

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA



**Faculté de Technologie**

**Département d'Hydraulique**

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme**

**MASTER 2**

**FILIERE : Hydraulique**

**Option : Ouvrage Hydraulique**

***THEME***

**EXAMEN DE L'ETAT DU REPARTITEUR DE L'OUED  
DE BOU-SAADA A TRAVERS DES SIMULATIONS  
HYDRAULIQUES AVEC HEC-RAS**

**Dirigé par :**

**Mr. HASBAIA . M**

**Présenté par :**

**ATTIG Mamoune Salem  
BEN ZAHIA Salah Eddine**

**Promotion : 2022/2023**

## **REMERCIEMENTS**

On remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé au bon déroulement de notre parcours universitaire et surtout ceux qui nous ont aidé lors de la rédaction de ce mémoire.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre directeur de mémoire Mr Hasbaia Mahmoud de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

On remercie toute l'équipe pédagogique de l'université de Msila.

Nous remercions nos parents pour leur soutien et leurs encouragements.

nous remercions toute la famille Attig et toute la famille Nouibat et toute la famille Benzahia.

***Mamoune / Salah***

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents pour leur encouragement durant mon parcours scolaire.

A mon cher frère Attig Mahmoud

Récemment décédé, il était ma source d'espoir

Et de motivation que dieu l'accueille dans vaste paradis.

*Mamoune*

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents source de tendresse et d'affection.

A mes frères et sœurs puisse dieu vous donne sante, bonheur et réussite.

A tous les membres de ma famille.

A tous mes amis

*Salah*

# Sommaire

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Etude morphométrique du bassin versant de Bousaâda</b>	
I.1 Introduction.....	2
I.2 Matériels et méthodes utilisés.....	2
I.3 Situation géographique.....	2
I.4 Caractéristiques morphométriques.....	4
I.4.1.1 La Surface S.....	4
I.4.1.2 Le Périmètre P.....	4
I.4.1.3 La forme Kc.....	4
I.4.1.4 Le rectangle équivalent.....	5
I.4.2 Caractéristiques des altitudes.....	5
I.4.3 Les altitudes maximales et minimales.....	7
I.4.4 L'altitude moyenne.....	8
I.4.5 L'altitude médiane.....	9
I.4.6 La dénivelée.....	9
I.5 Caractéristiques des indices des pentes.....	9
I.5.1 La pente moyenne d'un bassin.....	9
I.5.2 Indice de pente globale $I_g$ .....	10
I.5.3 Dénivelée spécifique $D_s$ .....	10
I.6 Caractéristiques du réseau hydrographique.....	11
I.6.1 La longueur du cours d'eau principal.....	11
I.6.2 La pente moyenne brute du cours d'eau principal.....	11
I.6.3 La densité de drainage.....	11
I.6.4 La densité hydrographique.....	12
I.6.5 Constante de stabilité du cours d'eau.....	12
I.6.6 Le coefficient de torrentialité.....	13
I.6.7 Temps de concentration.....	13
I.6.8 Vitesse d'écoulement de l'eau.....	13
I.7 Conclusion.....	15

## **Chapitre II Etude hydrologique du bassin versant de Bousaâda**

II.1 Introduction.....	16
II.2 Analyse des données pluviométriques.....	16
II.2.1 Précipitation maximales journalières.....	16
II.2.2 Choix de la loi d'ajustement.....	18
II.2.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton.....	18
II.2.3.1 Les résultats d'ajustement de la loi de GALTON.....	19
II.2.3.2 Pour la série pluviométrique de Medjedel.....	20
II.2.3.3 Pour la série pluviométrique de Dar Chioukh.....	21
II.2.4 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL.....	22
II.2.4.1 Les résultats d'ajustement de la loi de GUMBEL.....	23
II.2.4.2 Pour la série pluviométrique de Medjedel.....	24
II.2.4.3 Pour la série pluviométrique de Dar Chioukh.....	25
II.3 Calcul de l'intensité de pluie.....	26
II.4 Etude des crues.....	34
II.4.1 Différentes méthodes de prédétermination des crues:.....	34
II.4.1.1 Méthodes historiques.....	34
II.4.1.2 Méthodes empiriques.....	34
II.4.1.3 Courbes enveloppées.....	34
II.4.1.4 Méthodes probabilistiques.....	34
II.4.1.5 Méthodes déterministes.....	35
II.4.1.6 Méthode de QdF.....	35
II.4.2 Choix de la méthode.....	35
II.4.3 Hydrogramme de crue.....	38
II.5 Conclusion.....	40

## **Chapitre III Simulation Hydraulique Des Crues De L'oued De Bousaâda**

III.1 Introduction.....	41
III.2 Les écoulements dans les cours d'eau.....	41
III.2.1 l'écoulement uniforme.....	41
III.2.2 l'écoulement variant graduellement.....	42
III.2.3 l'écoulement variant brusquement.....	42
III.2.4 caractéristiques géométriques des écoulements à surface libre.....	42

III.2.4.1 Section mouillée d'un canal.....	42
III.2.4.2 Périmètre mouillé d'un canal.....	42
III.2.4.3 Pente d'un canal.....	42
III.3 Description du logiciel HEC-RAS.....	42
III.4 Description du tronçon de l'oued Bousaâda simulé.....	43
III.4.1 Modèle Hydraulique de l'oued Bousaâda.....	45
III.4.1.1 Préparation de la géométrie.....	45
III.4.1.2 Conditions aux limites.....	46
III.4.1.3 Rugosité.....	46
III.5 Les résultats pour les écoulements permanent.....	47
III.5.1 Les résultats pour les écoulements non permanent.....	53
III.5.2 Comparaison entre les résultats des tableaux.....	58
III.5.3 Discussion.....	59
III.6 Conclusion.....	60
Conclusion général.....	61
référence bibliographique	

## Liste des tableaux

Tableau I.1 Répartition des surfaces partielles par rapport aux altitudes .....	6
Tableau I.2 Calcul d'altitude moyenne .....	8
Tableau I.3 Deuxième classification d'après l'O.R.S.T.O.M.....	11
Tableau I.4 Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Bousaâda...14	
Tableau II.1 les stations pluviométriques.....	16
Tableau II.2 Séries des Pluies Maximales Journalières station Slim (1967-2008).....17	
Tableau II.3 Séries des Pluies Maximales Journalières station Medjedel (1973-2004)	17
Tableau II.4 Séries des Pluies Maximales Journalières station Dar Chioukh (1970-2004) .....	17
Tableau II.5 Les caractéristiques de la série Slim.....	19
Tableau II.6 Pjmax el la fréquence pour chaque Période de retour .....	19
Tableau II.7 Les caractéristiques de la série Medjedel .....	20
Tableau II.8 Pjmax el la fréquence pour chaque Période de retour .....	20
Tableau II.9 Les caractéristiques de la série Dar Chioukh.....	21
Tableau II.10 Pjmax el la fréquence pour chaque Période de retour .....	21
Tableau II.11 Les caractéristiques de la série Slim.....	23
Tableau II.12 Pjmax el la fréquence pour chaque Période de retour .....	23
Tableau II.13 Les caractéristiques de la série Medjedel .....	24
Tableau II.14 Pjmax el la fréquence pour chaque Période de retour .....	24
Tableau II.15 Les caractéristiques de la série Dar Chioukh.....	25
Tableau II.16 Pjmax el la fréquence pour chaque Période de retour .....	25
Tableau II.17 les pluies de courtes durées et Les intensités maximales (Slim)26	
Tableau II.18 les pluies de courtes durées et Les intensités maximales (Medjedel)	29
Tableau II.19 les pluies de courtes durées et Les intensités maximales (Dar Chioukh)	31
Tableau II.20 Débit maximum de crue pour différentes périodes de retour (Formule de Turazza).....	36
Tableau II.21 Débit maximum de crue pour différentes périodes de retour (Formule de MALLET-GAUTHIER).....	36
Tableau II.22 Débit maximum de crue pour différentes périodes de retour (Formule de Giandotti).....	37
Tableau II.23 Débit maximum de crue pour différentes périodes de retour (Formule de Sokolovsky).....	38

Tableau II.24 Débit maximum de crue de l'oued Bousaâda par différents formule....	38
Tableau II.25 Débit de crues pour différentes périodes de retour.....	39
Tableau III.1 Résultat de simulation d'écoulement permanent de T=100 ans. .	49
Tableau III.2 résultat de simulation d'écoulement permanent de T=50 ans .....	52
Tableau III.3 résultat de simulation d'écoulement non permanent de T=100 ans.....	55
Tableau III.4 résultat de simulation d'écoulement non permanent de T=50 ans.....	58

## Liste des figures

Figure I.1 situation géographique du bassin versant de Bousaâda.....	3
Figure I.2 réseau hydrographique du bassin versant de Bousaâda.....	3
Figure I.3 Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Bousaâda .....	6
Figure I.4 carte des altitudes du bassin versant de Bousaâda .....	7
Figure II.1 Ajustement à la loi de GALTON (Slim). .....	19
Figure II.2 Ajustement à la loi de GALTON (Medjedel) .....	20
Figure II.3 Ajustement à la loi de GALTON (Dar Chioukh).....	21
Figure II.4 Ajustement à la loi de GUMBEL (Slim). .....	23
Figure II.5 Ajustement à la loi de GUMBEL(Medjedel). .....	24
Figure II.6 Ajustement à la loi de GUMBEL (Dar Chioukh) . .....	25
Figure II.7 Courbes des pluies fréquentielle. ....	28
Figure II.8 Courbes des intensités- durées- fréquences. ....	28
Figure II.9 Courbes des pluies fréquentielle .....	30
Figure II.10 Courbes des intensités- durées- fréquences .....	31
Figure II.11 : Courbes des pluies fréquentielle. ....	33
Figure II.12 : Courbes des intensités- durées- fréquences. ....	33
Figure II.13 Les hydrogrammes de crues.....	40
Figure III.1 tronçon de oued Bousaâda .....	44
Figure III.2 la géométrie.....	45
Figure III.3 Carte des profondeurs d'eau (crue centennale) .....	47
Figure III.4 Carte des vitesses d'eau (crue centennale) .....	48
Figure III.5 Carte des profondeurs d'eau (crue cinquennale) .....	50
Figure III.6 Carte des vitesses d'eau (crue cinquennale) .....	51
Figure III.7 Carte des profondeurs d'eau en écoulement non permanent (crue centennale). .....	53
Figure III.8 Carte des vitesses d'eau en écoulement non permanent (crue centennale)....	54
Figure III.9 Carte des profondeurs d'eau en écoulement non permanent (crue cinquennale) .....	56
Figure III.10 Carte des vitesses d'eau en écoulement non permanent (crue cinquennale).....	57

## ملخص

تحتل الفيضانات المركز الأول للكوارث الطبيعية في العالم وتواجه بلادنا هذه الظاهرة عدة مرات خلال السنة مما يسبب أضرارا على الصعيد الاجتماعي والاقتصادي لمكافحة الفيضانات عملنا في هذا البحث دراسة نموذجية ومحاكات هيدروليكية لوادي بوسعادة بعد بناء سد التوزيع نتحقق من دوره الهام في تحويل الكمية الكبيرة من التدفق المائي بوادي بوسعادة إلى وادي ميتر لحماية قرية المعذر من الفيضانات.

## Résumé

Les inondations occupent la première place des catastrophes naturelles dans le monde, et notre pays est confronté à ce phénomène plusieurs fois dans l'année, qui provoque des dégâts sur les plans social et économique. Pour lutter contre les inondations, nous avons travaillé dans cette recherche sur une étude modèle et des simulations hydrauliques de l'oued de Bou Saada, après la construction de la digue de Dérivation. Nous vérifions son rôle important dans le détournement de la grande quantité du débit de l'oued Boussaâda vers oued Maitar pour protéger le village d'Al-Maather des probables risque d'inondation.

## Abstract

Floods rank first among natural disasters in the world, and our country is confronted with this phenomenon several times a year, which causes social and economic damage. To fight against floods, we worked in this research on a model study and hydraulic simulations of the Bou Saada river, after the construction of the Dirivation dyke. We verify its important role in diverting the large amount of flow from the Bou Saada river to Maitar river to protect the village of Al-Maather from the probable risk of flooding.

## *Introduction générale*

L'eau est à l'origine de la vie et permet le maintien de la vie sur terre comme elle peut être une source de problèmes par les situations de pénuries et d'autre part d'inondations. Ces dernières surviennent en cas de fortes pluies, souvent en courte période avec des réponses rapides des bassins versant, dans la majorité des cas les lits mineurs ne véhiculent pas les débits extrêmes en engendrant des débordements vers les lits majeurs et c'est l'inondation, elle est classée au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde.

Plusieurs régions de notre pays sont menacées par les inondations dues à l'interaction de plusieurs facteurs : topographiques, géologiques, hydraulique, météorologique et la nature de l'occupation des sols. Les crues dont l'apparition est soudaine, souvent imprévisible et de débit important se manifeste sur des bassins de taille modérée exemple de catastrophes provoquées par ces crues (Hodna en 1994 et Bâb El Oued en 2001).

En effet, si la crue est un phénomène naturel, les impacts se sont amplifiés en raison du développement des activités humaines dans ces zones, l'imperméabilisation des sols par la construction des bâtiments, la densité urbaine, la perte des zones humides, les changements climatiques peuvent participer aussi à l'augmentation des dommages en cas de fortes crues.

La plupart des oueds algériens connaissent pendant les mois pluvieux des crues relativement violentes d'une assez courte durée, parmi ces oueds on a choisi un cas type de l'oued de Bousaâda. Notre étude analyse la dérivation de la grande partie du débit de l'oued Bousaâda, soit 80%, vers l'oued Maiter en laissant uniquement 20% de débit se dirige vers la plaine d'El Madher. Pour cela, un répartiteur a été conçu en aval de l'oued au côté nord de la ville sur une distance d'environ 18 mètres. Dans cet objectif on se focalise sur la question si l'ouvrage reparti correctement le débit (selon la règle 80% et 20%) conformément à l'étude réalisée en 2010 pour aménager l'oued Bousaâda.

Notre mémoire s'organise en trois (03) chapitres : dans le premier chapitre on étudie Les caractéristiques morphométriques du bassin versant qui sont des éléments importants pour l'étude hydrologique.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude hydrologique du bassin versant de Bousaâda et l'analyse des données pluviométriques en utilisant les lois d'ajustement Gumble et Galton (log-normal) et avec les formules empiriques adaptées au contexte algérien, on trace les hydrogrammes de crues de différentes périodes de retour.

Dans le troisième chapitre nous simulons l'écoulement permanent et non permanent pour les périodes de retour de 100 ans et 50 ans de l'oued de à travers le tronçon qui traverse la ville Bousaâda, pour cela, nous avons opté pour le logiciel HEC-RAS.

Et à la fin une conclusion générale récapitule les principaux résultats et les perspectives.

# *Chapitre I :*

*Etude morphométrique  
du bassin versant de Bou-sââda*

## **Chapitre I : Etude morphométrique du bassin versant de Bousaâda**

### **I.1 Introduction :**

Les caractéristiques morphométriques d'un bassin versant sont des éléments importants pour l'étude hydrologique à travers lesquels on détermine son temps de réponse face aux événements pluvieux, sa vulnérabilité vis-à-vis du risque hydrologique ainsi qu'une meilleure gestion des ressources en eau. Dans cette étude on essaye de déterminer les caractéristiques morphométriques du bassin versant de Bousaâda.

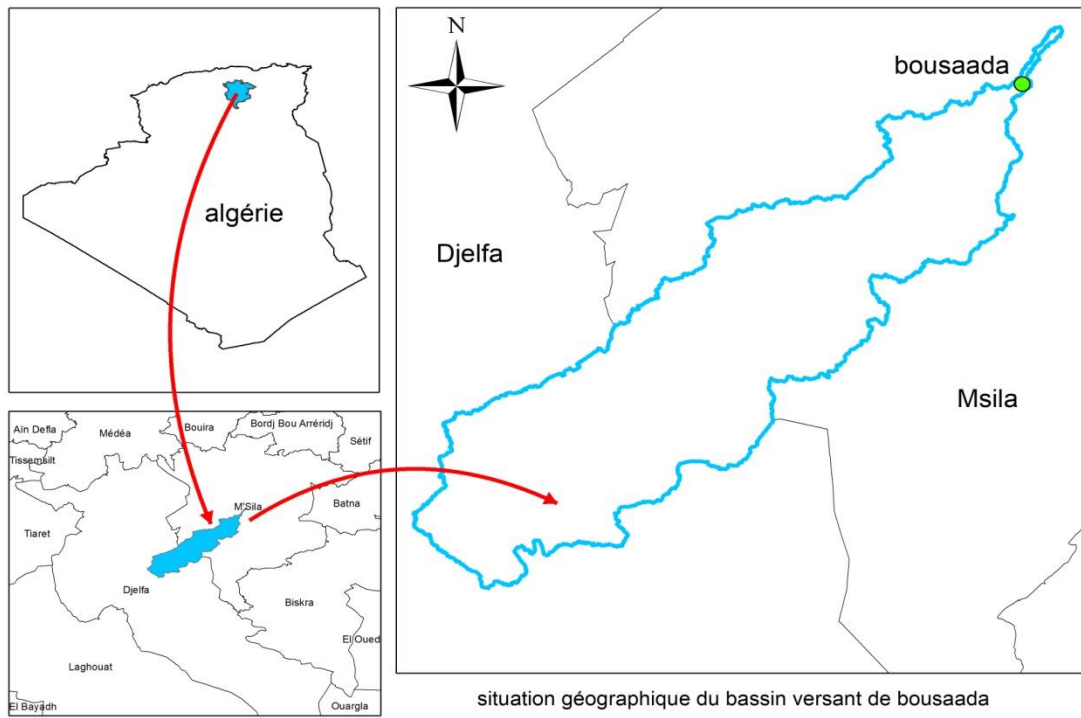
### **I.2 Matériels et méthodes utilisés :**

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé des images satellitaires ou modèle numérique de terrain (MNT) qui est une représentation de la topographie d'une zone terrestre, on a obtenu cette MNT à partir de la plateforme Earth Explorer qui permet d'accéder aux archives du USGS (United States Geological Survey USGS), pour lire cette MNT Nous utilisons ArcGIS qui nous permet de l'extraction du réseau hydrographique et délimitation du bassin versant créer des cartes, analyser des données, partager et collaborer. Accédez à des applications, des cartes et des données spécifiques au flux de travail du monde entier.

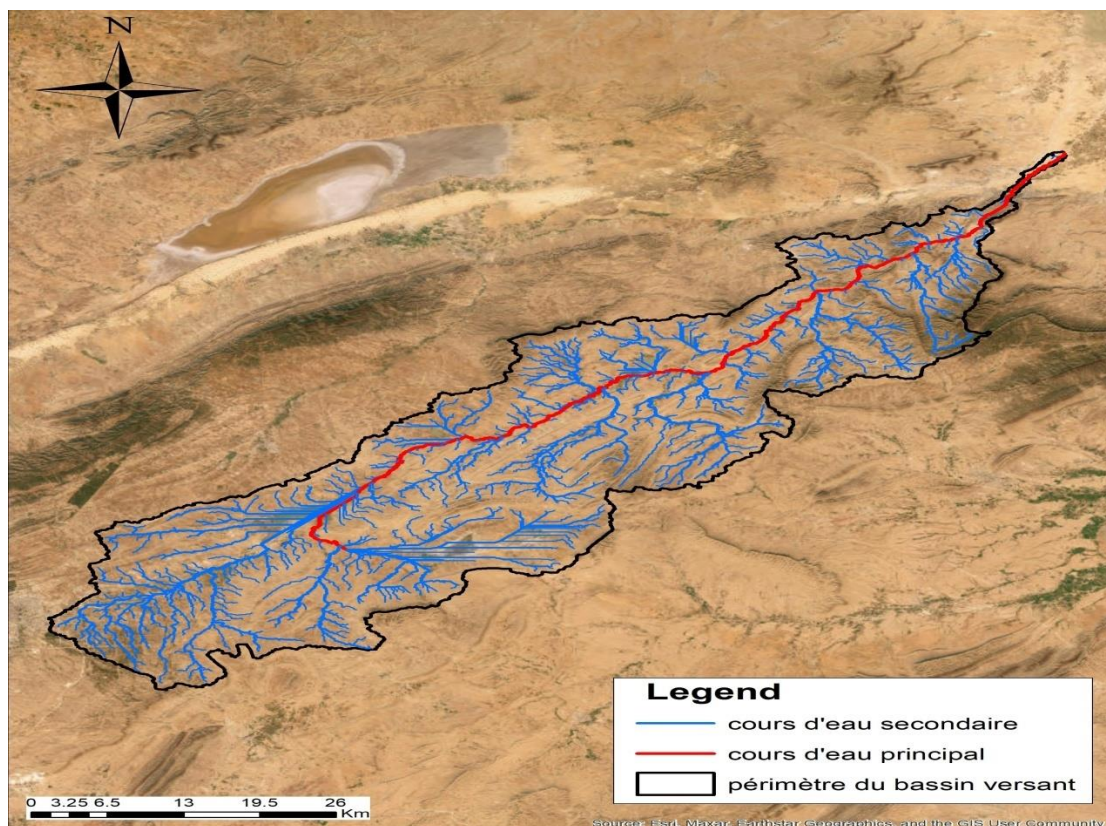
### **I.3 Situation géographique :**

Le bassin versant de l'oued Bou Saada est l'un des sous-bassins du bassin versant du Hodna situé au sud-ouest du bassin Hodna.

Le bassin versant de Bou Saada a une surface de 1957 km<sup>2</sup>, un périmètre de 362 km, et la longueur du cours d'eau principal s'étendant sur 113 km.



**Figure I.2** situation géographique du bassin versant de Bousaâda



**Figure I.3** réseau hydrographique du bassin versant de Bousaâda

## I.4 Caractéristiques morphométriques :

### I.4.1.1 La Surface S :

La superficie du bassin est l'une des propriétés surfaciques les plus importantes fréquemment utilisées dans les modèles hydrologiques et utilisée dans le calcul de nombreux paramètres importants, c'est toute la zone délimitée par la ligne de partage des eaux, et elle est mesurée de plusieurs manières, notamment à l'aide du dispositif planimètre sur la carte de contour, ou au moyen de photographies aériennes ou de visuels satellitaires, ou tout autre programmes informatiques.

Dans notre cas nous utilisons ArcGIS.

La surface d'un bassin s'exprime généralement en km<sup>2</sup>.

S=1957 km<sup>2</sup>.

### I.4.1.2 Le Périmètre P :

C'est la ligne de partage des eaux qui sépare le bassin de ses bassins adjacents, le périmètre du bassin est d'une grande importance dans le calcul de nombreux paramètres morphométriques.

Le périmètre du bassin est calculée par mesure directe à partir des cartes topographiques ou à l'aide de l'outil de mesure inclus dans le programme ArcGIS.

P=362 Km.

### I.4.1.3 La forme Kc :

L'indice de compacité de Gravelius (1914) L'idée la plus simple est de comparer le bassin étudié à un bassin de forme standard défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface.

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

$Kc \leq 1 \Rightarrow$  Bassin versant circulaire.

$Kc = 1,12 \Rightarrow$  Bassin versant carrée.

$Kc > 1,12 \Rightarrow$  Bassin versant allongé.

Pour le bassin de Bousaâda  $Kc = 2.29$ .

Donc notre bassin est de forme allongé.

#### I.4.1.4 Le rectangle équivalent :

Pour comparer des bassins versants entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement, on introduit la notion du rectangle équivalent. On suppose que, sur un bassin donné, l'écoulement est approximativement le même que sur un rectangle de même superficie, ayant un même coefficient de Gravelius, une même répartition hypsométrique à conditions climatiques similaires, une même distribution des sols, de la végétation et même densité de drainage.

En considérant la longueur  $L$  et la largeur  $I$  du rectangle, connaissant le périmètre  $P$ , l'indice de compacité de Gravelius  $K_c$  et la superficie  $A$  du bassin versant, on peut déduire  $I$  et  $L$  par les formules suivantes :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

$$I = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Avec :

$L$  : longueur du rectangle équivalent en (Km) ;

$I$  : largeur du rectangle équivalent en (Km) ;

$K$  : Indice de compacité de Gravelius;

$S$ : Surface du bassin versant [ $\text{km}^2$ ];

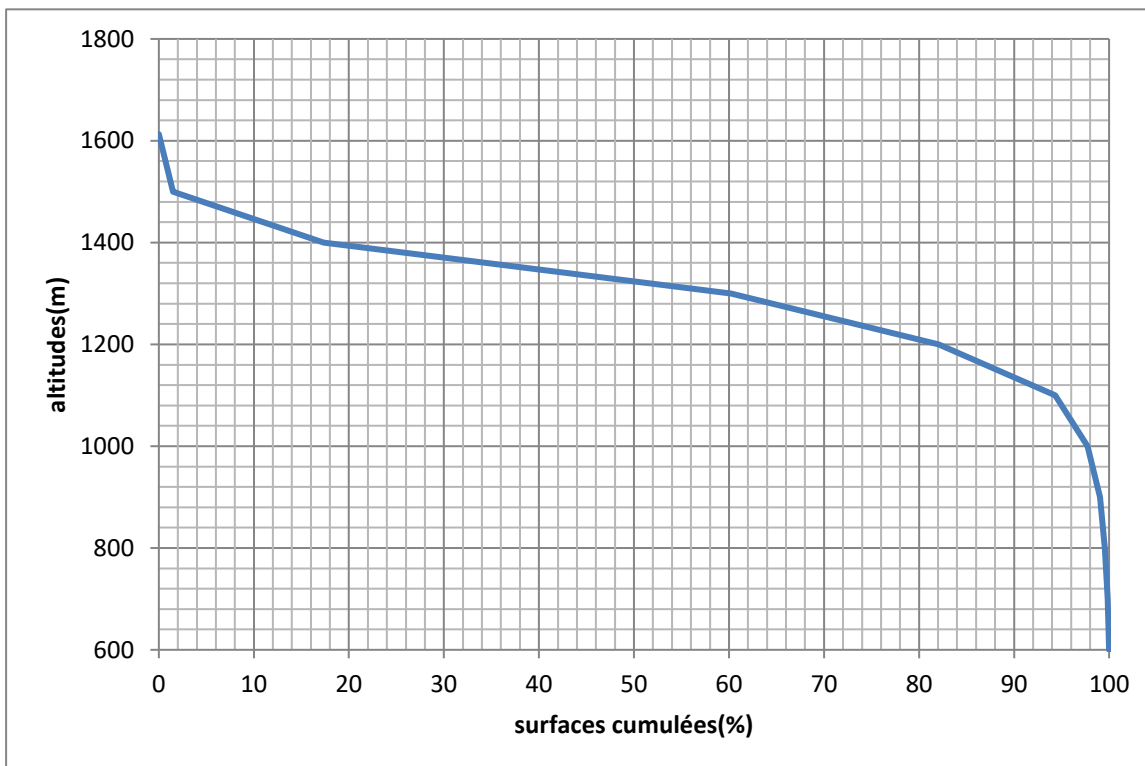
$$L = 169.34 \text{ km} \quad , \quad I = 11.55 \text{ km.}$$

#### I.4.2 Caractéristiques des altitudes :

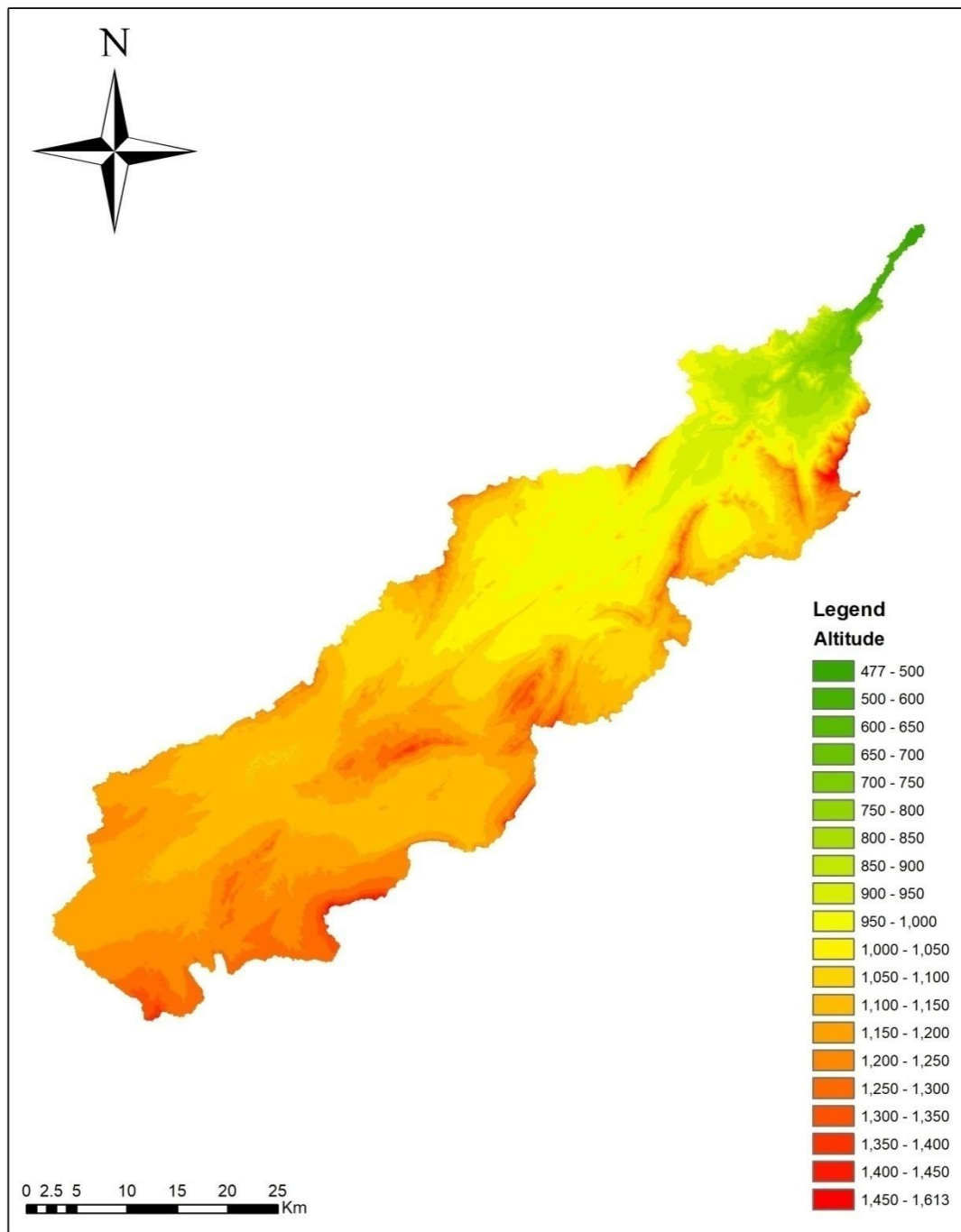
Vu que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont en fonction de l'altitude, la courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude :

**Tableau I.1** Répartition des surfaces partielles par rapport aux altitudes

Altitudes(m)	Altitudes(m)	Surfaces partielles (km <sup>2</sup> )	Surfaces en %	Surfaces cumulées %
477 – 600	600	2,82	0,14	100
600 - 700	700	5,81	0,30	99,86
700 - 800	800	9,69	0,50	99,56
800 - 900	900	25,86	1,32	99,06
900 - 1000	1000	66,96	3,42	97,74
100 - 1100	1100	239,90	12,26	94,32
1100 - 1200	1200	428,04	21,87	82,07
1200 - 1300	1300	838,34	42,83	60,20
1300 - 1400	1400	311,06	15,89	17,37
1400 - 1613	1613	28,96	1,48	1,48



**Figure I.4** Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Bousaâda



**Figure I.5** carte des altitudes du bassin versant de Bousaâda

### I.4.3 Les altitudes maximales et minimales :

L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques ou à partir d'un MNT avec ArcGIS.

L'altitude maximale = 1613m

L'altitude minimale = 477m

#### I.4.4 L'altitude moyenne:

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \frac{\sum Si \times Hi}{A}$$

Avec :

H<sub>moy</sub> : altitude moyenne du bassin [m] ;

Si : aire comprise entre deux courbes de niveau [km<sup>2</sup>] ;

Hi : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

A : superficie totale du bassin versant [km<sup>2</sup>].

**Tableau I.2** Calcul d'altitude moyenne

Altitudes(m)	Si	Hi	(Si*Hi)/S
477 – 600	2,82	538,5	0,78
600 - 700	5,81	650	1,93
700 - 800	9,69	750	3,71
800 - 900	25,86	850	11,23
900 - 1000	66,96	950	32,50
100 - 1100	239,90	1050	128,69
1100 - 1200	428,04	1150	251,48
1200 - 1300	838,34	1250	535,36
1300 - 1400	311,06	1350	214,53
1400 - 1613	28,96	1506,5	22,29
somme	1957,43	/	1202,48

Donc : H<sub>moyenne</sub> = 1202.48m.

### **I.4.5 L'altitude médiane :**

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

A partir de cette courbe hypsométrique l'altitude médiane dans le bassin versant de Bousaâda égal a :

$$H_{\text{médiane}}=1223.81\text{m}$$

### **I.4.6 La dénivelée :**

Elle est calculée par la formule suivante :

$$D= H_{5\%} - H_{95\%}$$

A partir de cette courbe hypsométrique on détermine :

Altitude à 5% :  $H_{5\%} = 980.11\text{m}$

Altitude à 95% :  $H_{95\%} = 1377.84\text{m}$

$$D=1377.84 - 980.11=397.73\text{m}$$

## **I.5 Caractéristiques des indices des pentes :**

L'objectif principal de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et nous Permet de les comparer et de les classer.

### **I .5.1 La pente moyenne d'un bassin :**

La pente moyenne donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement directe donc sur le temps de concentration - et influence directement sur le débit de pointe lors d'une averse.

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. Toutes elles se basent sur une lecture d'une carte topographique réelle ou approximative ou bien à partir d'un MNA. La méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données.

Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante :

$$I_m = \frac{D \times L}{A}$$

$I_m$ : Pente moyenne [m/km ou %];

L: Longueur totale de courbes de niveau [km];

D: Equidistance entre deux courbes de niveau [m];

A : Surface du bassin versant [ km<sup>2</sup> ].

$$I_m = 27.43 \text{ m/km.}$$

### **I .5.2 Indice de pente globale $I_g$ :**

L'aptitude de terrain au ruissellement dans un bassin versant est contrôlée en grande partie par l'influence du relief. Pour mettre ça en évidence, on a utilisé l'indice de pente global  $I_g$  donné par la relation suivante:

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

D: dénivelée (m) ;

L : longueur du rectangle équivalent en (Km) ;

$$I_g = \frac{397.73}{169.34}$$

$$I_g = 2.348\%.$$

### **I.5.3 Dénivelée spécifique $D_s$ :**

La dénivelée spécifique permet de définir les différents types de relief des bassins versants suivant la classification de (ORSTOM: Office de Recherche Scientifique d'Outremer) :

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

$$D_s = 105.46 \text{ m}$$

**Tableau I.3** Deuxième classification d'après l'O.R.S.T.O.M

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

## I.6 Caractéristiques du réseau hydrographique :

### I.6.1 La longueur du cours d'eau principal :

La longueur du cours d'eau principal (L) est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux :

$$L = 113.04 \text{ km}$$

### I.6.2 La pente moyenne brute du cours d'eau principal :

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol :

$$P_{moy} = \frac{\Delta H_{max}}{L}$$

$P_{moy}$  : Pente moyenne du cours d'eau [m/km];

$\Delta H_{max}$  : Dénivellation maximale de la rivière [m] (différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire);

L : Longueur du cours d'eau principal [km].

$$P_{moy} = 5.65 \text{ m/km}$$

### I.6.3 La densité de drainage:

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Avec :

$D_d$  : densité de drainage [km/km<sup>2</sup>] ;

$L_i$  : longueur des cours d'eau [km] ;

$A$  : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>].

$$D_d = \frac{1925.55}{1957}$$

$$D_d = 0.98 \text{ km/km}^2$$

#### I .6.4 La densité hydrographique :

La densité hydrographique représente le nombre des cours d'eau par unité de surface :

$$F = \frac{\sum N_i}{A}$$

Avec :

$F$  : Densité hydrographique [km<sup>-2</sup>] ;

$N_i$  : Nombre des cours d'eau;

$A$  : Superficie du bassin [km<sup>2</sup>].

$N_i = 2690$

$$F = 1.37 \text{ km}^{-2}$$

#### I .6.5 Constante de stabilité du cours d'eau :

Selon Schumm, la valeur inverse de la densité de drainage, s'appelle constante de stabilité du cours d'eau. Physiquement elle représente la surface du bassin nécessaire

pour maintenir des conditions hydrologiques stables dans un vecteur hydrographique unitaire :

$$C_s = \frac{1}{D_d}$$

$$C_s = 1.20 \text{ km}^{-1}$$

### I.6.6 Le coefficient de torrentialité :

Le coefficient de torrentialité est étroitement lié à la densité de drainage. Il donne une idée sur le comportement du réseau de drainage c'est-à-dire comment l'eau provenant des cours d'eau d'ordre inférieur arrive à la rivière principale :

$$C_t = D_d \times F$$

$$C_t = 1.34 \text{ km}^4$$

### I.6.7 Temps de concentration :

Le temps de concentration C'est le temps que met la première goutte de pluie tombée sur le point le plus éloigné pour arriver à l'exutoire du bassin versant.

Une Formule simplifiées peut être utilisées pour estimer le temps de concentration :

La Formule de Giandotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec :

TC: temps de concentration exprimé en heure ;

A : superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;

L : longueur du cours d'eau principal (Km) ;

Hmoy : altitude moyenne (m) ;

Hmin : altitude minimale (m).

$$T_c = 14.382 \text{ heure}$$

### I.6.8 Vitesse d'écoulement de l'eau :

Elle est donnée par la formule suivante :

$$V_e = \frac{L}{T_c}$$

$V_e$  : Vitesse d'écoulement de l'eau [m /s];

$L$  : longueur de talwegs principal [m];

$T_c$  : temps de concentration en [s].

$$V_e = 7.859 \text{ m/s.}$$

**Tableau I.4** Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Bousaâda

Caractéristiques morphométriques et hydrographiques	Symboles	Unités	Résultats
La surface	S	Km <sup>2</sup>	1957
Le périmètre	P	m	362
L'indice de compacité de Gravelius	K <sub>C</sub>	-	2.29
L'altitude maximale	H <sub>max</sub>	m	1613
L'altitude minimale	H <sub>min</sub>	m	477
l'altitude à 95%	H <sub>95%</sub>	m	1377.84
l'altitude à 50%	H <sub>50%</sub>	m	1223.81
l'altitude à 5%	H <sub>5%</sub>	m	980.11
L'altitude moyenne	H <sub>moyenne</sub>	m	1202.48
La dénivelée simple	D	m	397.73
La dénivelée spécifique	D <sub>S</sub>	m	105.46
La longueur du rectangle équivalent	L <sub>rec</sub>	km	169.34
La largeur du rectangle équivalent	I <sub>rec</sub>	Km	11.55
La pente moyenne du bassin versant	I <sub>m</sub>	m/km	27.43
La longueur du cours d'eau principal	L	km	113.04
La pente moyenne brute du cours d'eau principal	P <sub>moy</sub>	m/km	5.65
Le temps de concentration	T <sub>C</sub>	heure	14.382
L'indice de pente global	I <sub>g</sub>	%	2.348
La densité de drainage	D <sub>d</sub>	Km/km <sup>2</sup>	0.98

La densité hydrographique	F	Km <sup>-2</sup>	1.37
Le coefficient de torrentialité	C <sub>t</sub>	Km <sup>2</sup>	134
La vitesse de l'écoulement de l'eau	V <sub>e</sub>	m/s	7.859

## I.7 Conclusion :

Dans ce chapitre les caractéristiques morphométriques du bassin versant de Bousaâda, après avoir obtenu les données nécessaires à partir de MNT (modèle numérique de terrain) et avec l'aide de ArcGIS, cette étude nous a amené à déterminer les résultats suivants : la surface et le périmètre, la forme du bassin versant, les altitudes et les courbes de niveau, les indices de pente, Relief et en fin la Vitesse d'écoulement de l'eau.

# *Chapitre II :*

## *Etude hydrologique du bassin versant de Bou-saâda*

## Chapitre II : Etude hydrologique du bassin versant de Bousaâda

### II.1 Introduction :

L'hydrologie est la science qui englobe l'occurrence, la distribution, le mouvement et les propriétés des eaux de la terre et leur relation avec l'environnement dans chaque phase du cycle hydrologique. Le cycle de l'eau, ou cycle hydrologique, est un processus continu par lequel l'eau est purifiée par évaporation et transportée de la surface de la terre vers l'atmosphère et vers la terre et les océans. Dans ces mouvements d'eau, une augmentation soudaine du débit peut se produire, ce qu'on appelle une crue, qui cause de nombreux problèmes dans les espaces urbains. Afin de prendre les mesures nécessaires pour éviter les pertes matérielles et humaines, nous faisons l'étude hydrologique de bassin versant, à l'aide des données pluviométriques, on peut déterminer la courbe de crue.

### II.2 Analyse des données pluviométriques:

Pour le bassin versant du Bousaâda, nous avons trois stations pluviométriques Slim, Medjedel, Dar Chioukh, la station de Slim se trouve à l'intérieur du bassin versant et les stations Medjedel, Dar Chioukh sont situées à l'extérieur du bassin versant.

**Tableau II.5** les stations pluviométriques

station	Source	Code	Cordonnées (km)			Période d'observation
			X	Y	Z	
slim	ANRH	051703	594.9	178.2	1080	1967-2008
Medjedel	ANRH	170501	590,1	203,6	875	1973-2004
Dar Chioukh	ANRH	170503	572	178	1100	1970-2004

#### II.2.1 Précipitation maximales journalières :

Dans cette étude des pluies maximales journalières on utilise le logiciel Hydrolab 2018 pour faire l'ajustement statistique d'une loi théorique pour les trois stations pluviométriques et déterminer l'intensité de pluie pour chaque période de retour.

**Tableau II.6** Séries des Pluies Maximales Journalières station Slim (1967-2008)

Année	Pmax.j(mm)	Année	Pmax.j(mm)	Année	Pmax.j(mm)	Année	Pmax.j(mm)
1967	30,6	1978	17,7	1989	45,5	2000	9,5
1968	34,7	1979	35,3	1990	27,5	2001	35
1969	52,7	1980	34,8	1991	84,4	2002	18,4
1970	37,2	1981	30,2	1992	12,6	2003	21,7
1971	30,7	1982	31,9	1993	27,6	2004	12,5
1972	29,7	1983	14,9	1994	29,7	2005	16,5
1973	29,1	1984	24,8	1995	23,7	2006	18,5
1974	22,2	1985	41,2	1996	40,7	2007	14,7
1975	33,8	1986	42,7	1997	21,6	2008	18
1976	23,8	1987	23,9	1998	22,5	/	/
1977	28	1988	38,8	1999	8	/	/

**Tableau II.7** Séries des Pluies Maximales Journalières station Medjedel (1973-2004)

Année	Pmax.j(mm)	Année	Pmax.j(mm)	Année	Pmax.j(mm)	Année	Pmax.j(mm)
1973	14,8	1981	/	1989	29,4	1997	27,1
1974	14,1	1982	3,3	1990	37,7	1998	31,6
1975	24,2	1983	17,5	1991	32,1	1999	47,8
1976	21,9	1984	9,5	1992	10,2	2000	21,3
1977	4,6	1985	48,8	1993	8,2	2001	18,5
1978	8	1986	14,4	1994	20,8	2002	21,3
1979	12,2	1987	32,7	1995	25,4	2003	14,1
1980	7,8	1988	26	1996	16,5	2004	24,5

**Tableau II.8** Séries des Pluies Maximales Journalières station Dar Chioukh (1970-2004)

Année	Pmax.j(mm)	Année	Pmax.j(mm)	Année	Pmax.j(mm)	Année	Pmax.j(mm)
1970	9,6	1979	30	1988	41,5	1997	26,4
1971	10	1980	26,1	1989	30,4	1998	24
1972	16	1981	45,2	1990	42,6	1999	31
1973	/	1982	26,5	1991	36	2000	26,6
1974	/	1983	14,4	1992	28,2	2001	13,1
1975	/	1984	19,2	1993	18,5	2002	10
1976	/	1985	36	1994	18,6	2003	24
1977	4,5	1986	32	1995	34,8	2004	24
1978	9	1987	24,4	1996	12,6		

## II.2.2 Choix de la loi d'ajustement:

Il existe de nombreuses méthodes d'ajustement statistiques généralement utilisées pour l'étude des précipitations journalières maximales. Pour déterminer l'efficacité d'une méthode d'estimation nous utilisons la loi de probabilité, qui nous donne un diagramme de probabilité qui représente chaque point de données en fonction du pourcentage de valeurs dans l'échantillon qui sont inférieures ou égales. Si l'ajustement est approprié aux données, les points suivent la ligne de distribution, Si les points s'écartent de la ligne droite, l'ajustement n'est pas acceptable.

Les lois d'ajustement choisies :

la loi de **Gumbel** et la loi de **Galton** (log-normal).

## II.2.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton :

D'après la théorie des probabilités, la distribution de log-normale C'est l'une des distributions qui comprend la probabilité continue pour une variable aléatoire par lequel son logarithme est normalement distribué, L'utilisation du logarithme normal de la distribution de la variable aléatoire X permet à l'équation  $Y = \ln(X)$  d'obtenir une distribution normale :

$$F(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\ln x - \mu]^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$U = \frac{\ln X_i - \ln \bar{X}}{\delta \ln X}$$

En peut écrire l'équation de la droite de Galton sous la forme suivante :

$$\text{Log } x (p\%) = \log \bar{X} + \sigma \log u(p\%).$$

Avec :

U : Variable réduite de gausse

$\bar{X}$  : La moyenne de l'échantillon

$\delta$  : L'écart-type de l'échantillon.

### II.2.3.1 Les résultats d'ajustement de la loi de GALTON :

Pour la série pluviométrique de Slim :

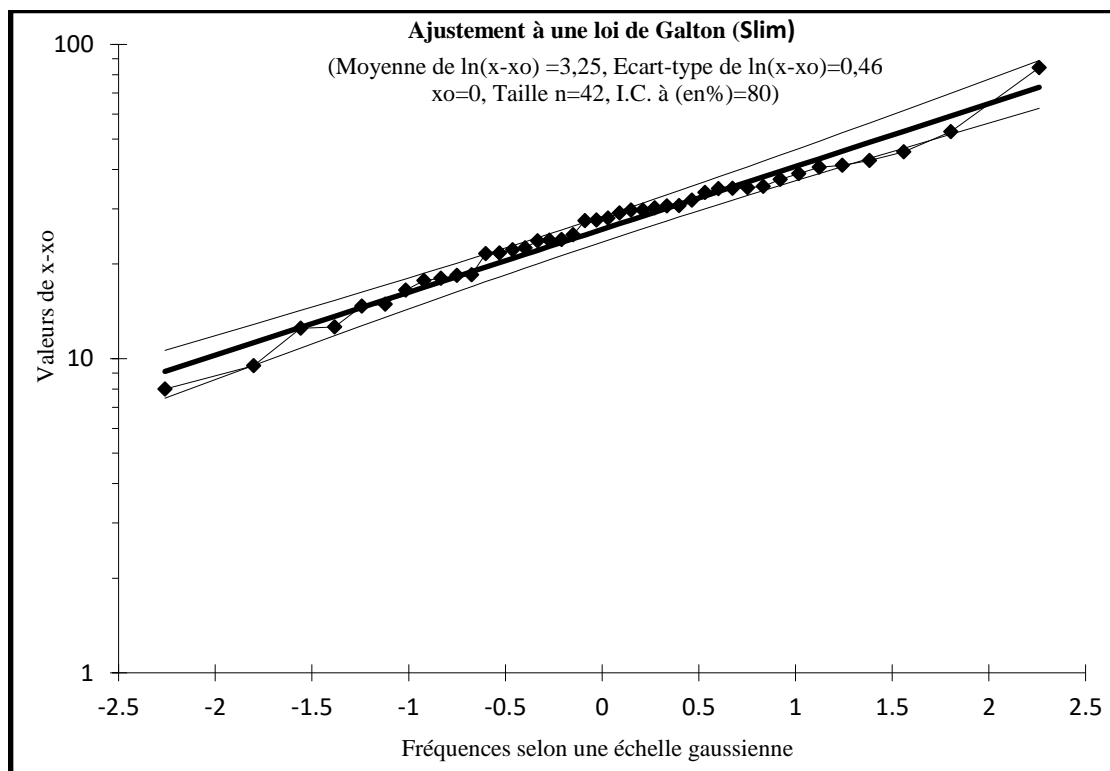
**Tableau II.9** Les caractéristiques de la série Slim

Taille	42
Moyenne	3.25
Ecart-type	0.46
test d'Anderson	0.350(35%)
intervalles de confiance	80%

0.350(35%)>0.1 (10%) ajustement satisfaisant (surligné de vert).

**Tableau II.10** Pjmax et la fréquence pour chaque Période de retour

Période de retour (T)	fréquence	Pjmax (mm)
1000	0.999	107.11
200	0.995	84.51
100	0.990	75.33
50	0.980	66.45
10	0.900	46.50
5	0.800	38



**Figure II.6** Ajustement à la loi de GALTON (Slim).

### II.2.3.2 Pour la série pluviométrique de Medjedel :

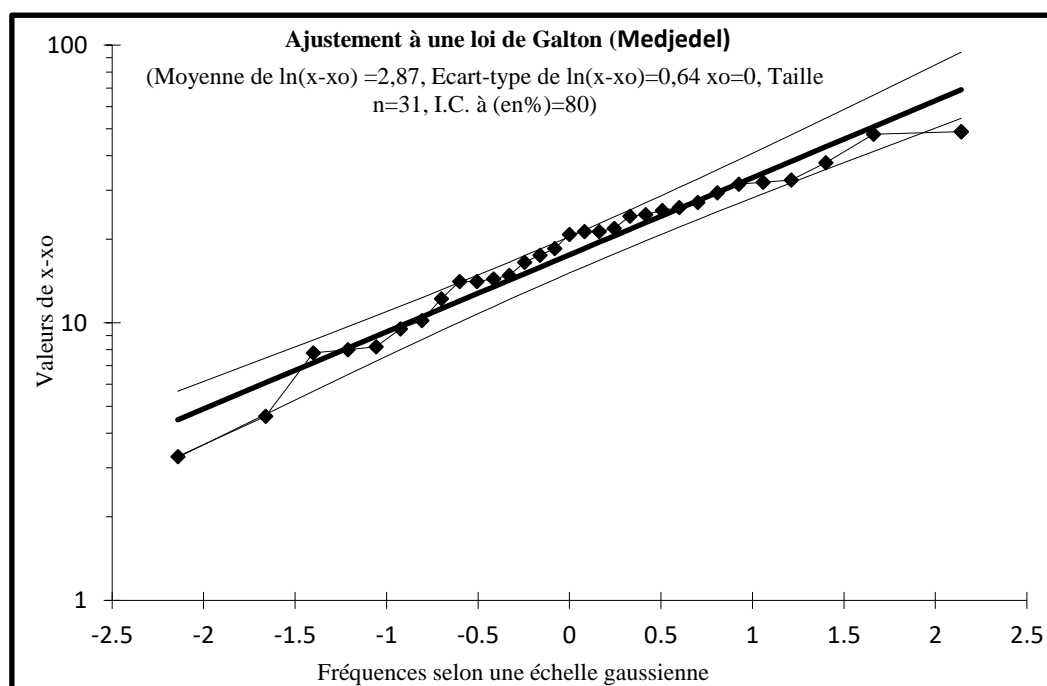
**Tableau II.11** Les caractéristiques de la série Medjedel

Taille	31
Moyenne	2.87
Ecart-type	0.64
test d'Anderson	0.334(34.4%)
intervalles de confiance	80%

0.334(34.4%)>0.1 (10%) ajustement satisfaisant (surligné de vert)

**Tableau II.12** Pjmax et la fréquence pour chaque Période de retour

Période de retour (T)	fréquence	Pjmax (mm)
1000	0.999	126.71
200	0.995	91.20
100	0.990	77.75
50	0.980	65.32
10	0.900	39.87
5	0.800	30.09



**Figure II.7** Ajustement à la loi de GALTON (Medjedel)

### II.2.3.3 Pour la série pluviométrique de Dar Chioukh :

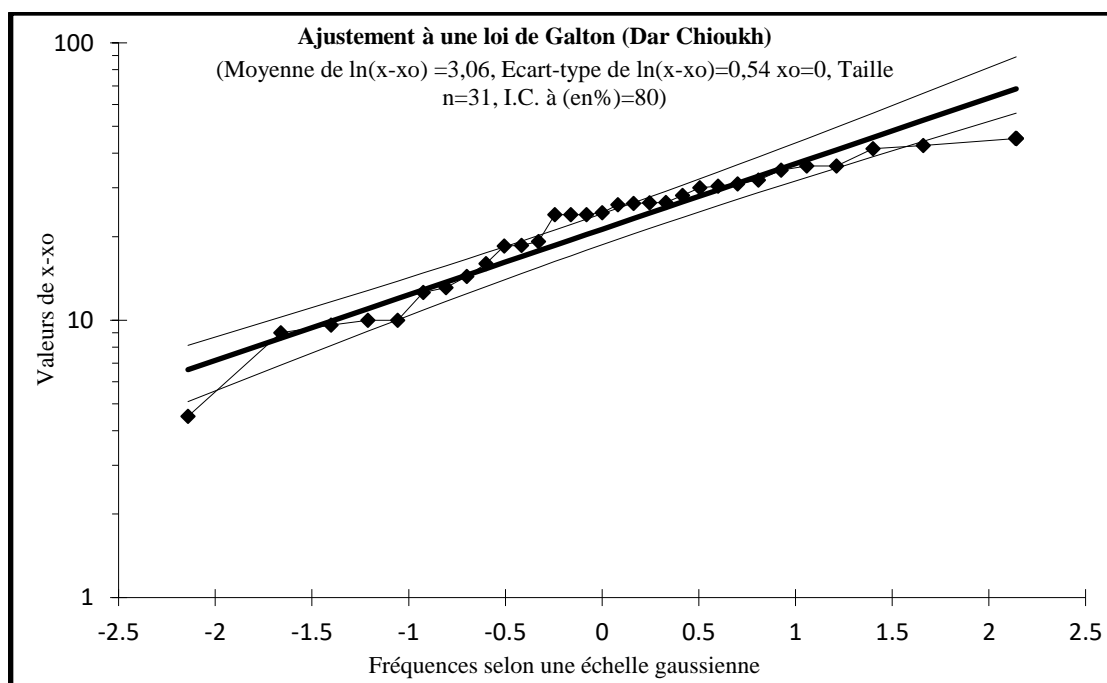
**Tableau II.13** Les caractéristiques de la série Dar Chioukh

Taille	31
Moyenne	3.06
Ecart-type	0.54
test d'Anderson	0.203(20.3%)
intervalles de confiance	80%

0.203(20.3%)>0.1 (10%) ajustement satisfaisant (surligné de vert)

**Tableau II.14** Pjmax et la fréquence pour chaque Période de retour

Période de retour (T)	fréquence	Pjmax (mm)
1000	0.999	114.45
200	0.995	86.49
100	0.990	75,51
50	0.980	65,09
10	0.900	42,75
5	0.800	33,64



**Figure II.8** Ajustement à la loi de GALTON (Dar Chioukh)

## II.2.4 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :

A partir de l'analyse fréquentielle de la série de débits maximaux, nous pouvons estimer le temps de retour pour n'importe quelle valeur, Cette prédiction dépend de l'application du modèle de fréquence, la fréquence a une équation qui décrit le comportement statistique.

A partir de ces modèles nous déterminons la probabilité qu'un événement se produise. Le choix du type de modèle de fréquence dépend de la validité des résultats.

Nous utilisons le modèle fréquentiel pour représenter les valeurs extrêmes du comportement statistique de Gumbel La fonction de distribution de la loi de Gumbel s'écrit sous la forme suivante :

$$f(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right)$$

$$u = \frac{x-a}{b}$$

U : la variable réduite :

a , b : les paramètres du modèle de Gumbel.

On écrit l'expression distributive sous la forme suivante :

$$F(x) = \exp(-\exp(u)) \quad \text{et} \quad u = -\ln(-\ln(F(x))).$$

L'avantage que nous tirons de l'utilisation de la variable réduite est que les résultats sont linéaires.

Méthode des moments :

$$a = u - b\gamma \quad ; \quad b = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma$$

Avec :

$\sigma$  : écart-type des valeurs composant l'échantillon.

$\mu$  : moyenne de l'échantillon.

$\gamma = 0.5772$  (constante d'Euler).

### II.2.4.1 Les résultats d'ajustement de la loi de GUMBEL :

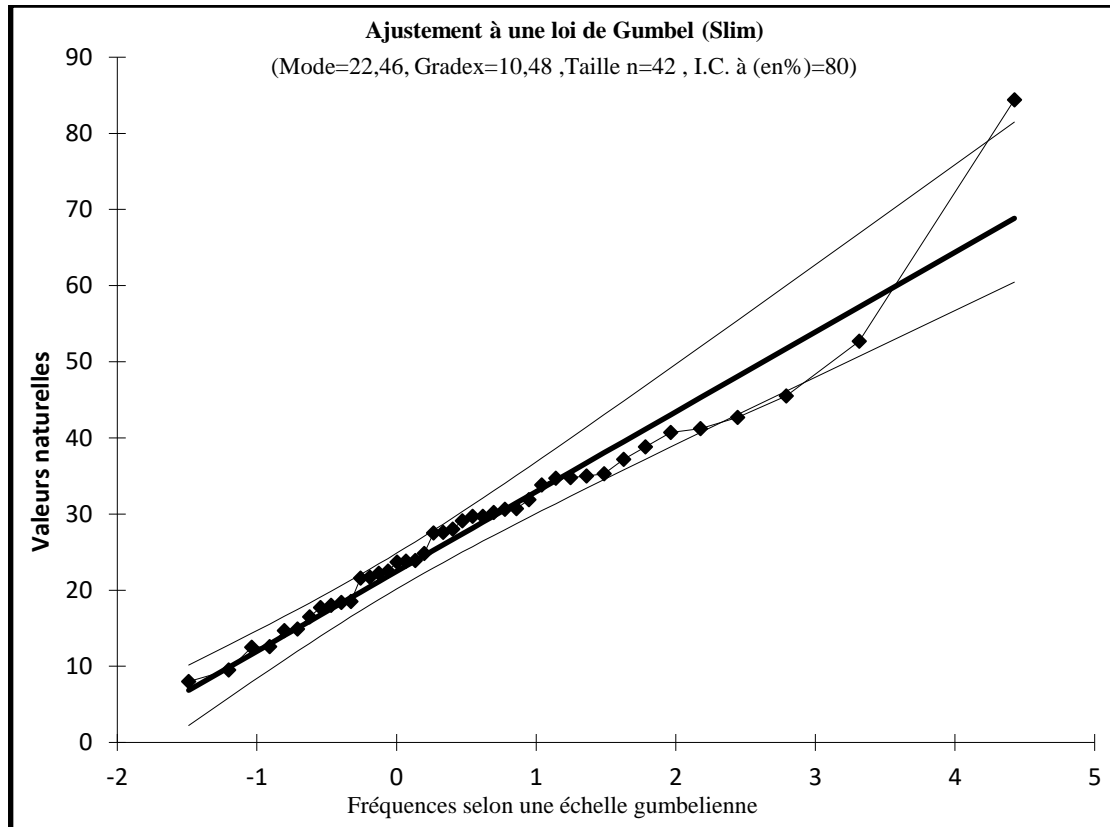
**Tableau II.15** Les caractéristiques de la série Slim

Taille	42
Moyenne	22.45
Ecart-type	10.48
test d'Anderson	0.398(39.8%)
intervalles de confiance	80%

0.398(39.8%)>0.1 (10%) ajustement satisfaisant (surligné de vert).

**Tableau II.16** Pjmax el la fréquence pour chaque Période de retour

Période de retour (T)	fréquence	Pjmax (mm)
1000	0.999	94.86
200	0.995	77.97
100	0.990	70.67
50	0.980	63.35
10	0.900	46.04
5	0.800	38.18



**Figure II.9** Ajustement à la loi de GUMBEL (Slim).

### II.2.4.2 Pour la série pluviométrique de Medjedel :

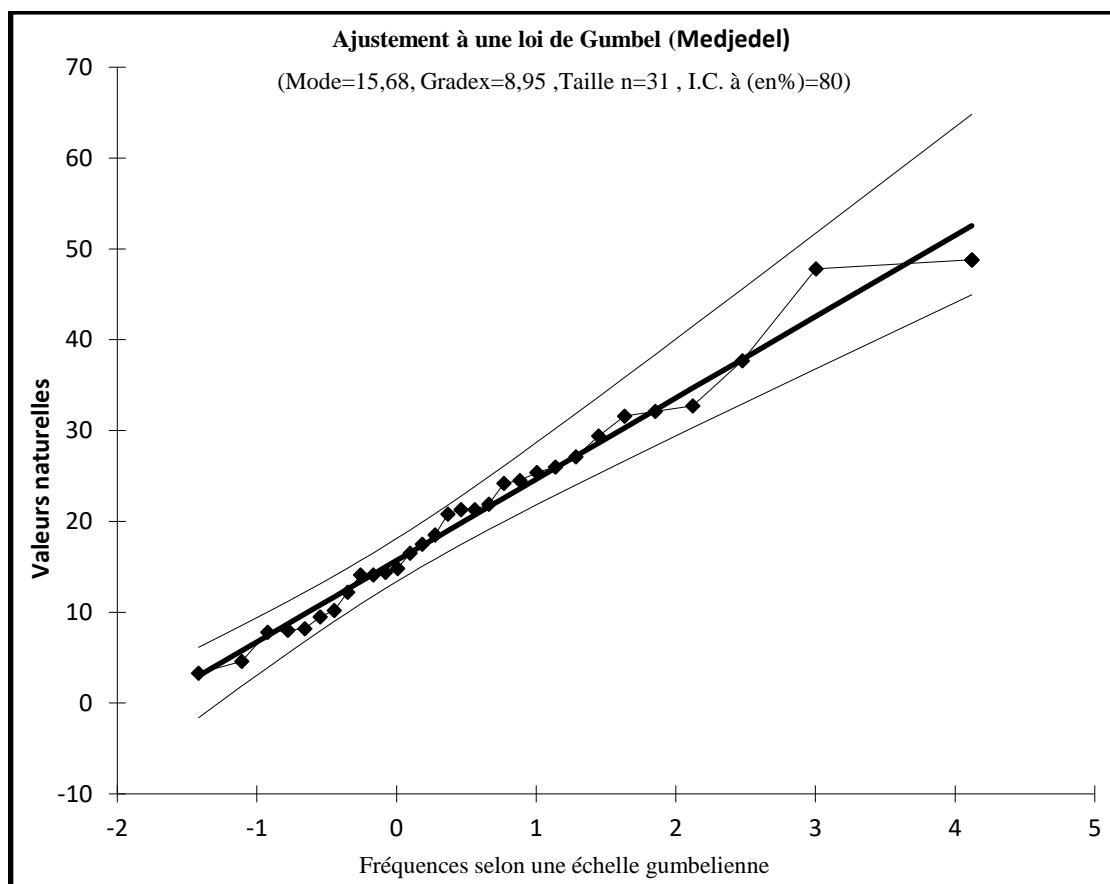
**Tableau II.17** Les caractéristiques de la série Medjedel

Taille	31
Moyenne	15.68
Ecart-type	8.94
test d'Anderson	0.445(45.5%)
intervalles de confiance	80%

0.445(45.5%)>0.1 (10%) ajustement satisfaisant (surligné de vert).

**Tableau II.18** Pjmax et la fréquence pour chaque Période de retour

Période de retour (T)	fréquence	Pjmax (mm)
1000	0.999	77.49
200	0.995	63.07
100	0.990	56.85
50	0.980	50.60
10	0.900	35.82
5	0.800	29.10



**Figure II.10** Ajustement à la loi de GUMBEL(Medjedel).

### II.2.4.3 Pour la série pluviométrique de Dar Chioukh :

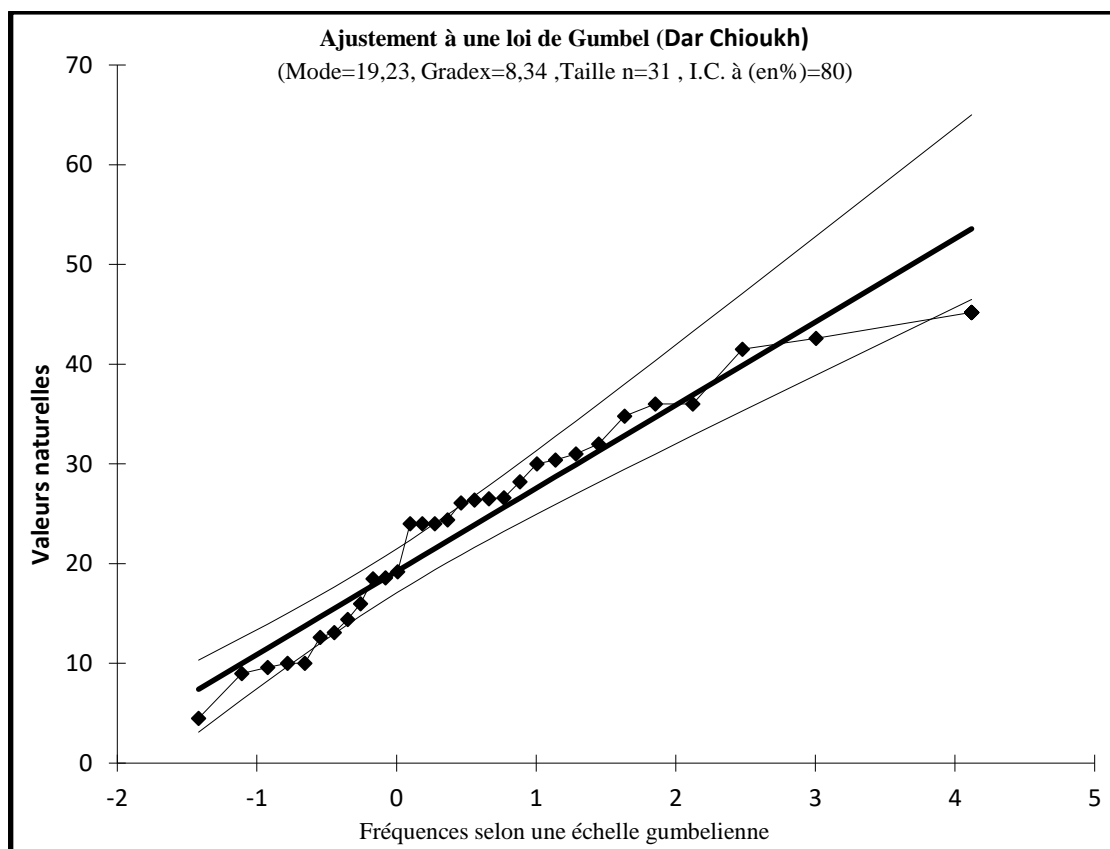
**Tableau II.19** Les caractéristiques de la série Dar Chioukh

Taille	31
Moyenne	19.22
Ecart-type	8.33
test d'Anderson	0.182(18.2%)
intervalles de confiance	80%

0.182(18.2%)>0.1 (10%) ajustement satisfaisant (surligné de vert).

**Tableau II.20** Pjmax et la fréquence pour chaque Période de retour

Période de retour (T)	fréquence	Pjmax (mm)
1000	0.999	76,83
200	0.995	63,39
100	0.990	57,58
50	0.980	51,76
10	0.900	37,99
5	0.800	31,73



**Figure II.11** Ajustement à la loi de GUMBEL (Dar Chioukh) .

### II.3 Calcul de l'intensité de pluie :

Pour chaque instant Il y a une grande différence dans l'intensité des précipitations au cours d'une même averse ou a travers les caractéristiques météorologiques. en cours d'une même Précipitations Plusieurs pointes d'intensité peuvent survenir. Pour calculer les pluies de courtes durées on utilise la formule Body ANRH 1984 :

$$P_{ct} = P_{maxj} \left( \frac{t}{24} \right)^b$$

Pct: Pluie de courte durée pour une fréquence donnée (mm).

Pmaxj: Pluie maximale journalière pour la même fréquence (mm).

t : Durée de pluie (h).

b : Exposant climatique  $b = 0,25$  (donné par l'ANRH).

Les intensités maximales pour chaque période de retour

$$I_{max} = \frac{P_{ct}}{t}$$

Imax : Intensité maximale (mm/h).

Pct : La pluie de courte durée.

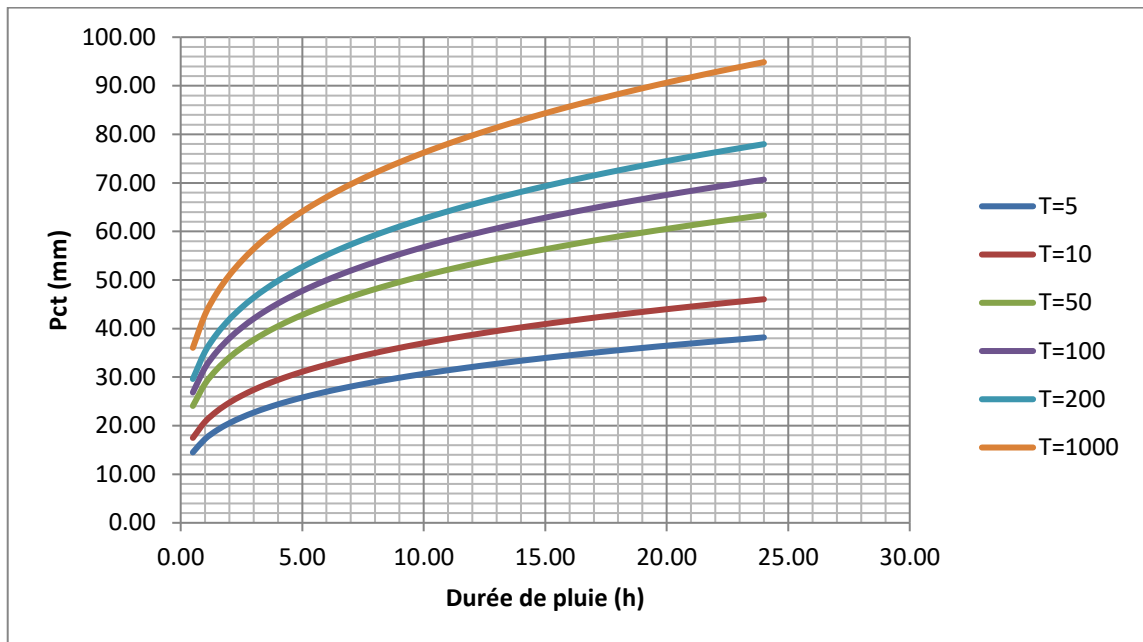
t : La durée en heure.

Les résultats des pluies de courtes durées et les intensités maximales pour chaque période de retour pour les trois stations pluviométriques slim, Medjedel, DAR CHIOUKH

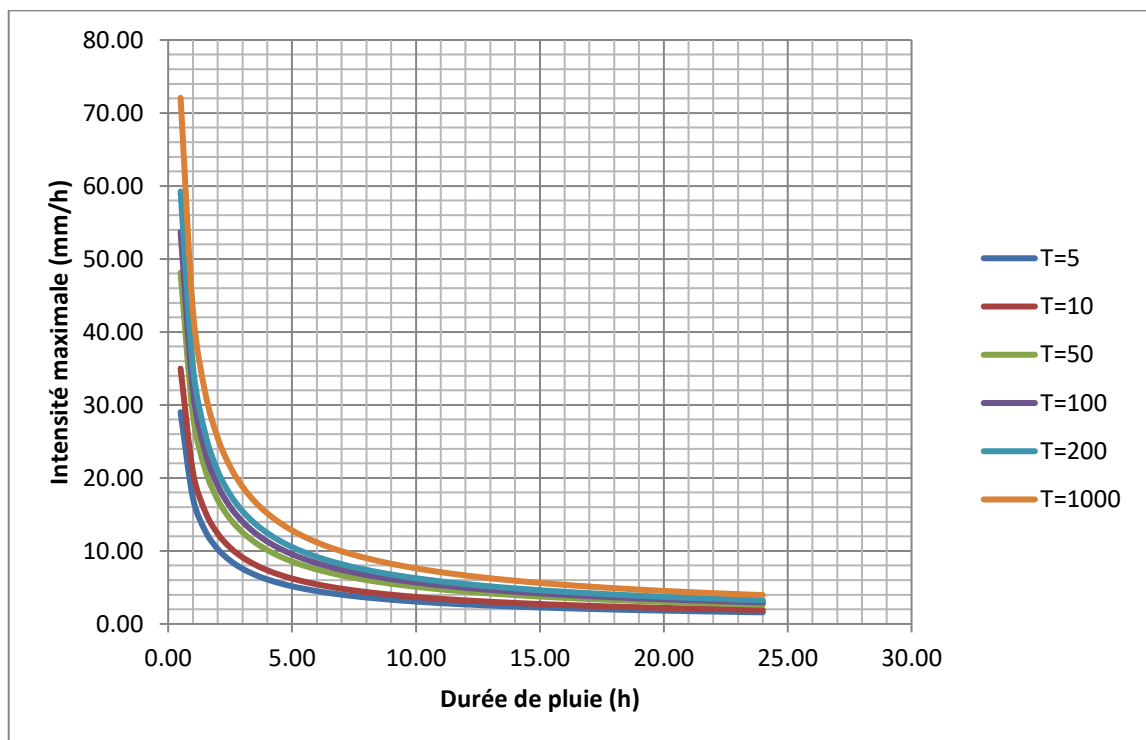
**Tableau II.21** les pluies de courtes durées et Les intensités maximales (Slim)

T(h)	5 ans		10 ans		50 ans		100 ans		200 ans		1000 ans	
	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax
0,50	14,51	29,01	17,49	34,98	24,07	48,14	26,85	53,70	29,62	59,24	36,04	72,08
1,00	17,25	17,25	20,80	20,80	28,62	28,62	31,93	31,93	35,23	35,23	42,86	42,86
1,50	19,09	12,73	23,02	15,35	31,68	21,12	35,34	23,56	38,99	25,99	47,43	31,62
2,00	20,51	10,26	24,74	12,37	34,04	17,02	37,97	18,98	41,89	20,95	50,97	25,48
2,50	21,69	8,68	26,16	10,46	35,99	14,40	40,15	16,06	44,30	17,72	53,89	21,56
3,00	22,70	7,57	27,38	9,13	37,67	12,56	42,02	14,01	46,36	15,45	56,40	18,80
3,50	23,59	6,74	28,45	8,13	39,15	11,19	43,67	12,48	48,18	13,77	58,62	16,75
4,00	24,39	6,10	29,42	7,35	40,48	10,12	45,15	11,29	49,82	12,45	60,61	15,15

4,50	25,12	5,58	30,30	6,73	41,69	9,26	46,50	10,33	51,31	11,40	62,42	13,87
5,00	25,79	5,16	31,10	6,22	42,80	8,56	47,74	9,55	52,68	10,54	64,09	12,82
5,50	26,42	4,80	31,85	5,79	43,83	7,97	48,90	8,89	53,95	9,81	65,63	11,93
6,00	27,00	4,50	32,56	5,43	44,80	7,47	49,97	8,33	55,13	9,19	67,08	11,18
6,50	27,54	4,24	33,21	5,11	45,70	7,03	50,98	7,84	56,25	8,65	68,43	10,53
7,00	28,06	4,01	33,83	4,83	46,56	6,65	51,93	7,42	57,30	8,19	69,71	9,96
7,50	28,55	3,81	34,42	4,59	47,37	6,32	52,84	7,05	58,30	7,77	70,92	9,46
8,00	29,01	3,63	34,98	4,37	48,14	6,02	53,70	6,71	59,24	7,41	72,08	9,01
8,50	29,45	3,47	35,52	4,18	48,87	5,75	54,52	6,41	60,15	7,08	73,18	8,61
9,00	29,88	3,32	36,03	4,00	49,57	5,51	55,30	6,14	61,01	6,78	74,23	8,25
9,50	30,28	3,19	36,52	3,84	50,25	5,29	56,05	5,90	61,85	6,51	75,24	7,92
10,00	30,67	3,07	36,99	3,70	50,90	5,09	56,78	5,68	62,64	6,26	76,21	7,62
10,50	31,05	2,96	37,44	3,57	51,52	4,91	57,48	5,47	63,41	6,04	77,15	7,35
11,00	31,41	2,86	37,88	3,44	52,12	4,74	58,15	5,29	64,15	5,83	78,05	7,10
11,50	31,77	2,76	38,31	3,33	52,71	4,58	58,80	5,11	64,87	5,64	78,92	6,86
12,00	32,11	2,68	38,71	3,23	53,27	4,44	59,43	4,95	65,56	5,46	79,77	6,65
12,50	32,43	2,59	39,11	3,13	53,82	4,31	60,04	4,80	66,24	5,30	80,59	6,45
13,00	32,75	2,52	39,50	3,04	54,35	4,18	60,63	4,66	66,89	5,15	81,38	6,26
13,50	33,06	2,45	39,87	2,95	54,86	4,06	61,20	4,53	67,52	5,00	82,15	6,09
14,00	33,37	2,38	40,24	2,87	55,36	3,95	61,76	4,41	68,14	4,87	82,90	5,92
<b>14,38</b>	<b>33,59</b>	<b>2,34</b>	<b>40,51</b>	<b>2,82</b>	<b>55,74</b>	<b>3,88</b>	<b>62,18</b>	<b>4,32</b>	<b>68,60</b>	<b>4,77</b>	<b>83,46</b>	<b>5,80</b>
14,50	33,66	2,32	40,59	2,80	55,85	3,85	62,31	4,30	68,74	4,74	83,63	5,77
15,00	33,95	2,26	40,94	2,73	56,33	3,76	62,84	4,19	69,33	4,62	84,34	5,62
15,50	34,23	2,21	41,27	2,66	56,79	3,66	63,35	4,09	69,90	4,51	85,04	5,49
16,00	34,50	2,16	41,60	2,60	57,24	3,58	63,86	3,99	70,45	4,40	85,72	5,36
16,50	34,77	2,11	41,92	2,54	57,69	3,50	64,35	3,90	71,00	4,30	86,38	5,24
17,00	35,03	2,06	42,24	2,48	58,12	3,42	64,83	3,81	71,53	4,21	87,02	5,12
17,50	35,28	2,02	42,54	2,43	58,54	3,35	65,30	3,73	72,05	4,12	87,66	5,01
18,00	35,53	1,97	42,85	2,38	58,95	3,28	65,77	3,65	72,56	4,03	88,28	4,90
18,50	35,77	1,93	43,14	2,33	59,36	3,21	66,22	3,58	73,06	3,95	88,88	4,80
19,00	36,01	1,90	43,43	2,29	59,76	3,15	66,66	3,51	73,55	3,87	89,48	4,71
19,50	36,25	1,86	43,71	2,24	60,15	3,08	67,10	3,44	74,03	3,80	90,06	4,62
20,00	36,48	1,82	43,99	2,20	60,53	3,03	67,52	3,38	74,50	3,72	90,63	4,53
20,50	36,70	1,79	44,26	2,16	60,90	2,97	67,94	3,31	74,96	3,66	91,19	4,45
21,00	36,93	1,76	44,53	2,12	61,27	2,92	68,35	3,25	75,41	3,59	91,75	4,37
21,50	37,14	1,73	44,79	2,08	61,63	2,87	68,75	3,20	75,86	3,53	92,29	4,29
22,00	37,36	1,70	45,05	2,05	61,99	2,82	69,15	3,14	76,29	3,47	92,82	4,22
22,50	37,57	1,67	45,30	2,01	62,34	2,77	69,54	3,09	76,72	3,41	93,34	4,15
23,00	37,78	1,64	45,55	1,98	62,68	2,73	69,92	3,04	77,14	3,35	93,86	4,08
23,50	37,98	1,62	45,80	1,95	63,02	2,68	70,30	2,99	77,56	3,30	94,36	4,02
24,00	38,18	1,59	46,04	1,92	63,35	2,64	70,67	2,94	77,97	3,25	94,86	3,95



**Figure II.12** Courbes des pluies fréquentielle.



**Figure II.13** Courbes des intensités- durées- fréquences.

**Tableau II.22** les pluies de courtes durées et Les intensités maximales (Medjedel)

T(h)	5 ans		10 ans		50 ans		100 ans		200 ans		1000 ans	
	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax
0,50	11,06	22,11	13,61	27,22	19,22	38,45	21,60	43,20	23,96	47,92	29,44	58,88
1,00	13,15	13,15	16,18	16,18	22,86	22,86	25,68	25,68	28,50	28,50	35,01	35,01
1,50	14,55	9,70	17,91	11,94	25,30	16,87	28,43	18,95	31,54	21,02	38,75	25,83
2,00	15,63	7,82	19,25	9,62	27,19	13,59	30,54	15,27	33,89	16,94	41,63	20,82
2,50	16,53	6,61	20,35	8,14	28,75	11,50	32,30	12,92	35,83	14,33	44,02	17,61
3,00	17,30	5,77	21,30	7,10	30,09	10,03	33,80	11,27	37,50	12,50	46,08	15,36
3,50	17,98	5,14	22,14	6,32	31,27	8,93	35,13	10,04	38,98	11,14	47,89	13,68
4,00	18,59	4,65	22,89	5,72	32,33	8,08	36,32	9,08	40,30	10,07	49,51	12,38
4,50	19,15	4,26	23,57	5,24	33,30	7,40	37,41	8,31	41,50	9,22	50,99	11,33
5,00	19,66	3,93	24,20	4,84	34,19	6,84	38,41	7,68	42,61	8,52	52,35	10,47
5,50	20,13	3,66	24,78	4,51	35,01	6,37	39,33	7,15	43,64	7,93	53,61	9,75
6,00	20,58	3,43	25,33	4,22	35,78	5,96	40,20	6,70	44,60	7,43	54,79	9,13
6,50	20,99	3,23	25,84	3,98	36,50	5,62	41,01	6,31	45,50	7,00	55,90	8,60
7,00	21,39	3,06	26,32	3,76	37,19	5,31	41,78	5,97	46,35	6,62	56,95	8,14
7,50	21,76	2,90	26,78	3,57	37,83	5,04	42,51	5,67	47,16	6,29	57,94	7,72
8,00	22,11	2,76	27,22	3,40	38,45	4,81	43,20	5,40	47,92	5,99	58,88	7,36
8,50	22,45	2,64	27,63	3,25	39,03	4,59	43,86	5,16	48,65	5,72	59,78	7,03
9,00	22,77	2,53	28,03	3,11	39,60	4,40	44,49	4,94	49,35	5,48	60,64	6,74
9,50	23,08	2,43	28,41	2,99	40,14	4,22	45,09	4,75	50,03	5,27	61,46	6,47
10,00	23,38	2,34	28,78	2,88	40,65	4,07	45,67	4,57	50,67	5,07	62,26	6,23
10,50	23,67	2,25	29,13	2,77	41,15	3,92	46,24	4,40	51,29	4,89	63,02	6,00
11,00	23,94	2,18	29,47	2,68	41,63	3,78	46,78	4,25	51,89	4,72	63,76	5,80
11,50	24,21	2,11	29,80	2,59	42,10	3,66	47,30	4,11	52,47	4,56	64,47	5,61
12,00	24,47	2,04	30,12	2,51	42,55	3,55	47,80	3,98	53,04	4,42	65,16	5,43
12,50	24,72	1,98	30,43	2,43	42,99	3,44	48,30	3,86	53,58	4,29	65,83	5,27
13,00	24,96	1,92	30,73	2,36	43,41	3,34	48,77	3,75	54,11	4,16	66,48	5,11
13,50	25,20	1,87	31,02	2,30	43,82	3,25	49,23	3,65	54,62	4,05	67,11	4,97
14,00	25,43	1,82	31,30	2,24	44,22	3,16	49,68	3,55	55,12	3,94	67,72	4,84
<b>14,38</b>	<b>25,60</b>	<b>1,78</b>	<b>31,51</b>	<b>2,19</b>	<b>44,52</b>	<b>3,10</b>	<b>50,02</b>	<b>3,48</b>	<b>55,49</b>	<b>3,86</b>	<b>68,18</b>	<b>4,74</b>
14,50	25,66	1,77	31,58	2,18	44,61	3,08	50,12	3,46	55,60	3,83	68,32	4,71
15,00	25,87	1,72	31,85	2,12	44,99	3,00	50,55	3,37	56,08	3,74	68,90	4,59
15,50	26,09	1,68	32,11	2,07	45,36	2,93	50,96	3,29	56,54	3,65	69,47	4,48
16,00	26,29	1,64	32,37	2,02	45,72	2,86	51,37	3,21	56,99	3,56	70,02	4,38
16,50	26,50	1,61	32,62	1,98	46,08	2,79	51,77	3,14	57,43	3,48	70,56	4,28
17,00	26,70	1,57	32,86	1,93	46,42	2,73	52,15	3,07	57,86	3,40	71,09	4,18
17,50	26,89	1,54	33,10	1,89	46,76	2,67	52,53	3,00	58,28	3,33	71,61	4,09
18,00	27,08	1,50	33,33	1,85	47,09	2,62	52,90	2,94	58,69	3,26	72,11	4,01
18,50	27,27	1,47	33,56	1,81	47,41	2,56	53,27	2,88	59,10	3,19	72,61	3,92

19,00	27,45	1,44	33,79	1,78	47,73	2,51	53,62	2,82	59,49	3,13	73,09	3,85
19,50	27,63	1,42	34,01	1,74	48,04	2,46	53,97	2,77	59,88	3,07	73,57	3,77
20,00	27,80	1,39	34,22	1,71	48,35	2,42	54,32	2,72	60,26	3,01	74,04	3,70
20,50	27,98	1,36	34,44	1,68	48,64	2,37	54,65	2,67	60,63	2,96	74,50	3,63
21,00	28,14	1,34	34,64	1,65	48,94	2,33	54,98	2,62	61,00	2,90	74,95	3,57
21,50	28,31	1,32	34,85	1,62	49,23	2,29	55,31	2,57	61,36	2,85	75,39	3,51
22,00	28,47	1,29	35,05	1,59	49,51	2,25	55,63	2,53	61,71	2,81	75,82	3,45
22,50	28,63	1,27	35,25	1,57	49,79	2,21	55,94	2,49	62,06	2,76	76,25	3,39
23,00	28,79	1,25	35,44	1,54	50,06	2,18	56,25	2,45	62,40	2,71	76,67	3,33
23,50	28,95	1,23	35,63	1,52	50,33	2,14	56,55	2,41	62,74	2,67	77,08	3,28
24,00	29,10	1,21	35,82	1,49	50,60	2,11	56,85	2,37	63,07	2,63	77,49	3,23

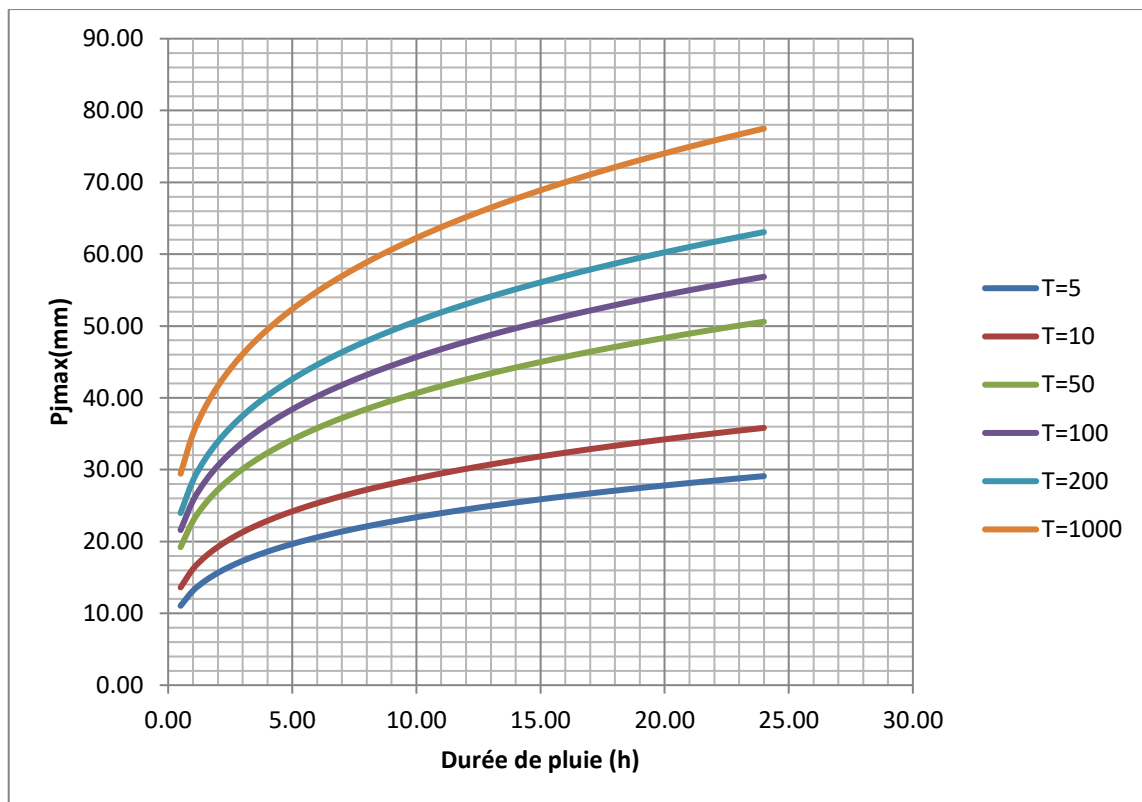


Figure II.14 Courbes des pluies fréquentielle

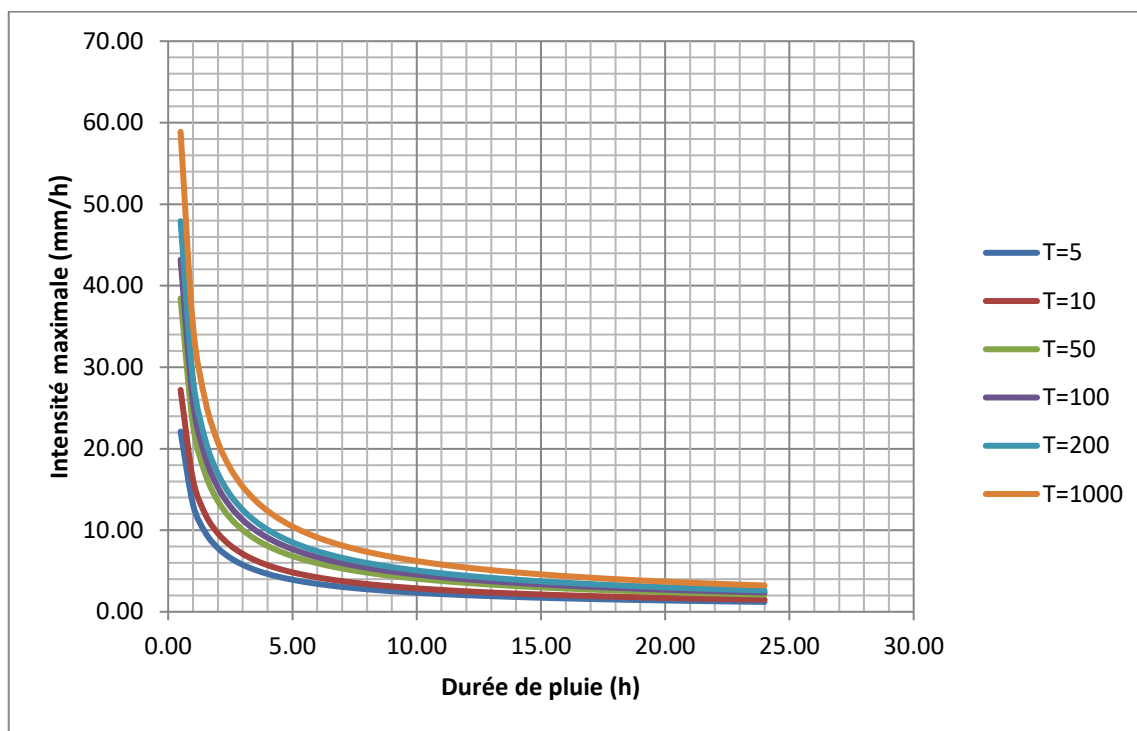


Figure II.15 Courbes des intensités- durées- fréquences

Tableau II.23 les pluies de courtes durées et Les intensités maximales (Dar Chioukh)

T(h)	5 ans		10 ans		50 ans		100 ans		200 ans		1000 ans	
	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax	Pct(mm)	Imax
0,50	12,78	25,56	16,24	32,48	24,73	49,46	28,69	57,38	32,86	65,72	43,48	86,96
1,00	15,20	15,20	19,31	19,31	29,41	29,41	34,12	34,12	39,08	39,08	51,71	51,71
1,50	16,82	11,21	21,38	14,25	32,55	21,70	37,76	25,17	43,25	28,83	57,23	38,15
2,00	18,07	9,04	22,97	11,48	34,97	17,49	40,57	20,29	46,47	23,23	61,49	30,75
2,50	19,11	7,64	24,29	9,71	36,98	14,79	42,90	17,16	49,14	19,65	65,02	26,01
3,00	20,00	6,67	25,42	8,47	38,70	12,90	44,90	14,97	51,43	17,14	68,05	22,68
3,50	20,79	5,94	26,42	7,55	40,22	11,49	46,66	13,33	53,45	15,27	70,73	20,21
4,00	21,49	5,37	27,31	6,83	41,59	10,40	48,25	12,06	55,26	13,82	73,13	18,28
4,50	22,14	4,92	28,13	6,25	42,83	9,52	49,69	11,04	56,91	12,65	75,31	16,74
5,00	22,73	4,55	28,88	5,78	43,97	8,79	51,01	10,20	58,43	11,69	77,32	15,46
5,50	23,28	4,23	29,58	5,38	45,04	8,19	52,24	9,50	59,84	10,88	79,19	14,40
6,00	23,79	3,96	30,23	5,04	46,03	7,67	53,39	8,90	61,16	10,19	80,93	13,49
6,50	24,27	3,73	30,84	4,74	46,96	7,22	54,47	8,38	62,39	9,60	82,56	12,70
7,00	24,72	3,53	31,42	4,49	47,83	6,83	55,49	7,93	63,56	9,08	84,11	12,02
7,50	25,15	3,35	31,96	4,26	48,67	6,49	56,46	7,53	64,67	8,62	85,57	11,41
8,00	25,56	3,20	32,48	4,06	49,46	6,18	57,38	7,17	65,72	8,21	86,96	10,87
8,50	25,95	3,05	32,98	3,88	50,21	5,91	58,25	6,85	66,72	7,85	88,29	10,39
9,00	26,32	2,92	33,45	3,72	50,94	5,66	59,09	6,57	67,68	7,52	89,56	9,95
9,50	26,68	2,81	33,91	3,57	51,63	5,43	59,89	6,30	68,60	7,22	90,78	9,56
10,00	27,03	2,70	34,35	3,43	52,30	5,23	60,67	6,07	69,49	6,95	91,95	9,20
10,50	27,36	2,61	34,77	3,31	52,94	5,04	61,41	5,85	70,34	6,70	93,08	8,86

11,00	27,68	2,52	35,17	3,20	53,56	4,87	62,13	5,65	71,16	6,47	94,17	8,56
11,50	27,99	2,43	35,57	3,09	54,15	4,71	62,82	5,46	71,96	6,26	95,22	8,28
12,00	28,29	2,36	35,95	3,00	54,73	4,56	63,50	5,29	72,73	6,06	96,24	8,02
12,50	28,58	2,29	36,32	2,91	55,30	4,42	64,15	5,13	73,48	5,88	97,23	7,78
13,00	28,86	2,22	36,67	2,82	55,84	4,30	64,78	4,98	74,20	5,71	98,19	7,55
13,50	29,13	2,16	37,02	2,74	56,37	4,18	65,39	4,84	74,90	5,55	99,12	7,34
14,00	29,40	2,10	37,36	2,67	56,88	4,06	65,99	4,71	75,59	5,40	100,02	7,14
<b>14,38</b>	<b>29,60</b>	<b>2,06</b>	<b>37,61</b>	<b>2,62</b>	<b>57,27</b>	<b>3,98</b>	<b>66,43</b>	<b>4,62</b>	<b>76,09</b>	<b>5,29</b>	<b>100,69</b>	<b>7,00</b>
14,50	29,66	2,05	37,69	2,60	57,39	3,96	66,57	4,59	76,25	5,26	100,90	6,96
15,00	29,91	1,99	38,01	2,53	57,87	3,86	67,14	4,48	76,90	5,13	101,76	6,78
15,50	30,16	1,95	38,32	2,47	58,35	3,76	67,69	4,37	77,53	5,00	102,60	6,62
16,00	30,40	1,90	38,63	2,41	58,82	3,68	68,23	4,26	78,15	4,88	103,42	6,46
16,50	30,63	1,86	38,93	2,36	59,27	3,59	68,76	4,17	78,76	4,77	104,22	6,32
17,00	30,86	1,82	39,22	2,31	59,71	3,51	69,27	4,07	79,35	4,67	105,00	6,18
17,50	31,09	1,78	39,50	2,26	60,15	3,44	69,78	3,99	79,92	4,57	105,76	6,04
18,00	31,31	1,74	39,78	2,21	60,57	3,37	70,27	3,90	80,49	4,47	106,51	5,92
18,50	31,52	1,70	40,06	2,17	60,99	3,30	70,75	3,82	81,04	4,38	107,24	5,80
19,00	31,73	1,67	40,32	2,12	61,40	3,23	71,23	3,75	81,58	4,29	107,96	5,68
19,50	31,94	1,64	40,59	2,08	61,80	3,17	71,69	3,68	82,11	4,21	108,66	5,57
20,00	32,14	1,61	40,85	2,04	62,19	3,11	72,15	3,61	82,64	4,13	109,35	5,47
20,50	32,34	1,58	41,10	2,00	62,57	3,05	72,59	3,54	83,15	4,06	110,03	5,37
21,00	32,54	1,55	41,35	1,97	62,95	3,00	73,03	3,48	83,65	3,98	110,69	5,27
21,50	32,73	1,52	41,59	1,93	63,32	2,95	73,46	3,42	84,14	3,91	111,35	5,18
22,00	32,92	1,50	41,83	1,90	63,69	2,89	73,89	3,36	84,63	3,85	111,99	5,09
22,50	33,10	1,47	42,07	1,87	64,05	2,85	74,30	3,30	85,11	3,78	112,62	5,01
23,00	33,28	1,45	42,30	1,84	64,40	2,80	74,71	3,25	85,57	3,72	113,24	4,92
23,50	33,46	1,42	42,53	1,81	64,75	2,76	75,11	3,20	86,04	3,66	113,85	4,84
24,00	33,64	1,40	42,75	1,78	65,09	2,71	75,51	3,15	86,49	3,60	114,45	4,77

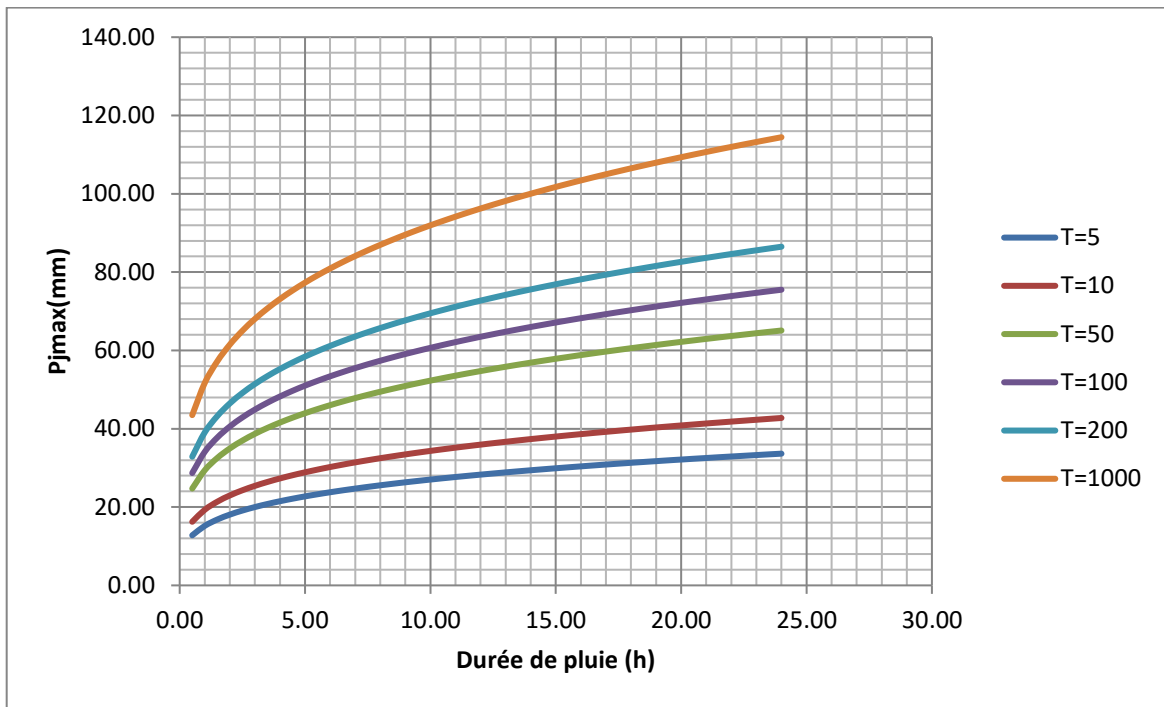


Figure II.16 : Courbes des pluies fréquentielle.

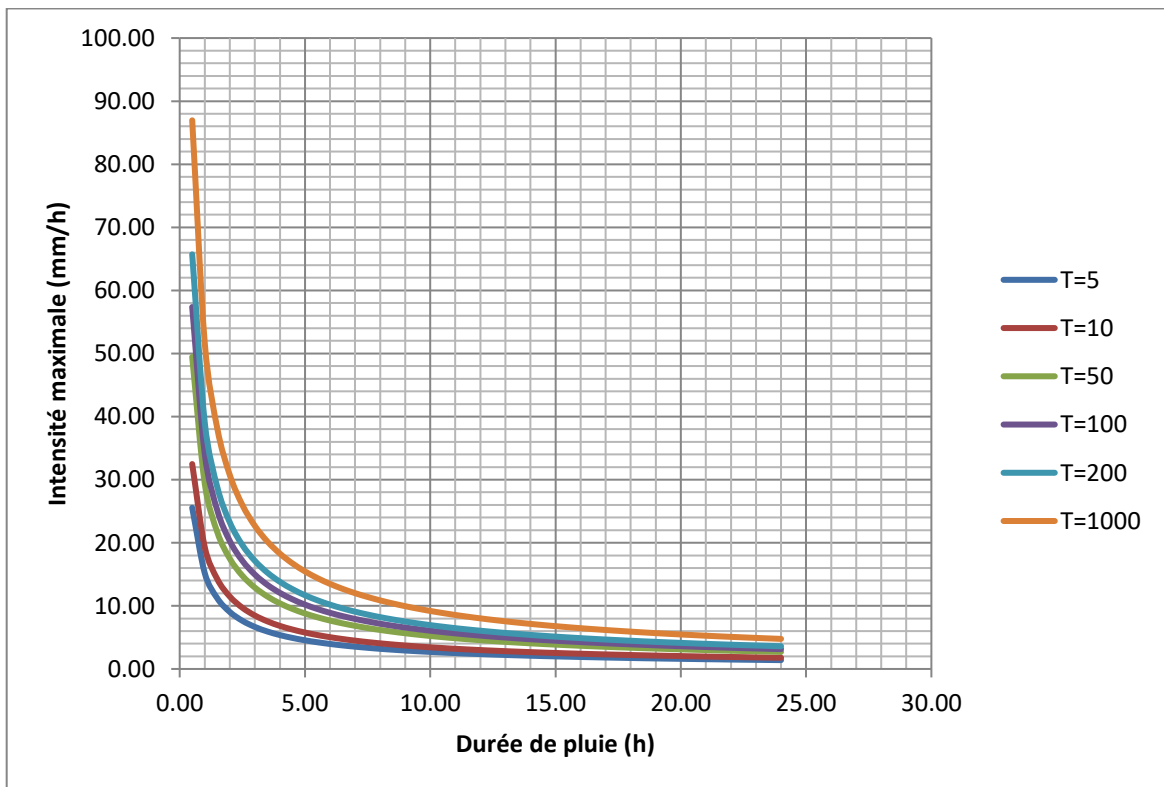


Figure II.17 : Courbes des intensités- durées- fréquences.

## **II.4 Etude des crues :**

L'étude des crues a pour objectif d'estimer les débits de pointe fréquents pour des périodes de retour allant de 5 à 1000 ans et la définition de la forme de l'hydrogramme, avec des formules empiriques ont été utilisées pour la prédétermination des débits de crues maximales.

### **II.4.1 Différentes méthodes de prédétermination des crues:**

Il ya plusieurs méthodes de calcul et prédétermination des crues. Les méthodes utilisées dans la prédétermination des crues dépendent essentiellement des données disponibles.

#### **II.4.1.1 Méthodes historiques :**

Cette méthode est ancienne basée essentiellement sur l'étude des archives, l'information issue d'observations humaines et qui a été conservée dans des fonds d'archives également appelée information historique, la découverte des anciennes traces des crues

#### **II.4.1.2 Méthodes empiriques :**

L'étude empirique représente une technique de recherche qui dépend sur l'observation et l'expérience. L'étude empirique recueille des informations appelées données empiriques. Après analyse, ces données permettent au chercheur de développer des formules empiriques, ces lois établissent les relations entre le débit, la surface du bassin versant, la pluie et la période de retour.

#### **II.4.1.3 Courbes enveloppées :**

Pour tracer la courbe enveloppée on utilise les valeurs de crues maximales de la zone d'étude en fonctions de la surface du bassin versant.

#### **II.4.1.4 Méthodes probabilistiques :**

La méthode du Gradex stipule que lorsque le débit dépasse une certaine valeur, le sol se sature. Sur des périodes de retour de 10 à 50 ans, nous surveillons la qualité du sol et les caractéristiques du bassin versant. Pendant la période de ruissellement initial, toute augmentation des précipitations induit la même augmentation de débit.

Le deuxième principe consiste à ajuster les valeurs extrêmes de pluie par les lois de **Gumbel** ou **Galton**.

### II.4.1.5 Méthodes déterministes :

D'après cette méthode on peut déterminer le débit de pointe et l'hydrogramme de crue qui permet d'estimer son volume.

### II.4.1.6 Méthode de QdF :

Le développement de la modélisation débit, durée, fréquence (QdF) a pour objectif d'inclure la variabilité temporelle des débits lors d'étude des événements hydrologiques extrêmes, l'analyse QdF s'inspire de l'analyse intensité, durée, fréquence (IdF) pour les pluies c'est l'analyse la plus utilisée dans le domaine de la climatologie. À partir de la modélisation QdF on peut donc représenter la quantité de crues continues et constante pour la durée et la probabilité de récurrence.

## II.4.2 Choix de la méthode :

Pour calculer les débits de pointes on utilise les pluies de courtes durées des séries de pluies maximales journalières de la station Slim parce que c'est à l'intérieur du bassin versant et mieux ajuster et avec les données morphométriques que nous avons obtenues dans notre étude, on choisi les formules suivantes :

Turazza, Giandotti, Mallet Gauthier, Sokolovsky.

### ➤ Formule de Turazza :

$$Q_{max,p\%} = \frac{Cr \times I_{p\%} \times S}{3.6}$$

Avec :

S : Surface du bassin versant

$I_{tc}$  : Intensité maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h.

Cr : Coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité p%

Occupation du sol :

S=1957 Km<sup>2</sup>: Urbaine = 13.71Km<sup>2</sup>, forêt =7.09 Km<sup>2</sup>, Agriculture=82.81Km<sup>2</sup>, sol nu=1853.78 Km<sup>2</sup>

$$C_r = \frac{13.71 \times 0.9 + 7.09 \times 0.05 + 82.81 \times 0.10 + 1853.78 \times 0.7}{1957} = 0.67$$

$$I_{p\%} = \frac{P_{tc}}{T_c}$$

**Tableau II.24** Débit maximum de crue pour différentes périodes de retour (Formule de Turazza).

période de retour	1000	200	100	50	10	5
P <sub>tc</sub>	83,46	68,60	62,18	55,74	40,51	33,59
I <sub>p%</sub>	5.38	4.77	4.32	3.87	2.81	2.33
Q max (m <sup>3</sup> /s)	1959.50	1737.32	1573.42	1409.52	1023.45	848.63

### ➤ Formule de Mallet Gauthier :

Cette formule a été déterminée par des études sur les bassins algériens il peut être écrit comme suite :

$$Q_T = 2K \log(1 + A \times \bar{P}) \frac{S}{\sqrt{L_t}} \sqrt{1 + 4 \times \log T - \log S}$$

Avec:

Q<sub>T</sub> : Débit de pointe de période de retour

T (m<sup>3</sup>/s). L<sub>T</sub> : Longueur du cours d'eau (km).

S : Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup>.

P : Pluie moyenne annuelle du bassin versant (m).

A : Coefficient régional du bassin, varie entre 20 et 30 on prend [A = 25].

K : Coefficient dépendant des caractéristiques géomorphologiques du bassin. Varie entre 1 et 3 on prend [K = 1.3].

T : Période de retour

**Tableau II.25** Débit maximum de crue pour différentes périodes de retour (Formule de MALLET-GAUTHIER).

période de retour	1000	200	100	50	10	5
Q max (m <sup>3</sup> /s)	288.49	243.43	221.22	196.50	121.02	65.75

### ➤ Formule de Giandotti :

$$Q_{max,p} = \frac{c \times A \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4\sqrt{A} + 1.5L} \times P_{ct}$$

[36]

Avec :

C : Coefficient topographique variant de 66 a 166, on prend C=166.

L : Longueur du talweg principal en Km.

Pct : Pluie fréquentielle de courte durée. Correspond au temps de concentration en (m).

Hmoy: Altitude moyenne en m.

Hmin : Altitude minimale en m.

A : Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup>

**Tableau II.26** Débit maximum de crue pour différentes périodes de retour (Formule de Giandotti).

période de retour	1000	200	100	50	10	5
Q max (m <sup>3</sup> /s)	2356.47	1936.90	1755.63	1573.80	1143.79	948.40

➤ **Formule de Sokolovsky :**

$$Q_{max} = \frac{0.28 \times P_{tcp\%} \times Ce \times S}{t_m} \times f$$

Avec :

Ptc : Pluie fréquentielle de durée de temps de concentration (mm).

0.28 : Coefficient de changement d'unité.

tm: Temps de concentration du sous bassin en h

Ce : Coefficient de ruissellement de crue en %

f : Coefficient de forme de l'hydrographe de crue, fonction du rapport du temps de descente et de montée. Ce coefficient de forme de la crue peut être calculé par la formule :

$$f = \frac{12}{4 + 3\gamma}$$

$\gamma$  : est un coefficient qui dépend de la valeur de la surface du bassin versant et du type du sol.

Si  $A < 50 \text{ km}^2$ ,  $\gamma = 2$

Pour les petits bassins non boisés à sol peu perméable,  $\gamma = 2 / 2.5$ .

Pour des bassins versants boisés à sol perméable,  $\gamma = 3 / 4$ .

On prend :  $\gamma = 2.2$  D'où :  $f = 1.13$

**Tableau II.27** Débit maximum de crue pour différentes périodes de retour (Formule de Sokolovsky).

période de retour	1000	200	100	50	10	5
Q max (m <sup>3</sup> /s)	2407.80	1979.09	1793.88	1608.08	1168.70	969.06

**Tableau II.28** Débit maximum de crue de l'oued Bousaâda par différents formule

période de retour		1000	200	100	50	10	5
Q max (m <sup>3</sup> /s)	Formule de Mallet Gauthier	288.49	243.43	221.22	196.50	121.02	65.75
	Formule de Turazza	1959.50	1737.32	1573.42	1409.52	1023.45	848.63
	Formule de Giandotti	2356.47	1936.90	1755.63	1573.80	1143.79	948.40
	Formule de Sokolovsky	2407.80	1979.09	1793.88	1608.08	1168.70	969.06

La formule de SOKOLOSKI Il est le plus largement utilisé dans les pays du Nord d'Afrique, Il prend en compte plusieurs paramètres et caractéristiques du bassin versant (la pluie fréquentielle qui correspond au temps de concentration, le coefficient de ruissellement, la surface du bassin versant, la forme du bassin et du temps de montée de la crue).

### II.4.3 Hydrogramme de crue :

La forme générale de l'hydrogramme de crue présente une courbe en cloche dissymétrique Divisée en quatre parties : Sécheresse avant la pluie, crue, décrue et Sécheresse, pour tracer l'hydrogramme de crues on utilise les équations suivantes :

#### Pour le temps de montée:

$$Q_t = Q_{max} \left( \frac{t}{t_m} \right)^m$$

Avec :

Qt= Débit à l'instant t en heures après le début de la crue (m<sup>3</sup> /s)

$Q_{max}$  = Débit maximal de la crue (m<sup>3</sup>/s)

$T_m$  = Temps de montée de la crue en heures. L'auteur préconise pour les petits bassins

$t_m = t_c$

$m$  = Exposant de la parabole, pour les crues pluviales  $m = 2$ .

### Pour la décrue:

$$Q_{(t')} = Q_{max} \left( \frac{t_d - t'}{t_d} \right)^n$$

Avec :

$Q_{max}$  (%) : débit maximum de fréquence donnée.

$Q_t$ : débit instantané au moment (t).  $t_m$ : temps de montée et de décrue;

$t_m = t_c$  (h).

$t_d$  : Temps de la décrue ;  $t_d = \delta * t_c$  (h)

$m, n$  : puissances des paraboles .Dans le cas général,  $n=3$  et  $m=2$ .

$\delta$ : Coefficient dépendant des caractéristiques du bassin versant ,il est pris en général compris entre (2 — 4) , celui-ci est fonction du cours d'eau (longueur), de la perméabilité et du boisement du bassin ,on prend  $\delta=2$ .

On a :  $t_m = t_c$  ;  $t_d = t_m * \gamma$  et  $t_b = t_m + t_d$

$\gamma$ : dépend de la capacité de régulation du bassin,  $\gamma = 2$

Donc :  $t_m = t_c = 14.38$  h.

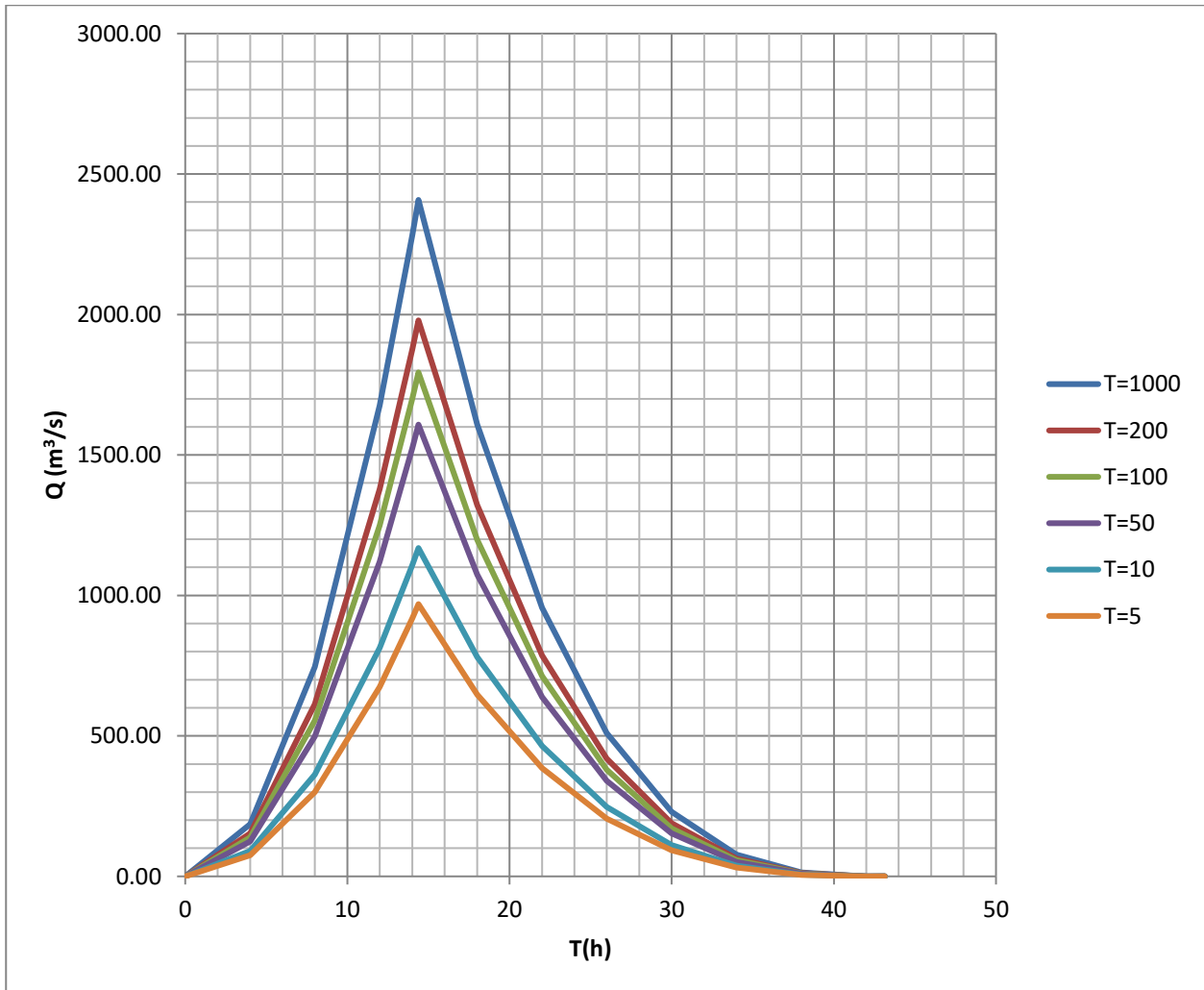
$$T_d = 2 * t_m = 28.76 \text{ h}$$

$$t_b = t_m + t_d = 43.14 \text{ h.}$$

**Tableau II.29** Débit de crues pour différentes périodes de retour

T(h)	1000	200	100	50	10	5
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	186,30	153,13	138,80	124,43	90,43	74,98
8	745,22	612,53	555,21	497,70	361,71	299,93
12	1676,74	1378,19	1249,22	1119,83	813,86	674,83
14	2282,23	1875,87	1700,32	1524,21	1107,75	918,52
14,38	2407,80	1979,09	1793,88	1608,08	1168,70	969,06

18	1608,24	1321,89	1198,18	1074,08	780,61	647,26
22	956,24	785,98	712,43	638,64	464,14	384,86
26	509,67	418,92	379,72	340,39	247,38	205,12
30	229,64	188,75	171,09	153,37	111,46	92,42
34	77,28	63,52	57,58	51,62	37,51	31,10
38	13,74	11,30	10,24	9,18	6,67	5,53
42	0,15	0,12	0,11	0,10	0,07	0,06
43,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



**Figure II.18** Les hydrogrammes de crues

**II.5 Conclusion :**

Cette étude vise à faire l’ajustement statistique pour les trois stations pluviométriques par La loi de Gumbel et Galton et calculer les pluies de courtes durées et Les intensités maximales, à travers ces données on détermine le Débit de pointe a partir de différentes méthodes. Parmi ces méthodes, nous avons choisi la formule de Sokolovsky pour tracer les hydrogrammes de crues.

# ***Chapitre III :***

***Simulation Hydraulique Des Crues  
De L'oued De Bou-saâda***

## **Chapitre III Simulation Hydraulique Des Crues De L'oued De Bousaâda**

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

Les inondations menacent de nombreux habitants en Algérie, en particulier les villes situées près des vallées. Pour protéger la ville et la population de Bousaâda, dans notre étude, nous utilisons logiciel HEC-RAS pour les simulations hydrauliques de des crues centennale et cinquantennale. Après avoir traité les données topographiques et les avoir converties en modèle numérique d'élévation à l'aide d'ArcGIS et à l'aide de l'hydrogramme de crue, nous les simulons ces crues avec le logiciel HEC-RAS en écoulement permanent et non permanent.

### **III.2 Les écoulements dans les cours d'eau :**

Les écoulements à surface libre sont divisés en deux types permanents ou non permanents. Dans un écoulement permanent le débit d'écoulement est constant

Dans le temps mais ça n'existe pas en pratique soul si l'ingénieur simplifie l'étape de conception et de rehabilitation ou dans le cas où les propriétés de l'écoulement varient leuement alors l'hypothèse de permanence est acceptable.

Dans l'écoulement non permanent le débit d'écoulement varie significativement dans le temps comme dans une conduite d'égout ou dans une rivière en temps de pluie.

Un écoulement permanent peut être : uniforme, variant graduellement ou variant brusquement.

#### **III.2.1 l'écoulement uniforme :**

Pour un écoulement uniforme la profondeur et la vitesse d'écoulement restent constantes le long d'écoulement avec des propriétés géométriques et hydrauliques aussi constantes, cet écoulement n'existe pas en pratique son hypothèse est approximative ou retenue dans un contexte de design.

### **III.2.2 l'écoulement variant graduellement :**

Dans un écoulement variant graduellement la profondeur et la vitesse d'écoulement varient graduellement le long de l'écoulement. Le cas typique est l'élévation du niveau d'eau en amont d'une retenue. Il faut connaître l'effet d'un niveau d'exploitation donné de la retenue sur l'inondation des terres en amont.

### **III.2.3 l'écoulement variant brusquement :**

Dans un écoulement variant brusquement, le niveau et la vitesse varient d'une manière brusque sur une courte distance. Un exemple est celui du ressaut hydraulique qui se produit au passage d'un écoulement rapide à un écoulement lent.

### **III.2.4 caractéristiques géométriques des écoulements à surface libre:**

#### **III.2.4.1 Section mouillée d'un canal :**

La section d'un canal est la section perpendiculaire à son axe. Si le canal est de forme cylindrique ou prismatique, comme tous les cas considérés ici, l'axe du canal est parallèle à la génératrice du cylindre ou aux arêtes du prisme. On appelle section mouillée  $A$  d'un canal la portion de la section du canal limitée par les parois du canal et la surface libre.

#### **III.2.4.2 Périmètre mouillé d'un canal :**

On appelle périmètre mouillé  $P$  d'un canal, le périmètre de la section mouillée qui inclut les parois solides mais ne comprend pas la surface libre.

#### **III.2.4.3 Pente d'un canal :**

On définit la pente d'un canal comme étant la tangente de l'angle d'inclinaison du lit par rapport à l'horizontale. Comme cet angle est généralement très petit, la pente est, en pratique, numériquement égale à l'angle donné en radians.

### **III.3 Description du logiciel HEC-RAS :**

HEC-RAS est un logiciel conçu pour effectuer des calculs hydrauliques unidimensionnels (1D), bidimensionnels (2D) ou une combinaison des deux pour modéliser les réseaux de cours d'eau naturels et artificiels. Il permet de calculer les profils de surface de l'eau en écoulement régulier, de simuler l'écoulement non régulier, d'analyser le transport de sédiments et de réaliser des études de qualité de l'eau.

La fonction d'écoulement régulier permet de calculer les profils de surface d'eau pour différents régimes d'écoulement. Elle prend en compte les pertes d'énergie causées par la friction et les variations de la section du cours d'eau. On peut également évaluer les effets des structures hydrauliques telles que les ponts, les conduites et les déversoirs.

La simulation d'écoulement non régulier permet de modéliser les variations de l'écoulement dans le temps. Elle intègre les calculs hydrauliques de la fonction d'écoulement régulier et permet également de prendre en compte les zones de stockage et les connexions hydrauliques entre les cours d'eau.

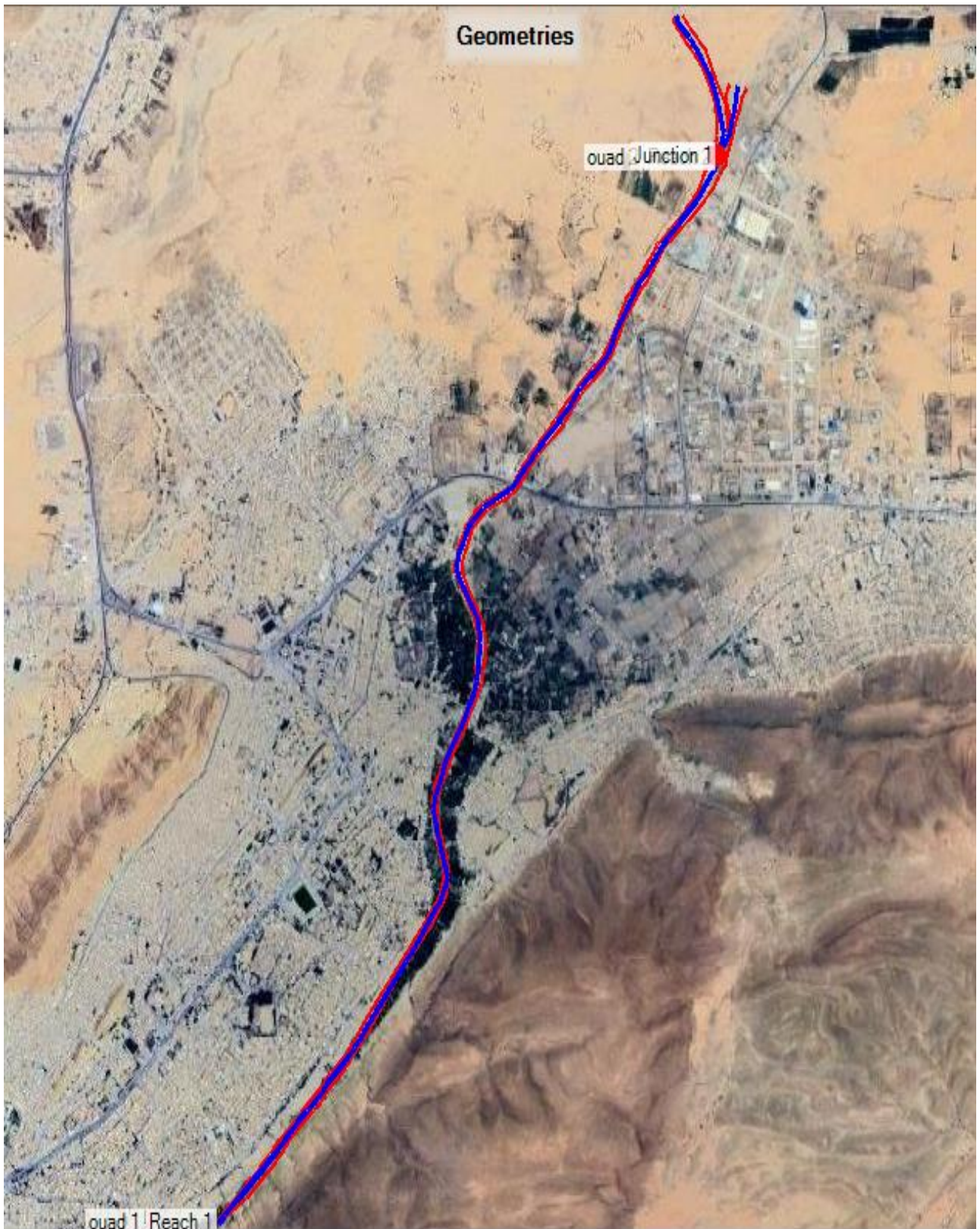
La fonction de transport de sédiments permet de simuler le mouvement des sédiments dans le temps, en prenant en compte leur taille et leur comportement. Cela permet d'évaluer l'érosion et la déposition dans les cours d'eau, les effets du dragage et d'autres facteurs.

Enfin, la fonction d'analyse de la qualité de l'eau permet d'étudier les paramètres de la qualité de l'eau, tels que la température, l'oxygène dissous et certains composants chimiques. Cela permet d'évaluer les effets de différents facteurs sur la qualité de l'eau des cours d'eau.

HEC-RAS offre donc une gamme complète de fonctionnalités pour l'analyse hydraulique et la modélisation des cours d'eau, ce qui en fait un outil polyvalent pour les études de gestion des ressources en eau.

### **III.4 Description du tronçon de l'oued Bousaâda simulé :**

Ce tronçon traverse la ville de Bousaâda sur une longueur de 5680m jusqu'au reparteteur qui divise l'oued de Bousaâda vers les zones agricoles et l'autre partie vers oued Maitar.



**Figure III.19 tronçon de oued Bousaâda**

### III.4.1 Modèle Hydraulique de l'oued Bousaâda

#### III.4.1.1 Préparation de la géométrie :

Pour simuler l'écoulement de oued Bousaâda on ouvre les données topographique mnt par ras mapper, on trace le lit mineur et lit majeur avec les cross sections.

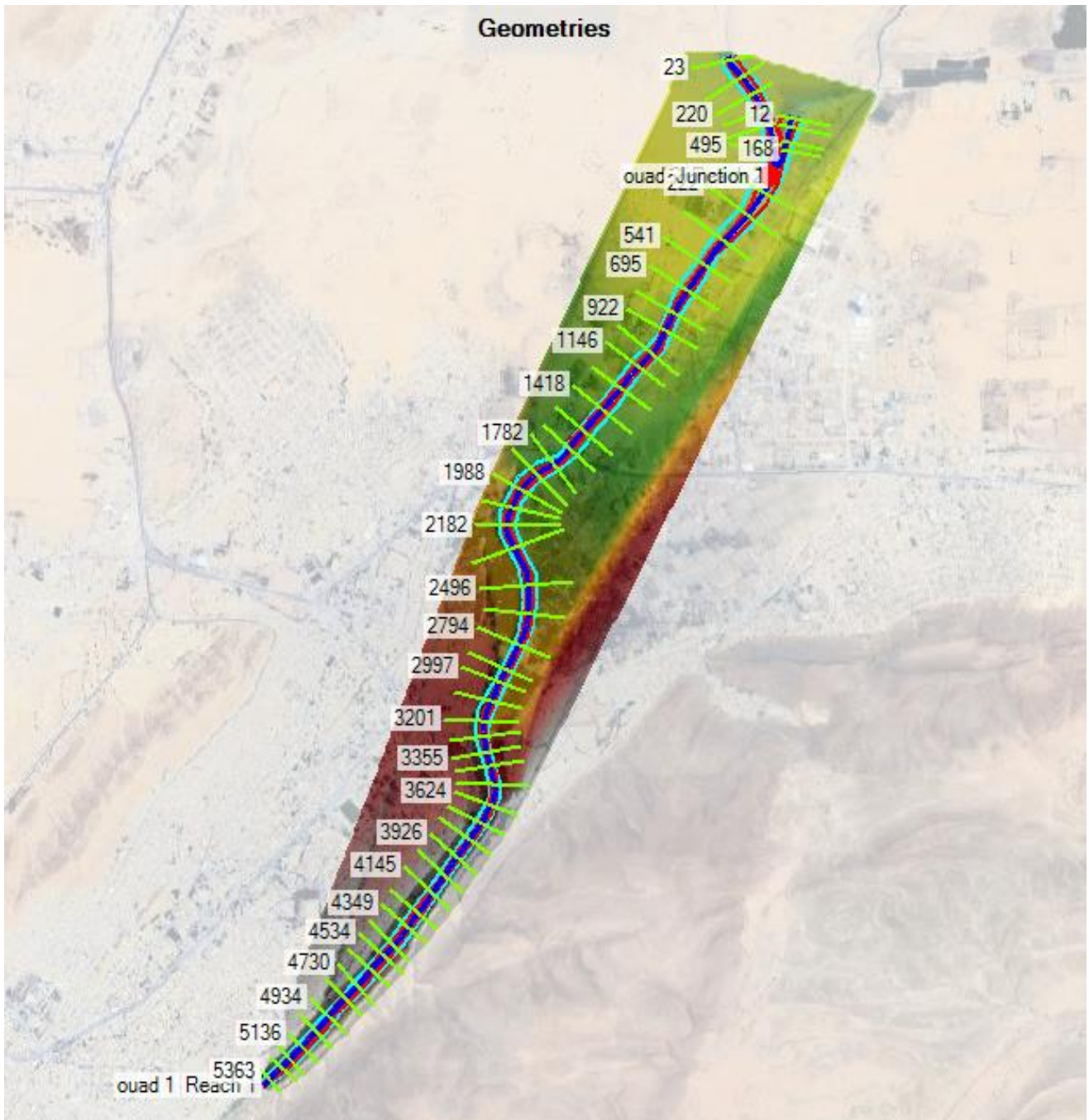


Figure III.20 la géométrie

### **III.4.1.2 Conditions aux limites :**

Après avoir noté les données géométriques de chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique par HEC-RAS est de spécifier les débits d'entrée et toutes les conditions aux limites nécessaires pour pouvoir exécuter le calcul des profils de la surface de l'eau en chaque section du système de rivière.

### **III.4.1.3 Rugosité :**

Pour noter simulation d'écoulement permanent et non permanent nous mettons la valeur de la rugosité ou le coefficient de Manning  $n$  pour la rive gauche et la rive droite (les lits majeurs)  $n= 0.022$ . Nous avons utilisé une valeur de  $n=0.030$  pour le lit mineur qui correspond à un canal propre, sinueux, avec quelques flaques, bancs de sable, algues et pierres.

### III.5 Les résultats pour les écoulements permanent:

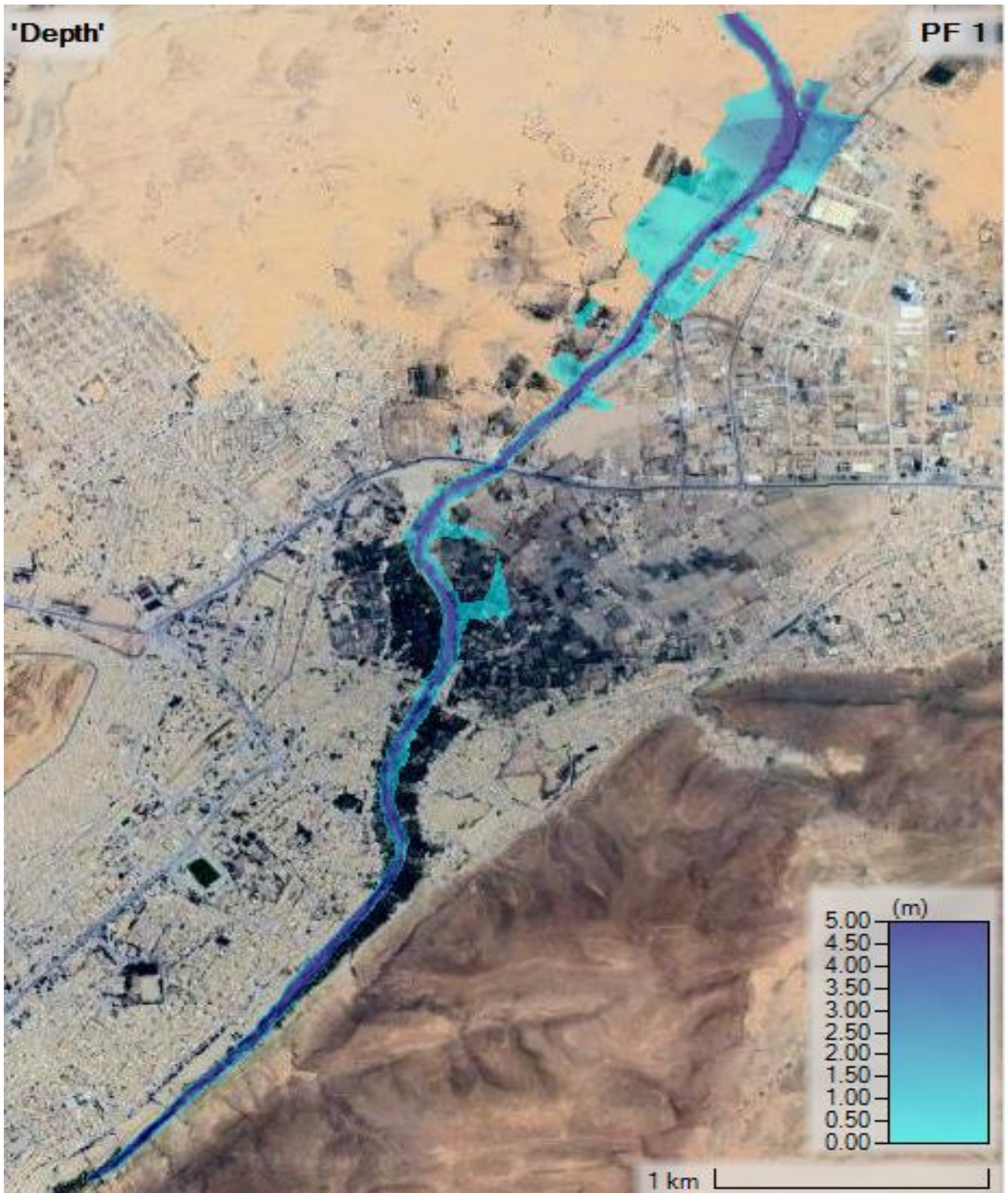


Figure III.21 Carte des profondeurs d'eau (crue centennale)

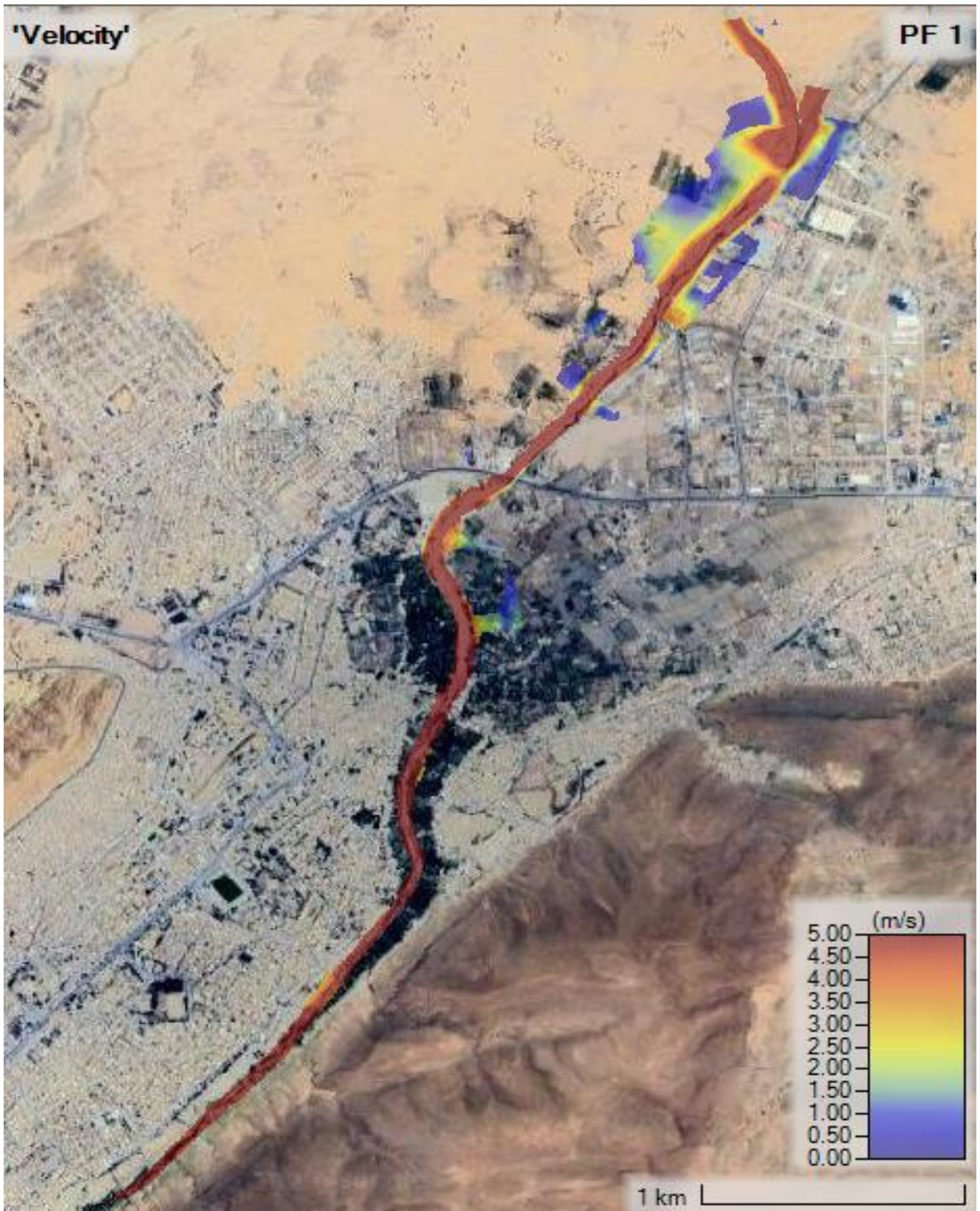


Figure III.22 Carte des vitesses d'eau (crue centennale)

**Tableau III.30 Résultat de simulation d'écoulement permanent de T=100 ans.**

Tronçon	H (m)		V (m/s)		Fr	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
<b>Reach 1</b>	9.16	3.52	13.7	4.48	2.21	0.49
<b>Reach 2</b>	5.45	3.14	8.25	4.05	1.61	0.6
<b>Reach 3</b>	4.19	1.83	8.87	5.99	2.23	1.19

Les vitesses d'écoulement dans le tronçon considéré pour notre étude varie entre 13.7 m/s (max) et 4.48 m/s (min) pour le reach 1, entre 8.25m/s (max) et 4.05 m/s (min) pour le reach 2, entre 8.87 m/s (max) et 5.99 m/s (min) pour le reach 3 comme l'indique la figure (III.31). On remarque que la vitesse du cours d'eau principale est forte et dans les rives elle est faible, pour les petites sections la vitesse augmente pour les larges sections elle diminue. Les vitesses supérieures peuvent entraîner une érosion du lit de l'oued et les berges.

Les altitudes varient d'une valeur minimale à une valeur maximale, entre 9.16 m (max) et 3.52 m (min) pour le reach 1, entre 5.45 m (max) et 3.14 m (min) pour reach2, entre 4.19 m (max) et 1.83 m (min) pour reach 3, à leurs valeurs maximales l'oued déborde.

Le résultat du tableau ci dessus montre que le régime d'écoulement varie entre fluvial et torrentiel. Les valeurs de nombre de Froude varie entre 2.21 (max) et 0.49 (min) pour reach 1, entre 1.61 (max) et 0.6 (min) pour reach 2, entre 2.23 (max) et 1.19 (min) pour reach 3. Nos résultats montrent que la majorité du nombre de froude sont supérieurs à 1 ( $Fr > 1$ ) alors le régime d'écoulement est fortement torrentiel donc dominant.

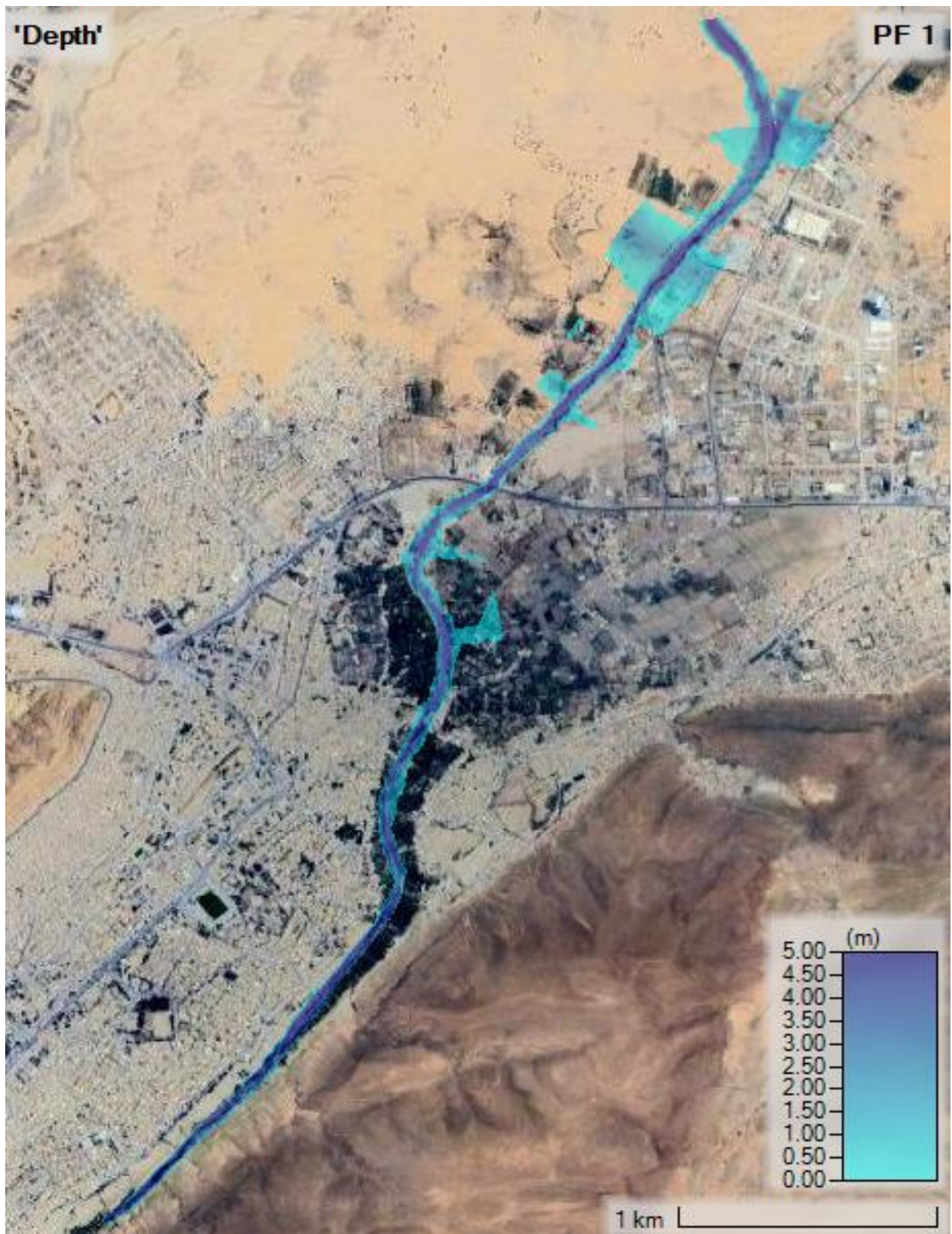


Figure III.23 Carte des profondeurs d'eau (crue cinquantennale)

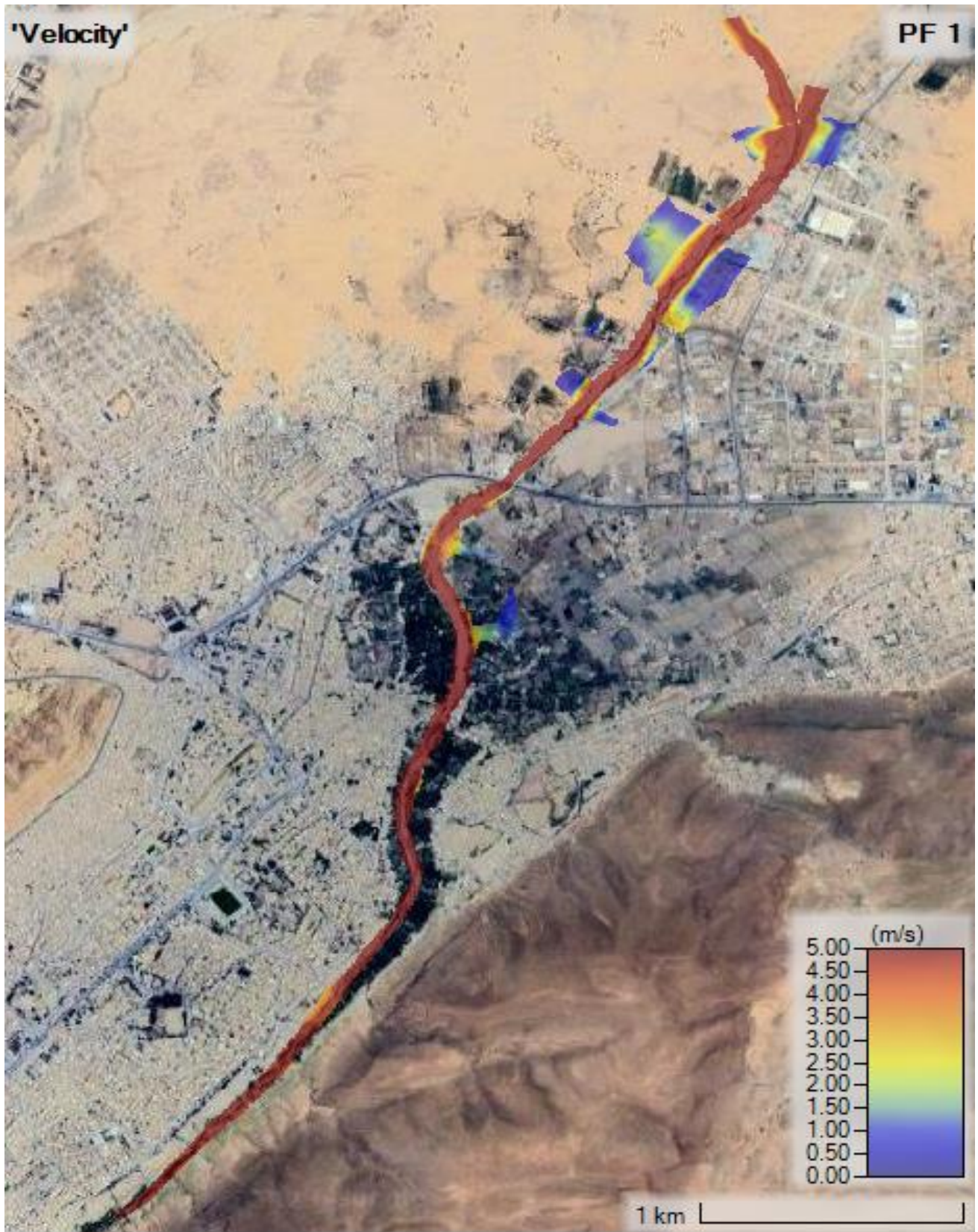


Figure III.24 Carte des vitesses d'eau (crue cinquantennale)

**Tableau III.2 résultat de simulation d'écoulement permanent de T=50 ans**

Tronçon	H (m)		V (m/s)		Fr	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
<b>Reach1</b>	10.07	4.4	8.8	1.65	1.42	0.21
<b>Reach 2</b>	5.45	3.98	5.6	4.05	0.94	0.6
<b>Reach 3</b>	4.59	2.25	4.31	3.42	0.93	0.58

Les vitesses d'écoulement dans le tronçon considéré pour notre étude varie entre 8.8 m/s (max) et 1.65 m/s (min) pour le reach 1, entre 5.6m/s (max) et 4.05 m/s (min) pour le reach 2, entre 4.31 m/s (max) et 3.42 m/s (min) pour le reach 3 comme l'indique la figure (III.2). On remarque que la vitesse du cours d'eau principale et forte et dans les rives elle est faible, pour les petites sections la vitesse augmente pour les larges sections elle diminue. Les vitesses supérieures peuvent entrainer une érosion du lit de l'oued et les berges.

Les altitudes varient d'une valeur minimale à une valeur maximale, entre 10.07 m (max) et 4.4 m (min) pour le reach 1, entre 5.45 m (max) et 3.98 m (min) pour reach 2, entre 4.59 m (max) et 2.25 m (min) pour reach 3, à leurs valeurs maximales l'oued déborde.

Le résultat du tableau ci dessus montre que le régime d'écoulement varie entre fluvial et torrentiel. Les valeurs de nombre de Froude varie entre 1.42 (max) et 0.21 (min) pour reach 1, entre 0.94 (max) et 0.6 (min) pour reach 2, entre 0.93 (max) et 0.58 (min) pour reach 3. Nos résultats montrent que la majorité du nombre de froude sont inférieurs à 1 ( $Fr < 1$ ) alors le régime d'écoulement est fluvial donc dominant.

### III.5.1 Les résultats pour les écoulements non permanent:

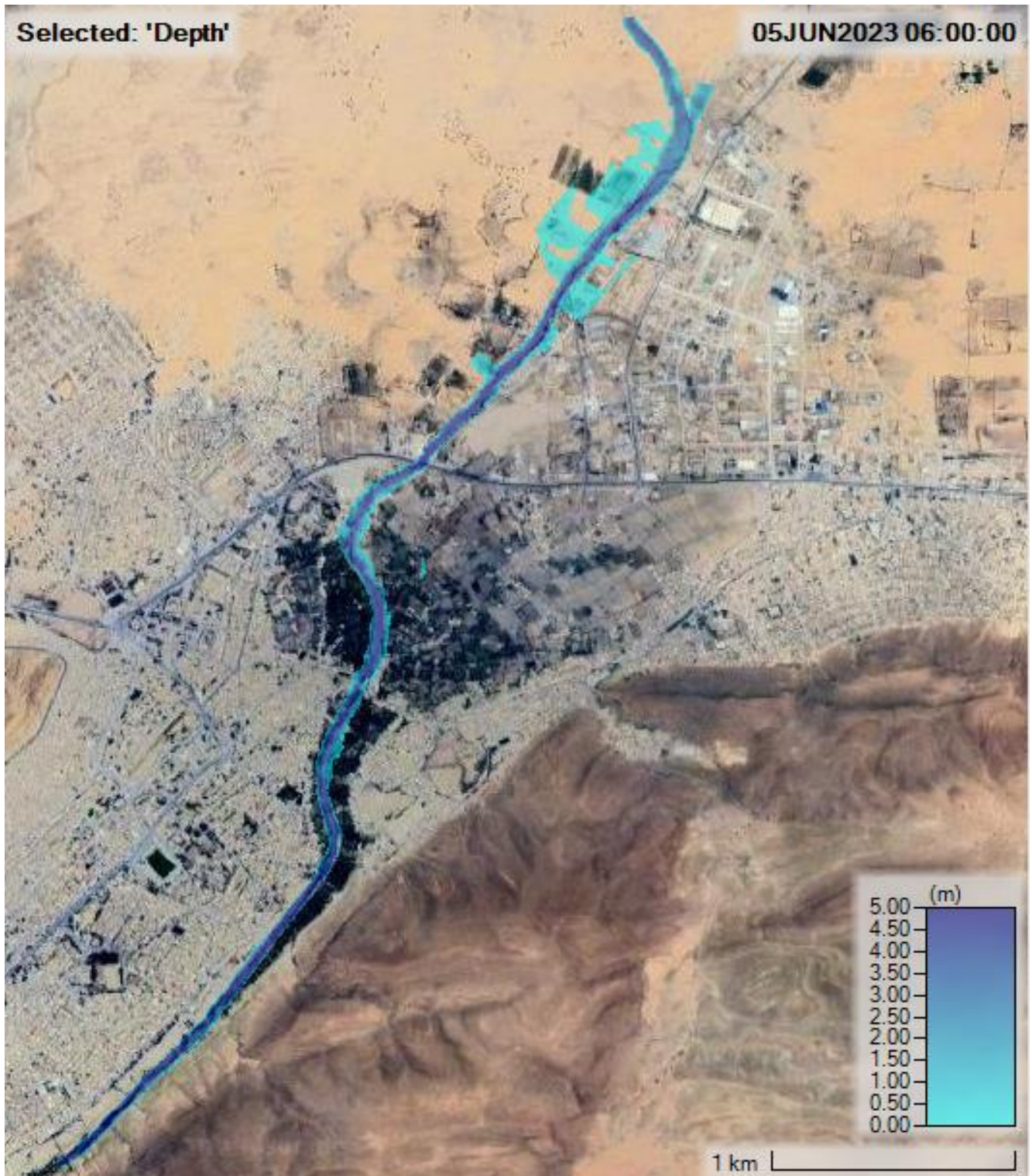
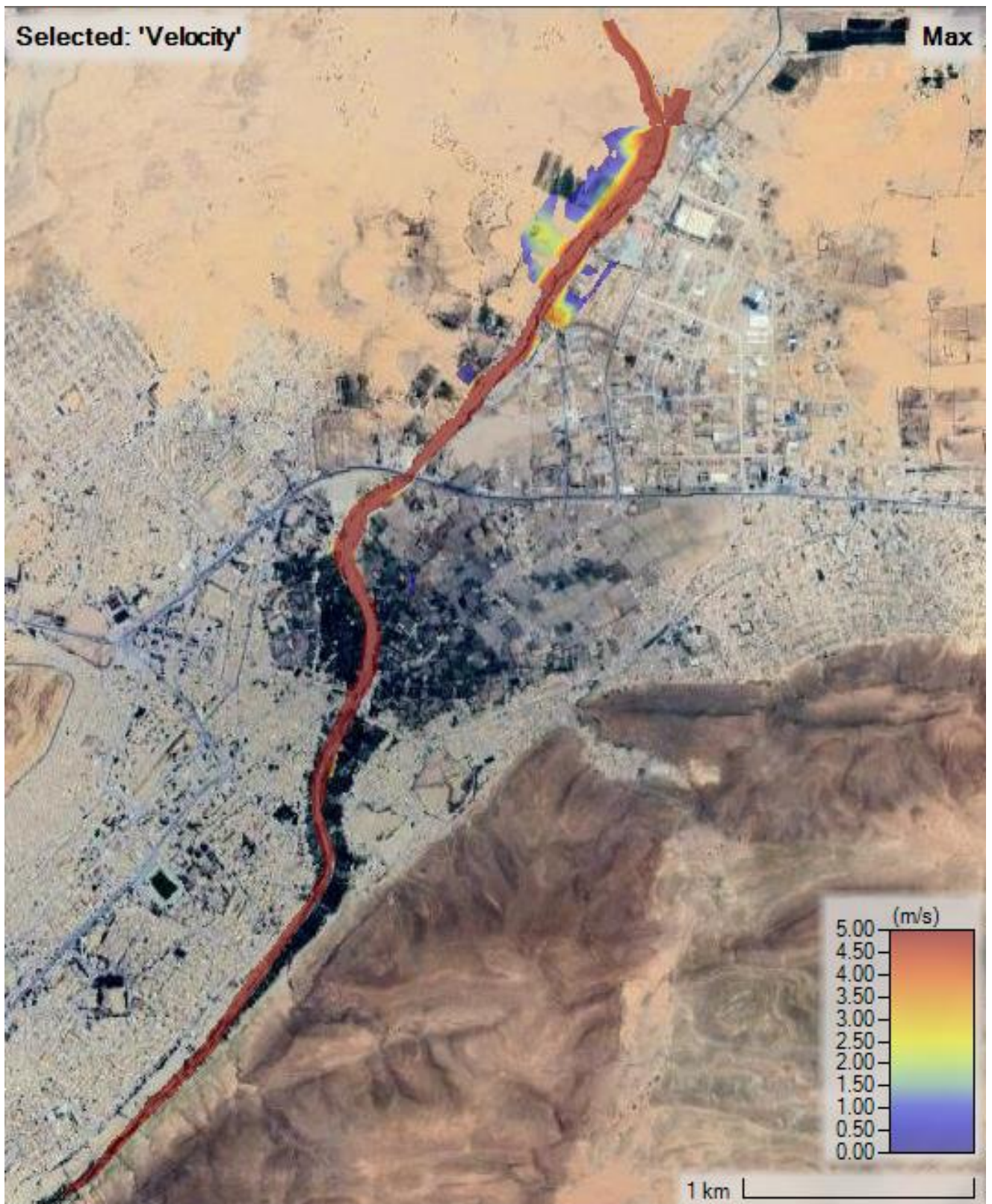


Figure III.25 Carte des profondeurs d'eau en écoulement non permanent (crue centennale).



**Figure III.26 Carte des vitesses d'eau en écoulement non permanent (crue centennale).**

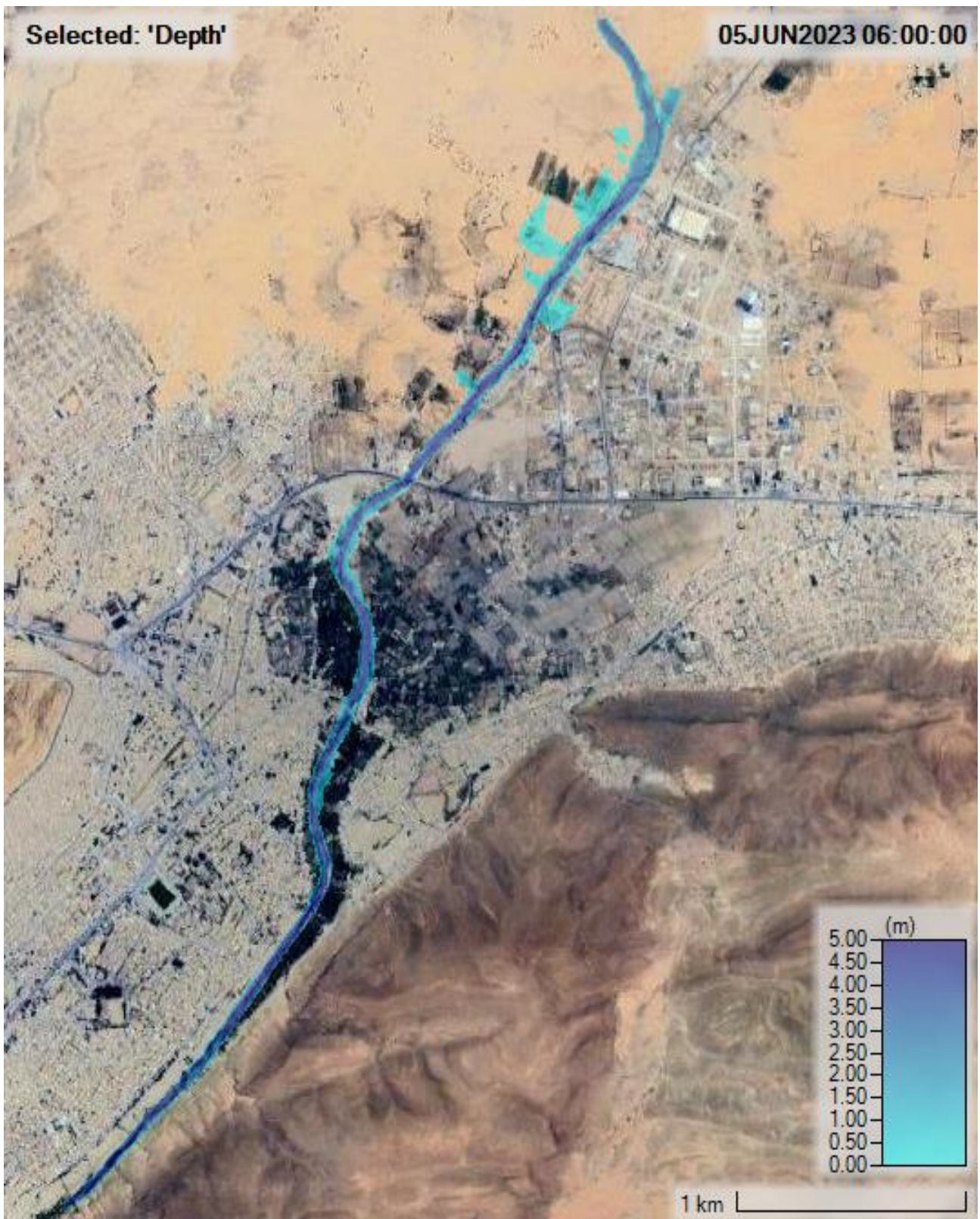
**Tableau III.3 résultat de simulation d'écoulement non permanent de T=100 ans**

Tronçon	H (m)		V (m/s)		Fr	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
<b>Reach 1</b>	8.34	3.65	11.92	7.18	1.86	1.1
<b>Reach 2</b>	4.5	3.79	7.72	5.9	1.48	1.01
<b>Reach 3</b>	4.18	3.21	11.97	6.64	2.13	1.42

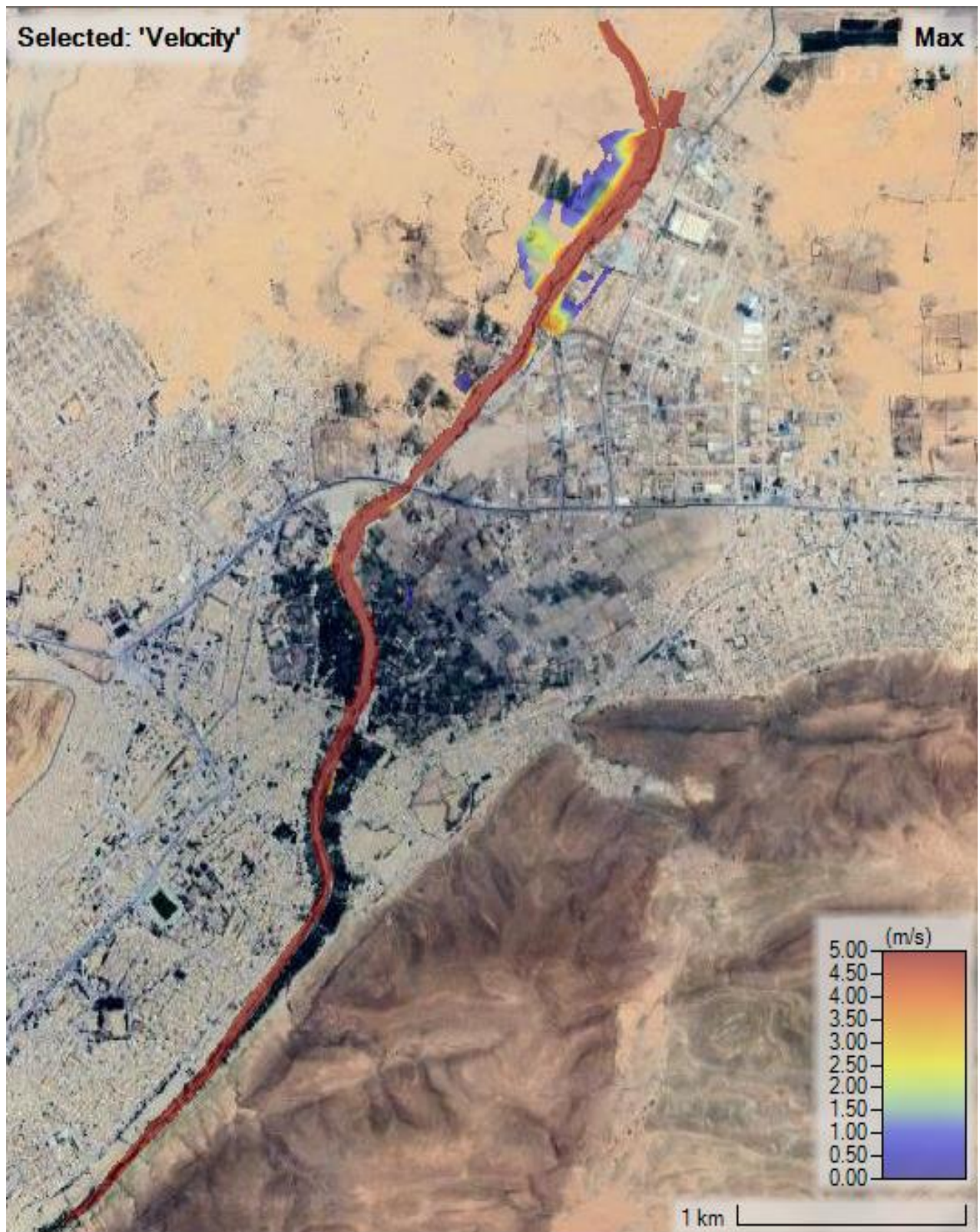
Les vitesses d'écoulement dans le tronçon considéré pour notre étude varie entre 11.92 m/s (max) et 7.18 m/s (min) pour le reach 1, entre 7.72m/s (max) et 5.9 m/s (min) pour le reach 2, entre 11.97 m/s (max) et 6.64 m/s (min) pour le reach 3 comme l'indique la figure (III.3). On remarque que la vitesse du cours d'eau principale et forte et dans les rives elle est faible, pour les petites sections la vitesse augmente pour les larges sections elle diminue. Les vitesses supérieures peuvent entraîner une érosion du lit de l'oued et les berges.

Les altitudes varient d'une valeur minimale à une valeur maximale, entre 8.34 m (max) et 3.65 m (min) pour le reach 1, entre 4.5 m (max) et 3.79 m (min) pour reach 2, entre 4.18 m (max) et 3.21 m (min) pour reach 3, à leurs valeurs maximales l'oued déborde.

Le résultat du tableau ci dessus montre que le régime d'écoulement est torrentiel. Les valeurs de nombre de Froude varie entre 1.86 (max) et 1.1 (min) pour reach 1, entre 1.48 (max) et 1.01 (min) pour reach 2, entre 2.13 (max) et 1.42 (min) pour reach 3. Nos résultats montrent que toutes les valeurs du nombre de froude sont supérieurs à 1 ( $Fr > 1$ ) alors le régime d'écoulement est fortement torrentiel donc dominant.



**Figure III.27** Carte des profondeurs d'eau en écoulement non permanent (crue cinquantennale)



**Figure III.28 Carte des vitesses d'eau en écoulement non permanent (crue cinquantennale).**

**Tableau III.4 résultat de simulation d'écoulement non permanent de T=50 ans**

Tronçon	H (m)		V (m/s)		Fr	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
<b>Reach1</b>	8.01	3.48	11.44	6.86	1.83	1.08
<b>Reach 2</b>	4.38	3.64	7.5	5.85	1.47	1.03
<b>Reach 3</b>	4.08	3.43	20.65	6.95	3.36	1.39

Les vitesses d'écoulement dans le tronçon considéré pour notre étude varie entre 11.44 m/s (max) et 6.86 m/s (min) pour le reach 1, entre 7.5 m/s (max) et 5.85 m/s (min) pour le reach 2, entre 20.65 m/s (max) et 6.95 m/s (min) pour le reach 3 comme l'indique la figure (III.4). On remarque que la vitesse du cours d'eau principale et forte et dans les rives elle est faible, pour les petites sections la vitesse augmente pour les larges sections elle diminue. Les vitesses supérieures peuvent entraîner une érosion du lit de l'oued et les berges.

Les altitudes varient d'une valeur minimale à une valeur maximale, entre 8.01 m (max) et 3.48 m (min) pour le reach 1, entre 4.38 m (max) et 3.64 m (min) pour reach 2, entre 4.08 m (max) et 3.43 m (min) pour reach 3, à leurs valeurs maximales l'oued déborde.

Le résultat du tableau ci dessus montre que le régime d'écoulement est torrentiel. Les valeurs de nombre de Froude varie entre 1.83 (max) et 1.08 (min) pour reach 1, entre 1.47 (max) et 1.03 (min) pour reach 2, entre 3.36 (max) et 1.39 (min) pour reach 3. Nos résultats montrent que toutes les valeurs du nombre de froude sont supérieurs à 1 ( $Fr > 1$ ) alors le régime d'écoulement est fortement torrentiel donc dominant.

### III.5.2 Comparaison entre les résultats des tableaux :

Après avoir analysé les tableaux nous remarquons qu'il n'y a pas de différence significative entre les résultats des profondeurs d'eau et des vitesses obtenus en écoulement permanent et non permanent pour les deux crues centennale et cinquantennale.

### III.5.3 Discussion :

A travers les résultats obtenus à partir de la simulation de la crue centennale de l'Oued Bousaâda, Nous avons trouvé que le débit découlement vers oued maiter Le côté gauche et  $Q=1093 \text{ m}^3/\text{s}$  ce qui équivaut à un pourcentage de 61% de débit total, dans Le côté droit vers El madher le débit et  $O=700\text{m}^3/\text{s}$  qui équivaut 39%. De là nous constatons que les résultats obtenus dans notre étude ne correspondent pas aux résultats obtenus dans l'étude précédente (80% vers l'oued maiter et 20% vers El madher).

### **III.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons utilisé le programme HEC-RAS pour effectuer une simulation des crues pour les périodes de retour  $T=100$  ans  $T= 50$  ans avec écoulements permanent et non permanent de l'Oued Bousaâda. Nous avons conclu que la répartition du débit vers les deux tronçons du répartiteur n'est pas égale à la valeur proposée dans l'étude la digue qui devrait être 80% vers l'oued Maiter et 20% vers El Madher et l'ouvrage n'assure pas son rôle de conception.

## Conclusion générale

Dans cette étude, nous avons déterminé les caractéristiques hypsométriques du bassin versant de Boussaâda en utilisant le logiciel ArcGIS sur la base du modèle numérique d'élévation MNT d'une résolution 30m obtenu du (U.S. Geological Survey.). Le bassin versant de l'oued Boussaâda a une superficie de 1957 km<sup>2</sup>, un périmètre de 362 km avec une longueur du cours d'eau principal s'étendant à 113 km. Après avoir calculé l'indice de compacité  $K_c = 2,29$ , on constate que notre bassin est de type allongé avec un temps de concentration  $t_c = 14,38$  heure et une vitesse d'écoulement de l'eau de  $V_e = 7,86$  m/s.

Le comportement pluviométrique du bassin versant de l'oued Boussaâda peut être étudié par trois stations pluviométriques : Slim, DAR CHIOUKH et Medjedel. Pour calculer les crues de projet, nous avons les données de la station pluviométrique de Slim car elle est située à l'intérieur du bassin versant avec des données relativement de bonne qualité. Pour calculer le débit maximum des crues nous avons utilisé les formules Mallet Gauthier, Giandotti, Turazza, Sokolovsky, l'examen des résultats obtenus nous avons opté pour la formule de Sokolovsky car elle prend en compte plusieurs paramètres et caractéristiques de bassin versant, on obtient alors les hydrogrammes des crues pour chaque période de retour : 2407 m<sup>3</sup>/s (1000 ans), 1979 m<sup>3</sup>/s (200 ans) 1793 m<sup>3</sup>/s (100 ans), 1608 m<sup>3</sup>/s (50 ans), 1168 m<sup>3</sup>/s (10 ans), 969 m<sup>3</sup>/s (5 ans). Dans la dernière section de notre travail, on a simulé les crues centennales et cinquantennales pour l'écoulement permanent et non permanent à travers le tronçon qui traverse la ville de Boussaâda à l'aide du logiciel HEC-RAS.

A travers les résultats obtenus à partir de la simulation de la crue centennale de l'Oued Boussaâda, nous avons trouvé que le débit d'écoulement dévié vers oued Maiter est  $Q = 1093$  m<sup>3</sup>/s ce qui représente 61% de débit total, le débit qui reste dans l'oued Boussaâda vers la pleine d'El madher est  $Q = 700$  m<sup>3</sup>/s, équivaut à 39% du débit total. De ce fait, nous constatons que le répartiteur ne fonctionne pas en bonne conditions de conception (80% vers l'oued Maiteret 20% vers la pleine d'El Madher).

## **Bibliographie**

- 1) BENAICHE, Morad. Projection d'une digue de dérivation dans l'Oued de bousaàda. Master 2 :ouvrage hydraulique. Msila : Université de M'sila Faculté de Technologie, 2019-2020, 183 p.
- 2) ANDRE, Musy. « Hydrologie générale », Section SIE et GC, 2005.
- 3) GAAGAI, Aissam. Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de babar sur oued el arab region est de l'algerie. Magistère : Mobilisation des ressources hydriques et leur impact sur l'environnement. Université de batna, 2008-2009, 130p.
- 4) Véronique, Jourdain. MODÉLISATION RÉGIONALE DE TYPE (QdF). Institut National de la Recherche Scientifique, INRS-ETE Québec (Québec), Canada 2006, 57p.
- 5) Saad BENNIS, Hydraulique et hydrologie. Université du Québec Ecole de technologie supérieure, 2009.
- 6) José VAZQUEZ, Hydraulique à surface libre. Ecole Nationale du Genie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg.
- 7) Gary W Brunner, Hec-Ras, river analysis system hydraulic reference manual, february 2016.
- 8) CHELOUFI Nour El Yakine, Modélisation hydraulique du bassin versant de l'oued EL Hammam par HEC-RAS. MASTER Ouvrages Hydrauliques, 2018.
- 9) CHAREB YSSAAD Ismahane, Contribution à la méthodologie des études de protection contre les inondations : Application des modèles HEC-RAS et HEC-FDA. Hydraulique Ressource en eau. Université des Sciences et de la Technologies d'Oran Mohamed BOUDIAF.
- 10) Tarek Daifallah, Prédétermination des débits de crue par différentes méthodes. Cas du bassin versant d'El Kébir Ouest à Ain-Charchar (Nord-Est algérien).