



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de
L'Enseignement Supérieur
Et de la Recherche Scientifique
Université d'Oran 02 Mohamed Ben Ahmed
Faculté Science de La Terre et L'univers
Département Géologie
Spécialité : Hydro systèmes et Ressources en Eau

Mémoire
Présenté pour l'obtention du diplôme de Master II

Prédétermination des débits de crue par différentes méthodes cas bassin versant d'Oued Taria mascara (nord-ouest Algérie)

Présenté par : HAREB Nada Assinet

Devant la commission d'examen :

Nom et Prénoms	Grade	Etablissement
Mme. BAKRITI	Maitre de conférences	ORAN 2-MBA Présidente
Mme. BELKHIR	MAA	ORAN 2-MBA Rapporteur
Mr. SAFA	Maitre de conférences	ORAN 2-MBA Examineur

2021/2022

Dédicaces

À ma mère,

À mon père,

À mes sœurs,

À tous mes ami(e)s,

À tous ceux qui me sont chers.

Je dédie ce travail

HRB, NADA ASSINET

Remerciement

A Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage, la santé, et m'a accordé son soutien durant les périodes les plus difficiles.

Tout d'abord, mes sincères remerciements sont adressés à mon encadrante Mme

BELKHIR,

Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude pour avoir encadré ce mémoire et pour tous ces précieux conseils, son aide lors de mon travail.

Je remercie Mme. BAKRITI, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury de soutenance de ce mémoire.

J'exprime toute ma gratitude à Mr. SAFA, d'avoir accepté de faire partie de ce jury et d'examiner ce travail.

Je souhaiterais remercier toute l'équipe de département de géologie, pour avoir bien voulu porter une attention particulière à ce travail et d'avoir accepté de m'aider et à tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé :

L'estimation des débits maximums dans les bassins non jaugés présente un grand défi. Les formules utilisées dans le contexte Algérien ont été développées pour être utilisées dans des zones bien précises. Les erreurs qu'engendre l'utilisation de ces formules peuvent entraîner soit une mauvaise utilisation des ouvrages hydrauliques, soit des dépenses inutiles. Dans ce travail, l'analyse de l'erreur d'utilisation de ces formules dans

le bassin versant Oued Taria, a été établi. Aussi la modélisation pluie_débit à l'aide de modèle HEC_HMS a été mise à l'épreuve dans cette étude. Les résultats ont montré que la modélisation pluie_débit est la plus fiable avec une erreur relative de -1.5% (T=100ans) et Les deux formules utilisées pour la détermination des débits de crue (formule de Turazza et celle de Sokolovsky) ont abouti à des résultats identiques à celles mesurés au niveau de la station de jaugeage ; avec des erreurs relatives de 4.5% et 9% pour(T=5ans)

Mots clés : débits, bassins non jaugés, modélisation pluie_débit, Sokolovsky ; Turazza.

Summary :

Estimating maximum flows in ungauged basins presents a great challenge. The formulas used in the Algerian context have been developed to be used in specific areas. Errors caused by the use of these formulas may lead either to improper use of the hydraulic structures, or to unnecessary expenses. In this work, the analysis of the error of use of these formulas in the Oued Taria watershed, has been established. Also the rainfall_flow modeling using the HEC_HMS model was tested in this study. The results showed that the hydrologic modeling is the most reliable with a relative error of -1.5% (T=100 years) and The two formulas used to determine the flood flows (Turazza formula and that of Sokolovsky) led to results identical to those measured at level of the gauging station; with relative errors of 4.5% and 9% for (T=5 years)

Keywords : discharges, ungauged basins, pluie_débit modeling, Sokolovsky; Turazza

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux.....	i
Liste des figures	ii
Introduction générale	1
Chapitre 01 : Synthèse bibliographique	
Introduction.....	2
I. Généralités sur les crues pluviales.....	2
I.1-Définition d'une crue.....	2
I.2- Objectifs de l'analyse des crues.....	3
I.3- Variabilité spatio-temporelle d'une crue.....	3
I.4- Caractéristiques des crues.....	4
I.4.1-La hauteur de crue.....	5
I.4.2- Le débit de pointe de la crue.....	5
I.4.3- Volume de la crue.....	5
I.4.4- Durées relatives à un seul événement de crue.....	5
I.4.5- La fréquence d'apparition d'une crue et la notion de temps de retour.....	6
I.4.6- Processus physiques responsable de la genèse et de la propagation des crues.....	7
II. Estimation du débit maximum d'une crue.....	8
II.1- Méthodes basées sur l'historique des crues.....	8
II.2- Les méthodes probabilistes.....	8
II.2.1- La méthode du GRADEX	8
II.2.2- Les méthodes reposant sur l'association d'un générateur stochastique de pluie et d'un modèle pluie-débit	9
II.3- Formules et méthodes empiriques et semi empiriques	9
II.3.1- La méthode rationnelle.....	9
II.3.2- Formule d'Iskowski (1886).....	10
II.3.3 Formule de Turraza.....	10
II.3.4- Formule de Sokolovsky (1968).....	11
II.3.5 -Formule de Possenti.....	11
II.3.6 Formule de Mallet-Gauthier.....	12
II.3.6 Formule de Mallet-Gauthier.....	12
II.3.7 Formule de Giandotti.....	12
III. Hydrogramme unitaire.....	13
Conclusion.....	13

Chapitre 02 : présentation de la zone d'étude

I. Présentation du bassin versant de l'Oued taria.....	14
I.1- Situation topographique.....	16
II. Géologie.....	18
III. Etude du réseau hydrographique.....	19
IV. le climat.....	21
IV.1-Température mensuelle et annuelle.....	21
IV.2- Humidité relative.....	21
IV.3- Evaporation.....	22
IV.4-Analyse de pluies maximales journalières.....	23
IV.4.1- Ajustement des pluies maximales journalières.....	24
a. Calcul de la pluie maximale journalière fréquentielle.....	25
b. Les pluies de courte durée.....	27
c. Les courbes IDF.....	28

Chapitre 03 : Estimation des débits de crue

Introduction.....	29
I. Ajustement des débits max par Gumbel.....	29
II. Modélisation pluie_ débit.....	32
II.1- La fonction de transfert SCS UH (Hydrogramme unitaire duSCS.....	32
II.2- Le concept de base.....	33
II.3 Les données de bases d'entré.....	34
III. Résultats de simulation du débit à l'exutoire pour différentes périodes de retour.....	35
IV. Calcule de débits max par formules empiriques.....	38
IV.1-Formule de TURAZZA.....	40
IV.2-Formule de Mallet et Gauthier.....	41
IV.3- Formule de GIONDOTTI.....	41
IV.4- formules de SOKOLOVSKY.....	42
V. Comparaison.....	42
V.1- Calcul d'erreur relative.....	43
Discussions.....	43
Conclusion générale	43
Références bibliographiques	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Valeur de γ en fonction de bassin versant.

Tableau II.1 : Les Caractéristiques physiques du bassin versant de L'oued Taria sont résumées

Tableau II.2 : Les paramètres qui caractérisent la forme du réseau hydrographique

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

Tableau II.4 : présente les températures mensuelles. T_{min} - T_{moy} - T_{max} de la station de TARIA [1978 à 2006].

Tableau II.5 : humidité relative en %

Tableau II.6 : L'évaporation moyenne mensuelle (O.N.M).

Tableau II.7 : Les paramètres statistiques des pluies maximales journalières

Tableau II.8 : valeurs de la pluie journalière maximale (Station de L'Oued Taria)

Tableau II.9 : Pluies de courte durée et intensité

Tableau III.1 : Les paramètres statistiques des débits maximaux journaliers

Tableau III.3 : Données de base des sous-bassins

Tableau III.2 : Crues maximums probables dans le bassin versant :

Tableau III.5 : Calcul le débit max (Q_{max})

Tableau III.6 : le débit maximum pour différente périodes.

Tableau III.7 : Calcul du débit max par la formule de GIONDOTTI.

Tableau III.8 : f en fonction

Tableau III.9 : Les résultats regroupés

Tableau III.10 : Erreur relative d'estimation de débit maximum du bassin de L'oued Taria

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Crue simple et crue complexe

Figure I.2 : les différentes phases d'une crue décrites par un hydrogramme

Figure I.3 : Durées caractéristiques relatifs à un hydrogramme de crue

Figure I.4 : schéma général du processus de transformation pluie-débit

FigureII.1 : Situation du bassin versant de l'Oued Taria dans l'ensemble des bassins versants algériens

Figure II.2 : carte des sous-bassins de la Macta.

FigureII.3 : Situation du bassin versant de l'Oued Taria dans la Macta

FigureII.4 : Classification de pentes du bassin versant de l'Oued Taria

Figure II.5 : Carte hypsométrique dans le bassin versant d'Oued Taria

FigureII.6 : Carte du réseau hydrographique dans le bassin versant d'oued Taria

Figure II. 7 : températures moyennes

Figure II. 8 : Valeurs Moyennes

Figure II.9 : évaporations moyennes en (mm)

Figure II.10 : Représentation graphiques des précipitations maximales journalières fréquentielles

Figure II.11 : Ajustement des pluies maximales journalières de la station de Saida à la loi de Gumbel

Figure II.12 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies journalières maximales

(1977-2014

Figure II.13 : Courbe Intensité-Durée-Fréquence.

Figure II .14 : Courbe des pluies à courte durée

Figure III.1 : Ajustement des débits maximaux journaliers de la station De L'Oued Taria à la loi de Gumbel.

Figure III.2 : Représentation du bassin versant de L'Oued Taria dans le modèle HEC-HMS

Figure III.3 : Résultats de simulation du débit à l'exutoire

Figure III.4 : Hydrogrammes des débits simulés par HEC_HMS pour différentes périodes de retours

Figure III.5 : Résultats des débits de crue obtenus par différentes méthodes

Introduction générale

Introduction général

Au cours des derniers siècles, l'Homme a naturellement peuplé les lits majeurs des rivières pour pouvoir utiliser toutes les richesses de celles-ci. Mais les crues peuvent engendrer des inondations qui causent chaque année des dégâts matériels et humains considérables du fait de la présence de plus en plus importante d'activités humaines au bord des rivières. Lorsque, la montée des eaux des rivières a lieu de façon récurrente avec une ampleur plus ou moins importante.

Les crues sont considérées comme un événement climatique extrême. Souvent qualifiée de risque naturel, elle est lourde de conséquences (pertes humaines, sociales, économiques et environnementales) tant pour les pays développés que pour les nations en développement bien que tous ne soient pas affectés de la même manière. La capacité à gérer l'impact de l'inondation varie également d'un pays, d'une région, d'une communauté et d'un groupe de population à l'autre.

En Algérie on règne un climat caractérisé par une forte variabilité saisonnière des précipitations et donc des eaux de ruissellement concentrées en période hivernale. Cette variabilité saisonnière double d'une variabilité inter annuelle. L'eau risque de devenir un facteur limitant du développement futur, et l'objet de compétition entre ses différents secteurs potentiels.

La prévision des événements hydrologiques extrêmes sont autant d'exercices qui nécessitent de connaître les débits maximum d'un cours d'eau et leur variabilité car c'est d'elle que va dépendre la sécurité et la pérennité de la construction des ouvrages. Ce débit de pointe peut être obtenu à partir de l'analyse statistique de la série des débits enregistrés et à partir de l'analyse statistique des données de précipitations accompagnée de l'étude des caractéristiques du bassin versant. De ce fait, ce travail vise à explorer des formules empiriques de détermination de débit maximum et en accord avec la nature des données disponibles ; les précipitations et les caractéristiques du bassin, ainsi que la modélisation pluie-débit pour estimer les probabilités de crues extrêmes.

Dans cette étude on effectuera une analyse de ces méthodes dans le bassin jaugeé Oued Taria dans le but de comparer les résultats obtenus avec le débit mesuré dans la station hydrométrique. Pour ce faire, on a procédé comme suit :

Chapitre 01 : Ce chapitre présente une recherche bibliographique des études concernant les méthodes et les formules empiriques de calcul de débit maximum.

Chapitre 02 : Dans ce chapitre, nous allons présenter la zone d'étude : les caractéristiques géographiques topographiques et climatiques ainsi l'analyse des pluies journalières maximales et l'établissement des courbes IDF

Chapitre 03 : Nous avons examiné le comportement des débits extrêmes en se basant sur une série de débits maximums enregistrés à la station d'oued Taria , et reconstituer les débits de crue à partir de l'équation de l'ajustement à la loi statistique de Gumbel I. Ensuite, La modélisation pluie-débit a été établie à l'aide du modèle HEC_HMS. Enfin, nous avons reconstitué les débits de crue pour différentes périodes de retour dans le bassin versant à partir des précipitations observées, par le biais des formules empiriques de Turazza et de Sokolovski..Giandoti et Mallet Gautier et faire une comparaison entre ces différentes méthodes.

Chapitre 01

Synthèse bibliographique

Introduction :

De tout temps, l'estimation des crues a été un souci majeur, préoccupant tout ingénieur responsable de dimensionnement d'un ouvrage hydrotechnique.

L'étude des crues revêt une place importante dans une étude hydrologique et doit être menée avec prudence pour ne pas tomber dans des erreurs de sous-estimation ou de surestimations compromettant respectivement la sécurité de l'ouvrage et son environnement.

L'estimation des débits de crue et des volumes correspondants est l'étape initiale indispensable pour le dimensionnement rationnel des aménagements liés à la protection contre les crues et à la construction des barrages. Les méthodes d'évaluation sont nombreuses et dépendent de la diversité et de la complexité des facteurs qui déterminent les crues.

Avant toute étude de crue, il est important de définir ce qu'est une « crue » et quelles sont les principales variables à déterminer.

I. Généralités sur les crues pluviales

I.1-Définition d'une crue :

La crue est une phase du régime hydrologique d'un cours d'eau caractérisé par l'augmentation plus ou moins brutale du débit sous l'effet de facteurs extérieurs et maintenant ce débit au-dessus d'un seuil donné. L'élévation rapide du niveau d'eau peut produire non seulement le remplissage du lit mineur mais aussi la submersion du lit majeur.

Le choix du seuil dépend de l'importance du cours d'eau. Très souvent ce seuil est estimé égal à la moyenne interannuelle de l'écoulement ; c'est-à-dire que toute crue dont le coefficient de l'écoulement moyen est supérieur ou égal à celui de l'écoulement moyen interannuel du cours d'eau est considérée comme crue et peut faire l'objet d'une étude précise.

Selon le CNFSH (2000), en général, on distingue deux types de crues : les crues fluviales et les crues torrentielles même si le passage de l'une à l'autre se fait de façon continue. Les crues fluviales, souvent saisonnières, affectent les cours d'eau importants aux vastes bassins versants en général la montée des eaux y est lente. Les crues torrentielles ou rapides, subites, brutales, soudaines ou encore éclair affectent n'importe quelle partie du réseau hydrographique ; elles sont souvent dues à des pluies de caractère convectif très violentes et localisées elles sont caractérisées par une évolution très rapide, la montée des eaux étant très brutale. Cependant, certains hydrologues désignent par "la crue" l'épisode complet de crue et décrue jusqu'au retour à un régime non influencé. La crue est simple, si elle présente une seule pointe. Elle est dite complexe si elle présente plusieurs pointes comme le montre la figure suivante.

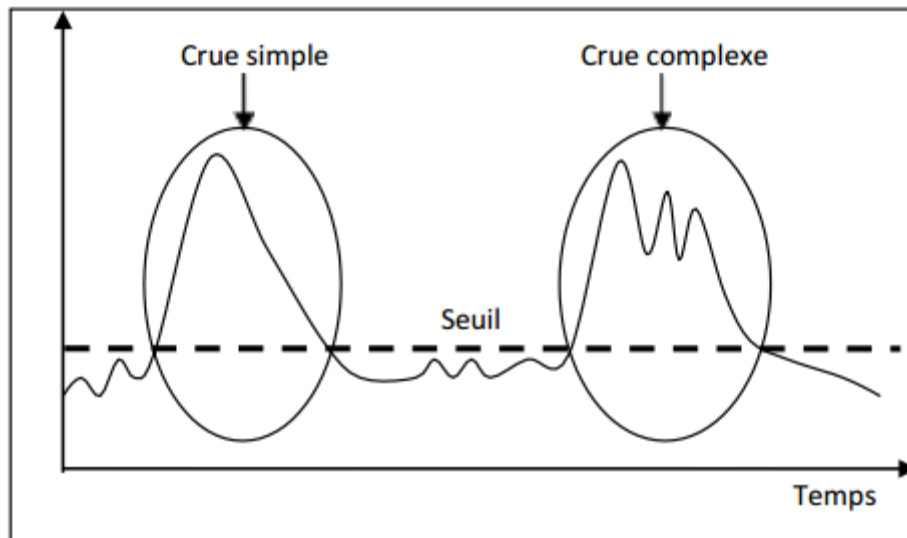


Figure I.1 : Crue simple et crue complexe

I.2- Objectifs de l'analyse des crues :

L'objectif final de l'analyse des crues est de déterminer le degré et la fréquence selon lesquels elles interfèrent avec la vie et les activités normales d'une collectivité, afin qu'on puisse prendre des mesures préventives appropriées. Etant donné qu'une crue peut avoir des effets fâcheux de type divers, dont chacun peut être rapporté à des caractéristiques différentes, l'objet de l'analyse n'est d'ordinaire par la crue en soi, mais certains de ses aspects particuliers, à savoir ceux qui sont dans le rapport le plus étroit avec le risque dont il s'agit. En général, on cherche à déterminer un hydrogramme vrai semblable d'une crue probable en respectant la liaison génétique de ces principales caractéristiques, à savoir le débit de pointe, le temps de montée, le temps de base et le volume d'eau écoulé durant la crue. Pour simplifier l'analyse, on suppose d'ordinaire que la plupart des effets fâcheux des crues peuvent être rapportés de façon convenable à leurs débits de pointe, qui sont ainsi devenus l'objet le plus fréquent de l'analyse.

I.3- Variabilité spatio-temporelle d'une crue :

Pour décrire un phénomène qui varie à la fois dans l'espace et dans le temps, on peut utiliser un observateur virtuel qui décrit le phénomène.

Considérons dans un premier temps un observateur fixe, posté à un endroit donné le long du cours d'eau. Il perçoit la variabilité temporelle du débit de la rivière et de la hauteur d'eau. La variation du débit au cours du temps est appelée hydrogramme de crue (figure.I.2). Ce schéma peut aussi être décrit par une chronologie de processus. Au plus fort de la crue, le débit maximal de la rivière est appelé débit de pointe de la crue. Le débit de la rivière varie en permanence tout au long de la crue. La pointe de la crue correspond à un laps de temps limité, et difficile à définir précisément, par rapport à la durée totale de l'événement.

La variabilité à la fois temporelle et spatiale de la crue implique qu'on ne peut pas la décrire complètement en un seul lieu et à un instant choisis à priori. Dans le cas des rivières de grand bassin, la variabilité spatio-temporelle est forte car les bassins versants sont plus hétérogènes en termes de géologie et de pluviométrie. Pour décrire un événement de crue en tout point du bassin versant une approche spatialisée est nécessaire, or la plupart des données disponibles sont localisées

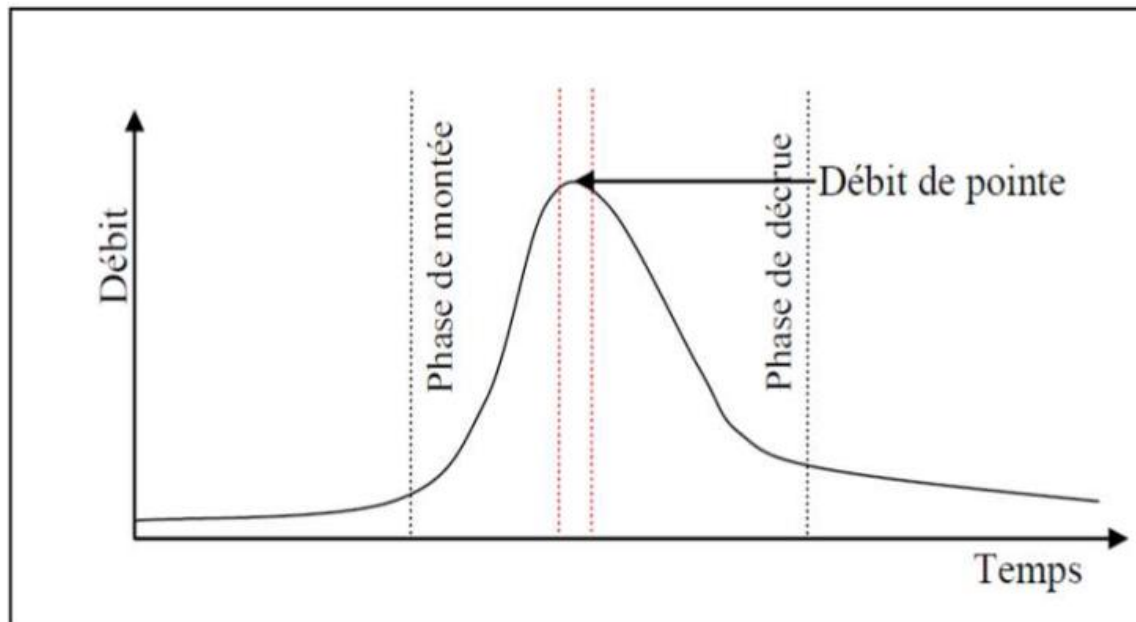


Figure I.2 : les différentes phases d'une crue décrites par un hydrogramme

I.4- Caractéristiques des crues :

Du point de vue de la gestion, la crue se caractérise essentiellement par le degré auquel elle interfère avec les activités humaines, qui se mesure par l'ampleur des pertes économiques effectives ou virtuelles et par son danger pour les vies humaines. Pour un tronçon de rivière et pour une utilisation donnée des terres qui le bordent, la gravité d'une crue dépend généralement de son "amplitude". Bien qu'intuitivement il paraisse clair, ce terme a en fait un sens très vague, car il peut se rapporter à plusieurs caractéristiques physiques de l'onde de crue.

I.4.1-La hauteur de crue :

La hauteur de crue est la hauteur maximale atteinte par l'eau au cours de la crue. Théoriquement c'est la caractéristique la plus importante, puisque c'est d'elle que dépend le débordement. Hydrologiquement, ce n'est pas la plus indiquée pour une évaluation de la crue, puisqu'elle varie d'un point à un autre et caractérise donc une section transversale donnée, mais non l'onde de crue se déplaçant le long du cours. De plus, la hauteur n'est pas toujours le meilleur indicateur de la gravité de la crue. Par exemple, une crue provoquée par un orage d'été peut être très haute, mais souvent de courte durée et de volume relativement

réduit. En conséquence, l'inondation ne cause pas nécessairement beaucoup de dégâts, car elle met en cause une petite quantité d'eau et les terrains ne restent que peu de temps sous l'eau.

I.4.2- Le débit de pointe de la crue :

Le débit de pointe de la crue est la valeur maximale instantanée du débit pendant la crue. C'est une caractéristique hydrologique très commode car elle se rapporte à l'onde de crue et non pas à une section transversale particulière. Bien qu'elle ne demeure pas constante à mesure que la crue descend le cours d'eau. Le débit de crue ne dépend pas non plus des variations locales du lit (érosion, sédimentation) comme la hauteur de crue.

C'est donc une caractéristique plus représentative non seulement pour la crue elle-même, mais aussi pour toute section transversale donnée. Autre avantage le débit de pointe d'une crue coïncide étroitement avec le moment où l'eau atteint son niveau maximal, ce qui donne donc une bonne indication de la hauteur. En réalité, ce débit de pointe est atteint avant le niveau maximal mais, dans la plupart des cas, la différence entre ce niveau maximal et celui qui correspond au débit de pointe est négligeable (Pierre Javelle, 2001).

I.4.3- Volume de la crue :

Le volume de la crue équivalant au volume d'eau transité par le système durant toute la durée de la crue, constitue une caractéristique indispensable chaque fois que les dégâts dépendent de la quantité d'eau qui inonde et dans les cas d'intervention visant à réduire le débit de pointe.

I.4.4- Durées relatives à un seul événement de crue :

La notion de durée est indispensable dans la description du régime des crues. C'est pourquoi de nombreuses durées ont été définies par les hydrologues. Les temps caractéristiques définis ci-dessous sont tous relatifs à un événement de crue. Ce sont des ordres de grandeurs, plutôt que des valeurs calculables avec précision. En effet, leur définition fait référence à une représentation très simplifiée de la transformation pluie-débit (en particulier les écoulements sont supposés être majoritairement des ruissellements). Les définitions suivantes sont issues de Roche (1963) citées par Pierre Javelle (2001).

Temps de réponse : Le temps de réponse est l'intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie efficace de la pointe de l'hydrogramme.

Temps de montée : Il s'agit de la durée écoulée entre le début de l'arrivée à l'exutoire du «ruissellement» et le maximum de l'hydrogramme.

Temps de base : Le temps de base est la longueur sur l'abscisse de la base de l'hydrogramme de ruissellement

Temps de concentration : Le temps de concentration est la durée que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin hydrauliquement la plus éloignée de l'exutoire. On peut l'estimer en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie efficace et la fin du ruissellement.

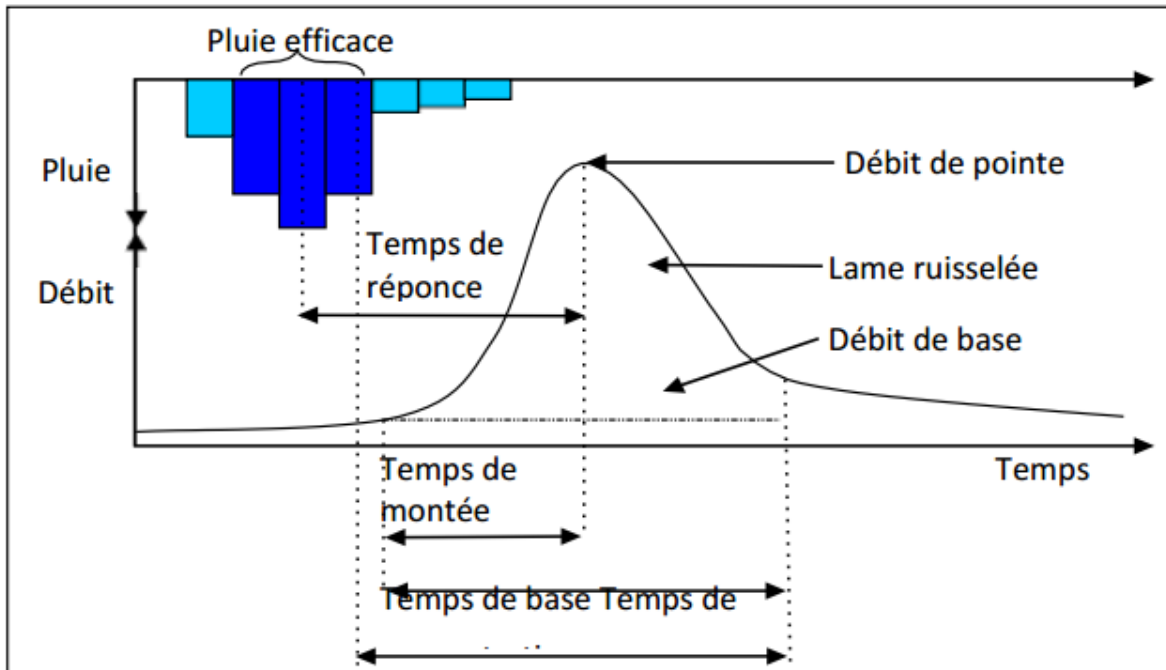


Figure 1.3 : Durées caractéristiques relatives à un hydrogramme de crue

I.4.5- La fréquence d'apparition d'une crue et la notion de temps de retour :

Lorsque l'on étudie des grandeurs comme les débits de crues d'un point de vue statistique, on cherche en règle générale à déterminer la probabilité pour qu'un débit donné ne soit pas dépassé. On nomme cette probabilité fréquence de non-dépassement ou probabilité de non-dépassement. Son complément à l'unité est appelé probabilité de dépassement, fréquence de dépassement ou encore fréquence d'apparition. On définit alors le temps de retour T d'un événement comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement. Convenable pour une fin donnée, on recherche la fréquence des crues dont le volume dépasse un débit donné, ou de celles d'une certaine durée à certains niveaux de débit.

I.4.6- Processus physiques responsable de la genèse et de la propagation des crues :

Lorsqu'il pleut sur un bassin versant, toute la difficulté réside dans la définition du partage de l'eau de la pluie entre ces différentes destinations possibles (évaporation, infiltration ou ruissellement..) ainsi que dans la définition des processus physiques mis en jeu pour réaliser chacune de ces tâches.

La transformation de la pluie en hydrogramme de crue se traduit par l'application successive de deux fonctions, nommées respectivement fonction de production ou fonction d'infiltration et fonction de transfert (figure I.4). La fonction de production permet de déterminer le hyétogramme de pluie nette à partir de la pluie brute.

La fonction de transfert permet quant à elle de déterminer l'hydrogramme de crue résultant de la pluie nette. Le passage du hyétogramme de pluie à l'hydrogramme de crue fait intervenir toutes les caractéristiques météorologiques, physiques et hydrologiques du bassin versant considéré.

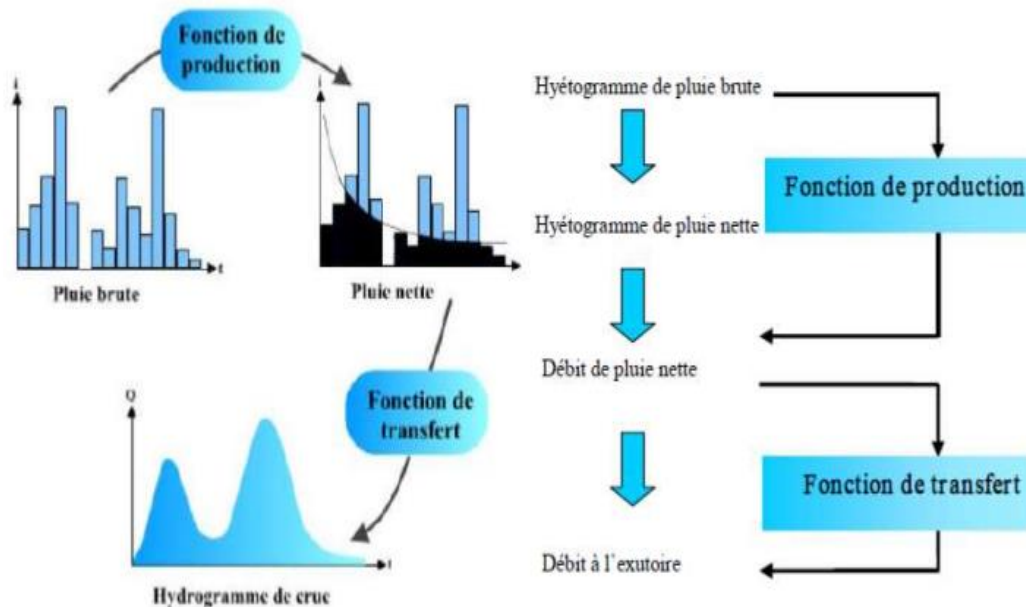


Figure 1.4 : schéma général du processus de transformation pluie-débit

II. Estimation du débit maximum d'une crue

Le choix du débit maximum d'une crue peut résulter soit d'une étude de conséquences soit il est fixé et ne doit pas dépasser, cela dépend de l'utilisateur. Plusieurs méthodes sont utilisées, le choix est très grand et très difficile où certains pays ont même normalisés la méthode d'estimation.

Ces méthodes peuvent être classées en trois groupes :

II.1- Méthodes basées sur l'historique des crues :

Cette méthode très ancienne repose sur l'idée qu'on ne verra jamais pire que ce qu'on a déjà vu dans un passé suffisamment répandu. Elle est toujours utilisée lorsqu'on ne dispose pas d'observations sur le débit maximum enregistré lors d'une crue exceptionnelle et où actuellement, on a la tendance à l'oublier.

L'information déduite des crues historiques est précieuse et constitue une banque de données très importante. Elle peut être définie comme l'étude des crues anciennes antérieures à leur mesure directe par des techniques modernes, dont le but est de définir des crues des périodes historiques en vue de compléter les données existantes, de les comparer avec d'autres méthodes et d'améliorer le degré de précision des valeurs résultant de l'application des méthodes d'extrapolation statistiques.

II.2- Les méthodes probabilistes :

Que l'on peut ranger en :

- Méthodes à échantillonnage fixé comme la méthode maximum annuelle qui est simple et très répandue dans le monde et qui reste très insuffisante pour des échantillons de taille inférieure à 30.
- Méthodes hydrométéorologiques comme les méthodes de Gradex mes valable pour des bassins versants limités ($S < 20\,000\text{ km}^2$) et homogènes.
- Méthodes stochastiques très utilisées pour simuler des variables complexes par la modélisation statistique du processus à l'échelle journalière et mensuelle. Cependant, elles contrôlent très mal les incertitudes (Masson, 1991)
- Méthodes du type renouvellement dont le principe est de probabiliser d'une part les débits de toutes les crues qui dépassent un certain seuil critique et d'autre part l'occurrence d'apparition dans le temps de ces crues pour recomposer par la suite ces deux aléas afin d'obtenir le risque annuel de dépassement d'un certain débit. L'avantage de cette méthode est de prendre en considération l'aspect temporel du processus et mieux analyser l'information (Masson, 1991).

II.2.1- La méthode du GRADEX :

La méthode du Gradex conçue par des ingénieurs d'Electricité de France ; Guillot et Duband en 1967, pour apporter une réponse au problème du dimensionnement des évacuateurs de crue des barrages hydro-électriques. Cette méthode exploite la forte liaison pluie-débit pour les fortes crues, elle se fonde sur trois hypothèses :

Les cumuls pluviographiques sur différentes durées suivent une loi exponentielle, souvent on prend celle de Gumbel. La pente des distributions de ces intensités sur papier de "Gumbel" est appelée Gradex. On choisira pour appliquer la méthode, une durée au moins égale au temps de concentration du bassin versant considéré. Dans la plupart des applications, on utilise les distributions des cumuls de pluie sur une durée de 24 heures, les données de pluies journalières étant plus nombreuses que les données pluviographiques mesurées à des pas de temps plus fins.

- Capacité limite de la rétention du sol atteinte à partir d'une certaine période de retour qui implique un parallélisme entre les distributions de pluie et de débit (calculés sur une même durée).
- L'invariance de la forme de l'hydrogramme de crue unitaire pour les fortes pluies : c'est-à-dire le rapport débit de pointe sur le débit moyen durant la crue, appelé « coefficient de forme » est indépendant du volume de la crue.
- Selon Eric Gaumme (2003), ces hypothèses ont été vivement critiquées (Beran, 1981 ; Reed, 1994) notamment la prise en compte du parallélisme asymptotique de la distribution des débits avec celle des pluies.

II.2.2- Les méthodes reposant sur l'association d'un générateur stochastique de pluie et d'un modèle pluie-débit :

Ce type d'approche est fréquemment utilisé dans le cadre de l'estimation des débits et des lames écoulées pour des fréquences rares dans le cas où peu de données pluie-débit sont disponibles. Il s'agit en fait de générer stochastiquement des chroniques de pluie simulées. A partir d'une chronique de pluies observées de 10 ans par exemple, on peut générer des chroniques de pluies simulées de 100 ou 1000 ans.

Ces chroniques de pluies simulées sont ensuite transformées en chroniques de débits simulés au moyen d'un modèle pluie-débit.

II.3- Formules et méthodes empiriques et semi empiriques

Ces formules sont nombreuses, elles sont basées sur l'expérimentation ou sur certaines informations propres à certaines régions pour lesquelles elles ont été déterminées. Ces formules empiriques sont à prendre avec précaution dans le sens où si elles sont valables dans une région, elles ne le sont pas dans d'autres et donnent souvent des valeurs sous-estimées ou surestimées.

II.3.1- La méthode rationnelle :

Le concept de la méthode ou formule rationnelle doit son origine à un ingénieur irlandais Mulvanay responsable de drainage agricole au siècle dernier (1850). Malgré de nombreuses hypothèses simplificatrices, c'est probablement de loin la formule la plus connue et la plus utilisée essentiellement à cause de sa simplicité. Sa conception est cependant fondée sur une loi physique extrêmement simplifiée : la lame d'eau écoulee est proportionnelle au volume précipité sur l'ensemble du bassin. Le coefficient de proportionnalité appelé coefficient de ruissellement est constant. Le volume de pluie précipite sur le bassin pendant une durée correspondant au temps de concentration du bassin. La méthode rationnelle suppose également que le temps de montée est égal au temps de concentration. Son expression est la suivante :

$$Q = u \cdot \alpha \cdot i \cdot S \quad (I-1)$$

α : Coefficient de ruissellement (ou coefficient d'écoulement) du bassin versant qui dépend de l'état du sol et de sa couverture végétale

i : Intensité de la pluie pour une durée choisie en fonction du temps de concentration T_c

S : Superficie du bassin versant

u : Coefficient qui est fonction des unités choisies.

Avec S en ha , i en mm/h et $u=0.0028$ on obtient Q en m^3/s .

II.3.2- Formule d'Iskowski (1886) :

Cette formule donne le débit maximum de crue (Q), en fonction de la pluviométrie annuelle Du bassin, elle exprime par la formule suivante :

$$Q_{\max} = n \cdot m \cdot \bar{P} \cdot A \quad (\text{I.2})$$

Où

Q max : débits maximums en m³/s

P : Précipitation moyenne interannuelle en mm

A : surface du bassin versant en km²

n : coefficient caractérisant la morphologie du bassin et le type de sol.

m : coefficient caractérisant la morphologie du bassin

II.3.3 Formule de Turraza :

Cette formule est un peu plus élaborée que les autres formules utilisant les précipitations car

Elle fait appel également au temps de concentration (tc) du bassin, i.e. le temps requis pour qu'une goutte d'eau tombée au point le plus en amont du bassin arrive jusqu'à l'exutoire. Elle peut s'exprimer ainsi (EMI, 1999). Cette formule ne tenant pas la fréquence.

$$Q_{\max} \% = \frac{C \cdot S \cdot I_{tc}}{3,6} \quad (\text{I.4})$$

Où

S : superficie du bassin versant (Km²).

Tc : temps de concentration. tc

It : intensité moyenne maximale de la précipitation pendant une durée égale au temps de concentration en (mm/h).

C : coefficient de ruissellement de la crue.

II.3.4- Formule de Sokolovsky (1968) :

La crue est considérée comme un débit max généré par une averse (une pluie) de courte durée correspondant au temps de concentration. Le temps démonté de la crue est donc pris égal au temps de concentration. (Bennis, 2004)

$$Q_{\max p\%} = \frac{0.28 \cdot (P_{ct} - H_0) \cdot \alpha \cdot F \cdot S}{T_c} \quad (I.5)$$

Avec :

F : Coefficient de forme de la crue : $F = 12 / (4+3.\gamma)$

Tableau I.1 : Valeur de γ en fonction de bassin versant.

Pour $1 < S < 50$ Km ²	$\gamma = 2$
Pour un bassin boisé avec un sol peu perméable	$2 \leq \gamma \leq 2.5$
Pour un bassin boisé	$3 \leq \gamma \leq 4$

S : Superficie du bassin [Km²].

T_c : temps de concentration[h]

P_{ct} : pluie fréquentielle de courte durée correspondant au temps de concentration.

H₀ : C'est la perte d'eau initiale. Au nord de l'Algérie H₀=7 mm

α : Coefficient de ruissellement de la crue pour une période donnée.

$$\alpha_p = \frac{\sqrt{X_p} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{X_p} + \sqrt{H_0}} \quad (I.6)$$

Avec :

X_p : précipitation de fréquence donnée qui correspond au temps de concentration. 0,28 coefficient de changement d'unité.

II.3.5 -Formule de Possenti :

Il s'agit d'une formule déterminée spécialement pour les torrents des Alpes. Elle donne le Débit maximum en fonction de la précipitation maximum en 24 heures. Son expression est donnée par (EMI, 1999) :

On a :

$$Q_{p\%} = \frac{\mu * P_{\max j\%} * S}{L_p} \quad (I.7)$$

Avec

Qp% : débit de pointe en m³/s

S : superficie du bassin versant (Km²).

Pmaxp% : Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée (mm).

μ : Coefficient compris entre (700 – 800) .

Lp : Longueur du cours d'eau principal (Km).

II.3.6 Formule de Mallet-Gauthier :

L'énoncé de la formule de Maillet et Gauthier pour l'estimation de la crue de période de retour T (Coutagne, 1951) est :

$$Q_{\max\%} = 2k \text{Log}(1 + AP) \cdot \frac{S}{\sqrt{L_p}} \cdot \sqrt{1 + 4 \text{Log}T - \text{Log}S} \quad (I.8)$$

S : superficie du bassin versant (Km²).

Lp: longueur du talweg principal (Km).

A : coefficient régional pris égal à 20.

K : constante comprise entre 1-3.

P : précipitation moyenne interannuelle en m.

T : période de retour en années.

II.3.7 Formule de Giandotti :

La méthode de Giandotti s'inspire des lois de ruissellement basées sur les caractéristiques Morphométriques du bassin versant ainsi que le temps de concentration. Cette formule Donne des résultats satisfaisants, particulièrement pour les bassins typiquement montagneux. (Bennis, 2004)

$$Q_{\max\%} = \frac{170 \cdot S \cdot (H_{\text{moy}} - H_{\text{min}})^{1/2}}{4(S)^{1/2} + 1.5L} \cdot P_{tc} \quad (I.9)$$

Q_{max} (%): débit maximum de crue en m^3/s de même fréquence que celle de la pluie de courte Durée.

S : superficie du bassin versant (km^2).

L : longueur du talweg principal (km).

Hmoy, Hmin : altitudes moyennes et minimales (en m).

Ptc: pluies de courte durée (m).

III. Hydrogramme unitaire

L'hydrogramme unitaire pour un bassin versant est défini comme l'hydrogramme de débit résultant d'une unité de volume d'écoulement direct répartie uniformément sur le bassin versant à une vitesse uniforme et pendant un intervalle spécifié (Mohamed salafi, 1999).

La mise au point de la méthode de l'hydrogramme unitaire est attribuée à Sherman 1932, son utilisation permet d'obtenir des hydrogrammes engendrés par n'importe quelle pluie.

.Les principales hypothèses de cette approche, citées par Llamas (1993), sont les suivants :

-L'univocité entre les précipitations et le débit pour des averses ayant les mêmes caractéristiques d'intensité et de durée.

-La linéarité entre les averses unitaires de différentes intensités et les débits correspondants.

-La répartition spatio-temporelle de la pluie efficace est la même pour toutes les pluies de durées identiques.

-L'invariance dans le temps, en effet pour deux pluies identiques en hauteur et en durée mais décaler dans le temps, les formes des hydrogrammes unitaires sont les mêmes. Selon ce concept, les temps de base sont égaux pour toutes les crues dues à des pluies de même durée, et deux crues générées par deux pluies de même durée sont alors proportionnelles (figure I.9). Par conséquent, l'hydrogramme de crue correspondant à une pluie d'une durée donnée est calculé par la convolution de l'hydrogramme unitaire.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes méthodes d'estimation de débit dans les bassins non jaugés ainsi que les formules appliquées dans le contexte Algérien. Un mauvais choix de la méthode d'estimation implique un surdimensionnement ou sous dimensionnement donc des coûts élevés des ouvrages ou bien risque d'inondation

Chapitre 02

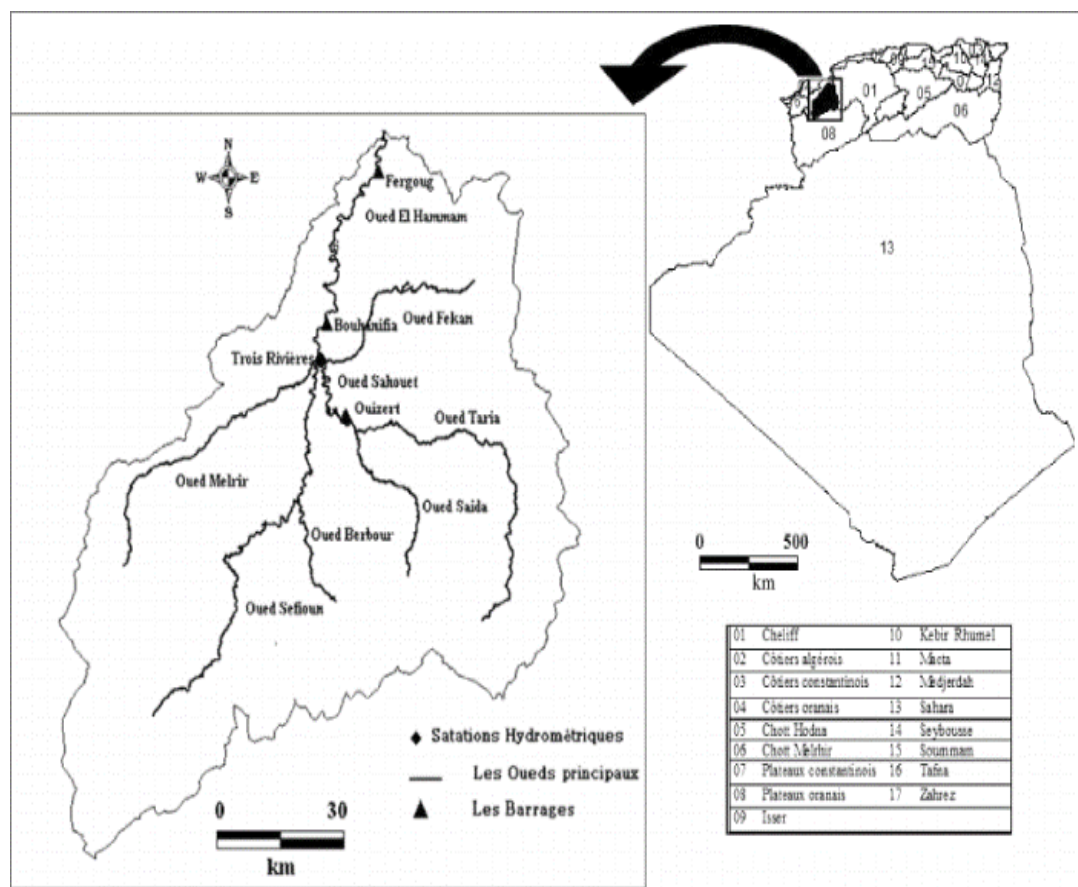
Présentation de la zone d'étude

I. Présentation du bassin versant de l'Oued taria :

Le Bassin versant de L'OUED TARIA fait partie du grand bassin de la Macta, qui s'étend en Nord-Ouest de l'Algérie. Il est limité par :

- Au nord, les montages de BENI-CHOUGRANNE.
- Au Sud, montagnes de SAIDA.
- À L'Est, par les plateaux d'Aouf.
- L'Ouest, par les montagnes d'Ain Fekan.

Le Bassin versant d'OUED TARIA à une superficie de 1350, 36 Km². Et un périmètre de 222,74 Km ; il est compris entre 0° et 0°30' Est et 34°30' et 35°30' Nord



FigureII.1 : Situation du bassin versant de l'Oued Taria dans l'ensemble des bassins versants algériens

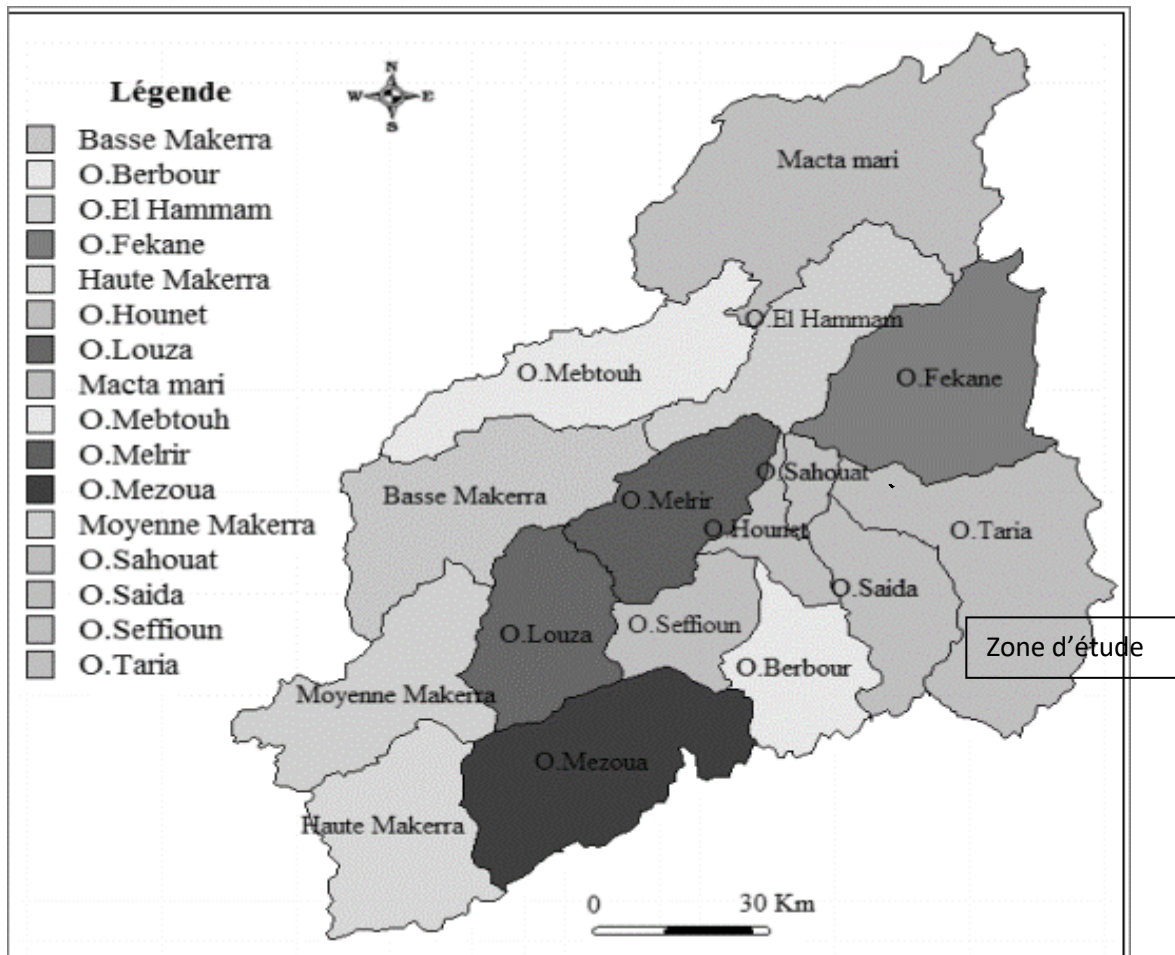


Figure II.2 : carte des sous-bassins de la Macta.

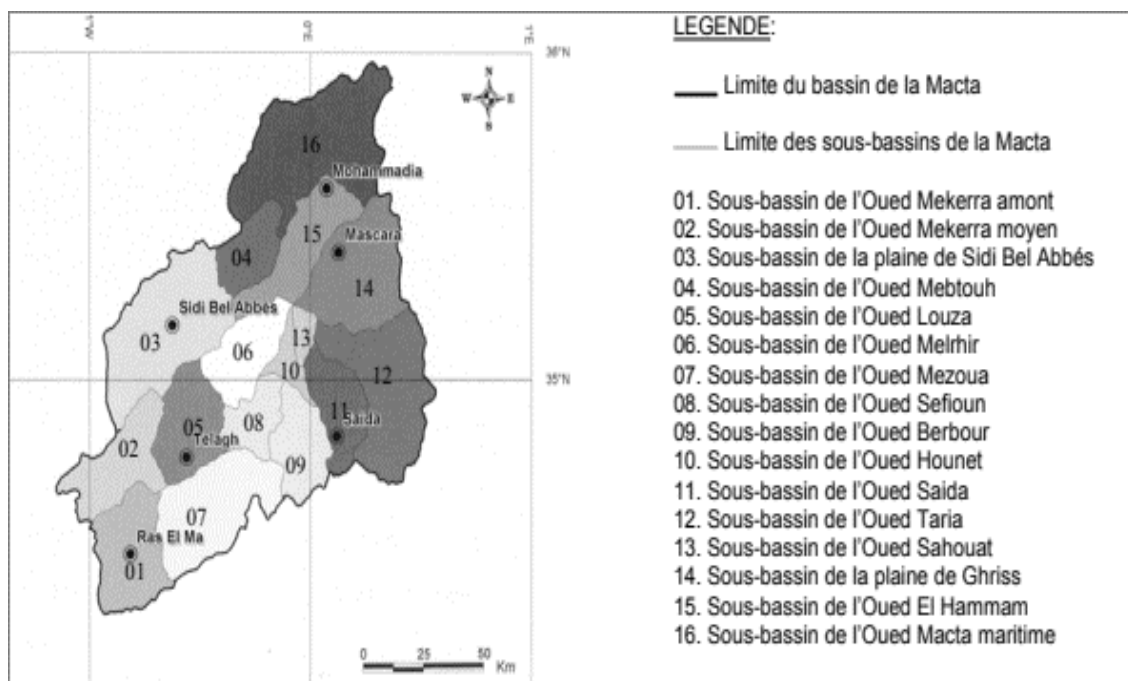


Figure II.3 : Situation du bassin versant de l'Oued Taria dans la Macta

I.1- Situation topographique :

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.

La pente moyenne du cours d'eau principale est de 86%. (à l'aide de logiciel arcgis).

Tableau II.1 : Les Caractéristiques physiques du bassin versant de L'oued Taria sont résumées

Surface	1350.36 k m ²
Périmètre	222.74km
Longueur du thalweg principal	46,6 km
Largeur moyenne du bassin versant	28,65 km
Coefficient d'allongement Ca	7.07
Indice de compacité de Gravelus Kc	1.7
L'indice de pente Ip	0,38
Dénivelé spécifique Ds	318 m

- Indice de compacité de Gravelus ayant une influence certaine sur l'écoulement. La forme du bassin détermine l'allure de l'hydrogramme de crue. Un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée. Pour le bassin oued Taria, l'indice KC a été estimé à 1,7 ; traduisant une compacité faible (bassin modérément allongé) de 97, 74 km sur 13,6Km km.
- Pour l'indice de pente $I_p = 0,38$ traduit l'évolution géomorphologique de l'ensemble de bassin, ce qui indique que l'érosion est faible
- L'étude de la courbe hypsométrique et le profil en long d'Oued Taria, fait ressortir la présence de faibles variations de pente liée directement a la nature lithologique des différentes formations géologique du bassin

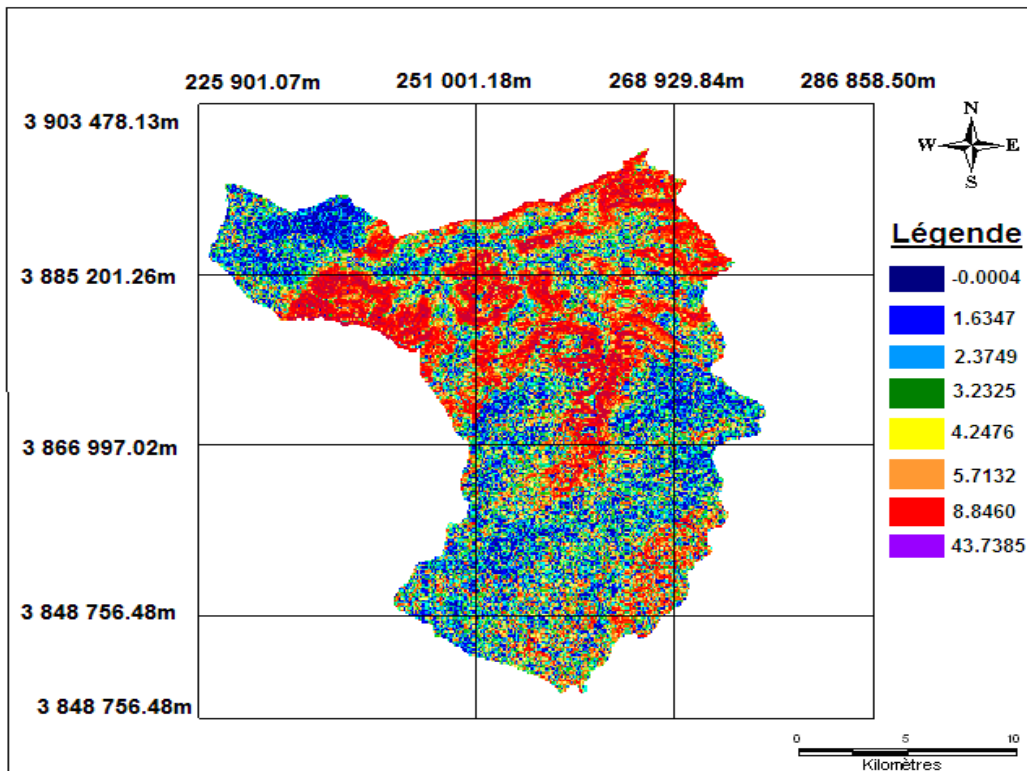


Figure II.4 : Classification de pentes du bassin versant de l'Oued Taria

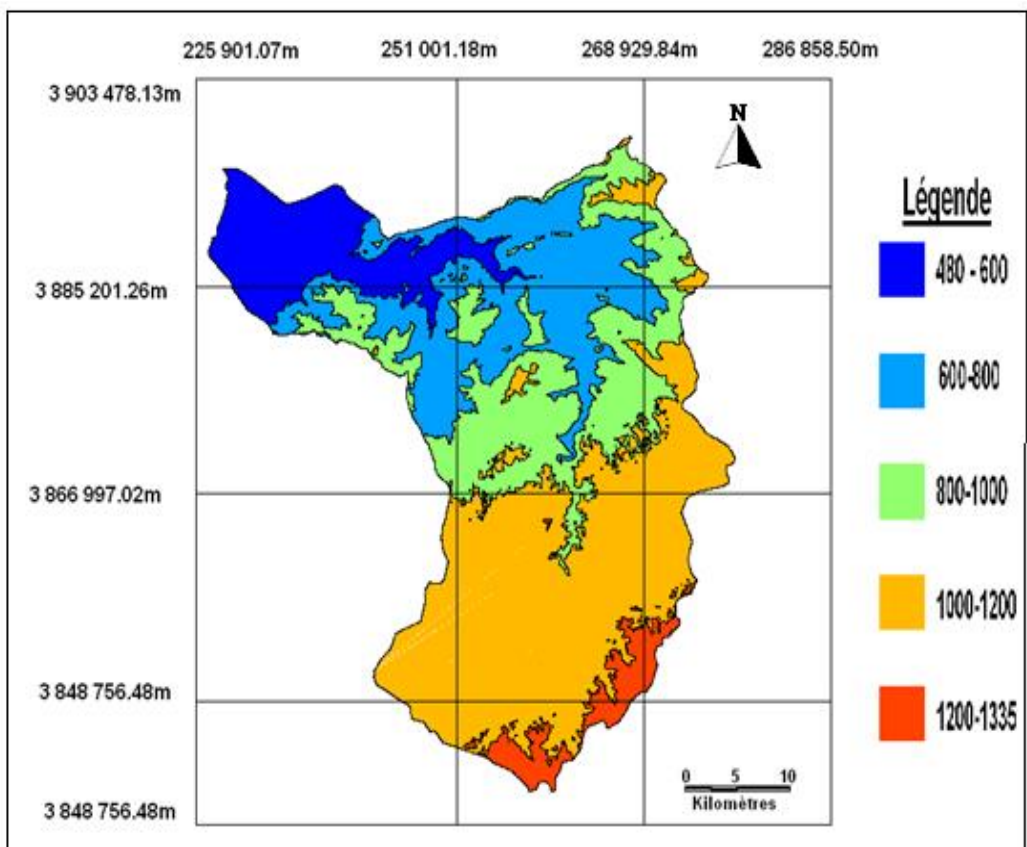


Figure II.5 : Carte hypsométrique dans le bassin versant d'Oued Taria

II. Géologie :

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

A la fin des temps Exogènes, la région qui nous intéresse était constituée par un haut pays jurassique, légèrement plissé est 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 a 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.

III. Etude du réseau hydrographique :

Tableau II.2 : Les paramètres qui caractérisent la forme du réseau hydrographique

La densité de drainage Dd Km/km ²	0,75
Le rapport de la confluence Rc	4,47
Le temps de concentration	14 h
Le coefficient de torrentialité Ct	0, 018 Km ⁻³
Fréquence des cours d'eau F	0,34 Km ⁻²

Densité de drainage $Dd=0,75\text{Km}^{-1}$ est grande indique un réseau hydrographique bien hiérarchisé et bien drainé.

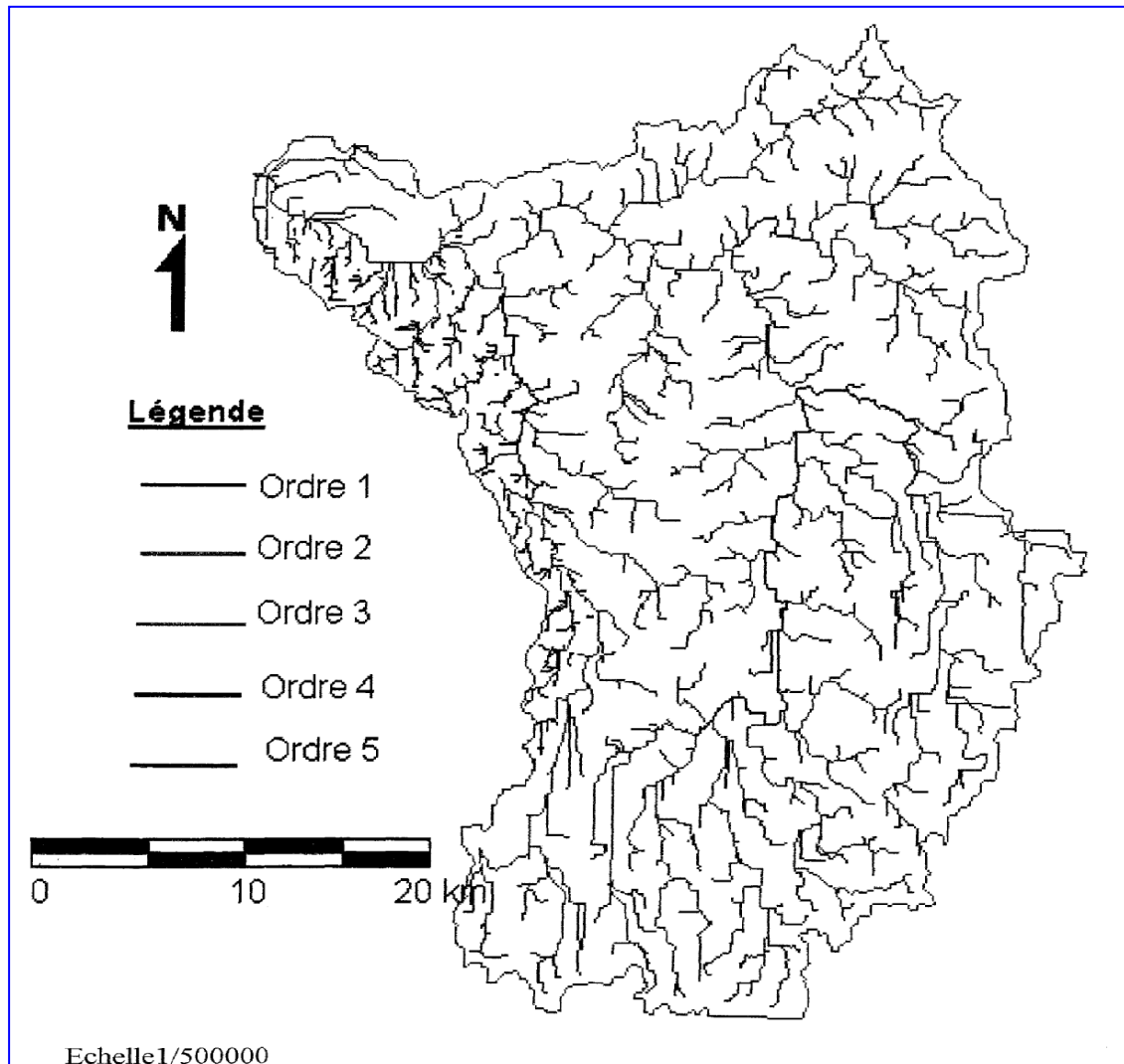


Figure II.6 : Carte du réseau hydrographique dans le bassin versant d'oued Taria

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

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

IV. le climat

IV.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.4 : présente les températures mensuelles. Tmin - Tmoy - Tmax de la station de TARIA [1978 à 2006].

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout
Tmax° C	30.2	23.6	18.4	14.6	13.3	15.1	16.4	19.8	24.7	30.6	33.9	35.2
Tmin° C	14.8	10.8	7.1	4.1	2.8	3.9	4.8	6.5	9.4	13.9	17.5	18.1
Tmoy° C	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

IV.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 élevées dans les zones montagneuses. Les observations disponibles sont enregistrées au niveau de la station de TARIA pour la période [1978 – 2006].

Tableau II.5 : humidité relative en %

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet et	Aout
Hmoy	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%

IV.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 dépens 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.6 : 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

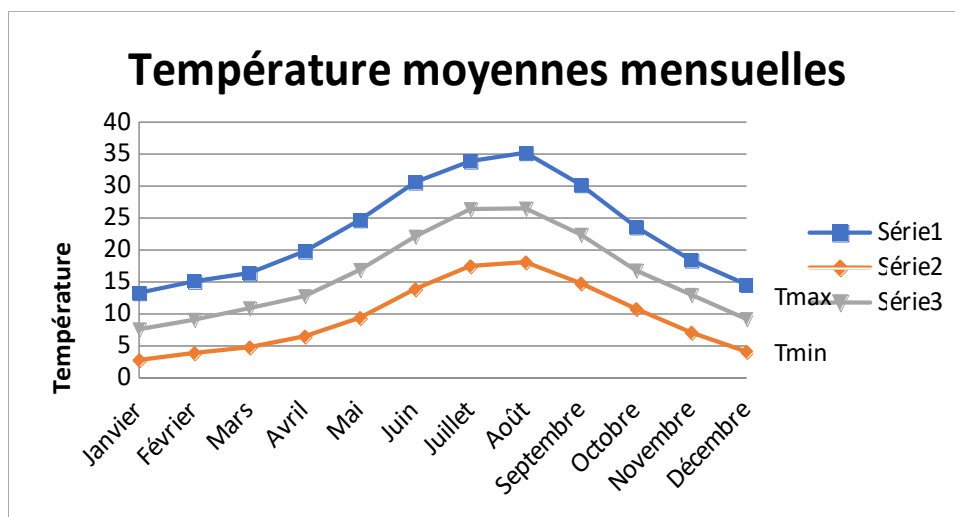


Figure II. 7 : températures moyennes

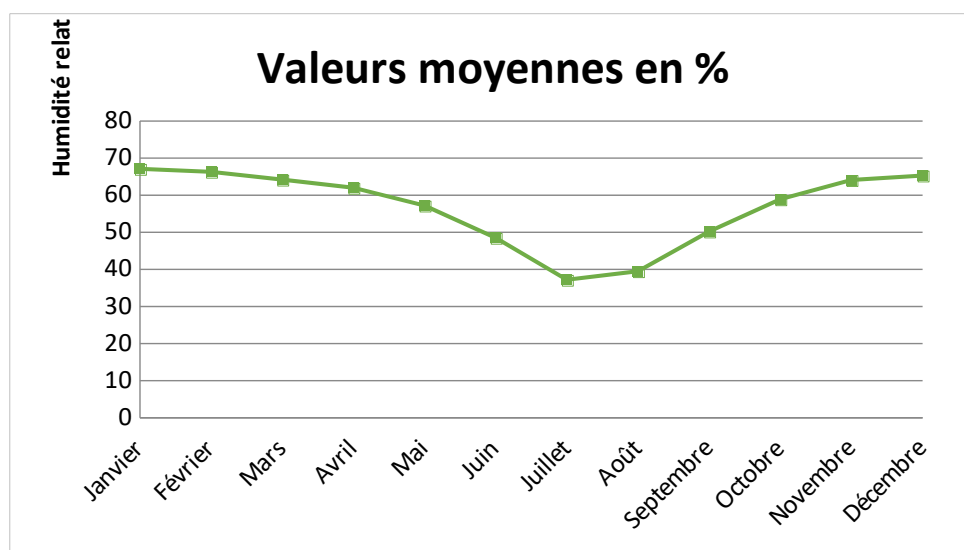


Figure II. 8 : Valeurs Moyennes

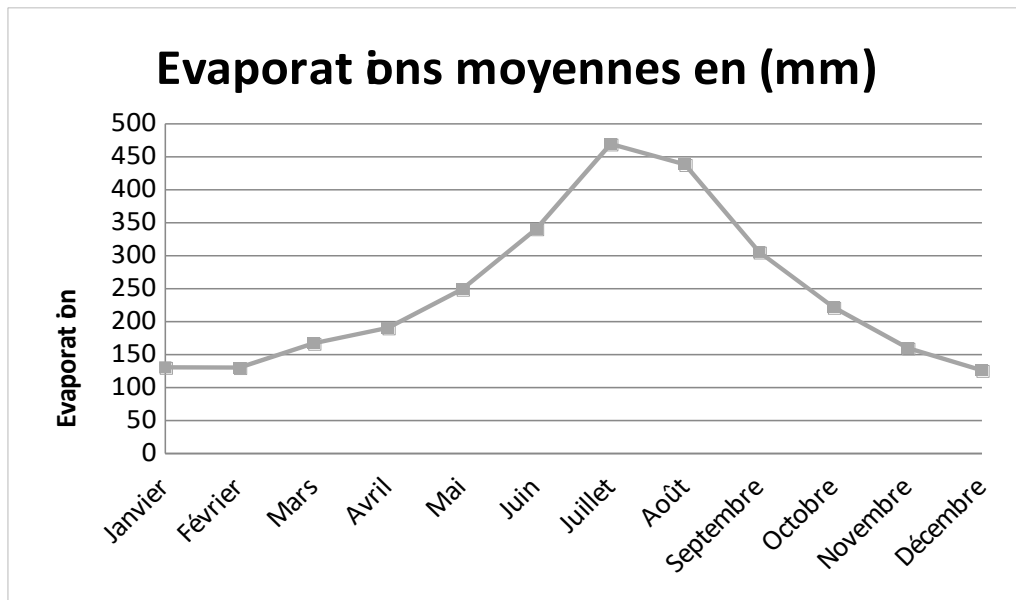


Figure II.9 : évaporations moyennes en (mm)

IV.4-Analyse de pluies maximales journalières :

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).

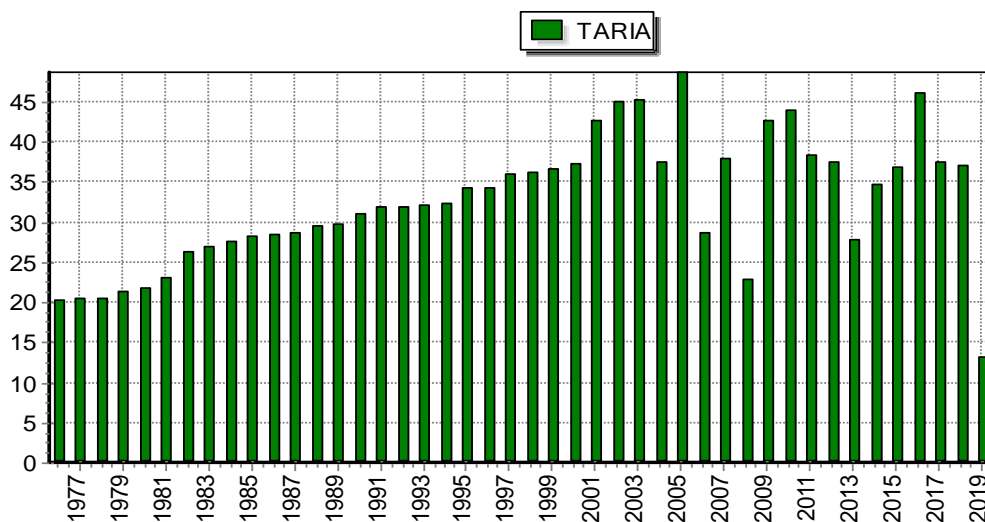


Figure II.10 : Représentation graphique des précipitations maximales journalières fréquentielles.

IV.4.1- 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 Gumbel max.

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

Tableau II.7 : Les paramètres statistiques des pluies maximales journalières

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

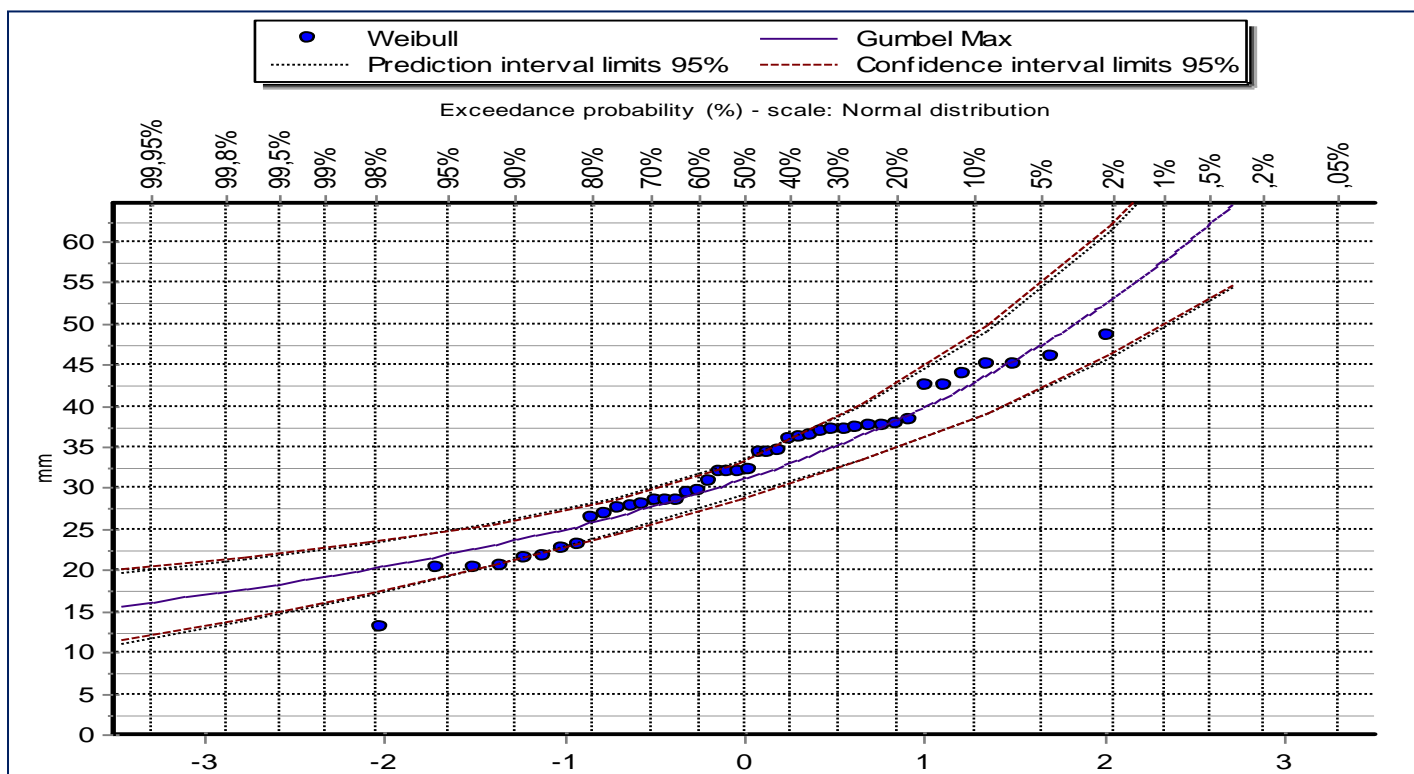


Figure II.11 : Ajustement des pluies maximales journalières de la station de oued taria à la loi de Gumbel

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

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

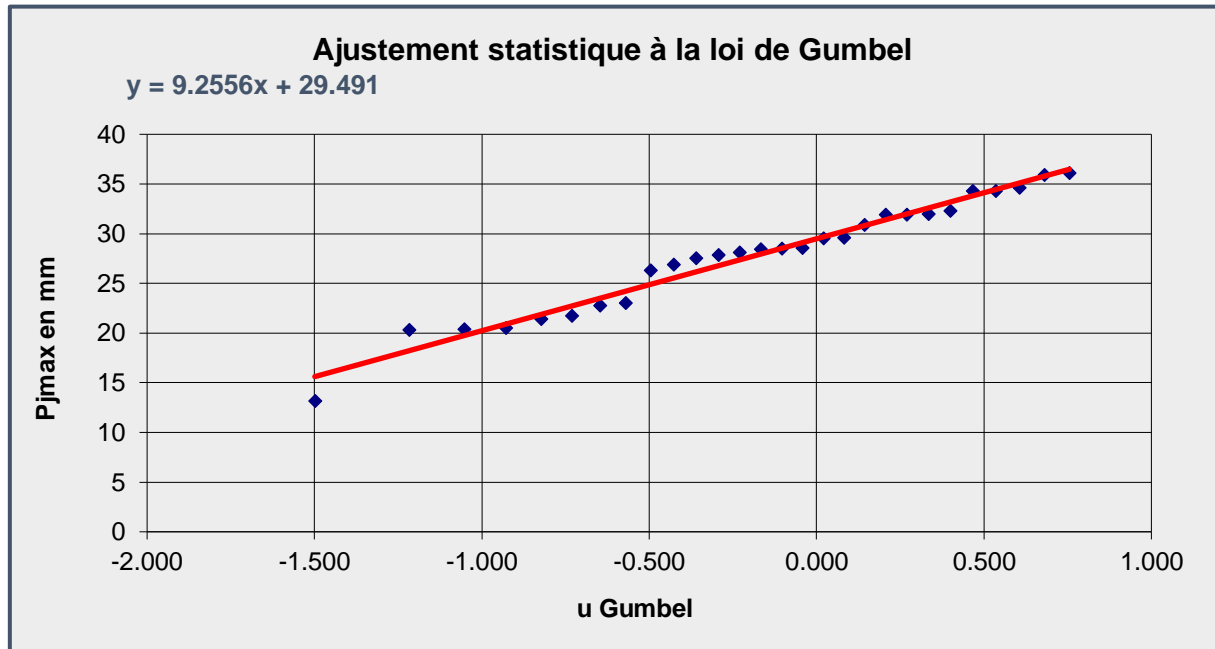


Figure II.12 : Ajustement à la loi de Gumbel des pluies journalières maximales (1977-2014).

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.8 : valeurs de la pluie journalière maximale (Station de L'Oued Taria)

Année	Fréquence	Variable réduite 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

Période	100		50		10		5		2	
	Pct (mm)	It (mm/h)	Pct (mm)	It (mm/h)	Pct (mm)	It (mm/h)	Pct (mm)	It (mm/h)	Pct (mm)	It (mm/h)
0,	16.5371	33.0743	15.1590	30.3181	13.0919	26.1838	9.876357	19.75271	7.579529	15.15905
1	21.5204	21.5204	19.7271	19.7271	17.0370	17.0370	12.85251	12.85251	9.863559	9.863559
2	28.0055	14.0027	25.6717	12.8358	22.1710	11.0855	16.72551	8.362759	12.83586	6.417931
3	32.6706	10.8902	29.9481	9.98271	25.8642	8.62143	19.51166	6.503887	14.97406	4.991355
4	36.4447	9.11118	33.4076	8.35192	28.8520	7.21302	21.76561	5.441404	16.70384	4.175961
5	39.6698	7.93397	36.3640	7.27281	31.4053	6.28106	23.69173	4.738346	18.18202	3.636405
6	42.5157	7.08595	38.9727	6.49545	33.6582	5.60971	25.39134	4.231890	19.48637	3.247729
7	45.0805	6.44008	41.3238	5.90340	35.6887	5.09839	26.92312	3.846160	20.66193	2.951704
8	47.4270	5.92838	43.4748	5.43435	37.5464	4.69330	28.32450	3.540563	21.73741	2.717176
9	49.5980	5.51089	45.4648	5.05165	39.2651	4.36278	29.62104	3.291226	22.73242	2.525825
10	51.6240	5.16240	47.3220	4.73220	40.8690	4.08690	30.83104	3.083104	23.66103	2.366103
11	53.5280	4.86618	49.0673	4.46067	42.3763	3.85239	31.96814	2.906194	24.53369	2.230335
12	55.3275	4.61062	50.7168	4.22640	43.8009	3.65007	33.04281	2.753568	25.35844	2.113203
13	57.0362	4.38740	52.2831	4.02178	45.1536	3.47335	34.06329	2.620253	26.14159	2.010892
14	58.6652	4.19037	53.7764	3.84117	46.4433	3.31737	35.03618	2.502584	26.88823	1.920588
15	60.2236	4.01490	55.2049	3.68033	47.6770	3.17846	35.96688	2.397792	27.60249	1.840166
16	61.7188	3.85742	56.5756	3.53597	48.8607	3.05379	36.85986	2.303741	28.28780	1.767987
17	63.1571	3.71512	57.8940	3.40553	49.9994	2.94114	37.71887	2.218757	28.94704	1.702767
18	64.5439	3.58577	59.1653	3.28696	51.0973	2.83874	38.54710	2.141505	29.58265	1.643481
19	65.8837	3.46756	60.3934	3.17860	52.1580	2.74515	39.34726	2.070908	30.19673	1.589302
20	67.1805	3.35902	61.5821	3.07910	53.1846	2.65923	40.12172	2.006086	30.79109	1.539554
21	68.4377	3.25893	62.7345	2.98736	54.1798	2.57999	40.87252	1.946310	31.36729	1.493680
22	69.6582	3.16628	63.8534	2.90242	55.1461	2.50664	41.60148	1.890976	31.92671	1.451214
23	70.8449	3.08021	64.9411	2.82352	56.0855	2.43850	42.31016	1.839572	32.47059	1.411765
24	72	3	66	2.75	57	2.375	43	1.791666	33	1.375

Tableau II.9 : Pluies de courte durée et intensité

c. 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.

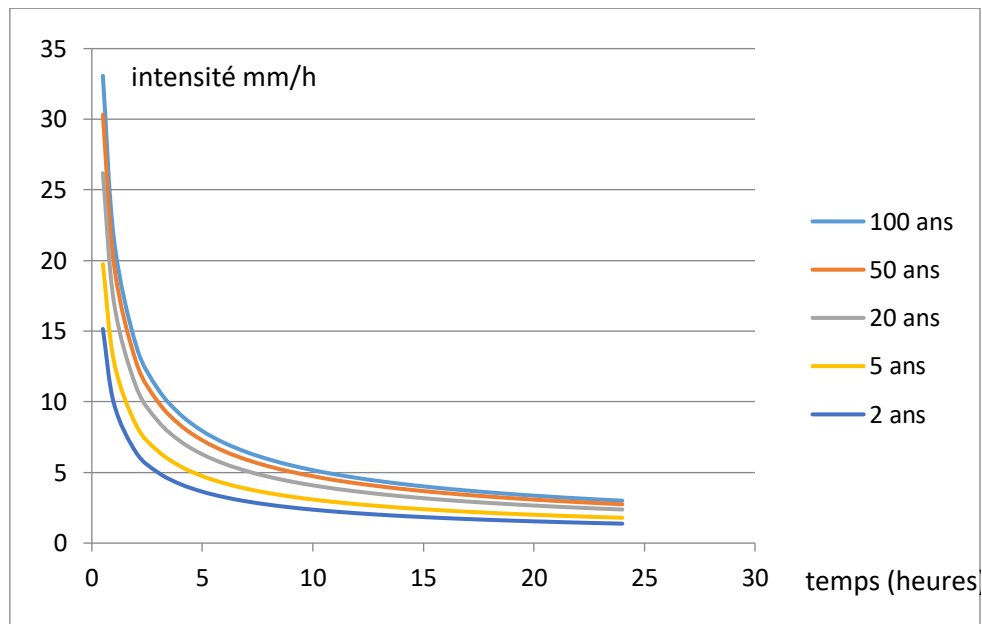


Figure II.13 : Courbe Intensité-Durée-Fréquence.

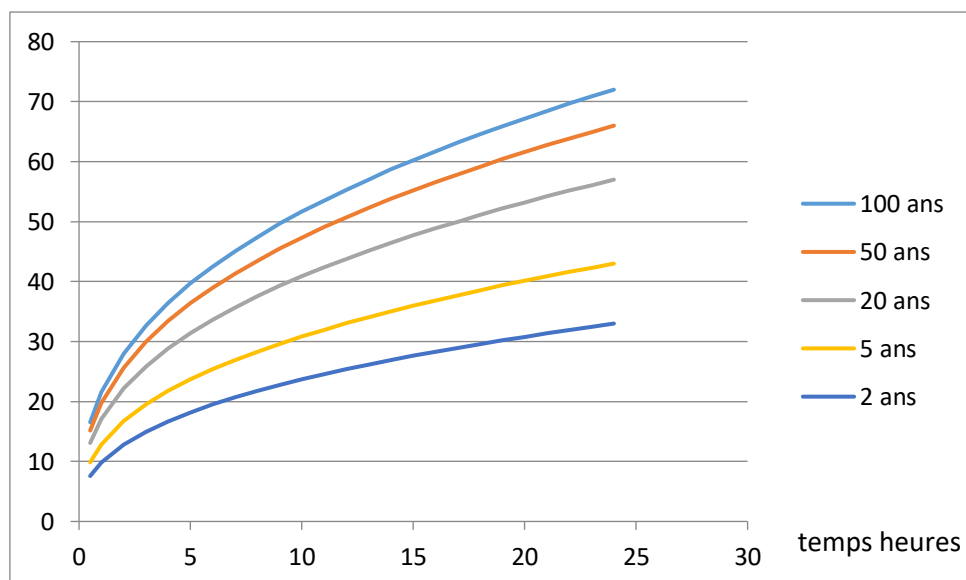


Figure II.14 : Courbe des pluies à courte durée

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/Km² 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

Estimation des débits de crue

Introduction

L'estimation adéquate des événements hydrologiques extrêmes est primordiale en raison des risques importants associés à une mauvaise connaissance de ces variables d'où l'évaluation des événements rares est une tâche indispensable pour le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydraulique ainsi que l'élaboration des plans de prévention du risque d'inondation.

Dans ce chapitre ; Nous avons examiné le comportement des débits extrêmes en se basant sur une série de 17 ans de débits maximums enregistrés à la station d'oued Taria (exutoire du bassin étudié), et reconstituer les débits de crue à partir de l'équation de l'ajustement à la loi statistique de Gumbel. Ensuite, La simulation pluie-débit a été établie à l'aide du modèle HEC_HMS. Enfin, nous avons reconstitué les débits de crue pour différentes périodes de retour dans le bassin versant à partir des précipitations observées, par le biais des formules empiriques de Turazza et de Sokolovski..Giandoti et mallet Gautier L'objectif de cette étape est d'appréhender l'applicabilité de ces méthodes au bassin Oued Taria ; en comparant les résultats de calcul à ceux estimés à partir des données de la station de jaugeage

I. Ajustement des débits max par Gumbel :

La prédétermination des crues a pour but de relever les crues fréquentielles les plus importantes afin de garantir un maximum de sécurité pour les ouvrages. Ces crues peuvent être déterminées par la loi de Gumbel qui s'adapte le mieux aux écoulements et apports extrêmes.

Dans le cas présent, nous possédons une série de mesures hydrométriques de 17 ans de débits moyens annuels et de débits maximums journaliers. Ces derniers sont ajustés à une loi statistique à l'aide du modèle Hydrognomon, afin de ressortir les débits de crue les plus probables de différentes périodes de retour.

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 spécifiques

La fonction de répartition de la loi Gumbel pour des fréquences au dépassement est la Suivante :

$$F(X) = e^{-e^{\frac{x-a}{b}}}$$

La fonction de densité :

$$f(X) = \frac{1}{b} e^{-e^{\frac{x-a}{b}}} \cdot e^{\frac{x-a}{b}}$$

Où :

b : paramètre d'échelle (gradex) ;

a : le paramètre de position.

L'équation de la droite de Gumbel représentée sur papier Gumbel est donnée par :

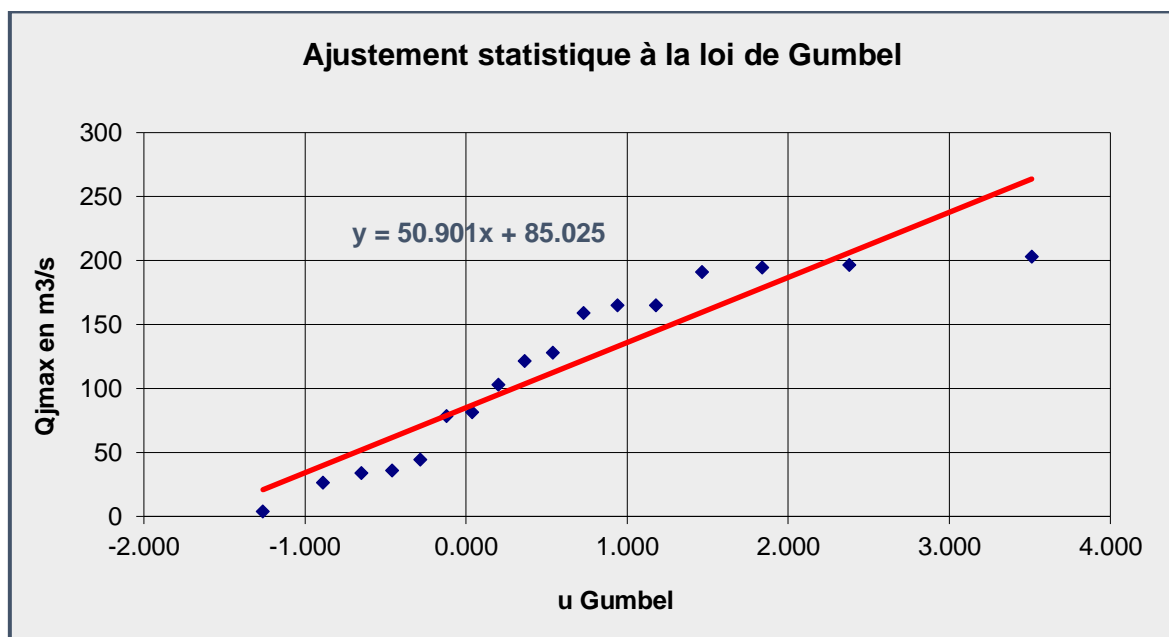
$$X = \frac{1}{b} \mu_g + a$$

Où : variable réduite de Gumbel : $g = -[\ln (-\ln (F(x)))]$

La représentation graphique des résultats d'ajustement à la loi de Gumbel des débits maximaux journaliers pour la période de 1990 à 2006 (Fig), a permis de calculer les paramètres d'ajustement suivant :

Tableau III.1 : Les paramètres statistiques des débits maximaux journaliers

Statistiques de base	Station de L'Oued Taria (1990-2006)
Nombre de données	17
Minimum	3.64
Maximum	203.0
Moyenne	113.6
Ecart-type	68.1
Coeff. de variation (Cv)	0.60



L'équation de la droite d'ajustement est de la forme :

$$Y = 50.90x + 85.02$$

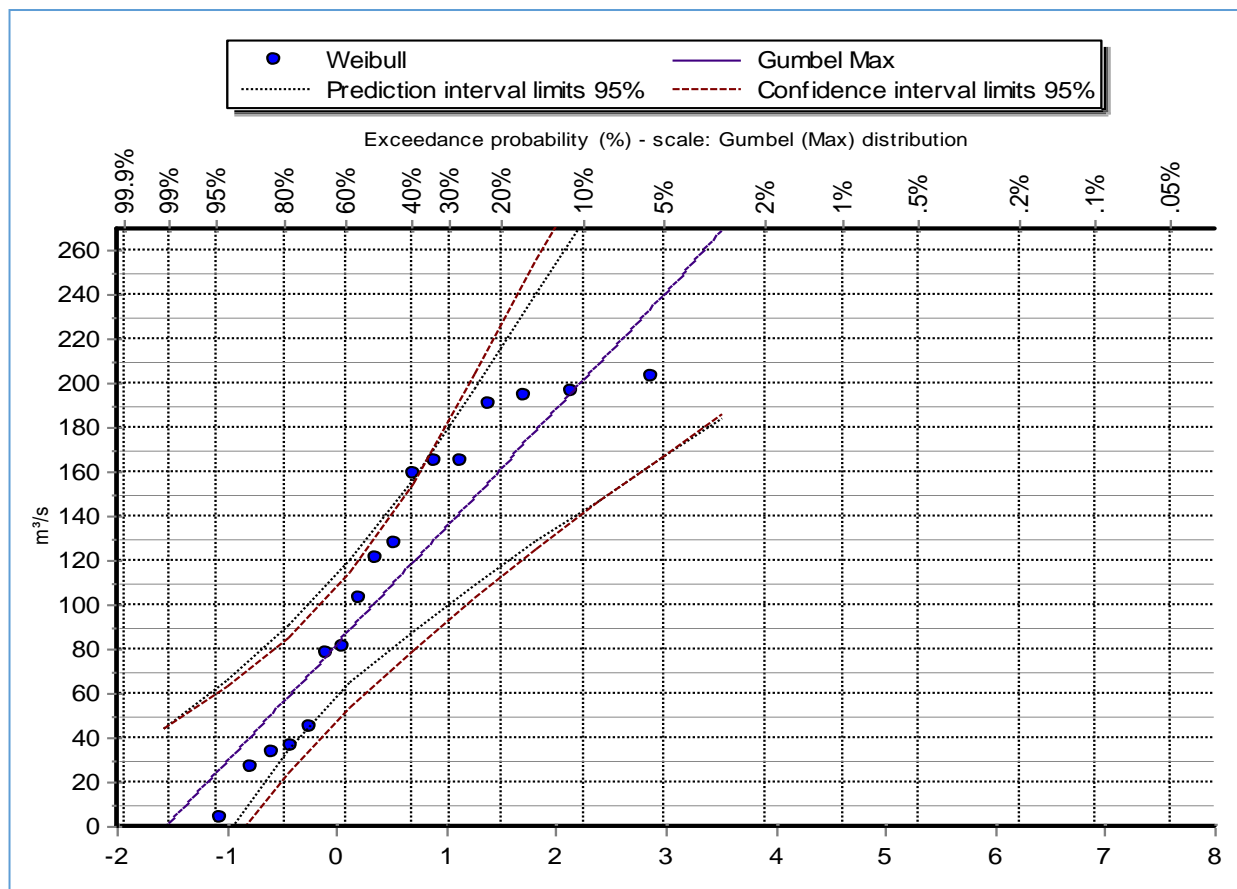


Figure III.1 : Ajustement des débits maximaux journaliers de la station De L'Oued Taria à la loi de Gumbel.

A partir du graphe de la figure, les débits probables des crues pour différentes périodes de retour sont estimés et les résultats sont donnés dans le tableau 1.

Tableau III.2 : Crues maximums probables dans le bassin versant :

T	F	u	Qjmax
2	0.5	0.37	104
5	0.8	1.50	161
10	0.9	2.25	200
50	0.98	3.90	284
100	0.99	4.60	319

Plusieurs crues ont été enregistrées durant une période d'observation de 17 ans. Les plus importantes sont la crue du 23 au 24 octobre 2000

la crue du 27 au 28 septembre 1999

la crue du 28 au 30 septembre 1994.

Enfin, la période de récurrence de la crue de 25-10-2000 à la station de L'oued Taria s'exprime comme suit :

$$Q= 203 \text{ m}^3/\text{s} \quad U=3.51 \quad F=0.97059$$

$$T = \frac{1}{1-F}$$

T = 34 an le temps de retour de la crue 25/10/2000 (le temps de retour T d'un événement comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement)

Les crues de la saison humide sont les plus fréquentes et sont dues aux pluies torrentielles.

II. Modélisation pluie_ débit :

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. Le modèle utilisé HEC_HMS 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.

II. 1- 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 :

$$\begin{cases} U_p = 2.08 \cdot \frac{A}{T_p} \\ T_p = \frac{\Delta t}{2} + 0.6 \cdot T_c \end{cases}$$

Ou :

Δt : 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.

II.2- 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 km² (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.

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.

II.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 qualifiants, 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 ;

Tableau III.3 : Données de base des sous-bassins

Désignations	Sb1	Sb2	Sb3	Sb4	Sb5
Surface (km ²)	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

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 :

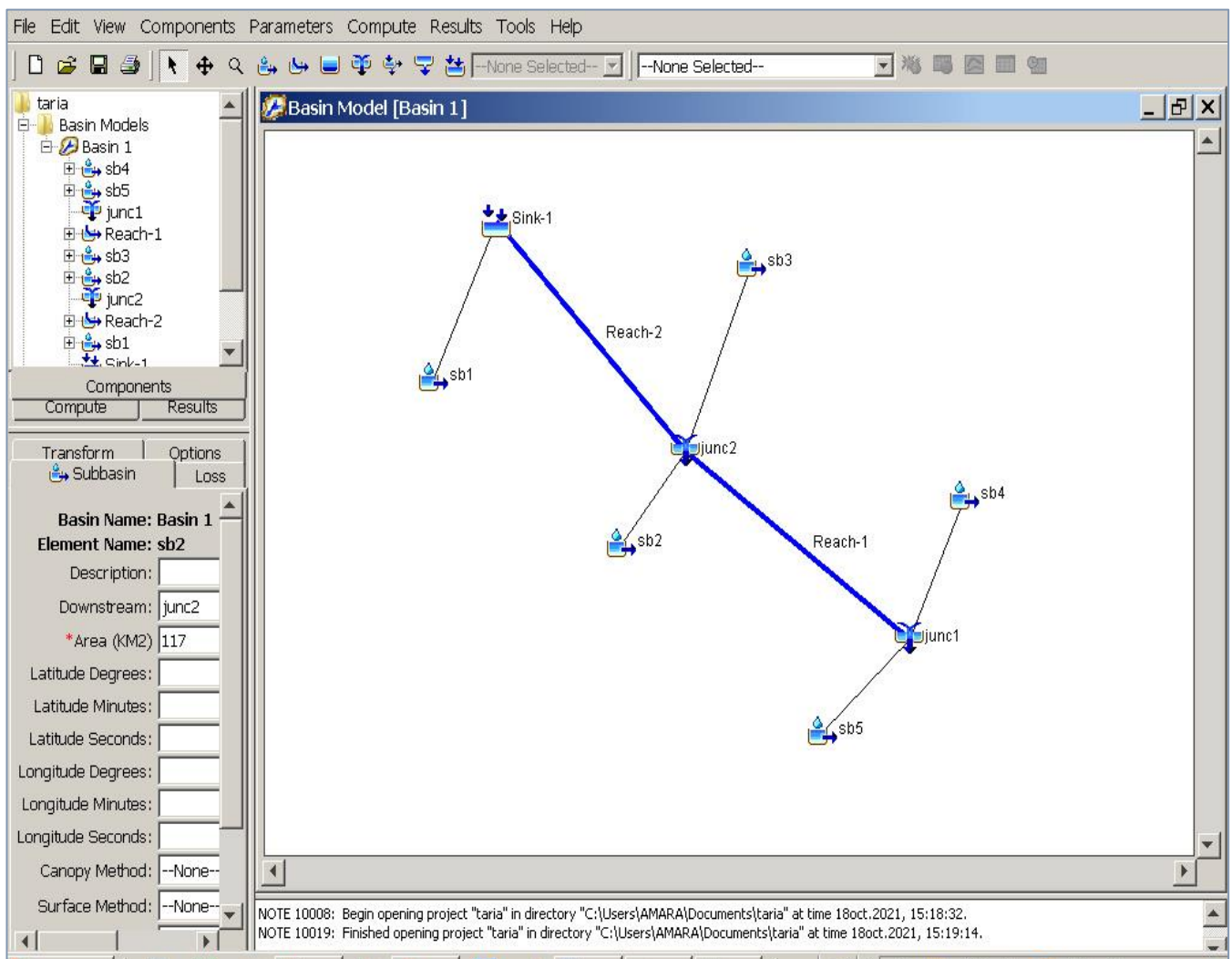
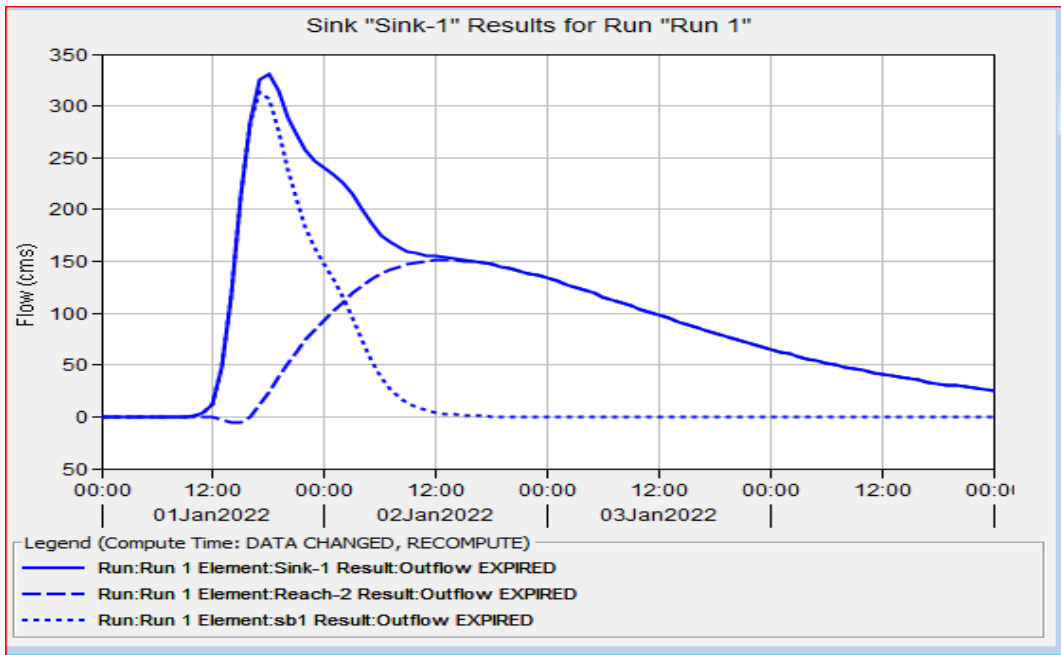


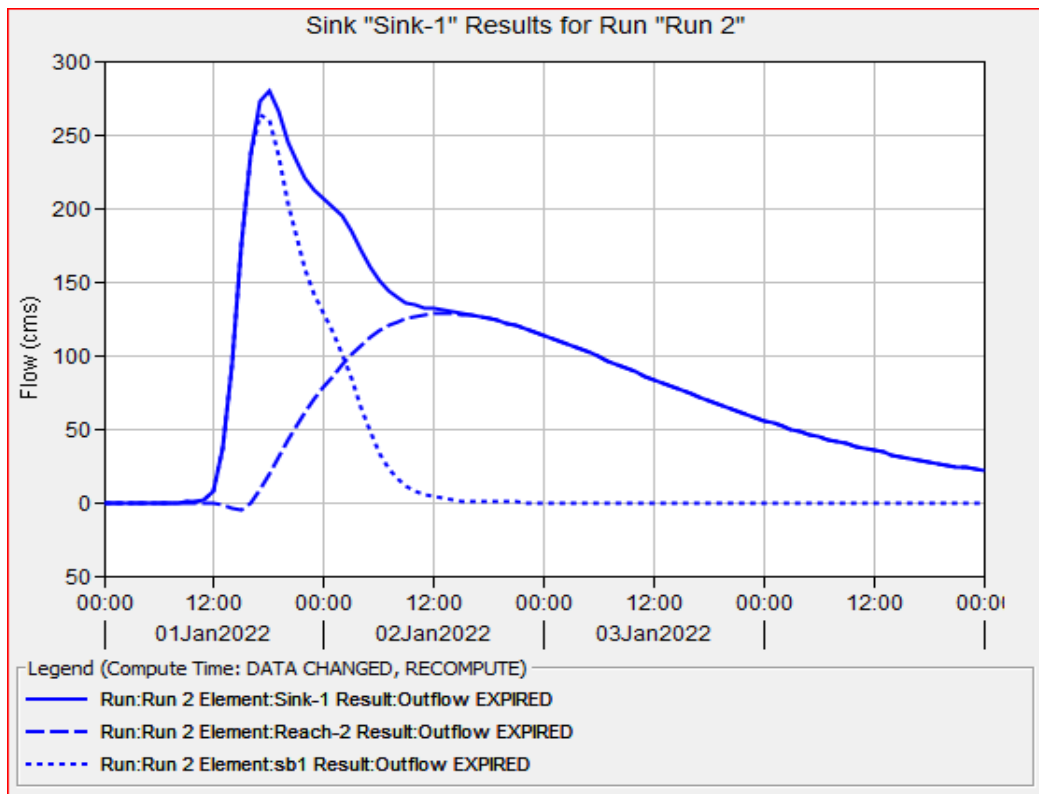
Figure III.2 : Représentation du bassin versant de L'Oued Taria dans le modèle HEC-HMS

III. Résultats de simulation du débit à l'exutoire pour différentes périodes de retour

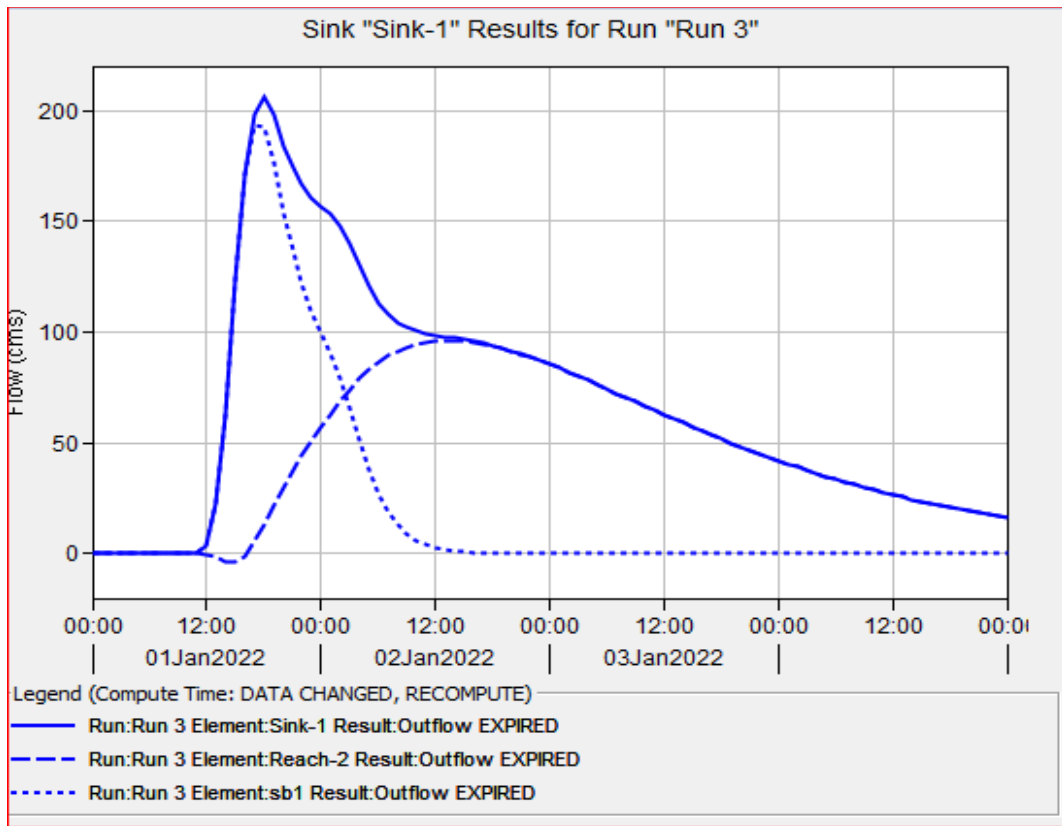
Débit de crue fréquence 1% période de retour 100 ans



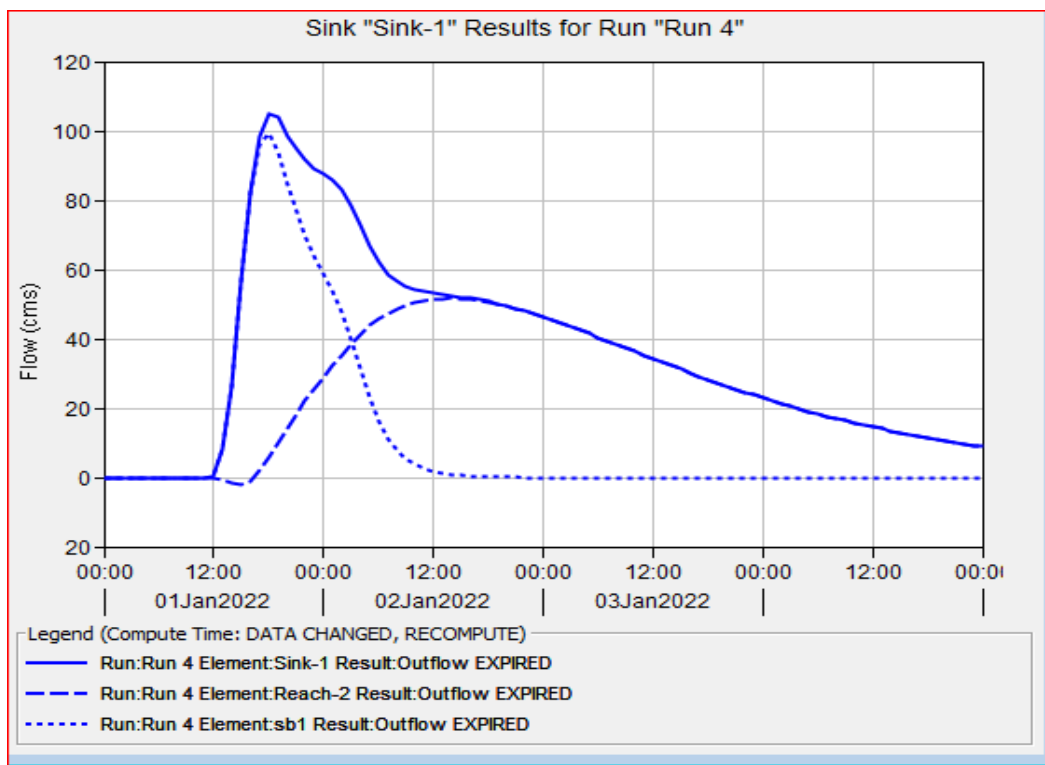
Débit de crue fréquence 2% période de retour 50ans



Débit de crue fréquence 10% période de retour 10ans



Débit de crue fréquence 20% période de retour 5 ans



Débit de crue fréquence 50% période de retour 2ans

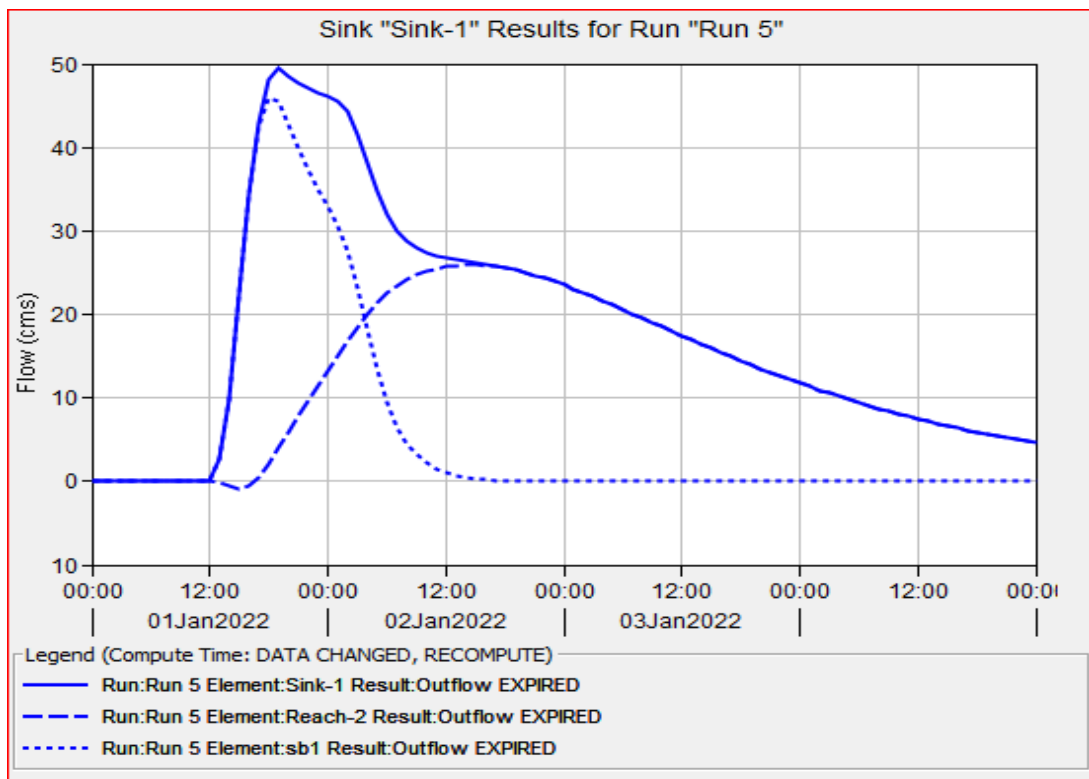


Figure III.3 : Résultats de simulation du débit à l'exutoire

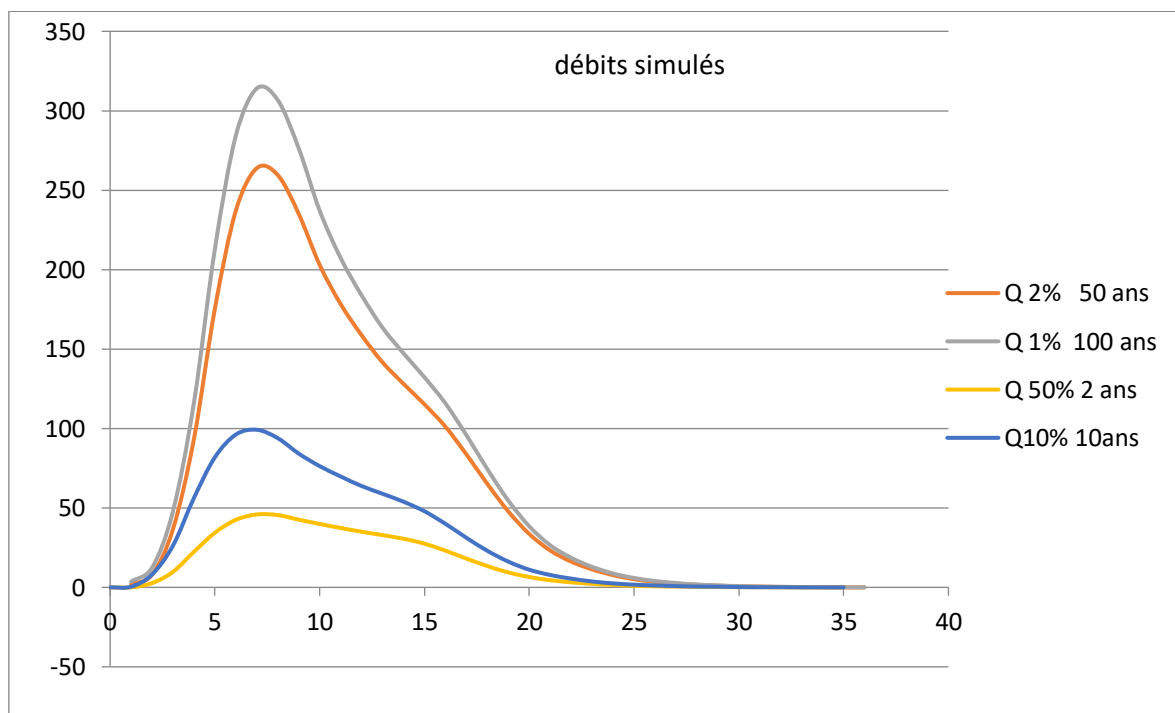


Figure III.4 : Hydrogrammes des débits simulés par HEC_HMS pour différentes périodes de retours

IV. Calcule de débits max par formules empiriques

Année	Fréquence	Variable reduite de Gumbel U	Pjmax	Ptc
2	0.5	0.37	33	26.88
5	0.8	1.50	43	35.03
10	0.9	2.25	50	40.70
50	0.98	3.90	66	53.77
100	0.99	4.60	72	58.66

Les Pluies de courte durée pour différentes fréquences ont été déterminées à l'aide de la relation de MONTANA préconisée par l'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH)

$$Ptc = p_{jmax} * (tc/24)^b$$

Tc=14 heures

IV.1-Formule de TURAZZA :

$$Q_{max} = \frac{Ptc \cdot S \cdot \alpha}{3,6Tc}$$

Ou

α : Coefficient de ruissellement donné par le tableau suivant

S : surface de bassin versant 1350.36 km²

Tc : le temps de concentration 14 heures

Le coefficient de ruissellement est fonction de la nature du sol et la pente moyenne du bassin versant.

Tableau III.5 : Calcul le débit max (Qmax).

Calcul du coefficient de ruissellement	50% 2 ans	20% 5 ans	10% 10 ans	2% 50 ans	1% 100 ans
α	0,12	0.18	0.22	0,30	0,32

T (ans)	2	5	10	50	100
Qmax (m³/s)	86.24	168.68	239.4	431.29	501.37

IV.2-Formule de Mallet et Gauthier :

$$Q = 2k \log(1 + AH) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}$$

Q : débit maximum de crue (m³/S),

S : superficie du bassin (km²),

A : coefficient climatique. En Algérie, il est de valeur 20,

H : pluviométrie moyenne annuelle (m),

L : longueur du talweg principale (km),

T : période de retour en année,

K : coefficient dépendant des caractéristiques du bassin versant 1 < k < 3 on prend K 2,

Tableau III.6 : le débit maximum pour différente périodes.

T (ans)	5	10	20	50	100
Qmax (m³/s)	115,98	142,6	168,35	198,46	217,25

IV.3- Formule de GIONDOTTI :

$$Q_{max} = c. \frac{Ptc. S. \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4\sqrt{S} + 1,5L}$$

Avec :

H_{moy}: Hauteur moyenne (m),

H_{min} : Hauteur minimal (m).

L : Longueur de TALWEG principale (km),

C : coefficient 66 < C < 166, on prend C= 160.

Tableau III.7 : Calcul du débit max par la formule de GIONDOTTI.

T (ans)	2	5	10	50	100
Qmax (m³/s)	274.03	357.12	414.92	548.17	597.41

IV.4- formules de SOKOLOVSKY :

$$Q_{max} = \frac{0,28 \times P_{tc}(P\%) \times C_e \times S}{t_m} \times f$$

f = coefficient de forme de crue, $f = \frac{12}{4+3\gamma}$ (), on prend $\gamma = 2,5$ d'où $f=1,04$

Tableau III.8 : f en fonction

γ	2,0	2,5	3,0	4,0
f	1,2	1,04	0,95	0,75

Ce : Coefficient d ruissellement en fonction de la fréquence= (α) ;

tm : durée de montée en heures ou $tm=f(ta)$ et ta étant le temps de l'averse,

Pour des petits bassin, **tm=ta=tc,=14 heures**

D'où les débits maximums fréquentiels du tableau

T (ans)	2	5	10	50	100
Qmax (m³/s)	81.82	177.10	251.49	322.38	374.76

V. Comparaison :

Tableau III.9 : Les résultats regroupés

Période de retour	2	5	10	50	100
GIONDOTTI	274.03	357.12	414.92	548.17	597.41
Mallet etGauthier	115,98	142,6	168,35	198,46	217,25
TURAZZA	86.24	168.68	239.4	431.29	501.37
SOKOLOVSKY	81.82	177.10	251.49	322.38	374.76
Simulé	42.5	96.2	192.9	263.9	314.1
Mesuré (observé)	104	161	200	284	319

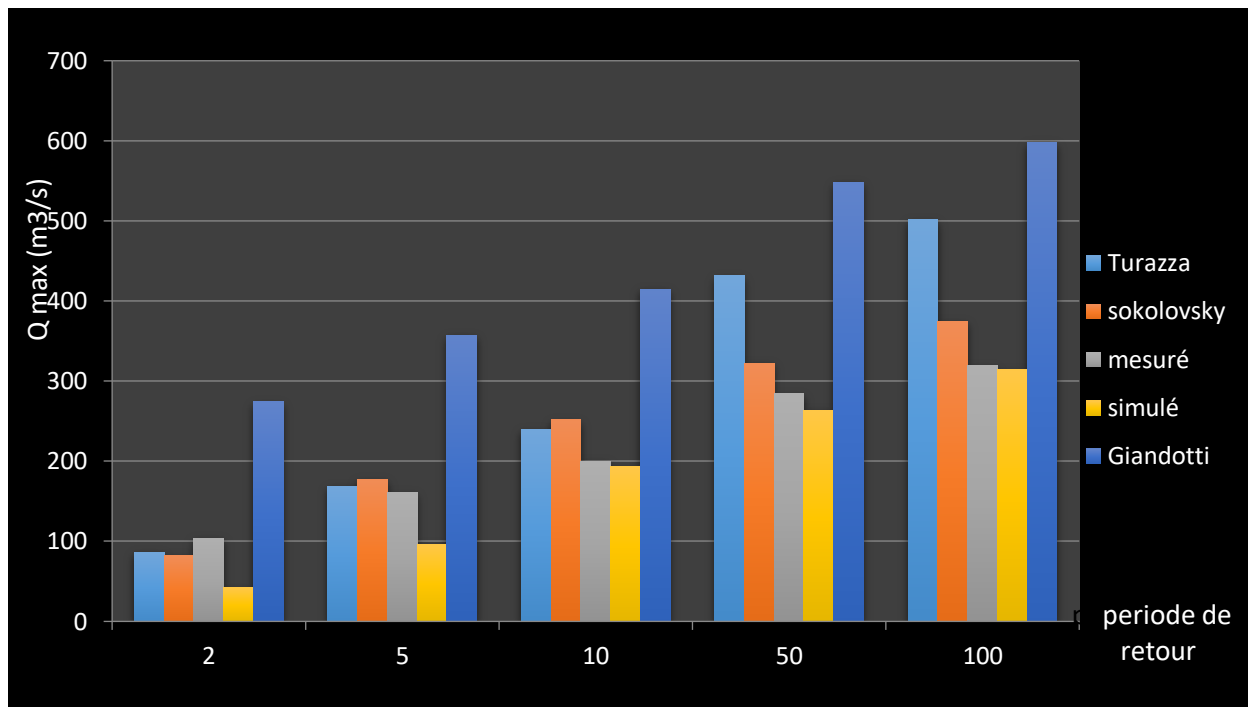


Figure III.5 : Résultats des débits de crue obtenus par différentes méthodes

V.1- Calcul d'erreur relative :

Tableau III.10 : Erreur relative d'estimation de débit maximum du bassin de L'oued Taria

Période de retour	2	5	10	50	100
GIONDOTTI	62.04 %	54.92 %	51.79 %	51.37 %	46.60 %
Mallet et Gauthier	10.32 %	-12.90 %	-18.8 %	-43.1 %	-46.83%
TURAZZA	-27.81 %	4.55 %	16.45 %	34.15 %	36.37 %
SOKOLOVSKY	-27.10%	9.09 %	25.74 %	11.9 %	14.87 %
Simulé	-144.7%	-67.35 %	-3.68 %	-7.61 %	-1.56 %

Discussions :

A partir des résultats de calcul (Tableau III. 9 et Tableau III.10), pour le bassin versant Oued T aria de superficie de 1350.36 km², on constate que la meilleur méthode qui donne un débit proche de l'observé est celle de la modélisation pluie- débit pour les périodes de retour 10, 50,100 ans. Ou l'erreur varie entre 1.56% et 3.68%, ce qui concerne les périodes de retour 2 et 5 an l'erreur est très importante

- L'erreur était trop importante en utilisant les formules de Mallet-Gauthier, Giandotti, (varie entre 46% et 62.04%) bien qu'elles utilisent la fréquence de la pluie maximale journalière.
- les formules Turazza et Sokolovsky donnent les erreurs les plus minimales pour tous les périodes de retour. La formule de Sokolovsky (erreur entre 9% et 27.10%) présente un avantage par aux autres formules qu'elle tient en compte de tous les paramètres morphologiques du bassin ainsi que le temps de concentration donc elle peut être considéré comme la formule la plus optimale.

L'erreur dans la formule de Turazza (4 et 36%) peut être justifiée de fait que cette formule nécessite la bonne évaluation du coefficient de ruissèlement, la chose qu'est très difficile pour les bassins versants de grandes superficies.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'estimation adéquate des événements hydrologiques extrêmes est primordiale en raison des risques importants associés à une mauvaise connaissance de ces variables d'où l'évaluation des événements rares est une tâche indispensable pour le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydraulique ainsi que l'élaboration des plans de prévention du risque d'inondation. L'objectif de notre mémoire est l'estimation de ce débit dans les bassins Oued Taria situés dans le grand bassin la Mactaa qui s'étend sur une superficie de 1350.36 km².

Avant de calculer le débit maximum nous avons donné un aperçu théorique sur les différentes méthodes et les formules empiriques et leurs domaines d'application.

Dans la deuxième partie nous avons dressé un état de l'art du contexte géographique, géomorphologique et climatique de bassin étudié, puis nous avons abordé le calcul en appliquant les formules empiriques ; l'ajustement des débits maximaux journaliers par la loi de Gumbel qui s'adapte le mieux aux écoulements et apports extrêmes,

ainsi que la modélisation pluie_débit à l'aide de modèle hec_hms.

L'analyse des résultats obtenus sur les erreurs de ces méthodes sont relativement variable, la modélisation pluie_débit par hec_hms donne des résultats acceptables d'une erreur relative de l'ordre de 1.56% ; elle convient particulièrement très bien lorsqu'il s'agit d'évaluer les crues extrêmes pendant des périodes de retour (10 à 100 ans) générées sur un bassin versant de bonne qualité des données de pluie maximale journalière, alors que, les méthodes de Sokolovsky et Turazza sont les plus optimales au débits de crue mesurés avec des erreurs relatives de 4.5% et 9% pour (T=5ans), en optant pour des coefficients de ruissellement de 12% à 32% (terrain de perméabilité moyenne et de pente modérée).

Référence bibliographique

Référence bibliographique

MONTAS, Hubert J., ENRIGHT, Peter, & MADRAMOOTOO&

Chandra Alastair. Evaluation des débits de pointe pour les petits bassins

versants du Québec : rapport final du projet demandé par le Service du génie du Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec.

Gouvernement du Québec, Ministère de l'agriculture de [s] pêcheries et de l'alimentation, Direction de la recherche et du développement, 1990.

OUARDA, Taha BMJ, GINGRAS, Hugo & BOBÉE, Bernard. Synthèse des méthodes simples de régionalisation. INRS-Eau, 2001.

ROCHE, Pierre-Alain, MIQUEL, Jacques, & GAUME, Eric. Hydrologie quantitative : Processus, modèles et aide à la décision. Springer Science & Business Media, 2012.

TOUAÏBIA, B. Manuel pratique d'hydrologie. Edition Madani, Blida, Algérie, 2004.

ZEROUAL, Ayoub, MEDDI, Mohamed, & ASSANI, Ali A. Artificial neural network rainfall-discharge model assessment under rating curve uncertainty and monthly discharge volume predictions. *Water Resources Management*, 2016, vol. 30, no 9, p. 3191-320

Boutoutaou D. & Zeggane H. 2014. Méthode de calcul des crues des oueds de l'Algérie, *revue scientifique et technique*, LJEE N°24 ET 25. 62-75

