



DEPARTEMENT Hydraulique Urbaine

## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

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

**OPTION : Assainissement**

**THEME :**

**PROTECTION DE LA VILLE DE BORDJ MENAIEL  
CONTRE LES INONDATIONS (W.BOUMERDES)**

**Présenté par :**

**M<sup>r</sup> : HADOUR Ali**

**DEVANT LES MEMBRES DU JURY**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
M <sup>me</sup> : MEDDI Hind	M.C.B	Présidente
M <sup>me</sup> : HADJ SADOK Nabila	M.A.A	Examinatrice
M <sup>me</sup> : HOULI Samia	M.A.A	Examinatrice
M <sup>r</sup> : KAHLERRAS Djilali	M.C.B	Examineur
M <sup>r</sup> : YAHIAOUI Samir	Doctorant	Promoteur

**Septembre 2015**



# Dédicace

*A Celui qui ma apprit cette citation : « Si tu veux t'acheminer vers la paix définitive, souris au destin qui tu frappe et ne frappe et ne frappe personne ». À toutes les personnes qui m'ont aidé à la comprendre.*

*A toutes les braves personnes qui ont consacrés leurs vies pour pousser la roue de la science en avant, et qui ont guidés les civilisations humaines de la nuit des temps à nos jours.*

*Aucun remord n'amortit la chute, la chance passe une fois,*

*On la saisit, ou bien on la laisse filer...*

*Qu'as-tu fais de la tienne ?*



# Remerciement

Arrivé au terme de ce mémoire, il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma gratitude et mes remerciements à tous ceux qui, par leurs enseignements, leurs soutiens et leurs conseils, m'ont aidé à sa réalisation.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma gratitude à mon encadreur Mr S. YAHIAOUI, qui m'a honoré de sa confiance en m'acceptant et en croyant en mes capacités, je le remercie pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion, et j'ai particulièrement été impressionné par ses qualités scientifiques et humaines.

Que Mesdames, Messieurs les membres du jury trouvent ici l'expression de ma reconnaissance pour avoir accepté de juger mon travail.

Je tiens remercier **mes parents** pour le soutien inconditionnel dont ils ont fait preuve depuis que mon projet professionnel est défini. Merci pour le soutien financier, moral, psychologique et matériel. Si je suis ici aujourd'hui, c'est grâce à vous!

Je souhaite surtout remercier, mes frères **Djamel** et **Kamel** et ma sœur **Meriem** pour leur amour et leur incontestable appui, ainsi que leurs confiance en moi et leurs soutiens sans faille, que dieu protège notre famille et qu'il illumine nos jours par sa bénédiction.

A mes chers amis Amar et Hachimi pour tout le soutien qu'ils m'ont apportés et pour leur aide dans les moments les plus durs, sincèrement bénis sois le jour ou je vous ai connus.

A tous mes chers amis et amies : Khali moh, Da Salim, Chich Abdeslam, Khoya ali, Amar, Amirouche, Idir, pedro, Gaya, Roza, Naima, Dihia, Sonia, ...et la liste est bien longue.

A toute ma grande famille.

Je voudrais aussi remercier mes enseignants de l'école primaire à l'ENSH , en particulier Mr Meddi, Mr Djamel Kaddouri, Chich Kamel., ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

Finalement j'exprime mon grand respect pour tous les bibliothécaires Youcef, Mansour....et tous les fonctionnaires de l'ENSH.

Enfin, il me serait difficile d'omettre de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail. Qu'ils trouvent dans ses quelques lignes l'expression de mes sincères remerciements.

**HADOUR Ali**  
**Septembre 2015**

## ملخص :

الغرض من هذه الدراسة هو حماية بلدة برج منايل ولاية بومرداس ضد الفيضانات الناجمة عن فيضان نهري منايل وبسبس الواقعين شرق وغرب المدينة على التوالي .

يتم بدء الدراسة بتحديد الخصائص المناخية التابعة للحوض، التي تعتبر ضرورية للدراسة الهيدرولوجية، التي تهدف إلى تنبؤ هطول أمطار المشروع. ثم شرع في التحول من المطر الصافي الى التدفق لتحديد تدفق الفيضانات المركزية.

إن تشخيص الأرضية، ومحاكاة هيدروليكية في الحالة الطبيعية للأودية، تمكننا من تحديد الحالات الشاذة وتقييم قابلية التعرض وتحديد مختلف العوامل الهيدروليكية والهندسية للتدفق. ووفقا لهذا الدليل التشخيصي، اقترحنا بعض الحلول التي من شأنها أن تكون دراسة فنية واقتصادية للاحتفاظ بالأفضل والأكثر ملائمة. أخيرا قمنا بمناقشة البديل المختار بالتفصيل مع تحديد فترة و تكاليف تنفيذ هذا المشروع.

## Résumé :

L'objet de cette étude est de protéger la ville de Bordj Menaiel wilaya de Boumerdes contre les inondations, causées par le débordement de l'oued Menaiel et Besbes situés respectivement dans les parties Est et Ouest qui traversent la ville.

L'étude a été débutée par la détermination des caractéristiques climatiques ainsi celles du bassin versant, qui sont des éléments indispensables pour une étude hydrologique, dont le but est la prévision de la pluie de projet. Ensuite, nous avons procédé à la transformation de la pluie nette en écoulement, afin de déterminer le flux de la crue centennale.

Le diagnostic du terrain, et la simulation du fonctionnement hydraulique à l'état naturel des oueds, nous ont permis de recenser les anomalies et évaluer la vulnérabilité ainsi que la détermination des différents paramètres hydrauliques et géométriques de l'écoulement. Nous avons proposé selon la notice de ce diagnostic des solutions qui ont fait l'objet d'une étude technico-économique afin de retenir la meilleure variante et la plus adéquate. Finalement, la variante retenue est traitée en détail avec la détermination du coût et la durée de réalisation du projet.

## Abstract:

The purpose of this study is to protect the town of Bordj Menaiel Boumerdes against floods caused by river flooding Menaiel and Besbes located in the east and west of the city respectively.

The study started by the determination of climatic characteristics and those of the basin, which are essential for a hydrological study, which aims to predict the rainfall of the project. Then we proceeded to the transformation of net rain to flow to determine the central flood flow.

The diagnosis of the terrain, and simulating hydraulic operation to the natural state of watersheds, we identified anomalies and assess vulnerability and determination of various hydraulic and geometric parameters of flow. According to the manual of this diagnostic we propose technical and economical solutions in order to retain the best and most adequate. Finally the variant adopted is discussed in detail with the determination of cost and period of project implementation.

# SOMMAIRE

---

Introduction générale:.....	1
-----------------------------	---

## Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

1. Présentation de la zone d'étude.....	2
Introduction : .....	2
1.1 Situation géographique de la ville de Bordj Menaiel.....	2
1.2 Situation climatique .....	2
1.3 Situation topographique .....	5
1.4 Situation géologique et géotechnique .....	6
1.5 Sismicité.....	6
1.6 Infrastructure et réseau.....	7
2. Présentation de bassin versant.....	8
Introduction .....	8
2.1 Notion de 'bassin versant' .....	8
2.2 Présentation du bassin versant .....	9
2.3 Caractéristiques morphométriques.....	10
2.4 Les reliefs.....	11
2.5 Caractéristiques du réseau hydrographique : .....	16
Conclusion :.....	21

## Chapitre II : étude hydrologique

Introduction .....	22
2.1 Echelle spatio-temporelle de l'étude hydrologique .....	22
2.2 Définition et démarche de l'analyse fréquentielle .....	23
2.3 Contrôle de la série de valeurs .....	23
2.3.1 Vérification de l'homogénéisation de la série .....	23
2.4 Choix du modèle fréquentiel .....	25
2.5 Ajustement du modèle fréquentiel.....	27
2.5.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel .....	27
2.5.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton .....	29
2.5.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi des extrêmes généralisée .....	30
2.6 Contrôle de l'ajustement.....	31
2.6.1 Démarche de test $\chi^2$ .....	32
2.7 Exploitation du modèle fréquentiel .....	34
2.8 Pluies de courte durée.....	34
2.9 Etudes des crues.....	37
2.9.1 Calcul le débit de point par la méthode empirique : .....	38
2.9.2 Application de modèle HEC-HMS dans la détermination de la crue de projet .	46
2.9.3 Présentation de sous modèle de calcul du processus d'infiltration« SCS curve number » : .....	47
2.9.4 Présentation de sous modèle de calcul du processus d'écoulement direct« SCS unit hydrograph » : .....	51
2.9.5 Démarche de la modélisation .....	52
2.9.6 Simulation hydrologiques et visualisation des résultats.....	52
Conclusion :.....	54

### **Chapitre III : Analyse des conditions naturelles du fonctionnement de l'oued et mise en évidence des zones vulnérables**

Introduction .....	55
3.1 Description générale .....	55
3.1.1 Oued MEMAIEL.....	55
3.1.2 OUED BASBES.....	56
3.1.3 Aperçu sur les ouvrages existants .....	56
3.2 ENQUETE DE TERRAIN ET DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	57
3.2.1 Oued Menaïel .....	57
3.2.2 Oued Besbes .....	58
3.2.3 Constatations .....	58
3.3 Choix de modèle.....	59
3.4 Les équations mises en jeu .....	60
3.4.1 Le cas stationnaire .....	60
3.4.2 Cas instationnaire .....	62
3.5 Banque de données nécessaire à l'application du code de calcul HEC-RAS.....	63
3.6 Démarche de la modélisation .....	63
3.6.1 Modélisation de la rivière.....	63
3.6.2 Modélisation de l'écoulement .....	66
3.6.3 Mise en marche de la simulation.....	66
3.6.4 Visualisation des résultats .....	66
3.7 Délimitation de la zone inondable .....	71
Conclusion.....	72

### **Chapitre IV : Etude bibliographique sur les moyens de protections contre les inondations**

Introduction .....	73
4.1 Définition d'un cours d'eau .....	73
4.2 C'est quoi l'aménagement d'un cours d'eau ? .....	73
4.3 Techniques d'aménagements d'un cours d'eau.....	74
4.3.1 Dragage (approfondissement du lit).....	74
4.3.2 Rectification .....	74
4.3.3 Recalibrage.....	75
4.3.4 Reprofilage .....	75
4.3.5 Canalisation (bétonnage des berges et parfois du fond).....	76
4.3.6 Endiguement.....	76
4.3.7 La restauration.....	76
4.3.8 L'entretien .....	77
4.4 Techniques de protection des berges .....	78
4.4.1 Les techniques végétales de protection des berges : .....	78
4.4.2 Matériaux granulaire pour protéger les berges.....	84
4.5 Ouvrage de protection contre les inondations .....	86
4.5.1 Ouvrage d'écrêtements des crues .....	86
4.5.2 Bassin de rétention .....	86
4.5.3 Seuils .....	87
4.5.4 Mur anti crues.....	87
4.5.5 Ouvrages de ralentissement dynamique .....	88
Conclusion.....	89

## Chapitre V: Etude des variantes

Introduction .....	90
5.1 Description des variantes proposées pour l'étude .....	90
5.1.1 Oued Menaïel .....	90
5.2.1.1.1 Description des variantes proposées pour le tronçon aval .....	91
5.1.2 Oued Besbes .....	92
5.2 Etude des variantes .....	92
5.2.1 Oued Menaïel .....	92
5.2.1.1 Etude de la première variante .....	92
5.2.1.2 Etude de la deuxième variante .....	94
5.2.1.3 Etude de la troisième variante .....	94
5.2.2 Oued Basbes .....	95
5.2.2.1 Etude de la première variante .....	95
5.2.2.2 Etude de la deuxième variante .....	96
5.3 Calcul hydraulique des paramètres de l'écoulement .....	97
5.3.1 Oued Menaïel .....	97
5.3.2 Oued Besbes .....	104
5.4 Estimation du coût des variantes .....	107
5.5 Choix de la variante du projet .....	112
Conclusion .....	114

## Chapitre VI: Calcul hydraulique

Introduction .....	115
6.1 Aménagement écologique du tronçon amont de l'oued Menaïel .....	115
6.1.1 Restauration de la rivière .....	116
6.1.2 Talutage des berges .....	117
6.1.3 Fascinage des pieds de berges .....	117
6.1.4 Ensemencement de la mi-berge .....	119
6.1.5 Plantation sur les rives .....	120
6.2 Aménagement par des canaux à ciel ouvert .....	120
6.2.1 Divers régimes d'écoulement à surface libre .....	120
6.2.2 Justification de choix de la section trapézoïdale .....	121
6.2.3 Les paramètres géométriques .....	122
6.2.4 Paramètres hydrauliques .....	124
6.2.5 Calcul des paramètres géométrique et hydraulique .....	125
6.3 Les ouvrages d'entrés .....	129
6.4 Vérification des traversées de route et chemin de fer .....	131
Etude du ressaut .....	132
6.5 Bassin d'amortissement .....	135
Conclusion .....	136

## Chapitre VII: Organisation de chantier

Introduction .....	137
7.1 Généralités .....	137
7.1.1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier .....	137
7.1.2 Les moyens de chantier .....	137
7.1.3 Installation du chantier .....	140
7.2 Succession des opérations du chantier .....	140
7.2.1 Travaux préparatoires .....	140

7.2.2	Exécution de l'ouvrage.....	140
7.3	Détermination des différents volumes .....	141
7.3.1	Volume des déblais des tranchés.....	141
7.3.2	Volumes des remblais des tranchés.....	141
7.3.3	Volume du lit du gravier .....	141
7.3.4	Volume du lit de propreté.....	142
7.3.5	Volume du béton armé .....	142
7.3.6	Volume de la pierre maçonnée.....	143
7.3.7	Volume des roches du bassin d'amortissements .....	143
7.4	Devis quantitatif et estimatif des travaux .....	144
7.5	Planification.....	145
7.5.1	Collection des informations .....	145
7.5.2	Décomposition de projet en taches.....	145
7.5.3	Prévoir la relation entre les opérations .....	145
7.5.4	Attribution des durées .....	145
7.5.5	Construction de réseau .....	145
7.6	Elaboration du réseau selon la méthode C.P.M.....	147
7.7	Diagramme de Gantt.....	149
Conclusion.....		150
Conclusion générale .....		151

# La liste des tableaux

---

## **Chapitre I : Présentation de la zone d'étude**

Tableau I.1 : Répartition Mensuelle de la Pluviométrie.....	3
Tableau I.2 : Répartition Mensuelle des températures.....	4
Tableau I.3 : Répartition Mensuelle de l'évapotranspiration potentielle.....	5
Tableau I.4 : Coordonnées du bassin versant.....	10
Tableau I.5 : Les paramètres morphométriques des sous bassins.....	11
Tableau I.6 : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du S.B.N°1.....	12
Tableau I.7 : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du S.B.N°2.....	12
Tableau I.8 : Altitudes caractéristiques.....	14
Tableau I.9 : Classification du relief.....	14
Tableau I.10 : Indice de pente global et classification.....	15
Tableau I.11 : Classification du relief.....	15
Tableau I.12 : Dénivelée spécifique.....	16
Tableau I.13 : Pente moyenne du bassin versant.....	17
Tableau I.14 : Densité de drainage.....	18
Tableau I.15 : Pente moyenne du cours d'eau principal.....	18
Tableau I.16 : Temps de concentration.....	19
Tableau I.17 : Vitesse de ruissellement.....	20
Tableau I.18 : Récapitulation des caractéristiques hydromorphométriques des sous bassins..	20

## **Chapitre II : étude hydrologique**

Tableau II.1 : Pluies maximales journalières [1946-1998] Station de Bordj Menaïel.....	22
Tableau II.2: Calcul des paramètres du test de la médiane.....	24
Tableau II.3 : résultats de test de la médiane.....	25
Tableau II.4 : Les paramètres de la loi de Gumbel.....	28
Tableau II.5 : Les paramètres de la loi de Gumbel issus de la méthode des moments.....	28
Tableau II.6 : Calcul des quantiles.....	29
Tableau II.7 : Les paramètres de la loi log-normale.....	30
Tableau II.8 : Calcul des quantiles par la droite de Galton.....	30
Tableau II.9 : Calcul des quantiles par la loi de GEV.....	31
Tableau II.10 : Calcul des bornes supérieures des classes.....	32

Tableau II.11 : Calcul de $N_j$ .....	33
Tableau II.12 : Paramètres de test $X^2$ .....	33
Tableau II.13 : Paramètres de test $X^2$ .....	34
Tableau II.14 : paramètres de test $X^2$ .....	35
Tableau II.15 : Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de période retour T.....	35
Tableau II.16 : Valeurs de paramètre $P_0$ (Boutoutaou D. 2008).....	39
Tableau II.17: Valeurs des coefficients A,B et n.....	40
Tableau II.18 : Valeurs attribuées aux paramètres A, B, n, et $P_0$ .....	42
Tableau II.18 ‘ : Valeur de temps de concentration.....	42
Tableau II.19 : Calcul de l’intensité maximale pour différentes périodes de retours T.....	42
Tableau II.20 : Calcul de débit de pointe de la crue pour différentes période de retours T.....	43
Tableau II.21 : Calcul de Q (t) pour différentes périodes de retours T.....	43
Tableau II.22 : Valeur de temps de concentration.....	44
Tableau II.23 : Calcul de l’intensité maximale pour différentes périodes de retours T.....	44
Tableau II.24 : Calcul de débit de pointe de la crue pour différentes période de retours T.....	45
Tableau II.25 : Calcul de Q (t) pour différentes périodes de retours.....	45
Tableau II.26 : Catégories d’occupation du sol et valeurs de CN.....	48
Tableau II.27 : Calcul de $CN*S$ pour le sous bassin N1.....	49
Tableau II.28 : Calcul de $CN_p$ de sous bassin N°1.....	50
Tableau II.29 : Calcul de $CN*S$ pour le sous bassin N°2.....	50
Tableau II.30 : Calcul de $CN_p$ de sous bassin N°2.....	51
Tableau II.30 : Coefficient d’imperméabilisation des sous bassins.....	51
Tableau II.31 : Les entrées du modèle HEC-HMS.....	51
Tableau II.32 : Les valeurs de débits centennaux donnés par le modèle HEC-HMS.....	54

### **Chapitre III : Analyse des conditions naturelles du fonctionnement de l’oued et mise en évidence des zones vulnérables**

Tableau III.1 : Positionnement et l’état des ouvrages.....	56
Tableau III.2 : Positionnement et l’état des ouvrages.....	57
Tableau III.3 : les valeurs attribuées au coefficient de Manning « Oued Menaiel ».....	65
Tableau III.4 : Les valeurs attribuées au coefficient de Manning « Oued Besbes ».....	65
Tableau III.5 : Résultats de simulation de l’Oued Menaiel à son état naturel.....	67
Tableau III.6 : Résultats de simulation de l’Oued Besbes à son état naturel.....	69

## Chapitre V : étude des variantes

Tableau V.1 : caractéristiques des sous tronçon d'oued Menaiel.....	92
Tableau V.2 : Caractéristiques des sous tronçons aménagées d'oued Menaiel.....	93
Tableau V.3 : Calcul des caractéristiques géométriques de la première variante.....	94
Tableau V.4 : Paramètres géométriques de la deuxième variante (oued Menaiel).....	94
Tableau V.5 : Paramètres géométriques de la troisième variante (oued Menaiel).....	95
Tableau V.6 : caractéristiques des sous tronçons d'oued Besbes.....	95
Tableau V.7 : Caractéristiques des sous tronçons aménagées de l'oued Besbes.....	96
Tableau V.8 : Paramètres géométriques de la première variante (Oued Besbes).....	96
Tableau V.9 : Paramètres géométriques de la deuxième variante (Oued Besbes).....	97
Tableau V.10 : Paramètres de l'écoulement pour la première variante (Oued Menaiel).....	97
Tableau V.11 : Paramètres de l'écoulement pour la deuxième variante (Oued Menaiel).....	100
Tableau V.12 : Paramètres de l'écoulement pour la troisième variante (Oued Menaiel).....	102
Tableau V.13 : Paramètres de l'écoulement pour la première variante (Oued Besbes).....	104
Tableau V.14 : Paramètres de l'écoulement pour deuxième variante (Oued Besbes).....	105
Tableau V.15 : Estimation de la quantité des travaux de génie civil pour la première variante (Oued Menaiel).....	108
Tableau V.16 : Coût de la première variante (Oued Menaiel).....	108
Tableau V.17 : Estimation de la quantité des travaux de génie civil pour la deuxième variante (Oued Menaiel).....	108
Tableau V.18 : Coût de la deuxième variante (Oued Menaiel).....	109
Tableau V.19 : Estimation de la quantité des travaux de génie civil pour la troisième variante (Oued Menaiel).....	109
Tableau V.20 : Coût de la troisième variante (Oued Menaiel).....	110
Tableau V.21 : Quantités des travaux génie civil pour la première variante (Oued Besbes).	110
Tableau V.22 : Coût de la première variante (Oued Besbes).....	111
Tableau V.23 : Quantités des travaux génie civil pour la première variante (Oued Besbes).	111
Tableau V.24 : Coût de la deuxième variante (Oued Besbes).....	111
Tableau V.26 : Caractéristiques des différents revêtements des canaux.....	112
Tableau V.25 : Coût des variantes (oued Menaiel).....	113
Tableau V.26 : Coût des variantes (oued Besbes).....	113

## **Chapitre VI: Calcul hydraulique**

Tableau VI.1 : Calcul des paramètres géométriques du canal de l'oued Menaiel.....	127
Tableau VI.2 : Calcul des paramètres hydrauliques dans le canal de l'oued Menaiel.....	127
Tableau VI.3 : Calcul des paramètres géométriques du canal de l'oued Besbes.....	128
Tableau VI.4 : Calcul des paramètres hydrauliques dans le canal de l'oued Besbes.....	128
Tableau VI.5 : Vérification de la capacité des traversées de la route et chemin de fer (oued Menaiel).....	131
Tableau VI.6 : Vérification de la capacité des traversées de la route et chemin de fer (oued Besbes).....	132
Tableau VI.7 : Caractéristiques de ressaut hydraulique (Oued Menaiel).....	134
Tableau VI.8 : Caractéristiques de ressaut hydraulique (Oued Besbes).....	134
Tableau VI.9 : Calcul de la largeur du bassin d'amortissement (Oued Besbes).....	135

## **Chapitre VII: Organisation de chantier**

Tableau VII.1 : Volume des travaux de l'oued Menaiel et Besbes.....	143
Tableau VII.2 : Le devis des différents travaux de l'oued Menaiel.....	144
Tableau VII.3 : Le devis des différents travaux de l'oued Besbes.....	144
Tableau VII.4 : Temps de réalisation de chaque tâche (Oued Menaiel).....	147
Tableau VII.5 : Temps de réalisation de chaque tâche (Oued Besbes).....	147

# La liste des figures

---

## **Chapitre I : Présentation de la zone d'étude**

Figure. I.1 : répartition des précipitations mensuelles interannuelles.....	3
Figure I.2 : répartition mensuelle des températures.....	4
Figure I.3 : Répartition mensuelle de l'évapotranspiration potentielle.....	5
Figure I.4 : Modèle numérique de la topographie du BV de Menaiel.....	6
Figure I.5 : La carte des zones sismiques de l'Algérie.....	7
Figure I.6 : Limite du bassin versant Menaiel et Besbes.....	9
Figure I.7 : Courbe hypsométrique du B.V.N°1.....	13
Figure I.8 : Courbe hypsométrique du B.V.N°2.....	13
Figure I.9 : Classification de Schum (Oued Menaiel).....	17
Figure I.10 : Classification de Schum (Oued Besbes).....	17

## **Chapitre II : étude hydrologique**

Figure II.1 : Démarche de l'analyse fréquentielle.....	23
Figure II.2 : Comportement asymptotique de la série.....	26
Figure II.3 : 4 types de comportement asymptotique.....	26
Figure II.4 : Graphe d'ajustement de la loi de Gumbel.....	28
Figure II.5 : Courbes des pluies-durées-fréquences.....	36
Figure II.6 : Courbes intensités-durées-fréquences.....	37
Figure II.7 : Carte de localisation des bassins hydrographiques de l'Algérie.....	41
Figure II.8 : Hydrogramme de crue correspond aux différentes périodes de retours.....	44
Figure II.9 : Hydrogramme de crue correspond aux différentes périodes de retours.....	46
Figure II.10 : La relation Pluie-Débit : Production et transfert.....	47
Figure II.11 : Localisation des différentes catégories d'occupation du sol dans le sous bassin N°1..	49
Figure II.12 : Localisation des différentes catégories d'occupation du sol dans le sous bassin N°2..	50
Figure II.13 : Hydrogramme de crue à l'exutoire de sous bassin N°1.....	53
Figure II.14 : Hydrogramme de crue à l'exutoire de sous bassin N°1.....	53

## **Chapitre III : Analyse des conditions naturelles du fonctionnement de**

### **l'oued et mise en évidence des zones vulnérables**

#### **Figure III.1 : Situation d'un passage en dalot oued Besbes**

Figure III.2 : Conservation de la charge entre deux sections (source : HEC-RAS).....	61
--	----

Figure III.3 : Découpage de la section pour le calcul du frottement (source : HECR-RAS)...	61
Figure III.4 : élément de volume élémentaire de contrôle (Source HEC-RAS).....	62
Figure III.5 : Les différentes étapes pour définir le tracé d'oued Menaiel.....	64
Figure III.6 : Les différentes étapes pour définir le tracé d'oued Besbes.....	65
Figure III.7 : Profil en long de l'oued Menaiel à l'état naturel.....	66
Figure III.8 : Profils en long de l'oued Besbes à l'état naturel.....	69
Figure III.9 : Fichier DEM de l'oued Besbes.....	71
Figure III.10 : Fichier DEM de l'oued Menaiel.....	72

## **Chapitre IV : Etude bibliographique sur les moyens de protections contre les inondations**

Figure VI.1 : Dragage d'un cours d'eau.....	74
Figure IV.2 : Rectification d'un cours d'eau.....	74
Figure IV.3 : Recalibrage d'un cours d'eau.....	75
Figure IV.4 : reprofilage d'un cours d'eau.....	76
Figure IV.5 : endiguement d'un cours d'eau.....	76
Figure IV.6 : restauration d'un cours d'eau.....	77
Figure IV.7 : Entretien d'un cours d'eau.....	77
Figure IV.8 : Ensemencement sur toile de jute, partiellement réussi.....	80
Figure IV.9 : Tapis vivant.....	81
Figure IV.10 : Boutures.....	81
Figure IV.11 : Plançons (utilisées en reconstitution de berges).....	82
Figure IV.12 : Fascines.....	83
Figure IV.13 : Treillis de branches.....	83
Figure IV.14 : épis vivants.....	84
Figure IV.15 : Tunages et divers types de remblaiement de pied de berge.....	84
Figure IV.16 : Ouvrages d'écêtement des crues.....	86
Figure IV.17 : Barrages d'écêtement des crues.....	86
Figure IV.18 : Bassin de rétention a rejet limite.....	87
Figure IV.19 : Bassin de rétention par infiltration.....	87
Figure IV.20 : Seuil en pierre.....	87
Figure IV.21 : Seuils en bois.....	87
Figure IV.22 : Endiguement des berges.....	88

## **Chapitre V : étude des variantes**

Figure V.1 : profil en long de la première variante (Oued Menaiel).....	99
Figure V.2 : Profil en long de la deuxième variante (Oued Menaiel).....	101
Figure V.3 : Profil en long de la troisième variante (Oued Menaiel).....	103
Figure V.4 : Profil en long de la première variante (Oued Besbes).....	105
Figure V.5 : Profil en long de la deuxième variante (Oued Besbes).....	107

## **Chapitre VI : Calcul hydraulique**

Figure VI.1 : Formation d'embâcles par l'accumulation des débris.....	116
Figure VI.2 : mise en œuvre des fascines.....	118
Figure VI.3 : Ensemencement des berges.....	119
Figure VI.4 : Classification des écoulements [Source : (BENNIS ; 2009)].....	121
Figure VI.5 : Les paramètres géométriques d'une section trapézoïdale.....	121
Figure VI.6 : Tirant d'eau.....	123
Figure VI.7 : Section mouillée (a) et périmètre mouillée (b).....	123
Figure VI.8 : coupe type de l'ouvrage d'entrée de l'oued Menaiel avec ses dimensions.....	130
Figure VI.9 : coupe type de l'ouvrage d'entrée de l'oued Besbes avec ses dimensions.....	130
Figure VI.10 : Schéma d'un ressaut hydraulique.....	132
Figure VI.11 : les dimensions du bassin d'amortissement type I.....	135

## **Chapitre VII: Organisation de chantier**

Figure VII.1 : Pelle à chenilles avec godet à position rétro.....	138
Figure VII.2 : bulldozer.....	138
Figure VII.3 : chargeur pneumatique.....	139
Figure VII.4 : camion à benne.....	139
Figure VII.5 : bétonneuse.....	140
Figure VII.6 : réseau à nœud du projet d'aménagement de l'oued Menaiel.....	148
Figure VII.7 : réseau à nœud du projet d'aménagement de l'oued Besbes.....	148
Figure VII.8 : Diagramme de Gantt (Aménagement de l'oued Menaiel).....	149
Figure VII.9 : Diagramme de Gantt (Aménagement de l'oued Besbes).....	149

# Liste des planches

---

**Planche N°1 :** Délimitation des zones inondables de l'oued Menaiel pour une crue centennale.

**Planche N°2 :** Délimitation des zones inondables de l'oued Besbes pour une crue centennale.

**Planche N°3 :** Plan de situation de l'oued Menaiel et Besbes.

**Planche N°4 :** Profil en long de l'oued Menaiel du A1 à A42.

**Planche N°5 :** Profil en long de l'oued Besbes du B1 à B36.

**Planche N°6 :** Profil en travers de l'oued Besbes (coupe B1-B1) et l'oued Menaiel coupe (A1-A2)

## **Introduction générale**

Tremblements de terre, tsunamis, éruptions volcaniques, glissements de terrains, inondations... ; des évènements exceptionnels qui déploient une violence accrue d'année en année et qui sont à l'origine de désordres souvent importants, qui n'ont cessé de secouer le bien être de l'homme. Un de ces phénomènes qui s'accroissent et qui deviennent récurrents dans le monde, c'est bien les débordements d'eau qui submergent les terrains environnants, qu'on nomme les inondations.

L'envergure des inondations dans le monde est recensée à environ un millier, et la majeure partie est provoquée par les crues ; leurs effets sont essentiellement : les pertes humaines, et matérielles se caractérisant par les mouvements de terrain – écroulements, éboulements, glissements..., les destructions d'ouvrages – barrages, ponts...

Les inondations figurant parmi les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus dévastatrices en Algérie. Touchant plusieurs régions, atteignant parfois l'ampleur d'une catastrophe nationale telles que : Les inondations de Mars 1974 des bassins versants de l'algérois et du Sébaou, les inondations de décembre 1984 sur tout l'Est Algérien ou celles du 9 et 10 novembre 2001 sur la cote Algéroise (Bab El Oued-plus d'un millier de morts et dégâts matériels importants). Notre projet est dans ce sens, vu que la ville de Bordj Menaiel est traversée par deux affluents de moyenne importance, qui sont à l'origine de débordements récurrents, causant des complications pour les riverains, ainsi que les usagers de la route nationale N°12 et le chemin de fer. Pour y remédier à cette situation l'objet de notre travail, est de concevoir un système de protection.

Afin de bien mener cette étude nous avons opté pour un plan de travail scindé en 7 chapitres :

- Présentation de la zone d'étude.
- Etude hydrologique.
- Analyse des conditions du fonctionnement de l'oued et mise en évidence des zones vulnérables.
- Etude bibliographique sur les moyens de protection contre les inondations.
- Etude des variantes.
- Calcul hydraulique.
- Organisation de chantier.

# Chapitre I :

## Présentation de la zone d'étude

## 1. Présentation de la zone d'étude

### Introduction :

Pour que nous puissions faire des aménagements au sien d'un bassin versant, et appréhender les différentes composantes de l'écoulement et sa réponse à un évènement pluvieux et comment cette réponse manifeste dans le temps et dans l'espace, nous devons analyser, les différentes caractéristiques du bassin versant, du site, les interpréter afin de cerner l'ensemble des facteurs déclenchant cette problématique, nommée l'inondation.

### 1.1 Situation géographique de la ville de Bordj Menaiel

La ville de Bordj Menaiel se situe à 25 Km de l'Est de la wilaya de Boumerdes, elle s'étend sur une superficie de 850 ha (source PDAU).

Elle est délimitée :

- Au Nord : Par la commune de Cap Djiriel, correspondant à la zone côtière.
- Au Nord-est : Par la commune de Sidi Daoud.
- Au Sud : Par les communes Isser et Timerzrit.
- A l'Est : Par les communes Naciria et Oued Aissa.
- A l'Ouest : Par la commune de Zemmouri.

La ville de Bordj Menaiel est traversée par la route nationale N°12 et le chemin de fer, cette position de transit entre la capitale et l'intérieur du pays se traduit par un trafic routier intensif.

### 1.2 Situation climatique

#### 1.2.1 Le climat

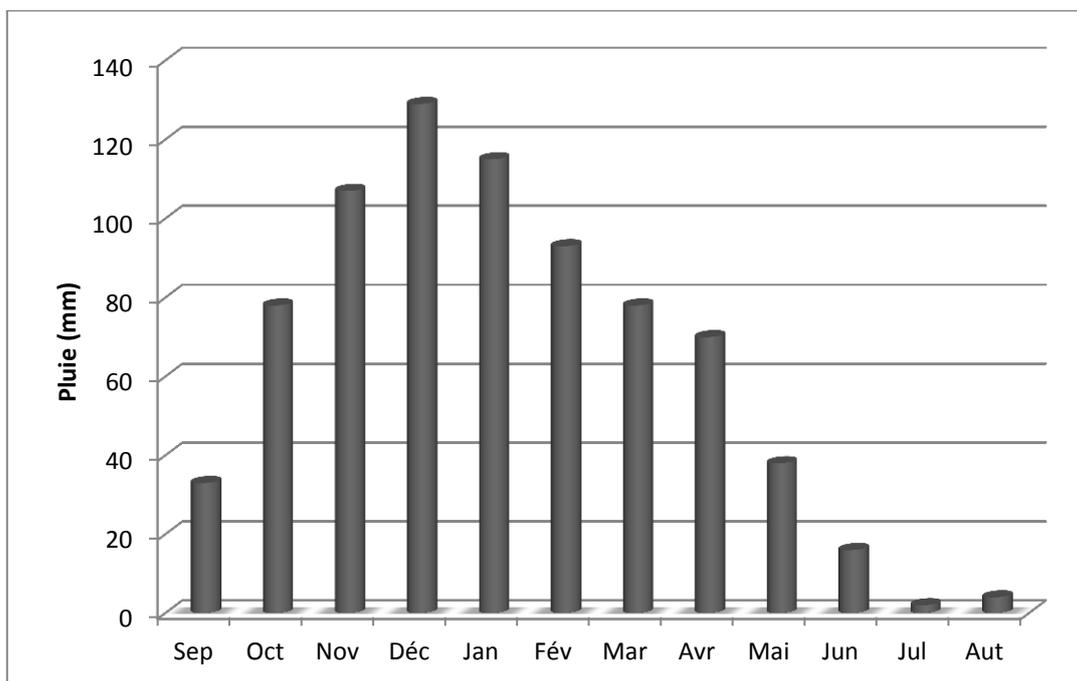
La région de Bordj Menaiel est caractérisée par un climat méditerranéen avec une période froide et humide allant de Septembre à Mai et une période chaude et sèche qui s'étend de juin à Aout.

#### 1.2.2 Pluviomètre

Les précipitations sont généralement insuffisantes et irrégulières le long de l'année, offrant un hiver froid et un été relativement chaud. La pluie moyenne interannuelle est estimée à près de 740 mm, donnant un léger déficit pluviométrique par rapport à la carte des précipitations, éditée en 1993 par l'ANRH dont la pluviométrie de la dernière décennie n'a pas été prise en compte. Le coefficient de variation des précipitations annuelles a été estimé de l'ordre de 0.38.

**Tableau I.1 : Répartition Mensuelle de la Pluviométrie**  
Station de Bordj Menaiel  
Période 1911-1996

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aut	Année
Pluie (mm)	33	78	107	129	115	93	78	70	38	16	2	4	763
En %	4,3	10,2	14,1	16,9	15,1	12,1	10,3	9,2	4,9	2,1	0,3	0,6	100



**Figure. I.1 : répartition des précipitations mensuelles interannuelles.**

Ainsi, la répartition mensuelle de la pluviométrie montre que les mois les plus humides, en hiver et au printemps, renferment plus de 80 % du total interannuel avec un maximum au mois de décembre et janvier (129 mm), et que les mois secs, moins de 3%, se situent en été avec des précipitations non significatives.

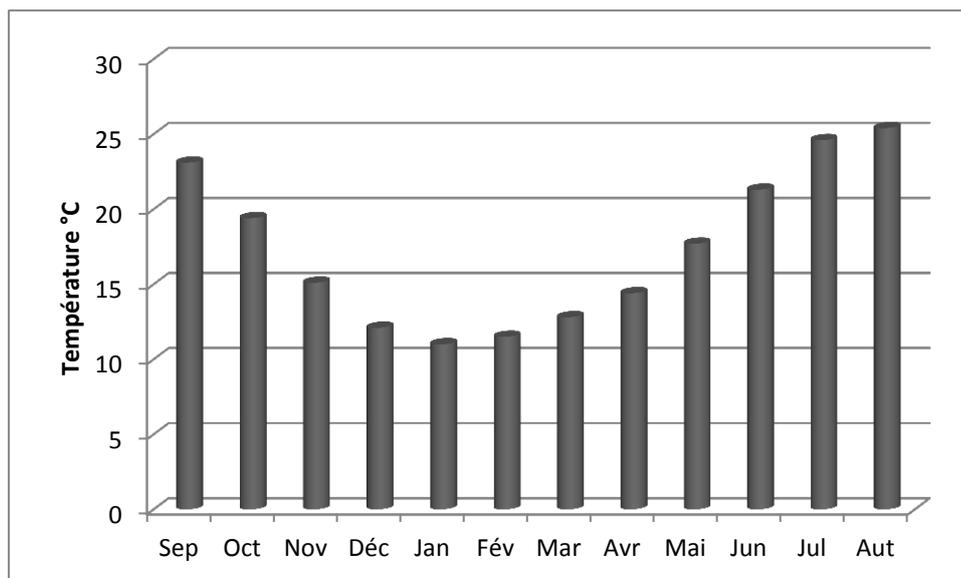
En matière d'intensité pluviale, les précipitations maximales quotidiennes sont moins remarquables, donnant quand même des maxima à caractère orageux. La moyenne des pluies quotidiennes annuelles est estimée à près de 54 mm par jour. De par ce paramètre enregistré à la station de Bordj Menaiel sur une période très longue (1946-1998), il est évalué les intensités fréquentielles jusqu'au temps de retour de 1000 ans.

## 1.2.3 Température

Les observations recueillies à la station de Dar El Beida, station qui présente les mêmes caractéristiques climatiques que notre bassin projeté, sur plus de trente années observées, ont pu situer la température moyenne annuelle de 17 °C. En terme saisonnier, les températures varient entre 11°C au mois de janvier, généralement allégées par la proximité des effets régulateurs marins, et 25°C aux mois de juillet-août, dont les entrées marines envahissent pratiquement l'ensemble de la région en été.

**Tableau I.2 : Répartition Mensuelle des températures**  
Station de Dar El Beida  
Période 1962-95

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aut	Année
T en °C	23,1	19,4	15,1	12,1	11,0	11,5	12,8	14,4	17,7	21,3	24,6	25,4	17,4



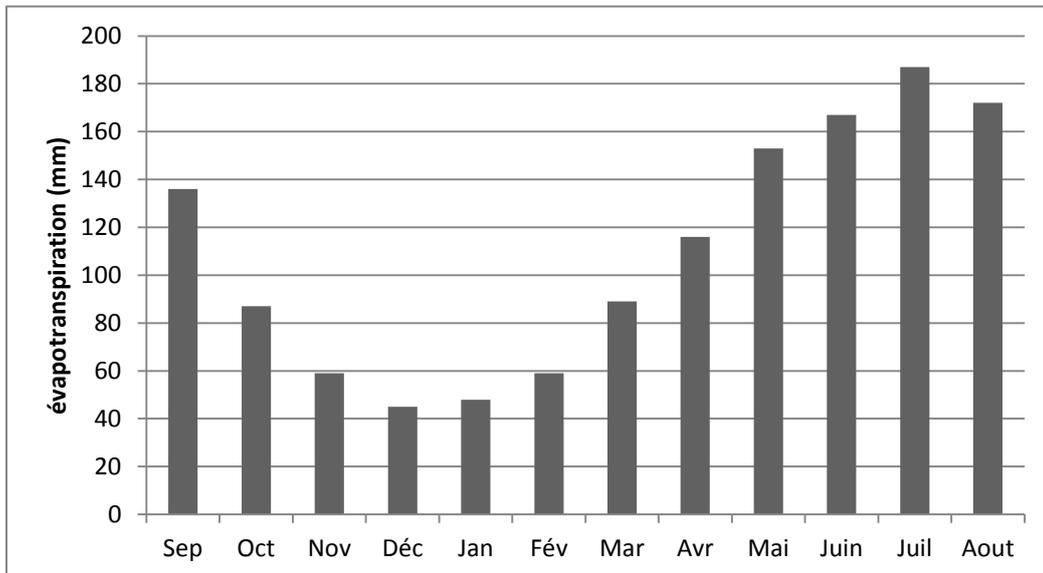
**Figure I.2 : répartition mensuelle des températures**

## 1.2.4 Évapotranspiration potentielle

Sur la base des différentes études réalisées dans la région et compte tenu des observations enregistrées dans les côtières algéroises, particulièrement à Alger Dar El-Beida, et à Thénia, il a été évalué sur une période longue (30 années), l'évapotranspiration potentielle moyenne interannuelle à près de 1318 mm. Ce chiffre montre notamment à quel point la région est soumise au climat semi aride. La répartition mensuelle donne plus de 50% de perte d'eau par évaporation sur les quatre mois plus secs de l'année (mai-août).

**Tableau I.3 : Répartition Mensuelle de l'évapotranspiration potentielle  
Région de Bordj Menaiel**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	An.
Thénia	136	87	59	45	48	59	89	116	153	167	187	172	1318
Alger	125	80	71	41	40	58	79	102	135	152	170	158	1209
en %	10,3	6,6	4,5	3,4	3,6	4,5	6,8	8,8	11,6	12,7	14,2	13,1	100



**Figure I.3 : Répartition mensuelle de l'évapotranspiration potentielle**

### 1.2.5 Humidité

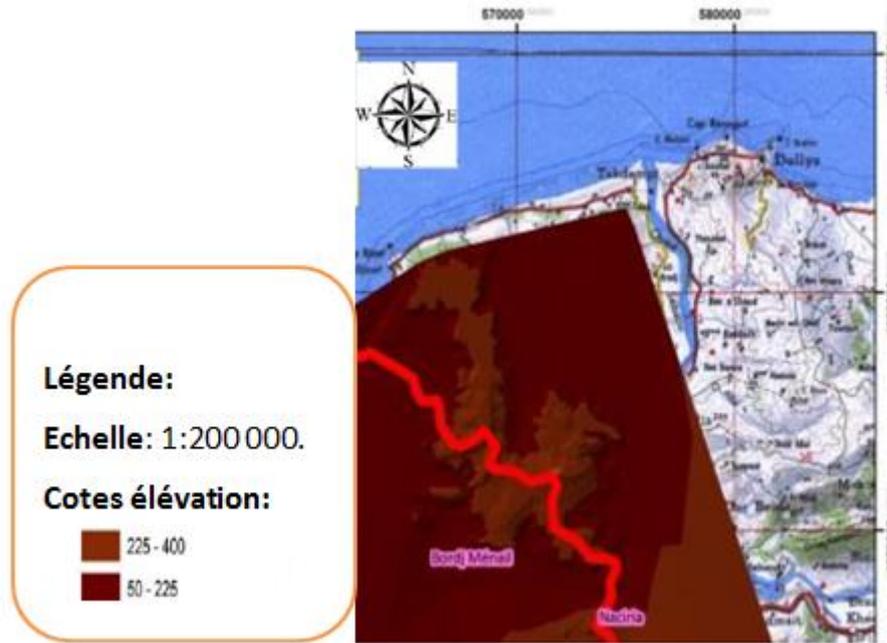
La ville de Bordj Menaiel est une région humide en hivers avec un pourcentage de 98% pour un pourcentage de 57% en été.

### 1.2.6 Les vents

Les vents dominants sont les vents du sud ouest (27%).ceux du nord (20%) et au Nord-est (18%), (63%) du total soufflent en hiver.

### 1.3 Situation topographique

La ville de bordj Menaiel située en partie sur la plaine du bas Isser au nord, elle s'étend vers le sud sur un piémont. Ainsi elle progresse de la cote min de 10 m à la cote de 80 m, les pentes sont irrégulières.



**Figure I.4 : Modèle numérique de la topographie du BV de Menaiel.**

## 1.4 Situation géologique et géotechnique

La région de Bordj Menaiel faisant partie de la chaîne des maghrébines de la grande Kabylie, elle appartient au domaine tellien de l'Algérie du Nord.

De point de vue litho-stratigraphique, elle est constituée par les formations suivantes (source : carte géologique échelle 1/50 000 de Bordj Menaiel \_Tizi-Ouzou édition 1966-1972) :

- Le socle kabyle.
- L'oligo-Miocène kabyle
- Unités à faciès de flyschs d' Afir-Azeffoune
- Unité tellienne de Bordj-Menaiel.
- Formations numidiennes
- Olistotromes
- Formation quaternaires
- Sédiments néogènes

## 1.5 Sismicité

Le nord de l'Algérie est associé à une activité sismique superficielle modérée, liée aux mouvements des plaques tectoniques algériennes. Le territoire algérien est divisé en quatre zones sismiques :

- Zone O : sismicité négligeable.
- Zone I : sismicité faible.
- Zone II : sismicité moyenne.
- Zone III: sismicité forte.

La commune de Bordj Menaiel est classée en Zone III (sismicité forte).Après la secousse tellurique qu'a subi Boumerdes le 21 mai 2003.



Figure I.5 : La carte des zones sismiques de l'Algérie

## 1.6 Infrastructure et réseau

### 1.6.1 Réseaux d'assainissement

L'évacuation des eaux usées et pluviales de la commune est établi par un réseau évacuant vers des fosses, une partie des eaux est évacuée vers le collecteur PL22, puis vers l'aval d'oued Menaiel.

### 1.6.2 Réseau GAZ

Le réseau GAZ est constitué généralement de conduite en acier  $\varnothing 420$  qui traverse oued Menaiel pour desservir l'agglomération, des conduites en cuivre sont utilisées. Suivant le plan 1/5000, on distingue une conduite acier  $\varnothing 50$  qui traverse Oued Menaiel au niveau du pont.

Une traversée au niveau du CEM.

### 1.6.3 Réseau électrique

La ligne haute tension 220 KV (Algérie — Tunisie) traverse l'agglomération par le Nord. Le réseau électrique qui desserve l'agglomération est doté de ligne de moyenne tension de 30 KV.

## 1.6.4 Réseau P.T.T.

Une ligne de grande distance (LGP) (Ligne vers Hassi R'Mel) traverse Oued-Menaiel du côté de la cité Chouhada, ainsi qu'un câble régional.

## 2. Présentation de bassin versant

### Introduction

Une étape indispensable dans chaque projet, qui nécessite une modélisation hydrologique, est l'étude du bassin versant sur lequel manifeste les précipitations et se transforme en écoulements. Une transformation qui diffère d'un bassin à l'autre selon les caractéristiques hydromorphométriques du bassin et celles du réseau hydrographique

Notre objectif est d'identifier et estimer ces caractéristiques afin de bien définir le bassin versant.

### 2.1 Notion de 'bassin versant'

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval.

Selon la nature des terrains, nous serons amenés à considérer deux définitions.

#### 2.1.1 Bassin versant topographique

Si le sous-sol est imperméable, le cheminement de l'eau ne sera déterminé que par la topographie. Le bassin versant sera alors limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente.

#### 2.1.2 Bassin versant hydrogéologique

Dans le cas d'une région au sous-sol perméable, il se peut qu'une partie des eaux tombées à l'intérieur du bassin topographique s'infilte puis sorte souterrainement du bassin (ou qu'à l'inverse des eaux entrent souterrainement dans le bassin).

Dans ce cas, nous serons amenés à ajouter aux considérations topographiques des considérations d'ordre géologique pour déterminer les limites du bassin versant. Cette distinction entre bassin topographique et hydrogéologique se justifie surtout pour les petits bassins. En effet, lorsque la taille du bassin augmente, les apports et les pertes souterraines ont plus de chance de se compenser.

**N.B :** pour notre cas on a pris en considération seulement la topographie, vue d'une part la grandeur de notre bassin, d'autre part l'absence des données géologique.

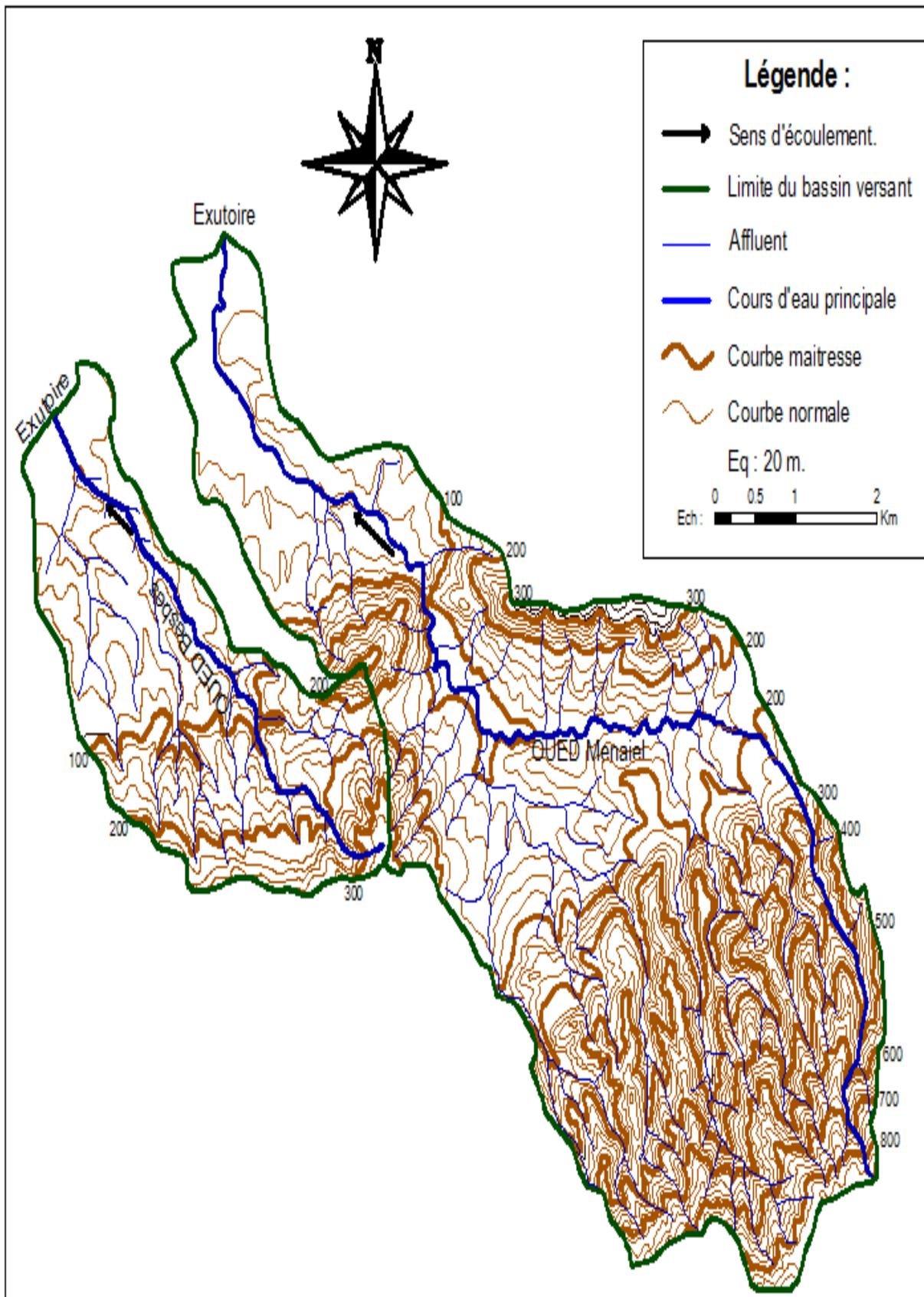


Figure I.6 : Limite du bassin versant Menaiel et Besbes.

## 2.2 Présentation du bassin versant

Le bassin versant de l'Oued Menaiel, artère hydrographique primaire de la zone d'étude, abrite toute la partie Est de la zone urbaine de la ville de Bordj Menaiel dans son exutoire à la sortie au niveau de la route nationale n°12. Ayant une superficie de 27.3 km<sup>2</sup> à l'entrée de la zone urbaine, il couvre cependant une surface globale estimée à 36.47 km<sup>2</sup> en deux exutoires affluents de l'oued Isser. Culminant à une altitude de 850 m, au Sud-est du bassin, dans le Djebel Ighil Timezrit le bassin est limité au Nord par la ville de Bordj Menaiel dominant la plaine de l'Isser vers la mer, à l'Est par le bassin de l'oued Sébaou sur les côtières algérois et à l'ouest par l'oued Isser. Sous forme d'impluvium large et plat, ce bassin représente le premier cours d'eau important provoquant les inondations assez fréquentes de la ville de Bordj Menaiel, particulièrement dans sa partie urbanisée orientale, en favorisant par débordement les eaux pluviales intensives précipitées localement.

Le bassin versant relatif au site arrêté à l'exutoire pour étude a pour coordonnées Lambert :

**Tableau I.4 : Coordonnées du bassin versant**

Longitude « X »	Latitude « Y »	Altitude « Z »
591.80 m	383.60 m	850.00 m

## 2.3 Caractéristiques morphométriques

L'utilisation des caractéristiques morphométriques a pour but de condenser en un certain nombre de paramètres chiffrés, la fonction  $h = f(x,y)$  à l'intérieur du bassin versant (h altitude, x et y coordonnées d'un point du bassin versant).

Nous utiliserons trois types différents de paramètres morphométriques.

**N.B :** Les différentes caractéristiques morphométriques sont calculées à partir de cartes topographiques 1/50000.

### 2.3.1 Surface

La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques, elle permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologique (apport ; volume de précipitation ou infiltration). Elle s'obtient par le logiciel Autocad version (2008). Sur une carte topographique de Bordj Menaiel après que l'on y ait tracé les limites topographiques.

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

### 2.3.2 Périmètre

Le périmètre « p » correspond à la limite extérieure du bassin, formant son contour et caractérisant sa longueur. Il a été déterminé également par le logiciel Autocad version (2008).

Le périmètre d'un bassin versant est exprimé en « Km ».

### 2.3.3 Indice de compacité de Gravelius

C'est la caractéristique de forme la plus utilisée. IL se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant la même surface (appelée aussi coefficient de capacité), il caractérise la forme du bassin et exprime son allongement.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi}S} \approx 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots(I.1)$$

Avec :

P : Périmètre du sous bassin.

S : Surface du sous bassin.

Si  $Kc = 1 \Rightarrow$  bassin ramassé.

Si  $Kc > 1 \Rightarrow$  bassin allongé.

Plus le  $Kc$  sera proche de 1, plus le bassin aura une forme ramassée et plus le temps de concentration sera court.

### 2.3.4 Le rectangle équivalent

On définit le rectangle équivalent comme le rectangle de longueur « L » et de largeur « l » qui a la même surface et le même périmètre que le bassin versant, soit à l'aide de :

$$P = 2 * (L + l) \quad \text{et} \quad A = L * l$$

On l'utilise également pour caractériser la forme d'un bassin, même il nous permet de comparer les sous bassins entre eux du point de vue écoulement.

Dans cette schématisation on considère que les caractéristiques de l'écoulement sont les mêmes que le bassin versant, et les courbes de niveaux sont des droites parallèles aux petites cotes du rectangle et l'exutoire est l'un de ces petites cotes.

Sa longueur « L » est donnée par :

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{Kc} \right)^2} \right) \dots\dots\dots (I.2)$$

Sa largeur « l » est donnée par :

$$l = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{Kc} \right)^2} \right) \dots\dots\dots (I.3)$$

Les résultats des paramètres morphométriques sont résumés dans le tableau I.5.

**Tableau 1.5 : Les paramètres morphométriques des sous bassins.**

N° du sous bassin	Surface (Km <sup>2</sup> )	Périmètre (Km)	Kc	L (Km)	l (Km)
N°1	27,71	28,79	1.53	11,96	2,32
N°2	8,76	14,36	1.36	5,56	1,57
<b>Totale</b>	<b>36,47</b>				

## Interprétation N°1:

Le sous bassin N°1 à une surface modérée avec un «  $Kc = 1,53$  », signifiant que sa forme est allongée et le temps de concentration sera long c.-à-d. l'eau de ruissèlement arrive progressivement dans la zone urbaine, leur longueur vaut cinq fois la largeur du rectangle équivalent.

Le sous bassin N°2 caractérisé par une surface petite et une forme allongée, dont la longueur vaut quatre fois la largeur.

## 2.4 Les reliefs

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures... etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivantes :

### 2.4.1 Répartition de surface et courbes hypsométriques :

Cette courbe donne la surface  $S$  (en  $km^2$  ou en % de la surface totale) où les altitudes sont supérieures à une cote  $h$  donnée, elle fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief.

Cette courbe est établie en calculant pour différentes altitudes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau correspondante.

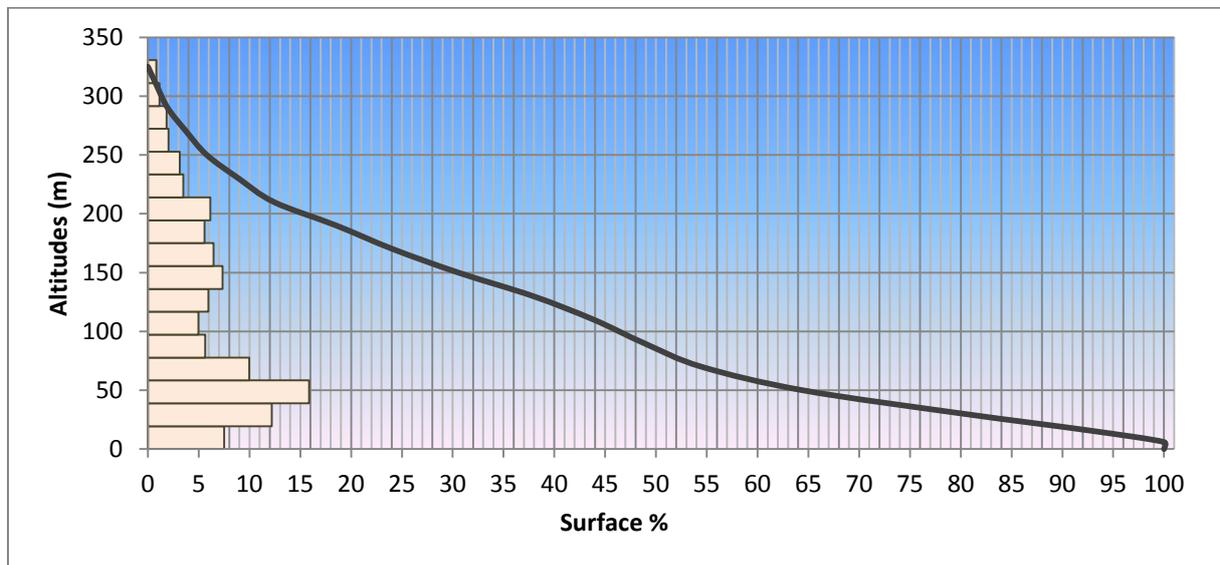
#### a) Les résultats des surfaces partielles des sous bassins par tranche d'altitudes :

**Tableau 1.6 : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du S.B.N°1**

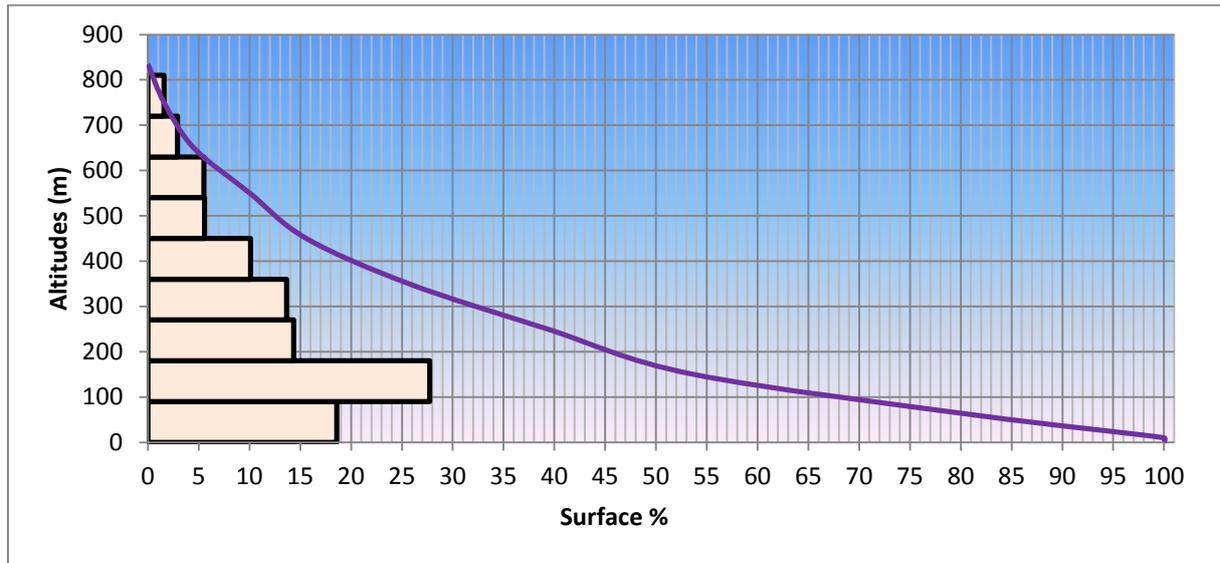
Altitude (m)	Surfaces partielles $Km^2$	Surfaces partielles %	$H_i$ (m)	$H_i * S_i$ ( $Km^2.m$ )	Surfaces cumulées%
800 à 870	0,44	1,59	835	367,4	1,59
700 à 800	0,81	2,92	750	607,5	4,51
600 à 700	1,53	5,52	650	994,5	10,03
500 à 600	1,54	5,56	550	847	15,59
400 à 500	2,79	10,09	450	1255,5	25,68
300 à 400	3,78	13,64	350	1323	39,32
200 à 300	3,98	14,36	250	995	53,68
100 à 200	7,69	27,74	150	1153,5	81,43
20 à 100	5,15	18,58	60	309	100

**Tableau I.7 : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du S.B.N°2**

Altitude (m)	Surfaces partielles Km <sup>2</sup>	Surfaces partielles %	Hi (m)	Hi * Si (Km <sup>2</sup> .m)	Surfaces cumulées%
330 à 320	0.071	0,81	325	23,08	0,81
320 à 300	0.099	1,13	310	30,69	1,94
300 à 280	0.160	1,83	290	46,4	3,77
280 à 260	0.177	2,02	270	47,79	5,79
260 à 240	0.275	3,14	250	68,75	8,93
240 à 220	0.304	3,47	230	69,92	12,4
220 à 200	0.538	6,14	210	112,98	18,54
200 à 180	0.487	5,56	190	92,53	24,1
180 à 160	0.565	6,45	170	96,05	30,55
160 à 140	0.645	7,36	150	96,75	37,91
140 à 120	0.522	5,96	130	67,86	43,87
120 à 100	0.435	4,97	110	47,85	48,84
100 à 80	0.494	5,64	90	44,46	54,48
80 à 60	0.873	9,96	70	61,11	64,44
60 à 40	1,389	15,86	50	69,45	80,3
40 à 20	1,069	12,20	30	32,07	92,5
20 à 12	0,657	7,5	16	10,51	100



**Figure I.7 : Courbe hypsométrique du B.V.N°1.**



**Figure I.8 : Courbe hypsométrique du B.V.N°2.**

### 2.4.2 Les altitudes caractéristiques :

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale est le point le plus bas, par rapport à l'exutoire.

L'altitude médiane « H50% » est déterminée sur la courbe hypsométrique.

L'altitude moyenne « H<sub>moy</sub> » est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i * H_i}{S} \dots \dots \dots (I.4)$$

Et :

$$H_i = \frac{H_{n-1} - H_n}{2} \dots \dots \dots (I.5)$$

Avec :

H<sub>i</sub> : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives (n-1) et (n), exprimée en (m).

S<sub>i</sub> : Surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives (n-1) et (n), exprimée en (Km<sup>2</sup>).

S : Surface totale du sous bassin versant en (Km<sup>2</sup>).

**Tableau I.8 : Altitudes caractéristiques**

Sous bassin	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Altitude médiane (m)	Altitude moyenne (m)
N°1	870	20	220	283,38
N°2	330	12	94	116,24

### 2.4.3 Indice de pente globale « $I_g$ » :

L'objet de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications. Il sert de base à une des classifications O.R.S.T.O.M. pour des bassins versants dont la surface est de l'ordre de 25 km<sup>2</sup>.

Les altitudes correspondantes sont lues sur la courbe hypsométrique .L'indice de pente global est donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%}-H_{95\%}}{L} \dots\dots\dots(I.6)$$

Avec :

D : Dénivelée entre H50% et H95% (m).

L : longueur du rectangle équivalent (Km).

H50% et H95% : sont respectivement Les altitudes correspondantes à S50% et S95%.

**Tableau I.9 : Classification du relief**

R1	Relief très faible	$I_g \leq 0,002$
R2	Relief faible	$0,002 \leq I_g \leq 0,005$
R3	Relief assez faible	$0,005 \leq I_g \leq 0,01$
R4	Relief modéré	$0,01 \leq I_g \leq 0,02$
R5	Relief assez fort	$0,02 \leq I_g \leq 0,05$
R6	Relief fort	$0,05 \leq I_g \leq 0,1$
R7	Relief très fort	$0,1 \leq I_g$

**Tableau I.10 : Indice de pente global et classification**

Sous bassins	H <sub>5%</sub> (m)	H <sub>95%</sub> (m)	H <sub>5%</sub> - H <sub>95%</sub>	L (m)	I <sub>g</sub> (m/m)	Classification
N°1	685	20	665	11960	0,056	Relief fort
N°2	268	18	250	5560	0,045	Relief assez fort

### 2.4.4 Dénivelée spécifique « $D_s$ » :

L'indice  $I_g$  décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes.

La dénivelée spécifique «  $D_s$  » ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale  $I_g$  en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à  $\sqrt{A}$ .

$$D_s = I_g * \sqrt{L * l} = D * \sqrt{\frac{l}{L}} \dots\dots\dots(I.7)$$

Avec :

D : dénivelée entre H50% et H95% (m).

I : largeur du rectangle équivalent (Km).

L : longueur du rectangle équivalent (Km).

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie ( $D = H_{5\%} - H_{95\%}$ ) et de la forme du bassin ( $I/L$ ).

Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M., indépendante des surfaces des bassins :

**Tableau I.11 : Classification du relief**

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

**Tableau I.12 : Dénivelée spécifique**

Sous bassins	$H_{5\%}$ (m)	$H_{95\%}$ (m)	$H_{5\%} - H_{95\%}$	L (Km)	I (Km)	$D_s$ (m)	Classification
N°1	685	20	665	11,96	2,32	293	Relief fort
N°2	268	18	250	5,56	1,57	133	Relief assez fort

### 2.4.5 Pente moyenne du bassin versant « Im » :

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante, elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct (donc sur le temps de concentration  $T_c$ ) et influence directement le débit de pointe lors d'une averse. Elle est donnée par :

$$I_{AS} = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \dots\dots\dots (I.8)$$

Avec :

$H_{max}$  : altitude maximale (m).

$H_{min}$  : altitude minimale (m).

$\Delta H$  : La plus grande dénivelée (m).

L : la longueur du plus grand thalweg (m).

**Tableau I.13 : Pente moyenne du bassin versant**

Sous bassins	Hmax (m)	Hmax (m)	$\Delta H$ (m)	L (m)	$I_{AS}$ (%)
N°1	870	20	850	14140	6.01
N°2	330	12	318	5800	5.48

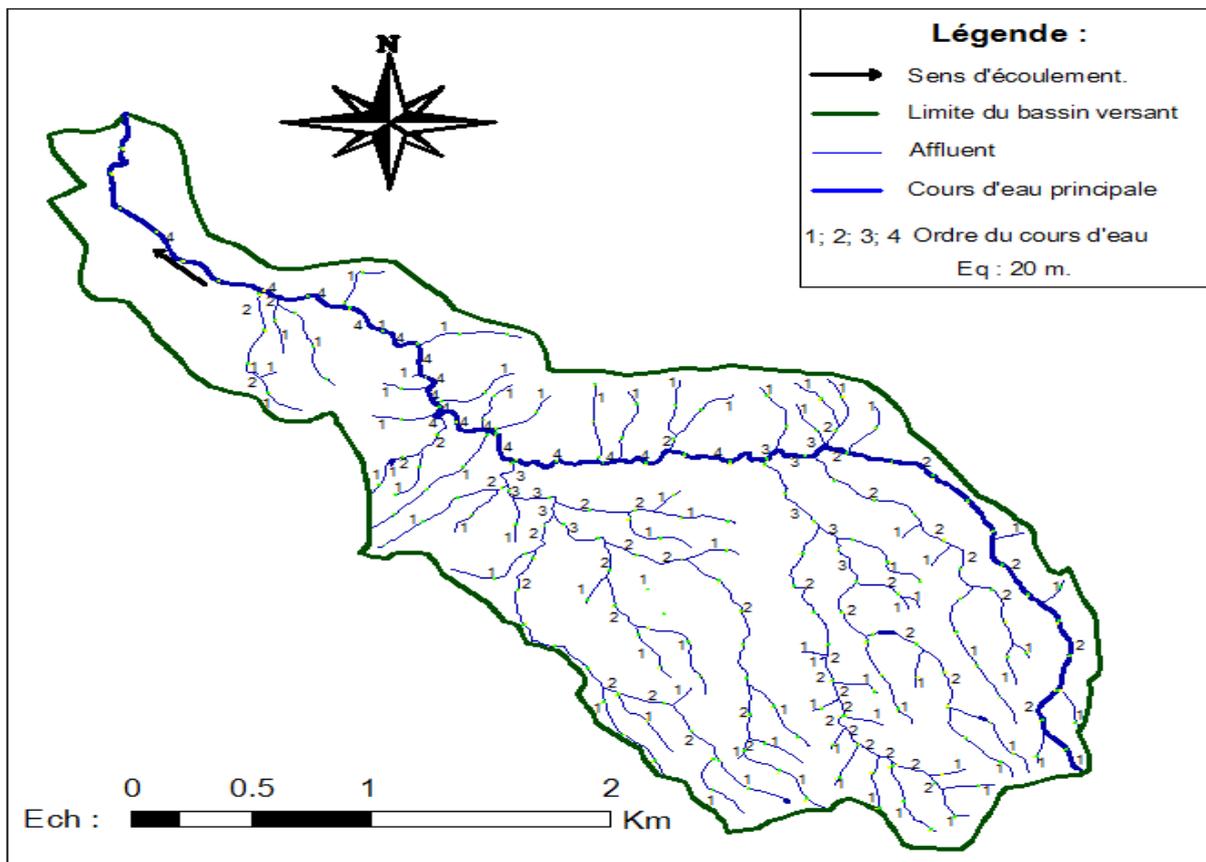
## 2.5 Caractéristiques du réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant.

Le réseau hydrographique peut se caractériser par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) et son profil en long.

### 2.5.1 Hiérarchisation du réseau :

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau, diffère selon les auteurs. Parmi toutes ces classifications, nous adapterons celle de Schum qui dit « Est d'ordre  $x+1$ , tout tronçon de cours de rivière formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre  $x$  ».



**Figure I.9 : Classification de Schum (Oued Menaiel).**

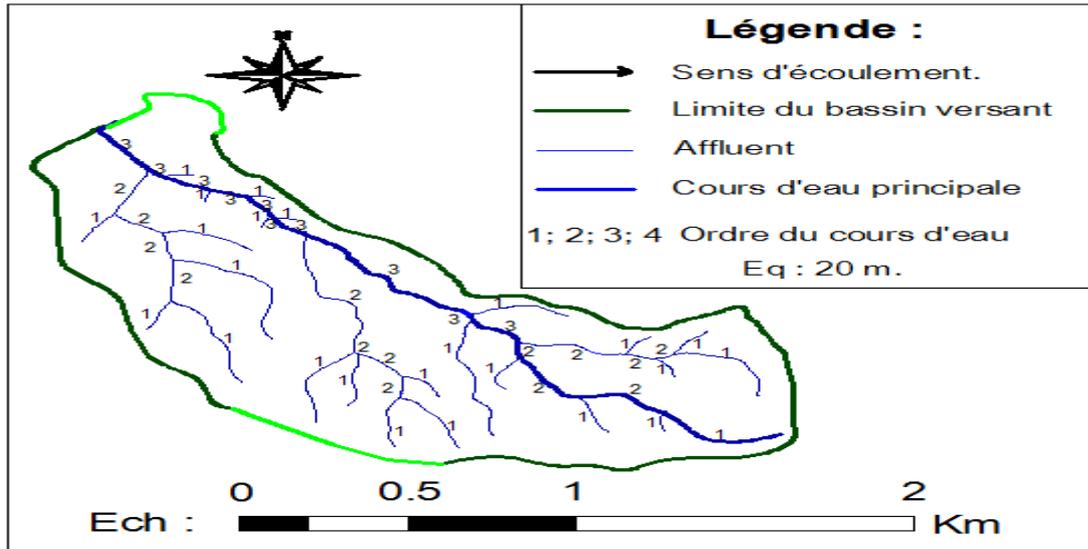


Figure I.10 : Classification de Schum (Oued Besbes).

**2.5.2 Densité de drainage :**

La densité de drainage est définie comme étant le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs « Li » du bassin versant, à la surface totale « S ». Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface (B.Touaibia, 2004).

Elle est exprimée en (Km/ Km<sup>2</sup>), à l'aide de la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \dots\dots\dots(I.9)$$

Avec :

Dd : densité de drainage [km/km<sup>2</sup>].

Li : longueur de cours d'eau [km].

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

**Tableau I.14 : Densité de drainage**

Sous bassins	$\sum Li$ (Km)	S (Km <sup>2</sup> )	Dd (Km/Km <sup>2</sup> )
N°1	70,629	27,71	2,55
N°2	22,437	8,76	2,56

**2.5.3 Pente moyenne du cours d'eau principale :**

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

$$I_{\text{moy}} = \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots \dots \dots (I.10)$$

Avec :

$I_{\text{moy}}$ : pente moyenne du cours d'eau [m/km].

H : dénivellation entre deux points suffisamment distante [m].

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

**Tableau I.15 : Pente moyenne du cours d'eau principale**

Sous bassins	$\Delta H$ (m)	$\Delta H$ (Km)	$\Delta L$ (Km)	$I_{\text{moy}}$ (%)
N°1	$840 - 20 = 820$	0.82	14,14	5,8
N°2	$330 - 12 = 318$	0.318	5,8	5,48

### 2.5.4 Le temps de concentration :

Le temps de concentration  $T_C$  représente, le temps que met la particule d'eau la plus hydrauliquement éloignée pour atteindre l'exutoire.

Ce temps influe directement sur l'ampleur de la crue, dont une valeur élevée caractérise la lenteur de la crue dans le temps, par contre une valeur petite en engendre une propagation instantanée de celle-ci.

Le temps de concentration sera estimé à l'aide de 5 formules empiriques suivantes :

**Tableau I.16 : Temps de concentration**

Auteurs	Formules	Temps de concentration (heure)	
		S.B N°1	S.B N°2
Ventura	$0,1272 * \frac{\sqrt[3]{S}}{\sqrt{I}}$	1,6	1,09
Turazza	$0,108 * \frac{\sqrt[3]{S * L}}{\sqrt{I}}$	3,28	1,71
Sokolovsky	$\frac{L}{3.6 * V_R}$	2,62	1,07
Kirpich	$0.945 * \frac{L^{1.155}}{D^{0.385}}$	1,53	0,78
Giandotti	$\frac{4\sqrt{S} + 1.5 L}{0.8\sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}$	3,25	2,51

Avec :

S :La surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

L : La longueur du talweg principale (Km).

$H_{\text{moy}}$  : L'altitude moyenne du bassin versant (m).

$H_{\text{min}}$  : L'altitude minimale du bassin versant (m).

I : Pente moyenne du talweg principal.

VR : La vitesse d'écoulement pour les petits cours d'eau est proche de 1,5 m/s.

D : La dénivelée entre les deux extrémités du talweg principal (m).

**Comparaison:**

On opte pour les valeurs données par la formule de Kirpich, Vu le contexte dans laquelle a été élaborée qui est semblable à notre bassin versant.

**2.5.5 Vitesse moyenne de ruissellement :**

C'est la vitesse par laquelle l'eau s'écoule dans le réseau hydrographique pour atteindre l'exutoire, elle donnée par la formule suivante :

$$V_R = \frac{L}{T_c} \dots \dots \dots (I.16)$$

Avec :

L : Longueur de talweg principal en [Km];

Tc : temps de concentration en [heure].

**Tableau I.17 : Vitesse de ruissellement**

Sous bassins	L (Km)	Tc (heure)	V <sub>R</sub> (Km/h)
N°1	14,14	1,52	9,3
N°2	5,8	0.78	7,44

**Tableau I.18 : Récapitulation des caractéristiques hydromorphométriques des sous bassins**

Caractéristiques		SB.N°1	SB.N°2
<b>1-Morphométrie</b>			
Surface	(Km <sup>2</sup> )	27,71	8,76
Périmètre	(Km)	28,79	14,36
Rectangle équivalent	Longueur Km	11,96	5,56
	Largeur Km	2,32	1,57
L'indice de compacité de Gravelius « Kc »		1,53	1,36
<b>2-Les reliefs</b>			
Les altitudes caractéristiques.			
Altitude maximale	(m)	870	330
Altitude minimale	(m)	20	12
Altitude moyenne	(m)	283,38	116,24
Altitude médiane	(m)	220	94
Altitude 5%	(m)	685	268
Altitude 95%	(m)	20	18
Indice de pente globale	(%)	5,6	4,5
Dénivelé spécifique	(m)	293	133
Pente moyenne du bassin versant (%)		6.01	5.48
<b>3-Le réseau hydrographique</b>			
Densité de drainage (km /km <sup>2</sup> )		2,55	2,56
Pente moyenne du cours d'eau (%)		5,8	5,48
Longueur du cours d'eau principal (km)		14,14	5,8
Temps de concentration (h)		1,52	0,78
Vitesse moyenne de ruissellement (km /h)		9,3	7,44

### Conclusion :

Après avoir bien analysé et interpréter les différents paramètres, dont chacun à un rôle direct sur la transformation de la pluie nette en écoulement et la manifestation de celui-ci dans le bassin versant, alors la synthèse finale sera ainsi :

Le bassin versant Menaiel caractérisé par un relief accidenté en amont en rencontrant d'une plaine à l'aval sur laquelle la ville de Bordj Menaiel est construite. La crue est caractérisé par des vitesses élevées en amont voir la pente raide du cours d'eau et un temps de concentration d'ordre 1,5 heure. Selon ces paramètres on constate que les eaux de la crue s'accumulent très rapidement dans la plaine et la capacité du cours d'eau sera dépassée ce qui donnera lieu à des débordements des eaux et à l'invasion des citées avoisinantes.

**Chapitre II :**  
**Etude hydrologique**

## Chapitre II : étude hydrologique

### Introduction

L'hydrologie est la science qui étudie l'eau sous ses aspects quantitatif et qualitatif durant les différentes phases de son cycle dans la nature. Cette science joue d'un rôle primordiale dans les sciences d'ingénieurs en particulière, dont le gestionnaire et le projecteur doivent faire appel à ses modelés mathématiques pour prévoir ou prédire les différents phénomènes hydrologiques dans le but de gérer les ressources hydrique (hydrologie déterministe) et faire la conception des ouvrages hydrauliques (hydrologie statistique).

Dans l'étape de conception de l'ouvrage, le dimensionnement doit être fait en fonction des apports pour toute la durée de vie utile des ouvrages, durée qui peut atteindre, voire dépasser, cent ans. Les données météorologiques n'étant pas connues pour cet horizon, on doit les prédire en utilisant une méthode purement statistique, nommée l'analyse fréquentielle.

### 2.1 Echelle spatio-temporelle de l'étude hydrologique

En hydrologie, l'un des critères essentiels est certainement l'échelle spatio-temporelle.

Dans notre étude, l'analyse des pluies est basée sur les relevés pluviométriques effectués dans la station de Bordj Ménaïel sur une surface topographique estimée à 37 Km<sup>2</sup>. Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger l'ouvrage ou l'agglomération.

**Tableau II.1 : Pluies maximales journalières [1946-1998] Station de Bordj Menaïel**  
[Source DHW.Boumerdes]

Années	Pmax.j (mm)	Années	Pmax.j (mm)	Années	Pmax.j (mm)	Années	Pmax.j (mm)
1946	27	1960	40.2	1974	70.5	1988	77.7
1947	64	1961	37.1	1975	48.2	1989	37.5
1948	41	1962	50	1976	38.6	1990	47.7
1949	106	1963	50	1977	58.2	1991	124.6
1950	52	1964	55	1978	46	1992	62.6
1951	53	1965	43.1	1979	43.6	1993	39
1952	45	1966	49	1980	53.4	1994	47
1953	65	1967	57	1981	57.4	1995	70.9
1954	67	1968	45	1982	46.5	1996	42.9
1955	43.8	1969	50.1	1983	49.3	1997	67.1
1956	34.5	1970	42.2	1984	36.5	1998	36.5
1957	97.2	1971	90.1	1985	47.7		
1958	36.1	1972	80.3	1986	55.2		
1959	65	1973	39.3	1987	49.7		

## 2.2 Définition et démarche de l'analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future.

Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

Ses diverses étapes peuvent être schématisées très simplement selon le diagramme suivant :

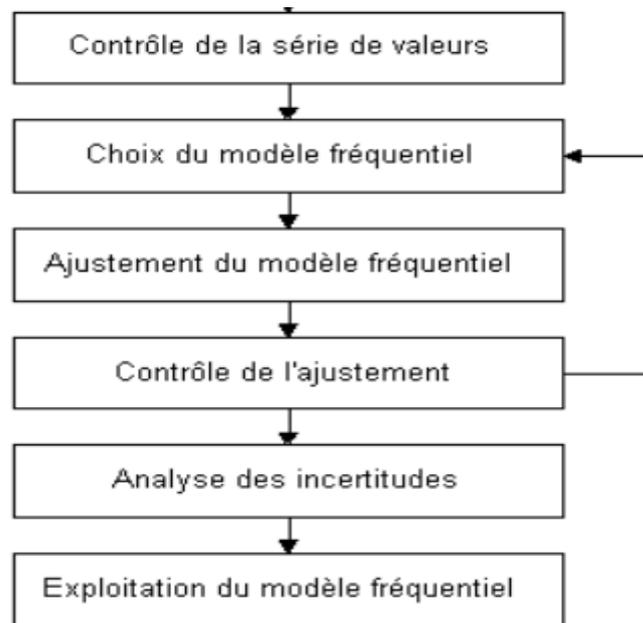


Figure II.1 : Démarche de l'analyse fréquentielle

### 2.3 Contrôle de la série de valeurs

Il est important, avant d'utiliser des séries de données, de se préoccuper de leur qualité et de leur représentativité, dans ce contexte s'inscrit l'étude de l'homogénéisation et de stationnarité, afin d'éliminer toute doute de présence d'une rupture ou tendance au sein de la série concernée, dans le cas contraire on doit procéder à la correction avec des méthodes bien appropriées.

#### 2.3.1 Vérification de l'homogénéisation de la série

Pour éviter l'utilisation d'une information fautive dans le dimensionnement des ouvrages, on doit s'assurer que notre série est dépourvue des ruptures artificielles. Pour confirmer ou rejeter cette hypothèse on fait appel au test de la médiane.

Ce dernier permet de vérifier si la série de données est homogène ou non, dont la démarche est la suivante :

- 1- Classer la série par ordre croissant.
- 2- La médiane  $M$  est une constante de telle sorte que 50% des  $x_i$  lui soient inférieurs et 50% des  $x_i$  lui soient supérieurs.
- 3- Remplacer la série non classées par une suite de signe :
  - (+) pour les  $x_i > M$
  - (-) pour les  $x_i < M$

**Tableau II.2: Calcul des paramètres du test de la médiane**

Année	Pjmax	Rang	Classement	Signe	Année	Pjmax	Rang	Classement	Signe
1946	27	1	27	-27	1973	39.3	28	49.7	-39.3
1947	64	2	34.5	64	1974	70.5	29	50	70.5
1948	41	3	36.1	-41	1975	48.2	30	50	-48.2
1949	106	4	36.5	106	1976	38.6	31	50.1	-38.6
1950	52	5	36.5	52	1977	58.2	32	52	58.2
1951	53	6	37.1	53	1978	46	33	53	-46
1952	45	7	37.5	-45	1979	43.6	34	53.4	-43.6
1953	65	8	38.6	65	1980	53.4	35	55	53.4
1954	67	9	39	67	1981	57.4	36	55.2	57.4
1955	43.8	10	39.3	-43.8	1982	46.5	37	57	-46.5
1956	34.5	11	40.2	-34.5	1983	49.3	38	57.4	-49.3
1957	97.2	12	41	97.2	1984	36.5	39	58.2	-36.5
1958	36.1	13	42.2	-36.1	1985	47.7	40	62.6	-47.7
1959	65	14	42.9	65	1986	55.2	41	64	55.2
1960	40.2	15	43.1	-40.2	1987	49.7	42	65	49.7
1961	37.1	16	43.6	-37.1	1988	77.7	43	65	77.7
1962	50	17	43.8	50	1989	37.5	44	67	-37.5
1963	50	18	45	50	1990	47.7	45	67.1	-47.7
1964	55	19	45	55	1991	124.6	46	70.5	124.6
1965	43.1	20	46	-43.1	1992	62.6	47	70.9	62.6
1966	49	21	46.5	-49	1993	39	48	77.7	-39
1967	57	22	47	57	1994	47	49	80.3	-47
1968	45	23	47.7	-45	1995	70.9	50	90.1	70.9
1969	50.1	24	47.7	50.1	1996	42.9	51	97.2	-42.9
1970	42.2	25	48.2	-42.2	1997	67.1	52	106	67.1
1971	90.1	26	49	90.1	1998	36.5	53	124.6	-36.5
1972	80.3	27	49.3	80.3					

- 4- Calculons les quantités  $N_s$  et  $T_s$  avec :
  - $N_s$ : nombre total de série (+) ou (-)
  - $T_s$ : nombre de la plus grande série de (+) ou (-) successive

- ✓  $N_s$  suit approximativement une loi normale de moyenne  $(\frac{N+2}{N})$  et de variance  $[\frac{1}{4}*(N-1)]$
- ✓  $T_s$  suit une loi binomiale.

Pour un seuil de signification comprise entre 91% et 95%, les conditions du test sont les suivantes :

$$N_s > \frac{1}{2} (N + 1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{N + 1}) \dots \dots \dots (II.1)$$

$$T_s < 3.3(\log_{10} N + 1) \dots \dots \dots (II.2)$$

**Tableau II.3 : résultats de test de la médiane**

$N_s$	33
$T_s$	4
$\frac{1}{2} (N + 1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{N + 1})$	19.8
$3.3(\log_{10} N + 1)$	9
<b>Condition II.1</b>	<b>33 &gt; 19.8 (vérifiée)</b>
<b>Condition II.2</b>	<b>4 &lt; 9 (vérifiée)</b>

**Commentaire**

Les conditions de tests sont vérifiées, l’hypothèse  $H_0$  dite « la série de données est homogène » est validée, ainsi on conclut que notre série de données est homogène.

**2.4 Choix du modèle fréquentiel**

La validité des résultats d’une analyse fréquentielle dépend du choix du modèle fréquentiel et plus particulièrement de son type. Diverses pistes peuvent contribuer à faciliter ce choix, mais il n’existe malheureusement pas de méthode universelle et infaillible.

Pour bien sélectionner le modèle adéquat, on entame la démarche de choix par des considérations théoriques à savoir :

- En hydrologie fréquentielle des valeurs extrêmes, les distributions ne sont cependant pas symétriques, ce qui constitue un obstacle à l’utilisation de la loi normale.
- Plus le nombre de paramètres d’une loi est grand, plus l’incertitude dans l’estimation est importante. Pratiquement il est par conséquent préférable d’éviter l’utilisation de lois à trois paramètres ou plus.
- La comparaison de la queue de la distribution expérimentale, avec un graphe qui donne la distribution théorique des différentes lois utilisées en hydrologie fréquentielle.

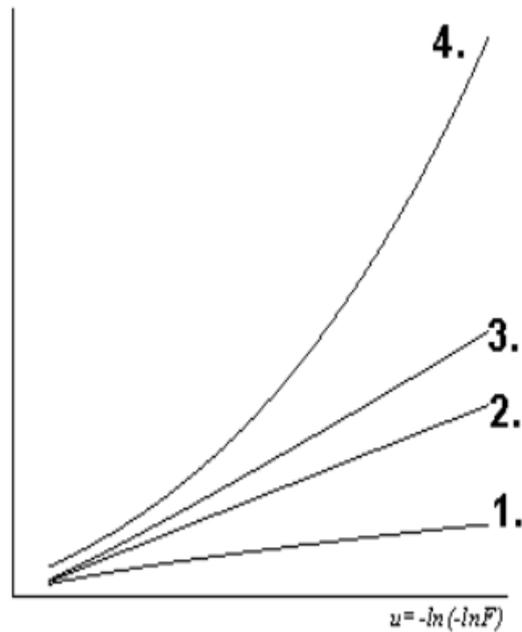
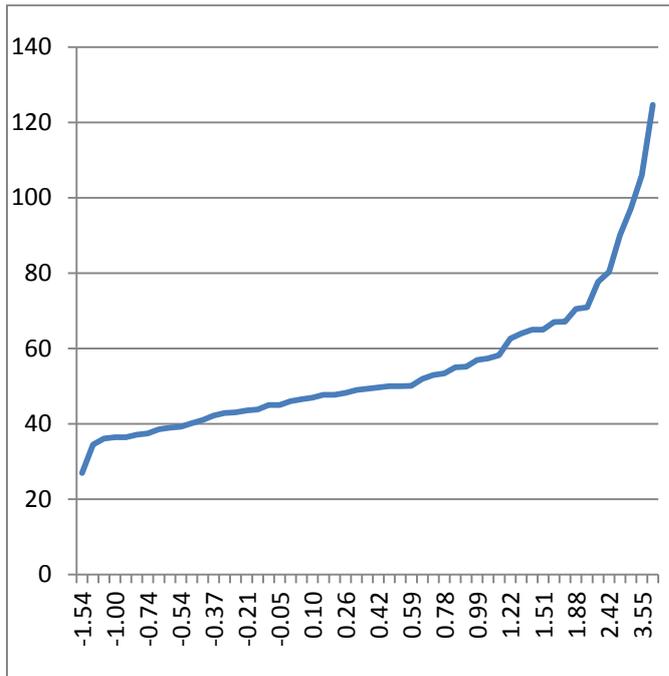


Figure II.2 : Comportement asymptotique de la série

Figure II.3 : 4 types de comportement asymptotique

- ✓ 1 correspond à la loi normale.
- ✓ 2 correspond à la croissance asymptotique exponentielle : loi de Gumbel, GEV.
- ✓ 3 correspond à la loi de Goodrich.
- ✓ 4 correspond à des lois de type logarithmiques : loi log-normale....

**Commentaire**

A travers la comparaison de comportement asymptotique de la série (Figure : II.2), avec les 4 comportements asymptotiques (figure II.3), on conclut que le modèle théorique qui donne une distribution approximativement proche de la distribution expérimentale et de type algorithmique.

Cette approche suggère la plus grande prudence avec des lois de type logarithmique qui peuvent largement surestimer les valeurs correspondant à des fréquences rares. Pour cette raison dans notre étude on fait appel à trois modèles fréquentielles à savoir :

- ✓ La loi log-normale ou la loi de Galton.
- ✓ La loi doublement exponentielle ou loi de Gumbel.
- ✓ La loi des extrêmes généralisée (GEV).

Après le calcul, pour choisir le modèle fréquentielle approprié, on utilise les tests d'adéquation.

**2.5 Ajustement du modèle fréquentiel**

Dans cette étape on va procéder au calage de chaque modèle fréquentiel à notre série des pluies maximales journalières, afin de définir les paramètres de chaque loi retenue.

**2.5.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel**

**2.5.1.1 Présentation de la loi de Gumbel**

La fonction de répartition de la loi de Gumbel  $F(x)$  est donnée par l'expression suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \dots \dots \dots (II. 3)$$

$$Y = \frac{x-X_0}{\alpha} \dots \dots \dots (II. 4)$$

Avec :

- Y : variable réduit de Gumbel.
- $\alpha$  et  $X_0$  : paramètres d'ajustement de la loi de Gumbel.
- $X_0$  : Paramètre de position.
- $\alpha$  : Paramètre de l'échelle différent de zéro et positif appelé aussi « gradex ».
- X : Variable étudié « Pmax.j ».

L'expression d'un quantile est la suivante :

$$X = \alpha * Y + X_0 \text{ Soit } P_{\max.j} = \alpha * Y + X_0 \dots \dots \dots (II. 5)$$

**2.5.1.2 Le procédé d'ajustement par la méthode graphique consiste à**

- ✓ Classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang.
- ✓ Calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale  $F(x)$  par la formule de Hazen :

$$F(x) = \frac{m - 0.5}{n} \dots \dots \dots (II. 6)$$

Avec :

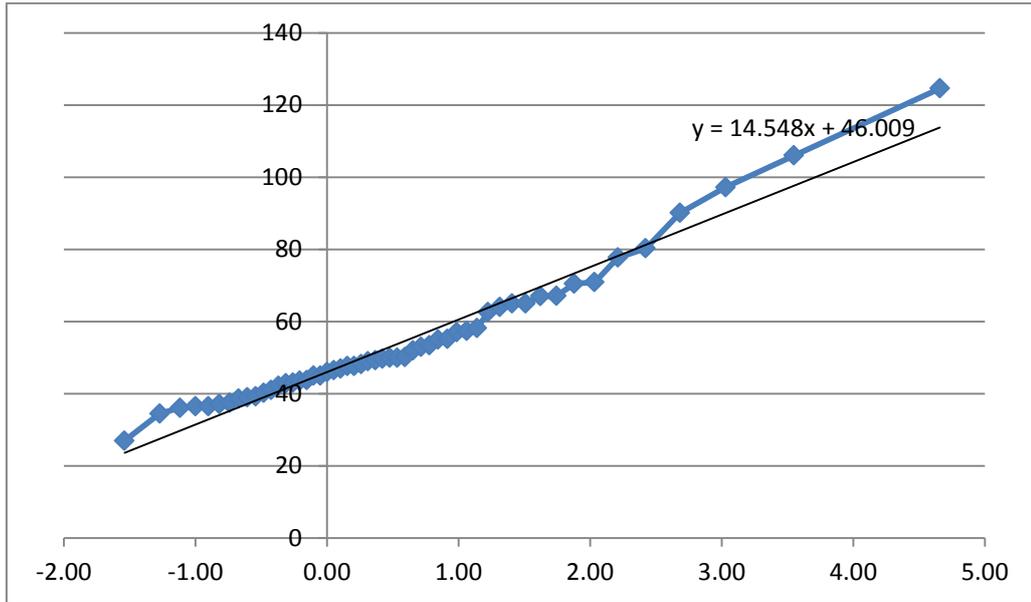
- m : rang de précipitation.
- N : nombre d'observation.

- ✓ Calculer la variable réduite de Gumbel donnée par la formule suivante :

$$y = -[\ln(-\ln F(x))] \dots \dots \dots (II. 7)$$

Les résultats sont représentés dans l'annexeII.1.

- ✓ Sur un graphe on porte en abscisse les valeurs de y et en ordonnée les valeurs de X.



**Figure II.4 : Graphe d'ajustement de la loi de Gumbel**

$X_0$  : C'est l'ordonnée à l'origine.

$\alpha$  : C'est la pente de la droite d'ajustement.

**Tableau II.4 : Les paramètres de la loi de Gumbel**

Nombre de données	53
$X_0$	46.01
$\alpha$	14.55
L'équation de la droite de Gumbel s'écrit ainsi : $P_{max.j} (p\%) = 14.55 * Y + 46.01$	

**2.5.1.3 Le procédé d'ajustement par la méthode des moments consiste à**

- ✓ On calcul les paramètres de la droite d'ajustement,  $\alpha$  et  $X_0$  par les deux formules suivantes :

$$\alpha = 0.78 * \sigma \dots \dots \dots (II.8)$$

$$X_0 = \bar{X} - 0.577 * \alpha \dots \dots \dots (II.9)$$

Avec :  $\sigma$  : écart type de la série.

$\bar{X}$  : La moyenne arithmétique de la série.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau II.5 : Les paramètres de la loi de Gumbel issus de la méthode des moments**

Nombre de données	53
$\bar{X}$	18.74
$\sigma$	54.33
$X_0$	46.15
$\alpha$	14.61
L'équation de la droite de Gumbel s'écrit ainsi : $P_{max.j} (p\%) = 14.61 * Y + 46.15$	

Pour tester la fiabilité et la robustesse de logiciel Hyfran [disponible au centre de calcul de l'ENSH-Blida], on a procédé à l'ajustement de la série de donnée par la loi de Gumbel, suivant la techniques des moments.

**2.5.1.4 Calcul des quantiles**

Dans cette partie on calcul les quantiles par les deux équations d'ajustement obtenues par les deux méthodes, ainsi par le logiciel Hyfran afin de comparer entre les résultats.

**Tableau II.6 : Calcul des quantiles**

		M.graphique		M.des moments		M.des moments (Hyfran)
T (ans)	q	Y	Xq (mm)	Y	Xq (mm)	Xq (mm)
5	0.8	1.50	67.83	1.50	68.08	67.8
10	0.9	2.25	78.75	2.25	79.04	78.8
50	0.98	3.90	102.77	3.90	103.18	103
100	0.99	4.60	112.93	4.60	113.38	113

**Commentaire :**

A travers les résultats montrés dans le tableau II.7, on constate que les valeurs des quantiles données par les trois techniques d'ajustements sont très proches. Même les résultats issus de logiciel Hyfran, ce qui nous permet à travers ce petit test de confirmer la fiabilité et la robustesse de ce logiciel dans le calcul des quantiles, et d'avoir une bonne raison de l'exploiter dans le reste de calcul.

**2.5.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton**

**2.5.2.1 Présentation de la loi de Galton (ou log-normale)**

La fonction de répartition de la loi log-normal est donnée par l'expression suivante :

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(X)-\bar{X}}{\sigma}\right)^2} \dots\dots\dots(II.10)$$

Avec :

$\bar{X}$  : La moyenne des logarithmes de la variable x.

$\sigma$  : L'écart type des logarithmes de la variable x.

Quand on utilise la variable centré réduite Z, la formulation devient ainsi :

$$Z = \frac{\log X - \bar{X}}{\sigma} \dots\dots\dots(II.11)$$

L'expression d'un quantile est la suivante :

$$P_{max.j} (p\%) = e^{(\bar{X}+Z(P\%)*\sigma)} \dots\dots\dots(II.12)$$

La valeur de paramètre Z est associée à la probabilité de non dépassement.

**2.5.2.2 Procédé de l’ajustement**

Pour déterminer les deux paramètres (la moyenne, écart type) de la loi log-normale, on fait appel au logiciel Hyfran.

Dans notre calcul, on a opté pour la méthode du maximum de vraisemblance, et la fréquence choisit est celle de Hazen.

**Tableau II.7 : Les paramètres de la loi log-normale**

Nombre de données	53
La moyenne des logarithmiques « $\bar{X}$ »	1.714
L’écart type des logarithmiques « $\sigma$ »	0.129
L’équation de la droite de Galton s’écrit ainsi : $P_{max.j} (p\%) = e^{(1.714+Z(P\%)*0.129)}$	

**2.5.2.3 Calcul des quantiles**

Après avoir calculé les paramètres de la loi de Galton, on fixe les périodes de retour pour lesquelles on veut déterminer les quantiles à savoir [100, 50, 20, 10, 5, 2 ans].

La probabilité au non dépassement est calculée par la formule suivante :

$$q = 1 - \frac{1}{T} \dots \dots \dots (II. 13)$$

Pour les différentes périodes de retour, les résultats de l’ajustement à la loi de Galton issus de logiciel Hyfran, avec l’utilisation de la technique de vraisemblance sont représenté dans le tableau suivant :

**Tableau II.8 : Calcul des quantiles par la droite de Galton**

Période de retour	fréquence	Valeurs théoriques	écart type	Intervalle de confiance
T (ans)	q (%)	$P_{max.j} (q\%)$	mm	95%
100	99	104	8.36	87.9-121
50	98	96.1	7.05	82.3-110
20	95	85	5.42	74.3-95.6
10	90	76.2	4.27	67.8-84.5
5	80	66.7	3.22	60.4-73.0
2	50	51.8	2.14	47.6-56.0

**2.5.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi des extrêmes généralisée**

**2.5.3.1 Présentation de la loi des extrêmes généralisée « GEV »**

C’est une loi à trois paramètres, leur fonction de répartition est décrite ainsi:

$$F(x) = e^{\left[ -\left(1-c \frac{x-a}{b}\right)^{1/c} \right]} \dots \dots \dots (II. 14)$$

Avec :

a : Paramètre de position.

b : Paramètre de dispersion.

c : Paramètre de forme.

X : Variable étudié « Pmax.j »

La formulation de la variable réduite est décrite en-dessous :

$$Y = -\frac{1}{C} \ln \left( 1 - C \frac{X - a}{b} \right) \dots \dots \dots (I. 15)$$

Avec :  $F(x) = e^{-e^{-y}} \dots \dots \dots (II. 16)$

L'expression d'un quantile est la suivante :

$$X = a + \frac{b}{c} \{ 1 - [-\ln(F(x))]^c \} \dots \dots \dots (II. 17)$$

**2.5.3.2 Calcul des quantiles**

L'ajustement est fait par le logiciel Hyfran. La formule choisit pour calculer les fréquences est celle de Hazen.

L'intervalle de confiance est calculé pour une probabilité de 95%.

La technique des moments est sélectionnée pour le calcul des paramètres d'ajustement.

Les valeurs des quantiles et l'écart type ainsi l'intervalle de confiance sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II.9 : Calcul des quantiles par la loi de GEV**

Période de retour	fréquence	Valeurs théoriques	écart type	Intervalle de confiance
T (ans)	q (%)	Pmaj (q%)	mm	95%
100	99	118	10.3	97.8-138
50	98	105	4.2	97-114
20	95	89.3	1.05	87.2-91.3
10	90	77.7	3.08	71.7-83.7
5	80	66.4	3.54	59.4-73.3
2	50	50.5	1.44	47.7-53.4

**2.6 Contrôle de l'ajustement**

A partir de la série pluviométrique qui constitue un échantillon statistique, on a choisi les formulations mathématiques des lois de probabilités et on a calculé les paramètres numériques de chaque loi ainsi les quantiles. On peut alors demander quelle est la probabilité Pour que la loi retenue représente effectivement la population mère dont l'échantillon est a priori représentatif.

Pour répondre à cette question on fait appel aux tests d'adéquation, qui nous permet de conclure au rejet, ou l'acceptation de l'hypothèse H0 suivante :

A ce que la répartition des données expérimentales s'effectue selon une distribution théorique (dans notre cas : Loi de log-normale, Gumbel, GEV) ?

Dans notre choix de test d'adéquation, on a opté pour le test de  $\chi^2$  qui très important à cause de sa généralité qui lui veut de pouvoir être appliqué à n'importe quelle distribution théorique discrète ou continue.

### 2.6.1 Démarche de test $\chi^2$

- On définit le nombre de classe :  $K = \text{int} \left( \frac{n}{5} \right) = 53/5 = 10$ .
- On définit les bornes des classes équiprobables, telles que :  $\Delta F_j = \frac{1}{K}$ .
- On calcule  $n_{0j}$  (constante) :  $n_{0j} = n * \Delta F_j = n/K$ .
- On comptabilise les effectifs réels  $n_j$  des K classes.
- On calcule la quantité :  $X_{obs}^2 = \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^K n_j^2 \right) - n$
- On détermine  $\nu$  le nombre de degrés de liberté.
- On effectue le test avec  $X_{1-\alpha}^2$ .

#### 2.6.1.1 Vérification de l'adéquation de la loi log-normale

**Tableau II.10 : Calcul les bornes supérieurs des classes.**

K	Fj= 1/K	Zj	Pmax.j (mm)
1	0.1	-1.29	35.28
2	0.2	-0.85	40.21
3	0.3	-0.53	44.22
4	0.4	-0.26	47.91
5	0.5	0	51.76
6	0.6	0.26	55.91
7	0.7	0.53	60.58
8	0.8	0.85	66.62
9	0.9	1.29	75.93
10	1	3.5	136.38

Zj : Variable réduite, tiré dans la table de Gauss (Annexe II.2) en fonction des valeurs de Fj.

Pmax.j : Correspond à la borne supérieure de chaque classe, calculée par l'équation de la droite d'ajustement de la loi log-normale.

La connaissance des bornes supérieures, nous permet de déviser la série.

On calcule le nombre de valeurs de chaque classe  $n_{0j}$ .

Tableau II.11 : Calcul de  $N_j^2$

valeurs	K	$N_j$	$N_j^2$	valeurs	K	$N_j$	$N_j^2$	valeurs	K	$N_j$	$N_j^2$
27	1	2	4	45	4	7	49	57	7	3	9
34.5				45				57.4			
36.1				46				58.2			
36.5	2	9	81	46.5	5	7	49	62.6	8	4	16
36.5				47				64			
37.1				47.7				65			
37.5				47.7				65			
38.6				48.2				67			
39				49				67.1			
39.3	3	6	36	49.3	6	5	25	70.5	9	4	16
40.2				49.7				70.9			
41				50				77.7			
42.2				50				80.3			
42.9	6	5	25	50.1	10	6	36	90.1	10	6	36
43.1				52				97.2			
43.6				53				106			
43.8				53.4				124.6			
				55							
				55.2							

On procède au calcul  $X_{obs}^2$ .

On calcule le nombre de degré de liberté :

$$\vartheta = K - c - 1 \dots \dots \dots (II.18)$$

Avec : K : nombre de classes.

C : nombre de paramètre de modèle fréquentiel estimés à partir de l'échantillon.

La table de ( $X^2$ ) donnée en annexe II.3, nous permet de déterminer la valeur de  $X_{1-\alpha}^2$  ( $\alpha\%$ ) qui a  $\alpha\%$  de chance d'être dépassé par le seul fait de hasard, en fonction des valeurs de  $\vartheta$ .

Dans notre cas on fixe  $\alpha = 5\%$ .

Tableau II.12 : Paramètres de test  $X^2$

$X_{obs}^2$	7.56
$\vartheta$	7
$X_{1-\alpha}^2(5\%)$	14.067

La vérification de la condition d'adéquation se fait de cette manière :

Si  $X_{obs}^2 < X_{1-\alpha}^2(5\%) \rightarrow 7.56 < 14.067$

Puisque la condition est vérifiée, le test de  $X^2$  confirme l'adéquation de l'ajustement de la série des pluies maximales à la loi log-normale.

**2.6.1.2 Vérification de l'adéquation de la loi de Gumbel**

Pour  $\alpha = 5\%$ . On aura :

**Tableau II.13 : Paramètres de test  $X^2$**

$X^2_{obs}$	9.66
$\vartheta$	6
$X^2_{I-1}(5\%)$	12.59

De même la condition est vérifiée. Le test de  $X^2$  confirme l'adéquation de l'ajustement de la série de pluies maximales à la loi de Gumbel.

**2.6.1.3 Vérification de l'adéquation de la loi de GEV**

**Tableau II.14 : paramètres de test  $X^2$**

$X^2_{obs}$	6.6
$\vartheta$	5
$X^2_{I-1}(5\%)$	11.07

A partir des résultats de tableau II.14 on constate :

$$X^2_{obs} < X^2_{I-1}(5\%) \rightarrow 6.6 < 11.07$$

Alors l'adéquation à la loi de GEV de la série de données est confirmée.

**2.7 Exploitation du modèle fréquentiel**

L'adéquation de l'ajustement par les trois lois est confirmée, est malheureusement devant une telle situation il n'existe aucun test qui nous permet de choisir entre les trois lois vues précédemment, il nous reste seulement de comparer le comportement en queue de distribution afin de choisir le modèle lequel on va exploiter ses résultats dans le reste de l'étude.

A partir des graphes d'ajustement (Annexe II.4), on constate que la distribution de la queue de notre série s'ajuste mieux à la loi de GEV.

Donc on va opter pour les quantiles issus de cette loi, récapitulés dans le tableau II.9.

**2.8 Pluies de courte durée**

L'analyse fréquentielle nous a permis de synthétiser l'information fréquentielle concernant les pluies, sous la forme de modèle fréquentiels donnant, pour une pluie de durée choisie, la valeur d'un quantile  $x(F)$  en fonction du temps de retour.

Dans cette étape on va adopter une relation entre pluie, temps de retour et durée : celle-ci consiste à représenter, pour chaque temps de retour choisi, la pluie en fonction de la durée.

C'est cette présentation que l'on nomme courbe IDF. Elle a l'avantage pratique de bien se prêter à l'interpolation pour différentes durées d.

Pour la mise en œuvre des courbes IDF on transforme les pluies maximales journalières aux pluies de courtes durées exprimées en [mm], à l'aide de la formule de K.Body (ANRH 1984) :

$$P_{ct, p\%} = P_{maxj} * \left(\frac{t}{24}\right)^b \dots \dots \dots (II.19)$$

Avec : Pct, p% : pluie de courtes durée (mm) de fréquence égale à celle de Pmaxj,p%.

Pmaxj,p% : pluie maximale fréquentielle.

t : durée de l'averse en heure(h).

b : exposant climatique (b=0,38). [Source ANRH]

Ensuite on calcule les intensités maximales d'une durée t(h) et une période de retour T (ans) par la relation suivante :

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t} \dots \dots \dots (II.20)$$

I<sub>t</sub> : Intensité de durée t(h), exprimée en [mm/h].

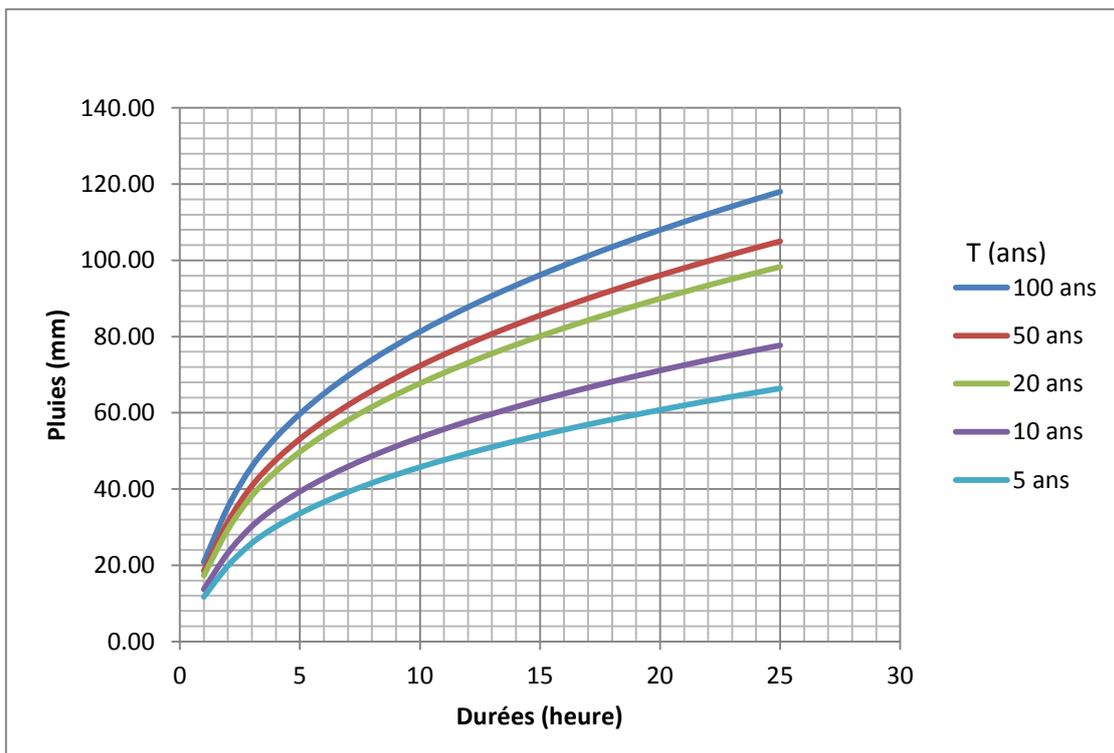
Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de calcul.

**Tableau II.15 : Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de période retour T.**

Période de retour (ans)	100		50		20		10		5	
	P <sub>ct</sub> mm	I <sub>t</sub> mm/h								
0.25	20.83	83.31	18.53	74.13	17.35	69.4	13.71	54.86	11.72	46.88
0.49	26.9	54.89	23.93	48.84	22.41	45.72	17.71	36.14	15.13	30.89
0.78	32.09	41.14	28.56	36.61	26.73	34.27	21.13	27.09	18.06	23.15
0.96	34.73	36.17	30.9	32.19	28.93	30.13	22.87	23.82	19.54	20.36
1	35.27	35.27	31.38	31.38	29.38	29.38	23.22	23.22	19.85	19.85
1.5	41.14	27.43	36.61	24.41	34.28	22.85	27.09	18.06	23.15	15.44
1.52	41.35	27.21	36.8	24.21	34.45	22.66	27.23	17.91	23.27	15.31
2	45.9	22.95	40.84	20.42	38.24	19.12	30.22	15.11	25.83	12.91
3	53.54	17.85	47.64	15.88	44.6	14.87	35.26	11.75	30.13	10.04
4	59.73	14.93	53.15	13.29	49.76	12.44	39.33	9.83	33.61	8.4
5	65.01	13	57.85	11.57	54.16	10.83	42.81	8.56	36.58	7.32
6	69.68	11.61	62	10.33	58.05	9.67	45.88	7.65	39.21	6.53
7	73.88	10.55	65.74	9.39	61.55	8.79	48.65	6.95	41.57	5.94
8	77.73	9.72	69.16	8.65	64.75	8.09	51.18	6.4	43.74	5.47
9	81.29	9.03	72.33	8.04	67.72	7.52	53.52	5.95	45.74	5.08
10	84.61	8.46	75.29	7.53	70.48	7.05	55.71	5.57	47.61	4.76

**Tableau II.15 (suite)**

11	87.73	7.98	78.06	7.1	73.08	6.64	57.77	5.25	49.36	4.49
12	90.68	7.56	80.69	6.72	75.54	6.29	59.71	4.98	51.02	4.25
13	93.48	7.19	83.18	6.4	77.87	5.99	61.55	4.73	52.6	4.05
14	96.15	6.87	85.55	6.11	80.09	5.72	63.31	4.52	54.1	3.86
15	98.7	6.58	87.83	5.86	82.22	5.48	64.99	4.33	55.54	3.7
16	101.1	6.32	90.01	5.63	84.26	5.27	66.6	4.16	56.92	3.56
17	103.5	6.09	92.1	5.42	86.23	5.07	68.16	4.01	58.24	3.43
18	105.7	5.88	94.13	5.23	88.12	4.9	69.65	3.87	59.52	3.31
19	107.9	5.68	96.08	5.06	89.95	4.73	71.1	3.74	60.76	3.2
20	110.1	5.51	97.97	4.9	91.72	4.59	72.5	3.62	61.96	3.1
21	112.1	5.34	99.81	4.75	93.44	4.45	73.86	3.52	63.11	3.01
22	114.1	5.19	101.5	4.62	95.1	4.32	75.17	3.42	64.24	2.92
23	116.1	5.05	103.3	4.49	96.72	4.21	76.45	3.32	65.33	2.84
24	118	4.92	105	4.38	98.3	4.1	77.7	3.24	66.4	2.77



**Figure II.5 : Courbes des pluies-durées-fréquences**

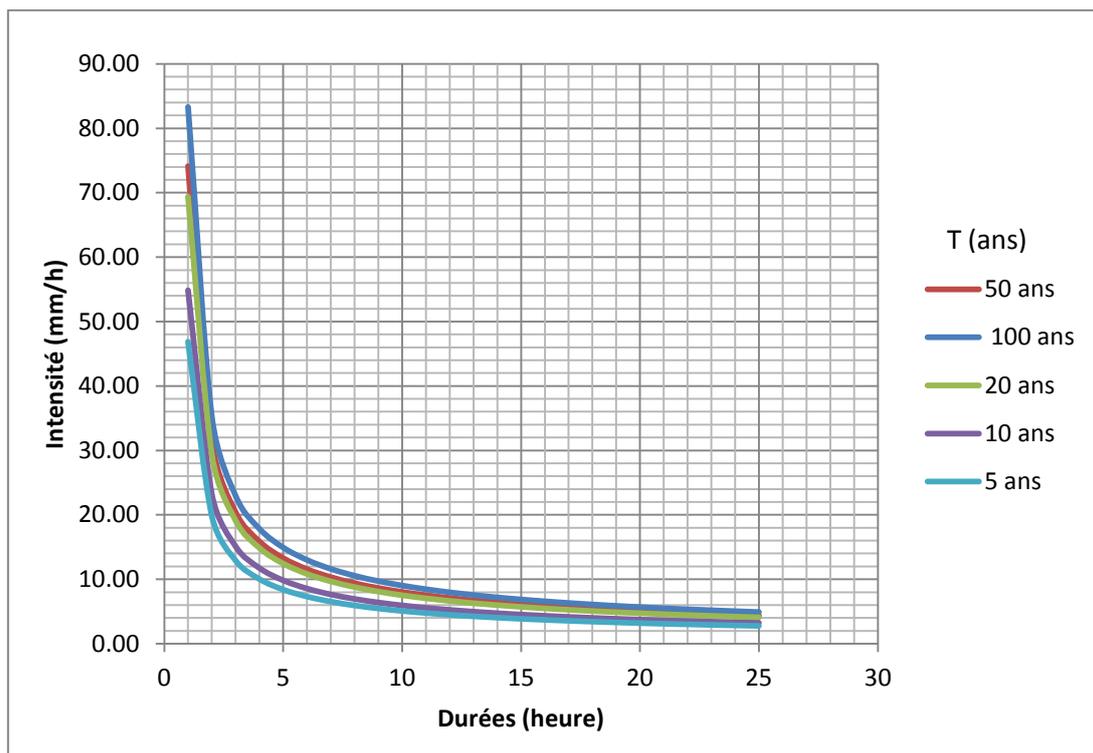


Figure II.6 : Courbes intensités-durées-fréquences

### 2.9 Etudes des crues

Après avoir étudié les caractéristiques du bassin versant (la morphologie, les propriétés physiques de versant, la structuration du réseau...) dans le chapitre I. Et on a déterminé la quantité de pluie d'une période de retour de 100 ans supposée à la base de la génération de la crue de projet. On se trouve devant la question suivante : Quelle sera la quantité de débit d'eau qui sera générée à l'exutoire de notre bassin versant ?

Pour arriver à une réponse claire et représentative on doit connaître la réponse hydrologique (la manière comment va réagir notre bassin versant lorsque est soumis à la sollicitation suivante (pluie journalière d'une quantité de 118 mm et d'une période de retour de 100 ans).

Pour arriver à ces fins on fait appel à deux approches différentes :

- Approche empirique : relation entre le débit et la surface du bassin versant, la pluie et la période de retour, dont on utilise une formule élaborée dans le contexte algérienne pour les zones semi-aride.
- Approche déterministe : on modélise le processus pluie-écoulement du bassin par le modèle HEC-HMS afin de déterminer non seulement le débit de pointe mais également l'hydrogramme correspondant à la crue,

**2.9.1 Calcul le débit de point par la méthode empirique :**

Cette méthode nommée méthode de calcul des crues des oueds de l’Algérie, publiée dans la revue scientifique et technique par Mr Djamel BOUTOUTAOU et Hourri ZEGGANE. Conçue pour calculer les crues et l’hydrogramme de crue pour les cours d’eau et les oueds non jaugés.

Dans leur publication ont montrés que l’utilisation des formules empiriques établies dans différentes conditions géographiques et climatiques que celles de l’Algérie conduit à des erreurs aberrantes. Même dans l’étude ils ont mis au point deux modèles, le premier concerne la détermination des débits de pointe fréquentiels basé sur la loi des isochrones, le deuxième, la construction d’un hydrogramme de crue synthétique basé sur la loi de distribution de Galton.

L’élaboration de la formule de calcul de débit de point est basée sur les données pluviométriques de plus de 400 postes pluviométriques et les données hydrométriques de 53 stations hydrométriques. Pour l’étude des Hydrogramme des crues ont utilisés les observations de couples averse-crues enregistrées à environ 40 stations hydrométriques et pluviométriques distribuées d’une façon homogène sur les grands bassins versants délimités par l’ANRH.

Le débit de pointe est donné par la relation suivante :

$$Q_p = \varepsilon * \bar{i}_t * \alpha * S \dots \dots \dots (II.21)$$

Avec :

$\varepsilon$  : Coefficient de conversion des unités.

$\bar{i}_t$  : Intensité pluviale maximale correspondant à la durée de pluie t, appelée durée de référence de formation du débit de pointe.

$\alpha$  : Coefficient de ruissellement.

S : surface du bassin versant.

L’intensité de pluie maximale  $\bar{i}_t$  mm/min qui est un paramètre principal est reliée au temps de pluie et au période de retour par la relation suivante (Boutoutaou D. 2011) :

$$\bar{i}_t = \frac{F_t}{(t+1)^n} = \frac{A+B \log(T)}{(t+1)^n} \dots \dots \dots (II.22)$$

Avec :

$F_t$  : Intensité de pluie limite de période de retour T quand t tend vers zéro.

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 (ans).

t : Temps de concentration (heure), pour les conditions physiographiques des bassins versants de l'Algérie, la formule proposée pour le calcul de t est la suivante :

$$t_c = 1.7 * \left(\frac{SL}{\sqrt{I}}\right)^{0.19} \dots \dots \dots (II. 23)$$

Avec :

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

L : longueur du cours d'eau en Km.

I : pente du cours d'eau en %.

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

$$\alpha = 1 - e^{\left(-\frac{P_{maxJT}}{P_0}\right)} \dots \dots \dots (II. 24)$$

$P_{maxJT}$  : Pluie maximale journalière en mm de période de retour T.

$P_0$  : Pertes maximales possibles en mm (infiltration, rétention dans les dépressions et évaporation), ce paramètre est tabulé en fonction des zones géographiques des grands bassins versant de l'Algérie :

**Tableau II.16 : Valeurs de paramètre  $P_0$  (Boutoutaou D. 2008)**

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

Les valeurs des paramètres A, B et n sont données pour la totalité du territoire Algérien, dans le tableau suivant :

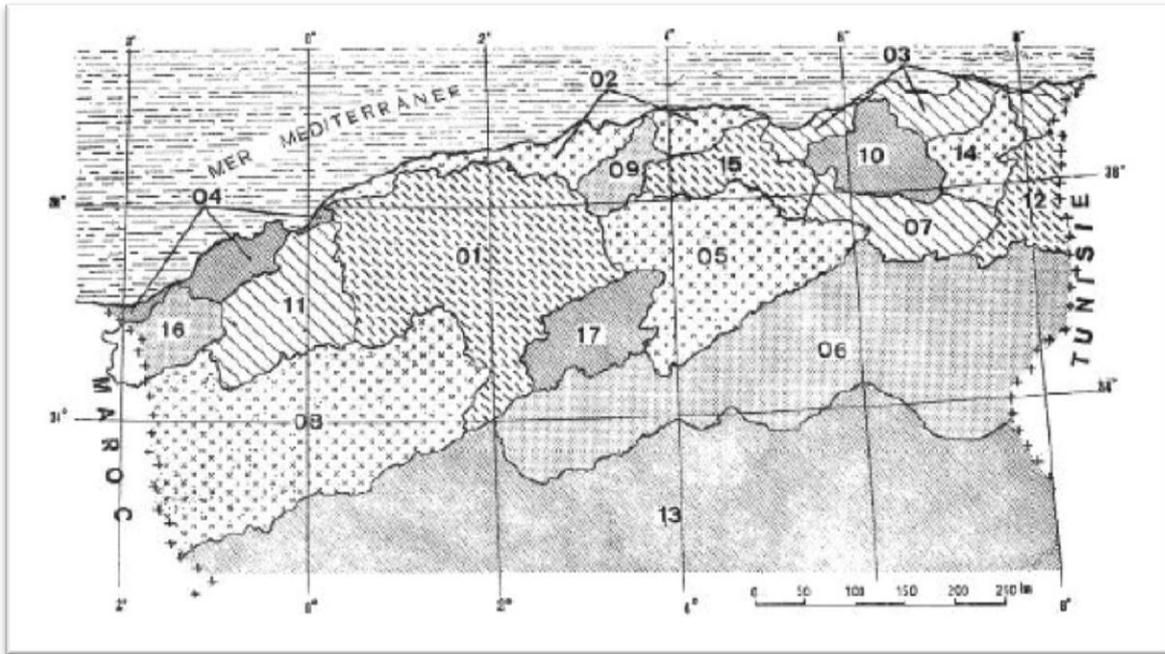
Tableau II.17: Valeurs des coefficients A,B et n

Bassins versants	coefficients	Pluies moyennes annuelles $\bar{P}$ , mm		
		$\bar{P} \leq 400$ mm	$\bar{P} = 400 - 900$ mm	$\bar{P} \geq 900$ mm
subhumide et semi-aride	A	3,25	3,10	2,50
	B	3,53	2,92	2,27
	n	0,71	0,66	0,56
01-11-04-08	A	3,25	2,50	2,40
	B	3,50	2,80	2,70
	n	0,69	0,58	0,52
02-03-09-15	A	4,00	3,50	-
	B	3,70	2,50	-
	n	0,73	0,64	-
05 - 07-17	A	3,50	2,50	-
	B	3,29	3,88	-
	n	0,67	0,60	-
12-14-10	A	3,50	2,50	-
	B	3,10	2,52	-
	n	0,69	0,61	-
16	A	3,50	2,50	-
	B	3,10	2,52	-
	n	0,69	0,61	-
Zone aride	coefficients	$\bar{P} \leq 150$ MM	$\bar{P} = 150 - 400$ MM	$\bar{P} \geq 400$ MM
	A	-	3,00	3,50
	B	-	5,36	2,70
06	n	-	0,77	0,67
	A	1,00	3,50	-
	B	12,38	6,62	-
13	n	0,73	0,75	-

A l'issue de cette étude, Mr Boutouaou à proposer la formule suivante pour le calcul des débits de pointe des différentes périodes de retour pour les cours d'eau et les oueds non jaugés de l'Algérie.

$$Q_{pt} = \frac{16.7 * [A + B \log(T)] * \alpha * S}{(t + 1)^n} \dots \dots \dots (II. 25)$$

La figure suivante illustre la localisation et la numérotation des différents bassins hydrographiques de l'Algérie.



**Figure II.7 : Carte de localisation des bassins hydrographiques de l'Algérie**

Dans l'étude publiée ils ont montrés que la dérivation d'un hydrogramme unitaire par la formulation analytique de la distribution de Galton, présente les inconvénients suivants :

- La pointe de la crue est atteinte bien avant l'instant  $t = t_p$  ( $t_p$  : temps de montée de la crue).
- Le paramètre de forme  $\sigma = 0.4$  est fixé. Pour d'autres valeurs de  $\sigma$ , les hydrogrammes n'auront pas les sens d'un hydrogramme adimensionnel normé.

Pour éluder à ces inconvénients, ils ont introduit une légère modification dans la formulation de la loi Galton et ils ont proposés l'expression suivante :

$$Q(t) = \left\{ Q_p \left( \frac{t}{t_p} \right)^{-0.1} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln \left( \frac{t}{t_p} \right)}{k} \right)^2} \right\} \text{ pour } t > 0 \dots \dots \dots (II.26)$$

$$Q(t) = 0 \text{ pour } t = 0 \dots \dots \dots (II.27)$$

Avec :

$t_p$  : temps de montée, par référence à la théorie de l'hydrogramme unitaire, qui stipule que le temps de montée est constant et égale à une valeur limite inférieure ( $t_p = \lim t$ ) d'une part, et que lorsque la période de récurrence de la crue augmente, le temps de réponse du bassin en crue diminue jusqu'à une valeur seuil, correspond approximativement à un temps minimum

( $t_{lag} = \lim t$ ) d'activation du bassin versant d'autre part, il est possible de faire l'hypothèse que cette valeur limite correspond au temps de concentration du bassin  $t_p = t_{lag} = t_c$ .

K : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue, en absence de donnée de mesure ce paramètre est estimé par la relation suivante :

$$k = 0.0102(s + 1)^{0.4} + 0.2 = 0.35 \dots \dots \dots (II.28)$$

Avec :

S : surface du bassin versant.

### 2.9.1.1 Estimations des paramètres A, B, n et $P_0$ :

Notre bassin d'étude est un sous bassin de bassin hydrographique de Yesser, caractérisé par une numéro 02 dans la figure II.7.

A partir de tableau II.16 Et II.17. En fonction de cette numéro d'ordre ; on détermine les paramètres A, B, n et  $P_0$ , dont les valeurs sont données dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II. : Valeurs attribuées aux paramètres A, B, n, et  $P_0$**

A	B	n	$P_0$ (mm)
2.5	2.8	0.58	100

### 2.9.1.2 Calcul le débit de point de sous bassin N°1 :

**Tableau II.18: Valeur de temps de concentration.**

S.B.N°...	S (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	I (%)	Tc (heure)
1	27.71	14.14	5.8	4.47

**Tableau II.19 : Calcul de l'intensité maximale pour différentes périodes de retours T**

T (année)	A	B	N	it (mm/min)
5.00	2.5	2.8	0.58	0.17
10.00	2.5	2.8	0.58	0.21
20	2.5	2.8	0.58	0.24
50	2.5	2.8	0.58	0.28
100	2.5	2.8	0.58	0.32

**Tableau II.20 : Calcul de débit de pointe de la crue pour différentes période de retours T**

T (année)	P max.j (mm)	P <sub>0</sub> (mm)	a	K	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)
5.00	66.4	100	0.49	16.7	70.8
10.00	77.7	100	0.54	16.7	78.8
20	89.3	100	0.59	16.7	86.2
50	105	100	0.65	16.7	94.9
100	118	100	0.69	16.7	101.1

**2.9.1.3 Construction de l'hydrogramme de crue du bassin N°1 :**

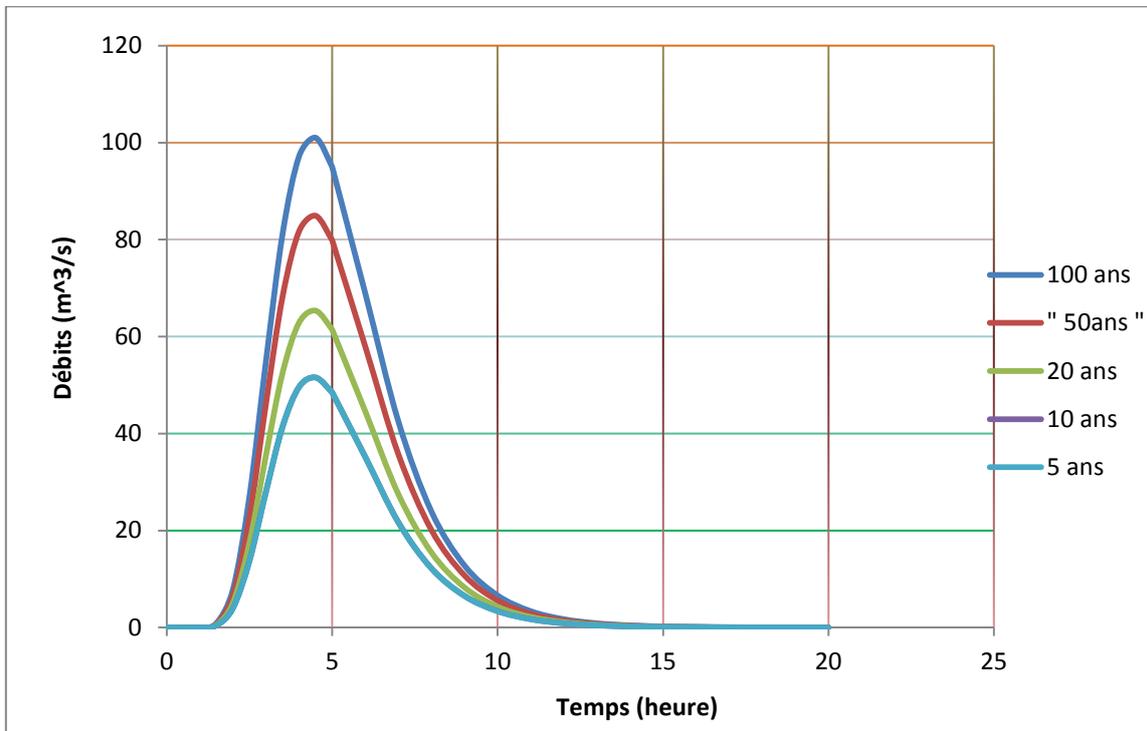
Le débit de point pour chaque période de retour est calculé dans le tableau II.20. Ainsi le temps de montée [tp = tc = 4.47 h] et le coefficient de forme k vaut 0.35.

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II.21 : Calcul de Q (t) pour différentes périodes de retours T**

T (heure)	Q <sub>(T=100 ans)</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>(T= 50 ans)</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>(T= 20 ans)</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>(T= 10 ans)</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>(T= 5ans)</sub> (m <sup>3</sup> /s)
0	0	0	0	0	0
1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
1.5	0.87	0.73	0.56	0.44	0.33
2	7.82	6.57	5.06	3.99	3.02
2.5	27.00	22.70	17.47	13.78	10.42
3	54.98	46.22	35.56	28.06	21.21
3.5	81.15	68.23	52.50	41.42	31.30
4	97.21	81.73	62.88	49.61	37.50
4.5	101.01	84.93	65.34	51.56	38.97
5	94.98	79.85	61.44	48.48	36.64
5	94.98	79.85	61.44	48.48	36.64
6	68.92	57.95	44.58	35.18	26.59
7	42.53	35.75	27.51	21.71	16.41
8	23.93	20.12	15.48	12.21	9.23
9	12.77	10.74	8.26	6.52	4.93
10	6.61	5.56	4.28	3.38	2.55
11	3.37	2.84	2.18	1.72	1.30
12	1.71	1.44	1.11	0.87	0.66
13	0.87	0.73	0.56	0.44	0.33
14	0.44	0.37	0.29	0.23	0.17
15	0.23	0.19	0.15	0.12	0.09
16	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04
17	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02
18	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01

La forme de l'hydrogramme de crue pour les différentes périodes de retour est donnée dans la figure suivante :



**Figure II.8 : Hydrogramme de crue correspond aux différentes périodes de retours.**

#### 2.9.1.4 Calcul de débit de point de sous bassin N2 :

**Tableau II.22 : Valeur de temps de concentration**

S.B.N	S (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	I (%)	Tc (heure)
2	8.76	5.8	5.48	3.05

**Tableau II.23 : Calcul de l'intensité maximale pour différentes périodes de retours T**

T (année)	A	B	N	it (mm/min)
5.00	2.5	2.8	0.58	0.16
10.00	2.5	2.8	0.58	0.13
20	2.5	2.8	0.58	0.10
50	2.5	2.8	0.58	0.07
100	2.5	2.8	0.58	0.05

**Tableau II.24 : Calcul de débit de pointe de la crue pour différentes période de retours T**

T (année)	Pmaxj (mm)	P0 (mm)	a	K	Qmax(m <sup>3</sup> /s)
5.00	66.4	100	0.49	16.7	15.4
10	77.7	100	0.54	16.7	20.3
20	89.3	100	0.59	16.7	25.8
50	105	100	0.65	16.7	33.5
100	118	100	0.69	16.7	39.9

### 2.9.1.5 Construction de l'hydrogramme de crue pour le sous bassin N2 :

**Tableau II.25 : Calcul de Q (t) pour différentes périodes de retours**

T (heure)	Q (m <sup>3</sup> /s)				
0	0	0	0	0	0
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.28	0.23	0.18	0.14	0.11
1.5	5.48	4.60	3.55	2.79	2.12
2	20.12	16.89	13.01	10.24	7.77
2.5	34.64	29.08	22.40	17.62	13.37
3	39.92	33.52	25.81	20.31	15.41
3.5	36.43	30.58	23.55	18.53	14.06
4	28.77	24.15	18.60	14.63	11.10
4.5	20.70	17.38	13.38	10.53	7.99
5	14.01	11.76	9.06	7.13	5.41
5	14.01	11.76	9.06	7.13	5.41
6	5.76	4.83	3.72	2.93	2.22
7	2.20	1.84	1.42	1.12	0.85
8	0.81	0.68	0.53	0.41	0.31
9	0.30	0.25	0.19	0.15	0.12
10	0.11	0.09	0.07	0.06	0.04
11	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
12	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
13	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00

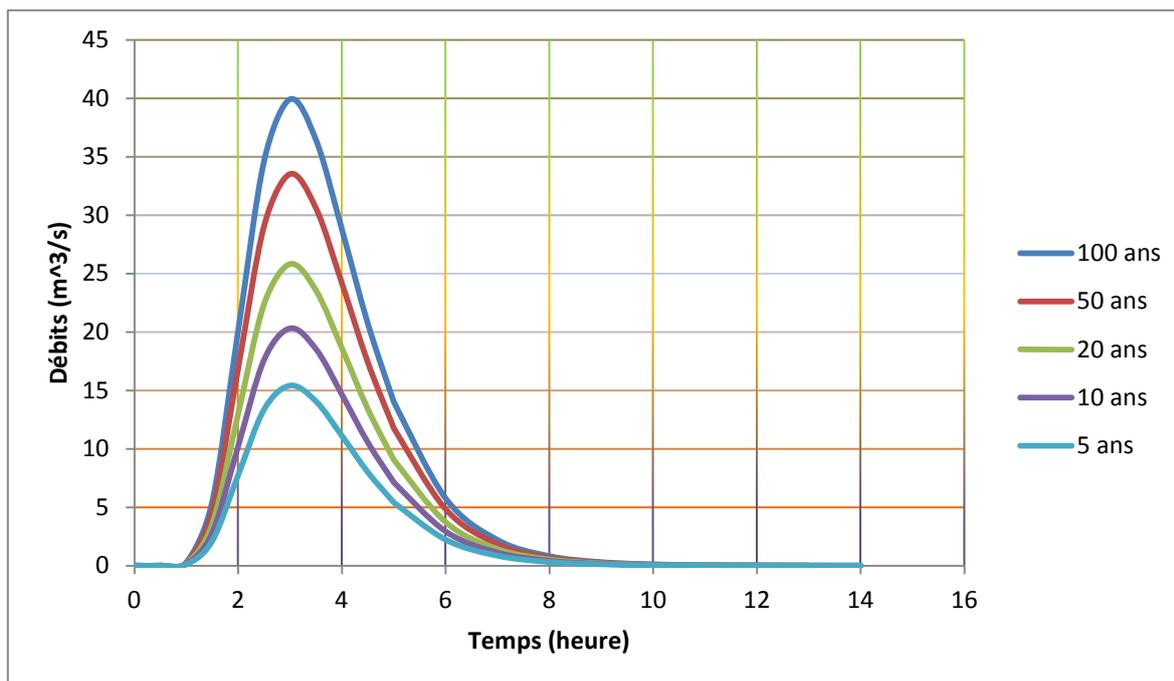


Figure II.9 : Hydrogramme de crue correspond aux différentes périodes de retours

### 2.9.2 Application de modèle HEC-HMS dans la détermination de la crue de projet

#### 2.9.2.1 Présentation du modèle HEC-HMS :

HEC-HMS est une plate-forme de modélisation Pluie-Débit permettant la combinaison d'une multitude de sous-modèles permettant de décrire différents processus hydrologiques. Ces processus sont le ruissellement direct de surface, l'infiltration dans le sol, l'évapotranspiration, les écoulements de sub-surface et souterrains (nappes phréatiques). Pour chacun des processus pouvant être impliqués dans la formation des crues à l'exutoire d'un bassin versant donné, il s'agit donc de faire un choix de modèle adapté aux conditions de ruissellement spécifiques de la zone étudiée.

Dans cette étude la transformation de la pluie brute en hydrogramme de crue se traduit par l'application successive de deux fonctions, nommées respectivement fonction de production et fonction de transfert. La fonction de production permet de déterminer le hyétogramme de pluie nette à partir de la pluie brute. La fonction de transfert permet quant à elle de déterminer l'hydrogramme de crue résultant de la pluie nette.

Le modèle HEC-HMS fournit plusieurs fonctions de productions [Gridded Green and Ampt, SCS curve number.....], ainsi les fonctions de transfert [Modclark, SCS unit hydrograph....]

On va opter pour la fonction SCS curve number, basée uniquement sur un seul paramètre, cette méthode reste simple à mettre en application et s'avère généralement stable au niveau

des calculs, ce qui justifié notre choix dans leur d'adoption comme modèle de production, et le modèle de transfert sera réalisé par la fonction SCS unit hydrograph.

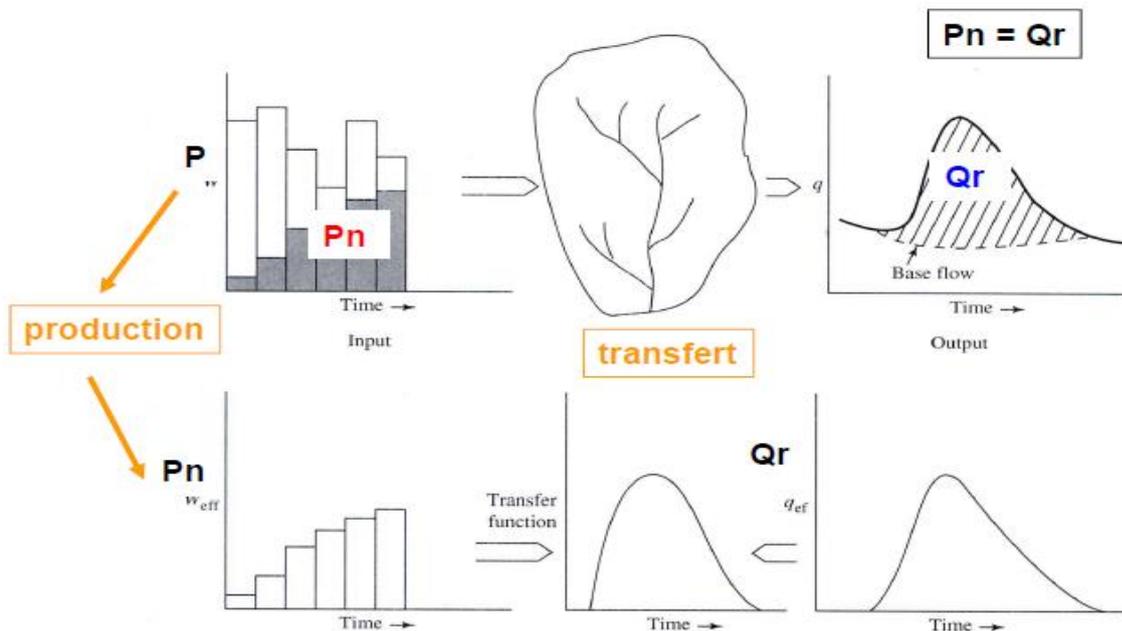


Figure II.10 : La relation Pluie-Débit : Production et transfert

2.9.3 Présentation de sous modèle de calcul du processus d'infiltration« SCS curve number » :

Ce sous-modèle, développé par le Soil Conservation Service (SCS) estime les excès de précipitations selon l'équation suivante :

$$P_e = \frac{(P - I)^2}{(P - I + S)} \dots \dots \dots (II. 28)$$

Avec :

Pe = Excès du cumul des précipitations au temps t.

P = Hauteur cumulée des précipitations au temps t.

I = Capacité de rétention initiale du sol (initial loss).

S= Potentiel maximum de rétention (capacité du sol à capter et retenir une pluie d'orage).

Tant que le volume des précipitations cumulées ne dépasse pas la capacité initiale de rétention du sol, ce modèle considère qu'il n'y a pas d'excès de précipitations et donc que le ruissellement est nul.

A partir de l'analyse d'une multitude de résultats issus de petits bassins expérimentaux, le SCS a pu développer une relation empirique entre I et S, dont :

$$I = 0.2 S \dots \dots \dots (II. 29)$$

Notons que le potentiel maximum de rétention (S), ainsi que les caractéristiques du bassin versant sont reliés par un unique paramètre intermédiaire, le Curve Number (CN) défini par :

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \dots \dots \dots (II. 30)$$

**2.9.3.1 Valeurs de CN :**

Ce paramètre peut prendre des valeurs comprises dans une large gamme : de 30 pour les sols perméables avec des taux d’infiltration importants, jusqu’à 100 pour les masses d’eau. Le CN d’un bassin versant peut-être estimé en utilisant les tables publiées par le SCS, en fonction de l’occupation, le type des sols, et leur taux d’humidité résiduel (Annexe II.5).

Nous choisissons, dans un premier temps, les caractéristiques suivantes :

Voir le nature argileuse de notre sol, nous choisissons un sol de type B [infiltration moyenne, sols moins profonds moyennement chargés en loess et argiles]. Les conditions d’humidité Antécédentes (CHA) de notre sol sont représentées par la catégorie AMCII [Sol moyennement humide], après avoir choisi ces conditions initiales et déterminé les différentes occupations de notre bassin, on réfère aux tables publiées par le SCS (Annexe II .5), afin de fixer la valeur de CN pour chaque catégorie.

Le tableau ci-dessous récapitule les six catégories d’occupation du sol de notre bassin d’étude et la valeur de CN correspond à chaque catégorie.

**Tableau II.26 : Catégories d’occupation du sol et valeurs de CN.**

Catégorie	Valeur de CN
Sol agricole	63
Habitat dense	85
Habitat moyennement dense	80
Habitat dispersée	75
Forêt (Bois)	57
Broussailles	81

Puisque notre bassin d’étude est caractérisé par différents types et usages de sols, alors nous sommes obligé d’évaluer le CN pondéré. Pour chaque sous bassin, on a délimité les différentes catégories d’occupation du sol dont on a éveillée pour que la surface ne sera pas très grande afin de ne pas augmenter l’incertitude de la méthode. On a calculé la surface de chaque parcelle ainsi on l’a associé la valeur de CN qui la correspond. Dans le but de calculer le CN pondéré de chaque sous bassin à l’aide de la formule suivante :

$$CN_p = \frac{CN_i * S_i}{S} \dots \dots \dots (II. 31)$$

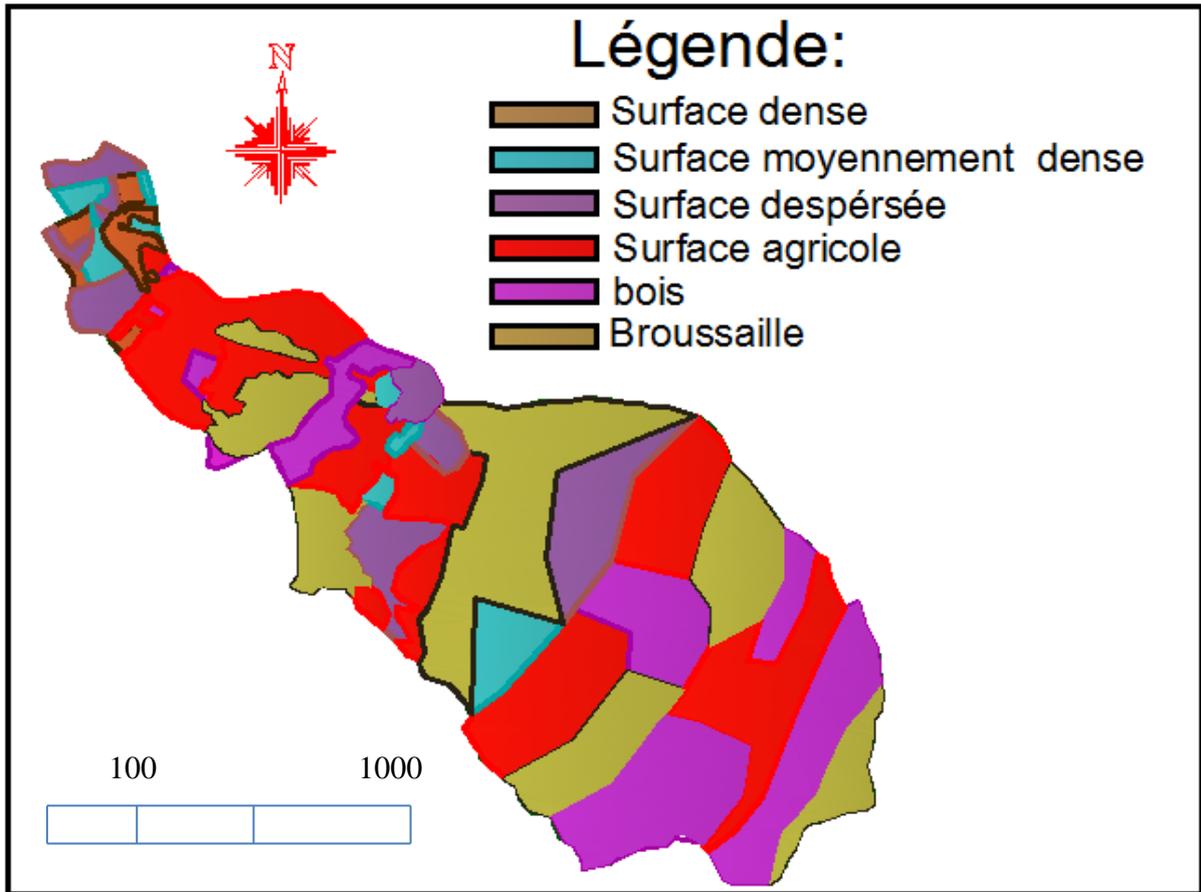


Figure II.11 : Localisation des différentes catégories d’occupation du sol dans le sous bassin

N°1Tableau II.27 : Calcul de CN\*S pour le sous bassin N1

Type	S(Km <sup>2</sup> )	CN	s*cn	Type	S(Km <sup>2</sup> )	CN	s*cn
S.agricole	0.06	63	3.78	Hab.dense	0.02	85	1.7
Hab.dense	0.18	85	15.3	Hab.dense	0.2	85	17
Hab.moy.dense	0.071	80	5.68	Hab.moy.dense	0.21	80	16.8
Hab.dispersé	0.23	75	17.25	Hab.moy.dense	0.14	80	11.2
Bois	0.08	57	4.56	Hab.dispersé	0.045	75	3.375
broussaille	0.33	81	26.73	Hab.dispersé	0.22	75	16.5
S.agricole	1.77	63	111.51	Hab.dispersé	0.132	75	9.9
S.agricole	0.097	63	6.111	Hab.dispersé	0.021	75	1.575
S.agricole	0.66	63	41.58	Hab.dispersé	0.024	75	1.8
S.agricole	0.19	63	11.97	Hab.dispersé	0.017	75	1.275
S.agricole	0.12	63	7.56	Bois	1.62	57	92.34
S.agricole	0.012	63	0.756	Bois	0.066	57	3.762
S.agricole	0.84	63	52.92	broussaille	0.19	81	15.39
Hab.dense	0.12	85	10.2	broussaille	0.63	81	51.03

Tableau II.28 : Calcul de  $CN_p$  de sous bassin N°1

$\sum CN_I * S_I$	S (Km <sup>2</sup> )	$CN_p$
597.98	8.76	68.23

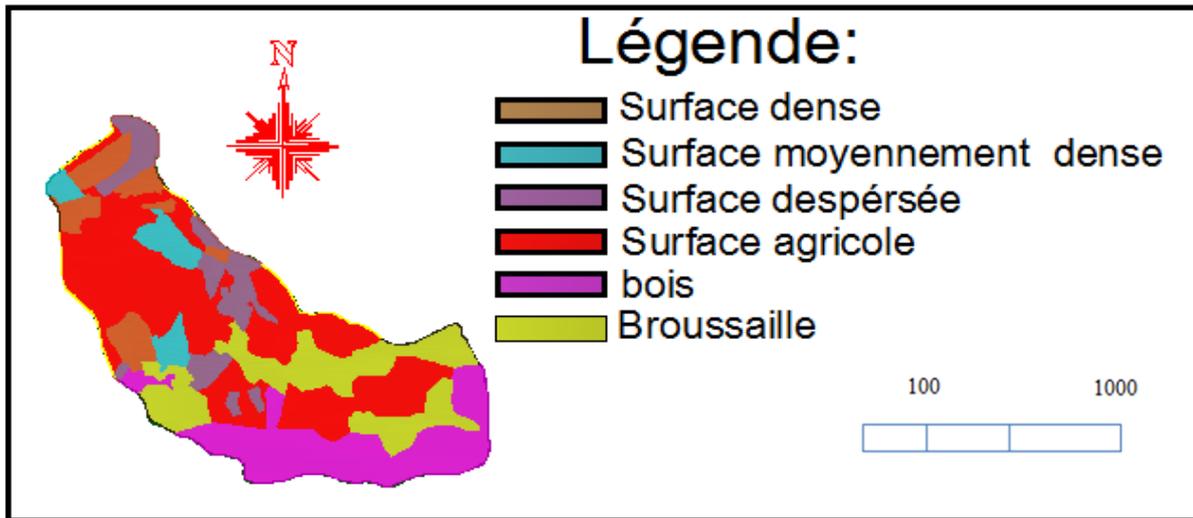


Figure II.12 : Localisation des différentes catégories d’occupation du sol dans le sous bassin N°2

Tableau II.29 : Calcul de  $CN*S$  pour le sous bassin N°2

Type	S(Km <sup>2</sup> )	CN	s*cn	Type	S(Km <sup>2</sup> )	CN	s*cn
S.agricole	0.075	63	4.725	Hab.moy.dense	0.12	80	9.6
Hab.dense	0.087	85	7.395	Hab.moy.dense	0.61	80	48.8
Hab.moy.dense	0.13	80	10.4	Hab.dispéré	0.063	75	4.725
Hab.dispéré	0.26	75	19.5	Hab.dispéré	0.024	75	1.8
Bois	0.016	57	0.912	Hab.dispéré	0.092	75	6.9
broussaille	0.145	81	11.745	Hab.dispéré	0.37	75	27.75
S.agricole	0.08	63	5.04	Hab.dispéré	0.079	75	5.925
S.agricole	1.68	63	105.84	Hab.dispéré	0.23	75	17.25
S.agricole	0.48	63	30.24	Hab.dispéré	0.67	75	50.25
S.agricole	0.054	63	3.402	Hab.dispéré	1.21	75	90.75
S.agricole	0.6	63	37.8	Bois	0.031	57	1.767
S.agricole	0.062	63	3.906	Bois	0.11	57	6.27
S.agricole	0.1	63	6.3	Bois	0.67	57	38.19
S.agricole	0.37	63	23.31	Bois	0.25	57	14.25
S.agricole	1.31	63	82.53	Bois	1.22	57	69.54
S.agricole	1.64	63	103.32	Bois	0.47	57	26.79
S.agricole	1.78	63	112.14	Bois	1.91	57	108.87
Hab.dense	0.1	85	8.5	Bois	1.71	57	97.47
Hab.dense	0.26	85	22.1	broussaille	0.68	81	55.08
Hab.dense	0.043	85	3.655	broussaille	0.031	81	2.511

**Tableau II.30 : Calcul de  $CN_p$  de sous bassin N°2**

$\sum CN_I * S_I$	S (Km <sup>2</sup> )	$CN_p$
597.98	27.71	69.26

On procède à la détermination de taux d'imperméabilisation de chaque sous bassin, par l'estimation des surfaces imperméable (urbaines) à travers l'exploitation après calage des images fournit par le logiciel Google Earth. Les résultats de ce coefficient pour chaque sous bassin en % par rapport à sa surface totale, sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II.30 : Coefficient d'imperméabilisation des sous bassins**

Sous bassin N°	Cimpr (%)
1	26
2	20.5

**2.9.4 Présentation de sous modèle de calcul du processus d'écoulement direct« SCS unit hydrograph » :**

Ce modèle pour l'écoulement direct se base sur l'utilisation de l'hydrogramme unitaire adimensionnel et curviligne développé par Mockus en 1985.

Pour la modélisation, le seul paramètre ajustable pour la calibration est  $t_{lag}$ , le temps de retard entre le pic de crue et le pic des précipitations ("lag time"). Le paramètre  $t_{lag}$  est donné par la formule suivante :

$$t_{lag} = 0.6 * t_c \dots \dots \dots (II. 32)$$

Avec :

$t_c$  : Temps de concentration du bassin versant, on prend les valeurs calculées par la formule de Kirpich dans le chapitre I (Tableau I.16).

L'ensemble des entrées nécessaires à la modélisation par le modèle HEC-HMS, sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau II.31 : Les entrées du modèle HEC-HMS**

SB	S (Km <sup>2</sup> )	CN	c.Impr (%)	H <sub>max</sub>	H <sub>min</sub>	L <sub>p</sub> (m)	H <sub>max</sub> -H <sub>min</sub>	Kirpich (h)	Lag (h)	Lag (min)
1	27.71	69.26	26	825	20	14.14	805.00	1.53	0.92	55.18
2	8.76	68.23	20.5	330	12	5.8	318.00	0.78	0.47	28.19

### 2.9.5 Démarche de la modélisation

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

- ✓ La modélisation du bassin versant.
- ✓ La modélisation des précipitations.

#### 2.9.5.1 Modélisation du bassin versant

Les différentes composantes du bassin versant sont introduites comme des entités, dont chaque entité on va l'associer ses attributs (caractéristiques).

Notre bassin versant est subdivisé en deux bassins versant élémentaires, chaque bassin dispose de leur propre exutoire.

Ensuite on fait le choix de la méthode de production et de transfert, on introduit les entités de chaque sous bassin à savoir : (sa surface, curve number, imprevious, lag time.....) avec le choix de leur exutoire.

#### 2.9.5.2 Modélisation des précipitations

Dans cette rubrique on introduit la série des pluies de durée partielle issue de tableau II.15 (Pluie de courte durée) pour une période de retour 100 ans. Suivant deux scénarios de simulation, le premier prene en considération la pluie d'une durée de 24 heures (1 day) avec un pas de temps d'une heure, le deuxième considère la pluie d'une durée de 6 heures avec un pas de temps de 15 min.

### 2.9.6 Simulation hydrologiques et visualisation des résultats

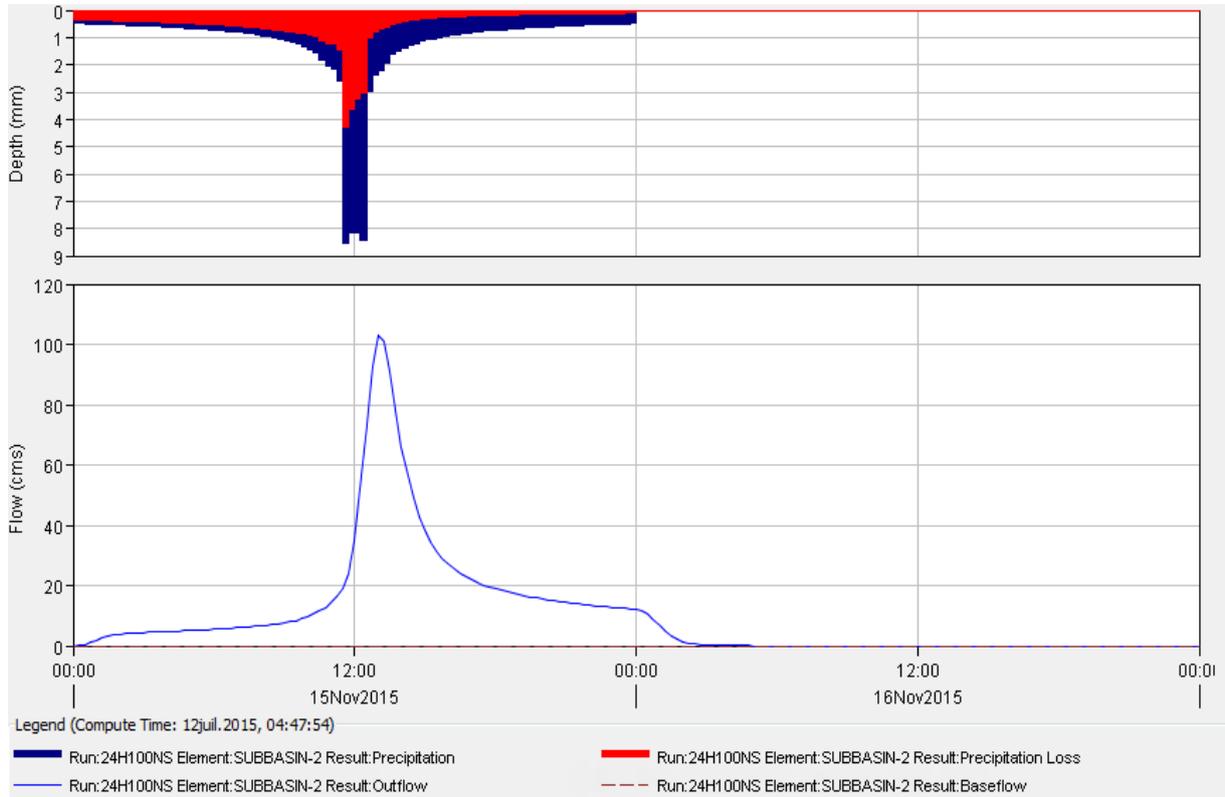
A présent toutes les parties indispensables à une simulation hydrologique sous HEC- HMS sont prêtes, il ne nous reste que le lancement de la simulation. L'outil principal de cette partie est le gestionnaire d'exécution que l'on obtient à partir de l'écran «Basin Model ». L'exécution est lancée après avoir sélectionné un «Run ». Un Run est défini par le modèle de bassin et le modèle de précipitation.

Les résultats peuvent être visualisés en utilisant l'écran du modèle de bassin en chaque élément du bassin sous forme :

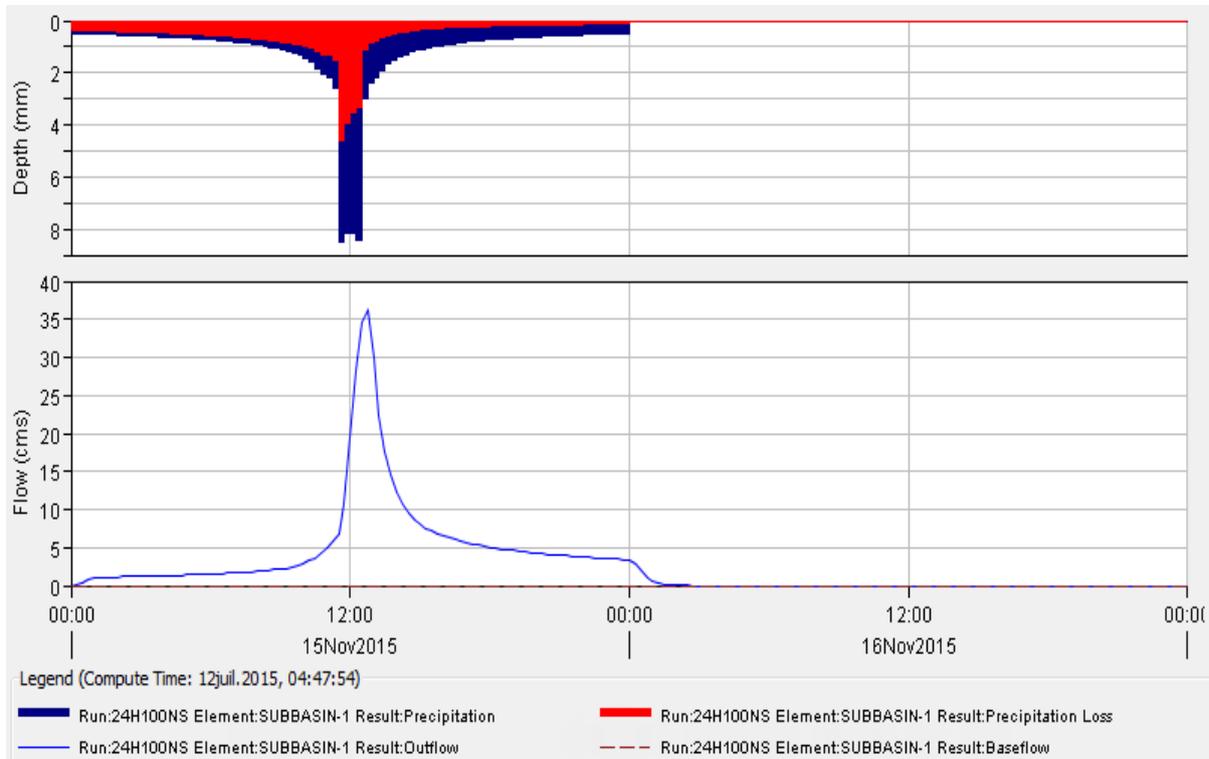
- De graphes.
- De tableau récapitulatif des résultats (Summary table) ;
- De tableau relatif aux résultats calculés à chaque pas de temps (Time Séries Table).

L'hydrogramme de crue produit par le sous bassin N°1 au niveau de l'exutoire est donné par la figure II.13.

L'hydrogramme de crue généré par le sous bassin N°2 est donné par la figure II.



**Figure II.13 : Hydrogramme de crue à l'exutoire de sous bassin N°1**



**Figure II.14 : Hydrogramme de crue à l'exutoire de sous bassin N°2**

**Tableau II.32 : Les valeurs de débits centennaux donnés par le modèle HEC-HMS**

S.B.N°1	103.1 m <sup>3</sup> /s
S.B.N°2	36.2 m <sup>3</sup> /s

**Conclusion :**

Dans ce chapitre on a déterminé les pluies fréquentielles ainsi les débits de crue pour différentes périodes de retours. Le modèle fréquentiel le plus adéquat d'après le test d'adéquation et l'analyse de la distribution en queue de la série pluviométrique est celui de GEV, avec un quantile centennal estimé à 118 mm. Ensuite on a exprimé la relation pluie-durée-période de retour à l'aide de la construction des courbes IDF afin de répartir le quantile journalière sur les différentes durées.

Les deux modèles d'estimation de débit de point de la crue à savoir le modèle empirique et le modèle HEC-HMS ont donnés des résultats très proches, on prend celle issues de modèle HEC-HMS pour faire la simulation d'écoulement et le dimensionnement voir la robustesse de ce modèle.

## Chapitre III :

Analyse des conditions naturelles  
du fonctionnement de l'oued et  
mise en évidence des zones  
vulnérables

## **Analyse des conditions naturelles du fonctionnement de l'oued et mise en évidence des zones vulnérables**

### **Introduction**

Les causes des inondations sont multiples, pour cette raison on se trouve devant différents types. Dans le but de projeter des moyens de protection adéquats. Ainsi, une bonne connaissance de l'état des lieux, une détermination des facteurs entraînant et accentuant ce phénomène avec la localisation des zones qui sont exposées aux risques, s'avèrent indispensable.

Chaque travail hors cette démarche sera sans effet et ne répond jamais aux exigences de la population, même la solution à proposer ne remplit guerre ses fonctionnalités.

Pour arriver à ces fins, nous entamons cette partie avec une description générale des cours d'eau et les différents ouvrages existants afin de recenser toutes les anomalies et les causes qui peuvent surgir durant les périodes de crue.

Le logiciel HEC-RAS nous permet de modéliser les données hydrologiques suivant des critères morphométriques de la zone d'étude, dans le but de déterminer comment la crue centennale manifeste dans le cours d'eau ainsi les hauteurs d'eau résultantes et localiser les zones où il y a un débordement. La base de données nécessaire à l'application de ce modèle sera générée par le logiciel Autocad civil 3D, qui est un outil informatique puissant qui donne des résultats précis en chaque section transversale définie par l'utilisateur.

Par l'intermédiaire du logiciel SAGA GIS avec l'utilisation du modèle RAS MAPPER du HEC-RAS (version 4.1). Une classification des zones inondables « zonage » a été faite, en classant les zones inondables causées pour chaque oued (Oued Menaiel et Oued Basbes) pour la crue centennale.

### **3.1 Description générale**

Dans cette partie de l'étude on essaye de donner une description générale des cours d'eau. Les canaux (en terre et en béton) et les différents ouvrages existants.

#### **3.1.1 Oued MEMAIEL**

Il s'agit d'un grand affluent de Oued Isser, les sommets des montagnes entourant la ville constituent les sources des cours d'eau pérennes qui se transforment en un oued principal traversant la ville dans sa partie Est. La zone inondable est située juste au niveau des terrains avoisinants l'oued.

Un débordement de l'oued causant une inondation des zones urbanisables et surtout la zone illicite.

**3.1.2 OUED BASBES**

Il s'agit d'un autre affluent de l'oued Isser, qui traverse la ville dans sa partie Ouest, il prend le même chemin qu'oued Menaiel. Les zones inondables sont situées en amont et en aval de l'oued.

L'oued a été aménagé dans sa partie avale (au niveau de la citée Caper) .Les résultats de cet aménagement sont négatifs.

Une stagnation de l'eau est signalée au niveau de la cité Caper, ZADI, ZAII, ZADI II et au niveau de la traversée de la R.N12 entraînant une inondation de la zone urbanisable.

**3.1.3 Aperçu sur les ouvrages existants**

La vérification du dimensionnement des ouvrages existants est basée sur la topographie et les débits des crues calculés.

Les ouvrages existants (traversées de routes et chemin de fer) sont localisés dans les endroits suivants :

**31.3.1 Oued Menaiel**

**Tableau III.1 : Positionnement et l'état des ouvrages**

Nature	Coordonnées UTM	Dimension	Etat	Passage des réseaux
Ponceau Cité Bastos	X = 564 870 Y = 406 6320	B = 7.7 m H = 2 m	Bon	AEP 3 X Ø 150 ASS Ø 600
Ponceau cité Million	X = 564 745 Y = 406 6755	B = 10.2 m H = 1.8 m	Bon	AEP Ø 200, PTT ASS Ø300 Ø400
Ponceau Cité coopérative	X = 564 762 Y = 406 6814	B = 12.20 m H = 1.9 m	Bon	ASS Ø300
Pont (Traversée de la route)	X = 564 814 Y = 406 7000	B = 25.8 m H = 5.1 m	Moyen	AEP Ø200 ASS Ø600
Pont (Traversée de la voie ferrée)	X = 564 856 Y = 406 7081	B = 6.9 m H = 1.7 m	Bon	//////////
Pont (Traversée de l'Auto route RN5)	X = 564 872 Y = 406 7349	B = 9.5 m H = 4.2 m	Bon	//////////

**N.B :** L'étude d'oued Menaiel prend départ du point dit charchar.

Cordonnées : UTM (X =565 431; Y = 406 5723).

**31.3.2 Oued Besbes**

**Tableau III.2 : Positionnement et l'état des ouvrages**

Nature	Coordonnées UTM	Dimension	Etat	Passage des réseaux
Ponceau (Traversée de la RN12)	X = 562 815 Y = 406 5944	B = 2.2 m H = 1.85 m	Bon	//////////
Passage busé Traversée de la voie ferrée	X = 564 815 Y = 406 5944	2 × Ø 600	Bon	//////////
Canal en béton	X = 564 875 Y = 406 5846	B = 3 m H = 1.4 m	Bon	//////////
Passage en dalot (Traversée de l'Auto route)	X = 562 970 Y = 406 5706	B = 4.8 m H = 1.2 m	Bon	//////////
Passage Busé	X = 563 049 Y = 406 5588	3 × Ø 1000 En béton	Bon	//////////
Passage en dalot (Au niveau des chalets)	X = 563 595 Y = 406 5297	Ø 1000 et Ø 1500	Bon	//////////
Passage en dalot	X = 564 063 Y = 406 4820	B = 4.00 m H = 2 m	Bon	//////////
Passage en dalot	X = 564 389 Y = 406 4466	B = 3.00 m H = 2.3 m	Bon	//////////

Les différentes traversées sont illustrées dans la planche N°3 (Plan de situation de l'oued Menaiel et Besbes).

**3.2 ENQUETE DE TERRAIN ET DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE**

Suite à une mission de reconnaissance sur le terrain, le problème des inondations de la ville de Bordj Menaiel est causé par les deux Oueds principaux traversant la ville dans sa partie Est et Ouest, Oued Menaiel et Oued Besbes.

**3.2.1 Oued Menaiel**

Prenant sa naissance en amont de la ville, Oued Menaiel traverse la ville de Bordj Menaiel vers l'Est, il s'agit d'un Oued d'une section moyennement large avec des apports annuels impressionnants causant l'inondation des localités l'avoisinentes. Ces localités se différencient d'un quartier populaire à des bidonvilles et de nouvelles citées, citant:

- Cité million.
- Cité Bastos.
- Cité Chouhada.
- Cité Bousbaa.
- Cité 210 Lgts OPGI.

D'après les informations recueillies sur place, les circonstances les plus dramatiques sont enregistrées au niveau du passage de l'Oued vers le lieu-dit Cherchar et la cité Million.

### **3.2.2 Oued Besbes**

Traversant la ville vers sa partie Ouest Oued Besbes est représenté par une section large en amont (Vers la zone des Chalets) avant de commencer à se mincir vers l'aval menaçant sur son trajectoire les habitations avoisinantes et les habitations en aval. Les apports de l'Oued formant un grand problème et pour les habitants et pour les unités industrielles localisées dans cette zone.

Les zones susceptibles d'être inondées à chaque moment de crues par Oued Besbes sont:

- Zone des chalets en amont.
- Habitation avoisinante l'Oued.
- ZAD 1 et ZAD 2.
- Auto route.
- Voie ferrée.

### **3.2.3 Constations**

Après avoir donné un descriptif sur l'état des oueds, nous avons constaté les défaillances suivantes :

La cause principale des inondations est due aux empiétements d'oued Menaiel et Besbes par des constructions, la réduction de ses sections d'écoulement, le rétrécissement de sa largeur surtout avec la décharge anarchique et cumulée des remblais de terre par les habitants.

Bouchage des passages existants, par le dépôt de blocs et de pierres.

Le passage anarchique des différents réseaux à savoir (AEP, ASS, PTT).

Envahissement de la végétation dans le lit de l'oued, nous l'avons remarqué surtout dans la partie amont, ainsi la présence d'un tissu urbain condensé, toutes ces contraintes ont réduit la chance d'accès à l'oued.

Suite à cette reconnaissance sur le terrain et la collecte des données nécessaire pour la modélisation, on procède au choix de modèle de la simulation en fonction de la situation de l'oued Menaiel et oued Basbes ainsi que les conditions de l'écoulement.



**Figure III.1 : Situation d'un passage en dalot oued Besbes**

### **3.3 Choix de modèle**

Compte tenu de la longueur relativement faible des deux tronçons respectivement du oued Besbes et Menaiel et du fait que l'on s'intéresse uniquement à l'élévation maximale de la ligne d'eau pour une chronique de débits donnée, la modélisation des écoulements en régime permanent est suffisante.

Il faut toutefois savoir si l'on opte pour un modèle 2D (mis en œuvre par exemple par le logiciel Telemac 2D) ou un modèle 1D (sous HEC RAS).

Au regard des caractéristiques de la zone d'étude et des variables étudiées (hauteur de la ligne d'eau et débit), l'utilisation d'un modèle 1D est suffisant. En effet, plusieurs observations semblent justifier l'hypothèse d'un écoulement unidirectionnel :

- ✓ l'absence d'affluents et d'ouvrages longitudinaux (digue ou déversoir longitudinal).
- ✓ la présence d'un lit majeur bien marqué et encaissé, ne favorisant pas les écoulements transversaux et ne possédant pas de singularités marquées.
- ✓ un champ d'expansion composé principalement de prairies en amont.

Les travaux de Horrit & Bates (2002) montre que pour un écoulement rassemblant ces hypothèses, les résultats des simulations 1D du logiciel HEC-RAS, bien que découlant d'une méthode plus simple, sont comparables à ceux de la modélisation 2D donnée par Telemac 2D, à condition de posséder un modèle numérique de terrain de haute résolution.

Cette réflexion a mené à l'utilisation d'Hec-Ras (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System), plateforme logicielle de simulation hydraulique développée par le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis, qui répond parfaitement aux attentes que nous avons délimitées. (Version 4.1.0, publié en 2010).

### 3.4 Les équations mises en jeu

Le logiciel HEC-RAS utilise les équations de Saint-Venant 1D ("shallow water equations" en anglais) pour relier les hauteurs d'eau et les débits. Ces équations se déduisent des équations de Navier-Stokes grâce à des simplifications liées au modèle de la rivière.

#### 3.4.1 Le cas stationnaire

Le modèle géométrique sera maillé est représenté en une succession des sections transversale. Le logiciel calcul la hauteur d'une section à partir de la hauteur d'eau de la section précédente à l'aide de l'équation de conservation de l'énergie (conservation de la charge) suivante :

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots \dots \dots (III. 1)$$

Avec :

Z : cote du fond du lit.

Y : hauteur d'eau à la section.

$\alpha$  : Coefficient de pondération de la vitesse.

V : vitesse moyenne sur la section.

g : accélération de la pesanteur.

$h_e$  : Perte de charge.

Le coefficient de pertes de charge  $h_e$  se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots \dots \dots (III. 2)$$

Avec L la distance entre les deux profils,  $S_f$  la pente de la ligne d'énergie (pente de frottement) et C le coefficient d'expansion ou de contraction.

La figure ci-dessous illustre l'apport de chaque terme de l'équation (III.1).

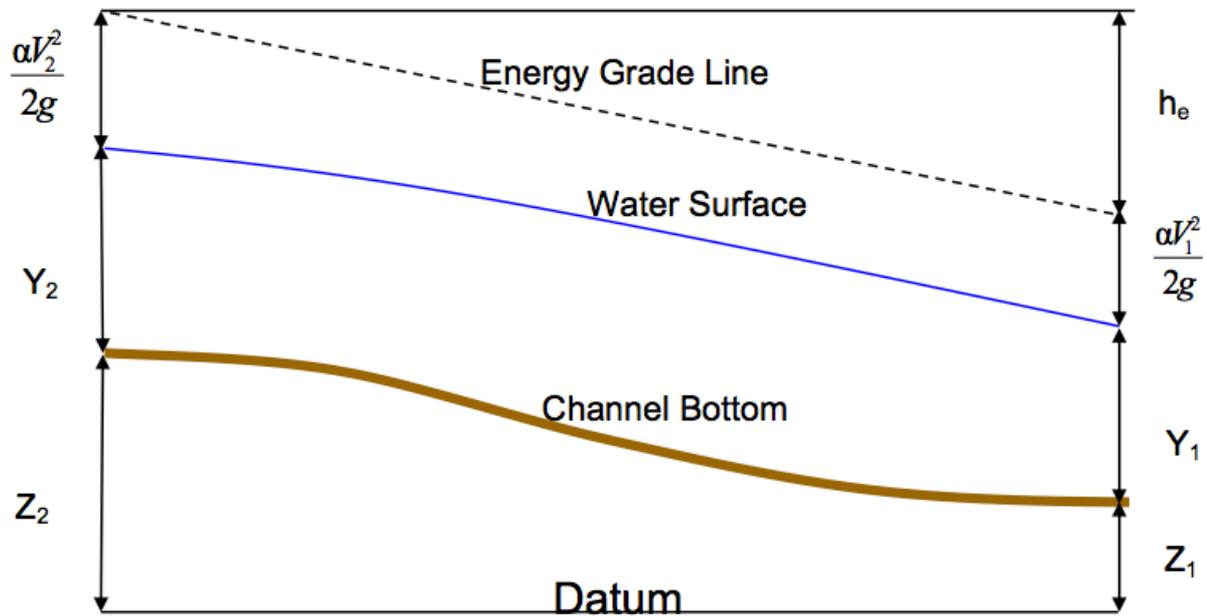


Figure III.2 : Conservation de la charge entre deux sections (source : HEC-RAS)

Les pertes de charges estimées proviennent des effets de frottement et de contraction/expansion du cours d'eau. La paramétrisation de Manning-Strickler est utilisée pour le frottement.

Pour évaluer correctement les pertes de charges, et donc le frottement, HEC-RAS découpe chaque section en plusieurs domaines verticaux et pour chaque domaine on introduit leur coefficient de frottement. En effet le frottement dépend de la vitesse et on se doute bien que la vitesse n'est pas la même sur les bords, dans le lit majeur ou dans le lit mineur. Le découpage se fait comme sur l'image qui suit :

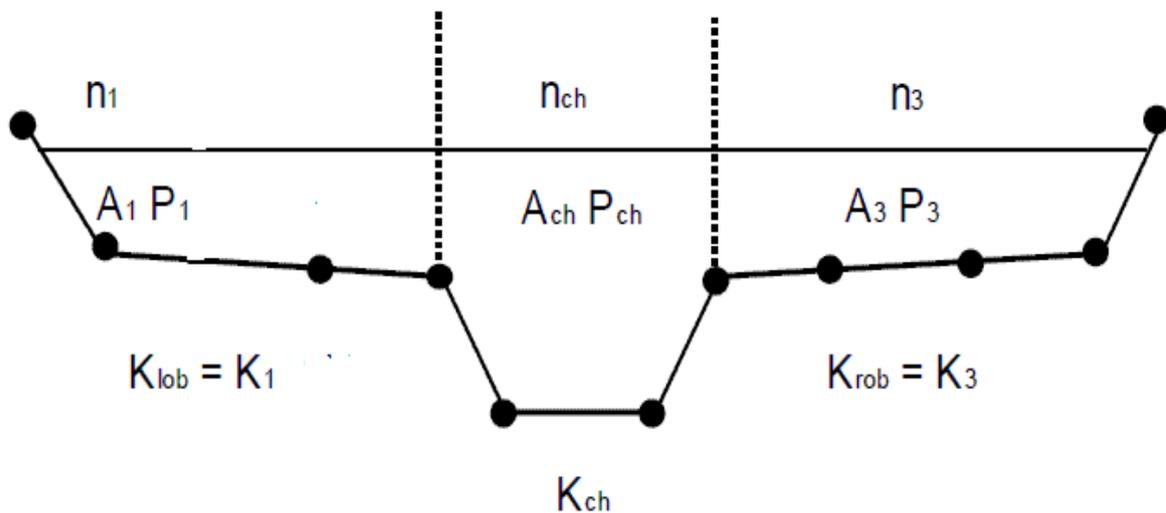
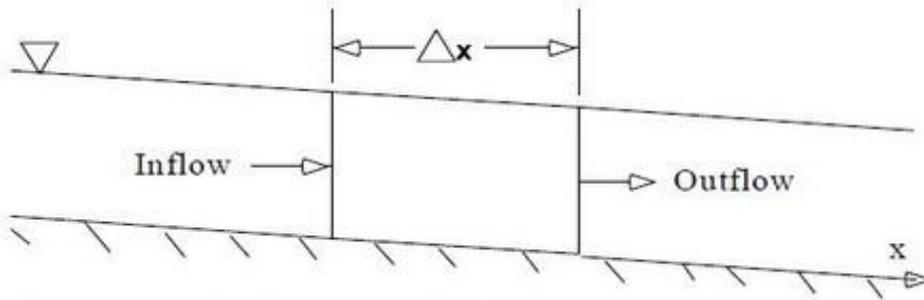


Figure III.3 : Découpage de la section pour le calcul du frottement (source : HEC-RAS)

**3.4.2 Cas instationnaire**

Dans le cas instationnaire, la résolution sous HEC se fait différemment. Les équations utilisées cette fois-ci sont la conservation de la masse et la conservation de la quantité de mouvement. Pour obtenir ces équations on fait un bilan sur un petit volume de control, comme sur l'image suivante :



**Figure III.4 : élément de volume élémentaire de contrôle (Source HEC-RAS)**

On obtient l'équation de conservation de la masse:

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \dots \dots \dots (III. 3)$$

Avec :

$A_T$  : C'est la section.

$Q$  : Le débit.

$q_l$  : L'apport latéral par unité de longueur.

L'équation de conservation de la quantité de mouvement s'écrit:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + Sf \right) = 0 \dots \dots \dots (III. 4)$$

Avec :

$\frac{\partial z}{\partial x}$  : La pente de la hauteur d'eau.

$Sf$  : La pente de la ligne d'énergie.

$A$  : c'est la section.

$V$  : Vitesse moyenne.

Pour résoudre ces équations, le logiciel utilise la théorie des différences finies qui est à la fois pratique et simple pour ce cas 1D. Il utilise un schéma implicite qui permet d'utiliser un pas de temps beaucoup plus important que dans le cas du schéma explicite.

### 3.5 Banque de données nécessaire à l'application du code de calcul HEC-RAS

L'application du modèle HEC-RAS nécessite une banque de données bien fournie concernant les tronçons des deux oueds considérés.

- Les données géométriques relatives à chaque section :
  - Le profil en travers, défini par une série de couples distance-altitude.
  - Les coefficients de rugosité du lit mineur et majeur.
  - Les trois distances principales à la section suivante : rive gauche, droite et axe de lit mineur.
- Les données hydrométriques à savoir le débit de projet et les conditions aux limites.

### 3.6 Démarche de la modélisation

Cette démarche est constituée de quatre étapes à savoir :

#### 3.6.1 Modélisation de la rivière

La réalisation de la géométrie des oueds Menaiel et Besbes, consiste à implémenter des profils en travers représentatifs, sur lesquels on calcule la hauteur d'eau et d'autres caractéristiques de l'écoulement, elle correspond au maillage de la rivière.

Dans la présente étude ce maillage est réalisé à l'aide de logiciel AUTOCAD CIVIL 3D (version 2015), on s'appuie sur le modèle numérique de terrain (MNT) de notre zone d'étude récupéré auprès de la DHW (Boumerdes). Afin de couvrir la totalité de la zone inondable, d'autres points ont été interpolés linéairement par le logiciel COVADIS (version 9.1), à partir des points existants.

Le travail consiste à définir l'axe de l'oued et les berges gauche et droite. Ensuite on a procédé à une tabulation automatique, dont on a fixé les distances suivantes :

L'équidistance entre deux sections transversales est de 30 m, une distance très petite implique la présence des interactions entre section et des fluctuations dans l'estimation des altitudes, par contre une distance très grande ne décrit pas avec précision la sinuosité de l'oued.

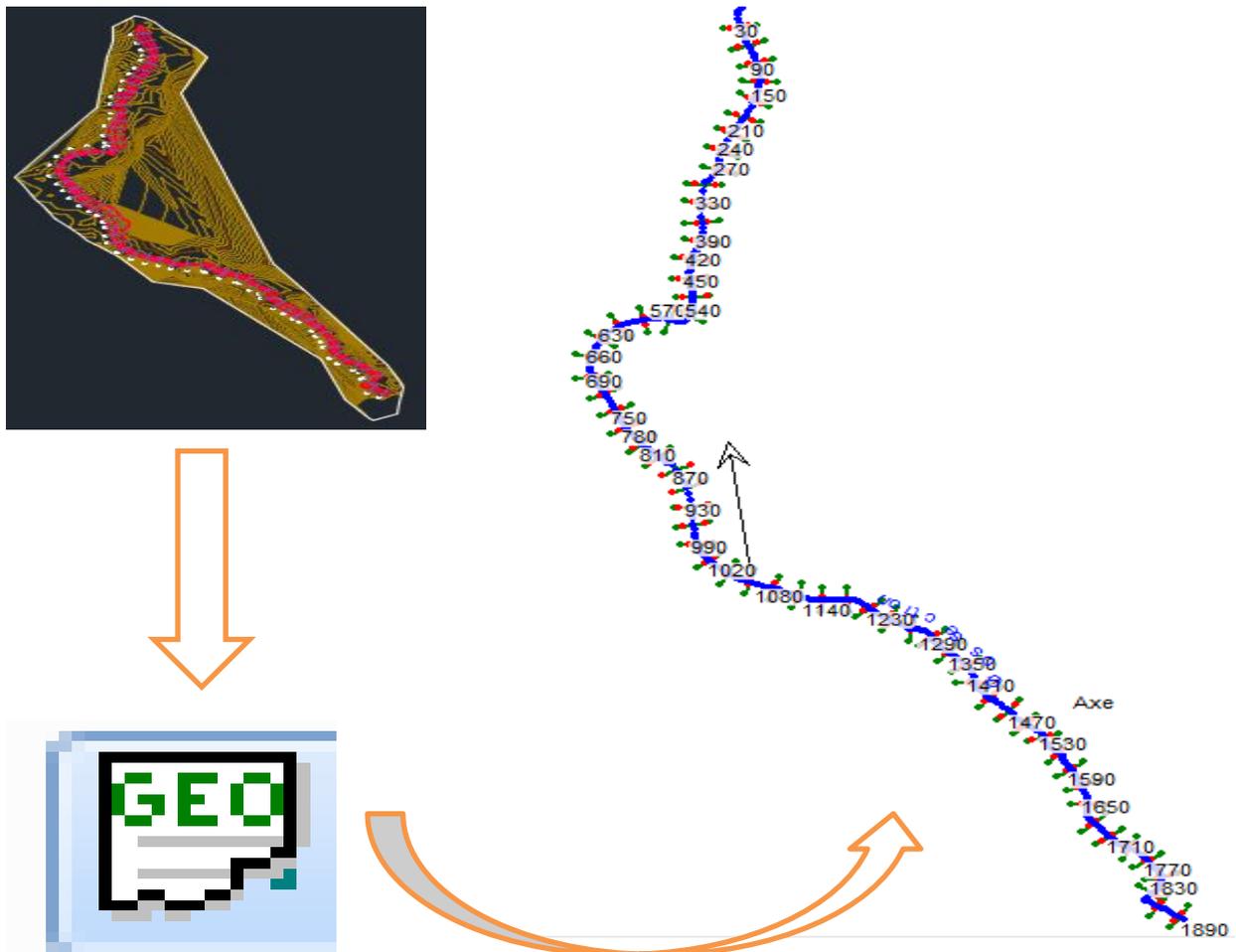
La largeur d'une section transversale est fixée à 40 m, voir la largeur au miroir de notre oued qui n'est pas vraiment importante. Alors une telle largeur s'avère suffisante.

Il nous reste à présent, d'exporter les résultats de calcul vers HEC-RAS sous un fichier « .géo » inclut les paramètres suivants :

- ✓ Le fichier point (Distance, Altitude) de chaque section en travers.
- ✓ Les trois distances principales à la section.
- ✓ Les deux distances (Axe-Berge gauche et Axe-Berge droite).

A l'ouverture de logiciel HEC-RAS, on définit un nouveau projet les sections transversales et les contractions, expansions, et les différentes distances sont récupérés directement à travers le fichier Géo, ainsi la géométrie est définit.

**N.B :** Le Civil 3D suppose que les sections hydrauliques sont pour une chaussée. Le concepteur routier suppose que des sections de chaussée sont de droite à gauche en regardant dans la direction de la station croissante. Nous en tant que hydraulicien on suppose qu'une section transversale dans un modèle hydraulique est de gauche à droite en regardant vers l'aval, et on suppose que le stationnement diminue à mesure qu'on regarde vers l'aval. Cela provoque Civil 3D d'exporter un modèle hydraulique « retourné », selon la nomenclature standard de modélisation HEC-RAS. Pour corriger ce problème et « flip » le fichier Civil3D HEC-RAS exportés de la chaussée à la direction des plaines inondables, on appelle un programme écrit par HALFF Associates nommé « Civil3D ras ».



**Figure III.5 : Les différentes étapes pour définir le tracé d'oued Menaiel**

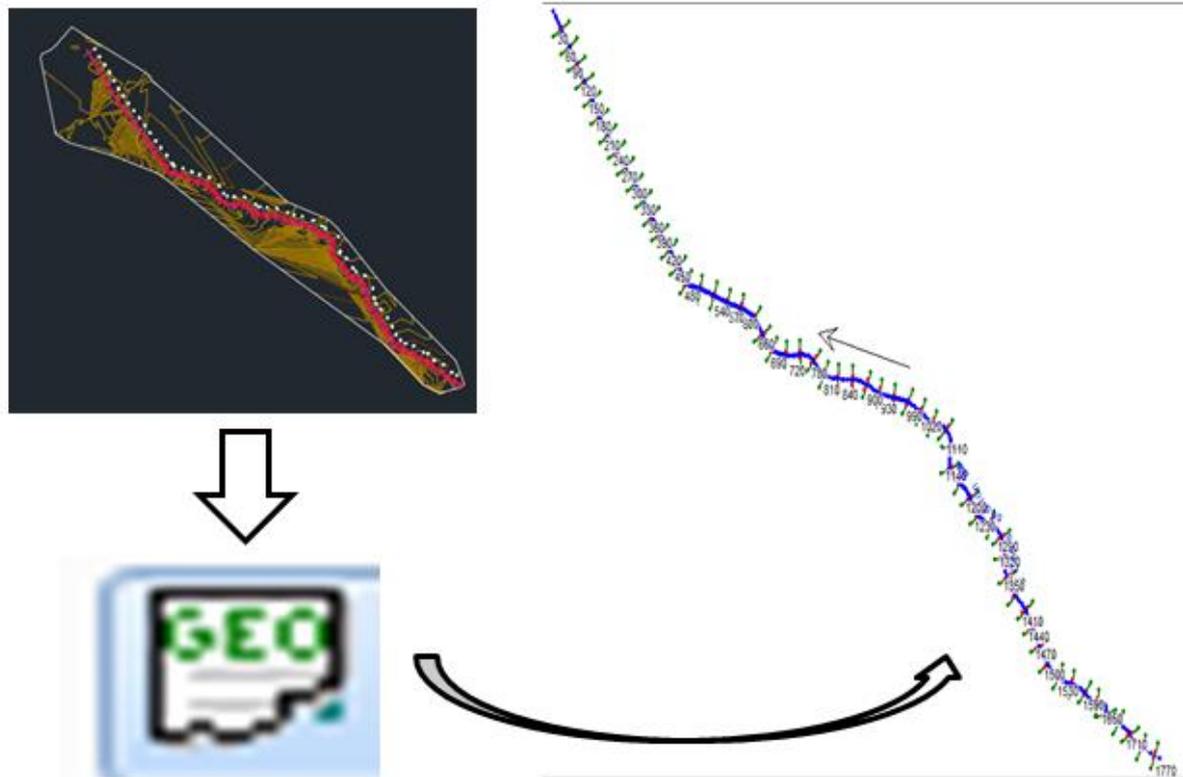


Figure III.6 : Les différentes étapes pour définir le tracé d'oued Besbes.

### 3.6.1.1 Choix de coefficient de frottement

En absence des mesures expérimentales, le coefficient de Manning Strickler est fixé on se basant sur la littérature, dont on a pris les valeurs suivantes selon la nature du canal et le matériau qui le constitué.

Tableau III.3 : les valeurs attribuées au coefficient de Manning « Oued Menaiel »

Oued Menaiel		
Berge gauche	Lit mineur	Berge droite
Peu de broussaille et d'arbre	Propre, avec méandre, pente, et section moins efficace	Peu de broussaille et d'arbre
0.07	0.048	0.07

Tableau III.4 : Les valeurs attribuées au coefficient de Manning « Oued Besbes »

Oued Besbes			
Cros section	Berge gauche	Lit mineur	Berge droite
//////////	Peu de broussaille et d'arbre	Propre, avec méandre, pente, et section moins efficace	Peu de broussaille et d'arbre
1260-360	0.07	0.048	0.07
//////////	Béton	Béton	Béton
300-0	0.011	0.014	0.014

Source, Livre Hydraulique et Hydrologie Saïd Bennis tiré de valeurs adoptées par chow (1988).

### 3.6.2 Modélisation de l'écoulement

Sous l'hypothèse d'écoulement mixte, les conditions aux limites imposées pour la résolution du calcul hydraulique sont :

- ❖ Un débit en entrée.
- ❖ Une hauteur critique sera calculée en aval et en amont.

Pour les conditions en entrée, les débits disponibles ont été présentés dans le chapitre II.

Pour les conditions aux limites, le modèle HEC-RAS prend en charge le calcul de la profondeur critique en amont et en aval dans le cas d'un régime mixte, alors il suffit de mentionner ces profondeurs dans la rubrique concernant les conditions aux limites.

### 3.6.3 Mise en marche de la simulation

Après avoir introduit les données géométrique et hydrométrique de notre oued, On fait le choix de régime d'écoulement, supposé mixte pour notre cas, et on lance la simulation.

### 3.6.4 Visualisation des résultats

Les résultats de simulation d'oued Menaiel et Besbes sont donnés sous forme de graphes et tableaux exprimant la variation des différents paramètres hydrauliques (Vitesse, profondeur de la ligne d'eau, profondeur de la ligne d'énergie, section mouillée...) en fonction de la longueur du cours d'eau.

#### 3.6.4.1 Résultats de simulation d'oued Menaiel à son état naturel

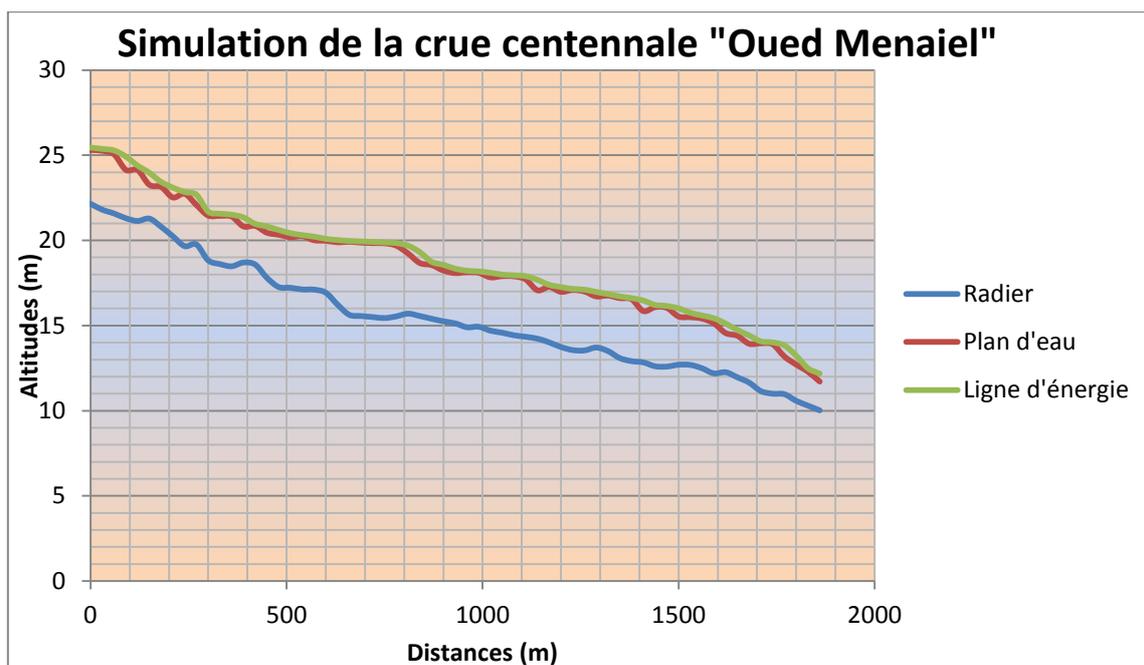


Figure III.7 : Profil en long de l'oued Menaiel à l'état naturel

**Tableau III.5 : Résultats de simulation de l'Oued Menaiel à son état naturel**

Distance (m)	Q	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1890	103.1	22.15	25.31	24.45	25.45	0.003	2.04	75.15	40	0.41
1860	103.1	21.8	25.26		25.37	0.002	1.68	85.16	45	0.32
1830	103.1	21.58	25.05	24.53	25.28	0.006	2.71	58.43	34.28	0.54
1800	103.1	21.3	24.14	24.14	24.92	0.019	3.96	27.44	19.37	0.97
1770	103.1	21.14	24.13	23.78	24.39	0.008	2.75	53.69	39.51	0.63
1740	103.1	21.28	23.26	23.26	23.97	0.021	4.15	31.13	25.1	1.03
1710	103.1	20.8	23.14	22.7	23.43	0.006	2.5	50.65	40	0.58
1680	103.1	20.24	22.52	22.48	23.1	0.019	3.87	34.86	27.73	0.94
1650	103.1	19.66	22.74		22.84	0.001	1.57	87.17	40	0.3
1620	103.1	19.76	22.08	22.08	22.68	0.020	3.86	34.83	29.92	0.98
1590	103.1	18.83	21.46	20.65	21.69	0.004	2.26	57.19	36.78	0.47
1560	103.1	18.61	21.44		21.57	0.002	1.81	75.55	40	0.37
1530	103.1	18.48	21.4		21.51	0.002	1.53	80.73	40	0.31
1500	103.1	18.7	20.82	20.82	21.35	0.020	3.36	35.21	36.87	0.96
1470	103.1	18.58	20.85	19.91	20.97	0.002	1.63	73.65	40	0.37
1440	103.1	17.8	20.45		20.82	0.007	2.77	43.45	39.42	0.63
1410	103.1	17.26	20.33		20.61	0.006	2.67	54.55	39.95	0.56
1380	103.1	17.22	20.19		20.42	0.005	2.42	57.16	40	0.52
1350	103.1	17.12	20.25		20.31	0.001	1.45	104.91	40	0.27
1320	103.1	17.11	20.01		20.22	0.006	2.34	57.64	40	0.56
1290	103.1	16.93	19.98		20.09	0.002	1.89	85.03	40	0.35
1260	103.1	16.23	19.89		20.02	0.002	1.72	71.14	40	0.36
1230	103.1	15.63	19.92		19.97	0.001	1.2	119.15	40	0.2
1200	103.1	15.56	19.87		19.94	0.001	1.62	104.72	40	0.26
1170	103.1	15.5	19.84		19.91	0.001	1.54	100.8	36.62	0.26
1140	103.1	15.44	19.83		19.88	0.001	1.23	119.82	40	0.2
1110	103.1	15.54	19.69		19.84	0.002	1.82	68.64	35.43	0.34
1080	103.1	15.7	19.23	18.93	19.69	0.010	3.33	40.54	30.61	0.69
1050	103.1	15.56	18.67	18.67	19.31	0.016	4.17	36.78	31.98	0.87
1020	103.1	15.4	18.55	17.78	18.74	0.003	2.06	63.38	40	0.44
990	103.1	15.25	18.23		18.57	0.008	2.68	43.78	35.2	0.64
960	103.1	15.13	18.08		18.34	0.006	2.28	48.06	31.1	0.56
930	103.1	14.9	18.13		18.22	0.001	1.43	86.68	40	0.28
900	103.1	14.93	18.1		18.18	0.001	1.29	88.82	40	0.26
870	103.1	14.7	17.83		18.1	0.004	2.42	53.7	40	0.5
840	103.1	14.58	17.9		17.99	0.001	1.45	91.48	38.83	0.26
810	103.1	14.43	17.89		17.95	0.001	1.27	106.23	40	0.23
780	103.1	14.34	17.71		17.9	0.003	2.28	67.64	40	0.45
750	103.1	14.23	17.07	16.94	17.68	0.012	3.77	36.55	29.75	0.81

Suite du tableau III.5

720	103.1	14.01	17.27		17.39	0.002	1.86	79.64	40	0.38
690	103.1	13.74	16.98		17.26	0.006	2.82	57.18	40	0.57
660	103.1	13.56	17.09		17.15	0.001	1.28	111.18	40	0.22
630	103.1	13.54	17		17.11	0.002	1.82	81.39	40	0.37
600	103.1	13.71	16.71		16.97	0.006	2.63	56.07	40	0.58
570	103.1	13.5	16.76		16.85	0.001	1.55	95.94	40	0.28
540	103.1	13.09	16.61		16.71	0.002	1.72	88.66	40	0.32
510	103.1	12.91	16.55		16.61	0.001	1.46	108.29	40	0.26
480	103.1	12.84	15.85	15.7	16.47	0.014	3.52	30.43	20.23	0.85
450	103.1	12.61	16.08		16.21	0.002	1.7	76.76	37.58	0.32
420	103.1	12.59	16.04		16.15	0.002	1.8	84.32	40	0.34
390	103.1	12.7	15.53	15.17	16.01	0.009	3.28	41.78	36.19	0.69
360	103.1	12.69	15.49		15.75	0.005	2.57	57.25	40	0.54
330	103.1	12.49	15.41		15.59	0.004	2.14	64.89	40	0.45
300	103.1	12.19	15.13	14.83	15.43	0.007	2.8	53.85	40	0.58
270	103.1	12.26	14.56	14.52	15.12	0.014	3.51	36.88	36.73	0.86
240	103.1	11.96	14.4		14.74	0.008	2.89	47.85	37.78	0.65
210	103.1	11.65	13.93	13.93	14.42	0.015	3.43	40.28	40	0.87
180	103.1	11.15	13.96	12.81	14.07	0.002	1.58	83.04	40	0.31
150	103.1	11	13.9		14.01	0.002	1.69	80.73	40	0.35
120	103.1	10.97	13.18	13.18	13.83	0.017	3.77	32.81	27.06	0.93
90	103.1	10.58	12.71	12.75	13.23	0.021	3.5	37.54	40	0.99
60	103.1	10.3	12.29	11.79	12.49	0.005	2.16	57.64	40	0.53
30	103.1	10.02	11.71	11.71	12.18	0.022	3.28	37.71	40	0.99

Avec :

Q : débit de la crue centennale ( $m^3/s$ ).

A : Altitude du radier (m).

B : Altitude de la ligne d'eau (m).

C : Profondeur critique (m).

D : Profondeur de la ligne d'énergie (m).

E : Pente de la ligne d'énergie (m/m).

F : Vitesse d'écoulement (m/s).

G : Surface mouillée ( $m^2$ ).

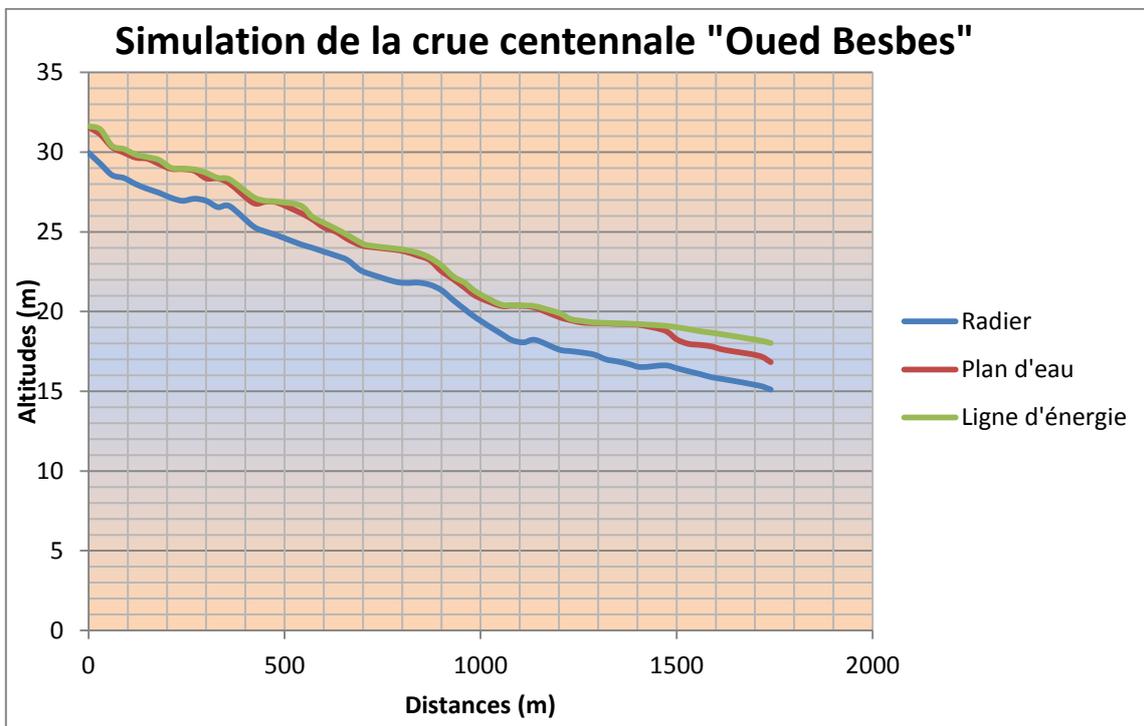
H : La largeur au miroir (m).

I : nombre de Fraude.

**3.6.4.2 Constatations**

La perte de charge estimée à la moyenne à 0.14 m/m. La profondeur de la ligne d'eau est caractérisée par une valeur moyenne de 3.9 m. La pente du radier est non uniforme et présente des fluctuations marquantes, même la vitesse varie d'un tronçon à un autre. Le nombre de Fraude fluctue de 0.2 jusqu'à 1.03 caractérisant un écoulement fluviale presque sur tous le parcours de l'oued, En final en constate que l'inondation sur les bords de l'oued Menaiel est due à la vitesse élevée de l'écoulement, ce qui implique une stagnation d'eau en aval, rendant la section de l'oued incapable d'évacuer cette quantité importante qui provient de l'amont.

**3.6.4.3 Résultats de simulation de l'Oued Besbes à son état naturel**



**Figure III.8 : Profils en long de l'oued Besbes à l'état naturel**

**Tableau III.6 : Résultats de simulation de l'Oued Besbes à son état naturel**

Distance (m)	Q	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1770	36.2	29.96	31.57	31.07	31.63	0.003	1.48	38.37	40	0.39
1740	36.2	29.27	31.11	31.11	31.43	0.016	2.74	17.77	31.11	0.83
1710	36.2	28.56	30.32	29.85	30.39	0.003	1.42	39.47	40	0.37
1680	36.2	28.38	29.97		30.2	0.015	2.66	20.9	32.21	0.81
1650	36.2	28	29.66		29.85	0.008	2.39	26.55	40	0.64
1620	36.2	27.7	29.59		29.69	0.003	1.44	28.92	26.81	0.38
1590	36.2	27.45	29.26	29.26	29.51	0.015	2.82	22.02	40	0.81
1560	36.2	27.14	28.96	28.45	29.02	0.002	1.26	40.19	40	0.34
1530	36.2	26.95	28.94		28.97	0.001	0.85	55.03	40	0.22
1500	36.2	27.08	28.83		28.92	0.003	1.38	33.77	37.85	0.39

Suite tableau III.6

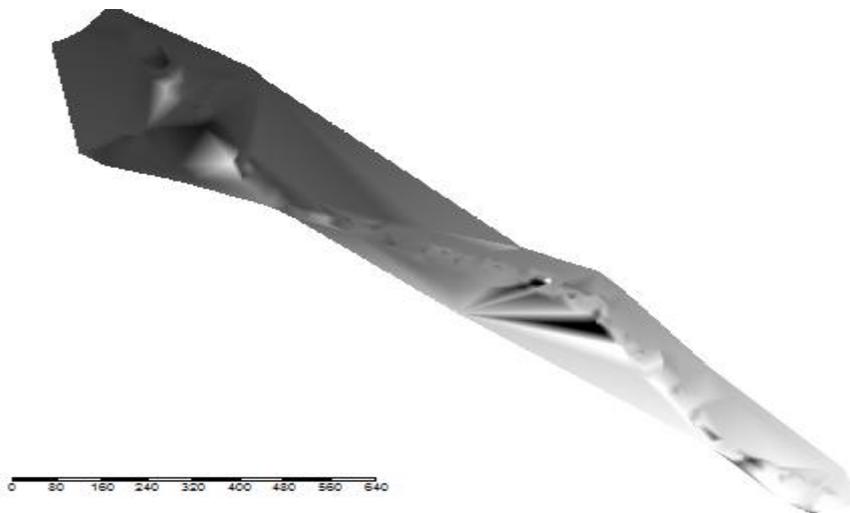
1470	36.2	26.95	28.36	28.36	28.7	0.018	2.82	16.83	25.89	0.88
1440	36.2	26.55	28.35	27.46	28.38	0.001	0.89	54.95	40	0.22
1410	36.2	26.61	28.03	27.98	28.29	0.016	2.42	18.44	30.58	0.82
1350	36.2	25.35	26.82	26.82	27.19	0.021	2.71	14.36	25.31	0.93
1320	36.2	25.03	26.89		26.95	0.002	1.21	42.41	40	0.32
1290	36.2	24.79	26.85		26.9	0.001	1.08	45.93	34.41	0.26
1230	36.2	24.23	26.2	26.2	26.66	0.019	3.1	13.37	17.53	0.9
1200	36.2	24.01	25.8	25.71	25.96	0.012	2.22	24.88	40	0.7
1170	36.2	23.76	25.29	25.29	25.57	0.013	2.59	20.37	38.92	0.77
1140	36.2	23.52	25.02	24.91	25.21	0.009	2.18	23.81	38.54	0.65
1110	36.2	23.24	24.56	24.55	24.81	0.020	2.48	19.1	37.62	0.88
1080	36.2	22.65	24.2		24.38	0.010	2.19	23.97	34.57	0.66
1050	36.2	22.42	24.08		24.17	0.004	1.45	30.89	40	0.43
990	36.2	21.89	23.89		23.96	0.003	1.39	37.39	40	0.36
960	36.2	21.8	23.75		23.86	0.004	1.78	32.79	39.37	0.45
930	36.2	21.82	23.51		23.69	0.008	1.99	22.97	31.31	0.61
900	36.2	21.69	23.24	23.12	23.39	0.011	1.92	24.49	40	0.67
870	36.2	21.35	22.54	22.54	22.9	0.023	2.79	15.1	24	0.97
840	36.2	20.72	22.04	21.85	22.21	0.009	2.01	24.13	39.33	0.64
810	36.2	20.14	21.49	21.47	21.8	0.019	2.75	17.03	27.27	0.91
780	36.2	19.58	20.95	20.95	21.22	0.019	2.55	19.32	37.32	0.87
720	36.2	18.65	20.37	19.94	20.46	0.004	1.6	33.96	38.2	0.43
690	36.2	18.21	20.37		20.4	0.001	0.89	49.31	40	0.2
660	36.2	18.07	20.35		20.38	0.001	0.84	61.59	40	0.19
630	36.2	18.22	20.24		20.33	0.004	1.51	33.1	40	0.41
570	36.2	17.62	19.66	19.66	19.91	0.019	2.71	20.52	40	0.86
540	36.2	17.52	19.46	18.9	19.53	0.003	1.41	34.93	33.76	0.38
510	36.2	17.43	19.31		19.41	0.005	1.79	30.64	35.66	0.49
480	36.2	17.3	19.28		19.32	0.001	1.06	48.92	40	0.26
450	36.2	17	19.27		19.29	0.001	0.87	63.99	40	0.19
420	36.2	16.87	19.23		19.26	0.001	1.1	53.82	40	0.24
390	36.2	16.7	19.22		19.24	0.000	0.77	69.31	40	0.17
360	36.2	16.52	19.15		19.21	0.002	1.36	43.83	38.45	0.29
300	36.2	16.63	18.81	18.81	19.11	0.001	2.73	16.46	23.04	0.59
270	36.2	16.45	18.26	18.55	19.02	0.003	4.01	10.41	21.9	0.95
240	36.2	16.26	17.98	18.29	18.9	0.004	4.46	9.33	17.37	1.2
210	36.2	16.08	17.91	18.19	18.77	0.003	4.32	9.96	20.69	1.02
180	36.2	15.88	17.81	18.18	18.67	0.003	4.28	9.58	13.26	0.98
150	36.2	15.76	17.61	17.89	18.56	0.004	4.6	8.98	12.04	1.08
60	36.2	15.36	17.23	17.6	18.2	0.004	4.64	9.12	14.34	1.08
30	36.2	15.11	16.83	17.13	18.03	0.006	5.34	8.63	22.13	1.3

#### 3.6.4.4 Constations

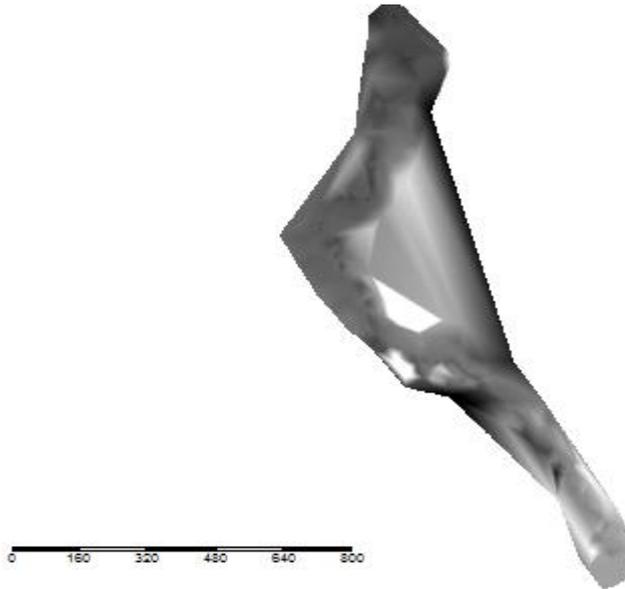
La profondeur moyenne de la ligne d'eau est estimée à 1.78 m, avec une perte de charge d'ordre 0.15 m/m. Le nombre de Fraude est inférieur à 1 caractérisant un écoulement fluviale, alors on peut conclure que les causes d'inondations en cette zone sont semblable au cas de l'oued Menaiel, l'accumulation de l'eau en aval causée par un écoulement caractérisé par une vitesse élevée en amont entraîne une stagnation de l'eau en aval, donnant naissance à un débordement de l'oued qui est caractérisé par des sections insuffisante pour évacuer une telle quantité.

#### 3.7 Délimitation de la zone inondable

Après avoir calculé les profils d'inondation avec HEC-RAS, notre objectif dans cette partie est la délimitation des plaines inondables. Pour ce faire, nous avons besoin d'obtenir la surface du sol existante de Civil 3D à HEC-RAS Mapper (un modèle de mappage inclut dans HEC-RAS version 4.1.0). Alors nous allons exporter le sol existant à partir de Civil 3D comme un fichier dont l'extension est .Géo tif et convertir ce .Géo tif à l'HEC le format natif ESRI FLT RAS. Cette conversion nécessitera SAGA GIS. Une fois converti, le DEM de surface sera utilisé pour effectue des délimitations des plaines inondables.



**Figure III.9 : Fichier DEM de l'oued Besbes**



**Figure III.10 : Fichier DEM de l'oued Menaiel**

Maintenant que le fichier est converti, on l'introduit dans HEC-RAS Mapper, et on aura là la plaine inondable, Ensuite on exporte le fichier de la plaine inondable vers Civil 3D, juste à l'appelé la surface inondable sera délinéé.

Les zones inondables au voisinage des deux oueds à savoir Menaiel et Besbes sont données dans la planche N°1 et 2.

### **Conclusion**

Cette étape nous a permis de bien connaitre la situation de notre zone d'étude, sa réponse vis-à-vis des inondations et de localiser les différentes zones envahies par l'inondation occasionnée par la crue centennale.

En fonction de ces anomalies à savoir : le rétrécissement des oueds en aval, la présence des embâcles, l'envahissement des habitations illicites sur les berges, en ajoutant une pente raide en amont donnant un régime d'écoulement torrentiel caractérisé par des vitesses élevée et un temps de concentration faible, ce qui rend la crue rapide et destructive, on va chercher la solution adéquate qui résoudra la problématique d'inondations de la ville de bordj Menaiel.

## Chapitre IV :

Etude bibliographique sur les  
moyens de protection contre les  
inondations

### **Etude bibliographique sur les moyens de protections contre les inondations**

#### **Introduction**

La plupart des milieux aquatiques ont été profondément remaniés par l'homme, parfois depuis des temps fort anciens. En réalisant des aménagements de différents types.

L'aménagement des cours d'eau regroupe une grande variété des travaux à savoir :

- L'entretien du lit enlèvement de la végétation, des arbres morts.
- Travaux de terrassement remeandrement de la trace enlèvement des sédiments du lit mineur.
- Aménagement des rives.

Avant d'opter au tel choix, nous devons traiter les problèmes d'aménagements hydraulique à l'échelle d'un bassin versant et non d'une commune ou d'un tronçon de rivière, afin d'éviter le plus grand conflit potentiel entre riverains ou collectivités riveraines, parce que les améliorations locales de l'écoulement aggravent toujours les débordements pour les riverains aval. Alors on cherche les moyens qui nous permettent d'agir sur les bassins versants et sur le lit majeur dans sans ensemble, en tentant de quantifier l'influence de l'amont sur l'aval.

Dans ce chapitre nous présentons les différentes techniques d'aménagements utilisées pour redonner une capacité de stockage à la rivière et à ses rives (stockage dynamique) et diminuer le risque d'érosion des berges.

#### **4.1 Définition d'un cours d'eau**

Les cours d'eau sont des milieu dynamiques évoluant perpétuellement en fonction des caractéristiques physiques et saisonnières. La qualité de vie d'un cours d'eau dépend de nombreux facteurs tels que la vitesse du courant, la sinuosité, le débit, la qualité de la ripisylve, le taux d'oxygène dissous.

Ces facteurs peuvent être dégradés ou modifiés, c'est pourquoi les cours d'eau doivent être entretenus ou aménagés afin de maintenir ses différentes fonctionnalités liées à différents usages

#### **4.2 C'est quoi l'aménagement d'un cours d'eau ?**

Contrairement à un ouvrage qui présente un objet très local ou concentré, le terme « aménagement » regroupe l'ensemble des opérations à munir sur l'échelle d'un bassin versant ou sous bassin en vue de satisfaire un objectif particulier.

### 4.3 Techniques d'aménagements d'un cours d'eau

#### 4.3.1 Dragage (approfondissement du lit)

On appelle dragage l'opération qui consiste à extraire les matériaux situés sur le fond d'un plan d'eau. L'objectif peut être de réaliser des travaux de génie portuaire (creusement de bassins ou de chenaux), d'entretenir les chenaux fluviaux ou maritimes.



Figure VI.1 : Dragage d'un cours d'eau

#### 4.3.2 Rectification

Dans le projet d'aménagement des cours d'eau, l'objectif d'évacuation des crues peut conduire à la décision de coupure des méandres les plus accentués, le cours d'eau peut être rectifié en totalité, c'est-à-dire, le tracé du cours d'eau est remanié en supprimant la majorité des méandres, donc le cours d'eau est transformée en un chenal rectiligne, dont l'unique fonction est ; tant qu'il reste effectivement en cet état, d'évacuer les crues.

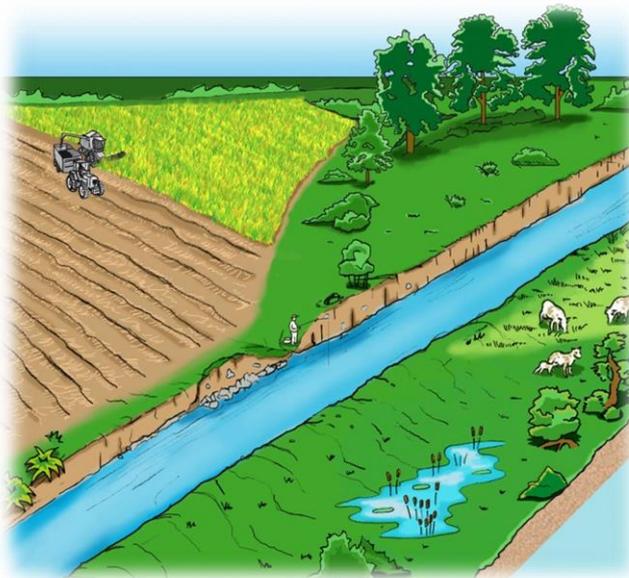


Figure IV.2 : Rectification d'un cours d'eau

## 4.3.3 Recalibrage

S'applique aux tronçons des cours d'eau dont la section est jugée insuffisante. Le cours d'eau est transformé en un canal à section régulière. On réalise un nouveau profil en travers de forme trapézoïdale, rectangulaire, triangulaire...etc., en élargissant la section du lit de façon à créer un chenal unique destiné et accepter à la fois des débits d'étiages et les débits de crue. La section du chenal est calculée en fonction de l'importance des crues que l'on veut contenir.

Intervention sur une rivière consistant à reprendre en totalité le lit et les berges du cours d'eau dans l'objectif prioritaire d'augmenter la capacité hydraulique du tronçon. Cela implique l'accélération des flux et donc l'augmentation des risques de crues en aval. Il s'agit d'une intervention lourde modifiant profondément le profil en travers et le plus souvent le profil en long du cours d'eau, aboutissant à un milieu totalement modifié :

Suppression de la végétation des berges, destruction de l'habitat piscicole.

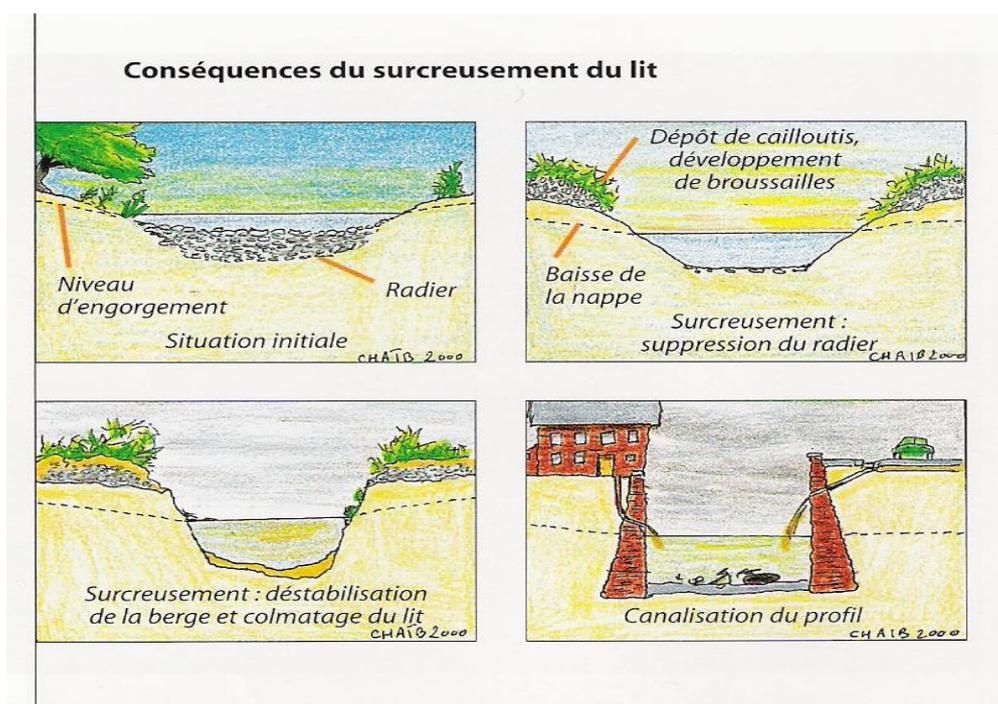


Figure IV.3 : Recalibrage d'un cours d'eau

## 4.3.4 Reprofilage

Le reprofilage tend à uniformiser la pente du fond du cours d'eau. Des seuils sont construits en certains points pour la correction générale de la pente.

Modification et homogénéisation du profil en long du cours d'eau (pente), toujours dans le but d'accroître sa capacité d'évacuation.

Le reprofilage consiste à uniformiser la pente du cours d'eau, modifiant la zonation du profil en long. Cette opération nécessite la suppression de la végétation rivulaire et des embâcles du lit.



Figure IV.4 : reprofilage d'un cours d'eau.

### 4.3.5 Canalisation (bétonnage des berges et parfois du fond)

Il s'agit carrément de transformer le cours d'eau en un canal artificiel, de section ouverte.

### 4.3.6 Endiguement

Augmentation de la hauteur des berges pour éviter le débordement des eaux.

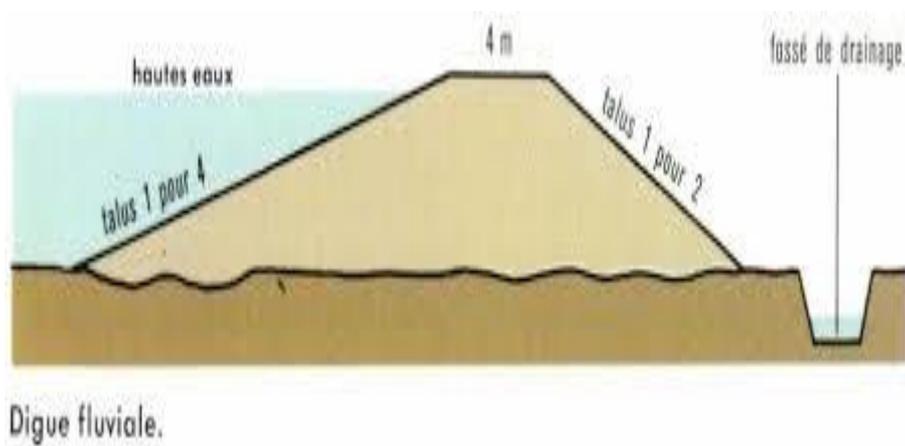
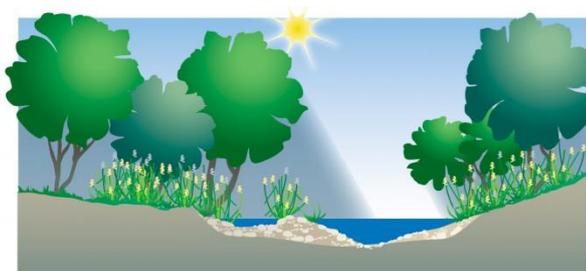


Figure IV.5 : endiguement d'un cours d'eau.

### 4.3.7 La restauration

Consiste à mener des opérations permettant de rendre à la rivière l'état dans lequel elle aurait dû se trouver si elle avait fait l'objet d'une gestion régulière.



Cours d'eau naturel : diversité des zones d'ombres et de lumière.

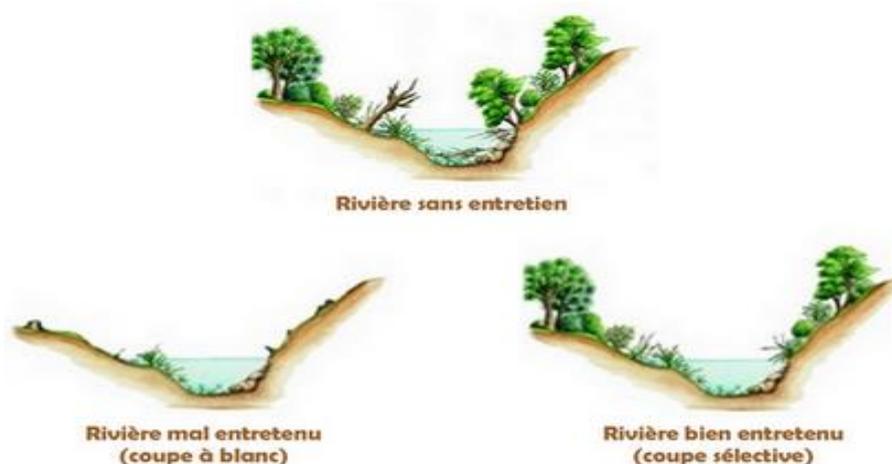


Cours d'eau curé : élargissement du lit d'étiage, réduction de l'ombrage, réchauffement de l'eau. Développement d'espèces invasives, type renouée du Japon, sur les matériaux de curage.

**Figure IV.6 : restauration d'un cours d'eau.**

### 4.3.8 L'entretien

Consiste à garder le cours d'eau dans un état optimal. Parmi les méthodes d'entretien des cours d'eau, en citant le « faucardage ». Cette technique assure le bon écoulement des eaux ce qui va favoriser la circulation de l'oxygène, la diminution du taux de matières organiques et réduire les obstacles susceptibles de gêner la circulation des poissons.



**Figure IV.7 : Entretien d'un cours d'eau.**

### 4.4 Techniques de protection des berges

D'une part nous examinerons les principes guidant le choix d'une protection, d'autre part nous décrirons les procédés et donnerons des méthodes de dimensionnement.

Il existe des techniques dites de génie civil et celles dites du génie biologique.

Pour protéger une berge de l'érosion, il faut s'opposer à la cause en interposant un écran entre la berge et l'eau : c'est la méthode de revêtement.

Des revêtements des berges peuvent être réalisés par :

- ✓ Enherbement.
- ✓ Tapis vivant.
- ✓ Enrochements ou blocs préfabriqués.
- ✓ Matelas Reno ou gabions.

Pour diminuer le risque de glissement d'un talus, il faut :

- Soit diminuer le poids de terre, là où il est moteur vis-à-vis du glissement.
- Soit ajouter du poids là où son rôle est résistant. Cette butée de pied peut être constituée d'un massif d'enrochement, de gabions, d'un rideau de pieux ou de palplanches.

Pour protéger une rivière contre un enfoncement généralisé du lit dont on ne pourrait pas supprimer la cause, il faut réaliser des seuils. Un seuil unique suffit en générale lorsque la cause de l'érosion régressive est bien localisée, en amont d'une zone de prélèvement ou d'une coupure de méandre par exemple. Lorsque l'origine de l'érosion est plus diffuse, il faut alors réaliser une série de seuils.

L'emplacement a priori idéal pour implanter un seuil correspond au point d'inflexion du tracé en plan de la rivière, entre deux méandres successifs.

L'affouillement est un enfoncement localisé dans des coudes de rivière. Une conséquence directe de cet affouillement est l'aggravation de risque de glissement.

#### 4.4.1 Les techniques végétales de protection des berges :

Les techniques dites végétales ont de plus en plus d'adeptes et le méritent. Mais l'expérience montre qu'elles sont parfois considérées à tort comme une panacée, et ne bénéficient pas de la toujours nécessaire réflexion globale sur l'utilité de la protection des berges. Les déformations de berge ne doivent pas être considérées comme une anomalie qu'il faut enrayer systématiquement, même par recours au génie biologique. Parfois, il aurait été préférable de ne pas réaliser de protection, ou bien de réaliser un simple entretien de la végétation existante,

pour enlever un arbre abattu qui renvoie le courant sur l'autre berge ou pour tronçonner un arbre prêt à basculer, etc.

Nous baptisons ici techniques végétales l'ensemble des techniques faisant appel aux végétaux vivants ou morts. Au sein de ces techniques, seules les techniques utilisant des matériaux vivants relèvent du génie biologique. Les techniques végétales utilisant le bois mort, par exemple sous forme de pieux jointifs relèvent du génie civil, au même titre que les enrochements ou les gabions.

Les techniques végétales ont pour objectif de protéger les berges ou les fonds des rivières à l'aide de produits si possible indigènes : bois et végétaux vivants.

Le génie végétal on l'utilise pour protéger les berges ou dans les travaux à vocation paysagère, écologique, piscicole....

Les techniques végétales biologiques font appel à divers espèces herbacées, buissonnantes, arbustives et arborescentes. Un grand nombre de ces techniques (fascines, tresses, boutures, tapis vivants) fait appel quasi exclusivement aux saules qui présentent de nombreuses qualités remarquables :

- ✓ Leur enracinement traçant constitue un chevelu dense très efficace pour fixer les berges, et peut descendre jusqu'au niveau de la nappe.
- ✓ Leur système racinaire est efficace pour dénitrifier les eaux infiltrées.
- ✓ Leur croissance est rapide.
- ✓ Leur bois est souple et se plie sous l'effet du courant, ce qui facilite leur tenue et améliore les conditions d'écoulement par rapport à des bois plus rigides ; l'effet de peigne pendant les crues favorise le dépôt en berges des sédiments fins.
- ✓ Du fait de leur ombrage modéré, ils autorisent la venue d'autres espèces.
- ✓ Et surtout, grande est leur faculté de multiplication par bouturage.

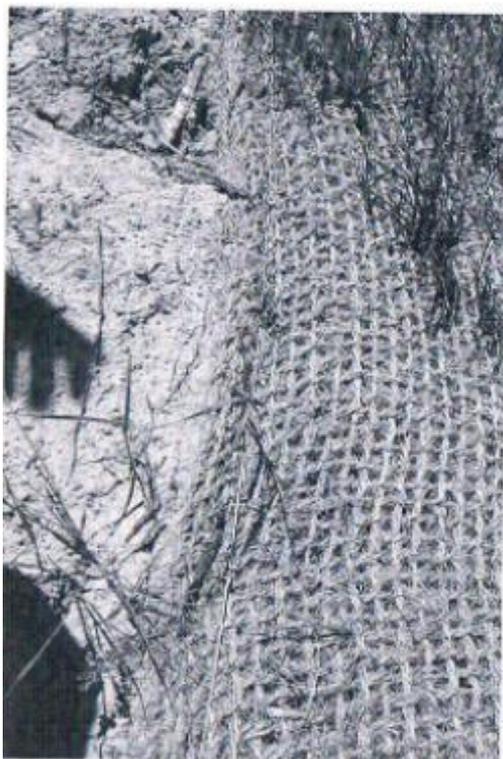
Les techniques végétales s'intègrent bien dans le site et favorisent la diversité des habitats, nous n'avons pas besoin d'insister. Elles participent à l'autoépuration des eaux infiltrées. Elles procurent de l'ombre et limitent ainsi le réchauffement de l'eau en été et les proliférations d'algues.

L'intervention doit avoir lieu pendant la période de repos de la végétation, à l'automne ou au début du printemps, afin de bénéficier de bonnes conditions de reprise des végétaux.

Nous allons décrire succinctement les différentes techniques végétales utilisant le bois ou les végétaux vivants, puis nous donnerons quelques recommandations générales.

### 4.4.1.1 Ensemencement

L'enherbement des berges permet une protection complémentaire de celle de la végétation ligneuse. Les racines arment la tranche superficielle du sol, et les tiges, courbées en crue, assurant une couverture protectrice contre l'érosion. L'ensemencement est réalisé sur une berge terrassée en pente douce, soit par semis normal, soit par voie hydraulique (mélange de graines, d'engrais fertilisant, de fixateur et d'eau). L'intervention doit avoir lieu en période de végétation. Pour limiter l'érosion en attendant la pousse de l'herbe, on interpose un support, soit un treillis plastique ou un géotextile non tissé lâche, tous deux imputrescibles.



**Figure IV.8 : Ensemencement sur toile de jute, partiellement réussi.**  
(Source : Gérard Degoutte, Diagnostic, aménagement).

### 4.4.1.2 Tapis vivant

On place à plat sur la berge préalablement talutée de l'ordre de 20 à 50 branches par m<sup>2</sup> de longueur 2 m environ. La base des branches est au contact de l'eau. Elles sont fixées à la berge grâce à des pieux espacés de 80 cm et à des fils de fer. Ensuite on recouvre partiellement de terre. Les pieux peuvent être vivants.

La protection du pied de berge peut être faite par des pierres ou par des tresses ou des fascines.

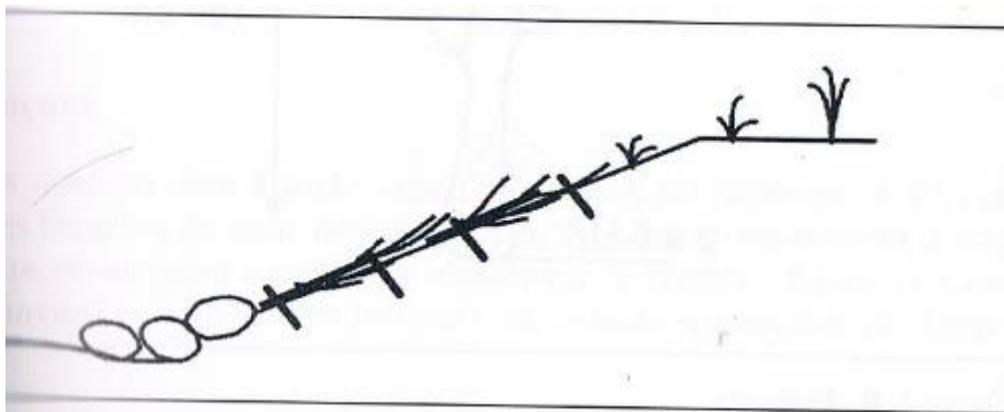


Figure IV.9 : Tapis vivant. (Source : Gérard Degoutte, Diagnostic, aménagement).

### 4.4.1.3 Boutures

On enfonce par battage des segments de branches longs de 50 à 100 cm (voire 200 cm), de diamètre de 2 à 8 cm dans des trous réalisés à la barre à mine ou similaire, à raison d'environ 3 à 5 par m<sup>2</sup>. On laisse dépasser deux ou trois bourgeons et on sectionne l'extrémité abimée. Cette technique économique et simple, convient bien pour stabiliser des berges soumises à une érosion faible. Tous les types de saule peuvent convenir.

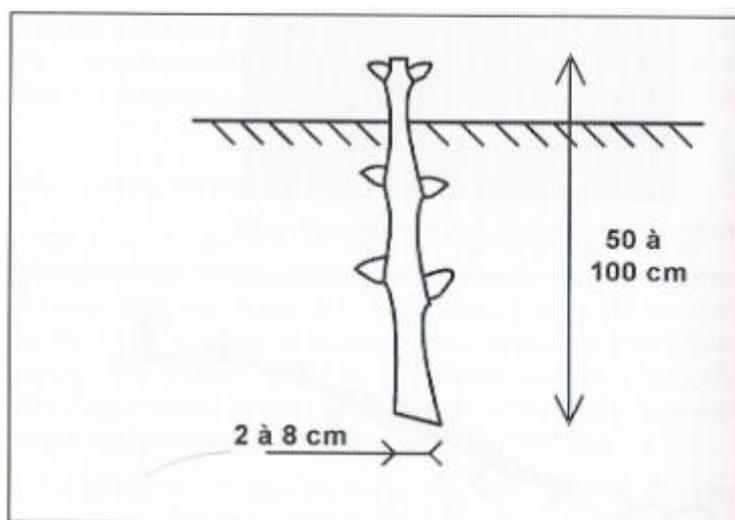


Figure IV.10 : Boutures. (Source : Gérard Degoutte, Diagnostic, aménagement).

### 4.4.1.4 Plantations

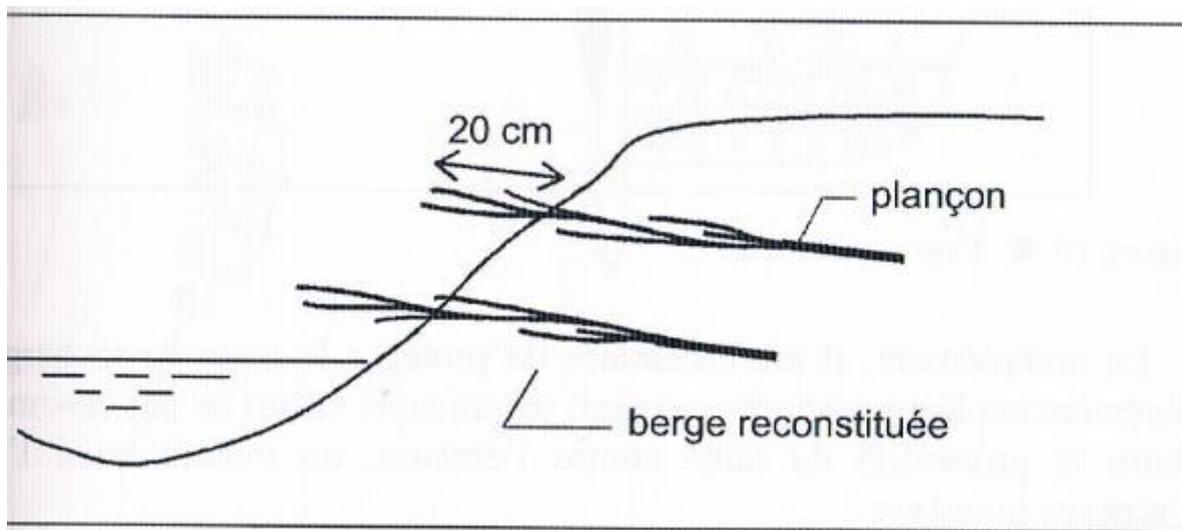
Les plantations peuvent être réalisées au pied de la berge, à mi-berge ou au sommet, selon la nature de l'arbre et selon l'objectif. Elles aussi être réalisé sur la rive. On évitera toutefois la position en rive tout près d'une berge en surplomb ou d'une berge verticale pour éviter d'aggraver un risque d'effondrement ou de glissement.

Les arbres conseillés sont, en pied de berge le saule (blanc, fragile), l'aulne glutineux, le frêne, et en haut de berge le cerisier, le merisier, le sorbier des oiseleurs, le tilleul, le chêne. Ces listes ne sont pas exhaustives. On utilise des plants à racine nue ou en pot, Une protection

contre le gibier est souvent nécessaire aux jeunes âges par grillage ou réulsif. Un entretien minimum est nécessaire pendant deux ou trois ans par arrosage et contrôle de la végétation concurrente.

### 4.4.1.5 Plançons

Dans des remblais dont l'angle avec l'horizontale est supérieur à  $10^\circ$ , on incorpore des branches de saule de 1.5 à 4 m en les laissant dépasser de 20 cm. Les racines se développent consolidant rapidement le remblai. Cette technique convient essentiellement lorsque l'on souhaite reconstituer des berges emportées.

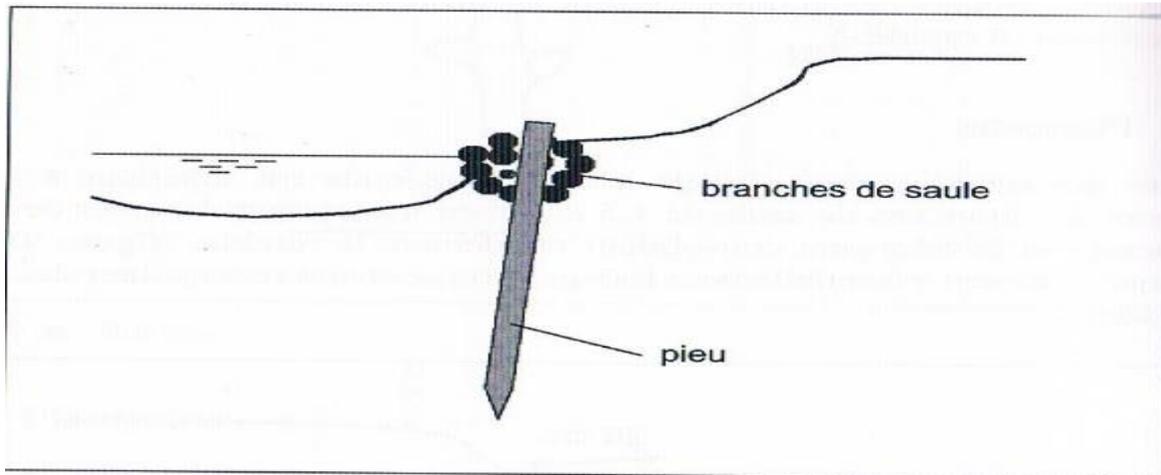


**Figure IV.11 : Plançons (utilisées en reconstitution des berges).**  
(Source : Gérard Degoutte, Diagnostic, aménagement).

### 4.4.1.6 Fascines

Les fascines sont des fagots très longs de diamètre 50 cm, constitués de branches et de rameaux vivants de saule. Elles sont placées dans une saignée en pied de berge remblayée à moitié. Les branches sont orientées vers l'aval. Les fascines sont fixées par des pieux plantés en leur centre. Les pieux peuvent être vivants. Pour améliorer la tenue en crue, il est conseillé de planter les pieux alternativement perpendiculaires au fond et perpendiculaires à la berge. En variante, certains aménageurs préfèrent placer deux rangées de pieux enserrant les fascines.

Le fascinage est efficace pour protéger les pieds de berge. L'efficacité est déjà appréciable dès la mise en œuvre. A terme, le fascinage a tendance à restreindre le section d'écoulement lorsque les saules grandissent suffisamment pour ne plus être complètement pliées par le courant, d'où l'intérêt d'un entretien régulière.



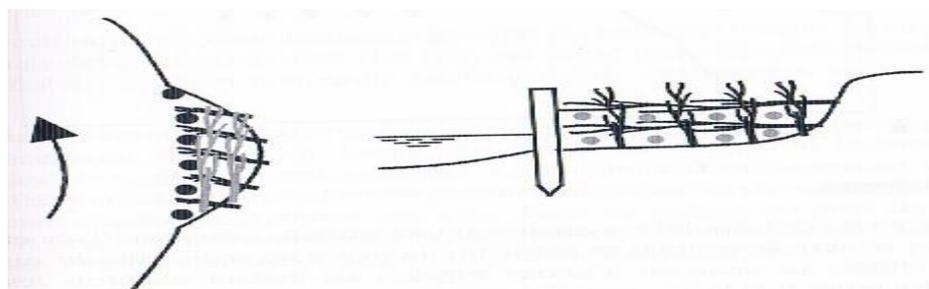
**Figure IV.12 : Fascines. (Source : Gérard Degoutte, Diagnostic, aménagement).**

#### 4.4.1.7 Tressages

En variante au fascinage, le tressage consiste à planter des pieux espacés d'environ 1 à 2 m, puis à tresser de saule entre ces pieux. Ce système est un peu plus facile à mettre en œuvre que les fascines, il demande des branches moins nombreuses mais plus longues (au moins 1.5 m) et il procure une moins grande densité de racines.

#### 4.4.1.8 Treillis de branches

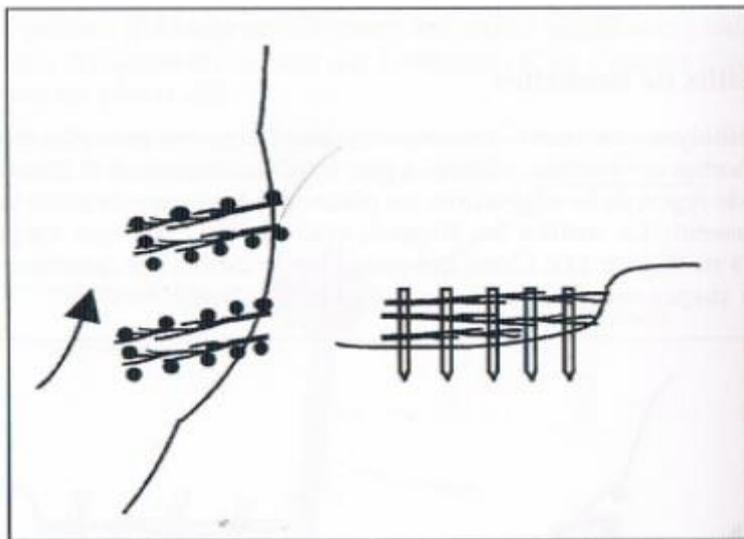
Pour remblayer une anse d'érosion dans une berge, on peut placer un treillis de branches, mortes et vivantes, placées à plat longitudinalement et transversalement. En période de repos de la végétation, on plante des boutures de saule verticalement et qui dépassent. Le treillis est bloqué, côté rivière, par une rangée de pieux espacés de 1 m. L'eau qui passe sur le treillis est ralentie et dépose des matières en suspension qui peu à peu comblent la berge érodée.



**Figure IV.13 : Treillis de branches. (Source : Gérard Degoutte, Diagnostic, aménagement).**

#### 4.4.1.9 Epis vivants

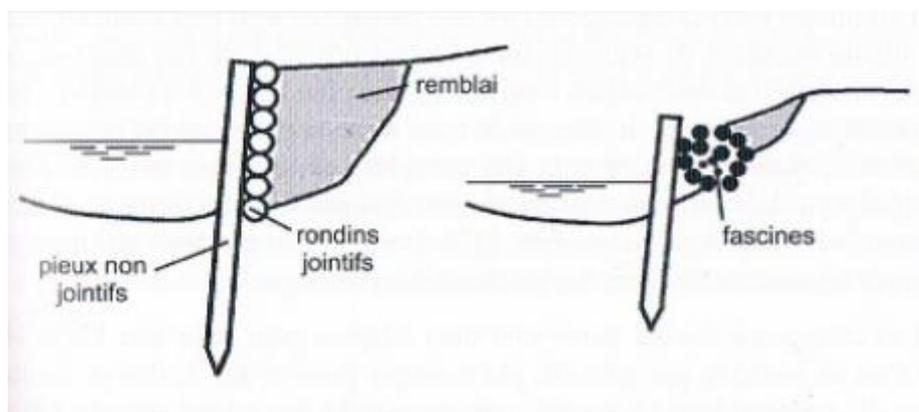
Dans un lit large, on peut réaliser des épis transversaux vivants. Ils sont constitués d'une cage en pieux de 1 à 3 m contenant un paquet de branches. Il sera avantageux de tresser les branches entre les pieux. Les épis sont une variante aux protections longitudinales. Ils approfondissent l'axe du lit et favorisent les dépôts contre la berge entre les épis successifs. Cette technique n'est pas recommander pour la protection des berges dans des rivières étroites.



**Figure IV.14 : épis vivants (en plan et en coupe).**  
 (Source : Gérard Degoutte, Diagnostic, aménagement).

#### 4.4.1.10 Tunages

Le tunage est constitué de pieux non jointifs destinés à bloquer divers matériaux qui soutiennent la berge. Il peut s'agir d'un rideau de rondins (en pin ou en mélèze de préférence) ou de pierres dans une enveloppe de grillage, ou de fascines. Le tunage permet de remblayer le pied d'une berge érodée, mais lorsque la berge est affouillable, ce qui est le cas en rive concave, il faut préférer les pieux jointifs.



**Figure IV.15 : Tunages et divers types de remblaiement de pied de berge.**  
 (Source : Gérard Degoutte, Diagnostic, aménagement).

#### 4.4.2 Matériaux granulaire pour protéger les berges

Les matériaux minéraux utilisés pour protéger les berges de l'érosion sont des enrochements de carrière, des gabions ou des blocs préfabriqués en béton.

Ils présentent de nombreux avantages pour la protection des berges, parmi lesquels citons :

- ❖ La souplesse vis-à-vis des déformations du sol ou des affouillements.
- ❖ La capacité de drainage.

- ❖ La possibilité d'être posés aussi bien à sec que dans l'eau.

Ces matériaux utilisés en continu le long d'une berge peuvent permettre :

- ❖ De la protéger contre l'érosion ou contre le batillage.
- ❖ De la stabilité vis-à-vis du risque de glissement.

Les enrochements :

La technique la plus fréquente consiste à revêtir la berge en enrochements de carrière, non bétonnés, avec une pente relativement faible, en général entre 1/1.5 et 1/2.

### **4.4.2.1 Les gabions**

Les gabions sont des structures formés de cages grillagées parallélépipédiques emplies de cailloux ou de galets. Les gabions proprement parler conviennent mieux pour construire des soutènements verticaux que pour revêtir des berges, ils sont aussi utilisés pour construire des seuils ou des épis.

### **4.4.2.2 Les blocs préfabriqués en béton**

Les blocs préfabriqués en béton sont de dimension décimétriques. Leur faible poids est compensé par des liaisons en fils métalliques ou par des procédés d'imbrication ou d'autre blocage. Ils conviennent plutôt pour aménager des plages à faible pente sur des rivières ou des lacs. Certains procédés utilisant des blocs possédant des alvéoles permettant le remplissage par de la terre végétale. En véritable protection de berge, ils ne pourraient s'envisager que si un ouvrage parafouille existe, en matériau différent.

### **4.4.2.3 Protection du pied des revêtements de berge**

Les revêtements de berge doivent impérativement être bien protégés à leur pied pour résister à la fois aux affouillements localisés et aux enfoncements généralisés. L'importance des fondations influe fortement sur les coûts. Si la fondation s'avère insuffisante, le revêtement des berges va glisser, se désorganiser et la reprise ultérieure est difficile, d'où l'importance de bien maîtriser ce risque lors de la conception.

Compte tenu des risques d'enfoncement du lit aussi bien en section courante que dans les coudes, il est indispensable de protéger le pied des revêtements :

- Soit par un rideau parafouille en pieux de bois ou en palplanches.
- Soit en prolongeant vers le bas la protection en enrochement ou en matelas Reno.
- Soit en disposant à plat au fond du lit une protection déformable qui suivra peu à peu l'enfoncement du lit de manière à ce que la protection ne soit pas déchaussée une fois la rivière enfoncée.

### 4.5 Ouvrage de protection contre les inondations

#### 4.5.1 Ouvrage d'écêtement des crues

Certains barrages sont conçus pour écrêter les crues. C'est-à-dire diminuer le débit maximum de la rivière pendant une crue. Normalement vides à l'arrivée de la crue, ils se remplissent pour empêcher l'eau de poursuivre sa course. Le volume ainsi stocké provisoirement est restitué à la rivière après le passage de la crue.

Ces aménagements vont souvent de pair avec des systèmes d'endiguement pour protéger directement des zones habitées situées plus à l'aval.

Il existe deux types d'aménagements de ce type :

- ❖ Réservoir sur le cours d'eau de la rivière.
- ❖ Réservoir alimenté par un canal dérivant l'eau de la rivière.



Figure IV.16 : Ouvrages d'écêtement des crues. Source ([www.lamaseillaise.fr](http://www.lamaseillaise.fr))



Figure IV.17 : Barrages d'écêtement des crues. Source ([www.savoirs.essonne.fr](http://www.savoirs.essonne.fr))

#### 4.5.2 Bassin de rétention

Un bassin de rétention est une zone de stockage temporaire des eaux de ruissèlement. Il permet de protéger les habitations et les infrastructures en val de bassin en période de fortes pluies. De part son action de ralentissement des écoulements, le bassin permet également aux matières solides en suspension (terre, gravier, débris végétaux) de se déposer.

Il existe de types de bassin de rétention :

- ❖ Bassin de rétention a rejet limite.
- ❖ Bassin de rétention par infiltration dans le sol.



**Figure IV.18 : Bassin de rétention à rejet limité. Source (www.sene news.fr)**



**Figure IV.19 : Bassin de rétention par infiltration. Source (hmf.ensee.ht.fr)**

### 4.5.3 Seuils

Un seuil en rivière est un ouvrage, fixe ou mobile, qui barre en partie le lit mineur d'un cours d'eau.

Il est destiné à surélever la ligne d'eau et non pas à stocker un volume d'eau, contrairement au barrage qui lui barre plus que le lit mineur. Un seuil est un ouvrage en béton, en maçonnerie, en gabions, en enrochements, en bois. Il permet l'alimentation (gravitaire) d'un canal de dérivation, ou l'utilisation de la force motrice de l'eau, ou l'installation de pompes, Il peut aussi créer un petit plan d'eau à usage récréatif. Enfin on réalise des seuils pour bloquer une érosion régressive.



**Figure IV.20 : Seuil en pierre. Source (www.cr-hautadour.com)**



**Figure IV.21 : Seuils en bois. Source (www.riviere-yzeron.fr)**

### 4.5.4 Mur anti crues

Il existe plusieurs types de murs ant-crues.

#### 4.5.4.1 Endiguement

Une digue est un ouvrage destiné à contenir épisodiquement les eaux et à protéger contre leurs effets ou à guider leur cours.

Elles sont de deux types :

- ✓ Transversale au lit du cours d'eau.
- ✓ Ou longitudinale.

Les digues constituent souvent l'unique recours pour la protection des zones urbanisées.



Figure IV.22 : Endiguement des berges. Source ([www.union-des-as.fr](http://www.union-des-as.fr))

#### **4.5.4.2 Mur en béton ou panneaux**

#### **4.5.5 Ouvrages de ralentissement dynamique**

Concrètement, cela se traduit par l'élaboration d'ouvrages et d'aménagements à l'échelle du bassin versant ayant pour but de retenir l'eau des précipitations sur les versants, de diminuer autant que possible la vitesse d'écoulement des eaux lors d'événement pluvieux de forte importance, ainsi que de favoriser la connexion avec les annexes fluviales et le lit majeur en général, pour amortir le pic de crue.

On distingue deux techniques pour le ralentissement dynamique à savoir :

##### **4.5.5.1 Ouvrage en versant**

Action sur les réseaux de drainage existants.

##### **4.5.5.2 Embroussaillage**

Afin de limiter l'érosion, des actions d'embroussaillage sont entreprises sur les terrains des bassins versants susceptibles d'être inondés. Les enherbements sont privilégiés par rapport aux champs cultivés et leurs entretiens peuvent être contractualisés entre les collectivités et leurs propriétaires.

### **Conclusion**

Ce chapitre a tenté une description objective des techniques d'aménagement, et de protection des berges ainsi les ouvrages utilisés.

Chaque aménagements a des conséquences sur la dynamique de la rivière et même des conséquences sur l'environnement et le paysage.

Les conséquences hydrauliques d'un aménagement consistent à augmenter la capacité d'écoulement du lit.

Le choix d'une technique se fait selon des critères morphologiques, économiques, paysagère, environnementale, pérennité de l'aménagement, objectifs à protéger.

Lors de choix de la technique, une démarche consiste à aider la nature pour protéger l'objectif, sans causer des grandes modifications sur la dynamique de la rivière afin d'éviter la destruction des caractéristiques de ce milieu vivant.

# Chapitre V :

## Etude des variantes

## Etude des variantes

### Introduction

Le but de cette étude, est de bien protéger la ville de Bordj Menaiel contre les inondations. Cette protection consiste à sélectionner les meilleures solutions d'aménagement compte tenu des conditions naturelles.

Sur la base des résultats obtenus à partir des chapitres précédents, et en fonction de l'analyse de notre zone d'étude, des schémas d'aménagement d'Oued Menaiel et Besbes seront proposés.

Les variantes proposées font l'objet d'une étude comparative, dans le but d'évaluer le cout et la pertinence de chacune, afin de choisir la meilleure sur le plan technico économique qui va satisfaire ces fonctionnalités pour lesquelles est destinée, toute en préservant l'aspect environnemental et en assurant l'esthétique.

Parmi ces schémas une variante sera retenue et fera l'objet d'une étude détaillée, dans le chapitre à suivre. Cette variante garantira la protection de la localité contre les crues de l'oued.

Il faut surtout que les solutions, soient réalisables du point de vue technique et économique. Et qu'elles soient bien adaptées avec le terrain et ses conditions aussi bien topographiques que géologiques.

### 5.1 Description des variantes proposées pour l'étude

Les variantes ont été sélectionnées dans le souci de protéger les localités de Bordj Menaiel contre les inondations, par l'évacuation des eaux des crues vers l'exutoire, en respectant toutes les conditions d'écoulement, de stabilité des berges ainsi leur rôle écologique des rives.

#### 5.1.1 Oued Menaiel

Le tronçon d'oued Menaiel à aménager est caractérisé par une longueur de 4 Km soit 4000 m, dont la partie aval qui s'étale sur une longueur de 1,89 km soit 1890 m traversant le côté Ouest du milieu urbain ainsi ses périphéries, mais le coté amont d'une longueur de 2110 m parcourt des champs cultivables le long de son trajet.

Devant les caractéristiques de chaque tronçon qui diffèrent de l'aval à l'amont, et pour ne pas transformer tous nos cours d'eau en véritables fossés ou canaux d'écoulement sans tenir compte de leur caractère naturel et de leur

rôle écologique on procède avec deux techniques d'aménagements différentes dont on projette dans les zones urbaines (coté aval) des canaux, et pour le coté amont nous procédons à une restauration de la rivière qui sera accompagnée d'un aménagement écologique des berges du cours d'eau, afin de limiter la quantité des sédiments charriés vers l'aval toute en régularisant la pente du cours d'eau.

Pour le tronçon amont on maintient la variante proposée en dessus, qui fera l'objet d'une étude poussée dans le chapitre à suivre.

#### **5.2.1.1.1 Description des variantes proposées pour le tronçon aval**

Pour cette étude, nous proposons trois variantes pour l'aménagement de tronçon aval de l'oued Menaiel :

##### **5.1.1.1.1 Première variante**

Dans cette variante. pour calibrer le cours d'eau, nous proposons un canal de forme trapézoïdale, car cette section est la plus ré pondue, la plus usuelle, et aussi pour ses divers avantages dont la réalisation et l'exploitation seront faciles, qui s'étale sur une longueur de 1890 ml, une largeur de 6 m qui correspond à la largeur moyenne de l'oued et une hauteur H, avec protection des talus et lit en béton armé, ce qui va permettre d'augmenter la débitante de l'écoulement en empêchant la montée très rapide des eaux et en assurant l'évacuation rapide vers l'exutoire.

En amont, ce canal sera connecté à un ouvrage d'entrée qui permettra de diriger l'écoulement des eaux vers le.

##### **5.1.1.1.2 Deuxième variante**

Pour cette variante nous proposons un canal de forme trapézoïdale pour le calibrage d'oued Menaiel, dont nous utilisons un matériau de nature pierres maçonnées pour le revêtement.

Le rôle de ce canal est la transite des eaux des crues vers l'exutoire.

Au début de la protection nous projetons un ouvrage d'entrée sous forme d'un lit de pierres, afin de protéger le futur canal d'aménagement contre les affouillements qui peuvent se produire lors d'entrée des eaux dans le canal.

##### **5.1.1.1.3 Troisième variante**

Dans cette variante nous proposons un canal trapézoïdal mixte, dont le radier sera revêtu en béton armé et les berges en pierres maçonnées.

De même que les variantes précédentes ce canal sera connecté en amont à un ouvrage d'entrée qui va diriger les eaux vers ce canal.

### 5.1.2 Oued Besbes

Concernant le tronçon de l'oued Besbes qui s'étale sur une longueur de 1770 m, traversant le coté Est de ville de Bordj Menaiel, provoquant l'inondation de tous les localités avoisinante.

On projette les deux premières variantes proposées pour Oued Menaiel, avec la modification du largueur de canal, voir le rétrécissement de l'oued Besbes en traversant la ville de Bordj Menaiel et la présence d'une habitation dense qui entoure les deux berges de l'oued.

## 5.2 Etude des variantes

Dans cette partie on procède à la dimension de chaque variante, en déterminant leurs paramètres géométriques qui vont permettre au canal d'avoir la capacité nécessaire à l'évacuation de flux de la crue.

### 5.2.1 Oued Menaiel

Le tronçon aval de l'oued Menaiel qui s'étend sur une longueur de 1890 m, est caractérisé par des pentes irrégulières le long de son parcours, localisé en quatre passages différents, pour cette raison il sera divisé dans cette étude en quatre sous tronçons, dont les caractéristiques sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.1 : caractéristiques des sous tronçon d'oued Menaiel**

N° du tronçon (amont → aval)	Longueur (m)	Pente de terrain naturel (%)
Première	450	1.1
Deuxième	270	0.67
troisième	810	0.4
quatrième	330	0.79

#### 5.2.1.1 Etude de la première variante

Dans cette variante l'aménagement se réalise avec un canal de forme trapézoïdale revêt en béton armé.

##### 5.2.1.1.1 Choix de la formule de dimensionnement

Dans ce calcul on va opter pour la formule de « Manning Strickler », dont la formulation est la suivante :

$$Q = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * S * I^{1/2} \dots\dots\dots(V.1)$$

Où les différents paramètres sont :

Q : débit de dimensionnement.

n : Rugosité du canal, égale à 0.014 pour un béton brute.

R<sub>h</sub> : Rayon hydraulique, avec :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} \dots\dots\dots(V.2)$$

S : Section du canal, pour une forme trapézoïdale S<sub>m</sub> veut :

$$S_m = (b + m * h) * h \dots\dots\dots(V.3)$$

P<sub>m</sub> : Périmètre mouillé, pour une forme trapézoïdale P<sub>m</sub> se calcule ainsi :

$$P_m = b + 2 * h \sqrt{1 + m^2} \dots\dots\dots(V.4)$$

m : Fruit du talus, pris dans notre calcul égale à 1, voir la facilité de la réalisation d'une angle avec 45°, et son rapprochement à la valeur donnant la section optimale.

I : Pente du canal, représente la pente du radier après l'aménagement, les valeurs distribuées aux différents tronçons, sont récapitulées dans le tableau suivant :

**Tableau V.2 : Caractéristiques des sous tronçons aménagées d'oued Menaiel**

N° du tronçon (amont ➤ aval)	Longueur (m)	Pente du radier(%)
Première	450	1
Deuxième	270	0.62
troisième	810	0.46
quatrième	330	0.45

**5.2.1.1.2 Méthodologie de calcul**

On remplaçant dans la formule (V.1), les termes S, R<sub>h</sub> par leurs relations, après un développement et une simplification on aura la formule suivante :

$$\frac{Q*n}{\sqrt{I}} = \frac{[(b+m*h)*h]^{5/3}}{[b+2*h\sqrt{1+m^2}]^{2/3}} \dots\dots\dots(V.5)$$

Les termes Q, n, I, m sont connus, on procède au calcul itératif à l'aide de l'Excel, dont on fixe b = 6 m, pris égale à la largeur moyenne de l'oued

Menaiel et on varie h jusqu'à l'obtention d'une égalité entre les deux termes de l'équation (V.5). On ajoutant à la valeur de h qui satisfera l'égalité, une marge de sécurité de 0.5 m.

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau V.3 : Calcul des caractéristiques géométriques de la première variante.**

N° du tronçon	Q (m <sup>3</sup> /s)	n	I (m/m)	b (m)	H (m)	H (m)
1	103.1	0.014	0.0101	6	1.67	2.2
2	103.1	0.014	0.0062	6	1.92	2.4
3	103.1	0.014	0.0046	6	2.09	2.6
4	103.1	0.014	0.0045	6	2.10	2.6

### 5.2.1.2 Etude de la deuxième variante

Dans cette variante on préconise un canal trapézoïdal en pierres maçonnées. La formule utilisée pour le calcul est celle de Manning Strickler(V.5), dont les valeurs des paramètres sont données ainsi :

Débit Q = 103.1 m<sup>3</sup>/s.

Rugosité du canal n = 0.025.

Fruit du talus m = 1.

Les pentes du radier sont les mêmes que la variante N°1 (tableau V.2).

On maintient une même méthodologie de calcul que la première variante, dont on fixe b = 6 m, et on procède au calcul itératif.

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau V.4 : Paramètres géométriques de la deuxième variante (oued Menaiel).**

N° du tronçon	Q (m <sup>3</sup> /s)	n	I (m/m)	b (m)	H (m)	H (m)
1	103.1	0.025	0.0101	6	2.32	2.8
2	103.1	0.025	0.0062	6	2.66	3.2
3	103.1	0.025	0.0046	6	2.88	3.4
4	103.1	0.025	0.0045	6	2.90	3.4

### 5.2.1.3 Etude de la troisième variante

Dans cette variante, un canal trapézoïdal mixte est retenu comme une solution d'aménagement.

Le débit de dimensionnement pour une fréquence de 1% estimé à 103.1 m<sup>3</sup>/s, le coefficient de rugosité est de 0.018. Le fruit du talus est égal à 1.

Les valeurs de pente du radier citées dans le tableau (V.2), sont conservées dans le calcul de cette variante.

Le tableau suivant récapitule les résultats de calcul :

**Tableau V.5 : Paramètres géométriques de la troisième variante (oued Menaiel).**

N° du tronçon	Q (m <sup>3</sup> /s)	n	I (m/m)	b (m)	H (m)	H (m)
1	103.1	0.018	0.0101	6	1.92	2.5
2	103.1	0.018	0.0062	6	2.21	2.7
3	103.1	0.018	0.0046	6	2.40	2.9
4	103.1	0.018	0.0045	6	2.42	3

### 5.2.2 Oued Basbes

Le tronçon de l’oued Basbes est caractérisé par une longueur de 1770 m, et subdivisé en six sous tronçon dont les caractéristiques sont les suivantes :

**Tableau V.6 : caractéristiques des sous tronçons d’oued Basbes**

N° du tronçon (amont → aval)	Longueur (m)	Pente de terrain naturel (%)
Première	90	1.75
Deuxième	690	1.17
troisième	120	0.44
quatrième	180	1.74
Cinquième	330	0.51
Sixième	360	0.52

#### 5.2.2.1 Etude de la première variante

La variante consiste à projeter un canal en béton armé de forme trapézoïdale. La formule utilisée pour le calcul est celle de Manning Strickler(V.5), dont les valeurs des paramètres sont données ainsi :

Débit  $Q = 36.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Rugosité du canal  $n = 0.014$ .

Fruit du talus  $m = 1$ .

Les pentes du radier sont récapitulées dans le tableau suivant :

**Tableau V.7 : Caractéristiques des sous tronçons aménagés de l’oued Besbes**

N° du tronçon (amont ➔ aval)	Longueur (m)	Pente du radier(%)
Première	90	1.1
Deuxième	690	0.94
troisième	120	0.61
quatrième	180	1.2
Cinquième	330	0.77
Sixième	360	0.4

Les dimensions du canal pour une fréquence de 1% sont les suivants :

**Tableau V.8 : Paramètres géométriques de la première variante (Oued Besbes).**

N° du tronçon	Q (m <sup>3</sup> /s)	n	I (m/m)	b (m)	H (m)	H (m)
1	36.2	0.014	0.011	3	1.28	1.8
2	36.2	0.014	0.0094	4	1.16	1.8
3	36.2	0.014	0.0061	4	1.31	1.8
4	36.2	0.014	0.012	4	1.08	1.8
5	36.2	0.014	0.0077	4	1.23	2
6	36.2	0.014	0.004	4	1.48	2

### 5.2.2.2 Etude de la deuxième variante

Pour cette variante on propose un canal de forme trapézoïdale en pierres maçonnées comme solution d’aménagement, dont les valeurs des paramètres constituent la formule (V.5), sont les suivants :

Débit  $Q = 36.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Rugosité du canal  $n = 0.025$ .

Fruit du talus  $m = 1$ .

Les valeurs attribuées pour la pente du radier en différents tronçons, sont les mêmes que la variante N°1 (Tableau V.8).

Les dimensions du canal, sont calculées à l’aide de la formule de Manning Strickler, dont le tableau suivant récapitule les résultats de calcul :

**Tableau V.9 : Paramètres géométriques de la deuxième variante (Oued Besbes).**

N° du tronçon	Q (m <sup>3</sup> /s)	n	I (m/m)	b (m)	H (m)	H (m)
1	36.2	0.014	0.011	3	1.76	2.2
2	36.2	0.014	0.0094	4	1.61	2.2
3	36.2	0.014	0.0061	4	1.81	2.3
4	36.2	0.014	0.012	4	1.50	2.3
5	36.2	0.014	0.0077	4	1.70	2.3
6	36.2	0.014	0.004	4	2.03	2.5

### 5.3 Calcul hydraulique des paramètres de l'écoulement

Après avoir déterminé les dimensions de chaque variante, on procède au calcul des différents paramètres hydrauliques, à l'aide de simulateur HEC-Ras (version 4.1 Jan 2010).

Les résultats de simulation de l'oued en canal trapézoïdale, nous permet de connaître le régime de l'écoulement, la vitesse en chaque section ainsi la nouvelle capacité de l'oued aménagé et sa réponse vis-à-vis de la crue de projet.

#### 5.3.1 Oued Menaïel

**Tableau V.10 : Paramètres de l'écoulement pour la première variante (Oued Menaïel).**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1890	103.1	20.38	23	23	24.08	0.002	4.61	22.36	10.4	1
1860	103.1	20.07	22.26	22.69	23.94	0.004	5.73	17.99	10.39	1.39
1830	103.1	19.77	21.84	22.39	23.78	0.005	6.18	16.69	10.14	1.54
1800	103.1	19.47	21.46	22.09	23.61	0.005	6.5	15.86	9.97	1.65
1770	103.1	19.16	21.08	21.78	23.42	0.006	6.77	15.23	9.84	1.74
1740	103.1	18.86	20.74	21.48	23.21	0.007	6.97	14.8	9.76	1.81
1710	103.1	18.56	20.4	21.18	22.99	0.007	7.13	14.46	9.69	1.86
1680	103.1	18.25	20.06	20.87	22.76	0.008	7.28	14.16	9.63	1.92
1650	103.1	17.95	19.74	20.7	22.52	0.008	7.39	13.95	9.58	1.95
1620	103.1	17.65	19.42	20.27	22.28	0.008	7.48	13.78	9.55	1.99
1590	103.1	17.35	19.11	20.04	22.02	0.008	7.56	13.63	9.51	2.02
1560	103.1	17.04	18.78	19.8	21.76	0.009	7.64	13.49	9.48	2.05
1530	103.1	16.74	18.47	19.36	21.49	0.009	7.7	13.38	9.46	2.07
1500	103.1	16.44	18.16	19.06	21.22	0.009	7.75	13.3	9.44	2.09
1470	103.1	16.13	17.84	19.14	20.95	0.009	7.81	13.2	9.42	2.11
1440	103.1	15.83	17.54	18.46	20.67	0.009	7.84	13.15	9.41	2.12
1410	103.1	15.53	17.23	18.17	20.38	0.009	7.87	13.1	9.4	2.13
1380	103.1	15.34	17.08	17.98	20.07	0.009	7.65	13.47	9.48	2.05
1350	103.1	15.16	16.94	17.91	19.77	0.008	7.45	13.83	9.56	1.98
1320	103.1	14.97	16.78	17.6	19.5	0.008	7.32	14.09	9.61	1.93
1290	103.1	14.78	16.61	17.44	19.25	0.007	7.21	14.3	9.65	1.89
1260	103.1	14.6	16.45	17.23	19.01	0.007	7.09	14.53	9.7	1.85

Suite du tableau (V.10)

1230	103.1	14.41	16.27	17.13	18.79	0.007	7.03	14.66	9.73	1.83
1200	103.1	14.23	16.11	16.86	18.58	0.007	6.96	14.82	9.76	1.8
1170	103.1	14.04	15.93	16.68	18.38	0.007	6.93	14.87	9.77	1.79
1140	103.1	13.85	15.74	16.49	18.18	0.007	6.92	14.91	9.78	1.79
1110	103.1	13.72	15.66	16.37	17.95	0.006	6.7	15.39	9.88	1.71
1080	103.1	13.58	15.55	16.23	17.74	0.006	6.56	15.72	9.94	1.67
1050	103.1	13.44	15.44	16.09	17.56	0.005	6.45	15.98	10	1.63
1020	103.1	13.3	15.32	15.95	17.38	0.005	6.37	16.2	10.04	1.6
990	103.1	13.16	15.2	15.81	17.22	0.005	6.3	16.36	10.07	1.58
960	103.1	13.03	15.09	15.68	17.05	0.005	6.21	16.6	10.12	1.55
930	103.1	12.89	14.95	15.54	16.91	0.005	6.2	16.63	10.12	1.54
900	103.1	12.75	14.81	15.4	16.77	0.005	6.19	16.65	10.13	1.54
870	103.1	12.61	14.68	15.26	16.63	0.005	6.19	16.67	10.13	1.54
840	103.1	12.47	14.54	15.36	16.49	0.005	6.19	16.67	10.13	1.54
810	103.1	12.34	14.42	15.16	16.33	0.005	6.12	16.84	10.17	1.52
780	103.1	12.2	14.28	14.85	16.19	0.005	6.12	16.84	10.17	1.52
750	103.1	12.06	14.14	14.71	16.05	0.005	6.12	16.85	10.17	1.52
720	103.1	11.92	14.01	14.57	15.91	0.005	6.11	16.86	10.17	1.52
690	103.1	11.78	13.87	14.43	15.77	0.005	6.11	16.87	10.17	1.51
660	103.1	11.65	13.74	14.39	15.63	0.005	6.08	16.96	10.19	1.5
630	103.1	11.51	13.6	14.16	15.49	0.005	6.08	16.95	10.19	1.51
600	103.1	11.37	13.46	14.02	15.35	0.005	6.09	16.94	10.19	1.51
570	103.1	11.23	13.32	14	15.21	0.005	6.09	16.92	10.18	1.51
540	103.1	11.09	13.18	13.75	15.08	0.005	6.1	16.9	10.18	1.51
510	103.1	10.96	13.06	13.61	14.94	0.005	6.07	16.98	10.19	1.5
480	103.1	10.82	12.92	13.47	14.8	0.005	6.08	16.97	10.19	1.5
450	103.1	10.68	12.77	13.34	14.66	0.005	6.09	16.94	10.19	1.51
420	103.1	10.54	12.63	13.19	14.52	0.005	6.09	16.93	10.19	1.51
390	103.1	10.4	12.49	13.05	14.38	0.005	6.1	16.91	10.18	1.51
360	103.1	10.27	12.37	12.92	14.24	0.005	6.07	16.99	10.2	1.5
330	103.1	10.13	12.23	12.78	14.11	0.005	6.08	16.96	10.19	1.5
300	103.1	9.99	12.08	12.64	13.97	0.005	6.09	16.93	10.19	1.51
270	103.1	9.86	11.96	12.51	13.83	0.004	6.06	17	10.2	1.5
240	103.1	9.72	11.82	12.49	13.7	0.005	6.07	16.97	10.19	1.5
210	103.1	9.59	11.69	12.24	13.56	0.004	6.05	17.03	10.2	1.5
180	103.1	9.45	11.49	12.05	13.41	0.005	6.14	16.81	20.39	2.14
150	103.1	9.32	11.45	12.05	13.24	0.004	5.92	17.41	12.89	1.63
120	103.1	9.18	11.31	11.87	13.11	0.004	5.94	17.36	10.27	1.46
90	103.1	9.05	11.18	11.91	12.98	0.004	5.94	17.35	10.27	1.46
60	103.1	8.91	10.96	11.52	12.84	0.005	6.07	16.99	23.88	2.24
30	103.1	8.78	10.8	11.41	12.69	0.005	6.09	17.33	16.76	1.72

Avec :

**A** : distance de la section transversale par rapport à l'exutoire (m).

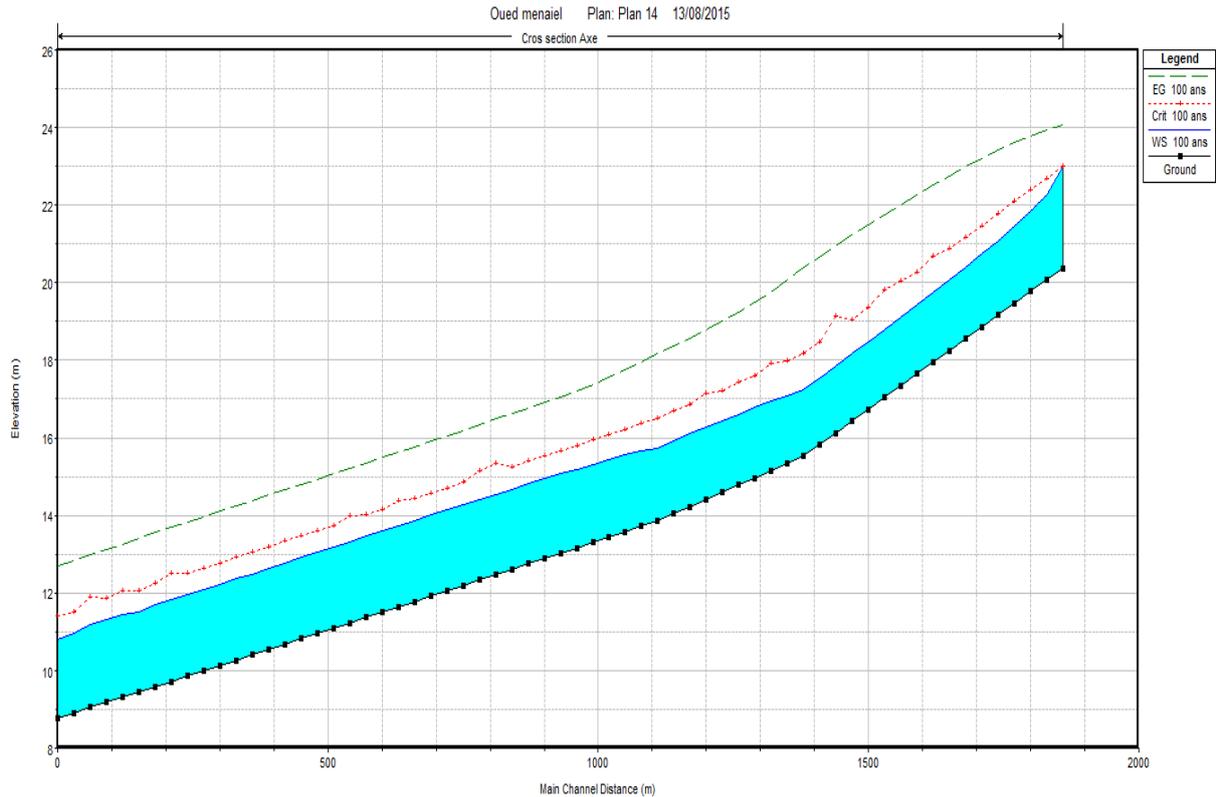
**B** : Débit ( $m^3/s$ ). **C** : Altitude du radier (m).

**D** : Altitude de plan d'eau (m). **E** : Altitude critique (m).

**F** : Altitude de la ligne d'énergie (m). **G** : Pente de la ligne d'énergie (m/m).

**H** : Vitesse de l'écoulement (m/s). **I** : Section mouillée ( $m^2$ ).

**J** : Largeur au miroir (m). **K** : nombre du Fraude.



**Figure V.1 : profil en long de la première variante (Oued Menaiel)**

On constate que le régime torrentiel domine le long de notre canal. Alors qu'on remarque un régime critique au niveau de la première section transversale en amont.

Les vitesses d'écoulement varient entre 4.5 à 7.9 m/s le long du canal trapézoïdale, sachant que la vitesse admissible de l'érosion des parois dans un canal pareil est de 14 à 20 m/s, donc les vitesses d'écoulement sont acceptables.

La différence entre l'altitude de la ligne d'eau et l'altitude du radier, nous donne la hauteur d'eau dans le canal, une petite comparaison avec la hauteur de canal en différents tronçons, nous permet de conclure sur l'absence de débordement le long de canal et que sa capacité est suffisante pour évacuer le flux de la crue de projet en toute sécurité, empêchant l'inondation des localités avoisinante.

**Tableau V.11 : Paramètres de l'écoulement pour la deuxième variante (Oued Menaiel).**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1890	103.1	19.88	22.54	22.54	23.56	0.006	4.47	23.07	11.33	1
1860	103.1	19.57	21.96	22.23	23.31	0.009	5.14	20.06	10.78	1.2
1830	103.1	19.27	21.63	21.93	23.02	0.01	5.24	19.69	10.71	1.23
1800	103.1	18.97	21.31	21.63	22.73	0.01	5.27	19.55	10.69	1.24
1770	103.1	18.66	20.99	21.32	22.43	0.01	5.33	19.36	10.65	1.26
1740	103.1	18.36	20.69	21.02	22.13	0.01	5.31	19.41	10.66	1.26
1710	103.1	18.06	20.39	20.72	21.83	0.01	5.33	19.36	10.65	1.26
1680	103.1	17.75	20.06	20.41	21.53	0.01	5.36	19.25	10.63	1.27
1650	103.1	17.45	19.77	20.11	21.22	0.01	5.34	19.29	10.64	1.27
1620	103.1	17.15	19.47	19.81	20.92	0.01	5.34	19.29	10.64	1.27
1590	103.1	16.85	19.17	19.74	20.62	0.01	5.34	19.29	10.64	1.27
1560	103.1	16.54	18.85	19.2	20.32	0.01	5.36	19.24	10.63	1.27
1530	103.1	16.24	18.56	19.07	20.01	0.01	5.33	19.34	10.65	1.26
1500	103.1	15.94	18.26	18.6	19.71	0.01	5.33	19.34	10.65	1.26
1470	103.1	15.63	17.94	18.29	19.41	0.01	5.36	19.25	10.63	1.27
1440	103.1	15.33	17.65	17.99	19.1	0.01	5.35	19.29	10.64	1.27
1410	103.1	15.03	17.35	17.69	18.8	0.01	5.35	19.29	10.64	1.27
1380	103.1	14.84	17.56	17.5	18.52	0.006	4.34	23.76	11.45	0.96
1350	103.1	14.66	17.32	17.32	18.34	0.006	4.47	23.04	11.32	1
1320	103.1	14.47	17.11	17.13	18.15	0.006	4.53	22.77	11.27	1.02
1290	103.1	14.28	16.98	16.94	17.96	0.006	4.39	23.5	11.4	0.98
1260	103.1	14.1	16.82	16.76	17.78	0.006	4.35	23.68	11.43	0.97
1230	103.1	13.91	16.75	16.75	17.59	0.005	4.04	25.54	15.84	1
1200	103.1	13.73	16.45	16.39	17.41	0.006	4.34	23.76	11.45	0.96
1170	103.1	13.54	16.34	16.2	17.23	0.005	4.19	24.61	11.59	0.92
1140	103.1	13.35	16.25		17.06	0.004	3.99	25.88	12.63	0.86
1110	103.1	13.22	16.1	15.88	16.93	0.005	4.03	25.61	11.77	0.87
1080	103.1	13.08	15.97	15.74	16.79	0.005	4.02	25.65	11.77	0.87
1050	103.1	12.94	15.83	15.6	16.65	0.005	4.01	25.71	11.78	0.87
1020	103.1	12.8	15.7	15.46	16.51	0.005	4	25.78	11.79	0.86
990	103.1	12.66	15.57		16.37	0.004	3.98	25.89	11.81	0.86
960	103.1	12.53	15.41	15.19	16.24	0.005	4.02	25.63	11.77	0.87
930	103.1	12.39	15.28	15.05	16.1	0.005	4.02	25.66	11.77	0.87
900	103.1	12.25	15.14	14.91	15.96	0.005	4.01	25.72	11.78	0.87
870	103.1	12.11	15.01	14.77	15.82	0.005	4	25.79	11.8	0.86
840	103.1	11.97	14.88		15.69	0.004	3.98	25.9	11.82	0.86
810	103.1	11.84	14.73	14.5	15.55	0.005	4	25.75	11.79	0.86
780	103.1	11.7	14.6	14.36	15.41	0.004	3.99	25.84	11.81	0.86
750	103.1	11.56	14.47	14.22	15.28	0.004	3.97	25.97	11.83	0.86
720	103.1	11.42	14.35		15.14	0.004	3.94	26.19	11.86	0.85
690	103.1	11.28	14.24		15.01	0.004	3.89	26.47	11.91	0.83
660	103.1	11.15	14.2	13.81	14.86	0.004	3.61	29.96	23.33	0.86
630	103.1	11.01	13.9	13.67	14.72	0.005	4.02	25.65	11.77	0.87
600	103.1	10.87	13.76	13.53	14.58	0.005	4.01	25.71	11.78	0.87
570	103.1	10.73	13.63	13.39	14.44	0.005	4	25.78	11.79	0.86
540	103.1	10.59	13.5		14.3	0.004	3.98	25.89	11.81	0.86
510	103.1	10.46	13.34	13.12	14.17	0.005	4.02	25.63	11.77	0.87
480	103.1	10.32	13.21	12.98	14.03	0.005	4.01	25.68	11.78	0.87
450	103.1	10.18	13.07	12.84	13.89	0.005	4	25.74	11.79	0.87
420	103.1	10.04	12.94	12.7	13.75	0.004	3.99	25.84	11.81	0.86
390	103.1	9.9	12.82	12.56	13.62	0.004	3.96	26.01	11.83	0.85
360	103.1	9.76	12.7		13.48	0.004	3.93	26.23	11.87	0.84

Suite du tableau (V.11)

330	103.1	9.63	12.57		13.35	0.004	3.93	26.24	11.87	0.84
300	103.1	9.49	12.45		13.22	0.004	3.88	26.55	11.92	0.83
270	103.1	9.36	12.33		13.09	0.004	3.87	26.66	11.94	0.83
240	103.1	9.22	12.23		12.97	0.004	3.8	27.1	12.02	0.81
210	103.1	9.09	12.12		12.84	0.004	3.76	27.4	12.07	0.8
180	103.1	8.95	12.3		12.65	0.002	2.61	41.7	27.62	0.62
150	103.1	8.82	11.86		12.54	0.004	3.63	28.38	14.7	0.81
120	103.1	8.68	11.63	11.34	12.41	0.004	3.91	26.4	11.9	0.84
90	103.1	8.55	11.21	11.21	12.23	0.006	4.48	23.04	11.32	1
60	103.1	8.41	10.98	11.28	12.03	0.007	4.55	22.7	24.44	1.45
30	103.1	8.28	11.12	11.19	11.79	0.004	3.65	30.4	34.87	1.05

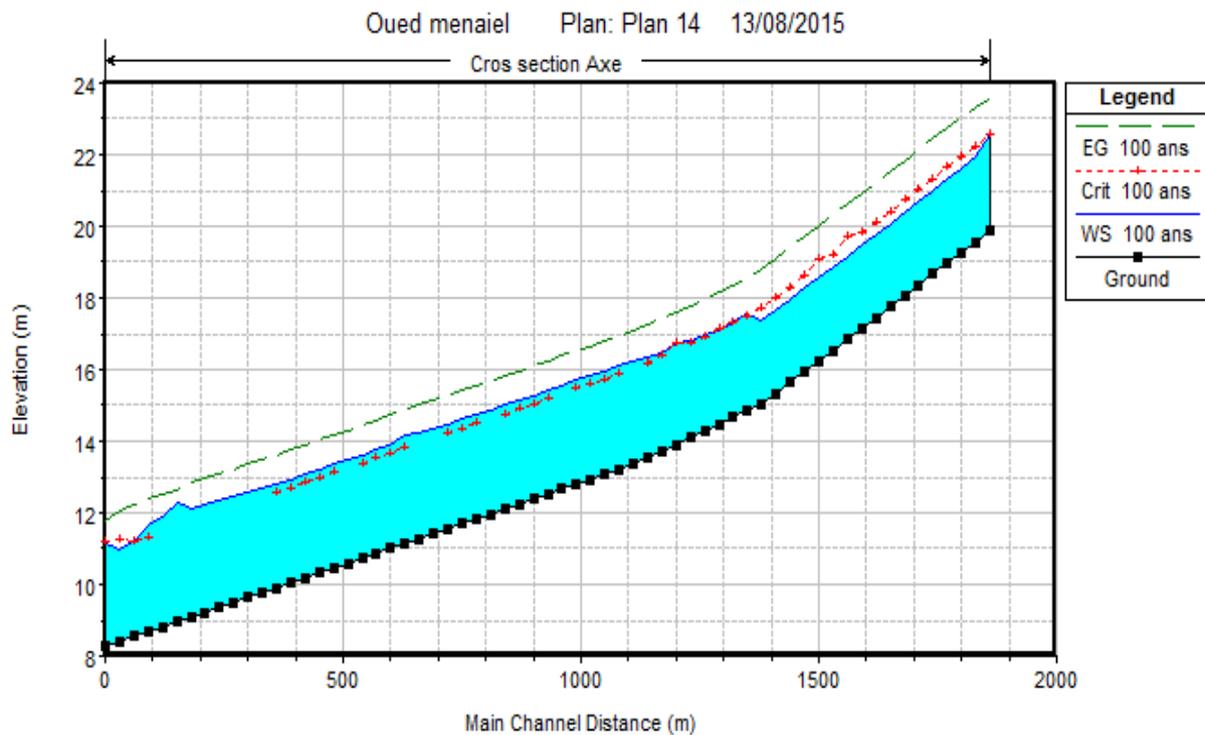


Figure V.2 : Profil en long de la deuxième variante (Oued Menaiel)

A partir de la figure (V.2) on constate que l'écoulement le long du canal est caractérisé par un régime torrentiel en amont, qui se transforme en un régime fluvial dans le tronçon N°2, le même régime se manifeste dans le reste des tronçons jusqu'à une distance de 90 m de l'exutoire ou le régime torrentiel reprend sa place.

Les vitesses d'écoulement varient entre 3 à 5.5 m/s le long du canal, et sont inférieures aux vitesses admissibles de l'érosion des parois qui sont comprises entre 7.4 à 10 m/s pour un canal de même nature.

La nouvelle capacité du canal est suffisante pour évacuer le flux de la crue.

Tableau V.12 : Paramètres de l'écoulement pour la troisième variante (Oued Menaiel).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1890	103.1	20.38	23.03	23.03	24.06	0.003	4.51	22.84	11	1
1860	103.1	20.07	22.33	22.72	23.88	0.006	5.52	18.67	10.52	1.32
1830	103.1	19.77	21.93	22.41	23.68	0.007	5.86	17.59	10.31	1.43
1800	103.1	19.47	21.56	22.11	23.45	0.008	6.09	16.94	10.19	1.51
1770	103.1	19.16	21.21	21.8	23.2	0.008	6.26	16.47	10.09	1.56
1740	103.1	18.86	20.88	21.5	22.95	0.009	6.37	16.18	10.04	1.6
1710	103.1	18.56	20.56	21.2	22.68	0.009	6.46	15.96	9.99	1.63
1680	103.1	18.25	20.23	20.89	22.41	0.009	6.54	15.75	9.95	1.66
1650	103.1	17.95	19.92	20.71	22.12	0.009	6.59	15.66	9.93	1.67
1620	103.1	17.65	19.61	20.29	21.84	0.01	6.62	15.58	9.92	1.69
1590	103.1	17.35	19.3	20.04	21.55	0.01	6.64	15.52	9.9	1.69
1560	103.1	17.04	18.98	19.81	21.26	0.01	6.68	15.43	9.89	1.71
1530	103.1	16.74	18.68	19.36	20.96	0.01	6.69	15.4	9.88	1.71
1500	103.1	16.44	18.38	19.07	20.67	0.01	6.7	15.38	9.88	1.71
1470	103.1	16.13	18.06	19.13	20.37	0.01	6.73	15.33	9.86	1.72
1440	103.1	15.83	17.76	18.49	20.07	0.01	6.73	15.32	9.86	1.72
1410	103.1	15.53	17.46	18.19	19.77	0.01	6.73	15.33	9.86	1.72
1380	103.1	15.34	17.36	18	19.42	0.008	6.36	16.22	10.04	1.6
1350	103.1	15.16	17.27	17.95	19.13	0.007	6.04	17.06	10.21	1.49
1320	103.1	14.97	17.12	17.63	18.88	0.007	5.89	17.52	10.3	1.44
1290	103.1	14.78	16.95	17.45	18.67	0.007	5.8	17.78	10.35	1.41
1260	103.1	14.6	16.81	17.26	18.46	0.006	5.69	18.11	10.41	1.38
1230	103.1	14.41	16.61	17.14	18.27	0.006	5.7	18.08	10.41	1.38
1200	103.1	14.23	16.45	16.88	18.08	0.006	5.67	18.2	10.43	1.37
1170	103.1	14.04	16.25	16.7	17.89	0.006	5.68	18.16	10.42	1.37
1140	103.1	13.85	16.06	16.5	17.71	0.006	5.69	18.13	10.51	1.37
1110	103.1	13.72	16.11	16.37	17.46	0.005	5.15	20.03	10.78	1.21
1080	103.1	13.58	15.97	16.23	17.32	0.005	5.15	20.03	10.78	1.21
1050	103.1	13.44	15.83	16.09	17.18	0.005	5.15	20.03	10.78	1.21
1020	103.1	13.3	15.69	15.95	17.04	0.005	5.15	20.03	10.78	1.21
990	103.1	13.16	15.55	15.81	16.9	0.005	5.15	20.03	10.78	1.21
960	103.1	13.03	15.46	15.68	16.75	0.004	5.04	20.44	10.85	1.17
930	103.1	12.89	15.3	15.54	16.62	0.005	5.07	20.32	10.83	1.18
900	103.1	12.75	15.16	15.4	16.48	0.005	5.1	20.22	10.81	1.19
870	103.1	12.61	15.01	15.26	16.34	0.005	5.12	20.15	10.8	1.2
840	103.1	12.47	14.87	15.36	16.2	0.005	5.11	20.17	10.8	1.19
810	103.1	12.34	15.6	15.17	16	0.001	2.84	42.98	30.66	0.65
780	103.1	12.2	14.85	14.85	15.88	0.003	4.49	22.97	11.31	1.01
750	103.1	12.06	14.57	14.72	15.76	0.004	4.83	21.33	11.01	1.11
720	103.1	11.92	14.38	14.58	15.63	0.004	4.94	20.86	10.93	1.14
690	103.1	11.78	14.22	14.44	15.5	0.004	5.01	20.56	10.87	1.16
660	103.1	11.65	14.85	14.4	15.31	0.001	3.03	41.05	28.65	0.67
630	103.1	11.51	14.17	14.17	15.19	0.003	4.48	23.02	11.32	1
600	103.1	11.37	13.88	14.02	15.07	0.004	4.83	21.32	11.01	1.11
570	103.1	11.23	13.69	14.01	14.94	0.004	4.94	20.85	10.93	1.14
540	103.1	11.09	13.53	13.75	14.81	0.004	5.02	20.56	10.87	1.16
510	103.1	10.96	13.4	13.62	14.68	0.004	5.01	20.57	10.88	1.16
480	103.1	10.82	13.24	13.47	14.54	0.004	5.05	20.4	10.84	1.18
450	103.1	10.68	13.09	13.34	14.41	0.005	5.09	20.27	10.82	1.19
420	103.1	10.54	12.94	13.2	14.27	0.005	5.11	20.19	10.81	1.19
390	103.1	10.4	12.81	13.06	14.13	0.005	5.1	20.22	10.81	1.19
360	103.1	10.26	12.67	12.92	13.99	0.005	5.09	20.24	10.81	1.19

Suite du tableau (V.12)

330	103.1	10.13	12.57	12.79	13.85	0.004	5.01	20.56	10.87	1.16
300	103.1	9.99	12.41	12.65	13.71	0.004	5.06	20.37	10.84	1.18
270	103.1	9.86	12.29	12.52	13.58	0.004	5.03	20.5	10.86	1.17
240	103.1	9.72	12.13	12.5	13.45	0.005	5.07	20.32	10.83	1.18
210	103.1	9.59	12.02	12.25	13.31	0.004	5.03	20.5	10.86	1.17
180	103.1	9.45	12.73	12.06	13.02	0.001	2.38	49.16	40	0.53
150	103.1	9.32	12.46	12.05	12.96	0.001	3.14	38.27	38.96	0.73
120	103.1	9.18	11.87	11.87	12.85	0.003	4.4	23.56	13.14	1
90	103.1	9.05	11.62	11.91	12.74	0.004	4.69	21.97	11.13	1.07
60	103.1	8.91	11.04	11.52	12.55	0.007	5.44	19.16	26.48	1.9
30	103.1	8.78	10.99	11.41	12.32	0.005	5.11	21.42	28.32	1.72

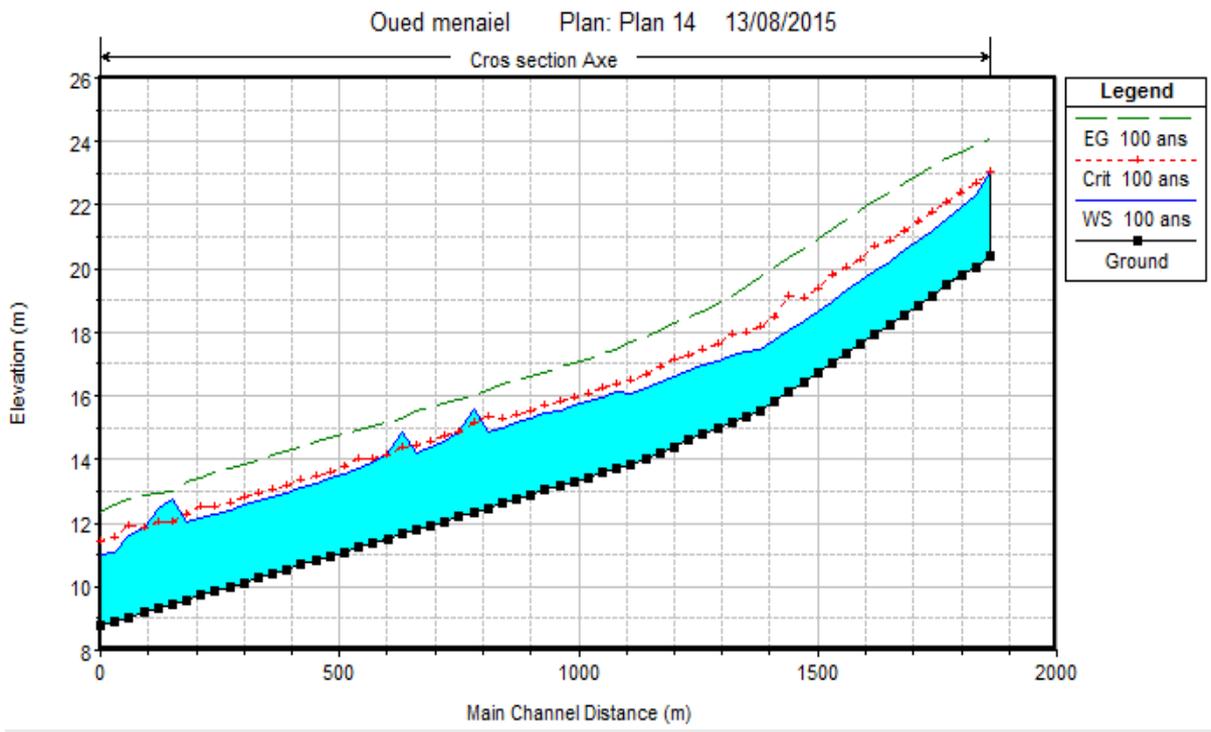


Figure V.3 : Profil en long de la troisième variante (Oued Menaiel)

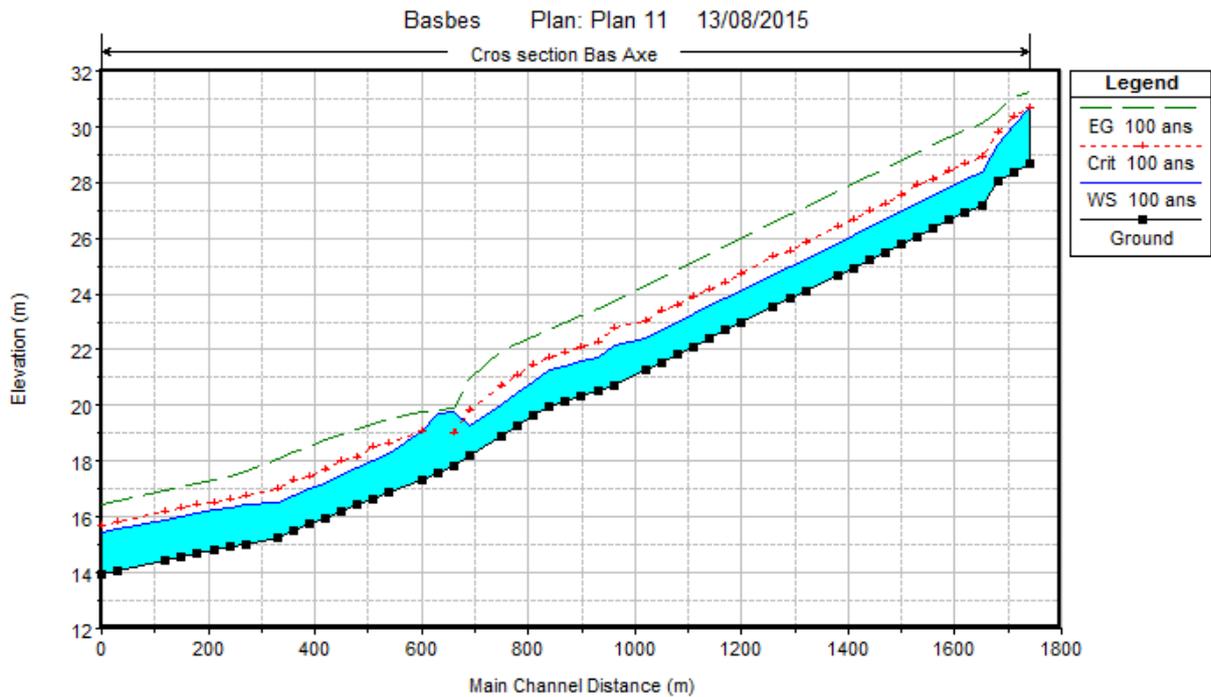
La figure (V.3) nous montre un régime torrentiel dominant sur tous le parcours du canal, avec la présence des perturbations du régime dans des endroits bien précis à savoir (section transversale 810, 660, 180) où un changement du régime a été localisé, accompagné d'un ressout hydraulique. (Si cette variante était retenue pour ce projet, l'étude de ressout en ces endroits serait recommandée).

Les vitesses d'écoulements varient entre 3 à 6.73 m/s le long du canal, et sont en dessous de la vitesse admissible à l'érosion qui est d'ordre de 10 à 14 m/s, pour un canal de même matériau.

5.3.2 Oued Besbes

Tableau V.13 : Paramètres de l'écoulement pour la première variante (Oued Besbes).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1770	36.2	28.69	30.69	30.69	31.23	0.002	3.29	14.16	23.55	0.93
1740	36.2	28.36	30.09	30.35	31.07	0.011	4.4	8.22	8.35	1.4
1710	36.2	28.03	29.37	29.79	30.58	0.023	5.02	9.27	17.48	1.64
1680	36.2	27.2	28.39	28.94	30.13	0.008	5.85	6.19	6.38	1.9
1650	36.2	26.92	28.1	28.65	29.87	0.009	5.89	6.14	6.37	1.92
1620	36.2	26.64	27.82	28.45	29.61	0.009	5.93	6.11	6.36	1.93
1590	36.2	26.35	27.52	28.09	29.34	0.009	5.97	6.06	6.34	1.95
1560	36.2	26.07	27.24	27.93	29.07	0.009	5.99	6.04	6.34	1.96
1530	36.2	25.79	26.96	27.57	28.79	0.009	6.01	6.03	6.33	1.97
1500	36.2	25.51	26.67	27.25	28.52	0.009	6.02	6.02	6.33	1.97
1470	36.2	25.23	26.39	26.97	28.24	0.009	6.02	6.01	6.33	1.97
1440	36.2	24.94	26.1	26.68	27.96	0.009	6.04	5.99	6.32	1.98
1410	36.2	24.66	25.82	26.4	27.68	0.009	6.05	5.99	6.32	1.98
1350	36.2	24.1	25.26	25.84	27.13	0.009	6.05	5.98	6.32	1.99
1320	36.2	23.82	24.98	25.56	26.84	0.009	6.05	5.98	6.32	1.98
1290	36.2	23.53	24.69	25.37	26.56	0.009	6.07	5.97	6.31	1.99
1230	36.2	22.97	24.13	24.71	26	0.009	6.06	5.97	6.32	1.99
1200	36.2	22.69	23.85	24.43	25.72	0.009	6.06	5.97	6.32	1.99
1170	36.2	22.41	23.57	24.15	25.44	0.009	6.06	5.97	6.32	1.99
1140	36.2	22.12	23.28	23.94	25.16	0.009	6.08	5.96	6.31	2
1110	36.2	21.84	23	23.58	24.87	0.009	6.07	5.96	6.31	1.99
1080	36.2	21.56	22.72	23.41	24.59	0.009	6.07	5.96	6.31	1.99
1050	36.2	21.28	22.44	23.02	24.31	0.009	6.07	5.96	6.31	1.99
990	36.2	20.71	22.17	22.79	23.75	0.007	5.57	6.5	5.92	1.69
960	36.2	20.53	21.71	22.28	23.49	0.009	5.92	6.12	6.36	1.93
930	36.2	20.35	21.58	22.09	23.2	0.008	5.65	6.41	6.45	1.81
900	36.2	20.17	21.43	21.91	22.95	0.007	5.47	6.62	6.52	1.73
870	36.2	19.98	21.25	21.72	22.73	0.007	5.39	6.72	6.55	1.7
840	36.2	19.62	20.84	21.46	22.5	0.008	5.71	6.34	6.43	1.84
810	36.2	19.26	20.44	21.09	22.23	0.009	5.94	6.1	6.36	1.93
780	36.2	18.9	20.05	20.73	21.95	0.01	6.1	5.94	6.3	2.01
720	36.2	18.18	19.27	19.82	20.98	0.028	5.85	6.96	12.03	2.09
690	36.2	17.82	19.79	19.03	19.87	0.001	1.3	30.94	26.56	0.34
660	36.2	17.59	19.73		19.85	0.001	1.66	38.22	40	0.43
630	36.2	17.36	19.1	19.1	19.77	0.002	3.62	9.99	7.48	1
570	36.2	16.9	18.26	18.64	19.51	0.005	4.96	7.31	6.72	1.52
540	36.2	16.67	17.99	18.5	19.34	0.006	5.13	7.05	6.65	1.59
510	36.2	16.44	17.74	18.18	19.15	0.006	5.26	6.89	6.6	1.64
480	36.2	16.21	17.49	18.04	18.95	0.007	5.35	6.77	6.56	1.68
450	36.2	15.97	17.23	17.71	18.74	0.007	5.44	6.65	6.53	1.72
420	36.2	15.74	16.99	17.48	18.53	0.007	5.49	6.59	6.51	1.74
390	36.2	15.51	16.76	17.33	18.31	0.007	5.53	6.55	6.5	1.76
360	36.2	15.28	16.52	17.02	18.09	0.007	5.55	6.52	6.49	1.77
300	36.2	15.04	16.43	16.78	17.62	0.005	4.85	7.46	6.77	1.48
270	36.2	14.92	16.35	16.66	17.46	0.004	4.65	7.78	6.86	1.4
240	36.2	14.8	16.26	16.54	17.31	0.004	4.55	7.96	6.92	1.35
210	36.2	14.68	16.15	16.42	17.18	0.004	4.51	8.02	6.93	1.34
180	36.2	14.56	16.03	16.3	17.06	0.004	4.51	8.02	6.93	1.34
150	36.2	14.44	15.91	16.18	16.94	0.004	4.51	8.02	6.93	1.34
60	36.2	14.08	15.56	15.82	16.58	0.004	4.48	8.08	6.95	1.33
30	36.2	13.96	15.44	15.7	16.46	0.004	4.48	8.08	6.95	1.33



**Figure V.4 : Profil en long de la première variante (Oued Besbes)**

La figure (V.4) montre un régime d’écoulement torrentiel dominant le long du canal, avec l’apparition d’une montée d’eau importante au niveau de la section transversale N°690, produite par un ressout hydraulique au niveau de cet endroit (soit on procède à la régularisation de la pente au niveau de ce tronçon, où on projette un bassin d’amortissement en cette endroit à fin d’éviter le problème d’affouillement).

Les vitesses d’écoulement fluctuent entre 3 à 6 m/s sur tous le canal.

Puisque les vitesses d’écoulements sont inférieures aux vitesses admissibles à l’érosion, alors la protection des berges est assurée.

A travers les résultats de la simulation, on peut conclure que la nouvelle capacité du canal aménagé, assure bien l’évacuation du flux de la crue, en empêchant la submersion de la ville de Bordj Menaiel.

**Tableau V.14 : Paramètres de l’écoulement pour deuxième variante (Oued Besbes).**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1770	36.2	28.69	30.72	30.72	31.2	0.005	3.14	14.89	24.45	0.87
1740	36.2	28.36	30.22	30.35	30.99	0.008	3.87	9.45	9.32	1.16
1710	36.2	28.03	30.01	29.77	30.17	0.004	2.13	29.32	40	0.56
1680	36.2	27.7	29.46	29.46	30	0.005	3.38	14.48	17.48	0.9
1650	36.2	27.42	29	29.18	29.79	0.007	4.06	11.98	17.78	1.08
1620	36.2	27.14	29.24	28.71	29.39	0.002	1.71	22.79	23.63	0.47
1590	36.2	26.85	28.65	28.65	29.25	0.006	3.49	12.16	15.51	0.91
1560	36.2	26.57	27.86	28.21	28.93	0.018	4.59	8.16	16.38	1.88
1530	36.2	26.29	28.38	27.75	28.46	0.001	1.31	38.87	40	0.36
1500	36.2	26.01	27.95	27.95	28.36	0.004	2.84	12.79	16.1	1

Suite du tableau (V.14)

1470	36.2	25.73	27.37	27.47	28.15	0.0088	3.92	9.24	7.28	1.11
1440	36.2	25.44	27.55	27.28	27.72	0.0020	1.94	26.86	40	0.58
1410	36.2	25.16	26.9	26.9	27.57	0.0071	3.64	9.95	7.47	1.01
1350	36.2	24.6	26.17	26.34	27.04	0.0102	4.14	8.74	7.14	1.19
1320	36.2	24.32	25.9	26.2	26.73	0.0098	4.03	9.1	21.88	1.52
1290	36.2	24.03	25.35	25.66	26.34	0.0161	4.42	8.36	14.32	1.71
1230	36.2	23.47	25.21	25.21	25.88	0.0071	3.64	9.95	7.47	1.01
1200	36.2	23.19	24.79	24.97	25.62	0.0095	4.03	8.98	7.21	1.15
1170	36.2	22.91	24.52	24.75	25.34	0.0093	4.01	9.03	7.22	1.14
1140	36.2	22.62	24.08	24.38	25.01	0.0124	4.27	8.57	9.98	1.41
1110	36.2	22.34	24.05	24.19	24.64	0.0069	3.4	11.04	18.61	1.21
1080	36.2	22.06	23.54	23.8	24.36	0.0109	4.02	9.81	17.95	1.37
1050	36.2	21.78	23.33	23.52	24.01	0.0099	3.66	10.06	20.94	1.59
990	36.2	21.21	23.39	23.08	23.58	0.0037	2.1	24.45	27.03	0.55
960	36.2	21.03	22.89	22.79	23.43	0.0044	3.32	12.97	15	0.83
930	36.2	20.85	22.93	22.77	23.25	0.0031	2.5	14.96	18.07	0.78
900	36.2	20.67	22.41	22.41	23.08	0.0071	3.62	9.99	7.48	1
870	36.2	20.48	22.03	22.28	22.82	0.0098	3.94	9.65	16.52	1.38
840	36.2	20.12	21.39	21.71	22.41	0.0181	4.48	8.53	17.92	1.85
810	36.2	19.76	21.15	21.37	21.89	0.0117	3.89	11.19	21.51	1.38
780	36.2	19.4	20.69	20.96	21.49	0.0145	4.08	11.39	25.71	1.57
720	36.2	18.68	20.14	19.96	20.33	0.0056	2.27	25.69	36.71	0.66
690	36.2	18.32	20.19		20.24	0.0008	1.04	41.22	37.57	0.25
660	36.2	18.09	20.17		20.22	0.0007	1.12	53.24	40	0.27
630	36.2	17.86	19.72	19.72	20.14	0.0047	2.88	13.82	28.89	0.95
570	36.2	17.4	19.13	19.25	19.78	0.0070	3.6	11.68	19.85	0.99
540	36.2	17.17	19.14	18.79	19.3	0.0020	1.91	28.09	30.3	0.52
510	36.2	16.94	18.72	18.72	19.18	0.0043	3.21	17.84	25.53	0.82
480	36.2	16.71	17.99	18.27	18.91	0.0159	4.34	10.22	23.14	1.66
450	36.2	16.47	18.42	18.16	18.62	0.0019	2.4	32.66	40	0.56
420	36.2	16.24	18.02	17.99	18.51	0.0042	3.3	17.05	23.16	0.83
390	36.2	16.01	18.21		18.34	0.0013	1.82	34.26	37.18	0.45
360	36.2	15.78	17.79	17.51	18.25	0.0035	3.01	13.32	13.13	0.74
300	36.2	15.54	17.57		18.02	0.0040	2.95	12.28	8.07	0.76
270	36.2	15.42	17.45		17.9	0.0040	2.95	12.28	8.07	0.76
240	36.2	15.3	17.34		17.78	0.0040	2.95	12.28	8.07	0.76
210	36.2	15.18	17.22		17.66	0.0040	2.95	12.28	8.07	0.76
180	36.2	15.06	17.1		17.54	0.0040	2.95	12.29	8.07	0.76
150	36.2	14.94	16.97		17.42	0.0040	2.95	12.28	8.07	0.76
60	36.2	14.58	16.6	16.32	17.05	0.0041	2.99	12.13	8.03	0.78
30	36.2	14.46	16.2	16.2	16.87	0.0070	3.62	10	7.48	1

Tableau V.14 : Paramètres de l'écoulement pour la deuxième variante (Oued Besbes).

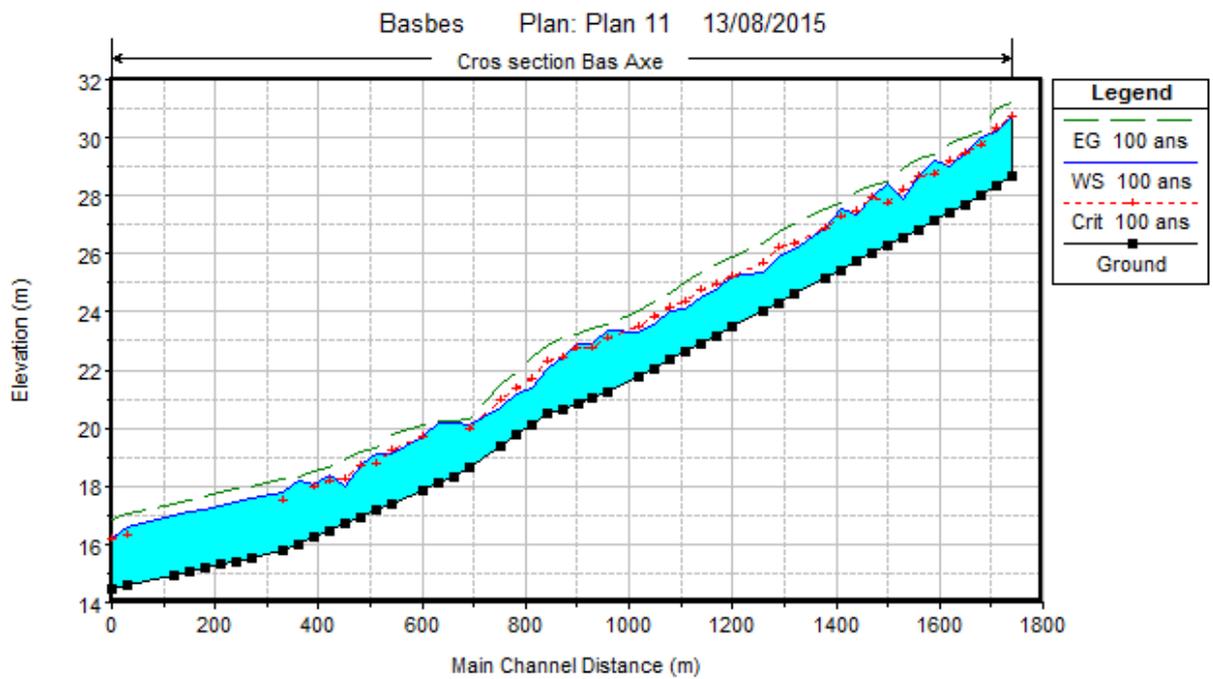


Figure V.5 : Profil en long de la deuxième variante (Oued Besbes)

Dans la figure (V.5) on remarque un régime d'écoulement fluctuant entre le torrentiel et fluvial, instable sur tous le parcours du canal, avec des vitesses d'écoulement variant entre 2 à 4.5 m/s en dessous de la vitesse admissible à l'érosion des parois.

#### 5.4 Estimation du coût des variantes

La détermination des paramètres de l'écoulement de chaque variante, nous a permet de conclure sur la convenance de chaque solution proposée pour l'aménagement de l'oued Besbes et Menaiel de point de vue hydraulique.

Dans cette partie on procède à l'évaluation du coût de chaque variante, à partir des résultats des quantités de déblais et de remblais données par le simulateur HEC-RAS.

Une appréciation du devis de notre projet nécessite une estimation des travaux de génie civil, à partir des dimensions de notre canal pour chaque variante.

Pour les différentes quantités des matériaux à utiliser pour chaque variante, on va le multiplier par leur prix unitaire tiré de cahier de charge concernant les travaux hydrauliques, afin d'obtenir le coût total du projet.

5.4.1 Oued Menaïel :

Tableau V.15 : Estimation de la quantité des travaux de génie civil pour la première variante (Oued Menaïel)

Tronçons	N° de profils	Nature	Dimensionnement du canal			Surface (m <sup>2</sup> )		Volume (m <sup>3</sup> )			
			B(m)	L(m)	H(m)	Béton	B. de propreté	Béton	Cumul	B. de propreté	Cumul
I	1890-1440	béton armé	6	450	2.2	2.44	0.6	1100.03	1100.03	270	270
II	1440-1170		6	270	2.4	2.56	0.6	690.56	1790.59	162	432
III	1170-360		6	810	2.6	2.67	0.6	2163.33	3953.93	486	918
IV	360-0		6	360	2.6	2.67	0.6	961.48	4915.41	216	1134
<b>Total</b>				<b>1890</b>				<b>4915.41</b>		<b>1134</b>	

Tableau V.16 : Coût de la première variante (Oued Menaïel)

Désignation	Travaux d'aménagements	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Travaux de terrassement et génie civil	Déblais	m <sup>3</sup>	40288.5	900.00	36259650
	Remblais	m <sup>3</sup>	1452.52	1500.00	2178781.2
	Béton	m <sup>3</sup>	6049.41	3200.00	19358104.92
	<b>Montant total (DA)</b>				

Tableau V.17 : Estimation de la quantité des travaux de génie civil pour la deuxième variante (Oued Menaïel)

Tronçons	N° de profils	Nature	Dimensionnement du canal			Surface (m <sup>2</sup> )			Volume (m <sup>3</sup> )				
			B(m)	L(m)	H(m)	pierre maç	Béton	Gravier	pierre maç	Cumul	Béton	Cumul	Gravier
I	1890-1440	Pierres maçonnées	6	450	2.8	3.48	0.35	0.6	1565.95	1565.95	156.60	156.60	270
II	1440-1170		6	270	3.2	3.76	0.38	0.6	1015.94	2581.89	101.59	258.19	162
III	1170-360		6	810	3.4	3.90	0.39	0.6	3162.37	5744.27	316.24	574.43	486
IV	360-0		6	360	3.4	3.90	0.39	0.6	1405.50	7149.77	140.55	714.98	216
<b>Total</b>				<b>1890</b>					<b>7149.77</b>		<b>714.98</b>		<b>1134</b>

Tableau V.18 : Coût de la deuxième variante (Oued Menaiel).

Désignation	Travaux d'aménagements	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Travaux de terrassement et de génie Civil	Déblais	m <sup>3</sup>	52441.5	900.00	47197350
	Remblais	m <sup>3</sup>	1104.64	1500.00	1656966.42
	Pierres.maç	m <sup>3</sup>	53546.14	1000.00	53546144.28
	Béton	m <sup>3</sup>	714.98	3200.00	2287924.985
	Gravier	m <sup>3</sup>	1134	1600.00	1814400
	<b>Montant total (DA)</b>				

Tableau V.19 : Estimation de la quantité des travaux de génie civil pour la troisième variante (Oued Menaiel)

Tronçons	N° de profils	Nature	Radier en béton armé								
			Dimensionnement du canal			Surface (m <sup>2</sup> )		Volume (m <sup>3</sup> )			
			B(m)	L(m)	H(m)	Béton	Béton de propreté	Béton	Cumul	B. de propreté	Cumul
I	1890-1440	béton armé	6	450	2.5	1.20	0.6	540.00	540.00	270	270
II	1440-1170		6	270	2.7	1.20	0.6	324.00	864.00	162	432
III	1170-360		6	810	2.9	1.20	0.6	972.00	1836.00	486	918
IV	360-0		6	360	3	1.20	0.6	432.00	2268.00	216	1134
<b>Total</b>				<b>1890</b>				<b>2268.00</b>		<b>1134</b>	

Berges en pierres maçonnées											
Tronçons	N° de profils	Nature	Dimensionnement du canal			Surface (m)		Volume (m)			
			B(m)	L(m)	H(m)	pierres maç	Béton	pierres maç	Cumul	Béton	Cumul
I	1890-1440	Pierres maçonnées	6	450	2.5	1.77	0.18	795.50	795.50	79.55	79.55
II	1440-1170		6	270	2.7	1.91	0.19	515.48	1310.98	51.55	131.10
III	1170-360		6	810	2.9	2.05	0.21	1660.99	2971.97	166.10	297.20
IV	360-0		6	360	3	2.12	0.21	763.68	3735.65	76.37	373.56
<b>Total</b>				<b>1890</b>				<b>3735.65</b>		<b>373.56</b>	

Tableau V.20 : Coût de la troisième variante (Oued Menaiel).

Désignation	Travaux d'aménagements	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Travaux de terrassement et de génie civil	Déblais	m <sup>3</sup>	40854	900.00	36768600
	Remblais	m <sup>3</sup>	1334.11	1500.00	2001164.4
	Pierres maçonnées	m <sup>3</sup>	3735.65	1000.00	3735645.125
	Béton	m <sup>3</sup>	3775.56	3200.00	12081806.44
<b>Montant total (DA)</b>					<b>54587216</b>

5.4.2 Oued Besbes : Tableau V.21 : Quantités des travaux génie civil pour la première variante (Oued Besbes).

Tronçons	N° de profils	Nature	Dimensionnement du canal			Surface (m)		Volume (m)			
			B(m)	L(m)	H(m)	Béton	Béton de propreté	Béton	Cumule	Béton de propreté	Cumul
I	1770-1680	béton armé	3	90	1.8	1.62	0.3	145.64	145.64	27	27
II	1680-990		4	720	1.8	1.82	0.4	1309.13	1454.77	288	315
III	990-870		4	120	1.8	1.82	0.4	218.19	1672.96	48	363
IV	870-690		4	180	1.8	1.82	0.4	327.28	2000.24	72	435
V	690-360		4	330	2	1.93	0.4	637.35	2637.59	132	567
VI	360-30		4	330	2	1.93	0.4	637.35	3274.94	132	699
<b>Total</b>				<b>1770</b>				<b>3274.94</b>		<b>699</b>	

**Tableau V.22 : Coût de la première variante (Oued Besbes).**

Désignation	Travaux d'aménagements	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Travaux de terrassement et génie civil	Déblais	m <sup>3</sup>	<b>10058.69</b>	900.00	9052819.2
	Remblais	m <sup>3</sup>	<b>847.49</b>	1500.00	1271233.643
	Béton	m <sup>3</sup>	<b>3973.94</b>	3200.00	12716621.57
	<b>Montant total (DA)</b>				<b>23040674</b>

**Tableau V.23 : Quantités des travaux génie civil pour la première variante (Oued Besbes).**

Tronçons	N° de profils	Nature	Dimensionnement du canal			Surface (m)			Volume (m)					
			B (m)	L (m)	H (m)	pierres maç	Béton	Gravier	pierres maç	Cumul	Béton	Cumul	Gravier	Cumul
I	1770-1680	Pierres maçonnées	3	90	2.2	2.31	0.23	0.3	207.51	207.51	20.75	20.75	27	27
II	1680-990		4	720	2.2	2.56	0.26	0.4	1840.06	2047.56	184.01	204.76	288	315
III	990-870		4	120	2.3	2.63	0.26	0.4	315.16	2362.73	31.52	236.27	48	363
IV	870-690		4	180	2.3	2.63	0.26	0.4	472.74	2835.47	47.27	283.55	72	435
V	690-360		4	330	2.3	2.63	0.26	0.4	866.69	3702.16	86.67	370.22	132	567
VI	360-30		4	330	2.5	2.77	0.28	0.4	913.36	4615.53	91.34	461.55	132	699
<b>Total</b>				<b>1770</b>					<b>4615.53</b>		<b>461.55</b>		<b>699</b>	

**Tableau V.24 : Coût de la deuxième variante (Oued Besbes).**

Désignation	Travaux d'aménagements	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Travaux de terrassement et de génie civil	Déblais	m	10185.14	900.00	9166624.2
	Remblais	m	839.55	1500.00	1259326.643
	Pierres maçonnées	m	4615.53	1000.00	4615525.104
	Béton	m	461.55	3200.00	1476968.033
	Gravier	m	699	1600.00	1118400
	<b>Montant total (DA)</b>				<b>17636844</b>

**5.5 Choix de la variante du projet**

Pour les différentes variantes présentées ci-dessus, on peut citer d'une manière plus ou moins précise les avantages et les inconvénients relatifs à chaque variante.

Un canal en béton présente la solution la plus favorable par rapport à un canal en pierres maçonnées. Il présente les avantages suivants :

- ✓ Vitesse d'écoulement conséquente ;
- ✓ Résistance au choc ;
- ✓ Rapidité de réalisation et maintenance.

Dans le tableau suivant, les principales caractéristiques des différents revêtements des canaux sont résumées comme suit:

**Tableau V.26 : Caractéristiques des différents revêtements des canaux.**

Variantes	Espérance de vie	Autres caractéristiques importantes
Canal en Béton	Estimée à 50 ans	Convient à toutes les dimensions de canaux et à toutes les conditions topographiques climatiques, et d'exploitation, coulage des en usine pourrait être plus économique. Prix de revient relativement élevé.
Canal en Pierres Maçonnées	Peut- être la même que le béton, si toute fois il est convenablement construit et entretenu.	Méthodes demandant beaucoup de main d'œuvres, il est essentiel que les matériaux de construction soient disponibles sur place ou au voisinage.

Le tableau ci-dessous récapitule les coûts financiers des trois variantes proposées pour l'évacuation des eaux de la crue d'oued Menaiel.

**Tableau V.25 : Coût des variantes (oued Menaiel)**

N° de la variante	Type	Coût (DA)
1	Canal en béton armé	<b>57796536</b>
2	Canal en pierres maçonnées	<b>106502786</b>
3	Canal mixte	<b>54587216</b>

Sur le plan financier la variante N°3 est la plus économique avec un montant de 55.000.000 DA. On constate que le coût de la deuxième variante (en pierre maçonnées) est plus élevé que la première (en béton armé), cela dû aux dimensions du canal en pierres maçonnées qui sont plus grandes qu'un canal en béton, donnant des quantités des travaux de terrassement importante.

**Tableau V.26 : Coût des variantes (oued Besbes)**

N° de la variante	Type	Coût (DA)
1	Canal en béton armé	<b>23040674</b>
2	Canal en pierres maçonnées	<b>17636844</b>

Pour le cas d'oued Besbes la variante N°2 est la plus économique avec un montant estimé de 18.000.000 DA.

Après avoir cité les avantages et les inconvénients de chaque variante, avec leurs coûts financiers. Pour l'oued Menaiel on va opter pour la troisième variante qui consiste à la projection d'un canal trapézoïdale mixte, dont le radier sera revêtu en béton armés et les berges en pierres maçonnées, voir leur coût qui est le moins réduit, et leurs avantages techniques à savoir un rendement hydraulique efficace, une durée de vie importante, un entretien très facile, amortissement de l'écoulement grâce aux pierres des berges ,un aspect esthétique avec les pierres des berges qui vont former une belle harmonie avec la nature.

Pour l'oued Besbes on va choisir la variante N°1, constitué par un canal en béton armé malgré leur coût le plus élevé par rapport à la deuxième variante, qui est moins coûteuse mais elle nécessite la disponibilité de la matière locale et une main-d'œuvre qualifiée, par contre un canal en béton présente une durée de vie plus importante, une forme étroite bien adoptée à la ville, des caractéristiques hydrauliques meilleures, une durée de réalisation très courte, et assure une meilleure protection.

**Conclusion**

L'étude technico-économique nous a permis de sélectionner la meilleure variante, afin de protéger les localités de la ville de Bordj Menaiel contre les inondations et assurer une évacuation rapide du flux de la crue vers l'exutoire, avec la préservation des conditions naturelles, sociologiques de la zone d'étude.

**Chapitre VI :**  
**Calcul hydraulique**

## Calcul hydraulique

### Introduction

Dans le présent chapitre nous entamons une étude détaillée de la variante choisit, afin de mettre en clair tous les paramètres géométrique ainsi les paramètres hydraulique avec le dimensionnement de différents ouvrages annexe.

Le concept de protection de notre zone d'étude, est basé sur la crue centennale avec un débit  $Q=103.1 \text{ m}^3/\text{s}$  pour oued Menaiel et  $36.2 \text{ m}^3/\text{s}$  pour oued Besbes, qui doit être transité jusqu'à l'aval sans débordement.

Le calcul hydraulique se fait par l'utilisation des formules de l'hydraulique classique de l'écoulement à surface libre.

La variante retenue consiste à la projection d'un canal en béton armé pour l'oued Besbes. Pour l'oued Menaiel un canal mixte (radier en béton armé les berges en pierres maçonnées) dans le tronçon aval en en amont un aménagement écologiques et une restauration de l'oued sont retenus.

### 6.1 Aménagement écologique du tronçon amont de l'oued Menaiel

Le tronçon de rivière sur lequel va porter les travaux de restauration ainsi l'aménagement biologique des berges s'étendra de l'amont jusqu'à l'entrée de la cité dite Cherchel. Il représente un linéaire de 2110 m.

Vu le caractère torrentiel du Menaiel, il nécessaire de faire appel à des techniques souples qui supportent certains déformations et absorber une partie des contraintes hydraulique afin de réduire l'impact des crues, améliorer l'état de la rivière et la qualité des habitants aquatiques présents dans cet écosystème.

Pour protéger l'oued dans son ensemble, nous avons opté pour les techniques suivantes :

- La restauration de la rivière.
- Talutage des berges.
- Fascinage au pied des berges.
- Ensemencement de la mi-berge.
- Plantation sur les rives.

### 6.1.1 Restauration de la rivière

Une restauration est une action de traitement généralisé de la végétation du lit accompagnée de travaux ponctuels donnant une capacité homogène à un tronçon.

La restauration de l'oued Menaiel comporte les activités suivantes :

#### 6.1.1.1 Une activité de nettoyage

Pour éliminer les déchets domestiques accumulés dans la rivière (Pneu, Bouteilles, matériaux métalliques et sacs de plastiques).

#### 6.1.1.2 Démantèlement des embâcles

Le cycle de vie d'une forêt mène à un rassemblement de diverses espèces d'arbres très importantes pour les écosystèmes tout comme pour la rivière. Les poissons profitent de l'ombre créée par les arbres présents sur la bande riveraine puisque la température de l'eau y est plus adéquate pour la vie aquatique. Les arbres sur la berge évitent l'accumulation de sédiments et de polluants dans la rivière. En effet, ils réduisent le ruissellement de l'eau et augmentent l'infiltration de l'eau à l'aide de leur système racinaire. Leur présence au niveau de la zone riveraine est très bénéfique pour le cours d'eau. Toutefois, lors de la chute d'un arbre, l'accumulation de débris (branches, déchets, sédiments) peut s'avérer rapidement nuisible.



**Figure VI.1 : Formation d'embâcles par l'accumulation des débris.**

Les arbres de rives qui sont âgés deviennent plus fragiles, alors on doit les tronçonner afin de minimiser le risque de se tomber dans la rivière en période de crue.

### 6.1.1.3 Terrassement des tronçons rétrécis

Cette opération a pour but l'élargissement de la section de l'écoulement, amélioration des paramètres de l'écoulement suite à une amélioration des paramètres hydraulique, en évitant les affouillements localisés.

### 6.1.2 Talutage des berges

Cette opération consiste au terrassement des berges, pour obtenir une pente douce qui favorise l'ensemencement et diminue le risque de glissement.

### 6.1.3 Fascinage des pieds de berges

#### 6.1.3.1 Description et conception

La fascine de saule est une protection du pied de berge réalisée avec des branches de saules vivants, assemblées en fagots et disposées par couches successives entre deux rangées de pieux (fascine double). C'est une technique efficace qui apporte une protection mécanique immédiate, capable de résister à de fortes contraintes hydrauliques. Les fagots peuvent contenir en leur centre des matériaux terreux.

Cette technique constitue, par son effet mécanique, une protection stable dès la mise en place, même avant que les végétaux aient repris. Elle permet la réalisation d'épis vivant sur les bords des cours d'eau. Pour limiter l'affouillement on place des branches anti-affouillement en dessous et en arrière des fagots. Les branches des fagots reprendront et créeront un linéaire de saules le long de la berge. Le système racinaire puissant des saules empêchera l'érosion.

La confection de la fascine doit être précédée d'une préparation du terrain qui consiste à réaliser une petite plateforme (léger terrassement du pied de berge) en guise d'assise à l'ouvrage.

#### 6.1.3.2 Procédure de la mise en œuvre

- ❖ Prélèvement des branches vivantes de saule de longueur minimum de 200 cm et de  $\varnothing$  2-6 cm. Le sectionnement doit être fait avec un sécateur à enclume.
- ❖ Transport des branches vers le lieu de mise en œuvre.
- ❖ Assemblage des fascines en formant des fagots bien compressés de 5 m de longueur max, et d'un diamètre fini compris entre 30 et 40cm.
- ❖ Les ligatures d'assemblage seront réalisés avec de fil galvanisé de  $\varnothing$  2 mm tous les 80 cm.
- ❖ La pose des fascines dans un berceau creusé en pied de berge de façon à ce que la base du fagot soit bien en contact avec le sol.

- ❖ Les fascines seront posées en se succédant d'aval vers l'amont et en superposant, l'extrémité aval sur l'amont de la précédente.
- ❖ Fixation en berge avec des pieux en bois. Les pieux auront une longueur d'au moins 2 m et le  $\varnothing$  atteindra 7 à 15 cm. Les pieux seront écartés de 50 cm à 1 m de part et d'autre de la fascine et battus mécaniquement.
- ❖ La protection réalisée en fascines sera prolongée de 2 m vers l'amont en ancrant le dispositif dans la berge.
- ❖ L'extrémité des pieux sera recoupée après un dernier battage.

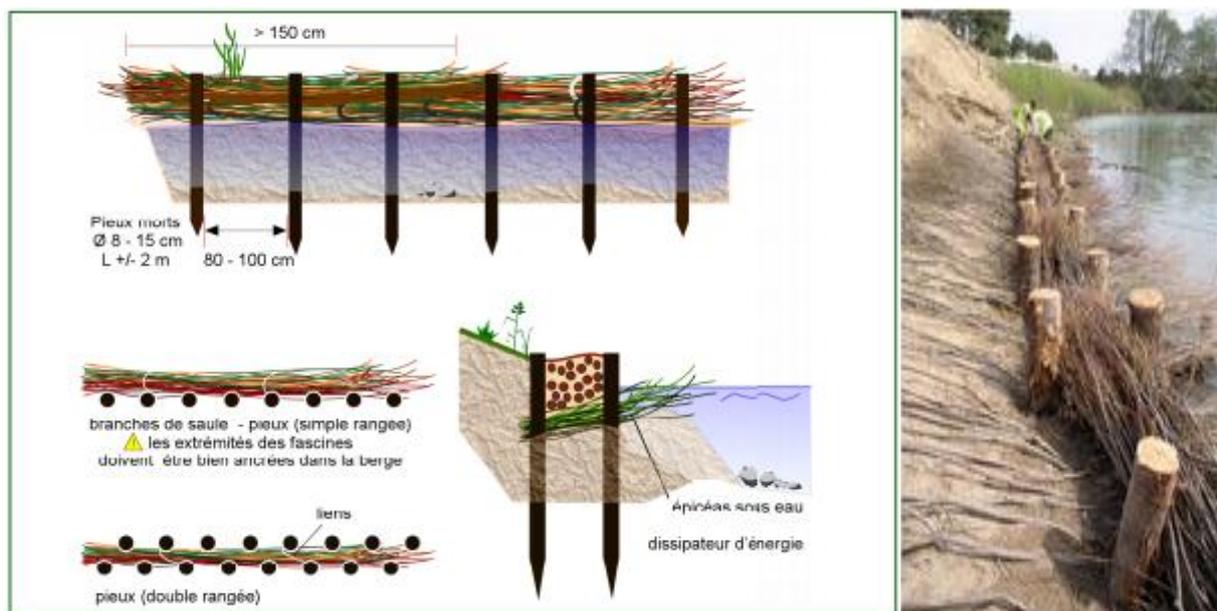


Figure VI.2 : mise en œuvre des fascines

### 6.1.3.3 Recommandation

Les branches de saules doivent être constituées d'espèces différentes afin de diversifier l'aménagement.

Les pieux sont placés en quinconce pour obtenir une retenue optimale des fagots.

Les branches anti-affouillement (ramilles de saules) placées en arrière des fagots sont indispensables pour éviter l'affouillement du pied de berge.

Pour obtenir un développement important de la fascine, les fagots doivent être tassés et compactés.

### 6.1.3.4 Entretien

- Recépage, si développement trop.
- Contrôle de la tenue des pieux.

### 6.1.4 Ensemencement de la mi- berge

#### 6.1.4.1 Description et Conception

L'ensemencement est une technique de stabilisation en surface de l'ensemble de la berge, par des grains d'espèces herbacées, réalisée manuellement ou hydrauliquement. Cette technique est surtout utilisée pour limiter l'érosion superficielle, notamment par ravinement.

Le choix se porte sur des espèces à bon enracinement mais à croissance faible, afin de réduire les travaux d'entretien.

L'ensemencement est souvent associé à la pose d'un géotextile biodégradable sur des berges terrassées, de manière à limiter l'érosion superficielle avant le développement complet des herbacées.



Figure VI.3 : Ensemencement des berges

#### 6.1.4.2 Procédure de la mise en œuvre

- Reprofilage de la berge et décompactage du sol.
- Mise en œuvre de géotextile biodégradable.
- L'ensemencement de la berge sera réalisé par projection hydraulique (mélange de la semence, engrais, matières de revitalisation des sols, mycorhizes, colle et eau).
- La mise en place se fait au-dessus du niveau moyen des eaux entre le mois d'avril et la mi-juin.
- Le sol est travaillé sur une profondeur de 10 cm environ et est ensuite tassé.
- Les semences sont répandues sur le sol, de manière assez dense : 20 g/m<sup>2</sup> sur berges plates et 40 g/m<sup>2</sup> sur berges abruptes.

### 6.1.4.3 Entretien

- Si nécessaire, faucher les berges à partir de la fin juin, pour respecter la nidification des oiseaux.
- Faucher avant la floraison des orties pour en limiter le dissémination.
- Ne pas tondre en une fois les deux berges, ni tout un tronçon enherbé (échelonner les travaux dans le temps et l'espace).
- Evacuer les herbes coupées pour limiter l'eutrophisation de l'eau et des berges.

## 6.1.5 Plantation sur les rives

### 6.1.5.1 Description et conception

La plantation est une technique simple de protection des berges par la mise en terre des arbres ou des végétaux enracinés. Il est nécessaire de respecter l'ordre naturel des successions végétales sur la berge, la distribution géographique et spatiale de chaque espèce, les besoins physiologiques de chaque espèce. Le choix des espèces doit se faire parmi les essences autochtones (régions, type de substrat, altitude, etc.).

Le reboisement des rives de tronçon amont de l'oued Menaiel sera pour protéger le milieu contre le glissement et l'érosion, et créer un paysage, pour redonner un ombrage au cours d'eau et pour créer un espace tampon entre l'eau et les cultures afin de réduire les transferts de nutriment

### 6.1.5.2 Choix des espèces

Les espèces proposées dans le cadre de cette étude sont le merisier pour la rive gauche et le chêne liège pour la rive droite. Ces deux espèces sont conseillées pour fixer les rives et berges, et ont un intérêt économique dont le premier est caractérisé par un bois précieux et le deuxième on exploite leur liège.

## 6.2 Aménagement par des canaux à ciel ouvert

### 6.2.1 Divers régimes d'écoulement à surface libre

Dans un écoulement à surface libre, le liquide s'écoule au contact de l'atmosphère. La surface libre est la surface de séparation entre l'eau et l'atmosphère. En tout point de cette surface, la pression égale à la pression atmosphérique.

Les écoulements à surface libre, peuvent être permanent [toutes les propriétés de l'écoulement sont constantes dans le temps] ou non permanent [dont l'une des propriétés est variable dans le temps]. Un écoulement permanent peut être uniforme [toutes les propriétés géométrique et hydraulique restent constantes sur une long distance le long de l'écoulement],

variant graduellement [La profondeur et la vitesse de l'écoulement varient graduellement le long de l'écoulement] ou variant brusquement [la vitesse et la profondeur varient d'une manière sensible sur une courte distance.

Finalement, un écoulement uniforme ou variant graduellement peut encore être caractérisé selon son régime : il peut être fluvial, critique ou torrentiel.

La figure VI.6 résume la classification des écoulements.

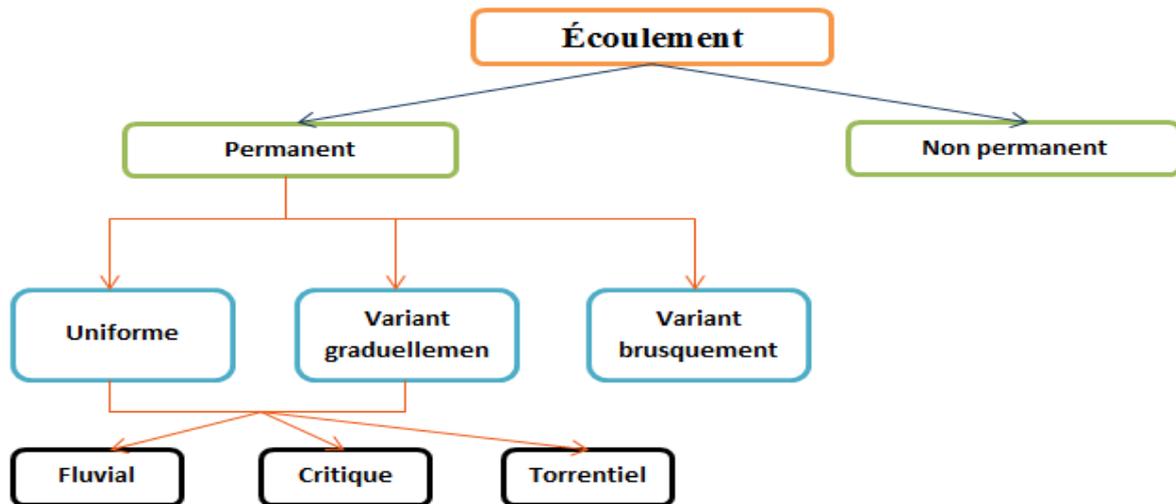


Figure VI.4 : Classification des écoulements [Source : (BENNIS ; 2009)]

### 6.2.2 Justification de choix de la section trapézoïdale

La géométrie d'un canal à section trapézoïdale permet de véhiculer un débit maximum par rapport aux autres sections en plus la variation de la hauteur d'eau est faible pour un changement de débit. En plus dans notre choix on n'a pas basé seulement sur le critère d'optimalité dont la meilleure section est celle qui représente un profit semi-circulaire, mais l'érosion des berges ainsi que la facilité de manutention et de pose sont incluses.

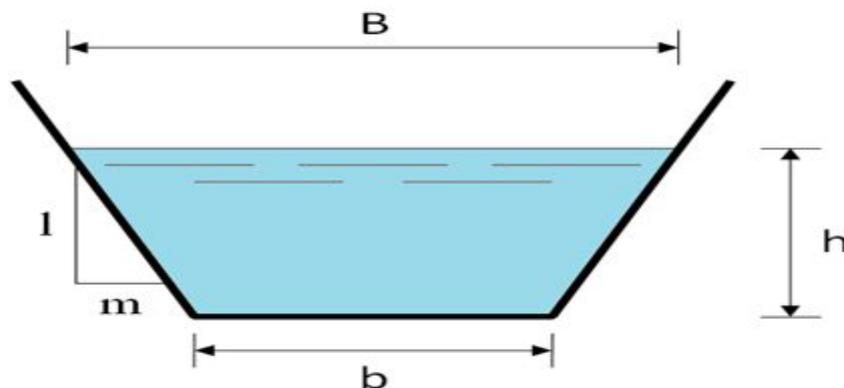


Figure VI.5 : Les paramètres géométriques d'une section trapézoïdale.

Avec :

m : Fruit du talus,  $m = \cotg \varphi$ .

h : Le tirant d'eau maximum (pour  $Q_{\max}$ ), en mètres.

B : La largeur supérieure du canal, en mètre.

b : La largeur inférieure du canal, en mètre.

### 6.2.3 Les paramètres géométriques

Pour choisir les dimensions et la pente d'un canal en fonction d'écoulement spécifié, on admet que l'écoulement est uniforme.

Pour effectuer l'écoulement on dispose de deux équations :

- L'équation de calcul du débit  $Q = V * S$ .
- L'équation de Manning [Formule V.1 ; chapitre V].

Avant d'accepter le choix final des dimensions d'un canal, il faut vérifier si la vitesse normale d'écoulement n'est ni trop petite pour produire la sédimentation des matières en suspension, ni trop grande pour causer l'érosion des parois.

A savoir les vitesses d'écoulements recommandés dépendent de la nature des parois et du fond, ainsi de la charge solide éventuelle que l'eau doit transporter sans déposition

**[Saad BENNIS].**

La hauteur du canal est égale à la hauteur de l'eau « profondeur normal », en l'ajoute la marge de sécurité prise dans notre étude à 0.5 m selon les hauteurs d'eau calculées.

#### 6.2.3.1 La pente d'un canal

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

Après le choix de la pente du canal. Dans un régime permanent uniforme on la considère égale à la pente de la ligne de l'énergie.

#### 6.2.3.2 Profondeur ou tirant d'eau

On appelle profondeur d'eau la hauteur au-dessus du point le plus bas de la section perpendiculaire à l'écoulement. On la note souvent par h ou y. Lorsque l'écoulement est uniforme cette profondeur s'appelle la profondeur normale, pour la calculer on dispose de plusieurs formules à savoir :

- Méthode graphique.
- Méthode itérative.

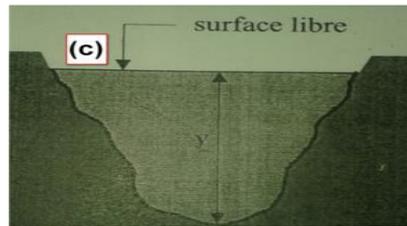


Figure VI.6 : Tirant d'eau [Source : Saad BENNIS]

A un débit donné,  $h_n$  est appelée profondeur normale, une fois fixées la nature de la paroi et la pente, on dispose en régime permanent uniforme d'une relation (Formule V.1) reliant la profondeur  $h$  au débit  $Q$ . La détermination de la profondeur  $h_n$  dans notre cas se fait par la méthode itérative.

**6.2.3.3 Section mouillée**

On appelle section mouillée d'un canal la portion de la section du canal limitée par Les parois du canal et la surface libre (Figure VI.4 [a]).

$$S_m = (b + my) * y \dots\dots\dots(VI.1)$$

Avec :

$S_m$  : Section mouillée.

$b$  : La largeur inférieur du canal (m).

$m$  : Fruit du talus.

$y$  : Profondeur normale (m).

**6.2.3.4 Périmètre mouillé**

On appelle périmètre mouillé d'un canal, le périmètre de la section mouille qui inclut les parois solides mais ne comprend pas la surface libre (figure VI.4(b)).

$$P_m = b + 2 * y \sqrt{1 + m^2} \dots\dots\dots(VI.2)$$

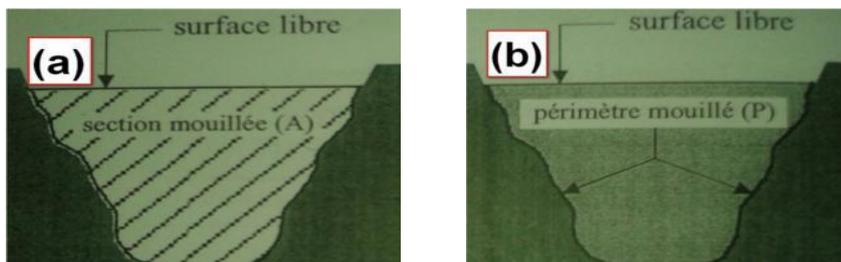


Figure VI.7 : Section mouillée (a) et périmètre mouillée (b). Source : Saad BENNIS

**6.2.3.5 Rayon hydraulique**

On appelle rayon hydraulique le quotient de l'aire de la section mouille  $S_m$  et du périmètre mouillé  $P_m$  :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} \dots\dots\dots(VI.3)$$

### 6.2.3.6 La largeur au miroir

Représente la largeur de la section mouillée à la surface libre, on la note généralement par  $B$ . La connaissance de cette largeur nous permet de renseigner sur la répercussion de la variante d'aménagement sur le risque d'aménagement.

$$B = b + 2 * m * h \dots \dots \dots (VI.4)$$

### 6.2.4 Paramètres hydrauliques

Pour calculer les paramètres hydrauliques (Profondeur d'eau, profondeur critique, profondeur de la ligne d'énergie, vitesse d'écoulement, nombre du Fraude) de l'oued Menaiel et Besbes. On fait la résolution de l'équation pour un régime uniforme graduellement varia on distingue pour cela deux méthodes :

- Méthode indirecte d'intégration numérique pour les canaux prismatique.
- Méthode pour les canaux non prismatique.

Pour des résultats plus exacts, on utilise la deuxième méthode.

#### 6.2.4.1 Méthode pour les canaux non prismatique

Notre objectif est la détermination de la profondeur du tirant d'eau en différentes positions, qui servent de points d'interpolation dans la procédure appelée « calcul de courbe de remous », pour obtenir la ligne d'eau ainsi la ligne d'énergie.

L'équation de Bernoulli entre deux sections (1) et (2) s'écrit :

$$y_1 + \alpha_1 \frac{Q^2}{2gA_1^2} + S_0 \Delta x = y_2 + \alpha_2 \frac{Q^2}{2gA_2^2} + S_f \Delta x + h_s \dots \dots \dots (VI.5)$$

Avec :

$h_s$  : Étant la perte de charge singulière due aux changements de section ou de la direction.

En général, quand l'écoulement est torrentiel, on doit calculer, les profondeurs d'eaux d'allant de l'amont vers l'aval. Quand l'écoulement est fluvial, on doit procéder de l'aval vers l'amont comme suite, on posant :  $y_2 = y_{ref}$

1. Attribuer une valeur à  $y_1$ .
2. Utiliser  $y_1$  et  $y_2$  pour calculer  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $h_s$ ,  $S_{f1}$  et  $S_{f2}$  à l'aide de l'équation de Manning, puis  $S_f = (S_{f1} + S_{f2})/2$ .
3. Si l'équation (VI.5) est vérifiée a une tolérance près, on arrête les calculs; sinon, on modifie  $y_1$ .et on recommence à l'étape 2.

Quand l'écoulement est torrentiel, la procédure est similaire en partant de la Profondeur  $y_1$  qui doit être connue.

Il s'agit, bien évidemment, de calculs itératifs qui sont intégrés dans des logiciels tels que HEC-RAS (U.S. Army, 1995).

**N.B** : dans nos calculs, on suppose un régime d'écoulement mixte, pour cela on doit connaître la profondeur amont et aval simultanément.

#### 6.2.4.2 Profondeur critique

La profondeur critique  $h_c$  est une profondeur qui correspond à une charge spécifique minimale  $h_s$ . Pour la calculer on utilise la méthode itérative, dont la procédure est la suivante :

Pour un régime critique le nombre de fraude égale à 1 alors :

$$Fr = \frac{B \cdot Q^2}{g \cdot A^3} = 1 \dots\dots\dots(VI.6)$$

Nous remplaçons respectivement B et A par leurs formules, on aura :

$$\frac{(b+2 \cdot m \cdot y_c) \cdot Q^2}{g \cdot y_c^3 (b+m \cdot y_c)^3} = 1 \dots\dots\dots(VI.7)$$

On connaît b, m, g, Q et on attribue des valeurs à  $y_c$  pour assurer l'égalité de la relation.

#### 6.2.4.3 Calcul de la vitesse d'écoulement

Le calcul de la vitesse est nécessaire pour vérifier si cette dernière est assez élevée pour éviter la sédimentation de matière en suspension et n'est pas trop forte pour causer l'érosion.

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * \sqrt{S_f} \dots\dots\dots(VI.8)$$

Avec :

$S_f$  = La pente de la ligne d'énergie.

#### 6.2.4.4 Nombre du Froude

C'est le rapport entre les forces de gravité et celles d'inertie ou:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}} \dots\dots\dots(VI.9)$$

Le rôle du nombre de Froude est de permettre le classement des écoulements comme suit :

- écoulement fluvial  $Fr < 1 \Rightarrow hcr < hn$ .
- écoulement torrentiel  $Fr > 1 \Rightarrow hcr > hn$ .
- écoulement critique  $Fr = Fcr = 1 \Rightarrow hcr = hn$ .

### 6.2.5 Calcul des paramètres géométrique et hydraulique

#### 6.2.5.1 Oued Menaiel [tronçon aval]

La solution retenue consiste à la projection d'un canal de forme trapézoïdale en revêtement mixte, dont le radier sera couvert en béton armé et les berges en pierres maçonnées. Un tel

revêtement est caractérisé par un coefficient de frottement estimé à 0.018 [Source : Saad BENNIS, 2009]. Le canal s'étale sur une longueur de 1890 m.

Les paramètres géométriques et hydrauliques de l'écoulement calculés suivant les formules citées au-dessus sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau VI.1 : Calcul des paramètres géométriques du canal de l'oued Menaiel.

Canal	Nature	Tronçons	Q1	L	I	N	m	b	Heau	Sm	Pm	RH	B	H
			m <sup>3</sup> /s	m	m/m	//////	m/m	m	m	m <sup>2</sup>	m	m	m	m
Canal -A-	Mixe	A1-A16	103.1	450.0	0.0101	0.018	1.00	6.00	1.92	15.21	11.43	1.33	9.84	2.50
		A16-A25	103.1	270.0	0.0062	0.018	1.00	6.00	2.21	18.14	12.25	1.48	10.42	2.70
		A25-A52	103.1	810.0	0.0046	0.018	1.00	6.00	2.40	20.16	12.79	1.58	10.80	2.90
		A52-A63	103.1	330.0	0.0045	0.018	1.00	6.00	2.42	20.38	12.48	1.59	10.84	3.00

Tableau VI.2 : Calcul des paramètres hydrauliques dans le canal de l'oued Menaiel.

Canal	Nature	Tronçons	Q1	L	b	Heau	Hcr	H <sub>ligne d'énergie</sub>	I <sub>ligne d'énergie</sub>	Vitesse	Froude
			m <sup>3</sup> /s	m	m	m	m	m	m/m	m/s	////
Canal -A-	Mixe	A1-A16	103.1	450.0	6.00	1.92	2.66	4.24	0.01	6.73	1.72
		A16-A25	103.1	270.0	6.00	2.21	2.66	3.85	0.006	5.68	1.37
		A25-A52	103.1	810.0	6.00	2.40	2.66	3.73	0.05	5.09	1.19
		A52-A63	103.1	330.0	6.00	2.42	2.66	3.54	0.06	5.11	1.72

**Commentaire :**

La largeur au miroir avec les dimensions retenus pour chaque tronçon varie de 11 m à 12 m , en comparant avec les valeurs trouvées on constate que ces dernières sont inférieures, alors la répercussion de la nouvelle capacité donnée au canal est rentable, ce qui nous permet de conclure sur l'absence de débordement dans le futur canal.

Les vitesses d'écoulement varient entre 5 à 7 m/s dans les différents tronçons, ces valeurs sont inférieures aux valeurs limites de l'érosion des berges fixées entre 10 à 14 m/s pour un revêtement en pierre maçonnées.

Le régime d'écoulement est torrentiel le long du canal, caractérisé par des vitesses élevées, afin d'assurer l'évacuation rapide de flux de la crue.

6.2.5.2 Oued Besbes

Un canal de forme trapézoïdale revêtu en béton armé, est retenu comme solution d'aménagement de l'oued Besbes. Le béton est caractérisé par un coefficient de frottement estimé à 0.014 [Source : Saad BENNIS, 2009]. Le canal s'étale sur une longueur de 1770 m.

Les paramètres géométriques et hydrauliques de l'écoulement sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau VI.3 : Calcul des paramètres géométriques du canal de l'oued Besbes**

Canal	Nature	Tronçons	Q1	L	I	N	m	b	Heau	Sm	Pm	RH	B	H
			m <sup>3</sup> /s	m	m/m	////	m/m	m	m	m <sup>2</sup>	m	m	m	m
Canal -B-	Béton armé	B1-B4	36.2	90	0.011	0.014	1.00	3.00	1.28	5.48	6.62	0.83	5.56	1.80
		B4-B27	36.2	690	0.0094	0.014	1.00	4.00	1.16	5.99	7.28	0.82	6.32	1.80
		B27-B31	36.2	120	0.0061	0.014	1.00	4.00	1.31	6.96	7.71	0.90	6.62	1.80
		B31-B37	36.2	180	0.012	0.014	1.00	4.00	1.08	5.49	7.05	0.78	6.16	1.80
		B37-B48	36.2	330	0.0077	0.014	1.00	4.00	1.23	6.43	7.48	0.86	6.46	2.00
		B48-B60	36.2	360	0.004	0.014	1.00	4.00	1.48	8.11	8.19	0.99	6.96	2.00

**Tableau VI.4 : Calcul des paramètres hydrauliques dans le canal de l'oued Besbes.**

Canal	Nature	Tronçons	Q1	L	b	Heau	Hcr	H <sub>ligne d'énergie</sub>	I <sub>ligne d'énergie</sub>	Vitesse	Froude
			m <sup>3</sup> /s	m	m	m	m	m	m/m	m/s	////////
Canal -B-	Béton armé	B1-B4	36.2	90	3.00	1.28	1.74	2.93	0.0085	6.38	1.9
		B4-B27	36.2	690	4.00	1.16	2.08	3.04	0.0069	5.92	1.69
		B27-B31	36.2	120	4.00	1.31	1.74	2.75	0.0067	6.55	1.7
		B31-B37	36.2	180	4.00	1.08	1.21	2.05	0.00059	26.56	0.34
		B37-B48	36.2	330	4.00	1.23	1.74	2.81	0.007	6.49	1.77
		B48-B60	36.2	360	4.00	1.48	1.74	2.5	0.004	6.95	1.33

**Commentaire :**

La largeur au miroir avec les dimensions du canal de l'oued Besbes varient entre 6 à 8 m, et celle trouvées avec la hauteur normale en régime uniforme sont inférieures à ces derniers, cela se traduit par l'absence de débordement le long du canal, sauf à la sortie du tronçon B 31.

Dans le tronçon [B31-B37] : la vitesse d'écoulement est de 26.56 m/s, qui est supérieure à la vitesse limite de l'érosion des berges, variant entre 14 à 20 m/s pour un matériau partiel, contrairement aux d'autres tronçons où les vitesses sont acceptables.

Le régime d'écoulement est torrentiel en amont du tronçon B31-B37 et à son aval, mais le long de ce dernier le régime est fluvial avec un nombre de fraude de 0,34.

Alors juste à l'entrée de ce tronçon, on constate une variation brusque des paramètres hydraulique de l'écoulement, cette variation se manifeste lorsque un écoulement torrentiel caractérisé par un nombre de fraude supérieure à 1 devient fluvial avec un nombre de fraude inférieur à 1 [dans notre cas fraude de 1.7 a devenu 0.34] et en pratique elle se traduit par une surélévation brusque de la surface libre d'un courant engendrant un débordement du cours d'eau, et provoque une dissipation d'énergie par turbulence, accompagnée d'une érosion. Cette transformation dans le régime d'écoulement est connue sous nom de ressaut hydraulique.

La cause qui a entraînée l'apparition de ce phénomène est la différence de pente entre tronçon amont caractérisé par une pente d'ordre 0.0061 m/m et le tronçon concerné marqué par une pente d'ordre 0.012. Cette différence est maintenue lors de choix des pentes du radier afin d'éviter les grands travaux de terrassement.

Pour remédier soit on modifier la pente et on refait le dimensionnement, cette solution est écartée voir le coût des travaux de terrassement qui seront plus exhaussé. Alors on va opter pour un bassin d'amortissement dans le but de confiner le ressaut hydraulique dans un espace déterminé et on évite l'affouillement du canal et l'érosion des berges.

**6.3 Les ouvrages d'entrés**

Le rôle de l'ouvrage d'entrée en béton, projeté en amont de chaque canal d'aménagement permet la collecte et la direction des eaux de chaque oued vers leur canal.

La longueur de l'ouvrage d'entrée devra être au moins égale à la différence des deux largeurs (L et l).

Le principe de dimensionnement des convergents est comme suit :

Si (L) est la largeur en gueule de la plus grande section et (l) celle de la plus petite, la longueur de l'ouvrage d'entrée sera égale au moins  $(L - l)$

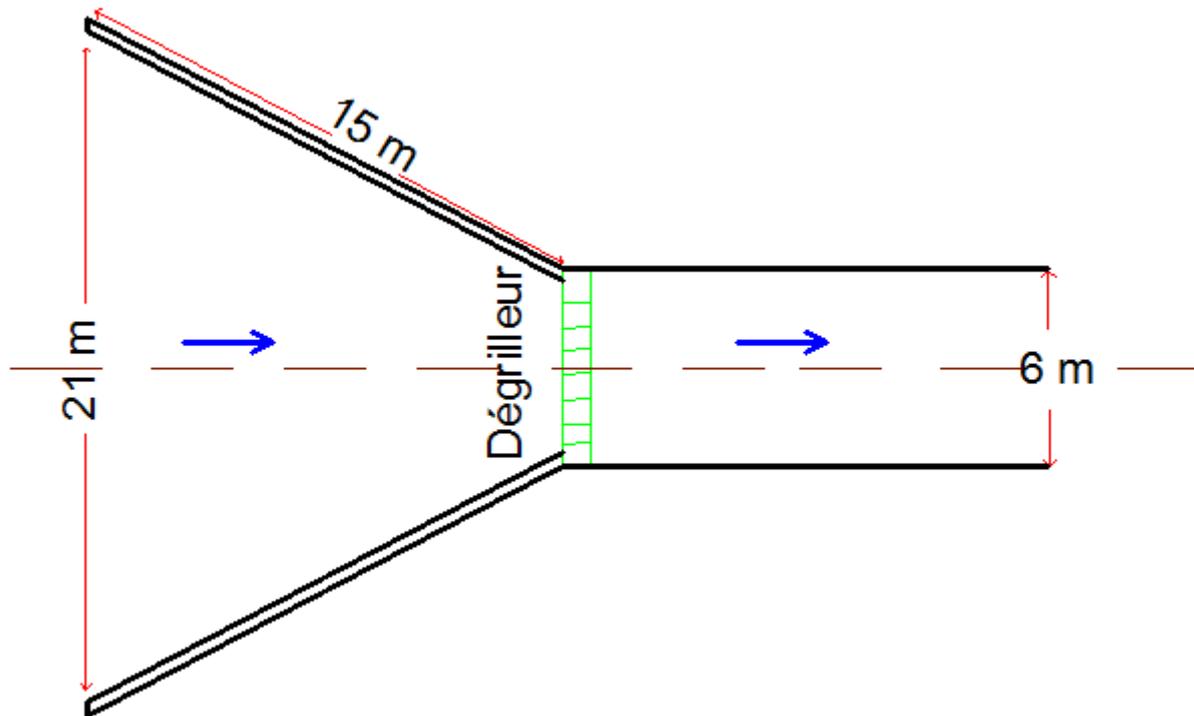


Figure VI.8 : coupe type de l'ouvrage d'entrée de l'oued Menaiel avec ses dimensions

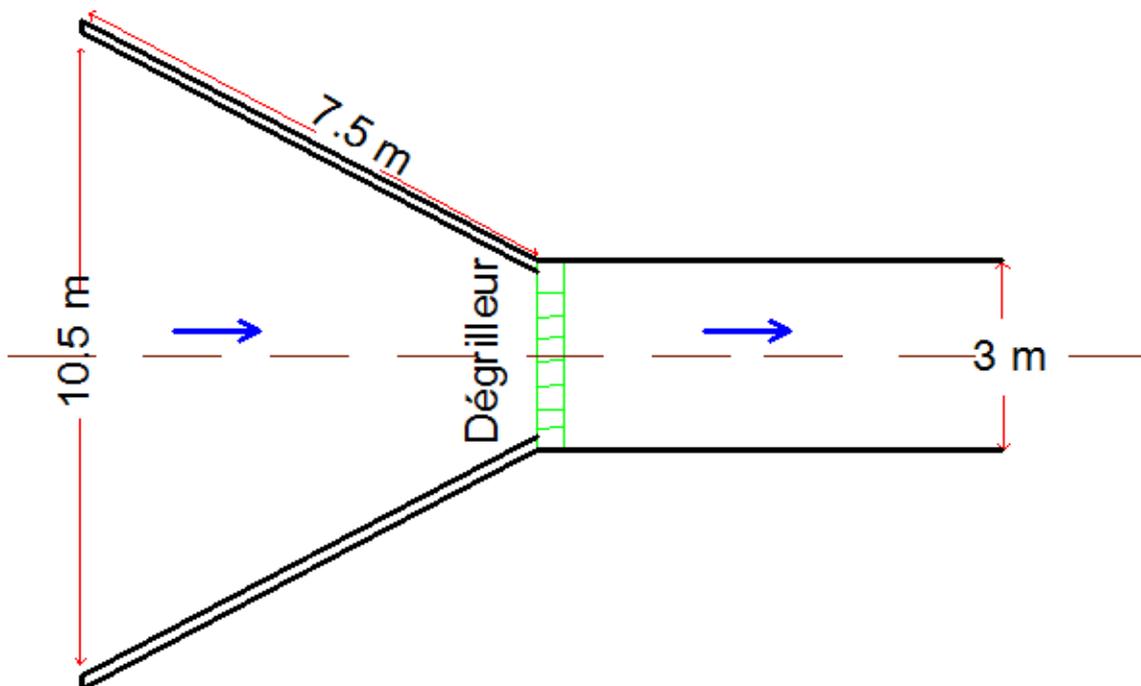


Figure VI.9 : coupe type de l'ouvrage d'entrée de l'oued Besbes avec ses dimensions

#### 6.4 Vérification des traversées de route et chemin de fer

La mission de diagnostic nous a permis de constater l'existence de plusieurs ouvrages traversant respectivement l'oued Menaiel et Besbes, dont leurs dimensions sont connues.

Suit aux nouvelles capacités de transition que les deux oueds vont avoir avec la projection des deux canaux, la vérification des dimensions des ouvrages existants semble indispensable, afin d'éviter toute perturbation de l'écoulement en amont et en aval de chaque ouvrage.

On a procédé à la vérification afin de maintenir les traversées qui sont en bon état hydraulique, et de projeter d'autres à la place des traversées qui ne remplissent pas leurs fonctionnalités. Pour faire, on a calculé la capacité de l'ouvrage et on le compare avec le débit de dimensionnement.

Les détails de calcul et les résultats sont représentés dans les deux tableaux suivants :

**Tableau VI.5 : Vérification de la capacité des traversées de la route et chemin de fer (oued Menaiel)**

N°	Désignation	Dimensionnement initial		Vérification hydraulique Q=m <sup>3</sup> /s		Recommandation	
		L (m)	H (m)	Q1%	Qc		
1	Ponceau Cité bastos	7.70	2	103.1	87.60	A projeter	
2	Ponceau Cité million	10.20	1.80	103.1	160.00		A maintenir
3	Ponceau Cité Coopérative	6.70	1.15	103.1	37.47	A projeter	
4	Pont Traversée de route	25.80	5.10	103.1	814.00		A maintenir
5	Point Traversée De la voie fermée	6.90	1.70	103.1	85.00	A projeter	
6	Point Traversée de l'auto route	9.5	4.20	103.1	408.20		A maintenir

Sur les sept ouvrages existants, on trouve trois qui ont la capacité nécessaire pour évacuer la crue de projet, pour les quatre restants leur capacité est insuffisante alors on prévoit la projection de d'autres ouvrages avec une capacité convenable afin d'éviter tout débordement.

**Tableau VI.6 : Vérification de la capacité des traversées de la route et chemin de fer (oued Besbes)**

N°	Désignation	Dimensionnement initial		Vérification hydraulique Q=m <sup>3</sup> /s		Recommandation	
		L (m)	H (m)	Q10%	Qc		
1	Passage en dalot	2.20	1.50	36.2	25.22	A projeter	
2	Passage en dalot	2.10	2.00	36.2	47.47		A maintenir
3	Passage en dalot	Ø(1.00) Ø (1.50)		36.2	64.71		A maintenir
4	Passage en dalot	3.00	1.10	36.2	20.37	A projeter	
5	Auto Route	0.70	2.00	36.2	6.36	A projeter	
6	Traversée de route	3.00	1.40	36.2	31.41	A projeter	
7	La voie ferrée	Ø(2x0.6)		36.2	4.41	A projeter	

### Etude du ressaut

Lorsqu'un écoulement torrentiel rencontre un écoulement fluvial, la jonction se fait avec une forte discontinuité du tirant d'eau et une importante agitation qui dissipe une grande partie de l'énergie acquise dans le tronçon torrentiel. Le ressaut hydraulique se manifeste par une brusque surélévation du niveau d'eau ( $h_2-h_1$ ), sur une très courte distance.

Il est accompagné par des mouvements très turbulents, avec des instabilités à la surface. Le ressaut provoque une dissipation importante de l'énergie mécanique.

Les principales caractéristiques d'un ressaut sont les suivantes :

- Hauteurs conjuguées ( $h''$  et  $h'$ ).
- Hauteur de ressaut ( $h'' - h'$ ).
- La longueur approximative du ressaut ( $L_{RH}$ ).

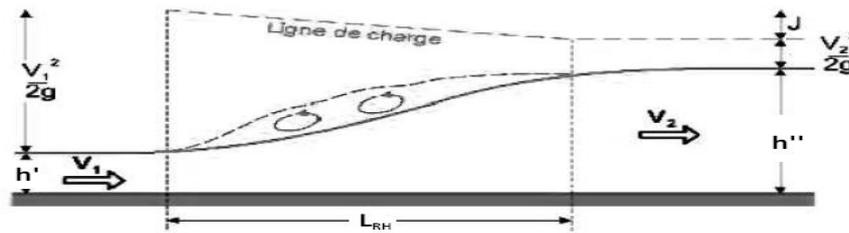


Figure VI.10 : Schéma d'un ressaut hydraulique.

Afin de confiner le ressaut hydraulique constaté dans les profils N°810, 660, 180 pour l'oued Menaiel et dans le profil N° 690 pour l'oued Besbes [chapitre V] dans un espace déterminé et éviter l'affouillement des canaux et l'érosion des berges on construit un bassin d'amortissement dont les caractéristiques sont spécifiées par le Bureau Américain de Réclamation (USBR,1987).

Puisque le nombre de Fraude caractérisant l'écoulement dans ces profils est inférieur à 2.5, alors il n'est pas nécessaire d'incorporer des aménagements spéciaux dans le bassin d'amortissement à savoir Bloc de chute, Seuil denté ou bloc d'amortissement. Ce bassin de type I doit cependant avoir une longueur suffisante d'au moins 4\*Y2 (Y2 caractérise la profondeur conjuguée aval). [Saad BENNIS, Hydraulique et Hydrologie, 2009].

Pour calculer les caractéristiques de ressaut, on utilise la méthode tabulaire d'Agroskine, cette méthode repose sur le calcul d'énergie spécifique E0 et la détermination de la fonction auxiliaire.

$$E_0 = P + H_0 \dots \dots \dots (VI.10)$$

Eo : énergie spécifique.

P : hauteur de chute.

H0 : hauteur déversante.

Avec :

$$H_0 = H + \frac{V_0^2}{2 \cdot g} \dots \dots \dots (VI.11)$$

Calcul de la fonction auxiliaire :

$$\varphi(\tau_c) = \frac{q}{\sigma \cdot E_0^{3/2}} \dots \dots \dots (VI.12)$$

q : débit spécifique.

σ : Coefficient de résistance, on prend σ = 1.

Eo : énergie spécifique.

Calcul des hauteurs conjuguées :

$$h' = \tau' * E_0 \dots \dots \dots (VI.13)$$

$$h'' = \tau'' * E_0 \dots \dots \dots (VI.14)$$

$\tau'$  et  $\tau''$  sont calculé à partir de l'annexe IV.1 par interpolation.

- Si  $h'' < h_{\text{aval}}$  => un ressaut t noyé (pas de bassin de dissipation).
- Si  $h'' > h_{\text{aval}}$  => un ressaut dénoyé (un bassin de dissipation sera installé).

La longueur de ressaut :

Il y a plusieurs formules pour calculer la longueur d'un ressaut, on distingue :

Formule de Parlovski :  $L_{RH} = 2.5 * (1.9 * h'' - h') \dots \dots \dots (VI.14)$

Formule de Tchertoussour :  $L_{RH} = 10.3 * h' * (\sqrt{F_r} - 1)^{0.82} \dots \dots \dots (VI.15)$

Formule de Pikalor :  $L_{RH} = 4 * h' * (\sqrt{1 + 2 * F_r}) \dots \dots \dots (VI.16).$

Pour notre calcul on utilise la formule de Parlovski.

La longueur de bassin d'amortissement :

$$L_{bassin} = 3 * h'' \dots \dots \dots (VI.17).$$

Les résultats de calcul sont donnés dans les tableaux suivants :

**Tableau VI.7 : Caractéristiques de ressaut hydraulique (Oued Menaïel).**

N° de profils	E <sub>0</sub> (m)	q = Q/B (m <sup>2</sup> /s)	φ(τ <sub>c</sub> )	τ'	τ''	hauteurs conjuguées (m)		Longueur de ressaut (m)	Longueur de bassin (m)
						h'	h''		
810	3.73	3.36	0.4668	0.112	0.577	0.42	2.15	9.18	6.46
660	3.72	3.60	0.5016	0.121	0.594	0.45	2.21	9.37	6.63
180	3.72	2.58	0.3592	0.085	0.507	0.32	1.88	8.17	5.66

**Tableau VI.8 : Caractéristiques de ressaut hydraulique (Oued Besbes)**

N° de profils	E <sub>0</sub> (m)	q = Q/B	φ(τ <sub>c</sub> )	τ'	τ''	hauteurs conjuguées (m)		Longueur de ressaut (m)	Longueur de bassin (m)
						h'	h''		
690	2.8	0.91	0.1932	0.045	0.391	0.13	1.1	4.89	3.28

En comparant la hauteur conjuguée aval avec la profondeur normale localisée en chaque profil (tableau V.12, V.13 : chapitre V), on constate qu'au niveau des trois profils de l'oued Menaïel le ressaut est submergé, contrairement au profil de l'oued Besbes où on a un ressaut dénoyé. Donc on doit installer un bassin d'amortissement en tout profil caractérisé par un ressaut dénoyé.

**6.5 Bassin d’amortissement**

Un bassin de dissipation est un ouvrage construit en vue de dissiper l’énergie de l’eau (ressaut hydraulique) et d’éviter l’usure, l’érosion ou la destruction qu’elle pourrait provoquer à l’ouvrage ou à son environnement.

Pour déterminer la profondeur de bassin d’amortissement on utilise la méthode d’Agroskine.

$$b_{n0} = \sigma * h'' - h_{aval} \dots \dots \dots (VI.17)$$

$b_{n0}$  : Profondeur de bassin d’amortissement qui correspond à  $E_0$ .

$$E_{01} = E_0 + b_{n0} \dots \dots \dots (VI.18)$$

D’où :

$$\varphi_1(\tau_c) = \frac{q}{\sigma * E_{01}^{3/2}} \dots \dots \dots (VI.19)$$

$$= \tau'_1 * E_{01} \dots \dots \dots (VI.20)$$

$$h''_2 = \tau''_1 * E_{01} \dots \dots \dots (VI.21)$$

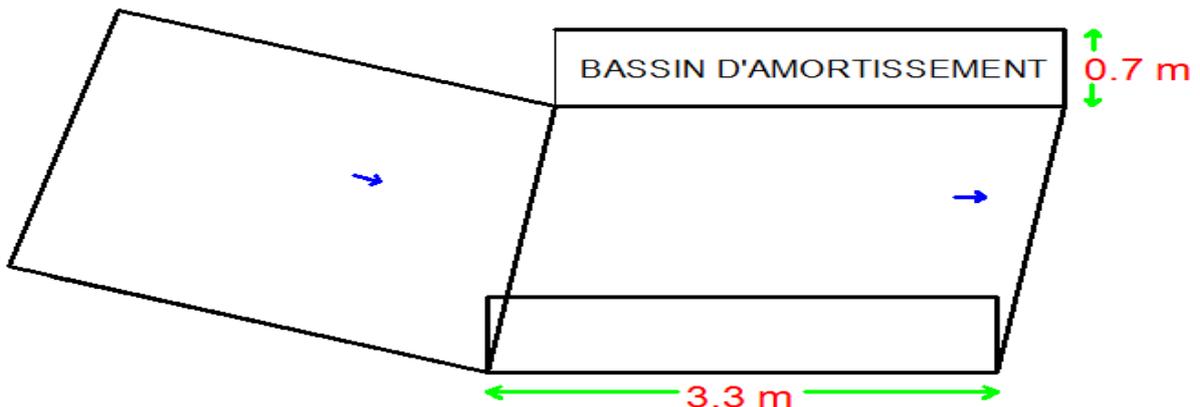
$$b_{n1} = \sigma * h''_1 - h_{aval} \dots \dots \dots (VI.22)$$

Si  $\left(\frac{b_{n1}-b_{n0}}{b_{n0}}\right) * 100 < 7\%$  , on peut prendre  $b_{bassin} = b_{n1}$  ;

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau VI.9 : Calcul de la largeur du bassin d’amortissement (Oued Besbes).**

E <sub>01</sub>	$\varphi_1(\tau_c)$	$\tau'_1$	$\tau''_1$	hauteurs conjuguées (m)		Vérification	bn <sub>1</sub> bassin (cm)
				h' <sub>1</sub>	h'' <sub>1</sub>		
2.81	0.1921	0.042	0.39	0.12	1.1005	0.05	70



**Figure VI.11 : les dimensions du bassin d’amortissement type I.**

➤ **Recommandations**

Pour une exécution du projet conforme aux règles de l’art, il y’a lieu de porter quelques recommandations en termes de confection :

- ❖ Les canaux, ainsi les ouvrages annexes prévus en béton armé, nécessitent une couche en gravier pour assurer le bon drainage des eaux.
- ❖ L'entretien de l'ensemble du projet, notamment les canaux, les ouvrages annexes et les ouvrages d'entrée, doit être périodique et systématique ; ce qui est impératif après chaque forte averse, et ce dans le but d'une meilleure durabilité.
- ❖ Afin d'éviter que ces canaux à ciel ouvert qui traversant la ville de Bordj Menaiel, se transforment en décharge publique, nous proposons de les couvrir avec des grilles maillées de petits diamètres.

### Conclusion

Le dimensionnement a été établi en tenant compte des différentes contraintes présentes.

Nous avons ressorti un écoulement torrentiel majoritaire le long des canaux d'aménagement, caractérisé par des hauteurs inférieures à la hauteur critique et des vitesses importantes, qui vont permettre l'évacuation rapide de la crue, sans risque d'érosion et un nombre de Froude variant entre 1 et 2.

La transition entre l'amont aménagé par des techniques biologiques et l'aval caractérisé par des canaux en béton ou mixte, est assurée par l'ouvrage d'entrée qui va orienter et diriger les eaux. La conformité des ouvrages traversant les deux oueds est vérifiée, dont nous avons maintenu ceux qui sont en bonne état, avec une capacité satisfaisante pour évacuer les eaux de la crue du projet, nous avons recommandé de projeter des nouvelles traversées à la place des ouvrages vétustes qui fonctionnent mal.

La perturbation du régime d'écoulement dans quelques tronçons localisés, est corrigée par la projection des bassins d'amortissement, après avoir étudié les caractéristiques du ressaut qui se forme pour bien le positionner et le confiner.

# Chapitre VII :

## Organisation de chantier

## Introduction

L'organisation de chantier est une démarche visant à gérer de bout en bout pour le bon déroulement d'un projet. Elle nous permet d'avoir une idée sur le coût et le délai de réalisation de notre projet, en basant sur des calculs qui consistent à déterminer les quantités de toutes les opérations effectuées sur terrain pour la réalisation, ensuite les multiplier par le prix unitaire correspond.

D'autres parts l'organisation de chantier permet d'apporter une contribution à l'organisation des travaux, qualifiant les choix des engins et de successions des tâches qui influent sur les coûts du projet et son délai d'exécution.

Le but de ce chapitre est de faire une organisation de chantier de projet d'aménagement de l'oued Menaiel et Besbes pour protéger la ville de Bordj Menaiel contre les inondations.

### 7.1 Généralités

#### 7.1.1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier

Il nous paraît indispensable de rappeler les rôles des différentes personnes amenées à intervenir dans l'acte de construction.

Personne à intervenir	Leur rôle
<b>Le maître de l'ouvrage</b>	C'est une personne physique ou morale pour laquelle s'exécute les travaux, il définit le but à atteindre, et assure le financement.
<b>Le maître d'œuvre</b>	C'est une personne physique ou morale désignée par le maître d'ouvrage pour recevoir l'ouvrage, et assure le contrôle lors d'exécution.
<b>L'entreprise</b>	C'est la réunion des moyens mobiles et immobile et en personnel dont l'objectif est de réaliser les travaux.
<b>L'entrepreneur</b>	C'est une personne physique ou morale, titulaire d'un marché de travaux conclu avec le maître d'ouvrage, chargée de l'exécution des travaux.

#### 7.1.2 Les moyens de chantier

##### 7.1.2.1 Les moyens humains

En ce qui concerne les moyens humains pour la réalisation, on doit justifier la mise en œuvre Du personnel compétant pour la réalisation des études préalables et pour la construction en précisant leurs titres et leurs compétences.

### 7.1.2.2 Les moyens matériels

On distingue le matériel général de terrassement et le matériel de bétonnage.

#### 7.1.2.2.1 Le matériel de terrassement

Le matériel général de terrassement comprend les engins suivants :

##### a.1. Pelle mécanique

Engin de terrassement qui convient à tous les types de terrain, dont le rôle est exécution des déblais.



Figure VII.1 : Pelle à chenilles avec godet à position rétro.

##### a.2. Le bulldozer :

C'est un engin de terrassement dont le rôle est défrichage, déplier les obstacles, nettoyage de l'oued, comblai les trous et de tresser les talus.



Figure VII.2 : bulldozer

### a.3. Chargeur à pneu ou à chenilles :

Se sont des tracteurs sur les quelles on monte à l'avant deux bras articulés actionnés par des vérins et portant un godet.



**Figure VII.3 : chargeur pneumatique**

### a.4. Camion à benne :

Se sont des véhicules lourds porteurs et tracteurs de terre et de marchandises.



**Figure VII.4 : camion à benne**

#### 7.1.2.2.2 Le matériel de bétonnage

On utilise le plus souvent des bétonnières, se sont des machines servant à malaxer les différents constituants du béton (ciment, sable, gravier, eau) nécessaire pour la construction des canaux en béton.



Figure VII.5 : bétonneuse.

### 7.1.3 Installation du chantier

#### 7.1.3.1 Installations destinées au personnel

Ce sont généralement les dortoirs, vestiaires, réfectoires, installations sanitaires et les bureaux de chantier.

#### 7.1.3.2 Installation destinées au stockage des matériaux

Pour les ciments nous utilisons soit des silos, soit des baraquements en bois ou en métal, les agrégats sont stockés en plein air, seulement nous prévoyant un cloisonnement entre les différents types d'agrégats pour éviter leur mélange et de ce fait faciliter le dosage du béton.

Les aciers doivent être stockés dans des endroits loin de la forte humidité (Baraquement, hangars...).

### 7.2 Succession des opérations du chantier

#### 7.2.1 Travaux préparatoires

- Aménagement des pistes de circulation des engins et des aires de stockage de matériaux de construction.
- L'abattage des arbres les roseaux.
- La démolition et/ ou le démontage des constructions et /ou clôtures.

#### 7.2.2 Exécution de l'ouvrage

Ils consistent essentiellement en :

- 1) Le piquetage d'implantation pour le terrassement.
- 2) L'exécution des déblais et des remblais.
- 3) Exécution de la couche du gravier  $d = 10$  cm.
- 4) Exécution de la couche du béton de propreté  $d = 10$  cm.

- 5) Exécution de béton armé (Pour l'oued Besbes lit et berges, pour oued Menaiel le lit seulement). Pour les canaux trapézoïdale  $d = 20$  cm.
  - ✓ Ferrailage des parois.
  - ✓ Coffrage des parois.
  - ✓ Bétonnage des parois.
  - ✓ Décoffrage des parois.
- 6) Réalisation de la pierre maçonnée.
- 7) Exécution de bassins d'amortissement en béton armé.
- 8) Exécution des deux ouvrages d'entrés en béton armé.

### 7.3 Détermination des différents volumes

#### 7.3.1 Volume des déblais des tranchés

Le volume de déblai est donné directement par le logiciel HEC-RAS (version 4.1) lors de l'exécution de la simulation, pour chaque tronçon compris entre deux sections transversales.

#### 7.3.2 Volumes des remblais des tranchés

Le volume de remblai pour chaque tronçon est obtenu avec la même méthode.

#### 7.3.3 Volume du lit du gravier

##### 7.3.3.1 Pour les canaux

$$V_{lg} = d_g * L * b_{radier} \dots \dots \dots (VII.1)$$

Avec :

$V_{lg}$  : Volume du lit du gravier ( $m^3$ ).

$d_g$  : Epaisseur de la couche de gravier (= 10 cm).

$L$  : Longueur totale du tronçon (m).

$b_{radier}$  : Largeur de radier en (m).

##### 7.3.3.2 Pour le bassin d'amortissement

$$V_{lg} = d_{lg} * L_{bassin} * b_{bassin} \dots \dots \dots (VII.2)$$

$L_{bassin}$  : Longueur du bassin (m).

$b_{bassin}$  : Largeur du bassin (m)

##### 7.3.3.3 Pour les ouvrages d'entrés

$$V_{lg} = [(B + b) * h / 2] * d_{lg} \dots \dots \dots (VII.3)$$

Avec :

$B$  : Largeur en amont de l'ouvrage.

$b$  : Largeur en aval de l'ouvrage.

$h$  : distance verticale entre l'amont et l'aval.

### 7.3.4 Volume du lit de propreté

#### 7.3.4.1 Pour les canaux

$$V_{bp} = d_{dp} * L * b_{radier} \dots \dots \dots (VII.4)$$

Avec :

$V_{bp}$  : Volume du béton de propreté ( $m^3$ ).

$d_{dp}$  : épaisseur de la couche de béton de propreté (= 10 cm).

$b_{radier}$  : Largeur de radier (m).

$L$  : Longueur totale de la tranchée (m).

#### 7.3.4.2 Pour le bassin d'amortissement

$$V_{bp} = d_{bp} * l_{bassin} * b_{bassin} \dots \dots \dots (VII.5)$$

Avec :

$l_{bassin}$  : Longueur de bassin (m).

$b_{bassin}$  : Largeur de bassin (m).

#### 7.3.4.3 Pour les ouvrages d'entrés

$$V_{lg} = [(B + b) * h] / 2 * d_{bp} \dots \dots \dots (VII.6)$$

### 7.3.5 Volume du béton armé

#### 7.3.5.1 Pour les canaux

$$V_{B.A} = d_{B.A} * l * (P_{exte} + P_{inte}) / 2 \dots \dots \dots (VII.7)$$

Avec :

$V_{B.A}$  : Volume de béton armé ( $m^3$ ).

$d_{B.A}$  : Épaisseur de la couche de béton armé (= 20 cm).

$l$  : Longueur de tranchée (m).

$P_{exte}$  : Périmètre extérieur du canal trapézoïdal (m).

$P_{inte}$  : Périmètre intérieur du canal trapézoïdal (m).

#### 7.3.5.2 Pour le bassin d'amortissement

$$V_{B.A} = d_{B.A} * P_{bassin} * H_{bassin} + S_{bassin} * d_{B.A} \dots \dots \dots (VII.8)$$

$P_{bassin}$  : Périmètre de bassin d'amortissement (m).

$S_{bassin}$  : Surface de bassin d'amortissement ( $m^2$ ).

#### 7.3.5.3 Pour les ouvrages d'entrés

$$V_{lg} = [(B + b) * h] / 2 * d_{B.A} \dots \dots \dots (VII.9)$$

### 7.3.6 Volume de la pierre maçonnée

$$V_{p,c} = [(2 * h * \sqrt{2})] * l * d_{p,c} \dots \dots \dots (VII.10)$$

$V_{p,c}$  : Volume de la pierre maçonnée (m<sup>3</sup>).

$h$  : La hauteur verticale de la berge (m).

$d_{p,c}$  : Épaisseur de la barge en pierre maçonnée (= 0.25 m).

### 7.3.7 Volume des roches du bassin d'amortissements

$$V_{roche} = H_{bassin} * l_{bassin} * b_{bassin} \dots \dots \dots (VII.11)$$

Avec :

$V_{roche}$  : Volume des roches de bassin d'amortissement (m<sup>3</sup>).

$H_{bassin}$  : Profondeur de bassin d'amortissement (m).

$l_{bassin}$  : Longueur de bassin (m).

$b_{bassin}$  : Largeur de bassin d'amortissement (m).

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des calculs des différents volumes des matériaux à utiliser dans la conception des ouvrages constituent le projet.

**Tableau VII.1 : Volume des travaux de l'oued Menaiel et Besbes**

Désignation des travaux	Unité	Quantité
<b>Travaux de terrassements</b>		
Oued Menaiel	exécution de déblai	m <sup>3</sup> 52441.5
	exécution de remblai	m <sup>3</sup> 1104.64
Oued Besbes	exécution de déblai	m <sup>3</sup> 10058.69
	exécution de remblai	m <sup>3</sup> 847.49
Bassin d'amortissement	excavation du bassin	m <sup>3</sup> 9.25
<b>Travaux des lits</b>		
Oued Menaiel	Lit de gravier (14/25 mm)	m <sup>3</sup> 1134
	Lit de béton de propreté	m <sup>3</sup> 1134
Oued Besbes	Lit de gravier (14/25 mm)	m <sup>3</sup> 699
	Lit de béton de propreté	m <sup>3</sup> 699
Bassin d'amortissement	Lit de gravier (14/25 mm)	m <sup>3</sup> 1.32
	Lit de béton de propreté	m <sup>3</sup> 1.32
Les ouvrages d'entrés	Lit de gravier (14/25 mm)	m <sup>3</sup> 22
	Lit de béton de propreté	m <sup>3</sup> 22
<b>Travaux de béton armé</b>		
oued Menaiel	Canal en béton dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> 2268.00
oued Besbes	Canal en béton dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> 3274.94
Bassin d'amortissement	béton dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> 3.6
Ouvrages d'entrés	béton dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> 44.5
<b>Pierre maçonnée</b>		
Oued Menaiel	Berges en pierre maçonnée	m <sup>3</sup> 3735.65
<b>L'enrochement</b>		
Mise en place des roches dans le bassin d'amortissement		m <sup>3</sup> 6.6

## 7.4 Devis quantitatif et estimatif des travaux

**Tableau VII.2 : Le devis des différents travaux de l'oued Menaiel**

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
<b>Travaux de terrassement</b>				
Déblais	m <sup>3</sup>	52441.5	300.00	15732450
Remblais	m <sup>3</sup>	1104.64	500.00	552320
<b>Travaux du lit</b>				
Lit de gravier (14/25 mm)	m <sup>3</sup>	1148	2500.00	2870000
Lit de béton de propreté	m <sup>3</sup>	1148	9000.00	10332000
<b>Travaux de béton</b>				
radier en béton	m <sup>3</sup>	2268.00	28000.00	63504000
Ouvrage d'entrée	m <sup>3</sup>	35.1	28000.00	982800
<b>Pierre maçonnée</b>				
Berges en pierres maçonnées	m <sup>3</sup>	3735.65	4000.00	
<b>Montant HT</b>				108916170
<b>TVA 17%</b>				18515748.9
<b>Total TTC</b>				<b>127.431.919</b>

**Tableau VII.3 : Le devis des différents travaux de l'oued Besbes**

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
<b>Travaux de terrassement</b>				
Déblais	m <sup>3</sup>	10058.69	300.00	3017607
Remblais	m <sup>3</sup>	847.49	500.00	423745
excavation du bassin	m <sup>3</sup>	9.25	500.00	4625
<b>Travaux du lit</b>				
Lit de gravier (14/25 mm)	m <sup>3</sup>	708.32	2500.00	1770800
Lit de béton de propreté	m <sup>3</sup>	708.32	9000.00	6374880
<b>Travaux de béton</b>				
Canal en béton	m <sup>3</sup>	3274.94	28000.00	91698320
Ouvrage d'entrée	m <sup>3</sup>	9.4	28000.00	263200
Bassin d'amortissement	m <sup>3</sup>	3.6	28000.00	100800
<b>enrochements</b>				
Remplissage du bassin d'amortissement	m <sup>3</sup>	6.6	1000.00	6600
<b>Montant HT</b>				103660577
<b>TVA 17%</b>				17622298.1
<b>Total TTC</b>				<b>121.282.875</b>

## 7.5 Planification

La planification est l'organisation dans le temps de la réalisation des travaux. C'est une méthode dont dispose le cadre pour rendre son travail efficace, elle nécessite les étapes suivantes :

### 7.5.1 Collection des informations

Ces informations concernant les plans d'architecture de la structure, le cahier de charge, la norme de travail, le rendement des engins et les prix des matériaux de constructions.

### 7.5.2 Décomposition de projet en tâches

Dans cette étape le projet sera décomposé en opérations.

### 7.5.3 Prévoir la relation entre les opérations

Les relations entre ces opérations peuvent être logiques ou préférentielles.

### 7.5.4 Attribution des durées

Le temps de réalisation de chaque tâche sera calculé par la formule suivante :

$$T = \frac{Q}{N \cdot R} \dots \dots \dots (VII.12)$$

Avec :

T : temps de réalisation en heures.

Q : quantité de travail en (m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup>, m...)

N : La norme de travail (8h/j).

R : rendement de travail.

### 7.5.5 Construction de réseau

Il existe deux principales méthodes de planification :

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

#### 7.5.5.1 Méthodes basées sur le réseau

##### a- Définition du réseau

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes et la durée de réalisation. On distingue deux types de réseaux :

##### a.1- réseau à flèches

L'opération est représentée par une flèche et la succession des opérations par des nœuds.



L'opération (A) précède l'opération (B).

## a-2 : 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 complètement achevée.

Pour construire un réseau, il convient d'effectuer les opérations suivantes :

- Etablissement d'une liste des tâches.
- Détermination des tâches qui précèdent et qui succèdent.
- Etablissement des graphes partiels.
- Regroupement des graphes partiels.
- Construction du réseau.

### 7.5.5.2 Différentes méthodes basées sur le réseau

Nous citons dans cette étude deux méthodes à savoir : la méthode C.P.M (Critical Path Netlog) et la méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical).

Dans notre cas les opérations se suivent, alors c'est préférable d'opter pour la méthode **C.P.M.**

### 7.5.5.3 Les paramètres de la méthode C.P.M

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

DCP	T
DFP	DCPP
DFPP	MT

T : temps de réalisation de l'opération.

DCP : date de commencement au plus tôt (l'opération peut être commencée).

DCPP : date de commencement au plus tard (l'opération doit être commencée).

DFP : date de finition au plus tôt (date de l'opération peut être fini).

DFPP : date de finition au plus tard (date de l'opération doit être fini)

MT : marge totale (l'intervalle du temps).

$$\begin{cases} MT = DCPP - DCP. \\ MT = DFPP - DFP. \end{cases} \quad \begin{cases} DFP = DCP + T. \\ DCPP = DFPP - T. \end{cases}$$

Pour calcul allé on a  $\begin{cases} DFP_i = DCP_i + T_i. \\ DFP_i = DCP_j. \end{cases}$

Pour la dernière cellule on procède ainsi  $\begin{cases} DCPP = DCP. \\ DFPP = DFP. \end{cases}$

## 7.5.5.4 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 la double condition suivante :

$$C.C \Leftrightarrow \begin{cases} MT = 0. \\ \sum T_{C.C} = D.T.P. \end{cases}$$

## 7.6 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 des travaux et le temps de réalisation de chaque tâche.

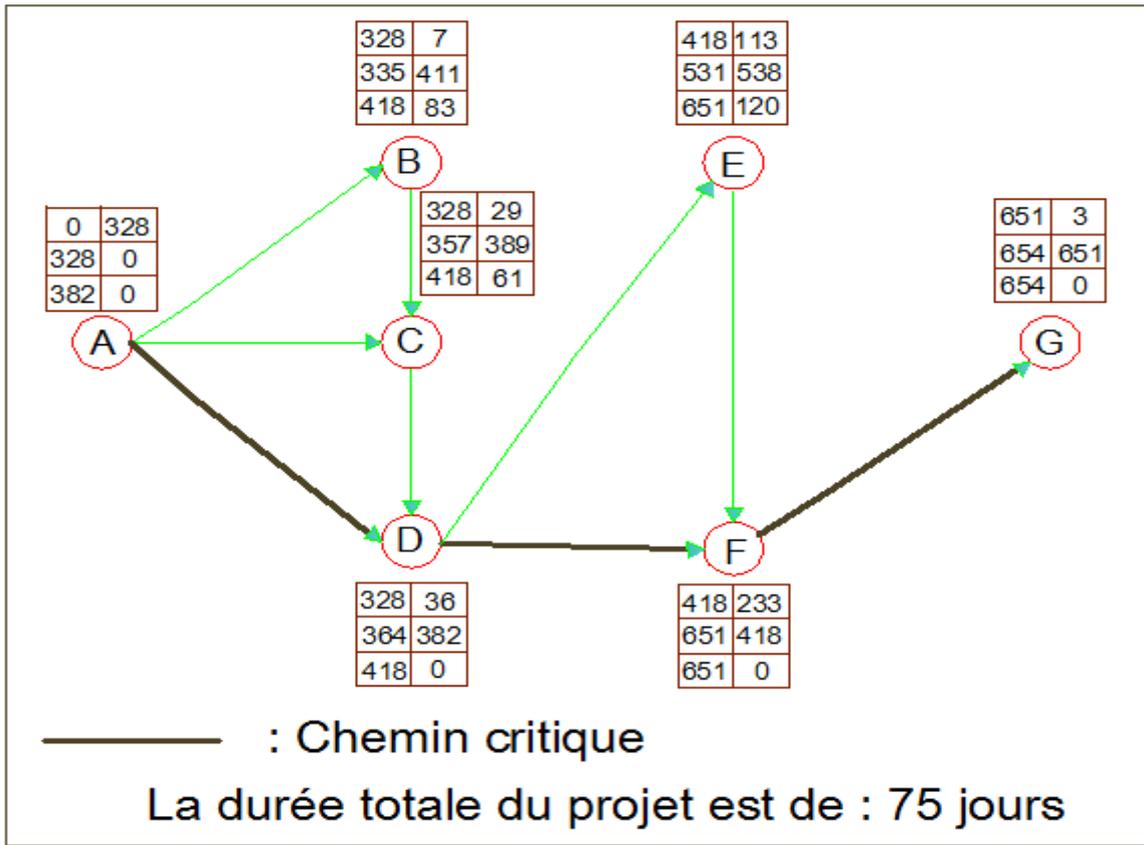
**Tableau VII.4 : Temps de réalisation de chaque tâche (Oued Menaiel).**

Opérations	Travaux	Quantité en (m <sup>3</sup> )	Rendement pratique/h	Temps d'exécution (h)
<b>A</b>	exécution des déblais	52441.5	20	<b>328</b>
<b>B</b>	exécution des remblais	1104.64	20	<b>7</b>
<b>C</b>	exécution de lit de gravier	1156	5	<b>29</b>
<b>D</b>	exécution de lit du béton de propreté.	1156	4	<b>36</b>
<b>E</b>	exécution de béton armé pour radier du canal	2268	2.5	<b>113</b>
<b>F</b>	exécution des berges par la pierre maçonnée.	3735	2	<b>233</b>
<b>G</b>	exécution de l'ouvrage d'entrée	35.1	1.5	<b>3</b>

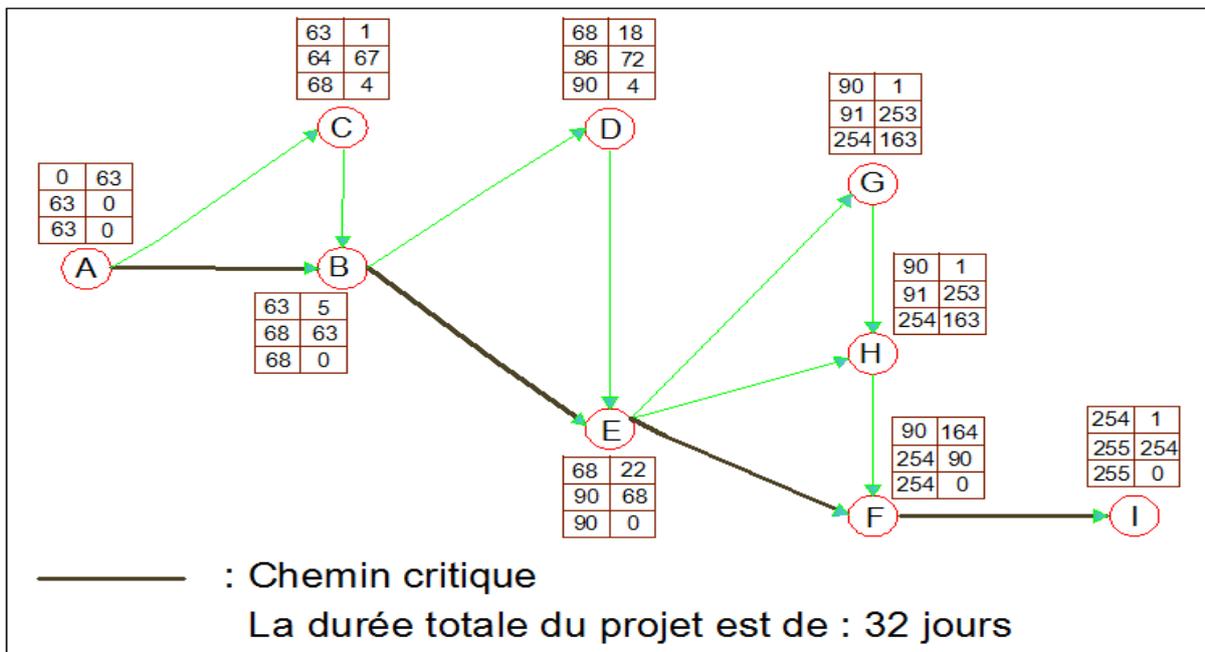
**Tableau VII.5 : Temps de réalisation de chaque tâche (Oued Besbes)**

Opérations	Travaux	Quantité en (m <sup>3</sup> )	Rendement pratique/h	Temps d'exécution (h)
<b>A</b>	exécution des déblais	10058.69	20	<b>63</b>
<b>B</b>	exécution des remblais	847.49	20	<b>5</b>
<b>C</b>	excavation du bassin	9.25	10	<b>1</b>
<b>D</b>	exécution de lit de gravier	707.82	5	<b>18</b>
<b>E</b>	exécution de lit du béton de propreté.	708	4	<b>22</b>
<b>F</b>	exécution de béton armé du canal	3274.94	2.5	<b>164</b>
<b>G</b>	exécution de béton armé pour le bassin	3.6	3	<b>1</b>
<b>H</b>	exécution de l'ouvrage d'entrée	9.5	1.5	<b>1</b>
<b>I</b>	Remplissage par la roche	6.6	5	<b>1</b>

**N.B :** La norme de travail est 8 heures par jours.



**Figure VII.6 :** réseau à nœud du projet d'aménagement de l'oued Menaiel



**Figure VII.7 :** réseau à nœud du projet d'aménagement de l'oued Besbes.

7.7 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 liées composant un projet (il s'agit d'une représentation d'un graphe connexe). Il permet de représenter graphiquement l'avancement du projet.

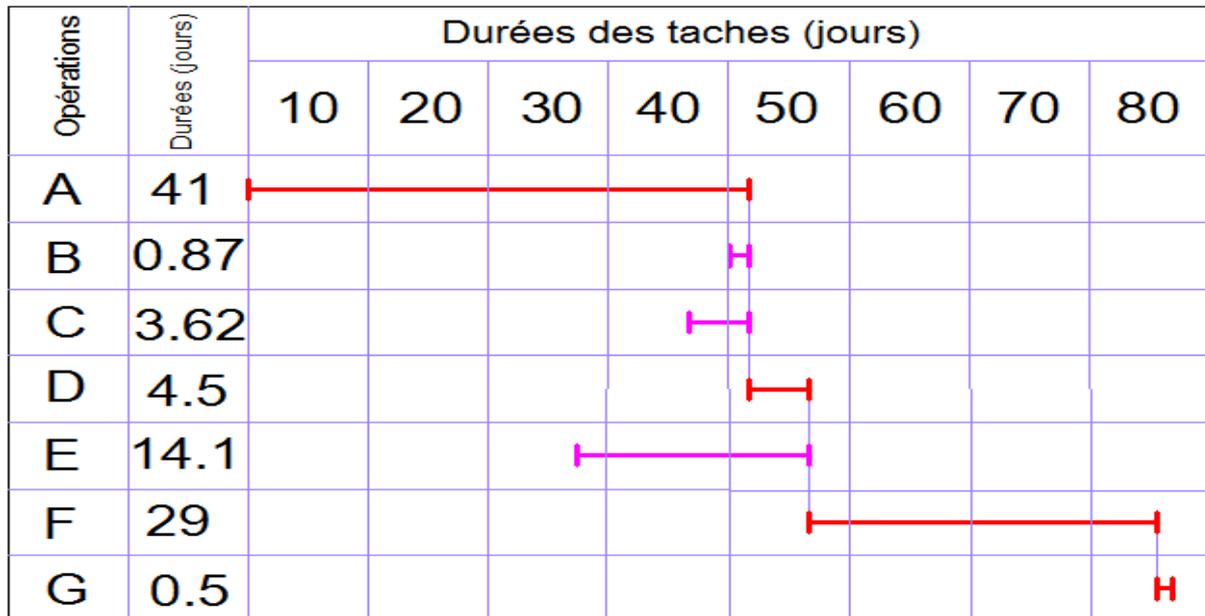


Figure VII.8 : Diagramme de Gantt (Aménagement de l'oued Menaiel).

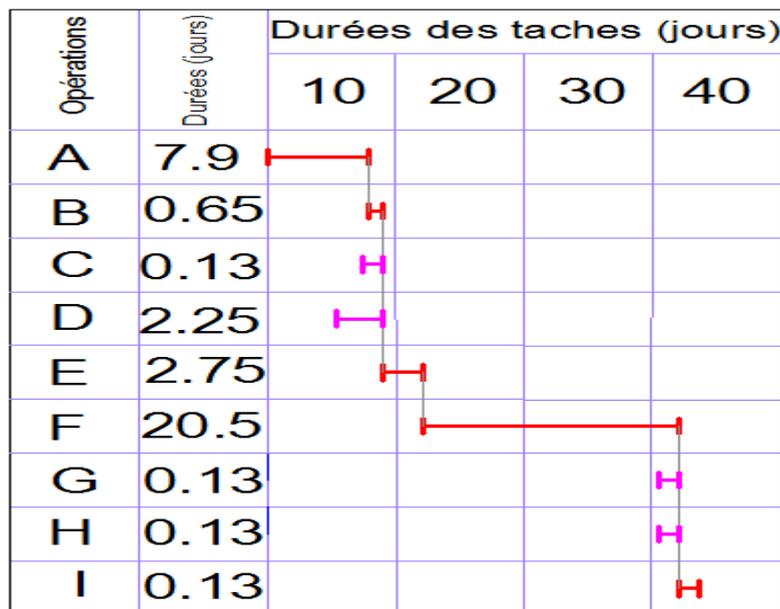


Figure VII.9 : Diagramme de Gantt (Aménagement de l'oued Besbes).

### **Conclusion**

D'après ce travail on peut conclure que l'organisation de chantier est nécessaire avant le commencement des travaux, car elle nous permet de définir tout les volumes des travaux nécessaires pour l'exécution du chantier. D'autre part on peut avoir une information sur le coût total de projet ainsi que son temps de réalisation.

## Conclusion générale

Au terme de ce modeste travail, nous avons pu saisir l'importance des inondations et leurs incidences sur la vie des riverains en général. En outre, nous avons pu contribuer à l'étude de protection contre les inondations de la ville de Bordj Menaiel située dans la wilaya de Boumerdes.

En effet, ce secteur d'étude est constitué de deux sous bassins versants drainés par deux cours d'eau à savoir Oued Menaiel et Oued Besbes situés respectivement à l'Est et à l'Ouest de la zone d'étude.

L'étude géomorphologique de ces deux bassins versants abritant la ville a révélé que ceux-ci sont tous les deux de forme allongée caractérisés par de fortes pentes variant entre 12 m à 870 m d'altitude. Par conséquent, ceci engendre inévitablement des vitesses d'écoulement assez élevées variant de 5 à 10 m/s avec un faible temps de concentration rendant ainsi les crues d'autant plus dangereuses.

Tandis que l'étude hydrologique a été faite dans une optique de déterminer la pluie de projet de période de retour centennale qui est de 118 mm. Cette valeur a été estimée en passant par l'usage de trois différents modèles. Le choix final s'est fixé en se basant sur deux critères : la comparaison de la distribution expérimentale de la queue avec la distribution théorique de chaque loi, et l'usage du test d'adéquation  $\chi^2$ .

La transformation de la pluie brute en pluie nette qui est à l'origine de la crue est calculée en utilisant deux approches : l'approche expérimentale et la modélisation (HEC-HMS) ont donné des résultats sensiblement proches. La valeur retenue pour la crue centennale est de : 103.1 m<sup>3</sup>/s pour l'oued Menaiel et 36.2 m<sup>3</sup>/s pour l'oued Besbes.

Dans le but d'avoir une bonne connaissance de l'état des lieux et connaître le régime hydraulique ainsi les caractéristiques géométriques et hydrauliques de l'écoulement qui correspondent à la crue de projet. On a procédé à un diagnostic du terrain, et une simulation de l'état naturel de l'oued à l'aide de logiciel (HEC-RAS) en passant par l'usage de logiciel AUTOCAD CIVIL 3D qui génère la géométrie de l'oued Menaiel et Besbes à partir d'un modèle numérique du terrain. Les résultats constatés, et obtenus après calcul, ont montrés que les deux oueds se caractérisent par une réduction de la section de l'écoulement, des rétrécissements au niveau de quelques tronçons, et la présence des embâcles et des déchets domestiques le long de ces cours d'eau. En effet, le régime d'écoulement à l'état naturel de ces deux cours d'eau est fluvial et les vitesses engendrées par l'écoulement à l'aval de ceux-ci

sont faibles ; ce qui le rend sensiblement lent et favorisant ainsi la stagnation des eaux, le dépôt des matériaux transportés et par conséquent le débordement de ces eaux à travers les berges au niveau des zones vulnérables. Celles-ci sont cartographiées en utilisant le model RAS-MAPPER figurant dans le logiciel HEC-RAS V4.0.1.

Les variantes proposées pour protéger la ville contre les inondations s'articulent sur deux aspects différents :

Les tronçons des cours d'eau situés loin en amont de l'agglomération traversant des champs cultivables seront aménagés en s'inspirant des techniques génie-biologiques afin de maintenir leur caractère naturel et leur rôle écologique.

Cette variante regroupe les techniques suivantes :

- Restauration de la rivière
- Talutage des berges
- Fascinage des pieds des berges
- Ensemencement des mi- berges
- Implantation des rives.

Tandis que les tronçons situés à l'aval près des agglomérations seront équipés de canaux en Génie-Civil sur des longueurs respectivement de 1890 m et 1770 m pour les deux Oueds Menaiel et Besbes.

Pour cette partie précise, trois variantes de sections trapézoïdales sont proposées : sections revêtues en béton, en pierres maçonnées, et revêtement mixte.

Après l'étude technico économique nous avons retenu pour Oued Menaiel, un canal trapézoïdal mixte sur une longueur de 1890 m et un canal trapézoïdal en béton armé pour oued Besbes sur une longueur 1770 m. Celles-ci sont soumises à une étude détaillées où les ouvrages annexes comme les ouvrages d'entrée, les bassins d'amortissement sont dimensionnés.

Après l'étude financière du projet, le cout total de celui-ci est estimé à ????? DA, un cout qui parait abordable à cause du fait nous n'avons désormais pas pu estimer le couts des travaux effectués sur les tronçons aménagé par des techniques génie-biologique.

Tandis que la planification des travaux est estimée en utilisant la méthode CPM dont la durée est de 108 jours pour un enchainement de travaux en série.

Enfin, la réalisation de tels projets demeure délicate en milieu urbain, mais le vrai dilemme est la gestion et l'entretien à court et à long terme afin d'assurer un meilleur service et une plus grande longévité. Chose qui est très souvent négligée en Algérie.

# Références bibliographiques

---

- [1] : Saad BENNIS (2009), Hydraulique et hydrologie, 2<sup>ème</sup> édition, Ecole de technologie supérieur, 2009.
- [2] : PAUL Meylan et Andre Musy, hydrologie fréquentielle, édition \*H\*G\*A\*, Bucarest, 1999.
- [3] : TOUIBIA.B, Manuel d'hydrologie, Mars 2004.
- [4] : J.P.LABORDE, éléments d'hydrologie de surface, édition 2000.
- [5] : P. Dubreuil, Initiation à l'analyse hydrologique, édition Masson et Ce, 3<sup>ème</sup> trimestre 1974.
- [6] : Djamel BOUTOUTAOU et Hourri ZEGGANE, revue scientifique et technique, LJe N°24825, Juin-Décembre 2014, méthode de calcul des crues des oueds de l'Algérie.
- [7] : mémoire DJEBALI Khalifa, étude de protection d'une ville contre les inondations cas de la ville d'ABADIA (W. AIN DEFLA). ENSH. Blida.
- [8] : US Army Corps of Engineers (2006) : « HEC-RAS River Analysis System : User's Manual », Manuel d'Utilisation de HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center.
- [9] : MICHEL CARLIER, hydraulique générale et appliquée.
- [10] : MICHEL CARLIER, hydraulique générale.
- [11] : DIGOUTTE.G, aide mémoire d'hydraulique à surface libre.
- [12] : G. VERNIERS, aménagement écologique des berges et des cours d'eaux, 1995-Paris.
- [13] : B. CHOCAT, encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement.
- [14] : Gérard Degoutte, diagnostic, aménagement et gestion des rivières, édition TEC et DOC.
- [15] : B.BENLAOUKLI, Cours Organisation de chantier 4<sup>ème</sup> année et 5<sup>ème</sup> année, ENSH Blida.
- [16] : B. Deffontaines, CRITERES GEOMORPHOMETRIQUES ISSUS DES MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN AU SERVICE DES APPLICATIONS HYDROLOGIQUES, Université Paris-Est Marne-la-Vallée.
- [17] : Mezati Belkacem, protection des villes contre les inondations, formation à l'entreprise hydro projet-Est Constantine, du 02 au 06 Février 2014
- [18] B.BENLAOUKLI. Cours Organisation de chantier 3<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> année ; ENSH Blida.

# Annexe

## Annexe II

### Annexe II.1 : Ajustement à la loi de Gumbel par la méthode graphique

Années	P.max journalière	Pmax. J classé croissant	Rang	Fréquence au non dépassement	Variable réduite de Gumbel
1946	27	27	1	0,009434	-1,54
1947	64	34,5	2	0,028302	-1,27
1948	41	36,1	3	0,047170	-1,12
1949	106	36,5	4	0,066038	-1,00
1950	52	36,5	5	0,084906	-0,90
1951	53	37,1	6	0,103774	-0,82
1952	45	37,5	7	0,122642	-0,74
1953	65	38,6	8	0,141509	-0,67
1954	67	39	9	0,160377	-0,60
1955	43,8	39,3	10	0,179245	-0,54
1956	34,5	40,2	11	0,198113	-0,48
1957	97,2	41	12	0,216981	-0,42
1958	36,1	42,2	13	0,235849	-0,37
1959	65	42,9	14	0,254717	-0,31
1960	40,2	43,1	15	0,273585	-0,26
1961	37,1	43,6	16	0,292453	-0,21
1962	50	43,8	17	0,311321	-0,15
1963	50	45	18	0,330189	-0,10
1964	55	45	19	0,349057	-0,05
1965	43,1	46	20	0,367925	0,00
1966	49	46,5	21	0,386792	0,05
1967	57	47	22	0,405660	0,10
1968	45	47,7	23	0,424528	0,15
1969	50,1	47,7	24	0,443396	0,21
1970	42,2	48,2	25	0,462264	0,26
1971	90,1	49	26	0,481132	0,31
1972	80,3	49,3	27	0,500000	0,37
1973	39,3	49,7	28	0,518868	0,42
1974	70,5	50	29	0,537736	0,48
1975	48,2	50	30	0,556604	0,53
1976	38,6	50,1	31	0,575472	0,59
1977	58,2	52	32	0,594340	0,65
1978	46	53	33	0,613208	0,72
1979	43,6	53,4	34	0,632075	0,78
1980	53,4	55	35	0,650943	0,85
1981	57,4	55,2	36	0,669811	0,91
1982	46,5	57	37	0,688679	0,99
1983	49,3	57,4	38	0,707547	1,06
1984	36,5	58,2	39	0,726415	1,14
1985	47,7	62,6	40	0,745283	1,22
1986	55,2	64	41	0,764151	1,31

## Annexe

**Tableau II.1 : (Suite)**

1987	49,7	65	42	0,783019	1,41
1988	77,7	65	43	0,801887	1,51
1989	37,5	67	44	0,820755	1,62
1990	47,7	67,1	45	0,839623	1,74
1991	124,6	70,5	46	0,858491	1,88
1992	62,6	70,9	47	0,877358	2,03
1993	39	77,7	48	0,896226	2,21
1994	47	80,3	49	0,915094	2,42
1995	70,9	90,1	50	0,933962	2,68
1996	42,9	97,2	51	0,952830	3,03
1997	67,1	106	52	0,971698	3,55
1998	36,5	124,6	53	0,990566	4,66

**Annexe II.2 : La table de Gauss correspond aux valeurs de u positives**

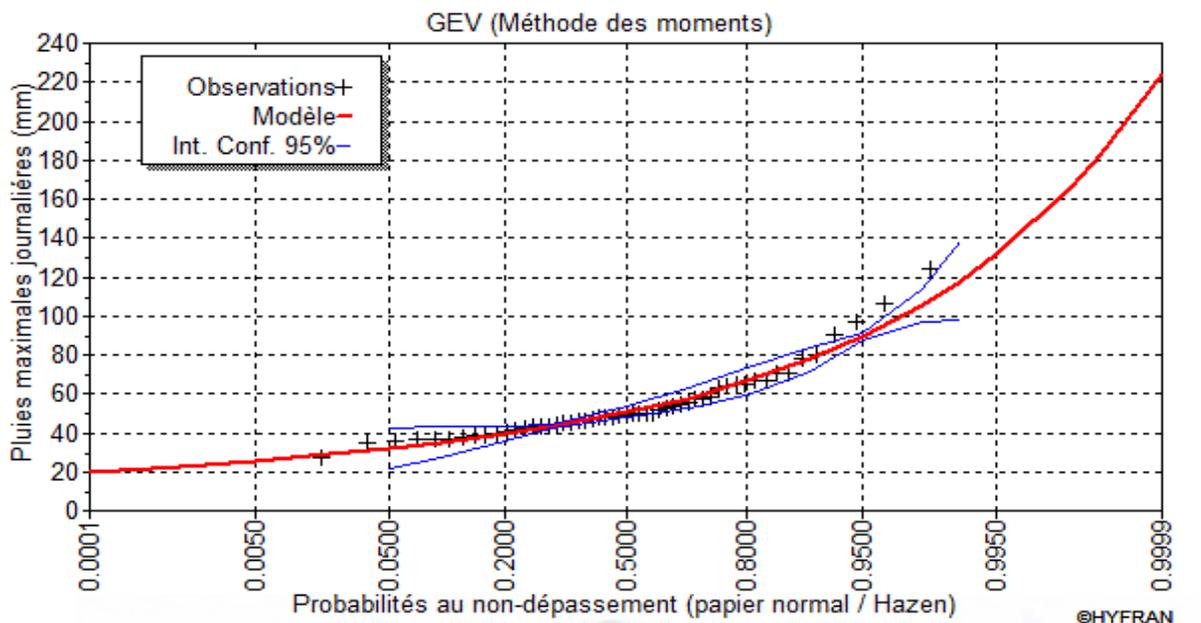
u	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7290	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8483	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9013
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9662	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2	0,9772	0,9779	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

# Annexe

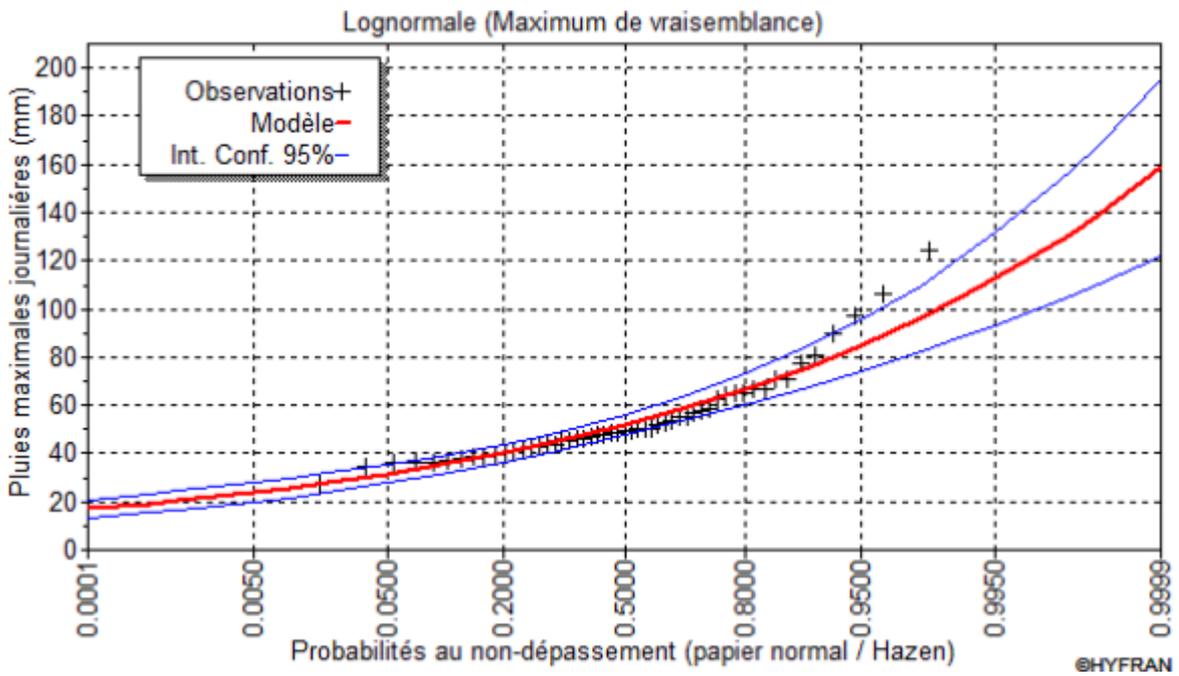
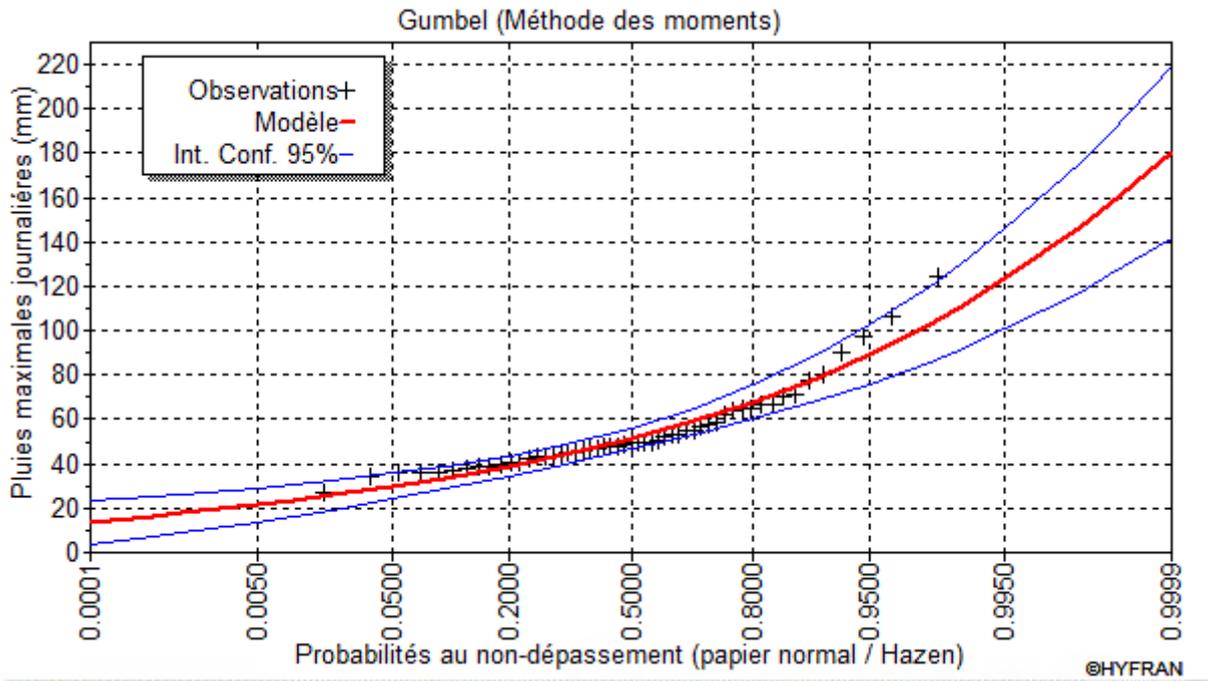
## Annexe II.3 : Les valeurs de X2

v/P	0,010	0,025	0,050	0,100	0,250	0,500	0,750	0,900	0,950	0,975	0,990
1	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	0,102	0,455	1,32	2,71	3,84	5,02	6,63
2	0,0201	0,0506	0,103	0,211	0,575	1,39	2,77	4,61	5,99	7,38	9,21
3	0,115	0,216	0,352	0,584	1,21	2,37	4,11	6,25	7,81	9,35	11,3
4	0,297	0,484	0,711	1,06	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	11,1	13,3
5	0,554	0,831	1,15	1,61	2,67	4,35	6,63	9,24	11,1	12,8	15,1
6	0,872	1,24	1,64	2,20	3,45	5,35	7,84	10,6	12,6	14,4	16,8
7	1,24	1,69	2,17	2,83	4,25	6,35	9,04	12,0	14,1	16,0	18,5
8	1,65	2,18	2,73	3,49	5,07	7,34	10,2	13,4	15,5	17,5	20,1
9	2,09	2,70	3,33	4,17	5,90	8,34	11,4	14,7	16,9	19,0	21,7
10	2,56	3,25	3,94	4,87	6,74	9,34	12,5	16,0	18,3	20,5	23,2
11	3,05	3,82	4,57	5,58	7,58	10,3	13,7	17,3	19,7	21,9	24,7
12	3,57	4,40	5,23	6,30	8,44	11,3	14,8	18,5	21,0	23,3	26,2
13	4,11	5,01	5,89	7,04	9,30	12,3	16,0	19,8	22,4	24,7	27,7
14	4,66	5,63	6,57	7,79	10,2	13,3	17,1	21,1	23,7	26,1	29,1
15	5,23	6,26	7,26	8,55	11,0	14,3	18,2	22,3	25,0	27,5	30,6
16	5,81	6,91	7,96	9,31	11,9	15,3	19,4	23,5	26,3	28,8	32,0
17	6,41	7,56	8,67	10,1	12,8	16,3	20,5	24,8	27,6	30,2	33,4
18	7,01	8,23	9,39	10,9	13,7	17,3	21,6	26,0	28,9	31,5	34,8
19	7,63	8,91	10,1	11,7	14,6	18,3	22,7	27,2	30,1	32,9	36,2
20	8,26	9,59	10,9	12,4	15,5	19,3	23,8	28,4	31,4	34,2	37,6
21	8,90	10,3	11,6	13,2	16,3	20,3	24,9	29,6	32,7	35,5	38,9
22	9,54	11,0	12,3	14,0	17,2	21,3	26,0	30,8	33,9	36,8	40,3
23	10,2	11,7	13,1	14,8	18,1	22,3	27,1	32,0	35,2	38,1	41,6
24	10,9	12,4	13,8	15,7	19,0	23,3	28,2	33,2	36,4	39,4	43,0
25	11,5	13,1	14,6	16,5	19,9	24,3	29,3	34,4	37,7	40,6	44,3
26	12,2	13,8	15,4	17,3	20,8	25,3	30,4	35,6	38,9	41,9	45,6
27	12,9	14,6	16,2	18,1	21,7	26,3	31,5	36,7	40,1	43,2	47,0
28	13,6	15,3	16,9	18,9	22,7	27,3	32,6	37,9	41,3	44,5	48,3
29	14,3	16,0	17,7	19,8	23,6	28,3	33,7	39,1	42,6	45,7	49,6
30	15,0	16,8	18,5	20,6	24,5	29,3	34,8	40,3	43,8	47,0	50,9
40	22,2	24,4	26,5	29,1	33,7	39,3	45,6	51,8	55,8	59,3	63,7
50	29,7	32,4	34,8	37,7	42,9	49,3	56,3	63,2	67,5	71,4	76,2
60	37,5	40,5	43,2	46,5	52,3	59,3	67,0	74,4	79,1	83,3	88,4
70	45,4	48,8	51,7	55,3	61,7	69,3	77,6	85,5	90,5	95	100
80	53,5	57,2	60,4	64,3	71,1	79,3	88,1	96,6	102	107	112
90	61,8	65,6	69,1	73,3	80,6	89,3	98,6	108	113	118	124
100	70,1	74,2	77,9	82,4	90,1	99,3	109	118	124	130	136

## Annexe II.4 : les graphes d'ajustements aux différents modèles choisies.



# Annexe



## Annexe

### Annexe II.5 : la table des valeurs de CN

**TABLE 3-18** Runoff Curve Numbers (average watershed condition,  $I_a = 0.2S$ )

Land Use Description	Curve Numbers for Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Fully developed urban areas <sup>a</sup> (vegetation established)				
Lawns, open spaces, parks, golf courses, cemeteries, etc.				
Good condition; grass cover on 75% or more of the area	39	61	74	80
Fair condition; grass cover on 50% to 75% of the area	49	69	79	84
Poor condition; grass cover on 50% or less of the area	68	79	86	89
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.	98	98	98	98
Streets and roads				
Paved with curbs and storm sewers	98	98	98	98
Gravel	76	85	89	91
Dirt	72	82	87	89
Paved with open ditches	83	89	92	93
	Average % impervious <sup>b</sup>			
Commercial and business areas	85	89	92	94
Industrial districts	72	81	88	91
Row houses, town houses, and residential with lots sizes	65	77	85	90
1/8 acre or less				
Residential: average lot size				
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
2 acre	12	46	65	77
Developing urban areas <sup>c</sup> (no vegetation established)				
Newly graded area	77	86	91	94
Western desert urban areas				
Natural desert landscaping (pervious area only) <sup>f</sup>	63	77	85	88
Artificial desert landscaping	96	96	96	96

# Annexe

## Annexe VI

Tableau VI.1 : Valeurs de la fonction  $\varphi(\tau_c)$

$\Phi(\zeta_0)$	$\zeta'$	$\zeta''$				
		$\sigma = 0,80$	$\sigma = 0,85$	$\sigma = 0,90$	$\sigma = 0,95$	$\sigma = 1$
0,0044	0,0010	0,0501	0,0532	0,0364	0,0096	0,0027
0,0080	0,0020	0,0705	0,0740	0,0794	0,0839	0,0844
0,0133	0,0030	0,0861	0,9160	0,0971	0,1026	0,1081
0,0177	0,0040	0,0990	0,1053	0,1116	0,1179	0,1242
0,0221	0,0050	0,1140	0,1174	0,1245	0,1315	0,1386
0,0265	0,0060	0,1206	0,1253	0,1360	0,1438	0,1535
0,0309	0,0070	0,1299	0,0139	0,1466	0,1510	0,1633
0,0353	0,0080	0,1386	0,1475	0,1565	0,1653	0,1742
0,0397	0,0090	0,1467	0,1541	0,1636	0,1750	0,1844
0,0441	0,0100	0,1542	0,1642	0,1742	0,1841	0,1941
0,0550	0,0125	0,1716	0,1827	0,1938	0,2049	0,2169
0,0680	0,0150	0,1871	0,1993	0,2114	0,2236	0,2357
0,0768	0,0175	0,2012	0,2143	0,2272	0,2405	0,2536
0,0877	0,0200	0,2142	0,2232	0,2422	0,2562	0,2702
0,0985	0,0225	0,2263	0,2411	0,2559	0,2707	0,2856
0,0109	0,0250	0,2376	0,2532	0,2688	0,2844	0,3000
0,0120	0,0275	0,2483	0,2645	0,2809	0,2973	0,3136
0,1309	0,0300	0,2584	0,2745	0,2924	0,3095	0,3265
0,1523	0,0350	0,2771	0,2754	0,3135	0,3321	0,3505
0,1736	0,0400	0,2942	0,3137	0,3334	0,3529	0,3724
0,1948	0,0450	0,3100	0,3306	0,3513	0,3720	0,3927
0,2159	0,0500	0,3246	0,3484	0,3681	0,3899	0,4116
0,2369	0,0550	0,3383	0,3610	0,3838	0,4065	0,4293
0,2755	0,0600	0,3511	0,3748	0,3985	0,4222	0,4459
0,2784	0,0650	0,3630	0,3879	0,4124	0,4370	0,4616
0,2991	0,0700	0,3747	0,4002	0,4256	0,4510	0,4765
0,3196	0,0750	0,3856	0,4118	0,4381	0,4801	0,4906
0,3390	0,0800	0,3959	0,4219	0,4500	0,5006	0,5041
0,3602	0,0850	0,4037	0,4335	0,4613	0,5116	0,5160
0,3804	0,0900	0,4151	0,4437	0,4721	0,5420	0,5291
0,4004	0,1000	0,4240	0,4532	0,4824	0,5603	0,5409
0,4597	0,1100	0,4486	0,4798	0,5109	0,5711	0,5732
0,5732	0,1400	0,4896	0,5240	0,5585	0,6159	0,6275
0,6436	0,1600	0,5120	0,5484	0,5897	0,6211	0,6576
0,6861	0,1700	0,5220	0,5519	0,5955	0,6296	0,6710
0,7575	0,1900	0,5398	0,5786	0,6175	0,6564	0,6953
0,8208	0,2100	0,5551	0,5954	0,6340	0,6730	0,7154
0,8941	0,2300	0,5681	0,6006	0,6512	0,6928	0,7345
0,9262	0,2400	0,5738	0,6159	0,6581	0,7003	0,7440
0,9908	0,2600	0,5838	0,6270	0,6702	0,7135	0,7569