



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

**Ecole Nationale Polytechnique
Laboratoire en 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

Melle **MOKEDDEM Hadjer**

Thème :

Etude d'aménagement de l'oued Réghaia

Sujet propose par : Direction des Ressources en Eau Alger

Dirigé par : Dr S. BENMAMAR

Promotion 2014

ENP, 10 Avenue Hassan Badi, BP.186 EL HARRACH, ALGER

Dédicace

À ma chère maman qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau. Ni sacrifices, ni privations ne l'ont empêché d'accomplir son devoir de mère soucieuse de l'avenir de ses enfants.

À mon cher papa qui a su se montrer patient, compréhensif et encourageant, sa chaleur paternelle a été et sera toujours pour moi d'un grand réconfort.

À mes très chères sœur Djazia , Hanifa et Chanez

À mon très cher frère Walid

À mes cousines Ilhem , Wissem ,Nesrine, Imene,...

À mes meilleures amies Amina , Mona et Wissem qui m'ont toujours soutenues lors des moments les plus difficiles.

À mes amis Amine, Zohir et Fares pour les moments que nous avons partagés.

À Ammi Salah qui m'a beaucoup aidé et encouragé.

À la promotion d'Ecole préparatoire d'Alger 2011 et Hydraulique 2014 à qui je rends hommage pour la formidable ambiance qui a régné durant ces 5 merveilleuses années.

Remerciements

Tout d'abord je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donnée la chance et le courage pour réaliser ce travail.

Je tiens à adresser en premier lieu mes remerciements à ma promotrice Melle. BENMAMAR qui n'a pas hésité à m'encadrer et me suivre dans ce projet, et qui m'a accordé de son temps, de son savoir et de ses conseils.

A celui qui n'a jamais hésité le moindre instant à se tenir à mes côtés afin de me soutenir, m'aider et m'encourager BAZA Amine.

J'exprime mes vifs remerciements aux membres de Jury qui le feront l'honneur d'examiner ce mémoire de fin d'étude.

Merci à toutes les personnes qu'ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet, que ce soit par leur amitié, leurs conseils ou leur soutien moral.

Résumé

Le but de ce travail est de protéger les zones urbanisées le long de l'oued Réghaia contre les inondations. Il est question de faire un choix sur les différents aménagements à mettre en place afin d'augmenter la capacité hydraulique du cours d'eau considéré.

Nous avons d'abord estimé le débit de projet. Ensuite, nous avons dressé un diagnostic du cours d'eau et puis nous avons fait une simulation de la crue centennale pour localiser les zones inondables, Enfin nous avons proposé des aménagements.

Pour atteindre notre objectif, des outils étaient nécessaires pour la réalisation de ce travail notamment le code de calcul numérique Rubar20 et le logiciel de dessin AUTOCAD.

Mots clés : Oued Réghaia, inondation, simulation, aménagement, RUBAR20, AUTOCAD.

المخلص

ينظم عملنا هذا تحت إطار هو لحماية المناطق الواقعة على طول وادي رغاية ضد الفيضانات. وهذا يستوجب علينا اختيار التهيئة الملائمة لزيادة قدرة هيدروليكية للمجرى المائي المعني.

قمنا في بادئ الامر بتقدير تدفق المشروع الأول؛ ثم قدمنا محاكاة الطوفان مائة عام لتحديد المناطق المعرضة للفيضان. لتحقيق هدفنا هذا وإنجاز هذا العمل من الضروري توفير بعض الوسائل بما في ذلك برنامج Rubard20 و AutoCAD

كلمة مفتاحية: وادي رغاية، فيضانات، محاكاة Rubard20, AutoCAD.

Abstract

The goal of this work is to protect areas along the river Réghaia against flooding. It is a question of making a choice about various installations that can be set up increase the hydraulic capacity of the river considers.

We initially estimated the project flow; then we drew up a diagnostic of river and we made a simulation of the hundred-year flood to locate floodplain.

To achieve our goal, tools were necessary for the realization of this work, in particular code Rubard20 numerical calculation and drawing software AUTOCAD.

Key words: Oued Réghaia, flooding, simulation, RUBAR20, AUTOCAD

Table des matières

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude : Bassin versant de l'oued Réghaia	2
I.1 Situation géographique.....	2
I.2 Contexte morphologique	3
I.3 Contexte géologique.....	4
I.4. Occupation des sols	4
I.5 conclusion.....	6
Chapitre II : Synthèse hydrologique du B.V de l'oued Réghaia	7
II.1 Les caractéristiques d'un bassin versant.....	7
II.1.1. Caractéristiques de forme	7
II.1.2. Temps de concentration :	9
II.1.4. Caractéristique physique des sous bassins versants d'oued Reghaia	11
II.2 Caractéristique du climat	12
II.2.1. La pluviométrie	12
II.2.2 Les températures	12
II.2.3. Evapotranspiration potentielle.....	13
II.3 Etude de la série de pluie de station de Réghaia	13
II.4 Débit de crue	16
II.5 Hydrogramme de crue.....	18
II.7 Conclusion	19
Chapitre III : Diagnostic théorique d'un cours d'eau.....	19
III.1. Démarche globale du diagnostic d'un cours d'eau.....	20
III.1.1. L'observation	20
III.1.2. Les mesures.....	20
III.1.3. Les enquêtes.....	20
III.2. Définitions fondamentales	21
III.2.1. Cours d'eau -vue transversale	21
III.2.2 Cours d'eau - vue longitudinale	22
III.3. Les problèmes rencontrés dans les rivières	24
III.3.1. Problème d'instabilité du lit ou des berges.....	24
III.3.2. Problème d'atterrissement du lit (envasement, ensablement)	27
III.3.3. Les impacts des ouvrages sur le fonctionnement et les usages du cours du d'eau	28
III.3.4. Problème de nuisances olfactives (qualité de l'eau, eutrophisation))	29
III.4 Conclusion	30
Chapitre IV : Diagnostic de l'oued Réghaia	30

Table des matières

VI.1 Description du premier tronçon : oued Guesbin	31
IV.1.1 Tracé en long	31
IV.1.2 Encombrement du lit et ouvrages	31
IV.1.3 Etat des berges	34
IV.1.4 Qualité d'eau.....	35
IV.1.5 Occupation du sol	35
IV.2 Etat du deuxième tronçon: Oued Réghaia.....	35
IV.2.1. Tracé en long	35
IV.2.2. Encombrement du lit et ouvrages	36
IV.2.3.Etat des berges	38
IV.2.4.Qualité d'eau.....	38
IV.2.5. Occupation du sol	38
IV.3.Causes de sédimentation et envasement du lit	39
IV.4. Causes d'érosion des berges.....	39
IV.5. Synthèse.....	39
IV.6. Objectifs et enjeux.....	39
Chapitre V : Application du modèle numérique Rubar 20 à Oued Réghaia.....	40
V.1 Construction du maillage du calcul	41
V.2 Bathymétrie et coefficient de frottement	45
V.2.1 Bathymétrie.....	45
V.2.2 Coefficient de frottement au fond	45
V.3. Conclusion	48
Chapitre VI : Simulation de la crue centennale de l'oued Réghaia	48
VI.1 Méthodologie de la simulation de la crue centennale	48
VI.1.1.Les conditions aux limites	49
VI.1.2 Les conditions initiales	50
VI.1.3 Paramètres de calculs.....	51
VI.1.4 Représentations des bâtis et des ouvrages	52
VI.2 Résultats de calcul	53
VI.2.1.Résultats sur les hauteurs d'eau	53
VI.2.3.Interprétions des résultats	54
VI.3 Conclusions	55
Chapitre VII : Aménagement de l'oued Réghaia.....	56
VII.1 Divers types d'aménagement	56
VII.1.1 Calibrage	56
VII.1.2 Construction des digues fluviales.....	56

Table des matières

VII.1.3 Nettoyage du lit ordinaire.....	55
VII.1.3 Protection des berges.....	56
VII.2 Dimensionnement et la conception des ouvrages d'aménagements.....	59
VII.2.1 Dimensionnement des enrochements pour la protection des berges.....	59
VII.2.2 Dimensionnement des gabions pour la protection des berges.....	60
VII.2.3 Dimensionnement des canaux de calibrage.....	60
VII.2.4 Dimensionnement les l'ouvrage de franchissement.....	62
VII.3 Principes de base d'aménagement.....	67
VII.4 Les aménagements envisageables.....	67
VII.4.1.Recalibrage d'oued Réghaia.....	68
VII.4.2 Ouvrage de franchissement	71
VII.5 Conclusion.....	74
Conclusion générale	78
Bibliographie	

Liste des figures

Figure I.1: carte des zones d'étude.....	1
Figure I.2 : carte d'état majeur de BV de Réghaia.....	3
Figure II.1: ajustement de la loi de Gumbel a la série de pluie de poste Réghaia.....	15
Figure II.2 : ajustement de la loi de Galton a la série de pluie de poste Réghaia	15
Figure II.3: hydrogramme de crues d'Oued Réghaia.....	18
Figure III.1 : coupe transversale d'un cours d'eau.....	20
Figure III.2 : représentation de termes géographiques usuels.....	21
Figure III.3 : concept de corridor d'un cours d'eau.....	22
Figure III.4: profil longitudinal d'un cours d'eau.....	22
Figure III.5: courants hélicoïdaux dans un coude.....	24
Figure III.6 : enfoncement du lit par érosion régressive ou progressive.....	25
Figure III.7 : sensibilité d'un talus au glissement.....	26
Figure IV.1: cheminement d'oued Réghaia.....	30
Figure V.1: photo aérienne de la ville de Réghaia	40
Figure V.2: illustration du calage de la photo de la ville à l'aide du Fudaa Moduleur.....	41
Figure V.3: implantation des profils en travers et lignes directrices du maillage.....	42
Figure V.4: lecture du fichier rrooo.st par SECMA.....	42
Figure V.5 : création des 3 fichiers MCOXIMA.....	43
Figure V.6 : création du rrooo.mai par Mail20.....	43
Figure V.7: création du rrooo.dat par VF2M.....	43
Figure V.8 : maillage de la zone d'étude	44
Figure V.9 : bathymétrie de la zone d'étude.....	45
Figure VI.1: hydrogramme de crue à l'entrée de la zone d'étude.....	49
Figure VI.2 : hydrogramme des cotes d'eau à l'entrée de la zone d'étude.....	49
Figure VI.3 : édition des conditions initiale.....	50
Figure VI.4 : Hauteur d'eau pour $t = 21600.3s$	52
Figure VI.5 : les zones inondables	54
Figure VII.1 : éléments constitutifs d'un revêtement en enrochement classique	57

Liste des figures

Figure VII.2 : éléments constitutifs d'un revêtement en gabion.....	58
Figure VII. 3 : schéma des épis	58
Figure VII.4: exemple de profil l en long du cours d'eau au droit du franchissement.....	63
Figure VII.5 : profil en travers du cours d'eau au droit -du franchissement.....	63
Figure VII.6: profil en travers représentatif du cours d'eau assimilé à un trapèze.....	63
Figure VII.9: cas du régime fluvial à l'aval de l'ouvrage.....	65
Figure VII.10: cas du régime torrentiel à l'aval de l'ouvrage.....	65
Figure VII.11: profil en travers de tronçon n°1.....	71
Figure VII.12: profil en travers du tronçon n°2.....	71
Figure VII.13: profil en travers du tronçon n°3.....	72
Figure VII.14: profil en travers tronçon n°4.....	72
Figure VII.15 : ouvrage de franchissement du pont autoroute	72
Figure VII .16: ouvrage de franchissement du pont de marché	73

Liste des tableaux

Tableau I-1 : occupation des sols.....	5
Tableau II-1 : caractéristiques de forme du bassin versant d'Oued Réghaia.....	8
Tableau II-2 : temps de concentration de B.V.....	10
Tableau II-3 : caractéristiques des sous B.V d'oued Réghaia.....	11
Tableau II-4 : moyennes mensuelles des précipitations de la station Réghaia	11
Tableau II-5 : les moyennes mensuelles des températures pour la période 1986-2010.....	12
Tableau II-6 : répartition mensuelle de l'évapotranspiration potentielle.....	12
Tableau II-7 : les paramètres de la série de pluie.....	12
Tableau II-8 : quantiles de P_{jmax} la station de Réghaia.....	14
Tableau II-9 : débit de pointe	17
Tableau VII-1 : détermination rapide de granulométrie des matériaux de remplissage et de l'épaisseur de revêtement en fonction de la vitesse d'écoulement.....	60
Tableau VII-2 : coefficient de Strickler pour divers types de canaux.....	61
Tableau VII-2 : pente des parois latérales de canaux trapézoïdaux creusés dans divers types de sol.....	62
Tableau VII-4 : coefficient d'entonnement.....	66
Tableau VII-5 : les dimensions du canal de tronçon 1.....	68
Tableau VII-6 : les dimensions du canal de tronçon 2.....	69
Tableau VII-7 : les dimensions du canal de tronçon 3.....	69
Tableau VII-8 : les dimensions du canal de tronçon 4.....	70
Tableau VII-5 : les dimensions de l'ouvrage de pont d'autoroute.....	71
Tableau VII-6 : les dimensions de l'ouvrage de pont de marché.....	71

Liste des photos

Photo 1 : point de départ de du tronçon étudié	31
Photo 2 : situation sous le pont de l'autoroute	31
Photo 3 : pont d'Aissat Mustapha	32
Photo 4 : aval du pont d'Aissat Mustapha.....	32
Photo 5 : passage à gué.....	32
Photo 6 : pont du marché	33
Photo 7 : les berges de l'oued à aval du pont Aissaat Mustapha.....	33
Photo 8 : les berges de l'oued en amont du pont de CW122.....	34
Photo 9 : Inondation du lotissement GTP.....	34
Photo 10 : pont RN5 au centre-ville de Réghaia.....	35
Photo 11 : passage à Gué.....	36
Photo 12 : pont de la RN24.....	36
Photo 13 : lac de Réghaia.....	37
Photo 14 : érosion et dépôt du sédiment.....	38

Notation

A	(Km ²)	:	Surface du bassin versant
B	(m)	:	Largeur de lit
C _r	-	:	Coefficient de ruissellement
C _v	-	:	Coefficient de variation
D ₅₀	(m)	:	Diamètre moyen des blocs
ETP	(mm)	:	Evapotranspiration potentielle
g	(m/s ²)	:	Accélération de la pesanteur
h _c	(m)	:	Hauteur d'eau critique
h _n	(m)	:	Hauteur d'eau normale
H	(m)	:	Hauteur totale de pluie
H _{Max}	(m)	:	Altitude maximal du bassin versant
H _{Min}	(m)	:	Altitude minimale du bassin versant
H _{moy}	(m)	:	Altitude moyenne du bassin versant
H _T	(m)	:	Lame d'eau précipitée
I	(m/m)	:	Pente moyenne du bassin versant
i	(m/m)	:	Pente du radier
k	-	:	Coefficient variant avec la pente du bassin
K _e	-	:	Coefficient d'entonnement
K _G	-	:	Coefficient de Gravelius
K _s	(L ^{1/3} T ⁻¹)	:	Coefficient de Strickler
L	(Km)	:	Longueur de l'oued
L _{va}	(m)	:	Longueur de la ligne de vallée.
L _{th}	(m)	:	Longueur de la ligne de thalweg
P	(m)	:	Périmètre mouillé
P _{J_{max,F}}	(mm)	:	Pluie journalière maximale pour une fréquence donnée
Q	(m ³ /s)	:	Débit
R	(m)	:	Rayon hydraulique
S	m ²	:	Section mouillée
Sin	-	:	Coefficient de sinuosité
T	(ans)	:	Période de retour
T _c	(h)	:	Temps de concentration
t _m	(h)	:	Temps de montée de la crue
u	-	:	Variable réduit
U	(m/s)	:	Vitesse au voisinage du revêtement
V	(m/s)	:	Vitesse moyenne
y _c	(m)	:	Hauteur d'eau critique à l'ouvrage
y _e	(m)	:	Hauteur d'eau à l'entré de l'ouvrage
y _n	(m)	:	Hauteur d'eau normale à l'ouvrage

Notation

α	(°)	: Angle du talus
β	-	: Coefficient correcteur de la vitesse moyenne en courbe
ϕ	(°)	: Angle de frottement
λ	-	: Coefficient de Laine
ρ	(m)	: Rayon de courbure
μ	(mm)	: Moyenne de la variable étudiée
σ^2	(mm)	: Variance de la variable étudiée
γ	-	: Coefficient qui est fonction de la taille du bassin versant
γ_e	(t/m ³)	: Masse volumique de l'eau
γ_s	(t/m ³)	: Masse volumique des blocs

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

AEP : Alimentation en eau potable

BV : Bassin versant

DREW : Directions des Ressources en Eau de Wilaya

GTP : Grand Travaux Pétrolier

RN : Route nationale

Introduction générale

En Algérie, les inondations sont devenues de plus en plus complexes à gérer. En effet, la construction de nombreux ouvrages et aménagements, de même que l'installation de résidences permanentes sur les rives des cours d'eau, ont eu pour conséquence d'augmenter, ou du moins modifier, le risque face aux crues exceptionnelles. De plus, l'absence ou la mauvaise transmission vers les intervenants des connaissances sur l'hydrologie fluviale a eu pour conséquence le manque ou l'absence de règlements régissant la construction dans les zones inondables. Ceci a permis à de nombreux citoyens de s'installer en permanence sur les plaines inondables et d'obtenir des droits acquis face aux lois et règlements subséquents.

L'oued Réghaia est un cours d'eau côtier qui se situe dans la Wilaya d'Alger, à l'ouest de l'oued El Harrach. Il est régulièrement soumis à des inondations.

Le diagnostic du site nous a montré que le lit de l'oued et les ouvrages de protection mis en place sont insuffisants et incapables d'évacuer les débits portés par chaque crue.

Ce travail a donc pour objectif de protéger les zones habitées le long de l'Oued Réghaia contre les inondations. L'atteinte de cet objectif passe par différents aménagements (reprise d'ouvrages, curage, recalibrage, endiguement...)

Pour aboutir aux objectifs visés, la démarche suivante a été adoptée :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude : le bassin versant d'oued Réghaia
- Dans le deuxième chapitre est présentée une synthèse hydrologique sur le bassin versant de l'oued Réghaia. Cette synthèse est basée sur les données pluviométrique mise à notre disposition par l'ANRH. Nous avons donc dans cette partie évalué le débit de projet.
- Le troisième chapitre est consacré au diagnostic théorique des cours d'eau
- Dans le quatrième chapitre, est présenté le diagnostic d'oued Réghaia avant aménagement.
- Le cinquième chapitre est réservé à l'application du modèle numérique Rubar 20 à l'oued Réghaia, la construction le modèle du calcul basé sur un maillage du domaine physique d'étude, ainsi qu'une définition des coefficients de frottements sur toutes les mailles.
- Dans le sixième chapitre, sont définis les paramètres de la simulation, ainsi que l'introduction des conditions initiales et les conditions aux limites. Après la simulation, sont visualisés les résultats.
- Les conceptions et les aménagements, qui concernent l'ensemble des interventions sur le lit, les berges, la ripisylve et les annexes fluviales sont présentés dans le septième chapitre.
- Une conclusion générale est présentée à la fin de ce travail.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude : Bassin versant de l'oued Réghaia

Pour la présentation de la zone d'étude nous nous intéressons aux caractéristiques du bassin versant d'oued Réghaia, particulièrement sa situation géographique et les contextes morphologique et géologique.

I.1 Situation géographique

Le bassin versant de l'Oued Réghaia se situe sur la Wilaya d'Alger, il occupe une superficie de 81,5 km² pour un périmètre de 38,5 km. Il prend naissance sur les hauteurs d'Ouled Ghalia, d'Ouled el Arbi et du domaine des Frères Guettach, et se jette dans le Lac Réghaia. Ce bassin versant est découpé en quatre parties qui correspondent aux zones suivantes :

- Branche amont Ouest (Oued Guesbain , Oued Boukerrouch) ;
- Branche Réghaia (Oued Reghaia amont, Oued Reghaia aval);
- Affluent aval (Oued Djafri, Oued El Bey, Oued Baradia);
- Amont Est (Oueds Mekhfi - Berrabeh , Oued Kerrouche , Oued Djaken).

La carte suivante illustre ce découpage :

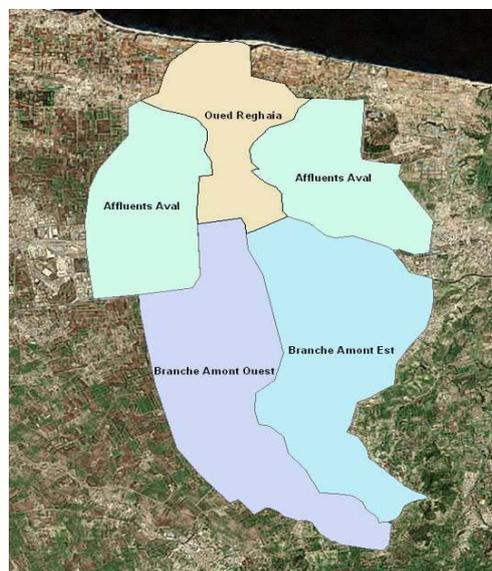


Figure I.1: carte des zones d'étude

Les limites géographiques de ce bassin sont :

- Au Nord par la mer méditerranéenne ;
- A l'Ouest par le bassin d'oued EL Hamiz ;
- A l'Est par le bassin d'oued Boudouaou.



Figure I.2 : carte d'état major du BV de Réghaia

I.2 Contexte morphologique

La région d'Alger dans laquelle s'inscrit la zone d'étude se subdivise en cinq grands ensembles géographiques :

- Le massif de Bouzareah ; orienté Est-Ouest avec une topographie très accidentée.
- Le sahel d'Alger qui englobe tous les reliefs entre le massif de Bouzareah au Nord et la rive gauche de l'oued El Harrach et la rive droite Mazafran. Il est représenté par le Sahel Marneux, le plateau Molassique et le piémont Sud du Sahel.
- La plaine littorale qui se trouve entre 2 et 15 mètres ;
- Le cordon dunaire qui forme une petite barrière sablo-gréseuse allongée parallèlement au rivage ;
- La plaine de la Mitidja ; dépression synclinale orientée WSW –ENE ; elle est le siège de formations Néogènes et quaternaires. Elle présente une topographie plane.

I.3 Contexte géologique

D'un point de vue géologique, la zone d'étude s'inscrit dans la région d'Alger qui présente une structure assez complexe, qui peut être représenté comme un dôme métamorphique primaire bordé par des terrains sédimentaires tertiaires et quaternaires.

- **Le primaire** : est représenté par le socle métamorphique constitué de roches Cristallophylliennes très tectonisées. Ces roches affleurent entre Sidi Fredj et Bordj El Bahri .
- **Le tertiaire** : Il recouvre en discordance le socle Métamorphique. On y retrouve :
 - Le Miocène inférieur qui est constitué de grès et de poudingues qui sont particulièrement tectonisés avec des surfaces d'affleurement réduites.
 - Le Pliocène inférieur qui est argilo-marneux. Il affleure le Sahel. Il peut Atteindre 200 m d'épaisseur.
- **Le Quaternaire** : La plaine est recouverte d'une très grande épaisseur de sédiments quaternaires qui englobe de nombreux termes lithologiques : sables, grès dunaire Limons éboulis et formations de pentes.

D'un point de vue tectonique, à la fin de l'Astien des déformations de grand rayon de Courbure se sont produites amenant l'enfoncement de la Mitidja et la surrection définitive de l'atlas avec la formation de l'anticlinal du Sahel d'orientation SW-NE et le remblaiement de la Mitidja.

De façon plus concrète sur la zone d'étude, le projet d'aménagement de l'oued Réghaia intéressera principalement les terrains récents :

Alluvions récentes (A2) ; Alluvions actuelles (As) et du – Pliocène supérieure (P2A) de faciès argilo sableux.

I.4. Occupation des sols

L'occupation du sol a été classée en quatre (04) catégories. Cette classification n'a pas pour objet de détailler l'occupation des sols au sens d'un plan local d'urbanisme mais d'apporter une classification d'aptitude au ruissellement des sols en vue des besoins de l'étude hydrologique. Trois (03) zones ont été utilisées pour définir les différentes zones d'habitats :

- Les zones d'habitats dispersés traduisent une imperméabilisation modérée des sols, ces zones sont caractérisées par des surfaces unitaires faibles de l'ordre de l'hectare, elles sont cependant les plus nombreuses avec un total de 122 zones sur l'ensemble du périmètre d'étude. Elles sont constituées de maisons isolées, d'accès en terre reliant les constructions et des jardins aménagés dans l'enceinte des propriétés.
- Les zones d'habitats moyennement denses représentent une imperméabilisation forte des sols. Ces zones sont caractérisées par des surfaces unitaires variables allant de l'hectare à la centaine d'hectares. Elles sont constituées de lotissements résidentiels, de zones d'activités faiblement construites et de voies de communication comprises dans cet espace.
- Les zones d'habitats denses correspondent à une imperméabilisation très forte des sols, ces zones sont caractérisées par des surfaces unitaires étendues de l'ordre de la

dizaine à la centaine d'hectares. Elles sont de ce fait les moins nombreuses avec un total de trente et une zones sur l'ensemble de la zone d'étude. Elles sont constituées de grands ensembles résidentiels, de grandes zones activités et de voies de communication comprises dans cet espace.

La dernière catégorie recense l'ensemble des espaces ne rentrant pas dans les trois autres catégories. Ces zones sont caractérisées par une imperméabilisation faible des sols. Les principaux constituants de ces zones sont : les terrains agricoles, les friches et les zones boisées (forêts)

Le tableau I.1 suivant présente la synthèse de l'occupation des sols avec pour chaque bassin versant, le pourcentage occupé par chaque classe

Tableau I-1 : Occupation des sols

	BV	Surface du bassin versant intermédiaire (km ²)	Habitats denses	Habitats Moyennement Denses	Habitats dispersés	Terrains agricoles, friches et forêts
Branche amont Est	Oued Guesbain	15.6	1%	5%	11%	84%
	Oued Boukerrouch	5.3	1%	27%	5%	66%
	Oued Guesbain – Boukerrouche	2.3	90%	1%	0%	8%
Ouest Branche Amont	Oueds Mekhfi - Berrabeh	18.8	20%	15%	4%	61%
	Oued Kerrouche	4.2	7%	25%	0%	68%
	Oued Djaken	0.8	1%	0%	3%	96%
Oued Reghaia	Oued Reghaia amont	2.9	61%	4%	3%	32%
	Oued Reghaia aval	2.5	6%	31%	1%	63%
Affluents aval	Oued Djafri	0.7	18%	4%	2%	76%
	Oued El Bey	3.1	6%	20%	3%	71%
	Oued El Bey - Djafri	1.6	26%	32%	2%	40%
	Oued Cite Mourad - Cheb Cheb	6.5	3%	25%	6%	66%
	Oued Baradia	13.6	38%	7%	2%	52%

Les sous bassins versants de la zone d'étude se divisent en deux catégories : les bassins avec une nette prédominance de surfaces agricoles ou naturelles et les bassins avec une prédominance d'habitats denses. Dans les bassins avec une nette prédominance de surfaces agricoles, se retrouvent les oueds de Mekhfi-Berrabeh, Kerrouche, Djaken, Guesbain, Boukerrouch, Djaafri et El Bey. Dans l'autre catégorie se trouvent les oueds Guesbain-Boukerrouch, Réghaia amont et aval, Barradia, Cité Mourad et El Bey-Djaafri. Les oueds les plus densément peuplés sont ceux situés dans l'axe principal de l'oued Réghaia.

Le sous BV de l'oued le moins urbanisé est celui de l'oued Guesbain, son territoire est constitué près de 84 % de surfaces agricoles et naturelles. À l'opposé, le BV de l'oued le plus urbanisé est celui de l'oued Guesbain-Boukerrouche avec plus de 90 % de son territoire en habitats denses.

I.5 conclusion

Suite à cette présentation, nous allons entamer notre projet ,qui a pour objectif de protection de l'oued Réghaia contre les inondation .

Chapitre II : Synthèse hydrologique du B.V de l'oued Réghaia

L'étude hydrologique a pour objet principal de caractériser le comportement hydrologique de l'oued et les débits de référence à prendre en compte pour faciliter l'étude du projet d'aménagement de l'oued, dans le but d'éviter une surestimation du débit à évacuer.

En conséquence, les éléments suivant sont traités :

- ❖ Collecte et analyse des données hydrologiques à l'échelle du bassin versant (station pluviométrique, estimation des pluies et des débits liquides par des méthodes appropriées).
- ❖ Détermination sur la base d'une méthodologie appropriée, des débits de crues pour différentes périodes de retour ($T = 5$ ans ,10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans).

II.1 Les caractéristiques d'un bassin versant

Les caractéristiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique et notamment le régime des écoulements en période de crue et d'étiage. Le temps de concentration, qui se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et son exutoire, est influencé par diverses caractéristiques. Celles-ci concernent prioritairement la surface et la forme du bassin versant, son élévation et sa pente auxquelles viennent s'ajouter le réseau hydrographique, le type de sol et le couvert végétal.

II.1.1. *Caractéristiques de forme*

La forme du bassin versant va ainsi influencer l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire. Sa forme allongée va induire de faibles débits de pointe. À l'opposé, une forme en éventail entraînera un fort débit de pointe en période de hautes eaux.

II.1.1.1 Indice de compacité de Gravelius K_G

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité de Gravelius qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface.

Si A est la surface du bassin en km^2 et P son périmètre en km, le coefficient K_G est égal à:

$$K_G = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{II.1})$$

K_G : coefficient de Gravelius ; P : périmètre du bassin (km), mesuré avec un curvimètre;

A : superficie du bassin versant (km^2), mesurée avec un planimètre.

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

II.1.1.2 Le bassin versant rectangulaire

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles au petit côté du rectangle. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau.

On définit les grandeurs L et l représentant respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent :

$$P = 2 \times (L + l) \quad (\text{II.3})$$

$$A = L \times l \quad (\text{II.4})$$

- La longueur du rectangle équivalent : $L = \frac{K_G \times \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \quad K_G > 1.12 \quad (\text{II.5})$

- La largeur du rectangle équivalent : $l = \frac{K_G \times \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \quad K_G > 1.12 \quad (\text{II.6})$

Tableau II-1 : caractéristiques de forme du bassin versant d'Oued Réghaia

Caractéristiques	Symbole	Unité	Valeur
Périmètre	P	Km	38.50
Surface	S	km ²	81.50
Indice de compacité	K _G	/	1.20
Longueur de rectangle équivalent	L	Km	12.83
Largeur de rectangle équivalent	L	Km	6.42
Surface de rectangle équivalent	S _{eq}	km ²	82.36
Dénivelé du BV	D	m	180.00
Altitude moyenne	H _{moy}	m	45.00
Longueur du thalweg principale	L _t	m	17.13

II.1.2. Temps de concentration :

Le temps de concentration des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier. Pour ce paramètre on tient compte des caractéristique géométrique et morphologique du bassin on le calcule à partir des formules empirique dont:

II.1.2.1 Formule de Kirpich

L'équation de Kirpich est très utilisée, elle est adaptée aux bassins versants dont la superficie varie entre 0,4 ha et 81 ha,. Sa formule est :

$$T = 0.6615 \times L^{0.77} \times I^{-0.385} \quad (\text{II.7})$$

Où, T_C : temps de concentration (min) ; L : longueur du cours d'eau principal (km) ; I: pente moyenne du bassin versant (%) [Rahai,2004].

II.1.2.2 Formule de Passini

Cette formule est applicable sur des grands bassins versant dont la superficie > 40 km².

$$T_C = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{I}} \quad (\text{II.8})$$

Où, T_C : temps de concentration (h) ; S: surface du basin versant (km²) ; I : pente moyenne du bassin versant (m/m) ; L : longueur du cours d'eau principal (km) [Rahai, 2007].

II.1.2.3 Formule de Giandotti

$$T_C = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (\text{II.9})$$

Avec, S: surface du bassin versant (km²) ; L : longueur du talweg principal (km);

H_{moy} , H_{min} : hauteur moyenne et minimale du bassin (m) [Touaïba ,2004].

II.1.2.4 Formule de Ventura

Cette formule est appliquée pour des bassins versant > 10 km² et qui ont des pentes faible et moyenne :

$$T_C = 0.127 \times \left(\frac{S}{I}\right)^{0.5} \quad (\text{II.10})$$

Avec, S : superficie du bassin versant (km²) ; I : pente moyenne du bassin versant (m/m) [Rahai, 2007].

II.1.2.5 Méthode de Temez :

$$T_c = 0.3 \times \left(\frac{L}{I^{1/4}} \right)^{0.76} \quad (\text{II.11})$$

Où : I : la pente du thalweg principale (m/m) ; L : longueur du cours d'eau principal (km) [Touaïba ,2004].

II.1.2.6 Formule SCS (Soil Conservation Service)

Cette formule prend en considération la longueur du cours d'eau et la dénivelée :

$$T_c = \left[\frac{0.87 \times L^3}{H_{\max} - H_{\min}} \right]^{0.385} \quad (\text{II.12})$$

H_{\max} , H_{\min} : hauteur moyenne et minimale du bassin (m) ; L : longueur du cours d'eau principale (km) [Rahai, 2007].

Les résultats de calcul de temps de concentration sont regroupés dans le tableau II-2.

Tableau II-2: temps de concentration des BV

Méthode	Symbole	Unité	valeur	La Moyenne des Tc
Temez	T_c	h	6.18	5.99
Ventura			10.94	
Kripch			3.40	
SCS			3.42	
Passini			6.01	

Le temps de concentration que nous utiliserons est la moyenne entre les résultats de cinq méthodes .

II.1.4. Caractéristique physique des sous bassins versants d'oued Reghaia

Le tableau II.3 suivant montre les principales caractéristiques physiques des sous bassin versant.

Tableau II-3: caractéristiques des sous B.V d'oued Réghaia

Nom du bassin versant	Surface du BV (km ²)	Dénivelé du B.V (m)	Longueur du cours d'eau (km)
Oued Guesbain	15.64	130	11.8
Oued Boukerrouch	5.26	30	3.8
Oued Guesbain – Boukerrouch	2.30	2	2.4
Oueds Mekhfi – Berrabeh	18.78	85	7.1
Oued Kerrouche	4.22	55	4.6
Oued Djaken	0.84	12	0.6
Oued Reghaia amont	2.86	7	2.5
Oued Djafri	0.74	6	1.0
Oued El Bey	3.07	20	2.4
Oued El Bey – Djafri	1.59	19	2.3
Oued cite Mourad -Cheb Cheb	6.45	22	3.1
Oued Reghaia aval	2.48	7	2.2
Oued Barradia	13.58	25	5.5

II.2 Caractéristique du climat

Les paramètres climatiques qui décrivent un bassin versant sont nombreux tels que :

II.2.1. La pluviométrie

Les pluies moyennes mensuelles données dans le tableau (II-4) traduisent clairement les variations saisonnières et leur distribution à l'échelle annuelle. La station prise en considération dans la région d'étude, fait ressortir deux périodes distinctes, une saison sèche et une autre humide.

Tableau II-4: moyennes mensuelles des précipitations de la station Réghaia de période (1972-2011)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
P(mm)	78.60	78.00	55.00	52.72	40.00	16.50	4.80	5.50	32.00	63.00	88.00	90.00

Ainsi , la répartition mensuelle de la pluviométrie montre que les mois les plus humides, en hiver et au printemps, renferment plus de 75 % du total interannuel avec un maximum au mois de décembre, janvier et février, et que les mois secs, moins de 3%, se situent en été avec des précipitations non significatives en juillet et aout (4.80 et 5.50 mm).

II.2.2 Les températures

Sur 14 années (période de 1986 à 2010), l'analyse des données dans le tableau II-5 provenant de la station de Dar El Beida montre :

- Une température moyenne annuelle de l'ordre de 18°C ;
- Une température moyenne minimale variant de 6 à 10°C durant la période hivernale et de 13 à 21 °C pour la période estivale ;
- Une température moyenne maximale comprise entre 24 et 33°C durant les étés ;
- Des hivers aux températures moyennes relativement basses, comprises entre 11 et 15°C.

Tableau II-5: les moyennes mensuelles des températures pour la période 1986-2010

Mois	Jan	Fev	Mars	Avrl	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T(C°)	11.00	11.50	13.00	15.00	17.60	21.20	25.00	26.10	24.20	19.50	15.30	12.60

Le climat de la région est de type méditerranéen caractérisé par une saison humide de 8 mois et une période sèche de 4 mois correspondant à la saison estivale.

II.2.3. Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle (ETP) mensuelle estimée montre de fortes valeurs d'ETP pendant la saison estivale (mai à septembre) allant de 100 à 158 mm (Tableau II-6)

Tableau II-6 : répartition mensuelle de l'évapotranspiration potentielle

Mois	Jan	Fev	Mars	Avrl	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
ETP(mm)	20	38	60	84	110	158	152	140	100	71	32	21

II.3 Etude de la série de pluie de station de Réghaia

La série de pluie de poste pluviométrique Réghaia 2-6 -32 (1971-2011) a été recueillie auprès de l'ANRH. d'après les tests faits en utilisant un logiciel statistique XLSTAT , cette série est indépendante, homogène et stationnaire .

Les caractéristiques de la pluie journalière maximale annuelle (P_{jmax}) aux deux pluviomètres sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II-7 : les paramètres de la série de pluie

Caractéristique en (mm)	Valeurs
Taille de la série	40
Valeur min	14.80
Valeur max	152.00
Médiane	55.31
Ecart type	27.55

Afin d'évaluer $P_{j_{\max}}$ de la station pour des périodes de retour de 2, 5, 10, 20, 50, 100 et 200 ans, deux lois statistiques ont été utilisées, la loi de Gumbel et la loi Log normale (nommée également loi de Galton).

Ces deux lois sont couramment employées en hydrologie, et particulièrement sur le pourtour méditerranéen, pour décrire des événements extrêmes. L'ajustement est significatif puisque l'on dispose de séries de données comportant plus de 30 valeurs.

II.3.1 La loi de Gumbel

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (\text{II.13})$$

Où, $F(x)$: fréquence au non dépassement FND ; et α, β : coefficient d'ajustement.

Par un changement de variable $y = \alpha(x - \beta)$, la loi de *Gumbel* devient :

$$F(x) = F(y) = e^{-e^{-y}} \quad (\text{II.14})$$

Où, y : variable réduite de Gumbel, liée à la probabilité attachée à la valeur x ;

$F(y)$: fréquence au non dépassement de la variable réduite y .

L'équation $y = \alpha(x - \beta)$ présentée sous forme :

$$x = \frac{1}{\alpha} y + \beta \quad (\text{II.15})$$

Cette équation est l'équation d'une droite qui représente la loi de *Gumbel* sur du papier à l'échelle de probabilité Gumbel [Bermad, 2012].

II.3.2 La loi log-normale

Une variable aléatoire x suit une loi log-normale quand son logarithme suit une loi normale c'est-à-dire que $y = \ln x$ suit une loi normale alors x suit une loi log-normale.

Sa fonction de densité de probabilité s'écrit alors :

$$\begin{cases} f(x) = \frac{1}{x\sigma_n \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1(\ln x - \mu_n)^2}{2\sigma^2}} & x > 0 \\ f(x) = 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (\text{II.16})$$

Sa moyenne et sa variance de la log-normale sont comme suit :

$$\begin{cases} \mu_n = \frac{1}{N} \sum_1^N \ln x_i \\ \sigma_n^2 = \frac{1}{N} \sum_1^N (\ln x_i - \mu_n)^2 \end{cases} \quad (\text{II.17})$$

La moyenne et la variance de la loi log-normale peuvent aussi s'écrire :

$$\begin{cases} \mu_n = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\mu_x^2}{c_v^2 + 1} \right) \\ \sigma_n^2 = \ln(c_v^2 + 1) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \mu_x = e^{\mu_n + \frac{\sigma_n^2}{2}} \\ \sigma_x^2 = \mu_x^2 (e^{\sigma_n^2} - 1) \end{cases} \quad (\text{II.18})$$

Où, μ_x : la moyenne de la variable étudiée sans logarithme ; σ_x^2 : variance de la variable étudiée sans logarithme ; C_v : coefficient de variation.

μ_x et σ_x^2 sont respectivement la moyenne et la variance de la population.

La moyenne et la variance de l'échantillon sont désignées par $\overline{Ln Q}$ et S_{LnQ}^2 respectivement.

L'équation de la droite d'Henri de cette loi est la suivante :

$$\ln Q = \overline{Ln Q} + z_i * S_{LnQ} \quad (\text{II.19})$$

Avec, z_i : variable réduite de Q_i ; S_{LnQ_i} : écart type de la loi log-normale [Bermad, 2012].

En utilisant logiciel HYDROLAB pour l'ajustement de la série de pluie de la station de Réghaia entre 1971 et 2011, on obtient les résultats suivants (tableau II-8).

Avec un niveau de confiance de 95%, on obtient les deux paramètres de la loi de Gumbel.

Tableau II-8 : quantiles de P_{jmax} la station de Réghaia

Période de retour T (ans)	Fréquence	P(T) Gumbel (mm)	P(T) Galton (mm)
2	0.500	49.78	49.23
5	0.800	73.32	70.77
10	0.900	88.90	85.57
20	0.950	103.85	100.10
50	0.980	123.20	119.40
100	0.990	137.70	134.30
1000	0.999	185.62	186.69

Avec un intervalle de confiance à 95%, les résultats d'ajustement par la loi de Gumbel de la série de pluie sont donnés dans la figure II.3

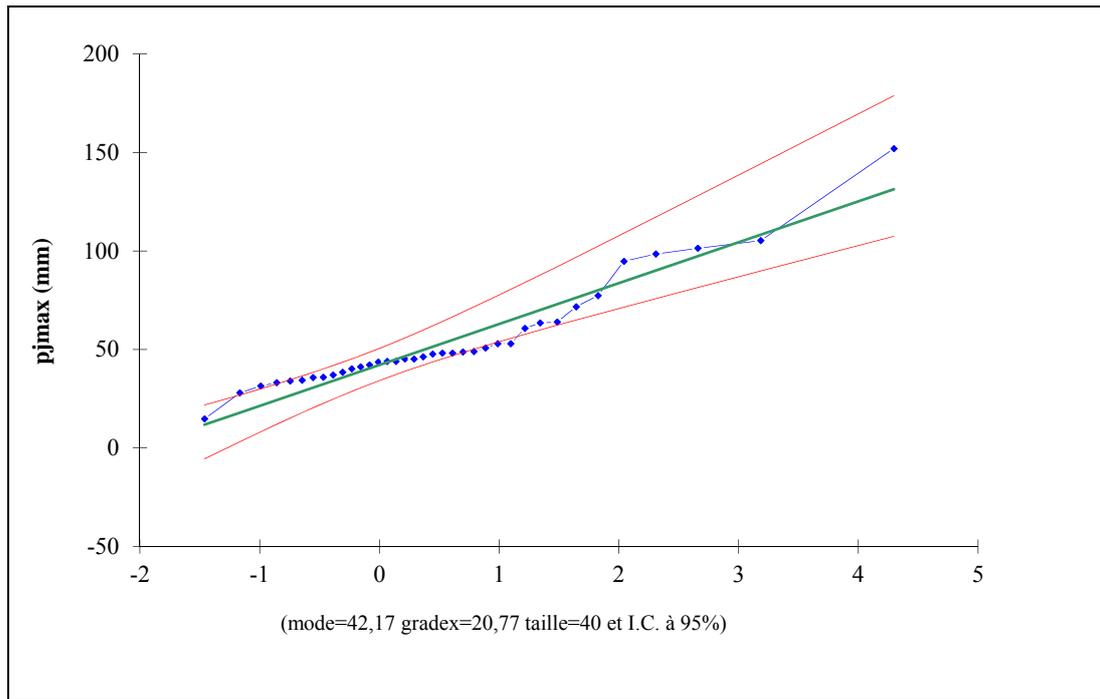


Figure II.1: ajustement par de la série de pluie de la station Réghaia par la loi de Gumbel Avec un intervalle de confiance à 95%, les résultats d’ajustement de la loi de Log-normal de la série de pluie donnés dans la figure II.4.

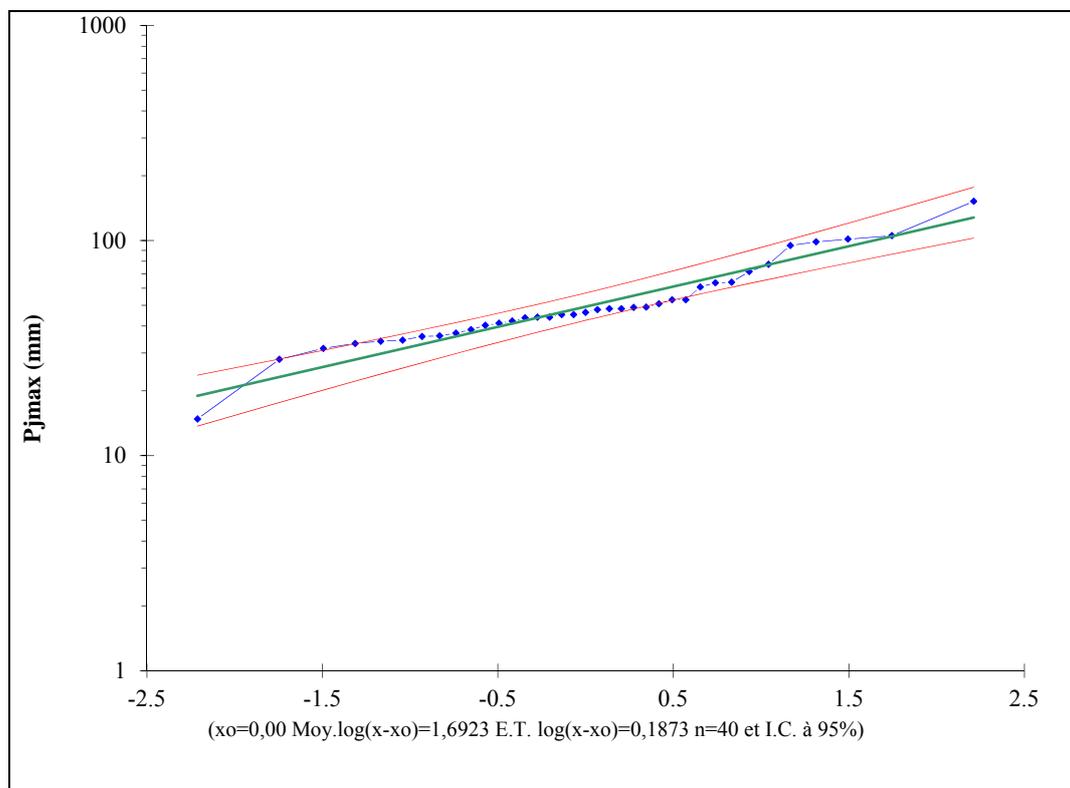


Figure II.2: ajustement de la série de pluie de la station Réghaia par la loi de Galton

On a vérifié l'ajustement de la loi de Gumbel et de Galton aux pluies journalières maximales de la station de Réghaia avec logiciel XLSTAT, d'où on a conclu que la loi de Gumbel s'ajuste mieux à notre échantillon

Par sécurité (quantiles plus forts), la loi Gumbel sera retenue.

II.4 Débit de crue

La connaissance des débits de crues pour une période de retour donnée est de la plus grande importance pour la protection et l'exploitation de nos ressources en eau ainsi que pour la défense contre les effets néfastes des hautes eaux.

La prédétermination des débits de crue consiste à estimer, en un point d'un cours d'eau, un débit de pointe de crue de période de retour T donnée, ou pour être plus précis, c'est évaluer la probabilité d'occurrence qu'une crue ne dépasse pas une valeur critique pendant un durée de référence.

Et afin de prédéterminer le débit de crue d'oued Réghaia on a utilisé des formules empiriques de Turazza, Sokolovsky et Mallet-Gauthier.

II.4.1 Formule de Turazza

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

$$Q = \frac{C_r \times H \times A}{3.6 \times T_c} \quad (\text{II.20})$$

Avec, C : coefficient de ruissellement du bassin ; A : superficie du bassin (km²) ; H : la hauteur totale maximale de pluie relevée pendant une durée égale au temps de concentration T_c du bassin (heure) [Bermad, 2012].

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courtes durées est effectué au moyen de la formule K. Body (ANRH 1984).

$$P_{J_{\max,F}} = \frac{P_{J_{\max}}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} \times e^{u\sqrt{\ln(C_v+1)}} \quad (\text{II.21})$$

Où : $P_{J_{\max,F}}$: pluie journalier maximale pour une fréquence donnée (mm) ; C_v : coefficient de variation égale à 0.34 ; et u : variable réduit

$$H_{t,f} = P_{J_{\max,F}} \left(\frac{t}{24} \right)^b \quad (\text{II.22})$$

Avec , t : durée de l'averse ; b : exposant climatique égale à 0.41 selon les études régionales de l'ANRH.

II.4.2 Formule e de Sokolovsky

$$Q_{\max(\%)} = \frac{0.28 \times P_{t_c} \times \alpha \times S}{T_c} \times f \quad (\text{II.23})$$

Avec, f : Coefficient de forme de la crue ; α : Coefficient de ruissellement du bassin versant pour la crue considérée de fréquence donnée. ($0.6 < \alpha < 0.8$) ; T_c : Temps de concentration en heures ; 0.28 : coefficient de changement d'unité ;

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

$$f = \frac{12}{4 + 3\gamma} \quad (\text{II.24})$$

Où γ : 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 km^2 .

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

$\gamma = 3$ à 4 pour les grands bassins versants boisés et perméables [Rahai,2007]

II.4.3 Formule de Mallet et Gauthier

Dans leurs études sur "Les problème de l'eau en Algérie" Mallet et Gauthier ont établi une formule exprimant le débit maximum en fonction des précipitations, de surface du bassin, des caractéristiques géologiques, climatiques et la période de retour T.

$$Q_{\text{Max}T} = 2 \times k \times \ln(1 + 20 \times H) \times A \times \sqrt{\frac{1 + 4 \times \ln T - \ln A}{L}} \quad (\text{II.25})$$

Où, Q_{max} : débit de crue de période de retour voulue (m^3/s); H : pluie moyenne annuelle (m) ; A : superficie du bassin versant (km^2) ; T : période de retour (ans) ; L : longueur du cours d'eau principal (km) ; et k : coefficient variant avec la pente du bassin de 0,5 à 5. [Touaïba ,2004]

Les résultats obtenus par les différentes méthodes sont résumés dans le tableau II-9 suivant :

Tableau II-9: débit de pointe

Période de retour (ans)	Débits de pointe m3/s					
	2	5	10	20	50	100
Mallet -Gauthier	-	162.04	223.79	271.86	324.66	359.48
Turazza	80.07	124.11	170.77	195.50	254.85	309.64
Sokolovsky	83.27	129.07	177.60	203.32	265.04	322.03

Les résultats de calcul de débit de crue pour différentes périodes de retour obtenus par l'application des trois méthodes sont proches .notre choix se parte sur la méthode de Sokolovsky.

II.5 Hydrogramme de crue

L'hydrogramme de crue sera établi selon la méthode de Sokolovsky. Cette méthode assimile l'hydrogramme de crue à deux équations paraboliques, l'une pour la montée et l'autre pour la décrue.

$$\text{Pour la montée de la crue : } Q_t = Q_{\max} \times \left(\frac{t}{t_m} \right)^2 \quad (\text{II.26})$$

$$\text{Pour la décrue : } Q_t = Q_{\max} \times \left(\frac{t_d - t}{t_d} \right)^3 \quad (\text{II.27})$$

Avec , t_m : Temps de montée de la crue, $t_m = t_c$ (Selon Sokolovsky)

t_d : Temps de la décrue $t_d = \gamma \times t_m$.

γ : Coefficient qui dépend des caractéristiques du bassin versant, pour notre cas le bassin est non boisé , on a donc $\gamma = 3$

Les débits de crues des différentes périodes de retour du bassin versant sont donnés par Hydrogramme suivants.

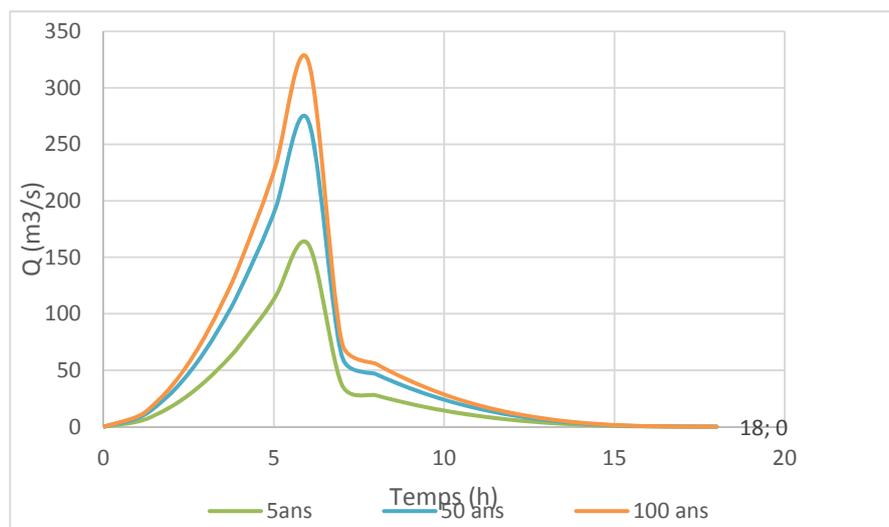


Figure II.3 : hydrogramme de crues de l'Oued Réghaia

II.6 Conclusion

Cette synthèse hydrologique nous a permis d'estimer le débit de projet. Ces résultats constituent un document utile à la modélisation hydraulique qui permet le calcul des profils d'écoulement et de la propagation des crues dans les cours d'eau et au dimensionnement des différents ouvrages d'aménagements.

Chapitre III : Diagnostic théorique d'un cours d'eau

Préalablement à toute intervention, la première phase de la réflexion doit consister à établir un diagnostic précis sur le secteur sur lequel des problèmes sont constatés comme sur le fonctionnement général du cours d'eau, en amont comme en aval de ce secteur. Le domaine sur lequel doivent porter les investigations doit donc englober toute la zone impliquée dans la génération des phénomènes dont les effets sont constatés et être étendu, vers l'amont et vers l'aval, à l'ensemble des secteurs pouvant être sensibles aux impacts des diverses solutions curatives envisageables. Les connaissances à rassembler concernent l'ensemble des fonctions et des usages du cours d'eau. Elles sont aussi bien physiques, que biologiques et humaines.

III.1. Démarche globale du diagnostic d'un cours d'eau

III.1.1. L'observation

La dynamique fluviale est commandée par des lois naturelles incontournables qu'il convient de bien connaître et, surtout, de bien reconnaître sur le terrain. Il conviendra, ensuite, d'intervenir, autant que possible, en les respectant. S'il est nécessaire de recourir à un aménagement lourd, conduisant à une modification radicale des équilibres en place, il est indispensable que sa conception permette une évolution harmonieuse vers un nouvel état naturellement équilibré.

L'observation joue donc un rôle fondamental. Il conviendra de bien mettre en évidence les caractéristiques du lit et de son fonctionnement, aussi bien en crue qu'en période d'étiage. Il y a en effet, en général, de très fortes différences entre ces périodes en ce qui concerne l'importance du lit, la forme et le mouvement du profil en long et des berges, le positionnement des chenaux d'écoulement, les débits, les vitesses, le transport solide . . . On s'attachera à bien mettre en évidence, de l'amont à l'aval; l'ensemble des caractéristiques géométriques et des facteurs du façonnement fluvial (formes du lit, nature des berges et du fond, types de végétation...). Ces recueils d'informations peuvent utilement donner lieu à des reports cartographiques et à des croquis. S'ils existent, des relevés antérieurs seront utilement comparés à ceux effectués dans la situation actuelle, pour mieux appréhender les phénomènes du façonnement fluvial en jeu et leur intensité, ainsi que les interventions qui ont déjà pu se produire dans le bassin.

Il y a également tout avantage à rechercher des tronçons-modèles, c'est à dire des tronçons du cours d'eau dans le même secteur dont les caractéristiques sont satisfaisantes aussi bien en termes de stabilité que de capacité du lit, afin de s'en inspirer pour les secteurs à aménager.

III.1.2. Les mesures

Pour compléter les informations disponibles dans les archives, il ne faudra pas hésiter à réaliser des mesures spécifiques sur le terrain, notamment en ce qui concerne les champs de vitesses, la topographie, la bathymétrie et la nature des matériaux.

III.1.3. Les enquêtes

La recherche des informations sur les usages du cours d'eau, les interventions effectuées par le passé ou les traces d'événements hydrologiques marquants doit aussi s'appuyer sur des enquêtes, auprès des autorités comme des populations riveraines du cours d'eau. Elles seront riches d'enseignements et permettront la sensibilisation collective aux problèmes constatés et à la recherche de solutions. Ce sera, ultérieurement, un atout dans les négociations à mener, pour l'acceptation de l'aménagement envisagé comme pour l'éventuelle association des riverains à sa gestion ou à son entretien.

III.2. Définitions fondamentales

III.2.1. Cours d'eau -vue transversale

III.2.1.1 Lit du cours d'eau

Le niveau d'eau et l'espace occupé par le cours d'eau varient en fonction de son débit. Un cours d'eau analysé selon sa coupe transversale (figure III.1) présente une section principale occupée par les écoulements normaux (appelé lit mineur) et une plaine d'inondation occupée lorsque le cours d'eau est en crue [Verniers, 1995].

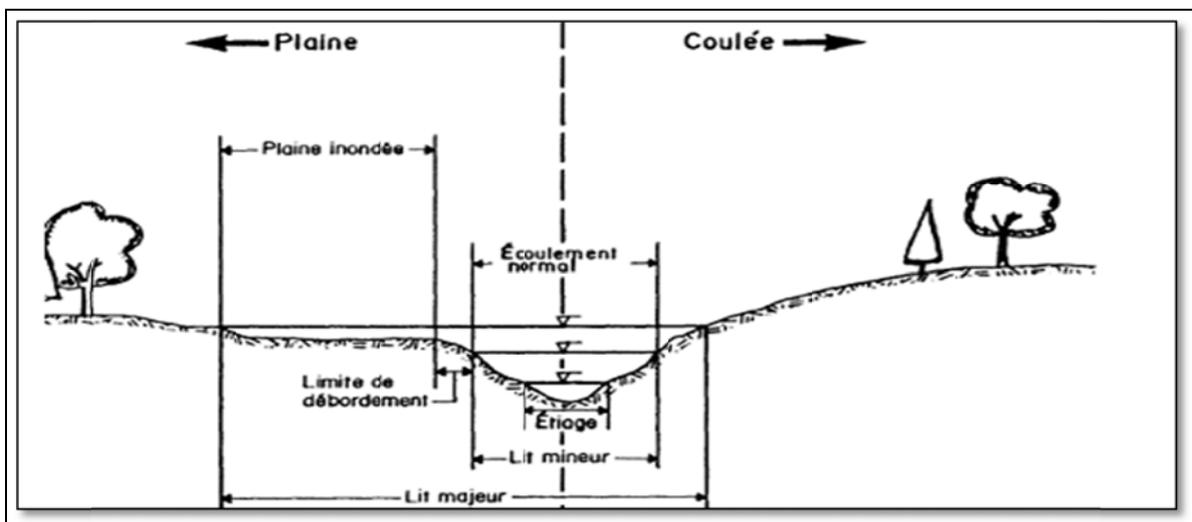


Figure III.1 : coupe transversale d'un cours d'eau

Les principaux termes sont :

- **Lit** : désigne tout l'espace occupé, en permanence ou temporairement, par un cours d'eau.
- **Lit mineur** : lit du cours d'eau en écoulement normal.

- **Lit majeur** : lit qu'occupe le cours d'eau lors des crues, incluant les zones inondées.
- **Lit d'étiage** ou **chenal d'étiage** : partie du cours d'eau occupé lors des étiages.
- **Plaine d'inondation** : zone de terrain inondée lors du chenal du cours d'eau lorsque le cours d'eau est en crue.

III.2.1.2 Rive, berge

Rive et berge sont souvent confondues à tort. La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Sa localisation est donc assez précise. La rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre. Elle démarre au sommet de la berge et constitue une partie plate plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique [Degoutte, 2006].

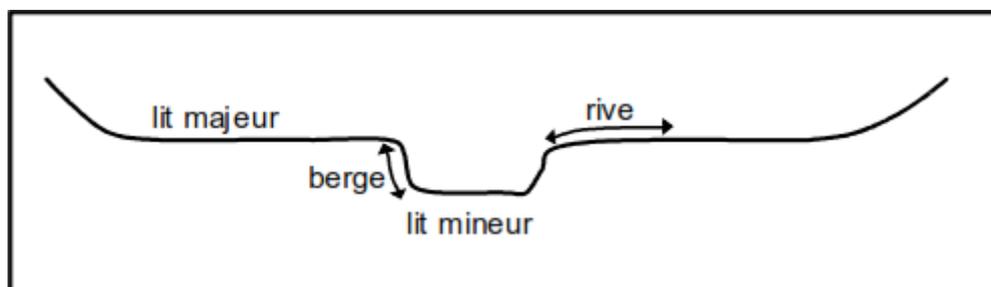


Figure III.2 : représentation de termes géographiques usuels

III.2.1.3 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 (schistes, grès, marnes...) [Degoutte, 2006].

III.2.1.4 La ripisylve

La ripisylve, formation végétale ligneuse et herbacée, transition entre le milieu aquatique et le milieu terrestre, est donc une zone particulièrement riche du point de vue biologique, grâce à sa diversification procurée par l'effet lisière.

La ripisylve consiste en un groupement de végétaux résultant de l'existence au sein du lit majeur de facteurs physiques tels que la vitesse d'écoulement des crues, la granulométrie des sédiments, la présence de la nappe, la durée des inondations. [Verniers, 1995].

III.2.2 Cours d'eau - vue longitudinale

L'espace longitudinal et latéral qu'occupe un cours d'eau et ses composantes (chenal principal et plaine d'inondation) est appelé "corridor du cours d'eau" (figure III.3). La figure présente aussi les principaux termes utilisés [Verniers, 1995].

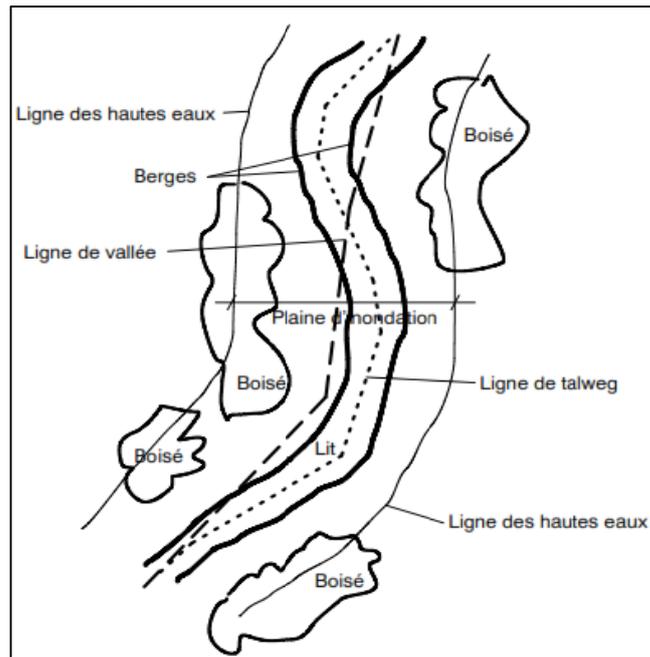


Figure III.3 : concept de corridor d'un cours d'eau.

La description longitudinale d'un cours d'eau est souvent représentée par le profil longitudinal (figure III.4) qui représente l'élévation du fond du cours d'eau en suivant la ligne du talweg du cours d'eau (endroit le plus profond). Le haut de la berge et les structures (ponceaux, barrages, etc.) installées le long du cours d'eau peuvent aussi y être présentés.

Un cours d'eau peut être divisé en tronçons à l'intérieur desquels les caractéristiques sont similaires ou relativement uniformes.

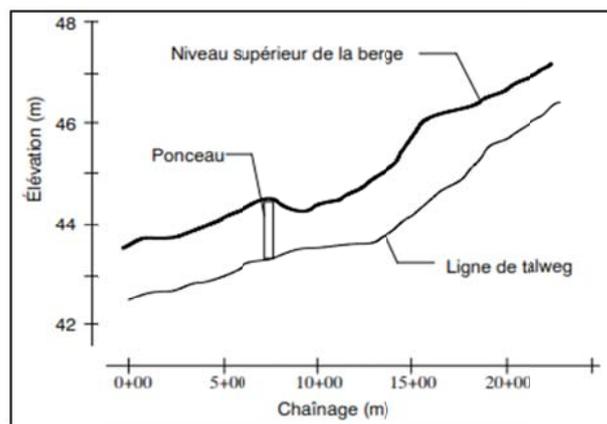


Figure III.4: profil longitudinal d'un cours d'eau.

La sinuosité est définie comme le rapport de la longueur de la ligne de thalweg sur la longueur de la ligne de vallée pour un tronçon.

$$\text{Sin} = \frac{L_{th}}{L_{va}} \quad (\text{V.1})$$

S_{in} = coefficient de sinuosité ; L_{th} = Longueur de la ligne de thalweg ; et L_{va} = Longueur de la ligne de vallée.

Lorsque cette valeur est supérieure à 1.3, le tronçon du cours d'eau est considéré comme sinueux.

III.3. Les problèmes rencontrés dans les rivières

III.3.1. Problème d'instabilité du lit ou des berges

L'instabilité du lit, menant à des reculs ou à des déstabilisations de berge, peut entraîner une perte de terrain et ainsi poser d'importants problèmes en cas de présence d'infrastructures ou d'habitations à proximité.

III.3.1.1 Mécanismes d'érosion des berges

Des causes multiples peuvent être à l'origine d'un phénomène d'érosion de berge :

- Action mécanique du choc de l'eau contre les matériaux constituant la berge les arrachements et les entraînant à l'aval (érosion) ;
- Glissement de la berge, à la suite d'un enfoncement du lit et à la disparition du blocage du pied du talus ;
- Glissement de la berge dont la pente de talus serait devenue trop forte ;
- Glissement de la berge par diminution de sa résistance interne, liée à la présence d'eau dans le sol ;
- Ravinement de la berge lié au ruissellement sur son parement surtout si le fruit du talus est faible ;
- actions humaines ou animales (creusement d'un cheminement pour accéder à l'eau, ouvertures et fermetures fréquentes de passages dans les digues piétinement de troupeaux, terriers ...)

Ces causes peuvent se superposer. Elles peuvent aussi s'enchaîner, parfois en cycle répétitifs. Le diagnostic d'un problème d'érosion de berge peut être complexe à établir : il devra donc toujours être mené avec la plus grande attention en s'assurant que la première cause élucidée n'en cache pas d'autres (plus grave parfois) et en menant, si nécessaire, l'investigation sur une zone plus étendue que le seul secteur sur lequel le problème est constaté. On retiendra, aussi, que la zone de plus grande vulnérabilité d'une berge vis-à-vis des problèmes d'érosion se situe en pied de talus où vont se cumuler les effets d'une déstabilisation par creusement du lit et d'érosion en sens strict à son maximum.

III.3.1.2 L'érosion au sens strict

Le phénomène d'arrachement des matériaux constitutifs du fond et des berges s'explique par la force de l'eau (dite force tractrice), qui connaît son paroxysme sur le fond du lit. De leur côté, compte tenu de leur poids, de leur positionnement et de leur agencement, les matériaux vont présenter une force résistante plafonnée (dite force tractrice critique). Pour un matériau donné, cette résistance sera maximale sur le fond et moindre sur les berges, d'autant plus que la pente du talus sera importante. La combinaison de la force tractrice maximale sur le fond et de la résistance plus faible des matériaux en talus conduit au fait que la zone de vulnérabilité maximale des berges à l'érosion se situe en pied de talus. On trouvera, dans l'encadre ci-après, une approche de ces phénomènes. Le phénomène d'érosion peut être amplifié quand le caractère filaire de l'écoulement se trouve perturbé. Ceci intervient notamment dans les courbes, avec l'apparition des courants hélicoïdaux (Figure III.5). Il faudra en tenir compte en prenant en compte une vitesse plus élevée pour la berge externe.

[Abèle ; Degardin, 2001]

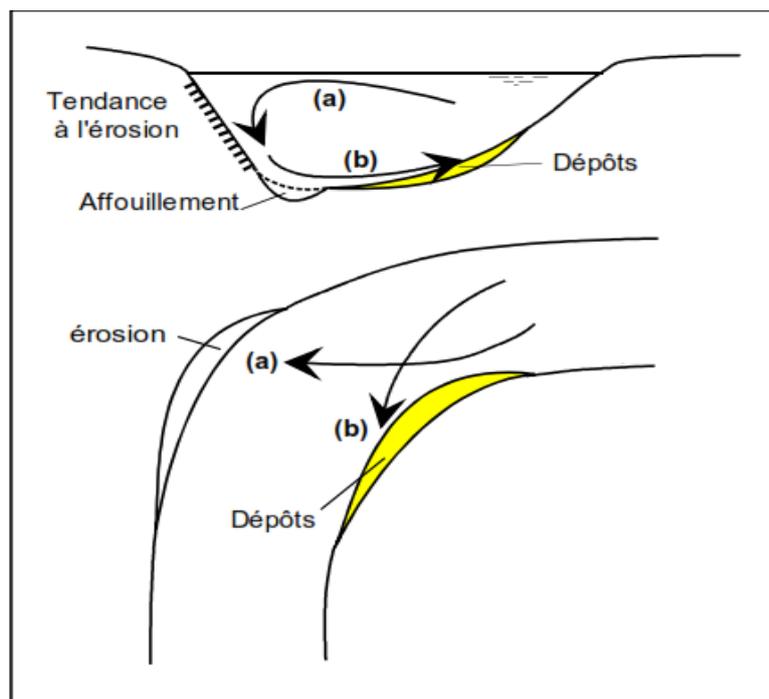


Figure III.5: courants hélicoïdaux dans un coude. Tiré de Degoutte, 2006

(a) courant de surface rapide

(b) courant de fond lent

D'autres causes de perturbation hydraulique peuvent provenir :

- de la déviation du courant vers la berge occasionné par la présence d'un obstacle (embâcle, épi, quai) ;

- du blocage de l'écoulement sur la berge (culée de pont empiétant sur le lit mineur, arbre penché ...);
- de la dissipation d'énergie qui se produit en avant d'un seuil ou d'un radier de pont ou de barrage mobile surélève.

III.3.1.3 Enfouissement du lit peut se produire de manière généralisé ou localisé

Un enfouissement généralisé du lit peut être dû :

à un phénomène d'érosion régressive, se produisant en amont de certains travaux, comme des prélèvements de matériaux mais également tous ceux qui tendent à accroître le transport solide (calibrage du lit, diminution de sa rugosité, enchâssement du lit mineur par des digues, Coupure de méandre ...) : l'érosion régressive se développe de l'aval vers l'amont tant qu'un seuil naturel ou artificiel, n'est pas rencontré;

- à un phénomène d'érosion progressive (c'est -à-dire la propagation de l'approfondissement vers l'aval) qui peut se produire, par exemple en cas de blocage du transport solide en amont.
- Un phénomène de creusement localisé du lit peut se produire, notamment dans les coudes des rivières. Dans les deux cas, la conséquence directe de l'enfouissement est l'augmentation de la hauteur de berge (voir figure III.6), ce qui accroît le risque de glissement de la berge. Principalement dans le cas d'un matériau cohérent.[*Abèle ; Degardin ,2001*]

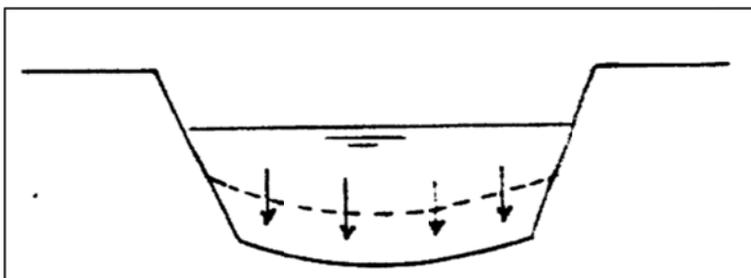


Figure III.6 : enfouissement du lit par érosion régressive ou progressive

III.3.1.4 Les glissements de berge

L'équilibre d'un talus dépend de sa géométrie, des caractéristiques mécaniques des matériaux et de la présence d'eau dans le sol. Lorsque par exemple on augmente la pente d'un remblai, il arrive un moment où il glisse en masse (Figure III.7). Les forces motrices dues au poids des terres au-dessus de la surface potentielle de glissement l'ont emporté sur les forces résistantes dues au frottement le long de la surface de rupture. Lorsque le talus est une berge de cours d'eau, l'eau de la rivière joue un double rôle pendant les hautes eaux :

- elle sature le sol ;
- elle apporte une poussée stabilisatrice.

Lors d'une décrue, la stabilité dépend des pressions interstitielles de l'eau dans la berge, mais la poussée favorable de l'eau du chenal diminue. Il peut par exemple être démontré pour les sols pulvérulents (c'est à dire dépourvus de cohésion) que l'angle de stabilité d'un talus est proche de l'angle de frottement interne du sol ϕ si le talus n'est pas saturé, mais qu'il est à peine supérieur à la moitié si le talus est saturé et sans plan d'eau stabilisateur. La décrue constitue donc la circonstance la plus défavorable pour la tenue d'une berge de cours d'eau. En pratique, on observe effectivement que les glissements de berge se produisent très souvent à ce moment. Ce risque de glissement à la décrue affecte plus particulièrement les sols peu drainants : argiles, limons, sables contenant des fines, graviers dans matrice limoneuse... Cette remarque est d'importance pour aider au diagnostic [Dégoutte, 2006].

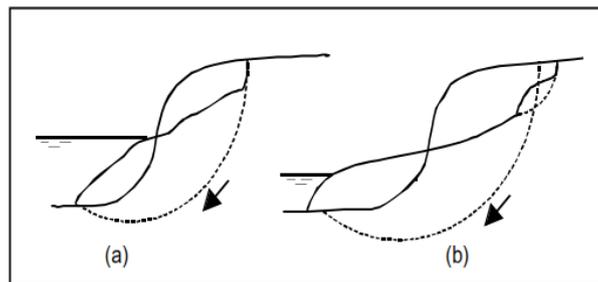


Figure III.7 : sensibilité d'un talus au glissement

a - rupture circulaire d'un talus instable

b –rupture circulaire du même talus après une décrue plus forte, et ruptures secondaires.

III.3.2. Problème d'atterrissement du lit (envasement, ensablement)

L'envasement, l'ensablement ou la croissance excessive de la végétation dans un cours d'eau surviennent lorsque les vitesses d'écoulement sont trop faibles pour provoquer le transport des sédiments et empêcher la végétation de croître ou encore lorsque la pente des cours d'eau est plus faible que la pente de compensation.

En général, les sédiments déposés proviennent de trois sources :

- de l'effondrement des talus;
- de la charge de sédiments que l'écoulement en amont charrie;
- de l'érosion des terrains riverains.

Les deux premières causes peuvent être corrigées à l'origine du problème par la création de talus stables et l'aménagement d'un cours d'eau stable à l'amont. Quant à la dernière, elle est difficile à corriger.

Nous pouvons minimiser le problème en créant des conditions favorables au transport des sédiments qui pourraient se déposer mais en sachant que nous ne faisons que déplacer le problème vers l'aval. Autrement, il faut accepter l'envasement et considérer le curage régulier comme la solution.

Pour qu'il n'y ait pas de dépôts dans les canaux, il faut, selon Poiré et Olier (1978) que la vitesse moyenne ne descende pas au-dessous de 0,20 m/s lorsque le limon est très fin et 0,40m/s lorsque le limon est très sableux. Avec des eaux claires, une vitesse de 0,5 m/s à 0,9 m/s est suffisante pour éviter les dépôts et assez fortes pour empêcher la pousse des herbes qui peuvent encombrer le lit et gêner l'écoulement. Schwab et al. (1966) considèrent que les vitesses minimales sont plutôt imprécises et que les vitesses de 0,6 à 0,9 m/s sont généralement suffisantes pour prévenir la sédimentation. De même, une vitesse de 0,75 m/s serait suffisante pour prévenir la croissance de la végétation.

Quant à la végétation, une croissance contrôlée est bienvenue sur les talus car elle les protège de l'érosion. Celle qui pousse dans le fond des cours d'eau est de type aquatique (joncs, quenouilles, etc.) et obstrue considérablement l'écoulement.

III.3.3. Les impacts des ouvrages sur le fonctionnement et les usages du cours du d'eau

Les ouvrages transversaux (seuil, radier de pont ...) provoquent une modification de l'écoulement qui peut entraîner le creusement du lit et la déstabilisation des berges en aval, non seulement au niveau de la fosse de dissipation d'énergie qui se crée d'elle-même si elle n'a pas été prévue et correctement défendue mais, également, bien plus en aval, si les ouvrages créent une rétention de matériaux en amont qui a pour conséquence d'augmenter la capacité de prise en charge des eaux en aval.

Phénomènes en jeu

En hautes eaux et en crue, les seuils et les radiers routiers qui constituent des obstacles, même faibles, sur le fond du lit ordinaire, ont un impact très important sur les écoulements liquides et le transport solide grossier.

En amont des seuils, l'écoulement liquide est graduellement freiné et la ligne d'eau se rapproche de la ligne d'énergie. Cet effet peut retentir sur une longueur assez grande si le cours d'eau est à pente faible. Ainsi, un seuil peut augmenter la fréquence des débordements dans le secteur situé en amont. Si de plus, la cote du seuil est fixe nettement plus haut que le fond (prise d'eau), le rétrécissement de la section augmente encore très sensiblement cet effet.

A l'approche du seuil et sur sa crête, la lame d'eau s'amincit et la vitesse augmente considérablement jusqu'à atteindre l'écoulement critique : c'est la mise en vitesse. Vers l'aval, sur la partie inclinée ou verticale du seuil, la vitesse augmente encore et la lame d'eau reste mince : l'écoulement devient torrentiel. Au pied de l'ouvrage, le retour à l'écoulement fluvial produit la formation d'un ressaut, souvent spectaculaire et de vagues stationnaires plus petites mais non négligeables vers l'aval. Dans ces différents points, l'écoulement est brusquement varié.

La charge (énergie) diminue brutalement au passage du seuil : c'est la perte de charge singulière. Il y a donc sur l'ouvrage et à son voisinage, une dissipation d'énergie importante et concentrée localement; elle s'exerce à la fois par brassage à l'intérieur de l'eau et par frottement violent sur le fond. Les matériaux du fond, même tirés gros ou cohésifs, sont pris en charge. L'érosion crée ainsi une fosse de dissipation d'énergie. Les plus gros matériaux sont déposés un peu plus loin en aval, là où la vitesse et la turbulence diminuent sensiblement ; ils forment là un bourrelet aval en surélévation par rapport au fond du lit ordinaire. La fosse de dissipation d'énergie et le bourrelet aval ne sont pas des anomalies mais des formes naturelles qu'il faut prévoir. En effet le creusement important de la fosse et l'obstruction formée par le bourrelet entraînent un sapement des berges très sensible en aval des seuils. A noter que, au cours de la décrue puis en basses eaux, des sédiments plus fins vont se déposer dans la fosse de dissipation, puisque le courant va diminuer puis s'annuler complètement. Les matériaux déposés dans la fosse sont souvent exploités pour la construction (extraction de sable , confection de briques). *[Abèle ; Degardin ,2001]*

III.3.4. Problème de nuisances olfactives (qualité de l'eau, eutrophisation)

Cette problématique locale est liée aux nuisances de types mauvaises odeurs ou développement algaux dans un ruisseau.

Les mauvaises odeurs sont caractéristiques d'un milieu en déficit d'oxygène (anoxie), phénomène lié à la présence de nutriments dans l'eau : les algues se développent de façon déséquilibrée, ce qui conduit à terme à un milieu eutrophie qui produit des gaz malodorants.

Trois facteurs aggravants sont à noter :

- la présence de rejets dans le cours d'eau (eaux usées, effluents agricoles) en augmentant directement la charge polluante dans l'eau ;
- la stagnation de l'eau, due à la présence d'un seuil (radier sous un pont, barrage), d'une zone sur-élargie par un recalibrage, d'une zone très peu pentue, ce qui peut être naturel ou lié à des travaux de curages à répétition, ou d'un bouchon végétal en aval (embâcle, développement de roseaux dans le lit ...) ;
- l'absence de ripisylve qui réduit d'une part la filtration des polluants avant dérive dans le milieu aquatique et d'autre part la capacité d'autoépuration du cours d'eau en augmentant notamment son ensoleillement et donc son réchauffement (ce qui facilite le développement végétal dans l'eau). **[Soulas, 2010]**

III.4 Conclusion

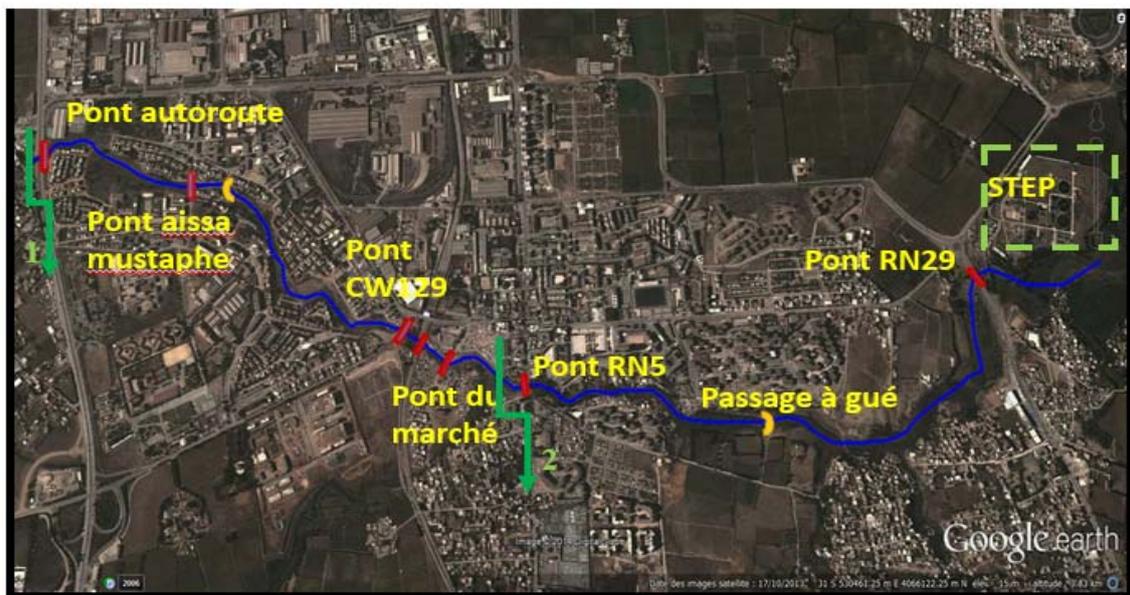
Cette partie théorique de diagnostic nous a aidé lors de nos enquêtes de comprendre les problématiques qu'on peut rencontrer dans notre cours d'eau et cibler les causes de ces problématiques, pour ensuite proposer des solutions.

Chapitre IV : Diagnostic de l'oued Réghaia

A la lumière des données recueillies et des photos présent de l'état des lieux lors des visites de certains tronçons d'oued Réghaia, nous avons dressé un diagnostic du cours d'eau, en intégrant les sous-objectifs suivants :

- Une description et un bilan des milieux physiques concernés (l'état des berges, du lit, des ouvrages, de la ripisylve, etc.) ;
- Un bilan du fonctionnement hydraulique (inondation) et hydrogéomorphologique (dynamique fluviale) des cours d'eau afin de déterminer l'origine des perturbations s'il y a lieu et mettre en évidence les actions répondant aux problèmes rencontrés.

Afin de faciliter la consultation, les problématiques sont présentées pour chaque tronçon de l'oued, ensuite, elles sont expliquées en commentant les causes.



 Limite du tronçon ,
  pont routier ,
  passerelle ,
  cours d'eau

Figure IV.1 : cheminement d'oued Réghaia et les différents ouvrages

VI.1 Description du premier tronçon : oued Guesbin

Le premier tronçon de l'étude nommé oued Guesbin prend naissance au niveau de l'autoroute RN5. Il reçoit un important affluent en rive droite, l'oued Boukerrouch et oued Djaken. Il a une longueur de 2.2 km jusqu'à la confluence avec oued Djaken et sa pente moyenne varie de 1 à 2%.

IV.1.1 Tracé en long

En appliquant la formule (III.1) de chapitre précédent sachant que la longueur de la ligne de thalweg égale à 2108 m et longueur de la ligne de vallée égale à 1925 m.

On obtient un coefficient de sinuosité $Sin = 1.09 \leq 1.3$ donc notre cours d'eau est légèrement sinueux.

IV.1.2 Encombrement du lit et ouvrages

A l'amont d'oued Guesbin, l'écoulement sous le pont de l'autoroute se fait par l'intermédiaire de deux dalots (1.85 m de large pour 2 m de haut). En amont se trouvent des collecteurs en béton des rejets domestiques et industriels en rive droite et gauche et un déversoir d'orage en rive droite qui obstrue fortement un des dalots (photo 1). En aval du pont, il existe des conduites d'eau potable.

Dans le lit de ce tronçon, on a constaté une accumulation de sédiments et débris qui a provoqué des rehaussements du fond du lit et envahissement du lit par la végétation (photo 2)



Photo 1 : point de départ de du tronçon étudié **Photo 2 :** situation sous le pont de l'autoroute

A l'aval du lotissement GTP, une route en remblais barre le lit majeur de l'oued.

Le franchissement de l'oued sous la route s'effectue par un pont, nommé Aïssat Mustapha.

Le pont est constitué de deux dalots de 2.6 m de large et de 3 m de haut. A l'aval du pont, les rives ont été protégées par des murs en gabions (photo 3). Le lit subit un rétrécissement important de sa section d'écoulement (photo 4)



Photo 3 : pont d'Aissat Mustapha



Photo 4 : aval du pont d'Aissat Mustapha

A un kilomètre de l'aval du pont d'Aissat Mustapha, l'oued s'élargit fortement jusqu'à l'amont du pont CW122. On constate dans ce tronçon les vestiges d'un ancien passage à gué qui barre encore une partie du lit de l'oued (photo 5)



Photo 5 : passage à gué

A l'aval de la confluence avec l'oued Boukerrouh, on rencontre deux ouvrages importants : la traversée du pont de la route CW 122 et de la voie ferrée et à l'aval de cette dernière se trouve le pont de marché est dans un état dégradé. Sous ce pont, il existe trois dalots de 2.5 m de large et de 1.6 m du haut (photo 6).



Photo 6: pont du marché

Dans tout le long du lit d'oued Guesbin, on a constaté une présence d'embâcles. Leur nombre et leur taille peuvent même parfois devenir très importants. Ils sont formés par la chute d'arbres et l'accumulation progressive d'autres matériaux.

IV.1.3 Etat des berges

Les berges sont très hautes (3 à 4 m de hauteur en moyenne avec des maximums de 5m) et de pente très abrupte. De nature majoritairement argilo-limoneuses, elles sont globalement instables avec des encoches d'érosion fréquentes.

A l'aval du pont d'Aissat Mustaphaa, on constate au surplomb des berges un alignement des arbres et l'inexistence de végétation au pied de ces derniers, ceci a provoqué un glissement de terrain assez conséquent (photo 6).



Photo 7 : les berges de l'oued à l'aval du pont Aissat Mustapha

Le talus de la rive en amont du pont de CW122 présente un couvert herbacé diversifié. On remarque cependant une pente très forte susceptible à l'érosion ainsi que quelques glissements

de terrain antérieurement survenus. Les arbustes et les arbres sont très peu présents dans le talus. (photo 8)



Photo 8: les berges de l'oued en amont du pont de CW122

IV.1.4 Qualité d'eau

La qualité des eaux d'oued Guesbin est très mauvaise car il est soumis aux rejets des eaux usées domestiques et industrielles. Ses eaux sont anoxiques, chargées en matière organique et en nutriments et fortement polluées en métaux toxiques.

IV.1.5 Occupation du sol

Lors de nos visites du site, on a constaté l'implantation d'habitations et des usines dans le lit de l'oued et d'autres habitations précaires situées en amont du pont du marché.

Elles ont été touchées par des inondations où le niveau d'eau était élevé de 1.5 m



Photo 9 : Inondation du lotissement GTP

IV.2 Etat du deuxième tronçon: Oued Réghaia

Le deuxième tronçon est nommé oued Réghaia. Il prend naissance au niveau du pont RN5 du centre-ville de Réghaia. L'oued a une longueur de 3.7 km jusqu'à la queue de la retenue du

lac Réghaia. Il rencontre deux affluents en rive droite sur son parcours, l'oued Djaafri au kilomètre 1.5 puis l'oued Cité Mourad au kilomètre 1.8. La retenue du Lac est d'environ 2.1 km de longueur. Un affluent en rive gauche, l'oued Barradia, se jette directement dans la retenue du Lac Réghaia. A l'aval du lac, l'oued parcourt encore 1.4 km avant d'atteindre la mer, son exutoire étant généralement partiellement obstrué par un bouchon sableux.

IV.2.1. *Tracé en long*

En appliquant la formule (V.1) de chapitre précédent sachant que la longueur de la ligne de thalweg égale à 3805 et longueur de la ligne de vallée égale à 2714.3

On obtient un coefficient de sinuosité $Sin = 1.4 \geq 1.3$, donc le tracé du cour d'eau est très sinueux.

IV.2.2. *Encombrement du lit et ouvrages*

Le lit de l'oued est relativement resserré sur son premier kilomètre avec des largeurs de l'ordre de 20 à 50 mètres. Puis à la sortie du centre-ville, le lit de l'oued s'élargit (lit entre 50 et 80 mètres) jusqu'à la confluence avec l'oued Djaafri. A l'aval de la confluence avec l'oued Djaafri, le lit est très large (plus de 100 mètres) et ce jusqu'au lac de Réghaia.

L'oued Réghaia croise trois ouvrages principaux (deux ponts) et un passage à gué.

Le premier ouvrage est situé en plein cœur de la ville de Réghaia, à savoir le pont sur la RN5. En amont du pont, la rive droite est protégée par des murs en gabions (Photo 10).



Photo 10 : pont RN5 au centre-ville de Réghaia

à l'aval de la confluence avec l'oued Djaafri, il existe un passage à Gué constitué de cinq (05) buses délabrées de dimensions comprises entre 1500 et 1800 mm et des sections fortement encombrées d'embâcles. A l'amont du passage à gué, le lit est très large et il est colonisé par une dense végétation de type roseau (photo 11).



Photo 11 : passage à Gué

Le dernier ouvrage est le pont sous la RN24, sa section de passage est large. Sous le pont, on constate la présence de seuil en blocs (photo 12).



Photo 12: pont de la RN24

A une centaine de mètre du pont, l'oued se déverse dans un lac, classé patrimoine mondial. Ce dernier constitue aujourd'hui l'unique vestige de l'ancienne Mitidja marécageuse. L'embouchure de l'oued est barrée par un cordon dunaire. A environ 600 m en amont des dunes, une digue retient les eaux de l'oued, favorisant le maintien d'un plan d'eau permanent d'une superficie d'une centaine d'hectares. Le plan d'eau est situé à 4 m au-dessus du niveau de la mer, sa profondeur varie de quelques centimètres à 6 m. Les berges immédiates sont à pente douce à nulle parfois (0 à 3%). Le site s'étend sur plus de 3 km de long (sens Nord-Sud) et plusieurs centaines de mètres de large (photo 13).

Le lac est alimenté en grande partie par l'oued Réghaia qui charrie une quantité importante des eaux usées des agglomérations Est de la commune de Réghaia en plus des rejets de la station d'épuration qui se trouve en amont du lac, et qui reçoit quotidiennement 20000 m³/j des eaux de la zone industrielle Rouïba-Réghaia.



Photo 13 : lac de Réghaia

La présence de divers déchets anthropiques est un phénomène courant à proximité, voire dans le lit de oued : pneus, gravats, bidons d'huile, carcasses d'engin, tas de fumier, etc.

IV.2.3. Etat des berges

Les berges sont de nature argileuse –limoneuse ; très basse de pente faible et peu érodé.

Dans un méandre à l'aval du pont de la RN5, on constate que la berge de l'extrados est érodée alors que l'intrados est occupé par un bac de sables ou de galets (photo 14)



Photo 14: érosion et dépôt du sédiment

IV.2.4. Qualité d'eau

Oued Réghaia reçoit annuellement un volume d'eau usée estimé à 12.6 million m³ par an, il fait transiter tous les effluents provenant des zones industrielles de Rouïba et Réghaia.

IV.2.5. Occupation du sol

Près de 90% du linéaire de chaque rive est occupé par des habitations (photo 15). Il existe des terrains agricoles en aval de l'oued Réghaia et en amont de la confluence avec l'oued Djaafri.



Photo 15 : constructions au bord du lit

IV.3. Causes de sédimentation et envasement du lit

Les principales causes de l'envasement et ensablement du lit sur l'oued de Réghaia sont :

- la présence d'obstacles (seuils, buse, déversoir, ...etc.). Ces ouvrages créent une rétention de matériaux en amont ;
- érosion des berges ;
- de la charge de sédiments que l'écoulement en amont charrie.

IV.4. Causes d'érosion des berges

L'érosion constatée sur les berges de l'oued Réghaia est dû à :

- l'absence de végétation rigide ;
- la présence de collecteur des rejets industriel et domestique, qui se déversent sur les berges ;
- la portion urbaine au bord de lit d'oued est caractérisée par une forte imperméabilisation des sols. Cette multiplication des surfaces où le ruissellement est direct entraîne des variations rapides et intenses du débit et une augmentation notable des débits de pointe. Les risques d'érosion sont donc fortement accrus.

IV.5. Synthèse

L'oued Réghaia présente un lit mineur où l'écoulement de l'eau est diversifié. L'érosion des berges et la présence d'obstacles dans le lit, d'origine anthropique (dépôt de matériaux, des ouvrages mal calés ou abandonnés et non entretenus : buses, seuils,...) ou provoquée indirectement par les activités humaines (chute d'arbres, roseaux) : ont généré des bouchons hydrauliques favorisant l'apparition d'inondations locales, la stagnation de l'eau et le blocage de déchets.

IV.6. Objectifs et enjeux

Le diagnostic met en évidence les enjeux et les objectifs d'aménagement envisagés. Ceux-ci peuvent être multiples. On peut citer :

- Protection des berges contre l'érosion ;
- Restaurer la largeur, la densité et la diversité de la ripisylve sur tout le linéaire d'oued pour bénéficier de tous ces rôles primordiaux. Assurer par la suite un entretien régulier nécessaire à la pérennité des aménagements ;
- Mise en place d'une gestion raisonnée, visant avant tout à évaluer l'impact du maintien ou de l'effacement de chaque ouvrage en fonction de ses rôles particuliers. Les ouvrages dégradés présentant des enjeux forts devront être restaurés rapidement ; Surveillance régulière de tout le parc d'ouvrages, des érosions aux alentours et des embâcles susceptibles de s'y accumuler ;
- La dépollution de l'oued par l'élimination des rejets d'eaux usées existants; et l'assainissement des eaux usées et pluviales des aménagements projetés ;
- L'arrêt de l'urbanisation sauvage et illégale au bord de lit de l'oued.

Chapitre V : Application du modèle numérique Rubar 20 à Oued Réghaia

Le modèle numérique Rubar20 de simulation des écoulements est mis en œuvre afin de définir les débordements d'oued Réghaia, à partir de levés topographiques détaillés:

- Levé photogrammétrique du lit majeur,
- Les profils en travers du lit mineur d'oued Réghaia,
- Les ouvrages (bâtis ; ponts, seuils, ...).

Le modèle hydraulique permet de définir les secteurs inondés pour un événement hydrologique donné, et de quantifier les vitesses d'écoulement et les hauteurs de submersion en tout point de ces secteurs.

V.1 Construction du maillage du calcul

La construction du modèle de calcul se fait en dessinant des lignes directrices, qui sont dans le sens de l'écoulement, et des profils en travers, qui sont en travers de l'écoulement. Chaque croisement entre lignes directrices et profils en travers est renseigné topographiquement, si bien que l'on obtient une représentation de la zone d'étude sous forme d'un maillage. Cette grille, ou maillage, est ensuite densifiée en interpolant d'autres mailles entre celles générées au préalable.

Pour l'obtention du maillage du calcul, il faut tout d'abord une carte topographique de toute la ville ainsi que le cours d'eau. Pour notre étude, nous avons une carte topographique du cours d'eau. Nous avons assemblé la carte topographique de l'oued avec une photo aérienne de la ville de Réghaia tirée de Google earth.

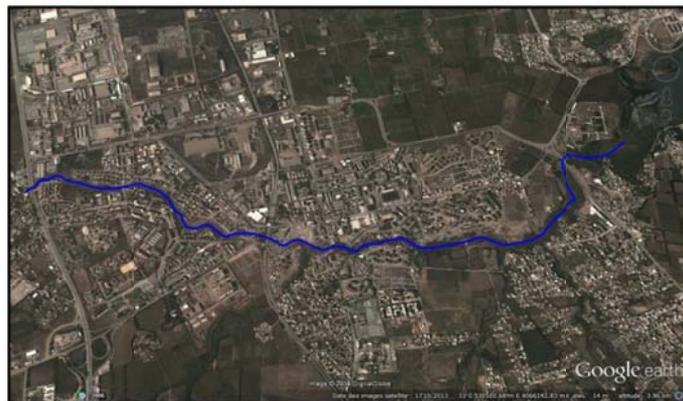


Figure V.1 : photo aérienne de la ville de Réghaia tirée de Google earth

En premier lieu, le travail consiste à caler une Photo de Google Earth de la zone d'étude. Nous avons utilisé le Fudaa-modeleur que l'Irestea a mis à notre disposition, et ce, pour caler la Photo aérienne de la zone d'étude par rapport aux dimensions réelles de la zone, comme le montre la figure suivante :

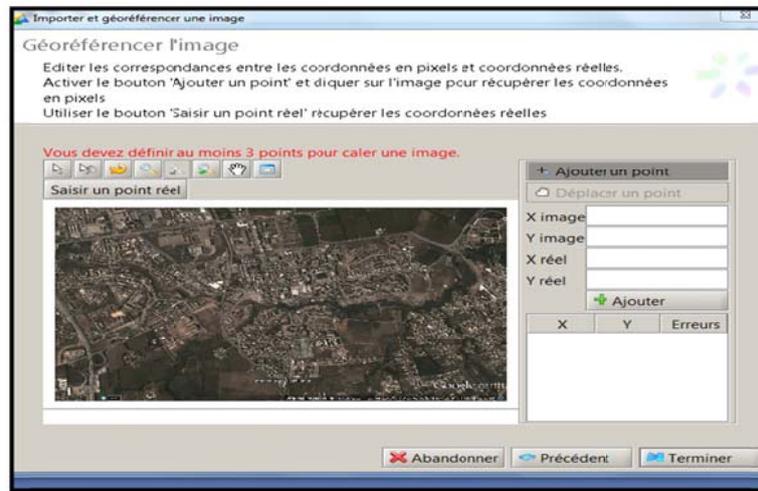


Figure V.2: illustration du calage de la photo de la zone d'étude à l'aide du Fudaa Moduleur.

Après avoir fait le calage de la zone d'étude, nous avons introduit les données altimétriques, en s'appuyant sur le plan topographique fourni par DREW.

La tâche suivante est de tracer des profils en travers de l'oued, le lit mineur ayant été représenté de manière précise, le lit majeur a été représenté de manière à reproduire fidèlement la topographie.

Les figures ci-dessous permettent de visualiser les lignes directrices et profils en travers créés, dans la ville.

Les profils en travers sont dessinés en jaune et les lignes directrices en bleu. La densité des lignes directrices est nécessairement plus importante dans le lit mineur où la description doit être la plus précise possible. Les lits mineurs sont ainsi décrits par au moins 6 lignes directrices : 2 pour chacune des berges et les autres pour le fond.



Figure V.3: implantation des profils en travers et des lignes directrices.

Après avoir tracé les profils en travers et les lignes directrices, on exporte les données sous format *.st (Section en Travers) dans le programme SECMA, dans lequel on fait les interpolations transversales et longitudinales au pas d'espace voulu entre chaque section et chaque ligne directrice.

L'étude est nommée rrr000.st. On lit ce fichier dans le programme SECMA, comme le montre la figure suivante (V.4) :

```

C:\Users\master\Desktop\hhhhmm\secma.exe
<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 FICHIER DE SECTIONS .SI: rrr000.st

NOM DU FICHIER DE SECTIONS DE MAILLAGE EN SORTIE : rrr000
si le fichier a des sections ayant
toutes le meme nombre de points
<fichier de sections de maillage *.n>
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.4: lecture du fichier rrr000.st par SECMA

Avec le programme MCOXIMA, on a créé et généré les fichiers **rrr000.cox**, **rrr000.frx** et **rrr000.ima**. Le fichier avec l'extension **cox** sert à stocker les données relatives à la bathymétrie, tandis que le fichier avec l'extension **frx** stocke les données relatives aux frottements de fond. Le nom des études doit être donné en six lettres.

```

C:\Users\A\Desktop\Nouveau dossier (3)\Nouveau dossier\mcoxima.exe
EN FICHIERS .COX .FRX ET .IMA
VERSION DU 19 mai 2008

NOM DU FICHIER DE SECTIONS DE MAILLAGE : rrrroo
NOMBRE DE SECTIONS      : 203
NOMBRE DE POINTS/SECTION: 91
NOMBRE DE POINTS TOTAL  : 18473
NOMBRE DE MAILLES       : 18188
donnez la précision sur X et Y
en nombre de décimales <0,1,2,3 ou 4>
1
0

NOM DU FICHIER DE POINTS <.COX>: rrrroo.cox
OUVERTURE DE rrrroo.cox
FERMETURE DE rrrroo.cox

NOM DU FICHIER DE POINTS <.FRX>: rrrroo.frx
par défaut, la maille n de chaque section
a comme frottement n
si vous voulez une autre valeur
tapez 1
1
donnez une fois pour toutes les sections
Numero de maille debut
numero de maille fin
frottement correspondant
1
18:50
20
OUVERTURE DE rrrroo.frx
FERMETURE DE rrrroo.frx

NOM DU FICHIER DE MAILLES <.IMA>: rrrroo.ima
donnez votre limite de maille petite
1

```

Figure V.5 : création des trois (03) fichiers par MCOXIMA

Puis, on fait la lecture du fichier **rrrooo.ima** et la création du fichier **rrrooo.mai** par le programme MAIL20 (figure V.6)

```

C:\Users\A\Desktop\Nouveau dossier (3)\Nouveau dossier\mail20.exe
GENERATION DE MAILLAGES POUR RUBAR 20
CEMAGREF VERSION 19/06/2008
DONNEZ LE NOM DE L'ETUDE EN 6 CARACTERES
rrrooo
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
1
COMPTE TENU DE LA LIMITATION A 8 CARACTERES
DES COORDONNEES X ET Y DES NOEUDS
DONNEZ LE NOMBRE DE DECIMALES POUR LE STOCKAGE
DES COORDONNEES DES NOEUDS DANS LE FICHIER .MAI
VOUS DEVEZ GARDER CE MEME NOMBRE
POUR TOUTE LA CHAINE RUBAR 20
VOULEZ VOUS 0, 1, 2, 3 OU 4 DECIMALES POUR X ET Y?
1
VOULEZ-VOUS ?
CREER UN FICHIER .IMA DE MAILLAGE --->0
LIRE UN FICHIER .IMA DE MAILLAGE --->1
DANS TOUS LES CAS, LES FICHIERS .IMA ET .MAI
SI ILS EXISTENT SERONT REMPLACES PAR
UNE NOUVELLE VERSION ECRITE PAR MAIL 20
1
VOULEZ-VOUS RAJOUTER UN QUADRANGLE AU MAILLAGE ?
NON --->0
OUI --->1
0
VOULEZ-VOUS DEPLACER UNE ARETE
OU MODIFIER SON NOMBRE DE NOEUDS ----> 1
VOULEZ-VOUS SUPPRIMER UN QUADRANGLE ----> 2

```

Figure V.6 : création du rrrroo.mai par MAIL20.

Et avec le programme VF2M, nous avons généré le fichier ***.dat** qui contient des valeurs par défauts (figure V.7). Ce fichier est nécessaire au démarrage du Fudaa-Prepro.

```

C:\Users\M_Hadjer\Desktop\ppp\rrrooo\vf2m.exe
DONNEZ LE NOM DE L'ETUDE EN MOINS DE 6 CARACTERES
rrrooo
DONNEZ LE NOMBRE DE DECIMALES SUR <X,Y> <entre 0 et 4>
1
VF2M : LECTURE FICHIER DONNEES ETUDE.MAI
-----
LE NOM DE L'ETUDE EST : rrrroo
-----
MENU D'APPEL DES PROGRAMMES DE SAISIE
-----
CHOIX 1 : GENERATION DE LA STRUCTURE DE DONNEES
CHOIX 2 : SAISIE DU FROTTEMENT
CHOIX 3 : SAISIE DES DONNEES INITIALES
CHOIX 4 : SAISIE DES PARAMETRES DE CALCUL
CHOIX 5 : SAISIE DES OUVRAGES
CHOIX 6 : SAISIE DES APPORTS
CHOIX 7 : SAISIE DES UENIS
CHOIX 8 : SAISIE DES DIFFUSIONS
CHOIX 9 : SAISIE DES POSITIONS DES LIMNIGRAMMES
CHOIX 0 : RETOUR AU SYSTEME
-----
DONNEZ VOTRE CHOIX
ATTENTION : LE FICHIER ETUDE.DAI DOIT EXISTER POUR LE CHOIX 5

```

Figure V.7 : création du rrrroo.dat par VF2M.

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,

Le maillage de calcul de la ville est illustré sur la figure (V.8) :

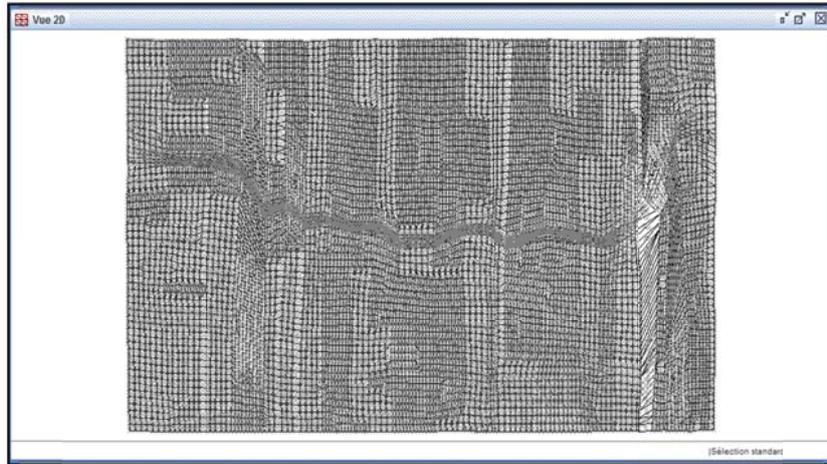


Figure V.8: maillage de la zone d'étude.

La densité du maillage s'intensifie dans le lit mineur, et aux abords de ce dernier, alors que le maillage est générique dans les parties lointaine du lit majeurs.

V.2 Bathymétrie et coefficient de frottement

A chaque nœud de maillage, on doit définir la côte du fond, les données seront stockées dans un fichier (*.COF), en outre le FUDAA.PREPRO permet de modifier les cotes déjà définis dans un fichier (*.COF).

V.2.1 Bathymétrie

La carte ci-dessous permette de visualiser la bathymétrie du modèle et leur maillage

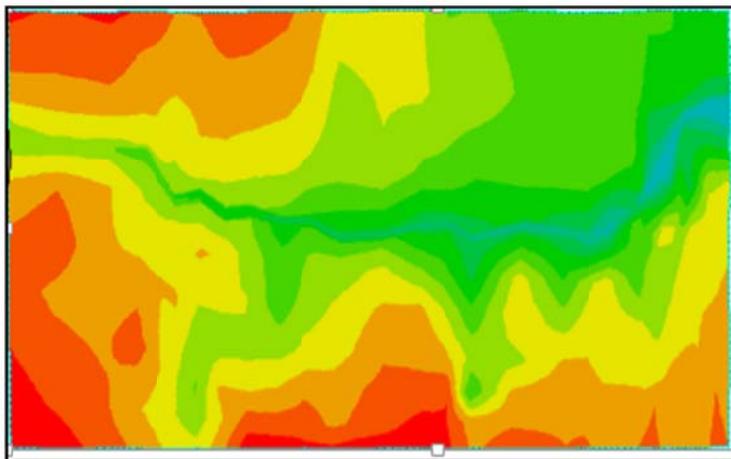


Figure V.9 : Bathymétrie de la zone d'étude.

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, tant 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 de nos 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 qui caractérise la couverture végétale, les voiries...etc. et ce en se basant sur les photos satellites de Google Earth Professionnel. La formule qui prend en considération les différentes caractéristiques du sol, est la formule de Cowan . Cette formule permet d'estimer la valeur du coefficient de Manning n en séparant l'influence des différents facteurs. Elle s'écrit :

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m_5$$

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

- **Coefficient n_0** : c'est le coefficient valable pour un cours d'eau ou un canal rectiligne dont les parois, les berges et le fond sont homogènes et lisses. La valeur de n_0 ne dépend alors que de la nature des parois et peut être prise égale à $n_0 = 0.020$ pour la terre, 0.025 pour le rocher, 0.024 pour le gravier fin et 0.028 pour le gravier grossier.
- **Coefficient n_1** : il traduit l'influence des irrégularités de surface du fond et des parois: on peut adopter les valeurs suivantes :
 - ✓ Parois lisses, comparables aux meilleures surfaces susceptibles d'être obtenues avec le matériau considéré : $n_1 = 0.001$.
 - ✓ Parois comportant de légères irrégularités : $n_1 = 0.005$.
 - ✓ Parois comportant des irrégularités modérées. Ce sera le cas par exemple des canaux peu ou pas dragués, des cours d'eau naturels dont les berges sont modérément érodées ou affaissées : $n_1 = 0.010$.
 - ✓ Parois comportant des irrégularités importantes ; ce sera le cas par exemple des cours d'eau naturels ou des canaux dont les berges sont très marécageuses, érodées ou affaissées, des canaux de contours et de surfaces irrégulièrement taillées dans la pierre $n_1 = 0.020$.
- **Coefficient n_2** : il traduit l'influence des variations de la forme et de dimensions de la section mouillée.
 - ✓ Pour une section présentant une variation progressive : $n_2 = 0$.
 - ✓ Pour une section présentant des variations alternées occasionnelles (alternance des grandes et petites sections, déplacement du courant principal d'une rive à l'autre résultant des variations de forme) : $n_2 = 0.005$.

- ✓ Pour une section présentant des variations alternées fréquentes : $n_2 = 0.010$ à 0.015 .
- **Coefficient n_3** : il 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 notamment jusqu'à quel point les obstructions réduisent la surface moyenne de la section mouillée, la forme de ces obstructions (les obstacles anguleux provoquent une turbulence plus grande que ceux dont les formes sont arrondies et les surfaces polies), la position et l'espacement des obstructions dans le sens transversal et dans le sens longitudinal dans le bief considéré. Compte tenu de ces remarques, on peut adopter pour le coefficient n_3 les valeurs suivantes :

- ✓ Obstructions négligeables : $n_3 = 0$;
- ✓ Obstructions faibles : $n_3 = 0.010$ à 0.020 ;
- ✓ Obstructions appréciables: $n_3 = 0.030$ à 0.040 ;
- ✓ Obstructions importantes : $n_3 = 0.060$;
- **Coefficient n_4** : il traduit l'influence de la *végétation*.
 - ✓ *Végétation de faible importance* : pousses denses d'herbes flexibles (gazon) dont la hauteur moyenne est de l'ordre de la moitié ou du tiers de la profondeur (par exemple l'herbe bleue ou Bermuda), jeunes plantations arbustives souples (saule, tamaris) dont la hauteur moyenne est de l'ordre du tiers ou du quart de la profondeur : $n_4 = 0.005$ à **0.010** .
 - ✓ *Végétation modérée* : herbes dont la hauteur moyenne est de l'ordre de la "moitié de la profondeur, herbes résistantes ou jeunes plantations arbustives à feuillage peu épais dont la hauteur moyenne est de l'ordre du tiers à la moitié de la profondeur ; buissons peu denses (saules de un à deux ans) en hiver le long des berges, sans végétation importante dans le lit du cours d'eau dont le rayon hydraulique est supérieur à $0,70$ m : $n_4 = 0.010$ à **0.025** .
 - ✓ *Végétation importante* : herbes dont la hauteur moyenne est de l'ordre de la profondeur : arbres de 8 à 10 ans entre mêles de quelques buissons sans feuillage en hiver, pour des cours d'eau dont le rayon hydraulique est supérieur à $0,70$ m ; en période végétative, arbres tels que des saules touffus de un an, entremêles d'herbes très développées sur les berges, sans végétation notable dans le lit du cours d'eau dont le rayon hydraulique est supérieur à 0.70 m : $n_4 = 0.025$ à **0.050** .
 - ✓ *Végétation très importante* : herbes dont la hauteur moyenne dépasse le double de la profondeur ; en période végétative, présence de saules de un an touffus, entre mêles d'herbes en pleine croissance sur les berges, ou pousses denses de roseaux au fond du lit du cours d'eau dont le rayon hydraulique reste partout inférieur de 3 à 5 m ; en

période végétative, présence d'arbres entre mêles d'herbes et de buissons très feuillus, le rayon hydraulique restant partout inférieur de 3 à 5 m : $n_4 = 0.050$ à 0.10 .

- **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 considère.

L'influence des méandres est dite modérée pour des rapports de l'ordre de 1 à 1.2 : $m_5 = 1$.

Cette influence est dite appréciable pour des rapports de l'ordre de 1.2 à 1.5 et on prendra $m_5 = 1.15$.

L'influence est importante pour des rapports supérieurs à 1.5 : $m_5 = 1.3$.

Les frottements de l'eau sur le sol sont représentés par des 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. A fin que la présentation du modèle soit complète, les résultats sont présentés ci-dessous.

Les coefficients de Strickler retenus sont les suivants :

- 10 dans le lit majeur en zone naturelle,
- 25 dans le lit mineur en zone naturelle,
- 30 dans les zones urbanisées (lit mineur comme lit majeur).

Le choix d'une valeur plus élevée qu'en zone naturelle permet de prendre en compte la présence de surfaces bétonnées, plus propices à l'écoulement, sur les berges du lit mineur et dans le lit majeur. Le méandrement du cours d'eau et la présence du bâti en bord de rivière sont pris en compte par la topographie et la sinuosité du tracé.

V.3 Conclusion

Après avoir terminé la construction des données d'entrée nécessaires au post- processeur de notre programme 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 Réghaia

La simulation de la crue centennale permet de spatialiser le débit de pointe en tout point du cours d'eau et de délimiter les zones submergées par les eaux des crues dans l'état actuel du cours d'eau.

VI.1 Méthodologie de la simulation de la crue centennale

Après la construction du modèle d'étude dans le chapitre précédent, qui consistait à établir le modèle numérique d'altitude de la commune de Réghaia, et de définir les coefficients de frottements en chaque maille. On va étudier l'inondabilité de cette zone à l'aide de simulation numérique en faisant tourner le programme de calcul RUBAR 20. L'objectif de la simulation numérique est de restituer une crue centennale, et de définir ainsi le champ de vitesses et les hauteurs d'eau en chaque maille, dans le lit de l'oued et dans de la zone d'étude.

VI.1.1. Les conditions aux limites

La stratégie consiste en premier lieu à définir les conditions aux limites. Ces dernières sont fixées sur les arêtes extérieures du maillage. Le programme TRARETE de RUBAR 20 permet de définir les conditions aux limites pour les arêtes rentrantes ou sortantes. Le passage dans ce programme ne peut être omis que si on définit les conditions aux limites dans Fudaa-Prepro ou si toutes les frontières extérieures sont imperméables. Les conditions aux limites ont été définies dans Fudaa-Prepro.

L'application correcte des conditions aux limites est une nécessité incontestable afin d'obtenir des solutions précises des équations différentielles aux dérivées partielles.

L'hydraulicité du cours d'eau et des quartiers de la ville est extrêmement complexe du fait que le régime d'écoulement est torrentiel dans la majeure partie de l'oued et dans les quartiers de la ville, mais fluvial dans d'autres parties. Cela nécessite une connaissance parfaite du mécanisme d'écoulement dans la ville et des sections qui contrôlent son hydraulicité. Donc nous avons décidé d'appliquer des conditions aux limites pour tout le maillage de la ville. En régime torrentiel, les conditions sont les suivantes :

- Débit d'eau calculé à l'entrée de la ville, plus la hauteur d'eau. Le débit est composé d'un débit normal et d'un débit tangentiel, mais comme les arêtes sont perpendiculaires à la direction de l'écoulement, ce dernier est considéré comme étant nul.
- Sortie libre pour les arêtes externes, du fait que le régime soit torrentiel (aucune loi n'est imposée).

Pour ce qui est de l'hydrogramme appliqué aux arrêtes limites entrantes, nous avons pris tout l'hydrogramme de crue pour calculer l'étendue maximum de l'inondation (Figure VI.1). On a aussi introduit l'hydrogramme des cotes d'eau à l'entrée de la ville (Figure VI.2).

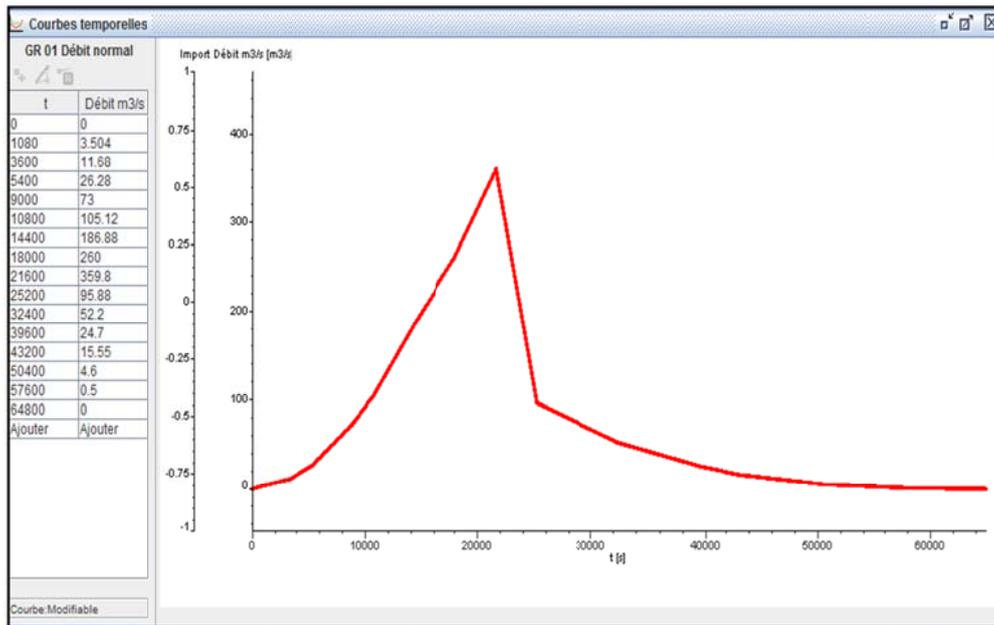


Figure VI.1: hydrogramme de crue à l'entrée de la zone d'étude.

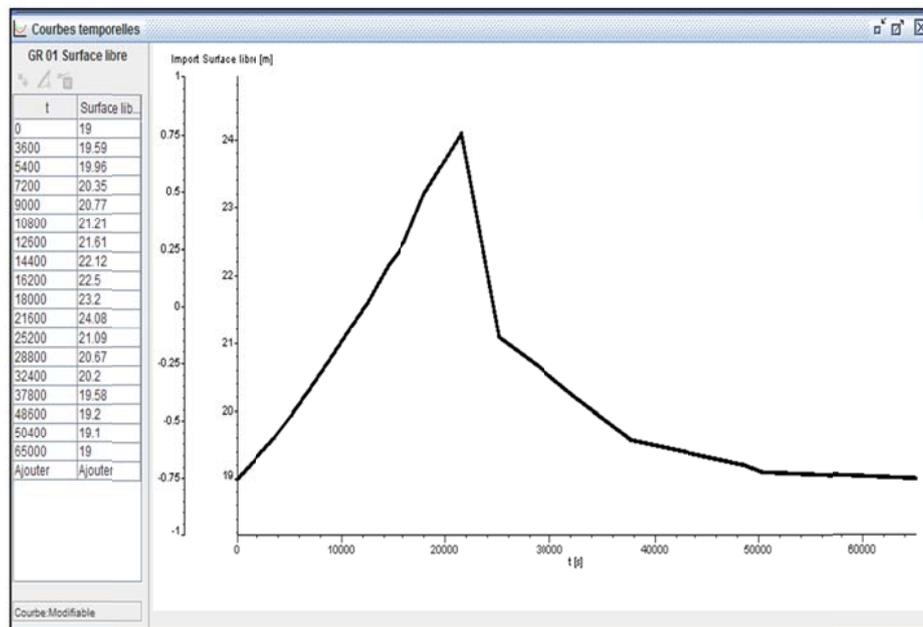


Figure VI.2 : Hydrogramme des cotes d'eau à l'entrée de la zone d'étude.

VI.1.2 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. Les conditions initiales sont sur les vitesses U, V, et la hauteur d'eau H, ou bien le débit Q_x et Q_y et la hauteur d'eau H. Dans notre étude, nous avons supposé que le débit dans l'oued est nul, d'où la hauteur de l'eau est nulle.

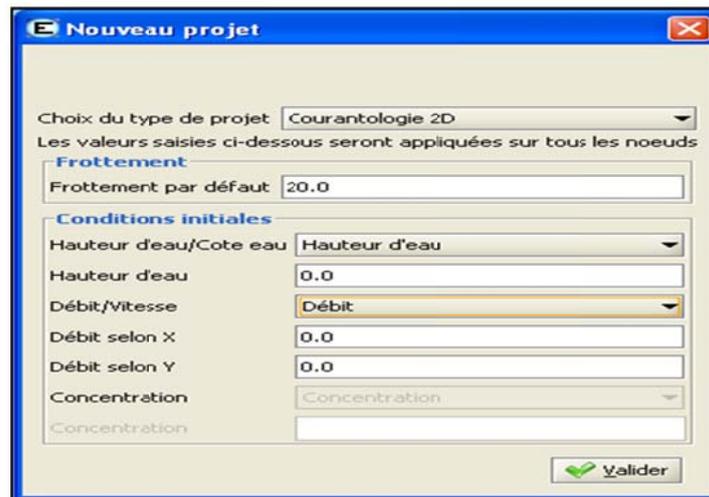


Figure VI.3 : édition des conditions initiale

VI.1.3 Paramètres de calculs

Le noyau du code de calcul RUBAR20 est performant (son efficacité a été prouvé dans de nombreuses études d'inondations). Cependant pour chaque étude, il nécessite un choix judicieux de certains paramètres. En effet, ce code s'appuie sur des données à caractère physique et hydraulique telles que les coefficients de frottements, de viscosité turbulente, et d'autre à caractère numérique telles que le choix du schéma numérique, et le nombre de courant.

Les principaux paramètres de calculs sont :

- Temps de début de simulation (en secondes) égal à 0 ;
- Temps de fin de simulation est égal au temps de tout l'hydrogramme de crue;
- Pas de temps de calcul est égale à 5 secondes : le pas de temps est conservé pendant toute la simulation si l'option de calcul à un nombre de Courant constant n'a pas été choisie, sinon pas de temps initial ;
- IREP =1 en cas de reprise d'un calcul (après une ou plusieurs simulations) précisée par un temps et une ligne d'eau lue dans un fichier TPS. Les fichiers TPS et ENV précédents sont relus. Si IREP = 0 (par défaut), le fichier CIN sert de condition initiale.

-
- ICFL = 1 si le calcul à nombre de Courant constant est demandé (= 0 si pas de temps constant);
 - CFL est la valeur du nombre de Courant à ne pas dépasser (condition de Courant Friedrich Levy pour les schémas explicites). Cette valeur ne doit pas dépasser 1 (0.5 : valeur par défaut).
 - ISCHEM est le type de schéma numérique qui vaut 1 pour Van Leer d'ordre 1 en temps et 2 pour Van Leer d'ordre 2 en temps et en espace. Cette dernière est la valeur permettant plus de précision et choisie par défaut.
 - ALPHA : c'est la valeur de correction de pente pour les schémas de Van Leer, valeur comprise entre 0.5 et 1, elle est prise à 0.6 par défaut. Une valeur proche de 1 rend le schéma instable en cas de front mais donne plus de précision.
 - IOFR : 1 correspond par la définition du frottement (fond et paroi) aux Strickler.
 - DTR : pas de temps de sauvegarde des lignes d'eau dans le fichier TPS (utilise aussi pour la sauvegarde dans le fichier ENV et l'écriture dans OUT); le temps est compte depuis le début de chaque simulation. On prend une valeur de 50 s pour éviter de stocker des fichiers volumineux.
 - PARAY : précision sur les hauteurs et, en particulier, hauteur minimale en-dessous de laquelle la hauteur est considérée comme nulle (10^{-4} m par défaut). Pour bien prendre en compte les apports de pluie, cette valeur doit être baissée à 10^{-10} m. Mais comme on néglige l'apport de la pluie, cette valeur est fixée à 0.5.
 - g : accélération de la pesanteur égale à 9.81 m/s².
 - CVI est la constante de viscosité (ou diffusion) qui est supposée identique dans les deux directions, elle est égale à 1 pour prendre en considération la turbulence.
 - FRO : coefficient de frottement à la paroi qui est égale à 1 si construction y on a, sinon c'est égale à zéro.
 - FVIX, FVIY: sont les vitesses du vent (en m/s) selon les directions O_x et O_y (0 par défaut).

VI.1.4 Représentations des bâtis et des ouvrages

La représentation des bâtis est une tâche compliquée. Il existe différentes manières de représenter les bâtiments dans le maillage, outre l'utilisation de certains utilitaires pour la création des maillages aux intersections. Il peut être pratique de bâtir le fichier de sections en tenant compte, à priori, des bâtiments. Si on dispose d'un fichier de bâtiments au format cn (ou cote naturel, chaque ligne fermée correspondant à un bâtiment), le programme LECECRSTBAT permettra de bâtir un fichier de sections contenant tous les points des bâtiments (la correspondance entre les deux fichiers étant effectuée par l'utilisateur soit par le clavier soit par lecture d'un fichier). On pourra ensuite compléter le fichier de sections,

interpoler à l'aide de SECMA et modifier les altitudes (utilitaire MODIFM) pour que les sections correspondent à l'altitude du terrain naturel (cas où on souhaite entrer les murs des bâtiments en tant qu'ouvrages).

Lorsque le fichier DAT du maillage final est fait, la lecture du même fichier nom.cn (cote naturel) de bâtiments par le Programme ECRMUR permettra de construire le fichier OUV contenant les murs des bâtiments soit comme murs imperméables, soit comme déversoirs dont la cote de déversement sera l'altitude incluse dans le fichier cn. Le fichier OUV pourra ensuite être complet.

VI.2 Résultats de calcul

Après avoir lancé le calcul sous le préprocesseur Fudaa-Prepro, nous avons obtenu de nombreux résultats à savoir : hauteur d'eau, débit, vitesse d'écoulement, ... etc.

La simulation a été faite pour un temps de calcul de 70000 s (qui représente la durée de la crue), avec un pas de temps égal à 5s. Les résultats sont visualisés sous forme d'animation dans le temps de la variation de hauteur d'eau dans le cours d'eau. Nous voyons ainsi comment l'onde de crue se propage sur le domaine considéré.

VI.2.1. Résultats sur les hauteurs d'eau

Au pic de crue à l'instant 21600 s soient 6 heures et demie après le début de la simulation, on observe que le niveau d'eau a atteint 5 mètre de hauteur au niveau du lit et plusieurs endroit ont été inondés dont l'étendue de la crue a atteint 80 mètre de longueur (figure VI.4).

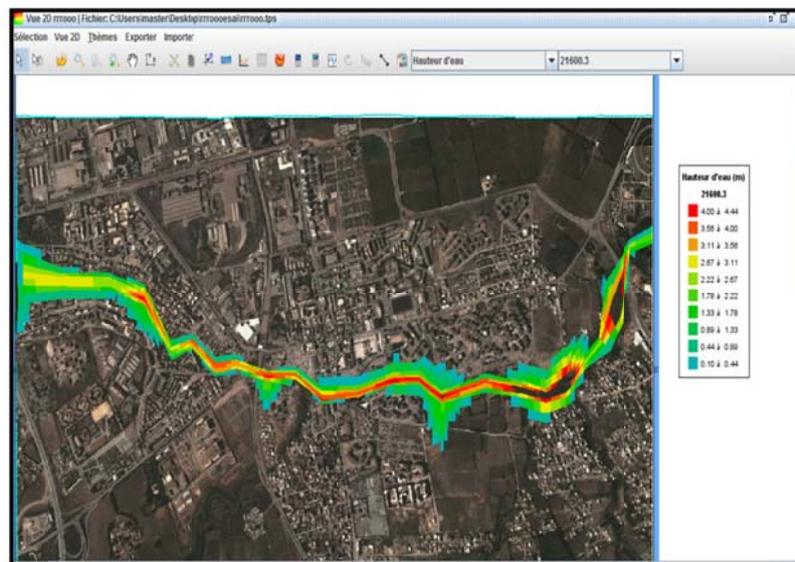


Figure VI.4 : Hauteur d'eau pour $t = 21600.3s$

VI.2.3. Interprétions des résultats

Les résultats de simulation de crue qui sont illustrés dans les figures présentés ci-dessus nous a permis de constater l'évolution de l'écoulement dans l'oued de Réghaia.

On remarque que la hauteur d'eau varie à chaque tronçon et dépend des profils en travers autrement dit du levé topographique. Ce dernier est limité par les rives droites et gauche de l'Oued. La hauteur augmente à la présence des ouvrages et atteint 6 m de hauteur.

On remarque aussi des débordements de cours d'eau qui provoque l'inondation de différentes zones. L'étendue de la crue va jusqu'à 100 mètre de large.

Les différentes zones inondables sont illustrées dans la figure VI.5



Figure VI.5 : les différents zones inondables à $t=21600$ s

Zone 1 : au niveau du pont autoroute le cours d'eau déborde à l'entrée du dalot pour entrainer un écoulement sur l'autoroute. La hauteur d'eau dans la rue atteint 40 à 50 cm, à l'aval du pont le cours d'eau inonde quelques habitations.

Zone 2 : A l'aval du pont d'Aissat Mustapha les débordements du cours d'eau en lieu sur les rive gauche qui s'étend sur 50 mètre de large et affecte quelques bâtis .ces débordement sont dû au fort rétrécissement du lit mineur.

Zone 3 : Les habitations précaires situées à l'aval du pont du pont du marché en rive gauche de l'oued sont exposées aux inondations car ces habitations sont trop proches du cours d'eau.

Zone 4 : à l'aval du centre-ville de Réghaia le cours d'eau déborde et vient noyer les terrains plats situés en rive gauche sur une largeur d'environ 100 mètre et inonde des habitations situées en rive droite.

Zone 5 : Après la confluence avec l'oued Djaafri, le fond du lit est relativement proche de terrain naturel qui a provoqué des inondations des terrains agricoles en rive droite, et des bâtis qui se situent en rive gauches, La crue s'étend jusqu'à 80 mètre de large.

VI.3 Conclusions

La modélisation de la crue centennale a montré la spatialisation de la zone inondable et les effets dévastateurs de cette instabilité du lit de l'oued Réghaia : ses débordements peuvent s'étendre de vingt à cent mètres par envahissement des plaines, maisons et cultures.

Chapitre VII : Aménagement de l'oued Réghaia

Le présent chapitre est consacré à l'aménagement de l'oued Réghaia. On a pour objectif, la restauration de la qualité des eaux de l'oued, établir un écoulement régulier et rationnel pendant la crue et la protection contre les inondations. Cela concerne l'ensemble des interventions sur le lit, les berges, la ripisylve et les annexes fluviales nécessaires au fonctionnement physique et écologique du cours d'eau.

VII.1 Divers types d'aménagement

VII.1.1 Calibrage

Le calibrage d'un cours d'eau consiste à lui donner une nouvelle section pour répondre à de nouveaux besoins en débits d'eaux de ruissellement ou en évacuation des eaux de drainage souterrain. Les sections trapézoïdales sont en général les plus populaires lors de la réfection des cours d'eau.

Un calibrage est un terrassement pour élargir le lit de la rivière et/ou l'approfondir. Ce travail peut s'accompagner d'une rectification de tracé pour augmenter la pente, souvent il s'accompagne aussi d'enlèvement de la végétation.

VII.1.2 Construction des digues fluviales

Les endiguements parallèles aux cours d'eau sont une technique classique pour mettre en place les parcelles riveraines hors d'eau. Ils consistent, surtout en zone rurale, en l'édification de levées de terre compactée. Les techniques de mise en œuvre sont les mêmes que pour très petits barrages. La terre utilisée doit être étanche, elle est mise en place par couches compactées de 30 à 50 cm. La largeur en crête doit être supérieure à 3 m pour permettre la circulation d'un engin d'entretien. Les pentes amont et aval doivent assurer la stabilité au glissement, ce qui conduit à des valeurs maximales de l'ordre 1/2. Dans le cas des digues importantes, il est conseillé de drainer le talus aval, comme pour un véritable barrage.

[Degoutte , 2006]

VII.1.3 Nettoyage du lit ordinaire

Un simple nettoyage du lit ordinaire (enlèvement des embâcles et obstacles divers, arasement renouvelé ou arrachage de la végétation dans le lit mineur et sur les berges) peut permettre un meilleur écoulement des débits avant débordement. Il conviendra, toutefois, se souvenir que la vitesse s'accroîtra dans la même proportion que le coefficient K_s de Strickler, d'où un risque de reprise d'érosion qui peut être spectaculaire.

L'arrachement de matériaux peut aussi conduire à de nouveaux encombrements à l'aval, créant localement des conditions défavorables mais pouvant, également, annihiler les gains

escomptés en amont. Dans les cas où de tels risques sont potentiels, il conviendra donc de limiter les nettoyages. Dans certains cas, il pourra être envisagé l'implantation de seuils en complément, afin de diminuer la pente et, par suite, de réduire les vitesses.

Il convient aussi, avant toute intervention de suppression d'obstacle ou de végétation, de se poser la question de 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. La suppression totale des arbres en rive peut, également, entraîner une sorte d'explosion végétale sur les berges et dans le lit ordinaire : en effet, la mise en lumière provoque la prolifération rapide d'herbes aquatiques dressées et de broussailles qui obstruent à nouveau le lit [Abèle ; Degardin 2001]

VII.1.3 Protection des berges

Pour protéger l'érosion, il faut donc s'opposer au mécanisme en interposant un écran entre la berge et l'eau. On peut distinguer les trois types de techniques de protection de berges qui sont les suivants :

VII.1.3.1 Les techniques végétales de protections des berges

Les techniques en génie végétal comme par exemple les fascines d'hélophytes ou le tressage, qui sont des techniques utilisant des végétaux vivants entiers ou parties. Ces techniques reposent sur l'aptitude des plantes utilisées à se multiplier, à fixer le sol par le développement de leur système racinaire et à dissiper l'énergie hydraulique par perte de charge au sein des textures végétales. Elles sont à privilégier dans les secteurs où les contraintes hydrauliques sont modérées et où les disponibilités foncières en crête de talus externe permettent un retalutage en pente douce ;

VII.1.3.2 Matériaux granulaire pour protéger les berges

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

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

- la souplesse vis-à-vis des déformations du sol ou des affouillements ;
- la capacité de drainage ;
- la possibilité d'être posé aussi bien à sec que dans l'eau

i. Enrochement

L'utilisation de cailloux, de roches et plus récemment de roc concassé s'est montrée une solution intéressante pour protéger les cours d'eau et les canaux de l'érosion et réaliser certaines structures hydrauliques. Les roches et les cailloux sont des matériaux souvent disponibles et accessibles près de plusieurs chantiers. Pour être efficace, leur utilisation dans

des projets d'hydraulique nécessite une bonne connaissance de leurs propriétés et des lois de l'hydraulique.

Les roches, les cailloux ou la pierre concassée peuvent être utilisés pour protéger le fond des cours d'eau, leurs talus et construire des barrages et des seuils dissipateurs d'énergie.

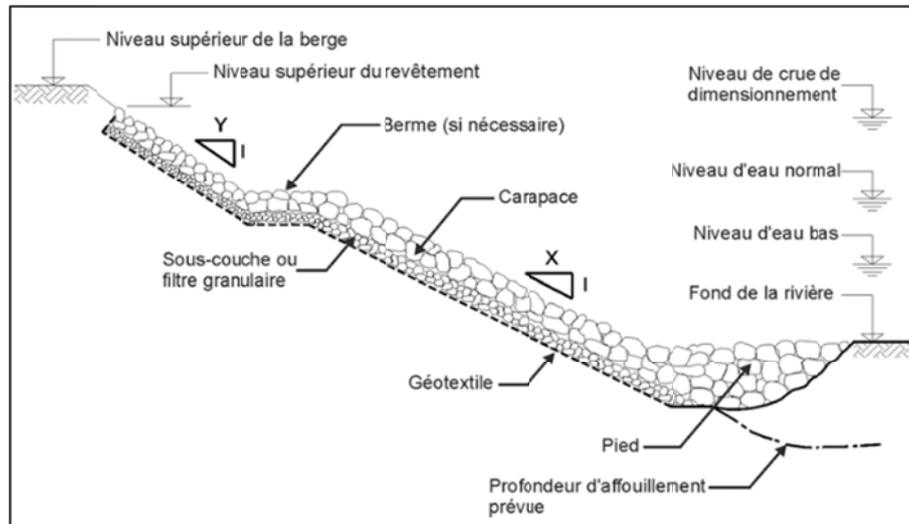


Figure VII.1 : Éléments constitutifs d'un revêtement en enrochement classique

ii. Les blocs préfabriqués en béton

Les blocs préfabriqués en béton sont de dimension décimétrique .leur faible poids est compensé par des liaisons en fils métalliques ou par des procédés d'imbrication ou d'auto-blocage .ils conviennent plutôt pour aménager des plages à faible pente sur des rivières ou des lac .certains procédés utilisent des blocs possédant des alvéoles permettant le remplissage par la terre végétale.

iii. Gabion

Les gabions sous forme de boîtes servent principalement aux murs de soutènement et aux épis, tandis que les matelas de gabion sont utilisés pour réaliser les revêtements et les protections anti-affouillement.

Les gabions peuvent être utilisés pour plusieurs types d'ouvrages, ou ils combinent les fonctions de protection contre l'érosion et de soutènements. les gabion et les matelas sont adaptés aux ouvrages hydrauliques et doivent être conçus pour résister aux actions hydrauliques (vitesse de l'écoulement et hauteur des vagues , notamment) en règle générale, ils sont utilisables pour des vitesse du courant allant jusqu'à 6m/s et des hauteurs de vagues jusqu'à 1.5 m. Lorsque les gabions risquent d'être exposés à des conditions très abrasive (graviers ou galets charriés par un écoulement rapide), la surface supérieures des gabions doit être protégée par un revêtement de béton ou de bitume.

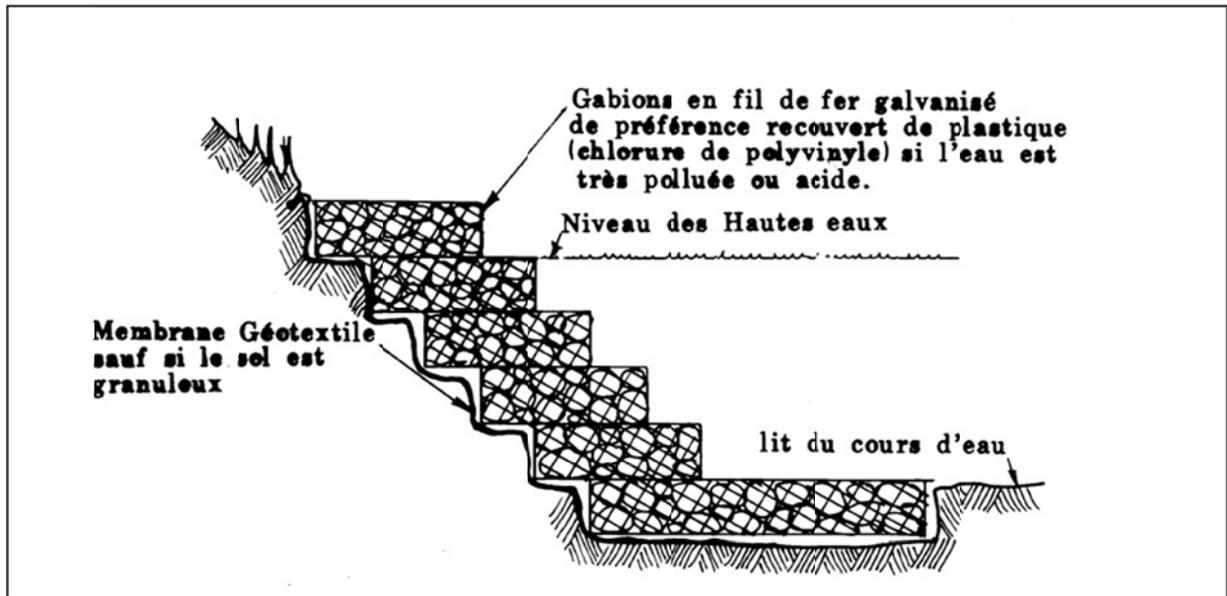


Figure VII.2 : Éléments constitutifs d'un revêtement en gabion

VI.1.3.3 Les épis

Les épis constituent une solution adaptée dans le cas des rivières navigables, ils servent alors à délimiter le chenal de navigation. Ils sont construits dans des rivières relativement peu profondes afin de maintenir, pour un large panel de débits (faible débit, notamment), un chenal étroit et profond. Ces ouvrages sont relativement longs par rapport à leur emplacement et à la largeur totale de la rivière à plein bords.

Les épis ont parfois plusieurs fonctions :

- Stabiliser le bras de rivières pour maintenir le chenal à faible hauteur d'eau dans une position favorable
- Resserrer le chenal à faible hauteur pour augmenter sa profondeur
- Protéger les berges en éloignant l'écoulement principal. Les vitesses du courant près des berges sont généralement réduites à moins 50% de leur valeur initiale.

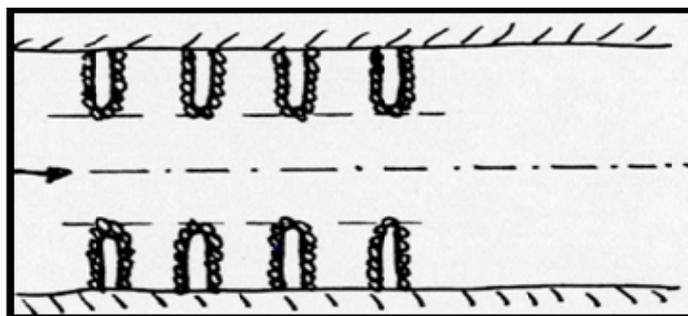


Figure VII.4 : schéma des épis

VII.2 Dimensionnement et conception des ouvrages d'aménagements

VII.2.1 Dimensionnement des enrochements pour la protection des berges

La conception et le dimensionnement des enrochements nécessitent au préalable de rechercher la valeur de vitesse moyenne du courant à prendre en compte. Cela nécessite des données sur la hauteur d'eau, le débit et la section mouillée.

Diverses méthodes existent pour en déduire les caractéristiques d'un enrochement stable son diamètre moyen équivalent D_{50} .

Formule d'ISBASH

La formule d'ISBASH est relative à la vitesse V maximale de l'écoulement.

$$D_{50} = \frac{b}{\lambda} \times \frac{\gamma_e}{\gamma_s - \gamma_e} \times \frac{U^2}{2g} \quad (\text{VII.1})$$

Avec U : vitesse au voisinage du revêtement qui peut être largement supérieure à la vitesse moyenne (V) dans la section. Si cette vitesse n'est pas connue, il est possible, en première approximation, de prendre la vitesse indiquée dans le tableau. Le coude est assimilé à un arc d'anneau circulaire dont on considère l'angle au centre, le rayon de courbure de l'arc de ρ cercle extérieur et la largeur du fond (L).

Tronçon rectiligne	$U / V = 1$
Angle de 25° ou supérieure et $\rho / L > 6.7$	$U / V = 1.1$
Angle de 45° ou supérieure et $\rho / L < 4.7$	$U / V = 1.4$

γ_s : Poids volumique spécifique des grains, il est souvent de l'ordre 26 KN/m^3 ou 27 KN/m^3

γ_e : Poids volumique de l'eau. il est égale 10 KN/m^3

$b = 1.4$ pour les courants naturels à forte turbulence

$b = 0.7$ pour les courants naturels en régime uniforme

λ : Correction apportée par LAINE dans le cas de mise en œuvre sur un talus :

$$\lambda = \cos \alpha \sqrt{1 - \frac{\text{tg}^2 \alpha}{\text{tg}^2 \phi}} \quad (\text{VII.2})$$

α : Angle du talus avec l'horizontale

ϕ : Angle d'équilibre des blocs. Il est compris entre 37° et 45°. En général, il est proche de 40°, plutôt inférieur si les blocs sont très arrondis et plutôt supérieur si les blocs sont très anguleux.

Pour permettre une meilleure imbrication des blocs, on adoptera une granularité étalée. Par exemple : $d_{\min} > 0,7 \times d$; $d_{50} \geq d$; $d_{\max} < 2 \times d$

L'épaisseur de la protection plus au moins égale à 50 cm pour des raisons pratiques de mise en œuvre. Elle est au moins égale à la taille des plus gros blocs. afin d'éviter les protubérances qui engendraient de turbulence gainant pour la stabilité [Dégoutte, 2006].

VII.2.2 Dimensionnement des gabions pour la protection des berges

Dans un matelas Reno ou un gabion, la présence du grillage qui tend à s'opposer au début des déplacements, augmente la vitesse de 20 à 50%.

Pour éviter les déformations excessives, il faut faire en sorte à ne pas dépasser la vitesse admissible pour le matelas ou le gabion (tableau VII-1) [Dégoutte, 2006].

Tableau VII-1 : Détermination rapide de la granulométrie des matériaux de remplissage et de l'épaisseur de revêtement en fonction de la vitesse d'écoulement

Type	Epaisseur (m)	Diamètre de pierres de remplissage d_{50} (mm)	Vitesse limite (m/s)	Vitesse admissible (m/s)
matelas Reno	0.15-0.17	85	3.5	4.2
		110	4.2	4.5
	0.23-0.25	85	3.6	5.5
		110	4.5	6.1
	0.3	110	4.2	5.5
		125	5.0	6.4
Gabion	0.50	150	5.8	7.6
		190	6.4	8.0

VII.2 .3 Dimensionnement des canaux de calibrage

Tous les canaux doivent être soigneusement conçus de façon à avoir la capacité de débit de projet. Or, la conception d'un canal repose sur l'application de formules mettant en rapport sa capacité de débit, son profil, sa pente et la rugosité de ses parois. La relation de Manning est la formule la plus couramment employée:

$$Q = K_s \times S \times R^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \quad (\text{VII .3})$$

Avec , K_s : coefficient de Strickler égal à $1/n$ où n est coefficient de rugosité des parois du canal ($m^{1/3}/s$); Q : Débit de projet ; S : section de l'écoulement ; R : rayon hydraulique ($R=S/P$, où P est le périmètre mouillé); i : pente du radier (en écoulement uniforme).

Les valeurs de K_s sont données par le tableau VII.1 suivant pour les canaux artificiels et naturel.

Tableau VII-2: Coefficient de Strickler pour divers types de canaux.

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 berges 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

VII.2 .3 .1 Choix de la pente des parois latérales d'un canal trapézoïdal

Etant donné que la section choisie pour notre cours d'eau est trapézoïdal, il est indispensable de déterminer les pentes des parois.

La valeur qu'il convient de choisir pour la pente des parois latérales d'un canal de terre de section trapézoïdale dépend du type de sol dans lequel les parois sont creusées (tableau VII.3). La pente des parois peut être d'autant plus importante que le matériau du sol est plus stable. S'il s'agit d'un canal à revêtement d'étanchéité, la pente des parois est également fonction du type de revêtement employé.

Tableau VII-3 : Pente des parois latérales de canaux trapézoïdaux creusés dans divers types de sols

Type de sol ou revêtement	Pente des parois latérale inférieure ou égale à	
Sable, argile humide	3 :1	18°20'
Terre meuble, limon, sable limoneux, limon sable	2 :1	26°30'
Terre ordinaire, argile molle, limon, limon graveleux, limon argileux, gravier	1.5 :1	33°40'
Terre ou argile raide	1 :1	45°00'
Hardpan, sol alluvial, gravier ferme, terre compactée dure	0.5 :1	63°00'
Revêtement de pierre, béton coulé sur place, bloc en béton	1 :1	45°00'
Film plastique enterré	2.5 :1	22°30'

VII.2 .3 .2 Choix de la pente du fond d'un canal

La pente longitudinale du fond des canaux de terre dépend de caractéristiques topographiques suivantes :

- en terrains très plats, la pente du fond peut être réduite à zéro (canal horizontal) ou tout au plus maintenue à une valeur minimale de 0.05 % ;
- en terrains plus accidentés, la pente du fond devrait être limitée à une valeur comprise entre 0.1 et 0.2 %, afin d'éviter un écoulement trop rapide de l'eau dans les canaux et l'érosion de leurs parois.

Si nécessaire, le niveau du fond du canal peut être diminué par la construction de seuils dans le canal.

Dans le cas de canaux à revêtement d'étanchéité de briques ou de béton par exemple, la pente du fond peut être plus forte, compte tenu du risque d'érosion moins important.

VII.2.4 Dimensionnement les l'ouvrage de franchissement

Suite au calcul du débit d'apport du bassin versant, on retient un débit de projet pour dimensionner l'ouvrage hydraulique de franchissement.

Il s'agit alors de déterminer l'ouvrage hydraulique et la hauteur d'eau amont associée (H_{AM}) permettant de rétablir l'écoulement naturel au travers du remblai ainsi que la mise en place des dispositifs de protections nécessaires en tenant compte des éléments suivants :

VII.2.4.1 Données géométriques du terrain à proximité du franchissement

Il est nécessaire de présenter un profil en long (figure VII.4) et un profil en travers du cours d'eau au droit du franchissement assimilé à un trapèze (figure VII.4), et de définir les coefficients de rugosité des parois, les pentes des talus, la pente actuelle de cours d'eau et fixer les cotes des niveau amont admissible ce qui présente la limite de débordement.

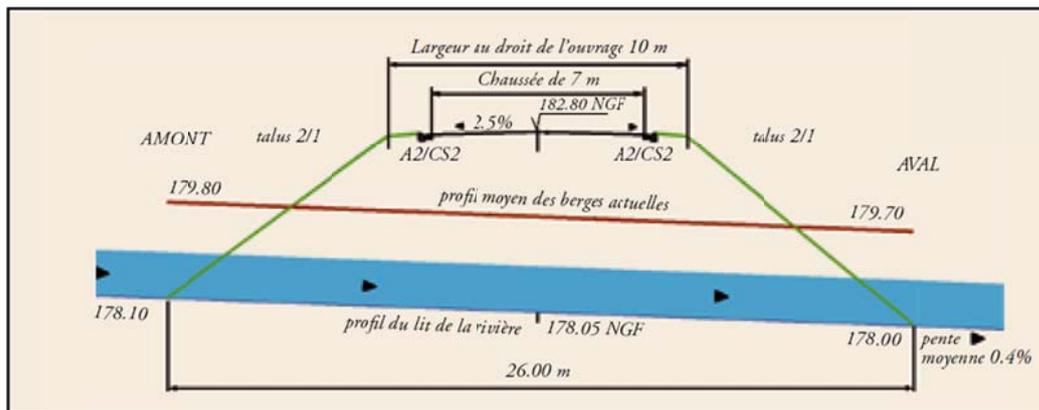


Figure VII.4: exemple de profil en long du cours d'eau au droit du franchissement

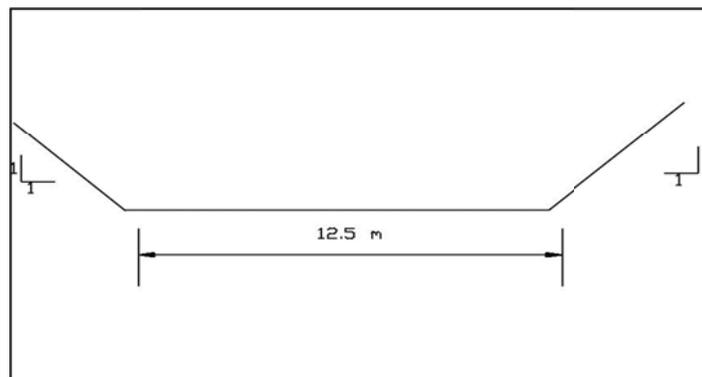


Figure VII.5 : profil en travers du cours d'eau au droit -du franchissement assimilé à un trapèze.

VII.2.4.2 Régime de l'écoulement à l'aval de l'ouvrage hydraulique

Dans un premier temps, il s'agit de définir le régime d'écoulement du cours d'eau à l'aval de l'ouvrage hydraulique.

i. **Détermination de la hauteur d'eau normale h_n :**

En exprimant la vitesse moyenne par l'équation de Manning -Strickler, (VII .3) et à l'aide d'un tableur, cette équation est résolue par la procédure itérative afin de déterminer la hauteur normale (tableau VII.10)

ii. Détermination de la hauteur critique h_c

Dans le cas d'un écoulement critique, on a : $\frac{V_c}{\sqrt{gD_{h_c}}} = 1$ (VII.4)

Où $V_c = \frac{Q}{S_c}$. En introduisant les expressions pour V_c et D_{h_c} dans l'équation (VII.4), on a :

$$Q = \sqrt{g \times S_c^3 / B} \quad (\text{VII.5})$$

Où V_c : vitesse critique ; Q : débit (m^3/s) ; S_c : surface critique et B : largeur de lit.

Cette équation est résolue par une procédure itérative afin de déterminer la hauteur critique h_c

Le régime d'écoulement dans le cours d'eau se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale h_n et critique.

Si : $h_n > h_c$ le régime d'écoulement est fluvial.

$h_n < h_c$ le régime d'écoulement est torrentiel.

Si l'écoulement dans le cours d'eau est en :

- régime fluvial, il faudra obligatoirement caler l'ouvrage hydraulique en régime fluvial.
- régime torrentiel, il faudra caler l'ouvrage en régime fluvial ou torrentiel.

VII.2.4.3 Caractéristiques générales de l'ouvrage hydraulique

Il s'agit de définir un ouvrage dont ses caractéristiques géométriques, son implantation et son fonctionnement hydraulique, en respectant les conditions générales de hauteur amont pour le débit de projet, le débit exceptionnel et le tirant d'air.

VII.2.4.4 Choix de l'ouvrage hydraulique

À partir de ces données, il faut vérifier si les conditions d'écoulement sont satisfaisantes (régime approprié fluvial ou torrentiel, vitesse, proportions entre la hauteur d'eau normale y_n et la hauteur d'eau critique y_c , hauteur d'eau amont H_{am}).

Si l'ouvrage choisi ne donne pas satisfaction, il faut reprendre le processus de calcul avec des caractéristiques d'ouvrage différentes.

VII.2.4.5 Calage d'ouvrage

Le calage d'ouvrage dans le régime approprié au régime aval (ce qui détermine la hauteur d'eau y à l'entrée de l'ouvrage) ;

- Si l'écoulement dans le cours d'eau est en régime fluvial, il faudra obligatoirement caler l'ouvrage hydraulique en régime fluvial.
- Si l'écoulement dans le cours d'eau est en régime torrentiel, il faudra caler l'ouvrage en régime fluvial ou torrentiel.

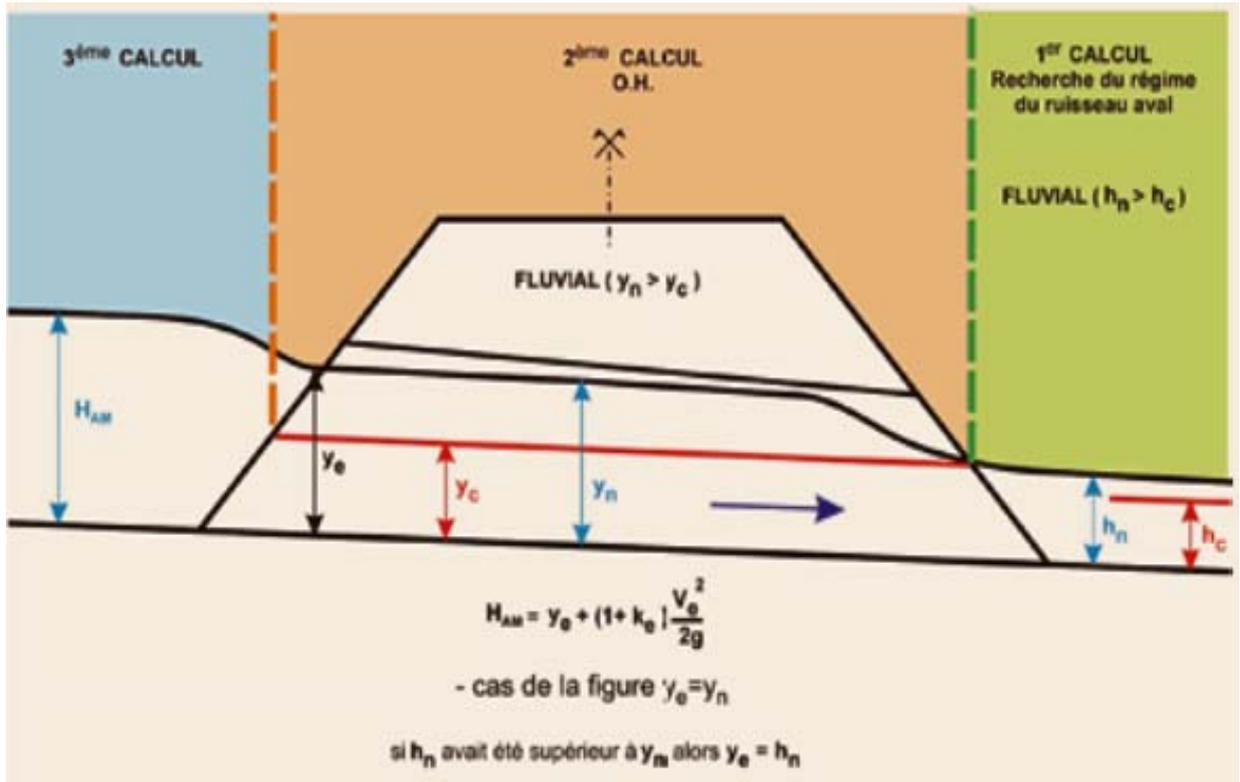


Figure VII.9: calage de l'ouvrage en cas du régime fluvial à l'aval

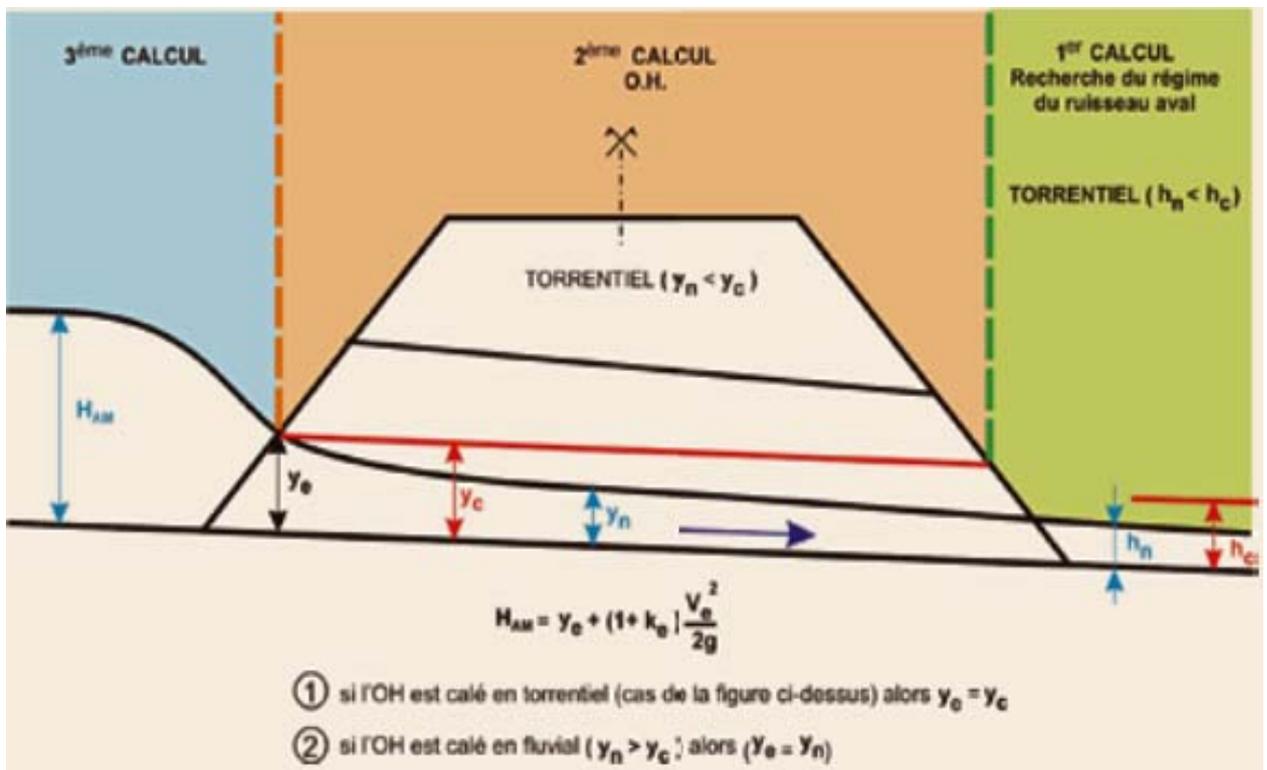


Figure VII.10: calage de l'ouvrage en cas du régime torrentiel à l'aval de l'ouvrage

i. Détermination de la hauteur critique y_c

Pour déterminer la hauteur critique y_c , on résout l'équation (VII.5) par une procédure itérative.

ii. Détermination de la hauteur d'eau normale y_n à donner à l'ouvrage hydraulique

Si l'ouvrage devant fonctionner en :

- Régime fluvial, nous prendrons $y_n \geq 1,2 \times y_c$
- Régime torrentiel, nous prendrons $y_n \leq 0,8 \times y_c$.

iii. calcul de pente de l'ouvrage

De l'équation de Manning-Strickler, on détermine :

$$i = \frac{Q^2}{K_s^2 \times S^2 \times R^{4/3}} \quad (\text{VII.6})$$

iv. Calcul de la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage hydraulique

Dans l'ouvrage est La vitesse d'écoulement : $V = \frac{Q}{S_m}$

(VII.7)

Avec, Q : débit de projet (m^3/s) ; S_m : section mouillée (m^2) donnée par $S_m = y_e \times B$

y_e : la hauteur d'entrée de l'ouvrage et B : largeur de l'ouvrage.

Les vitesses doivent respectées les critères suivants vis-à-vis de la durabilité des ouvrages :

- ouvrages en béton : 4 m/s ;
- ouvrages métalliques : 2.5 m/s.

VII.2.4.6 Calcul de la hauteur d'eau amont (H_{AM})

Il faut s'assurer que la hauteur d'eau amont (H_{AM}) est acceptable vis-à-vis des contraintes du projet. Elle est donné par :

$$H_{AM} = y_e + (1 + K_e) \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

(VII.8) Avec, K_e : Coefficient d'entonnement.

Ce coefficient varie selon le type de l'entrée de l'eau dans l'ouvrage. Prendre les valeurs dans le tableau VII-3 suivant donne les valeurs du coefficient d'entonnement

Tableau VII-4: Coefficient d'entonnement

Type de l'entrée	K_e
Extrémité taillée en sifflet	0.7
Extrémité avec mur de tête et murs en aile	0.5

VII.2.4.7 Vérification du tirant d'air (TA)

Le tirant d'air correspond, en toute rigueur, à la hauteur libre entre la ligne d'eau et la génératrice supérieure de l'ouvrage. Dans notre cas, il est mesuré par rapport à la hauteur d'eau fictive. Il est donné par :

$$TA = \frac{y_e + H_{am}}{2} \quad (\text{VII.9})$$

TA est de 0.50 à 1.50 m.

VII.3 Principes de base d'aménagement

Lors de tout projet d'amélioration de cours d'eau, l'étude et le design doivent être effectués en respectant les principes suivants :

- La section du cours d'eau doit être suffisante pour évacuer l'eau sans provoquer d'inondation ou de dégâts importants ;
- Tout aménagement ne devra pas provoquer d'érosion dans le cours d'eau ou sur les berges car cette érosion signifie la modification de la section d'écoulement, la perte de terrain riverain, le transport de sédiments, l'ensablement et l'envasement de la partie en aval du cours d'eau ;
- Les talus du cours d'eau et la section d'écoulement devront être les plus stables possibles pour que le cours d'eau ait la durée de vie la plus longue ;
- Les coûts de construction et d'entretien devront être minimisés ou le rapport bénéfices-coûts devra être maximisé. Ce dernier est plutôt difficile à évaluer.

VII.4 Les aménagements envisageables

Compte tenu des conclusions tirées du diagnostic et des modélisations de l'état actuel d'oued Réghaia, les réflexions sur les aménagements se portent sur :

- Curage du fond du cours d'eau : L'enlèvement des sédiments accumulés restaure la section d'écoulement et l'enlèvement de la végétation ;
- Nettoyage des berges des broussailles et des déchets solides ;
- Recalibrage tout au long d'oued afin de prendre en charge la crue centennale ;
- Pour améliorer et prévenir les risques d'érosion dans les berges, il convient de :
 - l'implantation des plantes herbacées sur le talus.
 - revêtement des berges en enrochement ou en béton.
- Le redimensionnement des ouvrages de franchissement : dalot de pont d'autoroute et dalot du pont de marché,
- Dégager complètement de lit de l'oued des conduites AEP, collecteur d'assainissement et déversoir d'orage.

- Construire des digues de protection contre les crues ou des talus le long du bras de cours d'eau et notamment dans la plaine inondable ;
- La création de parcs écologiques, de pistes et voies cyclables tout au long de l'oued et de terrains de sport.

VII.4.1.Recalibrage d'oued Réghaia

Le recalibrage d'oued Réghaia consiste à élargir son lit par rapport à l'état actuel afin de laisser passer un débit centennal, ce qui permet d'éviter des débordements lors d'importants événements pluvieux .Deux type de canal seront utilisé un canal trapézoïdal en béton avec cunette et un canal en terre de double trapèze. Les profils en travers de tout le long d'oued ont été réalisés par logiciel AutoCAD.

❖ Tronçon 1 : du pont d'autoroute à la confluence Boukerouch (Figure VII.12)

S'étendant sur 1300 m allant à la confluence d'oued Boukerouch, le tronçon sera bétonné de section trapézoïdale. Une cunette en fond sera mise en place pour transiter les faibles débits.

Vu que l'espace ne permet pas de réaliser un canal qui fait transiter un débit centennal à l'exutoire du bassin versant d'oued Réghaia et pour un point de vue économique, on a décidé de dimensionner le canal pour un débit centennal à l'exutoire du sous bassin de ce tronçon, ainsi que pour tous les tronçons de l'oued.

Le dimensionnement du canal est réalisé par la formule de Manning-Strickler .Les dimensions du canal sont regroupé dans le tableau VII-5.

Afin de vérifier le bon fonctionnement de la section aménagée on a utilisé le logiciel Rubar20, suite aux résultats obtenus par ce dernier on a adopté une revanche pour la sécurité.

Tableau VII-5 : les dimensions du canal de tronçon 1

Profil du canal	Débit de projet (m ³ /s)	K _s (m ^{1/3} /s)	Largeur (m)	Pente des berges	h _c	h _n	Revanche (m)	Pente (%)
trapézoïdal	65	70	9	1/1	1.5	1.46	0.5	0.3

Et la cunette du fond a une section de 1 m de large et 0.5 m de hauteur pour transiter un débit d'étiage de 1m³/s.

Les cotes du radier du canal sont de 18.50 mNGA au départ à 14.08 mNGA au final, soit une pente de 0.3 %.

Les bajoyers et le radier ont une épaisseur de 20cm.

A l'aval du pont Aissat Mustapha, les habitas sont très proche de rive droite. Et pour maintenir le remblai de pente très raide on construira un mur de soutènement de 62.7 m de long en béton armé sur une hauteur de 3.45m

Au droit de la cité GTP le terrain naturel est plus bas que la ligne d'eau centennale. Il est localement nécessaire de créer des endiguements sur les rives.

❖ **Tronçon 2 : de la confluence Boukerouch à la confluence Djaken** (Figure VII.12)

A l'aval la confluence Boukerouch jusqu' à la confluence Djaken. Le tronçon sera canalisé sur 850 m dans une section trapézoïdal en béton (toujours avec cunette).

On a dimensionné le canal Par l'application de formule Manning- Strickler. Et pour la sécurité on a adopté une revanche .

Tableau VII-6 : les dimensions du canal de tronçon 2

Profil du canal	Débit de projet (m ³ /s)	K _s (m ^{1/3} /s)	Largeur (m)	Pente des berges	h _c (m)	h _n (m)	Revanche (m)	Pente (%)
trapézoïdal	145	70	12	1/1	2.1	2	0.6	0.3

Les cotes du radier du canal sont de 14.30 mNGA au départ à 10.01 mNGA au final, soit une pente de 0.3 %. Les bajoyers et le radier ont une épaisseur de 20 cm.

Les habitations précaires qui se trouvent aux rives de cours d'eau en amont du pont du marché seront délocalisé.

❖ **Tronçon 3 : de la confluence Djaken à la confluence Djaafri** : (Figure VII.13)

Sur les 1300 linéaires compris entre la confluence d' de centre-ville de Réghaia et la confluence avec oued Djaafri .Le recalibrage de ce tronçon est en section trapézoïdale (toujours avec cunette).

En tenant compte l'affluent d'oued Djaken la section sera plus large ; le dimensionnement du canal se fait par la formule Manning- Strickler.

Suite une vérification de l'écoulement dans la section du canal avec logiciel de Rubar20 .on a adopté une revanche pour la sécurité.

Tableau VII-7 : les dimensions du canal de tronçon 3

Profil du canal	Débit de projet (m ³ /s)	K _s (m ^{1/3} /s)	Largeur (m)	Pente des berges	h _c	h _n	Revanche (m)	Pente (%)
trapézoïdal	200	70	15	1/1	2.12	2	0.4	0.3

Les cotes du radier du canal sont de 10.30 mNGA au départ à 6.28 mNGA au final, soit une pente de 0.3 %.

Les bajoyers et le radier ont une épaisseur de 20cm.

Compte tenu de l'implantation des habitations en rive gauche à l'aval du pont RN5, il sera nécessaire d'intégrer aux berges recalibrées une digue de protection.

❖ **Tronçon 4 : De Confluence avec oued Djaafri au lac** (Figure VII.15)

A l'aval de La confluence avec oued Djaafri. Le tronçon sera canalisé avec une section de double trapèze en terre sur 1500 mètre jusqu' au lac.

Le dimensionnement du canal se fait par la formule de Manning- Strickler avec, $K_s=35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.et une revanche a été adopté pour la sécurité.

Tableau VII-8 : les dimensions du canal de tronçon 4

Profil du canal	Débit de projet (m^3/s)	K_s ($\text{m}^{1/3}/\text{s}$)	Largeur (m)	Pente des berges	h_c	h_n	Revanche (m)	Pente (%)
Premier trapèze	200	35	20	1/1.5	2	2.5	0.1	0.3
Deuxième trapèze	125	35	70	1/1.5	0.6	1.2	0.2	0.3

Sur les deux rives, il est parfois nécessaire de créer des endiguements, le terrain naturel étant plus bas que la ligne d'eau de la crue centennale La hauteur de la digue est variable en fonction de la hauteur du canal et de la cote du terrain naturel.

Pour maintenir les berges de ce canal, on utilisera deux techniques de protection :

▪ **Technique végétale :**

La mise en place de toile coco sur les berges de deuxième trapèze du canal et plantation les végétaux adaptés au milieu qui retiendront les sédiments grâce à leurs racines.

▪ **Technique d'engrochement :**

Mise en place es blocs de pierre, bien alignés le long de les berges de premier trapèze.

Le calcul de taille des engrochements se fait à l'aide de formule d'Isbash .Pour un débit de $200 \text{ m}^3/\text{s}$, La vitesse estimée au voisinage des blocs est 3.5 m/s .Pour une pente de 1/1.5, et en admettant que la densité des engrochements vaut 2.6 et que l'angle d'équilibre vaut 40° , le diamètre moyen des blocs de protection est de $d=0.3 \text{ m}$.

On pendra par sécurité, des engrochements de diamètre médian 350 mm et de taille compris entre 200 et 500 mm, pour respecter l'étendue $[0,7 \times d - 2 \times d]$.

L'épaisseur de la protection sera égale à 60 cm.

VII.4.2 Ouvrage de franchissement :

Comme il a déjà été précisé dans le chapitre VI le pont d'autoroute et pont du marché sont sous-dimensionnés. Et pour améliorer la transition de l'écoulement sous ces derniers sans débordement, on envisage un redimensionnement de l'ouvrage de franchissement pour faire transiter un débit centennal.

Le dimensionnement des deux ouvrages se fait à l'aide de la formule de Manning-Strickler. Pour le calcul de la profondeur normale et critique afin de déterminer de régime d'écoulement à l'aval et dans l'ouvrage, on a utilisé la procédure itérative pour la résolution des équations (VII. 1) et (VII.5).

❖ Pont autoroute :

on a choisit un ouvrage unique adapté au débit à évacuer et à la largeur du lit du cours d'eau est généralement préférable à des ouvrages multiples qui augmentent les pertes de charges et rendent plus difficile le passage des corps flottants ;

L'ouvrage de franchissement constitué un dalot de section hydraulique 2.5m de large et 9 m de hauteur. (Figure VII.15)

Tableau VII-5: Les dimensions de l'ouvrage de pont d'autoroute

type d'ouvrage	Débit de projet (m ³ /s)	Régime d'écoulement a l'aval	largeur (m)	Régime d'écoulement à l'ouvrage	y _c	y _n	Pente (%)	Hauteur (m)
Dalot	65	torrentiel	9	fluvial	1.74	2.08	0.15	2.5

❖ le pont du marché :

L'ouvrage de franchissement du pont du marché est constitué de deux dalots en béton armé avec une ouverture de 6 m de largeur sur 3 m de hauteur. (Figure VII.16)

Tableau VII-6: Les dimensions de l'ouvrage de pont de marché

type d'ouvrage	Débit de projet (m ³ /s)	Régime d'écoulement a l'aval	largeur (m)	Régime d'écoulement à l'ouvrage	y _c	y _n	Pente (%)	Hauteur (m)
Dalot	135	torrentiel	12	fluvial	2.3	2.54	0.15	3

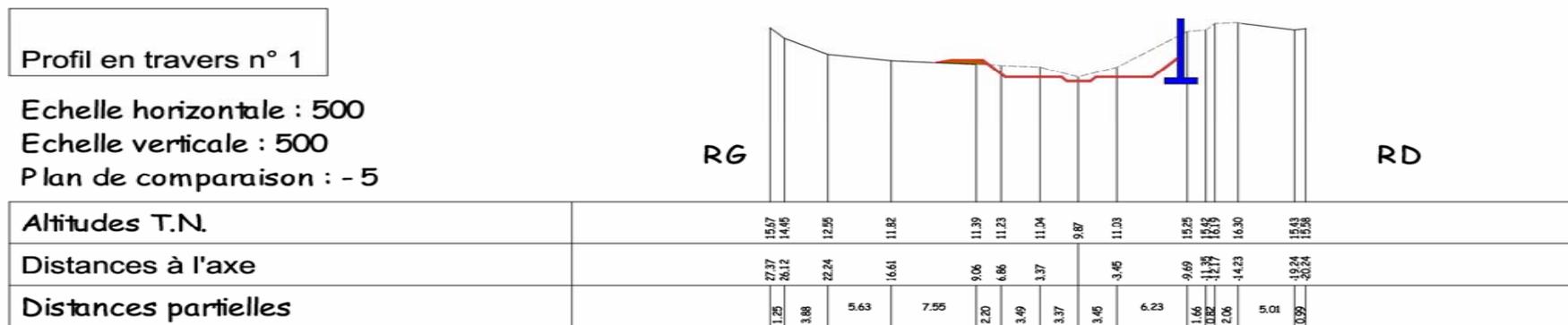


Figure VII.12 : profil en travers du tronçon 1

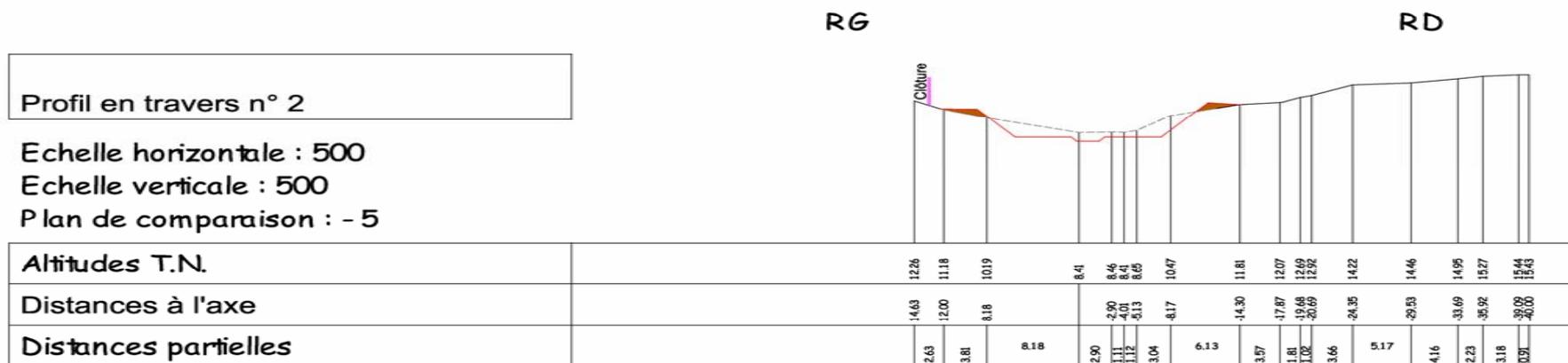


Figure VII. 13 : profil en travers du tronçon 2

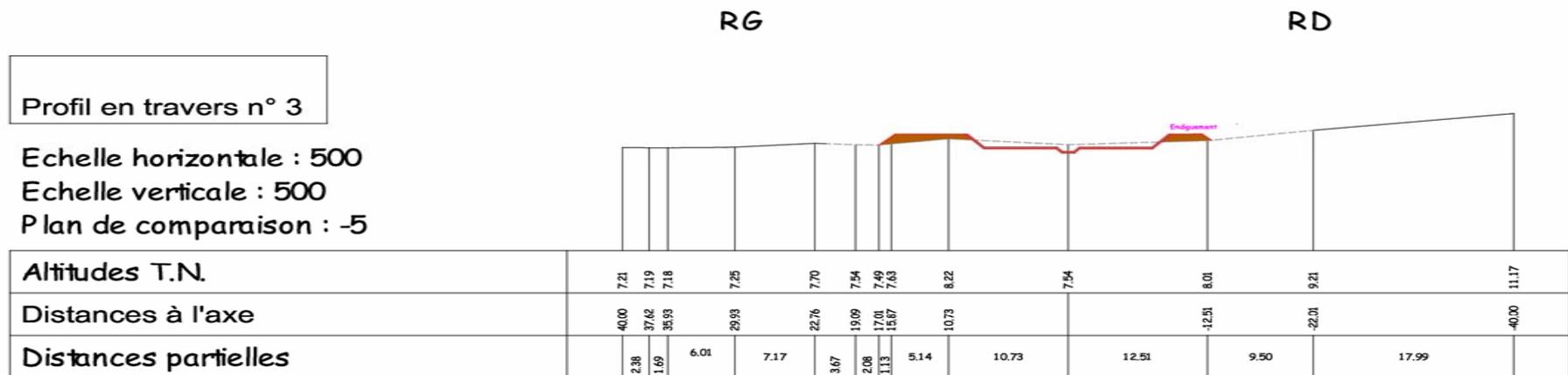


Figure VII.14 : profil en travers du tronçon 3

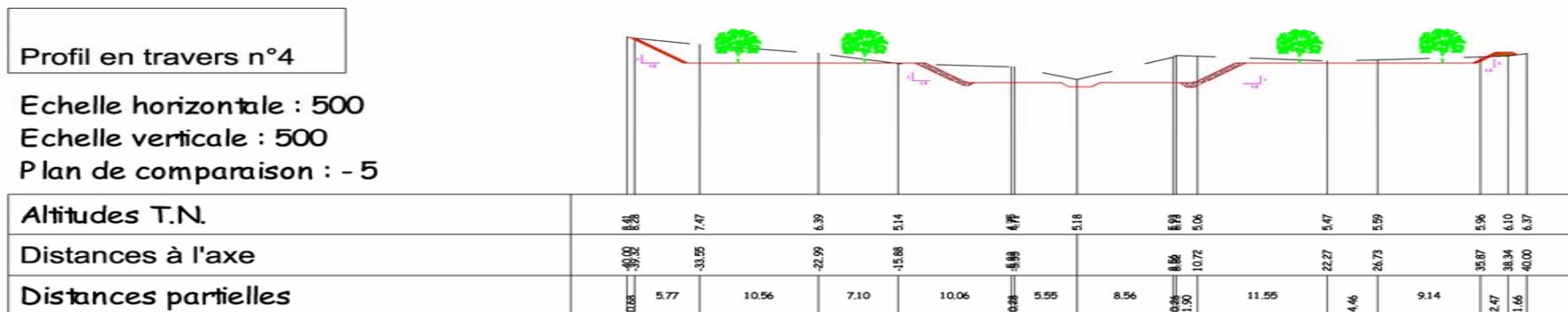


Figure VI. 15: profil en travers de tronçon 4

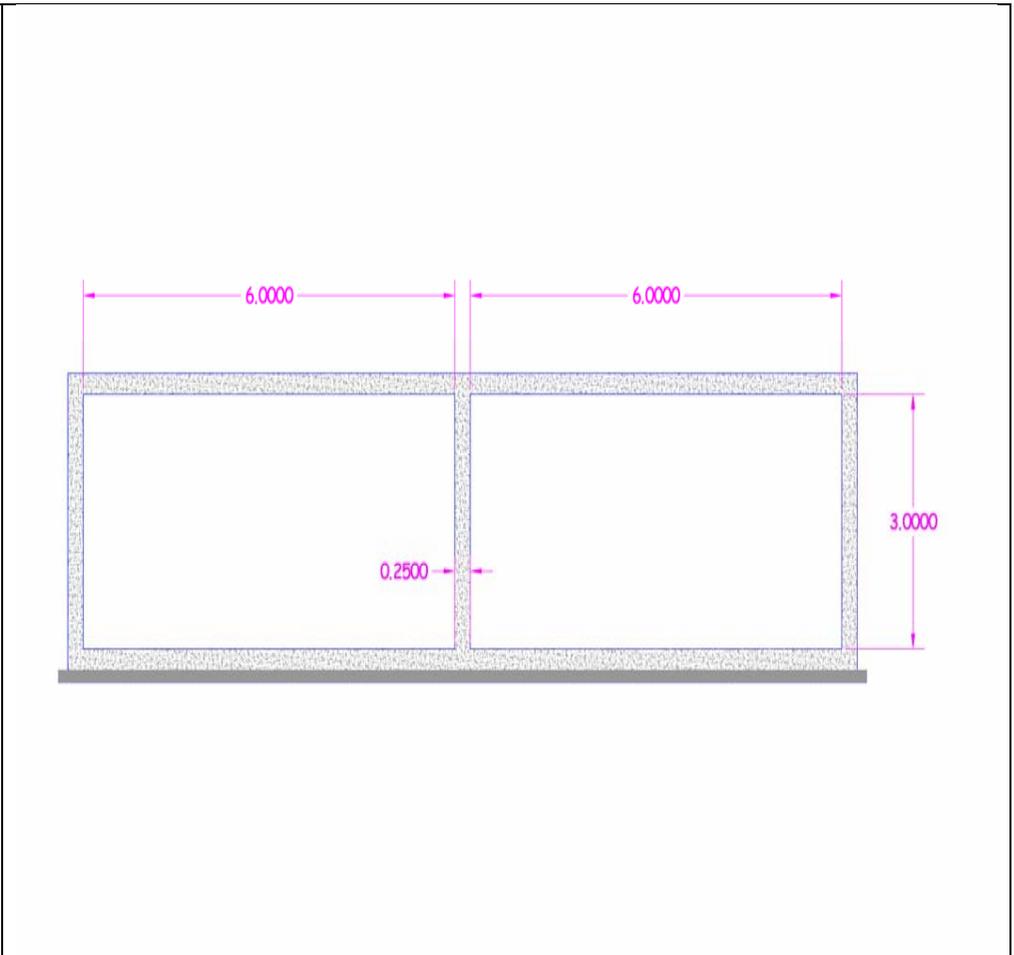
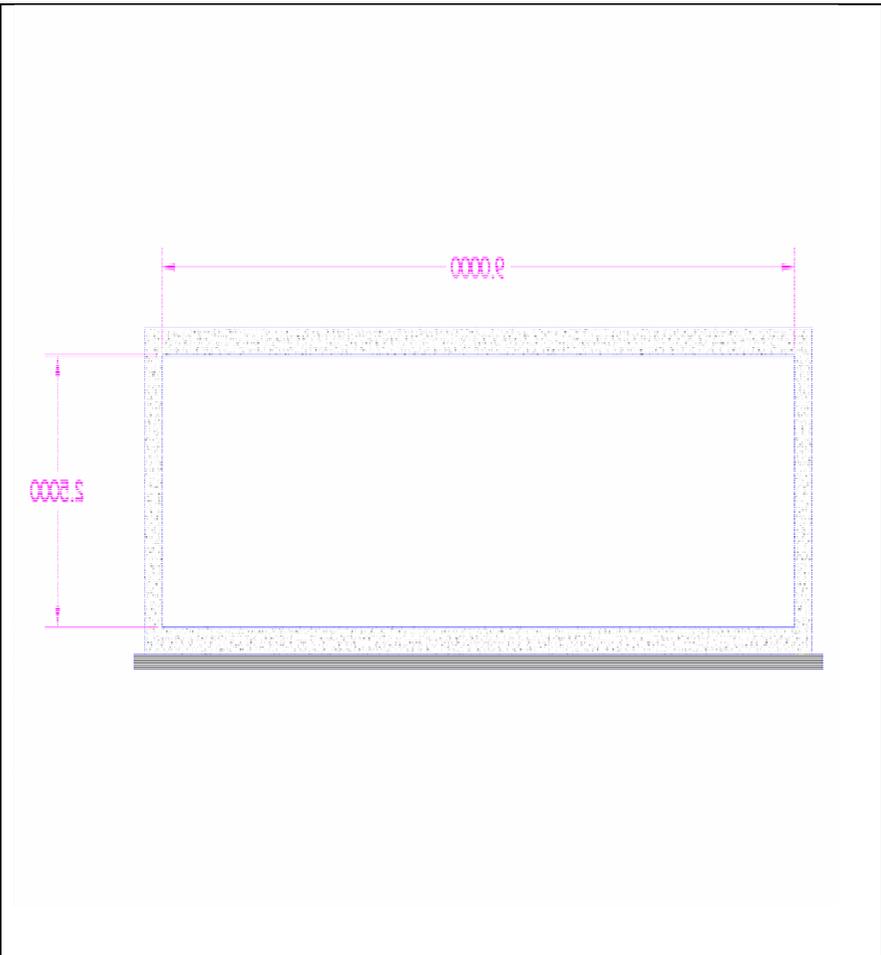


Figure VII. 16: l'ouvrage de franchissement sous pont d'autoroute

Figure VII.17 : l'ouvrage de franchissement sous le pont de marché

VII.5 Conclusion

Les canaux qu'ont été choisi pour les aménagements de type calibrage sont de section différente en s'élargissant, pour assurer la liaison entre ces canaux en réduisant les pertes de charges dans un changement brusque. Il est nécessaire de dimensionner un divergent qui sera éventuellement notre thème pour le master.

Conclusion générale

Ce modeste travail a été conçu en vue d'améliorer la situation critique et parfois alarmante que subissent la région et les abords immédiats de l'Oued Réghaia en période de crue.

Les résultats de simulation de crue centennial de l'oued Réghaia obtenus à l'aide du logiciel Rubar20, et l'étude d'état de l'oued révèlent que les problèmes d'inondations sont réels sur l'oued Réghaia et ses affluents. Ils ont pour cause de l'insuffisance de largeur de lit pour transiter un débit centennial. Les ouvrages de franchissement dont les sections sont souvent très réduites par rapport au lit de l'oued, ceci couplé en général à de forts remblais en lit majeur sur lesquels passent.

En vue d'endiguer ce phénomène d'inondation et apporter une solution à ces problème nous avons procédé à un recalibrage tout au long de l'oued et reprise des ouvrage afin d'assurer à ce dernier un écoulement régulier et rationnel pendant la crue. Ceci offrira une sécurité à notre économie ainsi que celle des citoyens et de leurs biens.

- [1] Abèle, J. ; Degardin, F., (2001). " Dynamique fluviale et travaux en rivière, Tome I ". 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] Bermad, A., (2012). Diagnostic, "Cours hydrologie ". Ecole Nationale Polytechnique-Alger.
- [4] Bouach, A., (2011). "Simulation numérique du transport solide par charriage via le code rubar20TS" .Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique -Alger;132 pages.
- [5] 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.
- [6] Cesare, G., Pfister, M. ; Schleiss, A., (2012). "Ouvrages et aménagements. Hydraulique tomeI" FL
- [7] Degoutte, G., (2006). Diagnostic, "aménagement et gestion des rivières- hydraulique et morphologie fluviales appliquées". Tec & doc -Lavoisier, 394 pages.
- [8] Gaillard, G., (2006). "Guide technique. Assainissement routier ".Service d'étude technique routes et autoroutes ,92 pages.
- [9] Graf, W.H., (1993). "Hydraulique fluvial : Écoulement permanent uniforme et non uniforme ". Presses polytechnique et universitaire romandes, 257 pages.
- [10] RAHAI, A. (2007). "Délimitation des zones inondables -application à l'oued Allalah-bassin versant de Ténès". Mémoire de magistère, École Nationale Polytechnique - Alger, 104 pages.
- [11] Soulas, C ., (2010) ."Guide de gestion des travaux de renaturation des émissaires agricoles (ruisseaux et fossés) de plaine". Agence de l'Eau Rhin-Meuse,
- [12] Touaïba, B., (2004). "Manuel pratique d'hydrologie". Presses Madani Frères Guerrouaou, Blida, 166 pages.
- [13] Verniers, G., (1995). "Aménagement écologique des berges des cours d'eau : technique de stabilisation ".Presses Universitaires de Namur, Belgique, 77 pages.