



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique*

**Option : Conception des Systèmes d'Assainissement**

**THEME :**

**Aménagement des Oueds Bridja, Guerguour et Palm beach pour  
la protection de la Zone Ouest de la commune de Staoueli contre  
les inondations (W. Alger)**

**Présenté par :**

**KHELALFA Abdelouahab**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
BOUFEKANE Abdelmadjid	M C A	Président
HACHEMI Abdelkader	M C B	Président
MOKRANE Wahiba	M.A.A	Examineur
AMMARI Abdelhadi	M C A	Promoteur

**Session octobre 2020**

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail tous d'abord à mes très chers parents pour leurs soutien et sacrifices.

A mes chers : frère Mostapha, et ma sœur Doauia

A mes amis : alla , Noufel , mortada , abdelrahmen , oussama , moh et moh ,tarek, thabet , rafik, hafid ,

A « My favorite Human » qui m'a toujours soutenu Sabrina

A tous mes amis de l'ENSJH promotion prépa 2015 et SC 2017

A tous mes enseignants de l'ENSJH qui ont contribué à ma formation.

Et à tous ceux qui vont lire ce travail.

# Remercîments

Je tiens encore une fois à remercier mes chers parents pour leur aide, soutien, confiance, encouragement et j'en passe.

Mes remerciements s'adressent aussi à ma famille qui me soutient et m'encourage dans tous mes projets.

Un remerciement bien particulier que j'adresse à mon promoteur, Mr A. Ammari , pour la disponibilité, l'assistance et l'aide dont j'ai bénéficié et sans les quelles je ne serais arrivée à élaborer et finaliser ce présent travail.

Je tiens à remercier particulièrement Mr S. boulam, Mr M. Boukhelifa et M. Mamer de la DRE d'Alger pour leurs précieux conseils et aide. Finalement je remercie toute, le corps pédagogique de l'ENSJH et toute personne qui a contribué de près ou de loin au parachèvement de ce modeste travail.

## الملخص:

وغالبا ما تواجه الجزائر نوبات امطار الغزيرة يمكن أن تولد السيول والفيضانات مسببتا أضرارا كبيرة مادية وحتى بشرية. الهدف من هذه الدراسة هو حماية المنطقة الغربية لبلدية سطاوالي "الجزائر العاصمة" من الفيضانات من خلال تحديد المناطق المعرضة لخطر ارتفاع منسوب مياه الوديان الثلاثة العابرة للمنطقة "وادي بالم بيتش وادي قرقور ووادي بريجة" واقتراح مخطط لإعادة تهيئها في هذا السياق، قمنا بتطوير دراسة هيدرولوجية باستخدام نموذج HEC-HMS ، متنوعًا بمحاكاة هيدروديناميكية باستخدام برنامج HEC-RAS ، وإنشاء خريطة لمناطق الفيضانات في القطاع. سطاوالي. واستنادًا إلى دراسة تقنية اقتصادية وبيئية، قدمنا مخطط تهيئة الوديان الثلاثة وأخيرا قمنا بتحديد مدة وتكلفة إنجاز هذا المشروع

**الكلمات المفتاحية :** الفيضانات - دراسة هيدرولوجية - محاكاة هيدروديناميكية - خريطة لمناطق الفيضانات

## Résumé :

L'Algérie est souvent confrontée à des épisodes pluvieux importants qui peuvent générer des crues et des inondations pouvant causer des dégâts non négligeables.

L'objectif de cette étude est la protection de la zone ouest de la commune de Staoueli "w. Alger" contre les inondations en identifiant les zones à risque dues aux débordements des trois cours d'eau traversant la commune « Oued Palm Beach, Bridja et Gergoure » et proposer les schémas d'aménagements

Dans ce contexte, nous avons élaboré une étude hydrologique de différents bassins versants en utilisant le model HEC-HMS, suivi d'une simulation Hydrodynamique à l'aide le logiciel HEC-RAS, et la création d'une carte des zones inondables du secteur de Staoueli.

Et basée sur une étude technico-économique et écologique, on à proposer une variante Mixte entre le gabionnage et des canaux en terre ainsi que leurs estimations financières et l'organisation de chantier

**Mots clés :** les inondations - étude hydrologique - Simulation Hydrodynamique - carte des zones inondables

## Abstract:

Algeria is frequently exposed to significant rainfall events that can generate floods causing serious damages on many levels.

The main objective of this study is protecting the western region of Staoueli "S. Algiers" from flooding, by identifying the high-risk zones following the overflows of the three rivers crossing the town "Palm Beach, Bridja and Gergoure "

As part of this study, we have elaborated a hydrological model for the different watersheds using the US Corps of engineers HEC-HMS model, followed by a hydrodynamic simulation using the HEC-RAS software, and the creation of a floodplain map of the Staoueli region.

According to a technical-economic and ecological study, a mixed variant based on Gabions and naturel earth canal was proposed, as well as their financial estimates and the organization of the worksite.

**Key words :** floods – hydrological model - hydrodynamic simulation - floodplain map

## Table des matières

Introduction générale .....	i
<b>Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude</b>	
Introduction.....	1
<b>I. Données Naturelle De La Zone D'étude :</b> .....	1
<b>I.1 Situation Géographique</b> .....	1
<b>I.2 Situation Climatique</b> .....	2
<b>I.2.1 : Précipitation</b> .....	2
<b>I.2.2 : Température</b> .....	2
<b>I.2.3 : Vitesse Du Vent</b> .....	2
<b>I.3 Situation Hydraulique</b> .....	3
<b>I.4 Activité Sismique</b> .....	4
<b>II. Données Socio-Economique De La Zone D'étude</b> .....	4
<b>II.1 Situation démographique</b> .....	4
<b>II.2 Equipements et infrastructures</b> .....	5
<b>III. Présentation Du Système D'assainissement Actuel De La Ville De Staoueli</b> .....	5
<b>III.1 La station d'épuration de Staoueli</b> .....	5
<b>IV. Description Du Bassin Versant De La Zone Ouest De La Commune De Staoueli</b> .....	6
<b>IV.1 Définition D'un Bassin Versant</b> .....	6
<b>IV.2 Délimitation Des Bassins Versant</b> .....	7
<b>IV.3 Topographie et relief</b> .....	8
<b>IV.4 Aperçu Géologique</b> .....	10
<b>IV.5 Le Réseau Hydrographique</b> .....	11
<b>V. Historique d'inondation sur la région</b> .....	12
<b>Conclusion.</b> .....	13

## Chapitre 02 : Etude Hydrologique

<b>Introduction</b> .....	13
<b>I. Caractéristiques hydromorphométriques des bassins versants</b> .....	13
<b>I.1 La surface et le périmètre</b> .....	13
<b>I.2 Les caractéristiques de la forme</b> .....	14
<b>I.2.1 Indice de compacité de Gravelius KG</b> .....	14
<b>I.2.2 Rectangle équivalent</b> .....	15
<b>I.3 Les caractéristiques du relief</b> .....	16
<b>I.3.1 Courbe hypsométrique</b> .....	16
<b>I.3.2 Altitudes caractéristique</b> .....	21
<b>I.3.3 Indice de pente globale (Ig)</b> .....	22
<b>I.3.4 Pente moyenne des bassins versants (Im)</b> .....	22
<b>I.4 Les caractéristiques du réseau hydrographique</b> .....	23
<b>I.4.1 La longueur du cours d'eau principale</b> .....	24
<b>I.4.2 Densité de drainage</b> .....	25
<b>I.5 Détermination du temps de Concentration</b> .....	25
<b>II. Analyse des données pluviométriques</b> .....	28
<b>II.1 Méthodes De Mesure Des Précipitations</b> .....	28
<b>II.1.1 Mesures au sol</b> .....	29
<b>II.1.2 Mesures satellites</b> .....	29
<b>II.2 Précipitations maximales journalières</b> .....	30
<b>II.2.1 En Utilisent Les Donnes Des Stations Pluviométriques</b> .....	30
<b>II.2.1.1 Analyse des données statistiques</b> .....	30
<b>II.2.1.2 Ajustement des séries pluviométrique</b> .....	32
<b>II.2.1.2.1 Ajustement à la loi de Gumbel</b> .....	32
<b>II.2.1.2.2 Ajustement à Loi de Galton</b> .....	34
<b>II.2.1.2.3 Ajustement à Loi GEV</b> .....	35
<b>II.2.1.3 Test de validité de l'ajustement</b> .....	36
<b>II.2.1.4 Pluie de courte Durée.</b> .....	38
<b>II.2.2 En Utilisent Les Donnes Des Satellites GPM</b> .....	41

II.2.2.1 L'Analyse des données statistiques et l'échantillonnage .....	41
II.2.2.2 Ajustement des séries pluviométrique.....	42
II.2.2.3 Pluie de courte Durée.....	44
II.2.3 Résultats Et Comparaison .....	46
Conclusion .....	46

### **Chapitre 03 : Estimation des débits de projet**

Introduction .....	47
I. Calcul du débit de crue .....	47
I.1 La méthode des formules empiriques.....	47
I.1.1 Formule de Mallet-Gauthier.....	47
I.1.2 Formule de Turazza.....	47
I.1.3 Formule de SOKOLOVSKY .....	48
I.1.4 Formule ANRH 2014 .....	49
I.2 La méthode SCS-CN.....	51
II. La Modélisations Hydrologique A L'aide Du Logiciel « Hec-Hms » .....	55
II.1 La Modélisation Hydrologique.....	55
II.2 Présentation du modèle HEC-HMS.....	55
II.3 Les Résultats De La Simulation.....	56
III. Discussion des Résultats .....	63
Conclusion .....	64

### **Chapitre 04 : Etude des écoulements**

Introduction .....	65
I. Description générale des cours d'eaux .....	65
II Modélisation hydrodynamique .....	70
II.1 Définition.....	70
II.2 Modèle HEC-RAS.....	70
II.3 Démarche de la simulation.....	71
II.4 Visualisation des résultats .....	73
II.5 Discussion des résultats .....	81

<b>III. La Délimitation Des Zones Inondables</b> .....	81
<b>Conclusion</b> .....	82

### **Chapitre 05 : Etude des variantes d'aménagement**

<b>Introduction</b> .....	83
<b>I. Ecoulement dans les canaux à ciel ouvert</b> .....	83
<b>I.1 Généralités</b> .....	83
<b>I.2 Types d'écoulement</b> .....	83
<b>I.3 Régime d'écoulement</b> .....	84
<b>I.4 Dimensionnement des Canaux</b> .....	85
<b>II. Les techniques d'aménagements</b> .....	86
<b>II.1 La protection indirecte</b> .....	86
<b>II.2 La protection directe</b> .....	86
<b>III. Proposition des variantes d'aménagements</b> .....	87
<b>III.1 Variante N°01 : Canal en Dur « Bétonnage »</b> .....	88
<b>III.2 Variante N°02 : Canal en gabion</b> .....	88
<b>III.3 Variante N°03 : Canal non revêtu</b> .....	89
<b>IV le choix de la variante d'aménagement</b> .....	90
<b>V. Le Calcul De Stabilité</b> .....	100
<b>V.1 l'érosion hydrique des sols</b> .....	100
<b>V.2 Stabilité des canaux non revêtus</b> .....	100
<b>V.2.1 la méthode de vitesse admissible</b> .....	100
<b>V.2.2 la méthode de la force tractrice</b> .....	101
<b>VI. Les Ouvrages De Traversées</b> .....	104
<b>VI.1 Les Dalots</b> .....	104
<b>Conclusion</b> .....	110

### **Chapitre 06 : Mangement de Project**

<b>Introduction</b> .....	111
<b>I. Devis quantitatif et estimatif du projet</b> .....	111
<b>I.1 Calcul du volume des travaux</b> .....	111
<b>I.1.1 Volume de la couche de terre végétale</b> .....	111
<b>I.1.2 Volume des déblais et des remblais</b> .....	111
<b>I.1.3 Volume de Gabionnage du cours d'eau</b> .....	112

<b>II. La Planification De Projet</b> .....	113
<b>II.1. Techniques De La Planification</b> .....	113
<b>II.1.1. Méthodes basées sur le réseau</b> .....	113
<b>II.1.1.1 Définition du réseau</b> .....	113
<b>II.1.1.2 Construction du réseau</b> .....	113
<b>II.1.1.3 Méthode C.P.M</b> .....	114
<b>II.1.1.4 Méthode PERT</b> .....	114
<b>II.1.2 Méthodes basées sur le graphique</b> .....	114
<b>II.2. Les Etapes De La Planification</b> .....	115
<b>II.3. Choix De La Méthode De Calcul</b> .....	115
<b>II.4. Elaboration du réseau selon la méthode C.P.M</b> .....	116
<b>II.5 Diagramme de Gantt</b> .....	118
<b>Conclusion</b> .....	119
<b>Conclusion générale</b> .....	ii

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1</b> : plan de situation de la commune de Staoueli .....	01
<b>Figure I.2</b> : Image satellite non traitée des Oueds de la commune de Staoueli.....	03
<b>Figure I.3</b> : Carte de zonage sismique de l'Algérie ( RPOA,2008) .....	04
<b>Figure I.4</b> : Exemple d'un bassin versant.....	06
<b>Figure I.5</b> : la carte du relief de la zone étudiée.....	07
<b>Figure I.6</b> : Résultat de la délimitation des bassins versants sur Arc-GIS.....	08
<b>Figure I.7</b> : Carte Topographique Du Bassin Versant .....	09
<b>Figure I.8</b> Carte Des Pentes Du Bassin Versant .....	09
<b>Figure I.9</b> Extrait de la carte géologique Algéroise (Derriche, L. Cheikh 2004) .....	10
<b>Figure I.10</b> Réseau Hydrographique des bassins versants.....	12
<b>Figure II. 1</b> : Carte Hypsométrique du bassin versant total oued Palm Beach.....	16
<b>Figure II. 2</b> : diagramme et courbe Hypsométrique du BV oued Palm Beach.....	17
<b>Figure II. 3</b> : Carte Hypsométrique du bassin versant total oued Bridja.....	18
<b>Figure II. 4</b> : diagramme et courbe Hypsométrique du BV oued Bridja.....	19
<b>Figure II. 5</b> : diagramme et courbe Hypsométrique du BV oued Guergour.....	20
<b>Figure II. 6</b> : Carte Hypsométrique du bassin versant total oued Guergour.....	20
<b>Figure II.7</b> : Réseau hydrographique des bassins versants « classification Strahler » .....	24
<b>Figure II. 8</b> Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel .....	34
<b>Figure II. 9</b> : Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton.....	35
<b>Figure II. 10</b> : Représentation graphique de l'ajustement à la loi GEV.....	35
<b>Figure II. 11</b> : la comparaison graphique entre les lois.....	37
<b>Figure II. 12</b> : courbes pluies -durées-fréquences.....	40
<b>Figure II. 13</b> : courbes Intensité -durées-fréquences.....	40
<b>Figure II. 14</b> : Représentation graphique de Mesures des précipitations satellite GPM.....	41
<b>Figure II. 15</b> : la comparaison graphique entre les lois .....	43
<b>Figure II. 16</b> : Représentation graphique de l'ajustement à la loi Pearson III .....	43
<b>Figure II. 17</b> : les courbes pluies -durées-fréquences .....	45
<b>Figure II. 18</b> : les courbes Intensité -durées-fréquences.....	45

<b>Figure III.1</b> : localisation des bassins hydrographiques de l'Algérie « ANRH » .....	50
<b>Figure III.2</b> : Carte d'occupation du sol du bassin versant .....	54
<b>Figure III.3</b> : Schéma général de la fonction de production et de transfert.....	56
<b>Figure III.4</b> : Hydrogramme de crue du BV Bridja.....	57
<b>Figure III.5</b> : Hydrogramme de crue du BV Guergour.....	58
<b>Figure III.6</b> : Hydrogramme de crue à l'exutoire T= 100ans.....	58
<b>Figure III.7</b> : Hydrogramme de crue à l'exutoire T=50ans.....	59
<b>Figure III.8</b> : Hydrogramme de crue à l'exutoire T=20ans.....	60
<b>Figure III.9</b> : Hydrogramme de crue à l'exutoire T=10ans.....	61
<b>Figure III.10</b> : Hydrogramme de crue à l'exutoire T=05ans.....	62
<b>Figure IV.1</b> : Les différents tronçons des cours d'eaux.....	66
<b>Figure IV.2</b> : l'état d'un tronçon d'oued Gergoure.....	68
<b>Figure IV.3</b> : l'état du tronçon P1 aménagé d'oued Palm Beach.....	69
<b>Figure IV.5</b> : répartition des sections transversales sur HEC RAS.....	72
<b>Figure IV.6</b> : Profil du plan d'eau d'Oued Palm Beach au passage de la crue de projet.....	74
<b>Figure IV.7</b> : Profil du plan d'eau d'Oued Gergoure au passage de la crue de projet.....	75
<b>Figure IV.8</b> : Profil du plan d'eau d'Oued Bridja au passage de la crue de projet.....	76
<b>Figure IV.9</b> : Profil en travers d'un tronçon d'oued Gergoure.....	77
<b>Figure IV.10</b> : Profil en travers du tronçon d'oued Bridja.....	77
<b>Figure IV.11</b> : Profil en travers d'un tronçon d'oued Palm Beach .....	78
<b>Figure IV.12</b> : Profil des vitesses du tronçon d'oued Gergoure .....	78
<b>Figure IV.13</b> : la carte des zones inondables.....	82
<b>Figure V.1</b> : schéma des écoulements permanent et non permanents .....	83
<b>Figure V.2</b> : schéma des écoulements uniforme et non-uniforme.....	84
<b>Figure V.3</b> : plan d'aménagement des tronçons selon les variantes .....	92
<b>Figure V.4</b> : profile en travers des tronçons P1 et P2 aménagés en gabion.....	93
<b>Figure V.5</b> : profile en travers du tronçon B1 aménagé en gabion.....	93
<b>Figure V.6</b> : profile en travers du tronçon B1 aménagé en terre.....	94
<b>Figure V.7</b> : profile en travers du tronçon G1 aménagé en gabion.....	95
<b>Figure V.8</b> : profile en travers du tronçon G1 aménagé en terre.....	95

<b>Figure V.9</b> : comparaison entre la section avant et après l'aménagement «tronçon G2» .....	99
<b>Figure V.10</b> : Une section aménagée d'oued Palm Beach « tronçon P2 » .....	99
<b>Figure V.11</b> : angle au repos des grains solide en fonction du diamètre médian.....	102
<b>Figure V.12</b> : La Contrainte tractrice critique pour les matériaux non cohérents.....	102
<b>Figure V.13</b> : La Contrainte tractrice critique pour les matériaux cohérents.....	103
<b>Figure V.14</b> : Les dalots préfabriqués en béton armée.....	105
<b>Figure V.15</b> : les dalots fabriques sur terrain en béton armée.....	105
<b>Figure V.16</b> : profile en travers des dalots de La route nationale N11 tronçon B1.....	106
<b>Figure V.17</b> : profile en travers des dalots de La route W133 tronçon B4.....	106
<b>Figure V.18</b> : profile en travers des dalots de la route de Bouchaoui tronçon B5.....	107
<b>Figure V.19</b> : profile en travers du dalot de la route N11 tronçon G2.....	107
<b>Figure V.20</b> : profile en travers du dalot de Belota tronçon G3.....	108
<b>Figure V.21</b> : profile en travers du dalot de Narbonne tronçon G4.....	108
<b>Figure V.22</b> : schéma de constriction d'un dalot.....	109
<b>Figure V.23</b> : la phase finale de la réalisation d'un dalot .....	109
<b>Figure VI.1</b> : Réseau à nœud.....	117
<b>Figure VI.2</b> : Diagramme de Gantt.....	118

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1</b> : Précipitations mensuelles moyennes de la région de Staoueli (ANRH).....	02
<b>Tableau I.2</b> Températures mensuelles moyennes a Staoueli (ANRH).....	02
<b>Tableau I.3</b> : vitesse mensuelle moyennes du vent en km/h a Staoueli (ANRH).....	03
<b>Tableau I.4</b> L'évolution de la population de la ville de Staoueli (ONS) .....	04
<b>Tableau II.1</b> : Superficies et périmètres des bassins versants étudiés.....	13
<b>Tableau II.2</b> : indice de compacité des bassins versants étudiés.....	14
<b>Tableau II.3</b> : les paramètres morphométriques des bassins versants.....	15
<b>Tableau II.4</b> : pourcentage de la surface élémentaire du BV oued Palm Beach.....	17
<b>Tableau II.5</b> : pourcentage de la surface élémentaire du BV oued Bridja.....	18
<b>Tableau II.6</b> : pourcentage de la surface élémentaire du BV oued Guergour.....	19
<b>Tableau II.7</b> : les Altitudes Caractéristique des bassins versants.....	21
<b>Tableau II.8</b> : la Classification du relief (ORSTOM) .....	22
<b>Tableau II.9</b> : Longueur des courbes de niveau.....	23
<b>Tableau II.10</b> : Classification du réseau hydrographique Selon Strahler.....	24
<b>Tableau II.11</b> : Les longueurs des cours d'eau .....	25
<b>Tableau II.12</b> : Temps de concentration des bassins versant.....	28
<b>Tableau II.13</b> : Identification de la station pluviométrique.....	31
<b>Tableau II.14</b> : La série des pluies journalières maximales (1) .....	32
<b>Tableau II.15</b> : les paramètres statistiques de la série.....	32
<b>Tableau II.16</b> : Résultat de l'ajustement à la loi de Gumbel.....	33
<b>Tableau II.17</b> : Résultat de l'ajustement à la loi de Galton « log-normal » .....	35
<b>Tableau II.18</b> : Résultat de l'ajustement à la GEV.....	32
<b>Tableau II.19</b> : Résultat de Test $\chi^2$ .....	37
<b>Tableau II.20</b> : Pluies et intensités de courtes .....	39
<b>Tableau II.21</b> : la série des Pluies max journalier (2) .....	41
<b>Tableau II.23</b> : Résultat de l'ajustement à la loi Pearson III .....	44
<b>Tableau II.24</b> : Pluies et intensités de courtes durées .....	44

<b>Tableau III.1</b> : Valeurs du coefficient de ruissellement C.....	48
<b>Tableau III.2</b> : Valeurs du paramètre P0.....	50
<b>Tableau III.3</b> : Valeurs des coefficients A, B et n. ....	50
<b>Tableau III.4</b> : Débits de crue du BV oued Bridja par les formules empiriques .....	51
<b>Tableau III.5</b> : Débits de crue du BV oued Geurgour par les formules empiriques .....	51
<b>Tableau III.6</b> : Débits de crue du BV oued PalmBeach par les formules empiriques .....	51
<b>Tableau III.7</b> : Classification des sols selon NRCS .....	53
<b>Tableau III.8</b> : CN selon le Type d'occupation de sol.....	53
<b>Tableau III.9</b> : d'occupation de sol et CN du bassin versant .....	54
<b>Tableau III.10</b> : Résultats de simulation pour la période de retour 100ans .....	57
<b>Tableau III.11</b> : Résultats de simulation pour la période de retour 50ans.....	59
<b>Tableau III.12</b> : Résultats de simulation pour la période de retour 20ans .....	60
<b>Tableau III.13</b> : Résultats de simulation pour la période de retour 10ans .....	61
<b>Tableau III.14</b> : Résultats de simulation pour la période de retour 05ans .....	62
<b>Tableau III.15</b> : Résultats des débits de la simulation des différents périodes de retour.....	62
<b>Tableau III.16</b> : Résultats des débits selon les deux approches.....	63
<b>Tableau IV.1</b> : la division des cours d'eaux en tronçons .....	65
<b>Tableau IV.2</b> : les infrastructures traversées par les oueds .....	69
<b>Tableau IV.3</b> : Valeurs des coefficients de rugosité de Manning .....	72
<b>Tableau IV.4</b> : Synthèses des résultats de simulation du modèle hydraulique des oueds de l'étude.....	79
<b>Tableau V.1</b> : description des tranchons des oueds .....	87
<b>Tableau V.2</b> : les différentes tailles des roches pour le Matelas Reno et le Gabion.....	89
<b>Tableau V.3</b> : Ordre de grandeur des fruits des talus selon « USBR » .....	90
<b>Tableau V.4</b> : calculs primaires des hauteurs des canaux .....	91
<b>Tableau V.5</b> : Estimation du coût de la variante N01 et N02 .....	91
<b>Tableau V.6</b> : Synthèses des résultats de simulation des aménagements des oueds .....	96
<b>Tableau V.7</b> : la Vitesse admissible d'écoulement selon le type de sol .....	101
<b>Tableau V.8</b> Revanches de tirants d'eau .....	101
<b>Tableau V.9</b> : représente les vitesses admissibles pour le Matelas reno et le Gabion.....	104

<b>Tableau VI.1</b> : le coefficient de foisonnement selon le type du sol .....	112
<b>Tableau VI.2</b> : Devis quantitatif et estimatif du projet .....	113
<b>Tableau VI.3</b> : Symboles des opérations et leurs durées de réalisation. ....	116

## LISTE DES PLANCHES

<b>Plan de masse de la zone ouest de la commune de Staoueli w « Alger » .....</b>	<b>1/5</b>
<b>Profile en long d'une partie d'oued Bridja .....</b>	<b>2/5</b>
<b>Profile en long d'une partie d'oued Gergoure .....</b>	<b>3/5</b>
<b>Profile en long d'oued Palm Beach.....</b>	<b>4/5</b>
<b>Plan d'aménagement et carte des zones inondables de la partie ouest de la commune de Staoueli .....</b>	<b>5/5</b>

# **Introduction générale**

## **Introduction générale :**

Les crues et les inondations posent un problème majeur et croissant pour le développement socioéconomique à l'échelle mondiale. En fonction de la croissance démographique, la tendance à l'urbanisation et les changements climatiques, les risques des inondations évoluent mettant en péril des vies humaines, Plusieurs régions en Algérie sont menacées par ce phénomène, dont les effets sont souvent intensifiés par une urbanisation anarchique impliquant une occupation des terres inondées et même les rives des oueds.

Notre présente étude a pour objet la protection de la zone ouest de la commune de Staoueli contre les inondations est d'aménager les oueds Palm Beach, Bridja et Gergoure , Pour atteindre cet objectif, ce travail s'articule autour des chapitres suivant :

- **La présentation de la zone d'étude :** ce chapitre nous permettra de faire un diagnostic détaillé de l'ensemble des différents éléments caractérisant le territoire communal de Staoueli sur le plan topographique, géologique, démographique et hydraulique.
- **L'étude Hydrologique :** ce chapitre étudié les caractéristiques Hydromorphométriques du bassin versant et l'analyse des pluies maximales journalières et le calcul des intensités qui permet donc de déterminer le débit de crue pour différentes périodes de retour.
- **L'estimation des débits de projet :** Le but de ce chapitre est de déterminer les débits de crues correspondants aux différentes périodes de retour pour le choix de l'aménagement approprié et la délimitation des zones inondables.
- **L'étude des écoulements :** L'objectif de ce chapitre est de faire une modélisation des écoulements dans le cours d'eau, afin de définir les hauteurs et les limites d'eau atteintes au passage des crues de différentes fréquences ainsi que d'autres caractéristiques qui permettent de définir les types d'aménagement à retenir.
- **L'étude des variantes d'aménagement :** ce chapitre étudie les différentes variantes d'aménagements des cours d'eaux Bridja et Gergoure et Palm Beach afin d'assurer une protection régulière contre les crues.
- **Mangement de Project :** Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux devisdevis quantitatif et estimatif et l'organisation de chantier, pour réaliser notre projet d'aménagement dans les meilleures conditions de sécurité respectent le délai d'exécution.

# **Chapitre I :**

## **Présentation de la zone d'étude**

**Introduction :**

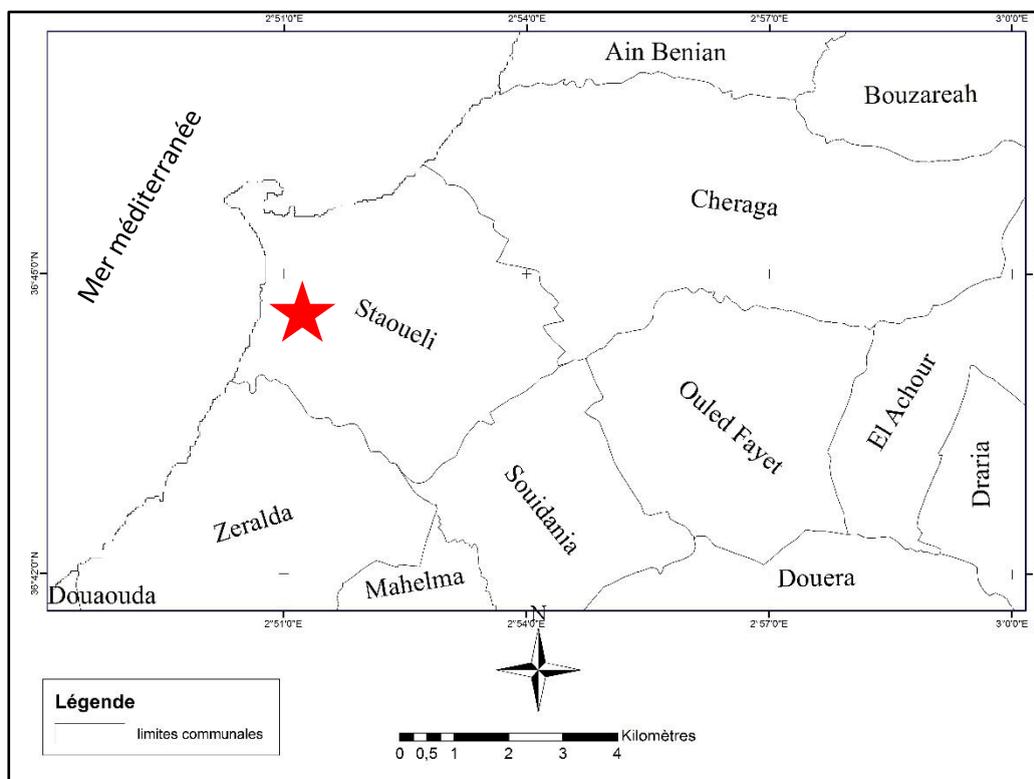
Dans le cadre de la protection contre les inondations ; la description de la zone d'étude est très importante, car elle nous renseigne sur la géographie, la géologie ainsi que la situation climatique et prévoir tout développement démographiques et urbaines de la zone d'études.

**I. Données Naturelle De La Zone D'étude :****I.1 Situation Géographique :**

La commune de Staoueli est une commune de la wilaya d'Alger en Algérie, située dans la banlieue ouest Algéroise à 25 Km Ouest d'Alger et 08 Km de Chéraga et 03 Km de Zéralda, son chef-lieu, administratif.

Elle occupe une superficie d'environ 2220 hectares avec une population d'environ 51 739 habitants en 2018. Elle est délimitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée
- A l'Est par l'oued Boukraa qui la sépare de Chéraga
- A l'Ouest par la commune de Zéralda
- Au Sud par une limite artificielle la séparant de la commune de Souidania



**Figure I.1 :** plan de situation de la commune de Staoueli

**I.2 Situation Climatique :**

La commune de Staoueli est caractérisée par un climat méditerranéen, froid et humide en hiver et plutôt chaud et secs en été

**II.2.1 : Précipitation :**

L'hiver à Staoueli se caractérise par des précipitations bien plus importantes qu'en été. Les précipitations annuelles moyennes sont de 668 mm.

**Tableau I.1** Précipitations mensuelles moyennes de la région de Staoueli (1975 –2009)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Total
Précipitations (mm)	34	70	113	117	93	69	63	44	45	14	2	4	688

Source ANRH

**I.2.2 : Température :**

La température moyenne annuelle à Staoueli est de 17.7 °C, Les températures extrêmes enregistrées sont 7°C et 35°C localisées en janvier et en mois d'aout atteintes.

**Tableau I.2** Températures mensuelles moyennes a Staoueli (1975 –2009)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou
Température minimale moyenne (°C)	19	16	11	8	7	7	8	10	14	18	21	22
Température maximale moyenne (°C)	31	27	20	17	16	17	19	21	25	30	34	35

Source : ANRH

**I.2.3 : Vitesse Du Vent :**

La vitesse horaire moyenne du vent à Staoueli connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année.

La période la plus venteuse de l'année dure 5 à 7 mois, du 29 octobre au 20 avril, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 14,6 kilomètres par heure. Le siroco se manifeste 14 jours /an. En moyenne pendant la période estivale Juillet et Août.

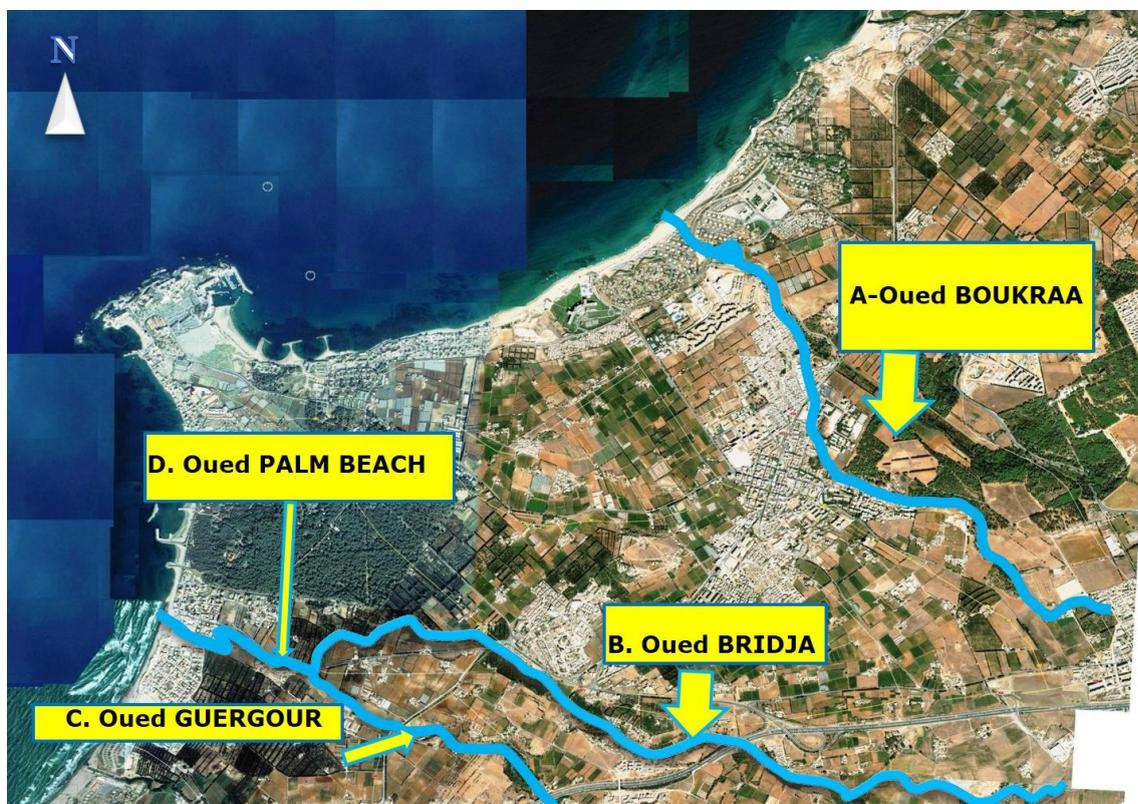
**Tableau I.3 :** vitesse mensuelle moyennes du vent en km/h a Staoueli (1975 –2009)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou
Vitesse vent km/h	13.3	14.8	16.3	16.7	16.6	16	15.6	14.3	12.8	13.1	12.6	13

Source : ANRH

**I.3 : Situation Hydraulique :**

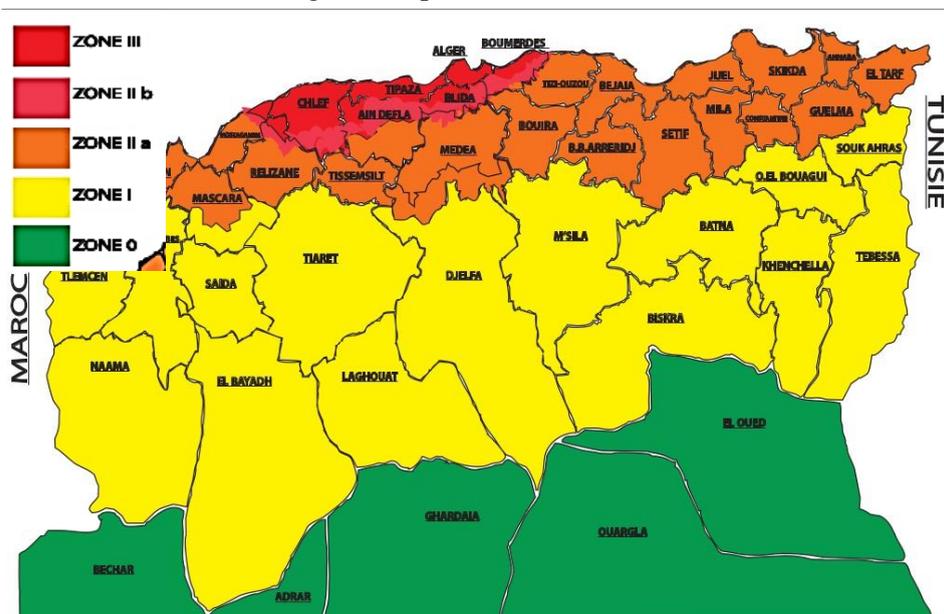
La ville de Staoueli est traversé par trois Oueds principaux, oued Boukraa à l'Est, il constitué par deux affluents, ces derniers se rejoignent en amont de la station d'épuration de Staoueli à 1.4Km avant la plage de Club Des Pins, et l'oued Bridja à l'Ouest qui constitue une branche de l'oued Guergour, ils se rejoignent sur Oued de Palm beach à 1Km environ avant la plage palm beach.



**Figure I.2 :** Image satellite non traitée des Oueds de la commune de Staoueli

**I.4 : Activité Sismique :**

Le nord de l'Algérie est une zone d'activité sismique élevée comme l'attestent les différents séismes survenus à la fin du 20ème siècle et la wilaya d'Alger est classée en zone III, comme la montre la carte de zonage sismique



**Figure I.3:** Carte de zonage sismique de l'Algérie ( RPOA,2008)

**II. Données Socio-Economique De La Zone D'étude :**

**II.1 : Situation démographique :**

Les derniers recensements généraux de la population et de l'habitat (RGPH) de 1966, 1977, 1987 ; 1998 , 2008 et 2018 ont constitués l'une des sources principales de renseignements pour l'étude de projection démographique

L'évolution de la population de la ville de Staoueli selon le recensement général de la population et de l'habitat est résumée dans le tableau suivant :

**Tableau I.4** L'évolution de la population de la ville de Staoueli

Années Paramètres	Population					
	1966	1977	1987	1998	2008	2018
Commune de Staoueli	8932	14462	23 759	38731	47 664	51 739

Source ONS

**II.2 : Equipements et infrastructures :**

La commune de Staoueli s'est fortement orientée autour de l'activité touristique et hôtelière. Elle possède le plus grand nombre d'Hôtels de tout l'algérois.

- Hôtel Sheraton 5 étoiles
- Complexe touristique du Sahel (Moretti)
- Hôtel El Minzah 3 étoiles
- Complexe touristique de Sidi Fredj
- Hôtel El Riadh (400 chambres) 4 étoiles
- Hôtel El Marsa (186 chambres) 4 étoiles
- Hôtel El Manar (900 lits) 3 étoiles
- Centre de thalassothérapie
- Hôtel Club Azur Plage 3 étoiles

La ville de Staoueli s'est développée d'une façon si importante ces dernières années que la surface urbanisée a quadruplé : La plupart des constructions a servi à la résorption de l'habitat précaire et au relogement des populations qui occupaient des sites dans le domaine touristique mais S'agissant d'une ancienne commune agricole y subsiste un peu de culture maraichère surtout au niveau du village agricole de la Bridja

**III. Présentation Du Système D'assainissement Actuel De La Ville De Staoueli :**

Le réseau d'assainissement existant de la ville de Staoueli est de type unitaire (collecte des eaux usées et pluviales). Avec une topographie favorable, et l'écoulement des eaux se fait en gravitaire vers la station d'épuration d'une part et d'autre part vers l'oued Boukraa.

**III.1 Station d'épuration de Staoueli**

La station d'épuration de Staoueli est implantée dans la zone la plus basse de la commune sur un hectare à proximité de l'oued Boukraâ. Elle a été mise en service en 1989.

Cette station d'épuration est raccordée à un réseau d'assainissement des eaux usées urbaines unitaire, avec une capacité de 15000 eq-hab.

Elle a été conçue pour traiter chaque jour 3000m<sup>3</sup> d'eaux usées de la ville de Staoueli par voie biologique. Elle contribue ainsi à la diminution de la pollution de l'environnement, particulièrement, celle de l'oued Boukraâ qui se déverse dans la mer

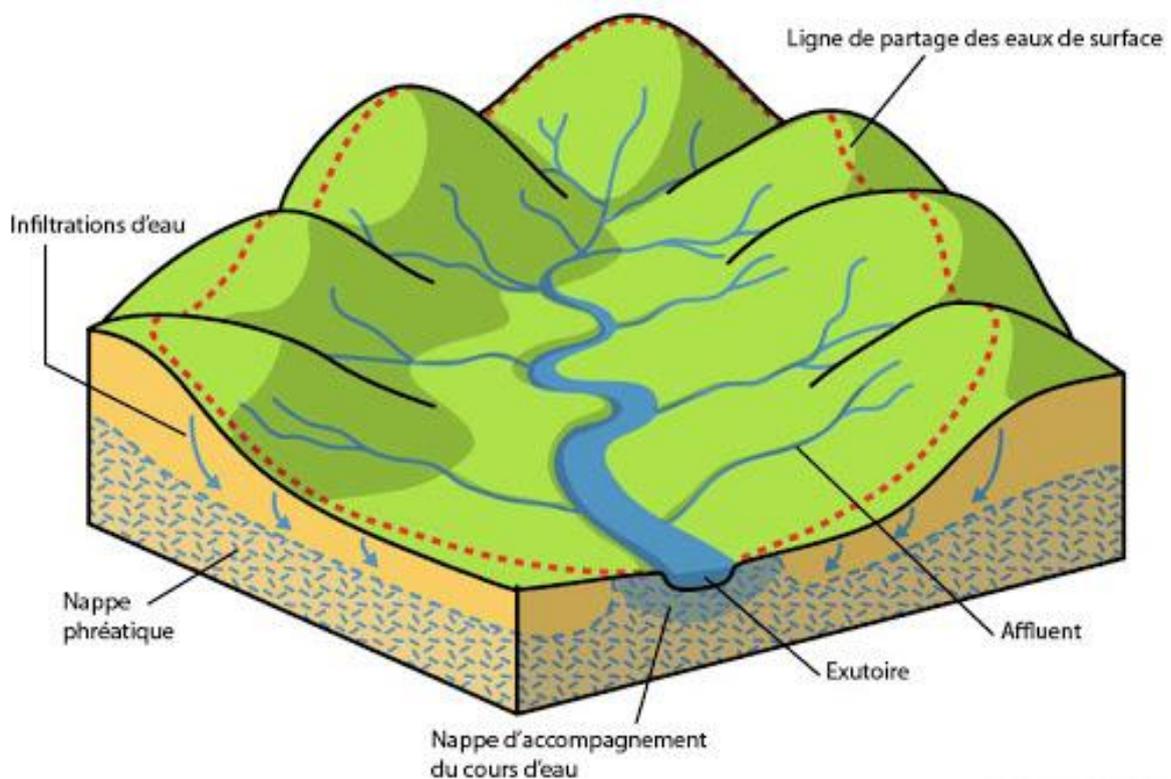
#### **IV. Description Du Bassin Versant De La Zone Ouest De La Commune De Staoueli :**

##### **IV.1 Définition D'un Bassin Versant :**

Un bassin versant ou bassin hydrographique est une portion de territoire délimitée par des lignes de crête (ou lignes de partage des eaux) et irriguée par un même réseau hydrographique (une rivière, avec tous ses affluents). (DCE,2000).

C'est une zone de relief dont les eaux de ruissellement de surface s'écoulent et se rassemblent vers un point unique appelé l'exutoire.

Ce dernier se définit comme le point le plus en aval du réseau hydrographique par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin.



**Figure I.4 :** Exemple d'un bassin versant.

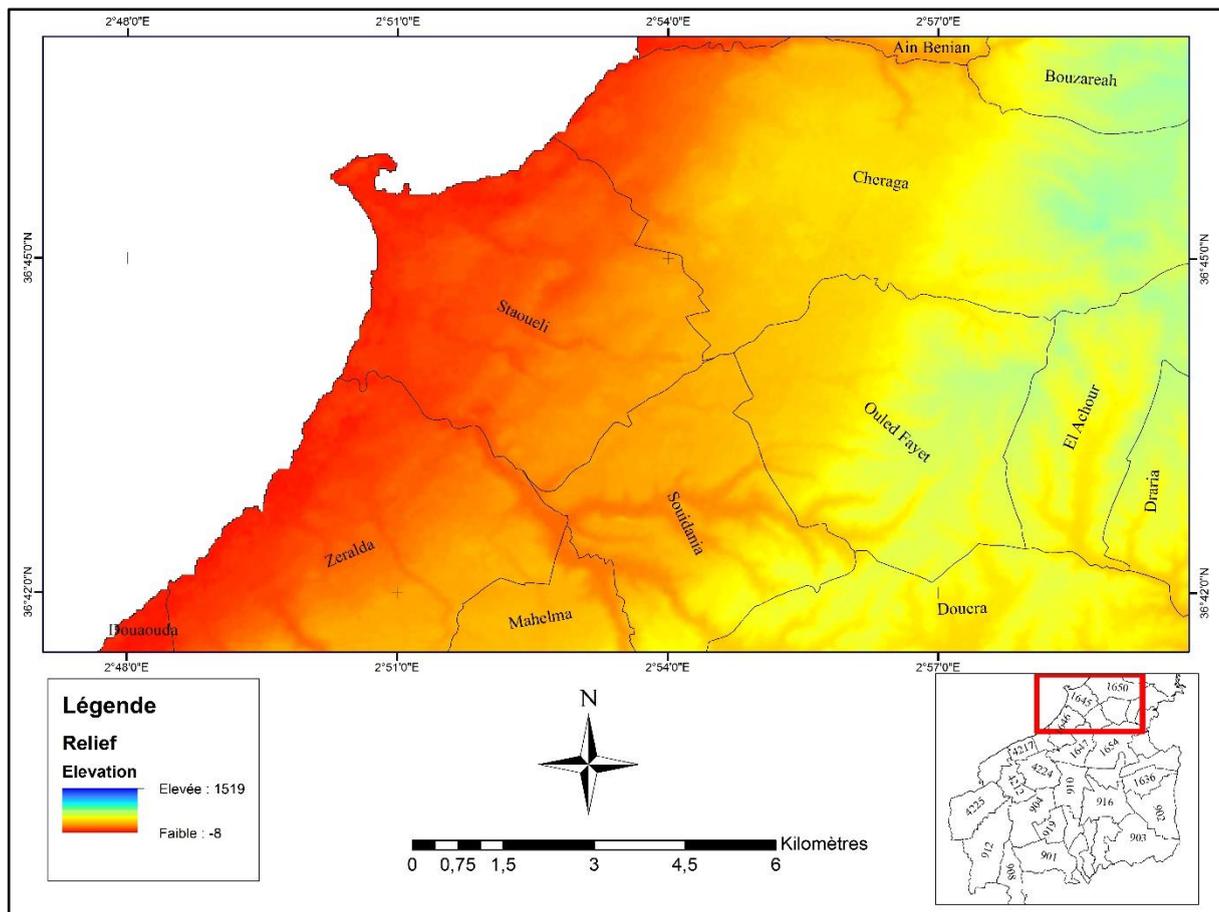
#### IV. 2 : Délimitation Des Bassins Versant :

La délimitation des bassins versants a pour but la détermination des caractéristiques géométriques et topographiques. Elle se fait au moyen des lignes de plus grande pente et de la ligne de crête.

On peut effectuer par deux méthodes différentes de délimitation :

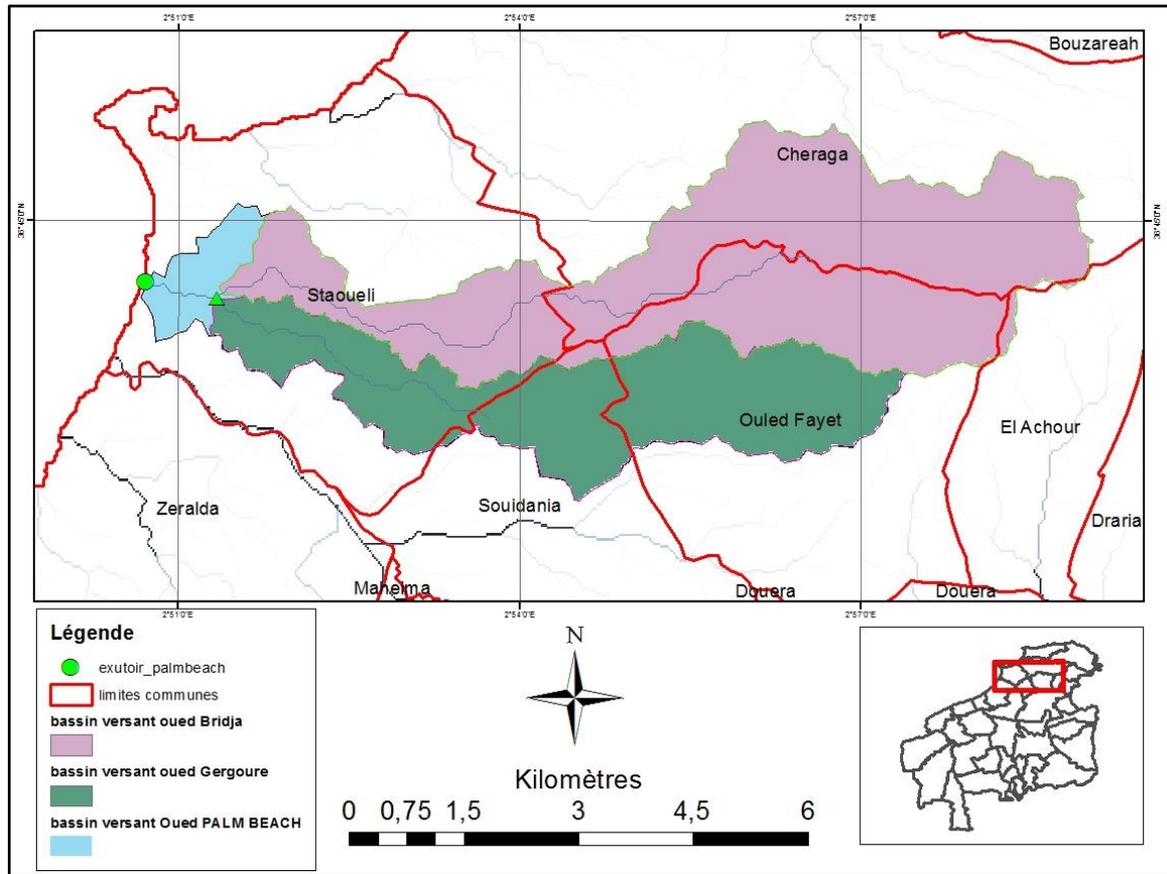
- Méthodes classiques : via des cartes topographiques, l'outil utilisé à cet effet est le logiciel Autocad.
- Méthodes récentes : en utilisant le SIG et en se basant sur un réseau hydrographique extrait d'un MNT (Modèle Numérique de Terrain).

Dans notre étude, cette délimitation a été effectuée à partir du modèle SIG sur le logiciel «ArcGIS » en utilisant des données MNT de résolution 30 m.



**Figure I.5 :** la carte du relief de la zone étudiée.

En utilisant conjointement ces outils et ces interfaces, nous avons pu délimiter les bassins versants de la zone étudiée et déterminer leurs caractéristiques et voici les résultats sur la figure suivante :



**Figure I.6 :** Résultat de la délimitation des bassins versants sur Arc-GIS.

### IV.3 : Topographie et relief

Le bassin versant global composé des sous bassins versants d'oued GUERGOUR , oued BRIDJA et oued PALM BEACH. Situé sur le littoral ouest à 22Km d'Alger, il fait partie des communes de STAOUELI, CHERAGA, SOUIDANIA et OULED FAYET, il occupe une superficie de 3035 ha, en amont l'altitude atteint 289 m, et en aval elle descend jusqu'à niveau de la mer.

Le relief qui caractérise ce Bassin à une forme d'une plaine légèrement vallonnée, constituée d'une terre légèrement sableuse, argilo-silteuse.

En amont les pentes sont de l'ordre de 3,5% Tandis que en aval elles diminuent jusqu'à 1% environ. Et comme L'altitude des lignes de crêtes des bassins versants varient entre 30 et 120 et 240 m sur une bande approximative de 12000 m, ce qui donne une pente Moyenne de 2.5%.

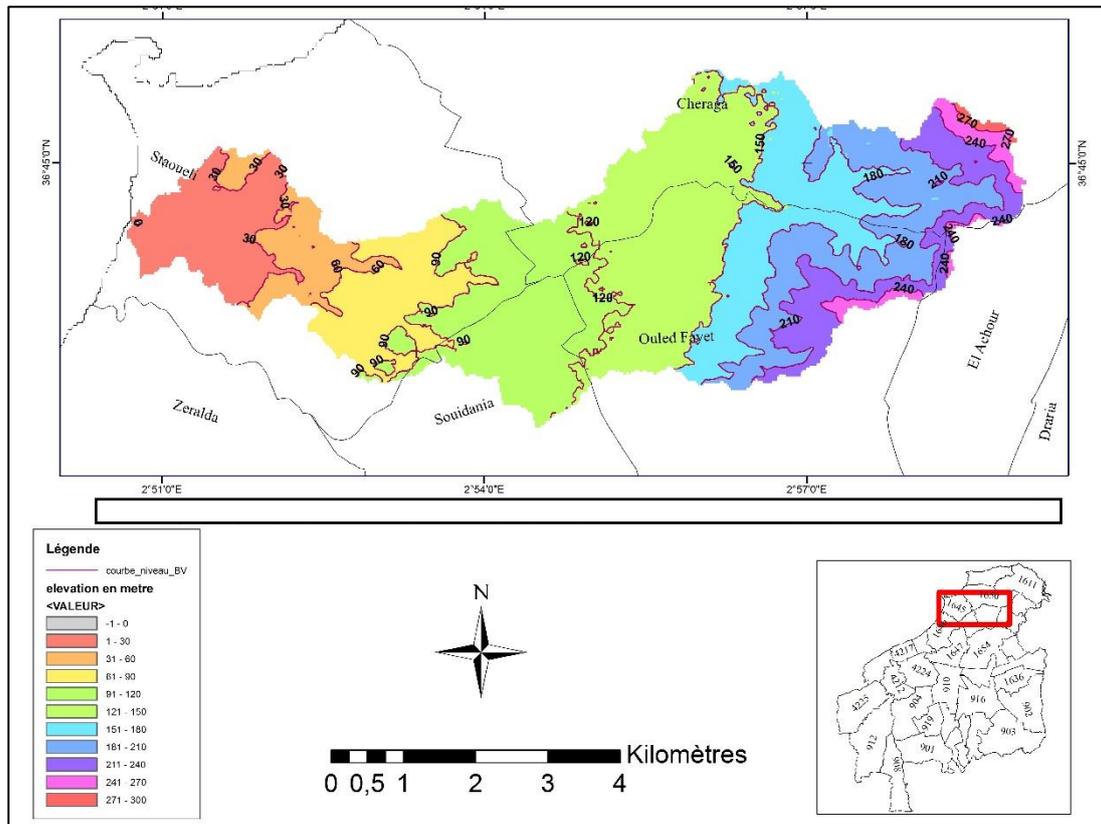


Figure I.7 Carte Topographique Du Bassin Versant

et Voici la Carte Des Pentes Du Bassin Versant représentée dans la figure suivant :

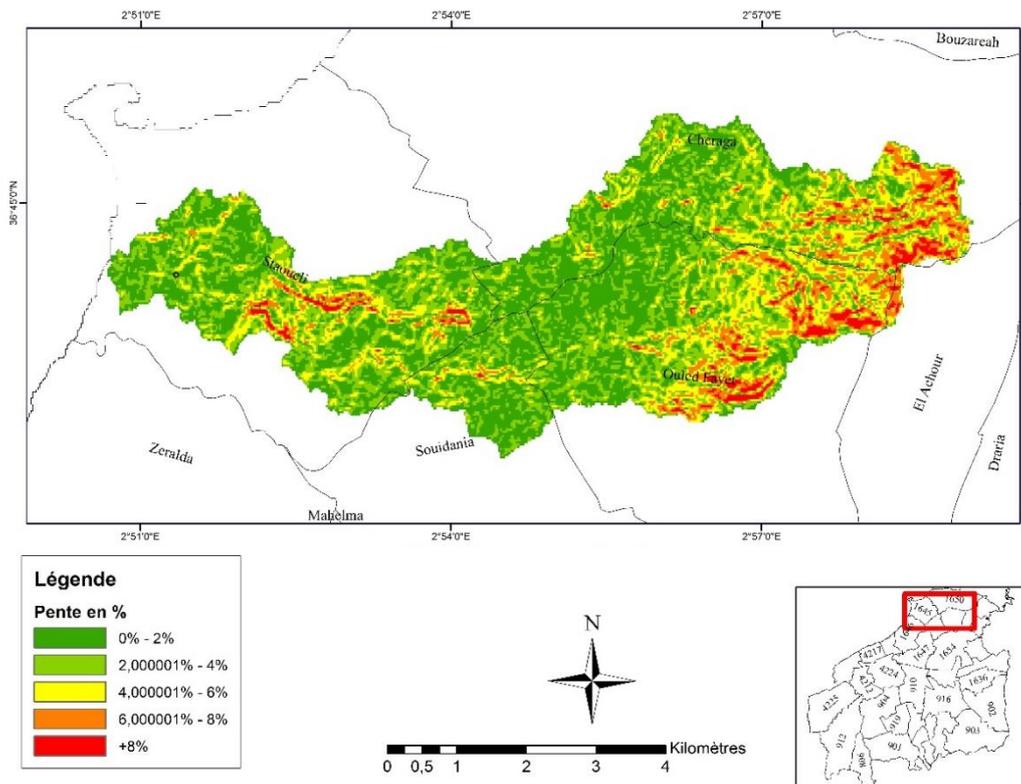
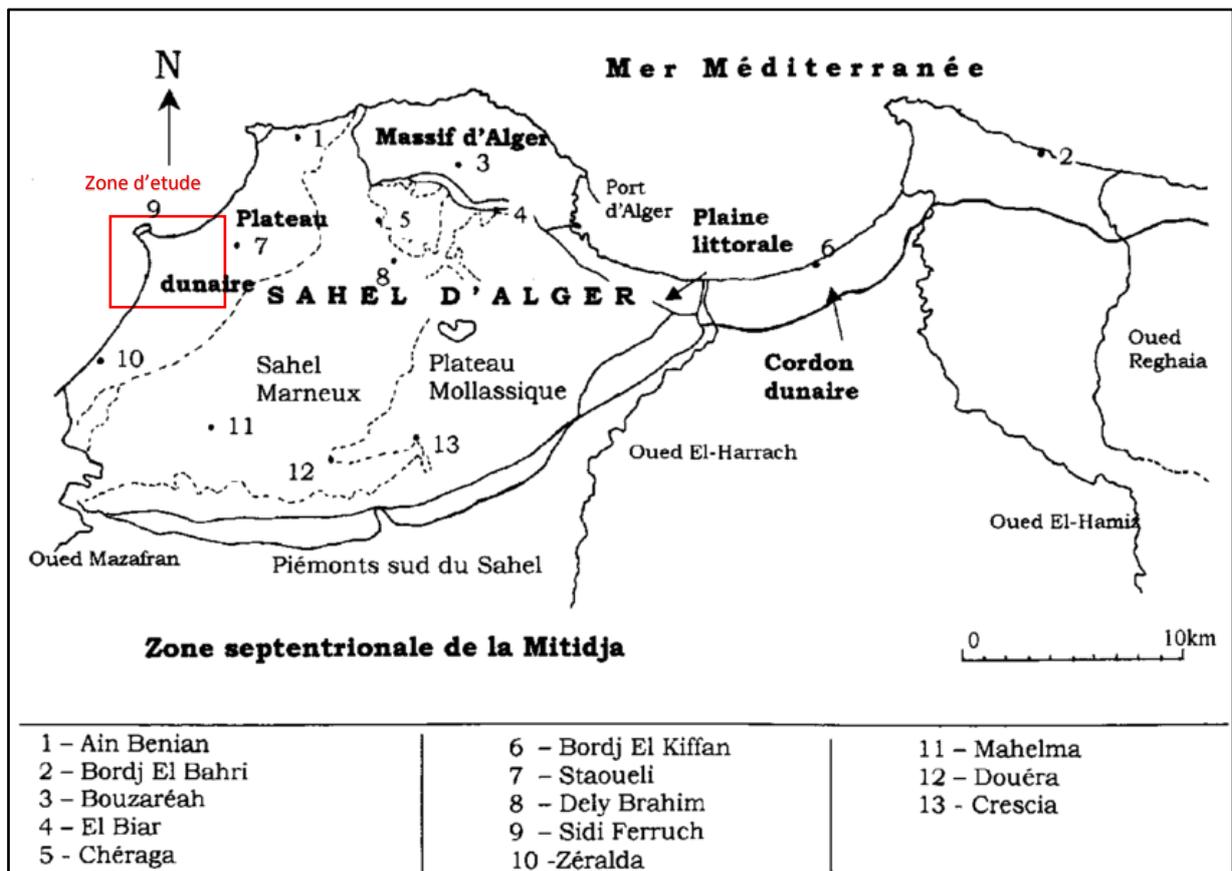


Figure I.8 Carte Des Pentes Du Bassin Versant

**IV.4 : Aperçu Géologique :**

Du point de vue géologique, la presqu'île de Sidi Fredj est formée de roches métamorphiques, A l'arrière le bassin versant de Staoueli est caractérisée par des dunes actuelles. Les alluvions récentes, des sables argileux et des graviers actuels qui bordent toutes la cote.



**Figure I.9** Extrait de la carte géologique Algéroise ( Derriche and Cheikh-Lounis 2004) modifiée

**IV.5 : Le Réseau Hydrographique :**

Le Bassin versant global est parcouru par 2 oueds principales oued GUERGOUR et oued BRIDJA Ils se rejoignent sur Oued Palm Beach à 1Km environ avant la plage du même nom.

Le bassin versant de l'oued BRIDJA occupe une superficie de 1865ha. Il est traversé par l'oued BOUCHEBOUK avec trois Branches :

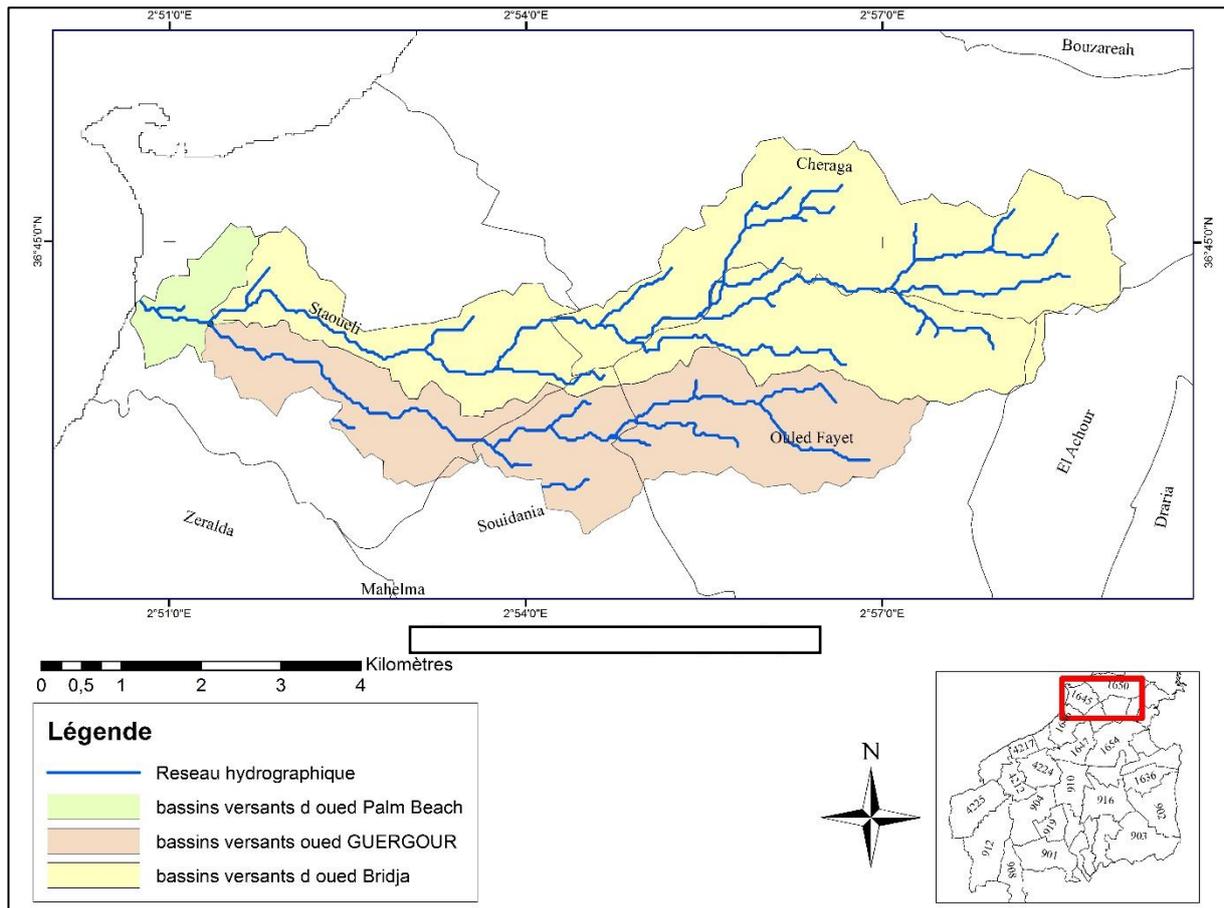
La première branche débute en amont à une altitude environ 260m du côté ouest de la ville de DELY BRAHIM, parcourt en amont sur une zone urbanisée puis elle continue son trajet sur des terres Agricoles jusqu'à la traversée de l'auto route, en fin elle arrive à la zone d'aménagement en parcourant les 340 logements OPGI et la zone de service tertiaire, au Nord-ouest, avant d'arriver au branchement de oued BRIDJA.

Le deuxième branche débute au sud de la commune de DELY IBRAHIM parcourt les terres agricole avant d'atteindre l'Autoroute qui la traverse au niveau de la zone d'aménagement des 340 logements OPGI et rejoint la première branche après avoir parcouru 2935m pour se jeter dans oued BRIDJA.

La troisième branche débute à une altitude de 240m près de la route N°36 en parcourant la partie Est de Ouled Fayet sur les terres agricole et descend jusqu'à la zone d'aménagement et traverse les 2041 logements AADL après avoir effectué un parcours de 2079m.

Ces trois branches qui constituent l'Oued BOUCHEBOUK s'accumulent pour se déversées dans l'oued BRIDJA, ce dernier commence en amont à une altitude de 158m et parcourt une longueur d'environ 1650m, il continue à parcourir sur des terres agricoles jusqu'à la traversée de la route CW N°133. Ensuite il continue encore à traverser une région peu urbanisée, le domaine BOUCHOUI AMAR sur un versant droit et le domaine KHAITTI AHMED sur le versant gauche puis il atteint l'autoroute, après avoir travers l'autoroute, il continue jusqu'à la traversée de la route Nationale N°11 et enfin rejoint l'oued GUERGOUR pour se déversé à 1 Km en Aval sur la mer (plage PALAM BEACH).

Le bassin versant de l'oued GUERGOUR occupe une superficie de 1036 ha, il est drainé par plusieurs oueds et thalweg, qui s'accumulent et se diverses dans l'oued GUERGOUR, ce dernier prend source en amont à une altitude de 237m, et traverse les domaines FRERES SEMROUNI, BACHIR AHMED et KHATTI AHMED. L 'oued traverse l'Auto Route, et continue sur des terres agricoles jusqu'a rejoint l'oued BRIDJA



**Figure I.10** Réseau Hydrographique des bassins versants

**V. Historique d'inondation dans la région :**

Parmi les quatorze risques majeurs répertoriés par l'ONU, le risque d'inondation en Algérie fait partie des dix risques majeurs présents sur le territoire et cités par la loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable (J.O.R.A., 2004).

La Wilaya d'Alger est très exposée au risque inondation, que ce soit par débordements des oueds ou du réseau d'assainissement pluvial les deux principaux événements sont l'inondation oued el Harrach « maison Carrée » avril 1954, et l'inondation de Bâb El Oued 10 novembre 2001 (bassin versant de l'oued Koriche-Alger) qui a fait plus de 772 morts, 320 blessés, 126 disparus et plus de 30 milliards de dinars de pertes matérielles.

Dans le zone ouest algéroise on a l'inondation de Zéralda « Mahelma » en 2007, les débordements sont générés par des averses intenses de courte durée ils peuvent être aggravés

par des conditions de saturation des sols pénalisantes suite à une succession d'épisodes pluvieux conduisant à de forts cumuls de pluie, et pouvant générer des coulées de boue , À Staoueli, nous avons trois grands points noirs l'une sur la route menant vers Sidi-Fredj avoisinant la BDL, la deuxième au niveau de la cité Mimosas et la troisième au domaine Chirico qui ont subi des inondations en 2014 et 2017.

**Conclusion :**

Dans cette partie, nous définissons les données nécessaires sur notre zone d'étude du point de vue de la topographie, de la géologie, de la démographie et la situation hydraulique, Et Après cette description on peut dire que la ville de Staoueli est une ville côtière soumise au risque d'inondation à cause des trois cours d'eau principaux. Ceci d'une part et d'autre part, l'existence de telles informations nous aidera à mieux raisonner nos interventions et le choix des méthodes les plus appropriées sur le calcul des précipitations dans le chapitre suivant.

# **Chapitre II :**

## **Etude Hydrologique**

**Introduction :**

L'hydrologie est une science qui s'intéresse au cycle de l'eau et les échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol.

Le but de l'étude hydrologique vise à analyser les mécanismes de formation d'écoulement, de ruissellement de surface et des crues. Il est basé sur les caractéristiques climatiques et géomorphologiques du bassin versant, et permet donc de déterminer le débit de crue pour différentes périodes de retour.

**I. Caractéristiques Hydro-morpho métriques Des Bassins Versants :**

Le bassin versant est caractérisé par un ensemble de paramètres morphométriques « surface, périmètre, forme, pente, relief » qui interviennent le plus souvent de manière combinée, agissant sur les schémas d'écoulement et influençant sa réponse hydrologique dans les bassins versants.

**I.1 La Surface Et Le Périmètre :**

La superficie et le périmètre d'un bassin versant jouent un rôle primordial dans les études des bassins versants car ils représentent l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau est la longueur curviligne de la ligne de partage des eaux.

Dans notre étude la délimitation des bassins versant sur le logiciel ArcGIS nous a permis de déterminer les superficies et les périmètres représentait sur le tableau suivant :

**Tableau II.1 :** Superficies et périmètres des bassins versants étudiés

<b>Bassin versants</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Périmètre (km)</b>
<b>Oued Bridja</b>	<b>18,65</b>	<b>32,02</b>
<b>Oued Guergour</b>	<b>10,36</b>	<b>24,67</b>
<b>Oued Palm beach</b>	<b>30,35</b>	<b>36,49</b>

**I.2 Les Caractéristiques De La Forme :**

La forme du bassin versant à une influence sur l'allure de l'hydrogramme de pluie au niveau de l'exutoire du bassin qui est due à la notion de temps de concentration, par exemple Un bassin versant allongé ne réagira pas comme un bassin ramassé même dans les mêmes conditions météorologiques

**I.2.1 Indice de compacité de Gravelius «K<sub>c</sub> :**

La forme du bassin est caractérisée par l'indice de compacité ou indice de Gravelius Il représente le rapport du périmètre du bassin considéré sur celui du cercle de surface équivalent, la formule qui caractérise l'indice de compacité défini par la formule : (Wisler, C. 1959)

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots(\text{II.1})$$

- K<sub>c</sub> : Indice de compacité de Gravelius
- P : le périmètre du BV (Km)
- S : la surface du BV (Km<sup>2</sup>)

Plus le K<sub>c</sub> sera proche de 1, plus le bassin aura une forme ramassée et plus le temps de concentration sera court donc :

- Si K<sub>c</sub> = 1 => bassin ramassé.
- Si K<sub>c</sub> > 1 => bassin allongé.

Pour notre cas :

**Tableau II.2 : indice de compacité des bassins versants étudiés**

BV	K <sub>c</sub>	Forme du BV
Oued Bridja	2.07	Allongée
Oued Guergour	2.14	Allongée
Oued Palm beach	1.85	Allongée

### I.2.2 Rectangle équivalent :

La méthode consiste à déterminer les dimensions d'un bassin fictif de forme rectangulaire ayant même superficie, même périmètre et même indice de compacité que ceux du bassin versant initial. La formule qui nous permet de déterminer les dimensions du rectangle équivalent (longueur et largeur) s'écrit : (Roche ,1963)

$$L = \frac{Kc \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \dots\dots(\text{II.2})$$

$$I = \frac{Kc \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \dots(\text{II.3})$$

Avec :

- L : Longueur du rectangle (Km)
- I : Largeur du rectangle (Km)
- K<sub>c</sub> : Indice de compacité de Gravelius
- S : la surface du BV (Km<sup>2</sup>)

Le tableau suivant englobe les paramètres morphométriques du bassin versant calculés Précédemment :

**Tableau II. 3** : les paramètres morphométriques des bassins versants

bassin versant	Surface (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)	K <sub>c</sub>	L(km)	I (km)
<b>Oued Bridja</b>	<b>18,65</b>	<b>32,02</b>	<b>2.07</b>	<b>14.69</b>	<b>1.27</b>
<b>Oued Guergour</b>	<b>10,36</b>	<b>24,67</b>	<b>2.14</b>	<b>11.39</b>	<b>0.90</b>
<b>Oued Palm beach</b>	<b>30,35</b>	<b>36,49</b>	<b>1.85</b>	<b>16.34</b>	<b>1.86</b>

**I.3 : Les Caractéristiques Du Relief :**

Le relief est défini comme étant la variation des altitudes. Ces variations influent sur Des facteurs comme l’écoulement, la précipitation, la végétation, en outre, la pente influe sur la vitesse d’écoulement.

**I.3.1 : Courbe hypsométrique :**

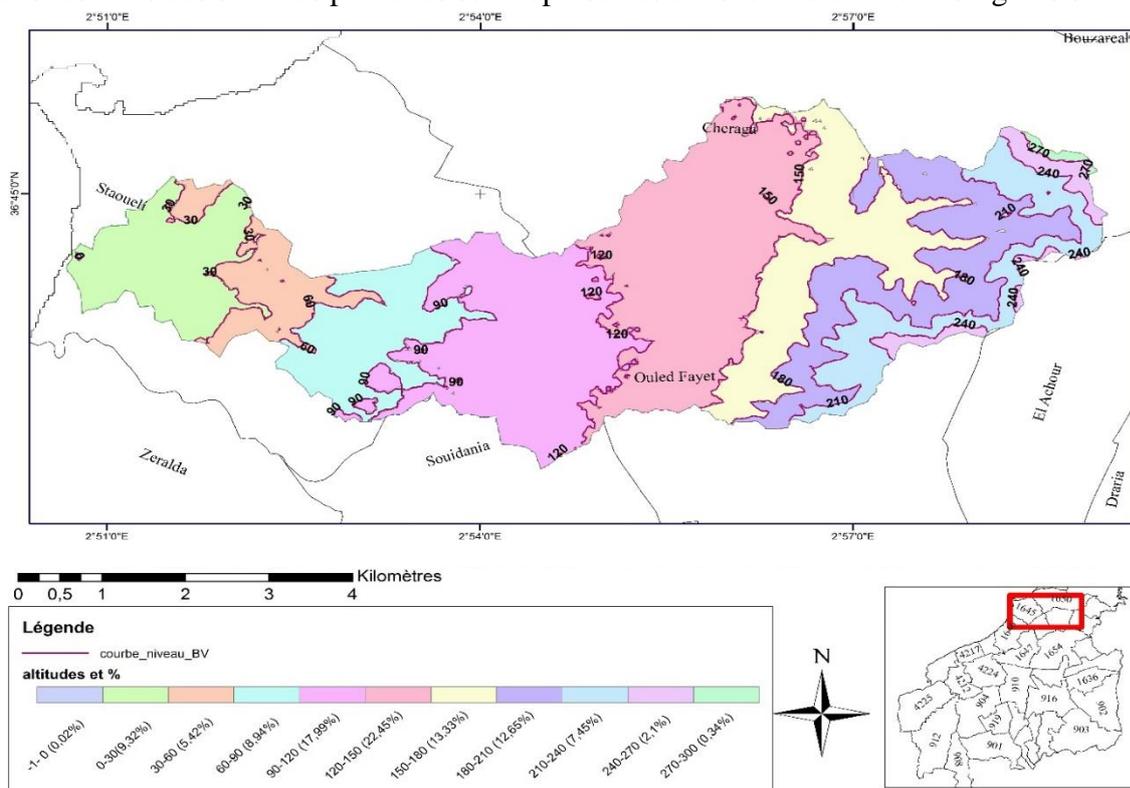
La courbe hypsométrique est une courbe où l’on représente l’altitude en fonction de la superficie. Celle-ci est obtenue en mesurant les surfaces comprises entre certaines tranches d'altitude ou courbes de niveaux, cette tâche nous a été permis à l’aide du logiciel ArcGIS avec quoi nous avons réalisé des cartes hypsométriques des bassins de notre étude.

La courbe hypsométrique se trace en représentant en abscisse le pourcentage de la surface totale du bassin qui se trouve au-dessus des altitudes portées en ordonnées.

On définit aussi le diagramme hypsométrique en représentant en abscisses la valeur de la superficie partielle comprise entre deux tranches d'altitudes successives portées en ordonnées. Ces courbes permettent de relever des altitudes caractéristiques du relief.

- **Bassin versant oued Palm Beach**

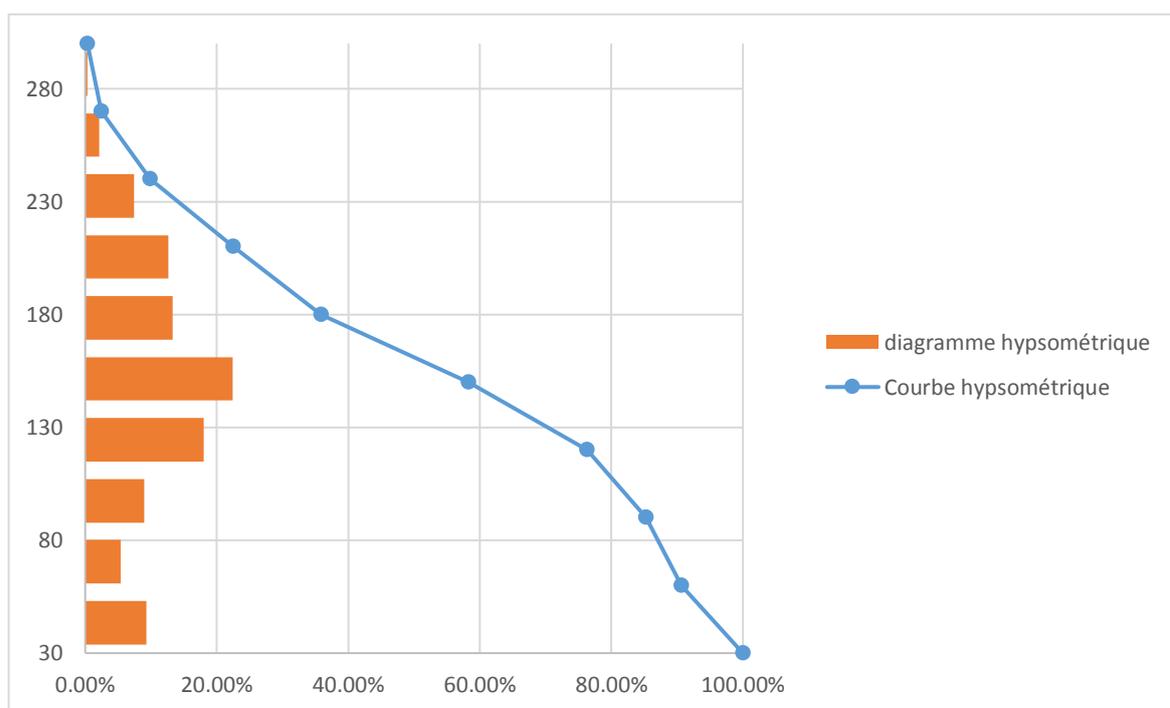
Les résultats des surfaces partielles sont représentés dans le Tableaux et les figures suivantes :



**Figure II. 1 : Carte Hypsométrique du bassin versant total oued Palm Beach**

**Tableau II.4:** Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du BV oued Palm Beach

altitudes (m)	Surface partielle		Surface cumulée
	(Km2)	(%)	(%)
<b>270-300</b>	0,103	0,34%	0,34%
<b>240-270</b>	0,637	2,10%	2,44%
<b>210-240</b>	2,258	7,45%	9,89%
<b>180-210</b>	3,836	12,65%	22,54%
<b>150-180</b>	4,044	13,33%	35,87%
<b>120-150</b>	6,809	22,45%	58,32%
<b>90-120</b>	5,457	17,99%	76,31%
<b>60-90</b>	2,712	8,94%	85,25%
<b>30-60</b>	1,642	5,42%	90,67%
<b>0-30</b>	2,825	9,32%	100%



**Figure II. 2 :** diagramme et courbe Hypsométrique du BV oued Palm Beach

• Bassin versant oued Bridja

Les résultats des surfaces partielles sont représentés dans le Tableaux et les figures suivantes :

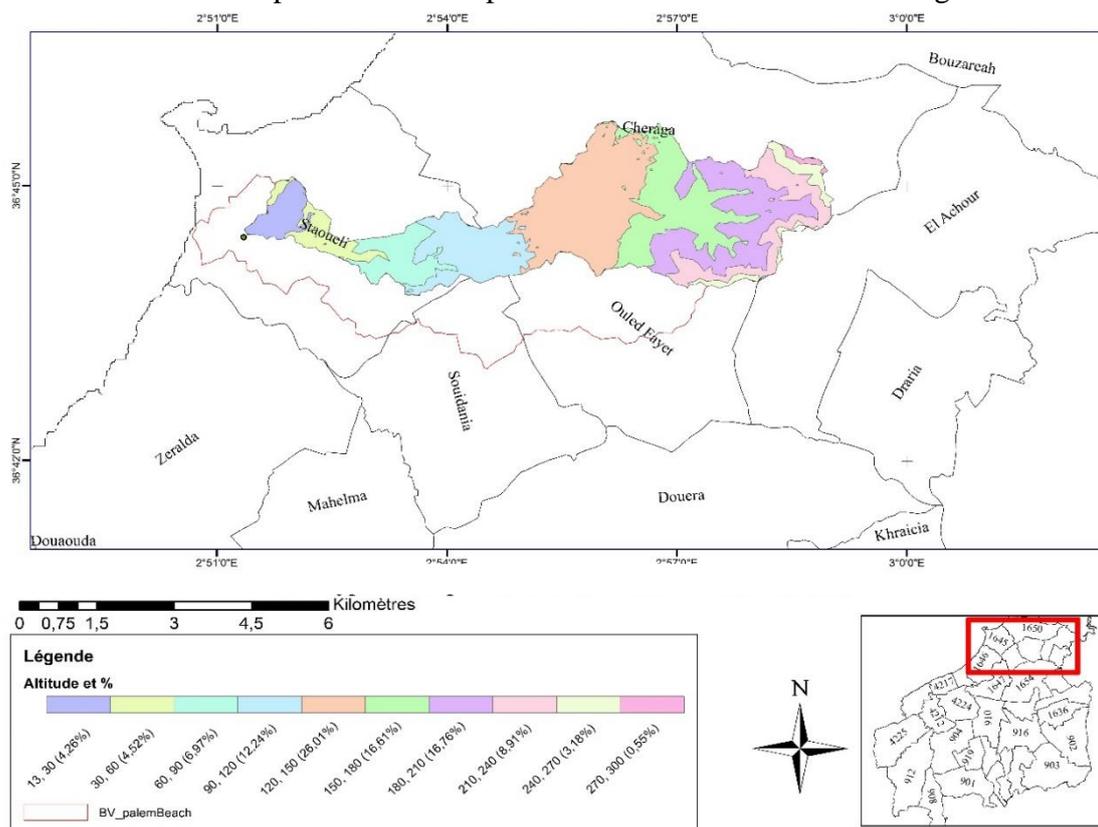


Figure II. 3 : Carte Hypsométrique du bassin versant total oued Bridja

Tableau II.5: Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du BV oued Bridja

altitudes	Surface partielle		Surface cumulée
(m)	(Km2)	(%)	(%)
270-300	0,103	0,55%	0,55%
240-270	0,593	3,18%	3,73%
210-240	1,660	8,91%	12,64%
180-210	3,124	16,76%	29,40%
150-180	3,095	16,61%	46,01%
120-150	4,847	26,01%	72,02%
90-120	2,281	12,24%	84,26%
60-90	1,298	6,97%	91,23%
30-60	0,841	4,52%	95,75%
0-30	0,793	4,26%	100%

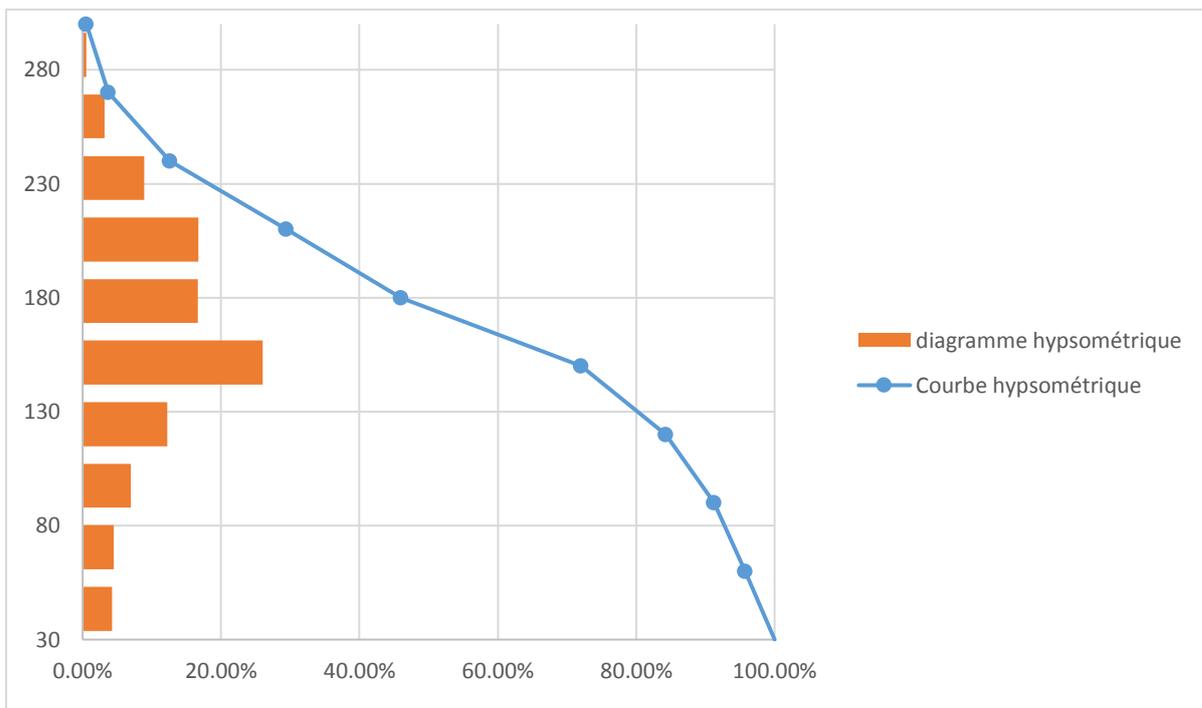


Figure II. 4 : diagramme et courbe Hypsométrique du BV oued Bridja

- Bassin versant Oued Guergour

Les résultats des surfaces partielles sont représentés dans le Tableaux et les figures suivantes :

Tableau II.6: Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du BV oued Guergour

altitudes (m)	Surface partielle		Surface cumulée
	(Km2)	(%)	(%)
210-246	0,640	6,19%	6,19%
180-210	0,712	6,88%	13,07%
150-180	0,948	9,17%	22,24%
120-150	1,961	18,95%	41,19%
90-120	3,174	30,67%	71,86%
60-90	1,413	13,66%	85,52%
30-60	0,679	6,56%	92,08%
0-30	0,824	7,96%	100%

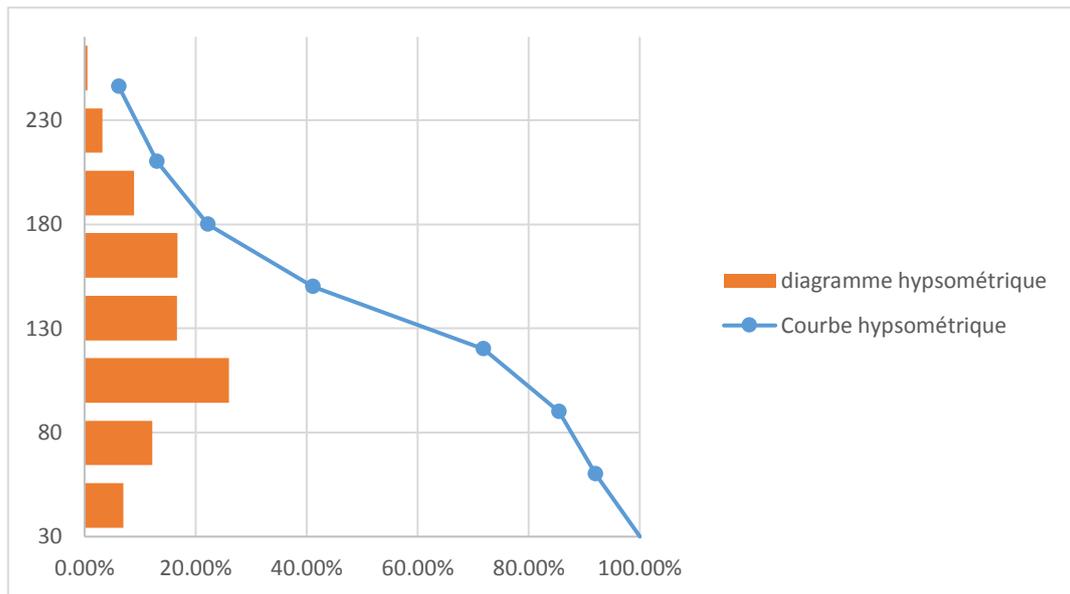


Figure II. 5 : diagramme et courbe Hypsométrique du BV oued Guergour

Voici la Carte Hypsométrique du bassin versant d'oued Guergour :

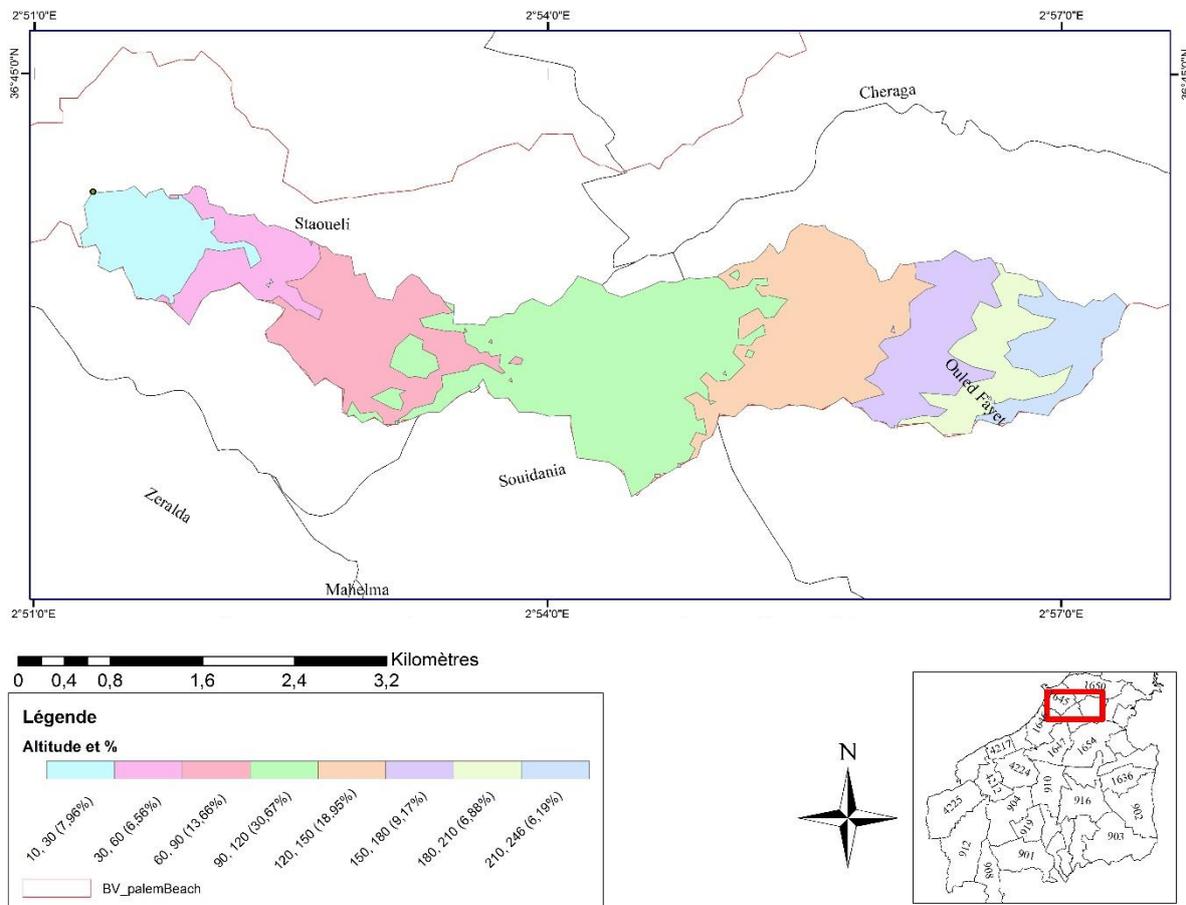


Figure II. 6 : Carte Hypsométrique du bassin versant total oued Guergour

**I.3.2 : Altitudes Caractéristique :**

Elles sont obtenues directement à partir de cartes hypsométrique :

- **L'altitude maximale :**

C'est l'altitude la plus forte relevée au cours de la limitation du bassin : **H<sub>max</sub>**.

- **L'altitude minimale :**

Se situe à l'exutoire du bassin qui représente son point de contrôle : **H<sub>min</sub>**.

- **L'altitude moyenne :**

L'altitude moyenne se définit comme l'ordonnée moyenne de la courbe hypsométrique et correspond au rapport de l'aire sous la courbe hypsométrique à la surface totale du bassin.

On peut la calculer à partir de la relation :

$$H_{moy} = \sum \frac{S_i \cdot H_i}{S} \dots \text{(II.4)}$$

**ou:**

- Si : aire comprise entre deux courbes de niveau [km<sup>2</sup>]
- Hi : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m]
- S : superficie totale du bassin versant [km<sup>2</sup>]

- **L'altitude médiane :**

Elle correspond au point d'abscisse 50 % sur la courbe hypsométrique : **H<sub>50%</sub>**.

Le tableau ci-dessous présente les résultats :

**Tableau II.7:** les Altitudes Caractéristique des bassins versants

Altitude	H <sub>max</sub>	H <sub>min</sub>	H <sub>5%</sub>	H <sub>50%</sub>	H <sub>95%</sub>	H <sub>moy</sub>
<b>BV Oued PalmBeach</b>	<b>289</b>	<b>0</b>	<b>260</b>	<b>161</b>	<b>43</b>	<b>130</b>
<b>BV Oued Bridja</b>	<b>274</b>	<b>13</b>	<b>265</b>	<b>175</b>	<b>65</b>	<b>146</b>
<b>BV Oued Guergour</b>	<b>246</b>	<b>13</b>	<b>220</b>	<b>136</b>	<b>49</b>	<b>115</b>

**I.3.3 : Indice de pente globale (Ig) :**

Cet indice exprime le rapport de la différence des altitudes de fréquence 5% et 95% par la longueur du rectangle équivalent du bassin (Dubreuil. 1965)

$$I_g \text{ est donné par la formule suivante : } I_g = \frac{D}{L_{eq}} = \frac{H_5 - H_{95}}{L_{eq}} \dots (II.5)$$

- D : dénivelé des altitudes (m) ;
- L<sub>eq</sub> : longueur du rectangle équivalent (m).

L'indice global de pente sert à classer le relief le bassin versant comme le montre le tableau suivant :

**Tableau II.8:** la Classification du relief

Relief très faible	$I_g < 0.002$
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.1$
Relief très fort	$1 < I_g$

Source : ORSTOM

Pour notre cas :

- BV Oued Palm Beach :  $I_g = 0.013$
- BV Oued Bridja :  $I_g = 0.013$  Donc le relief est classé type **Relief modéré**
- BV Oued Guergour :  $I_g = 0.015$

**I.3.4 : Pente moyenne des bassins versants (Im) :**

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin et le temps de concentration T<sub>c</sub>

Elle est donné par la formule suivant : (M.Carlier .1964)

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5l_1 + l_2 + \dots + 0.5l_n)}{S} \dots (II.6) \text{ Avec :}$$

- $\Delta H$  : Dénivelée H 5% – H95% ;
- $l_1$  : Longueur de la courbe de niveau d'ordre 1, 2, ... n ( Km) ;
- S : Surface du bassin versant ( Km<sup>2</sup>) ;

Calcul des longueurs des courbes de niveau se fait par l'aide de Logiciel ArcGis :

**Tableau II.9: Longueur des courbes de niveau**

<b>Cote de la courbe de niveau (m)</b>	<b>Longueur (Km)</b>
<b>30</b>	<b>7,54</b>
<b>60</b>	<b>3,93</b>
<b>90</b>	<b>10,88</b>
<b>120</b>	<b>9,47</b>
<b>150</b>	<b>11,50</b>
<b>180</b>	<b>15,25</b>
<b>210</b>	<b>12,86</b>
<b>240</b>	<b>6,07</b>
<b>270</b>	<b>1,25</b>

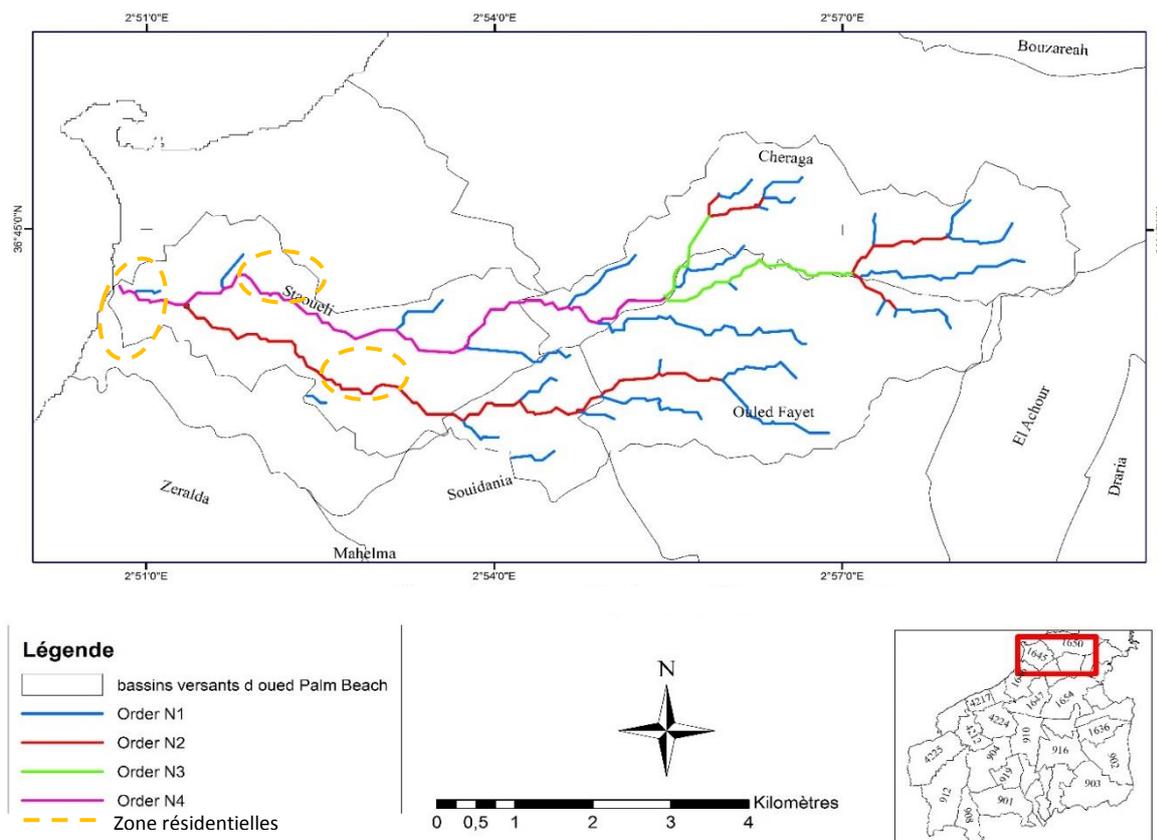
Pour notre cas :

- BV Oued Palm Beach :  $I_m = 0.449$
- BV Oued Bridja :  $I_m = 0.524$
- BV Oued Guergour :  $I_m = 0.402$

#### **I.4 Les Caractéristiques Du Réseau Hydrographique :**

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin, Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes.

Pour calculer les caractéristiques d'un réseau hydrographique, il a été procédé à une classification et numérotation des Talwegs en utilisant la méthode de Strahler



**Figure II.7 :** Réseau hydrographique des bassins versants « classification Strahler »

Et voici les résultats de classification des Talwegs dans le tableau suivant :

**Tableau :II.10 :** Classification du réseau hydrographique des bassin versant Selon Strahler

Numéro d'ordre	Longueurs des tronçons (Km)
1	23,777
2	11,997
3	4,210
4	8,776

**I.4.1 : Les longueurs du cours d’eaux :**

Les longueurs des cours d’eau principal et les longueurs du cours d'eau les plus longs mesurés sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau II.11** : Les longueurs des cours d'eau

Bassin versant	longueurs de cours d'eau principal « km »	la longueur du cours d'eau le plus long
Oued Palm Beach	8,776	13.996
Oued Bridja	7.782	13.002
Oued Guergour	8.321	10.043

**I.4.2 : Densité de drainage :**

La densité de drainage totale est définie pour un bassin donnée de superficie A comme étant la longueur total des cours d'eau de tout ordre à la surface drainée soit :

$$D = \frac{\sum Li}{A} \dots (II.7)$$

Avec :

- $D_d$  : densité de drainage totale, en Km /Km<sup>2</sup>.
- $Li$  : longueur totale de talwegs permanents et temporaire, en Km.
- $A$  : superficie du bassin versant, en Km<sup>2</sup>.

Dans notre cas on a :

- BV Oued Palm Beach :  $D_d = 1.573 \text{ km/km}^2$
- BV Oued Bridja :  $D_d = 1.724 \text{ km/km}^2$
- BV Oued Guergour :  $D_d = 1.417 \text{ km/km}^2$

**I.5 : Détermination Du Temps De Concentration :**

On appelle temps de concentration  $T_c$  d'un bassin versant, la durée nécessaire pour que la pluie tombée sur le point le plus éloigné hydrologiquement de l'exutoire atteigne celui-ci (Musy,A. 2005)

Pratiquement le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules empiriques, et en absence de formule spécifique pour la région Nous avons appliqué la formule empirique qui se rapproche au mieux de notre contexte :

**I.5.1 : Formule de GIANDOTTI**

$$T_C = \frac{4 \times \sqrt{S} + 1.5 \times L}{0.8 \times \sqrt{(H_{\max} - H_{\min})}} \dots (II.8)$$

Où :

- $T_C$  : Temps de concentration en h ;
- $S$  : Surface du BV en  $Km^2$  ;
- $L$  : longueur du cours d'eau le plus long en Km ;
- $H_{\max}$  : Altitude maximale du BV en m ;
- $H_{\min}$  : Altitude minimale (exutoire) en m.

**Domaines de validité :**

Domaine de validité pour les grands bassins versants.

**I.5.2 : Formule de VENTURA :**

$$T_C = 0.1272 \times \sqrt{\frac{S}{I}} \dots (II.9)$$

Où :

- $T_C$  : Temps de concentration en h ;
- $S$  : Surface du BV en  $Km^2$  ;
- $I$  : Pente moyenne du bassin en m/m.

**Domaines de validité :**

La surface du bassin versants est comprise entre 1 et 20  $km^2$  ou supérieur à 10  $km^2$  selon les ouvrages.

**I.5.3 : Formule de KIRPICH :**

$$T_C = \frac{0.000325 \times L^{0.77}}{I^{0.385}} \dots (II.10)$$

Où :

- $T_C$  : Temps de concentration en h ;
- $L$  : longueur du cours d'eau le plus long en m ;
- $I$  : Pente moyenne du bassin en m/m

**Domaines de validité :**

La méthode est utilisée souvent pour les bassins versants urbanisés tandis que les autres formules sont utilisées pour des bassins versants naturel. Concernant son domaine de validité il faut que  $0,04 < S < 0,453 \text{Km}^2$  et  $0,03 < I < 0,1$ .

**I.5.4 : La Formule CALIFORNIENNE :**

$$T_c = \left( \frac{0.87 * L^3}{H_{\max} - H_{\min}} \right)^{0.386} \dots \text{(II.11)}$$

Ou :

- L : longueur du cours d'eau principale en [Km]
- Hmax : Hauteur maximale du BV (m)
- Hmin : Hauteur minimale du BV (m)

**I.5.5 : La Formule d'ANRH :**

Pour les conditions physiographique des bassins versants de l'Algérie la Formule du temps de concentration développé par L'ANRH est la suivante : (D.Boutoutaou 2014)

$$T_c = 1.7 \left( \frac{SL}{\sqrt{I}} \right)^{0.19} \dots \text{(II.12)}$$

Ou :

- $T_c$  : Temps de concentration en h ;
- L : longueur du cours d'eau le plus long en km ;
- I : Pente des cours d'eau en (%) ;  $I = \Delta H_{\max} / L$
- S : Surface du BV en  $\text{Km}^2$  ;

Les résultats de calcul du temps de concentration pour les différentes formules sont Résumés dans le tableau suivant :

**Tableau II.12** : Temps de concentration des bassins versant

Formule	Temps de concentration Tc (min)				
	GIANDOTTI	VENTURA	KIRPICH	CALIFORNIENNE	d'ANRH
BV Oued Palm Beach	303.6	62.7	41.4	78.9	288
BV Oued Bridja	265.2	45.36	36.78	69.9	233
BV Oued Guergour	199.2	38.7	28.86	80.64	215

Vue la surface du bassin versant, l'utilisation des formules de Kirpich et California n'est pas possible parce qu'elles sont valables pour les petits bassins versant et la formule de Giandotti est pour les très grands bassins versant. Donc on préféré utiliser la formule d'ANRH développé pour les bassins versants de l'Algérie.

## II. Analyse Des Données Pluviométriques :

Après avoir délimité les bassins versants de la zone d'étude et déterminé leurs caractéristiques, on vise dans cette étape à évaluer les pluies pour des périodes de retours allant de 10 à 100 ans.

### II.1 Méthodes De Mesure Des Précipitations :

Afin de mesurer les précipitations, Il existe deux grandes familles d'instruments à savoir, ceux qui mesurent les précipitations au sol dont les plus classiques sont les pluviomètres et les pluviographes, à enregistrement mécanographique ou digital, et ceux qui opèrent à distance par télédétection passive (satellites météorologiques) ou active (radars météorologiques)

Dans ce chapitre, nous présenterons les instruments et les résultats de mesure directe des précipitations utiliser en Algérie « pluviomètres et pluviographes »

Et nous présenterons aussi les instruments de mesures indirectes (le satellite). Dans ce dernier cas, nous intéressons en satellite « GPM IMERG » Global Precipitation Measurement Core développé par la NASA.

**II.1.1 Mesures au sol :**

Les principaux instruments de mesure des précipitations au sol sont les pluviomètres et les pluviographes. Ces derniers sont considérés comme des instruments de référence en météorologie.

**II.1.1.1 Le pluviomètre :**

C'est l'instrument de mesure le plus utilisé notamment de part ses faibles coûts d'investissement. Il donne la quantité de pluie précipitée cumulée dans l'intervalle de temps séparant deux relevés. La hauteur de pluie, lue le jour j, est attribuée au jour j-1 et constitue la quantité de "pluie journalière". L'eau collectée par la surface réceptrice est conservée dans un récipient gradué directement en millimètres d'eau. La lecture du volume permet de connaître la hauteur de pluie précipitée. Après lecture, le récipient est vidé et remis en place. (A,Musy, 2005)

**II.1.1.2 Le pluviographe :**

Le pluviographe diffère du pluviomètre en ce sens que la précipitation, au lieu de s'écouler directement dans un récipient collecteur, passe d'abord dans un dispositif particulier (réservoir à flotteur, augets, etc.) qui permet l'enregistrement automatique de la hauteur instantanée de précipitation. L'enregistrement est permanent et continu, et permet de déterminer non seulement la hauteur des précipitations, mais aussi sa répartition dans le temps. (A,Musy, 2005)

**II.1.2 Mesures Satellites :****II.1.2.1 : Global Precipitation Measurement (GPM)**

Global precipitation Mesurment (GPM) c'est un programme fondé par une coopération entre deux agences spatiales, la National Aeronautic and Space Administration (NASA) et la Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), prend une importance particulière. Lancé en 2014, le GPM est un élément majeur de l'initiative « internationale Global Energy and Water Exchange » (GEWEX, 2012). Il vise à fournir des estimations globales d'intensité de précipitations, aussi bien dans une perspective climatologique que pour des évaluations immédiates comme l'assimilation dans les modèles de prévision numériques du temps. Il est le successeur immédiat du programme « Tropical Rainfall Measurement Mission » (TRMM) qui a opéré le premier radar de précipitations spatial (NASA GPM-2014 <https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>)

- **Instruments Observatoire**

- Précipitations à Double Fréquence Radar (RMR) : Le RMR est un radar spatial, fournissant des cartes à trois dimensions de la structure de tempête à travers la bande, y compris l'intensité de la pluie et les chutes de neige à la surface. Le DPR a deux fréquences, ce qui permet aux chercheurs d'estimer la taille des particules de précipitation et de détecter une large gamme de taux de précipitations. (NASA-GPM)
- Micro-Ondes Passives : est un capteur passif qui observe l'énergie micro-onde émis par la Terre et de l'atmosphère Ces données permettent des cartes quantitatives de précipitations à travers une bande qui est 885 km (550 miles) de large. (NASA-GPM)

- **Les produits du Global Precipitation Measurement**

Les données de précipitations sont disponible dans une variété de formats, résolutions spatiales « 0.1° / 0.25° / 1,12° » et à la résolution temporelle du « 30mn-1h-3h-1j-30j » les données sont gratuites et open source et accessibles sur la page Web GPM.Nasa « Data Access », et Plusieurs outils de visualisation et d'analyse des données ont été mis à la disposition pour faciliter l'accès pour les communautés scientifiques et les applications, qui comprennent l'outil d'analyse des données de sciences de la Terre dans le navigateur « Giovanni »

## **II.2 Précipitations Maximales Journalières :**

En l'absence des données hydrométriques sur nos oueds, L'étude des débits de pointe des crues est basée sur les données pluviométriques (pluies maximales journalières). Et Dans cette présente étude, il a été mis au point deux types de données pour calculer les précipitations pour les différentes périodes de retours et nous ferons une comparaison entre les deux méthodes.

### **II.2.1 En Utilisent Les Données Des Stations Pluviométriques :**

#### **II.2.1.1 Analyse des données statistiques :**

Dans cette partie on s'appuie sur les observations des stations fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) , on prend comme base de calcul la station pluviométrique de « MAHELMA FERME » avec une période de 49 années d'observation ( 1970-2018 ) .

**Tableau II.13** : Identification de la station pluviométrique

Nom de la station	Code	X(km)	Y(km)	Z(m)	Période d'observation
MAHELMA FERME	020511	517	376.85	150	(1970-2018)

La séries des pluies journalières maximales enregistrées pour la station est données dans :

**Tableau II.14** : La série des pluies journalières maximales (1)

Années	P <sub>jmax</sub> (mm)	Années	P <sub>jmax</sub> (mm)	Années	P <sub>jmax</sub> (mm)
<b>1970</b>	71,6	<b>1986</b>	63,6	<b>2002</b>	39,9
<b>1971</b>	68	<b>1987</b>	34,6	<b>2003</b>	43,2
<b>1972</b>	68,9	<b>1988</b>	44,6	<b>2004</b>	48
<b>1973</b>	51,6	<b>1989</b>	25,5	<b>2005</b>	30,1
<b>1974</b>	69,3	<b>1990</b>	31,5	<b>2006</b>	35,5
<b>1975</b>	41,8	<b>1991</b>	53	<b>2007</b>	131
<b>1976</b>	61,6	<b>1992</b>	60,3	<b>2008</b>	51,6
<b>1977</b>	46,3	<b>1993</b>	82,3	<b>2009</b>	58,1
<b>1978</b>	48,2	<b>1994</b>	59,2	<b>2010</b>	53,9
<b>1979</b>	48,2	<b>1995</b>	77,3	<b>2011</b>	56,8
<b>1980</b>	37,5	<b>1996</b>	53,7	<b>2012</b>	132
<b>1981</b>	107,5	<b>1997</b>	42,3	<b>2013</b>	34,4
<b>1982</b>	88,8	<b>1998</b>	54,6	<b>2014</b>	45,7
<b>1983</b>	43,9	<b>1999</b>	47,1	<b>2015</b>	58,9
<b>1984</b>	64,4	<b>2000</b>	52,1	<b>2016</b>	52,6
<b>1985</b>	29,8	<b>2001</b>	86,3	<b>2017</b>	62
				<b>2018</b>	71.2

Et voici Les résultats des paramètres statistiques de la série étudié

**Tableau II.15** : les paramètres statistiques de la série

<b>Nombre d'observations</b>	49
<b>Minimum</b>	25.5
<b>Maximum</b>	132
<b>Moyenne</b>	57.12
<b>Ecart-type</b>	22.66
<b>Médiane</b>	53

### II.2.1.3 Ajustement des séries pluviométrique :

Le calcul des valeurs extrêmes ou quantiles nécessite un ajustement à une loi de probabilité. À l'aide de logiciel Hyfran on va effectuer l'ajustement de la série des pluies maximales journalières a trois lois différentes et on va retenir celle qui présente la meilleure adéquation les lois d'ajustement sont :

- La loi de Gumbel « doublement exponentielle »
- La loi de Galton « Log Normale »
- La loi GEV « La loi généralisée des valeurs extrêmes »

- **Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel :**

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est :

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \dots (II.13)$$

Avec :

- $y = \alpha(x - x_0)$  : Variable réduite de Gumbel ;
- $\alpha, x_0$  : coefficients d'ajustement
- $x$  : précipitation maximale journalière (mm)
- $\frac{1}{\alpha}$  : Pente de la droite de régression

Donc : L'équation de la droite de Gumbel est donnée par :

$$P_{max. j} = \frac{1}{\alpha} y + X_0 \dots (II.14)$$

La fréquence expérimentale en utilisant la formule de Hazen qui s'applique pour les lois normales et quasi normales :

$$F(x) = \frac{m-0.5}{n} * 100 \dots (\text{II.15})$$

- m : rang de précipitation.
- n : nombre d'observations

La variable de Gumbel pour chaque valeur observée ;

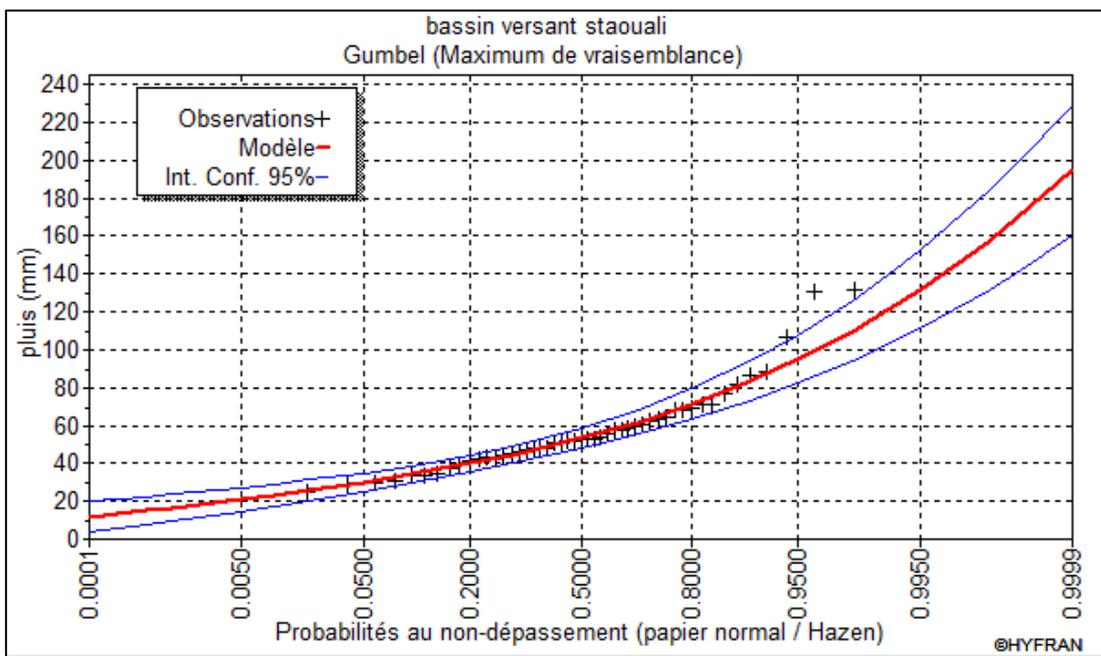
$$y = -[Ln(- LnF(x))] \dots (\text{II.16})$$

Les résultats de l'ajustement par la loi de « GUMBEL » sont résumés dans les tableaux et graphes suivants :

**Paramètre :**  $u$  : 47.4835  $\alpha$ : 15.9781

**Tableau II.16 :** Résultat de l'ajustement à la loi de Gumbel

Période de retour	Probabilité (q)	$P_{\max j}$ (mm)	écart type	Intervalle de confiance 95%
100	0.9900	121.0	9.334	102.7 - 139.3
50	0.9800	109.8	8.115	93.92 - 125.7
20	0.9500	94.94	6.515	82.17 - 107.7
10	0.9000	83.44	5.314	73.02 - 93.86
5	0.8000	71.45	4.130	63.35 - 79.55



**Figure II. 8** Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel

- **Ajustement de la série pluviométrique à Loi de Galton :**

Une variable aléatoire  $x$  a une distribution log normale lorsque  $y = \ln x$  est normale. La loi de Galton résulte de la loi normale mais rendue dissymétrique par un changement de variables.

Sa fonction de ré partition est donnée par

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du \dots (II.17)$$

Ou La variable réduite est de la forme :

$$u = \frac{Xi - \bar{x}}{\sigma x} \dots (II.18)$$

Donc L'équation de la droite de GALTON est donnée par la relation suivante :

$$\text{Logxp} = \overline{\text{Logx}} + \sigma \text{Logu}(p\%) \dots (II.19)$$

Avec

- **log x** : La moyenne de la série  $i \log x$
- **σ log** : Ecart type de la série  $i \log x$
- **U** : variable réduite de Gauss

Les résultats de l'ajustement dans le tableau suivant :

Tableau II.17 : Résultat de l'ajustement à la loi de Galton « log-normal »

Période de retour	Probabilité (q)	P <sub>max j</sub> (mm)	écart type	Intervalle de confiance 95%
100	0.9900	123.0	12.20	99.10 - 146.9
50	0.9800	111.6	10.13	91.72 - 131.4
20	0.9500	96.39	7.606	81.48 - 111.3
10	0.9000	84.63	5.867	73.13 - 96.13
5	0.8000	72.29	4.313	63.84 - 80.75

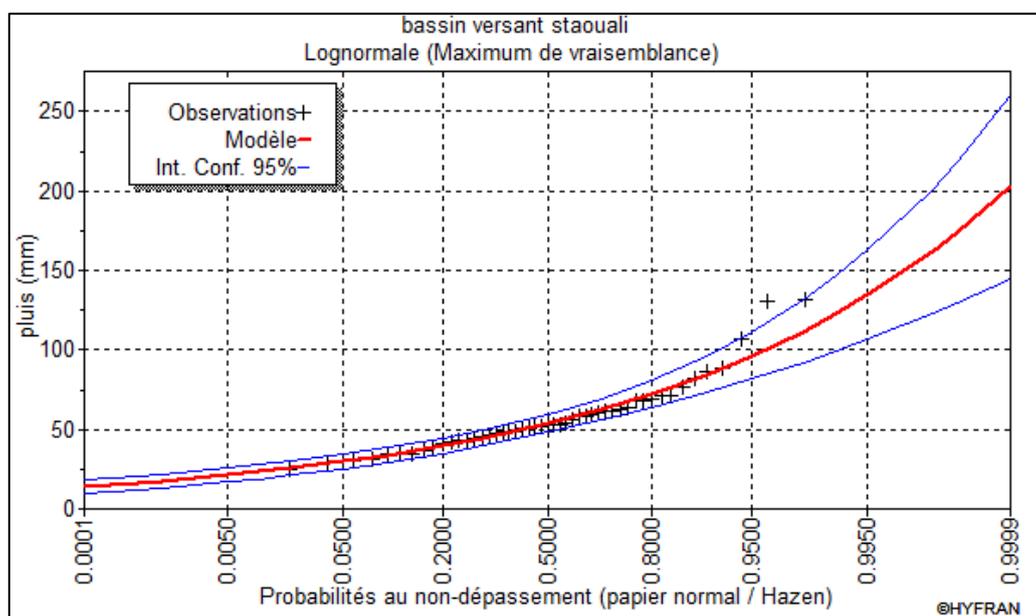


Figure II. 9 : Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton

• **Ajustement de la série pluviométrique à Loi GEV :**

La distribution des valeurs extrêmes généralisées est une loi d'ajustement à trois paramètres qui a une fonction de distribution qui s'écrit comme suit :

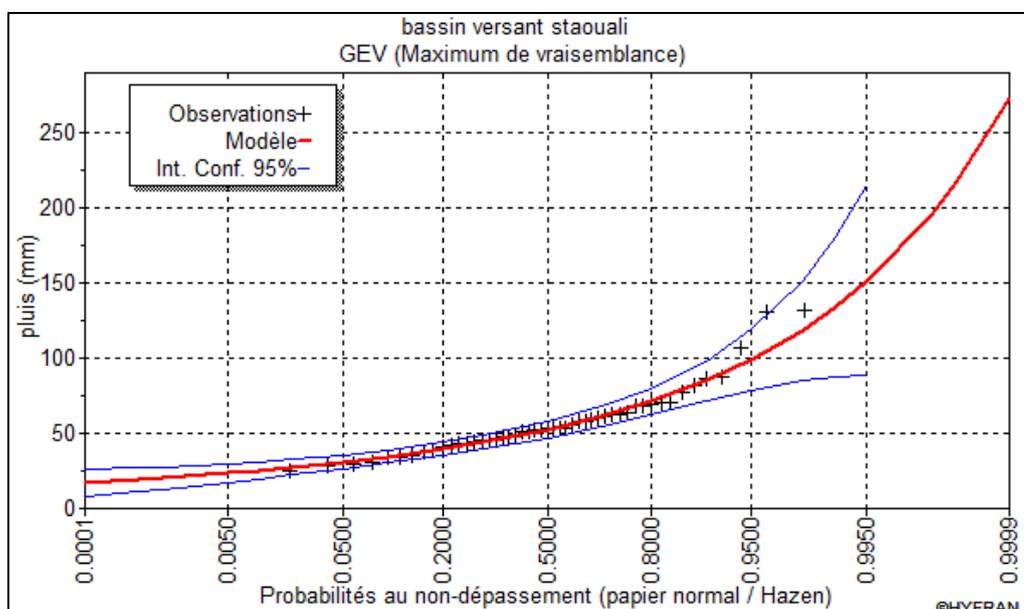
$$F(x) = \exp \left[ -1 \left( 1 - \frac{k(x-\varepsilon)}{\alpha} \right)^{\frac{1}{k}} \right] \dots (II.20)$$

- $\varepsilon$  : Paramètre de position.
- $\alpha$  : Paramètre de dispersion.
- $k$  : paramètre de forme

Les résultats de l'ajustement dans le tableau suivant :

**Tableau II.18** : Résultat de l'ajustement à la GEV.

Période de retour	Probabilité (q)	$P_{max j}$ (mm)	écart type	Intervalle de confiance 95%
100	0.9900	134.7	23.76	88.10 - 181.3
50	0.9800	118.7	16.88	85.56 - 151.8
20	0.9500	98.93	10.20	78.92 - 118.9
10	0.9000	84.86	6.769	71.59 - 98.14
5	0.8000	71.22	4.525	62.35 - 80.09



**Figure II. 10** : Représentation graphique de l'ajustement à la loi GEV

**II.2.1.4 Test de validité de l'ajustement :**

- Test d'adéquation par statique khi<sup>2</sup> :

La loi choisie pour ajuster la distribution statistique de l'échantillon, ne représente qu'approximativement l'échantillon étudié, l'erreur commise en adoptant une loi donnée est une erreur d'adéquation. Il convient par conséquent de comparer l'adéquation de ces lois afin d'adopter le meilleur ajustement. L'un des tests le plus employé, est le test du Khi carré Le test d'adéquation du Khi<sup>2</sup> effectué à l'ai résultats suivants :

**Tableau II.19 : Résultat de Test  $\chi^2$ .**

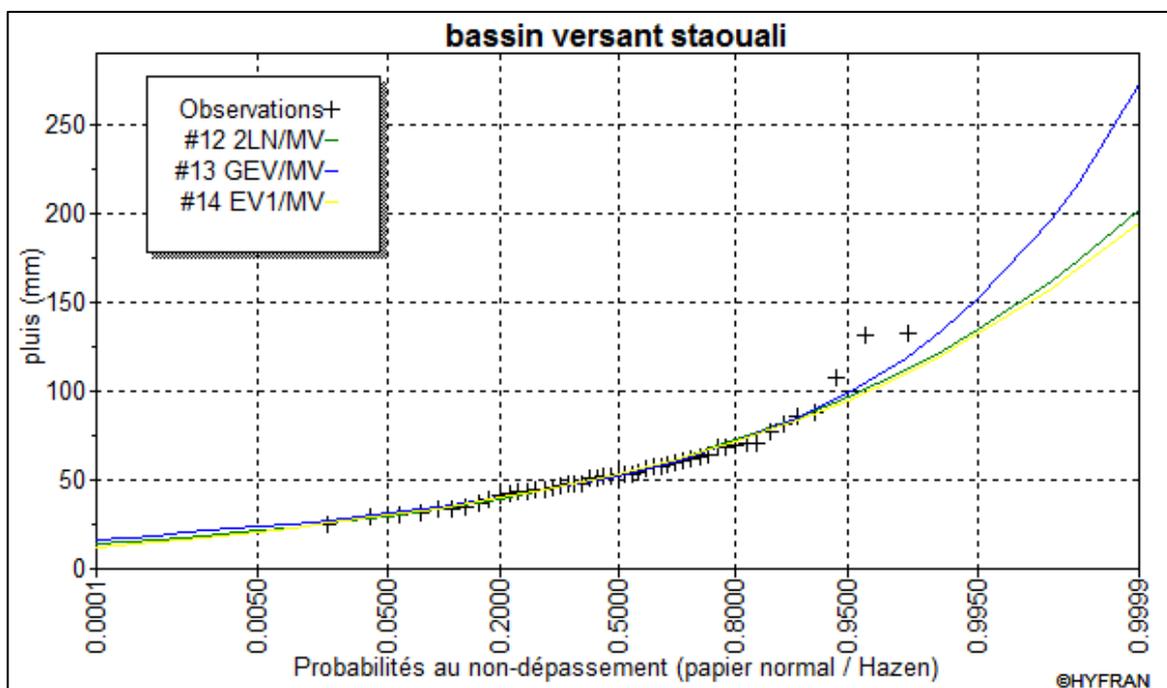
Lois statistiques	Degré de liberté	$\chi^2$ calculé	$\chi^2$ théorique
Gumbel	6	3.71	16.92
Galton	6	4.08	16.92
GEV	5	4.45	16.92

A partir du tableau ci-dessus, les trois lois peuvent s'ajuster.

- Le Test visuel :

Pour comparer les trois méthodes, nous devons tracer sur le même graphe les trois courbes d'ajustement à l'aide d'Hyfran

D'après la comparaison graphique les 3 courbes montre que notre série s'ajuste bien à la loi GEV qui est assez répandu en Algérie pour ce genre de cas.



**Figure II. 11 : la comparaison graphique entre les lois**

**II.2.1.5 Pluie De Courte Durée :**

Pour une période donnée le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courtes durées est effectué au moyen de la formule (K. Body, ANRH 1981).

$$P_{cd} = P_{j,max p\%} \left(\frac{t}{24}\right)^b \dots (II.21)$$

Avec :

- $P_{cd}$  : pluie de courte durée (mm).
- $p_{j,max p\%}$  : pluie maximale journalière pour chaque fréquence (mm).
- $T$  : durée en heure.
- $B$  : exposant climatique ( $b=0,39$  donnée par l'ANRH).

Les intensités maximales de durées (h) et période de retour  $T$  (ans) sont calculées par la relation :

$$I_t = \frac{P_{cd}}{t} \dots (II.22)$$

Les résultats de calcul des précipitations et des intensités maximales de différentes durées sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II. 20 : Pluies et intensités de courtes durées pour des différentes périodes de retour

période de retour	100		50		20		10		5	
	P <sub>ct</sub> (mm)	I <sub>t</sub> (mm/h)								
0,25	22,71	90,85	20,02	80,06	16,68	66,73	14,31	57,24	12,01	48,04
1	39,00	39,00	34,37	34,37	28,64	28,64	24,57	24,57	20,62	20,62
2	51,11	25,55	45,04	22,52	37,54	18,77	32,20	16,10	27,02	13,51
3	59,86	19,95	52,75	17,58	43,97	14,66	37,71	12,57	31,65	10,55
4	66,97	16,74	59,02	14,75	49,19	12,30	42,19	10,55	35,41	8,85
5	73,06	14,61	64,38	12,88	53,66	10,73	46,03	9,21	38,63	7,73
6	78,44	13,07	69,13	11,52	57,61	9,60	49,42	8,24	41,48	6,91
7	83,31	11,90	73,41	10,49	61,18	8,74	52,48	7,50	44,05	6,29
8	87,76	10,97	77,33	9,67	64,45	8,06	55,29	6,91	46,40	5,80
9	91,88	10,21	80,97	9,00	67,48	7,50	57,89	6,43	48,58	5,40
10	95,74	9,57	84,37	8,44	70,31	7,03	60,31	6,03	50,62	5,06
11	99,36	9,03	87,56	7,96	72,98	6,63	62,60	5,69	52,54	4,78
12	102,79	8,57	90,58	7,55	75,50	6,29	64,76	5,40	54,35	4,53
13	106,05	8,16	93,46	7,19	77,89	5,99	66,81	5,14	56,07	4,31
14	109,16	7,80	96,20	6,87	80,17	5,73	68,77	4,91	57,72	4,12
15	112,14	7,48	98,82	6,59	82,36	5,49	70,65	4,71	59,29	3,95
16	115,00	7,19	101,34	6,33	84,46	5,28	72,45	4,53	60,80	3,80
17	117,75	6,93	103,76	6,10	86,48	5,09	74,18	4,36	62,26	3,66
18	120,40	6,69	106,10	5,89	88,43	4,91	75,85	4,21	63,66	3,54
19	122,97	6,47	108,36	5,70	90,31	4,75	77,47	4,08	65,02	3,42
20	125,45	6,27	110,55	5,53	92,14	4,61	79,04	3,95	66,33	3,32
21	127,86	6,09	112,68	5,37	93,91	4,47	80,55	3,84	67,61	3,22
22	130,21	5,92	114,74	5,22	95,63	4,35	82,03	3,73	68,84	3,13
23	132,48	5,76	116,75	5,08	97,30	4,23	83,46	3,63	70,05	3,05
24	134,70	5,61	118,70	4,95	98,93	4,12	84,86	3,54	71,22	2,97

A partir des résultats obtenus, il est possible de les représenter graphiquement dans le but de tracer les courbes IDF « intensités -durées-fréquences » pour les temps de retour 5, 10, 20, 50 et 100 ans et les courbes pluies -durées-fréquences aussi.

Les résultats sont représentés dans les figures suivantes :

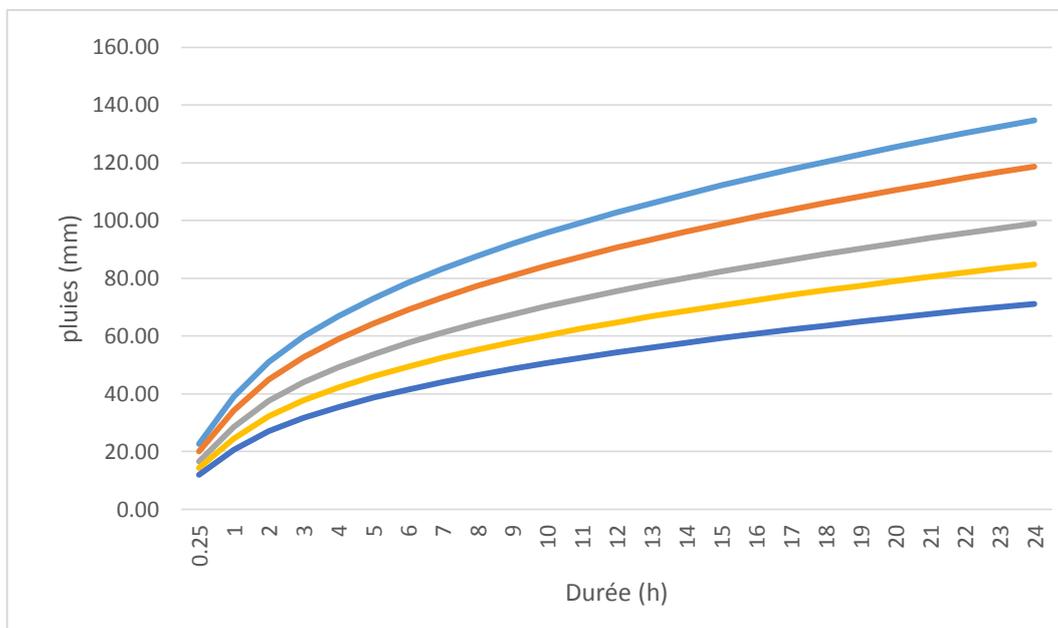


Figure II. 12 : courbes pluies -durées-fréquences

Les courbes intensités durées fréquences sont représentés dans la figure suivante :

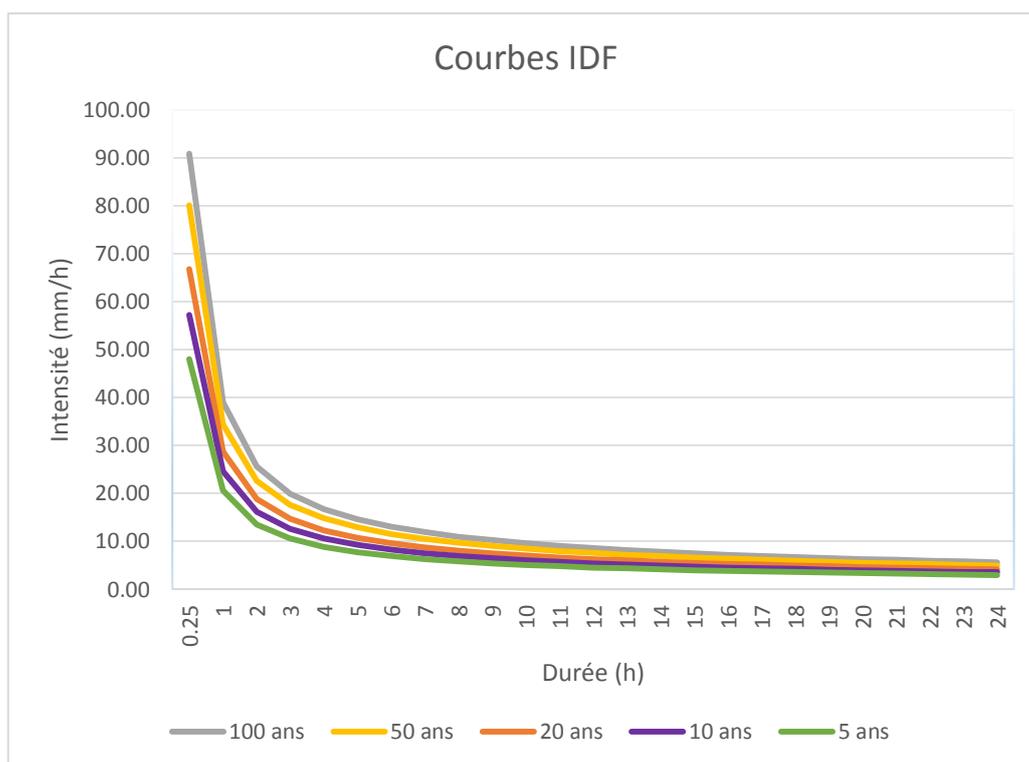


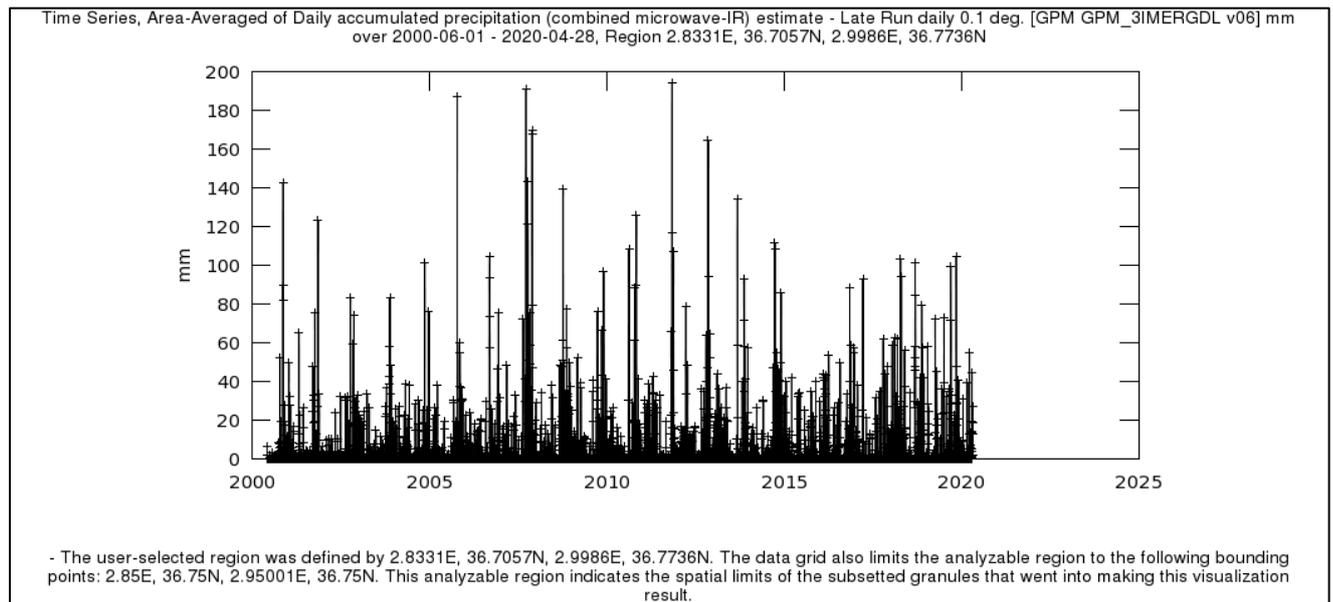
Figure II. 13 : courbes Intensité -durées-fréquences

## II.2.2 En Utilisent Les Mesures Satellite GPM :

### II.2.2.1 L'Analyse des données statistiques et l'échantillonnage :

Dans cette partie nous intéressons en Mesures satellite « GPM IMERG » plus précisément la moyenne des précipitations cumulées quotidiennes sur la surface du bassin versant avec une résolution de 0,1 degré et une période d'observation de 20 ans (2000-2020)

Voici les résultats obtenus :



**Figure II. 14 :** Représentation graphique de Mesures des précipitations satellite GPM

Concernant l'échantillonnage des pluies il existe deux approches différentes :

- L'échantillon composé d'une valeur maximale par an, dans ce cas on prend juste la valeur maximale en on néglige les autres valeurs extrêmes sur le même an, donc on aura juste 20 valeurs et ne pouvons pas calculer une période de retour de 100 ans
- La deuxième approche, l'échantillon composé de valeurs supérieures à un seuil prédéfini dans ce cas on aura un échantillon plus étoffé et pleine.

Voici les résultats en utilisant la 2eme approche :

Tableau II. 21 : la série des Pluies max journalier (2)

années	$P_{maxj}$	années	$P_{maxj}$	années	$P_{maxj}$
2000	142.6	2007	143.09	2012	164.4
2000	89.9	2007	121.32	2013	93.23
2000	82.07	2007	167.5	2013	92.92
2001	123,16	2007	169.9	2013	134.6
2002	83.33	2008	139.7	2014	111.8
2002	83,33	2009	97.05	2015	69.12
2003	83.5	2010	88.6	2016	88.63
2003	83,51	2010	125.7	2017	93.07
2004	101,52	2011	116.9	2018	101.6
2005	187.1	2011	107.3	2018	84.39
2006	104.4	2011	194	2019	103.4

### II.2.2.3Ajustement des séries pluviométrique :

Les lois statistiques testées sur l'échantillon, sont les lois « Gumbel, Log normale et GEV et Pearson III » on remarque que la Loi de Pearson III est la plus acceptable vu la concentration des points autour de la droite d'ajustement et aussi l'intervalle de confiance

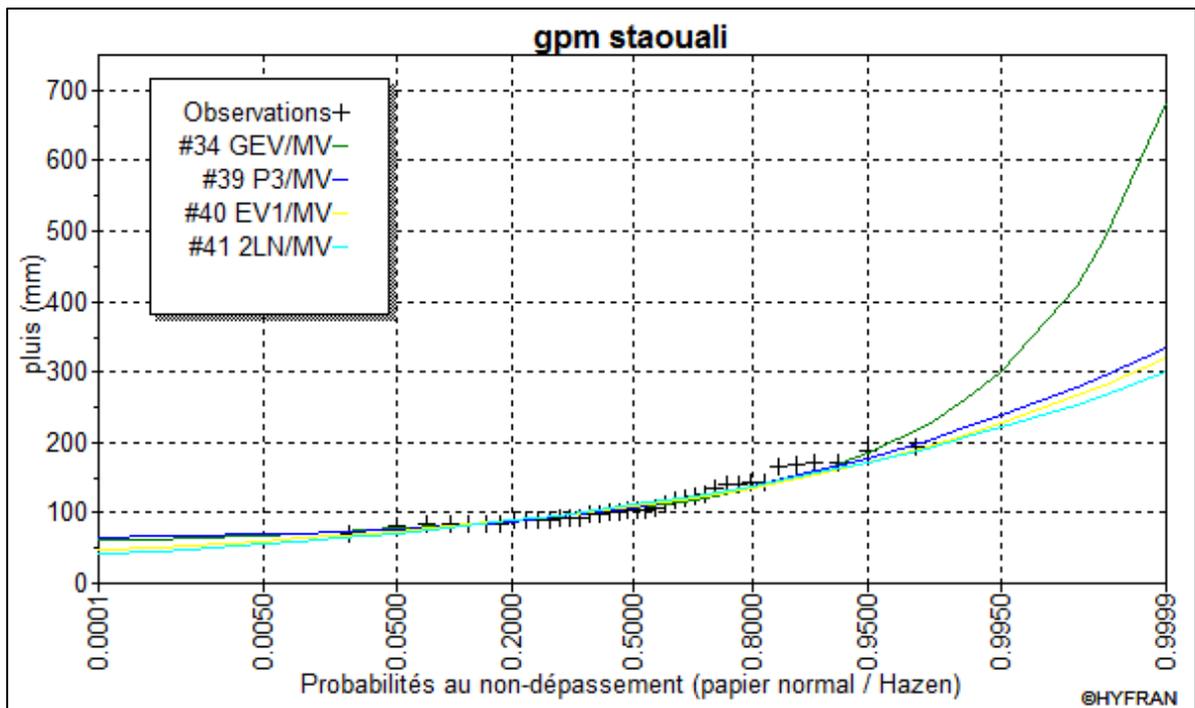


Figure II. 15 : la comparaison graphique entre les lois

Voici la Représentation graphique de l'ajustement à la loi Pearson III sur la Figure suivant :

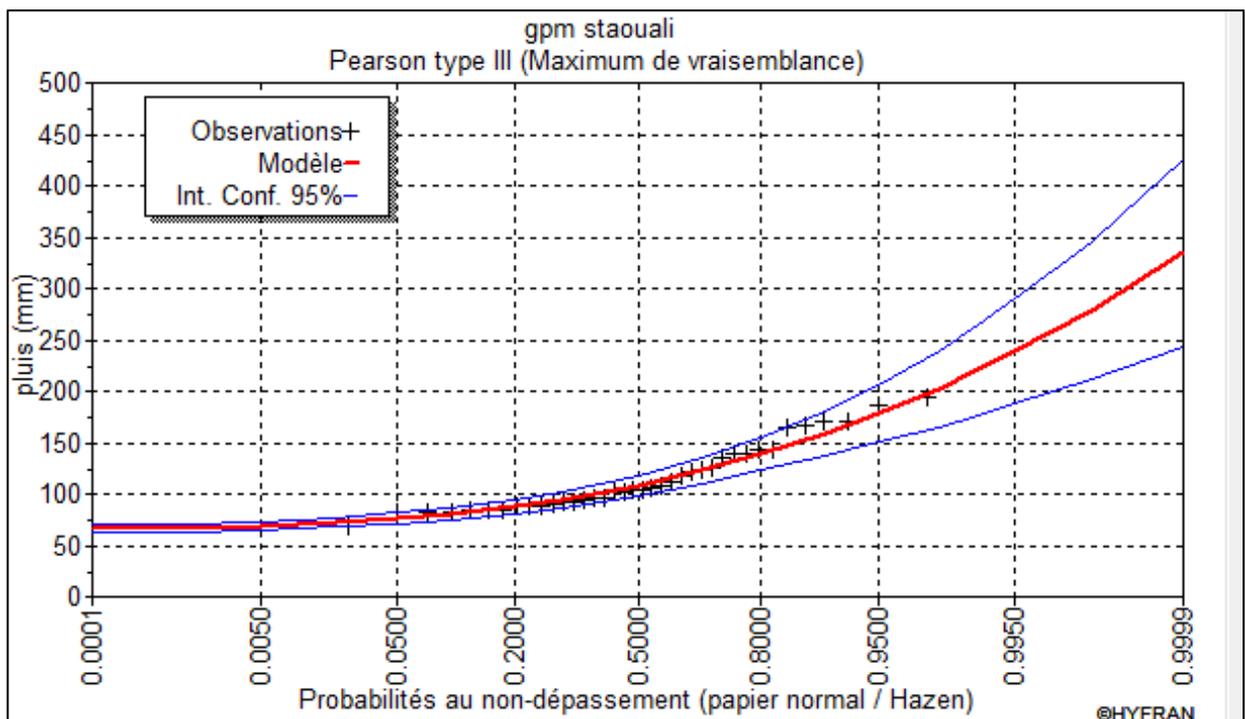


Figure II. 16 : Représentation graphique de l'ajustement à la loi Pearson III

**Tableau II.23** : Résultat de l’ajustement à la loi Pearson III

Période de retour	Probabilité (q)	P max j (mm)	écart type	Intervalle de confiance 95%
100	0.9900	221	22.4	177 - 265
50	0.9800	203	18.9	166 - 240
20	0.9500	178	14.4	150 - 206
10	0.9000	159	11.1	137 - 181
5	0.8000	138	8.04	123 - 154

**II.2.2.4 Pluie de courte Durée :**

Les intensités pluviales de durée t (h) pour différentes périodes de retour sont calculées de la même manière que la partie précédente les résultats sur le tableau suivant :

**Tableau II. 24** :Pluies et intensités de courtes durées pour des différentes périodes de retour

T	100		50		20		10		5	
durée	p <sub>ct</sub>	i <sub>t</sub>								
0,25	37,27	149,06	34,23	136,92	30,01	120,06	26,81	107,24	23,27	93,08
1	63,99	63,99	58,78	58,78	51,54	51,54	46,04	46,04	39,96	39,96
2	83,85	41,93	77,02	38,51	67,54	33,77	60,33	30,16	52,36	26,18
3	98,22	32,74	90,22	30,07	79,11	26,37	70,66	23,55	61,33	20,44
4	109,88	27,47	100,93	25,23	88,50	22,12	79,05	19,76	68,61	17,15
5	119,87	23,97	110,11	22,02	96,55	19,31	86,24	17,25	74,85	14,97
6	128,70	21,45	118,22	19,70	103,66	17,28	92,60	15,43	80,37	13,39
7	136,68	19,53	125,55	17,94	110,08	15,73	98,33	14,05	85,35	12,19
8	143,98	18,00	132,26	16,53	115,97	14,50	103,59	12,95	89,91	11,24
9	150,75	16,75	138,47	15,39	121,42	13,49	108,46	12,05	94,14	10,46
10	157,08	15,71	144,28	14,43	126,51	12,65	113,01	11,30	98,08	9,81
11	163,02	14,82	149,75	13,61	131,30	11,94	117,29	10,66	101,80	9,25
12	168,65	14,05	154,92	12,91	135,84	11,32	121,34	10,11	105,31	8,78
13	174,00	13,38	159,83	12,29	140,14	10,78	125,19	9,63	108,65	8,36
14	179,10	12,79	164,51	11,75	144,25	10,30	128,86	9,20	111,84	7,99
15	183,99	12,27	169,00	11,27	148,19	9,88	132,37	8,82	114,89	7,66
16	188,68	11,79	173,31	10,83	151,97	9,50	135,74	8,48	117,82	7,36
17	193,19	11,36	177,46	10,44	155,60	9,15	138,99	8,18	120,63	7,10
18	197,55	10,97	181,46	10,08	159,11	8,84	142,13	7,90	123,35	6,85
19	201,75	10,62	185,32	9,75	162,50	8,55	145,15	7,64	125,98	6,63
20	205,83	10,29	189,07	9,45	165,78	8,29	148,09	7,40	128,53	6,43
21	209,79	9,99	192,70	9,18	168,97	8,05	150,93	7,19	131,00	6,24
22	213,63	9,71	196,23	8,92	172,06	7,82	153,69	6,99	133,40	6,06
23	217,36	9,45	199,66	8,68	175,07	7,61	156,38	6,80	135,73	5,90
24	221,00	9,21	203,00	8,46	178,00	7,42	159,00	6,63	138,00	5,75

Les courbes pluies -durées-fréquences pour les temps de retour 5, 10, 20, 50 et 100 ans, Sont représentés dans la figure suivante :

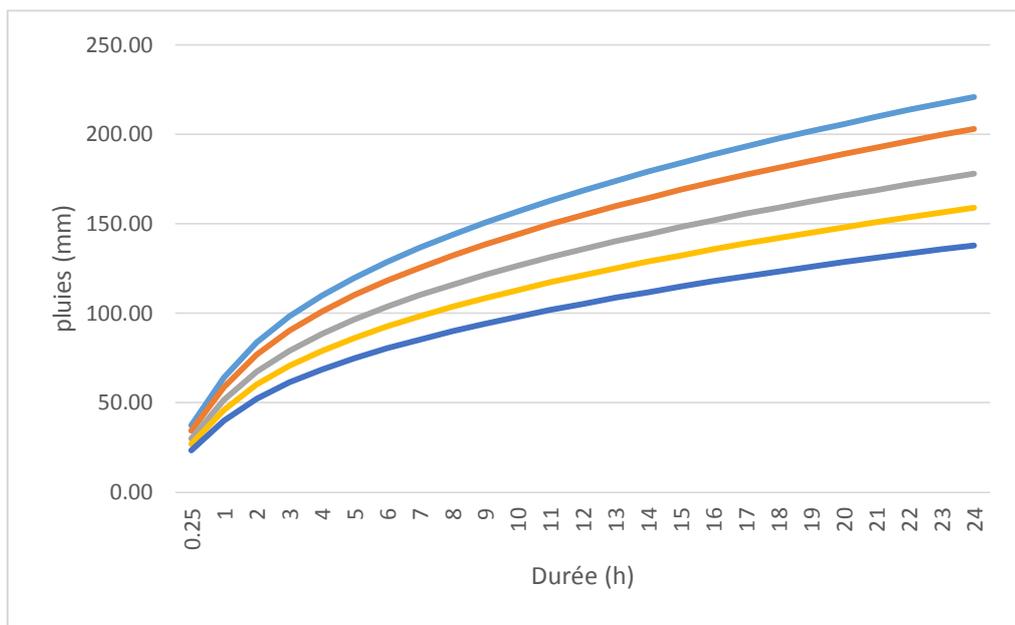


Figure II. 17 : les courbes pluies -durées-fréquences

Les courbes IDF « intensités -durées-fréquences » pour les temps de retour 5, 10, 20, 50 et 100 ans, Sont représentés dans la figure suivante :

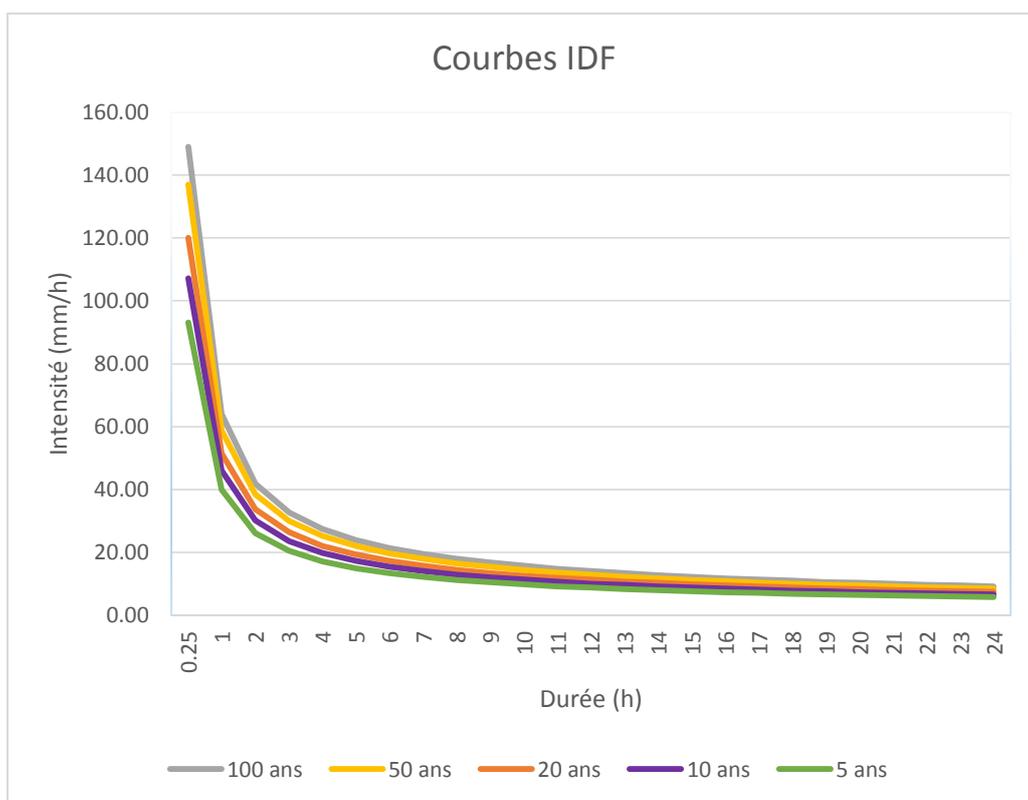


Figure II. 18 : les courbes Intensité -durées-fréquences

### II.2.3 Comparaison du Résultats :

Les résultats d'estimation des pluies pour les différentes périodes de retours sont obtenus à partir de Deux Méthodes « en utilisant les données des stations pluviométriques ANRH et en utilisant les données des satellites GPM » et puisque nous sommes intéressés par la période de retour centennale « 100 ans », on voit qu'il y a une différence de l'ordre de 85mm de plus de la quantité de pluie calculer avec les données des stations pluviométriques, cet écart correspond à la résolution spatiale de 0,1 degré du capteur satellite GPM. et ces résultats pourraient être plus satisfaisants si on avait des données avec une résolution spatiale améliorée.

Et comme il n'y a pas d'étude sur la précision et l'application des données GPM en Algérie ou bien en Afrique du nord, de ce fait on préfère utiliser les résultats des données des stations pluviométriques pour l'estimation des débits de crue des cours d'eau et pour le reste de notre étude.

Mais Dans un autre cas les données satellitaire GPM restent un bon choix alternatif pour les régions isolées ou éloignées qu'il n'existe aucune donnée hydrologique sur le domaine d'étude.

### Conclusion :

Dans ce chapitre on a étudié les caractéristiques Hydromorphométriques du bassin versant et on a déterminé la quantité de pluie par l'analyse des pluies maximales journalières, en utilisant les mesures satellites et les mesures au sol, on aboutit à une intensité de pluie égale à 134.7 mm/j pour une période de retour centennale, ensuite on a calculé les pluies de courte durée, et construit les courbes IDF, et la prochaine étape sera l'étude des crues et l'estimation des débits de crue des cours d'eau , qui nous permettent de dimensionner les ouvrages de protection de la ville de Staoueli .

## **Chapitre III :**

### **Estimation des débits de projet**

**Introduction :**

Après avoir étudié les caractéristiques du bassin versant et en se basant sur les résultats obtenus dans le chapitre précédent concernant les précipitations. Le but de ce chapitre est de déterminer les débits de crues correspondants aux différentes périodes de retour pour le choix de l'aménagement approprié et la délimitation des zones inondables.

**I. Calcul Du Débit De Crue :**

L'étude de la protection contre les inondations nécessite la prédétermination de la crue et l'hydrogramme de crue. En absence de données de mesure et des stations hydrométriques contrôlant nos oueds, on vise à utiliser 02 différentes approches qui servent pour évaluer les crues des bassins versants se résument dans :

- L'approche basée sur des formules empiriques
- L'approche Soil Conservation Service « SCS »

**I.1 L'approche basée sur des Formules Empiriques :**

Elle est basée sur des relations établies entre le débit et la surface du bassin versant, la pluie et la période de retour comme les formules de « MALLET-GAUTHIER, GIANDOTTI, TURAZZA, et SOKOLOVSKY...etc. »

Les méthodes largement utilisées en Algérie, sont présentées ci-après :

**I.1.1 Formule de MALLET – GAUTHIER :**

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

$$Q_{max,p\%} = 2K \cdot \log(1 + AP_{moy}) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S} \dots (III.1)$$

- K : constante comprise entre 1-3 on, prend habituellement (1,3)
- P<sub>moy</sub> : Précipitation moyenne annuelle en m
- S : Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup>
- L : Longueur du talweg principale en Km
- T : Période de retour
- A : Paramètre du bassin versant qui varie entre 20 et 30 selon la région géographique pour notre région on prendra (20)

**I.1.2 Formule de TURAZZA :**

Cette formule est bien adaptée pour les cas des petits bassins et elle fait appel également au temps de concentration (tc) car elle utilise l'intensité moyenne maximale de précipitations déterminées sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant (EMI, 1999) :

$$Q_{max;p\%} = \frac{C*S*I_{tc}}{3.6} \dots (III.2)$$

Avec :

- S : Surface du bassin versant km<sup>2</sup>;
- i<sub>tc</sub> : Intensité moyenne maximale pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h calculé dans le Tableau N° : II.20
- C : coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité P%

**Tableau III.1** : Valeurs du coefficient de ruissellement C

<b>Fréquence %</b>	1	2	5	10	20	50
<b>Période de retour</b>	100	50	20	10	5	2
<b>C</b>	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6	0.5

**I.1.3 Formule de SOKOLOVSKY :**

Selon SOKOLOVSKY, la crue est considérée comme un débit max généré par une averse de courte durée correspondant au temps de concentration. Le temps de montée de la crue est donc pris égal au temps de concentration (Bennis, 2007)

Le débit maximum est donné par la formule suivante :

$$Q_{max;p\%} = \frac{0.28*(P_{ct}-H_0).α.f.S}{T_c} \dots (III.3) \quad \text{ou :}$$

- S : Superficie du bassin [Km<sup>2</sup>].
- T<sub>c</sub> : temps de concentration[h]
- P<sub>ct</sub> : pluie fréquentielle de courte durée correspondant au temps de concentration.
- H<sub>0</sub> : C'est la perte d'eau initiale. Au nord de l'Algérie H<sub>0</sub>=7 mm.
- α : Coefficient de ruissellement de la crue pour une période donnée.
- F : Coefficient de forme de la crue
- 0.28 : coefficient de changement d'unité

Le coefficient de forme de la crue peut être calculé par la formule :

$$f = \frac{12}{4+3γ} \dots (III.4)$$

- Pour S < 50 Km<sup>2</sup> on a γ = 2
- Pour des petits bassins non boisé, sol peu perméable, on a γ = (2 ÷ 2.5)
- Pour bassin boisé, sol perméable on a γ = (3 ÷ 4)

α : Coefficient de ruissellement est calculé par la formule :

$$α = \frac{\sqrt{X_P}-\sqrt{H_0}}{\sqrt{X_P}+\sqrt{H_0}} \dots (III.5)$$

avec : X<sub>p%</sub>, : précipitation en mm, de probabilité p% correspondant à un temps t<sub>c</sub>.

**I.1.4 Formule ANRH 2014 :**

La formule consiste à proposer pour le territoire algérien une méthode de calcul des crues et des hydrogrammes des crues pour les cours d'eau et les Oueds non jaugés, elle est basée sur les données pluviométriques (pluies maximales journalières) de plus de 400 postes pluviométriques et les données hydrométriques (débits de pointe) de 53 stations hydrométriques distribuées d'une façon homogène sur les grands bassins versants délimités par l'ANRH (Boutoutaou, 2014 )

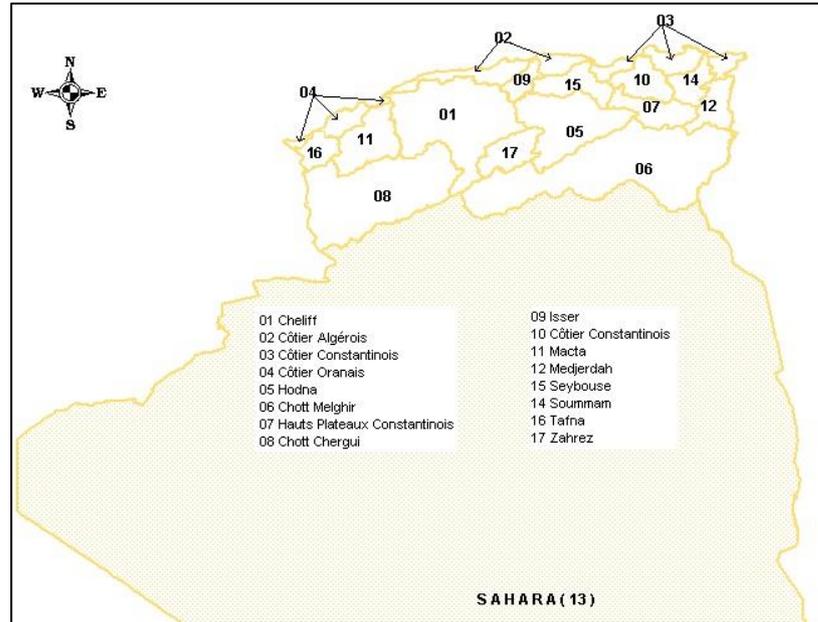
$$Q_{\max;p\%} = \frac{16.7[A+B\log(T)].\alpha_t.\lambda.S}{(t_c+1)^n} \dots(\text{III.6}) \quad \text{avec}$$

- n : coefficient de réduction de la pluie en fonction de croissance de sa durée,
- A, B : paramètres géographiques caractérisant l'intensité maximale pluviale annuelle A et sa variation interannuelle B,
- T : période de retour.
- $\alpha_t$  : Le coefficient du ruissellement
- $\lambda$  : Le coefficient de réduction du débit
- $t_c$  ; temps de concentration en min,
- S : surface en Km<sup>2</sup>

Le coefficient du ruissellement  $\alpha_t$  a été déterminé à partir des données des plus grandes crues (crues de faibles fréquences), enregistrées dans des cours d'eau de différentes régions :

$$\alpha_t = 1 - \exp\left(-\frac{P_{\max,j,T}}{P_0}\right) \dots(\text{III.7})$$

- $P_{\max,j,T}$  : pluie maximale journalière en mm de période de retour T,
- $P_0$  : pertes maximales possibles en mm, Ce paramètre est tabulé en fonction des zones géographique des grands bassins versants de l'Algérie (Figure III.1)



**Figure III.1 :** Carte de localisation des bassins hydrographiques de l'Algérie « ANRH »

Les Valeurs du paramètre  $P_0$  sont représentées dans le tableau suivant selon le bassin hydrographique :

**Tableau III.2 :** Valeurs du paramètre  $P_0$

Bassin versants	01-02-11-04-09	05-06-07-08	10-12-14-15-03	16	13
$P_0$ (mm)	100	90	120	115	60

Source : (Boutoutaou D. 2008)

Le coefficient de réduction du débit  $\lambda$  est déterminé par formule suivante :

- $S > 600 \text{ Km}^2$       $\lambda = \frac{9.4}{(s+1)^{0.39}} \dots(\text{III.8})$
- $S < 600 \text{ Km}^2$       $\lambda = 1$

Les valeurs des coefficients A, B et n, sont déterminés pour la totalité du territoire algérien en fonction des zones géographique et la Pluies moyennes annuelles, Pour notre cas la willaya d'Alger est situé dans le bassin hydrographique N°:02, les Valeurs sont représenté dans le tableau suivant :

**Tableau III.3 :** Valeurs des coefficients A, B et n.

Bassin versants	coefficients	Pluies moyennes annuelles $P_{\text{moy}}$ « mm »		
		$P < 400$	$P [400-900]$	$P > 900$
02-03-09-15	A	4.00	3.50	-
	B	3.50	2.80	2.70
	n	0.69	0.58	0.52

Source ( ANRH )

Les débits de crues des bassins versants calculés par les différentes formules sont représentés dans les tableaux suivants :

**Tableau III.4** : Débits de crue du BV oued Bridja par les formules empiriques (m<sup>3</sup>/s)

Bassin versants oued Bridja					
période T (ans)	100	50	20	10	5
Formule de Mallet-Gauthier	56.49	51.90	45.13	39.24	32.29
Formule de Turazza	70.74	58.39	45.43	36.20	28.04
Formule de SOKOLOVSKY	60.043	52.03	42.19	35.19	28.4
Formule ANRH 2014	88.49	80.30	69.46	61.26	53.07

Voici les résultats du calcul des débits pour le bassin versants d'oued Geurgour :

**Tableau III.5** : Débits de crue du BV oued Geurgour par les formules empiriques (m<sup>3</sup>/s)

Bassin versants oued Guergour					
période T (ans)	100	50	20	10	5
Formule de Mallet-Gauthier	30.84	28.42	24.86	21.79	18.20
Formule de Turazza	38.055	31.44	24.45	19.48	15.09
Formule de SOKOLOVSKY	34.89	30.24	24.49	20.40	16.43
Formule ANRH 2014	51.49	43.62	33.91	27.49	21.27

Voici les résultats du calcul des débits pour le bassin versants d'oued Palm Beach :

**Tableau III.6** : Débits de crue du BV oued Palm Beach par les formules empiriques (m<sup>3</sup>/s)

Bassin versants oued Palm Beach					
période T (ans)	100	50	20	10	5
Formule de Mallet-Gauthier	84.51	77.44	66.97	57.81	46.88
Formule de Turazza	124.97	110.13	92.233	78.70	66.08
Formule de SOKOLOVSKY	86.58	75.19	61.12	51.09	41.38
Formule ANRH « Boutoutaou »	127.42	115.61	100	88.21	76.41

### I.2 La Méthode Soil Conservation Service « SCS » :

Le SCS-CN est une méthode conceptuelle développée dans les années 1950 par le NRCS (Natural Resources Conservation Service) la méthode 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 (Arnold et al., 1996), HEC-HMS (US Army Corps of Engineers, 2011), AFFDEF (Montanari et al., 2004), AGNPS (Agence de contrôle des pollutions du Minnesota, 1987), La méthode est applicable sur des bassins versants allant de 0.25 ha à 100 km<sup>2</sup>. (C.S.D.T) [http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/hdm/pdf/chap\\_pdtlchp0810.pdf](http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/hdm/pdf/chap_pdtlchp0810.pdf).

Son principe est le suivant :

On suppose qu'un épisode pluvieux de période de retour T engendre un ruissellement de la même période de retour

Le choix de la durée de l'épisode pluvieux et du pas de temps de calcul lors de la transformation pluie-débit, dépend du « temps de réponse » ou « Lag » du bassin versant. Il s'agit du temps nécessaire entre le centre de gravité de la pluie et la pointe de l'hydrogramme de crue qui en résulte, et comme on n'a pas de station hydrométrique sur nos oueds l'estimation du temps de réponse sera établi à partir d'une formule empirique en fonction du temps de concentration ( $T_c$ ) selon la formule suivante :

$$\text{Lag} = 0.6 T_c \dots (\text{III.9})$$

Selon SCS l'Hydrogramme élémentaire résultant de la pluie pendant un pas de temps  $D$  (h) est considéré triangulaire par hypothèse.

$$\frac{1}{3T_c} < D < \frac{2}{3T_c} \dots (\text{III.10})$$

Ce Hydrogramme est caractérisé par :

- $Q_p$  : Le débit de pointe
- $T_p$  : Le temps à la pointe  $T_p = \frac{D}{2} + 0.6 * T_c \dots (\text{III.11})$
- $T_b$  : Le temps de base  $T_b = T_p + T_r \dots (\text{III.12})$
- $T_r$  : le temps de décrue de l'hydrogramme

Le rapport entre  $T_r$  et  $T_p$  se présente sous forme de constante tel que :

$$T_r = 1.67 T_p \dots (\text{III.13})$$

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

La relation entre la précipitation ( $P$ ) et les trois composantes est assumée comme étant la suivante :

$$\frac{F}{S} = \frac{P_{\text{eff}}}{P - I_a} \dots (\text{III.14})$$

( $S$ ) représente la rétention potentielle maximale. Autrement dit, le rapport entre infiltration réelle et infiltration potentielle égale le rapport entre le ruissellement réel et le ruissellement potentiel

La rétention se produisant réellement se définit avec la relation suivante :

$$F = (P - I_a) - P_{\text{eff}} \dots (\text{III.15})$$

On remplace l'équation (III.15) dans l'équation (III.14) on obtient :

$$P_{\text{eff}} = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \dots (\text{III.16})$$

Se basant sur l'étude d'un grand nombre d'averses, les experts du SCS ont établi une relation empirique entre  $I_a$  et  $S$  :

$$I_a = 0.2 * S \dots (III.17)$$

On obtient la relation :

$$P_{eff} = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \dots(III.18)$$

Cette relation est l'équation de base permettant de calculer le ruissellement  $Q$  à partir de la précipitation  $P$ .

Pour pouvoir évaluer la seule inconnue,  $S$ , SCS a développé l'indice de ruissellement CN (runoff curve number). L'indice CN est relié au stockage  $S$  par la relation suivante :

$$CN = \frac{25400}{S+254} \dots(III.19) \quad \text{et } S : \text{ en (mm)}$$

Le CN est déterminé en considérant essentiellement les types de sol et le couvert végétal dans le bassin, le NRCS a classé les sols en quatre catégories en ce qui concerne le potentiel d'infiltration

**Tableau III.7 :** Classification des sols selon NRCS

Type de Sol	Group
Sableux, limoneux-sableux.	A
Limoneux	B
sablo-argileux	C
Argileux, argileux limoneux, sol salins	D

Source : USDA 1970

Pour Notre zone d'étude elle est entièrement formée par un terrain des sables argileux donc il s'agit d'un sol de type C.

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

$$CN_p = \frac{\sum A_i * CN_i}{\sum A_i} \dots(III.19)$$

Voici les valeurs CN associé de chaque Type d'occupation de sol :

**Tableau III.8 :** CN selon le Type d'occupation de sol

Occupation de sol	Classe de sols			
	A	B	C	D
Terres agricoles	72	81	88	91
Forêt	36	60	79	79
Terrain nu	68	79	89	89
zone urbaine	80	85	90	95

Source : USDA,SCS 1972

Vu la non disponibilité des cartes d'occupation du sol de plusieurs régions sur l'échelle nationale, nous avons pensé à produire une carte d'occupation de sol pour notre bassin versant avec un logiciel de SIG (ArcGis).

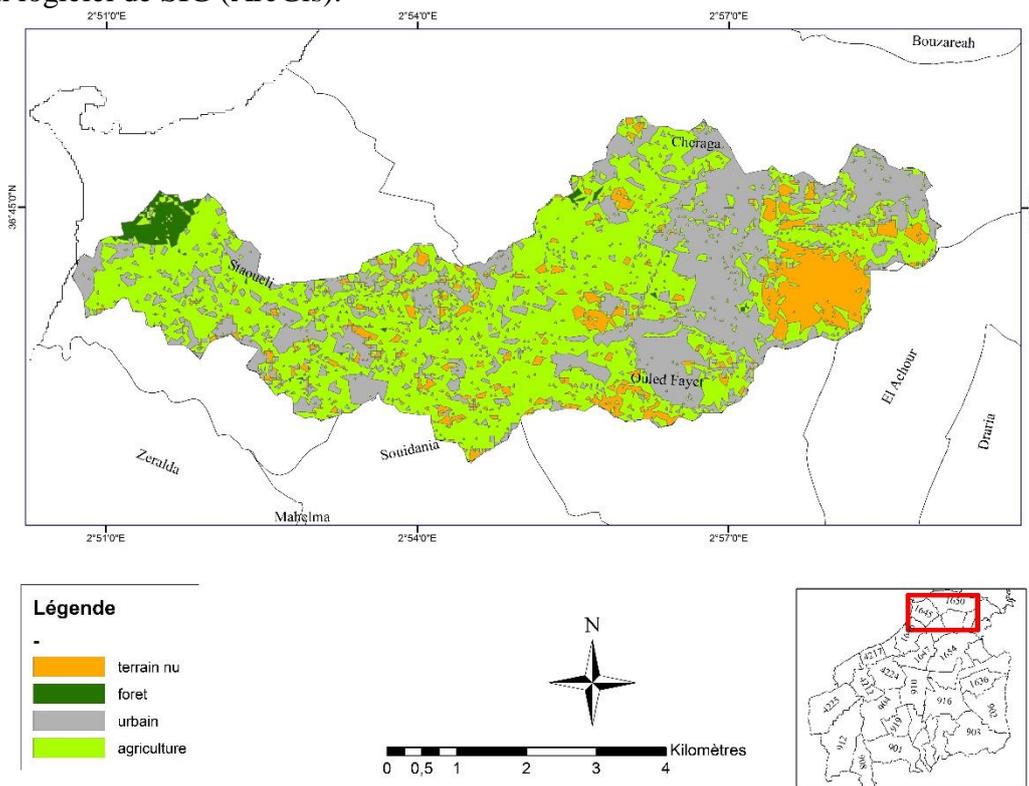


Figure III.2 : Carte d'occupation du sol du bassin versant

Voici les résultats d'occupation de sols

Tableau III.9 : d'occupation de sol et CN du bassin versant

bassins versants	Occupation de sol (Km <sup>2</sup> )				CN pondéré	surfaces imperméables (%)
	zone urbaine	Terrain nu	Forêt	Terres agricoles		
Oued Palm beach	9.78	3.26	0.51	16.76	88.6	32.26
Oued Bridja	6.53	2.39	0.14	9.51	89.24	35.22
Oued Guergour	2.89	0.86	0	6.56	88.64	28.03

L'application de la méthode SCS pour nos sous bassins versants nécessite l'utilisation d'une modélisation et ceux à l'aide d'un logiciel et dans notre cas ce logiciel est le HEC HMS.

## II. La Modélisations Hydrologique A L'aide Du Logiciel « Hec-Hms »

### II.1 La Modélisation Hydrologique :

Un modèle hydrologique, est un outil numérique de représentation de la relation pluie-débit à l'échelle d'un bassin versant. Il permet de transformer des séries temporelles décrivant le climat d'un bassin versant donné en une série de débits.

Les types de la modélisation se présentent sous plusieurs approches :

- La modélisation à base physique : c'est la représentation des processus hydrologiques par les lois physiques, Cette approche exige la qualité et la représentativité des données. Elle permet d'identifier et d'expliquer les facteurs déterminants.
- la modélisation conceptuelle : c'est la reproduction des écoulements sans chercher à représenter les processus, Les modèles conceptuels considèrent généralement le bassin versant comme étant un ensemble de réservoirs interconnectés et simplifie au maximum la représentation du monde réel. Ce type de modélisation possède un nombre de paramètres réduit et une mise en œuvre facile.

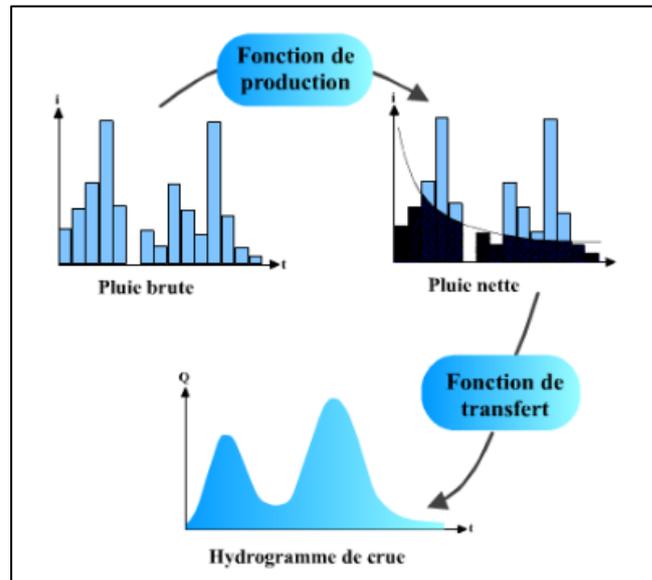
De nombreux modèles hydrologiques ont été développés depuis la fin des années 1960. Le choix du type de modèle à utiliser dépend généralement de l'objectif de modélisation ainsi que des données d'entrées disponibles. (Perrin, C 2003)

### II.2 Présentation du modèle HEC-HMS :

Le modèle hydrologique distribué HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) a été développé par l'Hydrologic Engineering Center (HEC) du « US Army Corps of Engineers ». C'est un système complet de modélisation hydrologique des bassins versants qui permet de simuler les processus pluie-débit, depuis les précipitations brutes jusqu'au débit total de ruissellement à un temps donné, ce logiciel offre plusieurs choix, il inclut en effet, la simulation de phénomènes classiques tels que l'infiltration et le ruissellement mais également l'évaporation et la fonte dans la neige. (US Army Corps of Engineers, 2016)

Le principe de la modélisation est basé sur deux fonctions principales qui sont :

- **La fonction de production** : qui permet de séparer la pluie nette (qui va ruisseler) de la pluie brute (qui est tomber) .
- **La fonction de transfert** : qui permet de transférer cette pluie vers l'exutoire du bassin versant



**Figure III.3** : Schéma général de la fonction de production et de transfert

### II.3 Les Résultats De La Simulation :

La modélisation avec le logiciel HEC-HMS passe par plusieurs étapes :

- La Création du modèle de bassin versant
- La Création du modèle météorologique
- La Création du modèle de contrôle des spécifications
- Le lancement de la simulation

Pour notre étude, la simulation du processus hydrologique a été faite pour une période de retour de 10 ans jusqu'à 100 ans

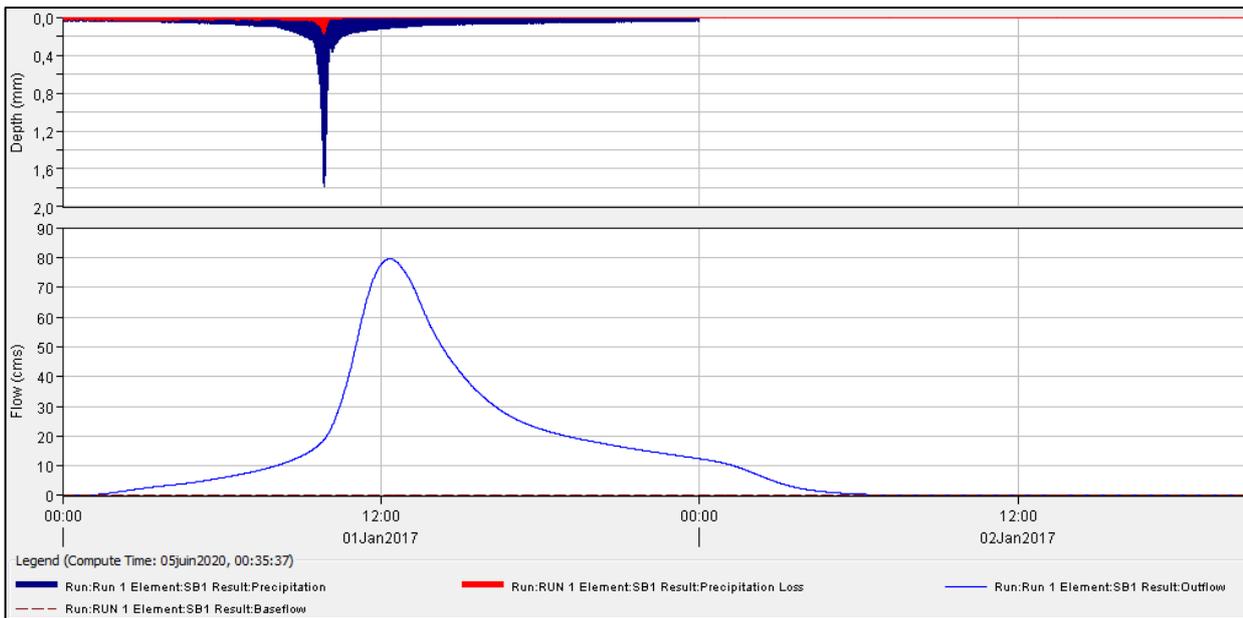
Les résultats de simulation obtenus après l'application du modèle de perte par infiltration SCS-CN et la méthode de transfert d'hydrogramme unitaire de SCS sont ci-dessous :

- La Période de Retour Centennale 100 ans :

**Tableau III.10** : Résultats de simulation pour la période de retour 100ans

Sous bassin	Temps de pic	La surface drainée (Km2)	Débit de pointe (m3/s)	Volume (mm)
Bridja	12 :20h	18.65	79.5	113.54
Guergour	12 :10h	10.36	44.80	114.18
Palm beach	12 :15h	30.35	126.1	111.88

Ce graphe représente l’hydrogramme de crues pour le sous bassin d’oued Bridja :



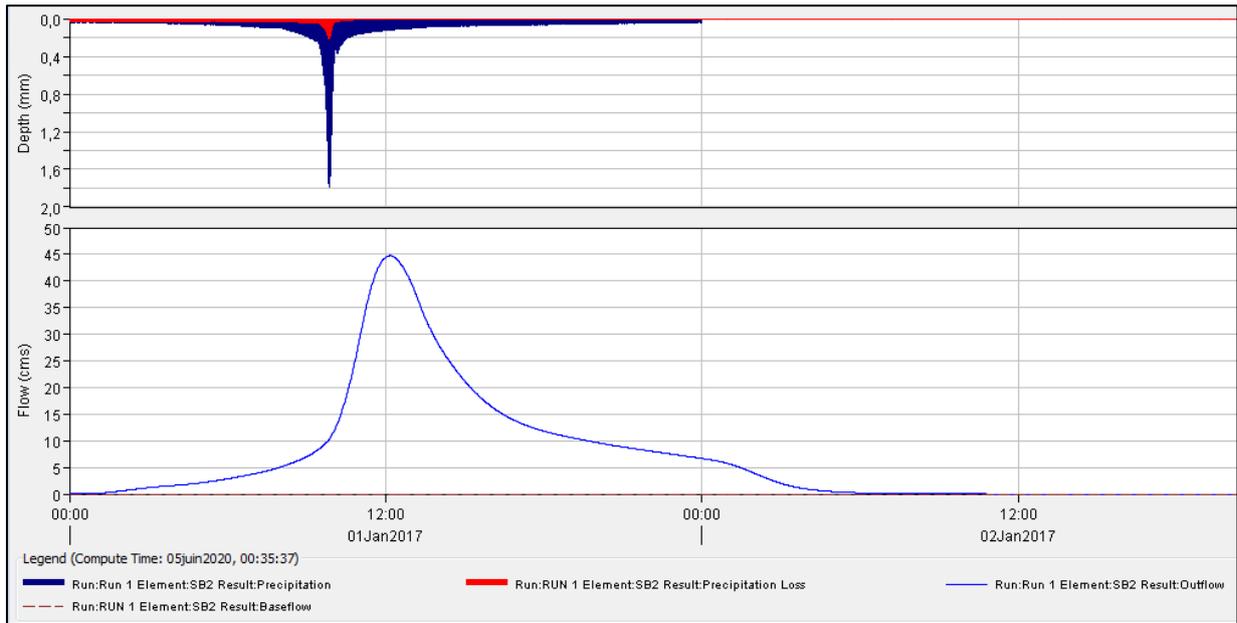
**Figure III.4:** Hydrogramme de crue du BV Bridja

L’unité CMS c'est-à-dire : « cubic meters per second » ou bien mètres cubes par seconde.

Les pertes par infiltration du sous bassin d’oued Bridja représente 15.26 % de la pluie totale, donc une perte de 20.46 mm, le sol du sous bassin Bridja a une faible capacité d’infiltration à cause de sa nature urbaine qui représente 35 % du sous bassin et la nature du sol sablo-argileux où CN est de 89.24 selon La Tableau (III.06).

Le pic d’hydrogramme atteint un débit de 79.5 m3/s avec un temps de pic de 12h20.

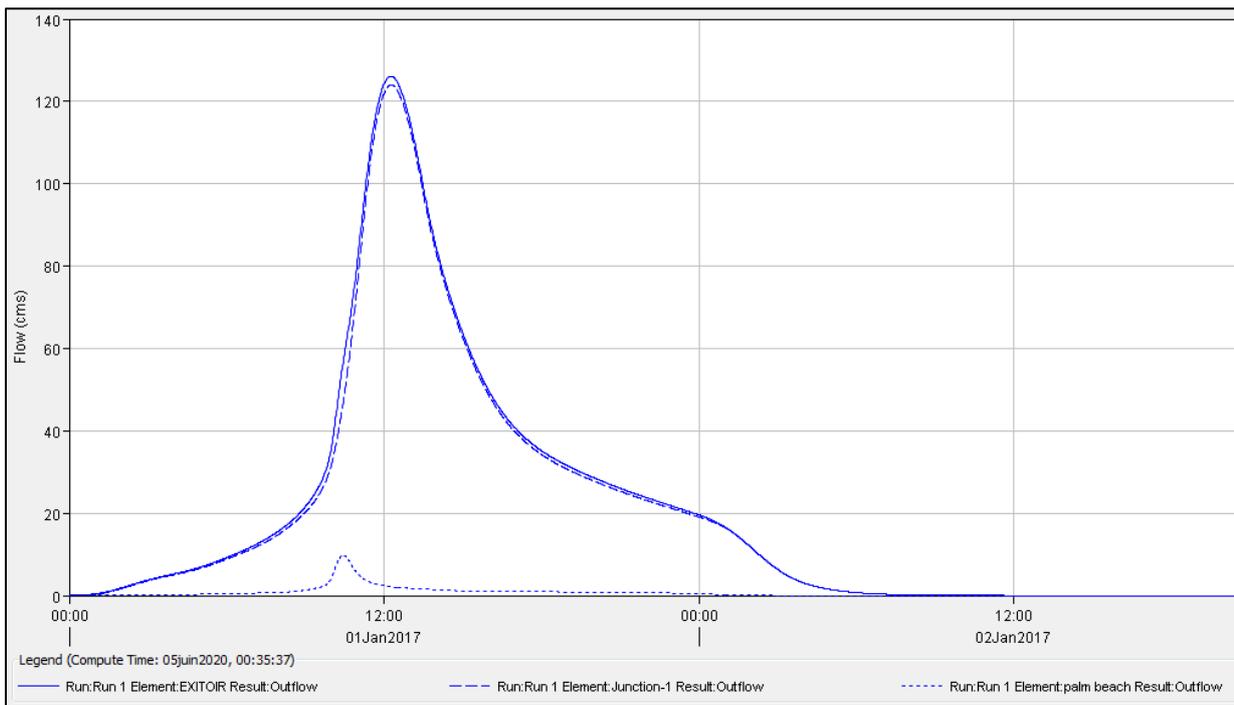
Le graphe suivant représente l'hydrogramme de crues pour le sous bassin d'oued Guergour



**Figure III.5:** Hydrogramme de crue du BV Guergour

Les pertes par infiltration du sous bassin Guergour représente 18.37 % de la pluie totale, donc une perte de 24.58 mm, le sol du sous bassin Guergour a une moyenne capacité d'infiltration à cause de sa nature agricole où CN est de 88.64.

Le pic atteint un débit de 44.8 m<sup>3</sup>/s avec un temps de pic de 12h10.



**Figure III.6 :** Hydrogramme de crue à l'exutoire T= 100ans

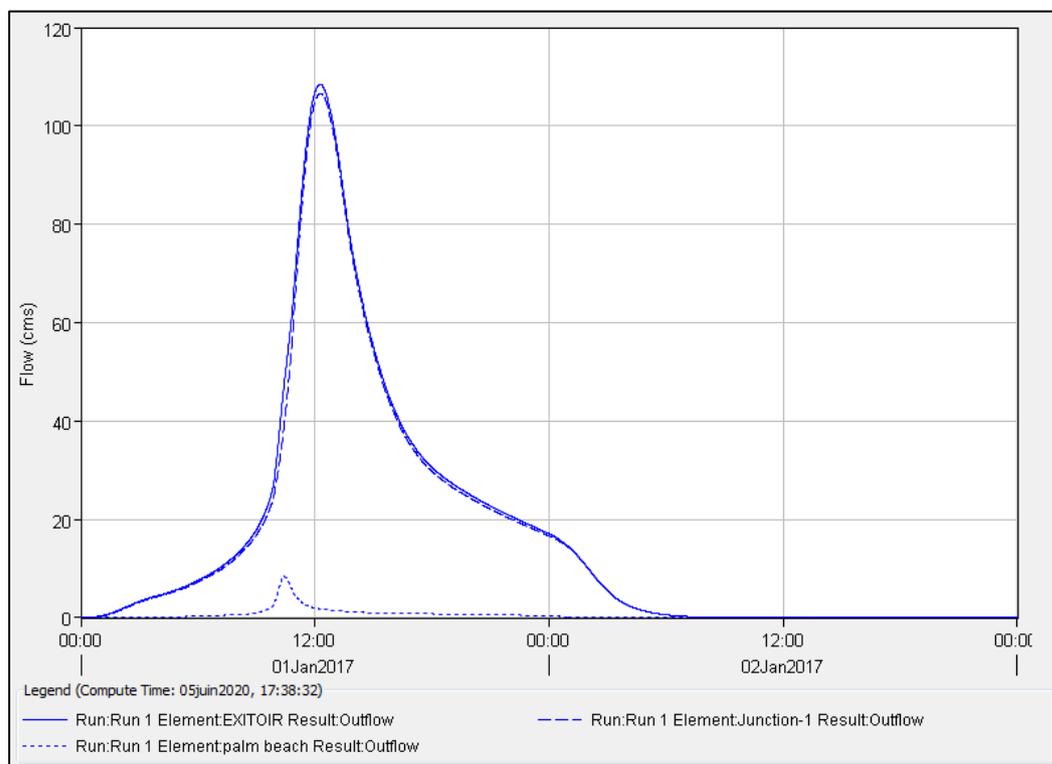
La Figure (III.6) illustre l'hydrogramme de crue à l'exutoire de l'oued palm Beach. Le débit simulé est de l'ordre de 126.1 m<sup>3</sup>/s avec un temps de pic de 12:15h et temps de descente de 21h donc un temps de base de 33 :15h

- **La Période de Retour 50 ans :**

**Tableau III.11 : Résultats de simulation pour la période de retour 50ans**

Sous bassin	Temps de pic	La surface drainée (Km <sup>2</sup> )	Débit de pointe (m <sup>3</sup> /s)	Volume (mm)
Bridja	12 :22h	18.65	68.5	97.99
Guergour	12 :11h	10.36	38.3	94.00
Palm beach	12 :16h	30.35	108.4	96.31

La Figure suivant illustre l'hydrogramme de crue à l'exutoire de l'oued palm Beach pour la période de retour 50 ans. Le débit simulé est de l'ordre de 108.3 m<sup>3</sup>/s avec un temps de pic de 12:16h et temps de descente de 20:49h donc un temps de base de 33 :05h



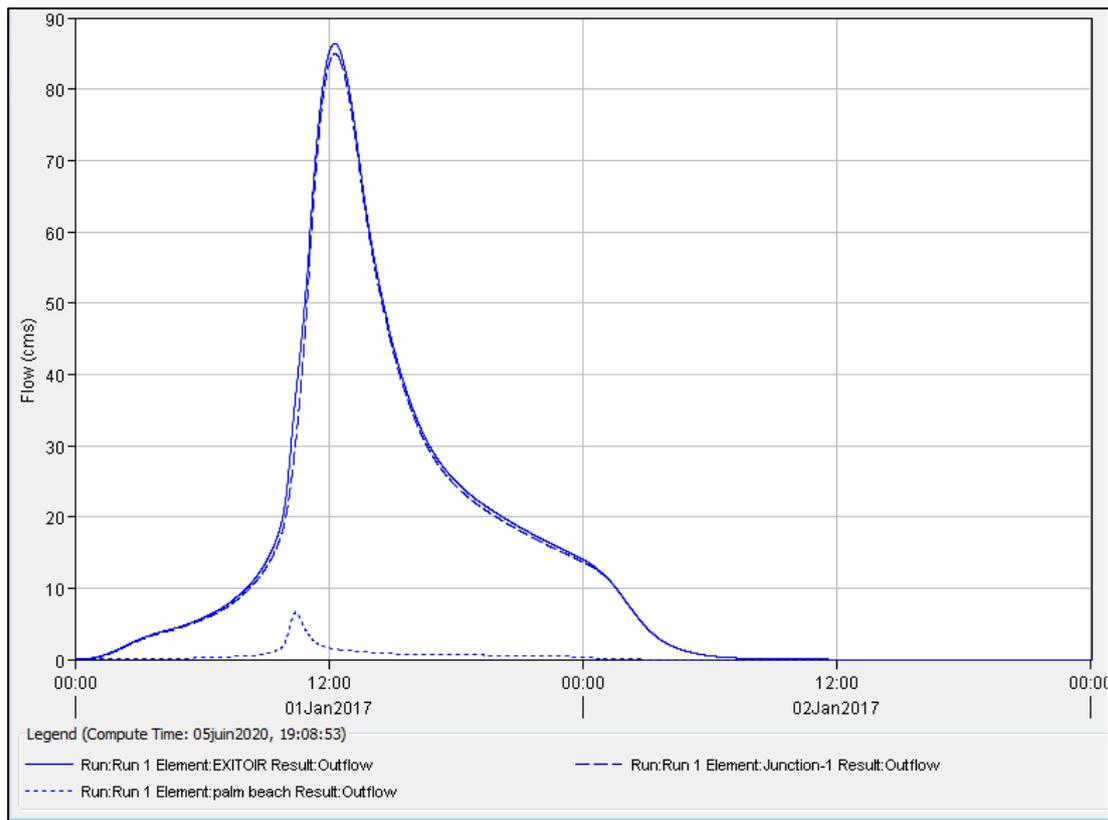
**Figure III.7 : Hydrogramme de crue à l'exutoire T=50ans**

- La Période de Retour 20 ans :

**Tableau III.12** : Résultats de simulation pour la période de retour 20ans

Sous bassin	Temps de pic	La surface drainée (Km2)	Débit de pointe (m3/s)	Volume (mm)
Bridja	12 :22h	18.65	54.8	78.72
Guergour	12 :12h	10.36	30.4	74.95
Palm beach	12 :17h	30.35	86.4	77.14

La Figure suivant illustre l’hydrogramme de crue à l’exutoire de l’oued palm Beach pour la période de retour 20 ans. Le débit simulé est de l’ordre de 86.4 m3/s avec un temps de pic de 12:17h et temps de descente de 20:36h donc un temps de base de 32 :53h



**Figure III.8** : Hydrogramme de crue à l’exutoire T=20ans

• La Période de Retour 10 ans :

Tableau III.13 : Résultats de simulation pour la période de retour 10ans

Sous bassin	Temps de pic	La surface drainée (Km2)	Débit de pointe (m3/s)	Volume (mm)
Bridja	12 :23h	18.65	45.2	65.38
Guergour	12 :13h	10.36	24.9	61.81
Palm beach	12 :18h	30.35	71.2	63.89

La Figure suivant illustre l’hydrogramme de crue à l’exutoire de l’oued palm Beach pour la période de retour 10 ans. Le débit simulé est de l’ordre de 71.2 m3/s avec un temps de pic de 12:18h et temps de descente de 20:27h donc un temps de base de 32 :45h

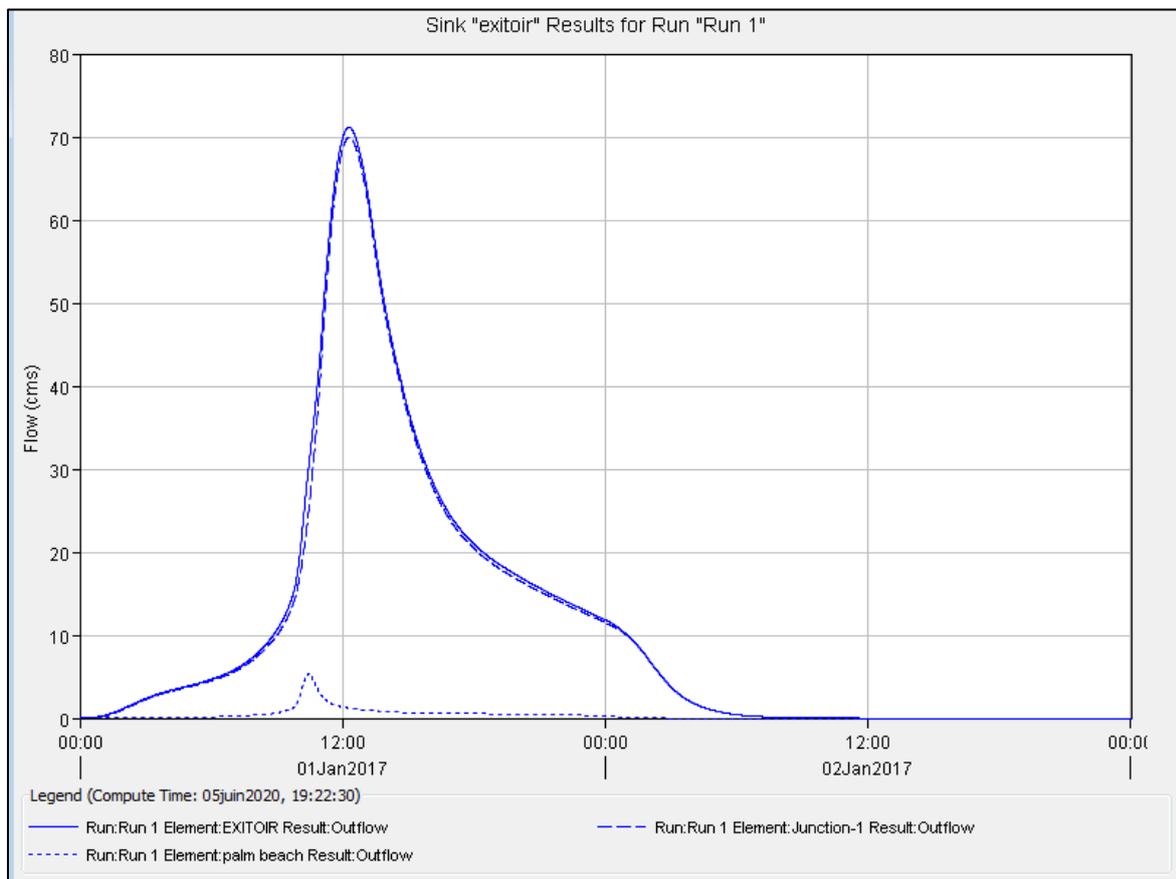


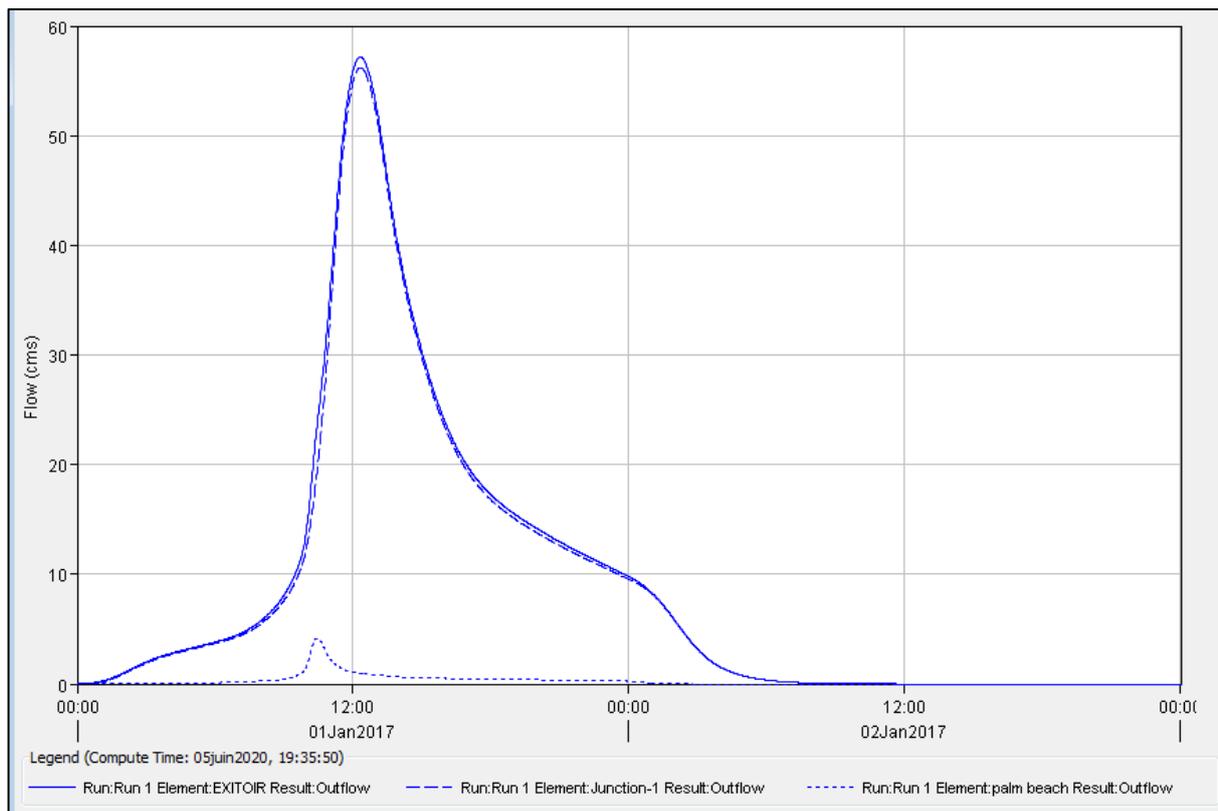
Figure III.9 : Hydrogramme de crue à l’exutoire T=10ans

• La Période de Retour 05 ans :

**Tableau III.14** : Résultats de simulation pour la période de retour 05ans

Sous bassin	Temps de pic	La surface drainée (Km2)	Débit de pointe (m3/s)	Volume (mm)
Bridja	12 :24h	18.65	36.5	53.18
Guergour	12 :14h	10.36	19.8	49.82
Palm beach	12 :19h	30.35	57.2	51.78

La Figure suivant illustre l’hydrogramme de crue à l’exutoire de l’oued palm Beach pour la période de retour 05 ans. Le débit simulé est de l’ordre de 57.2 m3/s avec un temps de pic de 12:19h et temps de descente de 20:11h donc un temps de base de 32 :30h



**Figure III.10** : Hydrogramme de crue à l’exutoire T=05ans

Le tableau suivant résume les Résultats de simulation pour les différents périodes de retour :

**Tableau III.15** : Résultats des débits de la simulation pour les différents périodes de retour en m<sup>3</sup>/s

	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Bridja	36.5	45.2	54.8	68.5	79.5
Guergour	19.8	24.9	30.4	38.3	44.80
Palm beach	57.2	71.2	86.4	108.4	126.1

**III. Discussion des Résultats :**

Suivant les résultats des quatre formules empiriques, on remarque que les formules de Mallet-Gauthier et SOKOLOVSKY donnent presque les mêmes valeurs de débits pour les différentes périodes de retours, De l'autre côté les formules de Turazza et de L'ANRH donnent des valeurs très proches, mais avec une différence de l'ordre de 30 m<sup>3</sup>/s de plus par rapport aux formules de Mallet-Gauthier et SOKOLOVSKY

D'autre part, la méthode SCS-CN du modèle hydrologique HEC-HMS nous donne des valeurs de débits proches aux formules de L'ANRH et Turazza, et elle prend en considération plusieurs paramètres comme le type de sol, l'infiltration et l'occupation du sol et la transformation pluie-débit selon les caractéristiques hydro-morphométriques du bassin versant

Donc, on opte pour les résultats de la méthode SCS-CN pour le reste de notre étude.

Et Le tableau suivant résume les Résultats de calcul des débits pour les différents périodes de retour selon les deux approches utilisé.

**Tableau III.16 :** Résultats des débits selon les deux approches

Bassin versants oued Palm Beach					
période T (ans)	100	50	20	10	5
Formule de Mallet-Gauthier	84.51	77.44	66.97	57.81	46.88
Formule de Turazza	124.97	110.13	92.233	78.70	66.08
Formule de SOKOLOVSKY	86.58	75.19	61.12	51.09	41.38
Formule ANRH 2014	127.42	115.61	100	88.21	76.41
la méthode SCS-CN	126.1	108.4	86.4	71.2	57.2
Bassin versants oued Guergour					
période T (ans)	100	50	20	10	5
Formule de Mallet-Gauthier	30.84	28.42	24.86	21.79	18.20
Formule de Turazza	38.055	31.44	24.45	19.48	15.09
Formule de SOKOLOVSKY	34.89	30.24	24.49	20.40	16.43
Formule ANRH 2014	51.49	43.62	33.91	27.49	21.27
la méthode SCS-CN	44.80	38.3	30.4	24.9	19.8
Bassin versants oued Bridja					
période T (ans)	100	50	20	10	5
Formule de Mallet-Gauthier	56.49	51.90	45.13	39.24	32.29
Formule de Turazza	70.74	58.39	45.43	36.20	28.04
Formule de SOKOLOVSKY	60.043	52.03	42.19	35.19	28.4
Formule ANRH 2014	88.49	80.30	69.46	61.26	53.07
la méthode SCS-CN	79.5	68.5	54.8	45.2	36.5

**Conclusion :**

Dans ce chapitre on a étudié les débits de crues correspondants aux différentes périodes de retour pour nos bassins versants en utilisant deux différentes méthodes « les formules empiriques et la méthode SCS-CN du modèle hydrologique HEC-HMS », et d'après les résultats obtenus, on a choisi la méthode SCS-CN, qui donne un débit de crue égale à  $126\text{m}^3/\text{s}$  pour une période de retour centennale à l'exutoire d'oued palm Beach et un débit de  $44.8\text{m}^3/\text{s}$  et  $79.5\text{m}^3/\text{s}$  pour les bassins versants d'oued Guergour et oued Bridja respectivement, ensuite on a construit les hydrogrammes des crues permettant de voir l'évolution des crues dans le temps pour chaque bassin versant, et la prochaine étape sera la localisation des zones inondables et l'étude hydraulique, qui nous permettent de dimensionner les ouvrages de protection de la ville de Staoueli.

# **Chapitre IV :**

## **Etude des écoulements**

**Introduction :**

les études de protection contre les inondations nécessitent une modélisation des écoulements dans le cours d'eau, afin de définir les hauteurs d'écoulements et les limites d'eau atteintes au passage des crues de différentes fréquences ainsi que d'autres caractéristiques qui permettent de comprendre l'écoulement et aident à définir les types de protections à retenir. L'objectif principal est de définir les zones susceptibles d'être inondées au passage de la crue de fréquence donnée, donc tracer la carte d'inondabilité de la région traversé pas les Oueds de BRIDJA , GERGOUR et PALMBEACH. Cette dernière nous permettra de définir avec plus de précision les tronçons de cours d'eau à aménager et de choisir aussi l'aménagement qui correspond.

**I. Description générale des cours d'eaux :**

L'état d'oued BRIDJA et Oued GERGOUR et PALM BEACH non aménagés est critique, D'un point de vue végétation qui occupent les berges et le lit de ces oueds, ce qui provoque un obstacle en cas de crue, en plus de ça des rejets des déchets se font à ciel ouvert provoquant la pollution des cours d'eau de l'oued BRIDJA et de l'Oued GERGOUR jusqu'à la plage PALM BEACH

Pour une meilleure description des Oueds, on a fait une division en tronçons suivant les ouvrages existants le long du tracé comme la montre le Tableau et la figure ci-dessous :

**Tableau IV.1 :** la division des cours d'eaux en tronçons

Oued	Tronçon	Aval	Amont	Longueur
Palm-Beach	P1	Plage Palm Beach	400 m de l'exutoire	400m
Palm-Beach	P2	400 m de l'exutoire	Point de confluence	804m
Bridja	B1	Point de confluence	R N 11	1563m
Bridja	B2	R N 11	R N 05	1932m
Bridja	B3	R N 05	R W133	3024m
Bridja	B4	R W133	Route de BOUCHAOUI	1040m
Bridja	B5	Route de BOUCHAOUI	pénétrante de Chéraga	1814m
Gergoure	G1	Point de confluence	R N 11	727m
Gergoure	G2	R N 11	R N 05	1292m
Gergoure	G3	R N 05	Limite ville Belota	2335m
Gergoure	G4	Limite ville Belota	R W133	3003m

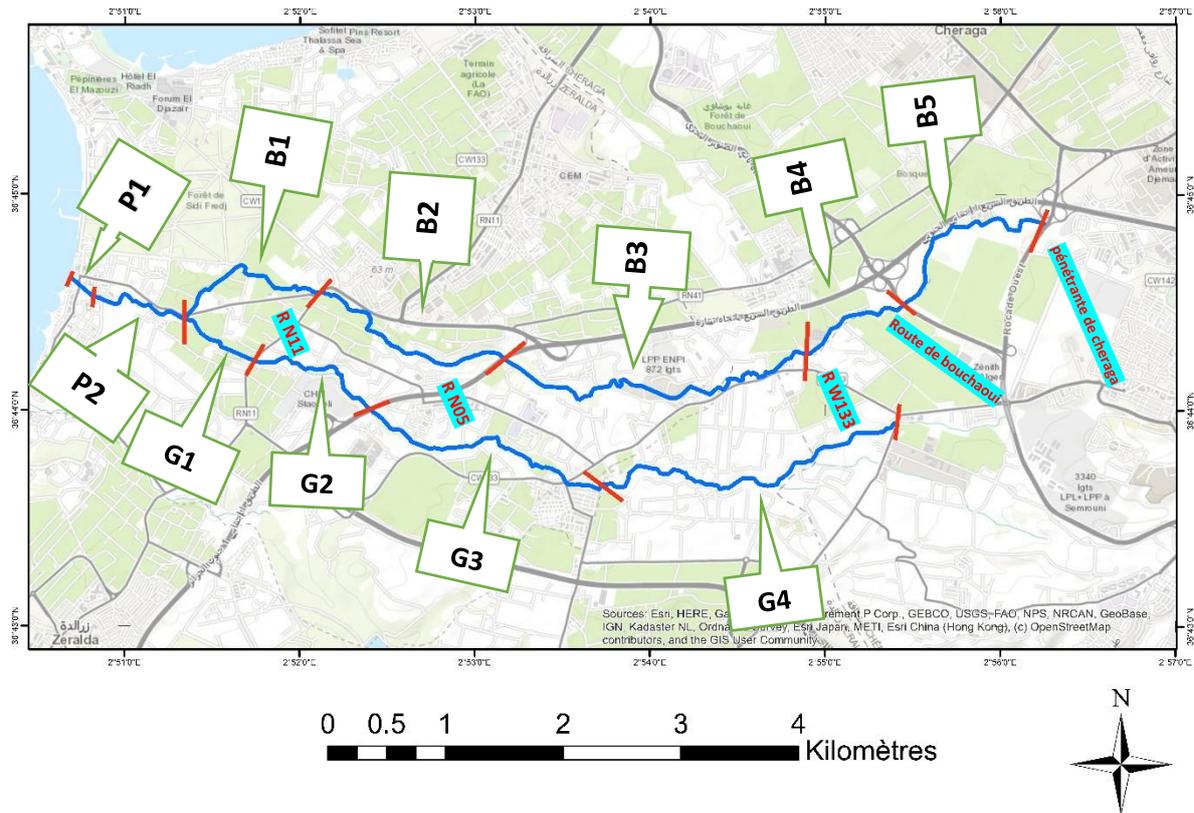


Figure IV.1 : Les différents tronçons des cours d’eaux

**Tronçon Bridja 01 « B1 » :**

Ce tronçon a une longueur de 1563m situé entre le Point de confluence des trois ouedes et la route nationale N11, Sur une zone agricole moyennement urbanisé, le lit a une largeur d’environ 20 m et n’a pas été aménagé et les berges sont végétalisées, la pente moyenne du tronçon est environ de 0.0067.

**Tronçon Bridja 02 « B2 » :**

Ce tronçon a une longueur de 1932m situé au limite sud de la vile de BRIDJA « une zone très urbanisé » entre la route nationale N11 et la route nationale N05, le lit a une largeur d’environ 25 m et n’a pas été aménagé et les berges sont végétalisées, la pente moyenne du tronçon est environ de 0.008.

**Tronçon Bridja 03 « B3 » :**

Ce tronçon a une longueur de 3024m situé entre la route nationale N05 « 1<sup>er</sup> Rocate d’Alger » et la route W133, Sur une zone agricole moyennement urbanisé, le lit a une largeur d’environ 27 m et n’a pas été aménagé et les berges sont partiellement végétalisées, la pente moyenne du tronçon est environ de 0.01. la partie aval de ce tronçon est à 100 mètres de l’hôpital militaire universitaire spécialisé de staoueli qui risque d’être inondé par la Crue centennale .

**Tronçon Bridja 04 « B4 » :**

Ce tronçon a une longueur de 1040m situé entre la route W133 et la route de BOUCHAOUI, Sur une zone totalement agricole, le lit a une largeur d'environ 23 m et n'a pas été aménagé et les berges sont végétalisées, la pente moyenne du tronçon est environ de 0.0078 ,

**Tronçon Bridja 05 « B5 » :**

Ce tronçon a une longueur de 1814m situé entre la route de BOUCHAOUI et pénétrante de Chéraga , Sur une zone totalement agricole, le lit a une largeur d'environ 22 m et n'a pas été aménagé et les berges sont végétalisées, la pente moyenne du tronçon est environ de 0.0072, ce tronçon passe en parallèle avec la route nationale N5 « la 1er rocade d'Alger » qui risque d'être inondé .

**Tronçon Gergoure 01 « G1 » :**

Ce tronçon a une longueur de 727m situé entre le Point de confluence des trois ouedes et la route nationale N11, Sur une zone agricole, le lit a une largeur d'environ 25 m et n'a pas été aménagé et les berges sont végétalisées, la pente moyenne du tronçon est environ de 0.004.

**Tronçon Gergoure 02 « G2 » :**

Ce tronçon a une longueur de 1292m situé entre la route nationale N11 et la route national N5 « la 1er rocade d'Alger », Sur une zone agricole, le lit a une largeur d'environ 20 m et n'a pas été aménagé et les berges sont végétalisées, la pente moyenne du tronçon est environ de 0.01.

**Tronçon Gergoure 03 « G3 » :**

Ce tronçon a une longueur de 2335m situé entre la route nationale N5 « la 1er rocade d'Alger » et la sortie de la ville de Belota , la zone est urbanisée, en Aval en trouve la partie sud de la ville de Bridja, et l'hôpital militaire universitaire ,en Amont l'oued passe par le côté nord de la ville de Belota. Le lit a une largeur d'environ 25 m, et n'a pas été aménagé et les berges sont végétalisées, la pente moyenne du tronçon est environ de 0.009.

**Tronçon Gergoure 04 « G4 » :**

Ce tronçon a une longueur de 2335m situé entre la sortie de la ville de Belota et la route W133, Sur une zone agricole moyennement urbanisé, le lit a une largeur d'environ 20 m et n'a pas été aménagé et les berges sont végétalisées, la pente moyenne du tronçon est environ de 0.01.



**Figure IV.2** : l'état d'un tronçon d'oued Gergoure

Pour oued PALM BEACH, il est divisé en deux tronçons :

**Tronçon Palm Beach 01 « P1 » :**

le premier tronçon a une longueur de 400m a partir de l'exutoire, ce dernier est aménagé d'un canal en gabion d'une largeur de 6m qui déverse dans un ouvrage de rejet de six conduites circulaires de diamètre 1000 mm qui travers le chemin de Palm Beach vers la plage, la zone est touristique est très urbanisé et enregistre des débordements chaque années

**Tronçon Palm Beach 02 « P2 » :**

Ce tronçon a une longueur de 804 m , le lit n'a pas été aménagé et les berges sont végétalisées, la zone est urbanisé et risque d'être inondé surtout au niveau du point de rencontre des oueds et la partie aval sinueuse .

Voici une image du 1<sup>er</sup> tronçon d’oued Palm Beach aménagé en gabion :



**Figure IV.3 :** l’état du tronçon P1 aménagé d’oued Palm Beach

Sur les tronçons étudiés, plusieurs ouvrages d’infrastructures routières et ferroviaires franchissent Les trois oueds dans la zone d’étude.

Ces ouvrages peuvent avoir des incidences sur l’écoulement, notamment occasionner des pertes de charge locales et provoquer des embâcles (accumulations de bois flottants), d’autre part ces ouvrages peuvent être eux-mêmes mis en danger par la dynamique de l’oued, en particulier les phénomènes d’érosion éventuels (érosion du fond, érosion des berges).

Ces infrastructures sont résumées dans le tableau suivant de l’aval vers l’amont :

**Tableau IV.2 :** les infrastructures traversées par les oueds

Oued Palm Beach	Oued Bridja	Oued Gergoure
ouvrage de rejet 6 conduites circulaires de diamètre 1000	La route nationale N11	La route nationale N11
Pont chemin de Palm Beach	Pont 1 <sup>er</sup> rocade d’Alger RN5	Pont 1 <sup>er</sup> rocade d’Alger RN5
/	La route W133	La route de Belota
	La route de Bouchaoui	La route de Narbonne
	/	La route W133

## II. Modélisation Hydrodynamique :

### II.1 Définition :

La modélisation hydraulique est destinée à simuler l'écoulement des cours d'eau, il s'agit d'une étape importante dans l'évaluation des risques liés aux inondations, elle a pour principale objectif d'estimer l'ampleur que peuvent entraîner les incertitudes tant sur les débits, les niveaux d'eau et les superficies inondées.

Pour un événement hydrologique donné, le modèle numérique calcule en chaque point préalablement défini, le niveau, le débit et la vitesse de l'écoulement

On a deux types des modèles hydrodynamiques :

- **Les modèles 1D** qui décrivent l'écoulement dans une section de vallée. Le traitement d'une multitude de ces sections unitaires permet de décrire le fonctionnement global de la rivière.
- **Les modèles 2D** qui décrivent l'écoulement dans l'ensemble de la plaine alluviale par l'introduction d'un maillage qui restitue le relief. Ces modèles sont également capables d'intégrer une composante temporelle au travers d'un débit varié dans le temps.

### II.2 Modèle HEC-RAS :

C'est un logiciel de modélisation monodimensionnel qui a été développé par l'US Army Corps of Engineers. HEC-RAS signifie Hydrologic Engineering Center – River Analysis System, soit Centre d'ingénierie en hydrologie – système d'étude des rivières.

Il est destiné à modéliser les écoulements unidimensionnels à surface libre dans les canaux naturels et artificiels. Il permet de simuler les écoulements graduellement variés en régime permanent et en régime transitoire, d'effectuer les calculs de lignes d'eau en régime dynamique en simulant les différents obstacles (ouvrages de franchissement, ponts, dalots, ...) le long du cours d'eau, il peut simuler aussi le transport solide et le transfert de pollution.

Un modèle hydraulique HEC – RAS nous permet d'introduire la géométrie des profils en travers des rivières et les profils des ouvrages. Les profils en long sont calculés à l'altitude de leurs profils en travers, ils sont perpendiculaires au sens de l'écoulement et présentent des coordonnées et des altitudes topographiques. Ils décrivent la forme et l'allure de la rivière. (US Army Corps of Engineers 2010.)

## II.2 la Démarche de la simulation :

En HEC-RAS, un ensemble des étapes et de fichiers sont requis pour effectuer l'analyse hydraulique d'un cours d'eau.

- **La 1<sup>er</sup> étape :** est la Construction d'un modèle géométrique du tronçon des rivières étudiées en se basant sur un modèle numérique de terrain (MNT) à l'aide d'AutoCAD Civil 3D ou bien ARC-GIS, on trace les sections en travers pour chaque intervalle de distance et on crée un fichier d'extension (.geo) qui sera exporté vers HEC-RAS ou bien l'exportation du modèle à l'aide de HEC-GeoRAS sur ARC-GIS. Il est à signaler que des levés de terrain des sections en travers sont à conseiller car ça donne plus de précision dans la simulation des écoulements.
- **La 2<sup>eme</sup> étape :** la création d'un nouveau projet HEC RAS, le fichier Projet contient le titre et la description du projet, le système d'unité utilisé et les liens vers tous les fichiers qui lui sont associés. Il contient aussi les variables par défaut qui peuvent être définies par l'utilisateur et une référence au dernier Plan utilisé
- **La 3<sup>eme</sup> étape :** crée un nouveau fichier géométrie et importé les sections en travers vers le projet, ce fichier contient toutes les informations géométriques sur le cours d'eau analysé, soit le schéma arborescent, les sections transversales, la distance entre une section et une autre, les coefficients de Manning de chaque section ou tronçon, les ouvrages présents sur le chenal de l'Oued (ponts, ponceaux...etc.).

Dans notre cas on a pris une distance de 20 mètres entre les sections transversales

Et Pour le choix de coefficient de Manning on se basant sur la Forme de l'oued et les Matériaux du lit et Etat de la végétation, l'état du lit majeur...etc., donc on a choisi un coefficient de Manning de 0.035 pour les deux berges et 0.030 pour le lit de l'oued

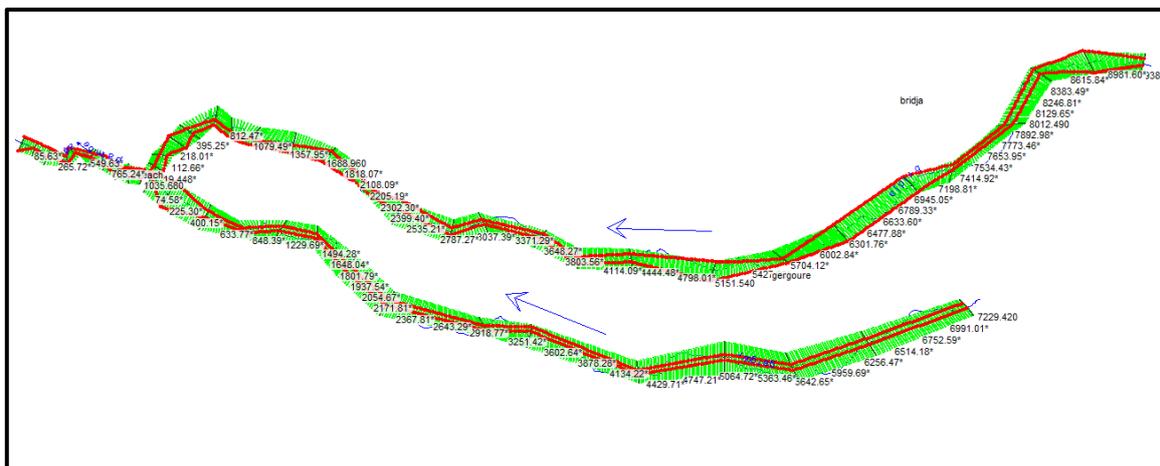
Les valeurs des coefficients de rugosité de Manning sont résumées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.3 :** Valeurs des coefficients de rugosité de Manning (Open Channel Hydraulics – V.T. Chow 1959)

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<b>A. Natural Streams</b>			
<b>1. Main Channels</b>			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
<b>2. Flood Plains</b>			
a. Pasture no brush	0.025	0.030	0.035
1. Short grass	0.030	0.035	0.050
2. High grass			
b. Cultivated areas	0.020	0.030	0.040
1. No crop	0.025	0.035	0.045
2. Mature row crops	0.030	0.040	0.050
3. Mature field crops			
c. Brush	0.035	0.050	0.070
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.060
2. Light brush and trees, in winter	0.040	0.060	0.080
3. Light brush and trees, in summer	0.045	0.070	0.110
4. Medium to dense brush, in winter	0.070	0.100	0.160
5. Medium to dense brush, in summer			
d. Trees	0.030	0.040	0.050
1. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.050	0.060	0.080
2. Same as above, but heavy sprouts	0.080	0.100	0.120
3. Heavy stand of timber, few down trees, little			

Autocad civil 3D nous permet de déduire les sections en travers à partir d'un MNT si on a pas assez de levés de terrains.

La figure suivante représente la répartition des sections en travers sur HEC RAS :



**Figure IV.5 :** répartition des sections transversales sur HEC RAS

- **La 4<sup>ème</sup> étape** : la création du fichier « Flow » ou bien Débit, il est utilisé pour simuler les écoulements permanents. Il contient le nombre de Profile devant être calculés, les données de débit pour chacun d'eux et les conditions limites pour chaque tronçon. Un Profile désigne l'ensemble des niveaux d'eau calculés pour des conditions particulières de débit.

Dans notre cas pour le débit de projet on a choisi le débit de la période de retour centennale **100ans** et selon l'étude hydrologique, Les débits choisis pour le dimensionnement sont : **44.80 m<sup>3</sup>/s** pour Oued Guergour et **79.5 m<sup>3</sup>/s** pour Oued Bridja et **126.1 m<sup>3</sup>/s** pour Oued Palm Beach.

Les conditions aux limites sont nécessaires pour calculer la hauteur d'eau initiale aux extrémités de chaque tronçon, dans notre cas on a choisi la hauteur critique comme conditions aux limites pour les trois oueds.

- **La 5<sup>ème</sup> étape** : la création du fichier plan qui contient les références aux fichiers géométrie et Débit associés à ce plan
- **La 6<sup>ème</sup> étape** : l'exécution de la simulation et la création du fichier « Run », ce fichier est automatiquement créé par HEC-RAS lorsqu'une simulation est lancée.

### II.3 Visualisation des résultats :

Après avoir lancé le calcul sous HEC-RAS, nous pouvons obtenir de nombreux résultats.

Nous pouvons obtenir les profils des zones inondables selon le débit considéré, les vitesses d'écoulement ainsi que les lignes d'eau et d'énergie

Nous pouvons ainsi observer la variation de la vitesse d'écoulement sur le lit mineur et les deux rives suivant chaque profil en travers.

Un des résultats intéressants à consulter est la vue en profil du tronçon simulé. Cette fonction, « View Profiles », est située dans la barre de boutons.

Les figures suivantes montrent les vues en profils pour chaque Oued :

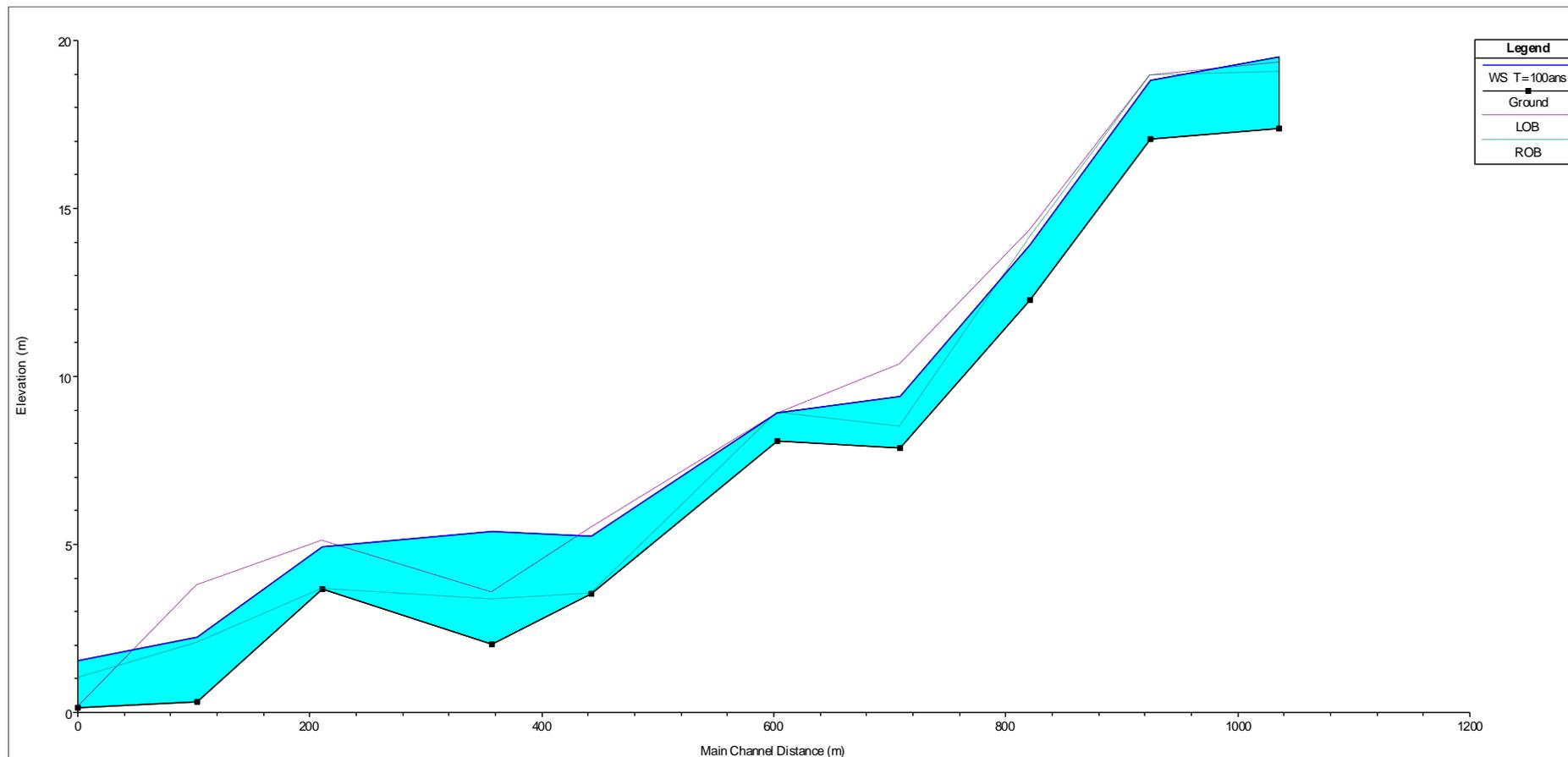


Figure IV.6 : Profil du plan d'eau d'Oued Palm Beach au passage de la crue de projet

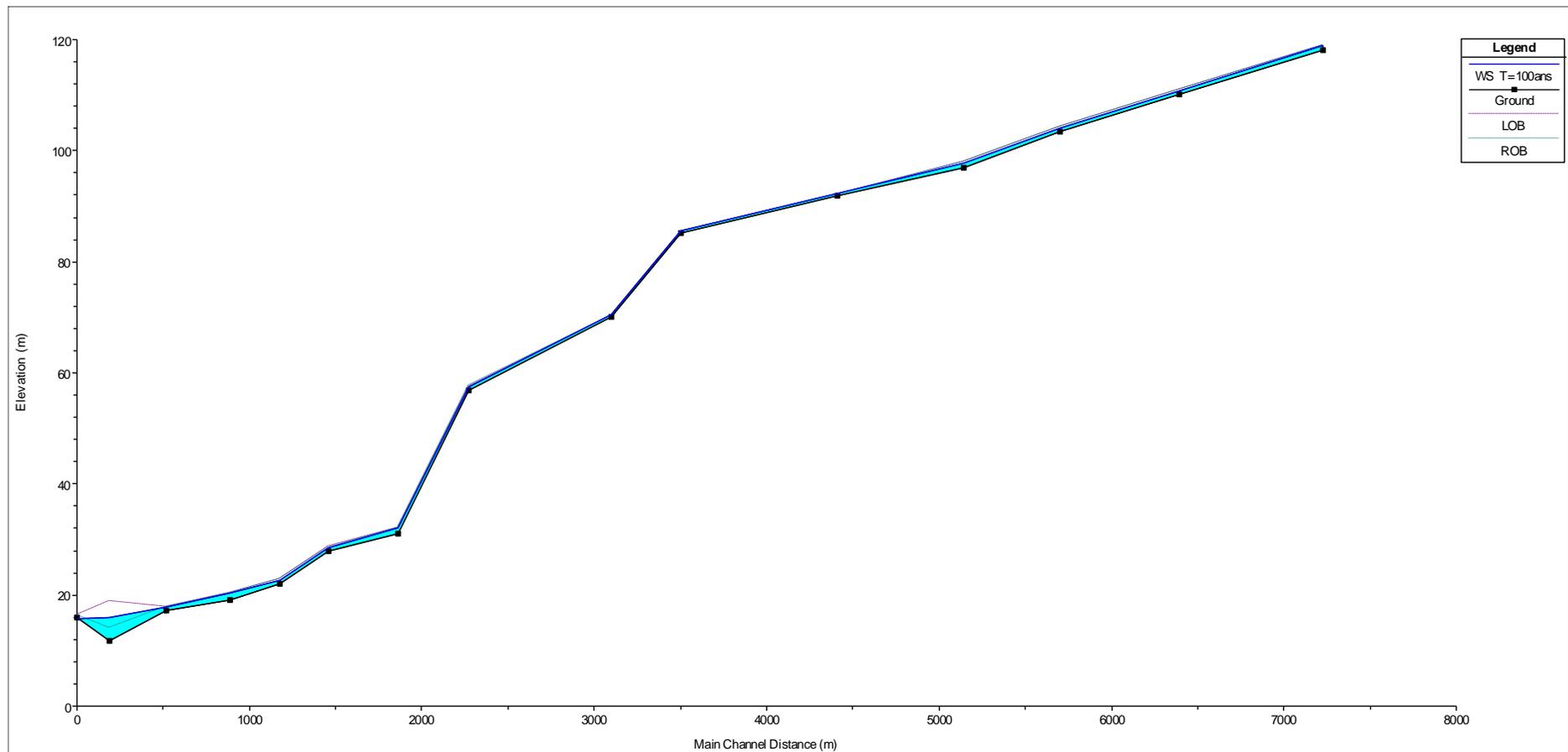


Figure IV.7 : Profil du plan d'eau d'Oued Gergoure au passage de la crue de projet

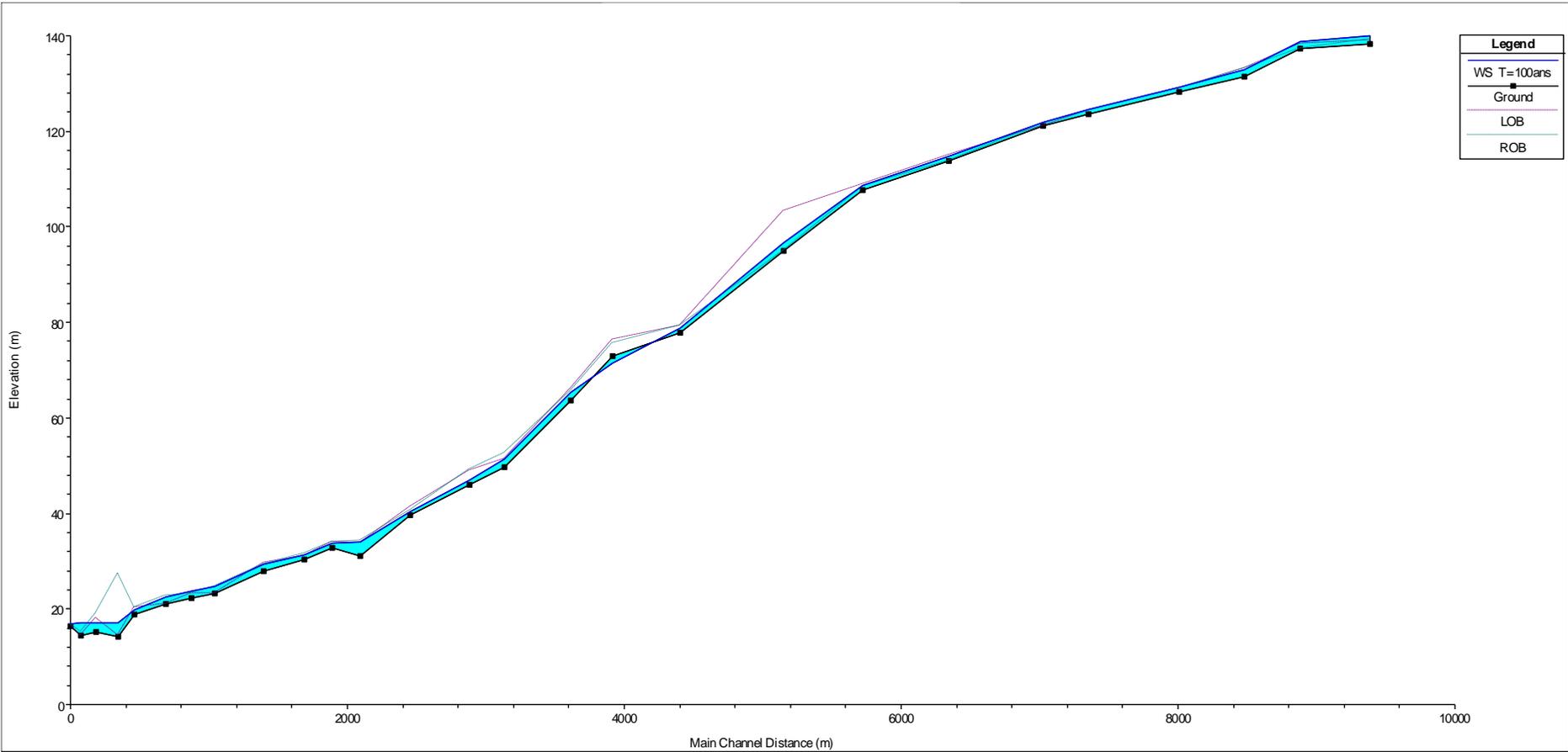


Figure IV.8 : Profil du plan d'eau d'Oued Bridja au passage de la crue de projet

Une autre option graphique intéressante est accessible via le bouton « View Cross sections » ou bien voir les profils en travers

Les figures suivantes montrent les différents profils en travers des tronçons pour chaque Oued :

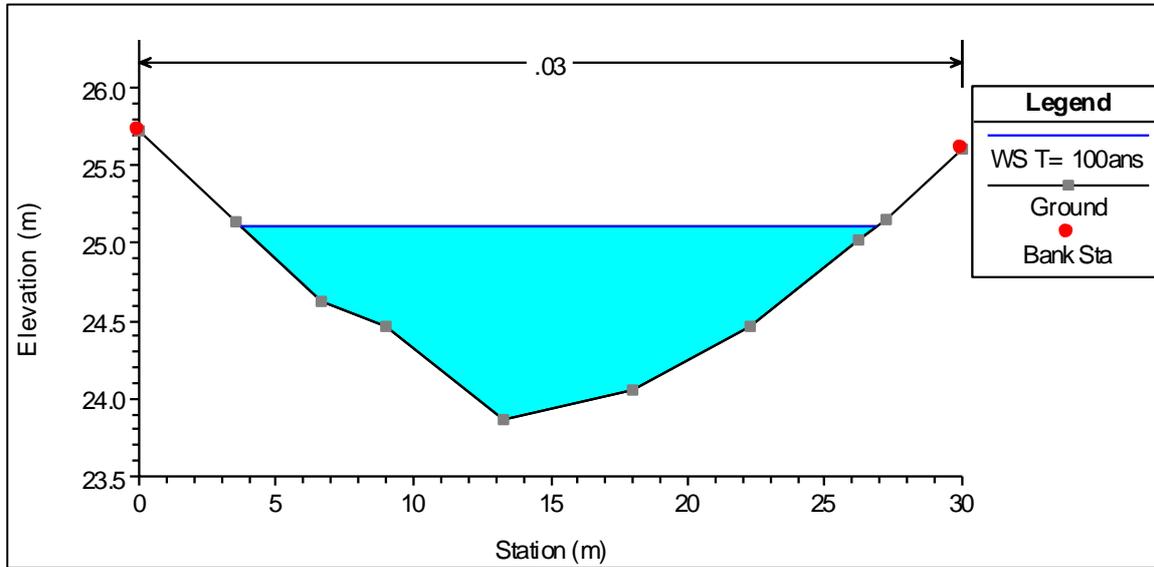


Figure IV.9 : Profil en travers d'un tronçon d'oued Gergoure

La figure suivante illustre la section mouillée d'une section en travers de oued Bridja

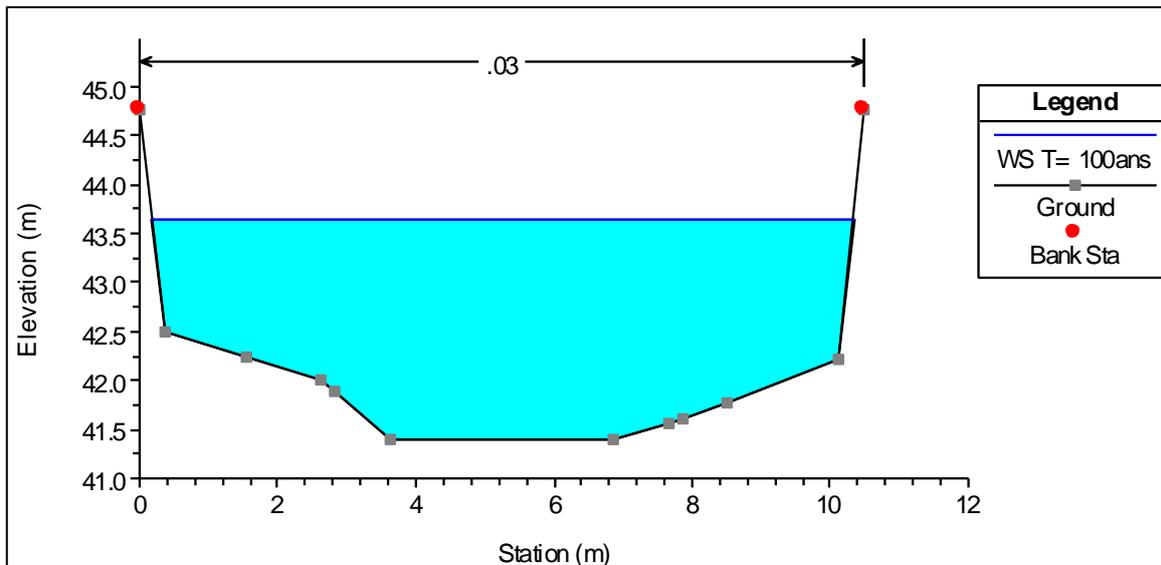


Figure IV.10 : Profil en travers du tronçon d'oued Bridja

La figure suivante, montre une section d'écoulement de oued Palm Beach , on voit le débordement quand le plan d'eau dépasse les limite de la section en travers.

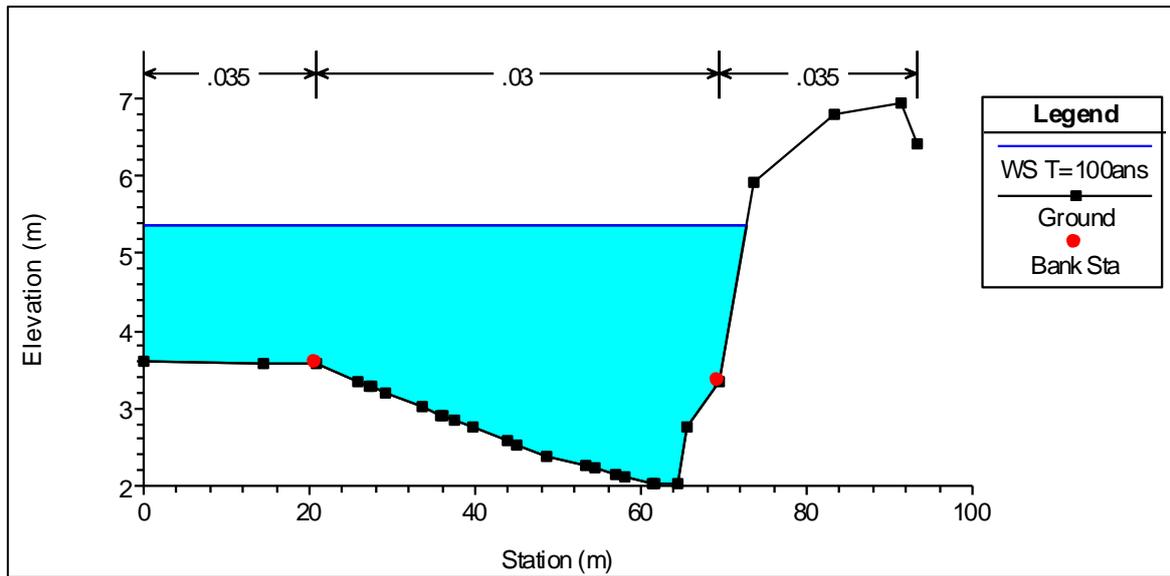


Figure IV.11 : Profil en travers d'un tronçon d'oued Palm Beach

Il y a également d'autres options qui permettent d'afficher les résultats des vitesses d'écoulement pour chaque tronçon montrant La figure suivante :

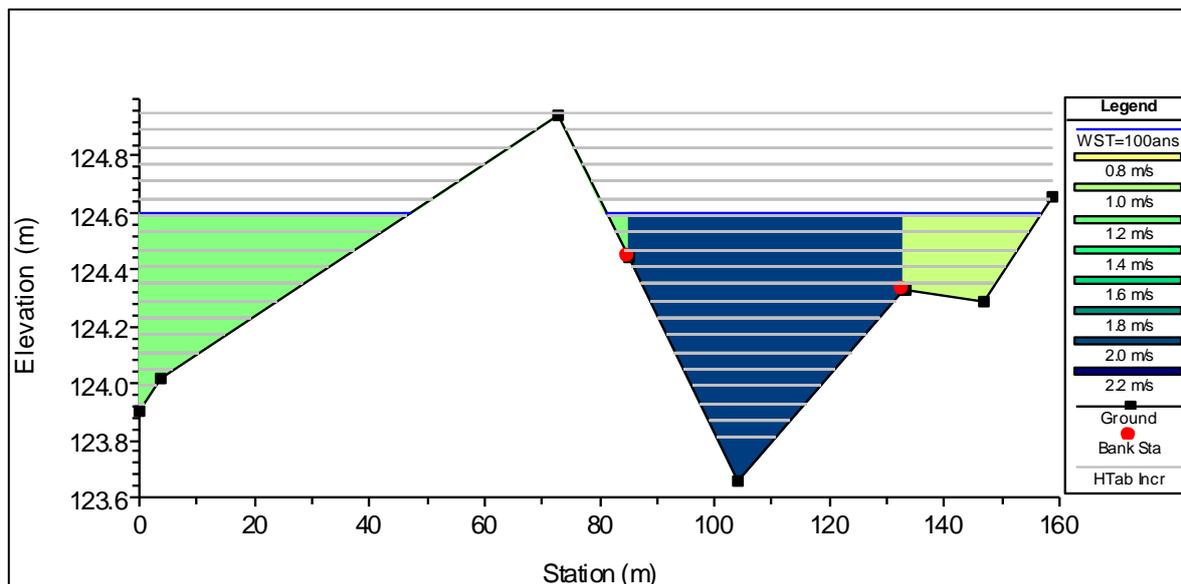


Figure IV.12 : Profil des vitesses du tronçon d'oued Gergoure

Les détails et résultats de la simulation sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.4 :** Synthèses des résultats de simulation du modèle hydraulique des oueds de l'étude.

Chapitre IV

Etude des écoulements

Oued	station	Q Total	Cote Fond oued	N.L eau	H critique	N.L énergie	Pente L.e	Vitesse	S. mouillé	L. miroir	N.Froude
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
palm b	1035.68	126.1	17.39	19.51	18.78	19.6	0.001086	1.31	96.55	77.44	0.37
palm b	924.36	126.1	17.07	18.83	18.83	19.29	0.009327	3.02	41.77	45.84	1.01
palm b	821.19	126.1	12.29	13.9	13.9	14.38	0.009088	3.05	41.36	43.88	1
palm b	709.29	126.1	7.86	9.42	8.83	9.54	0.001466	1.52	83.12	62.77	0.42
palm b	603.06	126.1	8.06	8.93	8.93	9.18	0.012084	2.32	59.01	114.5	1.04
palm b	442.76	126.1	3.52	5.26	5.02	5.51	0.00482	2.22	56.75	58.57	0.72
palm b	356.82	126.1	2.03	5.37	3.59	5.41	0.000164	0.82	170.3	72.84	0.16
palm b	211.06	126.1	3.67	4.93	4.93	5.3	0.010158	2.68	47.1	64.94	1
palm b	102.76	126.1	0.33	2.22	2.06	2.61	0.005577	2.74	46.08	39.5	0.81
palm b	0	126.1	0.13	1.52	1.52	1.78	0.011344	2.23	56.52	111.35	1
gergoure	7229.42	44.8	118.14	118.93	118.93	119.18	0.011198	2.2	20.33	41.11	1
gergoure	6394.97	44.8	110.06	110.87	110.81	111.06	0.008185	1.9	23.53	46.88	0.86
gergoure	5702.47	44.8	103.41	104.16	104.16	104.41	0.011394	2.21	20.31	41.56	1.01
gergoure	5144.1	44.8	96.93	97.83	97.83	98.08	0.011128	2.22	20.2	40.25	1
gergoure	4409.86	44.8	91.82	92.23	92.11	92.3	0.004866	0.98	38.41	97.13	0.6
gergoure	3504.2	44.8	85.07	85.65	85.65	85.82	0.011513	1.85	25.53	76.47	0.97
gergoure	3095.86	44.8	70	70.47	70.47	70.66	0.011957	2.04	23.63	63.15	1.01
gergoure	2269.42	44.8	56.76	57.51	57.51	57.75	0.011476	2.18	20.53	42.93	1.01
gergoure	1859.45	44.8	31.07	32.06	31.96	32.23	0.006537	1.81	24.78	45.07	0.78
gergoure	1455.84	44.8	27.84	28.58	28.58	28.86	0.010923	2.36	18.99	33.98	1.01
gergoure	1173.15	44.8	21.97	22.73	22.73	22.98	0.011252	2.24	19.97	39.48	1.01
gergoure	887.41	44.8	19.11	20.28	20.05	20.41	0.003903	1.57	28.56	43.61	0.62
gergoure	516.71	44.8	17.17	17.83	17.83	18.05	0.01202	2.05	21.83	51.84	1.01
gergoure	186.45	44.8	11.7	15.99	12.28	15.99	0.000002	0.57	442.58	139.78	0.22
gergoure	0	44.8	15.89	15.65	15.65	15.96	0.014931	0.61	18.16	29.72	0.25
bridja	9386.11	79.5	138.39	139.94	139.34	139.98	0.000738	1.05	94.91	126.92	0.3

## Chapitre IV

## Etude des écoulements

bridja	8885.29	79.5	137.43	138.75	138.75	139.03	0.011244	2.31	34.39	63.19	1
bridja	8481.12	79.5	131.45	132.8	132.8	133.12	0.009647	2.52	32.19	52.71	0.98
bridja	8012.49	79.5	128.29	129.12	129.06	129.28	0.006225	1.86	47.58	112.45	0.77
bridja	7355.16	79.5	123.66	124.6	124.57	124.77	0.007616	2.03	48.84	122.94	0.85
bridja	7022.91	79.5	121.09	121.77	121.74	121.9	0.009798	1.56	51	156.32	0.87
bridja	6341.62	79.5	113.78	114.67	114.65	114.85	0.010932	1.87	42.57	107.64	0.95
bridja	5723.85	79.5	107.59	108.58	108.58	108.77	0.008906	2.14	43.82	131.57	0.91
bridja	5151.54	79.5	94.85	96.79	96.79	97.28	0.009865	3.1	25.64	26.27	1
bridja	4405.2	79.5	77.86	78.89	78.89	79.21	0.010626	2.49	31.94	51.74	1.01
bridja	3609.45	79.5	63.65	65.28	65.28	65.62	0.008109	2.64	32.77	50.23	0.93
bridja	3133.13	79.5	49.68	51.35	51.35	51.77	0.009424	2.88	27.62	32.62	1
bridja	2884.21	79.5	46.01	47.02	47.02	47.41	0.009941	2.74	28.99	38.48	1.01
bridja	2457.66	79.5	39.55	40.41	40.41	40.7	0.010724	2.41	33	56.54	1.01
bridja	2088.67	79.5	31.11	34	32.22	34	0.00009	0.39	205.26	151.53	0.11
bridja	1891.84	79.5	32.88	33.66	33.66	33.92	0.011281	2.26	35.23	69.19	1.01
bridja	1688.96	79.5	30.27	31.39	31.23	31.5	0.004482	1.49	53.27	97.01	0.64
bridja	1397.73	79.5	27.89	29.27	29.27	29.6	0.010183	2.55	31.16	47.08	1
bridja	1039.71	79.5	23.35	24.68	24.68	25.02	0.010539	2.58	30.84	45.81	1
bridja	872.41	79.5	22.37	23.73	22.56	23.89	0.003015	1.79	45.19	50.95	0.58
bridja	692.6	79.5	21.14	22.56	22.56	22.96	0.010275	2.78	28.59	36.83	1.01
bridja	465.35	79.5	18.78	19.88	19.88	20.21	0.01033	2.56	31	47	1.01
bridja	342.68	79.5	14.17	17.11	15.49	17.14	0.000211	0.79	101.04	45.33	0.17
bridja	182.39	79.5	15.14	17.03	17.03	17.08	0.000625	1.07	79.29	56.65	0.28
bridja	77.79	79.5	14.32	17.05	17.01	17.05	0.000046	0.39	213	103.35	0.21
bridja	0	79.5	16.4	16.77	16.77	17.02	0.011494	1.37	37.87	78.77	0.9

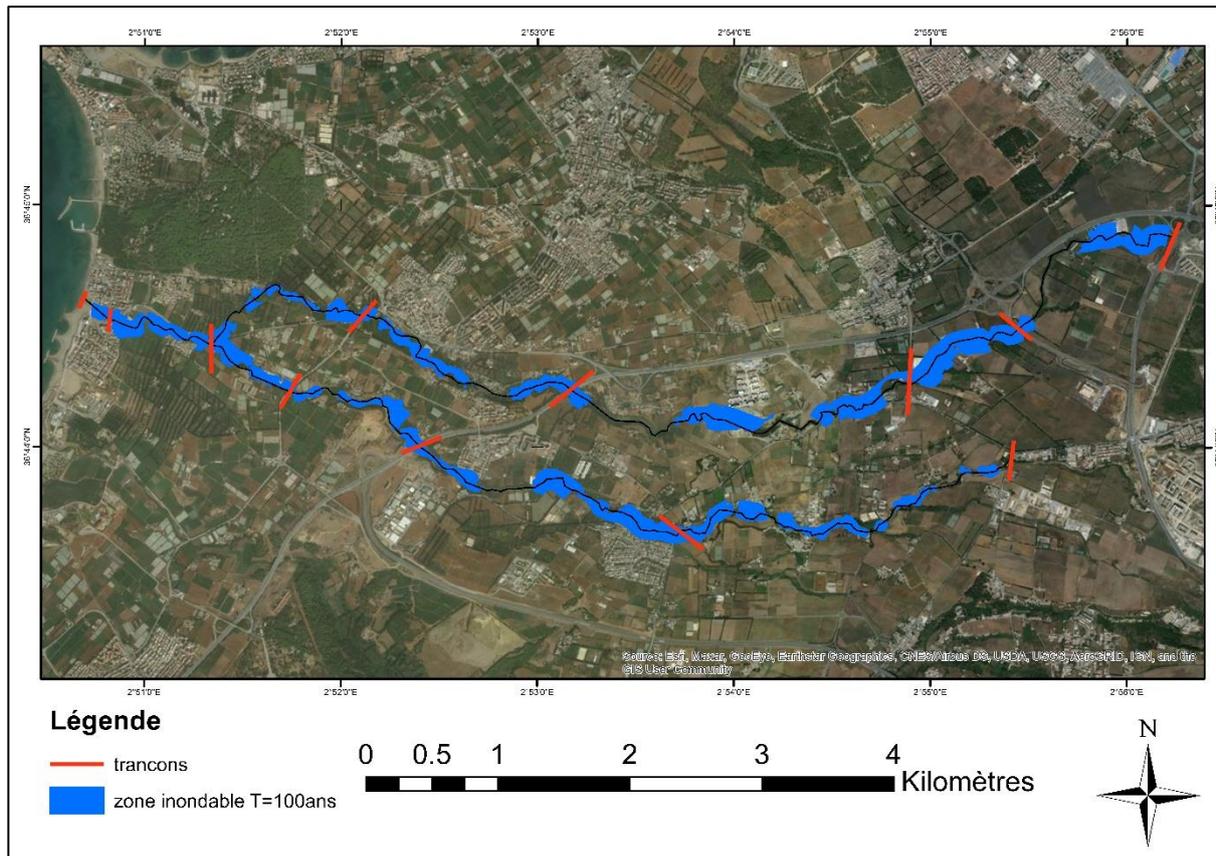
#### II.4 Discussion des résultats :

On remarque que l'oued Palm Beach déborde presque tout le long de son parcours à côté de la ville et les hôtels et les endroits touristiques, et on remarque que ce débordement et plus en amont sur le point de rencontre des oueds et la partie aval sinueuse aussi, qui nécessite un redimensionnement du tronçon P1 et l'aménagement de tronçon P2 et mettre en place un ouvrage de confluence des trois oueds.

On constate que les autres tronçons d'oued Bridja et Gergoure n'ont pas la capacité de permettre le passage de la crue centennale sauf dans quelques zones en Aval des tronçons B3 et B5 et une partie des tronçons G3 et G4, et on remarque des débordements dans les deux rives de tronçon G3 qui ont mis l'hôpital militaire et une partie de la ville de Belota en risque d'inondation. On remarque que le nombre de Froude des sections d'écoulement est assez faible et le régime fluvial domine le long de nos oueds, et les vitesses d'écoulement varient entre 0.68 à 3.05 (m/s). Ce qui ne favorise pas un curage du fond de l'oued lors des crues, ce qui provoquera des dépôts vu le type du sol sablo-argilo, alors on peut dire que notre bassin versant est un bassin productif de sédiment, et cette accumulation causera la surélévation du fond et d'accentuation des débordements avec le temps, ce qui nécessite des études particulièrement affinées de transport solide, ou bien un curage périodique des cours d'eaux.

#### III. La Délimitation Des Zones Inondables :

Notre objectif dans ce chapitre est la délimitation des zones inondables et sur la base des résultats de la simulation précédente et en utilisant l'application RAS-Mapper intégré dans HEC-RAS version 5.07, on a créé une carte des zones inondables de la commune de Staoueli pour un débit de Crue centennale comme le montre la figure suivante :



**Figure IV.13 : la carte des zones inondables**

Cette carte peut être dynamique, intégrant d'autres débits de crues et permet aussi d'ajouter d'autres ouvrages en travers du cheminement des Oueds, ceci un outil majeur dans l'aménagement urbain.

Pour la carte en grand format voir l'annexe N :01

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre on a étudié les écoulements dans les cours d'eaux Bridja et Gergoure et Palm Beach non aménagés en utilisant un Modèle hydrodynamique HEC-RAS pour une crue d'une période de retour centennale, et d'après les résultats obtenus on a mis en place une carte des zones inondables du secteur de Staoueli, cela nous permettra de désigner les tronçons à risque en vue de leurs aménagement

La prochaine étape sera l'aménagement des tronçons d'oueds sélectionnés et le dimensionnement des ouvrages de protection pour ces zones-là .

## **Chapitre V :**

### **Etude des variantes d'aménagement**

**Introduction :**

Le but de cette étude, est de bien protéger la zone ouest de la ville de Staoueli contre les inondations, et sur la base des résultats obtenus à partir des chapitres précédents, des différentes variantes d'aménagements seront exposées pour les cours d'eaux Bridja et Gergoure et Palm Beach afin d'assurer une protection régulière contre les crues.

**I. Ecoulement Dans Les Canaux A Ciel Ouvert :****I.1 Généralités :**

On appelle canal, un système de transport dans lequel l'eau s'écoule dans une section ouverte et dont la surface libre est soumise à une pression atmosphérique (Chow, 1959)

On distingue deux catégories de canaux :

- Canaux naturels : c'est les canaux qu'on trouve dans la nature que ce soit sur ou sous terre avec des forme irrégulière comme les fleuves, rivières...etc.
- Canaux Artificiels : ce sont les canaux réalisés où fabriqués par l'homme.

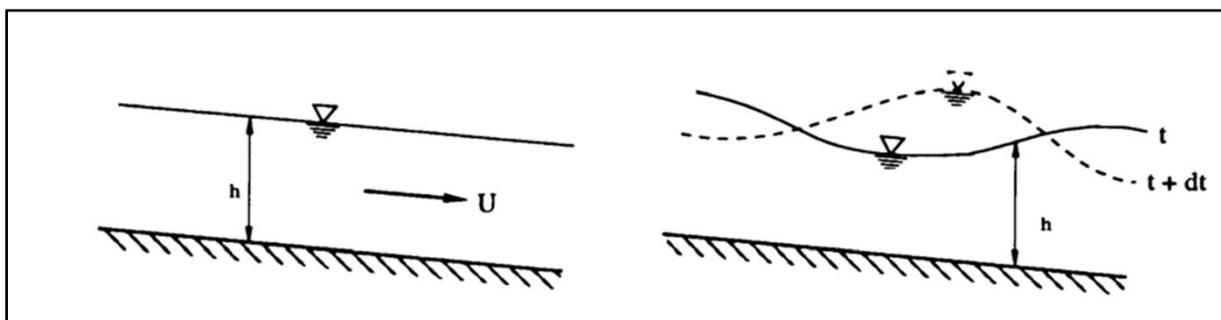
**I.2 Types d'écoulement :**

On peut définir les écoulements suivants la variabilité de caractéristiques hydrauliques tels que le tirant d'eau et la vitesse en fonction du temps et l'espace

- **Variabilité dans le temps**

L'écoulement est permanent (ou stationnaire) si la vitesse « $V$ » et la profondeur « $h$ » et d'autres caractéristiques de l'écoulement restent invariables dans le temps en grandeur et en direction. Dans le cas contraire l'écoulement est non permanent (non-stationnaire). (Chow, 1959)

La figure suivante représente un schéma des écoulements permanent et non permanents :



**Figure V.1** : schéma des écoulements permanent et non permanents

• **Variabilité dans l'espace**

L'écoulement est dit uniforme si les propriétés de l'écoulement restent invariables dans les diverses sections du canal. Ce qui convient à dire que la ligne de la pente du canal est parallèle à la surface libre de l'eau.

Alors l'écoulement est non-uniforme ou « varié » si les paramètres caractérisant l'écoulement changent d'une section à l'autre et la pente de la surface libre diffère de celle du fond.

Un écoulement non-uniforme peut être graduellement varié accéléré ou décéléré suivant que la vitesse croît ou décroît dans le sens du mouvement, ou bien peut être rapidement varié ou les paramètres caractérisant l'écoulement changent brusquement. (Chow, 1959)

La figure suivante représente un schéma des écoulements uniforme et non-uniforme :

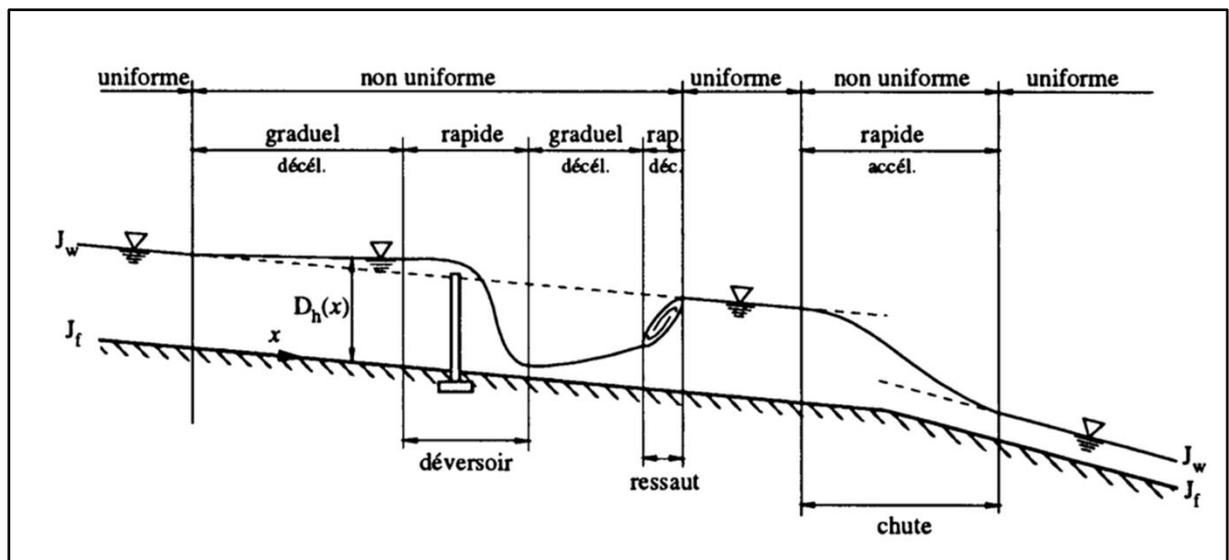


Figure V.2 : schéma des écoulements uniforme et non-uniforme

(W.H. Graf, Hydraulique Fluviale)

**I.3 Régime d'écoulement :**

L'écoulement d'un fluide réel dans un canal à surface libre engendre les forces d'inertie, de gravité et de frottement (viscosité et rugosité).

Les équations réduites du mouvement font intervenir des coefficients ou des nombres adimensionnels qui définissent les différents régimes d'écoulement

• Le Nombre de Reynolds :

C'est le rapport des forces de frottements et les forces d'inerties et qui permet le classement des écoulements comme suit :

- Ecoulement laminaire  $Re < 500$ .
- Ecoulement turbulent  $Re > 500$  à  $600$

- Le Nombre de Froude :

C'est le rapport entre les forces de pesanteur et les forces d'inerties. Et qui permet le classement des écoulements comme suit :

- Ecoulement fluvial  $Fr < 1$
- Ecoulement torrentiel  $Fr > 1$
- Ecoulement critique  $Fr = 1$

Par conséquent, la combinaison des nombres de Reynolds et Froude donne quatre régimes d'écoulement :

- Ecoulement fluvial laminaire  $Fr < 1$  et  $Re < 500$
- Ecoulement fluvial turbulent  $Fr < 1$  et  $Re > 500$  à  $600$
- Ecoulement torrentiel laminaire  $Fr > 1$  et  $Re < 500$
- Ecoulement torrentiel turbulent  $Fr > 1$  et  $Re > 500$  à  $600$

#### **I.4 Dimensionnement des Canaux :**

Pour un écoulement à surface libre lentement varié on peut admettre que le régime est uniforme sachant que pour un écoulement turbulent les formules les plus usuelles sont : (Chow, 1959)

- **La formule de Chézy :**

La formule de Chézy est de la forme :

$$V = C\sqrt{R_h \cdot I} \dots (V.1)$$

En remplaçant la formule précédente dans la loi de continuité citée ci-après :

$$Q = V \cdot S \dots (V.2)$$

Avec :

- C : coefficient de Chézy ( $m^{0.5}/s$ ) ;
- S : section mouille ( $m^2$ ) ;
- $R_h$  : rayon hydraulique,  $R_h = S/P$  (m);
- I : pente de fond du canal (mm/mm) ;

- **La formule de MANNING-STRICKLER :**

C'est la formule la plus utilisé, appelée en bref la formule de Manning-Strickler

$$Q = K \cdot S \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \dots (V.3)$$

Avec :

$K = 1/n$  : coefficient de rugosité de STRICKLER, dépend de la nature du matériau du canal

N : Coefficient de rugosité de Manning.

Dans notre dimensionnement, on utilisera la formule de MANNING-STRICKLER

## II. Les techniques d'aménagements :

Les aménagements de protection contre les inondations sont des ouvrages qui permettent d'annuler les débordements à proximité des enjeux (humains, économiques, etc...).

Pour toute protection contre les problèmes d'inondation lors des passages des crues, deux solutions de protections sont envisagées, protection dites directes et indirectes, selon le type de problème à traiter :

### II.1 La protection indirecte :

La protection indirecte, consiste à intervenir plus loin du site menacé en aménageant un ouvrage de dérivation des oueds responsables des inondations, vers d'autres bassins, situés à l'extérieur de la zone à protéger.

### II.2 La protection directe :

La protection directe consiste à intervenir directement sur les sites menacés, en y aménageant des ouvrages de protections appropriés, qui peuvent atténuer d'une manière significative les effets néfastes des crues, il existe plusieurs techniques d'aménagement on peut citer :

- **Recalibrage du cours d'eau :**

Il s'agit de modifier la géométrie du lit du cours d'eau (abaissement de la ligne de fond, augmentation de la section en travers) dans l'objectif prioritaire d'augmenter la capacité hydraulique du tronçon.

- **Endiguement du cours d'eau :**

L'endiguement est l'augmentation de la hauteur des berges pour éviter le débordement des eaux, et pour préserver le maximum d'espace pour l'agriculture et l'urbanisation, Les digues vont permettre au cours d'eau d'accepter un débit supérieur à celui de plein bord sans qu'il y ait débordement.

- **Reboisement et les techniques végétales :**

Le processus de reboisement est basé sur la nature du sol et la qualité de la plante efficace et le type de climat, elle consiste à protéger les berges par l'action stabilisatrice du couvert végétal, en réduisant l'érosion et donc en diminuant la quantité de sédiments entraînés dans l'eau, ce qui aura pour effet d'améliorer la qualité de l'eau.

• **Lit artificiel « Canal bétonne – Enrochement – Gabionnage - Matelas Reno » :**

C'est la protection des berges et le lit de l'oued quel que soit en béton armé ou en blocks des roches ou Gabion, ces méthodes sont les plus couteuses et très fréquent dans les zones urbaines Selon l'adaptabilité aux conditions du terrain aussi bien topographique que géologique.

**III. Proposition des variantes d'aménagements :**

Selon les résultats du chapitre précédent le tableau suivant résume l'état les tronçons et la description des zones inondables d'oueds Palm-Beach et Gergoure et Bridja :

**Tableau V.1** : description des tronçons des oueds

Oueds	Tançons	zone	Zone inondable	Etat actuel	Pente moy
Palm Beach	P1	touristique	Total	Aménagé gabion	0.013
Palm Beach	P2	urbanisé	total	No aménage	0.021
Bridja	B1	agricole	total	No aménage	0.0072
Bridja	B2	urbanisé	Amon -aval	No aménage	0.019
Bridja	B3	Agricole	Amon – centre	No aménage	0.015
Bridja	B4	agricole	total	No aménage	0.0066
Bridja	B5	Agricole	amont	No aménage	0.0073
Gergoure	G1	agricole	total	No aménage	0.005
Gergoure	G2	agricole	total	No aménage	0.024
Gergoure	G3	urbanisé	Amon-aval	No aménage	0.013
Gergoure	G4	Agricole	Aval - centre	No aménage	0.0096

Dans cette étude, trois variantes seront proposées pour l'aménagement des cours d'eaux, il faut que les variantes proposées, soient réalisables du point de vue technico-économique, et qu'elles soient, bien adaptées avec la topographie de terrain et l'urbanisation et l'implantation d'activité dans la zone.

### III.1 Variante N°01 : Canal en Dur « Bétonnage »

La première variante proposée consiste à la projection d'un canal trapézoïdal en béton armé, avec un fruit de talus de  $m = 0.577$  « La section la plus avantageuse » et pour la facilité technique de la réalisation d'un angle de  $60^\circ$  sur terrain.

L'aménagement des canaux en béton armés est caractérisé par :

- **Les Avantages :**

- Une durée de vie importante.
- Une facilité de nettoyage et de curage
- Les matériaux de construction sont disponibles.
- Les formes sont adaptées à la ville et l'urbanisation

- **Les Inconvénients :**

- Un cout de génie civil élevé.
- Mauvaise adaptabilité a la partie où la vitesse d'écoulement et la pente des berges sont rapides
- Une faible rugosité de surface
- La fissuration du revêtement due au tassement des remblais
- Mauvaise à la diversité écologique et l'autoépuration du cours d'eau
- Limite l'interaction et l'échange entre la nappe et le cours d'eau.

### III.2 Variante N°02 : Canal en gabion

La deuxième variante correspond à la projection d'un canal gabion en escalier avec un fond en matelas Reno.

Les gabions sont des structures parallélépipédiques formées de cages grillagées en fil de fer et emplies de Cailloux ou de galets, les dimensions de ces cages sont (1x1x1) m, et le diamètre des roches varie entre de 10 à 40 cm, ces derniers conviennent plus au protection des berges des cours d'eau et l'édification des murs de soutènement pour protéger contre l'érosion les flancs de coteaux.

Dans notre cas nous allons utiliser les gabions de 100-200 mm de diamètre ( $d_{50}=150\text{mm}$ ), et un fond en Matelas Reno de diamètre médiane ( $d_{50}=125\text{mm}$ ), le coefficient de rugosité  $n$ , est de l'ordre de  $0.035 (s/m^{1/3})$ , alors on aura  $K_S=28.57m^{1/3}/s$ .

Le tableau suivant représente les différentes tailles des roches pour le Matelas Reno et le Gabion :

**Tableau V.2** : les différentes tailles des roches pour le Matelas Reno et le Gabion

Type	Thickness ( m )	Filling Stones ( mm )	
		stone size	d <sub>50</sub>
Reno Mattress	0.15 - 0.17	70 - 100	85
		70 - 150	110
	0.23 - 0.25	70 - 100	85
		70 - 150	120
	0.30	70 - 120	100
		100 - 150	125
Gabions	0.50	100 - 200	150
		120 - 250	190

D.B.Simms, Reno,1983

L'aménagement des canaux en Gabion est caractérisé par :

- **Les Avantages :**
  - Courte durée d'exécution grâce à la simplicité des travaux et la réalisation indépendante
  - Les gabions coutent peu surtout si les pierres sont disponibles.
  - Ils permettent de réduire la vitesse des courants grâce à leurs perméabilités.
  - meilleure intégration à l'environnement et l'écologie
  - Excellente adaptabilité à la partie ou la vitesse est rapide et grande pentes
  - Ils sont flexibles et permettent donc à l'ouvrage de se contracter et de se détendre
- **Les inconvénients :**
  - Le Curage de l'ouvrage est difficile
  - Il demande une main d'œuvres qualifiés pour sa bonne exécution.
  - Les extrémités de l'ouvrage sont des points sensibles, en cas l'eau arrive à passer d'arrière les blocs, ce qui menacé la stabilité de l'ouvrage et favorise l'érosion

### III.3 Variante N°03 : Canal non revêtu

La troisième variante correspond à l'élargissement et le Recalibrage du cours d'eaux avec berges et fond non revêtus en forme d'un canal trapézoïdale, le fait de talus et choisi selon le type de sol, et si le fond du chenal ou les berges sont érodables, les dimensionnements soient choisies de telle sorte à garantir une stabilité des grains.

Le tableau suivant donne un ordre de grandeur des fruits des talus utilisés selon (USBR) :

**Tableau V.3** : Ordre de grandeur des fruits des talus selon « USBR » :

Matériaux	Fruit des talus
Roche	Presque vertical
Roche fissurée, maçonnerie sèche	1/2
Argile	1/2 à 1/1
Sol Ferme, alluvions compactes	1/1
Gros cailloux	3/2
Sol sableux lâche	2/1
Sol Sableux limoneux, terre remaniée	3/1

(USBR)

Les canaux en Gabion sont caractérisés par :

- **Les Avantages :**
  - Une facilité d'exécution des travaux de réalisations
  - Un cout faible par rapport aux autres types d'aménagements
  - Préserver l'équilibre écologique et favorise la diversité de la faune et la flore
  - Souplesse et stabilité dynamique croissante en fonction du développement des plantes.
  - Aménagement plus approprié aux zones agricoles et zones rurales.
- **Les inconvénients :**
  - Le risque d'érosion et le glissement des talus
  - Une durée de vie moins importante
  - Ils nécessitent peu d'entretien périodique.
  - Nécessitent un compactage parfait lors de la réalisation

#### IV le choix de la variante d'aménagement :

Selon les avantages et les inconvénients de chaque variante, et en basant sur le calcul hydraulique primaire fait à l'aide de logiciel « canal21 », le tableau suivant représente les résultats des hauteurs des canaux selon les différentes variables, et selon les largeurs des fonds tirées à partir de levé topographique pour chaque tronçon

**Tableau V.4 :** calculs primaires des hauteurs des canaux

				Fruit de talus			m=0.57	m=3
				Coefficient de Strickler		ks=28.57	ks=75	ks =35
				Type d'aménagement		Gabion	béton	Terre
débit	oueds	tronçon	pente	largeur TN	b	H	H	H
126	Palm Beach	P1	0.013	15	10	3.38	5.42	2.88
	Palm Beach	P2	0.021	20	10	3.50	6.71	3.70
79.5	Bridja	B1	0.0072	20	15	2.38	2.51	1.83
	Bridja	B2	0.019	25	15	1.56	3.62	2.10
	Bridja	B3	0.015	27	15	2.03	3.27	2.10
	Bridja	B4	0.0066	23	15	2.08	2.45	2.02
	Bridja	B5	0.0073	22	12	2.34	2.90	2.04
44.8	Gergoure	G1	0.005	25	15	1.50	1.55	1.34
	Gergoure	G2	0.024	20	10	1.84	3.48	1.8
	Gergoure	G3	0.013	25	15	1.39	2.02	1.40
	Gergoure	G4	0.0096	20	10	1.78	2.38	1.57

Selon les résultats du tableau, on remarque que la variante en béton armée donne des grands valeurs des hauteurs, sur tout dans les tronçons en fort pente comme « P1, P2, B3 et G2 », ce qui elle rend la variante la plus cher entre les trois.

Et pour préciser ça, on a fait une comparaison quantitative et estimative entre les variantes N01 et N02, à partir des quantités des terrassements et des volumes du béton et gabions calculés par HECRAS, pour l'aménagement des zones urbains, les résultats sont dans le tableau suivant :

**Tableau V.5 :** Estimation du coût de la variante N01 et N02 :

travaux		unité	quantité	prix unitaire (da)	Montant (da)
terrassement	déblais	m3	102408	400.00	40 963 200.00
	remblai	m3	130876	250.00	32 719 000.00
gabionnage		cage1x1x3	7644	7 000.00	53 508 000.00
Montant total					127 190 200.00
terrassement	déblais	m3	163291	400.00	65 316 400.00
	remblai	m3	115590	250.00	28 897 500.00
béton		m3	9325	32 000.00	298 400 000.00
Montant total					392 613 900.00

On remarque que la variante de béton armée cout trois fois plus cher que la variante en gabion. Mais comme le tronçon P1 est situer sur une zone touristique très urbaniser on a optée pour un canal rectangulaire couvert par une dalle en béton armes, pour éviter les mauvaises odeurs aux hôtels juste à côté et pour une meilleure apparence. La zone du tronçon P2 est une zone à urbaniser « AU » et peut être ouverte à l'urbanisation dans le future, alors on a optée pour

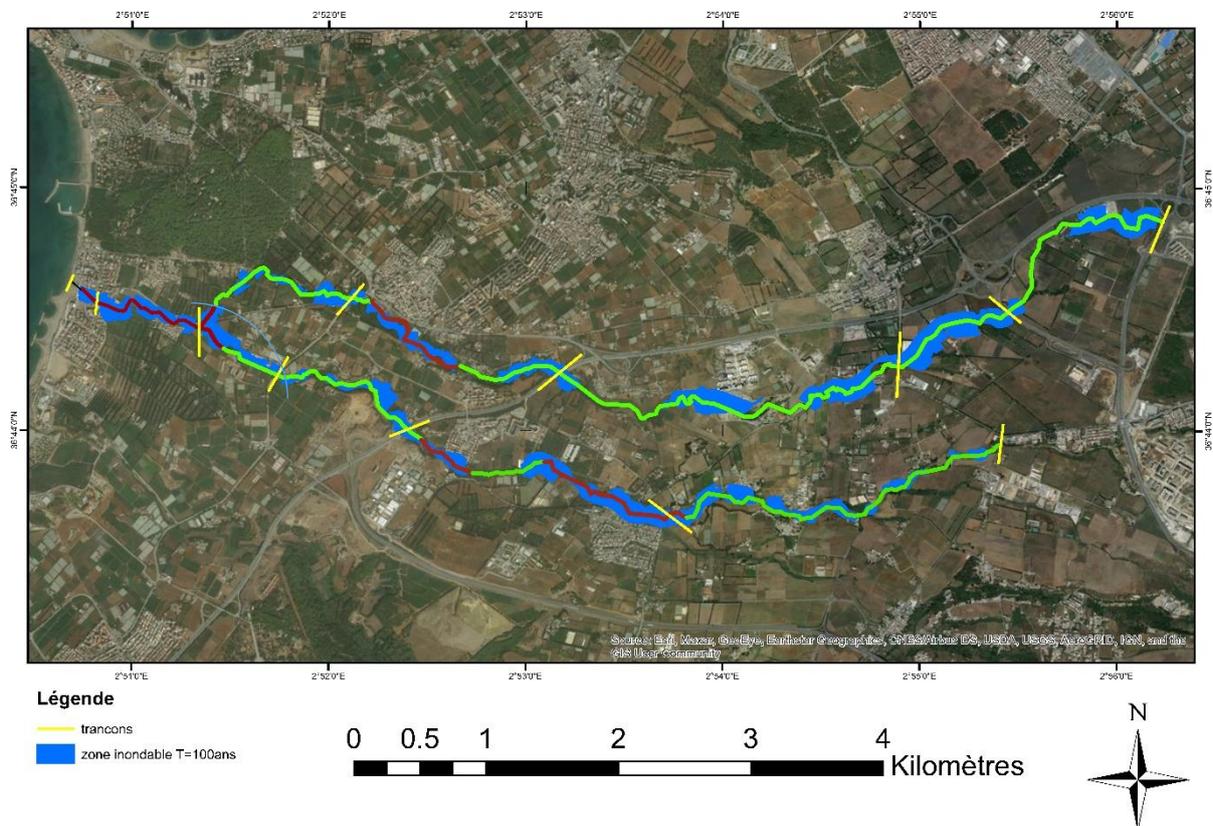
l'aménagement en gabion de ce tronçon P2 et même les parties aval d'oueds Guergour et Brida et le point de confluence, pour garantir la stabilité du canal, et éviter le passer d'eau d'arrière les blocs des gabions.

Pour oued Bridja on a optée a aménagée en Gabion une partie du tronçon B2 situé au limite sud de la vile de BRIDJA parallèle au route national N11, et on a proposé un canal en terre pour les autres tançons, pour que le problème ne déplace pas en aval en zones non inondables.

Et pour l'oued Gergoure on a proposé un canal en gabion pour le tronçon G3 en aval au côté sud de la cité « Khaiti Mohammed » et un autre en amont jusqu'à l'hôpital militaire, les autres tançons de l'oued on a proposé un canal en terre.

Donc pour résumer on a optée pour une variante mixte entre le gabionnage pour les zones urbanisée et un canal en terre pour les zones agricoles et les zones non inondables.

Et voici un plan détaillé qui représente les repartions de nos aménagements :



**Figure V.3** : plan d'aménagement des tronçons selon les variantes

Les zones à aménager sont représentées sur la planche N° :05

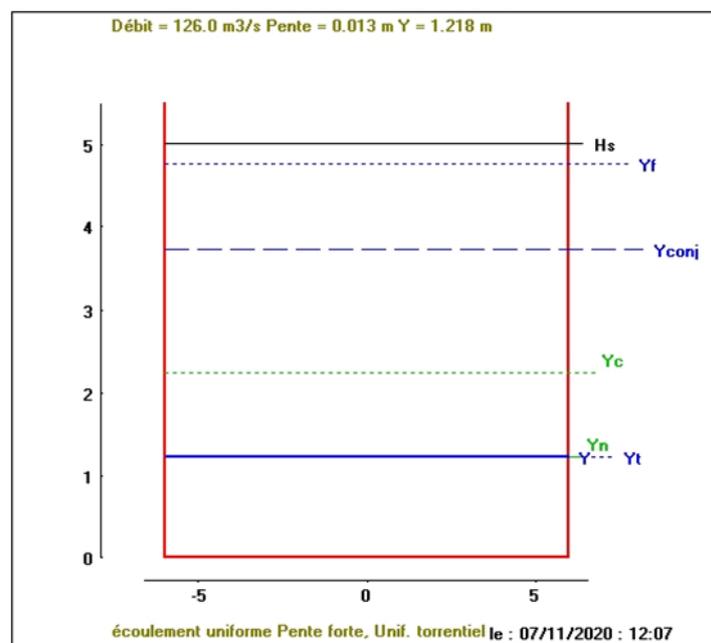
- **les tronçons en vert** représentent le Canal non revêtu rééquilibré.
- **les tronçons en marron** représentent le canal en gabion
- **la zone bleue** représente les zones inondables

Le choix de cet aménagement mixte s'est basé sur des critères technico-économiques, on a préféré garder les tronçons des zones non urbanisées en terre (non revêtus) avec possibilité de mettre une couverture végétale pour garantir la stabilité des talus. Le gabionnage est réservé pour les zones urbanisées, car un aménagement peu coûteux comparé au béton et favorise le drainage des berges, en plus ; les berges s'adaptent bien au gabionnage dans ce cas.

Voici les résultats finals de dimensionnement et les sections d'oueds Bridja et Gergoure et Palm Beach :

**Palm Beach** : voici les résultats pour les tronçons d'oued Palm Beach

**Tronçons P1** : canal rectangulaire couvert par une dalle en béton armé

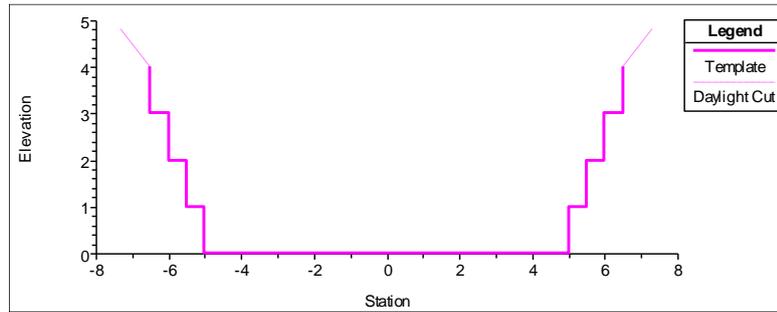


Donc les dimensions du canal sont :

- Largeur du fond :  $b = 10\text{ m}$  ;
- La pente : 0.013
- Hauteur du canal :  $H = 5\text{ m}$  ;
- H critique : 2.23 m
- Hauteur d'eau :  $h = 1.21\text{ m}$

**Tronçons P2 :** on a un seul type d'aménagement illustré dans la figure suivante

- **Gabion :**



**Figure V.4 :** profile en travers des tronçons P1 et P2 aménagés en gabion

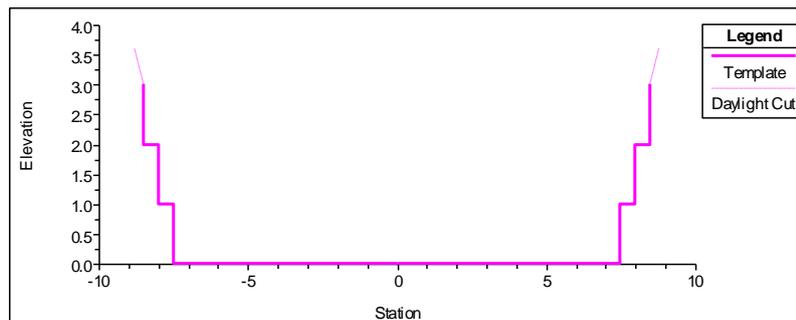
Donc les dimensions du canal sont :

- Largeur du fond :  $b = 10\text{m}$  ;
- La pente : 0.013
- Hauteur du canal :  $H = 4\text{ m}$  ;
- H critique : 3.52 m
- Hauteur d'eau :  $h = 3.38\text{ m}$

**Bridja :** voici les résultats pour les tronçons d'oued Bridja

**Tronçon B1 :** on a deux types d'aménagements illustré dans les figures suivantes

- **Gabion** « entre le point de confluence et la section 262m »



**Figure V.5 :** profile en travers du tronçon B1 aménagé en gabion

Les dimensions du canal sont :

- Largeur du fond :  $b = 15\text{m}$  ;
- La pente : 0.0072
- Hauteur du canal :  $H = 3\text{ m}$  ;
- H critique : 1.86 m
- Hauteur d'eau :  $h = 2.38\text{ m}$

- **Canal en terre** : « entre la section 262m et la section 1563m »

Les dimensions du canal trapézoïdal sont :

- Largeur du fond :  $b = 10\text{m}$  ;
- Fruit de talus :  $m = 3$
- La pente :  $0.0072$
- Hauteur du canal :  $H = 1.85\text{m}$  ;
- H critique :  $1.29\text{ m}$
- Hauteur d'eau :  $h = 1.336\text{ m}$

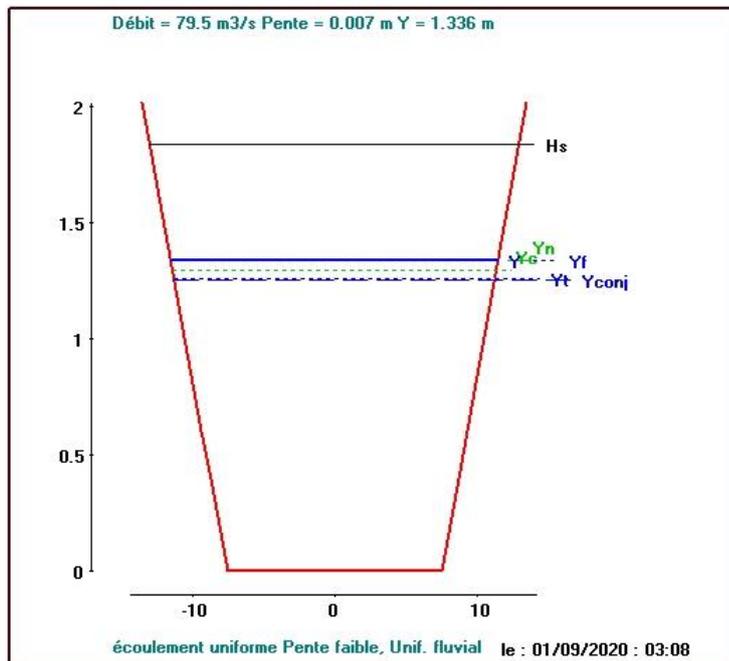


Figure V.6 : profile en travers du tronçon B1 aménagé en terre

**Gergoure** : voici les résultats pour les tronçons d'oued Guergour

**Tronçon G1** : on a deux types d'aménagements illustré dans les figures suivantes

- **Gabion** : « entre le point de confluence et la section 296m »

Les dimensions du canal sont :

- Largeur du fond :  $b = 15\text{m}$  ;
- La pente :  $0.005$
- Hauteur du canal :  $H = 3\text{ m}$  ;
- H critique :  $2.12\text{ m}$
- Hauteur d'eau :  $h = 2.22\text{ m}$

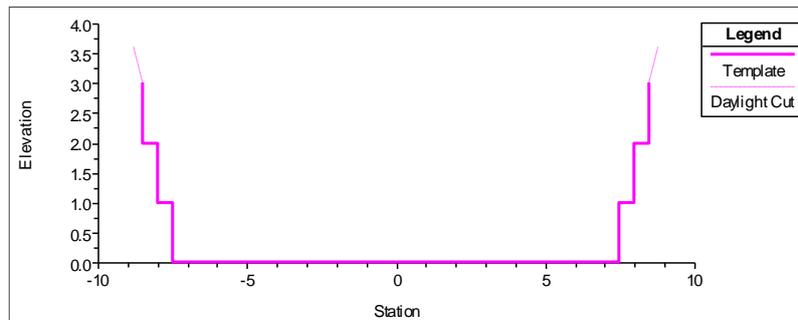


Figure V.7 : profile en travers du tronçon G1 aménagé en gabion

- **Canal en terre** : « entre la section 296m et la section 887m »

Les dimensions du canal trapézoïdal sont :

- Largeur du fond :  $b = 15\text{m}$  ;
- Fruit de talus :  $m = 3$
- La pente :  $0.005$
- Hauteur du canal :  $H = 1.4\text{m}$  ;
- H critique :  $0.90\text{ m}$
- Hauteur d'eau :  $h = 1.07\text{ m}$

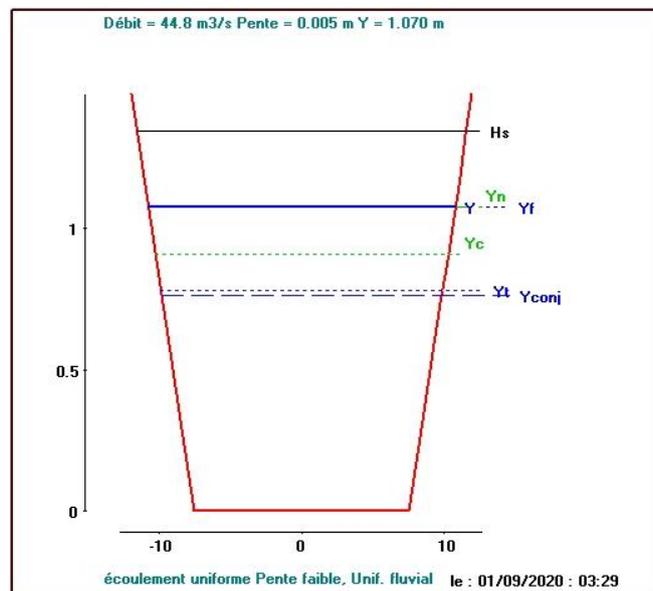


Figure V.8 : profile en travers du tronçon G1 aménagé en terre

Vous trouvez les profiles et les paramètres hydraulique des autres tronçons sur l'annexe N :02

Le calcul des paramètres d'écoulement et la simulation d'aménagement sera effectué à l'aide du logiciel HEC-RAS et les résultats de calcul se résument dans le tableau suivant et vous

trouver la version complet du tableau sur l'annexe N :03

**Tableau V.6** : Synthèses des résultats de simulation des aménagements des oueds de l'étude.

## Chapitre V

## Etude des variantes d'aménagement

Oued	station	Q Total	Cote F oued	N.L eau	H critique	N.L énergie	pente L é	Vitesse	S. mouillé	Froude	aménagement	contrainte fond	contrainte berge
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)			(N/m2)	(N/m2)
gergoure	7229.42	44.8	118.2	119.52	119.52	119.89	0.008297	2.98	15.02	1.01	Terre	10.46	8.19
gergoure	7090.35	44.8	115.9	116.95	117.03	117.49	0.010451	3.23	13.87	1.12	Terre	10.56	8.26
gergoure	4151.1	44.8	84.3	85.62	84.12	85.92	0.007179	2.42	18.48	0.72	Gabion	9.42	7.36
gergoure	4021.72	44.8	83.6	84.94	84.7	85.29	0.008843	2.59	17.3	0.8	Gabion	8.81	6.89
gergoure	3892.34	44.8	82.9	83.52	83.02	84.77	0.005435	2.22	20.18	0.63	Gabion	8.16	6.38
gergoure	3762.96	44.8	82.06	83.55	82.6	83.89	0.008751	2.58	17.36	0.79	Gabion	8.88	6.953
gergoure	3633.58	44.8	81.4	82.71	81.9	82.97	0.005592	2.24	20	0.64	Gabion	10.12	7.92
gergoure	3504.2	44.8	80.8	81.77	81.77	82.55	0.01422	3.08	14.55	1	Gabion	35.63	27.87
gergoure	3368.09	44.8	78.4	78.92	79.37	80.6	0.104852	5.73	7.82	2.53	Gabion	19.10	14.94
gergoure	3231.97	44.8	73.4	74.26	74.37	74.87	0.020701	3.46	12.93	1.19	Gabion	29.06	22.73
gergoure	3095.86	44.8	69.5	70.44	69.71	71.31	0.05082	4.99	8.98	2.27	Terre	8.23	6.44
gergoure	2958.12	44.8	66.7	67.57	67.61	68.01	0.009706	2.91	15.41	1.06	Terre	13.26	10.37
gergoure	2820.38	44.8	64.6	65.29	65.51	66.03	0.022298	3.82	11.73	1.56	Terre	13.02	10.18
gergoure	2682.64	44.8	63.01	63.95	63.97	64.45	0.015121	3.14	14.27	1.03	Gabion	15.13	11.87
gergoure	2544.9	44.8	59.8	60.72	60.77	61.26	0.016749	3.24	13.82	1.08	Gabion	14.02	10.97
gergoure	2407.16	44.8	55.87	56.67	56.67	57.15	0.014224	3.08	14.55	1	Gabion	15.49	12.12
gergoure	2269.42	44.8	52.5	53.4	53.47	53.96	0.017817	3.3	13.56	1.11	Gabion	55.31	43.27
gergoure	2132.76	44.8	47.1	45.37	45.89	46.65	0.276077	5.71	5.81	3.96	Gabion	24.25	18.97
gergoure	1996.11	44.8	31.3	32.38	31.72	32.79	0.030773	4.67	9.6	1.84	Terre	18.51	17.95
gergoure	1859.45	44.8	30.1	30.64	31.22	33.2	0.107578	5.09	6.32	3.28	Terre	4.81	3.76
gergoure	1724.91	44.8	28.9	30.02	30.02	30.48	0.008299	2.98	15.02	1.01	Terre	9.15	7.16
gergoure	763.84	44.8	17.73	18.64	18.64	19.01	0.008587	2.79	16.05	1.01	Terre	6.62	5.18
gergoure	640.28	44.8	16.91	18.04	17.91	18.33	0.00523	2.37	18.94	0.8	Terre	6.73	5.26
gergoure	516.71	44.8	16.53	17.31	17.31	17.7	0.008585	2.79	16.05	1.01	Terre	10.74	8.40
gergoure	406.62	44.8	16.25	16.85	16.01	17.21	0.015301	3.38	13.27	1.31	Terre	18.18	14.22
gergoure	296.54	44.8	16.21	17.96	17.21	18.28	0.00062	1.08	41.52	0.22	Gabion	4.17	3.26
gergoure	93.23	44.8	16.19	17.82	17.15	18.1	0.000548	1.01	49.39	0.21	Gabion	27.78	21.73
gergoure	0	44.8	16.14	17.11	17.11	17.58	0.014208	3.08	14.56	1	Gabion	12.74	9.96

## Chapitre V

## Etude des variantes d'aménagement

bridja	9386.11	79.5	136.3	138.91	137.55	138.47	0.001678	1.97	40.32	0.5	Terre	8.70	6.81
bridja	9260.91	79.5	136.22	138.8	137.42	138.93	0.00079	1.46	54.46	0.49	Terre	6.22	4.87
bridja	9135.7	79.5	136.12	138.71	134.91	138.87	0.00151	1.84	53.32	0.47	Terre	1.68	1.31
bridja	7486.63	79.5	122.9	124.29	124.35	124.93	0.008947	3.55	22.38	1.08	Terre	10.57	8.27
bridja	7355.16	79.5	121.9	123.51	123.35	123.95	0.0052	2.94	27.04	0.84	Terre	11.62	9.09
bridja	7244.41	79.5	121.1	122.55	122.55	123.12	0.011065	3.37	23.62	1.01	Terre	14.40	11.26
bridja	7133.66	79.5	120	121.39	121.45	122.03	0.008814	3.53	22.5	1.07	Terre	12.55	9.81
bridja	7022.91	79.5	119	120.42	120.45	121.02	0.009942	3.43	23.17	1.03	Terre	20.84	16.30
bridja	6886.65	79.5	117	118.82	118.45	119.14	0.004115	2.5	31.78	0.68	Terre	10.68	8.35
bridja	5437.7	79.5	100	101.27	101.3	101.83	0.011346	3.31	23.99	1.03	Terre	22.19	17.35
bridja	5294.62	79.5	97.5	98.39	98.69	99.42	0.026425	4.67	20.7	1.7	Terre	31.10	24.33
bridja	5151.54	79.5	92.35	93.27	93.79	94.88	0.03778	5.53	14.37	2.08	Terre	17.02	13.32
bridja	4853	79.5	86.5	87.45	87.79	88.57	0.022836	4.68	16.98	1.65	Terre	17.09	14.93
bridja	4703.74	79.5	82.9	83.91	84.20	84.88	0.018362	4.35	18.26	1.49	Terre	17.97	16.40
bridja	3252.21	79.5	50.88	51.8	52.17	53.01	0.029326	4.87	16.31	1.74	Terre	27.81	21.75
bridja	3133.13	79.5	49.52	50.32	50.69	51.53	0.031118	4.88	16.28	1.75	Terre	9.60	7.51
bridja	3008.67	79.5	47.96	49.25	49.25	49.80	0.009074	3.26	24.39	1.01	Terre	13.47	10.54
bridja	2884.21	79.5	45.92	47.07	47.21	47.71	0.012828	3.6	23.25	1.17	Terre	17.02	16.45
bridja	2742.03	79.5	41.6	43.39	43.47	44.12	0.013414	3.9	22.13	0.96	Gabion	33.98	26.59
bridja	2599.84	79.5	38.36	39.97	40.27	41.58	0.022227	4.75	16.88	1.23	Gabion	30.57	23.91
bridja	2457.66	79.5	34.58	36.36	36.42	37.29	0.016214	4.28	18.58	1.05	Gabion	33.28	26.03
bridja	2334.66	79.5	32.8	34.45	34.64	35.55	0.020798	4.65	17.11	1.19	Gabion	30.85	24.13
bridja	2211.67	79.5	32.24	34.19	34.27	35.15	0.016727	4.32	18.39	1.07	Gabion	17.60	13.77
bridja	1891.84	79.5	30.12	32.76	31.64	33.17	0.00479	2.84	28	0.57	Gabion	13.01	10.17
bridja	1790.4	79.5	29.02	31.53	31.53	32.41	0.014811	4.15	19.14	1.01	Gabion	36.08	28.22
bridja	1688.96	79.5	28.5	29.6	30.07	31.12	0.028613	5.46	14.55	1.86	Terre	6.043	4.72
bridja	182.39	79.5	16.30	17.98	17.69	18.72	0.011701	3.36	25.71	0.93	Gabion	42.52	33.26
bridja	77.79	79.5	16.16	16.76	17.52	18.55	0.057522	5.91	13.45	1.99	Gabion	5.78	4.52
bridja	0	79.5	16.14	17.56	17.56	18.42	0.01363	3.66	21.69	1.01	Gabion	3.78	3.25
palm beach	1035.68	126.1	16.14	18.2	16.95	17.36	0.003309	2.76	45.65	0.47	Gabion	20.13	15.74

## Chapitre V

## Etude des variantes d'aménagement

palm beach	821.19	126.1	11.36	13.09	14.23	15.94	0.080026	5.47	14.89	2.32	Gabion	29.04	22.72
palm beach	522.91	126.1	5.14	6.95	6.02	7.8	0.043609	5.94	18.17	1.72	Gabion	30.39	23.77
palm beach	442.76	126.1	2.89	4.46	3.89	6.77	0.003311	2.61	54.07	0.47	Gabion	14.60	13.60
palm beach	211.06	-0.3	1.94	2.08	1.94	0.001934	4.69	26.9	12	1	béton		

Voici quelques profils des tronçons des oueds avant et après l'aménagement

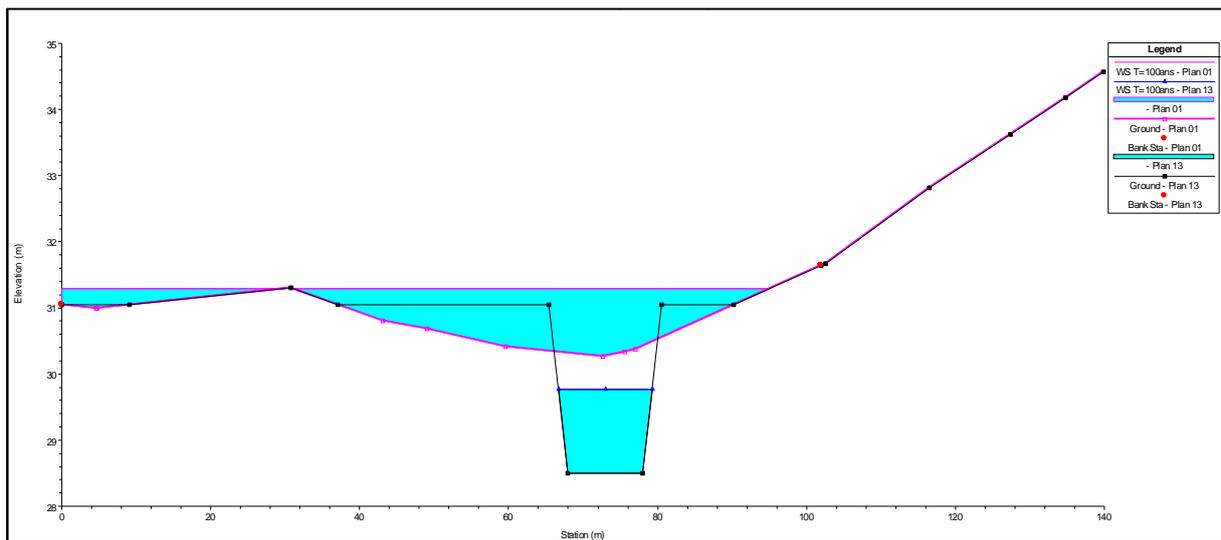


Figure V.9 : Une comparaison entre la section avant et après l'aménagement « tronçon G2 »

Et voici une autre figure qui représente une coupe transversale d'oued Palm Beach aménagée

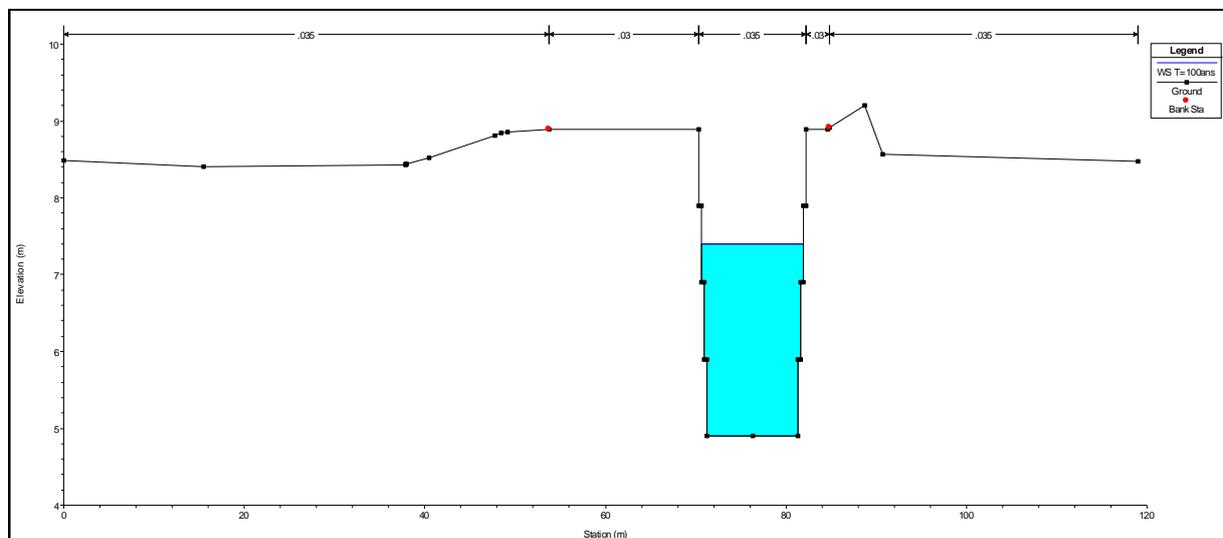


Figure V.10 : Une section aménagée d'oued Palm Beach « tronçon P2 »

On remarque que les variantes proposées ont la capacité d'évacuer la crue centennale sans qu'il y ait débordement, et pour le régime d'écoulement le nombre de Froude nous indique que le régime torrentiel domine le long de nos oueds. Alors qu'on remarque un régime fluvial au niveau de quelques zones en tronçons G2 et B5 et B1, et comme le nombre de Froude est  $< 2.5$  donc le ressaut hydraulique accompagné à la transition entre les deux régimes est faible et ne nécessite pas un ouvrage de dissipation d'énergie

Du point de vue des vitesses, les vitesses dans les canaux sont relativement fortes ( $v > 1\text{ m/s}$ ) et peuvent même dépasser  $3\text{ m/s}$  donc il est nécessaire de faire une étude de stabilité des berges et du fond pour éviter le risque d'érosion.

## V. Le Calcul De Stabilité :

### V.1 l'érosion hydrique des sols

Dans la nature l'écoulement des cours d'eaux n'est jamais uniforme, à cause du changement des paramètres géométriques comme la pente et la largeur de lit, en conséquence les vitesses changent le long du cours d'eaux, qui provoque l'érosion du fond et les berges dans les zones à forte vitesse, et dans les zones à faible vitesse, les particules transporter peuvent se déposer en forment des bancs ou d'îles qui provoquera un changement des paramètres géométriques encore une autre fois. Alors on peut dire que l'érosion et le dépôt sont des paramètres fondamentaux de cycle hydrologique des cours d'eaux, et nous ne pouvons jamais l'arrêter.

### V.2 Stabilité des canaux non revêtus :

Pour calculer ou vérifier la stabilité des canaux non revêtus deux méthodes sont généralement utilisées, la méthode de vitesse admissible et la méthode de la force tractrice.

#### V.2.1 la méthode de vitesse admissible :

Selon cette méthode, pour vérifier la stabilité, la vitesse d'écoulement sous les conditions d'écoulement uniformes doit être inférieure à la vitesse admissible. Cette dernière est définie comme étant la vitesse au-dessous de laquelle le fond et les berges du chenal sont considérées comme stables. Cette vitesse dépend principalement du type de sol et des dimensions des grains, et aussi de la profondeur de l'écoulement et de la sinuosité du chenal.

Les vitesses moyennes admissibles pour divers sols sont résumé dans le tableau V.5, ces valeurs sont relatives à un cours d'eau droit sans sinuosité avec une profondeur moyenne de  $1\text{ m}$ .

(Lane 1955) à suggérer de réduire ces valeurs de  $5\%$  pour les cours d'eau faiblement sinueux,  $13\%$  pour les chenaux modérément sinueux et de  $22\%$  pour ceux très sinueux. Pour les profondeurs différentes de  $1\text{ m}$ , les vitesses sont multipliées par un coefficient de correction  $k$ , et  $y$  : est la profondeur de l'écoulement en mètre.

$$k = y^{\frac{1}{6}} \dots \text{(V.4)}$$

**Tableau V.7** : la Vitesse admissible d'écoulement selon le type de sol

Matériaux	V (m/s)
Sable fin	0.6
Sable grossier	1.2
Sol Sablo- limoneux	0.6
Sol Sablo-argileux	1.1
Argile	1.8
Sablo- limoneux végétalisé (pente <5%)	1.8
Argilo-limoneux végétalisé (pente <5%)	2.4
Grés tendre	2.4
Schiste douce	1.1
Roche dure	6.1

(US Corps of Engineers)

On préfère toujours ajouter une revanche aux tirants d'eau. On propose les valeurs suivantes :

**Tableau V.8** Revanches de tirants d'eau

Débit (m3/s)	<0.75	0.75 à 1.5	1.5 à 8.5	>8.5
Revanche (m)	0.45	0.60	0.75	0.90

(Chaudry.2008)

### V.2.2 la méthode de la force tractrice :

Comparativement avec la méthode précédente, l'utilisation de la contrainte tractrice semble la plus adaptée, vue que le mouvement des grains est tributaire de la contrainte tractrice et non pas de la vitesse moyenne de l'écoulement, celle-ci est considérée car il est très difficile de calculer ou de mesurer la vitesse au fond.

On introduit le terme de la contrainte tractrice peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\tau_0 = \gamma_w \cdot R \cdot i \dots (V.5)$$

Pour la contrainte au niveau des berges, la contrainte peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\tau_{0berge} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \varphi}} \cdot \gamma_w \cdot R \cdot i \dots (V.6)$$

Avec :

- $\gamma_w$  : La masse volumique de l'eau
- R : le rayon hydraulique
- I : la pente
- $\theta$  : L'angle entre le talus et l'horizon
- $\varphi$  : l'angle de repos choisi selon diamètre et la forme de la particule solide

La figure suivante illustre La relation entre l'angle de repos  $\varphi$ , et le diamètre et la forme de la particule solide selon (USBR) :

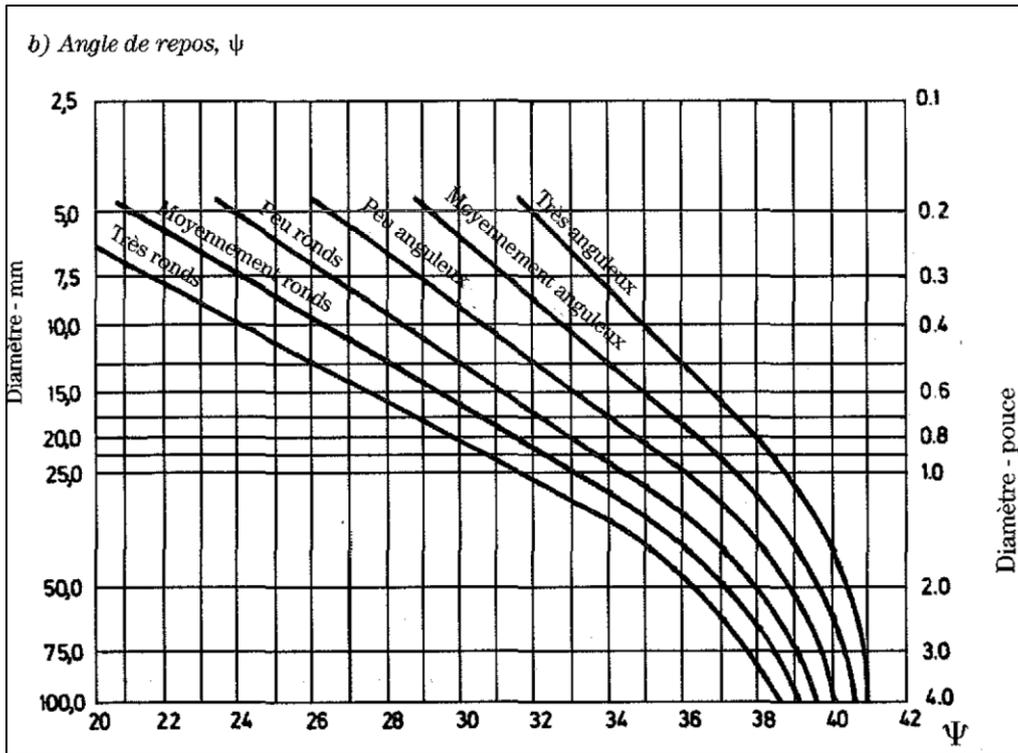


Figure V.11 : angle au repos des grains solide en fonction du diamètre médian

Et selon cette méthode, pour vérifier la stabilité des berges et du fond, il faut que les contraintes tractrices  $\tau_0$  et  $\tau_{0berge}$  soient inférieures à la contrainte tangentielle admissible calculé suivant le type de sol comme illustre les figures V.12 et V.13 :

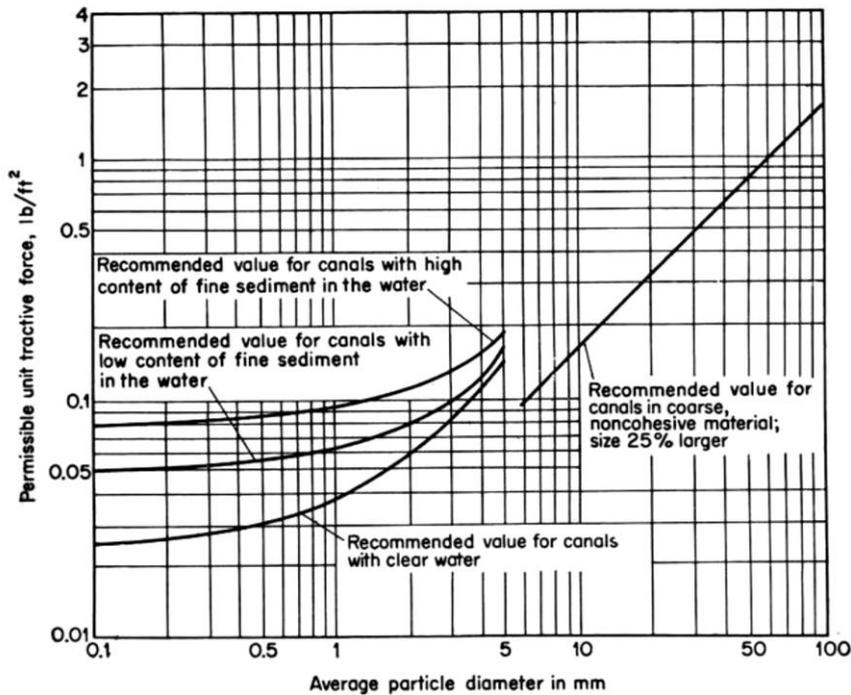


FIG. 7-10. Recommended permissible unit tractive forces for canals in noncohesive material. (U.S. Bureau of Reclamation.)

Figure V.12 : La Contrainte tractrice critique pour les matériaux non cohérents (Chow, 1958)

La figure suivante représente les Contraintes tractrices critique pour les matériaux cohérents :

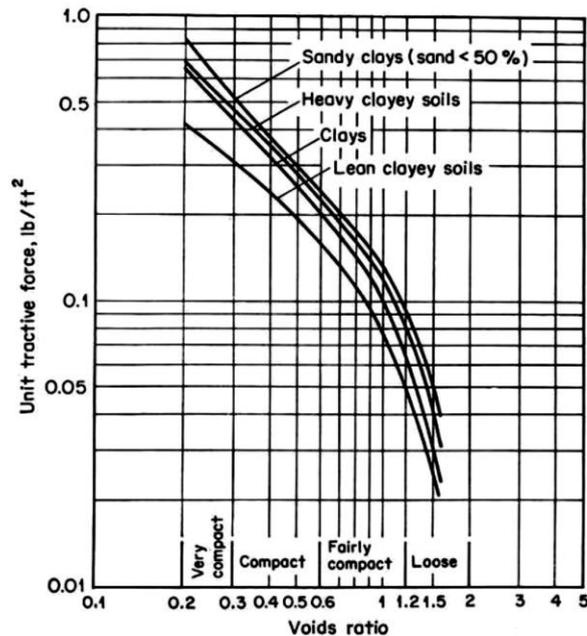


FIG. 7-11. Permissible unit tractive forces for canals in cohesive material as converted from the U.S.S.R. data on permissible velocities.

**Figure V.13 :** La Contrainte tractrice critique pour les matériaux cohérents (Chow, 1958)

Dans notre cas et selon les chapitres précédents le type de sol est Sablo-argileux, et on prend un diamètre médian des grains peu anguleux de 10 mm.

Et selon le diagramme de la figure V.13 pour un sol cohérent sablo argileux « Sandy clays » et pour un sol compacter et un indice de vide ( $e = 0.4$ ) .la contrainte tractrice critique égale a : 18.19 N/m<sup>2</sup>.

Les résultats des calculs des contraintes tractrices pour le fond et les berges sont représentés sur le Tableau V.4.

on constat que les majorités des tronçons des canaux non revêtu vérifiés les conditions des contraintes admissibles, mais pour assurer la stabilité pour toutes les tançons, on exige un compactage parfait lors de la réalisation avec un suivi couche par couche du fond et des berges, et aussi la plantation d'un couvert végétal à racines charnues et superficielles , les racines accroissent la perméabilité des sols, assurent une armature, et piègent la terre entre-elles, Parmi ces plantes « les hémérocalle , le chèvrefeuille arbustif » ou bien « la Cladium marisques et les genévrier rampants » disponibles en Algérie.

Même avec un bon compactage et une couverture végétale en bordures de l'oued, les canaux en terre nécessitent des travaux d'entretiens périodiques, car nous ne pouvons jamais arrêter le cycle d'érosion et de dépôt sur un cours d'eau.

Pour les canaux en gabion le fond libre ne vérifie pas la condition de contrainte admissible, donc on a opté pour une couverture en Matelas Reno de 100-150 mm de diamètre ( $d_{50}=125\text{mm}$ ). Et le tableau suivant représente les vitesses admissibles pour le Matelas reno et le Gabion

**Tableau V.9** : représente les vitesses admissibles pour le Matelas reno et le Gabion

Type	Thickness ( m )	Filling Stones ( mm )		* Critical velocity (m/s)	* Limit velocity (m/s)
		stone size	$d_{50}$		
Reno Mattress	0.15 - 0.17	70 - 100	85	3.5	4.2
		70 - 150	110	4.2	4.5
	0.23 - 0.25	70 - 100	85	3.6	5.5
		70 - 150	120	4.5	6.1
	0.30	70 - 120	100	4.2	5.5
		100 - 150	125	5.0	6.4
Gabions	0.50	100 - 200	150	5.8	7.6
		120 - 250	190	6.4	8.0

D.B.Simms, Reno,1983

La vitesse d'écoulement pour le canal en gabion est vérifiée et toujours inférieure à la vitesse admissible (5.8 m/s et 7.6 m/s)

## VI. Les Ouvrages De Traversées :

Selon le tableau IV.2 de chapitre précédent nos oueds traversent 11 ouvrages routiers « des ponts et des routes », mais comme on n'a pas les dimensions et les hauteurs réelles de ces ouvrages, on propose des dalots/canal rectangulaire selon le débit véhiculé pour les traversées des routes, on propose un revêtement en béton spécifique afin éviter l'érosion autour du pont et les piles.

### VI.1 Les Dalots :

Les dalots sont des canalisations rectangulaires en béton armé, utilisé sous les traverses de route pour l'évacuation des débits d'eau. Du point de vue structurel, deux types de dalots peuvent être projetés :

- Les dalots préfabriquées à section standards réalisés pour satisfaire les conditions d'utilisation courantes et permettent de répondre à un grand nombre de demande dans le marcher, ce type assure le Rapidité d'exécution et l'entrée en service, par conséquent réduction des coûts.

- Les dalots fabriqués sur terrain et réalisés selon la demande pour une meilleure adaptabilité aux besoins de l'ouvrage, que ce soit en section, hauteurs, surcharge...etc. ce type coûte plus cher et prend plus de temps à réaliser.

L'assemblage des deux dalots est assuré par plusieurs méthodes, essentiellement par joint souple en caoutchouc qui garantit une étanchéité et une bonne résistance aux efforts radiaux.

Les figures suivantes représentent les deux types des dalots :



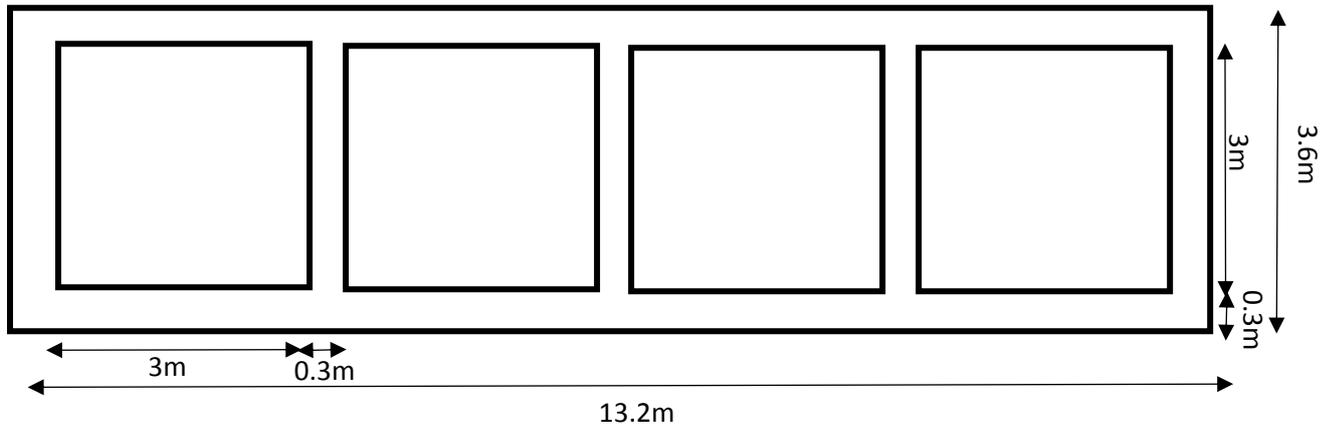
**Figure V.14 :** Les dalots préfabriqués en béton armé

La figure suivante représente les dalots fabriqués sur terrain en béton armé :



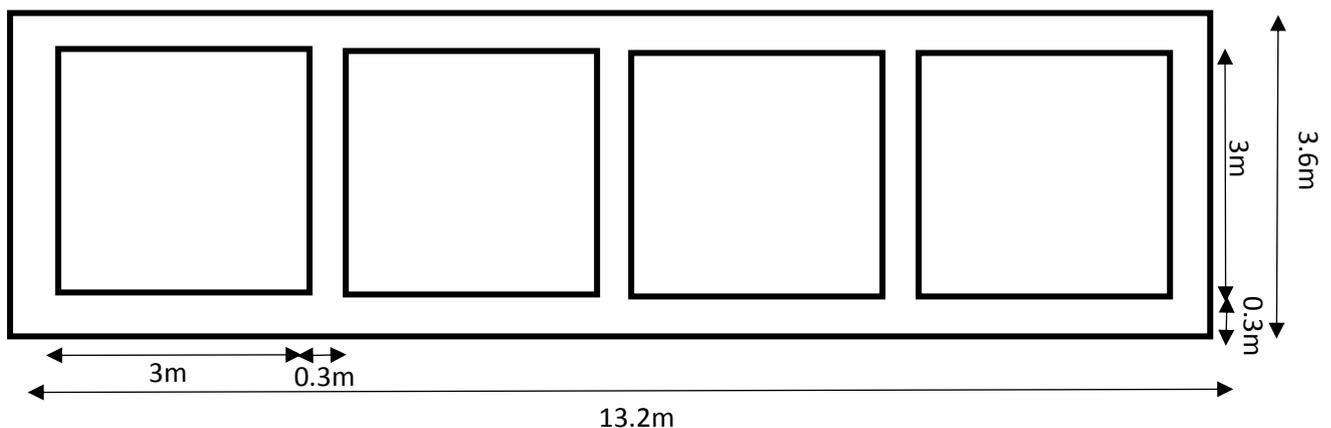
**Figure V.15 :** les dalots fabriqués sur terrain en béton armé

- **La route nationale N11 tronçon B1** : voici les résultats de dimensionnement de l'ouvrage de traverser.
  - Largeur du fond :  $b = 15\text{m}$  ;
  - La pente : 0.0072
  - Nombre des dalots « 3x3x1.5 » : 16 dalots
  - H critique : 1.64 m
  - Hauteur d'eau :  $h = 1.29\text{ m}$
  - Epaisseur de la dalle – radier – voiles :  $e = 30\text{ cm}$



**Figure V.16** : profile en travers des dalots de La route nationale N11 tronçon B1

- **La route W133 tronçon B4** : voici les résultats de dimensionnement de l'ouvrage de traverser.
  - Largeur du fond :  $b = 15\text{m}$  ;
  - La pente : 0.0066
  - Nombre des dalots « 3x3x1.5 » : 16 dalots
  - H critique : 1.641 m
  - Hauteur d'eau :  $h = 1.36\text{ m}$
  - Epaisseur de la dalle – radier – voiles :  $e = 30\text{ cm}$



**Figure V.17** : profile en travers des dalots de La route W133 tronçon B4

- **La route de Bouchaoui tronçon B5** : voici les résultats de dimensionnement de l'ouvrage de traverser.

- Largeur du fond :  $b = 12\text{m}$  ;
- La pente : 0.0073
- Nombre des dalots « 3x3x1.5 » : 12 dalots
- H critique : 1.99 m
- Hauteur d'eau : 1.62 m
- Epaisseur de la dalle – radier – voiles :  $e = 30\text{ cm}$

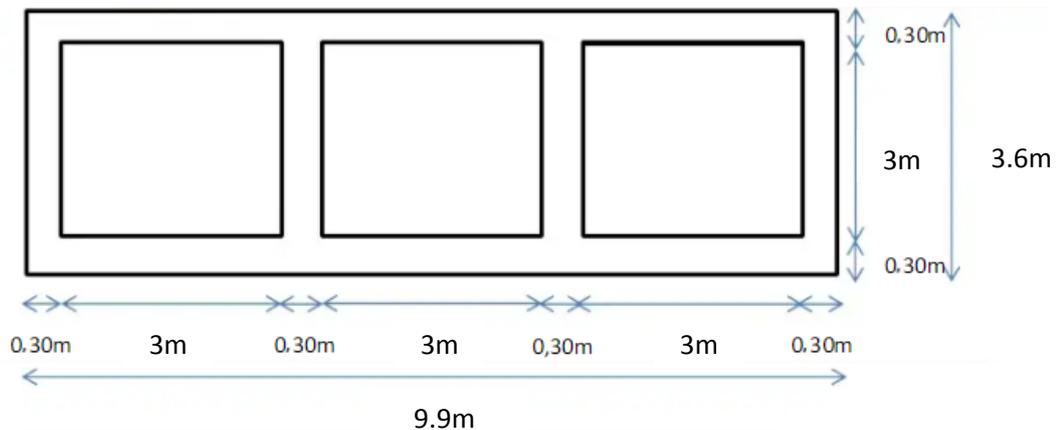


Figure V.18 : profile en travers des dalots de la route de Bouchaoui tronçon B5

- **La route nationale N11 tronçon G1** : voici les résultats de dimensionnement de l'ouvrage de traverser.

- Largeur du fond :  $b = 15\text{m}$  ;
- La pente : 0.005
- Nombre des dalots « 3x3x1.5 » : 12 dalots
- H critique : 1.36 m
- Hauteur d'eau :  $h = 1.22\text{ m}$
- Epaisseur de la dalle – radier – voiles :  $e = 30\text{ cm}$

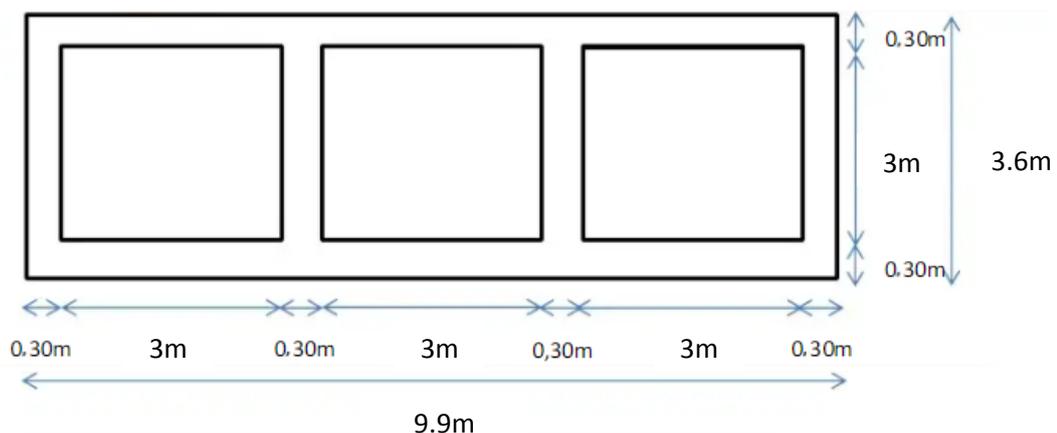


Figure V.19 : profile en travers du dalot de la route N11 tronçon G2

- **La route de Belota tronçon G3** : voici les résultats de dimensionnement de l'ouvrage de traverser.
  - Largeur du fond :  $b = 15\text{m}$  ;
  - La pente : 0.013
  - Nombre des dalots « 3x3x1.5 » : 12 dalots
  - H critique : 1.36 m
  - Hauteur d'eau :  $h = 0.867\text{ m}$
  - Epaisseur de la dalle – radier – voiles :  $e = 30\text{ cm}$

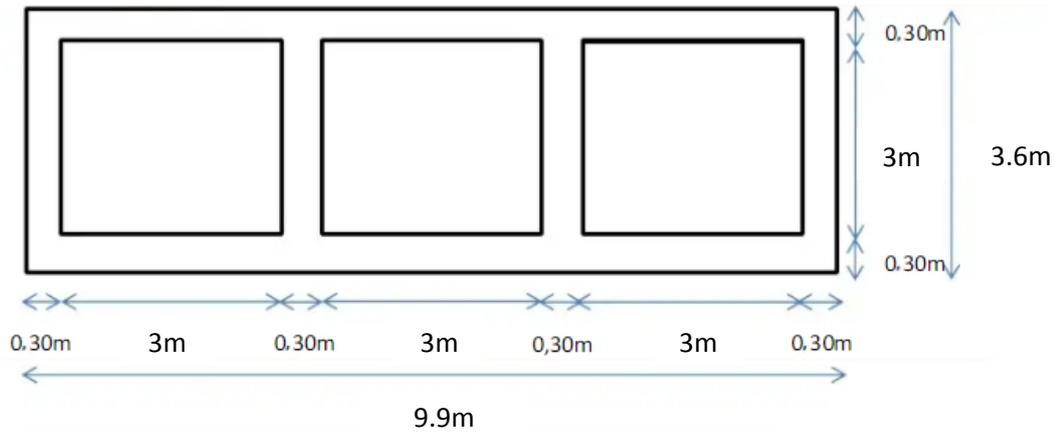


Figure V.20 : profile en travers du dalot de Belota tronçon G3

- **La route de Narbonne G4** : voici les résultats de dimensionnement de l'ouvrage de traverser.
  - Largeur du fond :  $b = 15\text{m}$  ;
  - La pente : 0.0096
  - Nombre des dalots « 3x3x1.5 » : 12 dalots
  - H critique : 1.36 m
  - Hauteur d'eau :  $h = 0.966\text{ m}$
  - Epaisseur de la dalle – radier – voiles :  $e = 30\text{ cm}$

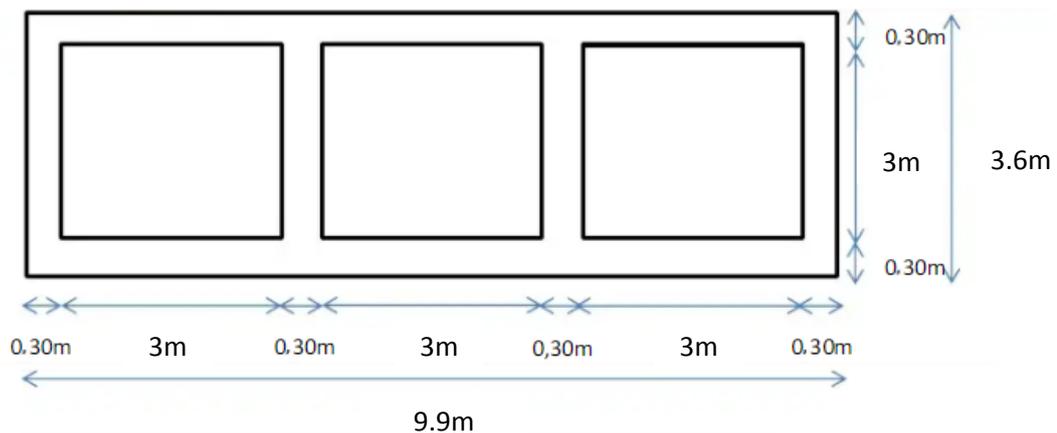


Figure V.21: profile en travers du dalot de Narbonne tronçon G4

Pour assurer la stabilité des ouvrages de traverser, il faut faire une étude détailler de la distribution des charges horizontales et verticales sur les dalles (traverse, radier) et les efforts et sollicitations, et une vérification au renversement et au glissement, et une estimation du volume de remblais aussi que les volumes de gabion ou bien des roches pour le drainage.

Les figures suivantes représentent les résultats finals de la construction des dalots :



**Figure V.22** : schéma de construction d'un dalot

La figure suivante représente une photo réel de la réalisation d'un ouvrage de traverser par 3 dalots :



**Figure V.23** : la phase finale de la réalisation d'un dalot

**Conclusion :**

Au cours de ce chapitre, trois variantes d'aménagement ont été proposées pour la protection des zones urbaines et agricoles d'oued PALM BEACH et BRIDJA et GERGOURE contre les inondations. Ensuite, une étude technique et économique et écologique a été élaborée pour choisir la variante la plus favorable.

L'aménagement proposé se résume à une variante Mixte en projetant des canaux en Gabions dans les zones à forte densité d'urbanisation et des canaux en terre en dehors des habitations. Ensuite on a fait une simulation hydraulique à l'aide de l'HEC RAS et on a vérifié la stabilité des berges et de fond et exigé quelque condition pour éviter l'érosion des cours d'eaux.

La prochaine étape sera l'estimation quantitatif du projet et l'organisation de chantier afin d'assurer l'enchaînement le plus logique et économique des travaux d'aménagement de nos oueds.

**Chapitre IV :**  
**Mangement de Project**

**Introduction :**

Le management de Project ou bien l'organisation de chantier est l'ensemble des dispositions envisagées pour l'élaboration d'un projet dans les meilleures conditions possibles.

Il permet d'utiliser économiquement la main d'œuvre et les autres moyens mis en œuvre pour gérer le chantier et accomplir le projet dans les meilleures conditions de sécurité.

**I. Devis quantitatif et estimatif du projet :**

Les prix des différentes tâches à exécutées inclus le prix de décapage de la couche de terre végétale et les déblais et les remblais et le compactage et le gabionnage du cours d'eau, et le transport des sols excédentaires.

**I.1 Calcul du volume des travaux :**

Le calcul se fait sur les sections transversales de l'oued, en évaluant la différence entre les sections naturelles et les sections projetées.

**I.1.1 Volume de la couche de terre végétale :**

Le volume de la couche de terre végétale est calculé selon la formule suivante :

$$V_{cv} = H \cdot B \cdot L \dots \text{ ( VI.1)}$$

Avec :

- $V_{cv}$  : Volume de la couche de terre végétale en (m<sup>3</sup>).
- H : Profondeur la couche de terre végétale (on prend  $H_v = 0,1$  m).
- L : Longueur totale de la tranchée en (m).
- B : Largeur de la couche de terre végétale en (m).

**I.1.2 Volume des déblais et des remblais :**

Les volumes des terrassements « déblais et remblais » sont calculés par HEC-RAS selon le profil en long et les sections des canaux.

Lors d'un terrassement le sol retiré foisonne, cela signifie une augmentation de volume des matériaux après excavation.

C'est ce volume foisonné qui servira de base à l'établissement d'un devis pour transporter le matériau d'un point A à un point B, et en cas de remblaiement, l'utilisation d'un coefficient de foisonnement permet de connaître le volume restant après tassement.

Selon la nature du matériau ou du sol, le coefficient de foisonnement en terrassement est différent. Voici quelques coefficients de foisonnement utilisés :

**Tableau VI.1** : le coefficient de foisonnement selon le type du sol

Matériaux	Coefficient de foisonnement
Terre végétale	1.42
Argile, sable argileux	1.25
Sable	1.12
Granit fragmentée	1.64

Source : RGRA 1979

**I.1.3 Volume de Gabionnage du cours d'eau :**

Dans notre projet nous allons utiliser des cages de gabion de dimension (1x1x3 m) et de diamètre médiane de 150mm pour les berges , et des cages de Matelas Reno de dimension (10x5x0.3 m) de diamètre médiane de 125mm pour le fond .

Afin d'avoir une idée sur le coût de réalisation de notre projet voici le tableau suivant qui récapitule l'ensemble des calculs quantitatif et estimatif des différents matériaux utiliser dans notre étude :

**Tableau VI.2** : Devis quantitatif et estimatif du projet

	travaux		unité	quantité	prix unitaire (da)	Montant (da)
décapage de la couche végétale			m3	34830	300.00	10 449 000.00
canal en gabion	terrassment	déblais	m3	102408	400.00	40 963 200.00
		remblai	m3	130876	250.00	32 719 000.00
	gabionnage		cage1*1*3	7644	7 000.00	53 508 000.00
	Matelas Reno		cage10*5*0.3	1044	13 000.00	13 572 000.00
	frais de chantier					25 000 000.00
canal non revêtu	terrassment	déblais	m3	327510	300.00	98 253 000.00
		remblai	m3	159812	400.00	63 924 800.00
	compactage		m2	198450	900.00	178 605 000.00
Canal en béton	terrassment	déblais	m3	205	300.00	61 500.00
		remblai	m3	85	400.00	34 000.00
	Béton armés		m3	1840	32000	58 880 000.00
Transport des terres excédentaires			m3	174021	79.00	13 747 678.00
Ouvrages De Traversées	dalots préfabriqué		3x3x1.5	96	160 000.00	15 360 000.00
	talus bétonné		m3	200	28 000.00	5 600 000.00
	frais de chantier					7 000 000.00
<b>Montant total</b>						<b>615 075 393.00</b>
<b>Montant total en TVA</b>						<b>731 939 717.00</b>

Donc le montant total du projet reviens : 731 939 717.00 da « **Sept cent trente et un millions neuf cent trente-neuf mille sept cent dix-sept** »

## II. La Planification De Projet :

La planification consiste à rechercher constamment la meilleure façon d'utilisation de la main d'œuvre. Son objectif est de s'assurer que tout le travail se fait :

- Dans un ordre correct (bonne succession des opérations du réseau).
- A temps (sans retard).
- Economique (avec des bénéfices)

### II.1. Techniques De La Planification

Il existe deux principales méthodes de planification à savoir :

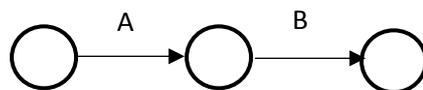
- Méthodes basées sur le réseau.
- Méthodes basées sur le graphique.

#### II.1.1. Méthodes basées sur le réseau

##### II.1.1.1 Définition du réseau

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui sont indispensables pour l'achèvement de l'objectif de la planification. On distingue deux types de réseaux :

- **Réseau à flèches** : L'opération est représentée par une flèche et la liaison entre deux opérations par un cercle appelé "nœud".



- **Réseau à nœuds** : L'opération est représentée par un nœud et la succession des opérations par des flèches



L'opération (B) ne peut commencer que si l'opération (A) est achevée.

##### II.1.1.2 Construction du réseau :

Pour construire un réseau, il convient d'effectuer les six (6) opérations suivantes :

###### 1. Etablissement d'une liste des tâches :

Il s'agit dans cette première phase de procéder à un inventaire très précis et détaillé de toutes les opérations indispensables à la réalisation d'un projet.

### 2. Détermination des tâches antérieures :

Après avoir dressés la liste des tâches à effectuer, il n'est pas toujours facile de construire un réseau car il n'est pas aisé de dire si les tâches antérieures doivent être successives ou convergentes.

### 3. Construction des graphes partiels.

### 4. Regroupement des graphes partiels.

### 5. Détermination des tâches de début de l'ouvrage et de fin de l'ouvrage.

### 6. Construction du réseau.

#### **II.1.1.3 Méthode C.P.M (méthode du chemin critique) :**

L'objectif de cette méthode est de réduire les temps de réalisation d'un ouvrage en tenant compte de trois phases :

- 1ère phase : l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré.
- 2ème phase : analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour, selon l'unité de temps retenue.
- 3ère phase : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

#### **II.1.1.4 Méthode PERT (Program Evaluation and Review Technical) :**

C'est une technique d'ordonnancement des tâches et contrôle des programmes, c'est une méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur chronologie et leur dépendance concourent toutes à l'obtention d'un produit fini.

#### **II.1.2 Méthodes basées sur le graphique :**

Les deux méthodes les plus utilisées sont :

##### ➤ **Méthode linéaire (ligne of balance technic)**

Cette méthode est destinée à la planification des projets de construction dont les travaux sont répétitifs.

##### ➤ **Méthode à barres**

Cette technique consiste à déterminer deux réseaux et un diagramme à barres (plan de travail).

## II.2. Les Etapes De La Planification :

La planification est le processus de la ligne de conduite des travaux à réaliser, elle comprend des étapes suivantes :

➤ Collection des informations :

L'établissement d'une synthèse d'analyse des informations acquises par des études comparatives permet l'usage correct du plan de réalisation de notre projet.

➤ Décomposition du projet :

C'est une partie importante car chaque projet peut être analysé de diverses manières ; nous attribuons à chaque tâche un responsable et ses besoins en matériels.

➤ Relations entre les tâches :

Il existe deux relations essentielles entre les tâches lors de la réalisation ; l'une porte sur un enchaînement logique et l'autre sur un enchaînement préférentiel.

## II.3. Choix De La Méthode De Calcul :

Le choix de la méthode de calcul repose essentiellement sur le type d'ouvrage construire. Il est préférable dans le cas où les opérations se suivent comme dans notre cas d'opter pour la méthode **C.P.M**

### II.3.1 Les paramètres de la méthode C.P.M

Les paramètres indispensables dans l'exécution de cette méthode sont les suivants :

DCP	TR
DFP	DCPP
DFPP	MT

Avec :

- **TR** : temps de réalisation ;
- **DCP** : date de commencement au plus tôt ;
- **DCPP** : date de commencement au plus tard ;
- **DFP** : date de finition au plus tôt ;
- **DFPP** : date de finition au plus tard ;
- **MT** : marge totale.

Et

- $DFP = DCP + TR.$
- $DCPP = DFPP - TR.$

Un autre paramètre très important c'est le chemin critique CC

Chemin critique (C.C) :

C'est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0).

Donc pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier les conditions suivantes :

- $MT = 0$
- $\sum TR_{cc} = DCP$

**II.4. Elaboration du réseau selon la méthode C.P.M :**

La méthode C.P.M est une méthode de planification, elle a pour objectif de réduire le temps et le coût de réalisation de projet et augmenter le rendement du travail. Pour la construction du réseau il faut d'abord établir les différentes tâches

**Tableau VI.3 : Symboles des opérations et leurs durées de réalisation.**

notation	Opérations	Durée (jour)		
		P	B	G
A <sub>i</sub>	Installation de chantier	15	15	15
B <sub>i</sub>	Le décapage de la terre végétale	10	65	50
C <sub>i</sub>	Les travaux de terrassements	30	160	145
D <sub>i</sub>	Compactage	20	80	65
E <sub>i</sub>	Gabionnage	50	65	45
F <sub>i</sub>	Travaux de finition	15	15	15

La figure suivante représente le schéma de réseau à nœud :

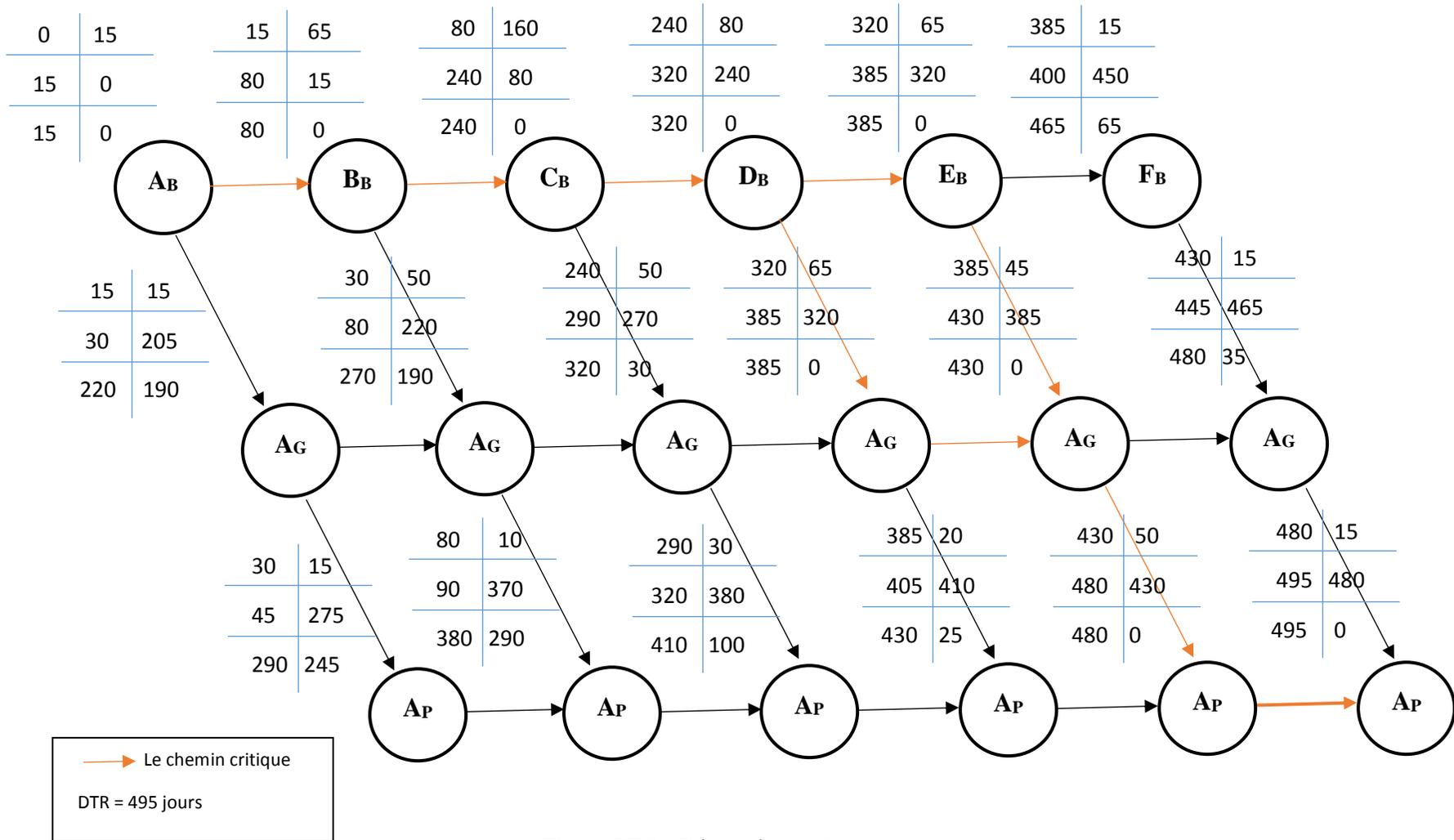


Figure VI.1 : Réseau à nœud

II.5 Diagramme de Gantt :

Le diagramme de Gantt est un outil utilisé en ordonnancement et gestion de projet, permettant de visualiser dans le temps les diverses tâches lié d'un graphe connexe). Il permet de représenter graphiquement l'avancement du projet.

Dans notre cas on a utilisé logiciel « Gantt-Project » et les résultats sont dans la figure suivante :

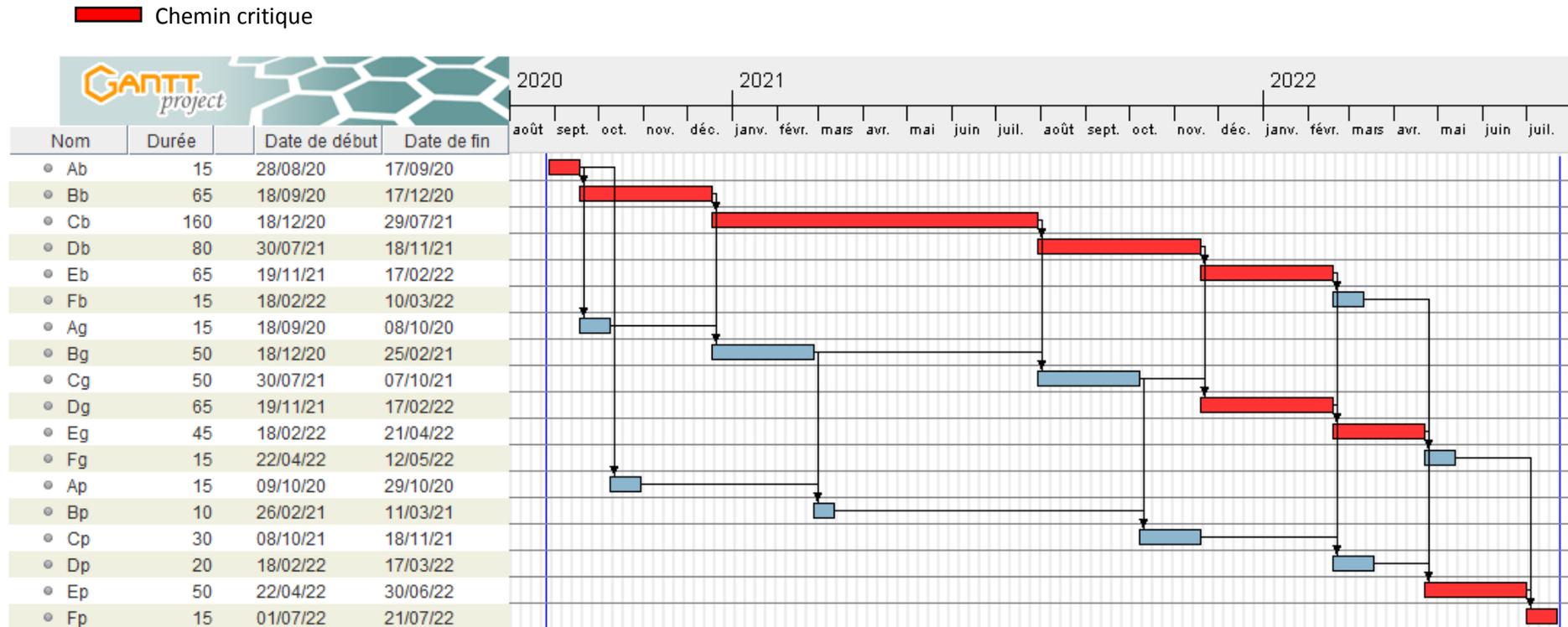


Figure VI.2 : Diagramme de Gantt

**Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté le devis quantitatif et estimatif et l'organisation de chantier, pour réaliser notre projet d'aménagement d'oued Palm Beach, Bridja et Gergoure, dans les meilleures conditions de sécurité respectent le délai d'exécution, le cout, et la qualité des travaux.

Le montant total du projet a été estime à **731 939 717 da** avec un délai d'exécution de 459 jours.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale :

Le but de cette étude était la protection de la zone ouest de la commune de Staoueli contre les inondations pour une période de retour centennale, tout en proposant l'aménagement des cours d'eau Palm Beach et Bridja et Gergoure afin d'augmenter leur capacité à évacuer ce débit centennale.

La première étape dans ce travail consistait à analyser les données nécessaires sur notre zone d'étude du point de vue topographique, géologique, démographique et hydraulique dans le but de faire la représentation la plus proche de notre bassin versant.

En suite on a étudié les caractéristiques Hydromorphométriques du bassin versant en réalisant plusieurs types de cartes à l'aide de logiciel « ArcGIS » et on a déterminé la quantité de pluie par l'analyse des pluies maximales journalières, en utilisant logiciel « HYFRON » basé sur les mesures satellites « GPM » et les mesures au sol, on aboutit à une intensité de pluie égale à 138 mm/j pour une période de retour centennale, ensuite on a calculé les pluies de courte durée, et construit les courbes IDF.

Puis on a calculé les débits de crues pour nos bassins versants en utilisant les formules empiriques et la méthode SCS-CN du modèle hydrologique « HEC-HMS », et d'après les résultats on aboutit à un débit de crue égale à  $126\text{m}^3/\text{s}$  pour une période de retour centennale pour oued Palm Beach et un débit de  $44.8\text{m}^3/\text{s}$  et  $79.5\text{m}^3/\text{s}$  pour les bassins versants d'oued Guergour et oued Bridja respectivement, et à l'aide de logiciel « HEC-RAS » on a fait une simulation hydraulique de l'écoulement et on a mis en place une carte des zones inondables du secteur de Staoueli, cela nous permettra de désigner les tronçons à risque en vue de leurs aménagement.

Enfin, trois variantes d'aménagements ont été proposées pour les différents tronçons, et suite d'une étude technico-économique et écologique on a choisi une variante Mixte par un reprofilage de la section des cours en canal trapézoïdale en terre et gabionnage.

Le montant total du projet a été estimé à **731 939 717 da** avec un délai d'exécution de 459 jours.

## **Références Bibliographique :**

**André Musy, 2005** Hydrologie générale

**BENNIS, Saad. 2007** Hydraulique et hydrologie. PUQ.

**BODY K., 1981,** Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie

**Coutagne, A. 1951.** Méthodes pour déterminer le débit de crue maximum qu'il est possible de prévoir pour un barrage et pour lequel le barrage doit être établi.

**C.S.D.T –2010** California state department of transportation - Highway design manuel,  
[http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/hdm/pdf/chap\\_pdtlchp0810.pdf](http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/hdm/pdf/chap_pdtlchp0810.pdf).

**Dubreuil Pierre. 1965.** Particularités des réseaux hydrométriques sur des cours d'eau à lit très mobile.

**D.Boutoutaou 2014** Méthode de Calcul des Crues des Oueds Non Jauges L' Algérie

**EMI 1999.** Méthodes de calcul d'un débit de projet

**Lane, E. W., 1955.** The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering

**La Directive-Cadre Sur L'eau (DCE, 2000)** (2000/60/CE) Union européenne

**Marcel Roche ,1963.** Hydrologie de surface

**M.Carlier 1964** Hydraulique générale et appliquée

**NASA GPM-2014** <https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>

**Perrin, C., Michel, C. Andréassian, V. 2003.** Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation

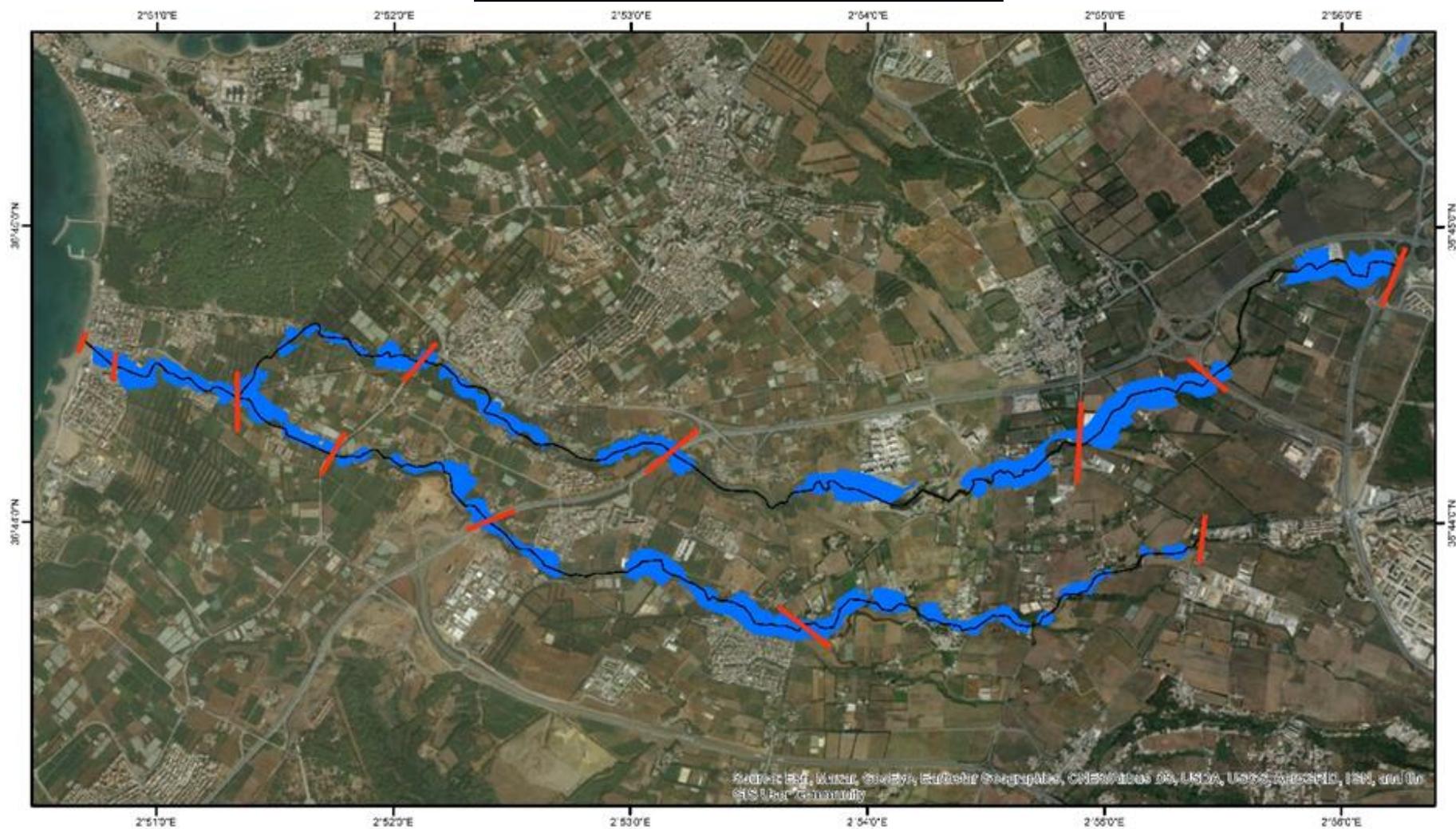
**US Army Corps of Engineers, 2016,** HEC HMS user manual .

**US army corps of engineers 2010.** HEC-RAS user manual

**Ven Te Chow, 1959** Open-channel hydraulics

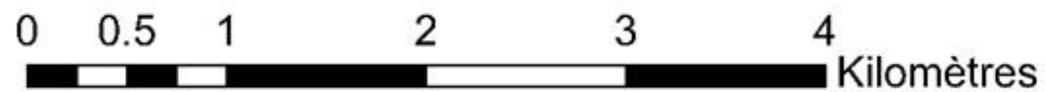
**Wisler, C.O. Brater, Frederick,E 1959** Hydrology

## Annexe 01: la carte des Zones inondables



### Légende

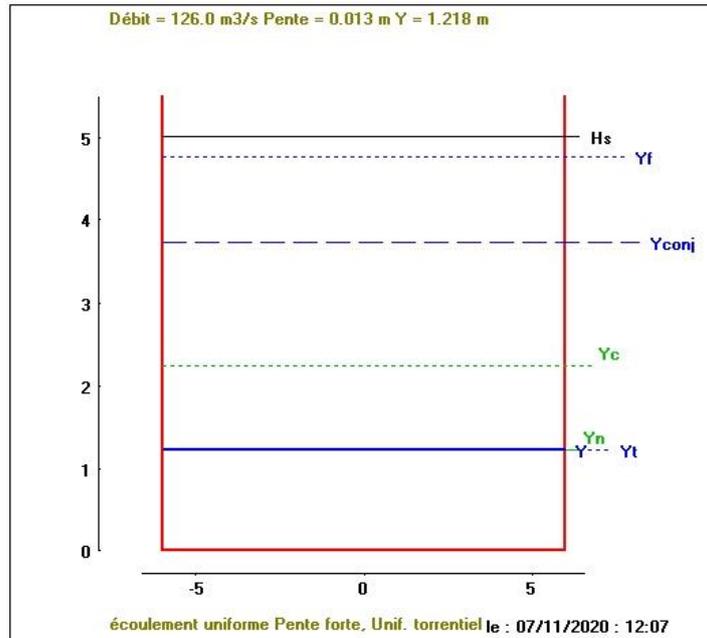
- trancons
- zone inondable T=100ans



## Annexe 02 : les profile en travers des tronçons aménagés

### Palm Beach :

**Tronçons P1 :** canal rectangulaire couvert par une dalle en béton armées

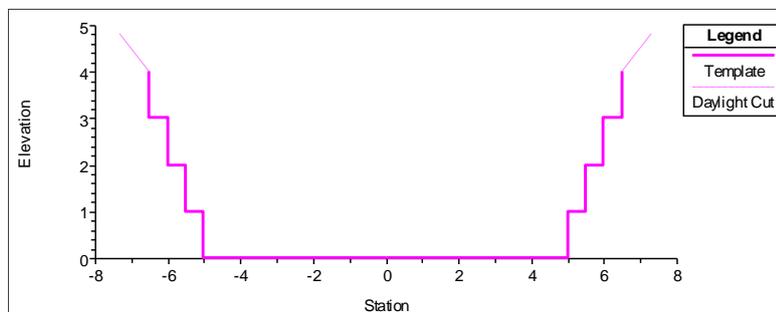


Donc les dimensions du canal sont :

- Largeur du fond :  $b = 10\text{ m}$  ;
- La pente : 0.013
- Hauteur du canal :  $H = 5\text{ m}$  ;
- H critique : 2.23 m
- Hauteur d'eau :  $h = 1.21\text{ m}$

### **Tronçons P2 :**

- **Gabion :**



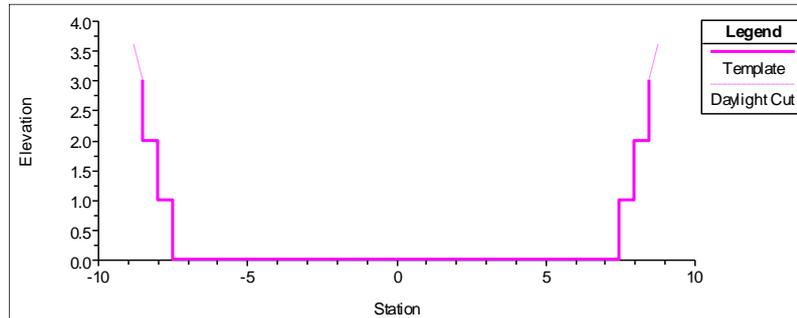
Donc les dimensions du canal sont :

- Largeur du fond :  $b = 10\text{ m}$  ;
- La pente : 0.013
- Hauteur du canal :  $H = 4\text{ m}$  ;
- H critique : 3.52 m
- Hauteur d'eau :  $h = 3.38\text{ m}$

## Bridja :

### Tronçon B1 :

- **Gabion** « entre le point de confluence et la section 262m »



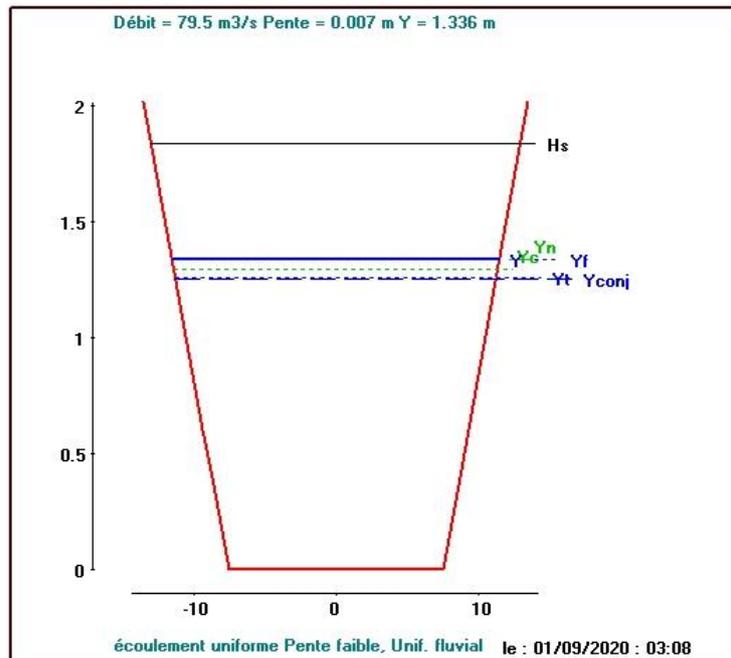
Les dimensions du canal sont :

- Largeur du fond :  $b = 15\text{ m}$  ;
- La pente :  $0.0072$
- Hauteur du canal :  $H = 3\text{ m}$  ;
- H critique :  $1.86\text{ m}$
- Hauteur d'eau :  $h = 2.38\text{ m}$

- **Canal en terre** : « entre la section 262m et la section 1563m »

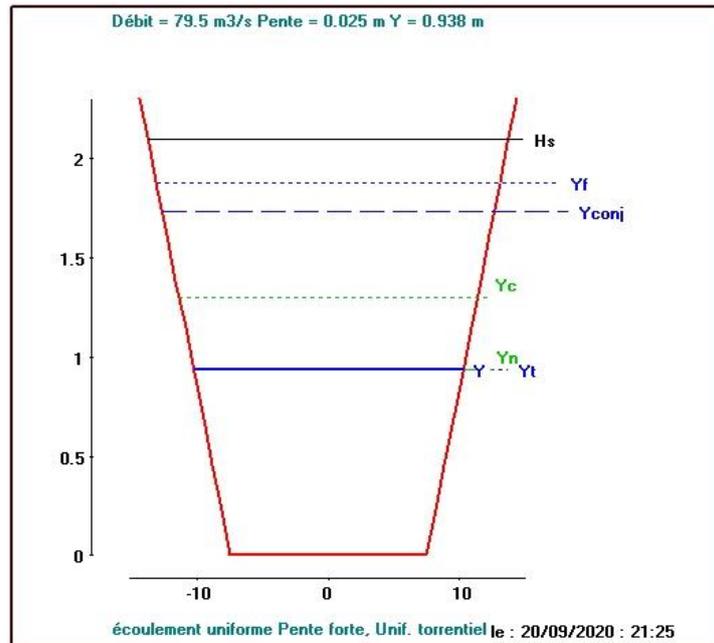
Les dimensions du canal trapézoïdal sont :

- Largeur du fond :  $b = 10\text{ m}$  ;
- Fruit de talus :  $m = 3$
- La pente :  $0.0072$
- Hauteur du canal :  $H = 1.85\text{ m}$  ;
- H critique :  $1.29\text{ m}$
- Hauteur d'eau  $h = 1.336\text{ m}$



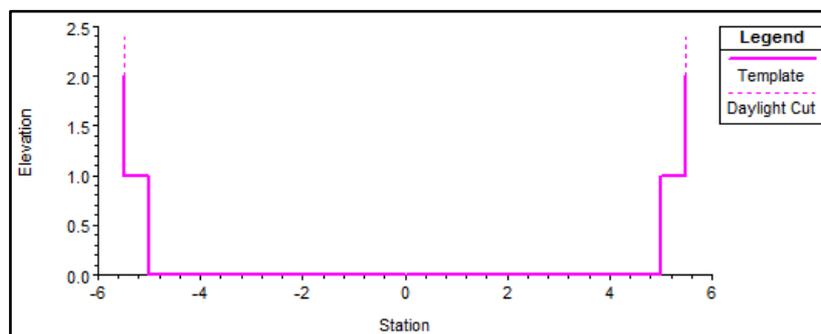
### Tronçon B2 :

- **Canal en terre** : « entre la section 1563m et la section 1790m et entre 2884m et 3920 m »



Les dimensions du canal trapézoïdal sont :

- Largeur du fond :  $b = 15$  m ;
  - Fruit de talus :  $m = 3$
  - La pente :  $0.0025$
  - Hauteur du canal :  $H = 2.1$  m ;
  - H critique :  $1.29$  m
- **Gabion** « entre la section 1790 et la section 2884m »

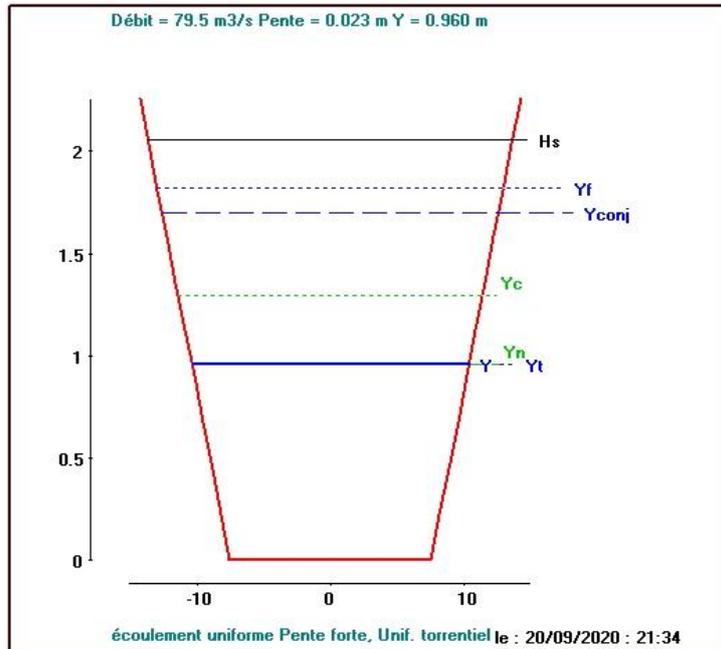


Les dimensions du canal sont :

- Largeur du fond :  $b = 15$  m ;
- La pente :  $0.0072$
- Hauteur du canal :  $H = 2$  m ;
- H critique :  $1.65$  m
- Hauteur d'eau :  $h = 1.56$  m

### Tronçon B3 et B4 :

- Canal en terre : « entre la section 3920m et la section 7559m »

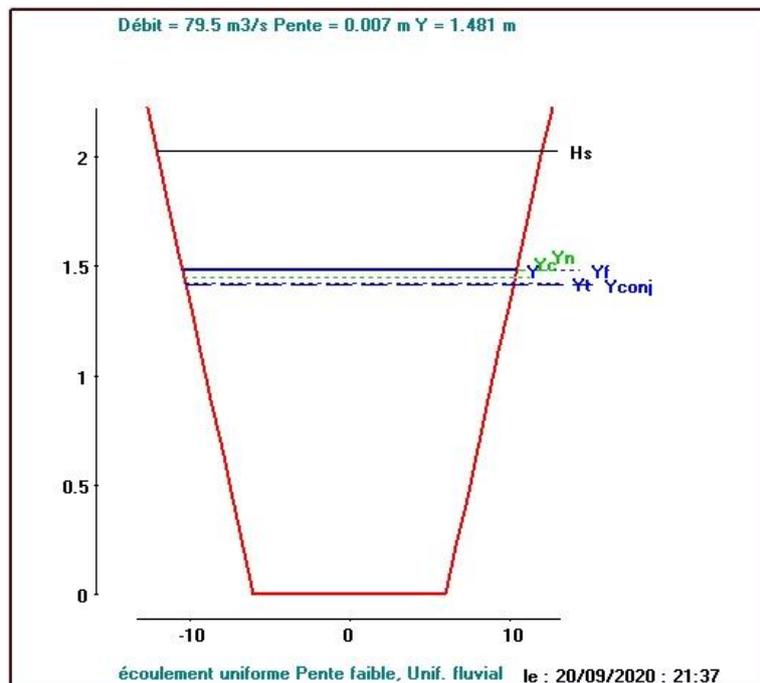


Les dimensions du canal trapézoïdal sont :

- Largeur du fond :  $b = 15\text{ m}$  ;
- Fruit de talus :  $m = 3$
- La pente : 0.023
- Hauteur du canal :  $H = 2.1\text{ m}$  ;
- H critique : 1.29 m

### Tronçon B5 :

- Canal en terre : « entre la section 7559m et la section 9373m »



Les dimensions du canal trapézoïdal sont :

- Largeur du fond :  $b = 10\text{m}$  ;
- Fruit de talus :  $m = 3$
- La pente :  $0.0073$
- Hauteur du canal :  $H = 2.1\text{m}$  ;
- H critique :  $1.45\text{ m}$

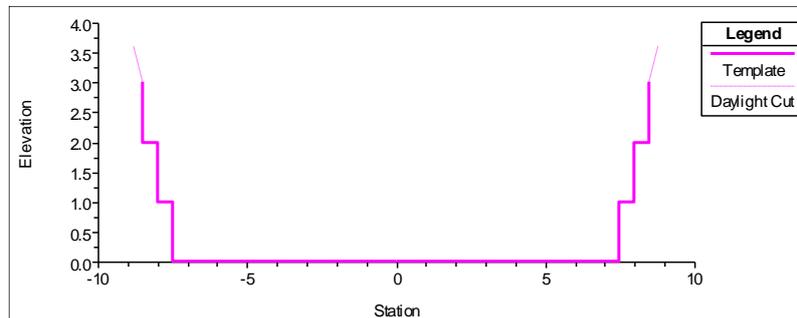
### Gergoure :

#### **Tronçon G1 :**

- **Gabion :** « entre le point de confluence et la section 296m »

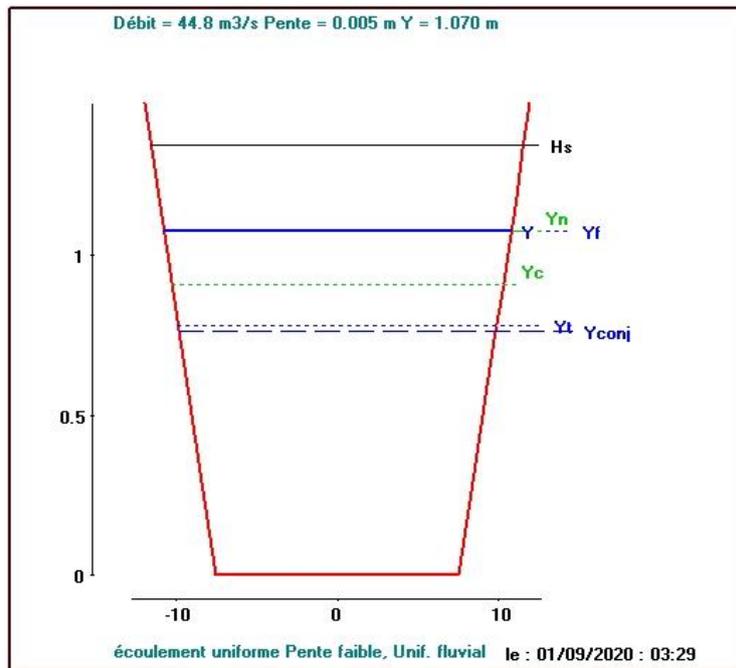
Les dimensions du canal sont :

- Largeur du fond :  $b = 15\text{m}$  ;
- La pente :  $0.005$
- Hauteur du canal :  $H = 3\text{ m}$  ;
- H critique :  $2.12\text{ m}$
- Hauteur d'eau :  $h = 2.22\text{ m}$



- **Canal en terre :** « entre la section 296m et la section 727m »

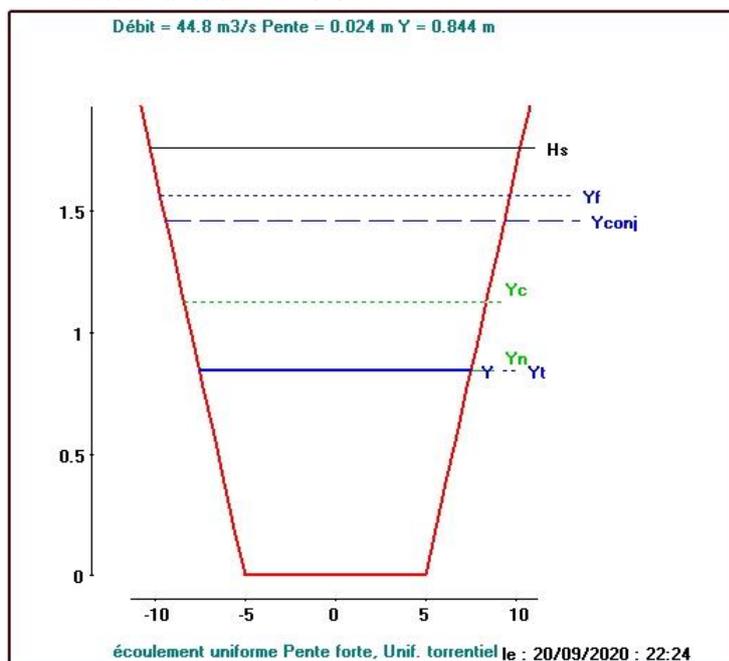
- Largeur du fond :  $b = 15\text{m}$  ;
- Fruit de talus :  $m = 3$
- La pente :  $0.005$
- Hauteur du canal :  $H = 1.4\text{m}$  ;
- H critique :  $0.90\text{ m}$
- Hauteur d'eau :  $h = 1.07\text{ m}$



### Tronçon G2 :

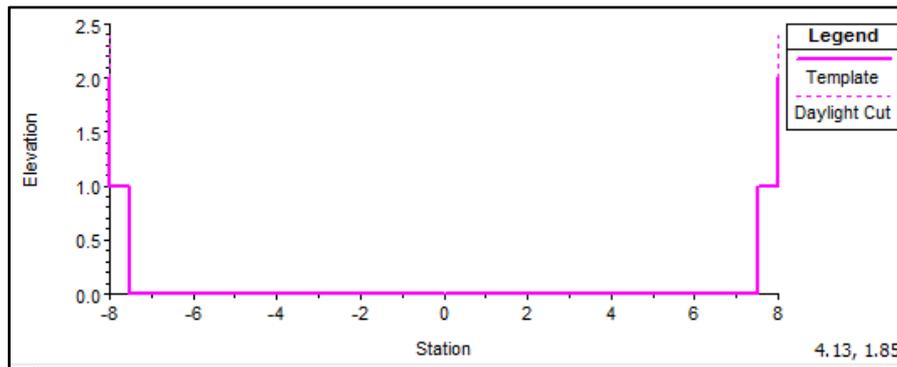
- Canal en terre : « entre la section 727m et la section 2019m »

- Largeur du fond :  $b = 10\text{m}$  ;
- Fruit de talus :  $m = 3$
- La pente : 0.024
- Hauteur du canal :  $H = 1.8\text{m}$  ;
- H critique : 1.3 m
- Hauteur d'eau :  $h = 0.84\text{m}$



### Tronçon G3 :

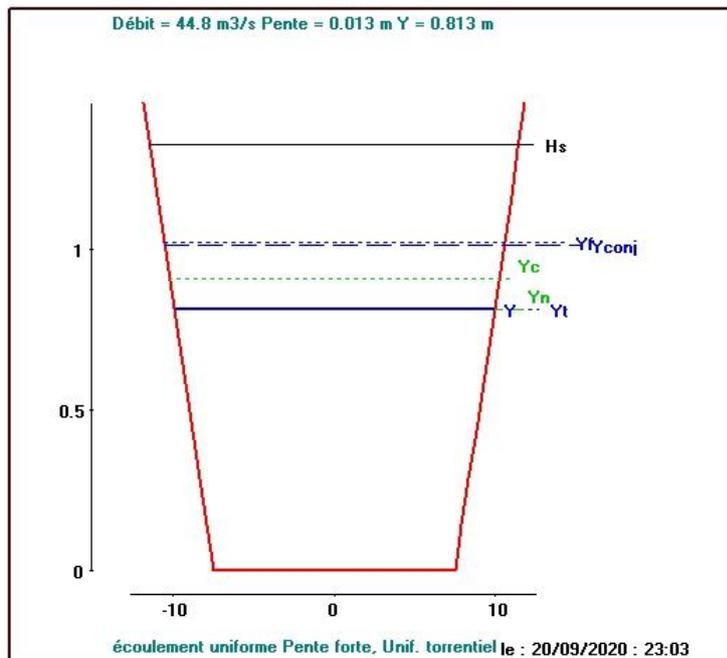
- **Gabion** : « entre la section 2019 m et la section 2132m et entre 2820m et 3231m »



- Largeur du fond :  $b = 15\text{ m}$  ;
- La pente : 0.013
- Hauteur du canal :  $H = 2\text{ m}$  ;
- H critique : 1.46 m
- Hauteur d'eau :  $h = 1.26\text{ m}$

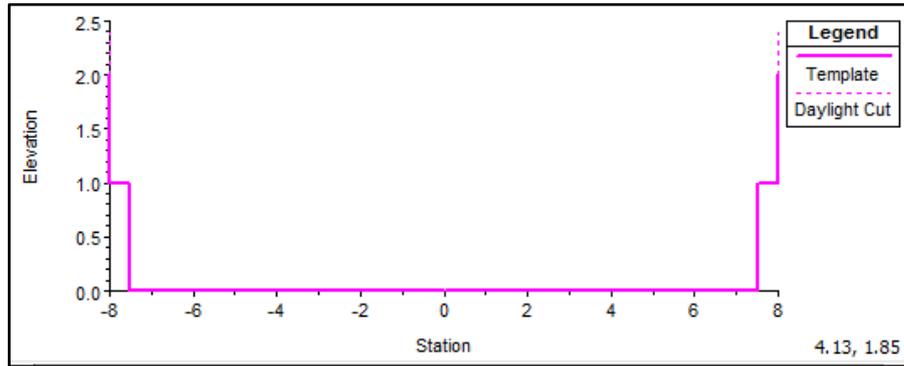
- **Canal en terre** : « entre la section 2132m et la section 2820m et 3231m et 4354 »

- Largeur du fond :  $b = 15\text{ m}$  ;
- Fruit de talus :  $m = 3$
- La pente : 0.013
- Hauteur du canal :  $H = 1.4\text{ m}$  ;
- H critique : 0.98 m
- Hauteur d'eau :  $h = 0.813\text{ m}$

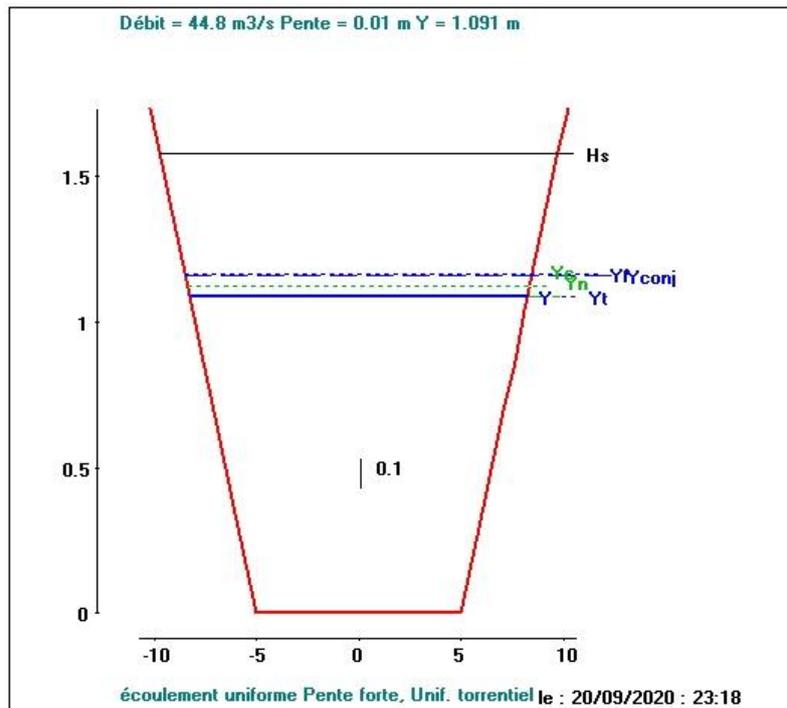


## Trancon G4

- **Gabion** : « entre la section 4354 m et la section 4703 »



- Largeur du fond :  $b = 15\text{ m}$  ;
  - La pente : 0.013
  - Hauteur du canal :  $H = 2\text{ m}$  ;
  - $H$  critique : 1.46 m
  - Hauteur d'eau :  $h = 1.26\text{ m}$
- **Canal en terre** : « entre la section 4703m et la section 7357m »
  - Largeur du fond :  $b = 10\text{ m}$  ;
  - Fruit de talus :  $m = 3$
  - La pente : 0.0096
  - Hauteur du canal :  $H = 1.6\text{ m}$  ;
  - $H$  critique : 1.12 m
  - Hauteur d'eau :  $h = 1.091\text{ m}$



**Annexe 03: Synthèses des résultats de simulation des aménagements des oueds de l'étude.**

Oued	station	Q Total	Cote F oued	N.L eau	H critique	N.L énergie	pente L é	Vitesse	S. mouillé	Froude	aménagement	Contrainte fond	Contrainte berge
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)			(N/m2)	(N/m2)
palm beach	1035.68	126.1	16.14	18.2	16.95	17.36	0.003309	2.76	45.65	0.47	Gabion	19.75	15.45
palm beach	924.36	126.1	14.88	16.79	16.79	17.21	0.014625	4.69	26.87	1	Gabion	60.17	47.07
palm beach	821.19	126.1	11.63	13.09	14.23	15.94	0.080026	5.47	14.89	2.32	Gabion	36.01	28.17
palm beach	603.06	126.1	6.25	7.74	7.74	8.86	0.014618	4.69	26.88	1	Gabion	20.64	16.14
palm beach	522.91	126.1	5.14	6.95	6.02	7.8	0.043609	6.94	18.17	1.72	Gabion	50.81	39.75
palm beach	442.76	126.1	2.89	4.46	3.89	6.77	0.003311	2.61	54.07	0.47	Gabion	16.79	13.14
palm beach	211.06	126.1	-0.3	1.94	2.08	1.94	0.001934	4.69	26.9	12	béton		
palm beach	102.76	126.1	-2.53	1.4	0.93	0.26	0.000388	2.69	46.85	12	béton		
gergour	7229.42	44.8	118.29	119.52	119.53	119.98	0.008297	2.98	15.02	1.01	Terre	21.14	16.54
gergour	7090.35	44.8	115.9	116.95	117.03	117.49	0.010451	3.23	13.87	1.12	Terre	10.57	8.27
gergour	6951.27	44.8	114.5	115.58	115.63	116.08	0.009658	3.14	14.25	1.08	Terre	10.87	8.51
gergour	6812.2	44.8	113.1	114.16	114.23	114.69	0.010392	3.22	13.9	1.12	Terre	9.91	7.75
gergour	6673.12	44.8	111.8	112.92	112.93	113.38	0.00828	2.98	15.03	1	Terre	10.47	8.19
gergour	6534.05	44.8	110.5	111.56	111.63	112.09	0.010401	3.22	13.89	1.12	Terre	10.67	8.35
gergour	6394.97	44.8	109.1	110.18	110.23	110.68	0.009709	3.15	14.23	1.08	Terre	10.14	7.93
gergour	6256.47	44.8	107.8	108.9	108.93	109.38	0.009048	3.07	14.58	1.05	Terre	10.32	8.08
gergour	6117.97	44.8	106.5	107.58	107.62	108.08	0.009672	3.15	14.24	1.08	Terre	10.14	7.93
gergour	5979.47	44.8	105.2	106.3	106.32	106.78	0.009069	3.08	14.56	1.05	Terre	11.12	8.70
gergour	5840.97	44.8	103.8	104.84	104.92	105.39	0.011035	3.29	13.61	1.15	Terre	10.51	8.22
gergour	5702.47	44.8	102.4	103.49	103.52	103.98	0.00919	3.09	14.5	1.05	Terre	11.71	9.16
gergour	5562.88	44.8	100.9	101.91	102.02	102.5	0.01213	3.4	13.18	1.2	Terre	9.41	7.36
gergour	5423.29	44.8	99.6	100.46	100.51	100.91	0.010204	2.95	15.16	1.09	Terre	9.86	7.71
gergour	5283.69	44.8	98	98.81	98.91	99.32	0.012599	3.17	14.14	1.2	Terre	9.28	7.26
gergour	5144.1	44.8	96.4	97.26	97.31	97.71	0.010427	2.98	15.05	1.1	Terre	7.03	5.50
gergour	4997.25	44.8	95.2	96.15	96.11	96.51	0.007248	2.64	16.98	0.93	Terre	7.12	5.57
gergour	4850.4	44.8	94.1	95.03	95.01	95.4	0.007758	2.7	16.6	0.96	Terre	7.60	5.95
gergour	4703.56	44.8	92.9	93.81	93.81	94.2	0.008596	2.79	16.05	1.01	Terre	10.53	8.24
gergour	4556.71	44.8	91.2	92.36	92.17	92.69	0.008331	2.54	17.63	0.77	Gabion	8.69	6.80
gergour	4409.86	44.8	90.1	91.35	90.65	91.62	0.006276	2.31	20.55	0.68	Gabion	8.70	6.80
gergour	4280.48	44.8	89.2	90.38	90.27	90.7	0.007979	2.51	17.87	0.76	Gabion	44.69	34.96
gergour	4151.1	44.8	84.3	85.62	84.12	85.92	0.007179	2.42	18.48	0.72	Gabion	7.14	5.59
gergour	4021.72	44.8	83.6	84.94	84.7	85.29	0.008843	2.59	17.3	0.8	Gabion	7.25	5.67
gergour	3892.34	44.8	82.9	83.52	83.02	84.77	0.005435	2.22	20.18	0.63	Gabion	4.03	3.15
gergour	3762.96	44.8	82.06	83.55	82.6	83.89	0.008751	2.58	17.36	0.79	Gabion	7.60	5.95
gergour	3633.58	44.8	81.4	82.71	81.9	82.97	0.005592	2.24	20	0.64	Gabion	6.08	4.75

gergour	3504.2	44.8	80.8	81.77	81.77	82.55	0.01422	3.08	14.55	1	Gabion	17.10	13.38
gergour	3368.09	44.8	78.4	78.92	79.37	80.6	0.104852	5.73	7.82	2.53	Gabion	19.10	14.94
gergour	3231.97	44.8	73.4	74.26	74.37	74.87	0.020701	3.46	12.93	1.19	Gabion	24.64	19.28
gergour	3095.86	44.8	69.5	70.44	69.71	71.31	0.05082	4.99	8.98	2.27	Terre	19.11	14.95
gergour	2958.12	44.8	66.7	67.57	67.61	68.01	0.009706	2.91	15.41	1.06	Terre	13.26	10.38
gergour	2820.38	44.8	64.6	65.29	65.51	66.03	0.022298	3.82	11.73	1.56	Terre	7.97	6.23
gergour	2682.64	44.8	63.01	63.95	63.97	64.45	0.015121	3.14	14.27	1.03	Gabion	21.91	17.14
gergour	2544.9	44.8	59.8	60.72	60.77	61.26	0.016749	3.24	13.82	1.08	Gabion	26.25	20.53
gergour	2407.16	44.8	55.87	56.67	56.67	57.15	0.014224	3.08	14.55	1	Gabion	19.57	15.31
gergour	2269.42	44.8	52.5	53.4	53.47	53.96	0.017817	3.3	13.56	1.11	Gabion	46.96	36.73
gergour	2132.76	44.8	45.37	45.89	46.27	46.65	0.276077	7.71	5.81	3.96	Gabion	53.54	41.89
gergour	1996.11	44.8	31.3	32.38	31.72	32.79	0.030773	4.67	9.6	1.84	Terre	9.48	7.42
gergour	1859.45	44.8	30.1	30.64	31.22	33.2	0.107578	7.09	6.32	3.28	Terre	4.82	3.77
gergour	1724.91	44.8	28.9	30.02	30.02	30.48	0.008299	2.98	15.02	1.01	Terre	16.15	12.63
gergour	1590.38	44.8	26.96	28.07	28.08	28.55	0.008755	3.04	14.74	1.03	Terre	8.33	6.52
gergour	1455.84	44.8	25.95	27.07	27.07	27.53	0.008299	2.98	15.02	1.01	Terre	27.10	21.20
gergour	1314.5	44.8	22.53	23.22	23.82	24.86	0.046477	5.36	8.35	2.23	Terre	7.27	5.69
gergour	1173.15	44.8	21.04	21.54	21.68	22.17	0.013317	3.51	12.76	1.25	Terre	7.73	6.05
gergour	1030.28	44.8	18.83	19.59	19.42	19.89	0.006436	2.73	16.4	0.89	Terre	5.59	4.37
gergour	887.41	44.8	17.78	18.82	18.69	19.11	0.005232	2.37	18.94	0.8	Terre	0.42	0.33
gergour	763.84	44.8	17.73	18.64	18.64	19.01	0.008587	2.79	16.05	1.01	Terre	6.04	4.72
gergour	640.28	44.8	16.91	18.04	17.91	18.33	0.00523	2.37	18.94	0.8	Terre	3.47	2.72
gergour	516.71	44.8	16.53	17.31	17.31	17.7	0.008585	2.79	16.05	1.01	Terre	1.98	1.55
gergour	406.62	44.8	16.25	16.85	16.01	17.21	0.015301	3.38	13.27	1.31	Terre	0.22	0.17
gergour	296.54	44.8	16.21	17.96	17.21	18.28	0.00062	1.08	41.52	0.22	Gabion	2.79	2.18
gergour	93.23	44.8	16.19	17.82	17.15	18.1	0.000548	1.01	49.39	0.21	Gabion	0.87	0.68
gergour	0	44.8	16.14	17.11	17.11	17.58	0.014208	3.08	14.56	1	Gabion	12.42	9.71
bridja	9386.11	79.5	136.3	138.91	137.55	138.47	0.001678	1.97	40.32	0.5	Terre	1.67	1.30
bridja	9260.91	79.5	136.22	138.8	137.42	138.93	0.00079	1.46	54.46	0.49	Terre	7.83	6.13
bridja	9135.7	79.5	136.6	138.71	134.91	138.87	0.00151	1.84	53.32	0.47	Terre	1.69	1.32
bridja	9010.5	79.5	136.5	138.58	135.52	138.67	0.001334	1.37	60.56	0.47	Terre	1.66	1.30
bridja	8885.29	79.5	136.4	137.91	137.91	138.29	0.009268	2.74	28.97	1	Terre	23.54	18.41
bridja	8750.57	79.5	134.3	135.43	135.75	136.5	0.01885	4.59	17.32	1.53	Terre	15.94	12.47
bridja	8615.84	79.5	132.4	133.69	133.85	134.46	0.011471	3.87	20.54	1.21	Terre	14.36	11.24
bridja	8481.12	79.5	130.9	132.21	132.35	132.95	0.010847	3.8	20.94	1.18	Terre	11.18	8.75
bridja	8363.96	79.5	129.9	131.35	131.35	131.92	0.007664	3.37	23.62	1.01	Terre	13.62	10.65
bridja	8246.81	79.5	128.8	130.11	130.25	130.85	0.010848	3.8	20.94	1.18	Terre	11.18	8.75

bridja	8129.65	79.5	127.8	129.25	129.25	129.82	0.007665	3.37	23.62	1.01	Terre	12.38	9.68
bridja	8012.49	79.5	126.8	128.17	128.25	128.83	0.009255	3.59	22.12	1.1	Terre	10.42	8.15
bridja	7881.02	79.5	125.8	127.27	127.25	127.82	0.007223	3.3	24.11	0.98	Terre	10.06	7.87
bridja	7749.56	79.5	124.9	126.44	126.35	126.93	0.006156	3.12	25.49	0.91	Terre	10.54	8.25
bridja	7618.09	79.5	124	125.45	125.45	126.02	0.007663	3.37	23.62	1.01	Terre	12.13	9.49
bridja	7486.63	79.5	122.9	124.29	124.35	124.93	0.008947	3.55	22.38	1.08	Terre	10.57	8.27
bridja	7355.16	79.5	121.9	123.51	123.35	123.95	0.0052	2.94	27.04	0.84	Terre	11.63	9.10
bridja	7244.41	79.5	121.1	122.55	122.55	123.12	0.011065	3.37	23.62	1.01	Terre	14.40	11.27
bridja	7133.66	79.5	120	121.39	121.45	122.03	0.008814	3.53	22.5	1.07	Terre	12.55	9.82
bridja	7022.91	79.5	119	120.42	120.45	121.02	0.009942	3.43	23.17	1.03	Terre	20.84	16.31
bridja	6886.65	79.5	117	118.82	118.45	119.14	0.004115	2.5	31.78	0.68	Terre	10.69	8.36
bridja	6750.39	79.5	116.2	117.65	117.65	118.22	0.011931	3.36	23.65	1	Terre	15.96	12.49
bridja	6614.14	79.5	114.7	115.84	115.99	116.57	0.012063	3.78	21.03	1.23	Terre	10.04	7.85
bridja	6477.88	79.5	113.5	114.89	114.79	115.34	0.007182	2.98	26.72	0.89	Terre	11.22	8.78
bridja	6341.62	79.5	112.4	113.7	113.7	114.23	0.009177	3.25	24.46	1	Terre	19.99	15.64
bridja	6218.07	79.5	110.5	111.47	111.8	112.53	0.021123	4.56	17.43	1.59	Terre	7.85	6.14
bridja	6094.51	79.5	109.5	110.79	110.8	111.33	0.007768	3.26	24.4	1	Terre	10.44	8.17
bridja	5970.96	79.5	108.5	109.93	109.8	110.35	0.006553	2.88	27.61	0.85	Terre	10.42	8.15
bridja	5847.4	79.5	107.6	109.05	108.89	109.46	0.008018	2.83	28.48	0.83	Terre	14.08	11.02
bridja	5723.85	79.5	106.4	107.69	107.69	108.23	0.012241	3.27	24.33	1.01	Terre	32.46	25.39
bridja	5580.77	79.5	102.8	103.66	104.1	105.06	0.04976	5.23	15.21	1.92	Terre	16.83	13.17
bridja	5437.7	79.5	100	101.27	101.3	101.83	0.011346	3.31	23.99	1.03	Terre	22.19	17.36
bridja	5294.62	79.5	97.5	98.39	98.69	99.42	0.026425	4.67	20.7	1.7	Terre	31.10	24.33
bridja	5151.54	79.5	92.5	93.32	93.79	94.88	0.03778	5.53	14.37	2.08	Terre	17.03	13.32
bridja	5002.27	79.5	89.4	90.48	90.69	91.31	0.014869	4.06	19.6	1.36	Terre	20.98	16.41
bridja	4853	79.5	86.5	87.45	87.79	88.57	0.022836	4.68	16.98	1.65	Terre	19.09	14.94
bridja	4703.74	79.5	83.5	84.51	84.79	85.48	0.018362	4.35	18.26	1.49	Terre	20.98	16.41
bridja	4554.47	79.5	80.4	81.36	81.69	82.46	0.022239	4.64	17.13	1.63	Terre	21.87	17.11
bridja	4405.2	79.5	77	77.95	78.29	79.07	0.023061	4.7	16.93	1.66	Terre	4.70	3.68
bridja	4283.91	79.5	76.4	77.82	77.69	78.25	0.006341	2.9	27.43	0.86	Terre	10.54	8.24
bridja	4162.61	79.5	75.5	76.88	76.8	77.34	0.008936	3.01	26.43	0.9	Terre	11.38	8.90
bridja	4041.32	79.5	74.5	76.04	75.5	76.39	0.006448	2.62	30.29	0.75	Terre	12.70	9.93
bridja	3920.02	79.5	73.5	74.8	74.8	75.33	0.012026	3.25	24.48	1	Terre	41.44	32.42
bridja	3712.97	79.5	66.9	67.76	67.88	68.36	0.016216	3.58	23.43	1.32	Terre	27.41	21.45
bridja	3609.45	79.5	63.6	64.45	64.91	65.91	0.03434	5.36	14.83	1.99	Terre	24.27	18.99
bridja	3490.37	79.5	60.2	61.12	61.49	62.33	0.025542	4.86	16.36	1.74	Terre	27.81	21.76
bridja	3371.29	79.5	56.6	57.46	57.89	58.88	0.032688	5.27	15.08	1.95	Terre	41.31	32.32

bridja	3252.21	79.5	50.88	51.8	52.17	53.01	0.029326	4.87	16.31	1.74	Terre	10.51	8.22
bridja	3133.13	79.5	49.52	50.32	50.69	51.53	0.031118	4.88	16.28	1.75	Terre	10.03	7.84
bridja	3008.67	79.5	47.96	49.25	49.25	49.8	0.009074	3.26	24.39	1.01	Terre	21.14	16.54
bridja	2884.21	79.5	45.92	47.07	47.21	47.71	0.012828	3.6	23.25	1.17	Terre	34.94	27.33
bridja	2742.03	79.5	41.6	43.39	43.47	44.12	0.013414	3.9	22.13	0.96	Gabion	40.79	31.91
bridja	2599.84	79.5	38.36	39.97	40.27	41.58	0.022227	4.75	16.88	1.23	Gabion	42.80	33.49
bridja	2457.66	79.5	34.58	36.36	36.42	37.29	0.016214	4.28	18.58	1.05	Gabion	25.76	20.15
bridja	2334.66	79.5	32.8	34.45	34.64	35.55	0.020798	4.65	17.11	1.19	Gabion	7.51	5.88
bridja	2211.67	79.5	32.24	34.19	34.27	35.15	0.016727	4.32	18.39	1.07	Gabion	12.93	10.11
bridja	1891.84	79.5	30.12	32.76	31.64	33.17	0.00479	2.84	28	0.57	Gabion	28.63	22.40
bridja	1790.4	79.5	29.02	31.53	31.53	32.41	0.014811	4.15	19.14	1.01	Gabion	12.87	10.07
bridja	1688.96	79.5	28.5	29.6	30.07	31.12	0.028613	5.46	14.55	1.86	Terre	6.04	4.73
bridja	1543.35	79.5	27.7	29.55	29.27	29.94	0.004119	2.77	28.75	0.76	Terre	11.43	8.94
bridja	1397.73	79.5	26.8	28.38	28.38	28.97	0.011712	3.42	23.24	1	Terre	25.16	19.68
bridja	1278.39	79.5	24.9	26.26	26.47	27.14	0.020081	4.13	19.23	1.28	Terre	22.79	17.83
bridja	1159.05	79.5	22.9	24.4	24.47	25.08	0.014156	3.66	21.74	1.09	Terre	23.88	18.68
bridja	1039.71	79.5	21	23.34	22.57	23.54	0.002612	2	39.74	0.5	Terre	5.59	4.38
bridja	956.06	79.5	20.8	23.1	22.6	23.31	0.002766	2.04	38.92	0.51	Terre	2.75	2.15
bridja	872.41	79.5	20.7	22.32	22.28	22.88	0.010523	3.29	24.14	0.95	Terre	18.02	14.10
bridja	782.51	79.5	19.7	21.28	21.28	21.87	0.01172	3.42	23.24	1	Terre	20.38	15.95
bridja	692.6	79.5	18.54	20.74	20.11	20.98	0.003329	2.18	36.41	0.56	Terre	6.58	5.15
bridja	578.98	79.5	18.2	20.25	20.1	20.54	0.004359	2.41	33.05	0.63	Terre	9.02	7.06
bridja	465.35	79.5	17.7	19.28	19.28	19.87	0.007505	3.42	23.23	1	Terre	10.18	7.96
bridja	342.68	79.5	16.91	18.03	18.17	18.52	0.016392	3.09	25.69	1.55	Terre	5.73	4.48
bridja	262.54	79.5	16.5	17.22	17.22	18.62	0.000423	1.07	82.96	0.2	Gabion	1.80	1.41
bridja	182.39	79.5	16.3	17.98	17.69	18.72	0.011701	3.36	25.71	0.93	Gabion	2.25	1.76
bridja	77.79	79.5	16.16	16.76	17.52	18.55	0.057522	5.91	13.45	1.99	Gabion	0.15	0.12
bridja	0	79.5	16.14	17.56	17.56	18.42	0.01363	3.66	21.69	1.01	Gabion	3.78	3.25