600         | 800            | 5.39                      |
| <b>SB3</b>  | 66.29         | 223            | 11.7     | 1000        | 700         | 850            | 7.68                      |
| <b>SB4</b>  | 108.6         | 345.06         | 11.52    | 1200        | 800         | 1000           | 8.65                      |
| <b>SB5</b>  | 82.6          | 274.2          | 13.53    | 1200        | 1000        | 1100           | 10.38                     |

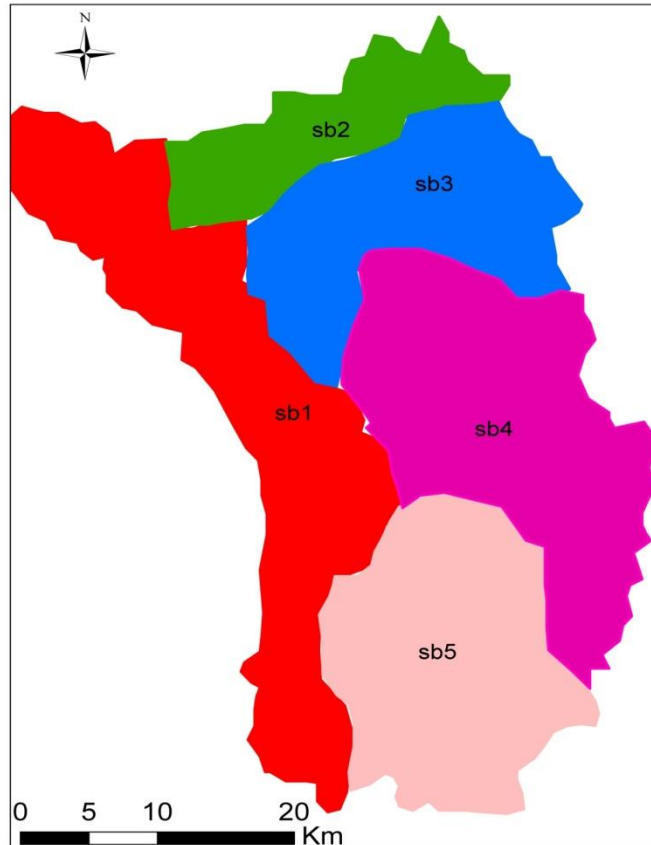


Figure II.12 : Carte des sous bassins de bassin versant de l’Oued Taria.

## II.10.étude climatiques

### II.10.1. Température mensuelle et annuelle

Les températures moyennes mensuelles et annuelles agissent directement sur le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques.

Les mois les plus chauds sont juillet et Août et les plus froids sont décembre, janvier et février.

Les températures annuelles donnent une valeur de 16,1°C.

**Le tableau II.6:** présente les températures mensuelles. Tmin - Tmoy - Tmax de la station de TARIA [1978 à 2006].

| Mois          | Sept | Oct  | Nov  | Déc  | Jan  | Fev  | Mar  | Avr  | Mai  | Juin | Juill | Aout |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| <b>Tmax°C</b> | 30.2 | 23.6 | 18.4 | 14.6 | 13.3 | 15.1 | 16.4 | 19.8 | 24.7 | 30.6 | 33.9  | 35.2 |
| <b>Tmin°C</b> | 14.8 | 10.8 | 7.1  | 4.1  | 2.8  | 3.9  | 4.8  | 6.5  | 9.4  | 13.9 | 17.5  | 18.1 |
| <b>Tmoy°C</b> | 22.4 | 16.8 | 13.0 | 9.2  | 7.6  | 9.1  | 10.9 | 12.8 | 16.9 | 22.1 | 26.4  | 26.5 |

Source : O.N.M Oran

Les variations des températures (Tmax – Tmin – Tmoy) sont représentées dans **la figure N° II.2.**

### II.10.2. Humidité relative :

L'humidité relative indique le degré de saturation de l'atmosphère dans notre région elle décroît du nord au sud pendant l'hiver elle atteint des valeurs relativement élevés dans les zones montagneuses. Les observations disponibles sont enregistrées au niveau de la station de TARIA pour la période [1978 – 2006].

**Tableau II.7 :** humidité relative en % :

| Mois        | Sept | Oct  | Nov  | Déc  | Jan  | Fév  | Mar  | Avr | Mai  | Juin | Juillet | Aout |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|---------|------|
| <b>Hmoy</b> | 50.2 | 58.9 | 64.1 | 65.3 | 67.1 | 66.3 | 64.2 | 62  | 57.2 | 48.5 | 37.2    | 39.5 |

Source : O.N.M oran

Le maximum apparait en janvier avec 67,1%.

Le minimum apparait en juillet avec 37,2%.

La valeur moyenne annuelle est de 56,7%

### II.10.3 EVAPORATION:

L'évaporation est un phénomène physique de transformation de l'eau en vapeur d'eau. Elle joue un rôle capital en hydrologie, ce phénomène physique s'effectue aux dépend de tous les états physiques dans lesquels l'eau peut se trouver.

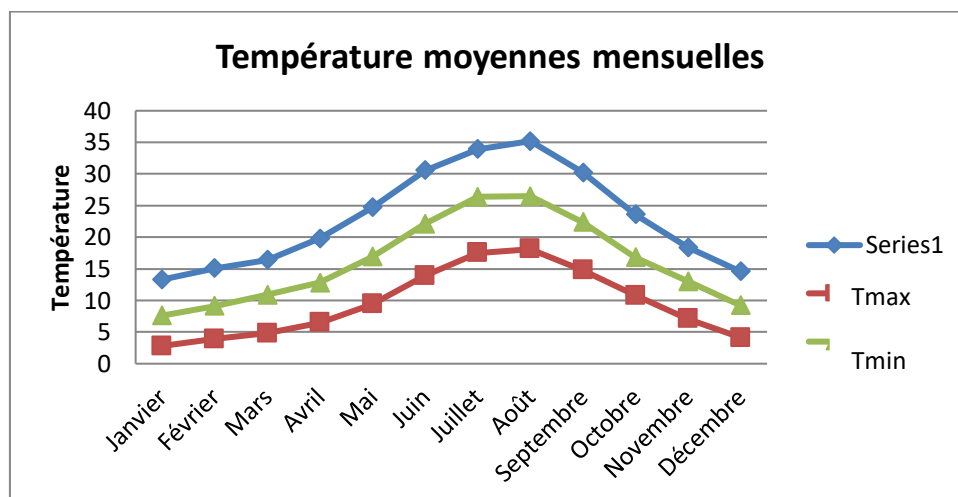
D'après l'O.N.M l'évaporation moyenne de la station de TARIA Sur la période

(1978-2006 ) sont représentée dans le tableau II.8

**Tableau II.8:** L'évaporation moyenne mensuelle (O.N.M).

| Mois     | Sept | Oct  | Nov  | Déc  | Jan  | Fév  | Mar  | Avr | Mai  | Juin | Juill | Aout |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-------|------|
| Evap(mm) | 50.2 | 58.9 | 64.1 | 65.3 | 67.1 | 66.3 | 64.2 | 62  | 57.2 | 48.5 | 37.2  | 39.5 |

D'après le tableau on trouve évaporation totale égale à 2929,6 mm (Voir figure N°II.16).



**Figure II. 13 :** températures moyennes

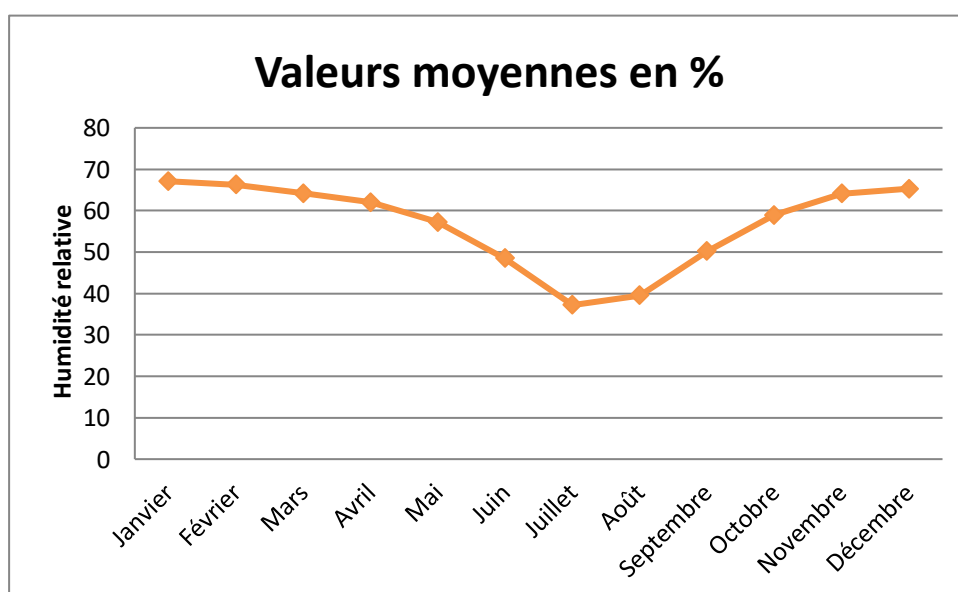


Figure II. 14 : valeurs moyennes

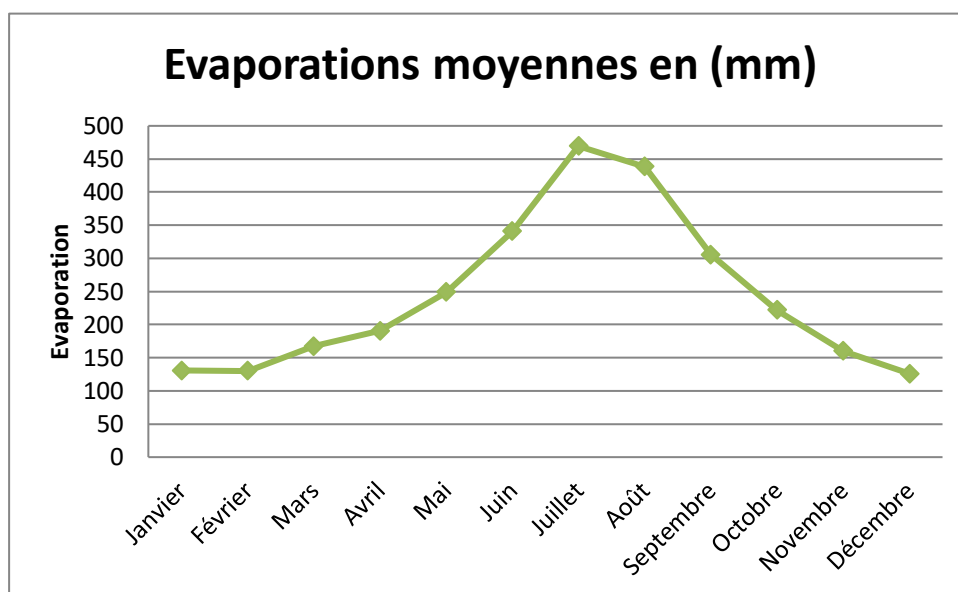


Figure II.15 : évaporations moyennes en(mm)

#### II.10.4-ANALYSE DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES:

Les pluies maximales journalières sont souvent génératrices de crues exceptionnelles. Pour cela, il est important d'effectuer un ajustement statistique d'une loi de probabilité à la série d'observation afin de déterminer les précipitations maximales journalières fréquentielles. Pour dégager une idée générale sur l'importance des pluies extrêmes, nous nous basons sur des données d'observations disponibles pour la station d'Oued Taria, et sur une période d'observation de 44 ans (1976 - 2020).Fig. II.17

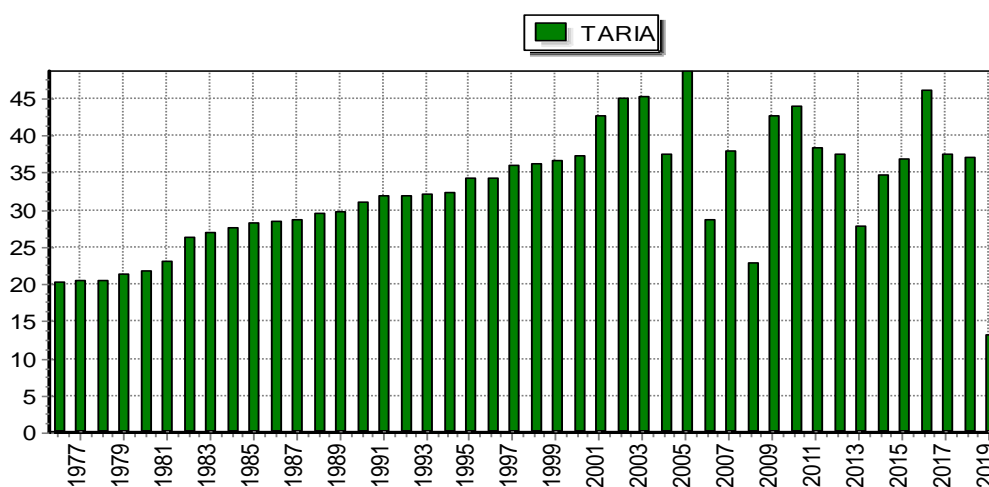




Figure II.16 : Représentation graphiques des précipitations maximales journalières fréquentielles.

**Ajustement des pluies maximales journalières :**

L'ajustement a été effectué à l'aide du logiciel « Hydrognomon ».

Hydrognomon est un logiciel pour l'analyse et le traitement des données hydrologique, sous la forme des séries chronologiques .son programme prend également en charge les applications hydrologiques spécifique

Parmi les lois statistiques les plus utilisés on a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières à la loi de Gumbelmax.

Le tableau (II- 14) donne les différentes caractéristiques statistiques de l'échantillon pour la station de l'Oued Taria.

Tableau II.8: Les paramètres statistiques des pluies maximales journalières

| <b>Statistiques de base</b>     | Station de L'Oued Taria (1976-2020) |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Nombre de données</b>        | 44                                  |
| <b>Minimum</b>                  | <b>13.13</b>                        |
| <b>Maximum</b>                  | 48.6                                |
| <b>Moyenne</b>                  | 32.5                                |
| <b>Ecart-type</b>               | 8.0                                 |
| <b>Coeff. de variation (Cv)</b> | 0.25                                |

D'après le graphe d'ajustement pour la station de Saida ; on a remarqué que le modèle de Gumbel montre une adéquation plus nette.

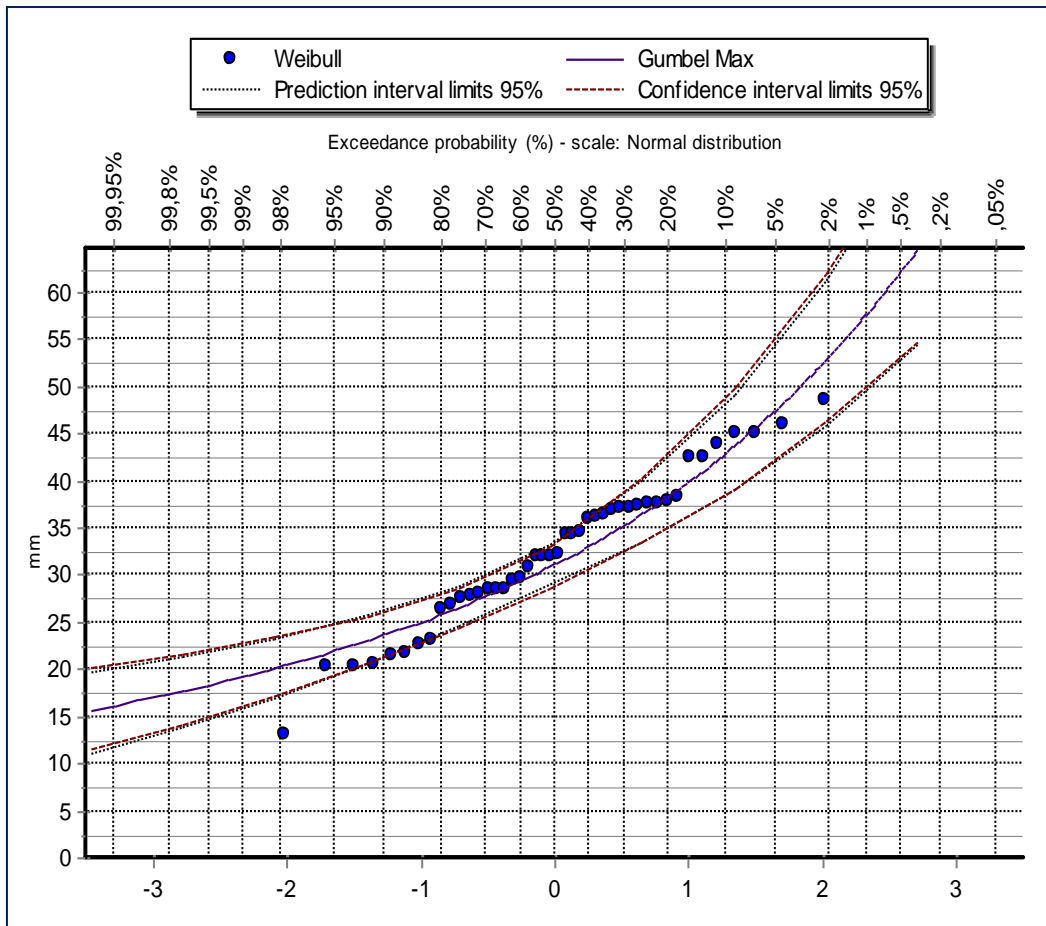
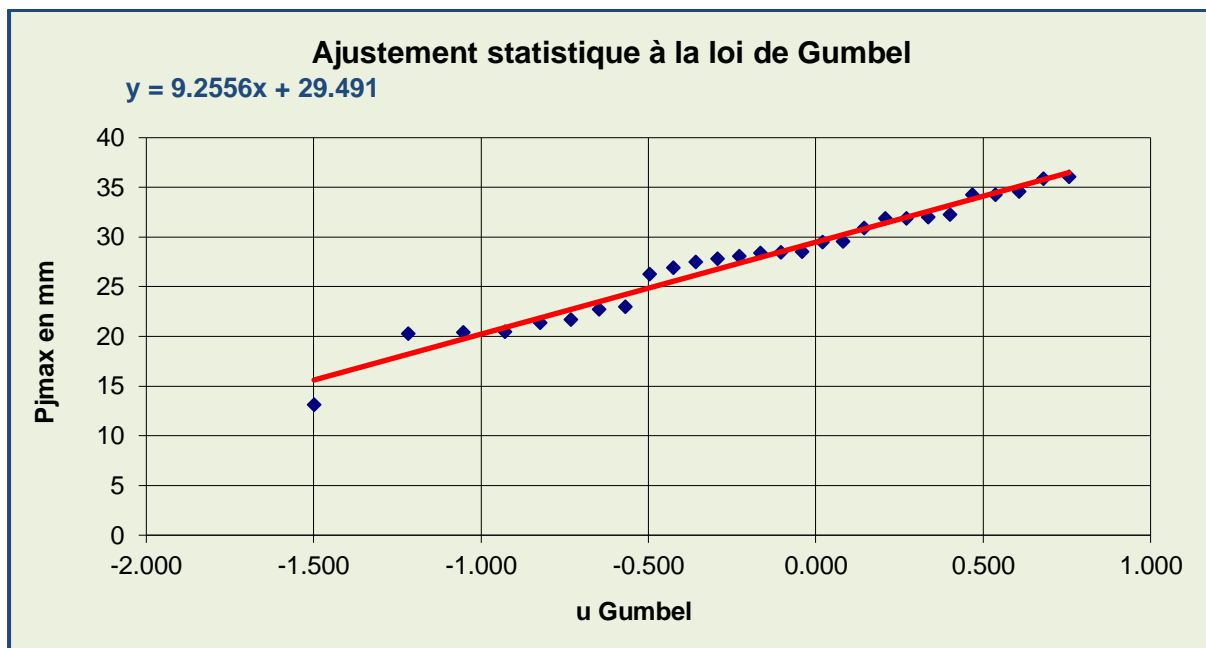


Fig. II.17: Ajustement des pluies maximales journalières de la station de Saida à la loi de Gumbel.

*a. Calcul de la pluie maximale journalière fréquentielle*

A partir de l'équation d'ajustement, on peut estimer les pluies journalières Maximales pour les périodes de retour  $T= 100, 50, 10, 5$  et deux ans

$$P_{jmax\%} = \left[ \frac{P_{jmax}}{\sqrt{Cv+1}} \right] e^{\mu \sqrt{\ln(Cv^2+1)}}$$



**Figure II.18 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies journalières maximales (1977-2014).**

La ligne droite d’ajustement approche des valeurs observées, ce qui signifie, qu’il y a une bonne corrélation donc l’ajustement est accepté.

Tableau II 9: valeurs de la pluie journalière maximale (Station de L’Oued Taria)

| Année | Fréquence | Variable reduite de Gumbel U | Pjmax |
|-------|-----------|------------------------------|-------|
| 2     | 0.5       | 0.37                         | 33    |
| 5     | 0.8       | 1.50                         | 43    |
| 10    | 0.9       | 2.25                         | 50    |
| 20    | 0.95      | 2.97                         | 57    |
| 25    | 0.96      | 3.20                         | 59    |
| 50    | 0.98      | 3.90                         | 66    |
| 100   | 0.99      | 4.60                         | 72    |

***b. Les pluies de courte durée :***

La pluie de courte durée est utilisée pour l'estimation des crues. Le calcul des pluies de courtes durées pour différentes fréquences à été effectuée à l'aide de la relation de Body exprimée par:  $P_{tc} = P_{max} (T / 24)^b$

Avec :

- $p_{tc}$  : Pluie de courte durée de fréquence égale à celle de  $p_{jmax}$  en mm
- $P_{jmax}$  : Pluie journalière maximale de fréquence voulue en mm
- $T$  = temps en heure.
- $b$  = coefficient climatique (pour notre région  $b=0,38$ ).

$$P_{tc} = p_{jmax}(0,796)$$

L'intensité de pluies est donnée par la formule suivante:

$$I_t = P_{tc} / t$$

L'intensité et la pluie de courte durée correspondante à un pas de temps variable, sont représentées pour les différentes fréquences, dans le tableau

Tableau II.10 : Pluies de courte durée et intensité

| Période de retour | 100       |           | 50        |           | 10        |           | 5          |            | 2          |            |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|
|                   | T         | Pct (mm)  | It (mm/h) | Pct (mm)  | It (mm/h) | Pct (mm)  | It (mm/h)  | Pct (mm)   | It (mm/h)  | Pc t(mm)   |
| 0,5               | 16.537156 | 33.074312 | 15.159059 | 30.318119 | 13.091915 | 26.183830 | 9.87635712 | 19.7527142 | 7.57952989 | 15.1590598 |
| 1                 | 21.520493 | 21.520493 | 19.727119 | 19.727119 | 17.037057 | 17.037057 | 12.8525169 | 12.8525169 | 9.86355948 | 9.86355948 |
| 2                 | 28.005518 | 14.002759 | 25.671725 | 12.835862 | 22.171035 | 11.085517 | 16.7255182 | 8.3627591  | 12.8358628 | 6.4179314  |
| 3                 | 32.670689 | 10.890229 | 29.948132 | 9.9827107 | 25.864295 | 8.6214319 | 19.5116618 | 6.50388728 | 14.9740661 | 4.99135535 |
| 4                 | 36.444753 | 9.1111884 | 33.407691 | 8.3519227 | 28.852096 | 7.2130242 | 21.7656169 | 5.44140422 | 16.7038455 | 4.17596138 |
| 5                 | 39.669874 | 7.9339748 | 36.364051 | 7.2728103 | 31.405317 | 6.2810634 | 23.6917306 | 4.73834612 | 18.1820258 | 3.63640516 |
| 6                 | 42.515735 | 7.0859559 | 38.972757 | 6.4954596 | 33.658290 | 5.6097151 | 25.3913422 | 4.23189037 | 19.4863789 | 3.24772982 |
| 7                 | 45.080578 | 6.4400826 | 41.323863 | 5.9034090 | 35.688791 | 5.0983987 | 26.9231232 | 3.84616046 | 20.6619318 | 2.95170454 |

|    |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 8  | 47.427083 | 5.9283854 | 43.474826 | 5.4343533 | 37.546441 | 4.6933051 | 28.3245083 | 3.54056353 | 21.7374133 | 2.71717666 |
| 9  | 49.598024 | 5.5108916 | 45.464855 | 5.0516506 | 39.265102 | 4.3627891 | 29.6210424 | 3.29122693 | 22.7324279 | 2.52582532 |
| 10 | 51.624068 | 5.1624068 | 47.322062 | 4.7322062 | 40.869053 | 4.0869053 | 30.8310406 | 3.08310406 | 23.6610312 | 2.36610312 |
| 11 | 53.528052 | 4.8661866 | 49.067381 | 4.4606710 | 42.376375 | 3.8523977 | 31.9681426 | 2.90619478 | 24.5336908 | 2.23033553 |
| 12 | 55.327506 | 4.6106255 | 50.716881 | 4.2264067 | 43.800942 | 3.6500785 | 33.0428164 | 2.75356803 | 25.3584405 | 2.11320337 |
| 13 | 57.036215 | 4.3874011 | 52.283197 | 4.0217844 | 45.153670 | 3.4733592 | 34.0632951 | 2.62025347 | 26.1415986 | 2.0108922  |
| 14 | 58.665243 | 4.1903745 | 53.776473 | 3.8411766 | 46.443317 | 3.3173798 | 35.0361871 | 2.5025848  | 26.8882366 | 1.92058833 |
| 15 | 60.223626 | 4.0149084 | 55.204990 | 3.6803327 | 47.677037 | 3.1784691 | 35.966888  | 2.39779253 | 27.6024954 | 1.84016636 |
| 16 | 61.718849 | 3.8574280 | 56.575611 | 3.5359757 | 48.860755 | 3.0537972 | 36.8598681 | 2.30374176 | 28.2878058 | 1.76798786 |
| 17 | 63.157192 | 3.7151289 | 57.894092 | 3.4055348 | 49.999443 | 2.9411437 | 37.7188787 | 2.21875757 | 28.9470465 | 1.70276744 |
| 18 | 64.543985 | 3.5857769 | 59.165319 | 3.2869622 | 51.097321 | 2.8387400 | 38.5471022 | 2.14150568 | 29.5826599 | 1.6434811  |
| 19 | 65.883792 | 3.4675680 | 60.393476 | 3.1786040 | 52.158002 | 2.7451580 | 39.3472652 | 2.07090869 | 30.1967384 | 1.58930202 |
| 20 | 67.180560 | 3.3590280 | 61.582180 | 3.0791090 | 53.184610 | 2.6592305 | 40.1217236 | 2.00608618 | 30.7910902 | 1.53955451 |
| 21 | 68.437723 | 3.2589392 | 62.734580 | 2.9873609 | 54.179864 | 2.5799935 | 40.8725295 | 1.94631093 | 31.3672901 | 1.49368048 |
| 22 | 69.658295 | 3.1662861 | 63.853437 | 2.9024289 | 55.146150 | 2.5066432 | 41.601482  | 1.89097646 | 31.9267188 | 1.45121449 |
| 23 | 70.844934 | 3.0802145 | 64.941189 | 2.8235299 | 56.085573 | 2.4385031 | 42.3101691 | 1.83957257 | 32.4705949 | 1.411765   |
| 24 | 72        | 3         | 66        | 2.75      | 57        | 2.375     | 43         | 1.79166667 | 33         | 1.375      |

*a. Les courbes IDF*

Les courbes IDF sont établies sur la base de l'analyse d'averses enregistrées à une station au cours d'une longue période.

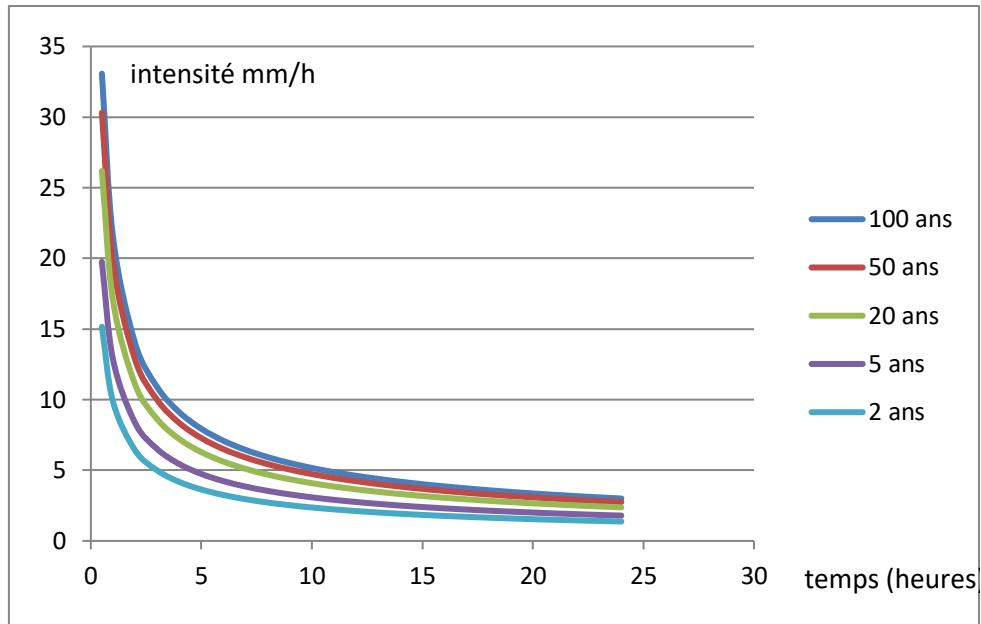


Figure II 19 : Courbe Intensité-Durée-Fréquence.

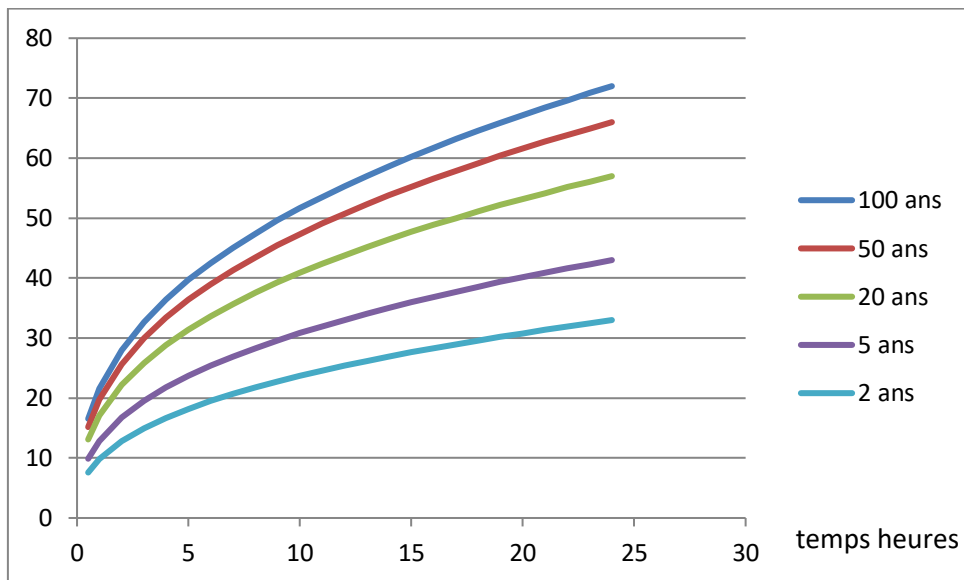


Figure II 20: Courbe des pluies à courte durée

La pluie maximale journalière correspondante au temps de concentration 14 h et pour une période de récurrence de 100 ans, est de 57.31 mm, et l'intensité maximale 4.09 mm/heure.

## CONCLUSION :

D'après l'étude métrologique du Bassin versant d'Oued Taria, on a les résultats suivants:

- Pour l'indice de pente globale  $i_g=0.56\%$  et l'indice de pente  $I_p = 0,86\%$  traduit l'évolution géomorphologique de l'ensemble de bassin, ce qui indique que l'érosion est faible.
- Rapport de confluence  $R_c=4,47$  Cette valeur indique que bassin versant de L'OUED TARIA a une bonne organisation.
- Pour le dénivelé spécifique  $D_s = 318$  m ce qui indique que le relief est fort.
- Densité de drainage  $D_d= 0.75$  Km/Km<sup>2</sup> indique un réseau hydrographique bien hiérarchisé et bien drainé.
- Temps de concentration  $t_c= 14$ h .
- La pluie maximale journalière correspondante au temps de concentration 14 h et pour une période de récurrence de 100 ans, est de 57.31 mm, et l'intensité maximale 4.09 mm/heure.

# CHAPITRE III: APPLICATION DU MODELE HEC-HMS



### **III.1 Introduction :**

Avant de présenter l'analyse des crues ainsi que les événements pluies-débits, on insistera une fois encore sur le fait que le rôle de l'ingénieur est d'identifier les facteurs dominant du comportement hydrologique d'un bassin versant ainsi que de quantifier leur importance. Dans cet esprit, notre travail s'intéresse à la modélisation hydrologique des bassins versants de l'Oued Taria.

Le modèle utilisé offre une grande liberté dans la modélisation du bassin versant grâce aux nombreux éléments composant le bassin versant qu'à la variété des théories proposées pour modéliser le ruissellement, les infiltrations, l'écoulement en rivière, ou encore la répartition des pluies. Après une période de familiarisation, il a été donc nécessaire d'obtenir les données correspondantes aux modèles choisis : l'ensemble, données et modèles, constitue la modélisation de l'événement en première partie.

### **III.2 Etapes d'une simulation avec HEC-HMS :**

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 bases de données nécessaires concernant le bassin versant étudié pour l'application du modèle HEC-HMS sont :

\_ Les caractéristiques morphométriques des bassins :

- Les surfaces des sous bassins.
- Type de sol.
- Couverture végétale.

\_ Les caractéristiques météorologiques :

- Les précipitations.
- L'évapotranspiration.

\_ Les données de spécifications du contrôle :

- La date initiale.
- La date finale.
- L'intervalle de temps de calcul.

La modélisation de la réponse d'un bassin versant soumis à un phénomène pluvieux sous le modèle HEC-HMS est découpée en trois parties :

- la modélisation du bassin versant
- la modélisation de la météorologie
- les spécifications de contrôle

Ces trois composantes permettent donc d'utiliser différents types de méthodes pour la modélisation du bassin versant, différentes pluviométries pour la météorologie et la composante spécification de contrôle permet de spécifier chaque cas par la date du début et la date de la fin de la simulation ainsi que le pas de temps choisi pour la modélisation.

### III.3 Modélisation du bassin versant :

La modélisation proposée a pour objectif d'estimer le débit maximal probable des bassins versants de l'Oued Taria ainsi que le volume à son exutoire. Ce bassin versant a une superficie d'environ 1357.36 km<sup>2</sup> et découpé en (05) cinq sous-bassins.

Pour modéliser ce bassin nous considérerons donc les cinq (05) sous-bassins qui le constituent, ainsi que deux (02) biefs qui transitent le volume d'eau de chacun de ces sous-bassins vers l'exutoire du bassin au site du (Barrage de Wizert). La représentation des sous bassins est schématisée sous le logiciel HEC-HMS par la figure suivante :

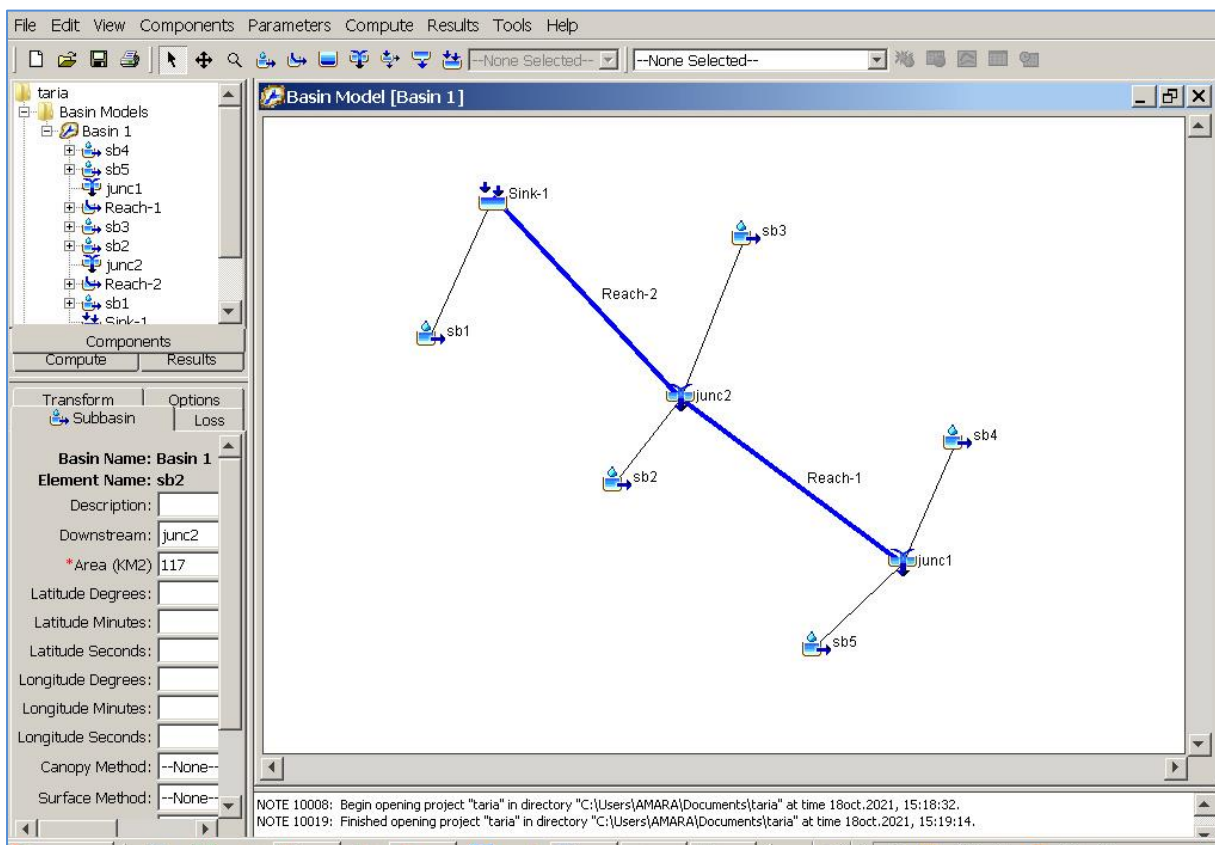


Figure III.1 : Représentation du bassin versant de L'Oued Taria dans le modèle HEC-HMS.

#### III.3.1 Infiltrations :

Un assortiment de méthodes diversifiées est disponible pour simuler les pertes par infiltration. Des options pour une modélisation éventuelle comprennent des infiltrations initiales et constantes, le nombre de la courbe SCS, le nombre de la courbe SCS par maillage, et la méthode de Green et Ampt. Le déficit pour une couche superficielle du sol et le modèle de perte constante. Toutes ces méthodes peuvent être utilisées pour une modélisation simple et continue de l'infiltration et de l'évapotranspiration. Dans notre étude on prend la méthode de SCS (CN), puis qu'elle est simple et facile à appliquer.

La méthode de "CurveNumber" (CN) du service de conservation de l'USDA (SCS, USDA), connue également sous le nom de la méthode de couverture hydrologique des sols, est un procédé simple largement utilisé pour l'évaluation de l'écoulement superficiel. Dans cette méthode, l'écoulement superficiel est exprimé par une valeur numérique variant entre 0 ÷ 100. Durant ces trente (30) dernières années, la méthode de SCS a été utilisée par de nombreux chercheurs et a donné des résultats satisfaisants dans l'évaluation de l'écoulement superficiel. (Messak .A.2015)

### **III.3.2 Ruissellement :**

La modélisation du ruissellement sous le logiciel HEC-HMS se fait par l'intermédiaire de la méthode des hydrogrammes unitaires. Le modèle retenu est celui de l'hydrogramme unitaire de SCS (SCS unit hydrograph).

Ce modèle donne une relation empirique entre l'excès de précipitations et le ruissellement direct. La méthode de l'hydrogramme unitaire vise à déterminer l'hydrogramme de ruissellement direct à l'exutoire d'un bassin versant à partir des hyétoigrammes de l'averse correspondante reçue par ce même bassin.

L'hydrogramme unitaire par la méthode (SCS) est basé sur la transformation des pluies en débit avec l'utilisation du temps de réponse (ou retard) ( $T_{lag}$ ), qui est le décalage de temps entre le centre de la masse pluviale et le sommet de l'hydrogramme unitaire des crues. On considère d'après les données expérimentales nombreuses que :  $T_{lag} = 0.6 T_c$ , avec ;  $T_c$  : est le temps de concentration.

### **III.3.3 Les données de bases d'entrée :**

Les données nécessaires à la modélisation des sous-bassins dépendent des méthodes utilisées pour l'infiltration, le ruissellement et les écoulements souterrains. Nous ne considérerons ici aucun écoulement souterrain compte tenu du fait que nous n'avons pas de données les qualifiantes, qui laisse sous entendre une influence négligeable de ces écoulements.

Les données de base d'entre du bassin versant utilisées sont présentées dans le tableau suivant ; et la seule donnée invariante est la superficie de chacun de ces sous bassins

**Tableau III.1** : Données de base des sous-bassins

| Désignations               | Sb1    | Sb2    | Sb3    | Sb4    | Sb5    |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Surface (km <sup>2</sup> ) | 391.11 | 117    | 223    | 345.06 | 274.2  |
| Curve number (CN)          | 63     | 65     | 70     | 75     | 60     |
| Standard lag (min)         | 242.64 | 194.04 | 276.48 | 311.4  | 373.68 |
| Initial abstraction (mm)   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Imperméabilité (%)         | 3      | 8      | 20     | 10     | 5      |

Les paramètres propres à chaque sous-bassin et au tronçon de rivière sont incorporés en cliquant sur l'icône correspondant à l'élément choisi dans l'explorateur et en précisant les paramètres des onglets Loss, Transform, Baseflow, Subbasin et Routing de l'Éditeur.

L'élément de sous bassin représente un bassin complet. Les suppositions sont faites pour étudier les trois processus suivants séparément : perte (loss), transformation (transform), et écoulement de base (baseflow). La partie de la précipitation qui tombe sur la surface de terre s'infiltré finalement dans le sol devenir un écoulement souterraine ou filtration profonde : cette partie représente les pertes de précipitations.

Tous les processus de l'infiltration sont représentés avec une méthode d'estimation des pertes.

La pluie qui ne s'infiltré pas est automatiquement transformée en un ruissellement.

Tous les processus hydrologiques et hydrauliques représentant la genèse de l'écoulement concentré dans les cours d'eau sont considérés dans les modèles de transformation.

On suppose dans notre cas qu'on a pas un écoulement de base ou débit d'étiage (None).

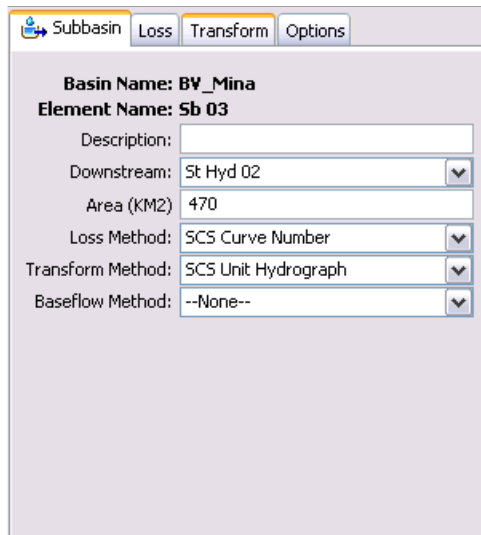


Figure III.2 : Fenêtres des données de l'élément (sous bassin)

#### III.4 Modélisation de la météorologie :

Diverses méthodes sont proposées pour la modélisation d'un épisode pluvieux, connu ou non. Nous disposons cependant la pluie hypothétique basée sur la fréquence (Frequencystorm). Pour chaque fréquence nous avons calculé les quantités de pluies correspondantes à différents pas de temps (15min, 1, 2, 3, 6, 12, 24, ...).

A partir de courbes IDF. Nous avons obtenu donc une série de données des précipitations pour chaque pas de temps et de chaque fréquence, qui représente les données météorologiques utilisées dans le modèle HEC HMS :

Pour notre projet on a utilisé la méthode de l'averse fréquentielle (frequencystorm), cette dernière peut être utilisée pour créer une pluie synthétique à une probabilité connue.

Les données pluviométriques de fréquence 1% sont insérées dans la figure suivante

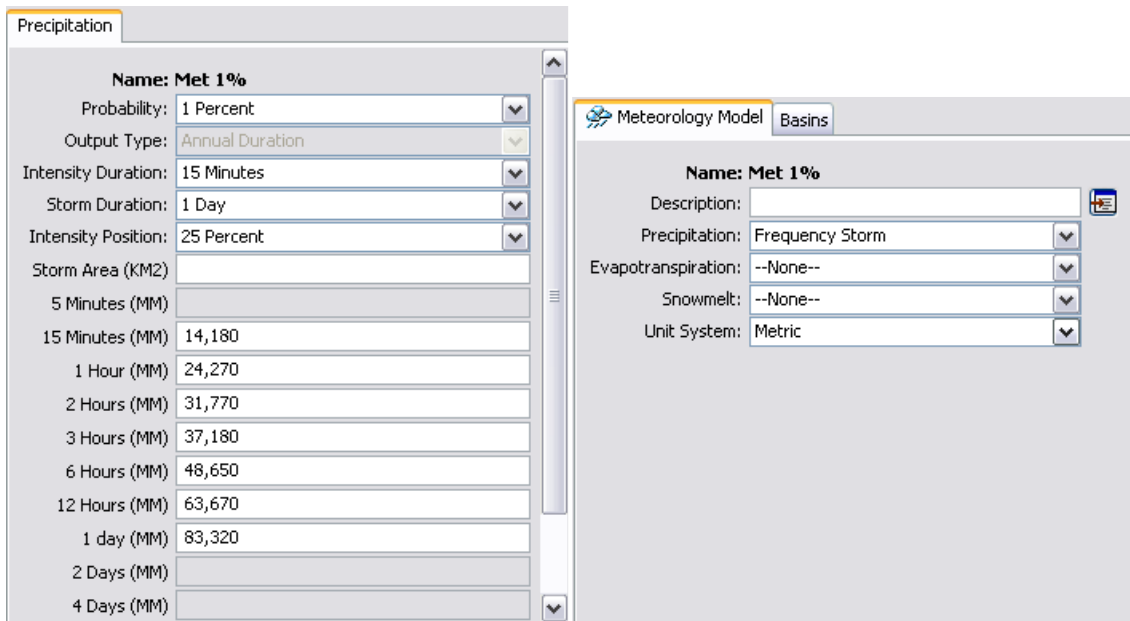


Figure III.3 : Fenêtres des données météorologiques de fréquence de 1%

### III.5 Les données de spécifications de contrôle :

Les spécifications de contrôle sont l'une des composantes exigées pour une exécution du logiciel, avec un modèle de bassin versant et un modèle climatique. La date initiale et le temps de calcul ainsi que la date et le temps finaux sont spécifiés dans la fenêtre (Control specification) voir figure III.6. L'intervalle du temps, aussi appelé pas de temps de calcul, est aussi spécifié. L'intervalle du temps (Yt) détermine la précision dans les résultats de calcul. La gamme des intervalles disponibles comprenant les intervalles de 1 minute à 24 heures est donnée comme suit :

$$t = 0.29T_{Lag} = 0.174T_c$$

T<sub>c</sub> : temps de concentration

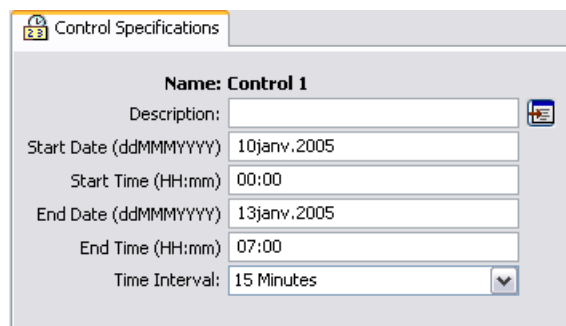


Figure III.4 : Fenêtre de spécifications du contrôle

### III.6 Exploitation des résultats

#### III.6.1 Débits et volumes obtenus :

Le tableau suivant représente les potentialités superficielles simulées au niveau de chaque site ainsi que les volumes apportés durant l'événement par chaque sous bassins du modèle et le volume total écoulé, particulièrement à l'exutoire du site du Barrage de Wizertoù est évalué le débit de pointe de crue de fréquence 1% à près de 200.8 m<sup>3</sup>/s, avec un apport liquide d'environ de 14.6789 Hm<sup>3</sup>.

**Tableau III.2 : Débits et volumes obtenus**

| Element hydrologique | Surface de drainage km <sup>2</sup> | Debit de Pointe (m <sup>3</sup> /s) | Temps de pic | Volume ruisselé M <sup>3</sup> |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------|--------------------------------|
| Sb1                  | 345,06                              | 104,2                               | 15:00        | 2786,6                         |
| Sb2                  | 117,00                              | 19,1                                | 14:00        | 1128,3                         |
| Sb3                  | 223,00                              | 49,0                                | 15:00        | 2994,2                         |
| Sb4                  | 345,06                              | 104,2                               | 15:00        | 6294,5                         |
| Sb5                  | 274,20                              | 24,2                                | 01:00        | 1473,9                         |
| Éxutoire             | 1350,37                             | 200,8                               | 01:00        | 14678,9                        |

Les figures (III.5) illustrent les hydrogrammes de crue du sous bassins sb1, sb2, sb3, sb4, sb5. L'allure des courbes d'ascension est en ascension faible jusqu' à 12h de temps, après une ascension très rapide ce qui signifié une saturation de sol, Les courbes de la décrue moyennement rapide jusqu'à 24h de temps à cause de la surface du sous bassins.

Les pertes par infiltration du chaque sous bassin représente plus 80 % de la pluie totale, donc(le sol duces sous bassin a une grande capacitéd'infiltration à cause de sa nature agricole, forestière et urbaine où CN varie de 60 à75). Tableau III-1 ; tableau III-2

**Tableau III.3 : Résultats de simulation du sous bassin 1**

| <b>Element</b> | <b>Précipitationtotale<br/>(Hm<sup>3</sup>)</b> | <b>Pertetotale<br/>(Hm<sup>3</sup>)</b> | <b>Pluienne<br/>(Hm<sup>3</sup>)</b> |
|----------------|---|---|--------------------------------------|
| Sb1            | 25.88   | 23.01                                   | 2.78                                 |
| Sb2            | 8.05  | 6.82                                    | 1.28                                 |
| Sb3            | 15.08   | 12.01                                   | 2.99                                 |
| Sb4            | 22.91   | 16.61                                   | 6.29                                 |
| Sb5            | 18.32   | 16.85                                   | 1.47                                 |
| Éxutoire       | 11.83   | 0                                       | 0                                    |



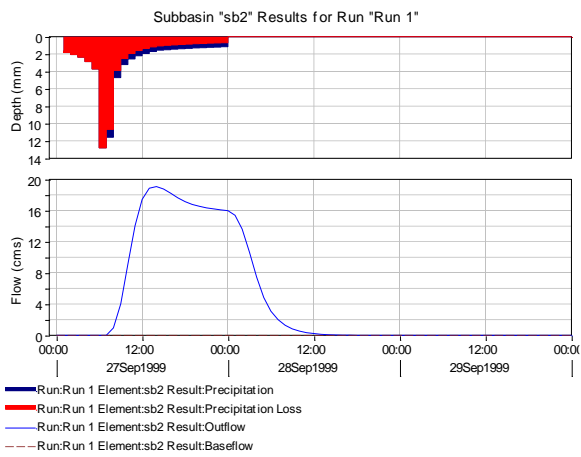
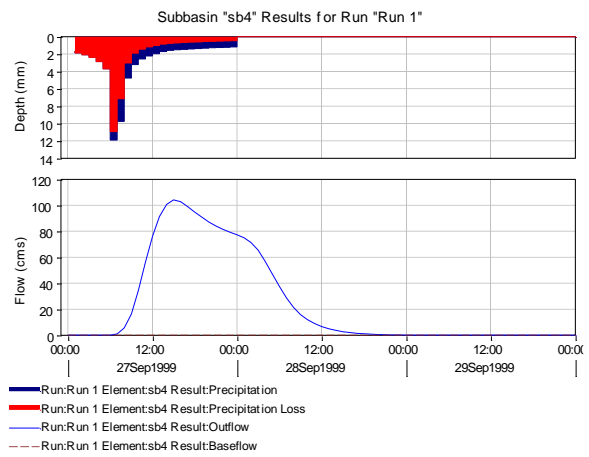
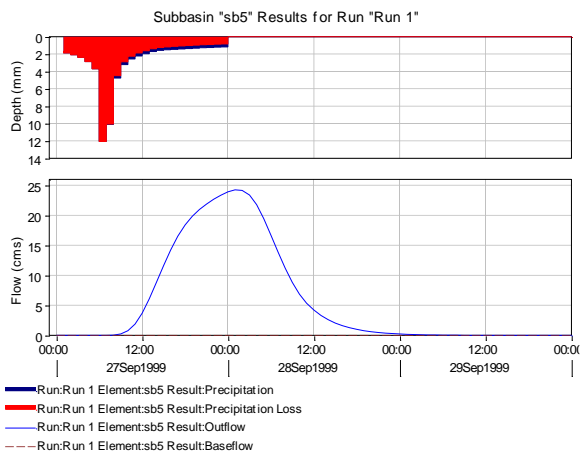
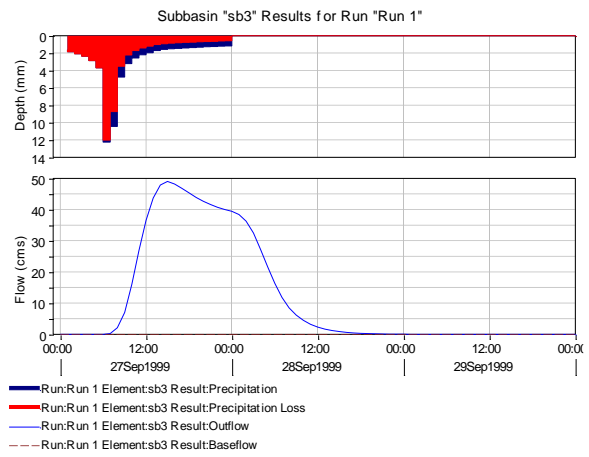
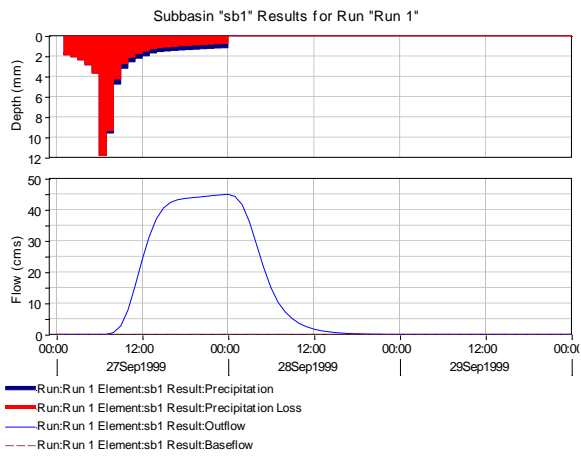


Figure III-5 : hydrogramme de crue de chaque sous bassin

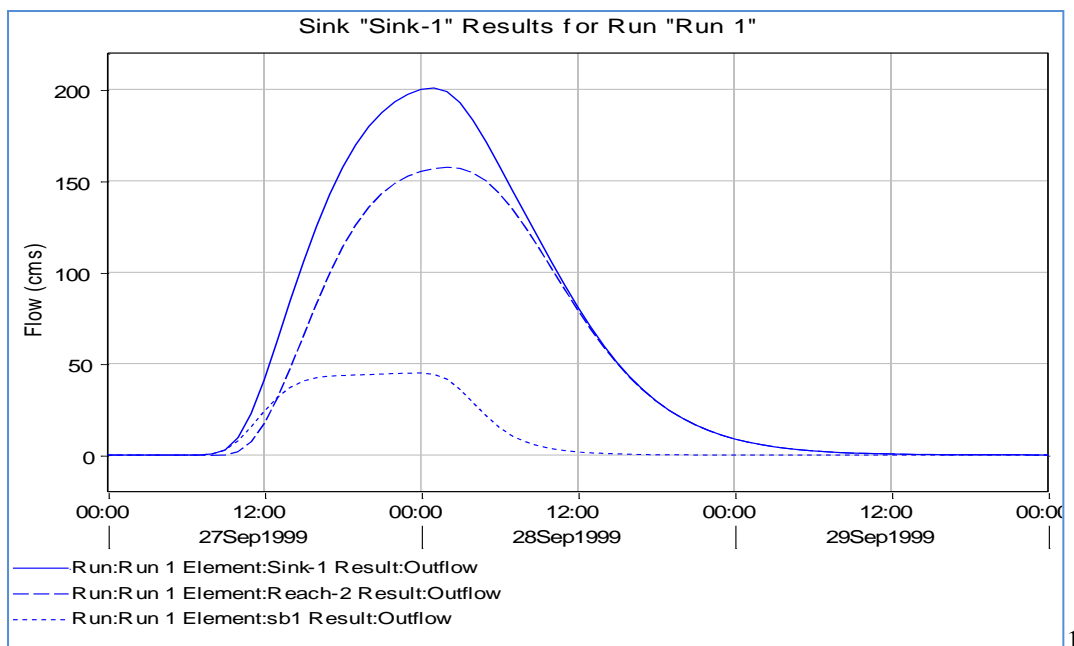


Figure III.6 : Hydrogramme de crue à l'exutoire

### III.6.2 ETUDE DE LA PERFORMANCE DU MODELE

Deux fonctions objectives ont été utilisées dans l'optimisation des paramètres du modèle Hydrologique (CN et lag time) à savoir : L'erreur moyenne quadratique (RMSE) et le pourcentage d'erreur du débit de pointe (PEPD). Dans cette partie l'optimisation a été appliquée sur l'exutoire de bassin qui est doté d'une station de jaugeage.

. A partir de cette station nous avons pu construire l'hydrogramme de crue observé pendant la période de 27 et 28 septembre 1999.

#### III.6.2.1 Optimisation par la fonction objective RMSE :

La figure (III.) illustre une optimisation des données de l'hydrogramme simulé et l'hydrogramme observé ; la différence entre débit simulé et observé (Tableau III.) est estimé à -8.9 m<sup>3</sup>/s (4.5 %), et le volume ruisselé est de 5.98 mm (40 %), avec une différence de temps de pic estimée à 6 heures.

La comparaison de l'hydrogramme observé et simulé et de la performance du modèle Nash\_sutcliffe (NSE = -0.416)

| Mesures          | Simulé             | Observé            | Différence | Différence % |
|------------------|--------------------|--------------------|------------|--------------|
| Volume (mm)      | 10,27              | 4,29               | 5,98       | 58           |
| Débit de pointe  | 188,1              | 197,0              | -8,9       | -4,5         |
| Temps de pic (h) | 28sept.1999, 00:00 | 27sept.1999, 18:00 |            |              |

Tableau III.4 la différence entre débit simulé et observé

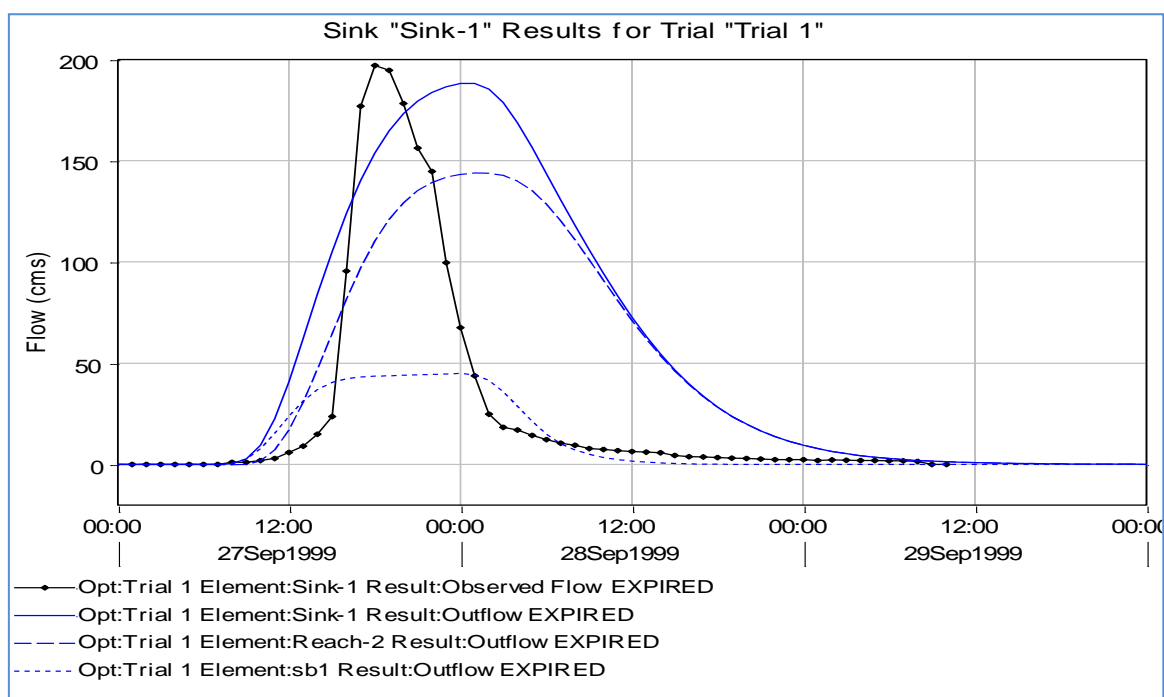


Figure III. 7: Optimisation des résultats des débits simulés et observés par la méthode RMSE

Tableau III.5 : Optimisation des paramètres CN et Lag time par RMSE

| Elément | Paramètre | Unité | Valeur initiale | Valeur optimisée |
|---------|-----------|-------|-----------------|------------------|
| Sb5     | SCS-CN    |       | 60              | 54,23            |
| Sb5     | Lag time  | Min   | 373.68          | 566.07           |

L'optimisation par la fonction objective RMSE pour le paramètre de nombre de courbes (CN) montre que la valeur optimisée du CN est idéale à la valeur 54.23 pour un lag time optimisé de 566.07 min.

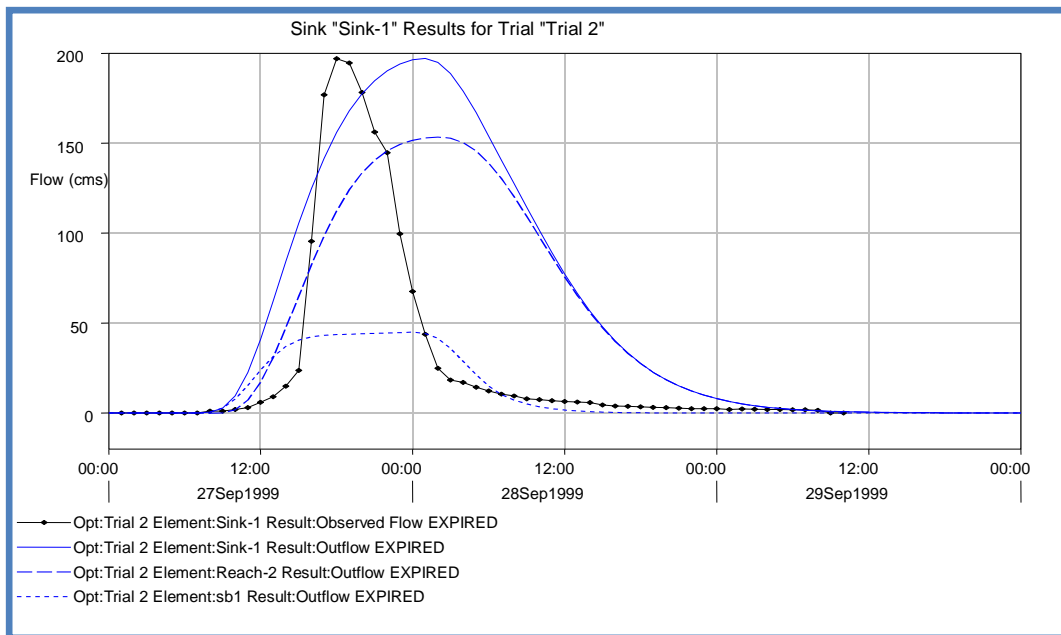
### III.6.2.2 Optimisation par la fonction objective PEPD

La figure (III.8) illustre une optimisation des données de l'hydrogramme simulé et L'hydrogramme observé ; la différence entre débit simulé et observé (Tableau III.6) est estimé à zéro, et le volume ruisselé est de -6.32mm (59 %), avec une différence de temps de pic estimée à 6 heures.

La comparaison de l'hydrogramme observé et simulé et de la performance du modèle Nash\_sutcliff (NSE = -0.602) a montré que le modèle était approprié pour les simulations hydrologiques dans le bassin versant de l'oued Taria

**(Tableau III.6) la différence entre débit simulé et observé**

| Mesures                 | Simulé                    | Observé                   | Différence  | Différence % |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------|--------------|
| <b>Volume (mm)</b>      | <b>10,61</b>              | <b>4,29</b>               | <b>6.32</b> | <b>59</b>    |
| <b>Débit de pointe</b>  | <b>197.1</b>              | <b>197,0</b>              | <b>0.1</b>  | <b>0</b>     |
| <b>Temps de pic (h)</b> | <b>28sept.1999, 00:00</b> | <b>27sept.1999, 18:00</b> |             |              |



**Figure III. 8:** Optimisation des résultats par la méthode PEPD

| <b>Elément</b> | <b>Paramètre</b> | <b>Unité</b> | <b>Valeur initiale</b> | <b>Valeur optimisée</b> |
|----------------|------------------|--------------|------------------------|-------------------------|
| <b>Sb5</b>     | <b>SCS-CN</b>    |              | <b>60</b>              | <b>57.76</b>            |
| <b>Sb5</b>     | <b>Lag time</b>  | <b>Min</b>   | <b>373.68</b>          | <b>344.72</b>           |

Tableau III.7 valeur optimisée et initial

L'optimisation par la fonction objective PEPD pour le paramètre de nombre de courbes (CN) montre que la valeur optimisée du CN est idéale à la valeur 57.76 pour un lag time optimisé de 344.72 min.

### III.7. Comparaison entre les fonctions objectives RMSE et PEPD

L'optimisation des paramètres CN et lag time par les deux fonctions objectives RMSE et PEPD a montré que lag time est très sensible dans le cas de la fonction objective RMSE illustrée dans le tableau par rapport à la fonction objective PEPD.

Et que l'optimisation par PEPD donne des résultats plus performants et représentatifs que celle par RMSE. (Performance du modèle Nash\_sutcliffe  $NSE = -0.602$ ).

## Conclusion générale

La modélisation du comportement hydrologique des bassins versants est incontournable dès lors que l'on s'intéresse aux problématiques relatives à la gestion des ressources en eau, à l'aménagement du territoire, ou à l'une des différentes facettes du risque hydrologique (inondation, sécheresse). Elle est sensée pouvoir décrire de façon fidèle les différentes étapes de la transformation pluie en débit, et en particulier les processus liés à la formation des crues et à l'apparition des étiages.

Elle est sensée aussi fournir des informations exploitables pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques, de protection contre les crues ou pour la gestion hydrologique du bassin versant étudié.

L'outil de modélisation retenu dans cette étude est le modèle américaine HEC-HMS, développé par le (US Army Corps of Engineers). Ce modèle est conçu pour simuler les précipitations en ruissellement par plusieurs méthodes, parmi ces nombreux méthodes on a utilisés les méthodes de SCS (Soil Conservation Service) puisqu'elle est simple a appliquées et qui n'exigent pas beaucoup de paramètres comme les autre méthodes incluent sur ce modèle.

La simulation donne un débit de pointe de fréquence 1% égal à  $200.8\text{m}^3/\text{s}$  relativement assez comparable avec le débit de pointe observé.

Afin de démarrer l'étude de performance de modèle. La simulation pluie-débit a été réalisée à l'aide d'événements extrêmes. Les premiers résultats ont montré qu'il existait une nette différence entre les débits et les volumes maximaux observés et simulés dans la zone d'étude. Par conséquent, la performance du modèle a été effectuée pour optimiser les paramètres. Pour connaître le paramètre le plus sensible dans la simulation, une analyse de sensibilité a été réalisée. Le modèle pluie-débit a été évalué en fonction de deux fonctions objectives à savoir le pourcentage d'erreur du débit de pointe (PEPD) et l'erreur quadratique moyenne (RMSE). Les résultats de comparaison entre les débits simulés et les débits observés ont montré que le Lag time est très sensibles dans le cas de la fonction objective RMSE par rapport à la fonction objective PEPD. (Après optimisation, le débit de pointe et le volume de ruissellement optimisés par RMSE sont moins proches des observations avec une erreur de pic de (- 4.5 %) et une erreur de volume (58 %). Par contre le débit de pointe optimisé par PEPD représente une erreur de pic de (0%) et le volume de ruissellement optimisé par PEPD est moins proche des observations avec une erreur de volume (59 %). Enfin, la méthodologie développée dans

ce travail peut également être appliquée dans d'autres bassins versants non jaugés et régions présentant des caractéristiques similaires.

Donc on peut dire que le modèle HEC-HMS peut être utilisé en Algérie comme modèle performant pour le calcul des débits de pointe de projet (barrage, protection contre les inondations,...) au niveau des bassin versant qui ne comporte aucune station hydrométrique, (aux bassins versant non jaugés).

## Références bibliographiques ;

1. Abu El-Nasr, A., Arnold, J.G., Feyen, J. and Berlamont, J.,2005. Modeling the hydrology of a catchment using a distributed and a semi distributed model. *Hydrological Processes* 19, 573–587.
2. Ali, M.; Khan, S.J.; Aslam, I.; Khan, Z. Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of LaiNullah Basin in Islamabad, Pakistan. *Landsc. Urban Plan.* 2011, 102, 271–279.
3. Beven K., (2001), *Rainfall-Runoff modelling. The Primer.* John Wiley and Sons, Chichester, UK, 1-360 pp.
4. El Alfy, M. Assessing the impact of arid area urbanization on flash floods using GIS, remote sensing, andHEC-HMS rainfall-runoff modelling. *Hydrol. Res.* 2016, 47, 1142–1160.
5. Ghumman, A.R.; Al-Salamah, I.S.; AlSaleem, S.S.; Haider, H. Evaluating the impact of lower resolutions ofdigital elevation model on rainfall-runoff modelling for ungauged catchments. *Environ. Monit. Assess* 2017,189, 54.
6. Pushpalatha, R., Perrin, C., Le Moine, N., Andréassian, V. (2012). « A review of efficiency criteria suitable for evaluating low-flow simulations ». *Journal of Hydrology*, Volume 420- 421, p. 171-182. DOI:10.1016/j.jhydrol.2011.11.055.
7. Ahmadalipour, A.; Moradkhani, H. Analyzing the uncertainty of ensemble-based gridded observations inland surface simulations and drought assessment. *J. Hydrol.* 2017, 555, 557– 568.
8. Ibrahim-Bathis, K.; Ahmed, S.A. Rainfall-runoff modelling of Doddahalla watershed—An application ofHEC-HMS and SCN-CN in the ungauged agriculturalwatershed. *Arab. J. Geosci.* 2016, 9, 170.
9. Halwatura, D.; Najim, M.M.M. Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropicalcatchment. *Environ. Model. Softw.* 2013, 46, 155–162.
10. Yilma, H.M.; Moges, S.A. Application of semi-distributed conceptual hydrological model for flow
11. Anshuman, A.; Eldho, T.I.; Poovakka, A.K. Performance Evaluation of SWAT with a Conceptual Rainfall RunoffModel GR4J for a Catchment in Upper Godavari River Basin; Indian Institute of Technology Bombay: Powai,India, 2018



12. Gupta, H.V.; Kling, H.; Yilmaz, K.K.; Martinez, G.F. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *J. Hydrol.* 2009, *377*, 80–91.
13. Borah, D.K., 2011. Hydrologic procedures of storm event watershed models: A comprehensive review and comparison. *Hydrol. Processes* *25*, 3472–3489
14. Wheater H.S., (2002), Progress in and prospects for fluvial flood modelling. 360 (1796), *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A-Mathematical Physical and Engineering Sciences*.
15. Beven, K.J. *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. John Wiley & Sons: Chichester, UK; Wiley-Blackwell: Hoboken, NJ, USA, 2012.
16. Beven K., (2001), *Rainfall-Runoff modelling. The Primer*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 1-360 pp.
17. Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L. and Harmel, R.D., Veith, T.L.
18. (2007). « Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations ». *Transactions of the ASABE*, Volume 50, n°3, p. 885-900.
19. LAOUACHERIA F., MANSOURI R. 2015. Comparison of WBNM and HEC-HMS for runoff hydrograph prediction in a small urban catchment. *Water Resources Management*. Vol. 29 p. 2485–2501. DOI 10.1007/s11269015-0953-7
20. US Army Corps of Engineers (2011) *Sustainable Solutions to America's Water Resources Needs*. Department of the Army, Corps of Engineers, Civil Works Strategic Plan 2011-2015. (May 2011).
21. BENHAMIDCHA ESMA (2019). *Modelisation Hydrologique Du Bassin Versant De L'oued Saf Saf Par Hec-Hms Mémoire de Master 2*. Université Badji Mokhtar-Annaba
22. Mekamene nour el imene . 2016 *Etude d'une zone inondable bassin versant Oued Taria Mémoire master2*. Université Oran2.
23. MESSAK Abdelkader. 2015 **MODELISATION PLUIE-DEBIT DES BASSINS VERSANTS DE L'OUED MINA : APPLICATION DU MODELE HYDROLOGIQUE HEC-HMS** .mémoire magister Université des Sciences et de la Technologies d'Oran Mohamed BOUDIAF.

