

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

**Ecole Nationale Polytechnique**  
**Laboratoire de Recherches Sciences de l'Eau**

**Département Hydraulique**  
**Projet de fin d'études**  
Pour l'obtention du diplôme

**D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE**

Réalisé par

Mr **BAZA Mouloud Amine**

Thème :

---

# Etude de la réhabilitation de l'oued El Hamiz

---

**Soutenue publiquement le 17-06-2014 devant le jury composé de :**

**Président : Mr. S.BENZIADA**

**Promoteurs : Dr S.BENMAMAR**

**Examineurs : Mr .N.NEBACHE**

Mr E.MEZALI

*ENP, 10 Avenue Hassan Badi, BP.86 EL HARRACH, ALGER*

# Dédicaces

---

*Grâce à Dieu j'ai réalisé ce modeste travail que je dédie.*

*A mes très chers parents avec toute ma reconnaissance,  
A ma chère mère qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que  
j'atteigne ce niveau, soucieuse de l'avenir de ses enfants.  
A mon cher père qui a su se montrer patient, compréhensif et encourageant,  
et sera toujours pour moi d'un grand réconfort.*

*A ma très chère sœur  
A ma tante Zoubida  
A ma grand-mère que dieu la protège et la maintienne en bonne santé  
A mes oncles, tantes, cousines et cousins.  
A toute ma famille.  
A la mémoire de ma tante Khadija.*

*A toutes mes amies.  
A toute la promotion 2013/2014.*

*A tous les étudiants de l'ENP.  
A toute la promotion 2009/2010 de l'école préparatoire*

# Remerciements

---

*Au terme de ce modeste travail, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage pour surmonter toutes les épreuves rencontrées tout au long de mon travail.*

*Je tiens à témoigner ma sincère reconnaissance à ma monitrice Dr. Benmamar pour son aide précieuse, ses conseils, sa disponibilité et son suivi minutieux de mon travail ce qui m'a permis de bien le mener.*

*Je remercie également Mr. Bermad pour son aide.*

*J'exprime mes vifs remerciements au Bureau d'étude STUCKY qui m'a proposé ce sujet de fin d'étude, et m'a mis à ma entière disposition tous les données nécessaires à l'accomplissement de ce projet.*

*Je voudrais aussi exprimer tous mes remerciements à mes enseignants qui m'ont énormément transmis tout au long de mon cursus.*

*A celui qui n'a jamais hésité le moindre instant à se tenir à nos côtés afin de nous soutenir, nous aider et nous encourager.*

*Nos remerciements les plus chaleureux vont également à toutes les personnes qui ont contribuées de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

*Nous exprimons nos vifs remerciements aux membres de Jury qui nous feront l'honneur d'apprécier ce mémoire de fin d'étude.*

*Merci à tout le monde...*

**Résumé :**

Notre mémoire a pour objectif le réaménagement du cours d'eau de l'oued El Hamiz, à cause des inondations qui sont devenues une question d'actualité et une préoccupation quotidienne du gouvernement. Pour cela nous avons suivi les étapes suivantes :

Une présentation général de la zone d'étude ; détermination de hydrogramme de la crue générée par le bassin versant ; diagnostic général de l'oued El Hamiz ; détermination des dysfonctionnements avec le code de calcul numérique Rubar20; ce dernier résout les équations de Saint Venant ; en dernière solution, élaboration d'un plan d'aménagement.

**Mots clés:** crue, diagnostic, Rubar20, inondation, aménagement.

**Abstract:**

This thesis aims to redevelop the river "Oued El Hamiz", because to floods that have become a topical issue and a daily concern of government. For this we follow the following steps:

A general presentation of the study area; a determination of the flood hydrograph generated by the watershed; a general diagnosis of "Oued El Hamiz"; a determination of malfunctions with the code of numerical calculation "Rubar20" that resolve the Saint-Venant equations; the last solution is creating a development plan.

**Keywords:** flood, diagnosis, Rubar20, flood, development.

**ملخص:**

الهدف من هذه الأطروحة هي إعادة تأهيل " واد الحمير " بسبب الفيضانات التي أصبحت إحدى قضايا الساعة والهم اليومي للحكومة. من أجل ذلك نتبع الخطوات التالية:

تقديم عام لمنطقة الدراسة؛ تحديد الرسم المائي للفيضانات الناتجة عن مستجمعات المياه؛ التشخيص العام للوادي، تحديد الأعطال باستخدام

رمز الحساب " روبر 20 " الذي يحل المعادلات من نوع " سان فينانت "؛ الحل الأخير يكمن في وضع خطة للتهيئة.  
**الكلمات الرئيسية:** الفيضانات، التشخيص، روبر 20، الفيضانات، التطور.



# Table des matières

---

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude : la vallée de l'oued El Hamiz.....	3
I.1. Présentation des différentes communes regroupées dans la région d'étude .....	4
I.1.1 Commune de Hammadi .....	4
I.1.2 Commune de Dar El Beida .....	4
I.1.3 Commune de Rouiba.....	4
I.1.4 Commune de Bordj El Kiffan (ex-Fort-de-l'Eau) .....	5
I.1.5 Commune de Bordj El Bahri.....	5
I.2. Différents aspects de la zone d'étude .....	6
I.2.1. Aspect Géologique.....	6
I.2.2. Aspect géomorphologique .....	7
I.2.3. Aspect sismicité .....	7
I.2.4. Aspect d'érosion dans le bassin versant.....	7
I.3. Présentation de l'oued el Hamiz et ses affluents .....	8
I.4. Ouvrages traversant oued El Hamiz .....	8
I.5. Conclusion .....	9
Chapitre II : Détermination du débit et de la hauteur de crue dans le cours d'eau d'El Hamiz.	10
II.1. Synthèse des données collectées.....	10
II.1.1 Données climatiques.....	10
II.1.2 Caractéristiques physico-morpho métriques .....	11
II.1.3 Caractéristiques géologiques .....	13
II.1.4 Caractéristiques d'occupation du sol.....	13
II.1.5 Caractéristique du barrage HAMIZ.....	16
II.1.6 Etudes antérieures.....	17
II.2 Etude des crues .....	19
II.2.1 Premier étape .....	19
II.2.2 Deuxième étape .....	22
II.3. Analyse comparative des résultats obtenus avec les différentes méthodes .....	26
II.4. Construction de l'hydrogramme de crue par la méthode de Sokolovsky .....	26

## Table des matières

---

II.4.1 Présentation de la méthode .....	27
II.4.2 Construction de l'hydrogramme de crue au niveau de la zone d'étude.....	28
II.5 La courbe de tarage de l'oued El Hamiz .....	28
Conclusion.....	29
Chapitre III : Diagnostic des cours d'eau.....	31
III.1 Le diagnostic d'un cours d'eau .....	31
III.1.1 Définition .....	31
III.1.2 Matériel et document nécessaire .....	32
III.1.3 L'état des lieux.....	32
III.1.4 Les résultats attendus .....	34
III.1.5 Les difficultés du diagnostic .....	34
III.2 Etude des cours d'eau.....	34
III.2.1 Définitions fondamentales.....	35
III.2.2 Relation entre dimensions du cours d'eau et hydrologie .....	36
III.2.3 Formes en plan - Style fluviaux .....	37
III.2.4 Evolution dans les courbes.....	39
III.2.5 Mécanismes d'évolution des berges .....	40
III.2.6 Seuils et mouilles .....	45
III.2.7 Influence des barrages.....	46
Conclusion.....	47
Chapitre IV : Diagnostic de l'oued El Hamiz .....	47
IV.1 Descriptif de l'oued.....	47
IV.2 Caractéristique morphologique du cours d'eau .....	48
IV.2.1 Tracé en plan .....	48
IV.2.2 Tracé du profil en long de l'oued El Hamiz.....	49
IV.2.3 Profil en travers.....	51
IV.3 Diagnostic de l'oued El Hamiz .....	51
IV.3.1 Tronçon 1: Pont Hamadi-Route Nationale N°5 .....	51
IV.3.2 Tronçon 2 : Route Nationale N°5 - Pont d'El Hamiz .....	55

## Table des matières

---

IV.3.3 Tronçon 3: Pont d'El Hamiz - Pont RN24.....	59
IV.3.4 Tronçon 4: Pont RN24-La mer méditerranée .....	62
IV.4 Différents rejets dans le cours d'eau concernant la zone d'étude .....	65
Conclusion.....	66
Chapitre V : Construction du modèle de calcul appliqué à l'oued El Hamiz .....	66
V.1 Construction du maillage.....	66
V.1.2 Construction du fichier (*.M).....	68
V.1.2 Construction du fichier (*.IMA) .....	68
V.1.3 Construction du fichier (*.MAI) .....	69
V.1.4 Construction du fichier (*.DAT) .....	70
V.1.5 L'utilisation du logiciel Fudaa Prepro.....	71
V.2 Bathymétrie et coefficient de frottement.....	71
V.2.1 Bathymétrie .....	72
V.2.2 Coefficient de frottement au fond .....	72
Chapitre VI : Simulation de la crue centennale de l'oued El Hamiz et visualisation des résultats.....	75
VI.1 Méthodologie de la simulation de la crue .....	75
VI.2 Les conditions initiales.....	75
VI.3 Les conditions aux limites.....	76
VI.4 Représentation des ouvrages qui traversent l'oued ainsi que les bâtis .....	77
VI.5 Paramètres de calculs .....	78
VI.6 Lancement de la simulation et visualisation des résultats.....	79
Chapitre VII : Réaménagement de l'oued El Hamiz.....	82
VII.1 Rappel de quelques notions .....	82
VII.1.1 Notion de débit .....	82
VII.1.2 Notion de charge hydraulique.....	84
VII.1.3 Généralités sur les seuils.....	84
VII.1.4 Dissipateurs d'énergie .....	86

## Table des matières

---

VII.1.5 Epis en blocs .....	86
VII.1.6 Protection de berge par enrochements .....	87
VII.1.7 Les gabions .....	88
VII.2 Rappel de loi de dimensionnement.....	89
VII.2.1 Détermination de la largeur minimale du lit d'un cours d'eau .....	89
VII.2.2 Espacement et longueur des épis .....	89
VII.2.4 Dimensionnement d'une protection de berge en enrochements .....	90
VII.2.5 Protection contre les érosions du lit.....	91
VII.2.6 Réalisation et mise en œuvre des gabions .....	92
VII.2.7 Calcul de seuils en béton .....	93
VII.3 L'exécution de l'aménagement de l'oued El Hamiz.....	94
VII.3.1 Méthode de dragage.....	95
VII.3.2 Détermination de la largeur minimale du lit d'un cours d'eau .....	96
VII.3.3 Profil en long .....	96
VII.3.4 Réhabilitation des tronçons de l'oued El Hamiz .....	98
VII.4 Vérification de l'aménagement avec Rubar20 .....	117
VII.5 Aspects économique .....	117
Conclusion.....	118
Conclusion générale.....	119
Bibliographie.....	120
Annexe.....	121

## Liste des figures

---

<b>Figure I.1:</b> localisation de la zone d'étude .....	4
<b>Figure I.2:</b> carte de situation des différentes communes.....	6
<b>Figure II.1:</b> répartition des pluies mensuelles moyennes.....	11
<b>Figure II.2 :</b> carte d'occupation du sol des sous bassins versants .....	15
<b>Figure II.3 :</b> ajustement de la loi de Gumbel de la série de débit .....	21
<b>Figure II.4:</b> ajustement de la loi de Gumbel de la série de pluie .....	22
<b>Figure II.5 :</b> caractéristiques d'un hydrogramme de crue .....	26
<b>Figure II.6 :</b> hydrogramme de crue de l'oued El Hamiz.....	28
<b>Figure II.7 :</b> courbe de tarage de l'oued El Hamiz extrapolé.....	29
<b>Figure III.1:</b> représentation de termes géographiques usuels [ <i>Degoutte, 2006</i> ].....	35
<b>Figure III.2:</b> grands traits morphologique d'un cours d'eau [ <i>Degoutte, 2006</i> ].....	38
<b>Figure III.3:</b> les courants hélicoïdaux dans un coude (a) courant de surface rapide (b) courant de fond lent [ <i>Degoutte, 2006</i> ].....	39
<b>Figure III.4:</b> Processus d'érosion de berges rencontré (a) en sol peu cohésif et (b) en sol cohésif lorsque la vitesse de l'eau est importante [ <i>Lemieux et col, 1998</i> ].....	41
<b>Figure III.5:</b> phénomène de rupture de berge en cercle [ <i>Lemieux et col, 2005</i> ].....	42
<b>Figure III.6:</b> phénomène de boulangerie [ <i>Lemieux et col, 1998</i> ].....	42
<b>Figure III.7:</b> régression de fond [ <i>Lemieux et col, 2005</i> ].....	43
<b>Figure III.8:</b> comblement d'une retenue [ <i>Degoutte, 2006</i> ].....	46
<b>Figure IV.1:</b> cheminement de l'Oued El Hamiz avec les différents ouvrages.....	48
<b>Figure IV.2:</b> profil en long de l'oued El Hamiz.....	50
<b>Figure IV.3:</b> image aérienne du tronçon 1 .....	51
<b>Figure IV.4:</b> profil en travers de tronçon 1 où le lit mineur présente une largeur d'environ 8 m.....	54
<b>Figure IV.5:</b> image aérienne du tronçon 2 .....	55
<b>Figure IV.6:</b> profil en travers du tronçon 2 où le lit mineur présente une largeur d'environ 9 m.....	58
Figure IV.7: image aérienne du tronçon 2 .....	59
<b>Figure IV.8 :</b> profil en travers du tronçon 3 où le lit mineur présente .....	61

## Liste des figures

---

<b>Figure IV.9:</b> image aérienne du tronçon 4 .....	62
<b>Figure IV.10:</b> construction de bâtisse à la limite de la berge .....	63
<b>Figure IV.11:</b> profil en travers de tronçon 4 où le lit mineur présente .....	64
<b>Figure IV.12:</b> schématisation de l'état des lieux de l'oued El Hamiz .....	66
<b>Figure V.1:</b> calage de la photo de la zone d'étude à l'aide de Fudaa Modeleur .....	67
<b>Figure V.2:</b> implantation des profils en travers et lignes directrices de la zone d'étude.....	68
<b>Figure V.3:</b> programme SECMA .....	68
<b>Figure V.4:</b> lecture du fichier El Hamiz par le programme MCOXIMA.....	69
<b>Figure V.5:</b> lecture fichier *.IMA par le programme MAIL20.....	70
<b>Figure V.6:</b> lecture fichier *.IMA par le programme VF2M .....	70
<b>Figure V.7:</b> maillage de la zone d'étude.....	71
<b>Figure V.8:</b> bathymétrie du modèle et le maillage de l'oued El Hamiz .....	72
<b>Figure VI.1:</b> édition des conditions initiales. ....	75
<b>Figure VI.2:</b> hydrogramme de la crue centennale à l'entrée de la zone d'étude.....	76
<b>Figure VI.3:</b> hauteur d'eau de la crue centennale en fonction de la hauteur à l'entrée de la zone d'étude. ....	77
<b>Figure VI.4:</b> représentation des bâtiments et des ouvrages dans Fudaa-Prepro.....	78
<b>Figure VI.5:</b> lancement de la simulation .....	80
<b>Figure VI.6:</b> étendue de la crue sur terrain avec construction à 38600 s .....	80
<b>Figure VI.7:</b> étendue de la crue sur terrain sans construction à 38600 s .....	81
<b>Figure VII.1:</b> déversoir à seuil épais.....	83
<b>Figure VII.2:</b> schéma technique d'un Bassin de dissipation.....	86
<b>Figure VII.3:</b> vu en plan des épis.....	87
<b>Figure VII.4:</b> terminologie d'un enrochement (source CETMEF).....	88
<b>Figure VII.5:</b> cage de gabion métallique dépliée.....	88
<b>Figure VII.6:</b> schéma technique des épis .....	89
<b>Figure VII.7:</b> schéma technique d'un bassin de dissipation .....	90
<b>Figure VII.8:</b> a) seuil ; b) coursier bétonné ; c) rampe de blocs ; d) rampe de blocs à grande rugosité ; e) coursier avec pavage artificiel ; f) seuils en bois .....	92

---

## Liste des figures

---

<b>Figure VII.9:</b> schéma technique sur dissipateur d'énergie .....	94
<b>Figure VII.10:</b> profil en long de l'oued El Hamiz .....	97
<b>Figure VII.11:</b> coupe en travers du tronçon 1 .....	100
<b>Figure VII.12:</b> coupe en travers du pont Hammadi .....	101
<b>Figure VII.13:</b> vue en plan d'épis conçu pour réguler et stabiliser l'érosion des berges dans le tronçon1 .....	102
<b>Figure VII.14:</b> coupe du profil en travers du tronçon 2 .....	105
<b>Figure VII.15:</b> profil en travers du pont de l'auto route .....	106
<b>Figure VII.16:</b> profil en travers du pont de la voie ferrée.....	107
<b>Figure VII.17:</b> profil en travers du tronçon 3 zone 1 .....	110
<b>Figure VII.18:</b> profil en travers du tronçon 3 zone 2 .....	111
<b>Figure VII.19:</b> profil en travers du tronçon 3 zone 3 .....	112
<b>Figure VII.20:</b> profil en travers du pont d'El Hamiz .....	113
<b>Figure VII.21:</b> coupe du profil en travers du tronçon 4 .....	115
<b>Figure VII.22:</b> profil en travers du pont de l'auto route .....	116

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau II-1</b> : données climatiques observées à la station de Dar El Beida (1975-2010).....	10
<b>Tableau II-2</b> : caractéristiques physico-morpho métriques des différents sous bassins versants .....	12
<b>Tableau II-3</b> : caractéristiques d'occupation du sol des sous bassins versants.....	13
<b>Tableau II-4</b> : Principales caractéristiques hydrologiques du bassin et de la retenue du barrage El Hamiz.....	16
<b>Tableau II-5</b> : inventaire des crues au barrage d'El Hamiz .....	17
<b>Tableau II-6</b> : récapitulatif des résultats obtenus dans les études antérieures .....	18
<b>Tableau II-7</b> : les caractéristiques de la série de débit .....	20
<b>Tableau II-8</b> : les résultats d'ajustement de la loi de Gumbel de la série de débits .....	21
<b>Tableau II-9</b> : les caractéristiques des séries de précipitation.....	22
<b>Tableau II-10</b> : les résultats d'ajustement de la loi de Gumbel de la série de pluie .....	22
<b>Tableau II-11</b> : débits de crues du bassin versant ( $m^3/s$ ) – en tenant compte du barrage.....	23
<b>Tableau II-12</b> : débits de crues de chaque bassin versant ( $m^3/s$ ) – en tenant compte du barrage .....	24
<b>Tableau II-13</b> : débits de crues du bassin versant ( $m^3/s$ ) – en tenant compte du barrage.....	25
<b>Tableau II-14</b> : débits de crues de période de retour 100ans .....	26
<b>Tableau V-1</b> : coefficient de frottement au fond.....	73
<b>Tableau VII-1</b> : valeur du coefficient de Strickler.....	83
<b>Tableau VII-2</b> : type de seuils épais [Laborie, 2005] .....	85
<b>Tableau VII-3</b> : valeur de coefficient correcteur de la vitesse moyenne en courbe.....	92
<b>Tableau VII-4</b> : éléments de références des boues polluées.....	96



## Liste des photos

---

<b>Photo IV.1:</b> éboulement de la berge .....	52
<b>Photo IV. 2:</b> embâcles s'accumulant sur les piles de pont et en plein milieu du cours d'eau	56
<b>Photo IV.3:</b> déstabilisation des berges par les activités anthropiques et la régression du fond .....	60
<b>Photo IV. 4 :</b> construction de bâtisse à la limite de la berge.....	65
<b>Photo IV. 5:</b> rejets des eaux pluviales .....	65

## Notation

---

A	(Km <sup>2</sup> )	:	Surface du bassin versant
B <sub>se</sub>	(m)	:	Largueur minimale du lit
C	-	:	Coefficient qui dépend de la topographie du bassin
C <sub>r</sub>	-	:	Coefficient de ruissellement
C <sub>v</sub>	-	:	Coefficient de variation
C <sub>s</sub>	-	:	Coefficient de sinuosité
C <sub>e</sub>	-	:	Coefficient de correction
C <sub>d</sub>	-	:	Coefficient de débit
D' <sub>50</sub>	(m)	:	Diamètre moyen des blocs
Fr	-	:	Nombre de Froude
G	(%)	:	Pente moyenne pondérée du terrain
g	(m/s <sup>2</sup> )	:	Accélération de la pesanteur
H	(m)	:	Hauteur totale de pluie
H <sub>Max</sub>	(m)	:	Altitude maximal du bassin versant
H <sub>Min</sub>	(m)	:	Altitude minimale du bassin versant
H <sub>moy</sub>	(m)	:	Altitude moyenne du bassin versant
H <sub>T</sub>	(m)	:	Lame d'eau précipitée
i	(m/m)	:	Pente du fond
K	-	:	Coefficient qui dépend de la taille du bassin versant
K <sub>s</sub>	(L <sup>1/3</sup> T <sup>-1</sup> )	:	Coefficient de Strickler
L	(Km)	:	Longueur de l'oued
L <sub>v</sub>	(m)	:	Longueur de la vallée correspondante
L <sub>tr</sub>	(m)	:	Longueur d'un tronçon
L <sub>e</sub>	(m)	:	Longueur de la crête du déversoir
N	(mm)	:	Précipitations annuelles moyennes
P	(m)	:	Périmètre mouillé
P <sub>J<sub>max,F</sub></sub>	(mm)	:	Pluie journalière maximale pour une fréquence donnée
Q	(m <sup>3</sup> /s)	:	Débit
q	(m <sup>2</sup> /s)	:	Débit unitaire
R	(m)	:	Rayon hydraulique
S	m <sup>2</sup>	:	Section mouillée
T	(ans)	:	Période de retour
T <sub>c</sub>	(h)	:	Temps de concentration
t <sub>m</sub>	(h)	:	Temps de montée de la crue
u	-	:	Variable réduit
V	(m/s)	:	Vitesse moyenne
Y	(m)	:	Hauteur conjuguées du ressaut hydraulique
α	(°)	:	Angle du talus

## Notation

---

$\beta$	-	: Coefficient correcteur de la vitesse moyenne en courbe
$\phi$	(°)	: Angle de frottement
$\lambda$	-	: Coefficient de Lane
$\theta$	(°)	: Angle du déversoir
$\rho_e$	(t/m <sup>3</sup> )	: Masse volumique de l'eau
$\rho_s$	(t/m <sup>3</sup> )	: Masse volumique des blocs

# Introduction Générale

---

En Algérie, les aménagements des cours d'eau voient le jour de plus en plus et sont planifiés dans le programme du gouvernement à cause des inondations qui font partie des catastrophes naturelles les plus dangereuses dans le monde. Les pertes humaines et économiques qui sont dues aux inondations ont massivement augmenté chaque année, ceci n'est pas dû forcément à une occurrence ou une intensité plus grande des crues, mais à la croissance du facteur vulnérabilité.

Sous peine de voir ce secteur se développer, les solutions d'aménagement doivent respecter les multiples fonctions que peut remplir un cours d'eau. Seule une concertation continue entre les différents spécialistes permet d'éviter les partis pris qui conduisent à favoriser systématiquement l'un ou l'autre aspect au détriment des autres.

Le cadre dans lequel la loi impose aux spécialistes de l'aménagement des cours d'eau de prendre en compte les aspects liés à la sécurité et aux valeurs naturelles. Cette approche est résumée par le slogan : « Plus d'espace pour nos cours d'eau ».

Le cadre qui s'inscrit dans notre travail est la détection des dysfonctionnements de notre zone d'étude avec une solution adéquate.

Notre travail a débuté par une détermination de notre zone d'étude de l'oued El Hamiz. En premier temps, était de collecter le maximum d'informations de l'oued El Hamiz. En vue, de la détermination du débit et de la hauteur de crue dans le cours d'eau.

Au cours de la réalisation de notre travail, nous avons effectué plusieurs sorties sur terrain, afin de réaliser un diagnostic général du cours d'eau, en vue de simuler la crue.

Pour ce faire, nous avons sollicité l'Irstea, afin de mettre à notre disposition un outil de travail spécifique à notre étude. Le code de calcul RUBAR 20 qui simule les écoulements en bidimensionnel, est l'outil le plus adapté à notre travail, du fait qu'il permet la simulation des crues en zones rurales, et en zone urbaines.

Nous avons construit le modèle de calcul basé sur un maillage du domaine physique d'étude, ainsi qu'une définition des paramètres de calcul et conditions initiales. Après la simulation, nous visualiserons les résultats.

On termine avec un plan d'aménagement, avec un recalibrage sur tout le long du cours d'eau pour une zone riveraine suffisamment large offre le gabarit nécessaire afin d'assurer le transit des débits de crue sans dégâts.

L'utilisation du sol à proximité du cours d'eau doit être adaptée de façon à éviter que des personnes ou des biens soient menacés, sans oublier d'aménager des terrains de loisir et de détente pour les riverains.

## Introduction Générale

---

Cette situation idéale ne peut cependant pas toujours être atteinte : Dans les zones fortement urbanisées, le potentiel de dégât élevé renforce les exigences de protection, tandis que l'espace disponible pour le cours d'eau, il est impérativement liés à l'activité humaine.

Les interventions imposées par la sécurité doivent alors intégrer les aspects liés à l'aménagement de la ville et à son développement.

L'aménagement de cours d'eau en milieu urbain est donc l'occasion de repenser à l'identité du cours d'eau et son rôle dans la cité.

## Chapitre I : Présentation de la zone d'étude : la vallée de l'oued El Hamiz

La plaine de la Mitidja orientale comprend la vallée de l'oued El Hamiz et la vallée de l'oued Réghaia.

La zone de l'étude porte sur le-bassin versant d'El Hamiz qui couvre une superficie d'environ 432 km<sup>2</sup> à son embouchure près de Bordj El Bahri.

Celui-ci fait partie de l'Atlas de Tablat qui est le prolongement occidental du massif du Djurdjura et présente un réseau hydrographique très dense qui révèle une faible imperméabilité des terrains couverts.

A l'Est, il est dominé par la surélévation brusque du massif du Djurdjura qui constitue la grande Kabylie.

Au Sud, il est limité par le Djebel Tames Guida qui délimite la ligne de crête et dont le point culminant est à 1138 m.

Ce bassin versant est exposé aux vents pluvieux de la méditerranée et fournit un écoulement important, mais son régime des débits est intermittent et seuls les débits de crues sont importants. Ainsi l'été, l'oued est sec et l'hiver (saison des pluies) les crues sont violentes et rapides.

L'étude de calibrage de l'oued El Hamiz concerne la wilaya d'Alger. Cette dernière est particulièrement vulnérable face aux crues ; d'où l'urgence et la nécessité de réhabiliter l'oued El Hamiz par un aménagement adéquat et ce en vue d'épargner des vies humaines.

En effet, la densité de la population est d'environ 1 300 habitants par Km<sup>2</sup>. Celle-ci est relativement modeste mais elle est inégalement répartie : par exemple elle est beaucoup plus importante dans El Hamiz, construits sur des terrains marécageux en bordure de l'oued avec un développement urbain anarchique.

L'oued El Hamiz fait suite à l'oued Larbatache. Ce dernier, régularisé par le barrage d'El Hamiz, prend ses sources dans le massif de l'Atlas Blidéen à 1138m d'altitude sur le versant sud, il sort du massif en amont de Larbatache (aval du barrage) et coule ensuite vers le nord dans la plaine de la Mitidja jusqu'à la mer (Figure I.1).

La plaine de la Mitidja-Est (basse Mitidja) est une plaine qui couvre une assez grande superficie, sa largeur moyenne est de 20 km. Elle est répartie entre les wilayas d'Alger et de celle Boumerdes. Elle est limitée au Sud par les piémonts de la chaîne montagneuse de l'Atlas de Blida et au Nord par le Sahel, bande accidentée de quelques kilomètres de large qui borde la mer méditerranée et sur laquelle se situe la ville d'Alger (baie d'Alger).



**Figure I.1:** localisation de la zone d'étude

## **I.1. Présentation des différentes communes regroupées dans la région d'étude**

La région objet de l'étude regroupe les communes suivantes (figure I.2) :

Hammadi, Dar El Beida, Rouiba, Bordj El Kiffan, et Bordj El Bahri.

### **I.1.1 Commune de Hammadi**

La commune de Hammadi s'identifie globalement à la plaine de la Mitidja orientale. Elle est située à l'Ouest de la wilaya de Boumerdes et limitrophe avec la wilaya d'Alger.

Sa superficie est de 24 km<sup>2</sup> et sa population est estimée à 27 972 habitants suivant le recensement de 1998.

La commune de Hammadi est traversée par un réseau de communication routier très satisfaisant.

### **I.1.2 Commune de Dar El Beida**

Dar El Beida est une commune située à 14km au Sud-Est d'Alger. Elle se distingue par la localisation du plus grand aéroport Algérie Houari Boumediene.

Selon le dernier recensement de 2008 la population est de 80033 habitants.

### **I.1.3 Commune de Rouiba**

La commune de Rouiba, située à 25km à l'Est d'Alger, est célèbre grâce à sa zone industrielle qui s'étale sur une superficie de 1000ha.

---

Selon le dernier recensement de 2008 la population de Rouiba est de 61 984 habitants avec un taux d'accroissement de 2,2 %.

#### **I.1.4 Commune de Bordj El Kiffan (ex-Fort-de-l'Eau)**

Bordj El Kiffan est une commune côtière située à l'Est de la wilaya d'Alger et fait partie de l'agglomération d'Alger. Sa superficie est de 21.69 km<sup>2</sup>

Selon le dernier recensement de 2008, la population de Bordj El Kiffan est de 151 950 habitants.

#### **I.1.5 Commune de Bordj El Bahri**

Bordj El Bahri est située à 20 km à l'est d'Alger. Elle est localisée sur la rive Est de la baie d'Alger, à l'embouchure de l'oued El Hamiz.

Elle est entourée à l'Ouest par la Méditerranée, à l'Est par Ain Taya, au Nord par El Marsa et au Sud par Bordj el Kiffan

Bordj El Bahri est une région agricole (65% de son territoire) et touristique (8km de plage).

Selon le dernier recensement de 2008 la population de Bordj El Bahri selon est de 52816 habitants.





**Figure I.2:** carte de situation des différentes communes

## **I.2. Différents aspects de la zone d'étude**

### **I.2.1. Aspect Géologique**

La zone d'étude est située dans la plaine de la Mitidja, elle est sous forme d'un synclinal néogène de dépôts fins du miocène et du plioquaternaire. C'est une formation géologique qui est passée par un plissement puis un remblaiement.

Cette structuration géologique du bassin subsident a débuté au miocène et s'est poursuivie au Pliocène, période au cours de laquelle d'épaisses formations marines de nature argileuses se sont déposées sur les formations carbonatées du Crétacé.

A la fin du Pliocène les formations marneuses, gréseuses et argileuses de l'Astien se sont déposées. Cet ensemble a subi un léger plissement à la fin du Pliocène en entraînant l'isolement du bassin de la Mitidja vers la mer.

La série sédimentaire du bassin de la Mitidja s'étend du Jurassique au Miocène jusqu'au quaternaire.

### **I.2.2. Aspect géomorphologique**

L'Atlas Blidéen et le Sahel algérois sont les deux entités géomorphologiques qui délimitent la région étude vers le Sud et vers le Nord

Le bassin versant de l'oued El Hamiz est constitué essentiellement de trois unités géologiques.

- Au Sud, l'Atlas Blidéen qui est un vaste massif montagneux, joue le rôle d'une barrière. Il est constitué essentiellement d'épaisses séries d'âge jurassique et créacé.
- La plaine de la Mitidja orientale, bassin intra montagneux, constitue une véritable gouttière, où reposent des formations néogènes et quaternaires. Elle s'allonge suivant une direction orientée légèrement Est-Ouest. Au Nord, elle est isolée par la ride du Sahel.
- Au Nord, le Sahel d'Alger s'étend du massif de Bouzareah jusqu'à oued El Hamiz. Il est constitué par les marnes d'âge plaisancien et par la mollasse d'âge Astien.

### **I.2.3. Aspect sismicité**

Le Nord de l'Algérie (Tell) fait partie d'une zone sismique très active, elle s'inscrit dans un contexte de limites des plaques. La plaque africaine converge vers la plaque eurasiennne en direction du Nord-Nord-Ouest à une vitesse d'environ 6mm par an, créant une zone d'intense déformation tectonique de 50 à 100 km de large marquée par les reliefs récents du Maghreb. Le tell est une zone traversée par de nombreuses failles inverses ou décrochantes.

### **I.2.4. Aspect d'érosion dans le bassin versant**

Le bassin versant de l'oued El Hamiz montre la présence de sédiments uniformément résistants, le ruissellement et l'érosion commencent sur les faibles pentes (1%) et augmentent avec celle-ci, par conséquent plus elle est longue, plus le ruissellement s'accumule, prend de la vitesse et de l'énergie et plus l'érosion s'intensifie.

Les manifestations de l'érosion dans le bassin versant de l'Oued El Hamiz sont extrêmement variées et dépendent des roches sous-jacentes, des pentes, du degré de cohésion des sols, ainsi que de l'importance de la dégradation du couvert végétal.

### **I.3. Présentation de l'oued el Hamiz et ses affluents**

L'Oued El Hamiz est l'un des plus grands oueds de la Wilaya d'Alger, il reçoit tout au long de son parcours de nombreux affluents parmi lesquels on cite l'oued Seguia, l'oued Barek et l'oued Larbatach.

Une grande partie des eaux du bassin versant sont régulées par le barrage d'El Hamiz pour les besoins d'irrigation de la plaine de Mitidja Est.

La partie concernée par l'aménagement d'oued El Hamiz reçoit trois affluents :

Deux sur la rive droite

- Bouréah
- Sidi Ali (dont une grande partie est déviée sur Bouréah au niveau de la cité Dergana)

Un sur la rive gauche : Bakora.

Pour éviter les inondations annuelles, l'oued El Hamiz a fait l'objet d'un ensemble de travaux d'aménagement (Etude de 1972) sur une longueur de 29 km, de l'embouchure jusqu'au pont en aval de Khemis El Khechna :

- La rectification du tracé du lit en plan avec suppression des méandres, la longueur initiale de 29km a été ramenée à 23km.
- Recalibrage du lit mineur de l'oued capable d'évacuer une crue de 650 m<sup>3</sup>/s.
- Création par endiguement d'un lit majeur capable d'évacuer une crue de 1000 m<sup>3</sup>/s.
- La rectification de la pente de l'oued par la réalisation de 6 seuils.
- La protection des berges par la mise en œuvre de 20000m linéaires de gabions,

### **I.4. Ouvrages traversant oued El Hamiz**

Les principaux ouvrages répertoriés sur le terrain, de l'amont vers l'aval, traversant l'oued El Hamiz sont les suivants :

- ❖ Pont Hammadi (CW149).
- ❖ Conduite de gaz.
- ❖ Conduite d'eau pour l'irrigation.
- ❖ Pont de l'aéroport.
- ❖ Autoroute (A61).

- ❖ Pont de l'ancienne route Alger-Rouiba.
- ❖ Pont de la voie ferrée Alger-Constantine.
- ❖ Pont d'El Hamiz (RN5)
- ❖ Trois seuils.
- ❖ Conduite d'eau d'AEP.
- ❖ Passerelle.
- ❖ Pont mixte pour tramway et véhicule de la RN24.

### **I.5. Conclusion**

La partie de l'oued concernée par cette étude s'étend du pont de Hammadi jusqu'à l'embouchure sur la baie d'Alger, soit un linéaire de 15 km environ.

A travers cette présentation, il en ressort que :

- L'oued El Hamiz traverse plusieurs veilles susceptibles d'être inondée.
- La qualité de l'eau est très mauvaise dû aux rejets des eaux usées.
- Une partie de ce cours d'eau a été réaménagé

## Chapitre II : Détermination du débit et de la hauteur de crue dans le cours d'eau d'El Hamiz

Les inondations sont dues à des crues très importantes qui deviennent plus fréquentes et plus destructrices, provoquant d'importants dégâts humains et matériels.

Donc la prédétermination (l'annonce des caractéristiques physiques et statistiques d'un événement futur non précisément daté) des débits de crue est essentielle pour la conception des aménagements des cours d'eau, le dimensionnement des ouvrages de franchissement ainsi que la protection des zones urbaines contre les inondations.

On se propose, dans ce chapitre, de définir le débit et la hauteur de la crue de la région à étudier, de la situer dans le contexte de l'hydrologie et d'agir avec discernement sur les phénomènes interagissant sur l'inondation.

L'oued El Hamiz est situé dans une zone bien arrosée avec une forte perturbation atmosphérique résultant d'un rejet d'air froid en altitude au contact d'air chaud provoquant de très fortes précipitations.

### II.1. Synthèse des données collectées

La collecte des données pour les besoins de la détermination des débits de crue concerne essentiellement :

#### II.1.1 Données climatiques

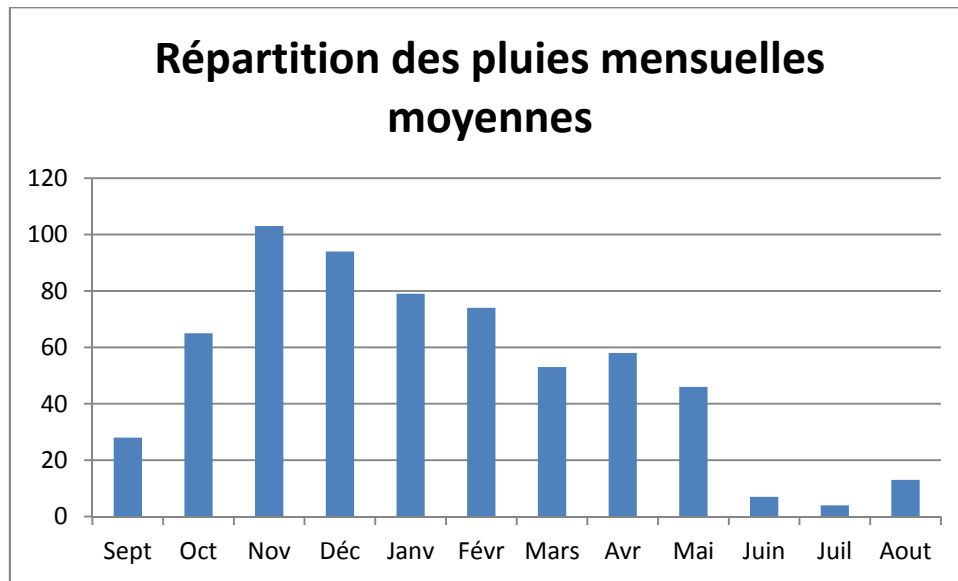
A partir des observations enregistrées à la station climatologique de Dar El Beida, différents phénomènes météorologiques peuvent être caractérisés, située dans la zone d'étude.

Les données climatiques observées à la station de Dar El Beida (1975-2010) (tableau II-1 et figure II.1)

**Tableau II-1** : données climatiques observées à la station de Dar El Beida (1975-2010)

Moyenne mensuelle	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Précipitation (mm)	28	65	103	94	79	74	53	58	46	7	4	13
Température (°C)	23.3	13.3	15	12.1	10.9	11.3	13.3	15.1	18.9	22.8	25.5	26.2
Vitesse du vent (m/s)	2.5	2.1	2.4	2.5	2.3	2.4	2.4	2.8	2.7	2.9	2.8	2.6
Evaporation sous abris (mm)	105	80	66	55	55	49	65	78	84	106	122	127





**Figure II.1:** répartition des pluies mensuelles moyennes

Nous remarquons que la pluie est intense pendant les périodes allons de octobre jusqu'à février.

Le bassin de l'oued Hamiz se situe dans la zone littorale où le climat est méditerranéen soumis à l'influence de la mer. Le relief, est caractérisé par un hiver pluvieux qui s'étend de septembre à mai (96.2 % de précipitation moyenne annuelle) dont les mois de novembre, décembre et janvier sont les plus froids et humides. L'été est sec et ensoleillé du mois de juin, jusqu'à mois d'Aout avec des pluies très faibles.

### II.1.2 Caractéristiques physico-morpho métriques

La zone d'étude concerne le bassin aval de l'oued El Hamiz à partir du pont Hammadi jusqu'à son exutoire à la mer.

Pour l'étude hydrologique, il est impératif de tenir compte également du bassin versant amont de l'oued El Hamiz.

Le bassin versant de l'oued El Hamiz qui est de 321 km<sup>2</sup> fait partie des grands bassins versant côtiers algérois, il se décompose en trois régions géographiques distinctes :

- Région montagneuse de 181.1 km<sup>2</sup> de superficie avec une altitude moyenne de 510m.
- Région de piémont de 23.1 km<sup>2</sup> de superficie avec une altitude moyenne de 110 m.
- Région de la plaine de 116.8 km<sup>2</sup> de superficie avec une altitude moyenne de 40 m.

Le réseau hydrographique est développé surtout dans la partie montagneuse, il est relativement dense. Ses principaux affluents sont :

- Oued Larbatache qui deviendra oued El Hamiz en aval du barrage,

- Oued Barek,
- Oued Bouréah,
- Oued Bacora,
- Oued Sidi Ali.

Le tableau II-2 ci-dessous résume les caractéristiques physico-morpho métriques des différents sous bassins versants.

**Tableau II-2:** caractéristiques physico-morpho métriques des différents sous bassins versants

Oued	Surface SBV (Km <sup>2</sup> )	Longueur de l'oued (Km)	Altitude (m)		Dénivelée (m)	Pente (m/m)	Temps de concentration (h)
			Max	Min			
Sidi Ali	0.3	1.2	9	6	3	0.0025	0.77
Bouréah	42.7	13.1	54	7	47	0.0036	4.20
Bacora	14.2	5.7	15	6	9	0.0016	3.04
Barek	54.2	19.5	804	34	770	0.0395	2.27
Larbatache	138.4	26.0	1139	150	989	0.0380	2.87
Entre le barrage Hamiz et l'Entrée de la wilaya	95.8	16.9	150	30	120	0.0070	3.93
de l'Entrée de la wilaya d'Alger à la Confluence des oueds en aval de l'aéroport	80.0	12.6	30	5	25	0.0020	5.12
de la confluence des oueds en aval de l'aéroport à l'exutoire	6.7	2.0	5	0	5	0.0030	1.14

Le temps de concentration a été calculé par la formule SCS (Soil Conservation Service). La formule prend en considération la longueur du cours d'eau et la dénivelée.

$$T_c = \left( \frac{0.87 * L^3}{H_{Max} - H_{Min}} \right)^{0.385} \quad (II-1)$$

Où, L : longueur de l'oued (km),  $H_{Max} - H_{Min}$  : dénivelée (m),  $T_c$  : Temps de concentration (en heure)

### II.1.3 Caractéristiques géologiques

La connaissance de la géologie d'un bassin versant dans le cadre d'une étude hydrologique a surtout pour objet de déterminer la perméabilité du substratum. Celle-ci intervient sur la vitesse de montée des crues, sur leur volume et sur le soutien apporté au débit d'étiage par les nappes souterraines.

Le bassin versant de l'oued El Hamiz est constitué essentiellement de trois unités géologiques

- Au nord le Sahel d'Alger s'étend, entre Bordj El Kiffan et Bordj El Bahri, est constitué par des dépôts de marais, et d'alluvions récentes. C'est un sol perméable.
- La plaine de la Mitidja, est constituée d'une véritable gouttière, où reposent des formations néogènes et quaternaires, constituant des sols semi perméables.
- Vers le sud l'Atlas Blidéen, est un vaste massif montagneux qui est constitué essentiellement d'épaisses séries d'âge crétacé. Ce sont des sols semi perméables.

### II.1.4 Caractéristiques d'occupation du sol

Les données sur l'occupation du sol sont généralement rares et les documents cartographiques les mentionnant sont bien souvent dépassés. Pour étudier l'état d'humidité du sol et déterminer les surfaces occupées pour chaque sous bassin versant (SBV), le bureau d'étude (STUKY) a élaboré une carte d'occupation du sol pour le bassin versant de l'oued El Hamiz (Figure II.2) sur la base de la carte Google Earth Version 2009, et des dernières versions disponibles des Plans Directeurs d'Aménagement et d'Urbanisme des communes de Larbatache, Hammadi et Khemis El Khechna et des visites sur terrain.

L'exploitation de cette carte, nous a permis d'obtenir les résultats suivants (tableau II-3) :



**Tableau II-3:** caractéristiques d'occupation du sol des sous bassins versants.

Section de calcul	Nature superficielle du sol	Couverture du bassin
Oued Sidi Ali jusqu'à sa confluence avec oued Hamiz	Taux d'infiltration faible, zone généralement urbaine	6% terres agricoles + 94 % bâti
Oued Bouréah jusqu'à sa confluence avec oued Hamiz	Taux d'infiltration moyen à faible, zone a moitié urbanisée urbaine	51% terres agricoles + 49% bâti
Oued Bacora jusqu'à sa confluence avec oued Hamiz	Taux d'infiltration moyen à faible, zone a moitié urbanisée	52% terres agricoles + 48% bâti
Oued Barek jusqu'à sa confluence avec oued Hamiz	Taux d'infiltration faible à moyen	54% foret+39% terres agricoles + 7% bâti
Oued Larbatache jusqu'au barrage Hamiz	Taux d'infiltration faible, sol lourd argileux	99% foret+0.8% terres agricoles + 0.2% bâti
Oued Hamiz entre barrage Hamiz et l'entrée de la wilaya d'Alger	Taux d'infiltration moyen, sol limoneux, légers et fertiles, zone presque à moitié urbanisée	4.5% foret+53.5% terres agricoles + 42% bâti
Oued Hamiz entre l'entrée de la wilaya d'Alger et la confluence d'oued en aval de l'aéroport	Taux d'infiltration faible à moyen, zone urbanisée a plus que la moitié	44% terres agricoles + 56% bâti
Oued Hamiz entre la confluence des oueds en aval de l'aéroport et l'exutoire a la mer	milieu en général imperméable au bord du sahel	1% terres agricoles + 95% bati+4% sable de dunes actuelles

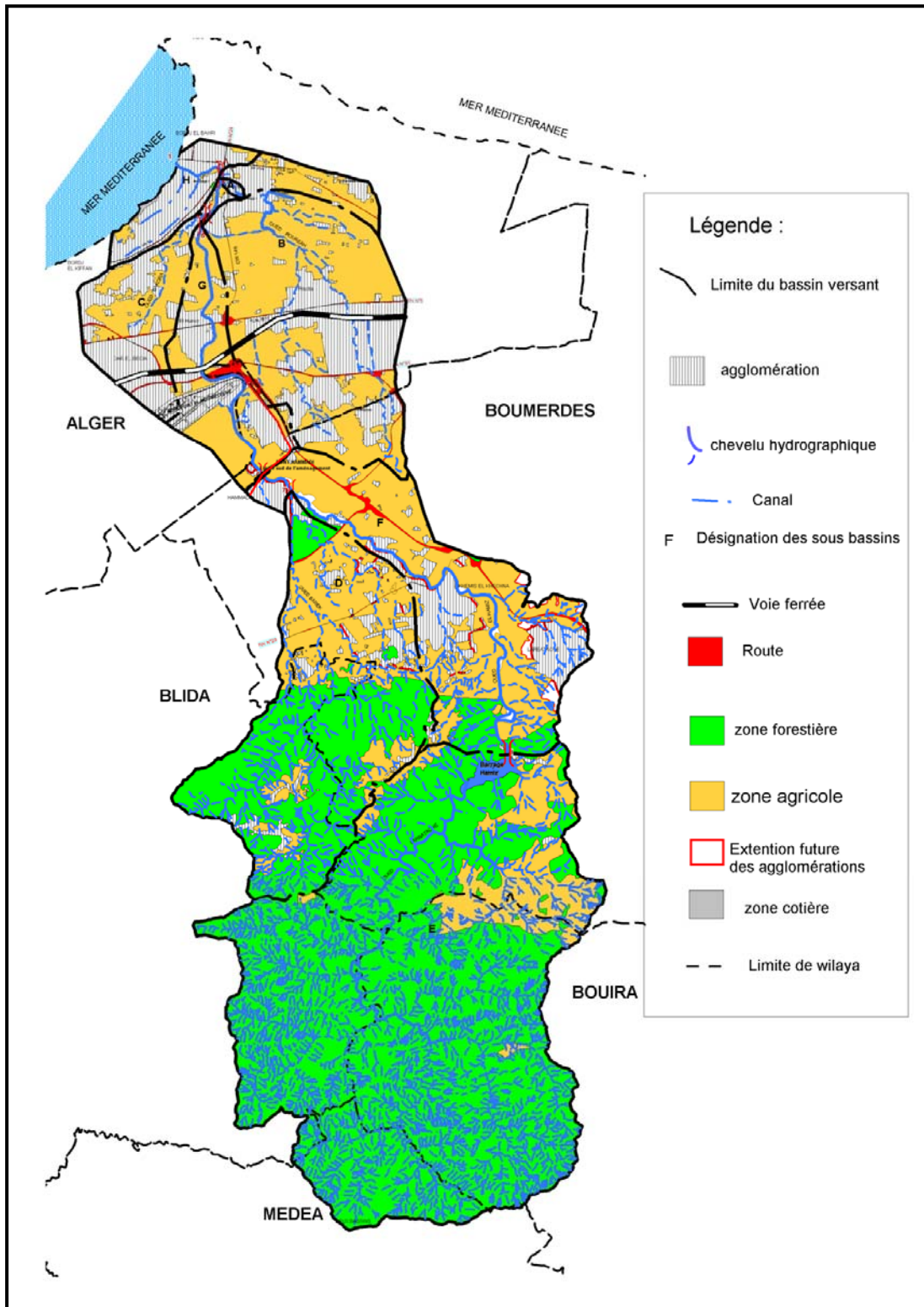


Figure II.2 : carte d'occupation du sol des sous bassins versants

### II.1.5 Caractéristique du barrage HAMIZ

Ces données ont été collectées (tableau II-4) dans le but de les exploiter aussi bien pour l'étude hydrologie que pour la partie Hydraulique en aval du barrage El Hamiz.

Le barrage du Hamiz est situé dans la wilaya de Boumerdes, à 6 km au Sud – Est de la ville de Khemis El Khechna et à 35 km à l'Est d'Alger. Il est construit dans la plaine de la Mitidja, un peu à l'amont du débouché de l'oued Larbatache, qui prend ensuite le nom de l'oued Hamiz.

Le barrage fut construit de 1869 à 1879, et surélevé en 1935 de 7 m pour augmenter le volume de la retenue.

**Tableau II-4:** Principales caractéristiques hydrologiques du bassin et de la retenue du barrage El Hamiz

<b>Caractéristiques hydrologiques</b>		
Oued	Larbatache	
Capacité initiale (Mm <sup>3</sup> )	14.00	
Capacité après surélévation (Mm <sup>3</sup> )	21.00	
Apport moyen annuel (Mm <sup>3</sup> /an)	55.00	
Envasement (Mm <sup>3</sup> /an)	0.35	
Surface du bassin versant (Km <sup>2</sup> )	139.00	
<b>Caractéristiques du barrage</b>		
Type	Poids	
Hauteur (m)	50.00	
Longueur (m)	222.00	
Cote retenue normale (N.N.R) (m)	174.10	
Cote Plus Haute Eaux (P.H.E) (m)	175.00	
Déversoir : Vanne cylindrique	Débit (m <sup>3</sup> /s)	930.00
	Cote sommet de la vanne en position fermée	174.30
	Cote arête inférieure de la vanne en position ouverture maximum	172.80
	Cote arête inférieure de la vanne en position fermée	167.70
	Cote du seuil	169.00
Vidange de fond (m <sup>3</sup> /s)	2 X 35	

L'inventaire des crues par ordre de débit maximum décroissant connues au barrage El Hamiz est le suivant (tableau II-5) :

**Tableau II-5:** inventaire des crues au barrage d'El Hamiz

Date	Débit maximum (m <sup>3</sup> /s)	Volume de la crue (Mm <sup>3</sup> )	Pluie (mm)
21 novembre 1957	690	-	-
13 et 14 avril 1954	660	5.0	150mm en 24 heures 95mm en 6 heures
26 et 27 février 1939	520	10.0	-
11 et 12 décembre 1935	510	-	128 en 24 heures
29 et 30 décembre 1957	420	24.0	126mm en 30 heures
15 et 16 avril 1939	400	9.0	-
18 février 1939	360	16.0	-
21 mai 1921	300	-	93 en 3 heures
8 et 9 avril 1939	280	10.0	-
8, 9 et 10 avril 1954	Plusieurs crues 230, 310 et 300.	28.0	230 en 48 heures
07 avril 1965	180	4.8	45 en 10 heures

### II.1.6 Etudes antérieures

Une crue est un phénomène suffisamment important pour que l'on conserve le souvenir des principales catastrophes. Ce souvenir peut se traduire par des descriptions écrites, par des repères de niveau marqués par l'homme, par des déplacements de blocs de rochers...

Dans tous les cas, il est donc recommandé de procéder à une investigation "historique", que ce soit dans des textes anciens ou tout au moins par interrogation des populations locales. Les résultats que l'on peut en espérer serviront essentiellement à vérifier que les estimations des débits de crues faites par d'autres méthodes permettent de compléter les

différentes crues catastrophiques enregistrées. Donc la recherche historique apporte un ordre de grandeur du phénomène.

L'oued El Hamiz et ses principaux affluents ont fait l'objet de quelques études dans le domaine d'irrigation, barrage et assainissement. Dans le tableau (II-6) est donné un récapitulatif des résultats rapport des différents organismes (DRHEE d'Alger, ANRH, ANBT, DHW de Boumerdes, Seaal)

**Tableau II-6:** récapitulatif des résultats obtenus dans les études antérieures

Auteur, année		J.Deri et A.Husson 1972	L.Calvet 1974	Coyne et Bellier 1971	M.Lenkei 1972	Monographie du barrage El Hamiz, ANBT1965
Pluie moyenne annuelle (mm)		890	-	-	-	936.5
Pluie journalière maximale fréquentielle (mm)	10 ans	113	-	-	-	-
	50 ans	163	-	-	-	-
	100 ans	185	-	-	-	150.0
	1000 ans	255	-	-	-	-
	10000 ans	325	-	-	-	-
Apport moyen annuel (Mm <sup>3</sup> / an)		42	-	-	-	51.4
Débits de crues (m <sup>3</sup> /s)	10 ans	360	580	580	470	-
	50 ans	580	-	-	-	-
	100 ans	680	920	800	800	820.0
	1000 ans	900	1250	1200	1200	-
	5000 ans	-	1470	1400	1400	-
	10000 ans	1200	1600	-	-	-

Pratiquement pour toutes les études, les auteurs ont utilisé les mêmes séries de données. Par contre pour les crues, les méthodes utilisées sont différentes d'un auteur à un autre mais les résultats restent dans le même ordre de grandeur.

### II.1.7 Etude des pluies

Les précipitations donnent une vision générale sur le régime pluvial, elles constituent un élément essentiel pour l'analyse des ressources en eau. La connaissance des pluies

journalières maximales est primordiale pour l'étude des crues et offre également aux aménageurs la possibilité de dimensionner certains ouvrages hydrauliques.

Les précipitations moyennes annuelles pour l'ensemble du bassin versant de l'oued El Hamiz sont de 768 mm.

## **II.2 Etude des crues**

La prédétermination des débits de pointe de crue est une pratique désormais courante en hydrologie. C'est en particulier une étape incontournable de la réalisation des plans de prévention des risques.

Les crues varient spatialement et temporairement, et sont caractérisées par leur débit de pointe et leur hydrogramme.

Ces débits de pointe dépendent de plusieurs facteurs :

- la quantité de pluie et sa durée,
- l'intensité et l'extension spatiale de l'averse génératrice,
- les propriétés physio-morpho métriques du bassin tel que la taille, la forme, les pentes et l'orientation du bassin exerçant une large influence,
- l'occupation du sol du bassin,
- l'intervention humaine et les changements naturels des caractéristiques du bassin augmentent la complexité du problème.

La zone d'étude est confrontée aux inondations de l'oued El Hamiz et régulièrement menacée par ces catastrophes hydrologiques. Ce phénomène a énormément préoccupé et préoccupe toujours les autorités locales.

Dans notre cas nous, sommes passés par deux étapes pour l'évaluation des débits de crues du bassin versant :

- 1<sup>er</sup> étape : étudier la série des débits et faire ressortir les débits évacués par le barrage
- 2<sup>ème</sup> étape : étudier la série des précipitations et faire ressortir les débits de pointe grâce à des formules empiriques

### **II.2.1 Premier étape**

Pour le calcul du débit évacué par le barrage, nous avons suivi la méthodologie des maxima annuels :

Quand on dispose de séries d'observations hydrométriques assez longues (généralement un nombre d'années  $n > 20$  ans), on peut procéder à un ajustement graphique des débits de crues par les lois statistiques.

La méthode à suivre est la suivante :

- L'échantillonnage : L'échantillon de travail sera constitué du débit max journalier instantané de chaque année.
- Vérification des hypothèses d'indépendance, stationnarité et d'homogénéité de l'échantillon de travail.
- Classement de l'échantillon.
- Attribution à chacune des observations d'une fréquence empirique.

L'application de la méthode sur notre série est comme suit :

Nous nous sommes déplacés vers L'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) pour récupérer les lâchés du barrage El Hamiz, mais la série de données comportait beaucoup de lacune.

1- Une série de débit de la station sur l'oued El Hamiz nommée Pont D9 a été recueillie auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrique (ANRH). Cette station est à l'aval du barrage El Hamiz, elle a été mise en service en 1972, alors que la mise en eau du barrage était en 1935. Cette station mesure les apports liquides provenant du barrage El Hamiz.

C'est pour cette raison que nous avons utilisé la station hydrométrique à l'aval du barrage

Dans le tableau II-8 sont résumées les caractéristiques de la série de débits

**Tableau II-7:** les caractéristiques de la série de débit

Paramètres	Valeurs
Taille de la série	26.00
Maximum (m <sup>3</sup> /s)	453.78
Moyenné (m <sup>3</sup> /s)	85.55
Minimum (m <sup>3</sup> /s)	0.60
Ecart type (m <sup>3</sup> /s)	69.38

Cette série a été testée avec le logiciel XLSTAT. Elle est homogène, stationnaire et indépendante.

Il existe plusieurs lois d'ajustement des séries hydrométriques qui sont soit des séries de mesure des débits ou série pluviométrique. Dans notre cas, la méthode qui convient est la loi de Gumbel puisque nous avons des débits maximums journaliers.

2- l'ajustement de la série par la loi de Gumbel

Pour l'étude des débits extrêmes, on constitue un échantillon de N valeurs, chacune d'elles représentant la précipitation journalière la plus forte d'une des N années.

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est :

$$F(x) = FND = e^{-e^{-\alpha(X-X_0)}} \quad (\text{II-2})$$

D'où:  $F(x)$  : la fréquence au non dépassement FND,  $\alpha$  : coefficient d'ajustement.  $X$  : débit maximale journalière (mm),  $X_0$  : ordonnée à l'origine en (mm).

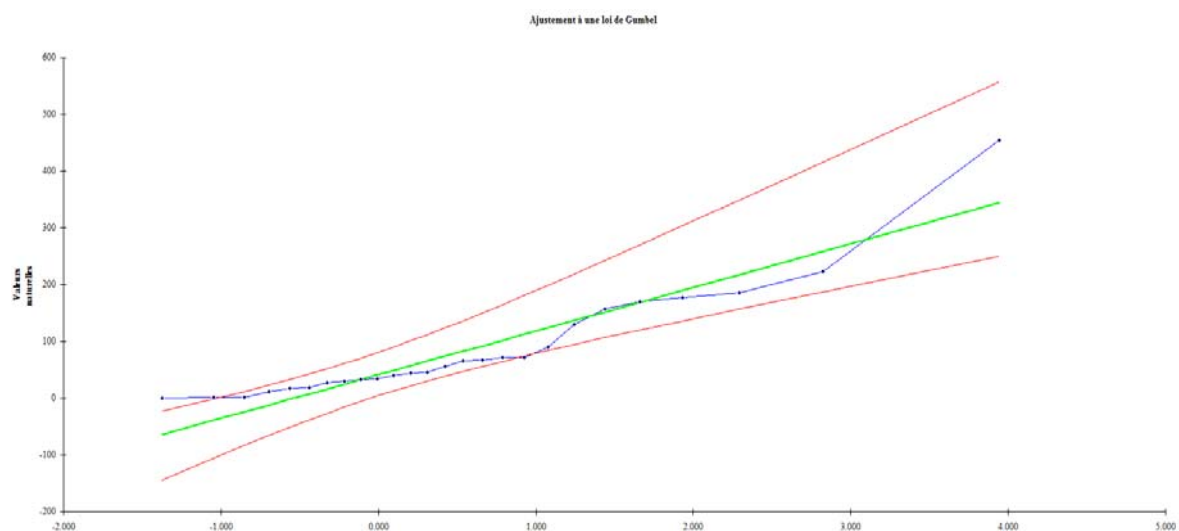
Donc la droite de Gumbel s'écrit :

$$X = \frac{1}{\alpha} * y + X_0 \quad (\text{II-3})$$

D'où :  $y$  : variable réduite de Gumbel,  $1/\alpha$  : la pente de la droite de Gumbel.

En utilisant logiciel HYDROLAB pour l'ajustement de la série de débits de la station de Pont D9 on obtient les résultats suivants :

Avec un niveau de confiance de 95%, les résultats d'ajustement de la loi de Gumbel de la série de débits sont résumé dans la figure II.3 et le tableau II-8.



**Figure II.3** : ajustement de la loi de Gumbel de la série de débit

Tableau II-8: les résultats d'ajustement de la loi de Gumbel de la série de débits

Période de retour (ans)	Fréquence	Débits (m <sup>3</sup> /s)
2	0.500	69.4
5	0.800	156.43
10	0.900	214.05
20	0.950	269.32
50	0.980	340.86
100	0.990	394.47



200	0.995	447.89
500	0.998	518.36
1000	0.999	571.63

Le logiciel Hydrolab peut donner des résultats de n'importe quelle période de retour que l'on choisit.

On se limite pour les périodes citées dans le tableau précédent.

## II.2.2 Deuxième étape

1. La série de précipitation de la station Hamiz barrage a été recueillie auprès de l'ANRH. Cette série a été testée via le logiciel XLSTAT. Il en ressort qu'elle est indépendante, homogène et stationnaire.

Les caractéristiques de la série de précipitation sont résumées dans le tableau II-9.

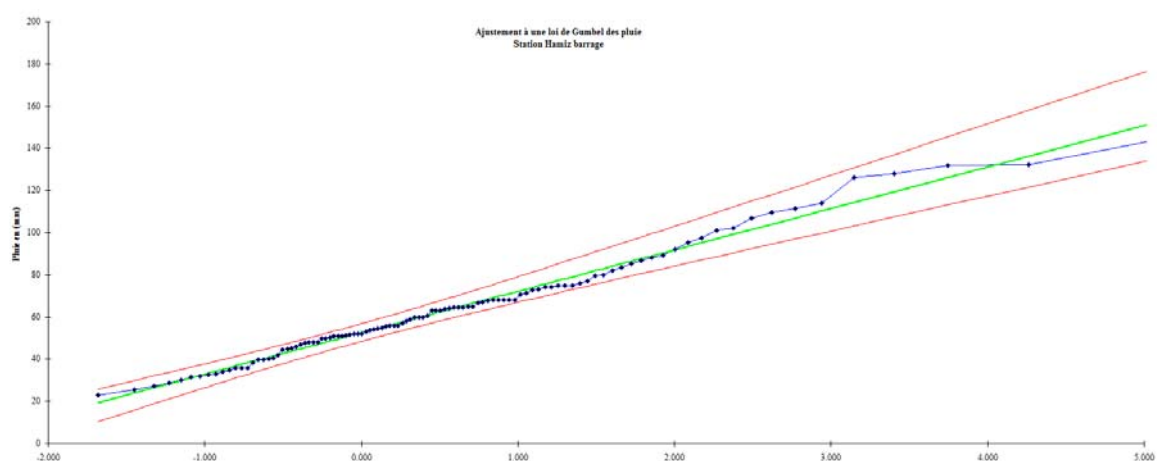
**Tableau II-9:** les caractéristiques des séries de précipitation

Paramètres de la série de la station Hamiz barrage	valeurs
taille de la série	107
Maximum (mm)	148.00
Moyenné (mm)	63.88
Minimum (mm)	23.00
Ecart type (mm)	18.90

### 2- L'ajustement de la série par la loi de Gumbel

Pour les mêmes raisons que pour la série de débits on utilise l'ajustement par la loi de Gumbel au moyen du logiciel HYDROLAB

Avec un niveau de confiance de 95%, les résultats d'ajustement de la loi de Gumbel de la série de précipitation sont résumés dans la figure II.4 et le tableau II-10.



**Figure II.4:** ajustement de la loi de Gumbel de la série de pluie

**Tableau II-10:** les résultats d'ajustement de la loi de Gumbel de la série de pluie

Période de retour (ans)	Fréquence	pluie (mm)
2	0.500	59.74
5	0.800	82.02
10	0.900	96.77
20	0.950	110.92
50	0.980	129.24
100	0.990	142.96
200	0.995	156.64
500	0.998	174.68
1000	0.999	188.32

Ensuite on utilise les méthodes empiriques de Giandotti, Mallet Gauthier, Turazza et on rajoute le débit évacué par le barrage.

i. Formule de Giandotti

Cette formule utilise les caractéristiques topographiques du bassin versant ainsi que la précipitation pour une durée égale au temps de concentration. L'équation est donnée par l'expression suivante :

$$Q_{MaxT} = \frac{C \times A \times H_T \times \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4 \times \sqrt{A} + 15 \times L} \quad (\text{II-4})$$

où, A: Surface du bassin versant en km<sup>2</sup>; L : Longueur du cours d'eau principal en Km; H<sub>moy</sub> : Altitude moyenne du bassin versant en m; H<sub>min</sub> : Altitude minimale du bassin versant en m; C : Coefficient qui dépend de la topographie du bassin et qui varie entre 66 et 166, et H<sub>T</sub> : Lamme d'eau précipitée de période de retour T. [Touaïbia, 2004]

Cette méthode a permis d'obtenir les débits de crue de période de retour de 2, 5, 10, 20, 50 et 100, 200, 500, et 1000 ans pour chaque sous bassin versant. Les résultats sont regroupés ci-après dans le tableau II-11.

**Tableau II-11:** débits de crues du bassin versant (m<sup>3</sup>/s) – en tenant compte du barrage

Période de retour (ans)	débit de crue du BV (m <sup>3</sup> /s)	débit sortant du barrage (m <sup>3</sup> /s)	débit total (m <sup>3</sup> /s)
2	285.21	69.40	354.61
5	391.58	156.43	548.01
10	462.00	214.05	676.05

20	529.56	269.32	798.88
50	617.02	340.86	957.88
100	682.52	394.47	1076.99
200	747.83	447.89	1195.72
500	833.96	518.36	1352.32
1000	899.08	571.63	1470.71

ii. Formule de Mallet- Gauthier

Dans leurs études sur «les problèmes de l'eau en Algérie» Mallet et Gauthier ont établi une formule exprimant le débit maximum en fonction des précipitations, de la surface du bassin (supérieur à 1 km<sup>2</sup>), des caractéristiques géographiques, climatiques et de la période de retour T.

$$Q_{MaxT} = 2 \times k \times \ln(1 + 20 \times H) \times A \times \sqrt{\frac{1 + 4 \times \ln T - \ln A}{L}} \quad (\text{II-5})$$

où,  $k$  : Coefficient variant de 0.5 pour les grands B.V à faible pente et à 5 pour les petits B.V à forte pente ;  $H$  : Précipitation moyenne annuelle (m);  $L$  : Longueur du cours d'eau principal (Km);  $A$  : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>), et  $T$  : Période de retour (ans). [Touaïbia, 2004]

Cette méthode a permis d'obtenir les débit de crue de période de retour de 5, 10, 20, 50 et 100, 200, 500, et 1000 ans pour chaque sous bassin versant. Les résultats sont regroupés dans le tableau II-12.

**Tableau II-12:** débits de crues de chaque bassin versant (m<sup>3</sup>/s) – en tenant compte du barrage

Période de retour (ans)	débit de crue du BV (m <sup>3</sup> /s)	débit sortant du barrage (m <sup>3</sup> /s)	débit total (m <sup>3</sup> /s)
5	386.35	156.43	542.78
10	620.60	214.05	834.65
20	788.05	269.32	1057.37
50	965.83	340.86	1306.69
100	1081.07	394.47	1475.54
200	1185.16	447.89	1633.05
500	1310.12	518.36	1828.48
1000	1397.24	571.63	1968.87

iii. Formule de Turazza

Turazza a établi une formule, adoptée en Italie, qui est la suivante :

$$Q = \frac{C_r \times H \times A}{3.6 \times T_c} \quad (\text{II-6})$$

où,  $C_r$  : Coefficient de ruissellement du bassin pour la crue considérée;  $H$  : La hauteur totale maximale de pluie relevée pendant une durée égale au temps de concentration  $t_c$  du bassin (exprimé en heures.);  $A$  : Superficie du bassin en  $\text{km}^2$ .

Pour calculer la hauteur  $t$  totale maximale de pluie relevée pendant une durée égale au temps de concentration  $T_c$  du bassin on utilise la formule de K.Body

$$P_{J_{\max,F}} = \frac{P_{J_{\max}}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} \times e^{u\sqrt{\ln(C_v+1)}} \quad (\text{II-7})$$

où,  $P_{J_{\max,F}}$  : pluie journalière maximale pour une fréquence donnée (mm) ;  $C_v$  : coefficient de variation ;  $u$  : variable réduit.

$$H_{t,f} = P_{J_{\max,F}} \times \left( \frac{t}{24} \right)^b \quad (\text{II-8})$$

Où,  $t$  : durée de l'averse (h) ;  $b$  : exposant climatique [Touaïbia, 2004]

avec,  $b = 0.41$ ,  $C_v = 0.29$  et  $P_{J_{\max,F}} = 63.9 \text{ mm}$

Cette méthode a permis d'obtenir les débits de crue de période de retour de 2, 5, 10, 20, 50 et 100, 200, 500, et 1000 ans pour chaque sous bassin versant. Les résultats sont regroupés dans le tableau II-13.

**Tableau II-13:** débits de crues du bassin versant ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) – en tenant compte du barrage

Période de retour (ans)	débit de crue du BV ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	débit sortant du barrage ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	débit total ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
2	185.68	69.40	266.65
5	299.09	156.43	457.81
10	383.93	214.05	590.36
20	473.63	269.32	722.87
50	594.33	340.86	895.86
100	696.70	394.47	1033.70
200	802.90	447.89	1362.06
500	951.93	518.36	1463.50
1000	1013.25	571.63	1584.88

Il est important de préciser que les formules données plus haut ne sont applicables qu'aux bassins versants qui s'identifient aux descriptions citées. De plus ces formules ne représentent qu'une adaptation mathématique des données recueillies pendant une période limitée sur une région climatique donnée. Ce qui, nous conduit à dire, que leurs extrapolations inconsidérées pourront certainement être dangereuses.

### **II.3. Analyse comparative des résultats obtenus avec les différentes méthodes**

Les résultats des trois méthodes ainsi que les études antérieures, sont regroupés dans le tableau II-14.

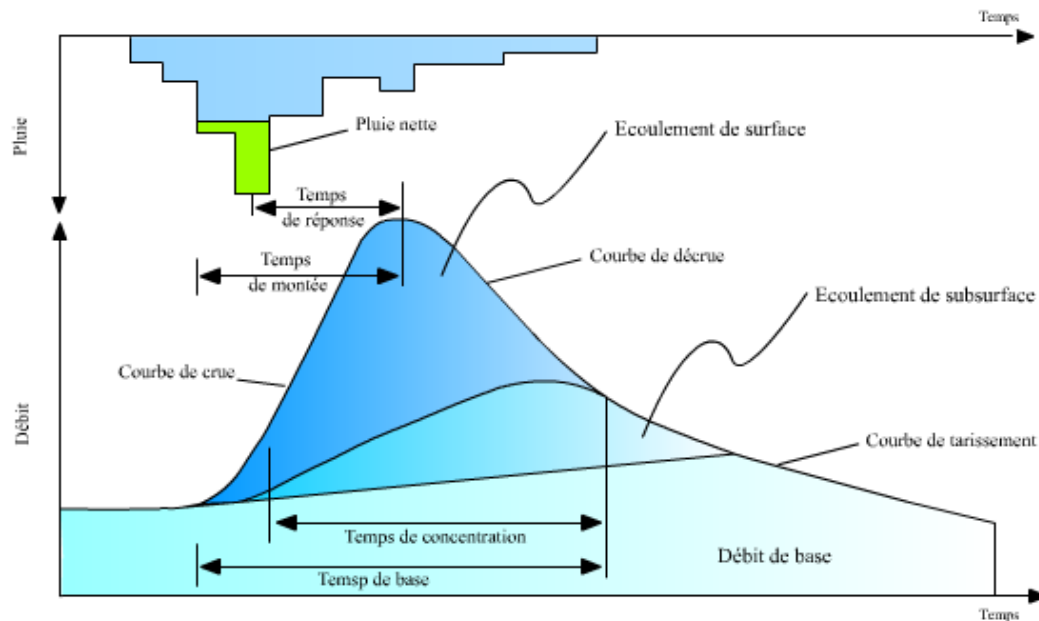
**Tableau II-14:** débits de crues de période de retour 100ans

	Méthode	Débits de crues (m <sup>3</sup> /s)
Méthodes utilisées	Turazza	1033.70
	Giandotti	1076.99
	Mallet-Gauthier	1475.54
Etude antérieures	L.Calvet 1974	920.00
	M.Lenkei 1972	800.00
	barrage El Hamiz, ANBT1965	820.00

Il ressort de ce tableau que l'ordre de grandeur du débit de pointe de la crue centennale est toujours dans le même ordre de grandeur pour les méthodes Giandotti et Turazza mais sur la méthode de Mallet-Gauthier le débit est beaucoup plus élevé. Nous remarquons que les études antérieures donnent les débits plus faibles dus aux changements climatiques.

### **II.4. Construction de l'hydrogramme de crue par la méthode de Sokolovsky**

Avant de présenter la méthode, voici les principales caractéristiques d'un hydrogramme de crue (figure II.5) :



**Figure II.5** : caractéristiques d'un hydrogramme de crue

Sur cet hydrogramme, on peut distinguer par ordre de chronologie :

- La courbe de concentration ou courbe de montée (correspondant au temps de montée)
- La pointe de l'hydrogramme ou débit de pointe ;
- La courbe de décrue (diminution du débit ruisselé) ;
- La courbe de tarissement (le ruissellement est terminé : l'écoulement hypodermique et souterrain alimente le réseau hydrographique) ;
- Le temps de montée (entre le début du ruissellement direct et la pointe de la crue) ;
- Le temps de réponse ou « lag » (entre le centre de gravité de la pluie dite « efficace » (autrement dit la portion de la pluie qui se transforme totalement en écoulement) et la pointe de l'hydrogramme) ;
- Le temps de base ou durée du ruissellement (entre le début de la pluie efficace et la fin du ruissellement) ; Le temps de concentration (entre la fin de la pluie efficace et la fin du ruissellement direct) ;

#### II.4.1 Présentation de la méthode

Pour la construction d'un hydrogramme de crue, la méthode de Sokolovski permet de calculer les débits lors de la crue, et lors de la décrue.

##### i. Débits de montée

Pour la crue, le débit se calcule comme suit :

$$Q_t = Q_{\max} \times \left( \frac{t}{t_m} \right)^2 \quad (\text{II-10})$$

où,  $t_m$  est le temps de montée de la crue, qui selon Sokolovsky, peut être égal au temps de concentration  $t_c$ .

#### ii. Débits de la décrue

Pour la décrue, le débit par contre se calcule avec une autre méthode :

$$Q_t = Q_{\max} \times \left( \frac{t_d - t'}{t_d} \right)^3 \quad (\text{II-11})$$

Avec :  $t' = t - c$  et  $t_d = \gamma * t_m$

où,  $\gamma$  : étant un coefficient qui est fonction de la taille du bassin versant et de la perméabilité du sol, et a pour valeurs :

$\gamma = 2$  pour les bassins versants dont la superficie est inférieure à  $5 \text{ km}^2$ .

$\gamma = 2$  à  $3$  pour les bassins versants non boisés.

$\gamma = 3$  à  $4$  pour les grands bassins versants boisés et perméables.

Pour le bassin versant de l'oued El Hamiz, dans notre cas d'étude, on prend  $\gamma$  une valeur égale à  $3$ .

#### **II.4.2 Construction de l'hydrogramme de crue au niveau de la zone d'étude**

En appliquant la formule de Sokolovsky pour la crue centennale, nous obtenons l'hydrogramme illustre sur la figure II.6 :

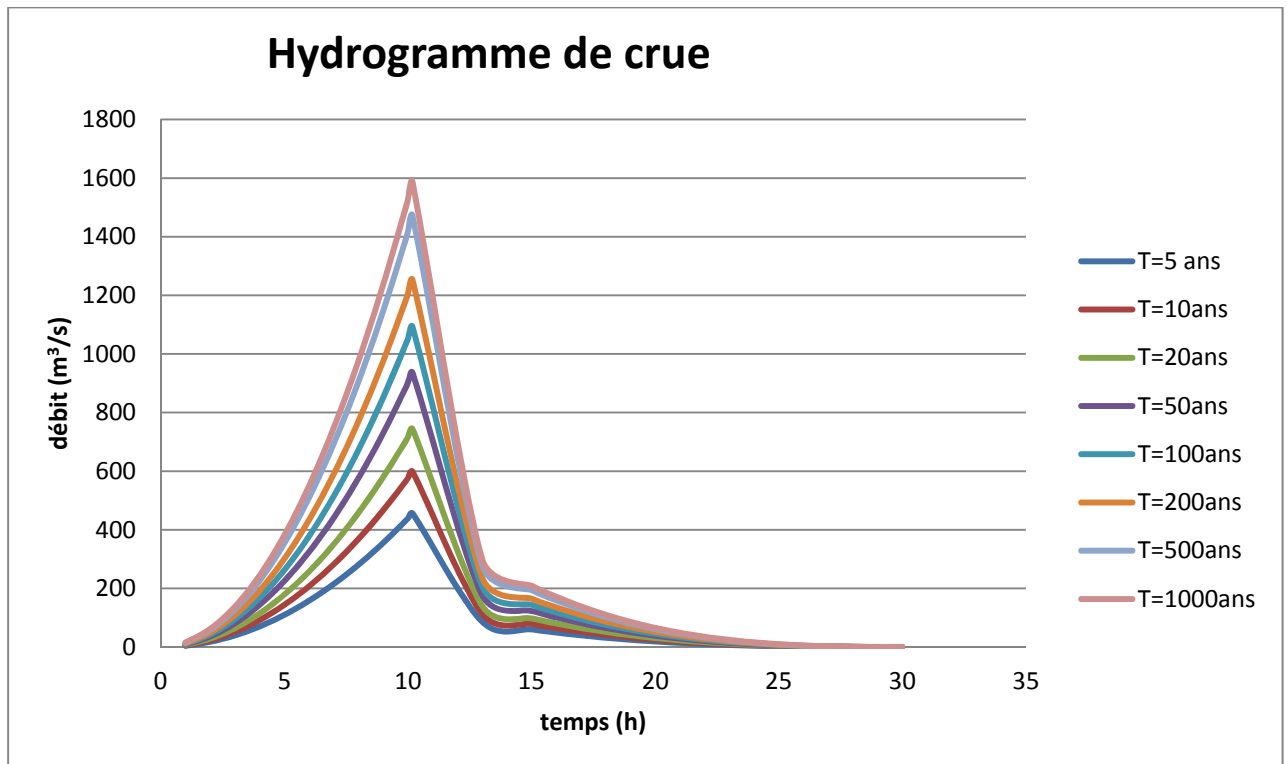


Figure II.6 : hydrogramme de crue de l'oued El Hamiz

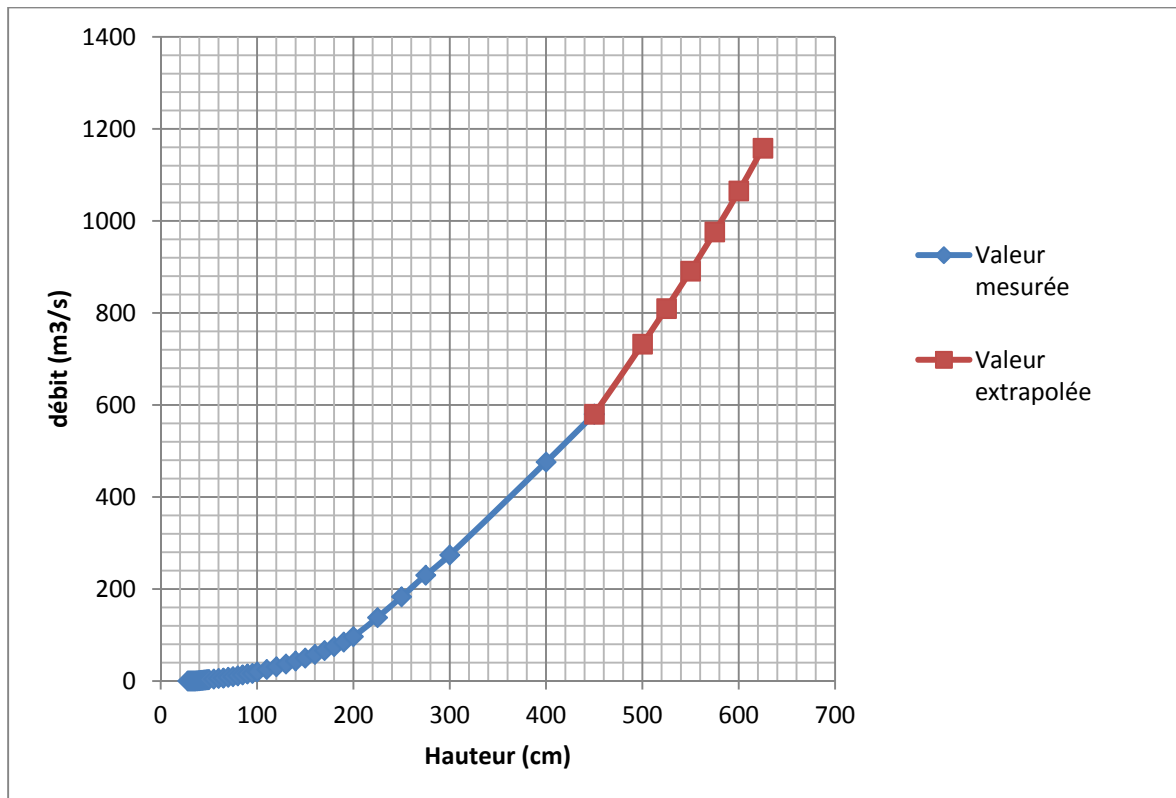
### II.5 La courbe de tarage de l'oued El Hamiz

Courbe tarage synonyme de courbe hauteur-débit, courbe indiquant la relation entre la hauteur d'eau et le débit d'un cours d'eau au droit d'une station hydrométrique.

La courbe de tarage a été recueillie auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrique (ANRH) de la station sur l'oued El Hamiz nommée Pont D9.

La courbe de tarage de l'oued El Hamiz sur la figure II.7, extrapole pour les débits qu'on n'a pas dans la courbe grâce à la courbe de tendance sur Excel.





**Figure II.7** : courbe de tarage de l'oued El Hamiz extrapolé

### **Conclusion**

Conformément aux termes de références et aux besoins du projet, le présent chapitre a déterminé les paramètres hydrologiques nécessaires à l'aménagement de l'oued El Hamiz pour protéger la zone avale de l'oued contre les crues.

La principale thématique hydrologique traitée de façon détaillée pour tous les sous bassins versants est la crue à différentes périodes de retour.

Les estimations hydrologiques ont été réalisées à travers des méthodes tenant compte des caractéristiques physico morpho métriques, géologiques du bassin versant, des conditions d'infiltration et d'humidité du sol et les pluies locales observées aux stations implantées dans le bassin de l'oued El Hamiz et à son voisinage proche.

## Chapitre III : Diagnostic des cours d'eau

Les cours d'eau sont des milieux complexes et uniques qui réunissent à la fois des intérêts de la nature (faune et flore), forestiers (cordon boisé), hydraulique (protection des berges, évacuation des eaux) et hydrologiques (étiages, crues et inondation).

L'état des cours d'eau évolue au gré de leur dynamique fluviale et végétale. Les activités humaines développées sur leurs berges peuvent également modifier cet état. L'entretien est donc souvent nécessaire pour maintenir les rivières dans un état de bon fonctionnement pour éviter l'inondation.

Celle-ci peut avoir pour conséquence d'une part de provoquer une cessation temporaire de l'activité et d'autre part d'engendrer des dommages. Ces dommages sont d'abord directs (dégradation ou destruction des biens ou même perte humaine) mais aussi indirects (perte d'investisseur, perte de la valeur et l'image de la ville...).

### III.1 Le diagnostic d'un cours d'eau

#### III.1.1 Définition

Le diagnostic montrera l'emboîtement des impacts au niveau du bassin versant, du lit majeur et du lit mineur. Des activités humaines sur le bassin versant, entraîne l'imperméabilisation, le déboisement, la suppression des talus, les effluents agricoles, etc. Provoquent également des modifications fortes au niveau : paysage, hydrologie, qualité physicochimique.

Elles ont donc des répercussions importantes au niveau de la dynamique de la rivière.

Ces dysfonctionnements et leurs causes seront identifiés et localisés dans l'espace, afin qu'une réflexion sur l'aménagement du territoire puisse être amorcée.

Une analyse permettra de voir s'ils sont compatibles entre eux, dans l'espace et dans le temps.

Une carte commentée ou un schéma de synthèse fera ressortir : les éventuels conflits d'usages, leurs causes et leurs intensités.

Les problèmes majeurs existants au niveau du lit mineur /lit majeur sont :

- Les berges : stabilité, encoches d'érosion, érosion régressive, glissement, etc. ;
- la ripisylve (absence, pauvreté en diversité et nombre d'individus, mauvais état sanitaire, faible largeur, manque de continuité, rôles négatifs par rapport à la morphodynamique, rôles restreints par rapport à l'écosystème terrestre et aquatique...);

- Les embâcles : localisation, taille, rôles dans l'évolution morphodynamique du lit et des berges, rôles par rapport à l'écosystème aquatique ;
- Les habitats : localisation, type habitat et leur densité;
- Les espèces végétales et les espèces animales : rareté ou prolifération.

Avant de se lancer dans le diagnostic, il est important d'annoncer sa réalisation aux riverains et de les consulter pour avoir un historique du cours d'eau. Il impératif qu'un diagnostic soit établi par des experts [Ledard et col, 2008].

### III.1.2 Matériel et document nécessaire

Il faut se procurer le matériel et documents suivants :

- Une carte des lieux, la photographie aérienne ou un plan ;
- Consulter les données météorologiques de la région;
- Matériel et équipement :
  - Bottes de caoutchouc ;
  - Crayons, calepin, appareil photo, clinomètre ;
  - Fiche aide-mémoire des points à observer ;
  - Règle d'arpentage pour mesurer la hauteur d'eau, la hauteur des marques d'érosion et la hauteur des berges ;
  - système de localisation GPS.

### III.1.3 L'état des lieux

L'analyse de l'état initial doit pouvoir rendre compte de la complexité des phénomènes interactifs et doit apporter une vision critique sur le fonctionnement de l'écosystème en mettant l'accent sur d'éventuels dysfonctionnements dont on recherchera les causes. Les différentes informations à collecter sont les suivantes :

#### a. Les paramètres physiques :

Les paramètres physiques à l'échelle du bassin versant sont :

- i. **Caractéristiques générales** : géologie, climatologie et topographie
- ii. **Hydrogéologie** : caractéristiques générales ; importance et fonctionnement de la nappe phréatique.
- iii. **Hydrologie et hydraulique** : comment fonctionne le cours d'eau en période de hautes eaux, et en période d'étiage.

#### b. Les paramètres physiques : à l'échelle du lit majeur/berges/lit mineur

Les paramètres physiques à l'échelle du lit majeur/berges/lit mineur sont :

- i. **Lit mineur et morpho dynamique** : hauteur d'eau à plein bord et en étiage ; nature et granulométrie du substrat rocheux ; zones de dépôt et d'érosion.

- ii. **Berge** : nature des matériaux, hauteur, pente, degré de cohésion, état, stabilité : secteurs éventuels d'érosion; rôle de la ripisylve par rapport à la stabilité des berges.
- iii. **Présence d'embâcles** : composition, état, fonctions écologiques, rôles vis-à-vis de la stabilité des berges et des risques d'inondation.
- iv. **Zone naturelle/zone artificialisée** : secteurs ayant éventuellement faits l'objet de travaux; ouvrages en long et en travers (pont, seuil, endiguement, etc.).

c. Les paramètres biologiques

Les paramètres biologiques à l'échelle du bassin versant sont :

i. **Le compartiment aquatique**

- Qualité de l'eau (réaliser au minimum un bilan azote/phosphore).
- Végétaux macrophytes : diversité, répartition, abondance et pourcentage de recouvrement.
- Poissons : les types de poissons présent dans le cours d'eau seront répertoriés.

ii. **La zone des berges**

- Ripisylve : comprend la végétation herbacée semi-aquatique, les arbres et arbustes, détermination des espèces, âge, état sanitaire, localisation sur berge, linéaire, densité et largeur occupée par la ripisylve sur chaque rive, continuité, ombrage et recouvrement du lit mineur, rôles et intérêts : fonctions écologiques, fonction paysagère, stabilité des berges.
- Faune : reptiles, mammifères, oiseaux : identification des populations, diversité, richesse ; localisation des habitats.

d. Collecte des informations concernant l'aspect patrimonial

Une mention spéciale doit être faite pour certains cours d'eau qui abritent des espèces végétales et animales bénéficiant d'un statut d'espèce rare et protégée ; d'autres espèces n'ont pas ce statut, mais font partie d'un cortège patrimonial exceptionnel. Par ailleurs, certains arbres et certains paysages constituent, en eux-mêmes, un patrimoine exceptionnel qu'il est nécessaire de répertorier, pour pouvoir mettre en œuvre une démarche de sauvegarde.

e. Collecte des informations concernant les paramètres humains

Les différentes informations à collecter sont :

- i. Occupation du sol ; axes de communication provoquant des coupures transversales.
- ii. Quels sont les différents usages (prélèvements, industries, cultures, etc.).

- iii. Quelles sont les différents types de structures pratiquant des activités sur et autour de la rivière : randonnée, loisirs nautiques, pêche, chasse, etc.
- iv. Quelles sont les incidences de ces usages au niveau du fonctionnement physique [Ledard et col, 2008].

#### III.1.4 Les résultats attendus

A l'issue de la phase terrain et de la consultation des différents services et des usagers, il est indispensable de :

- Faire un bilan en présentant toutes les connaissances acquises sous une forme synthétique, par secteur ;
- Dresser un diagnostic sur l'état de santé de l'hydrosystème : est-ce que le cours d'eau fonctionne correctement ? Quels sont les atouts et les problèmes ? Y a-t-il des déséquilibres ? Si oui, quelles en sont les causes ? Se situent-elles au niveau du bassin versant et/ou du lit majeur, du lit mineur ?

Il est nécessaire de rédiger des documents synoptiques, le maître d'ouvrage doit pouvoir s'approprier les connaissances et se rendre compte qu'il est gestionnaire d'un bien précieux, mais fragile et parfois déjà bien dégradé [Ledard et col, 2008].

#### III.1.5 Les difficultés du diagnostic

Les deux principales difficultés que l'on peut rencontrer pendant le déroulement du diagnostic sont les suivantes :

- Manque d'implication des communes parce que les investigations sont spécifiques, longues et coûteuses (relevés topographiques...) et de convaincre les communes de la réalité du risque ;
- Insuffisance des données : Cette insuffisance est liée à une rétention d'information ou à une collaboration imparfaite du personnel.

### III.2 Etude des cours d'eau

Pourquoi un cours d'eau naturel a-t-il adopté les dimensions que l'on voit, sa largeur, sa profondeur, sa pente, sa sinuosité, des berges dissymétriques, et un profil en long irrégulier.

Avant d'aménager il est important de réfléchir au pourquoi des formes.

Dans cette partie, nous allons répondre à cette question.

#### III.2.1 Définitions fondamentales

##### a) Lit mineur-lit majeur

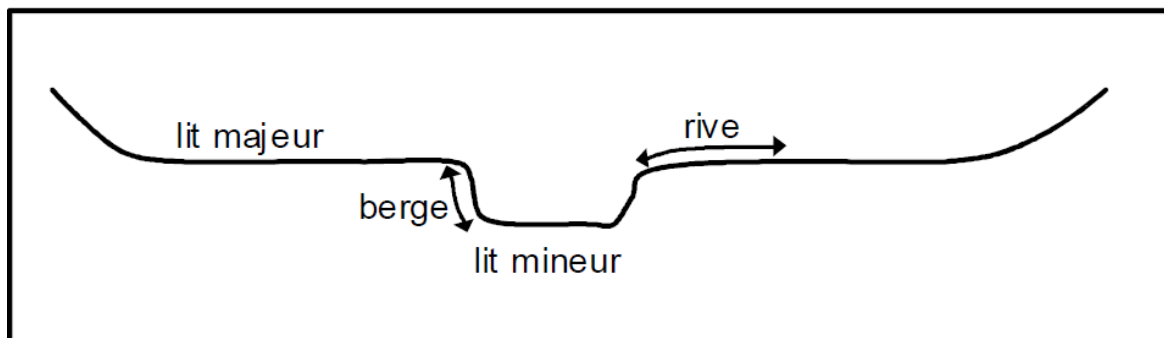
Le lit mineur est l'espace occupé par l'écoulement pour les crues courantes. Le tracé du lit mineur peut se déplacer plus ou moins rapidement selon la dynamique du cours d'eau.

Le lit majeur est la plaine inondable. Il est limité par les hautes eaux. Les limites précises du lit majeur ne sont pas faciles à définir [Degoutte, 2006].

b) Rive, berge

La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le reste du lit majeur dans la (figure III.1).

La rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre [Degoutte, 2006].



**Figure III.1:** représentation de termes géographiques usuels [Degoutte, 2006].

c) Ripisylve

La ripisylve est la formation végétale naturelle située sur la rive. Elle peut être limitée à un cordon arboré étroit qui souligne le bord du lit mineur de la rivière ou bien elle est une véritable forêt alluviale s'étendant sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres de part et d'autre du lit mineur. Cette forêt occupe tout ou partie du lit majeur.

La ripisylve joue plusieurs rôles importants sur :

- la faune et la flore ;
- le paysage ;
- la température de l'eau ;
- l'épuration des eaux (recyclage de l'azote) ;
- l'écoulement des crues ;
- la tenue des berges.

Il est facile de comprendre que ces aspects sont pour l'essentiel très largement positifs, mais, il faut aussi être conscient des inconvénients qu'elles peuvent présenter, en particulier pour les riverains :

- forte occupation d'espace pour une valeur économique assez faible (sauf si elle est limitée à un simple cordon) ;

- alimentation de la rivière en bois arrachés par les crues, susceptibles de créer des embâcles, d'obstruer les ponts et d'aggraver les crues localement ;
- apport de matière organique dû à la décomposition des feuilles ;
- consommation d'eau pouvant diminuer les débits d'étiage, mais l'ombrage réduit l'évaporation ;
- accessibilité pas toujours aisée pour les promeneurs ou les pêcheurs.

Le rôle de la ripisylve sur les crues peut être important. Lorsqu'elle occupe une part significative du lit majeur, elle augmente notablement la rugosité du lit. D'où trois conséquences de nature hydraulique :

- localement une augmentation des débordements, ce qui ne constitue pas forcément une gêne tout au moins dans ce type de milieu ;
- une diminution des vitesses dans le lit majeur, et donc une réduction des effets érosifs du courant ; *[Degoutte, 2006]*.

#### d) Alluvions et substratum

Une rivière coule généralement sur ses alluvions. Les alluvions sont les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou repris par le courant. Les alluvions recouvrent le substratum rocheux formé d'une roche dure ou bien d'une roche plus ou moins tendre.

Le transport solide est le déplacement vers l'aval d'une partie des alluvions selon un processus de charriage ou de suspension. Si l'on considère l'ensemble du cours d'eau de sa source à la mer, il stocke à chaque instant un volume d'alluvions considérable comparé aux apports solides annuels. *[Degoutte, 2006]*.

### **III.2.2 Relation entre dimensions du cours d'eau et hydrologie**

Contrairement à une idée répandue, ce ne sont pas les crues très rares qui façonnent le lit tel qu'on le voit. Une rivière naturelle n'a généralement pas un lit mineur capable d'évacuer une crue par exemple décennale. Ceci dit, lorsqu'une très grosse crue survient de type centennale ou millénaire, il est possible que la section du lit soit brutalement agrandie, en particulier si les matériaux de berge sont peu cohésifs et si le lit majeur est peu végétalisé. Dans ce cas, le lit mineur retrouve à terme sa morphologie initiale, (mais pas forcément son tracé initial, par suite des dépôts dus aux crues faibles et moyennes. C'est un cas où un phénomène naturel est capable de provoquer une évolution qui a de bonnes chances d'être irréversible.

Le cours d'eau adopte une géométrie qui lui permet d'évacuer les débits liquide et solide. Les observations que nous faisons montrent que le résultat obtenu semble être un équilibre, ce qui est une erreur. Même la rivière la plus paisible n'est jamais dans un vrai équilibre, du fait de la force tractrice qui est capable, en crue, de mobiliser la plupart des éléments

constitutifs du lit. Tout au plus pouvons-nous dire que pour un régime permanent donné, la charge solide sortante est égale à la charge entrante. Donc on parle d'équilibre dynamique.

L'équilibre dynamique est un ajustement permanent autour d'une géométrie moyenne, aussi appelé respiration. Il est rendu possible par les marges d'ajustement dont dispose la rivière :

- dépôts pour s'adapter aux fluctuations annuelles de débit solide ;
- modification de la profondeur d'eau ou érosion pour s'adapter aux variations annuelles de débit liquide.

Ces deux types d'ajustement sont interdépendants.

Pour les crues faibles ou moyennes, les débits liquides et solides évoluent relativement d'une manière continue et le tracé reste assez stable. C'est la raison pour laquelle souvent les implantations sont rapprochées du lit mineur. Les fluctuations des débits solides et liquides peuvent être brutales dans le cas d'un événement pluvieux extrême sur un sous bassin amont. Celui-ci amène alors un amas de matériaux solides que le cours d'eau principal élimine progressivement vers l'aval à l'occasion des crues suivantes. De même plus à l'aval, à la faveur d'une forte crue, la rivière peut adopter un autre tracé dans sa plaine alluviale ou couper un de ses méandres ou tout simplement translater ses méandres. Cette impression d'équilibre, qui est trompeuse.

Les causes naturelles de déséquilibre sont climatiques ou géologiques. [*Degoutte, 2006*].

### III.2.3 Formes en plan - Style fluviaux

De l'amont vers l'aval, la taille des sédiments va en diminuant. En règle générale, il en est de même de la pente de la vallée et de la capacité de transport. Cette règle générale peut souffrir des exceptions pour des raisons d'ordre géologique ou à l'aval d'affluents à fort transport solide.

Dans la partie amont des rivières issues des régions montagneuses, c'est la zone d'érosion qui produit les sédiments et les transporte. Le lit est à très forte pente et son tracé est quasiment rectiligne. La vallée est étroite.

Plus en aval, les rivières coulent entièrement dans leurs propres alluvions avec trois styles qui se rencontrent successivement, style en tresses, style divagant à bras multiples sinueux et enfin style à méandres. Cette succession se produit en générale, mais on pourra trouver des tronçons en tresse à l'aval de tronçons à méandres.

Le tracé en tresses est symptomatique d'une forte charge alluviale. Le lit est très large et plat. Plusieurs chenaux instables sont séparés par de nombreuses îles. Ces chenaux gardent sensiblement la direction de l'axe de la vallée et transportent une charge solide dont la part grossière est importante. Le style en tresse est peu fréquent. Des grands cours



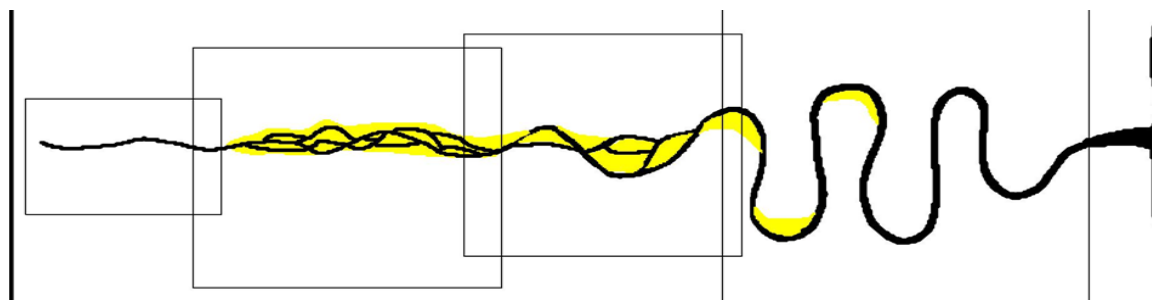
d'eau en tresses ont été aménagés et transformés en cours d'eau à lit unique. Bien sûr, les rivières qui ne prennent pas leurs sources en montagne n'ont pas de fort transport solide et n'offrent pas de style en tresses.

Plus à l'aval, on passe à un style divagant. La charge grossière à évacuer diminue, le nombre de tresses diminue, et un tracé principal sinueux s'organise. Le lit est moyennement large et comporte de un à trois bras, mais les bancs de galets ou de sable sont encore nombreux et larges. Ce style est intermédiaire entre le style en tresses et le style à méandres. Il se distingue du style en tresses par l'apparition d'un lit principal bien marqué et fortement sinueux.

Plus en aval encore, dans les zones de plaine, de plus en plus sinueux, le cours d'eau adopte un tracé à lit unique et à méandres. Il est nettement calibré. Dans les méandres de piémont, le transport solide est mixte (suspension et charriage), alors qu'en plaine il a lieu quasi exclusivement par suspension. Il est composé de sables fins et de limons.

Le débouché en mer est un estuaire ou un delta selon la quantité de matériaux solides encore transportés à ce stade.

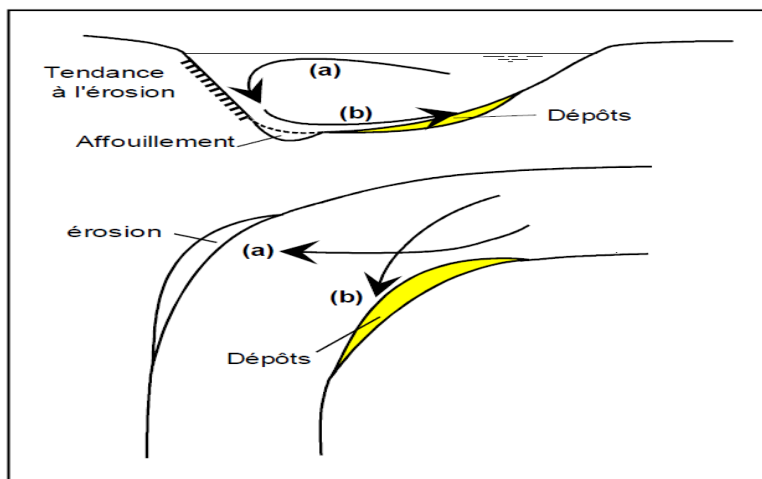
La figure III.2 ci-dessous montre les différents grands traits morphologiques qu'on peut rencontrer dans un cours d'eau.



**Figure III.2:** grands traits morphologique d'un cours d'eau [Degoutte, 2006].

#### III.2.4 Evolution dans les courbes

La vision en section (haut de la figure III.3 ) montre que le courant a une composante (a) dirigée vers le fond qu'il creuse et une composante (b) qui au contraire remblaie l'autre berge. Cela explique le profil dissymétrique avec une berge concave presque verticale et une berge convexe à pente douce. Il faut donc bien noter qu'il y a érosion de la berge mais aussi du pied, non visible depuis la berge. Cette érosion du pied aussi appelée affouillement est évidemment plus forte en crue. Elle est d'autant plus forte que la berge est plus verticale. Le point le plus profond de la fosse d'affouillement est situé en aval du point de courbure maximale.



**Figure III.3:** les courants hélicoïdaux dans un coude (a) courant de surface rapide (b) courant de fond lent [Degoutte, 2006].

Considérant maintenant les projections en plan du courant hélicoïdal, nous constatons qu'un courant de surface rapide présente un angle d'attaque vers la berge concave et qu'un courant de fond plus lent s'oriente tangentiellement à la berge convexe (a). Le courant de surface est capable d'éroder la berge concave. Au contraire, le courant de fond, qui est plus lent, a tendance à déposer les matériaux solides transportés par la rivière. Plus la courbe est prononcée, plus la plage de dépôt est large. Cette vision en plan explique la tendance au déplacement des coudes avec attaque des berges externes et remblaiement des berges intérieures. Lorsque la rivière est à méandres, on parle de reptation ou de translation. Ce phénomène naturel est très lent.

On appelle coefficient de sinuosité le rapport entre la longueur d'un tronçon de cours d'eau ( $L_{tr}$ ) et la longueur de la vallée correspondante ( $L_v$ ) :

$$C_s = L_{tr}/L_v \quad (III.1)$$

La rivière est dite rectiligne quand ce coefficient est inférieur à 1.05 ; elle est dite sinueuse jusqu'à 1.25 ; très sinueuse jusqu'à 1.50 et méandrique au-delà. Les rivières à berges cohésives sont les plus sinueuses.

Dans les zones de piémont, les rivières sinueuses, plus rapides, déposent des matériaux plus grossiers (galets). Les coupures sont plus brutales, par érosion en crue de la langue de terre (a). On parle de recouplement par déversement.

Les parties recoupées deviennent des bras morts plus ou moins connectés hydrauliquement avec le lit mineur ou sa nappe d'accompagnement. Lors des crues, les sédiments qui se déposent tendent à les combler. Néanmoins, ils continuent à constituer une zone humide du lit majeur et contribuent fortement à la diversité écologique des marges fluviales.

Si l'on veut un peu théoriser sur la migration des courbes, disons qu'elle est le mode de réajustement de la rivière pour s'adapter aux variations imposées de débit liquide et de

débit solide. Elle est très progressive dans le cas des rivières à méandres et peut être plus brutale dans le cas des rivières à tresses et des rivières divagantes [Degoutte, 2006].

### III.2.5 Mécanismes d'évolution des berges

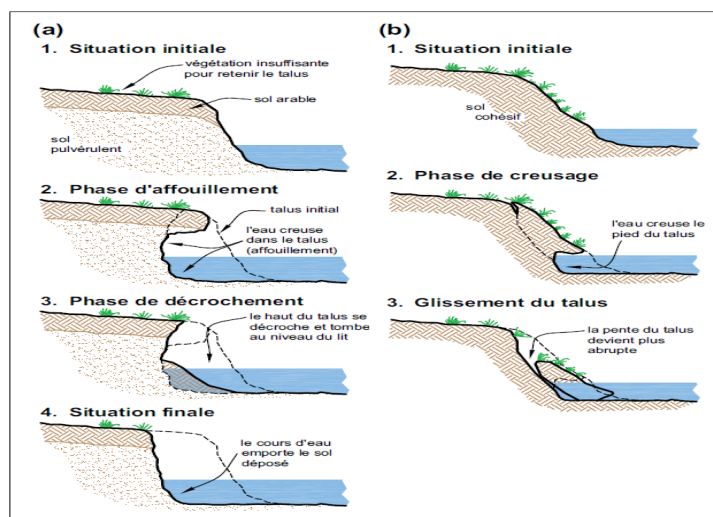
La dégradation des berges se produit généralement selon un processus qui combine à la fois le pouvoir érosif de l'eau et l'effet gravitaire. Dans certains cas s'ajoute un phénomène plus particulier : la boulangerie.

#### i. Le pouvoir érosif de l'eau

Lorsque la vitesse du courant et la turbulence arrivent à vaincre le poids des particules et leur force de cohésion, il y a érosion. De ce fait, les sols cohésifs (les sols argileux) résistent mieux à l'érosion que les sols pulvérulents (les sols sableux). Il est à noter que la force d'arrachement est plus forte lorsque la direction du courant forme un angle avec la surface du sol.

Tout ce qui modifie la direction de l'eau et augmente sa vitesse peut créer des foyers d'érosion. Ainsi, les obstacles dans le cours d'eau, le rétrécissement de la section du cours d'eau, les sorties de drain mal installées, la force centrifuge sur la rive extérieure d'une courbe et la pente forte du cours d'eau sont autant de facteurs qui peuvent contribuer à changer la direction de l'eau ou à augmenter sa vitesse. De plus, les surfaces de sol à nu résistent moins bien à l'action érosive de l'eau que les surfaces recouvertes de végétation.

L'érosion peut survenir au niveau des berges, mais également dans le lit du cours d'eau; on parle alors de régression de fond. La régression du fond abaisse l'élévation du lit, accentue l'angle du talus et affaiblit sa base. En sol cohésif, elle engendre presque systématiquement un glissement de talus (figure III.4).



**Figure III.4:** Processus d'érosion de berges rencontré (a) en sol peu cohésif et (b) en sol cohésif lorsque la vitesse de l'eau est importante [Lemieux et col, 1998].

#### ii. L'effet gravitaire

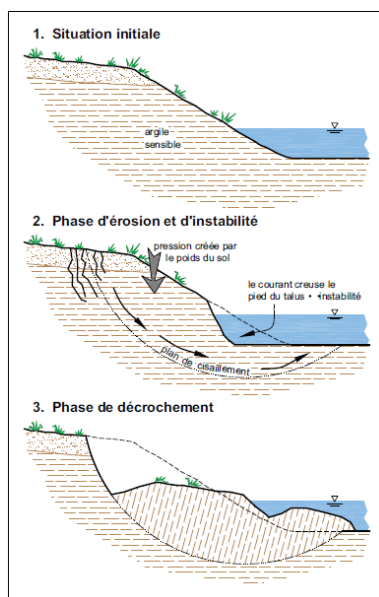
Le glissement des talus survient lorsque les matériaux composant la berge ne peuvent plus résister aux forces gravitationnelles.

Ce mécanisme survient plutôt dans des sols cohésifs qui sont capables de retenir de grandes quantités d'eau, ce qui ajoute du poids à la berge et réduit les forces de cohésion entre les particules.

Résultat : le talus devient encore plus sensible au décrochement. Lorsqu'on augmente la pente ou la hauteur d'un talus, le poids du sol excède éventuellement les forces de cohésion qui le retiennent, le sommet de la berge se fissure et le sol glisse en plaques. Dans les sols cohésifs, la surface de rupture présente une forme en arc de cercle caractéristique.

Moins les sols sont cohésifs, plus la surface de rupture est droite.

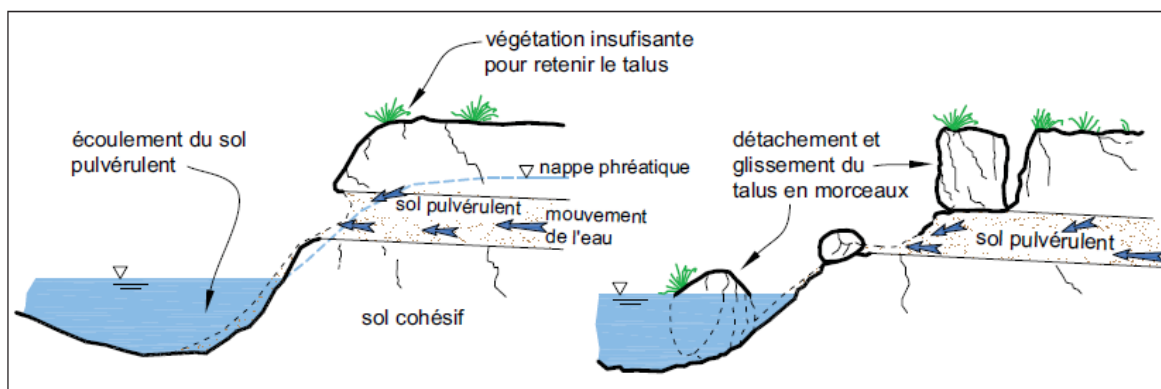
Les glissements ont généralement lieu après des pluies abondantes ou lors d'une décrue rapide alors que les berges sont saturées. Toutefois, d'autres circonstances favorisent aussi les glissements, comme les cycles de gel et de dégel ou de saturation et d'assèchement dans certains sols, les vibrations causées par le passage de machinerie trop près de la berge, l'ajout d'une charge sur la rive (remblais, arbres de forte taille), l'accumulation d'eau le long de la berge due à une raie de curage faite par un labour, etc. (figure III.5).



**Figure III.5:** phénomène de rupture de berge en cercle [Lemieux et col, 2005].

### iii. La boullance

Le glissement s'observe aussi fréquemment lorsqu'il y a résurgence de la nappe phréatique dans le talus. Les sols stratifiés où un horizon de sol pulvérulent se trouve sur un horizon de sol cohésif sont les plus sensibles à ce type d'érosion. Le phénomène résulte de la pression de la nappe phréatique sur la berge lorsque le niveau de celle-ci est supérieur au niveau de l'eau dans le cours d'eau. Ce phénomène se nomme « boullance ». (figure III.6).



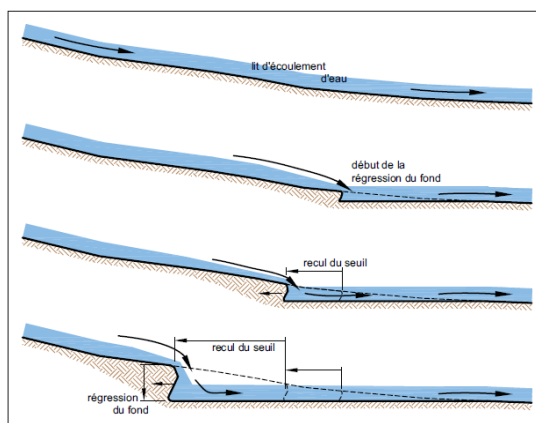
**Figure III.6:** phénomène de boulangerie [Lemieux et col, 1998].

#### iv. Régression de fond

L'approfondissement du lit d'un cours d'eau est un phénomène lié à une augmentation de la vitesse de l'eau au-delà de la capacité de résistance du sol en place.

En s'approfondissant, le cours d'eau augmente la hauteur du talus. Lorsque sa hauteur dépasse la capacité de portance du sol, la rupture survient.

En général, ces situations sont visibles sur des cours d'eau à débit important combiné à une pente forte du lit ou à un endiguement étroit du lit. (Voir la figure III.7).



**Figure III.7:** régression de fond [Lemieux et col, 2005].

#### v. Pont ou ponceau

Les ponts et les ponceaux modifient le parcours de l'eau en créant une zone de restriction en période de fort débit, provoquant ainsi un ralentissement de l'écoulement en amont. Ce ralentissement peut conduire à l'accumulation de sédiments et, même, à l'inondation des terres en amont. Cette zone de restriction crée aussi une accélération de la vitesse de l'eau et de la turbulence de part et d'autre de la sortie du ponceau, ce qui peut entraîner l'élargissement et l'approfondissement du lit en aval du ponceau. Si le remblai entourant le ponceau n'est pas conçu correctement (notamment avec la mise en place d'une toile géotextile et d'un empierrement) l'eau peut circuler entre le tuyau et la berge et ainsi éroder le remblai.

vi. Présence d'obstacles dans le lit

Tout objet suffisamment gros faisant obstacle à l'écoulement de l'eau (arbres renversés, végétation envahissante, grosses pierres, plaques de terre provenant d'un glissement de talus, etc.) peut amorcer un processus d'érosion.

En amont d'un obstacle, les sédiments s'accumulent et les débris s'entassent. Lorsque l'obstacle n'est pas submergé le courant est détourné par effet de rebond. L'énergie du cours d'eau est alors dirigée d'une berge à l'autre dans un mouvement ondulatoire. Si le processus n'est pas arrêté, il peut donner naissance à une série de méandres.

Si cet obstacle est submergé, le courant le franchit de façon perpendiculaire. L'obstacle peut soit ramener l'eau vers le centre du cours d'eau s'il est orienté de façon oblique vers l'amont ou provoquer une niche d'érosion dans une berge s'il est orienté de façon oblique vers l'aval.

L'obstruction peut être le résultat d'un évènement naturel, tel que le bris d'une branche, la chute d'un arbre ou simplement la croissance de la végétation sur la berge ou dans le lit du cours d'eau. Elle peut aussi être une conséquence de l'activité humaine, comme dans le cas où elle est constituée de résidus d'émondage ou de rebus divers.

vii. Piétinement par les animaux

Les sabots des animaux d'élevage offrent peu de surface portante. Par conséquent, la pression qu'ils exercent sur le sol est importante. Ajoutons à cela que ces animaux ont tendance à toujours fréquenter les mêmes endroits.

En empruntant leurs chemins habituels pour aller boire ou traverser les cours d'eau, ils détruisent la végétation, affaiblissent les berges et enclenchent la formation de foyers d'érosion. D'autre part, en s'abreuvant dans les cours d'eau, ils les contaminent par leurs excréments.

[Diagnostic et solutions des problèmes d'érosion des berges, 2008]

**Conclusion sur la déformation des berges**

Indice ou circonstance observé	Erosion	Glissement
Berge haute		*
Berge cohésive		**
Berge drainante	**	
Présence d'un banc en rive opposée	*	
Situation en berge concave	*	
Situation en berge concave et en berge convexe		**

Suppression de seuil, enfoncement généralisé		***
Fente en haut de berge		***
Discontinuité de forme dans le sens amont-aval	*	**
Arbres arrachés, passage de bétail	**	
Courant réfléchi par un arbre tombé	***	

Quelques indices (forts, moyens ou faibles) permettant d'aider au diagnostic : érosion ou glissement. \* traduit un simple soupçon (par exemple une berge haute est plus susceptible de glisser qu'une berge basse si tous les autres paramètres sont identiques, mais elle peut aussi être érodée). \*\*\* est une quasi-certitude (par exemple, une fente traduit à coup sûr une amorce de glissement).

### III.2.6 Seuils et mouilles

L'observation montre que le profil en long des rivières à méandres comporte des irrégularités de grande amplitude :

- des mouilles (zones d'eau profonde) situées dans les extradors des courbes ;
- des seuils plutôt situés aux points d'inflexion entre chaque courbe.

Au niveau droit des seuils, le tirant d'eau est plus faible que dans les parties voisines, la force tractrice est également plus faible. De ce fait les seuils résistent bien au courant. En crue, ils provoquent des dépôts et se surélèvent.

Plus la courbe est prononcée, plus les mouilles sont profondes, le point le plus profond de la mouille est plus à l'aval que le point de courbure maximal. En crue les mouilles s'approfondissent et à la décrue, elles se remblaient de matériaux fins. Ensuite, en basses eaux elles deviennent des zones sans vitesse et provoquent la décantation des particules encore plus fines. Les mouilles sont des zones où le courant ralentit et permet le dépôt de matériaux fins. Une observation attentive permet de constater que les fines particules sont déposées non seulement dans les espaces entre les éléments grossiers, mais aussi en petites plages qui tapissent une partie de la face remontante coté aval de la mouille. La première position permet aux fines d'être relativement abritées par les grosses particules. Dans la deuxième position, elles sont par contre extrêmement mobiles.

Si l'on veut théoriser cette caractéristique du profil en long, on peut dire que l'alternance seuils-mouilles dissipe mieux l'énergie de l'eau qu'un profil parfaitement régulier. Si le profil en long était purement rectiligne, les seules pertes de charge seraient linéaires, et il faudrait un tracé très long pour dissiper assez d'énergie en hautes eaux. Grâce à des seuils naturels, la rivière introduit des pertes de charges singulières qui sont plus efficaces. De plus ces seuils sont en fait des organes mobiles et effaçables qui s'adaptent

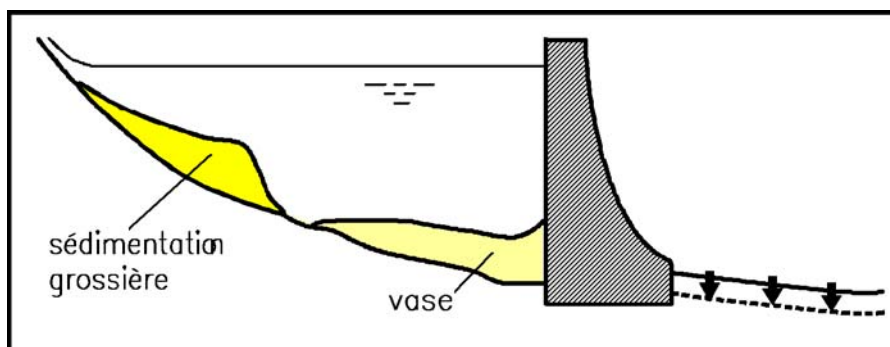


automatiquement aux variations de débit c'est à dire aux variations d'énergie, alors qu'un profil en long rectiligne n'aurait de marge de manœuvre qu'en changeant de longueur. On constate l'ingéniosité de ce système qui permet de garder un tracé relativement stable et auto-ajustable aux modifications imposées.

Les évolutions décrites ci-dessus, surélévations des seuils en crue, comblement des mouilles à la décrue, sont des réajustements mineurs du cours d'eau pour s'adapter aux variations de débit qui lui sont imposées. Pour une crue exceptionnelle, ce type de réajustement mineur pourra s'avérer insuffisant. Le cours d'eau pourra alors modifier fortement son tracé et/ou son calibre pour dissiper une énergie inhabituelle. On pourra considérer qu'un seuil d'irréversibilité a été franchi, pour une raison naturelle dans cette circonstance. [Degoutte, 2006].

### III.2.7 Influence des barrages

La retenue d'un barrage joue le rôle d'un énorme décanteur. Les matériaux solides transportés par le cours d'eau sont déposés du fait du ralentissement de la vitesse. Un tri granulométrique s'opère avec dépôt des éléments les plus grossiers à l'entrée de la retenue (figure III.8). Les éléments plus fins se déposent plus à l'aval. Les végétaux et animaux créent de la matière organique qui sédimente également, le tout formant une vase plus ou moins riche en matière organique qui se consolide rapidement. Les opérations de vidange n'arrivent qu'à extraire vers l'aval le bouchon de vase proche de l'orifice, et le comblement progressif de la retenue est irréversible. Ce phénomène est très marqué dans les pays du Maghreb



**Figure III.8:** comblement d'une retenue [Degoutte, 2006].

Une autre influence forte a lieu à l'aval qui est parfois oubliée. Schématiquement, elle est due à la fois à la réduction de débit et au déversement d'eau claire.

Pour tous les barrages, avec ou sans dérivation, le premier mécanisme aval est dû au lâcher d'une eau pratiquement débarrassée de toute charge solide. Le principe de saturation en débit solide explique que l'écoulement doit prélever des matériaux sur le fond ou sur les berges, sauf dans les cas où l'écoulement atteint le substratum, c'est sur le fond que les



matériaux sont prélevés. La rivière s'enfonce donc selon un mécanisme d'érosion progressive, comme nous l'avons vu pour les prélèvements.

Pour les retenues où l'eau est prélevée (dérivation, pompage), il y a une réduction souvent très forte du débit à l'aval du barrage. La végétation peut alors coloniser un espace autrefois occupé par l'eau, mais les fortes crues, qui sont peu atténuées par la retenue, entraînent des débordements plus graves.

Ces fortes crues peuvent provoquer des arrachements d'arbres, en particulier les peupliers, alors que les saules résistent mieux. L'expérience montre que ces arrachements sont modérés pour une crue pointue mais peuvent être très importants pour des crues longues capables d'affaiblir l'appareil racinaire. Les saules maintenus ralentissent les écoulements et favorisent les dépôts de limons fins qui épaississent les bancs et consolident l'implantation des saules.

Tous ces mécanismes entraînent une réduction notable et durable de la largeur du lit mineur.

Les barrages et les seuils en rivières sont des infrastructures qui, par construction, modifient les flux liquides, les flux solides, les flux de matières et d'organismes et le régime thermique des cours d'eau sur lesquels ils sont implantés. Il s'en suit des transformations des fonctions générales de ces cours d'eau ayant de nombreux liens avec les services écosystémiques qu'ils assurent [*Degoutte, 2006*].

### **Conclusion**

Pendant notre visite du site, nous nous sommes aidés des différentes définitions pour rechercher les différentes anomalies dans l'oued Hamiz. Ces dernières nous permettront de déceler les dysfonctionnements du cours d'eau et savoir comment ci prendre pour réaliser un diagnostic correct.

## Chapitre IV : Diagnostic de l'oued El Hamiz

L'objectif de ce chapitre est de décrire l'état général de l'oued El Hamiz et de fournir les éléments essentiels pour mettre en place un programme d'aménagement du cours d'eau répondant à des exigences bien définies.

### IV.1 Descriptif de l'oued

Notre sortie sur terrain a commencé du pont de Hammadi jusqu'à l'embouchure de la Mer Méditerranée, soit une longueur d'environ 14 km de l'Oued El Hamiz. Cette sortie nous a permis de faire un premier diagnostic de l'état de l'oued El Hamiz, de repérer les désordres qui affectent les berges et les digues et aussi d'établir l'état général de cet oued et de recueillir les informations qui pourraient nous orienter sur les différentes solutions d'aménagement de l'oued El Hamiz.

Pendant notre sortie, nous avons constaté des tronçons où leurs berges ont été confortées par des gabions surtout à côté des ponts pour éviter les risques de dégradation et d'effondrement de ces ponts.

Nous avons remarqué qu'il était endigué presque dans sa quasi-totalité surtout où le terrain est plat. Ces digues sont situées dans le lit majeur du cours d'eau, parallèlement à la rive. Leur principal rôle est d'éviter les débordements pendant les crues de l'oued et réduire ainsi la fréquence des inondations. Leur hauteur varie entre 1.5m à 2.0m et c'est un simple remblai de terre.

Des seuils en béton ont été aménagés sur le lit mineur de petite hauteur de chute. Ces seuils causent des stagnations d'eau pendant la période de sécheresse.

L'oued El Hamiz a été squatté par l'habitat anarchique. Ces constructions sont installées sur le lit majeur et parfois même sur les berges.

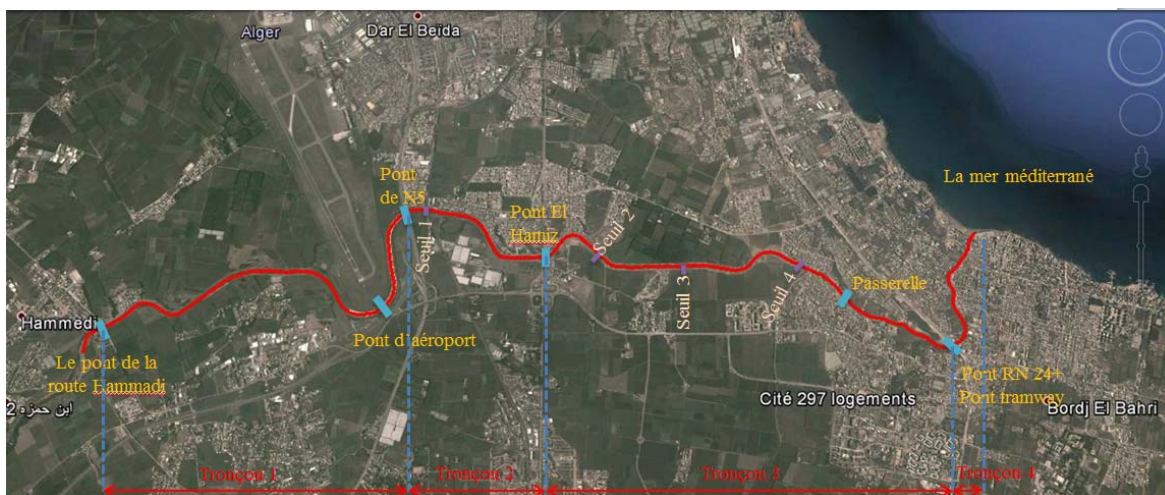
En plus des eaux pluviales l'oued reçoit le long de son tracé les rejets des eaux usées des différentes communes qu'il traverse.

La végétation se développe dans des endroits où la vitesse d'écoulement est faible, ainsi que sur les rives de l'oued où il n'y a pas d'habitation.

Sur le tronçon étudié, sept ouvrages d'infrastructures routières et ferroviaires franchissent l'oued El Hamiz. De l'amont vers l'aval, nous avons (figure IV.1):

- Le pont de la route Hammadi vers Alger
- conduite de gaz
- Deux conduites d'eau

- Le pont de l'aéroport
- Pont de l'autoroute N5
- La voie ferrée située à côté d'une ancienne route
- Pont la route El Hamiz vers Rouiba
- Passerelle
- Pont pour tramway et deux ponts de véhicule, RN 24



**Figure IV.1:** cheminement de l'Oued El Hamiz avec les différents ouvrages

## IV.2 Caractéristique morphologique du cours d'eau

Le lit du cours d'eau n'est pas fixe, il peut se déplacer très rapidement (en quelques jours lors d'une crue) ou évoluer plus lentement (quelques années) ou dans certain cas nous pouvons attendre un état d'équilibre qui correspond en fait à un tracé qui évolue très lentement.

Nous allons décrire l'état de l'oued El Hamiz dans ses trois dimensions.

### IV.2.1 Tracé en plan

Une vue aérienne de l'oued El Hamiz avec Google Earth (figure IV.1 ci-dessus+), nous a permis de constater que le tracé actuel se caractérise par un style très sinueux. Ce dernier a été confirmé par le calcul du coefficient de sinuosité :  $C_s = 1.37$ , que l'on a déterminé avec la formule (III.1), ce coefficient est compris entre  $1.25 < C_s < 1.5$  (voir chapitre III § 2.4)

#### Détermination de l'indice de sinuosité

Il est égal au rapport de « la longueur suivant le méandre sur la longueur à vol d'oiseau entre deux points de l'oued ».

Nous avons trouvé :  $C_s < 1,50$ .

Le cheminement de l'oued est représenté dans la figure IV.1 ci-dessous

### **IV.2.2 Tracé du profil en long de l'oued El Hamiz**

Le profil en long de l'oued El Hamiz a été réalisé à partir d'un levé topographique.

En général, nous remarquons que la pente du cours d'eau est très faible et est de l'ordre de 0.2% et montre aussi une succession de seuil et de mouille représentée dans la figure IV.2.

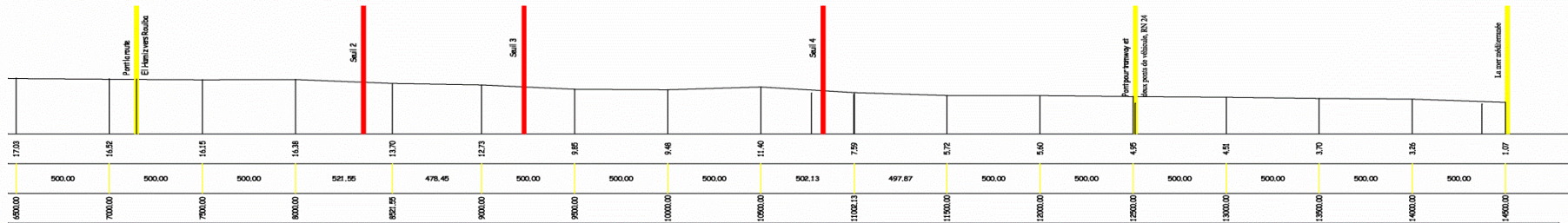
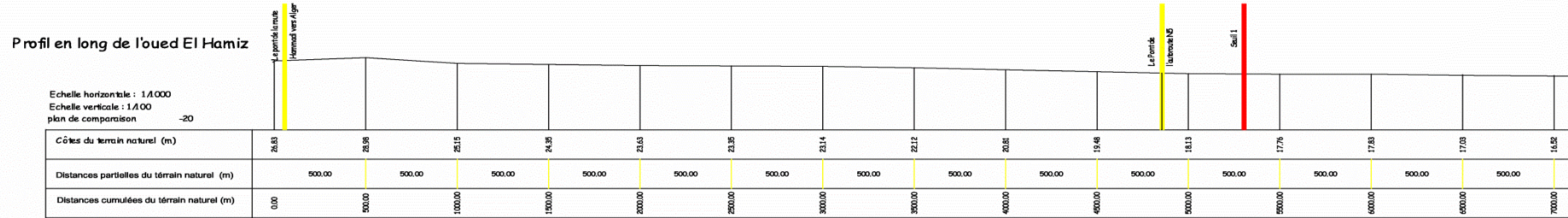


Figure IV.1: Profil en long de l'oued El Hamiz



### IV.2.3 Profil en travers

Pour avoir les profils en travers qui décrivent bien la forme du cours d'eau, nous avons décidé de tracer pour chaque tronçon son profil en travers.

Ces profils sont donnés ci-dessous.

Il est à noter que les trois dimensions citées ci-dessus sont importantes pour faire des aménagements hydrauliques.

### IV.3 Diagnostic de l'oued El Hamiz

Pour avoir un bon diagnostic, nous avons procédé à un découpage en tronçons non homogènes qui nous a permis de trouver les résultats suivants.

#### IV.3.1 Tronçon 1: Pont Hamadi-Route Nationale N°5

Ce tronçon a une longueur de  $L_{tr} = 5100m$

##### Détermination du coefficient de sinuosité

Ce coefficient est déterminé grâce à la formule (III.1) où la longueur de la vallée correspondante est déterminée via Google Earth. Cette longueur est égale à :  $L_v = 3695 m$ .

D'où le coefficient de sinuosité pour le tronçon étudié est de :  $C_s = 1.38$ .

Etant donné que  $1.25 < C_s < 1.50$  (chapitre III § 2.4), nous pouvons conclure que ce tronçon est très sinueux. Nous le constatons également dans la figure IV.3.



**Figure IV.3:** Image aérienne du tronçon1

Ce tronçon est caractérisé par un niveau d'érodabilité très fort de ses berges, surtout au niveau de certains méandres, se traduisant parfois par un élargissement du lit de l'oued.

Les sédiments se déposent dans d'autres méandres.

Du point de vue lithologique, les berges sont constituées d'argile.

L'état des boisements dans ce tronçon se caractérise par une couverture végétale constitué par des herbacés et des eucalyptus dont les racines jouent un rôle important contre l'érosion sur les deux rives, cette végétation est clairsemée d'une épaisseur qui ne dépasse pas les 10 m. Parfois elle est même absente.

Nous trouvons du bois mort qui crée un barrage de déchet solide. Ce dernier influe sur l'écoulement du cours d'eau

L'état d'occupation du sol se caractérise par une petite partie où il y a des constructions sur la rive gauche qui rejettent directement leurs eaux usées. Le reste constitue des terrains agricoles.

La totalité de ce tronçon est endigué sur les deux rives pour protéger la plaine. Ces digues sont très dégradées par l'action anthropique (transformation d'écosystème par l'action de l'homme), le gabionnage ne concerne qu'une petite portion à coté des ponts.

A l'amont de ce tronçon, le cours d'eau a été aménagé grâce au site de l'aéroport pour éviter que les crues du cours d'eau atteignent la piste de décollage de l'aéroport.

La figure IV.4 représente le profil en travers du tronçon 1.

La photo 1 ci-dessous a été prise sur le tronçon 1.



**Photo IV.1:** Eboulement de la berge

Cette photo nous permet d'observer les éléments suivants :

- Pertes de végétation,
- Absence de sol où pied de la berge du fait que celui-ci est érodé est emporté par l'eau
- Présence d'obstacles (bois mort)

Les solutions que nous pouvons adopter dans ce cas :

- Adoucir la pente de talus, selon le type de sol.
- Protéger la berge à l'aide de techniques de génie végétal ou d'empierrement.
- Ralentir la vitesse de l'eau par l'installation de seuils dissipateurs d'énergie.
- Dans les courbes :
  - Arrondir la courbe avant d'établir une protection.
  - Aménager des épis ou avec des pieux



### Tronçon 1

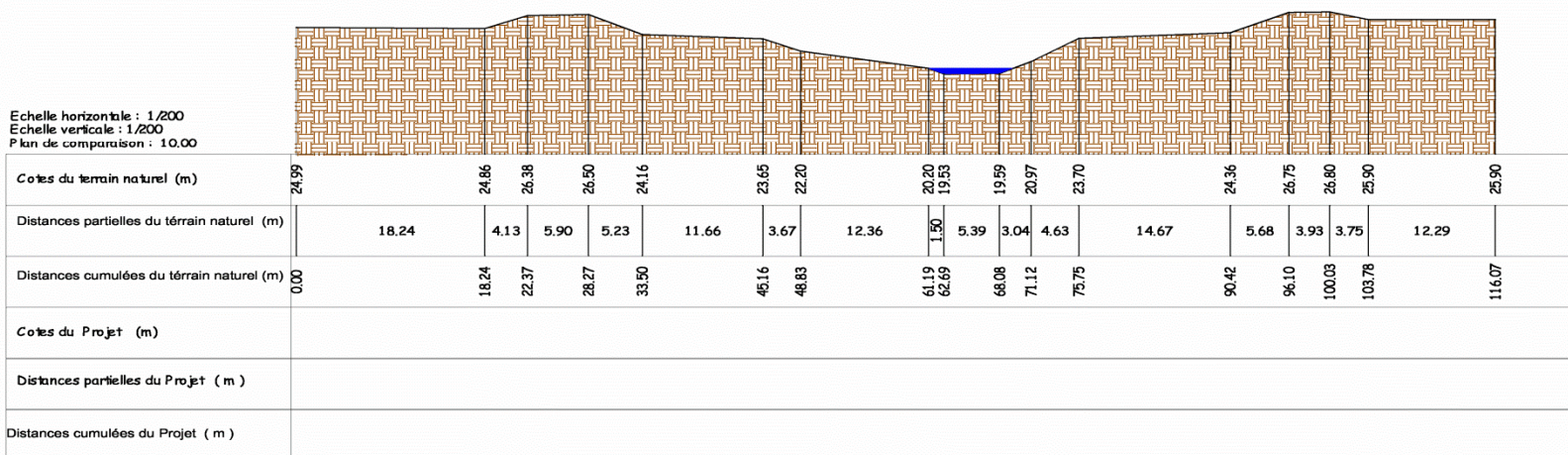


Figure IV.1: Profil en travers de tronçon 1 où le lit mineur présente une largeur d'environ 8 m

### IV.3.2 Tronçon 2 : Route Nationale N°5 - Pont d'El Hamiz

Le deuxième tronçon, compris entre l'autoroute et la ville d'El Hamiz est d'une longueur de  $L_{tr} = 1900m$

#### Détermination du coefficient de sinuosité

La longueur de la vallée correspondante est déterminée grâce à Google Earth :

$L_v = 1764 m$ .

D'où le coefficient de sinuosité pour le tronçon étudié est de :  $C_s = 1.09$  grâce à la formule(III.1)

Etant donné que  $1.05 < C_s < 1.25$  (chapitre III § 2.4), nous pouvons conclure que ce tronçon est sinueux, comme nous pouvons le constater dans la figure IV.5.



**Figure IV.5:** image aérienne du tronçon 2

Le deuxième tronçon est sujet également à une érodabilité de ses berges localisée à certains endroits, qui se traduit par des dépôts alluvionnaires dans le lit de l'oued. Les berges de ce dernier sont constituées d'un sol limono-argileux (voir chapitre I).

L'état de la végétation est constitué d'herbe et d'eucalyptus dont les racines jouent un important rôle contre l'érosion. Cette végétation se localise dans la rive droite et se caractérise par une couverture moyenne d'une épaisseur qui dépasse les 20 m. L'existence des embâcles dans le lit mineur peuvent occasionner des dommages. Nous avons remarqué la présence d'une vie aquatique (canards et tortues).

L'état d'occupation du sol est réparti comme suit :

- Urbanisation de la rive gauche
- Existence de terrain agricole sur la rive droite

- Présence de différents tuyaux s'assainissement qui rejettent leurs eaux usées directement dans l'oued
- Existence d'un pont ferroviaire qui travers l'oued dont les piles sont sur radier ce dernier fait office de seuil d'une chute de 40cm.

La totalité de ce tronçon est endigué sur les deux rives. Ces digues sont mal entretenues et très dégradées. La rive droite de ce tronçon est confortée par un gabionnage à 90%.

D'un cote les berges sont soumises à l'érosion, et de l'autre cote elle garde leur bon maintien et ce probablement grâce aux racines des arbres qui fixe le sol.

Le lit mineur présente une largeur de près de 15 m.

La figure IV.3 représente le profil en travers du tronçon 2.

La photo 2 ci-dessous a été prise du tronçon 2 :



**Photo IV. 2:** embâcles s'accumulant sur les piles de pont et en plein milieu du cours d'eau  
Cette photo nous permet d'observer les éléments suivants :

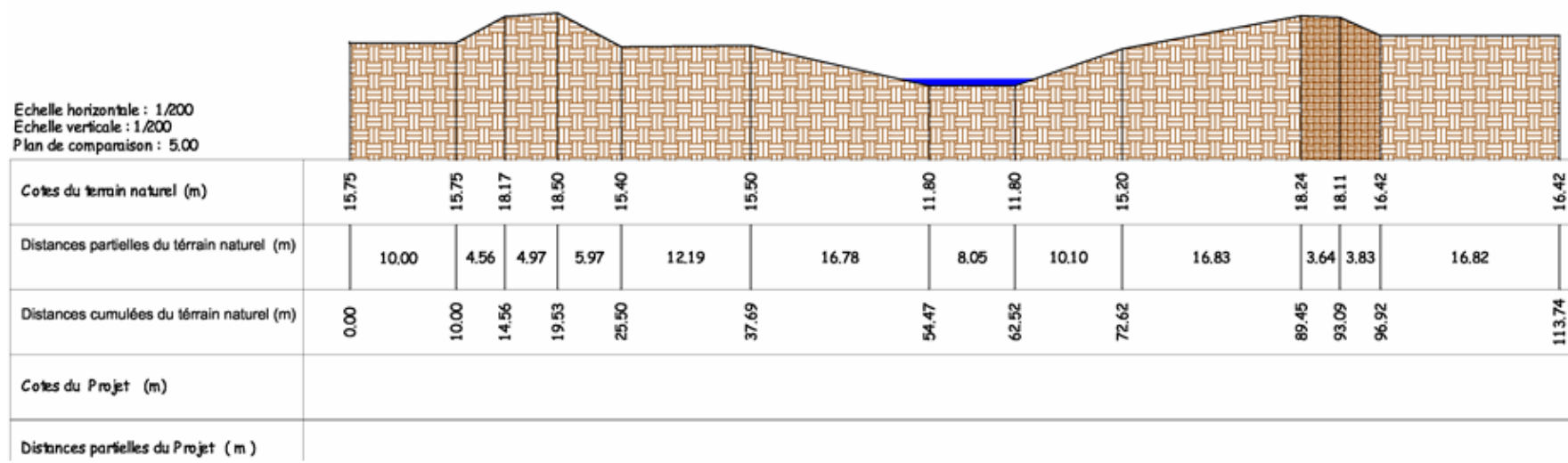
- Présence d'obstacles.
- Accumulation de sédiments et débris
- Présence de foyers d'érosion dans les berges.
- Elargissement du lit du cours d'eau et apparition de méandres.

Dans ce cas, nous pourrions adopter les solutions suivantes :

- Inspecter les cours d'eau régulièrement à la fin de l'automne ;
- Retirer les obstacles ;
- Tailler les arbustes qui empiètent sur le lit du cours d'eau ;
- Protéger les berges si elles ont commencé à s'éroder ;
- Interdire la décharge dans les cours d'eau.



## Tronçon 2



**Figure IV.1** : profil en travers du tronçon 2 où le lit mineur présente une largeur d'environ 9 m

### IV.3.3 Tronçon 3: Pont d'El Hamiz - Pont RN24

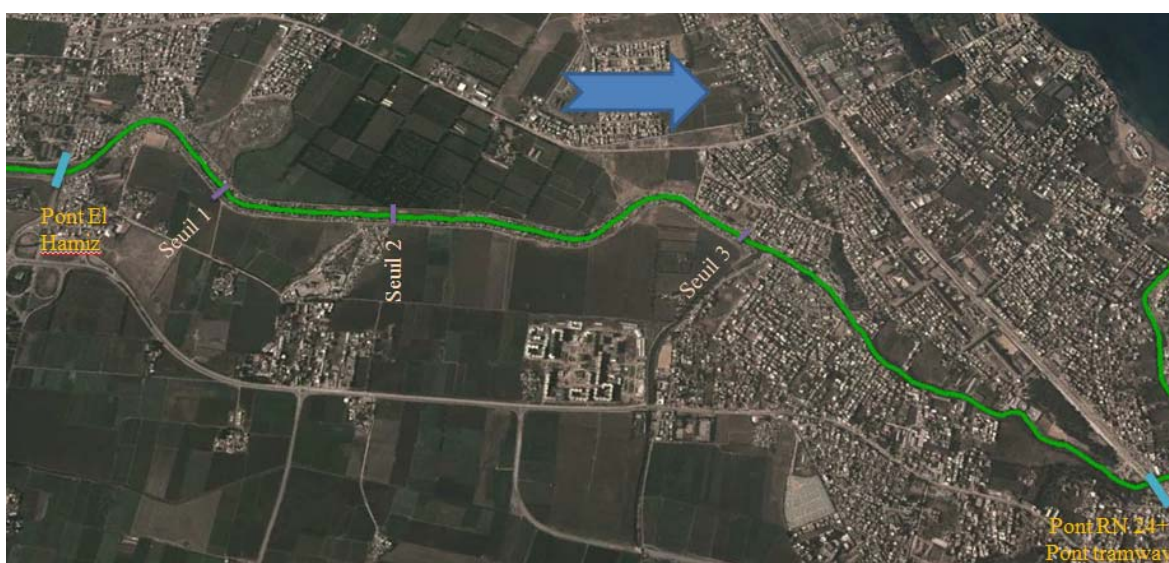
Le tronçon est situé entre le pont d'El Hamiz et le pont RN24 et a une longueur de  $L_{tr} = 5500m$

#### Détermination du coefficient de sinuosité

La longueur de la vallée correspondante est déterminée via Google Earth et est égale à :  $L_v = 4893 m$ .

D'où le coefficient de sinuosité pour ce tronçon étudié est :  $C_s = 1.13$ .

Etant donné que  $1.05 < C_s < 1.25$  (chapitre III, § 2.4) nous pouvons conclure que ce tronçon est sinueux, nous le constatons dans la figure IV.6.



**Figure IV.7:** image aérienne du tronçon 2

Les deux rives de ce tronçon sont occupées par l'habitat précaire. Ces constructions illicites sont établies en plein lit de l'oued entravant ainsi l'écoulement naturel. Les habitants de ces constructions rejettent directement leurs déchets solides et leurs eaux usées dans l'oued et risquant ainsi de provoquer des inondations sachant que dans cette partie il n'y a pas eu d'aménagement d'une digue de protection.

A l'exception des berges, la végétation est absente dans ce tronçon. La vie aquatique est inexistante et ceci est du probablement à la mauvaise qualité de l'eau. On observe la présence de déchet, de dépôt de sédiments et une décharge illégale dans le lit de l'oued avec un éboulement des berges.

D'autre part, trois (03) seuils en béton ont été aménagés :

- Seuil 1 : il est d'une hauteur de 1.3 m.
- Seuil 2 : il est d'une hauteur de 1.3 m.
- Seuil 3 : il est d'une hauteur de 1.2 m.

Les Seuils sont destinés à la protection du fond du lit, mais il y a des dépôts à l'amont des seuils : On observe des grands débris qui perturbent l'écoulement du cours d'eau.

Dans ce tronçon, il existe un affluent dans la rive droite qui ramène des eaux noires provenant de la zone industrielle.

La figure IV.7 représente le profil en travers du tronçon 3.

La photo 13 ci-dessous a été prise du tronçon 3 :



**Photo IV.3:** déstabilisation des berges par les activités anthropiques et la régression du fond

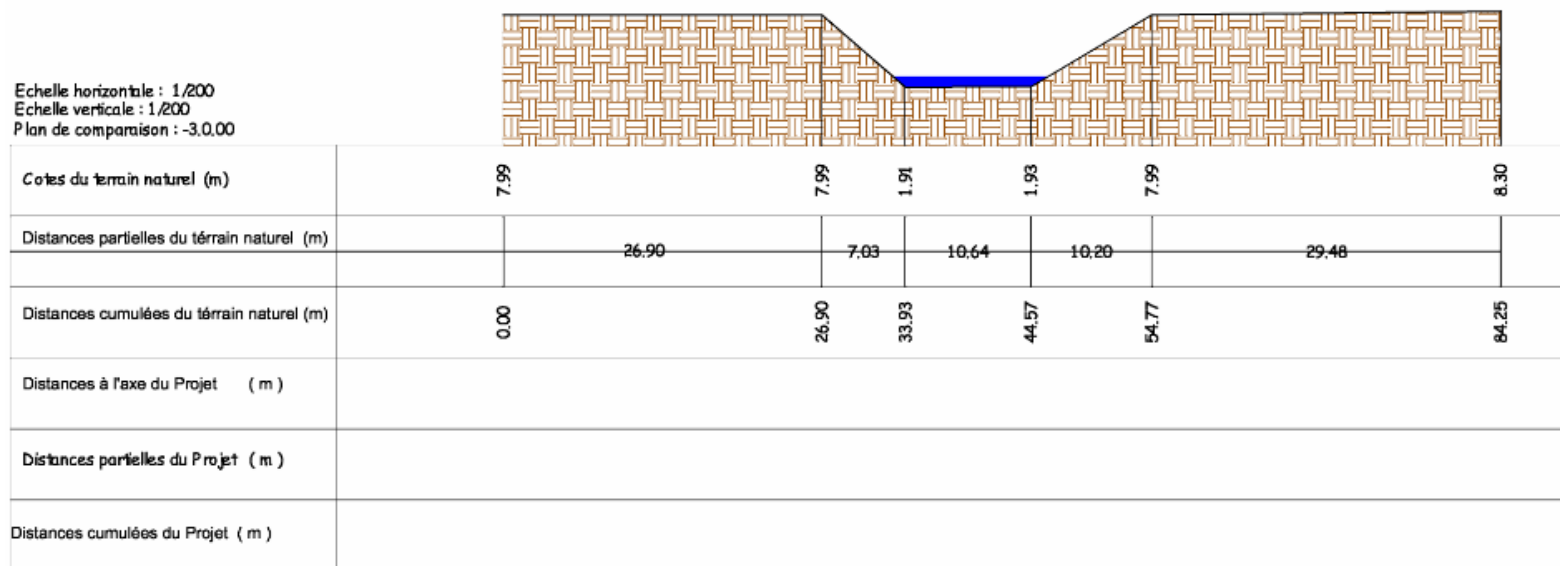
Cette photo permet d'observer les éléments suivants:

- Approfondissement du lit.
- Traçage des méandres et sédimentation dans le lit en période d'étiage.
- Ecoulement rapide, en présence d'eau.
- Présence d'un ponceau : paroi verticale à la sortie du ponceau (en aval).
- Dénudement des racines (à distinguer d'une érosion de pied).
- Effondrement des deux berges, surtout le long d'une ligne droite.
- Inexistence de végétation aquatique, pas de sédimentation.
- Pente forte et sol profond (pas de substrat rocheux).
- Changement d'horizon dans le lit.
- Formation d'un lit enclavé au centre du cours d'eau, avec des berges verticales.

Dans ce cas, la solution à adopter est :

- Seuil dissipateur d'énergie pour ralentir la vitesse de l'eau

### Tronçon 3



**Figure IV.1** : profil en travers du tronçon 3 où le lit mineur présente une largeur d'environ 11 m



#### IV.3.4 Tronçon 4: Pont RN24-La mer méditerranée

Le tronçon situé entre pont RN24 et l'embouchure est d'une longueur de  $L_{tr}=1700m$ .

##### Détermination du coefficient de sinuosité

La longueur de la vallée correspondante est déterminée via Google Earth et est égale à :  $L_v = 1474 m$ .

D'où le coefficient de sinuosité pour ce tronçon est de :  $C_s = 1.14$ .

Etant donné que  $1.05 < C_s < 1.25$  (chapitre III § 2.4) nous pouvons conclure que ce tronçon est sinueux, comme nous le remarquons sur la figure IV.5.1.



**Figure IV.9:** image aérienne du tronçon 4

Dans ce tronçon, les berges du lit mineur sont végétalisées. Le lit majeur est fortement urbanisé mais d'une manière très anarchique. Des bâtisses sont construites en dur à la limite de la berge rive droite. Sur la rive gauche, il y a quelques surfaces cultivées.

Cette partie n'a pas été protégée par des digues de protection.

Au niveau de l'embouchure, il existe des constructions précaires sur les deux rives.

Il y a lieu de signaler que les rejets des eaux domestiques sont directement évacués dans le lit de l'oued.

Un autre constat, c'est la présence d'ordure de tout genre sur presque la totalité du tronçon

La figure IV.5 représente le profil en travers du tronçon 4

La photo 4 ci-dessous a été prise du tronçon 4 :





**Photo IV.4:** construction de bâtisse à la limite de la berge

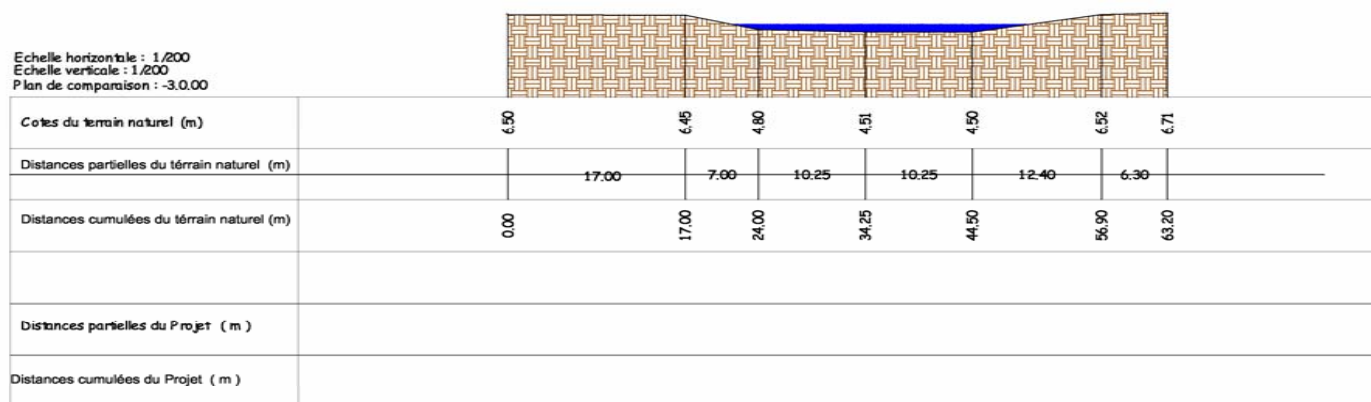
Cette photo nous permet d'observer les éléments suivants:

- Présence d'un chemin qu'empruntent les habitants à moins de 10 mètres de la berge ;
- Sol cultivé très près du talus.
- Arbres en porte à faux dans la berge ou très près du talus, lorsqu'ils sont inclinés, ils créent un effet de levier dans la berge.
- Un remblai ou une risberme a été créé en bordure du cours d'eau.

Dans ce cas, les solutions à adopter sont :

- Enlever la charge excessive si possible.
- Préserver une bande riveraine assez large.

### Tronçon 4



**Figure IV.1:** Profil en travers de tronçon 4 où le lit mineur présente une largeur d'environ 20 m

#### **IV.4 Différents rejets dans le cours d'eau concernant la zone d'étude**

En plus des eaux pluviales l'oued El Hamiz reçoit le long de son chemin les rejets des eaux usées des différentes localités des communes qu'il traverse et des eaux pluviales.

La photo 5 montre un des points de rejets des eaux pluviales :



**Photo IV.5** : rejets des eaux pluviales

Cette photo nous permet d'observer les éléments suivants :

- Élargissement et approfondissement du lit du cours d'eau en aval ;
- Accumulation de sédiments en amont ;
- Le sol autour et sous la sortie de la buse est érodé ;
- La berge opposée est endommagée.

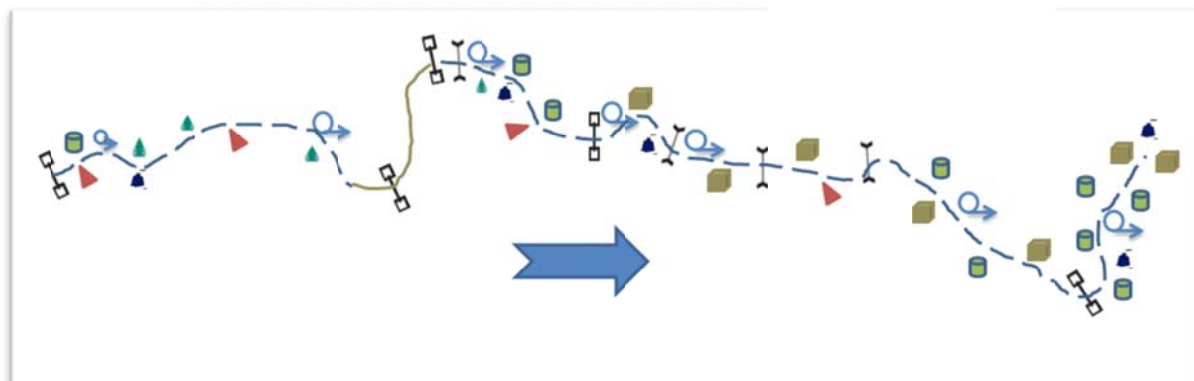
Dans le cas où le rejet déverse des eaux pluviales, les solutions à adopter sont :

- Nettoyage régulier des sorties de buse ;
- Protection contre l'érosion.

Dans le cas de rejets d'eau usée, il est impératif de les diriger vers une station d'épuration

**Conclusion**

La figure IV.6 suivante résume l'état des lieux constaté lors de notre sortie sur le terrain :



**Figure IV.11:** schématisation de l'état des lieux de l'oued El Hamiz

**Légende :**

	Pont		Rejets d'eaux usées
	Seuil		Arbustes
	Maison en dure		Maison précaire
	Cours d'eau naturel		Cours d'eau aménagé
	Erosion de berge, glissements de terrain		Décharge

## Chapitre V : Construction du modèle de calcul appliqué à l'oued El Hamiz

La construction du modèle de calcul se fait par un logiciel développé par IRSTEA appelé RUBAR20 qui est un outil de résolution 2D. Ce logiciel a été initialement conçu pour le calcul de propagation d'onde de rupture de barrage en bidimensionnel. A ce titre, il permet de simuler la propagation d'une onde issue soit d'une rupture instantanée de barrage, soit d'une rupture progressive. Il traite en particulier, la propagation d'un front sur une zone initialement sèche (Paquier, 2008).

De manière plus générale, ce logiciel permet tout calcul hydraulique résolvant les équations de Saint-Venant bidimensionnelles, en particulier, lorsque les variations temporelles des caractéristiques hydrauliques sont importantes (crues).

### **V.1 Construction du maillage**

La création du maillage de calcul est une étape très importante dans la réalisation des calculs. Généralement, c'est la partie qui prend plus de temps dans ce type de simulation numérique (Shaw, 1992).

Pour l'obtention d'un maillage de calcul correct, il faut se doter d'un plan topographique détaillé, il est guère évident de trouver une carte topographique qui recouvre toute la zone d'étude.

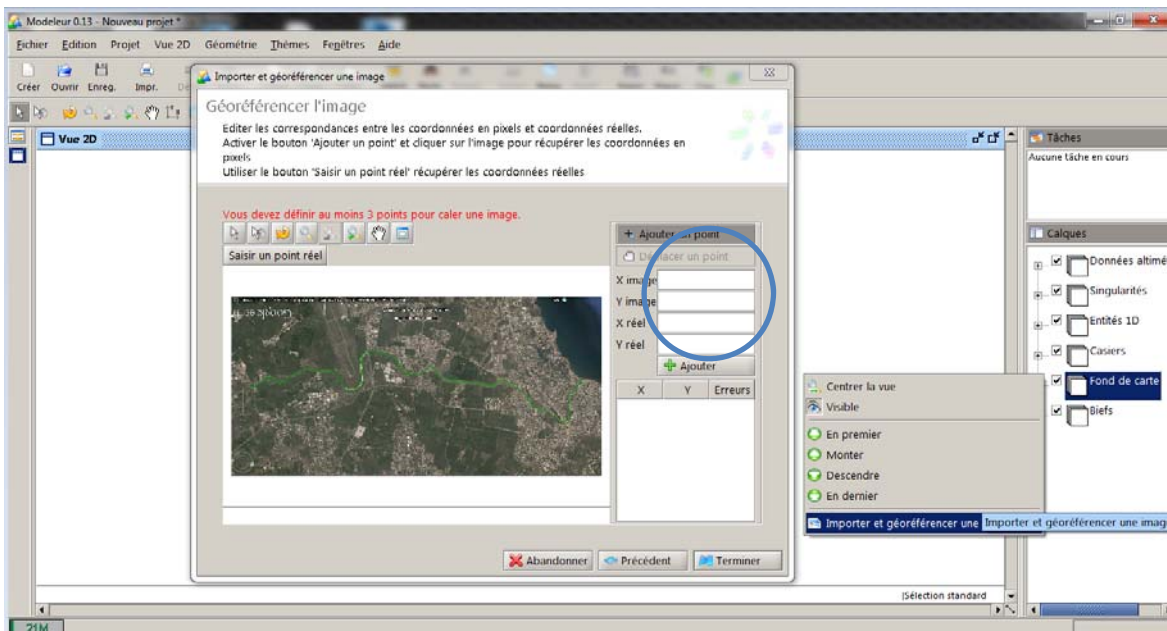
Le levé topographique du lit mineur et du lit majeur de l'oued El Hamiz nous a été donné dans un fichier Autocad. Il est indispensable d'avoir le maximum de données du fait que notre domaine d'étude s'étend sur toutes les zones avoisinantes l'oued.

C'est pour cela que nous avons eu recours à Google Earth pour compléter les données manquantes.

La construction du maillage de calcul se fait avec le logiciel Fudaa Modeleur. Ce dernier nous permet de construire le fichier (\*.ST).

En premier lieu, le travail consiste à caler une photo aérienne de la zone d'étude tirée de Google Earth, dans le logiciel Fudaa Modeleur.

Comme le montre la figure V.1 suivante :

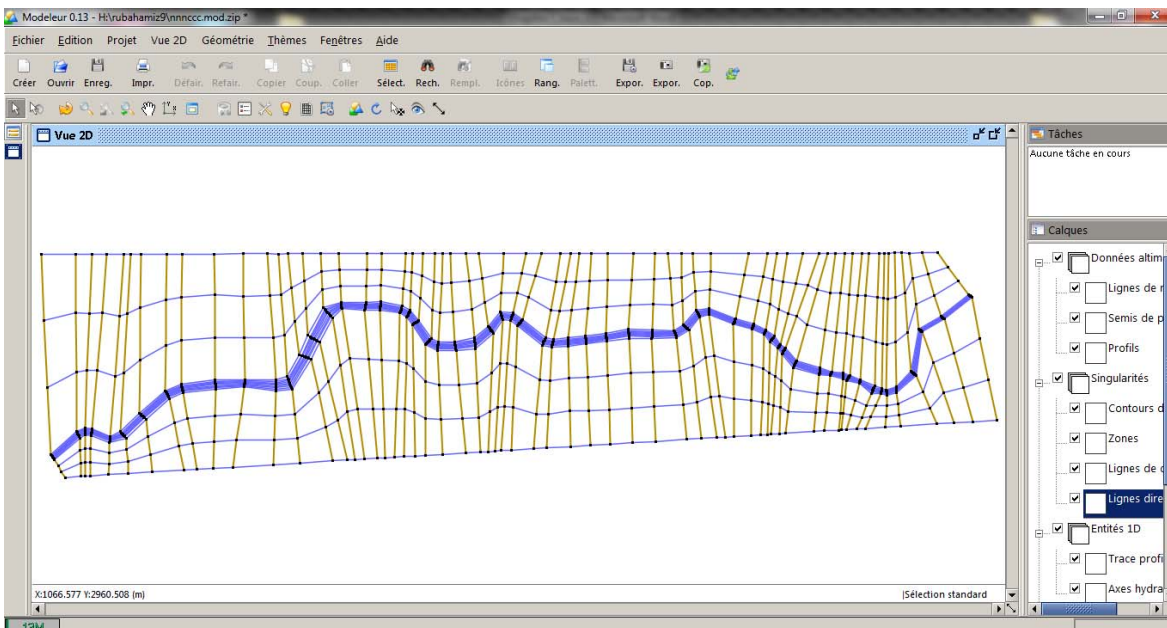


**Figure V.1:** calage de la photo de la zone d'étude à l'aide de Fudaa Modeleur

Après avoir fait le calage de la zone d'étude, nous avons introduit les données altimétriques (remplir les données dans la zone entourée).

Nous avons tracé les profils en travers, mis plusieurs points dans le lit majeur et le lit mineur et nous avons attribué à chaque point du profil en travers sa cote réelle sur toute la zone d'étude de manière afin de reproduire fidèlement la topographie du terrain. Ensuite nous avons tracé les lignes directrices.

La figure V.2 ci-dessous permet de visualiser les profils en travers qui sont en jaune et les lignes directrices en bleu.



**Figure V.2:** implantation des profils en travers et lignes directrices de la zone d'étude

Après avoir tracé les profils en travers et les lignes directrices, et introduit toutes les cotes, nous avons exporté les données sous format\*.ST (Section en Travers) et nous sommes passés à l'étape suivante, à savoir la construction du fichier \*.M.

### V.1.2 Construction du fichier (\*.M)

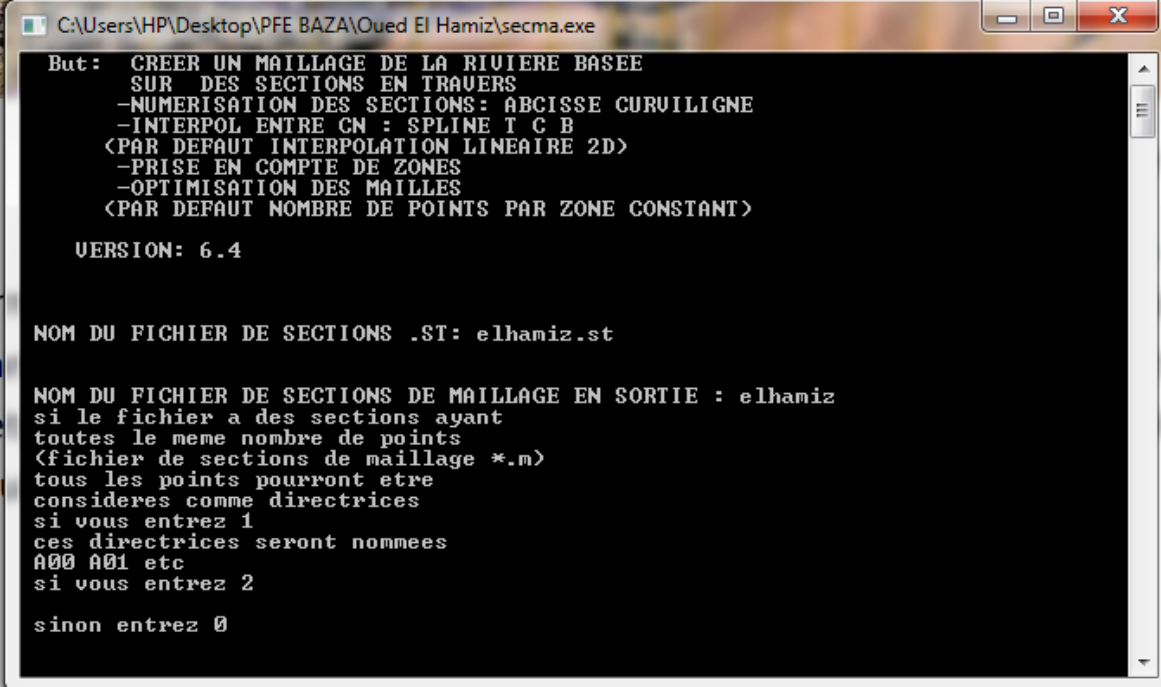
Nous avons utilisé le programme SECMA pour obtenir le maillage de calcul.

Il suffit de suivre la succession de données à introduire dans cette partie (ex : en 1<sup>er</sup> lire le fichier \*.ST).

Ce programme génère le fichier (\*.M) c'est le fichier du maillage.

Le traitement se fait par zone, et chaque zone est comprise entre deux lignes directrices et nous choisissons le pas d'espace voulu et l'interpolation transversale se fait avec un pas d'espace voulu.

La figure V.3 ci-dessous montre l'interface du programme SECMA.



```
C:\Users\HP\Desktop\PFE BAZA\Oued El Hamiz\secma.exe
But:  CREER UN MAILLAGE DE LA RIVIERE BASEE
      SUR DES SECTIONS EN TRAVERS
      -NUMERISATION DES SECTIONS: ABCISSE CURVILIGNE
      -INTERPOL ENTRE CN : SPLINE T C B
      <PAR DEFAUT INTERPOLATION LINEAIRE 2D>
      -PRISE EN COMPTE DE ZONES
      -OPTIMISATION DES MAILLES
      <PAR DEFAUT NOMBRE DE POINTS PAR ZONE CONSTANT>

VERSION: 6.4

NOM DU FICHER DE SECTIONS .ST: elhamiz.st

NOM DU FICHER DE SECTIONS DE MAILLAGE EN SORTIE : elhamiz
si le fichier a des sections ayant
toutes le meme nombre de points
<fichier de sections de maillage *.m>
tous les points pourront etre
consideres comme directrices
si vous entrez 1
ces directrices seront nommees
A00 A01 etc
si vous entrez 2
sinon entrez 0
```

Figure V.3: programme SECMA

L'exécution du programme, génère le fichier du maillage (\*.M).

### V.1.2 Construction du fichier (\*.IMA)

L'exécution du programme MCOXIMA, génère le fichier de maille (\*.IMA). Ce dernier contient les coordonnées des sommets des quadrilatères de base du maillage, et le nombre de mailles par quadrilatère.

De plus, le programme crée les fichiers suivants :




Le fichier (\*.COX) : Contient les côtes du fond sur une grille régulière orienté Nord-sud et ouest-est ou sur des parallélogrammes

Le fichier (\*.FRX) : Contient les frottements au fond en certain points définis par leurs coordonnées

Le programme permet aussi d'éliminer les petites mailles. Comme il affiche :

- Le nombre des sections en travers
- Le nombre des lignes directrices
- Le nombre de mailles

La figure V.4 ci-dessous montre l'interface du programme MCOXIMA



```
C:\Users\HP\Desktop\PFE BAZA\Oued El Hamiz\mcoxima.exe
CONVERSION D UN MAILLAGE
EN FICHIERS .COX .FRX ET .IMA
VERSION DU 19 mai 2008

NOM DU FICHIER DE SECTIONS DE MAILLAGE : elhamiz

NOMBRE DE SECTIONS      : 541
NOMBRE DE POINTS/SECTION: 113
NOMBRE DE POINTS TOTAL  : 61133
NOMBRE DE MAILLES       : 60480
donnez la precision sur x et y
en nombre de decimales <0,1,2,3 ou 4>
```

**Figure V.4:** lecture du fichier El Hamiz par le programme MCOXIMA

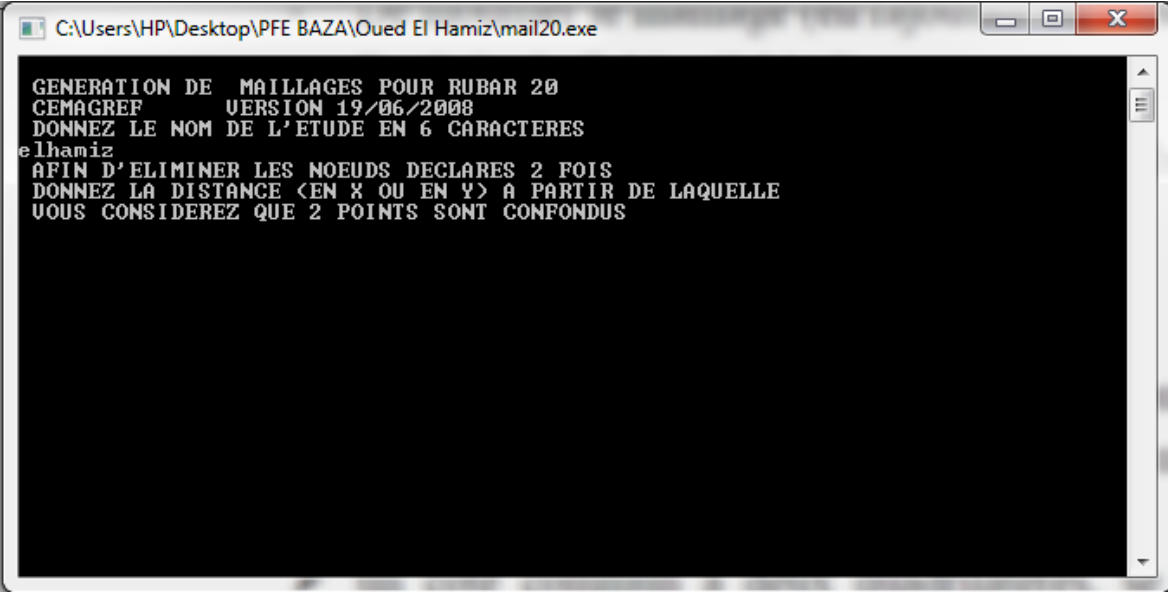
Après avoir exécuté le programme, il génère des fichiers pour poursuivre l'étape suivante, ce dernier génère un fichier texte dénommé (TOTO.TXT). Ce dernier peut contenir message d'erreur. Dans le cas où il ne contient pas d'erreur nous passons à l'étape suivante.

### V.1.3 Construction du fichier (\*.MAI)

Le programme MAIL 20 utilise le fichier avec l'extension \*.IMA pour générer le fichier de maillage \*.MAI qui contient les numérotations des mailles, des nœuds et des coordonnées. Il nous permet aussi de modifier le maillage (rajouter ou supprimer des éléments)

La figure V.5 ci-dessous montre l'interface du programme MAIL20





```
C:\Users\HP\Desktop\PFE BAZA\Oued El Hamiz\mail20.exe
GENERATION DE MAILLAGES POUR RUBAR 20
CEMAGREF VERSION 19/06/2008
DONNEZ LE NOM DE L'ETUDE EN 6 CARACTERES
elhamiz
AFIN D'ELIMINER LES NOEUDS DECLARES 2 FOIS
DONNEZ LA DISTANCE <EN X OU EN Y> A PARTIR DE LAQUELLE
VOUS CONSIDEREZ QUE 2 POINTS SONT CONFONDUS
```

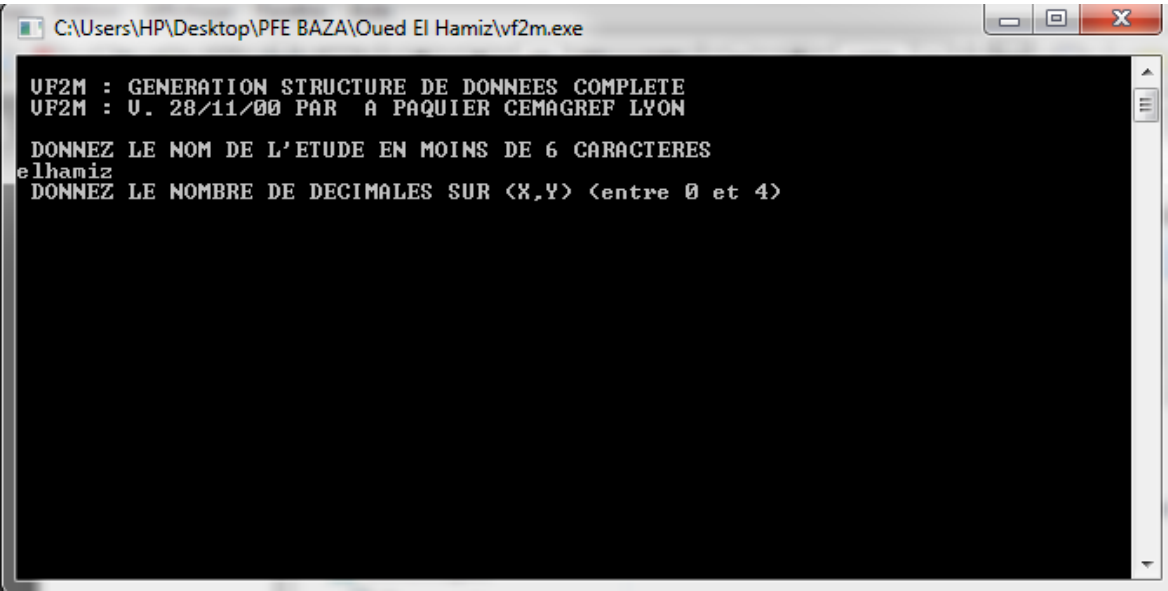
**Figure V.5:** lecture fichier \*.IMA par le programme MAIL20

Le programme MAIL20 génère un fichier texte dénommé (TOTO2.TXT). Ce dernier peut contenir des messages d'erreurs et d'avertissements. Dans le cas, où il ne contient pas d'erreur nous passons à l'étape suivante

#### V.1.4 Construction du fichier (\*.DAT)

La construction du fichier (\*.DAT) se fait à partir du programme VF2M. Le passage par ce programme est indispensable pour utiliser le logiciel FUDAA PREPRO et saisir les conditions initiales. Le fichier \*.DAT contient l'ensemble des données par mailles.

La figure V.6 ci-dessous montre l'interface du programme VF2M.



```
C:\Users\HP\Desktop\PFE BAZA\Oued El Hamiz\vf2m.exe
VF2M : GENERATION STRUCTURE DE DONNEES COMPLETE
VF2M : U. 28/11/00 PAR A PAQUIER CEMAGREF LYON
DONNEZ LE NOM DE L'ETUDE EN MOINS DE 6 CARACTERES
elhamiz
DONNEZ LE NOMBRE DE DECIMALES SUR <X.Y> (entre 0 et 4)
```

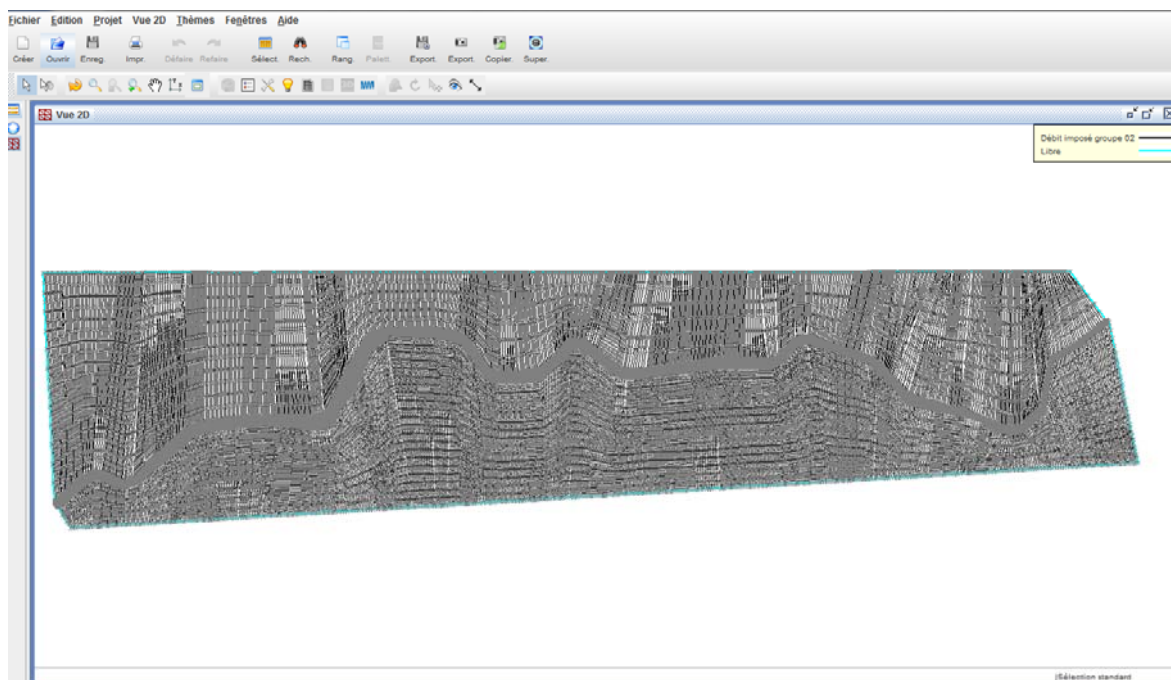
**Figure V.6:** lecture fichier \*.IMA par le programme VF2M

Après avoir saisi les données demandées par le programme VF2M nous passons à l'étape suivante qui est l'exécution du logiciel Fudaa Prepro.

### V.1.5 L'utilisation du logiciel Fudaa Prepro

Le Fudaa Prepro permet de définir, de saisir et de modifier tous les principaux paramètres de calcul ainsi que les conditions initiales et aux limites, à l'inverse de VF2M qui ne permet pas de définir les conditions aux limites.

Le maillage de calcul de la zone d'étude est illustré sur la figure V.7 suivante.



**Figure V.7:** maillage de la zone d'étude

La densité du maillage s'intensifie dans le lit mineur. Aux abords il est moins dense.

Le maillage obtenu compte près de 60500 mailles.

Les paramètres que nous devons définir dans cette partie sont :

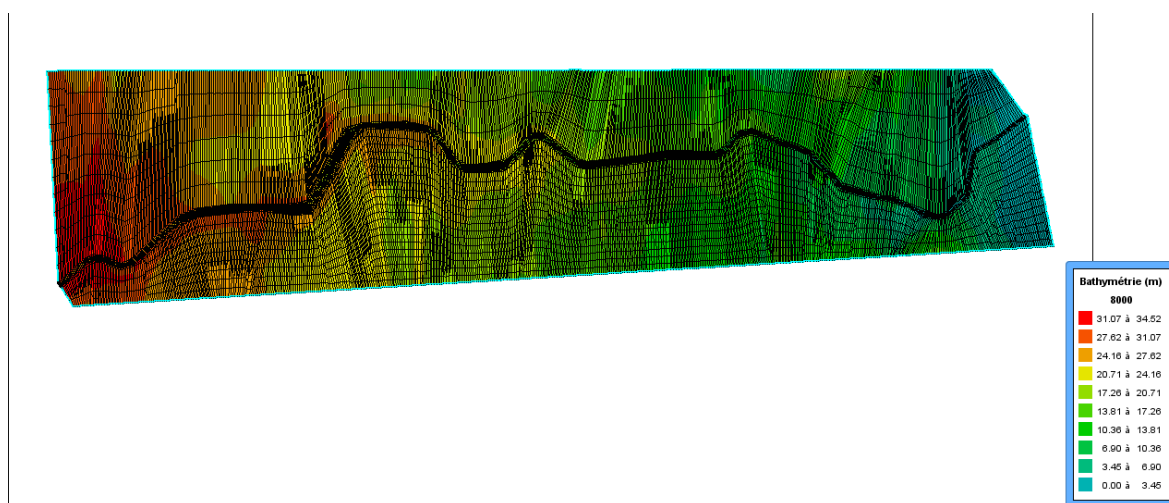
- La bathymétrie.
- Le positionnement des ouvrages et leurs caractéristiques.
- La définition des conditions aux limites ainsi que les courbes temporelles.
- La définition des paramètres de calcul (l'accélération de la pesanteur, calcul avec ouvrage ou sans, pas de temps de sauvegarde,...).

### V.2 Bathymétrie et coefficient de frottement

Le passage dans le programme VF2M, nous permet de générer la structure des données en créant le fichier.\*DAT par la lecture du fichier de géométrie.\*COX. Le programme VF2M permet aussi de saisir le frottement, préalablement modifié à l'aide de FUDAA-PREPRO.

### V.2.1 Bathymétrie

La carte (figure V.8) ci-dessous permet de visualiser la bathymétrie du modèle et son maillage.



**Figure V.8:** bathymétrie du modèle et le maillage de l'oued El Hamiz

### V.2.2 Coefficient de frottement au fond

La valeur du coefficient de frottement du fond est le paramètre le plus délicat à introduire dans le modèle, car sa valeur est dépendante de la nature du sol en régime turbulent rugueux. Cette valeur à défaut d'une bonne étude sur terrain et sur maquette, est estimée à l'aide de différentes formules. Le code de calcul RUBAR20 donne le choix entre le coefficient de Chézy et de Strickler. Ce dernier est choisi comme coefficient de frottement lors des simulations.

L'édition du frottement de fond est faite au centre de chaque maille, ce qui nous donne la possibilité d'introduire le bon coefficient de frottement. Celle-ci caractérise la couverture végétale, les voiries...etc. et ce en se basant sur les photos satellites de Google Earth.

La formule de Cowan prend en considération les différentes caractéristiques du sol, Cette formule permet d'estimer la valeur du coefficient de Manning  $n$  en séparant l'influence des différents facteurs. Elle s'écrit :

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5 \quad (V-1)$$

Les valeurs de ces divers coefficients sont expliquées ci-après.

**Coefficient  $n_0$**  : ce coefficient est valable pour un cours d'eau ou un canal rectiligne dont les parois, les berges et le fond sont homogènes et lisses.

**Coefficient  $n_1$**  : traduit l'influence des irrégularités de surface du fond et des parois

**Coefficient  $n_2$**  : traduit l'influence des variations de la forme et des dimensions de la section mouillée.

**Coefficient  $n_3$**  : traduit l'influence des obstructions de la section mouillée par des dépôts d'ordures, racines apparentes, souches d'arbres, blocs de pierre, troncs d'arbres tombes ou enracines, etc...

Pour apprécier l'influence de ces obstacles, il faut éviter de faire intervenir les facteurs considérés précédemment; il convient d'estimer jusqu'à quel point les obstructions réduisent la surface moyenne de la section mouillée, les obstacles anguleux provoquent une turbulence plus grande que ceux qui ont une forme arrondie ou des surfaces polies.

La position et l'espacement des obstructions dans le sens transversal et dans le sens longitudinal dans le bief influent sur la section mouillée.

**Coefficient  $n_4$**  : il traduit l'influence de la végétation.

**Coefficient  $m_5$**  : ce facteur correctif traduit l'importance des méandres qui peut être estimée par le rapport de la longueur du profil longitudinal du cours d'eau à la longueur du segment de droite joignant les deux extrémités du bief considéré.

Les coefficients sont résumés dans le tableau V-1 suivant :

**Tableau V-1:** coefficient de frottement au fond

Facteurs	Caractéristique	Valeur
$n_0$	Terre	0.0200
	Roche	0.0250
	Gravier	0.0240
	Gravier Grosse	0.0280
$n_1$	Parois Lisses	0.0010
	Parois Présentant Une Légère Irrégularité	0.0050
	Parois Présentant Une Irrégularité Modérée	0.0100
	Parois Présentant Une Irrégularité Importante	0.0200
$n_2$	Variations Progressives Du Profil En Travers	0.0000
	Variations Altérées Du Profil En Travers	0.0050
	Variations Altérées Fréquentes Du Profil En Travers	0.0010 à 0.0015
$n_3$	Obstruction Négligeable	0.0000
	Obstruction Faible	0.0100 à 0.0150

	Obstruction Appréciable	0.0300 à 0.0400
	Obstruction Importante	0.0600
n <sub>4</sub>	Végétation Faible	0.0050 à 0.0100
	Végétation Modérée	0.0100 à 0.0250
	Végétation Importante	0.0250 à 0.0500
	Végétation Très Importante	0.0500 à 0.1000
m <sub>5</sub>	Influence Des Méandres Modérée	1.0000
	Influence Des Méandres Appréciable	1.2500
	Influence Des Méandres Importante	1.3000

Les frottements de l'eau sur le sol sont représentés par les coefficients de Strickler. Le frottement est d'autant plus fort que le coefficient de Strickler est bas. Le choix de ces coefficients est fait lors du calage du modèle. Afin que sa présentation soit complète, les résultats sont présentés ci-dessous.

Les coefficients de Strickler retenus sont les suivants :

- 20 dans le lit mineur et le lit majeur en zone naturelle.
- 60 dans la zone bétonnée (lit mineur et lit majeur).

### **Conclusion**

Après avoir terminé la construction des données d'entrée nécessaires au post processeur de notre code de calcul Rubar20, et relatives à notre zone d'étude, nous allons lancer les simulations proprement dites dans l'étape suivante de notre travail.

## Chapitre VI : Simulation de la crue centennale de l'oued El Hamiz et visualisation des résultats

Dans ce chapitre on va entamer la simulation de la crue centennale, trouver les points de dysfonctionnement dans le cours d'eau qui vont nous permettre par la suite d'établir un plan d'action.

Celui-ci consistera à réhabiliter le cours d'eau et à délimiter les zones sensibles à l'inondation afin de les aménager pour éviter les catastrophes.

### VI.1 Méthodologie de la simulation de la crue

La simulation numérique va être à base du code de calcul RUBAR 20 qui a pour objectif de restituer une crue centennale, et de définir le champ de vitesse ainsi que les hauteurs d'eau en chaque maille, dans la zone d'étude.

### VI.2 Les conditions initiales

Les conditions initiales sont définies en chaque centre de maille correspondant aux arrêtes limites à l'entrée du domaine d'étude, elles sont éditées dans Fudaa-Prepro. Elles sont sur le frottement, la hauteur H, et le débit selon X et Y. Dans notre étude, nous avons supposé que la hauteur de l'eau est nulle dans l'oued, d'où le débit est nulle figure VI.1.

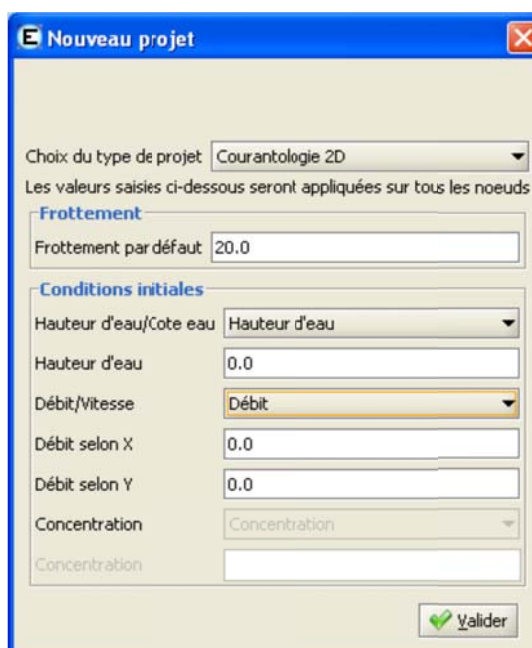


Figure VI.1: édition des conditions initiales.

### VI.3 Les conditions aux limites

La détermination correcte des conditions aux limites est une nécessité pour obtenir des résultats précis de notre modèle de calcul. Ces conditions sont fixées sur le contour du maillage, où on peut les définir grâce au programme Fudaa-Prepro.

Les conditions aux limites que nous avons décidé d'appliquer à notre modèle de calculs sont les suivantes :

- Hydrogramme de crue (calculé dans chapitre II) à l'entrée du cours d'eau (figure VI.2), sans oublier que le débit est composé d'un débit normal et d'un débit tangential. Ce dernier est considéré comme étant nul parce que les arrêtes sont perpendiculaires à la direction de l'écoulement.
- Détermination de la hauteur d'eau en fonction du temps à l'entrée du cours d'eau (figure VI.3), on l'a déduit à partir de la courbe de tarage extrapolé de l'oued El Hamiz (chapitre II).

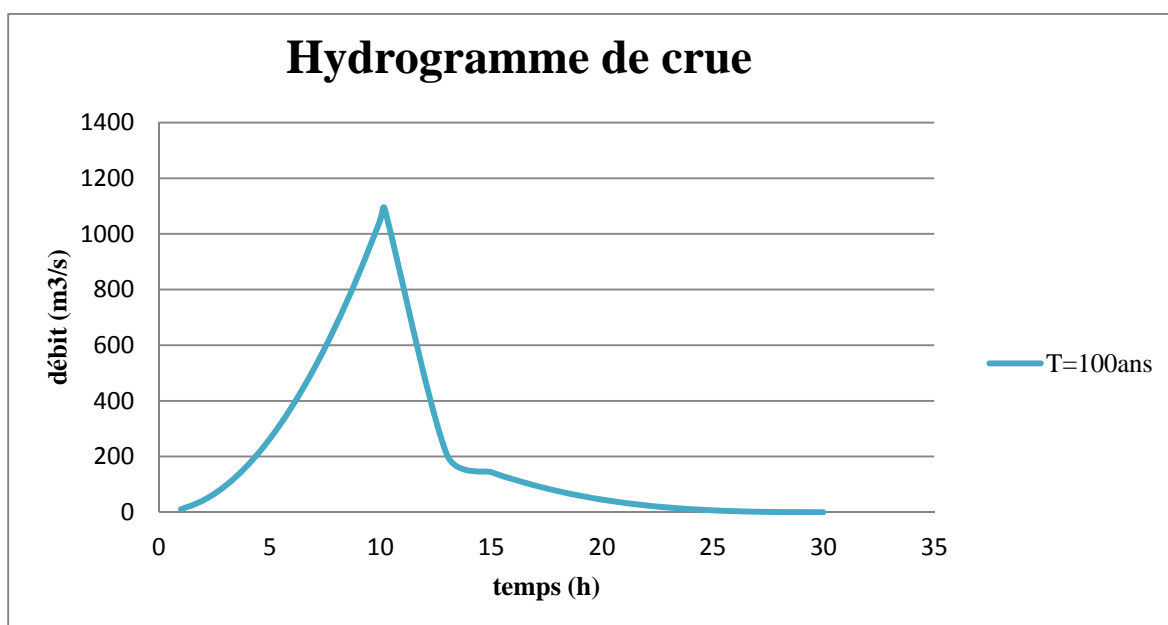
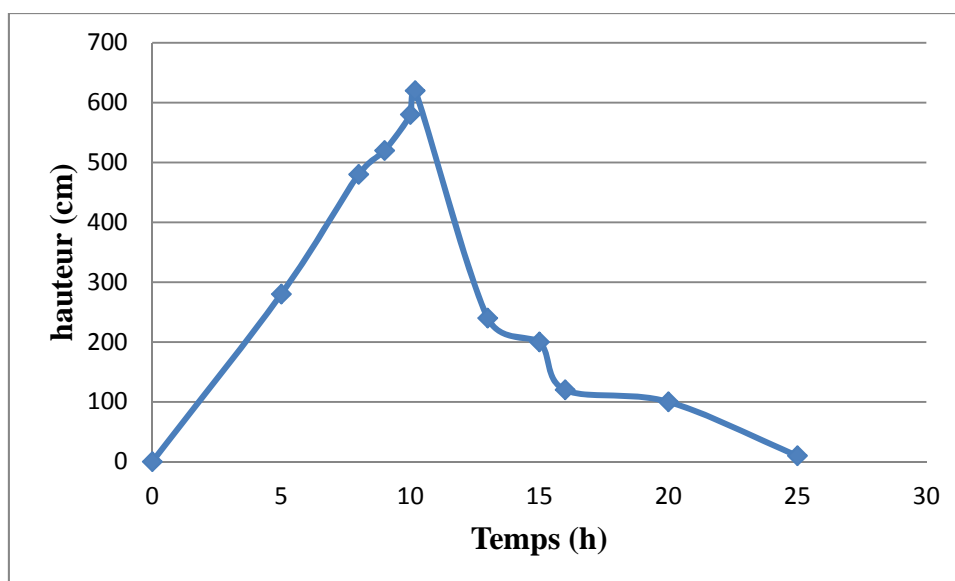


Figure VI.2: hydrogramme de la crue centennale à l'entrée de la zone d'étude.



**Figure VI.3:** hauteur d'eau de la crue centennale en fonction de la hauteur à l'entrée de la zone d'étude.

#### **VI.4 Représentation des ouvrages qui traversent l'oued ainsi que les bâtis**

La représentation des bâtis est une tâche compliquée. Il existe différentes manières de représenter les bâtiments et les ouvrages dans le maillage.

Si on dispose d'un fichier de bâtiments au format \*.CN (ou Cote Naturel, chaque ligne fermée correspond à un bâtiment), on utilise le programme LECECRSTBAT qui permet de bâtir un fichier de correspondance entre le fichier \*.CN et le fichier de sections contenant tous les points des bâtiments, par la suite on peut compléter le fichier des sections à l'aide du programme SECMA et modifier les altitudes pour que les sections correspondent à l'altitude du terrain naturel (cas où on souhaite entrer les murs des bâtiments en tant qu'ouvrages).

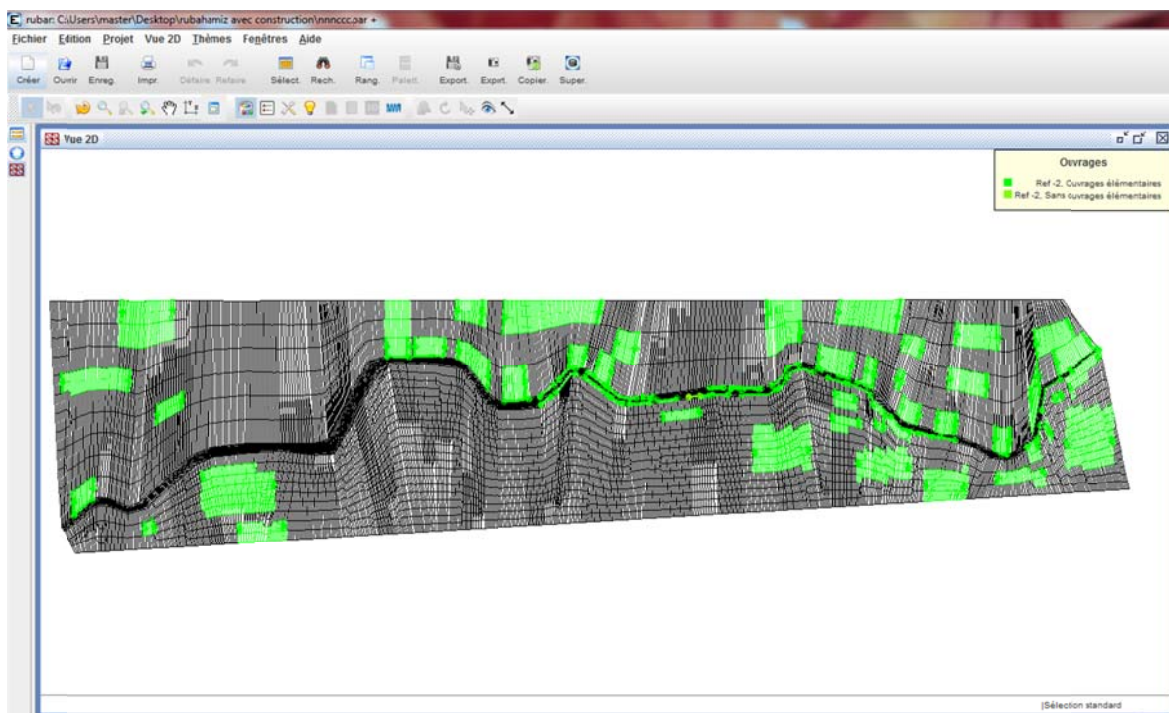
Dans notre cas nous avons utilisé le programme Fudaa-Prepro pour insérer les bâtiments et les ouvrages dans le cours d'eau (figure VI.4), parce que nous ne disposons pas d'un fichier de bâtiments.

Nous avons commencé à introduire les bâtiments et les ouvrages en sélectionnant les mailles où il y a présence d'un bâtiment ou d'un ouvrage. Ce programme nous permet de choisir plusieurs types d'ouvrage tel que : déversoir, brèche,...etc. Pour chaque ouvrage on doit introduire les caractéristiques spécifiques pour reproduire en grandeur réelle le terrain naturel pour avoir des résultats précis.

Remarque :

Pour représenter les bâtiments, il suffit de choisir un déversoir.





**Figure VI.4:** représentation des bâtiments et des ouvrages dans Fudaa-Prepro

Cependant, l'introduction des zones urbanisées reste très difficile, du fait qu'elles soient urbanisées d'une manière très anarchique avec des ruelles très étroites ; ce qui rend très difficile la représentation des maisons, et les sites des bidonvilles dans le lit du cours d'eau.

### **VI.5 Paramètres de calculs**

Il est nécessaire de faire un choix judicieux des paramètres de calculs.

En effet, ce code s'appuie sur des données à caractères physique et hydraulique tels que les coefficients de frottement, de viscosité turbulente, et d'autres à caractères numériques.

Les principaux paramètres de calculs sont :

- Temps de début de simulation (en seconde) est égale à 0.
- Temps de fin de simulation égale au temps de la décrue.
- Pas de temps de calcul.
- L'accélération de la pesanteur qui correspondre la région d'étude ( $9,81 \text{ m/s}^2$  comme valeur par défaut).
- Le paramètre ICFL : ce paramètre permet de conserver le pas de temps pendant le calcul. Pour ne pas conserver le pas du temps il faut choisir l'option du calcul à nombre de courant constant (introduire le pas de temps initial ICFL égal à 1). Si non, le pas sera conservé durant tout le calcul (ICFL = 0).
- Le paramètre ICLVAR : ce paramètre définit les conditions aux limites variables dans le temps ou non :
  - 0 : si les conditions aux limites sont fixes dans le temps.

- 1 : si les valeurs aux limites sont fluctuantes dans le temps.
  - Le paramètre ALPHA : ce paramètre définit la correction de Van Leer. La valeur de pente pour les schémas de Van Leer, est comprise entre 0,5 et 1 (0,6 : par défaut). Plus la valeur est proche de 1, plus on a de la précision mais le schéma sera moins stable.
  - Le paramètre IOFR : définit le type de frottement:
- On a :
- 0: pour Chézy.
  - 1: pour Strickler.
  - 2: pour Darcy Weisbach.
  - Le paramètre IOSMB, ce paramètre permet de définir le calcul vis-à-vis des ouvrages, aux apports de pluies...etc.
    - IOSMB = 3 : s'il y a des ouvrages.
    - IOSMB = 0,2 : pas d'ouvrage ;
    - IOSMB = 2,3 : s'il y a des apports de pluies.
  - Le paramètre PARAY : ce paramètre définit la précision sur les hauteurs, autrement dit c'est la hauteur minimale au-dessous de laquelle, les hauteurs sont considérées comme nulles. ( $10^{-4}$  valeur par défaut).
  - Le paramètre IREP : permet de définir la reprise du calcul si on choisit cette option (IREP=1), ceci permet dans ce cas de préciser un temps et une ligne d'eau dans un fichier (\*.TPS). Dans le cas, il ne y'a pas de reprise de calcul (IREP=0).
  - Le paramètre ISCHEM : ce paramètre permet de définir le type de schéma numérique :
    - 1 : pour schéma de Van Leer d'ordre 1 en temps
    - 2 : pour schéma de Van Leer d'ordre 1 en temps et en espace (ce schéma est plus précis). (2 : Valeur par défaut)
  - Le paramètre CFL : ce paramètre correspond à la valeur du nombre de courant à ne pas dépasser. Cette valeur ne doit pas dépasser 1. (0.5 : valeur par défaut).
  - Le paramètre FVIX, et VFIY, ce paramètre représente la vitesse du vent dans les deux directions, en [m/s], et si un fichier (\*.VEN) existe le programme utilise automatiquement les valeurs contenues dans ce fichiers, sinon il utilise le FVIX, et VFIY.

## **VI.6 Lancement de la simulation et visualisation des résultats**

Le logiciel Fudaa-Prepro permet de lancer la simulation qui fait appel au programme Rubar20, (Fudaa-Prepro est juste un support pour exécuter le programme de simulation), qui demande sur quel format on veut enregistrer les résultats (on choisit \*.TPS qui contient la ligne d'eau à pas de temps fixe) et introduire le nom du fichier d'étude.

Le programme lance le calcul (figure VI.5) qui permet de déterminer l'évolution de la ligne d'eau, à partir de la résolution des équations de Saint-Venant et l'équation de convection-diffusion selon un schéma explicite en volume finis. La méthode de résolution implique un pas de temps très faible, il est recommandé d'employer ce code à des phénomènes hydrauliques transitoires.

```

D:\rubar\rubar20\rubar20.exe
LECTURE FROTTEMENTS EN STRICKLER
LECTURE CONDITIONS AUX LIMITES
DEBUT CALCULS SCHEMA DE VANLEER2
CALCUL AU TEMPS: 4.152539062500001
CALCUL AU TEMPS: 14.692089843750018
CALCUL AU TEMPS: 14.750976562500028
CALCUL AU TEMPS: 14.796313476562538
CALCUL AU TEMPS: 14.82861328125005
CALCUL AU TEMPS: 14.851611328125053
CALCUL AU TEMPS: 14.866333007812575
CALCUL AU TEMPS: 14.87607421875011
CALCUL AU TEMPS: 14.885888671875145
CALCUL AU TEMPS: 14.895629882812681
CALCUL AU TEMPS: 14.905371093750217
CALCUL AU TEMPS: 14.917895507812732
CALCUL AU TEMPS: 14.932543945312732
CALCUL AU TEMPS: 14.956347656250209
CALCUL AU TEMPS: 14.980371093750183
CALCUL AU TEMPS: 15.006005859375154
CALCUL AU TEMPS: 15.033837890625122
CALCUL AU TEMPS: 15.061889648437594
CALCUL AU TEMPS: 15.084667960750099
CALCUL AU TEMPS: 15.107958984375085
CALCUL AU TEMPS: 15.133886710750082
CALCUL AU TEMPS: 15.160107421875088
CALCUL AU TEMPS: 15.188232421875088
CALCUL AU TEMPS: 15.220312500000075
CALCUL AU TEMPS: 15.255175781250072
CALCUL AU TEMPS: 15.296630859375097
CALCUL AU TEMPS: 15.341162109375088
CALCUL AU TEMPS: 15.3982291015625086
CALCUL AU TEMPS: 15.473144531250089
CALCUL AU TEMPS: 15.578613281250083
CALCUL AU TEMPS: 15.726489257812581

```

**Figure VI.5:** Lancement de la simulation

Une fois la simulation de la crue dans l'état actuel du cours d'eau est terminée, nous visualisons les différents résultats à l'aide du post processeur Fudaa-Prepro.

Le résultat de la simulation est donné dans la figure ci-dessous:



**Figure VI.6:** Etendue de la crue sur terrain avec construction à 38600 s

La durée de la simulation était de 58h.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons dans certaines endroits la crue arrive à inonder une zone de 100m avec une hauteur d'eau de 8 m (couleur rouge), et dans les

courbes il y a une hauteur importante, sur quelques endroit y'a des débordements. Leur cause peut être due aux berges dégradées où inexistantes. Dans le futur plan d'aménagement il faut penser à protégé les berges.

Nous avons fait une deuxième simulation pour terrain vierge (figure VI.7).



**Figure VI.7:** Etendue de la crue sur terrain sans construction à 38600 s

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que dans certaines zones, la crue arrive à inonder une zone de 140m avec une hauteur d'eau qui atteint 7 m (couleur rouge), il y'a plus de zones inondées que de terrain sans construction

### **Conclusion**

L'objectif de cette simulation est d'établir une carte de dysfonctionnement du cours d'eau et les zones vulnérables, pour avoir une aide à la stratégie qu'il faut adopter pour la gestion des risques d'inondations et d'établir des plans d'aménagement.

## Chapitre VII : Réaménagement de l'oued El Hamiz

Le réaménagement de l'oued El Hamiz correspond à une tâche prioritaire suite aux résultats présentés dans les chapitres (IV et VI), où nous avons mis en évidence l'état actuel de l'oued El Hamiz.

Dans ce chapitre, nous allons exposer les différents aménagements à réaliser dans notre cours d'eau.

L'aménagement d'un cours d'eau est une mesure qui vise l'augmentation de la capacité du cours d'eau à faire passer l'hydrogramme de crue déterminé (chapitre II) sans danger en :

- Eliminant des obstacles à l'écoulement.
- Agrandissant de la section (endiguements, élargissements...).
- Augmentant la capacité (agrandissement de la pente du lit...).
- Augmentant la stabilité du lit du cours d'eau et les berges.

L'aménagement de l'oued El Hamiz a pour objectif de protéger complètement les régions traversées par l'oued El Hamiz contre un événement centennal équivalent à 1080 m<sup>3</sup>/s.

### VII.1 Rappel de quelques notions

#### VII.1.1 Notion de débit

Le débit est fonction de la vitesse moyenne de l'écoulement (V) et de la section mouillée(S).

$$Q = V \times S \quad (\text{VII-1})$$

Pour l'estimation du débit dans un cours d'eau, une des formules expérimentales la plus utilisée est celle de Manning-Strickler :

$$C_M = K_s \times R^{1/6} \quad (\text{VII-2})$$

Où,  $K_s$  coefficient de Strickler de dimension  $L^{1/3}T^{-1}$ . Il dépend de la rugosité des parois du chenal.

La formule de Manning-Strickler s'écrit sous la forme :

$$Q = K \times S \times R^{2/3} * i^{1/2} \quad (\text{VII-3})$$

Avec, S : section mouillée ; R : Rayon hydraulique  $R = S / P$  ; P : périmètre mouillé et  $i$  : pente du fond

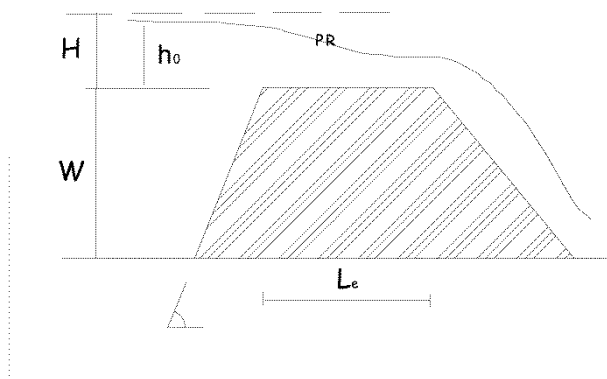
Dans le tableau VII-1 est donné les valeurs du coefficient de Strickler.

**Tableau VII-1:** valeur du coefficient de Strickler

Nature des parois	Valeur de K en $m^{1/3} / s$
Béton lisse	75-90
Canal en terre, non enherbé	60
Canal en terre, enherbé	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	35-40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30
Rivière à berge étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie	20-30
Lit majeur en vigne ou taillis	10-15
Lit majeur urbanisé	10-15
Lit majeur en forêt	<10

Le passage à travers un seuil épais, change de loi de débit.

Ce type de seuil épais à angle vifs (figure VII.1), comparé au déversoir en mince paroi, deux paramètres supplémentaires relatifs à la pente amont  $\theta$  et la longueur de la crête  $L_c$  du déversoir doivent être considérés. Le calcul simplifié introduit le coefficient de correction  $C_e$  et le coefficient de débit du déversoir standard  $C_d$ , dans la formule du débit :



**Figure VII.1:** déversoir à seuil épais

$$Q = C_d \times C_e \times b \times \sqrt{2g} \times H^{3/2} \tag{VII-4}$$

Où :

$$C_e = 1 - \frac{2 \times \sin \theta}{9 \times (1 + \xi_e^4)} \tag{VII-5}$$



$$\zeta_e = \frac{(H - W)}{L_e} \quad (\text{VII-6})$$

Considérant que la vitesse d'approche est normalement faible, la hauteur d'eau amont devient presque égale à la charge H [Hager, 1989].

### VII.1.2 Notion de charge hydraulique

La charge hydraulique sur une verticale de l'écoulement est fonction de la cote sur cette verticale, de la pression P à la surface de l'écoulement et de la vitesse V moyenne sur la section.

$$H = Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \quad (\text{VII-7})$$

Cette relation est connue sous le nom d'équation de Bernoulli. A la surface libre, la pression, égale à la pression atmosphérique, est constante et négligeable.

$$H = Z + \frac{V^2}{2g} \quad (\text{VII-8})$$

[Laborie, 2005]

### VII.1.3 Généralités sur les seuils

Dans la suite, le régime d'écoulement à l'amont de l'ouvrage est toujours fluvial. Il nous incombe de vérifier cette hypothèse avant d'utiliser les formules répertoriées (nombre de Froude  $F_r < 1$ ).

Le type de seuil est relatif à l'écoulement au droit de l'ouvrage.

En effet, plus l'épaisseur de la crête du seuil est négligeable devant la hauteur d'eau en amont au-dessus de celui-ci, plus le seuil paraît transparent vis-à-vis de l'écoulement et donc plus la crête du seuil paraît mince.

A l'inverse, plus la ligne d'eau amont se rapproche de la crête du seuil, plus la largeur du seuil paraît grande vis-à-vis de l'épaisseur de la lame d'eau qui y transite et donc plus la crête du seuil paraît épaisse.

Un déversoir en rivière appartient ainsi à l'une de deux catégories suivantes :

- seuil à crête mince.
- seuil à crête épaisse.

Afin de déterminer le type de seuil étudié, les conditions suivantes doivent être vérifiées :

- Si  $C < \frac{H_1}{2}$  alors le seuil est à crête mince.

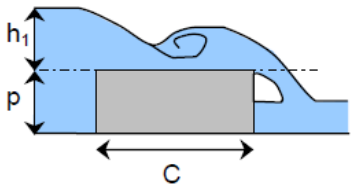
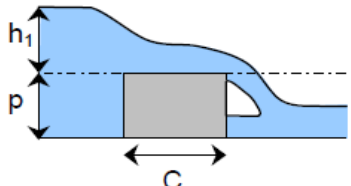
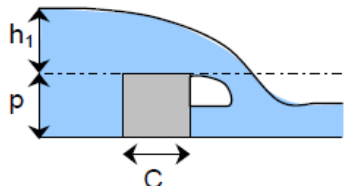
- Si  $C > \frac{2H_1}{3}$  alors le seuil est à crête épaisse.

où : C : largeur du seuil (m)

Le seuil épais est caractérisé par le fait que la nappe inférieure de l'écoulement adhère à la crête du seuil. En effet, plus cette crête est faible, plus le seuil se comporte comme un seuil à crête mince. Trois types de seuils épais peuvent être distingués (tableauVII-2).

[Mahonri, 1993]

**Tableau VII-2 : type de seuils épais [Laborie, 2005]**

		
<p><math>h_1/C &lt; 0.1</math></p> <p>Seuil à crête épaisse et longue</p> <p>Un ressaut se crée au-dessus du déversoir</p>	<p><math>0.1 &lt; h_1/C &lt; 0.4</math></p> <p>Seuil à crête épaisse</p> <p>La nappe s'abaisse jusqu'à obtenir un parallélisme avec la crête du déversoir et passe par une hauteur critique, notée <math>h_c</math>.</p>	<p><math>0.1 &lt; h_1/C &lt; 0.4</math></p> <p>Seuil à crête «pas très épaisse»</p> <p>La nappe s'incline de l'amont vers l'aval sur toute l'épaisseur du déversoir. L'écoulement passe par une hauteur critique, <math>h_c</math>, difficilement identifiable.</p>

Buts des seuils

Les seuils ont pour buts de :

- Stabiliser le lit des rivières à forte pente ;
- Diminuer la pente du lit pour obtenir la pente d'équilibre.

a. Fonctionnement

Ils fonctionnent comme déversoirs dénoyés pour les débits égaux ou inférieurs aux débits de dimensionnement.

b. Inconvénients

Les inconvénients des seuils sont :

- Obstacle à libre migration de poissons ;
- Fondation profonde pour garantir la stabilité des affouillements au pied ;



- Réalisation difficile en présence de l'eau

[Cesare, 2012].

### VII.1.4 Dissipateurs d'énergie

La réalisation des seuils sur un cours d'eau, nécessite l'exécution d'ouvrage complémentaire pour éviter les affouillements à l'aval du seuil. La mesure à prendre c'est la conception et le dimensionnement d'un bassin de dissipation.

Celui-ci se situe directement à la suite du déversoir et permet d'amener l'écoulement à une cote inférieure tout en dissipant localement le surplus d'énergie hydraulique. Les principaux éléments fonctionnels du bassin de dissipation sont (figure VII.2) :

- La chute, entre les sections 0 et 1.
- La dissipation d'énergie, entre les sections 1 et 2.
- La jonction au cours d'eau aval, entre les sections 2 et 3.

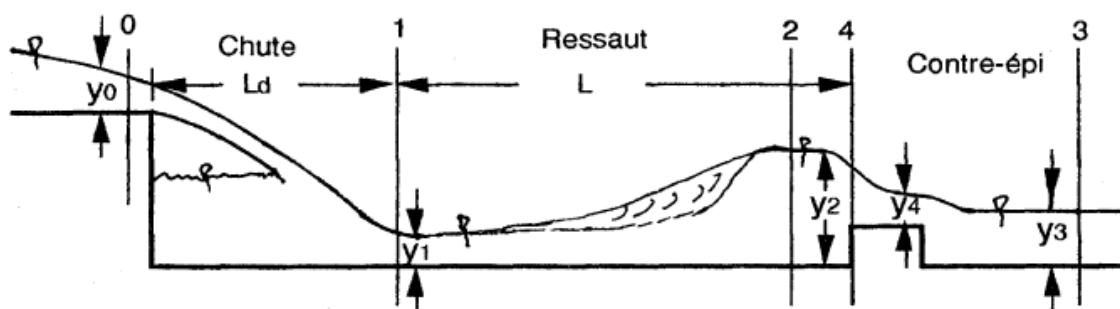


Figure VII.2: schéma technique d'un Bassin de dissipation

### VII.1.5 Epis en blocs

Les épis sont construits dans des rivières relativement peu profondes afin de maintenir, pour un large panel de débits (faible débits, notamment), un chenal étroit et profond. Ces ouvrages sont relativement longs par rapport à leur espacement et à la largeur totale de la rivière. [Ciria, 2009]

#### a. Type d'épis

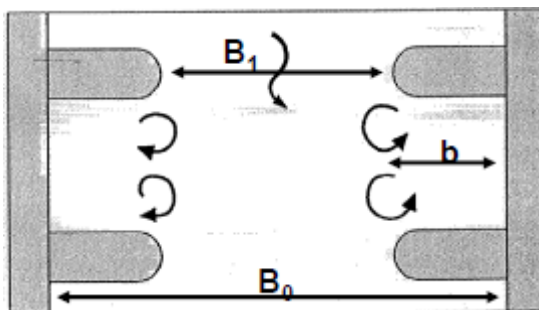
Systeme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epis singuliers</li> <li>• Epis en rangées</li> </ul>
submersion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epis non submergés</li> <li>• Epis submergés</li> </ul>
Perméabilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epis non perméables</li> <li>• Epis perméables</li> </ul>
inclinaison	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epis perpendiculaires</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epis inclinés vers l'aval</li> <li>• Epis inclinés vers l'amont</li> </ul>
Construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epis massifs (enrochement,...)</li> <li>• Epis en génie biologique</li> </ul>

[Cesare, 2012]

#### b. Influence hydraulique des épis

- La largeur du cours d'eau est hydrauliquement réduite par les épis.
- La surélévation du plan d'eau.
- La stabiliser et protéger les berges.



**Figure VII.3:** vu en plan des épis

[Cesare, 2012]

#### VII.1.6 Protection de berge par enrochements

La protection par enrochement se caractérise par :

- La mise en place des pierre enrochements est un mode efficace et très courant de protection des berges, qui présente également l'avantage d'être déformable et de pouvoir, ainsi suivre une évolution du profil en long de la rivière par creusement, cependant sa banquette doit être dimensionnée en conséquence.
- Les blocs sont dimensionnés pour résister à la vitesse maximale de courant, quel que soit son débit.
- De plus, il est indispensable, pour assurer la pérennité de l'ouvrage, de le prémunir également contre les risques d'érosion interne et de déstructuration du talus sur lequel reposent les blocs, qui seraient le fait de l'emportement des matériaux fins qui le constituent du fait du courant ou de circulations d'eau internes. Il convient donc de mettre aussi systématiquement en place une couche de transition entre le terrain et les blocs de la carapace, qu'il s'agisse d'un filtre granulaire ou d'un géotextile.

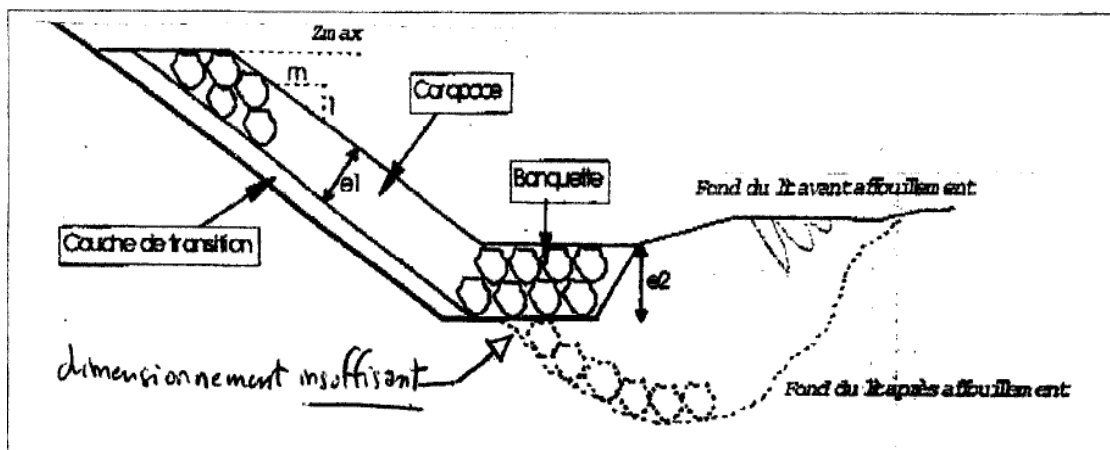


Figure VII.4: terminologie d'un enrochement (source CETMEF)

### VII.1.7 Les gabions

Le gabion est une cage ayant la forme d'un parallélépipède rectangle en grillage galvanisé.

Pour être plus précis, on distinguera d'après leur forme trois catégories :

- le gabion classique pour lequel la largeur est égale à l'épaisseur ;
- le gabion semelle pour lequel l'épaisseur est égale à la moitié de la largeur ;
- le matelas Reno dont l'épaisseur est très inférieure aux autres dimensions.

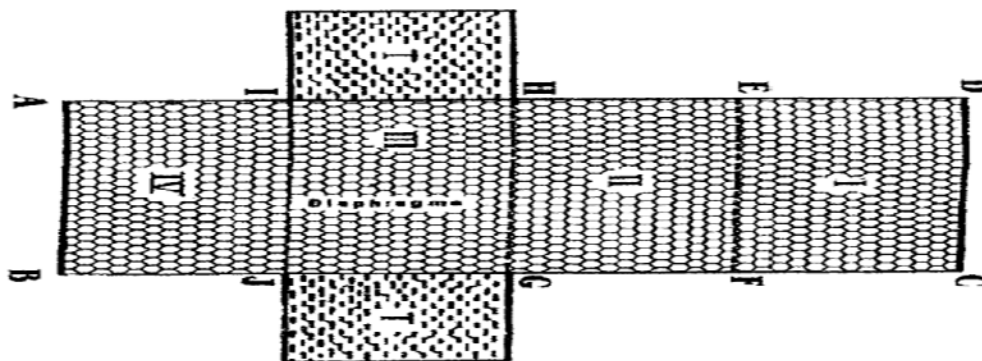


Figure VII.5: cage de gabion métallique dépliée

Les dimensions standards pour les gabions : longueur qui varie entre 1.5 m à 4 m, largeur et une hauteur qui ne dépasse pas 1 m.

Les caractéristiques du gabion sont :

- Déformabilité ;
- Perméabilité et rôle de drainage, Filtres ;
- Simplicité des ouvrages.

## VII.2 Rappel de loi de dimensionnement

### VII.2.1 Détermination de la largeur minimale du lit d'un cours d'eau

La largeur minimale du lit d'un cours d'eau est donnée par :

$$B_m = 0.876 * 10^{-5} \frac{N}{G^{0.9}} * E + 2.5 \quad \text{Pour } E > 10 \text{ km}^2 \quad (\text{VII-9})$$

$$B_m = (0.876 * 10^{-5} \frac{N}{G^{0.9}} + 0.25) * E \quad \text{Pour } E < 10 \text{ km}^2 \quad (\text{VII-10})$$

Avec, E : surface du bassin versant (km<sup>2</sup>), G : pente moyenne pondérée du terrain en (%)  
N : précipitations annuelles moyennes en (mm).

### VII.2.2 Espacement et longueur des épis

Les épis sont dimensionnés en déterminant l'espacement et la longueur

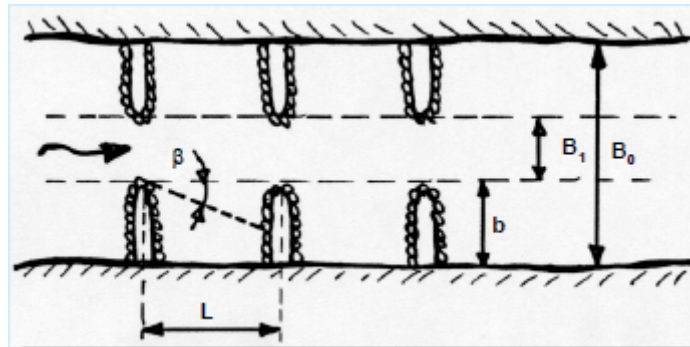


Figure VII.6: schéma technique des épis

$$L \leq 4.5 \left( \frac{B_0 - B_1}{2} \right) = 4.5b \quad (\text{VII-11})$$

Pour  $b = \frac{1}{4} \times L$ , selon les conditions locales les espacements suivants sont recommandés :

- $L = \frac{1}{2}$  à  $\frac{3}{4} B_1$  dans la transition entre un tronçon rectiligne et une courbe ;
- $L = B_1$  à la rive extérieure dans une courbe ;
- $L = 1.5$  à  $2B_1$  à la rive intérieure dans une courbe.

La longueur de l'épis résulte du rétrécissement souhaité  $B_1$  de la rivière pour favoriser le transport solide. [Cesare, 2012].

### VII.2.3 Détermination de dimension de bassin de dissipation

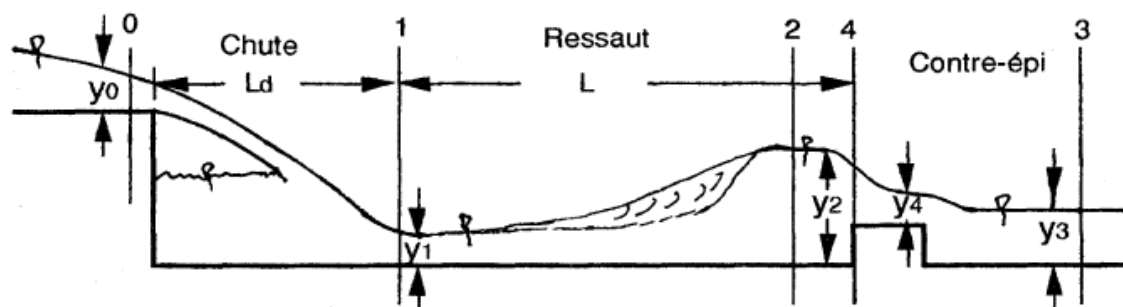


Figure VII.7: schéma technique d'un bassin de dissipation

$$L = 6 \times (Y_2 - Y_1) \quad (\text{VII-12})$$

$$\frac{q}{g \times Y_1} + \frac{Y_1}{2} = \frac{q}{g \times Y_2} + \frac{Y_2}{2} \quad (\text{VII-13})$$

où,  $q$  : débit unitaire ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ;  $g$  : accélération de la pesanteur ( $\text{m}/\text{s}^2$ ) ;  $Y_1, Y_2$  : hauteur conjuguées du ressaut hydraulique (m) [Berkani, 2012].

#### VII.2.4 Dimensionnement d'une protection de berge en enrochements

Dimensionnement des blocs vis-à-vis du courant naturel suit les étapes suivantes :

- Le diamètre moyen des blocs ( $D'_{50}$ ) à mettre en place dans un perré en enrochements libres est défini en utilisant la formule d'Izbach relative au dimensionnement des blocs pour une disposition au fond de lit ( $D_{50}$ ) affecté de la correction de Lane, du fait de la mise en place dans un talus.
- Par sécurité, du fait d'un arrangement souvent monocouche et d'un encastrement des blocs qui n'est pas toujours optimal, il est préconisé de retenir la formule d'Izbach pour les enrochements libres (et pas pour les blocs parfaitement encastrés).
- Dans ces conditions, les formules sont les suivantes :

$$D_{50} = 1.56 \times (\rho_e / (\rho_s - \rho_e)) \times ((\beta \times V^2) / 2g) \quad (\text{VII-14})$$

$$D'_{50} = D_{50} / \lambda \quad (\text{VII-15})$$

avec,  $D_{50}$  (ou  $D'_{50}$ ) : diamètre moyen des blocs (en m),  $\rho_e$  : masse volumique de l'eau (en  $\text{t}/\text{m}^3$ ),  $\rho_s$  : masse volumique des blocs (en  $\text{t}/\text{m}^3$ ),  $\beta$  : coefficient correcteur de la vitesse moyenne en courbe,  $V$  : vitesse moyenne du Courant (en  $\text{m}/\text{s}$ ),  $g$  : accélération de la pesanteur (en  $\text{m}/\text{s}^2$ ),  $\lambda$  : coefficient de Lane.

La valeur de  $\beta$  est lue dans le tableau VII-3 suivant :

**Tableaux VII-3:** valeur de coefficient correcteur de la vitesse moyenne en courbe

Type de coude	Valeur de $\beta$
Faible	1.1
Moyen	1.3
Fort	1.5

La valeur de  $\lambda$  est obtenue par la formule :

$$\lambda = \cos \alpha \times (1 - (\operatorname{tg}^2 \alpha / \operatorname{tg}^2 \phi))^{0.5} \quad (\text{VII-16})$$

avec,  $\phi$  : Angle de frottement interne du matériau constitutif des blocs ( $\approx 40^\circ$ ) et  $\alpha$  : Angle du talus

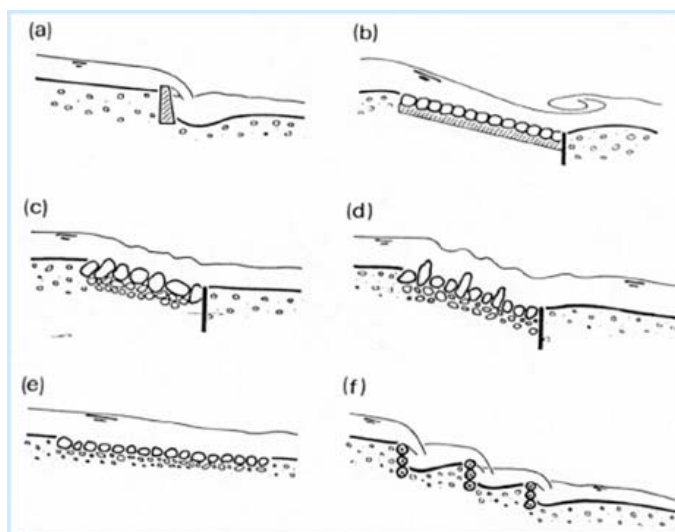
**Remarque :**

- Dans la mesure du possible, il conviendra de disposer les enrochements en deux couches superposées.
- Les pentes de talus devront être inférieures ou égales à 2 (horizontal) pour 1 (vertical). [Abèle, 2001].

**VII.2.5 Protection contre les érosions du lit**

Pour la protection du lit contre l'érosion, il existe diverses possibilités :

- Augmentation de la résistance du lit par :
  - Création d'un lit artificiel (canal bétonné) ;
  - Pavage du lit par des blocs en pierre (couche de pavage artificiel) ;
  - Renforcement du lit par de gros blocs (rocher ou éléments en béton).
- Réduction de la pente du lit par :
  - Fixation du lit par des traversées (seuils en béton...) ;
  - Fixation du lit par des rampes de blocs ;
  - Changement du tracé du cours d'eau.
- Elargissement du lit
  - Sur longues distances ;
  - Localement ;
  - Par dérivation partielle du cours d'eau dans un lit secondaire.
- Intervention sur le transport solide par
  - Renversement du gravier dans le cours d'eau



**Figure VII.8:** a) seuil ; b) coursier bétonné ; c) rampe de blocs ; d) rampe de blocs à grande rugosité ; e) coursier avec pavage artificiel ; f) seuils en bois

### VII.2.6 Réalisation et mise en œuvre des gabions

Le montage et la pose des gabions suit les étapes suivantes :

1. Le gabion est déplié et étendu à plat sur le sol.
2. Les deux parois II et IV et les deux flancs T sont redressés de façon à former une boîte dont le couvercle sera ouvert (figureVII.5). On ligature ensemble les quatre arêtes verticales avec un fil de même qualité que celui des gabions.
3. Le gabion est disposé à l'emplacement qu'il doit occuper définitivement dans l'ouvrage en construction. A l'aide d'une masse en bois on dresse les parois du gabion en les appliquant contre les parois du gabion voisin.
4. On ligature très solidement entre elles les arêtes verticales et horizontales qui sont en contact immédiat avec les arêtes des gabions voisins, de façon à rendre tous les gabions solidaires les uns des autres.
5. L'opérateur passe la pointe d'un piquet en fer de 1,5 m de longueur dans la maille de la base du gabion la plus proche du sommet 1; le piquet sert de levier et permet de tendre le mieux possible la face AIEH dans le plan de l'alignement qui est fixé ; finalement le piquet étant dressé verticalement, il est enfoncé dans le sol à l'aide d'une masse en fer. On renouvelle ensuite l'opération pour la face opposée.
6. A ce niveau intervient la mise en place des tirants qui ont pour but de contreventer les faces opposées du gabion et d'empêcher les formations de ventres sur les faces apparentes. La disposition pratique de ces tirants est :

- pour les gabions de 1 m de haut, on dispose deux rangées de tirants partageant la hauteur en trois couches d'épaisseurs égales ;
- pour des gabions de 0,5 m de haut, on ne prévoit qu'une seule rangée à mi-hauteur ;
- près des angles, les tirants relieront deux faces perpendiculaires ;
- les tirants dans le même plan horizontal sont espacés d'environ 0,35 m.

[Abèle, 2001]

### VII.2.7 Calcul de seuils en béton

Dimensionnement et emplacement des seuils

- Ecoulement sur les seuils

$$Q = C_d * b * \sqrt{2g} * H^{3/2} \quad (\text{VII-17})$$

Avec le coefficient de débit  $C_d=0.326$  pour un seuil large

- Alluvionnement du lit par les seuils :

$$\Delta h = (J_0 - J) * L \quad (\text{VII-18})$$

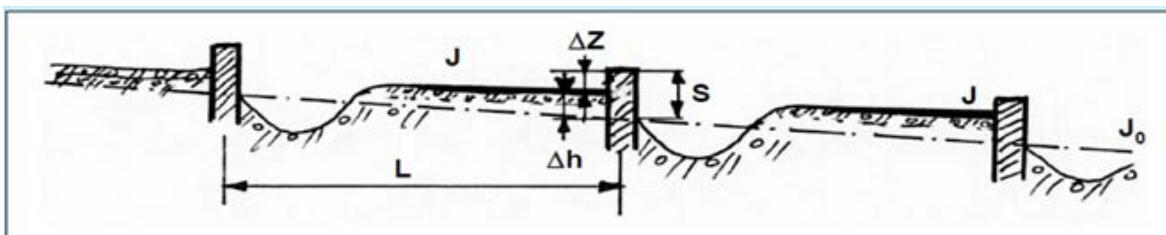
- Hauteur nécessaire du seuil

$$S \geq \Delta h + \Delta z \geq (J_0 - J_{cr}) * L + \Delta Z \quad (\text{VII-19})$$

Avec,  $\Delta Z$  d'environ 0.5 à 1.0 m

- Distance maximale entre les seuils :

$$L_{MAX} \leq \frac{S - \Delta z}{J_0 - J_{cr}} = \frac{\Delta h}{J_0 - J_{cr}} \quad (\text{VII-20})$$



**Figure VII.9:** schéma technique sur dissipateur d'énergie

### VII.3 L'exécution de l'aménagement de l'oued El Hamiz

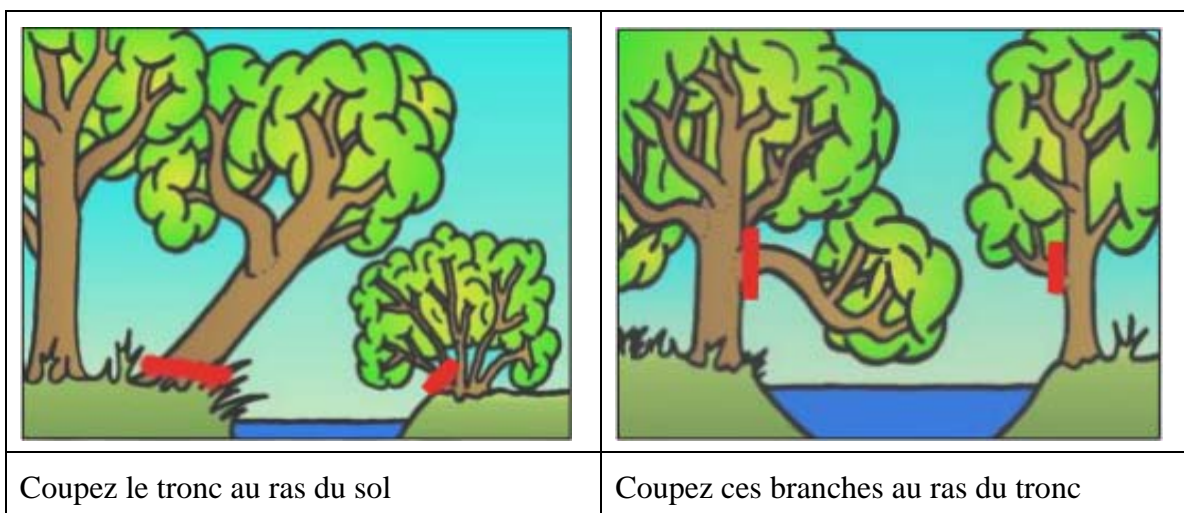
Pour permettre un meilleur écoulement des débits avant débordement, il est impératif de débiter par une opération de nettoyage du lit (enlèvement des embâcles et obstacles divers...).



Avant toute suppression d'obstacle ou de végétation, il y a lieu de se poser la question sur leur réelle inutilité et de s'interroger, notamment, sur le rôle qu'ils jouent dans la dynamique fluviale pour l'équilibre du lit et la stabilité des berges.

Deux options sont possibles

- Garder les arbres sains en élaguant les branches basses qui risquent de perturber l'écoulement des eaux en cas de crue.
- couper les arbres trop penchés en laissant les souches en place pour ne pas déstabiliser la berge.



L'aménagement du cours d'eau est basé essentiellement sur les opérations suivantes :

- Démolition des constructions gênant surtout dans la zone comprise entre l'embouchure dans la mer et le seuil 4.
- Suppression des constructions précaires et nettoyage des berges dans la zone comprise entre le seuil 4 et le pont d'El Hamiz et dans l'embouchure de l'oued, cet enlèvement des constructions précaires est la base de toute solution proposée pour l'aménagement du cours d'eau.

Ces opérations sont nécessaires aussi bien pour la sécurité des habitants que pour celle de la plaine.

- L'installation d'une station d'épuration pour récupérer les eaux usées domestiques et industrielles déversées dans le cours d'eau. Le traitement de ces eaux doit être approprié en vue de les relâcher dans le cours d'eau pour augmenter le niveau pendant la période d'étiage.
- Installation d'ouvrages spéciaux pour accroître l'oxygénation des eaux polluées de l'oued El Hamiz, en se basant sur l'augmentation de la capacité d'auto-épuration du cours d'eau et ce dans le but d'améliorer la qualité de l'eau.

### VII.3.1 Méthode de dragage

Le dragage peut avoir plusieurs objectifs divers. Dans le cas de l'oued El Hamiz, il a pour but :

- D'augmenter la capacité de la débitante de l'oued El Hamiz
- D'améliorer la qualité de l'eau en éliminant les terres (boues) polluées sédimentées dans le lit mineur du cours d'eau et sur les berges.

Dans ce cas, on effectue le dragage terrestre qui consiste à crasser, charger et transporter les boues à l'aide d'engin.

Lors de l'élaboration du plan de dragage, il est primordial de réaliser une étude préalable sur :

- Les conditions naturelles et géotechniques.
- Le volume des terres de dragage.
- les conditions de stockage des terres.
- Les conditions générales du site pour les travaux.

Cette étude déterminera les méthodes et matériels de dragage efficaces et économiques.

Avant le dragage, il faut tout prélever un échantillon de terre et effectuer une analyse des substances dans cet échantillon.

Le critère d'évaluation pour effectuer le curage des boues est fixé parmi 5 éléments de référence à savoir l'azote, le phosphore, la DCO (**D**emande **C**himique en **O**xygène), taux de par calcination et le sulfure.

Dans le cas où les terres de dragage doivent faire l'objet d'un plan de traitement des boues en tant que déchets, si le résultat d'analyse de l'échantillon dépasse la valeur admis soit plus 2 ou 3 éléments de référence. Tableaux VII-4 suivant montre les éléments de référence des boues polluées.

**Tableaux VII-4:** Eléments de références des boues polluées

Catégories	Critères
Azote (mg/kg)	1600-3000
Phosphore (mg/kg)	700-1000
DCO (mg/g)	20-40
Taux de par calcination (%)	10-20
Sulfure (mg/g)	Supérieur à 1

[Elaboration d'un plan directeur de requalification d'oued El Harrach, 2012]

### **VII.3.2 Détermination de la largeur minimale du lit d'un cours d'eau**

Largueur minimale du lit de l'oued El Hamiz :

La surface du bassin versant  $E = 432.3 \text{ km}^2$ , avec une pente moyenne de 0.2%.

La largeur minimale est déterminée par la formule (VII-9), elle est donc  $B_{se} = 15 \text{ m}$ .

Donc il faut avoir pendant tout le long du cours d'eau une largeur minimale  $B_{se} = 15 \text{ m}$ .

### **VII.3.3 Profil en long**

Le profil en long a été réalisé à partir du levé topographique, où nous avons enlevé la succession des seuils et des mouilles, et gardé toujours une très faible pente. La pente moyenne est de l'ordre de 0.2% (figure IV.8).

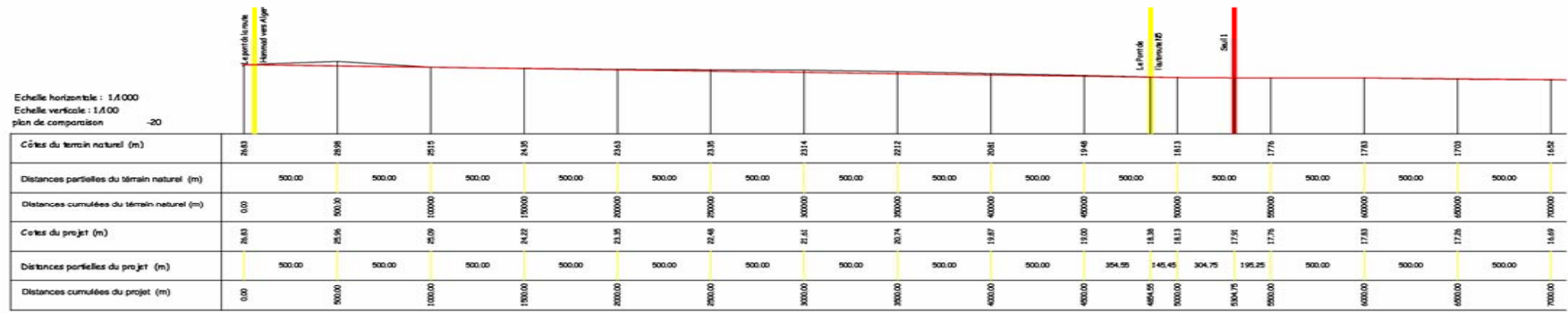


Figure VII.1: profil en long de l'oued El Hamiz

### VII.3.4 Réhabilitation des tronçons de l'oued El Hamiz

#### a. Tronçon 1

Recalibrage de la section de ce tronçon situé entre Pont Hammadi-Route Nationale N°5 nous procédons à l'élargissement général de la section hydraulique sur tout le long de ce tronçon.

Cette mesure est combinée à la création d'un lit moyen en double trapèze sur tout le tronçon ; elle est réalisable parce que l'espace est disponible.

Cette mesure consiste à accroître la débitante du lit mineur (augmentant la section d'écoulement) par déblayage et élargissement du lit. Rappelons que la capacité du premier trapèze fait passer une crue journalière de fréquence de 2 ans et le reste déborde dans le lit majeur.

Il est à noter que la zone de l'aéroport qui se trouve à l'aval de ce tronçon, a déjà fait l'objet d'un réaménagement de manière à faire passer une crue centennale vérifiée avec le logiciel Rubar20, nous n'effectuons aucun changement dans ce tronçon.

Le dimensionnement de ce profil est déterminé par la formule de Manning Strickler (formule VII-3) dont le résultat est le suivant : profil en travers (figure IV.9) avec une pente  $I = 0.0012$  m/m et un coefficient de frottement 35 (tableau VII-1).

Coupe constante le long du tracé sur une distance de 3400 m,

La pente des berges et digues correspond à un ratio 1:1 (V:H) pour les lits majeurs et le lit mineur. La largeur du lit mineur est de 15 m avec une élévation de 4.9 m. largeur du lit majeur est de 53 m et la hauteur des digues correspond à 4.5 m.

- le pont Hammadi (figure VII.10), on gardera le profil actuel du terrain parce qu'il fait passer largement une crue centennale, on enlèvera uniquement les déchets.

Le pont a une protection en gabions autour des piles, mais partiellement détériorée, on va réparer la protection des 2 piles.

Afin de préserver le bon maintien de la rive, on propose de planter des arbres.

Cependant cette plantation devrait être modérée dans le lit majeur (une rangée d'arbres de tige haute type eucalyptus de chaque côté du lit mineur) afin de ne pas trop gêner l'écoulement en cas de crue.

Une mise à niveau locale des zones dégradées des talus est en effet une mesure qui doit accompagner logiquement tout nouveau concept de reprofilage lorsque celui-ci s'avère nécessaire.

Pour le bon maintien des talus, nous avons choisi la méthode tapis de végétation, c'est une couche de végétation qui sera planté sur le talus pour réaliser un revêtement sur l'ensemble des talus,

C'est un ouvrage facile à réaliser et économique, aucun effet nuisible sur l'environnement avec la possibilité de choisir la végétation adéquate.

Pour la protection des berges on se propose de construire des épis dimensionné par la formule (VII-11) sur une distance de 200 m (figure VII.10)

Dans ce tronçon, le rôle des épis est de protéger les berges, augmenter la hauteur d'eau pendant la période d'étiage et retenir tous les déchets solides entre les épis à cause de la formation de rouleau de recirculation.

Organiser des campagnes de nettoyage pour récupérer les déchets solides.

Ce tronçon est adapté à l'intégration de pistes cyclables et piétonnes et réhabilite le stade qui se trouve sur le côté droit et crée des zones de loisir (terrain de sport et aires de jeux).



### Profil en travers tronçon 1

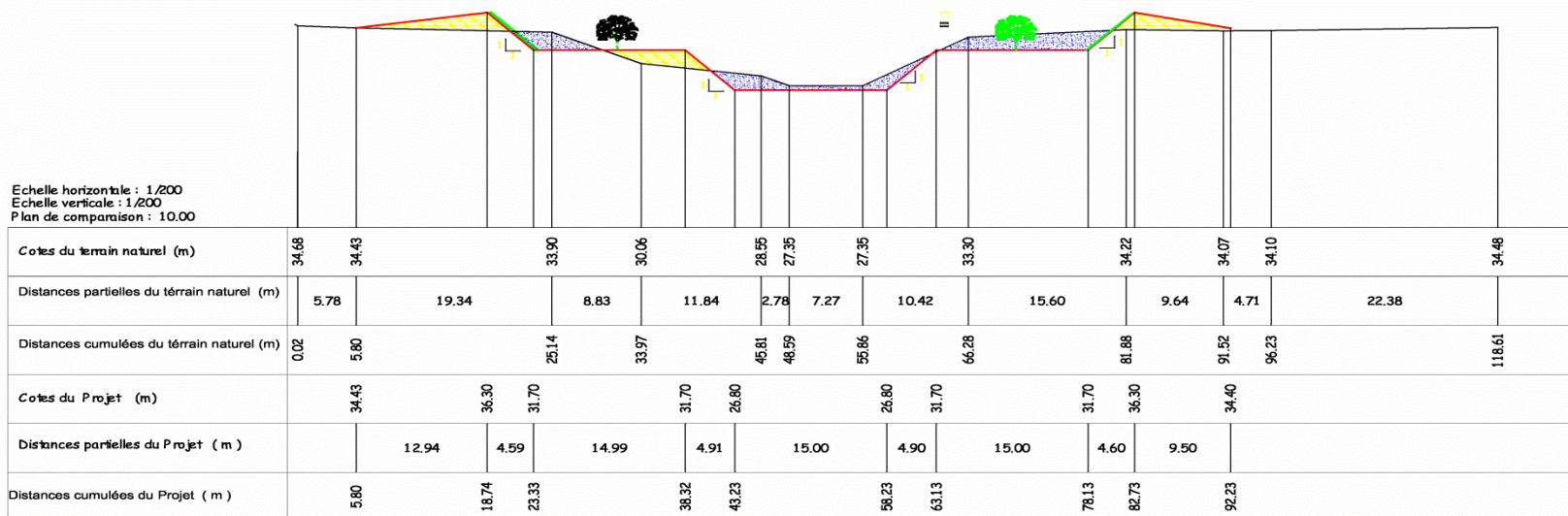


Figure VII.1: coupe en travers du tronçon 1

### Profil en travers pont Hammadi

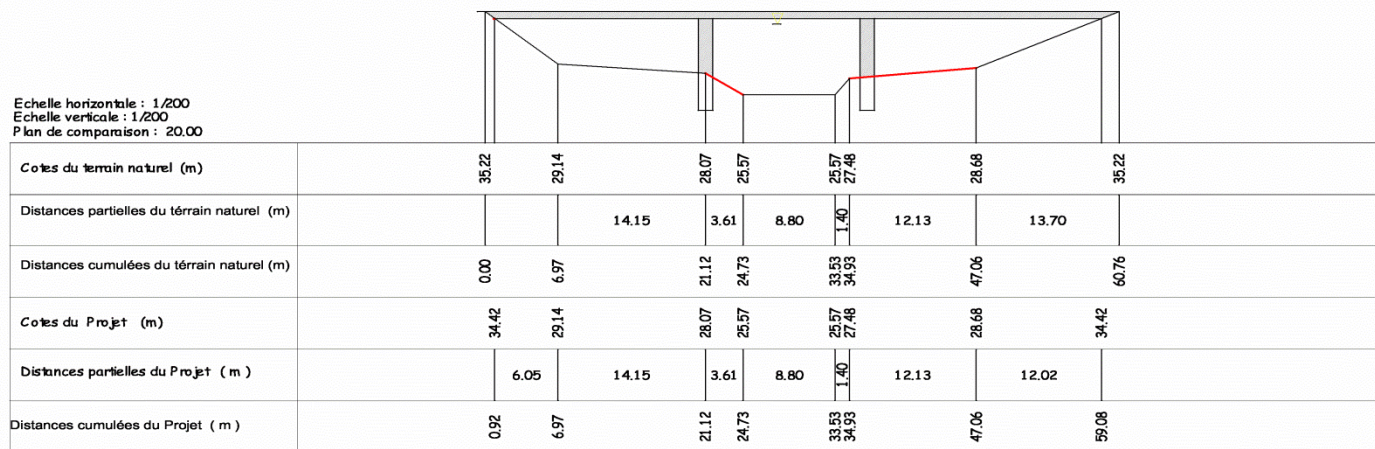
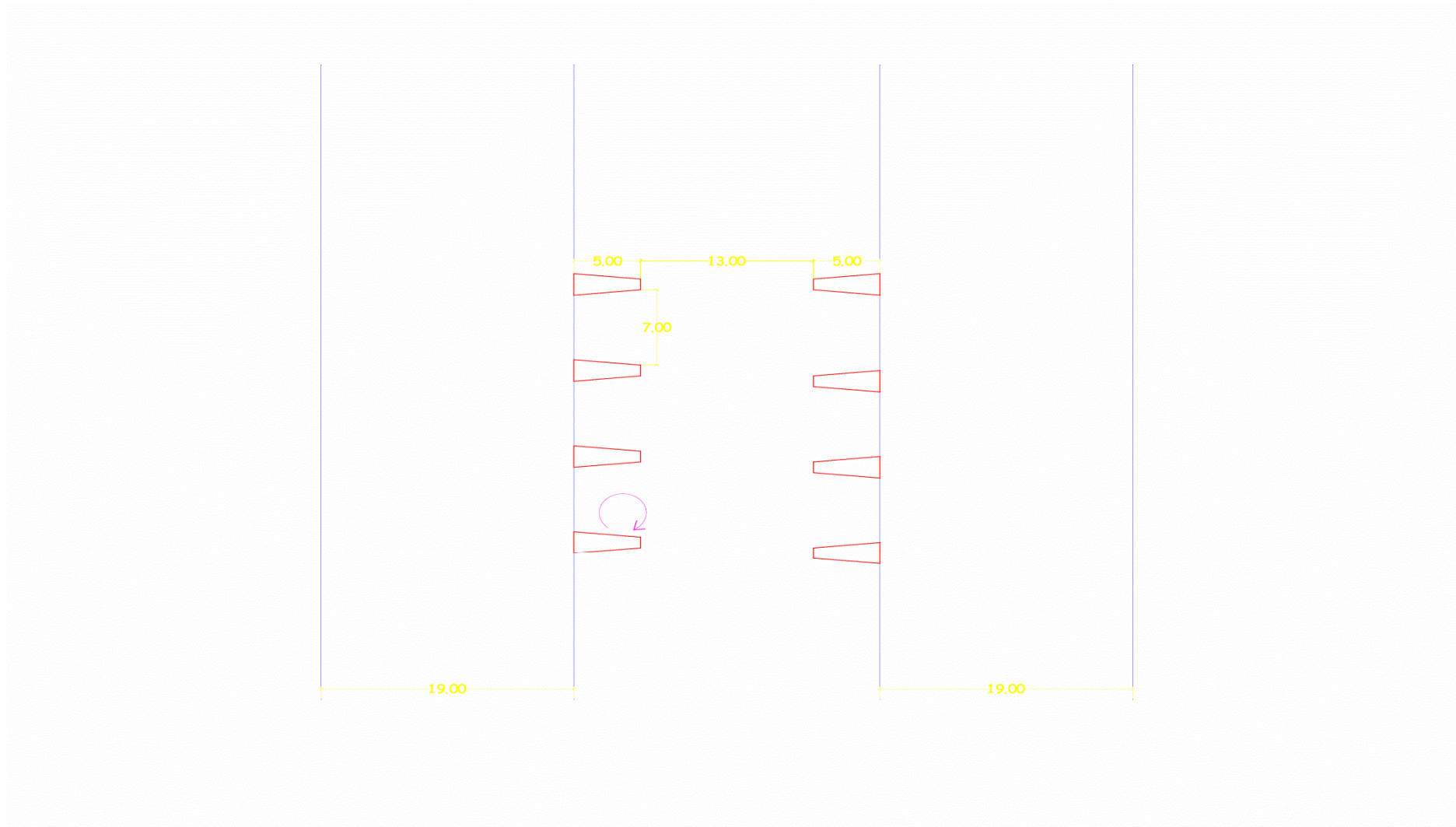


Figure VII.2: Coupe en travers du pont Hammadi





**Figure VII.3:** vue en plan d'épis conçu pour réguler et stabiliser l'érosion des berges dans le tronçon1

## b. Tronçon 2

Recalibrage du tronçon entre route Nationale N°5-pont Hamiz, c'est l'intervention la plus systématique, dans ce tronçon l'espace disponible le permet.

Il faut bien protéger la rive gauche qui est occupé par des entreprises et des habitations. La rive droite est constituée par des terrains agricoles.

Pour le recalibrage nous avons opté pour la même mesure que le tronçon 1 à la création d'un lit moyen en double trapèze sur tout le tronçon, cette mesure est réalisable vue la disponibilité de l'espace.

Le dimensionnement de ce profil est défini par la formule de Manning Strickler (formule VII-3), dont le résultat est le suivant : le profil en travers (figure VII.11) avec une pente  $I = 0.0015$  m/m et un coefficient de frottement 35 (tableau VII-1)

Coupe constante le long du tracé sur une distance de 1900 m,

La largeur du lit mineur est de 15 m avec une élévation de 4.5 m. Le lit majeur a une largeur de 53 m et la hauteur des digues est de 4.2 m.

Pour le lit mineur la pente des berges a un ratio 1:1 (V:H). Pour la stabilité des enrochements sur les digues du lit majeur de la rive gauche on réalisera une pente avec un ratio 1:2 (V:H), la pente sur la rive droite a un ratio 1:1 (V:H).

Les constructions existantes sur la rive gauche seront protégées par des enrochements afin d'éviter tout évènement d'érodabilité qui risque de causer un éboulement des berges.

Nous avons opté pour des enrochements en deux couches superposées pour un diamètre moyen  $D_{50} = 0.8$  m des roches sur tout le long de la rive gauche dimensionné par la formule (VII-14).

Afin de préserver le bon maintien des deux rives, nous planterons sur une rangée des arbres à tige haute type eucalyptus avec une mise à niveau locale des zones dégradées des talus sur la rive droite.

Nous planterons également un tapis de végétation sur le talus de la rive droite, qui s'adapte bien avec les terrains agricole qui se trouve à proximité.

Dans ce tronçon, il existe deux ponts. Pour chacun, on va réaliser son profil en travers.

- Le pont de l'autoroute n'a de renforcement, ni au niveau du lit, ni autour des piles, donc on réalise le profil en travers figure (VII.12) avec la protection des piles de pont avec gabionnage.

Le dimensionnement de ce profil est déterminé par la formule de Manning Strickler (formule VII.3) dont le résultat est le suivant : (figure VII.12) avec une pente  $I = 0.0015$

m/m. Le pont de la voie ferrée étant sur radier en béton. On gardera le même profil en travers juste en éliminant les déchets. Ce profil fait passe de justesse une crue centennale.

Nous avons signalé l'existence d'affouillements en aval du radier, nous avons opté pour la réalisation d'une rampe de blocs à grande rugosité (figure VII.6.d) pour éviter l'affouillement.

### Profil en travers tronçon 2

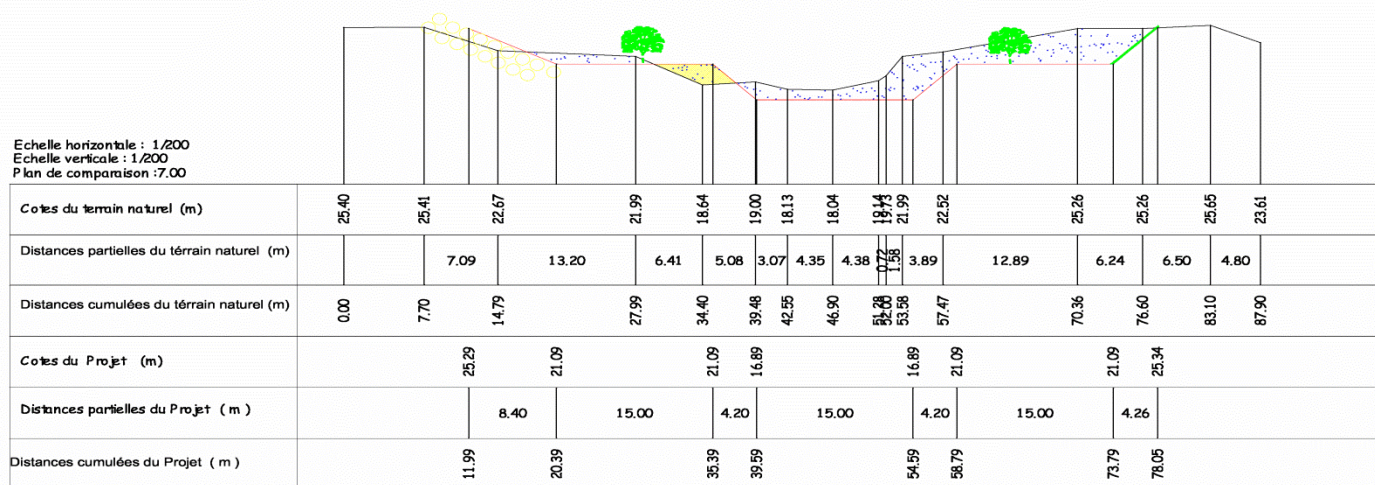


Figure VII.1: coupe du profil en travers du tronçon 2



### Profil en travers autoroute

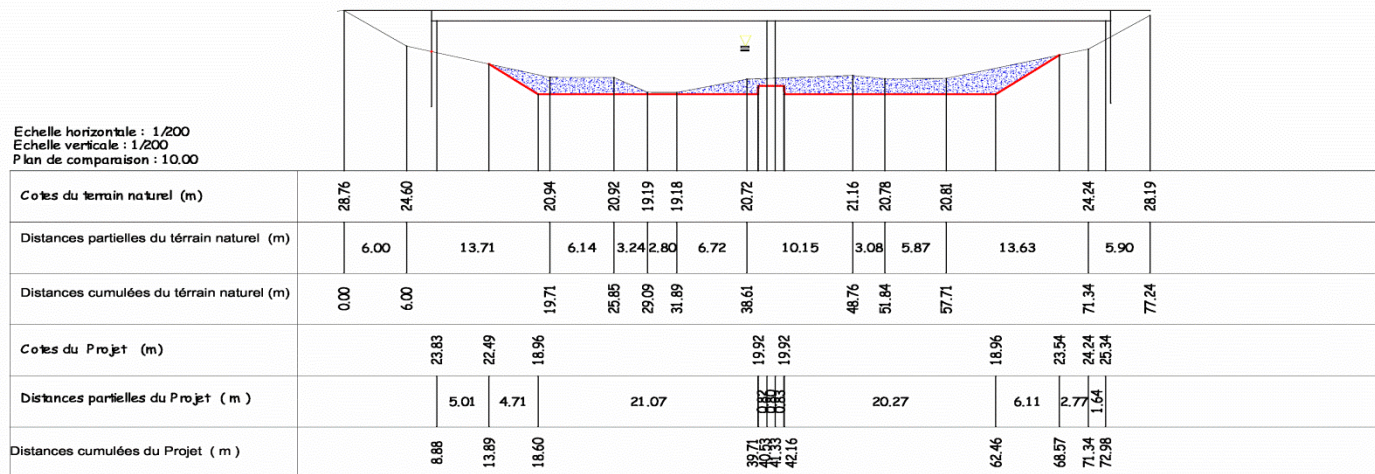


Figure VII.2: profil en travers du pont de l'auto route

### Profil en travers Ponts voie ferrée

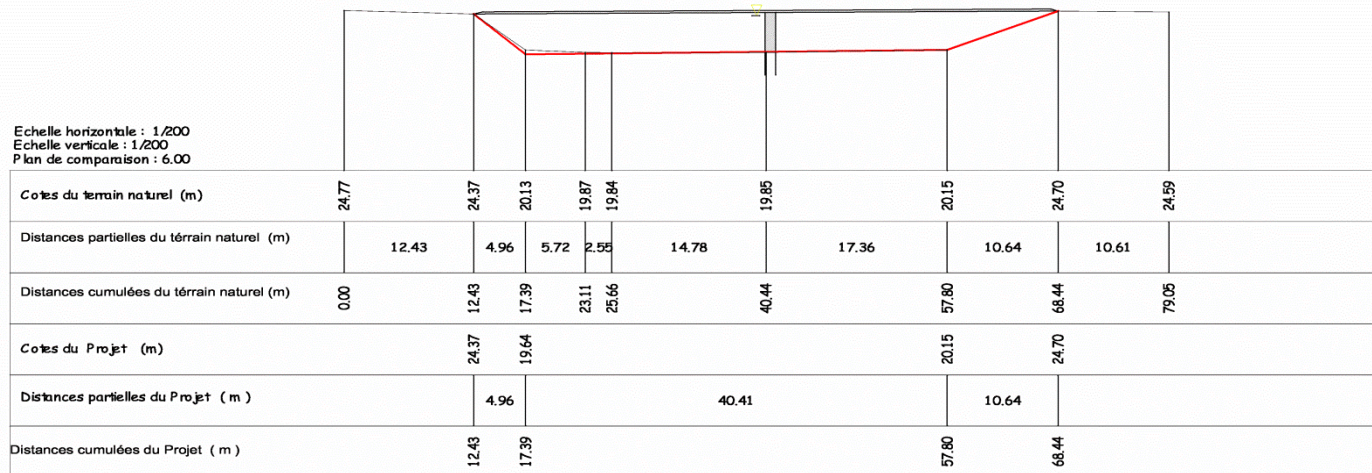


Figure VII.3: profil en travers du pont de la voie ferrée

### c. Tronçon 3

Ce tronçon compris entre pont Hamiz et le pont de la RN24 a déjà fait l'objet d'un aménagement dans les années 1970 avec une correction du tracé en plan ; une mise en place de digues latérales ; et une stabilisation du profil en long par des seuils en béton.

Le site des bidonvilles existant sur ce tronçon est très important.

La première mesure consiste à démolir pour dégager le lit et nettoyer les berges.

Recalibrage du lit mineur et majeur, la création d'un double trapèze sur tout le tronçon, vu la disponibilité de l'espace.

On ne peut pas réaliser le même calibrage sur tout ce tronçon, on partage en trois zones

- Zone 1 : habitation sur les deux rive sur une distance de 663.07m, et d'une pente de 0.0011 m/m.

Le dimensionnement de ce profil est défini par la formule de Manning Strickler (formule VII-3), dont le résultat est le suivant : le profil en travers (figure VII.14) avec un coefficient de frottement 35 (tableau VII-1)

Avec des pentes de digues de 1:1 (V:H), un lit mineur d'une largeur de fond de 20 m et des lits majeurs de 60 m. Le lit mineur a une hauteur de 5 m et le lit majeur une hauteur de 4m.

Dans cette première zone, il est impératif de surélever les digues avec une protection en empierrement pour garantir la sécurité des habitants en cas de crue extrême.

Dans le lit mineur, on remplit le vide avec du gabionnage.

- Zone 2 : terrain agricole sur les deux rives sur une distance de 2610 m avec une pente de 0.0021

Le dimensionnement de ce profil est défini par la formule de Manning Strickler (formule VII-3), dont le résultat est le suivant : le profil en travers (figure VII.15) avec un coefficient de frottement 35 (tableau VII-1).

Avec des pentes de digues de 1:2 (V:H), un lit mineur d'une largeur de fond de 15 m et des lits majeurs de 68 m, est prévu. Le lit mineur a une hauteur de 3 m.

Pour le bon maintien des talus, nous avons choisi la méthode tapis de végétation, c'est une couche de végétation qui sera planté sur le talus pour réaliser un revêtement sur l'ensemble des talus,

C'est un ouvrage facile à réaliser et économique, aucun effet nuisible sur l'environnement avec la possibilité de choisir la végétation adéquate.

- Zone 3 : habitations sur les deux rive sur une distance 2000 m avec une pente de 0.0014



Le dimensionnement de ce profil est défini par la formule de Manning Strickler (formule VII-3), dont le résultat est le suivant : le profil en travers (figure VII.16) avec un coefficient de frottement 35 (tableau VII-1)

Avec des pentes de digues de 1:2 (V:H), un lit mineur d'une largeur de fond de 15 m et des lits majeurs de 60 m. Le lit mineur a une hauteur de 4.30 m et lit majeur d'une hauteur 3.5m.

Une mise à niveau et un renforcement des digues est obligatoire.

Le pont d'El Hamiz, radier en béton sous le pont. On gardera le même profil en travers juste en éliminant les déchets.

La protection aval du radier avec une rampe de blocs à grande rugosité (figure VII.6.d) pour éviter l'affouillement.

### Profil en travers tronçon 3 / 1

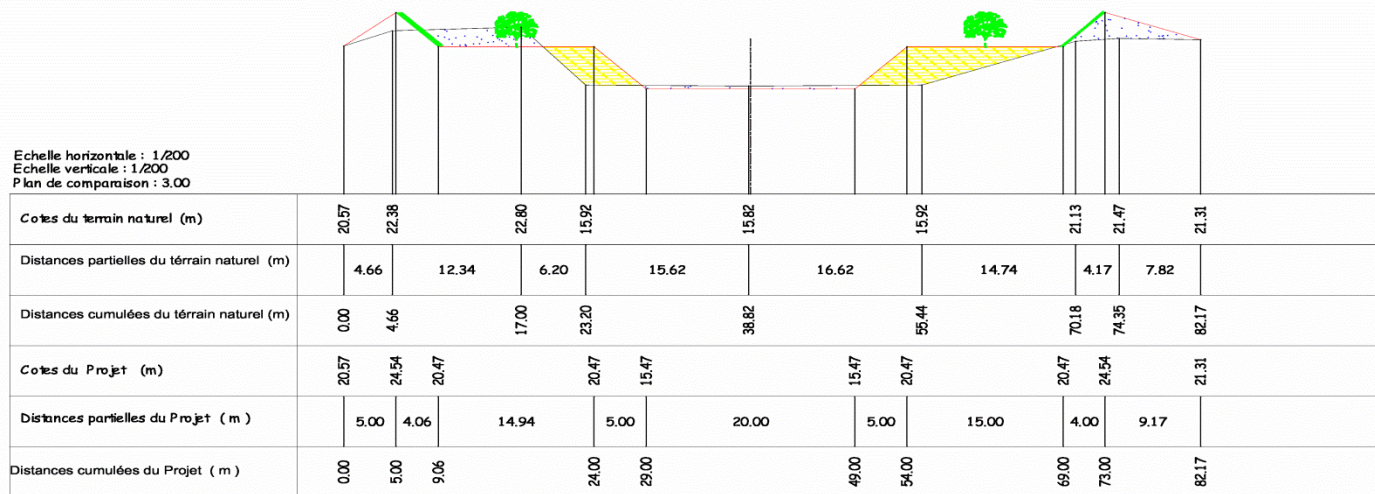


Figure VII.1: profil en travers du tronçon 3 zone 1

### Profil en travers tronçon 3 / 2



Figure VII.2: profil en travers du tronçon 3 zone 2



### Profil en travers tronçon 3 /3

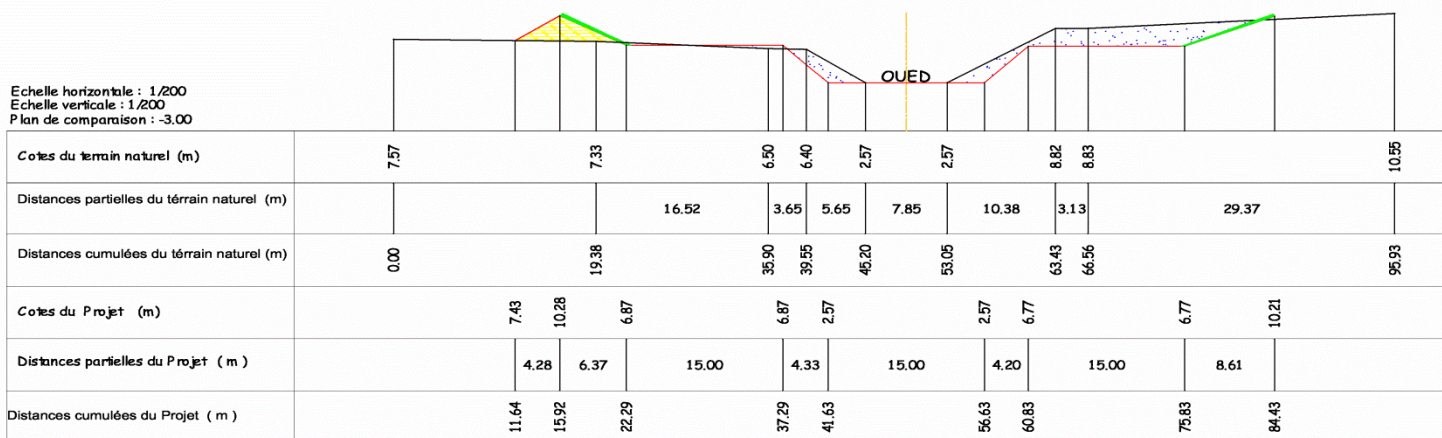


Figure VII.3: profil en travers du tronçon 3 zone 3

### Profil en travers pont hamiz

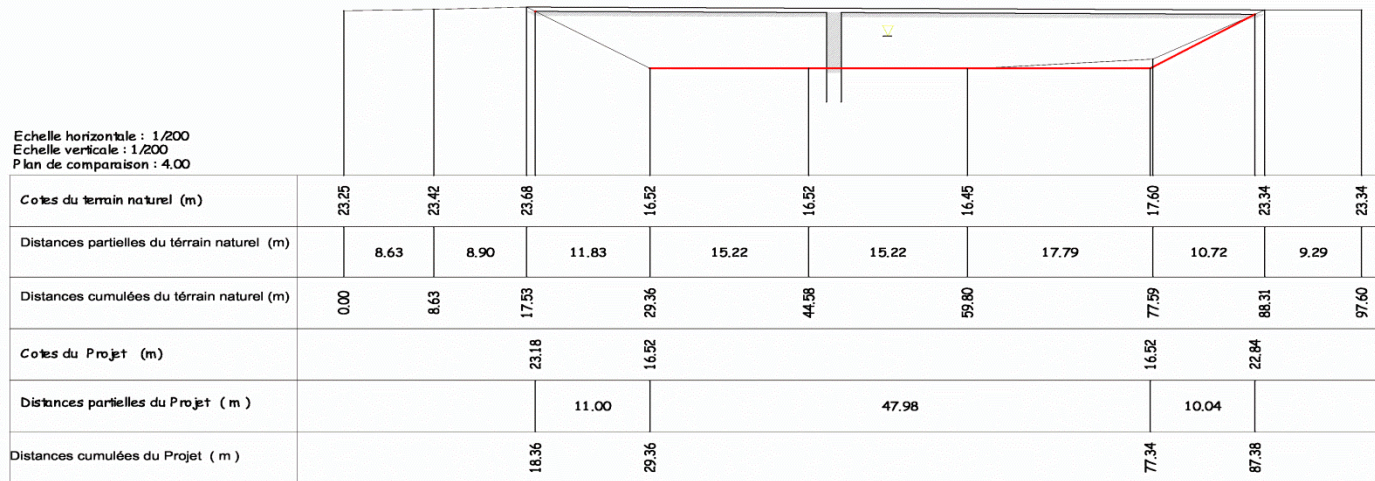


Figure VII.4: profil en travers du pont d'El Hamiz

#### d. Tronçon 4

Ce tronçon compris entre le pont de la RN24 et la mer méditerranée se caractérise par des constructions en dur très proche des berges et qui gênent l'aménagement du cours d'eau.

Recalibrage de la section se fera par l'élargissement général de la section hydraulique ; par la mise en place de murs de soutènement aux sections réduites ; et par la création de digues.

Le recalibrage consiste à la création d'un trapèze en béton à cause du manque d'espace et de hauteur.

Le dimensionnement de ce profil est déterminé par la formule de Manning Strickler (formule VII-3) dont le résultat est le suivant : profil en travers (figure VII.18) avec une pente  $I = 0.0017$  m/m et un coefficient de frottement 70 (tableau VII.1).

Finalement, il en résulte un profil généralement constitué par un trapèze avec une largeur de 26m et les pentes des berges de 1:1 (V:H) avec une hauteur de 5m.

La mise en place de murs de soutènement est localisée là où l'espace pour un élargissement n'est pas disponible.

Sous le pont de la R24, à l'état actuel, il est impossible de faire passer une crue centennale. La création d'une rampe en béton très lisse sous le pont est nécessaire.

Le dimensionnement de ce profil du tronçon 4 est déterminé par la formule de Manning Strickler (formule VII.3) dont le résultat est le suivant : (figure VII.19).

La jonction entre le tronçon 3 et le tronçon 4 se fait avec un convergent qui doit être dimensionné (Voir le dimensionnement dans le mémoire master)



### Profil en travers tronçon 4

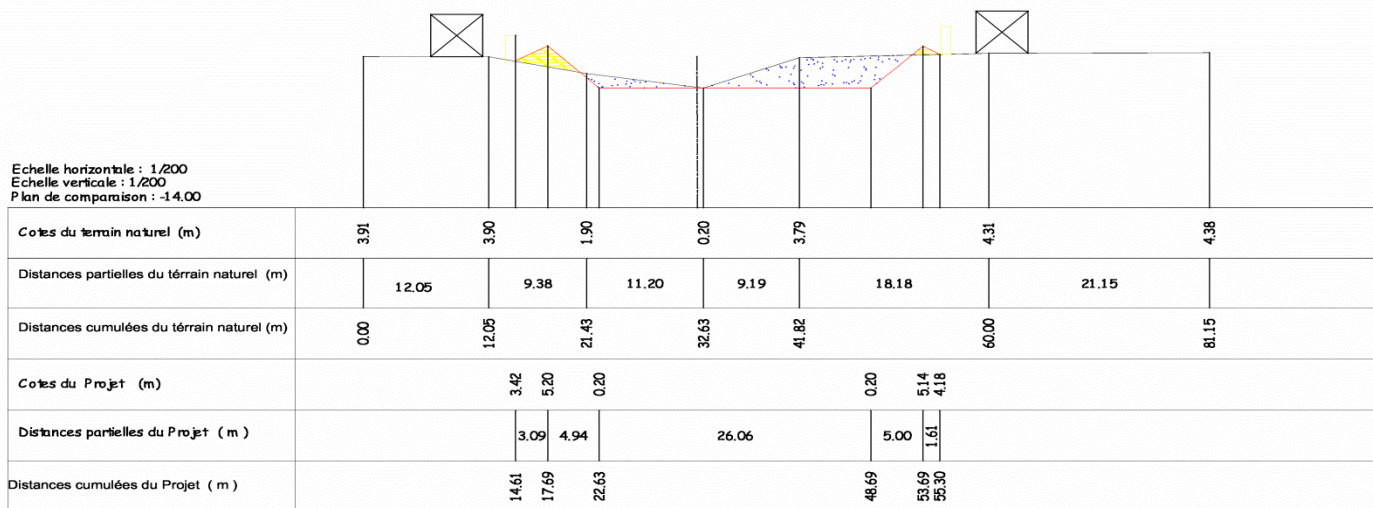


Figure VII.1: Coupe du profil en travers du tronçon 4



### Profil en travers R24

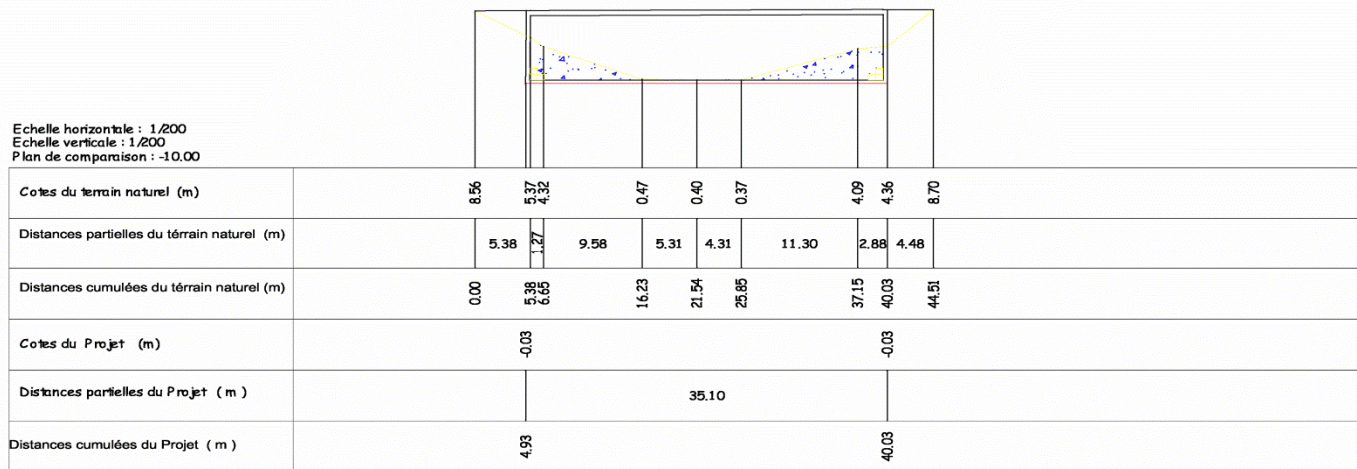


Figure VII.2: profil en travers du pont de l'auto route

#### **VII.4 Vérification de l'aménagement avec Rubar20**

Nous avons suivi les mêmes étapes que dans les chapitres (V et VI) pour la réalisation du maillage et de la simulation.

D'abord on détermine les nouvelles côtes du terrain à cause du reprofilage apporté.

Après la réalisation du maillage et lancement de la simulation, nous trouvons les résultats suivants :

- Aucun débordement n'est observé sur les trois premiers tronçons du cours d'eau sauf dans le tronçon numéro quatre, en rajoute une revanche de 50 cm sur les digues pour éviter les débordements.
- On constate qu'un renforcement supplémentaire des berges au niveau des méandres sont obligatoire sur tout le long du cours d'eau avec des empierrements ou gabions, pour la force tractrice n'érode pas les berges.

#### **VII.5 Aspects économique**

L'aspect économique du projet peut être évalué en comparant les bénéfices par rapport aux coûts induits par sa construction et sa maintenance. Dans le cas des ouvrages en rivière, l'échelle peut être un facteur déterminant. Les ouvrages de protection des berges à petite échelle construits sur un cours d'eau urbain peuvent être très économique notamment si une longueur de revêtement réduite au niveau d'une courbe protège une chaussée urbaine ou un réseau d'assainissement de l'affouillement lié à l'érosion. Lorsqu'ils sont construits sur de grosses rivières, les ouvrages de ce type sont généralement coûteux, car leur construction nécessite de grandes quantités de matériaux et des engins spéciaux. Toutefois, la construction peut se justifier si l'ouvrage assure la protection d'une infrastructure de grande envergure.

Les facteurs suivants ont un impact direct sur la faisabilité d'une solution technique donnée, donc sur le coût de l'ouvrage :

- Profondeur et largeur du chenal.
- Hauteur de la berge.
- Longueur et/ou profondeur de la protection du lit.
- Vitesse d'écoulement.

En outre, le poids économique d'un projet de protection anti-érosion en enrochement à un endroit donné dépend en premier lieu de la présence ou de l'absence au niveau local, d'une source d'enrochement adaptée. En effet le transport de ce matériau est coûteux, et le poids économique du projet n'est pas le même si la source de roche adaptée est proche ou éloignée. Dans ce dernier cas, il peut être plus économique d'opter pour une solution alternative à l'enrochement libre, tel qu'un revêtement en enrochements liés au bitume, en gabions ou en blocs de béton.

**Conclusion**

Suite à notre réhabilitation de l'oued El Hamiz, nous avons rencontré un rétrécissement entre la jonction du tronçon 3 et le tronçon 4, qui demande le dimensionnement d'un convergent.

Ce dernier va être dimensionné dans le mémoire de Master.

## Conclusion Générale

---

L'aménagement d'un cours d'eau, ou plus exactement dans notre cas la réhabilitation de l'oued El Hamiz, n'est pas une question technique, c'est d'abord une question politique qui mêle tous les aspects de la vie en société. Cela touche les problèmes industriels, l'emploi, et la production, tous ces problèmes peuvent être la cause d'un phénomène qui est plus dangereux d'année après année. Car ils entraînent de lourdes conséquences sur le plan économique et sur le plan humain. C'est pour ces raisons que les spécialistes dans ce domaine sont toujours à la recherche de méthodes de plus en plus fiable pour la protection contre les inondations.

Mais les aménagements adoptés ne suffisent pas. Celle-ci doit s'appuyer essentiellement sur la contribution du citoyen à la préservation et où respect de la nature.

Mais avant toute action d'aménagement, il est indispensable de connaître l'environnement humain, et état des lieux. C'est dans ce contexte que l'on a fait des sorties sur terrain qui ont duré plusieurs jours.

L'objectif principal de ce mémoire est de proposer un système de réhabilitation durable de l'oued El Hamiz. La démarche qui a été adoptée afin de dresser un plan adéquat est le suivant:

En premier, nous avons récolté les données (plan topographique, pluviométrie,...) concernant la zone d'étude, afin de déterminer les crues, qui peuvent être générées dans ce bassin versant.

En deuxième lieu, nous avons essayé de déceler les paramètres de dysfonctionnement du cours d'eau en déterminant les zones inondables via le programme Rubar20. L'aboutissement aux résultats a nécessité beaucoup d'investigations et un long travail, du fait que la grande surface du domaine physique a requis un temps de calcul prohibitif pour chaque simulation.

En dernier, nous avons réalisé de la mise en œuvre d'un plan d'aménagement qui doit nécessairement intégrer la satisfaction des besoins traditionnels des populations, la préservation, la restauration ainsi que l'amélioration de la vie aquatique et l'aménagement des forêts sur le long du cours d'eau.

- [1] Abèle, J. ; Degardin, F., (2001). " Dynamique fluviale et travaux en rivière, Tome II ". Ecole inter-états d'ingénieurs de l'équipement rural, 128 pages.
- [2] Ali Azouaou, F., (2009). " Simulation de la crue d'octobre 2008 dans la commune Ghardaïa via le code de calcul Rubar20 ". Mémoire de projet de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique-Alger, 78pages.
- [3] Berkani, M., (2012). " Cours Hydraulique à surface libre ". Polycopie de cours Ecole national polytechnique d'Alger.
- [4] Bouach, A., (2011). "Simulation numérique du transport solide par charriage via le code rubar20TS" .Mémoire de Magister, ENP d'Alger;132 pages.
- [5] Boyer, M., (1998). "Guide technique n° 1 bassin Rhône méditerranée corse fascicule 2 : définition des objectifs et conception d'un plan d'entretien la gestion des boisements de rivières". SDAGE rhone méditerranée corse, 52 pages.
- [6] Cazalais, S., (2008). "Diagnostic et solutions de problèmes d'érosion des berges de cours d'eau". AAC-Services de création pour publications scientifique ,13 pages.
- [7] Cesare, G., Pfister, M. ; Schleiss, A., (2012). "Ouvrages et aménagements. Hydraulique tomeI" FL
- [8] CIRIA ; CUR ; CETMEF., (2009). "Guide Enrochement. L'utilisation des enrochements pour les ouvrages hydrauliques. Version française du Rock Manual " CETMEF, Compiègne, 1099 pages.
- [9] Degoutte, G., (2006). Diagnostic, "aménagement et gestion des rivières- hydraulique et morphologie fluviales appliquées". Tec & doc -Lavoisier, 394 pages.
- [10] Groupe hydraulique fluviale, (2001). " Hydraulique des cours d'eau : la théorie et sa mise en pratique". Département voies navigables et Eau Groupe d'Hydraulique et Fluviale, 62 pages.
- [11] Ladreyt, S., (2005). "Notice sur les déversoirs : Synthèse des lois d'écoulement au droit des seuils et déversoirs "Centre d'étude techniques maritimes et fluviales, 89 pages.
- [12] Touaïba, B., (2004). "Manuel pratique d'hydrologie". Editeur Les presses Madani Frères Guerrouaou, Blida, 166 pages.



## Annexe

---



**Photo 1 :** rejet d'eaux usées directement dans le cours d'eau



**Photo 2 :** Eboulement de la berge par sapement des pieds de talus érosion de berges



**Photo 3 :** aval de ce tronçon est aménagé



**Photo 4 :** présence de déchets solides



## Annexe

---



**Photo 5 :** des embâcles qui s'accumulent sur les piles de pont et au plein milieu du cours d'eau



**Photo 6 :** Pont ferroviaire sur l'oued dont les piles sont sur radier, qui a pour rôle de seuil



**Photo 7 :** protection des berges de la rive droite par gabionnage



**Photo 8 :** berges soumises à érosion, l'enracinement des arbres au bon maintien des berges par leurs racines qui fixent le sol.



## Annexe

---



**Photo 9 :** vue aval du pont d'El Hamiz



**Photo 10 :** dépôt de sédiments



**Photo 11 :** baraquement dans lit de l'oued



**Photo 12 :** Seuil épais



**Photo 13:** berge déstabilisée par les aménagements anthropiques et régression de fond



**Photo 14 :** décharge dans le lit de l'oued



## Annexe

---



**Photo 15** : présence de déchet de tout genre



**Photo 16** : construction de bâtisse à la limite de la berge



**Photo 17** : embouchure de l'oued El Hamiz



**Photo 18** : décharge dans l'embouchure de l'oued