

## *Dédicaces*

*Louange à Dieu seul,*

*Ce modeste travail est dédié spécialement*

*À ma chère maman, ma raison de vivre, en témoignage de ma reconnaissance pour sa patience, son amour et ses sacrifices.*

*À mon cher papa pour son amour et son dévouement.*

*« À vous, mes parents, je dis merci d'avoir fait de moi celui que je suis aujourd'hui. Aucune dédicace ne pourra exprimer mes respects, mes considérations et ma grande admiration pour vous. Puisse ce travail vous témoigne mon affection et mon profond amour »*

*À mes chères sœurs Youssra et Fouzaya, et à mes chers frères Najib et Abdililah, qui je le sais, ma réussite est très importante à leurs yeux. Que Dieu vous garde pour moi.*

*« À vous, mes princesses et mes princes je souhaite une vie pleine de bonheur, de joie et de réussite »*

*À celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que les self-made-mans et les déterminés finiront toujours par réussir leur vie, à moi même.*

*À mes amis, mes enseignants et pour ceux qui m'ont donné de l'aide un jour, que Dieu vous paye pour tous vos bienfaits.*

*Pour finir, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment, je dédie ce mémoire.*

*Anas BOUKILI MAKHOUKHI*

## Remerciements

*Au premier abord, tous mes remerciements à Allah le plus puissant qui m'a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.*

*Mes vifs remerciements à Monsieur HIMMI AHMED Mohsine, Directeur du GCIM, de m'accorder et d'encadrer ce stage de fin d'études.*

*Des énormes remerciements à tous et à toutes les ingénieur(e)s et les technicien(ne)s de GCIM, Je tiens à les exprimer ma profonde reconnaissance pour leurs conseils et leurs aides toujours pertinent(e)s qu'ils m'ont prodigué et pour leurs soucis permanent quant à l'avancement et la qualité de mon travail.*

*A mon encadrant interne Dr Abdellatif LAMHAMDI, j'adresse ma plus sincère reconnaissance pour son encadrement spécial, sa disponibilité permanente et les efforts qu'il a déployés afin de pousser à l'avant mon projet.*

*Mes sincères remerciements sont destinés à Monsieur Saïd LAOUZY, ingénieur en chef à l'ABHL pour ses explications et ses aides précieuses.*

*Mes grands remerciements également à tou(te)s mes professeur(e)s du primaire, du collège, du lycée et d'ENSAH pour leurs efforts, leurs aides et leurs orientations.*

*Ma reconnaissance la plus sincère va aussi à mon collègue Mohsine BAZGOUR, je le suis redevable quant à l'aboutissement de ce projet.*

## Résumé

Le présent travail de fin d'études concerne les études nécessaires pour l'identification des zones à risques d'inondation, dans le centre de Zaida, ainsi la définition des schémas d'aménagements nécessaires pour leur protection contre ce risque naturel. La méthodologie de l'étude s'articule autour des quatre parties suivantes :

La première partie consiste à faire un diagnostic détaillé et exhaustif de l'ensemble des problèmes qui se posent au niveau de la zone d'étude, de l'état de son réseau hydrographique et de son domaine public hydraulique.

La deuxième partie vise la réalisation des études hydrologiques des bassins versants qui font l'objet de notre étude. Pour ce faire, il a été nécessaire de les délimiter et de générer leurs caractéristiques au moyen d'Autocad, de déterminer les débits des crues par les différentes méthodes de la littérature hydrologique, et de choisir les débits de projet qui feront une donnée de base pour la partie suivante.

La troisième partie consiste à délimiter les zones inondables par une modélisation hydraulique sur HEC RAS, cette modélisation vise aussi à déterminer la capacité d'évacuation de l'ensemble des cours d'eau et thalwegs qui sont inventorisés lors de la première partie , ainsi d'évaluer la capacité de transit des aménagements et des ouvrages existants.

La quatrième et la dernière partie, et à la base des résultats du diagnostic de l'état existant et de la modélisation hydraulique, vise la proposition des aménagements permettant de réduire les risques des inondations au niveau de la zone d'étude.

Une estimation des coûts a été réalisée à la fin.

**Mots-clés:** Zaida , inondation, réseau hydrographique, étude hydrologique, bassin versant, débit, modélisation hydraulique, HEC-RAS, aménagements.

## Abstract

The present work of the end of studies concerns the necessary studies for the identification of the high-risk areas of flood, in the center of Zaida, so the definition of the necessary development programs for their protection against this natural risk. The methodology of the study articulates around the following four parts.

The first part consists in making a detailed and exhaustive diagnosis of all the problems that arise at the level of the zone of study, the state of its river system and its hydraulic public domain.

The second part aims to the realization of the hydrological studies of watersheds which make object of our study. To do it, it was necessary to bound them and to generate their characteristics by means of Autocad, to determine the state-of-the-art flows by the various methods of the hydrological literature, and to choose the flows of project which will make a basic datum for the following part.

The third part consists in bounding flood-risk areas by a hydraulic modelling on HEC RAS, this modelling also aims to determine the capacity of evacuation of all the streams and thalwegs which are inventorised during the first part , so to estimate the capacity of transit of the arrangements and the existing works.

The fourth and the last part, and on the base of the results of the diagnosis of the existing state and the hydraulic modelling, aims to propose the arrangements allowing to reduce the risks at the level of the zone of study.

A cost estimate was realized in the end.

**Keywords:** Zaida, flood, river system, hydrological studies, watershed, flow, hydraulic modelling, HEC-RAS, arrangement.

## Sommaire

L'organisme d'accueil.....	5
Introduction .....	7
Chapitre 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE .....	8
1. Manifestation à l'échelle mondiale.....	9
2. Généralités sur les inondations .....	10
2.1. Définitions .....	10
2.2. Les facteurs conditionnant les inondations .....	11
2.2.1. L'eau mobilisable.....	11
2.2.2. Le ruissellement .....	11
2.2.3. Le temps de concentration .....	12
2.2.4. La propagation de la crue.....	12
2.2.5. Le débordement.....	12
2.3. Les enjeux des inondations .....	12
2.3.1. Les enjeux humains.....	12
2.3.2. Les enjeux économiques .....	12
2.3.3. Les enjeux environnementaux .....	13
3. Le risque d'inondation au Maroc.....	13
3.1. Typologie des crues au Maroc .....	13
3.1.1. Crues lentes des grands cours d'eau .....	13
3.1.2. Crues rapides des affluents des grands cours d'eau .....	14
3.1.3. Crues rapides des oueds côtiers .....	16
3.1.4. Crues torrentielles des petits bassins de montagne.....	16
3.1.5. Crues pluviales « urbaines » .....	17
4. La protection contre les inondations.....	18
4.1. Différents types de protection .....	18
4.1.1. La protection directe .....	18
4.1.1.1. Le recalibrage.....	18
4.1.1.2. Le curage.....	19

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

4.1.1.3.	Le renforcement .....	19
4.1.1.4.	L'endiguement des oueds .....	19
4.1.1.5.	La réalisation de canaux .....	19
4.1.1.6.	La protection des berges .....	20
4.1.2.	La protection indirecte .....	20
4.1.2.1.	Le reprofilage .....	21
4.1.2.2.	La réalisation des barrages ou seuils .....	21
4.1.2.3.	La création des canaux périphériques .....	21
4.2.	Le Plan National pour la Protection Contre les Inondations.....	21
Chapitre 2 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....		23
1.	Introduction.....	24
2.	Données naturelles et humaines .....	24
2.1.	Données naturelles .....	24
2.1.1.	Situation géographique et accès.....	24
2.1.2.	Cadre géologique .....	26
2.1.3.	Végétation .....	26
2.1.4.	Cadre climatique .....	27
2.1.4.1.	Les précipitations .....	27
2.1.4.2.	La température .....	27
2.1.4.3.	Les vents .....	28
2.1.5.	Ressources en eaux .....	28
2.1.5.1.	Eaux de surface .....	28
2.1.5.2.	Eaux souterraines .....	29
2.2.	Données humaines.....	29
2.2.1.	Population .....	29
2.2.2.	Situation administrative .....	29
2.2.3.	Activités économiques .....	29
3.	Description et Diagnostic de la zone d'étude.....	30
3.1.	Description de réseau hydrographique.....	30
3.2.	Diagnostic et position du problème.....	30

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

3.2.1.	Diagnostic de rive droite.....	31
3.2.2.	Diagnostic de rive gauche.....	32
3.2.2.1.	Oued Bouhafs.....	32
3.2.2.2.	Chaâba de Tamlaht .....	32
3.2.2.3.	Chaâba de Tassfayt .....	33
Chapitre 3 : ETUDE HYDROLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS.....		34
1.	Introduction.....	35
2.	Caractéristiques des bassins versants .....	35
2.1.	Définition.....	35
2.2.	La délimitation des BV et calcul de leurs caractéristiques .....	36
2.2.1.	La délimitation des bassins versants .....	36
2.2.1.1.	Caractéristiques morpho métriques des BV .....	36
2.2.1.2.	La forme.....	36
2.2.1.3.	La pente moyenne .....	38
2.2.2.	Caractéristiques pluviométriques.....	41
2.2.2.1.	Stations pluviométriques.....	41
2.2.2.2.	Pluies journalières maximales annuelles .....	41
2.2.2.3.	Courbes Intensité - Durée - Fréquence .....	41
2.2.2.4.	Débits instantanés maximums annuels .....	41
3.	L'estimation du temps de concentration (Tc).....	42
3.1.	Les formules empiriques explicitant le Tc .....	42
3.1.1.	La formule de Giondotti.....	42
3.1.2.	La formule de Ventura .....	42
3.1.3.	La formule de Kirplich.....	43
3.1.4.	La formule de Turrazza & Passini .....	43
3.1.5.	Formule Espagnole .....	43
3.1.6.	Formule Californienne .....	43
3.1.7.	Formule d'US Corps .....	44
3.2.	Le calcul de Tc .....	44
4.	L'estimation du débit de pointe .....	45

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

4.1.	Les méthodologies utilisées pour l'étude des crues .....	45
4.1.1.	La méthode rationnelle.....	45
4.1.2.	Transposition à partir des bassins limitrophes .....	47
4.1.3.	Formules Empiriques .....	47
4.1.3.1.	Formule de Mac Math ( $S < 100$ ha).....	48
4.1.3.2.	Formule de Fuller II .....	49
4.1.3.3.	Formule de Mallet Gautier.....	49
4.1.3.4.	Formule de HAZAN - LAZAREVICK .....	50
4.1.4.	Méthode du Gradex.....	51
4.2.	Application de la méthodologie .....	52
4.2.1.	Méthode rationnelle .....	52
4.2.2.	Résultats de calcul par les formules empiriques .....	52
4.2.2.1.	Formule de Hazen et Larazavec.....	53
4.2.2.2.	Formule de Fuller II .....	53
4.2.2.3.	Formule de Mallet-Gautier .....	53
4.2.3.	Méthode du Gradex.....	54
4.2.3.1.	Ajustement des pluies journalières .....	54
4.2.3.2.	Estimation de débit de référence.....	55
4.2.4.	Débits retenus.....	56
Chapitre 4 : MODELISATION HYDRAULIQUE ET CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES .....		58
1.	Introduction.....	59
2.	Etude topographique et méthodologie de calcul hydraulique .....	59
2.1.	Etude topographique.....	59
2.1.1.	Travaux topographiques disponibles .....	60
2.1.2.	Travaux topographiques réalisés.....	60
2.2.	Méthodologie des calculs hydrauliques .....	60
2.2.1.	Cours d'eau naturels.....	60
2.2.2.	Qu'est-ce qu'un modèle hydraulique ? .....	60
2.2.3.	Les différents types de modèles .....	61



## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

2.2.4.	Modèles mécanistes .....	61
2.2.4.1.	Le modèle monodimensionnelle (1D) .....	62
2.2.4.2.	Le modèle bidimensionnelle (2D) .....	62
2.2.4.3.	Une approche tridimensionnelle (3D) .....	63
2.3.	Modèle hydraulique monodimensionnel de Saint-Venant.....	63
2.3.1.	Hypothèses d'application.....	63
2.3.2.	Mise en Equations.....	63
2.4.	Recherche d'un logiciel simple et efficace .....	64
2.4.1.	Présentation de HEC-RAS .....	65
2.4.2.	Limites du logiciel .....	66
2.4.3.	Couplage avec le logiciel RiverCad.....	66
2.5.	Le Fonctionnement de HEC-RAS.....	67
2.5.1.	Géométrie des cours d'eau simulés .....	68
2.5.2.	Débits, conditions limites et de calcul .....	68
2.5.3.	Résultats .....	68
2.5.4.	Elaboration du modèle .....	69
3.	Simulation hydraulique avec HEC-RAS .....	70
3.1.	Données d'entrée.....	70
3.1.1.	Données hydrologiques.....	70
3.1.2.	Coefficients de rugosité .....	70
3.1.3.	Saisie de données dans HEC-RAS.....	71
3.1.3.1.	Données géométriques .....	71
3.1.3.2.	Coefficients de Manning.....	73
3.1.3.3.	La Saisie des débits.....	74
3.1.3.4.	Condition aux limites .....	74
3.1.4.	Simulation hydraulique .....	75
3.1.4.1.	Issues d'une simulation .....	75
4.	Résultats des simulations et délimitation des zones inondables .....	76
4.1.	Oued Bouhafs .....	76
4.2.	Chaâba Tamalht.....	80

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

4.3.	Chaâba Tassafayt.....	83
4.4.	Délimitation des zones inondables.....	85
Chapitre 5 : SCHEMAS D'AMENAGEMENTS .....		87
1.	Les solutions d'aménagements.....	88
1.1.	Hypothèses retenues .....	88
1.1.1.	Les coefficients de rugosité .....	88
1.1.2.	Revanche de dimensionnement.....	88
1.1.3.	Principes d'aménagements.....	89
1.1.4.	Pré-dimensionnement.....	89
1.2.	L'aménagement de l'oued Bouhafs.....	90
1.3.	L'aménagement de la Chaâba Tamalht.....	91
1.4.	L'aménagement de la Chaâba Tassafayt.....	92
1.5.	L'aménagement de la Chaâba Est.....	93
1.6.	Les Ouvrages de franchissement.....	96
2.	Estimation financière sommaire .....	97
Conclusion générale .....		99
Références bibliographiques .....		101
Webographie .....		102
Annexes.....		103

## Liste des Figures

Figure 1 : Nombre d'inondations par pays entre 1974 et 2003 (Source EM-DAT) (1) .....	9
Figure 2 : Le recalibrage (A).....	18
Figure 3 : Le renforcement (B) .....	19
Figure 4 : La réalisation de canaux (C).....	20
Figure 5 : La protection des berges (D).....	20
Figure 6: Localisation de Zaida (4).....	25
Figure 7 : Carte géologique (5) .....	26
Figure 8 : Les températures mensuelles de Zaida (F) .....	27
Figure 9 : La RN 13.....	31
Figure 10 : Les buses sur la RN13 .....	31
Figure 11 : Ouvrage sur Oued Bouhafs.....	32
Figure 12 : Dalot existant sur Chaâba .....	32
Figure 13 : Vue sur la Chaâba Tassfayt .....	33
Figure 14 : Dalot à deux ouvertures .....	33
Figure 15 : Illustration du BV (9) .....	35
Figure 16 : BV sous forme d'éventail (9) .....	37
Figure 17 : BV en forme circulaire (9).....	37
Figure 18 : Délimitation des BVs.....	40
Figure 19 : Ajustement de $P_{jmax}$ des de la station de Zaida par la loi de Gumbel .....	55
Figure 20 : Processus d'élaboration d'un modèle hydraulique (13).....	61
Figure 21 : Le modèle monodimensionnelle (13).....	62
Figure 22 : Le modèle bidimensionnelle (13).....	62
Figure 23 : Fenêtre principal de Hec-Ras.....	65
Figure 24 : Fenêtre principale de Rivercad .....	67
Figure 25 : Ouvrir un projet existant sur HEC-RAS.....	71
Figure 26 : Éditeur de géométrie.....	72
Figure 27 : Fenêtre de visualisation de profils .....	72
Figure 28 : Fenêtre des valeurs du coefficient de Manning .....	73
Figure 29 : Fenêtre débits.....	74
Figure 30 : Fenêtre Conditions aux limites .....	74
Figure 31 : Fenêtre paramètre de simulation.....	75

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

Figure 32 : Défilement de la simulation.....	75
Figure 33 : Les rétrécissements ou les élargissements de l'oued.....	77
Figure 34 : La simulation du pont sur la RN.....	78
Figure 35 : Profil en long Oued Bouhafs, crue 1/100 .....	79
Figure 36 : La simulation du dalot sur la RR 503 .....	81
Figure 37 : Profil en long de la Chaâba Tamalht, crue 1/100 .....	82
Figure 38 : La simulation du dalot à deux ouvertures sur la RR 503.....	83
Figure 39 : Profil en long de la Chaâba Tassfayt, de la crue 1/100 .....	84
Figure 40 : La représentation de la zone inondable .....	86
Figure 41 : Coupe en travers type du mur de protection (Bouhafs).....	91
Figure 42 : Coupe en travers type du mur de protection (Tamlah).....	92
Figure 43 : la coupe en travers type de la Chaâba recalibrée .....	93
Figure 44 : Coupe en travers type du canal en béton armé .....	94
Figure 45 : Coupe en travers type du dalot enterré .....	95
Figure 46 : Redimensionnement de l'OH sur la RN13.....	96
Figure 47 : Redimensionnement l'OH sur la RR503.....	97

## Liste des Tableaux

Tableau 1 : Répartition des sites à risque d'inondation par région hydraulique .....	21
Tableau 2 : Sites prioritaires à l'échelle nationale .....	22
Tableau 3: Les cartes topographiques utilisées .....	36
Tableau 4: La valeur de l'indice de compacité de Gravélius .....	38
Tableau 5 : La forme des BV .....	38
Tableau 6 : Les caractéristiques des BV étudiés .....	39
Tableau 7 : La station pluviométrique de Zaida.....	41
Tableau 8 : Les coefficients de Montana .....	41
Tableau 9 : Les Temps de concentration.....	44
Tableau 10 : Les coefficients de ruissellement (11).....	46
Tableau 11 : Les valeurs de K (11) .....	49
Tableau 12 : Les valeurs des paramètres K1 et K2 .....	50
Tableau 13 : Les débits de pointes par la méthode rationnelle .....	52
Tableau 14 : Les débits de pointes par la formule de Hazan et Lazarevic .....	53
Tableau 15 : Les débits de pointes par la formule de Fuller II.....	53
Tableau 16 : Les débits de pointes Formule de Mallet-Gautier .....	54
Tableau 17 : Gradex des pluies .....	55
Tableau 18 : Le pivot de la méthode du Gradex .....	56
Tableau 19 : Les débits de pointes calculés avec la méthode de Gradex .....	56
Tableau 20 : Les débits de projet .....	57
Tableau 21: Données hydrologiques .....	70
Tableau 22: Les valeurs du coefficient de Manning adoptées .....	71
Tableau 23: Résultats Oued Bouhafs, crue centennale .....	76
Tableau 24 : Résultats de la Chaâba Tamalht, crue centennale .....	80
Tableau 25: Résultats de la Chaâba Tassfayt, crue centennale .....	83
Tableau 26 : Aménagement de l'oued Bouhafs .....	90
Tableau 27: Aménagement de la Chaâba Tamalht.....	91
Tableau 28: Recalibrage de la Chaâba Tassfayt.....	93
Tableau 29 : L'aménagement de la Chaâba Est (tronçon 1) .....	94
Tableau 30 : L'aménagement de la Chaâba Est (tronçon 2) .....	95
Tableau 31 : Détail Estimatif (Aménagements de l'oued Bouhafs) .....	97

## Liste des abréviations

**ABHM** : Agence du Bassin Hydraulique de la Moulouya

**A, S** : Surface du bassin.

**BV** : Bassin versant.

**C** : Coefficient de ruissellement du bassin versant.

**DRCR** : Direction des Routes et de la Circulation Routière

**EM-DAT**: Emergency Events Data-base

**EDPs** : Équation aux dérivées partielles

**IC** : Ingénieur conseil

**IDF** : intensité durée fréquence.

**I (t, T)**: Intensité des pluies pour un temps de concentration donnée de période de retour T

**H<sub>min</sub>** : Cote minimale

**H<sub>max</sub>** : Cote maximale

**ΔH** : Dénivelée maximale du BV.

**HEC-RAS**: Hydrologic Engineering Center's River Analysis System

**L** : Longueur du cours d'eau principal (La longueur du talweg).

**GCIM** : Groupement des consultants et ingénieurs du Maroc

**G<sub>p</sub>(24)** : Gradex journalier.

**NE** : Nord Est

**OH** : Ouvrage hydraulique

**P<sub>jmax</sub>** : Pluie journalière maximale annuelle.

**P** : Périmètre du bassin.

**Q<sub>dm</sub>** : Quantité du mouvement

**Q<sub>p</sub>** : Débit de pointe.

**Q<sub>10</sub>** : Débit de référence de la fréquence décennale.

**RN** : Route Nationale

**RR** : Route Régionale

**RGPH** : Recensement Général de la Population et de l'Habitat.

**SETRA** : Service d'études techniques des routes et autoroutes

## **Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt**

---

**SIC** : Simulation intégrée des canaux

**T** : Période de retour.

**T<sub>c</sub>** : Temps de concentration

**USSCS** : United States Soil Conservation Service.

**USACE**: United States Army Corps of Engineers.

## Liste des annexes

Annexe n°1 : Série des pluies journalières maximales annuelles au poste de Zaida.

Annexe n°2 : Graphiques des ajustements des  $P_{jmax}$  aux différentes lois de probabilité.

Annexe n°3 : Résultats de la simulation hydraulique des Q10 à Q50.

Annexe n°4 : Coefficients de Manning.

Annexe n°5 : Estimation financière.

Annexe n°6 : Tracé en plan des ouvrages à projeter.



## L'organisme d'accueil

### Renseignements généraux

<b>Raison Sociale</b>	:	Groupement des Consultants et Ingénieurs du Maroc, « GCIM »
<b>Nationalité</b>	:	Marocaine
<b>Forme juridique</b>	:	S.A.R.L.
<b>Capital</b>	:	1 500 000.00 DH
<b>Année de fondation</b>	:	2008
<b>Siège Social</b>	:	6, Rue Mâarif -Aviation- Rabat, Maroc
<b>Tél.</b>	:	(+212) 05.37.65.83.30
<b>Fax</b>	:	(+212) 05.37.63.53.69
<b>E-mail</b>	:	Contacts : gcim@gcim.ma
<b>Registre de Commerce</b>	:	N° 73721 à RABAT
<b>Patente</b>	:	N° 259 30671
<b>Identification fiscale</b>	:	40274024
<b>C.N.S.S.</b>	:	N° 7911721

### Services offerts

G.C.I.M. offre une gamme de services modulaire et diversifiée et s'adapte au niveau d'intervention attendu par chacun de ses clients. Il peut ainsi intervenir comme :

- **Bureau d'études** pour la conception de projets d'aménagements (Etudes de faisabilité, Etudes préliminaires, Avant-projets sommaires & Avant-projets détaillés) ;

## **Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt**

---

- **Expert technique** ou **assistant technique** pouvant élaborer, des dossiers d'exécution et des dossiers d'appel d'offres ;
- **Conseil du maître d'ouvrage** pour ses projets d'aménagement du territoire (Assistance technique, Pilotage des travaux & Contrôle des travaux) ;
- **Auditeur et évaluateur** de projets, de sites ou de politiques publiques.

### Domaines d'intervention

- TRAVAUX HYDRAULIQUES & HYDRO-AGRICOLES:
  - ASSAINISSEMENT
  - AMENAGEMENTS DES COURS D'EAU
  - BARRAGES
  - PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS
  - AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES
- ETUDES TECHNIQUES:
  - GEOLOGIE
  - GEOTECHNIQUE
  - HYDROLOGIE
  - STRUCTURE
- ETUDES ENVIRONNEMENTALES:
  - EVALUATION & AUDIT ENVIRONNEMENTAL
  - ETUDES GENERALES DANS LE DOMAINE DE L'ENVIRONNEMENT
- ETUDES GENERALE:
  - ETUDES ECONOMIQUES
  - ETUDES SOCIO-ECONOMIQUES
  - ETUDES FINANCIERES
  - ETUDES DE PLANIFICATION
- INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT:
  - ROUTES & PISTES
  - OUVRAGES D'ART
  - VOIRIES

## Introduction

L'amplification des occurrences violentes des inondations est devenue inévitable. Sans doute à cause du développement démographique, urbain et industriel. En effet, on construit de plus en plus dans des zones inondables en occupant les domaines hydrauliques des cours d'eaux, et avec les effets du changement climatique, le risque s'amplifie encore plus. C'est dans cette optique que s'inscrit le centre de Zaida, dans la province de Midelt.

Cette étude concerne juste les cours d'eau qui drainent des bassins versants dont les exutoires se trouvent à l'intérieur de périmètre urbain du centre. En effet, le centre connaît un début de forte urbanisation dû à un développement démographique considérable. Cette urbanisation se fait à proximité des zones inondables : Chaâbas et Oueds. Ce qui cause des inondations dangereuses à la suite de fortes précipitations.

L'objectif de notre travail est la réalisation d'un diagnostic de la situation existante, des études hydrologique et hydraulique au niveau des bassins versants ainsi que la définition des leurs schémas d'aménagement dont le but est la protection du périmètre urbain de Zaida contre les inondations. Après avoir défini le contexte de l'étude et les objectifs du projet de fin d'études, on présentera la méthodologie retenue pour le travail.

Le diagnostic de la situation existante vise à collecter toutes les informations qui vont aider à réussir l'étude de protection, en définissant de façon précise et détaillée les zones à protéger, en décrivant les cours d'eau source de risque...etc.

L'étude hydrologique vise la compréhension des processus de formation des débits dans un bassin versant. Elle a pour objectif la détermination des débits de pointes au niveau des bassins versants concernés par l'étude. Pour ce faire, on va procéder par plusieurs méthodes : la méthode rationnelle, les formules empiriques et la méthode de Gradex. Une comparaison des résultats, obtenus par les différentes méthodes, nous permettra de choisir ceux retenus comme débits de projet.

L'étude hydraulique, quant à elle, vise à prédire numériquement les caractéristiques hydrauliques au cours d'une crue. L'objectif étant de modéliser l'écoulement dans les cours d'eau et de vérifier la capacité de transit des aménagements existants. Et ensuite, on procède à proposer des solutions d'aménagement pour protéger le centre de Zaida contre les inondations, avant de terminer par une estimation financière des aménagements retenus.

**Chapitre 1 :**  
**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

### 1. Manifestation à l'échelle mondiale

Les inondations constituent la moitié des catastrophes naturelles mondiales. Ces catastrophes résultent de phénomènes naturels périodiques comme la mousson ou el niño, d'autres sont le fait de circonstances particulières (cyclones, typhons, orages violents) et sont aggravées par les dérèglements climatiques. Les inondations sont des phénomènes plus ou moins localisés qui surviennent aléatoirement sur les cours d'eau. Tous les pays sont touchés par le phénomène car les crues font partie du fonctionnement naturel d'un cours d'eau, elles peuvent être d'ampleur très variable d'une année à l'autre et elles n'occasionnent pas toujours des débordements et encore moins des catastrophes. Les hautes eaux d'une rivière sont en général dues à des épisodes de pluie plus intenses et plus longs qu'en temps normal. Les crues peuvent être très localisées comme elles peuvent toucher plusieurs pays à la fois (1).

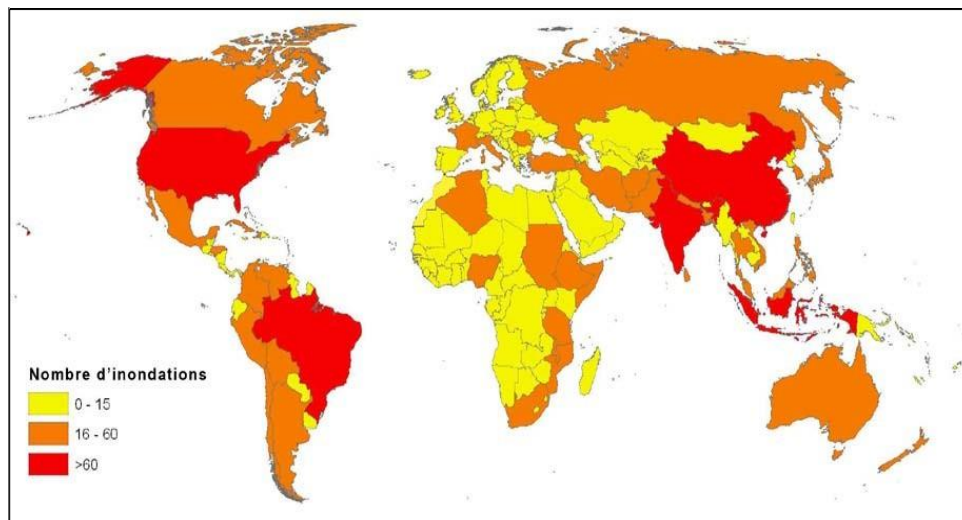


Figure 1 : Nombre d'inondations par pays entre 1974 et 2003 (Source EM-DAT) (1)

Au Maroc, les catastrophes les plus fréquentes et les plus meurtrières résident dans les occurrences terribles des inondations. Parmi les inondations les plus dramatiques qu'a connu le Maroc, on peut citer par exemple :

- L'inondation d'Ourika de 1995. Bilan : 240 morts et beaucoup de dégâts matériels ;
- Les crues de l'Oued Maleh en 1996, 2001 et 2002 ayant provoqué des inondations de la ville de Mohammedia. Bilan : Beaucoup de dégâts matériels;

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

- Les inondations du nord en octobre 2008 (Tanger, Tétouan, Fnidek et d'autres villes). Bilan : 28 morts, effondrement de 200 maisons anciennes et deux ponts dans la province de Nador, et d'énormes dégâts matériels provoqués par l'invasion des eaux qui ont submergé plusieurs habitats, établissements publics et locaux commerciaux, ainsi que les deux zones industrielles à Tanger ;
- Les crues de Sebou en 2009 et 2010 qui ont été à l'origine de la dégradation de près de 140000 ha de terrains agricoles, principalement des cultures de céréales et de légumes ;
- Les crues de l'Oued Beht de la fin de janvier-début février 2009, et qui ont provoqué des inondations au niveau de la pleine du Gharb touchant les provinces de Sidi Slimane, de Sidi Kacem et de Sidi Yahia. Bilan: Presque 3000 ha des terrains agricoles de la région du Gharb ont été inondés, 2700 maisons détruites, des milliers de personnes sans-abris dans les provinces de Sidi Slimane et de Sidi Kacem, et des dizaines de morts ;
- Les inondations de plusieurs régions au Maroc en Novembre 2010. Bilan : 35 morts et beaucoup de dégâts matériels.
- Les inondations mortelles du sud en novembre 2014. Bilan : 47 morts plus des dommages qui ont été évalués à plus de 6 milliards de dirhams.

La mise en place d'une stratégie de prévention contre les risques d'inondation au Maroc, nécessitera, suite aux expériences terribles vécues, la prise des mesures avant, au moment et après la catastrophe. (1,2,3)

## 2. Généralités sur les inondations

### 2.1. Définitions

La crue fait partie de la dynamique fluviale, elle est décrite à partir de trois paramètres : le débit, la hauteur d'eau et la vitesse du courant. Elle correspond à une augmentation brusque et temporaire de ces caractéristiques au niveau des cours d'eau, et elle ne provoque pas des perturbations majeures lorsque son ampleur est modérée.

En fonction de l'importance des débits, une crue peut être contenue dans le lit mineur du cours d'eau, ou déborder dans son lit moyen ou majeur. Par ailleurs, les caractéristiques des

précipitations (extension, intensité, durée) et des bassins versants peuvent donner lieu, selon les cas, à trois types de crues caractérisées en fonction du mode de propagation de l'onde de crue :

- Les crues simples (pluies intenses de courte durée affectant généralement l'ensemble du bassin);
- Les crues multiples (précipitations se succédant à un intervalle de temps inférieur au temps de réponse le plus long du bassin, ou pluies de longue durée);
- Les crues complexes, juxtaposant les deux types de crues précédents.

Une inondation désigne un recouvrement d'eau qui déborde du lit mineur lorsque le débit et le volume d'eau d'une crue sont importants (1).

### 2.2. Les facteurs conditionnant les inondations

Pour omprendre le processus à l'origine des crues et des inondations, il faut analyser les différents facteurs contribuant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau. Ce processus peut être résumé comme suit :

#### 2.2.1. L'eau mobilisable

La source de l'eau mobilisable capable d'engendrer des inondations peut s'agir de (1) :

- De la fonte de neiges ou de glaces au moment d'un redoux, associée ou non à des pluies;
- Des pluies répétées et prolongées de régime océanique, qui affecteront plutôt un grand bassin versant;
- D'averses relativement courtes mais intenses qui pourront toucher la totalité de la superficie de petits bassins versants de quelques kilomètres carrés.

#### 2.2.2. Le ruissellement

Le ruissellement est fortement lié à la nature du sol et de son occupation de surface, il correspond à la part de l'eau qui n'a pas été interceptée par le feuillage, ni restituée à l'atmosphère par évaporation, et qui n'a pas pu s'infiltrer, ou qui resurgit très rapidement après infiltration et écoulement hypodermique ou souterrain. Il sera donc d'autant plus faible quand la couverture végétale sera plus dense (arbres, herbes et tapis d'humus) et quand les sols sont insaturés par des épisodes pluvieux récents. Inversement, l'imperméabilisation des sols due à l'urbanisation (infrastructures, constructions) le favorisera (1).

### **2.2.3. Le temps de concentration**

Le temps de concentration est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau traverse son chemin hydraulique jusqu'à l'exutoire. Il est donc fonction de la taille et de la forme du bassin versant, de la topographie et de l'occupation des sols (1).

### **2.2.4. La propagation de la crue**

L'eau de ruissellement se rassemble dans un axe drainant où elle forme une crue qui se propage vers l'aval. Le débit de pointe de la crue est d'autant plus amorti et sa propagation se ralentit quand le champ d'écoulement est plus large et que la pente est plus faible (1).

### **2.2.5. Le débordement**

Le débordement aura lieu quand un débit à l'amont du cours d'eau est supérieur à celui que le lit mineur peut évacuer. Il peut se produire une ou plusieurs fois par an ou seulement tous les dix ans en moyenne voire tous les cent ans. En débordant, l'eau alimente massivement la nappe phréatique située sous le champ d'inondation et approvisionne les milieux de vie des végétaux et des animaux aquatiques ou hygrophiles (1).

## **2.3. Les enjeux des inondations**

Les enjeux représentent l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être touchés par un phénomène naturel. Ils sont généralement classés en trois types (1) :

### **2.3.1. Les enjeux humains**

Lors d'une inondation, des nombreuses personnes peuvent être emportées ou noyées par les courants, se retrouver blessées, déplacées ou sans abri.

### **2.3.2. Les enjeux économiques**

Les inondations engendrent des dommages de différentes ampleur aussi bien aux habitations qu'à toute autre activité humaine en bordure des cours d'eau (agriculture, industrie, commerce, loisirs, etc.). Le coupure des communications peut gêner, voire empêcher l'intervention des secours. Par ailleurs, on estime que les dommages indirects (perte d'activité, chômage technique, etc.) sont souvent plus importants que les dommages directs occasionnés aux biens mobiliers et immobiliers.



### 2.3.3. Les enjeux environnementaux

Les dégâts au milieu naturel sont dus à l'érosion, aux déplacements du lit ordinaire, aux dépôts des matériaux...etc. Les phénomènes d'érosion, de charriage, de suspension de matériaux et d'alluvionnement participent à l'évolution du milieu naturel dans ses aspects positifs comme négatifs. Pour les zones industrielles situées en zone inondable, un risque de pollution et d'accident technologique est à prendre en compte.

## 3. Le risque d'inondation au Maroc

Les crues ne sont pas une nouveauté au Maroc où traditionnellement elles étaient accueillies positivement en tant que source d'irrigation providentielle pour les cultures. Cependant, ces dernières années, la forte urbanisation, la croissance de la population et les effets probables du changement climatique font de ces crues une véritable source de risques pour un nombre toujours plus croissant de personnes et d'infrastructures vitales. La mise en place du Plan National de Lutte contre les inondations et l'adaptation aux effets des conditions météorologiques extrêmes, qui se manifestent de plus en plus, constituent un défi réel pour la population locale et les pouvoirs publics qui cherchent les moyens d'améliorer la résilience aux inondations dans le pays (3).

### 3.1. Typologie des crues au Maroc

Rappelons qu'une crue est la résultante d'actions et de réactions de plusieurs facteurs dynamiques complexes (les précipitations, le bassin versant, l'occupation du sol, ...).

La forme de l'hydro-gramme de la crue peut donner une petite idée sur sa typologie, mais l'observation des crues aux exutoires permet de simplifier leur classification en :

#### 3.1.1. Crues lentes des grands cours d'eau

Ce sont les crues générées par les grands cours d'eau (ayant un bassin versant généralement supérieur à 10 000 km<sup>2</sup>), au moment où ils arrivent dans leurs plaines alluviales. C'est notamment le cas des Oueds : Moulouya, Sebou, Oum Er Rbia, Tensift, Souss, Drâa, Ziz. Bien que ce dernier n'ait pas un débouché direct en mer, la taille de son bassin, la violence de ses crues et l'occupation de sa vallée (palmeraies) justifient son classement dans cette catégorie.

Les principales caractéristiques de ces crues sont les suivantes :

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

- Leur montée (passage du débit de base au débit de pointe) est lente (1/2 journée à une journée ou plus).
- La durée de la crue est en général de 2 ou 3 jours.
- La décrue est lente (1 à 2 jours).
- Les volumes écoulés sont importants (plusieurs centaines de Mm<sup>3</sup>).
- Les vitesses d'écoulement dans le lit mineur sont modérées ( $v < 2$  m/s).
- Elles transportent un important débit solide, essentiellement sous forme de transport en suspension d'éléments fins.

Les dégâts, qui résultent de la submersion des biens plus que de leur destruction, concernent alors surtout :

- Les surfaces agricoles, les bâtiments agricoles et les infrastructures hydrauliques.
- Les habitations et bâtiments divers installés dans le lit majeur.
- Les réseaux routiers qui peuvent être momentanément coupés et dégradés.

Elles n'entraînent généralement pas de victimes humaines, sauf imprudences commises en bordure du lit mineur, mais peuvent provoquer des dommages indirects importants tels que le ralentissement de l'activité économique, l'interruption du trafic, les pertes de récoltes et le limonage des sols...etc.

Ces crues sont en général assez facilement prévisibles avec les systèmes d'annonce de crue existants car :

- La précision météorologique est plus facile (perturbations océaniques installées sur plusieurs jours).
- La propagation de l'amont du bassin vers l'aval est lente et peut bien être prise en compte par les différentes stations hydrométriques installées sur les divers affluents.

Enfin, un point très important en ce qui concerne ces grands bassins Marocains, ils sont presque tous équipés de grands barrages réservoirs qui amoindrissent considérablement l'effet de ces crues (1).

### 3.1.2. Crues rapides des affluents des grands cours d'eau

Il s'agit le plus souvent de sous bassins dont la superficie est comprise entre 3 000 et 10 000 km<sup>2</sup>, et qui sont adossés aux reliefs du Rif ou des massifs Atlasiques, tels que les affluents :

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

- De la Moulouya: Melloulou, Za,
- Du Sebou: Ouergha, Beht,
- De l'Oum Er Rbia : El Abid, Tessaout, Lakhdar ;
- Du Tensift: N'Fis;
- Du Souss: Issen;
- Du Drâa: Dadès, Ouarzazate, N'Ait Douchéne ;
- Du Ziz: Rhéris, Todgha.

Sur ces oueds, lorsqu'ils ne sont pas régularisés par des barrages réservoirs importants, les caractéristiques principales des crues sont les suivantes :

- ✚ Temps de montée compris entre 6h et 24h ;
- ✚ Durée de la crue de l'ordre de 1 à 2 jours (éventuellement plus longue si les précipitations persistent plus longtemps) ;
- ✚ Temps de décrue de l'ordre de la journée ;
- ✚ Temps de propagation compris entre 6h et 12h depuis l'amont du bassin jusqu'à la confluence avec l'oued principal ;
- ✚ Volumes écoulés de l'ordre de la centaine de millions de m<sup>3</sup> ;
- ✚ Vitesse d'écoulement moyenne (2 à 3 m/s) avec des tirants d'eau supérieurs à 50 cm ou 1 mètre pouvant entraîner des destructions d'habitations ou de bâtiments instables (pisé) ;
- ✚ Débit solide important, aussi bien par charriage du fond que par transport en suspension.

La prévision de ces crues reste encore bonne avec les moyens de suivi météorologique et hydrologique existants, mais les temps nécessaires à l'annonce des crues, à la mise en sécurité des personnes, à la signalisation ou la fermeture des voies de communication exposées, se raccourcit à quelques heures (4h à 8h).

Quand on est dans les bassins régularisés par des grands barrages réservoirs, tous les paramètres sensibles sont fortement atténués (débits, vitesses d'écoulement, fréquences de débordement, temps de montée, temps de décrue et de propagation, ...) facilitant alors notablement l'annonce des crues et la mise en place des dispositifs de sécurité.

### 3.1.3. Crues rapides des oueds côtiers

En dehors des grands bassins, précédemment cités, qui trouvent leur exutoire en Mer Méditerranée ou sur l'Océan Atlantique, une quantité de fleuves côtiers, plus modestes quant à la dimension de leur bassin versant, vont également trouver rapidement leur exutoire en mer ou à l'océan. Ces oueds côtiers, de moyenne importance (bassins versants généralement compris entre 300 et 3 000 km<sup>2</sup>), présentent une sensibilité à la vulnérabilité parfois plus grande que certains grands bassins plus importants en superficie, d'autant plus que, contrairement à ces derniers, ils sont plus rarement régularisés par de grands barrages réservoirs.

On trouve dans cette catégorie :

- Les oueds côtiers méditerranéens (Kerte, Nekor, Ghis, Ouringa, El Had, Lao, Emsa, Martil...).
- Les oueds côtiers atlantiques (Mharhar, El Hachef, Loukkos, M'da, Drader, Bou Regreg, Ykem, Cherrat, El Mellah, Nfifikh, Tamdrost, Ksob, Tamri, Massa, Assaka, Chbeika,...).

L'annonce des crues, sauf dans le cas des grands fleuves côtiers équipés de grands barrages réservoirs (Loukkos, Bou Regreg, Massa) y est très difficile, à la fois en raison des temps de concertation très courts (une à quelques heures seulement) que du manque d'infrastructures hydrométriques (pluviographes, limnigraphes, etc) sur ces bassins.

### 3.1.4. Crues torrentielles des petits bassins de montagne

Ce type de crue est possible dans des régions montagneuses avec des bassins versants de taille réduite. C'est le cas des grands reliefs Rifains et Atlasiques, caractérisés par de fortes pentes, des terrains escarpés, ravinés, dénudés, généralement imperméables et favorablement exposés aux perturbations météorologiques et notamment propices au développement de cellules orageuses, puisque c'est dans ces régions où on enregistre les plus fortes pluies maximales journalières.

Contrairement aux autres catégories, ce sont souvent les crues d'été qui sont les plus violentes dans ces bassins.

Les risques encourus dans ces bassins sont d'autant plus importants qu'il s'agit de zones touristiques avec des vallées très étroites connaissant des affluences importantes notamment en été quand les risques de forts orages sont très importants.

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

Parmi les bassins sujets à de telles crues, on peut citer : les hautes vallées de l'Ourika, du Rhéraya, Zat R'Dat, Nfis, Todgha, des oueds Moughougha, Fnideq, Charâa, ZegZel à Berkane, les hauts bassins du Rhéris, Guir et du Draâ.

Sur ces bassins, parmi les plus dangereux, on va cumuler :

- ✚ Les très fortes et très rapides montées des eaux (variations de hauteur de 7 à 8m en 12h) ;
- ✚ Les très fortes vitesses d'écoulement (4 à 6 m/s) ;
- ✚ Des débits solides et charriages très importants ;
- ✚ Des écoulements torrentiels, tourbillonnaires, instables, pulsés par bouffées, avec des vagues et des ressauts, des changements rapides de direction... réunissant toutes les conditions pour attaquer les berges des cours d'eau et détruire les ouvrages situés en bordure (habitations, ponts, routes, ouvrages d'art, ...).

### 3.1.5. Crues pluviales « urbaines »

Dans cette catégorie de crues bien particulières qui concernent les communes urbanisées, il y a lieu de distinguer entre :

- Le ruissellement pluvial proprement dit résultant directement des pluies tombées sur le périmètre urbain et qui relève pour son contrôle du réseau d'assainissement pluvial de l'agglomération ;
- Le ruissellement pluvial périurbain généré par les précipitations sur les petits bassins versants dominant ces centres urbains et généralement d'une taille de 5 à 50 Km<sup>2</sup>.

Ces bassins périurbains présentent un réel danger pour les communes situées à l'aval surtout quand certaines conditions sont réunies :

- Ces bassins sont situés dans les zones à fortes précipitations (piémonts des montagnes) ;
- Ils présentent de fortes pentes favorisant à la fois le ruissellement et le transfert rapide de forts débits;
- Les lits mineurs et majeurs à la traversée de l'agglomération ont subi les méfaits d'une urbanisation non contrôlée.

### 4. La protection contre les inondations

Selon le Secrétariat d'Etat Chargé de l'Eau et de l'Environnement, la démarche à utiliser dans la lutte contre les inondations se base sur trois principales démarches :

- La planification pour la prévention ;
- La veille pour la prévision.
- L'aménagement pour la protection.

#### 4.1. Différents types de protection

On ne pourra jamais arrêter ou empêcher les inondations de se produire, il est cependant possible d'en atténuer les effets ou d'en diminuer la fréquence en priorité au niveau des zones les plus sensibles et les plus exposées. Ces protections peuvent être réparties en deux groupes : directes et indirectes.

##### 4.1.1. La protection directe

La protection directe consiste à intervenir directement sur le site menacé par la mise en œuvre des actions suivantes (1) :

###### 4.1.1.1. Le recalibrage

Il permet d'élargir et d'approfondir les sections des cours d'eau pour augmenter leur capacité d'évacuation des eaux et assurer une section mouillée répondant aux critères de protections désirées.



Figure 2 : Le recalibrage (a)

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

### 4.1.1.2. Le curage

Il permet une nette amélioration des conditions d'écoulement suite à l'élimination de tous les obstacles et les dépôts entravant l'écoulement des eaux dans le cours d'eau. Le débroussaillage est également nécessaire à la traversée des agglomérations pour des raisons sanitaires et en sections courantes pour diminuer la rugosité et accroître le débit.

### 4.1.1.3. Le renforcement

Il s'agit de renforcer les ouvrages de franchissements des Oueds et modification de leurs caractéristiques et des systèmes existants en cas de leur insuffisance (ponts, dalots, buses...).



Figure 3 : Le renforcement (b)

### 4.1.1.4. L'endiguement des oueds

C'est la construction des digues qui longent le cours d'eau sur ses deux berges. Cette opération est aisément réalisable par les ressources locales en main d'œuvre et en matériaux.

### 4.1.1.5. La réalisation de canaux

Il permet de régénérer le couloir initial de l'oued. Cette solution est indispensable dans le cas où le lit de l'oued et son domaine hydraulique ont été complètement occupé par des bâtiments ou par la voirie.



## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---



Figure 4 : La réalisation de canaux (c)

### 4.1.1.6. La protection des berges

Cette qui comprend tout ouvrage visant à maintenir la stabilité des terres en dépit de l'action de l'eau. Les berges sont en effet attaquées par des courants perturbateurs générés par les crues. De même, les terres glissent par suite de l'infiltration de l'eau après la décrue. La protection des berges est également nécessaire au voisinage de certains ouvrages tels que les ponts.



Figure 5 : La protection des berges (d)

### 4.1.2. La protection indirecte

La protection indirecte, consiste à intervenir plus loin des sites menacés c'est-à-dire, à l'extérieur du périmètre d'aménagement, en réalisant des ouvrages sur les cours d'eau responsables des inondations par (1) :



## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

### 4.1.2.1. Le reprofilage

Le reprofilage consiste à la construction des seuils en enrochement ou en gabions transversalement au cours d'eau qui permettent de retenir les particules solides et par la suite d'uniformiser la pente du fond du cours d'eau et de diminuer le transport solide

### 4.1.2.2. La réalisation des barrages ou seuils

L'opération correspond au stockage et au laminage des crues à l'amont des zones menacées. Le volume et la capacité de laminage du barrage devront être optimisés de manière à répondre au mieux à la protection envisagée.

### 4.1.2.3. La création des canaux périphériques

Il s'agit de dérivation des eaux vers les oueds permettant de les restituer vers des zones situées en dehors des aires à protéger. Cette déviation pourrait concerner une partie ou la totalité des eaux d'un oued vers un autre.

## 4.2. Le Plan National pour la Protection Contre les Inondations

Pour cerner ce problème dans sa globalité, le Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau a mené une étude nationale de protection des villes et centres contre les inondations (Plan National de Lutte Contre les Inondations). Dans le cadre de cette étude, 391 sites ont été inventoriés, visités et ont fait l'objet d'étude et d'analyse. Parmi ces sites, 50 ont été classés prioritaires.

**Tableau 1 : Répartition des sites à risque d'inondation par région hydraulique**

Région hydraulique	Sites inventoriés	sites classés prioritaire
Souss-Massa-Draa	99	8
Moulouya	62	5
Oum Er Rbia	59	4
Sebou	52	11
Tensift	50	7
Loukkos	40	6
Bouregreg	13	6
<b>TOTAL</b>	<b>391</b>	<b>50</b>

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

**Tableau 2 : Sites prioritaires à l'échelle nationale (1)**

Sites	Nombre
Grandes villes	14
Villes moyennes	11
Petites villes	13
Gros douars	5
Vallées touristiques	3
Plaines agricoles	1
Palmeraies	4

L'analyse des sites prioritaires a permis de déterminer les principales causes à l'origine des inondations :

- La morphologie des bassins versants caractérisée par des pentes fortes, une dégradation des sols et une perméabilité limitée favorisant la genèse des crues et l'amplification de leurs débits de pointe ;
- Le rétrécissement des sections des cours d'eau par les dépôts de charriage solide et les décharges de tous genres qui font obstacle à l'écoulement des eaux ce qui ne favorise pas l'évacuation des crues dans des conditions hydrauliques normales et naturelles ;
- L'occupation du domaine public hydraulique par des constructions anarchiques et de la concentration des activités économiques aux abords des lits des oueds ;
- La conception inappropriée de certains ponts et ouvrages de traversée des oueds au niveau desquels les branchages apportés par les crues constituent un obstacle à l'écoulement normal des eaux ;
- Le dimensionnement inapproprié des ouvrages de canalisation des cours d'eau à travers les centres urbains et les agglomérations.

**Chapitre 2 :**  
**PRESENTATION DE LA ZONE**  
**D'ETUDE**

### 1. Introduction

L'Agence du Bassin Hydraulique de la Moulouya-Oujda a confié à l'IC "Groupement des Consultants et Ingénieurs du Maroc (G.C.I.M) la réalisation des études de protection contre les inondations du centre Zaida (Province de Midelt). Elle a pour objet la détermination des options techniques et économiques les mieux adaptées pour protéger contre les inondations la zone concernée par l'étude. Dans ce chapitre, on va présenter la zone d'étude ainsi que ses caractéristiques influant le phénomène d'inondation, diagnostiquer la situation existante et identifier les zones à risque d'inondation à fin de lutter contre ce fléau qui menace le centre.

### 2. Données naturelles et humaines

#### 2.1. Données naturelles

##### 2.1.1. Situation géographique et accès

Le centre de Zaida figurant sur la carte est situé à la périphérie nord-ouest de la ville de Midelt. Ce centre est coïncé entre le versant moulouyen du Moyen Atlas central et l'ubac du massif de l'Ayachi. Les coordonnées géographiques du poste d'observation définies par les intersections du carroyage kilométrique Lambert sont les suivants : latitude  $32^{\circ}48'36''$  Nord et longitude  $4^{\circ}57'0''$  ouest. Il est limité par le centre d'Itzer et Oualegh au nord, Boumia au sud-ouest, Midelt au sud-est et par le barrage Hassan II à l'est.

Le centre de Zaida se situe aussi sur l'axe routier RN13 reliant Midelt et Azrou par Timihdite et sur la RR503 reliant Khenifra et Boulemane, il est à 40 km au nord-ouest de Midel

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

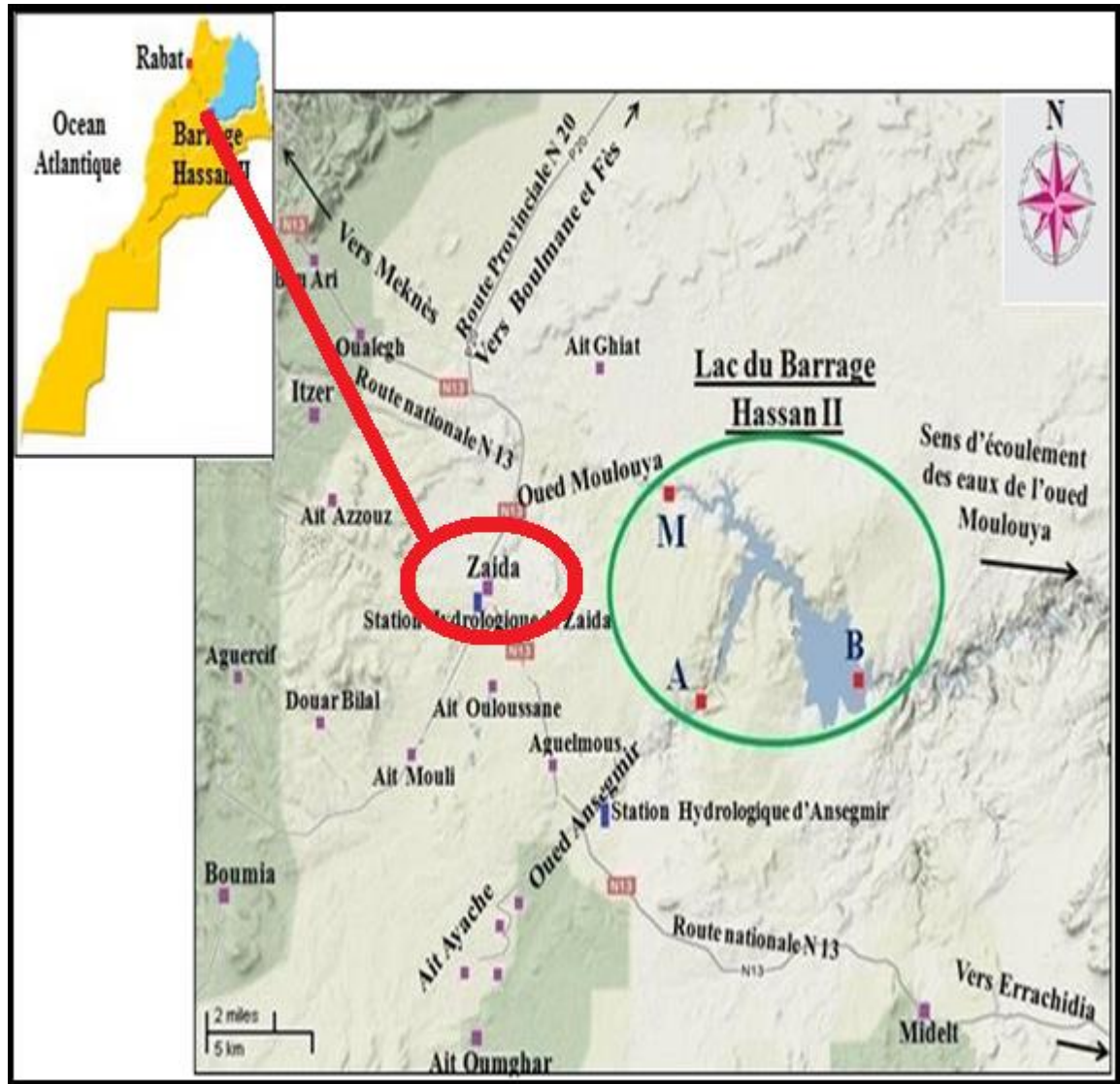


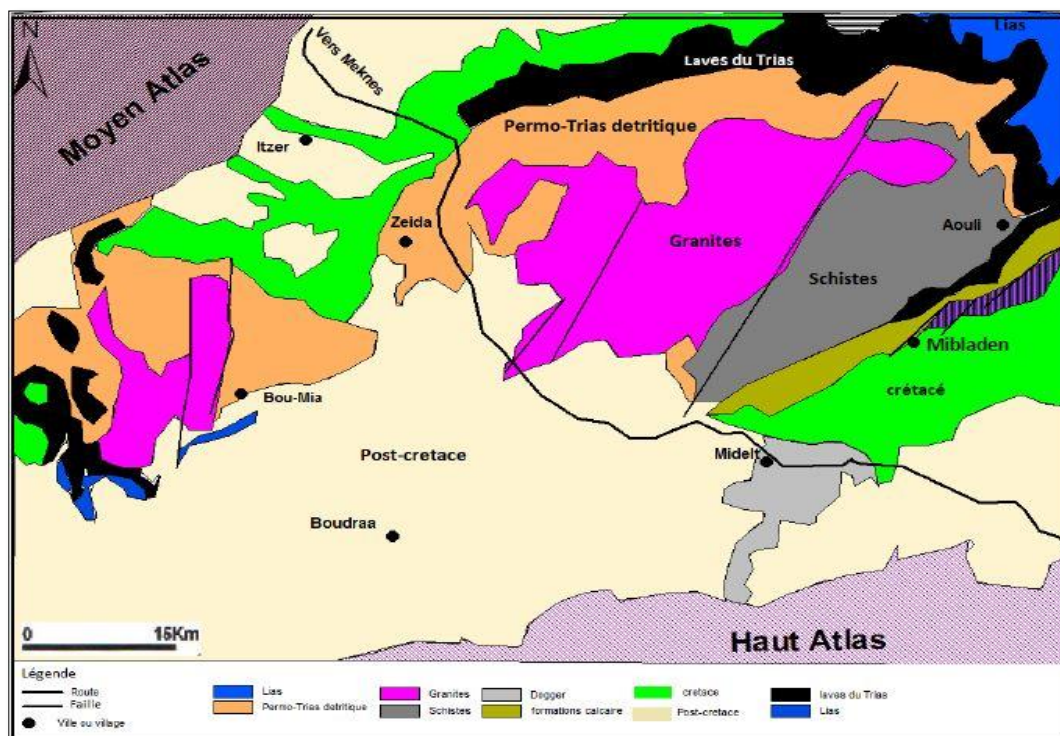
Figure 6: Localisation du centre Zaida (4)

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

### 2.1.2. Cadre géologique

La zone d'étude (commune de Zaida) se trouve dans la partie NE du bassin hydrogéologique HAUT ATLAS CALCAIRE et sur la Haute plaine de la Moulouya plus précisément, élevée au dessus de la mer de 1442m à 1481.7m et isolée des influences océaniques par 250km de terres immergées dont près de 150km de chaînes de montagne.

Sur le plan géologique, la région d'étude se répartit entre des sols sur granite, des sols sur les formes de Permo-Trias détritique et des sols sur les formations de crétacé.



### 2.1.3. Végétation

Les observations menées dans la dans la plaine de Midelt et en se basant sur la physionomie, on peut distinguer deux types de steppes : une steppe graminéenne cespiteuse composée par l'Alfa et une steppe ligneuse chamaephytique constituée de l'Armoise blanche. Ce type de physionomie est d'ailleurs le trait caractéristique du paysage végétal moulouyen (6).

### 2.1.4. Cadre climatique

Toute démarche visant à caractériser le climat requiert la prise en compte d'un volume important de données climatiques aux échelles de temps annuelle et surtout mensuelle, et tout particulièrement celles de quelques paramètres fondamentaux ; il s'agit de la hauteur des précipitations, de la température de l'air et du vent (6).

Un climat de steppe est présent à Zaida, avec peu de précipitations le long de l'année. La classification de Koppen-Geiger y donne un climat de type BSk (e).

#### 2.1.4.1. Les précipitations

Les précipitations moyenne annuelle varient parallèlement à l'altitude et sur tout le bassin, mais elles restent faible (< 350mm /an). Le total pluviométrique moyen de 1980 à 2015 est de 230 mm/an pour la station de Zaïda (7).

#### 2.1.4.2. La température

La Température moyenne annuelle dans la haute Moulouya est de 18.8 °C. Au mois de Juillet, la température moyenne est de 24.5 °C. Juillet est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Le mois le plus froid de l'année est celui de Janvier avec une température moyenne de 5.7 °C.

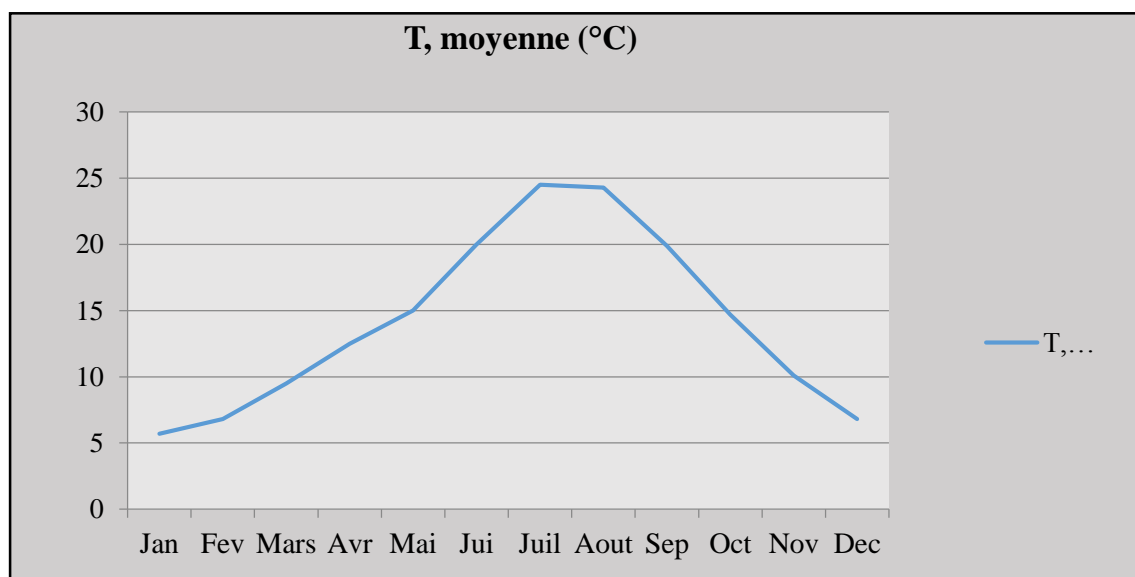


Figure 8 : Les températures mensuelles de Zaida (f)



### 2.1.4.3. Les vents

Le vent est un des caractères les plus remarquables du climat de Midelt. Comme nous le verrons ici-bas, il est particulièrement fréquent et actif ; d'ailleurs la station de Midelt connaît rarement des journées sans vent. Quelque soit le mois, le vent de secteur OUEST (O)est de loin le plus fréquent et le plus fort avec notamment une fréquence moyenne d'environ 56% et une vitesse moyenne de 23.4m/s (6).

Les « coups de cherguis » se manifestent le plus souvent en été et leur durée est de quelques heures à quelques jours. Ils provoquent une élévation brusque et importante de la température.

### 2.1.5. Ressources en eaux

La province de Midelt est située dans une zone de montagnes, sillonnée par le bassin versant de l'Oued Moulouya et en partie par les bassins versants amont des Oueds Sebou (Assif Melloul), Ziz et Guir. La province de Midelt se situe au cœur de l'Atlas et dispose d'un réseau d'eau dense et ramifié. Le Haut et le Moyen Atlas forment les principaux châteaux d'eau du Royaume du Maroc par leur position, leur altitude, leur superficie et leur constitution.

Dans la haute Moulouya, l'oued Moulouya draine la mine de Zaïda vers le barrage Hassan II, la détermination des caractéristiques hydrographique et hydrologique du réseau est donc indispensable (7).

#### 2.1.5.1. Eaux de surface

Le réseau hydrographique de la Moulouya est très dense, caractérisé par une multitude d'affluents, et par son collecteur principale Oued Moulouya. L'écoulement superficiel de la Moulouya est très variable d'une année à l'autre, des débits de crues importants et des étiages faibles ou nuls.

L'oued Moulouya, d'une longueur de 188 km, prend naissance à la haute Moulouya, à la jonction entre le haut atlas et le moyen atlas, il draine la totalité du bassin avant d'atteindre son embouchure en méditerranée.

Caractérisé par un régime très irrégulier, les apports annuels de l'oued Moulouya varient entre 270 Mm<sup>3</sup> pour les années sèches, et 1200Mm<sup>3</sup> pour les années humides.

Le débit moyen annuel de l'Oued Moulouya est de 2.78 m<sup>3</sup>/s à la station hydrologique de Zaïda, et s'élève à 7.93m<sup>3</sup>/s à la station Missouri plus en aval de la haute Moulouya.



## **Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt**

---

À la station de Zaïda, les moyenne des débits mensuelles les plus élevés sont observé pendant l'hiver  $4,79\text{m}^3/\text{s}$  et les minimales en été  $0,062\text{ m}^3/\text{s}$  au cours du mois d'août (7).

### **2.1.5.2. Eaux souterraines**

Le bassin hydrogéologique de la Moulouya renferme une trentaine de nappes d'importance qualitative et quantitative différente, dû à la variabilité des conditions dans tout le bassin, d'un point de vue géologique, climatique et lithologique.

Selon l'ABHM, la recharge du système aquifère en Haute Moulouya atteint les  $120\text{Mm}^3/\text{an}$ . S'étendant sur  $3300\text{km}^2$ , le bassin comporte 3 aquifères principaux :

- Les nappes du mio-plio-quaternaire, totalisant un débit de  $52\text{Mm}^3/\text{an}$ , utilisée surtout pour l'irrigation via 12 sources ( $3\text{Mm}^3/\text{an}$ ), cependant ces nappes sont vulnérables à la pollution.
- La nappe des calcaires du crétacé donne naissance à une quinzaine de sources, débitant une moyenne de  $12.3\text{Mm}^3/\text{an}$  pour l'irrigation de tout type.
- La nappe des calcaires bajociens, dont les débits de ses sources atteignent les  $382\text{ l/s}$ , destiné à l'irrigation, avec quelque forage pour l'alimentation en eau potable (7).

## **2.2. Données humaines**

### **2.2.1. Population**

Pour ce qui est de la population de la commune de Zaida, selon le RGPH en 2014, le total des ménages est de 2500 pour une population globale de 13181 habitants (8).

### **2.2.2. Situation administrative**

Le centre de Zaida possède le statut de commune rurale, il est le chef lieu de la commune et du caïdat de Zaida qui relève du cercle de Midelt et de la région de Draa-Tafilalt selon la nouvelle répartition régionale.

### **2.2.3. Activités économiques**

Les principales activités économiques du périmètre d'étude sont liées à l'agriculture des pommiers notamment et de l'élevage.

Vu sa situation dans la confluence de deux axes routiers principaux, une partie de la population exploite cet avantage stratégique en offrant des repas pour les passagers qui sont habitués du lieu pour sa grande réputation. L'activité commerciale est modérée. Le souk a lieu chaque

semaine, il est fréquenté par la population du centre et celle des centres et des douars avoisinants.

### 3. Description et Diagnostic de la zone d'étude

#### 3.1. Description de réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la zone d'étude se constitue de :

- ✚ **Oued Moulouya** : D'une longueur de 188 km, prend naissance à la haute Moulouya, à la jonction entre le haut atlas et le moyen atlas, il draine la totalité du bassin avant d'atteindre son embouchure en méditerranée.
- ✚ **Oued Bouhafs** : Les écoulements de Bouhafs prennent départ dans les Jbels Roumyat (2300m) de moyens atlas.
- ✚ **Chaâba Tamalht** : Les écoulements de cette Chaâba prennent naissance à l'extérieure du centre, au niveau de douar de Taqaddart plus précisément.
- ✚ **Chaâba Tassafayt** : Les écoulements de cette Chaâba prennent naissance depuis la colline de Tassafayt (1773 m).
- ✚ **Chaâba Est** : c'est le seul affluent de la rive droite de l'oued Moulouya, les écoulements dans cette Chaâba prennent naissance depuis un Karyan de Iligh Izroudane.

#### 3.2. Diagnostic et position du problème

En vue d'assurer une protection, du centre Zaida, contre les inondations des cours d'eau traversant le centre, nous avons vu l'importance d'effectuer des enquêtes de terrain. D'une part, pour identifier les zones inondables et déterminer dans la mesure de possible les raisons de ces inondations par les témoignages des autochtones, et d'autre part pour inventorier et caractériser les aménagements à réaliser le long de ces cours d'eau.

Les résultats de ces enquêtes permettront d'élaborer un diagnostic précis de la situation actuelle du centre, tout en considération le but global de la protection du centre contre les crues des cours d'eau qui le traversent.

Le centre de Zaida s'est développé sur les deux rives de l'oued Moulouya avec une tendance de concentration sur la rive gauche.

### 3.2.1. Diagnostic de rive droite

La rive droite est aménagée seulement à l'entrée de Zaida, elle est longée par la RN13



Figure 9 : La RN 13

(Figure n°9). Le quartier administratif, des établissements publics, des usines et quelques constructions font l'occupation de cette rive. Le seul effluent de cette rive est la « Chaaba Est » à droite de la RN13, ses eaux s'écoulent normalement dans son lit graniteux et inonde des constructions et la voie publique lors des périodes des crues. elle traverse cette

dernière par des buses (figure n°10) , sous dimensionnés et mal aménagés, avant de déverser dans la Moulouya en traversant un dalot privé à deux ouvertures (figure n°11).



Figure 10 : Les buses sur la RN13



Figure 11 : Dalot à deux ouvertures

### 3.2.2. Diagnostic de rive gauche

La rive gauche est accessible à la fois par la RN13 et la RR503. Les eaux des affluents de cette rive peuvent y engendrer d'importantes inondations

#### 3.2.2.1. Oued Bouhafs

C'est le plus grand affluent de la Moulouya sur notre périmètre d'étude, il draine un bassin



Figure 11 : Ouvrage sur Oued Bouhafs

versant de taille importante. Son lit se colmate par les dépôts de déchets et de remblai, en plus de l'abondance de la végétation, engendrent ainsi des problèmes d'inondations notables aux zones adjacentes de son talweg principal. Le franchissement de l'oued Bouhafs au niveau du centre est assuré par un pont (figure n°11) sur la RN 13,

qui se constitue d'une seule travée d'une longueur de 10 m et d'une hauteur de 3 m. Cependant, l'envasement de cet aménagement hydraulique et les dépôts de tout type d'ordures réduisent notablement sa capacité débitante. Ensuite, le cours d'eau continue son chemin jusqu'à sa confluence avec l'oued Moulouya.

#### 3.2.2.2. Chaâba de Tamlah

Elle s'écoule dans son lit granitique, moyennement marqué et draine un BV de petite taille.



Figure 12 : Dalot existant sur Chaâba

L'existence d'un mur de protection, de 200 m de longueur sur la rive gauche de la chaâba, témoigne l'intention des riverains de se protéger des crues précédentes. Elle traverse la RR503 à l'aide d'un dalot simple (figure n°12) à section rectangulaire de dimensions 3x2.5 m. En allant toujours en aval, il existe des constructions dans les rives

du cours d'eau, des dépôts sauvages, du remblai qui réduisent la section d'écoulement du lit et de l'ouvrage, ainsi l'existence des regards qui supposent la présence d'un réseau d'assainissement, dans le lit.

### 3.2.2.3. Chaâba de Tassfayt

D'après les témoignages des occupants de sa rive gauche. La chaâba de Tassfayt, avec un lit marqué par l'abondance de l'alpha, a été l'origine de plusieurs inondations des zones avoisinantes (Lycée, brigade, abattoir, constructions...), sans négliger les mauvaises odeurs des déchets liquides d'abattoir, la chose qui dérange davantage la population et la pousse à se protéger en aménageant des simples endiguements pour acheminer le danger vers l'autre rive. Un dalot à deux ouvertures de 2.5 x 1 m ( figure n°15) assure le passage de la chaâba par la RR503, dont l'envasement a diminué sa capacité à passer un débit important, la chose qui cause le débordement de la chaâba sur la voie de communication lors des périodes des crues.



Figure 14 : Dalot à deux ouvertures



Figure 13 : Vue sur la Chaâba Tassfayt

**Chapitre 3 :**  
**ETUDE HYDROLOGIQUE DES**  
**BASSINS VERSANTS**



## 1. Introduction

Au début la détermination des caractéristiques morphologique de la zone à étudier semble d'importance cruciale, en fait, elles influent énormément la réponse hydrologique du bassin versant. Ce chapitre est consacré à l'estimation des crues de projet pour des périodes de retour allant de 10 à 100 ans, sous l'aspect des débits de pointe à l'entrée des tronçons des cours d'eau étudiés, et cela en se basant sur les différentes approches de la littérature hydrologique. L'étude concerne les oueds et les chaâbas qui ont été jugés, dans le diagnostic qu'on a mené avant sur le terrain, comme source prévue d'inondation.

## 2. Caractéristiques des bassins versants

### 2.1. Définition

Le bassin versant (BV) ou le bassin hydrologique représente l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ces effets. Il est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par un cours d'eau principale (Oued) et ses affluents.

Le BV est une zone de relief dont les eaux de ruissellement de surface s'écoulent et se rassemblent vers un point unique appelé l'exutoire. Ce dernier se définit comme le point à partir duquel nous pouvons tracer le départ et l'arrivée de la ligne de partage des eaux

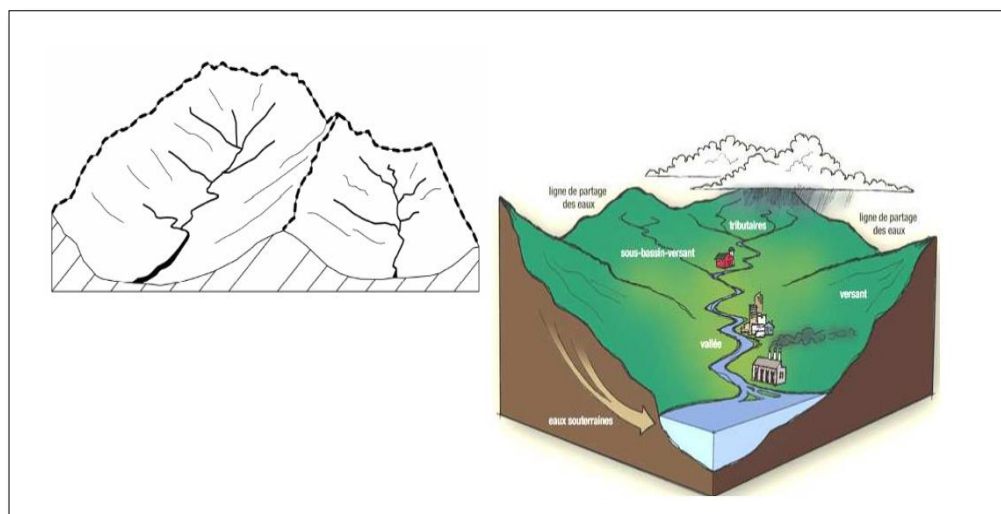


Figure 15 : Illustration du BV (9)

### 2.2. La délimitation des BV et calcul de leurs caractéristiques

#### 2.2.1. La délimitation des bassins versants

L'ensemble des bassins versant étudiés couvre principalement des zones rurales du centre de Zaida. La délimitation des bassins versants est effectuée, en utilisant le logiciel AutoCAD 2008, sur la base de ses exutoires des cours d'eaux, des cartes topographiques à l'échelle 1/50 000un et une restitution topographique du centre Zaida ainsi que des reconnaissances de terrain.

**Tableau 3: Les cartes topographiques utilisées**

Nom de la Carte	Echelle	Numéro
AIT ILOUSSANE	1/50 000ème	NI-30-II-3c
ITZAR	1/50 000ème	NI-30-I-4d

##### 2.2.1.1. Caractéristiques morpho métriques des BV

Les bassins qui font l'objet de la présente étude sont au nombre de cinq bassins versants figurés sur la carte en haut.

##### 2.2.1.2. La forme

La forme d'un BV influence l'allure de l'hydrogramme de pluie au niveau de l'exutoire du bassin versant, cette influence est due à la notion de temps de concentration qu'on a eu l'occasion de le définir avant.

Les bassins en forme d'éventail (BV1) ou circulaire, présentant un temps de concentration plus court ( $t_{c1}$ ), auront les plus forts débits de pointe.



## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

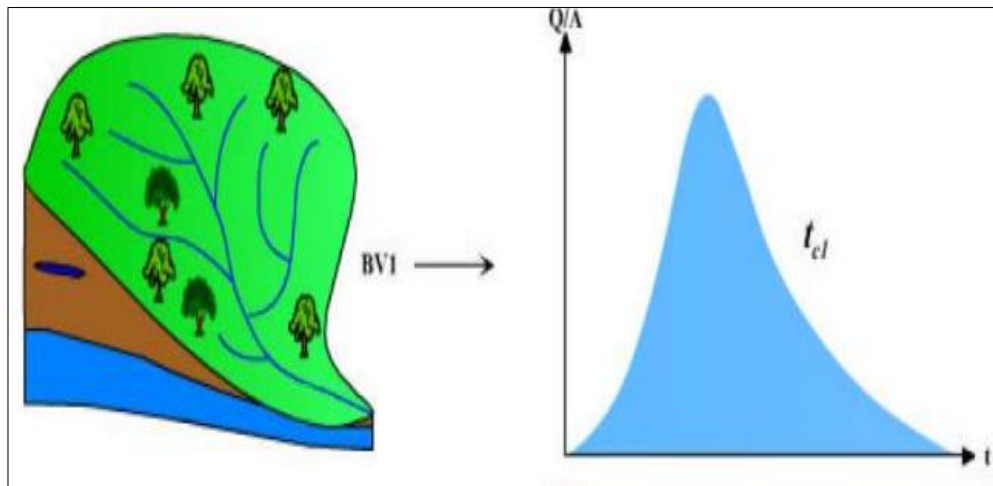


Figure 16 : BV sous forme d'éventail (9)

Par contre, La forme allongée (BV2) favorise les faibles débits de pointe de crue, en raison des temps importants d'acheminement de l'eau à l'exutoire.

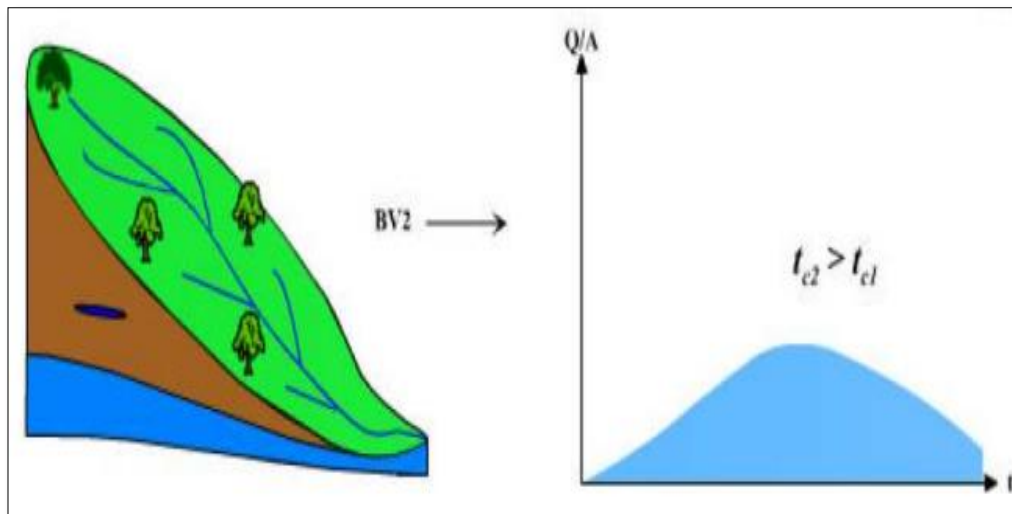


Figure 17 : BV en forme circulaire (9)

Pour caractériser la forme d'un BV, Il existe différents indices morphologiques. Citons à titre d'exemple l'indice de compacité de Gravelius (1914)  $K_G$  :

Avec

$$K_G = \frac{P}{2 \times \sqrt{\pi \times S}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

P : Périmètre du BV (km)

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

A : Surface du BV (km<sup>2</sup>).

Cet indice se détermine à partir de la délimitation adoptée en mesurant la surface et le périmètre du chaque BV par l'affichage des propriétés de la polyligne qui le délimite sur un fichier Autocad. Sa valeur est généralement comprise entre 1 et 1.75 ainsi, il est possible d'établir certaine correspondance entre la forme du bassin et les valeurs de  $K_G$  qui lui correspondent. Ces correspondances sont illustrées dans le tableau qui suit :

**Tableau 4: La valeur de l'indice de compacité de Gravélius**

Intervalle de $K_G$	Forme du bassin versant
1.00 à 1.25	circulaire à assez allongé
1.25 à 1.50	assez allongé à allongé
1.50 à 1.75	allongé à très allongé

L'indice de compacité ainsi la forme des BV, qui font l'objet de notre étude, sont notés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 5 : La forme des BV**

Bassin versant	S (km <sup>2</sup> )	P(Km)	$K_G$	Forme du BV
Oued Bouhafs	101.91	58.60	1.62	Allongé à très allongé
Chaâba Tamalht	1.66	6.53	1.42	Assez allongé à allongé
Chaâba Tassafayt	12.24	18.76	1.50	Assez allongé à allongé
Chaâba Est	2.51	8.00	1.41	Assez allongé à allongé

### 2.2.1.3. La pente moyenne

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur plusieurs des paramètres déterminante dans la suite de notre étude.

Cette variable influence directement le débit de pointe lors d'une averse car une forte pente favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principale et de ses affluents.

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. Toutes se basent sur une lecture d'une carte topographique réelle ou approximative.

La pente moyenne du cours d'eau a été calculée par la formule suivante (9) :

$$I = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L}$$

Avec

I : Pente moyenne du cours d'eau (m/km)

$\Delta H$  : Dénivellation de l'oued ou de la Chaâba (m)

L : Longueur du cours d'eau principal (Km).

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques des bassins versants étudiés :

**Tableau 6 : Les caractéristiques des BV étudiés**

Bassin versant	X	Y	S (km <sup>2</sup> )	L (km)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>min</sub> (m)	$\Delta H$ (m)	I en %
Oued Bouhafs	540823.73	247093.9	101.91	26.97	2291	1463	828	3.07
Chaâba Tamalht	540782	246832	1.66	3.10	1.510	1460	50	1.61
Chaâba Tassafayt	540261	246022	12.24	7.99	1645	1470	200	2.50
Chaâba Est	541218	246657	2.51	3.55	1525	1454	71	2.00

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

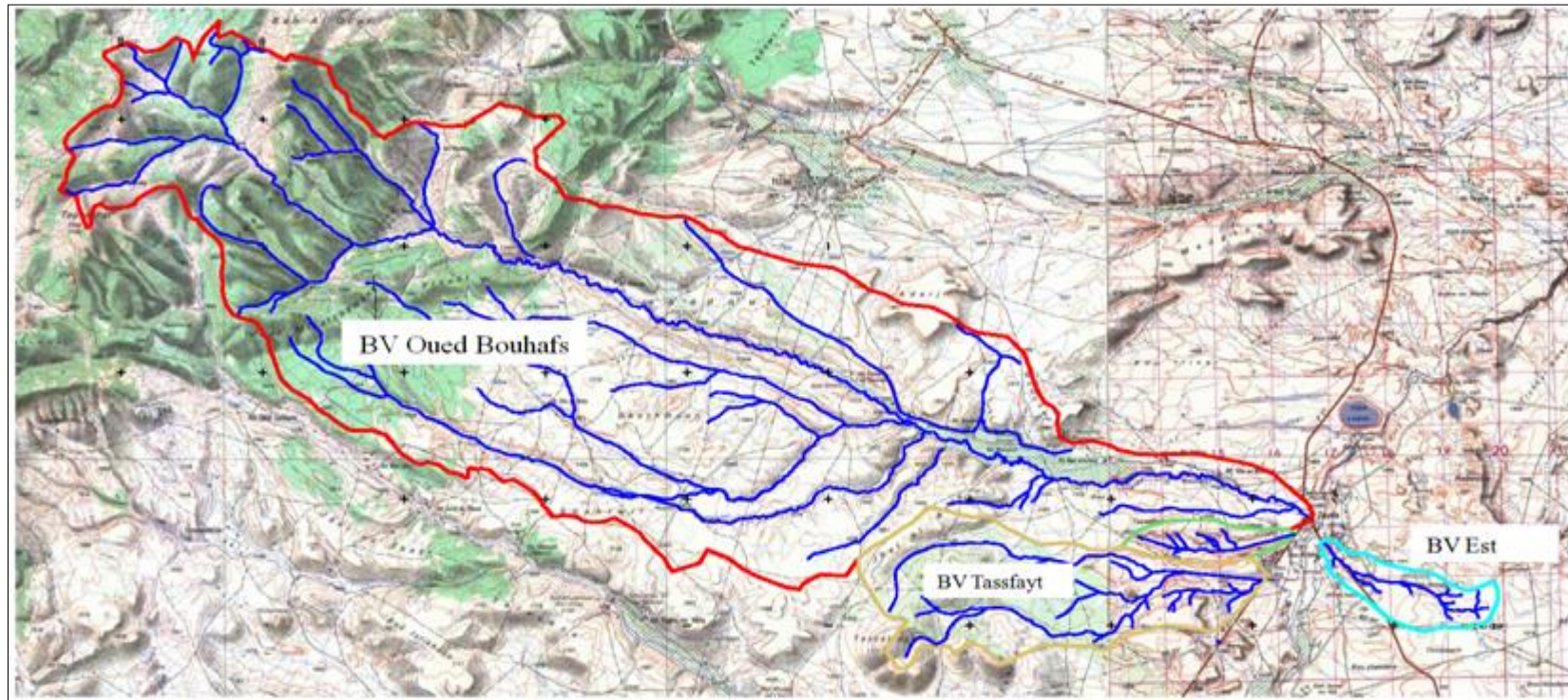


Figure 18 : Délimitation des BVs

### 2.2.2. Caractéristiques pluviométriques

#### 2.2.2.1. Stations pluviométriques

La pluviométrie du secteur d'étude est déterminée à partir de l'analyse des précipitations recueillies au niveau des stations pluviométriques qui encadrent les bassins des cours d'eau concernés par la présente étude.

La station pluviométrique de la zone étudiée est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 7 : La station pluviométrique de Zaida

NOM	N°IRE	Nombre d'années	COORDONNEES			PERIODE	
			X	Y	Z	DE	A
Zaida	318/30	36	541000	246800	1450	1980-2015	

#### 2.2.2.2. Pluies journalières maximales annuelles

Les échantillons des pluies journalières maximales annuelles ( $P_{jmax}$ ) à l'état brut au niveau de la station de Zaida figurent dans l'annexe n°1.

#### 2.2.2.3. Courbes Intensité - Durée - Fréquence

Les coefficients de Montana nécessaires à l'application de la méthode rationnelle, ont été déduits à partir des courbes IDF de la station météorologique de Zaida. Ces coefficients sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Les coefficients de Montana

Période de retour	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Paramètre a (mm/min)	7.23	8.976	11.239	12.939
Paramètre b	0.718	0.726	0.734	0.738

#### 2.2.2.4. Débits instantanés maximums annuels

On dispose des débits instantanés maximums annuels ( $Q_{jmax}$ ) de la station hydrométrique de Zaida.

La présente étude est basée sur une série de débits instantanés maximums annuels enregistrés au niveau de la station de Zaida, qui contrôle le bassin de la haute Moulouya dont les cinq sous bassins de notre étude fassent partie.

### 3. L'estimation du temps de concentration (Tc)

Le calcul des débits des bassins versants, fait intervenir le concept du temps de concentration ou temps de pointe.

Théoriquement on estime que Tc est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques.

Dans cette étude, ce paramètre est évalué par des formules empiriques largement utilisés au Maroc et qui sont présentées et expliquées ci-après (10, 11,12).

#### 3.1. Les formules empiriques explicitant le Tc

##### 3.1.1. La formule de Giondotti

La formule s'écrit :

$$T_c = 60 * (4 * S^{0.5} + 1.5 * L) / (0.8 * H^{0.5})$$

Où :

- Tc : Le temps de concentration en minute
- S : La surface du BV en km<sup>2</sup>
- L : La longueur du talweg en km
- H : La dénivelée maximale du BV en m.

##### 3.1.2. La formule de Ventura

La formule s'écrit :

$$T_c = 76.3 * (S/I)$$

Où :

- Tc : Le temps de concentration en minute.
- S : La surface du BV en km<sup>2</sup>.



## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

I : La pente moyenne du talweg en %.

### 3.1.3. La formule de Kirplich

La formule s'écrit :

$$T_c = L^{(0,77)} * I^{(-0,385)} / 52$$

Où :

T<sub>c</sub> : Le temps de concentration en minute.

L : La longueur du talweg en m.

I : La pente moyenne du talweg en m/m

### 3.1.4. La formule de Turrazza & Passini

La formule s'écrit :

$$T_c = 60 * 0,108 * (L * S)^{0,333} * I^{(-0,5)}$$

Où :

T<sub>c</sub> : L temps de concentration en min

S : La surface du BV en km<sup>2</sup>,

L : Est la longueur du talweg en km,

I : Est la pente en m/m.

### 3.1.5. Formule Espagnole

La formule s'écrit :

$$T_c = 18 * (L / 1000)^{0,77} * I^{(-0,192)}$$

Où :

T<sub>c</sub> : Le temps de concentration en min,

L : La longueur du talweg en m

I : La pente en m/m

### 3.1.6. Formule Californienne

La formule s'écrit :

$$T_c = 60 * 0.1452 * (L * I^{(-0,5)} / 1000)^{(0,77)}$$

Où :

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

Tc : en minute  
L : en m  
I : en m/m

### 3.1.7. Formule d'US Corps

La formule s'écrit :

$$Tc = 16.682 * (L * I^{(-0,25)} / 1000)^{(0,77)}$$

Où :

Tc : en minute  
L : en m  
I : en m/m

### 3.2. Le calcul de Tc

Les temps de concentrations calculés par les différentes formules empiriques (voir formules) sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau 9 : Les Temps de concentration**

BV	Giandotti	Turr et pass	Ventura	kirpich	espagnole	Calif...	Us Corps	Tc (h)
O. Bouhafas	3.51	8.61	7.33	3.16	7.42	7.02	6.87	6.27
Ch.Tamlaht	1.73	1.47	1.29	0.77	1.59	1.70	1.47	1.54
Ch.Tassfayt	2.30	3.14	2.81	1.34	3.02	2.98	2.80	2.84
Ch. Est	1.73	1.58	1.42	0.78	1.69	1.74	1.57	1.62

Les temps de concentration retenus pour les bassins versants de la zone de l'étude sont la moyenne des temps de concentrations calculés par les formules qui donnent des valeurs comparables et assez avoisinantes.



## 4. L'estimation du débit de pointe

Après avoir délimité les bassins versants de la zone d'étude, déterminé leurs caractéristiques géométriques (superficie, longueur du talweg, dénivelée maximale, pente moyenne ...), sur la base des cartes topographiques de la région d'étude et à l'aide d'Autocad, et calculé le temps de concentration  $T_c$  (ou temps de pointe) en utilisant les formules empiriques. On vise dans cette étape à évaluer les débits des crues pour des périodes de retours allant de 10 à 100 ans.

### 4.1. Les méthodologies utilisées pour l'étude des crues

Dans la majorité des études hydrologique des BV, la détermination des débits de crues se basera sur les méthodes suivantes (11,12) :

- La méthode rationnelle
- La transposition directe des débits de pointe par la méthode de Francou-Roudier à partir des bassins versants similaires et avoisinants des sites des stations hydrologiques.
- L'ajustement statistique des débits maximaux instantanés annuels enregistré au niveau des stations hydrologiques avoisinantes.
- L'approche par les formules empiriques pour le calcul des crues d'une fréquence de retour 1/10 nécessaires pour la méthode de Gradex.
- L'utilisation du Gradex des pluies à partir du débit de pointe décennal estimé.

#### 4.1.1. La méthode rationnelle

La méthode rationnelle (11), décrite dans les recommandations pour l'assainissement routier SETRA de 1982, a été élaborée pour estimer les débits de pointe des bassins versants dont la superficie est inférieure à 25 km<sup>2</sup>.

Elle requiert notamment les données suivantes : une intensité de précipitation, un coefficient de ruissellement et une aire de bassin versant.

La formule de calcul du débit de pointe par la méthode rationnelle se présente comme suit :

$$Q(T) = \frac{C \cdot I(t_c, T) \cdot S}{3.6}$$

Avec :

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

C : Coefficient de ruissellement du bassin versant, ce coefficient s'obtient d'après la formule d'homogénéisation des coefficients de surfaces élémentaires relatifs aux différentes zones de chaque bassin versant:

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Où :

$A_1, A_2 \dots A_n$  sont les surfaces élémentaires classifiées d'après la texture du sol et la topographie.

$C_1, C_2 \dots C_n$  sont les coefficients de ruissellement qui correspondent aux surfaces élémentaires. Leurs valeurs sont tirées à partir du tableau suivant :

**Tableau 10 : Les coefficients de ruissellement (11)**

Coefficients de ruissellement C					
Topographie et Végétation			Texture du sol		
			Sablonneux	Argile et Silt	Argile Compacte
<b>boise</b>	Plat	Pente 0- 5%	0,10	0,30	0,40
	Valonneux	Pente 5- 10%	0,25	0,35	0,50
	Montagneux	Pente 10- 30%	0,30	0,50	0,60
<b>Deboise et Friches</b>	Plat	Pente 0- 5%	0,10	0,30	0,40
	Valonneux	Pente 5- 10%	0,16	0,36	0,55
	Montagneux	Pente 10- 30%	0,22	0,42	0,60
<b>Cultures drainées</b>	Plat	Pente 0- 5%	0,30	0,50	0,60
	Valonneux	Pente 5- 10%	0,40	0,60	0,70
	Montagneux	Pente 10- 30%	0,52	0,72	0,82

Vu la nature du terrain relativement plate, et sa texture en argile compacte, ce coefficient a été pris égal à 0.40.

$T_c$  : Temps de concentration du bassin versant en min,

$I(t_c, T)$  : L'intensité de pluie de durée  $t_c$  et de période de retour  $T$ ,

L'intensité est calculée par la formule de Montana qui s'exprime :  $I = 60 * a t_c^{(1-b)}$

Les paramètres  $a$  et  $b$  de Montana de différentes périodes de retour,

$S$  : Surface du bassin versant en  $km^2$ .

### 4.1.2. Transposition à partir des bassins limitrophes

Cette méthode est utilisée dans les sites où le régime d'écoulement est naturel ou influencé journalièrement, sur lequel il existe des données hydrométriques en nombre suffisant ( $N \geq 20$  ans), et dont la station de référence est relativement éloignée sur le même cours bassin versant étudié.

Il est possible de procéder à une estimation des débits de crue pour des sites situés en amont ou en aval d'une station hydrométrique, en transposant les débits de crue obtenus à la station à l'aide de la formule de Francou-Rodier communément utilisée au Maroc. Cette formule s'écrit sous la forme suivante :

$$\frac{Q}{10^6} = (A/10^8)^{1-K/10}$$

Avec :

Q : Débit de pointe  $m^3/s$  au bassin cible

S : Surface du bassin cible en  $km^2$

K Paramètre de Francou-Rodier

Le paramètre K est déterminé grâce à la surface active du bassin d'origine ( $S'$ ) en  $km^2$ , et son débit ( $Q'$ ) selon la formule suivante :

$$K = 10 \cdot \frac{\text{Log}(S'/100Q'_P)}{\text{Log}(S'/10^8)}$$

Les valeurs du coefficient K ainsi déterminées permettent de transposer les débits des crues aux bassins actifs cibles.

### 4.1.3. Formules Empiriques

Les méthodes de détermination des débits de pointes par les formules empiriques tiennent compte de deux facteurs essentiels :

- La taille du bassin versant, par le biais de sa surface et/ou de sa longueur.
- Le gradient topographique du bassin versant, par le biais de sa pente ou de sa dénivelée.

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

Les débits retenus sont ceux calculés par ces formules dont les limites de validités dépendent essentiellement de la taille des bassins. Suivant ce critère, on distingue deux classes de bassin, à chacun on applique les formules convenables. Les formules retenues et leurs conditions d'utilisations ont été extraites des documents de références suivants <sup>[11]</sup> :

- Guide hydrologique et hydraulique pour le dimensionnement des franchissements routiers, DRCR 1997 ;
- Schéma directeur national d'assainissement liquide.

Petits bassins versants (<100 ha)

➤ Mac Math

Grands bassins versants (>100 ha)

➤ Mallet Gauthier

➤ Fuller II

➤ Hazan Lazarevic

Ces méthodes largement utilisées en ingénierie, élaborées ailleurs, et utilisées au Maroc sur la base des données hydrologiques locales, sont présentées ci-après :

### 4.1.3.1. Formule de Mac Math (S<100 ha)

La formule s'écrit :

$$Q = K * P * A^{0.58} * I^{0.42}$$

Q : Débit de pointe en m<sup>3</sup>/s de récurrence T.

A : Superficie du bassin versant en ha

I : La pente moyenne du bassin versant en millième.

P : la précipitation maximale en mm tombée en 24 sur le Bv.

K : Coefficient dépendant de la topographie et de la nature du bassin versant comme le montre le tableau suivant :

Tableau 11 : Les valeurs de K <sup>[11]</sup>

Nature de la surface	Valeur de K
BV de grandes dimensions et couvert de végétation	0.11
Superficies cultivées et terrains vagues des suburbaines	0.22
Terrains non aménagés, non rocheux de pente moyenne, zones peu densément peuplées et faubourgs non pavés	0.35
Petites cités, terrains non aménagés, rocheux à forte pente	0.43

#### 4.1.3.2. Formule de Fuller II

La formule s'écrit :

$$Q_t = (1 + a \cdot \log(T)) \cdot \left( S^{0.8} + \frac{8}{3} \cdot S^{0.5} \right) \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{N}{100}$$

Avec :

$Q_t$  : Débit de la crue en m<sup>3</sup>/s de récurrence T.

T : Période de retour égale à (10, 20, 50 et 100 ans).

a : Coefficient variant entre 0,7 et 0,8 au Maroc. Nous adoptons a=0,8

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

N : Coefficient régional pris égal à 80 en plaine, 85 en région accidentée et 100 en montagne.

Nous prenons N=80 pour les bassins versants des zones d'étude.

#### 4.1.3.3. Formule de Mallet Gautier

La formule s'écrit :

$$Q_t = 2 \times k \times \log_{10}(1 + aH) \times \frac{A}{\sqrt{L}} \times \sqrt{1 + 4 \times \log_{10} T - \log_{10} A}$$

Avec :

Q : Débit maximal en m<sup>3</sup>/s, temps de retour T = (10, 20, 50, 100 ans).

K : Coefficient variant de 0,50 à 6,00 (on prend k = 2)

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

- H : Hauteur moyenne annuelle de pluie en m. H prise égale à 230 mm,
- A : Superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup>,
- a : Coefficient variant de 20 à 30 (au Maroc, on prend a = 20),
- L : Longueur du drain principal en Km,
- T : Temps de retour en années (T = 10, 20, 50, 100 ans).

La formule de MALLET GAUTHIER est d'une application délicate surtout à cause de la forte amplitude de la variation du coefficient K. Dans le cas où l'on douterait de la valeur de k, la comparaison des résultats avec ceux déterminés par d'autres formules s'avère nécessaire, ainsi, la valeur de la moyenne de K pour la zone étudiée peut être déterminée par comparaison des débits donnés par les formules de HAZEN-LAZAREVIC et FULLER II.

### 4.1.3.4. Formule de HAZAN - LAZAREVICK

La formule s'écrit :

$$Q_t(1000) = k_1 * S^{k_2}$$

Où :

Q (1000) : Débit de la crue en m<sup>3</sup>/s de récurrence 1000 ans

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

Les valeurs des paramètres K1 et K2 dépendent de la situation géographique de la zone et de sa pluviométrie moyenne annuelle. Elles sont données dans le tableau suivant :

**Tableau 12 : Les valeurs des paramètres K1 et K2 (11)**

	Province du Nord			Moyen Atlas			Haut Atlas
	Rif central	Rif occidental	Rif oriental				
<b>K1</b>	15,55	9,78	7,58	14,94	13,51	13,47	9,38
<b>K2</b>	0,776	0,793	0,808	0,636	0,613	0,587	0,742
<b>Pluie (mm)</b>	1000 - 1300	800 - 1000	600 - 800	700 - 900	500 - 700	400 - 500	200 - 400

En se basant sur la géographie et la pluviométrie de la zone d'étude, nous prenons les coefficients qui s'en approchent le plus :

$$K1 = 9.38$$

et

$$K2 = 0.742$$

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

La transposition des débits des crues milléniales aux débits de récurrence T se fera par la formule du Fuller I qui s'écrit comme suit :

$$Q_t(T) = Q(1000) * (1 + a * \log(T)) / (1 + a * \log(1000))$$

Q(T) : Débit de pointe en m<sup>3</sup>/s de récurrence T.

a : Coefficient régional variant de 0,8 à 3 au Maroc, on prend a=3.

### 4.1.4. Méthode du Gradex

La méthode du Gradex est une approche hydro pluviométrique probabiliste du calcul des débits de crues extrêmes d'un court d'eau, pour des fréquences comprises entre 1/20, 1/50, 1/100, 1/1000, et 1/10000 soit encore des événements de durée de retour située entre vingt et dix mille ans.

Elle s'applique à des bassins versants de quelques à plusieurs milliers des kilomètres carrés recevant des pluies relativement homogènes du point de vue spatial.

La conduite de la méthode de Gradex est la suivante (12) :

- Détermination des pluies maximales journalières annuelles (P<sub>jmax</sub>) de la station contrôlant le bassin versant d'étude, à partir des séries journalières.
- Ajustement par la loi de Gumbel de ces pluies maximales journalières et détermination des P<sub>jmax</sub>(T) pour T allant de 10 à 100ans.
- Calcul du Gradex des pluies en 24 heures à base de l'ajustement statistique réalisé.
- Calcul du débit de pointe de référence Q<sub>p</sub> (T=10 ans) par la moyenne des débits décennales calculés par la méthode rationnelle et les formules empiriques.
- Calcul des débits de pointe pour différentes périodes de retour par la méthode du GRADEX.

$$Q_T = Q_{T_{10}} + G_{d,i} \left[ L_n \left( -L_n \left( 1 - \frac{1}{T_{10}} \right) \right) - L_n \left( -L_n \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right]$$

### 4.2. Application de la méthodologie

#### 4.2.1. Méthode rationnelle

La méthode rationnelle est également utilisée pour le calcul des débits de la crue pour différentes fréquences. Cette méthode repose sur le principe suivant: le débit à l'exutoire d'un bassin soumis à une averse homogène dans le temps et dans l'espace d'intensité  $I$ , atteint son maximum lorsque la durée de l'averse est égale au temps de concentration du bassin.

Par l'application des formules exposées avant, les valeurs des débits des crues calculés avec cette approche ainsi leurs hydrogrammes simplifiés sont présentées ci dessous:

**Tableau 13 : Les débits des crues par la méthode rationnelle**

Nom du BV	Le débit en [m <sup>3</sup> /s]			
	T 10	T 20	T 50	T 100
Oued Bouhafs	69.49	80.38	100.61	109.15
Chaâba Tamlaht	3.10	3.65	4.56	5.02
Chaâba Tassfayt	14.74	17.21	21.54	23.55
Chaâba Est	4.52	5.32	6.65	7.32

#### 4.2.2. Résultats de calcul par les formules empiriques

Les paramètres utilisés pour le calcul des crues

- Formule de Mallet-Gautier :  $K = 0.5$  et  $a = 20$ ,
- Formule de Fuller II :  $a = 0.7$  et  $N = 80$ ,
- Formule de Hazan Lazarevic :  $K1 = 9.38$  et  $K2 = 0.742$ .



## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

### 4.2.2.1. Formule de Hazen et Larazavec

Les débits des crues calculés par la formule de Hazan-Lazarevic sont les suivant :

Tableau 14 : Les débits des crues par la formule de Hazan et Lazarevic

Nom du BV	Le débit en [m <sup>3</sup> /s]			
	T10	T20	T50	T100
Oued Bouhafs	115.97	142.16	176.77	202.95
Chaâba Tamlaht	5.46	6.70	8.33	9.56
Chaâba Tassfayt	24.07	29.50	36.68	42.11
Chaâba Est	7.43	9.10	11.32	13.00

### 4.2.2.2. Formule de Fuller II

Les débits des crues calculés par la formule de Fuller II sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Les débits des crues par la formule de Fuller II

Nom du BV	Le débit en [m <sup>3</sup> /s]			
	T 10	T 20	T 50	T 100
Oued Bouhafs	122.11	137.24	157.25	172.39
Chaâba Tamlaht	8.95	10.06	11.53	12.64
Chaâba Tassfayt	30.37	34.13	39.11	42.87
Chaâba Est	11.45	12.87	14.74	16.16

### 4.2.2.3. Formule de Mallet-Gautier

Les débits des crues calculés par la Mallet-Gautier sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Les débits de pointes Formule de Mallet-Gautier

Nom du BV	Le débit en [m <sup>3</sup> /s]			
	T 10	T 20	T 50	T 100
Oued Bouhafs	124.33	147.23	170.36	190.06
Chaâba Tamlaht	7.55	8.45	9.36	10.23
Chaâba Tassfayt	31.37	35.88	40.47	44.61
Chaâba Est	10.47	11.76	13.07	14.31

### 4.2.3. Méthode du Gradex

#### 4.2.3.1. Ajustement des pluies journalières

Les ajustements statistiques de l'échantillon de pluies journalières maximales enregistrées dans le poste pluviométrique de Zaida se fait grâce au logiciel Hyfran plus.

Ces ajustements selon plusieurs lois de probabilité (Lois de Gumbel, log-normale, Exponentielle...) montre que la loi log-normale est celle qui s'ajuste le mieux à l'échantillon considéré. Les graphiques des ajustements statistiques de pluies journalières maximales annuelles aux différentes lois de probabilité sont présentés en **annexe n°2**.

Par ailleurs, pour l'application de la méthode du Gradex dans le calcul des crues, l'échantillon de  $P_{jmax}$  considéré a été ajusté selon la loi de Gumbel afin de calculer le Gradex de pluie dans la zone d'étude.

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

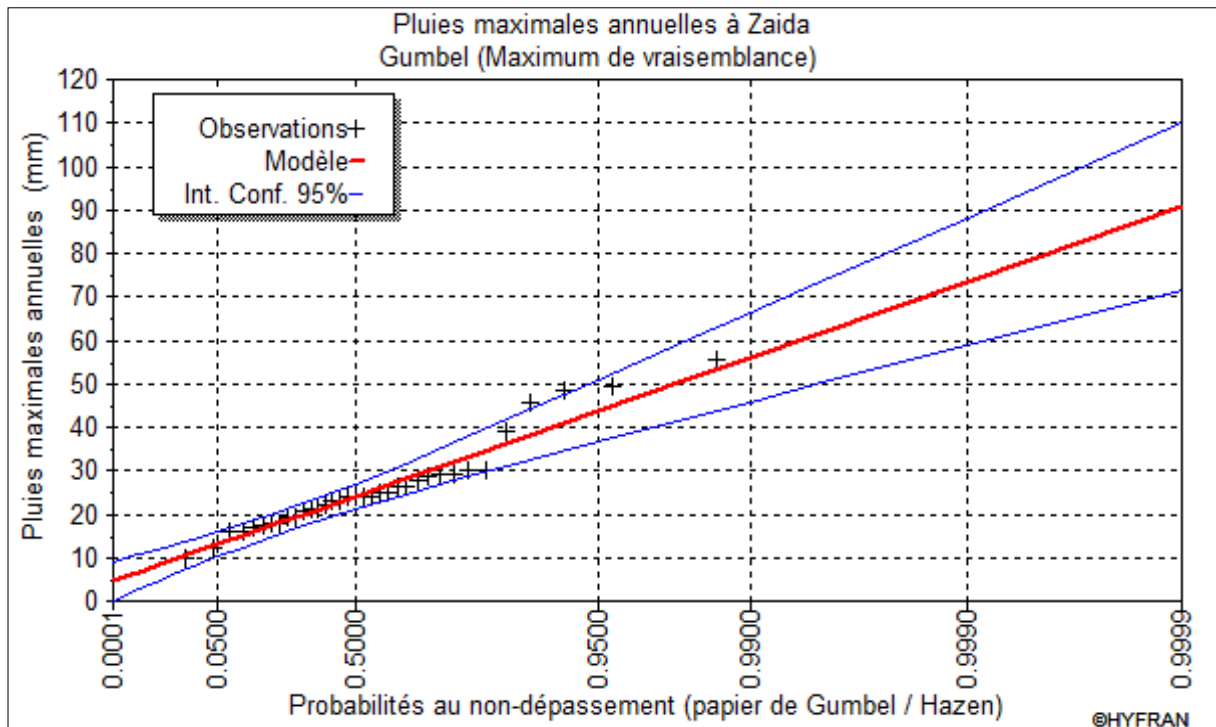


Figure 19 : Ajustement de  $P_{jmax}$  des de la station de Zaida par la loi de Gumbel

D'après les résultats d'ajustement par hyfran plud, le Gradex des pluies considéré dans la zone de l'étude est donc pris égale à 10.36 mm/j.

Tableau 17 : Gradex des pluies

Poste de Zaida	Gradex
Zaida	10.36

### 4.2.3.2. Estimation de débit de référence

Afin de calculer les débits des crues pour différentes fréquences de retour, par la méthode du Gradex, il est nécessaire au préalable de figer le débit décennal ( pivot de la méthode du Gradex ). L'examen des débits décennaux calculés par les formules empiriques, montre que :

- Les débits calculés par les formules empiriques sont comparables.
- La formule Rationnelle sous-estime les débits par rapport les formules empiriques pour tous les bassins.

Par conséquent, pour la suite de l'étude, nous retenons la moyenne des débits calculés par les formules empiriques.

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

En tout état de cause, la forme logarithmique de la formule de Gradex, fait que l'influence du débit décennal sur le débit de fréquences plus rare est assez faible.

Ainsi, les résultats de débits retenus pour la crue décennale et ceux déterminés par la méthode du Gradex pour les crues de fréquences plus faibles, sont synthétisés dans les tableaux suivants :

**Tableau 18 : Le pivot de la méthode du Gradex**

Bassins versants	Surface (km <sup>2</sup> )	Q10 [m <sup>3</sup> /s]				
		Rationnelle	Fuller II	Mallet-Gautier	Hazan Lazarevick	retenu
Oued Bouhafs	101.91	69.49	122.11	142.33	115.97	126.80
Chaâba Tamlaht	1.66	3.10	8.95	7.55	5.46	7.32
Chaâba Tassfayt	12.24	14.74	30.49	31.37	24.07	28.64
Chaâba Est	2.51	4.52	11.49	10.47	7.43	9.78

**Tableau 19 : Les débits des crues calculés avec la méthode de Gradex**

Bassins versants	Surface [Km <sup>2</sup> ]	Gradex des Pluies	Gradex des débits de 24 h	Cp	Gradex des débits instantanés	20	50	100
Oued Bouhafs	101.91	10.36	12.22	2.13	26.03	145.54	169.79	187.96
Chaâba Tamlaht	1.66	10.36	0.20	2.13	0.42	7.63	8.02	8.32
Chaâba Tassfayt	12.24	10.36	1.47	2.13	3.13	30.89	33.81	35.99
Chaâba Est	2.51	10.36	0.30	2.13	0.64	10.24	10.84	11.29

#### 4.2.4. Débits retenus

Les débits de projet retenus, pour les pluies de fréquence vingtennales, cinquanteennes et centennales, sont le fruit d'une analyse et d'une comparaison des débits calculés par les méthodes présentées précédemment.

A l'issue de cette comparaison là, les débits calculés par la méthode rationnelle sont incomparables avec ceux des autres méthodes et sous-estiment les débits.

Par conséquent, on a juste retenu la moyenne des débits calculés par la méthode de Gradex et ceux calculés par les formules empiriques.

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

Les débits calculés par les différentes méthodes et ceux retenus comme débits de projet sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau 20 : Les débits de projet**

Bassin Versant	S (km <sup>2</sup> )	Tc(h)	Q adopté (m <sup>3</sup> /s)			
			10ans	20ans	50ans	100ans
Oued Bouhafs	101.91	6.27	126.80	143.04	168.54	188.34
Chaâba Tamlaht	1.66	1.54	7.32	8.21	9.31	10.19
Chaâba Tassfayt	12.24	2.84	28.64	32.60	37.52	41.40
Chaâba Est	2.51	1.62	09.78	11.62	13.05	14.49

### Conclusion

Le calcul des débits de pointe des différentes périodes de retour nécessite un ensemble d'étapes enchaînées qu'il faut suivre, en utilisant les différentes méthodes et formules de l'hydrologie.

Ces débits de pointe seront introduits en amont des cours d'eaux étudiés pour la modélisation hydraulique et l'identification des zones inondables.

**Chapitre 4 :**

**MODELISATION HYDRAULIQUE ET  
CARTOGRAPHIE DES ZONES  
INONDABLES**

## **1. Introduction**

La modélisation hydraulique a pour but le calcul des hauteurs d'eau pour la cartographie de l'aléa. Il s'agit d'une étape importante dans l'évaluation des risques liés aux inondations, car les aménagements et les réglementations ultérieures se référeront aux cotes et aux enveloppes de crues issues de la modélisation hydraulique.

Le choix du type de modèle hydraulique et du logiciel qui permet de le mettre en œuvre ainsi l'acquisition et la valorisation des données topographiques sont des étapes très importantes dans l'objectif de cartographie et de délimitation des zones inondables.

## **2. Etude topographique et méthodologie de calcul hydraulique**

### **2.1. Etude topographique**

Pour la réalisation de la simulations hydraulique des crues d'une part, et la définition des aménagements pour protéger le centre contre les inondations d'autre part, l'IC doit monter un modèle hydraulique numérique des cours d'eau sur la base du levé topographique détaillé de la zone de l'étude.

Le principe de reconstitution hydraulique de la géométrie des tronçons, objet de la présente étude est basé sur l'établissement de profils topographiques en travers et en long des tronçons des oueds étudiés.

La densité et l'implantation des profils en travers à établir sont choisies de manière à se rapprocher au mieux des conditions réelles des cours d'eau du point de vue topographique et hydraulique. Ainsi, les profils sont établis au niveau des :

- Resserrements topographiques. Dans le cas de resserrement sur une section de longueur importante les profils sont implantés à l'amont et à l'aval de cette section ;
- Zones larges de la vallée de l'oued ;
- Ouvrages de franchissement.

## **Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt**

---

### **2.1.1. Travaux topographiques disponibles**

La commune locale de Zaida a mis à la disposition de l'ingénieur conseil la restitution du centre Zaida au 1/2000. La délimitation des bassins versants et les simulations hydrauliques ont été effectués en se basant aussi sur des levés topographiques disponibles chez l'ABHM.

### **2.1.2. Travaux topographiques réalisés**

Les travaux topographiques réalisés sont comme suit :

Pour l'Oued Bouhafs, la Chaâba Tamlaht et la Chaâba Tamlaht ces travaux consistent à :

- Un levé détaillé des OH qui enjambent les cours d'eau.
- Deux profils en travers, à l'amont et à l'aval des OH de chaque cours d'eau.

Pour la Chaâba Est, les travaux topographiques consistent à :

- 20 profils en travers de la Chaâba.
- Un profil en long, le long de la Chaâba depuis son entrée au centre jusqu'à sa confluence avec l'Oued Moulouya.

## **2.2. Méthodologie des calculs hydrauliques**

### **2.2.1. Cours d'eau naturels**

Dans le cas où les inondations sont causées par des cours d'eau qui sont bien identifiés, les études de protection contre les crues nécessitent une modélisation du cours d'eau, afin de définir les hauteurs et les limites d'eau atteintes au passage des crues de différentes fréquences et leurs vitesses ainsi que d'autres caractéristiques qui permettront de comprendre l'écoulement et aideront à définir les types de protections à retenir.

### **2.2.2. Qu'est-ce qu'un modèle hydraulique ?**

Un modèle hydrologique, ou modèle pluie-débit, est un outil numérique de représentation de la relation pluie-débit à l'échelle d'un bassin versant. Il permet de transformer des séries temporelles décrivant le climat d'un BV donné (séries de précipitation par exemple, séries qui sont les entrées du modèle hydrologique) en une série de débits (sortie du modèle hydrologique).



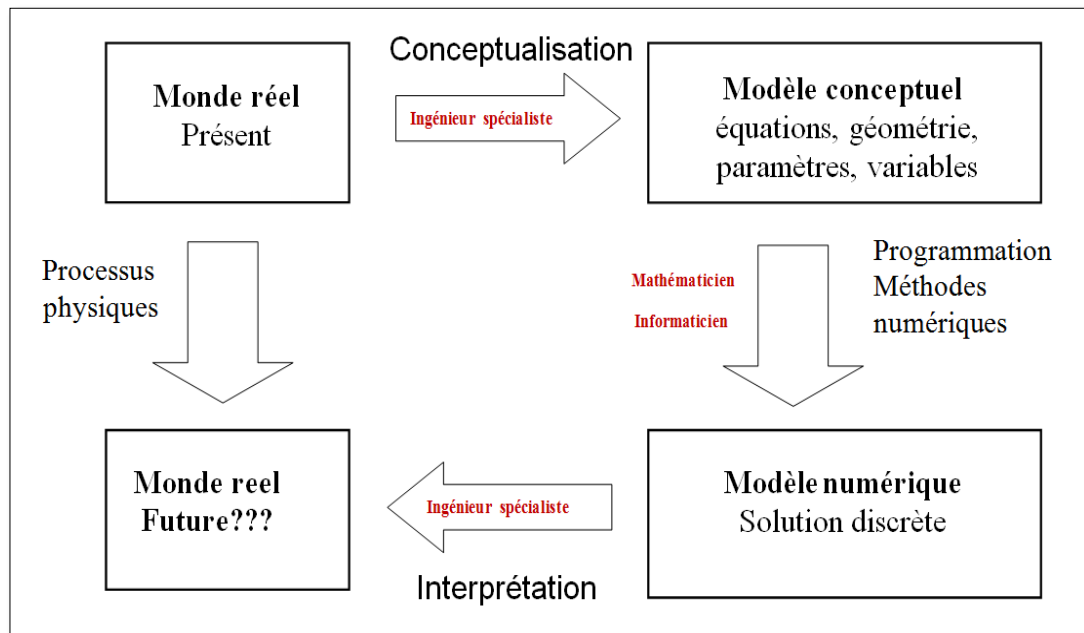


Figure 20 : Processus d'élaboration d'un modèle (13)

### 2.2.3. Les différents types de modèles

En ingénierie hydrologique et hydraulique, ils existent plusieurs types des modèles, à savoir :

- + Boîte noire (« Black Box » ou « Data-Driven » en anglais)
- + Conceptuel
- + Mécaniste

Pour modéliser les écoulements en rivière, les spécialistes ont souvent recourt aux modèles mécanistes.

### 2.2.4. Modèles mécanistes

Ce sont les modèles privilégiés dans la modélisation numérique des écoulements en rivières, dont le système étudié obéit à des principes de conservation universels (masse, QdM, énergie, etc.) complétés par quelques lois empiriques (frottement, rhéologie, etc.).

Ainsi, dans ces modèles les paramètres et les variables sont des fonctions de l'espace et du temps © EDPs résolues numériquement.

### 2.2.4.1. Le modèle monodimensionnelle (1D)

On néglige les écoulements transversaux au cours d'eau pour ne considérer qu'un écoulement filaire, dans l'axe de la rivière. La plupart des modèles hydrauliques utilisent cette approche. La géométrie de la rivière est décrite par une succession de profils en travers qui déterminent le pas d'espace du modèle.

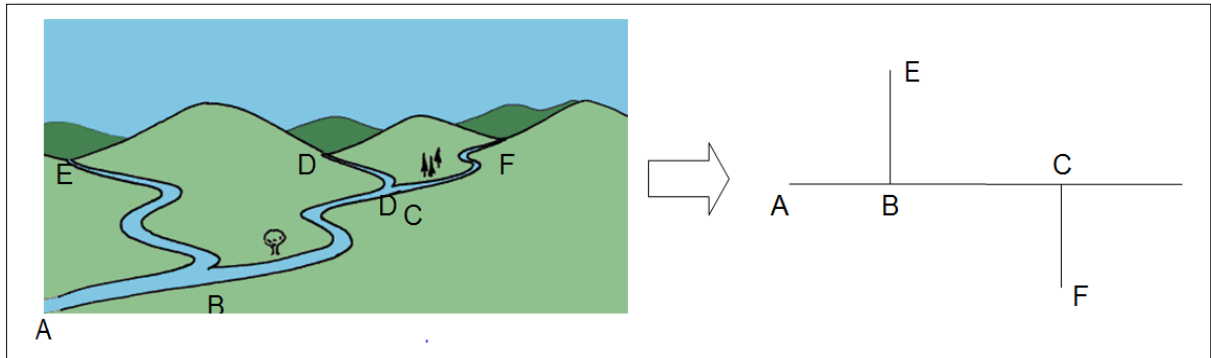


Figure 21 : Le modèle monodimensionnelle (1D)

### 2.2.4.2. Le modèle bidimensionnelle (2D)

Dans cette approche, on prend en compte les écoulements latéraux, ce qui est fréquent dès que l'on est en présence d'un lit majeur assez large. Ces modèles sont fréquemment utilisés pour représenter inondations des grandes plaines. Les modèles 2D sont plus rarement utilisés car ils font appel à une puissance importante de calcul.

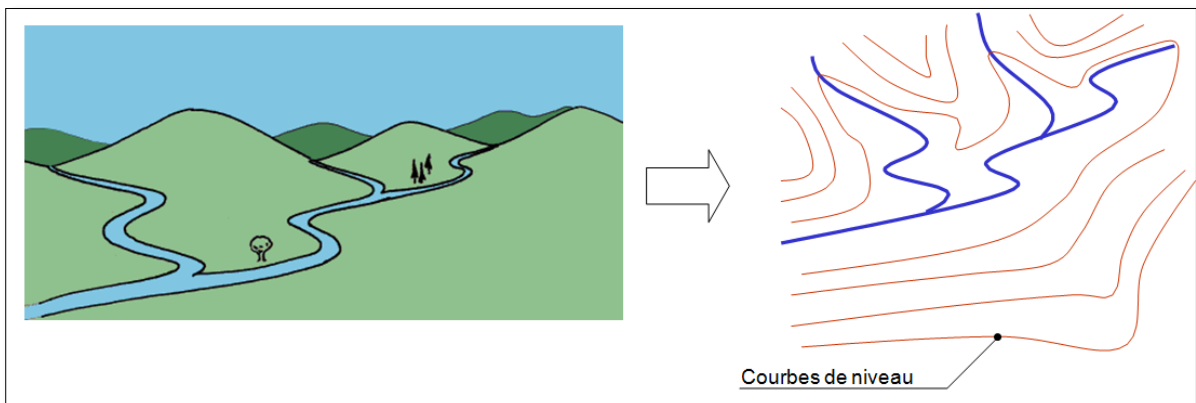


Figure 22 : Le modèle bidimensionnelle (2D)

### 2.2.4.3. Une approche tridimensionnelle (3D)

Ces modèles ne sont pas utilisés en hydraulique de rivière, sauf très localement pour étudier un ouvrage particulier (pont, seuil, turbine...).

Dans le cas des cours d'eau qui font objet de la présente et après un diagnostic du site, les écoulements sont jugés monodimensionnels, ainsi nous avons retenu un modèle 1D.

Le modèle hydraulique que nous allons utiliser fonctionne en régime transitoire pour tenir compte du laminage des crues en lit majeur.

## 2.3. Modèle hydraulique monodimensionnel de Saint-Venant

### 2.3.1. Hypothèses d'application

Parmi les hypothèses de la version 1D des équations de Saint-Venant, on cite les hypothèses suivantes:

Problème filaire : à chaque abscisse, le niveau de l'eau est horizontal d'une rive à l'autre ;

- Fluide homogène et incompressible
- Pente longitudinale faible (inférieure à 10%)

### 2.3.2. Mise en Equations

D'un point de vue technique, les simulations en régime transitoire se font par la résolution des équations 1D de Saint-Venant <sup>[14]</sup> en régime transitoire :

✚ Formulation en débit

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$
$$\frac{1}{g.S} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{g.S} \frac{\partial (Q^2/S)}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} - i = -j = \frac{-Q^2}{K^2 . S^2 . R^{4/3}}$$

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

✚ Formulation équivalente, en vitesse :

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial(V.S)}{\partial x} = 0$$
$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} - i = -j = \frac{-V^2}{K^2 . R^{4/3}}$$

Avec

Q : le débit

v : la vitesse

j : est la pente de la ligne de charge

Y : la profondeur d'écoulement

R : le rayon hydraulique

S : La surface mouillée

I : la pente du fond

g : l'accélération due à la gravité

x, t : sont les variables distance et temps

L'équation complète de quantité de mouvement, peut être résolue simultanément avec l'équation de continuité à l'aide de diverses méthodes numériques de discrétisation (différences finies, éléments finis). Selon que l'on utilise une méthode explicite ou implicite, on devra respecter certaines contraintes en ce qui a trait au choix du pas de temps et de l'incrément de longueur.

Les équations sont discrétisées par la méthode des différences finies et la résolution se fait par une méthode implicite.

### 2.4. Recherche d'un logiciel simple et efficace

Parmi les dizaines de logiciels de modélisation hydraulique 1D qui existent de par le monde, on a vue de comparer entre 3 logiciels largement connus dans les bureaux d'études :

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

- Talweg-Fluvia du Cemagref donne de bons résultats en régime permanent mais il ne permet pas les calculs en régime transitoire. Par ailleurs, son interface est désuète, elle a été améliorée depuis (logicielSIC).
- MIKE11 est un logiciel danois à la réputation mondiale. Il permet des simulations en régime transitoire ainsi que le couplage avec un SIG. C'est un excellent logiciel commercial à l'ergonomie aboutie.
- HEC-RAS a été développé par le US Army Corps of Engineers. Ce logiciel permet des simulations en régime transitoire et le couplage avec le logiciel de SIG Arcview de ESRI et d'autres outils. L'interface du logiciel est moderne et l'ergonomie irréprochable. Ce logiciel est dans le domaine public, il est donc gratuit.

Nous avons choisi le logiciel HEC-RAS pour sa performance, sa convivialité, et sa gratuité sur Internet.

### 2.4.1. Présentation de HEC-RAS

Le logiciel est organisé de façon très claire ce qui simplifie beaucoup la modélisation. L'utilisateur travaille par projets. Chaque projet peut contenir plusieurs fichiers de géométrie et plusieurs fichiers d'hydrologie correspondant aux différents événements de référence.

Chaque simulation est un plan qui associe un fichier de géométrie et un fichier d'hydrologie.

Un projet peut contenir jusqu'à 99 plans différents.

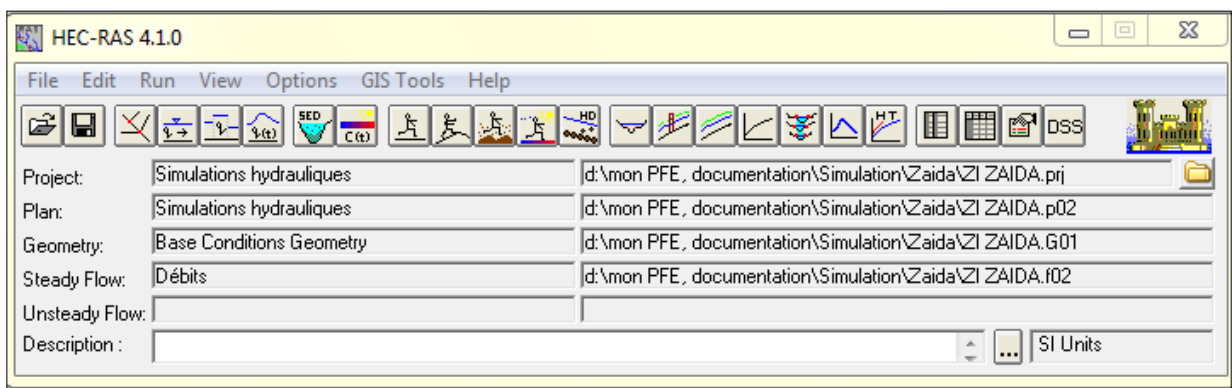


Figure 23 : Fenêtre principal de Hec-Ras

Dans l'exemple ci-dessus, l'utilisateur travaille dans le projet « Zaida » avec la géométrie «Base Conditions Geometry». La simulation réalisée (plan) s'appelle « Simulations hydrauliques ». A droite on trouve le chemin d'accès de chaque fichier du projet.

Les résultats peuvent être visualisés d'un grand nombre de manières différentes : profils en travers, profil en long, vue en 3D, tableaux, courbes de variation spatiale et

temporelle des caractéristiques de l'écoulement. Pour les simulations en régime transitoire, on peut animer les différents graphiques pour visualiser l'évolution des paramètres au fil du temps. HEC-RAS est accompagné d'une documentation abondante relative à l'utilisation du logiciel (Users Manual : USACE, 2001a) et aux méthodes de modélisation (Hydraulic Reference et Application Guide : USACE, 2001b). De nombreux exemples de modélisations sont fournis avec le logiciel pour illustrer des situations de modélisation très variées. Sur Internet, il existe des forums d'utilisateurs qui échangent leur expérience du logiciel.

### 2.4.2. Limites du logiciel

La première limite du logiciel, pour un utilisateur francophone, c'est qu'il n'existe pas de version française du logiciel. Il faut cependant peu de temps pour maîtriser le vocabulaire technique nécessaire. Il est par contre plus difficile de se plonger dans la documentation technique, même si elle est très bien illustrée.

### 2.4.3. Couplage avec le logiciel RiverCad

RiverCAD est un puissant logiciel et est facile à utiliser. Il permet de gagner beaucoup de temps dans l'automatisation de la génération de sections transversales et dans l'exécution de délimitation des plaines inondables. Il peut générer, redimensionner et réorganiser les sections et les diagrammes des profils très facilement. Ce qui est formidable est qu'il relie HEC-RAS avec AutoCAD, et une fois que vous avez créé vos sections, vous pouvez les exporter et exécuter la modélisation sur HEC-RAS, puis les importer et générer automatiquement la carte de la zone inondables sur un dessin AutoCAD. Dans l'ensemble, RiverCAD fournit un flux de travail en accélérant le processus d'ingénierie.

Le couplage des deux logiciels facilite beaucoup le travail de modélisation. Il suffit de tracer les profils en travers sur Rivercad ( Input » Design » Automated centerline cut..) à la base des courbes de niveaux générés par Covadis , puis les exporter vers HEC-RAS en suivant le chemin (Analysis » Export HEC-Ras project...).

Le choix des profils en travers est une étape déterminante pour la qualité de la modélisation hydraulique. Pour ce faire, nous proposons cinq règles simples pour choisir et tracer les profils en travers dans l'objectif d'une modélisation hydraulique 1D.

- Les profils en travers doivent toujours être perpendiculaires aux lignes de courant.
- Les profils en travers ne doivent jamais se croiser.
- Les profils en travers doivent prendre en compte toute la largeur du lit majeur.

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

- Les profils en travers doivent permettre de modéliser les ouvrages
- Les profils en travers doivent décrire les contractions et les élargissements des écoulements.

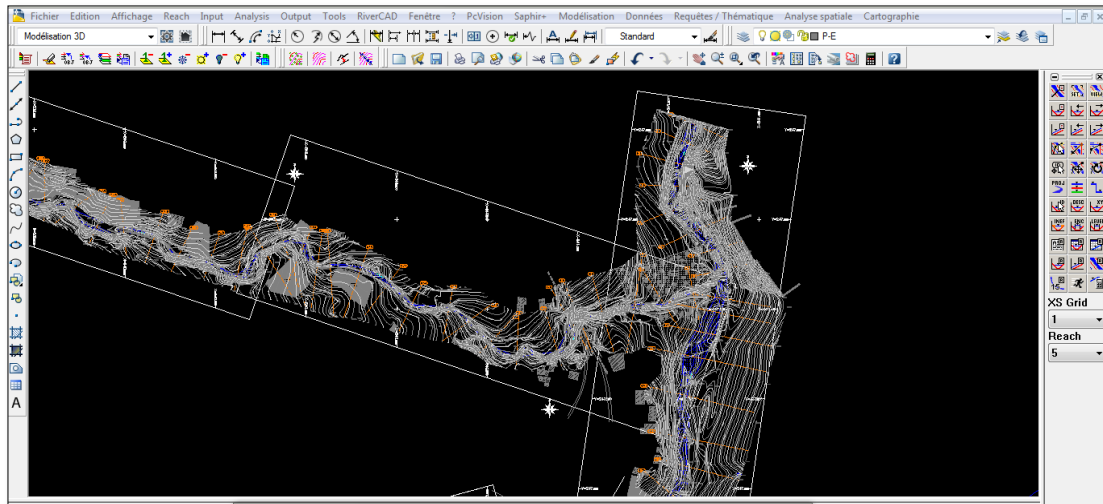


Figure 24 : Fenêtre principale de Rivercad

### 2.5. Le Fonctionnement de HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System) est désigné à modéliser les écoulements unidimensionnels à surface libre dans les canaux naturels et artificiels. Il permet de simuler les écoulements graduellement variés en régime permanent et en régime transitoire, d'effectuer les calculs de lignes d'eau en régime dynamique en simulant les différents obstacles (ouvrages de franchissement, ponts, dalots,...) le long du cours d'eau.

Il est capable de modéliser avec une extrême finesse un large éventail de conditions d'écoulement. Le centre de contrôle, pièce maîtresse d'HEC-RAS permet de gérer et de combiner les différents types de données:

- Géométrie;
- Débits, conditions aux limites et conditions initiales;
- Conditions de calcul;
- Résultats.

La modélisation se base sur les profils en travers des oueds, en tenant compte de tous les ouvrages de franchissement existant, et/ou en cours de réalisation et permet de définir différents coefficients de rugosité pour chaque section.

## **Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt**

---

Toutes les composantes de ces ouvrages de franchissement sont introduites au modèle, à savoir les tabliers, les piles, les culées et également les digues de raccordement dont les cotes supérieures ont été également levées sur le terrain<sup>[15]</sup>.

### **2.5.1. Géométrie des cours d'eau simulés**

Les profils en travers définissant la géométrie des cours d'eau sont classés selon leur position kilométrique.

Les données relatives à chaque section sont:

- Le profil en travers défini par une série de couples distance-altitude;
- Les coefficients de rugosité et de perte de charge;
- La distance à la section suivante.

### **2.5.2. Débits, conditions limites et de calcul**

Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulements (régime mixte). Dans ce cas, HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement pour déterminer les changements de régime torrentiel-fluvial, caractérisés par un ressaut, ceci concerne le régime permanent d'écoulement.

Pour ce qui est du régime transitoire, HEC-RAS permet de définir plusieurs plans de simulation. Chaque plan correspond à une période de retour et contient toutes les informations relatives à la géométrie, aux débits sous forme d'hydrogramme de crue et aux conditions aux limites. Dans le même plan sont rassemblées toutes les informations qui concernent la date de la simulation le pas de temps utilisé pour la simulation et le pas de temps considéré pour l'affichage des profils d'eau résultant de la simulation. Ces plans permettent donc, d'établir le lien entre tous les paramètres d'entrée avant de pouvoir lancer les opérations de calcul relatifs à la géométrie, aux hydrogrammes et au post-traitement des résultats<sup>[15]</sup>.

### **2.5.3. Résultats**

Les résultats que fournit HEC-RAS 4.1.0 sont :

- Le débit maximum dans la section de calcul ;
- La cote minimale de la section qui renseigne sur la pente naturelle du lit de l'oued ;



## **Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt**

---

- La cote maximale atteinte par l'eau au passage de la crue. Ces cotes permettent de cartographier les zones inondées et d'identifier les sections qui présentent des débordements ;
- La pente moyenne de la ligne d'eau ;
- La vitesse maximale de l'écoulement ;
- La section mouillée et le largueur au miroir ;
- Le nombre de Froude.

Tous les résultats obtenus peuvent être consultés sous forme graphique (profil en long, sections, courbes hauteur- débit, vue 3D) ainsi que sous forme de tableaux.

### **2.5.4. Elaboration du modèle**

L'élaboration du modèle consiste à traduire fidèlement les données physiques recueillies au niveau du terrain, à savoir (15) :

- Profils en longs des oueds;
- Profils en travers, avec leurs coefficients de rugosité;
- Ouvrages de franchissement de l'oued, dimensions, type, etc.
- Hydrogramme de calcul (crue, marrée...).

La construction de notre modèle a été effectuée en plusieurs étapes :

- La première étape a consisté à entrer les données topographiques: profils en travers ainsi que les distances partielles inter-profils séparant les axes des profils en travers et leurs extrémités.

Le profil en long issu automatiquement depuis les fichiers exportés via Rivercad.

- La deuxième étape a consisté à modéliser les coefficients de rugosité. Ces derniers ont été majorés au droit des méandres et des différentes singularités rencontrés le long de l'oued, pour prendre en compte la déperdition supplémentaire de l'énergie lors du passage de l'écoulement.
- La dernière étape a consisté à définir le lit mineur de chaque cours d'eau considéré pour cette étude.

### 3. Simulation hydraulique avec HEC-RAS

L'objectif de cette partie est de réaliser les modèles de l'oued Bouhafs, de la châaba tamlah et celle de Tassfayt étudiés sur HEC-RAS à partir des données géométriques générées par Rivercad, et d'y simuler les crues pour chaque période de retour en utilisant les hydrogrammes résultant de l'étude hydrologique. Nous présenterons ici les étapes de la manipulation du logiciel et de paramétrage des différentes données.

#### 3.1. Données d'entrée

##### 3.1.1. Données hydrologiques

Une étude hydrologique détaillée a été réalisée dans le cadre de la mission précédente du présent projet. Cette étude vise à déterminer les crues de projet pour différentes fréquences sous l'aspect du débit de pointe.

Les principaux résultats auxquels de l'étude hydrologique sont consignés dans le tableau n°21 :

**Tableau 21: Données hydrologiques**

Nom du BV	Le débit en [m <sup>3</sup> /s]			
	T 10	T 20	T 50	T 100
Oued Bouhafs	124.33	147.23	170.36	190.06
Chaâba Tamlah	7.55	8.45	9.36	10.23
Chaâba Tassfayt	31.37	35.88	40.47	44.61
Chaâba Est	10.47	11.76	13.07	14.31

##### 3.1.2. Coefficients de rugosité

Le choix des coefficients de rugosité s'est effectué sur la base des observations de la mission de terrain que nous avons mené avant, tout en se reportant aux tableaux de référence donnés dans la littérature. L'**annexe n°4** explicite les valeurs du coefficient de Manning pour différents types de couvertures végétales et de terrains. Pour notre étude, les coefficients de Manning ont été pris égaux à 0.030 sur le lit mineur et à 0.035 sur les berges en raison de leur état et couvert végétal

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

Tableau 22: Les valeurs du coefficient de Manning adoptées

Cours d'eau	Valeur de Manning		
	Rive gauche	Lit mineur	Rive droite
Oued Bouhafs	0.035	0.03	0.035
Chaâba Tamlaht	0.035	0.03	0.035
Chaâba Tassfayt	0.035	0.03	0.035
Chaâba Est	0.035	0.03	0.035

### 3.1.3. Saisie de données dans HEC-RAS

La première étape à effectuer sur HEC-RAS est d'ouvrir le projet exporté depuis RiverCad, qui a été enregistré dans (disque local (D) » le dossier PFE » simulation » Zaida).

Avant d'entrer les informations reliées à la géométrie et aux débits, il faut spécifier le système d'unité utilisé. Dans le menu (Options » Units System), on choisit System International (Metric System). On peut aussi indiquer que ce système d'unité sera utilisé par défaut pour tous les nouveaux projets.

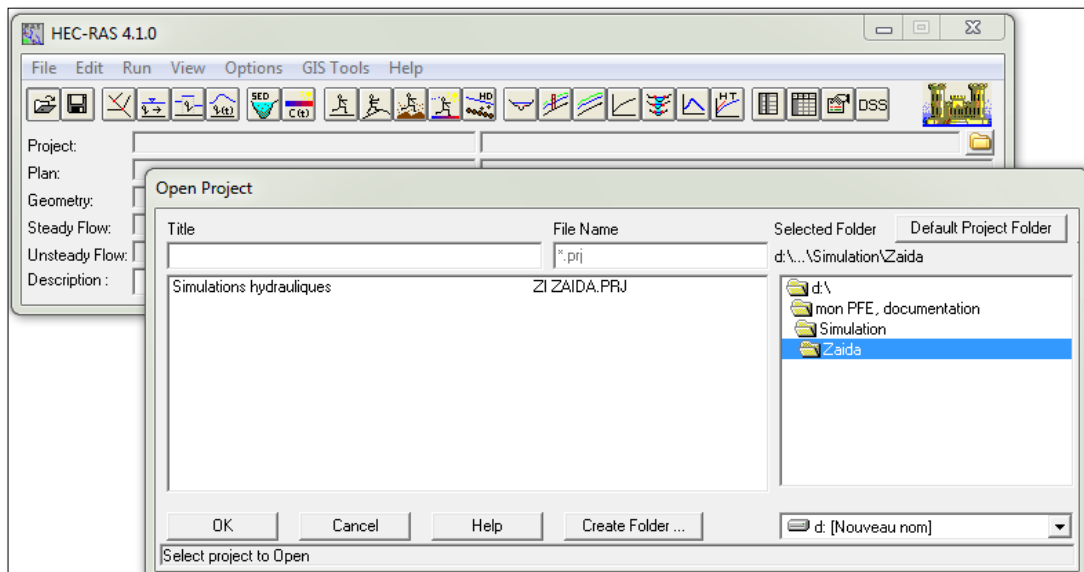


Figure 25: Ouvrir un projet existant sur HEC-RAS

#### 3.1.3.1. Données géométriques

Le fichier importé contient les éléments suivants :

- Le tracé de l'oued.
- Les profils en travers et les coordonnées des points d'extrémités

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

- Les distances partielles inter-profil séparant les axes des profils en travers et leurs extrémités.

La figure suivante illustre ce que l'on peut voir avec l'éditeur de géométrie après l'ouverture de notre projet préparé sur RiverCad.

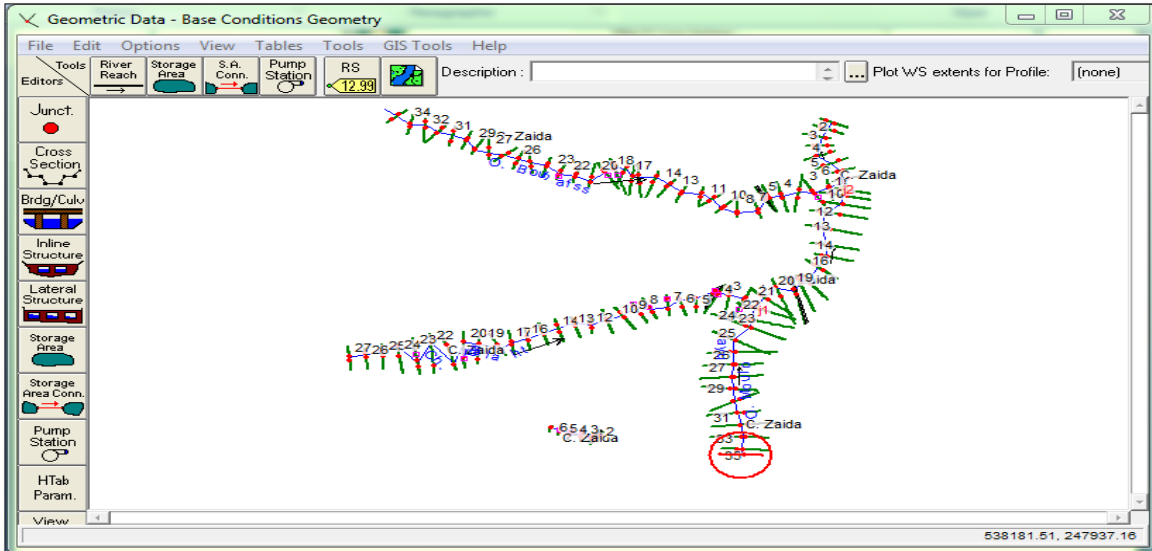


Figure 26: Éditeur de géométrie

Les caractéristiques géométriques des profils en travers sont représentées au moyen de points représentant des coordonnées X-Y, où X est la distance par rapport à un point de référence arbitraire placé sur le début du profil de la rive gauche vers la rive droite et Y est l'élévation du fond de la rivière. On peut visualiser ces profils en cliquant sur le bouton " **Cross Section** " dans la fenêtre de l'éditeur de géométrie.

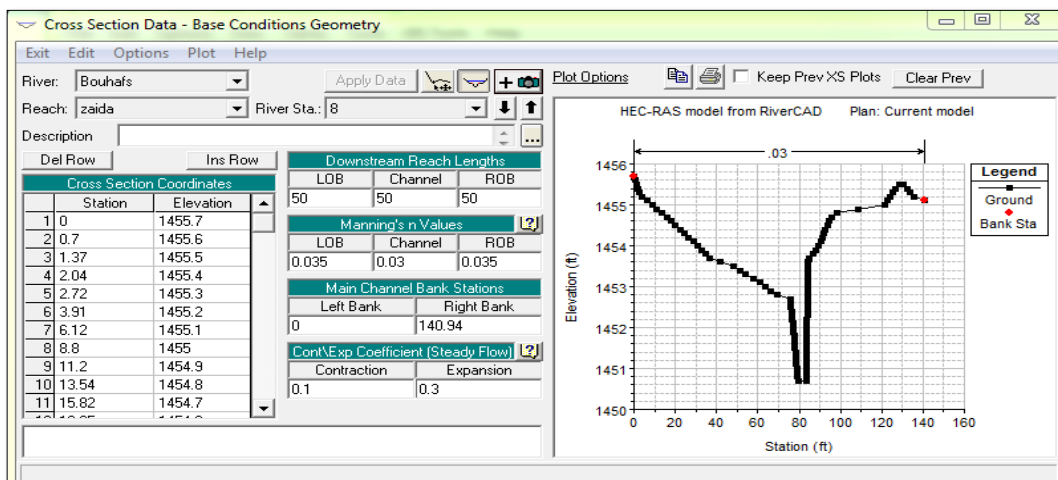


Figure 27 : Fenêtre de visualisation des profils

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

Dans cette fenêtre on peut voir les paramètres suivants :

- **River station** : Identification numérique du profil en travers (pris égal à la distance entre le profil et l'aval de l'oued).
- **Cross-section coordinates** : Coordonnées relatives dans le plan X-Y des points définissant le profil en travers.
- **Downstream Reach Lengths** : Distance en mètres jusqu'au prochain profil en travers situé en aval. Left Overbanks (LOB) signifie la partie gauche du lit majeur, Right Overbanks (ROB) sa partie droite, alors que Channel désigne le lit mineur de la rivière;
- **Manning's n values** : Coefficients de Manning de chaque portion de la section transversale;
- **Main channel bank stations** : Coordonnées, dans le plan X seulement, des limites gauches et droites du lit mineur (**Channel**) de la rivière.

### 3.1.3.2. Coefficients de Manning

Pour saisir les coefficients de Manning estimés précédemment, dans le menu « Tables » dans l'éditeur de géométrie on choisit Manning n values.

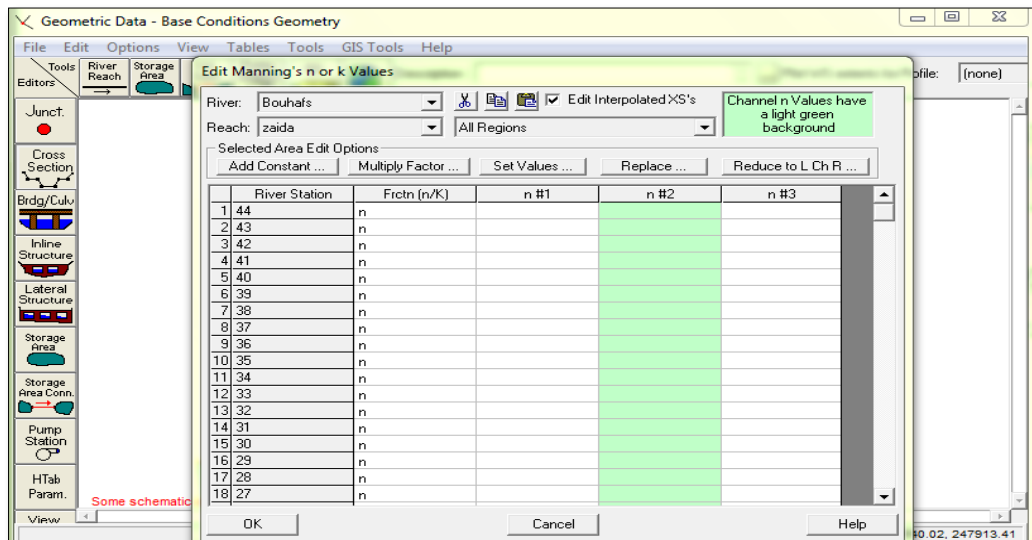


Figure 28: Fenêtre des valeurs du coefficient de Manning

Dans cette fenêtre on peut distinguer trois colonnes, celle du milieu colorée en vert est réservée au coefficient de Manning du lit mineur (Channel), les deux autres pour les rives gauche et droites, et ce pour chaque profil en travers.

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

### 3.1.3.3. La Saisie des débits

L'étape suivante de la modélisation hydraulique avec HEC-RAS est de saisir les débits de pointe et spécifier les conditions aux limites qui sont les pentes en amont et en aval de chaque cours d'eau. Ces pentes sont calculées depuis le profil en long donné par HEC-RAS. Dans la fenêtre principale, cliquez sur le bouton **steady Flow Data**.

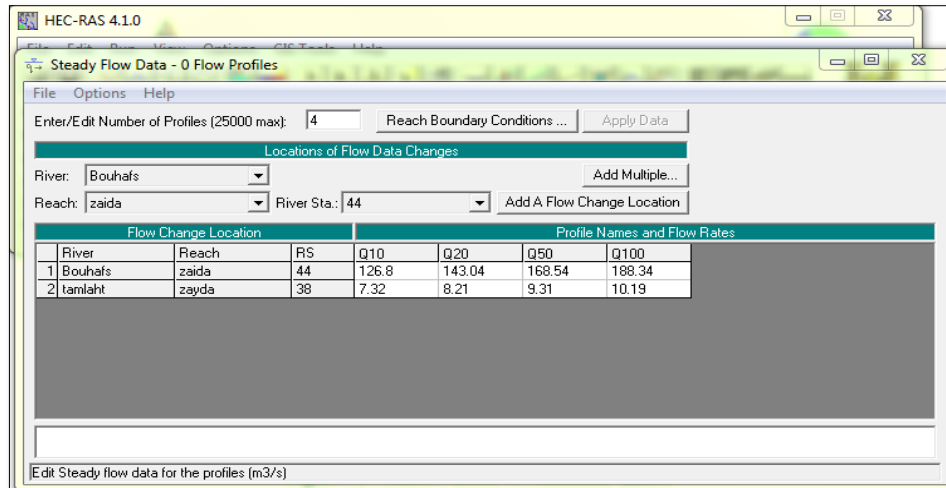


Figure 29: Fenêtre débits

### 3.1.3.4. Condition aux limites

En ce qui concerne les conditions aux limites, en amont et en aval des cours d'eau objets de notre étude, nous avons considéré la pente normale de l'écoulement. Cette pente a été prise égale à la pente moyenne du lit de l'oued au niveau des sections amont et aval.

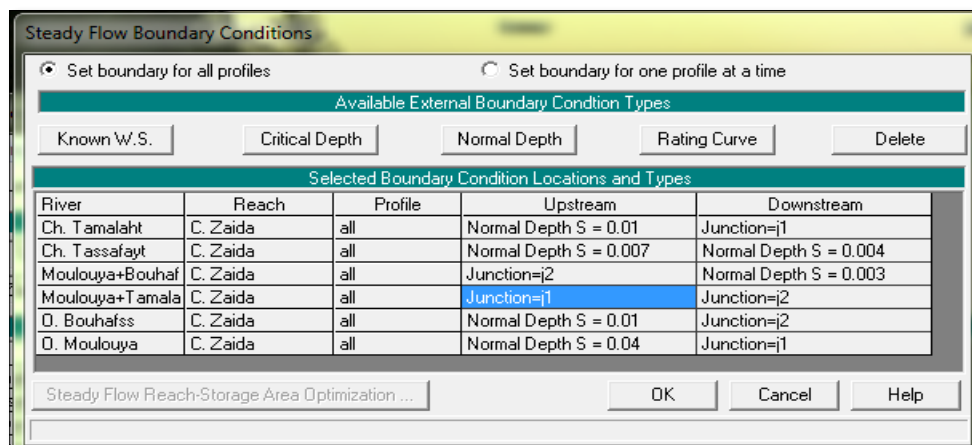


Figure 30: Fenêtre Conditions aux limites

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

En terminant la partie débits et conditions limites on quitte la fenêtre **Steady flow data** en sauvegardant les informations entrées, dès lors on obtient un fichier contenant les données de débits, en générale on aura plusieurs fichiers correspondants aux différentes fréquences.

### 3.1.4. Simulation hydraulique

Une fois toutes les données géométriques et hydrauliques entrées, la dernière étape nécessaire à la modélisation avec HEC-RAS est de définir le « Plan » utilisé pour lancer la simulation, en cliquant sur le bouton « Steady Flow Analysis » on obtient la fenêtre présentée plus bas. Dans cette fenêtre on spécifie les fichiers contenant la géométrie du cours d'eau et les débits créés précédemment. Ainsi on choisit le régime de simulation.

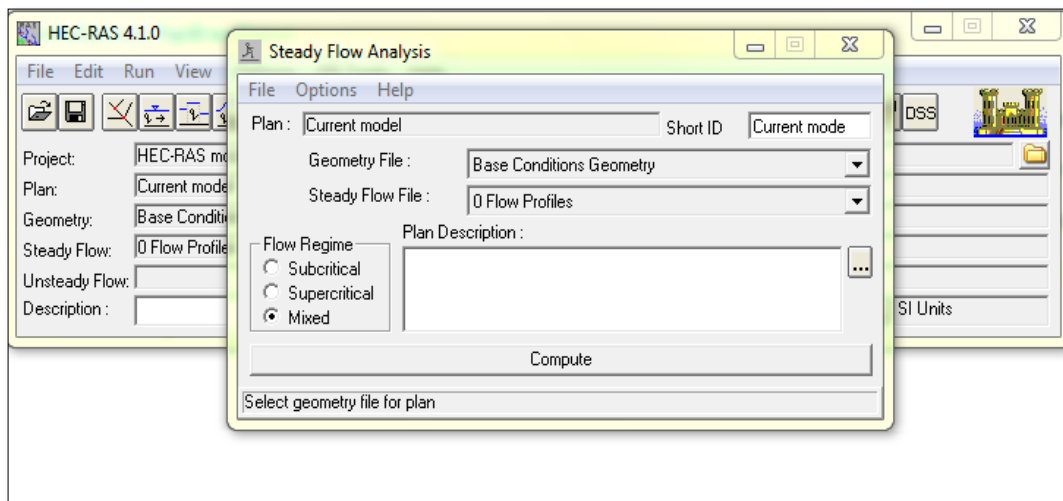


Figure 31 : Fenêtre paramètre de simulation

#### 3.1.4.1. Issues d'une simulation

Lorsqu'une simulation est entamée avec succès une fenêtre s'ouvre et nous montre le défilement des calculs.

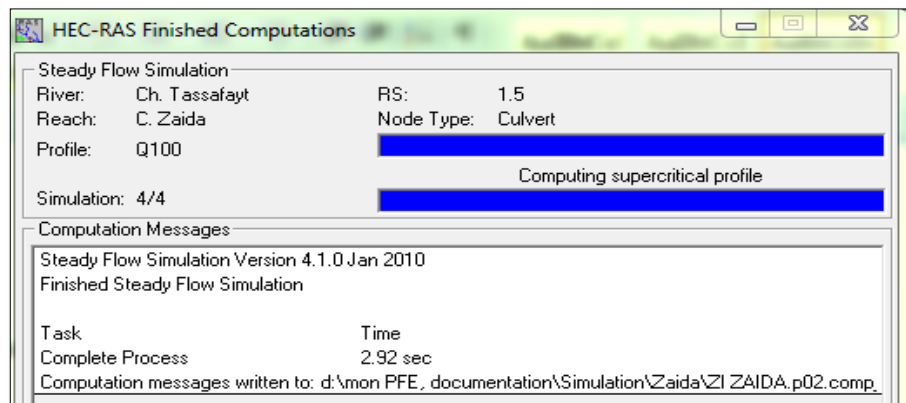


Figure 32 : Défilement de la simulation

## 4. Résultats des simulations et délimitation des zones inondables

Dans le cadre de la présente étude, les cours d'eau qui traversent le centre du Zaida, dont le diagnostic a présenté une vulnérabilité aux inondations, ont fait l'objet d'une modélisation hydraulique par le logiciel HEC-RAS.

La valorisation des résultats proposés par HEC-RAS passe par une mise en forme qui comprend des tableaux et des graphiques permettant de comparer numériquement et visuellement ces résultats. Afin d'en faciliter la lecture, les principales constatations qui en ressortent sont présentées par cours d'eau comme suit :

**NB :** Dans ce qui suit nous présenterons les résultats de simulations et de délimitation de zones inondables pour la crue centennale des cours d'eau étudiés. Tandis que les résultats obtenus pour les autres crues pour l'oued Bouhafs sont représentés en **annexe n°3**.

### 4.1. Oued Bouhafs

La modélisation de l'oued Bouhafs est effectuée depuis l'entrée du centre jusqu'à sa confluence avec l'oued Moulouya. La simulation de la crue a donné les résultats suivantes.

**Tableau 23: Résultats Oued Bouhafs, crue centennale**

profil	La crue	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	cote min (m)	niveau d'eau (m)	Pente hydraulique (m/m)	Vitesse moyenne (m/s)	Surface mouillée (m <sup>2</sup> )	Largeur au miroir (m)	Nb de Froude
34	Q100	190.06	1471.2	1472.77	0.010011	3.69	52.1	49.56	1.09
33	Q100	190.06	1468.87	1472.15	0.006072	4.08	61.73	52.63	0.91
32	Q100	190.06	1469.4	1471.64	0.00813	3.81	52.94	46.05	1.01
31	Q100	190.06	1469.12	1470.49	0.016911	4.44	44.15	48.76	1.39
30	Q100	190.06	1468.7	1470.09	0.008947	3.09	61.64	64.79	1
29	Q100	190.06	1466.3	1469.43	0.005075	4.38	68.27	53.74	0.85
28	Q100	190.06	1465.8	1469.03	0.00827	4.42	71.49	73.14	0.89
27	Q100	190.06	1466.1	1468.31	0.005417	3.1	64.62	54.65	0.83
26	Q100	190.06	1465.3	1467.69	0.006802	3.55	57.53	54	0.93
25	Q100	190.06	1465	1467.49	0.00249	2.55	79.63	53.53	0.59
24	Q100	190.06	1464.5	1466.73	0.006863	3.74	53.54	44.37	0.95
23	Q100	190.06	1463.8	1465.98	0.010336	4.73	55.63	58.74	1.17
22	Q100	190.06	1463	1466.05	0.001533	2.39	107.18	76.61	0.48
21	Q100	190.06	1462.7	1465.37	0.004861	3.8	67.62	69.89	0.84

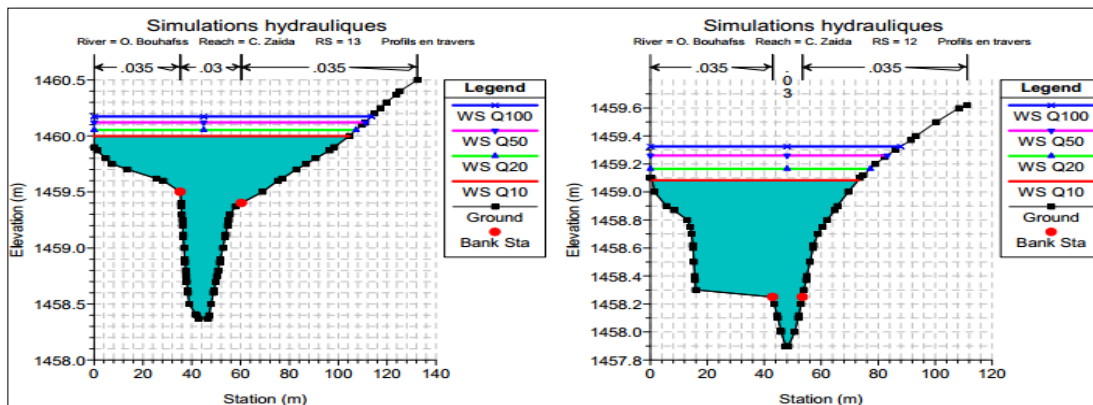


## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

20	Q100	190.06	1462.5	1464.9	0.001234	1.91	141.04	135.74	0.42
19	Q100	190.06	1460.75	1463.97	0.005364	4.06	60.27	48.4	0.86
18	Q100	190.06	1461.3	1463.24	0.011163	4.48	46.83	49.83	1.19
17	Q100	190.06	1460.7	1462.01	0.02401	5.03	38.95	53.15	1.64
16	Q100	190.06	1459.4	1461.4	0.010403	4.02	60.19	87.59	1.13
15	Q100	190.06	1459.5	1460.9	0.017013	4.08	50.36	76.04	1.36
14	Q100	190.06	1459	1460.85	0.00574	3	82.69	111.81	0.84
13	Q100	190.06	1458.37	1460.19	0.00822	3.71	75.07	114.17	1.01
12	Q100	190.06	1457.9	1459.34	0.013182	4.56	62.88	89.28	1.27
11	Q100	190.06	1456.2	1458.31	0.010576	4.05	66.72	99.46	1.13
10	Q100	190.06	1455.87	1457.47	0.013532	4.25	57.93	93.91	1.26
9	Q100	190.06	1453.87	1456.82	0.008103	4.28	70.94	98.06	1
8	Q100	190.06	1452	1455.59	0.011392	5.46	50.6	51.38	1.16
7	Q100	190.06	1451.6	1455.04	0.005524	3.8	76.57	82.2	0.83
6	Q100	190.06	1450.4	1454.77	0.001354	3.28	115.58	71.54	0.5
5.5		Culvert							
5	Q100	190.06	1450.37	1454.17	0.004805	3.74	54.85	43.17	0.75
4	Q100	190.06	1449.2	1454.39	0.000588	1.77	176.63	146.72	0.31
3	Q100	190.06	1451.1	1454.43	0.000058	0.53	465.23	215.12	0.1
2	Q100	190.06	1449.5	1454.43	0.00002	0.41	614.4	168.57	0.06
1	Q100	190.06	1448.25	1454.43	0.000016	0.41	600.17	122.34	0.05

A partir de l'analyse des résultats en haut et d'autres en annexe, il ressort que :

- Le nombre de froude est parfois inférieur à l'unité et l'inverse d'autres fois. Ce qui montre que l'écoulement bascule entre le régime fluvial et torrentiel le long de l'oued.
- Les vitesses d'écoulement sont souvent supérieures à 3 m/s et dépassent parfois 4 m/s, ce qui peut provoquer des affouillements des berges. Les vitesses changent rapidement avec les rétrécissements ou les élargissements de l'oued, par exemple, entre les sections 13 et 12 la vitesse augmente de 3.71 m/s à 4.56 m/s, parce que le profil de l'oued se resserre.



**Figure 33 : Les rétrécissements ou les élargissements de l'oued**

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

- Le pont sur l'oued Bouhafs, traversant la RN13 ne présente pas l'ampleur suffisante qui permet le passage de toutes les crues simulées. Le profil en long et la figure n°34 illustrent bien cette insuffisance par les niveaux d'eau qui dépassent beaucoup le tablier de l'ouvrage.

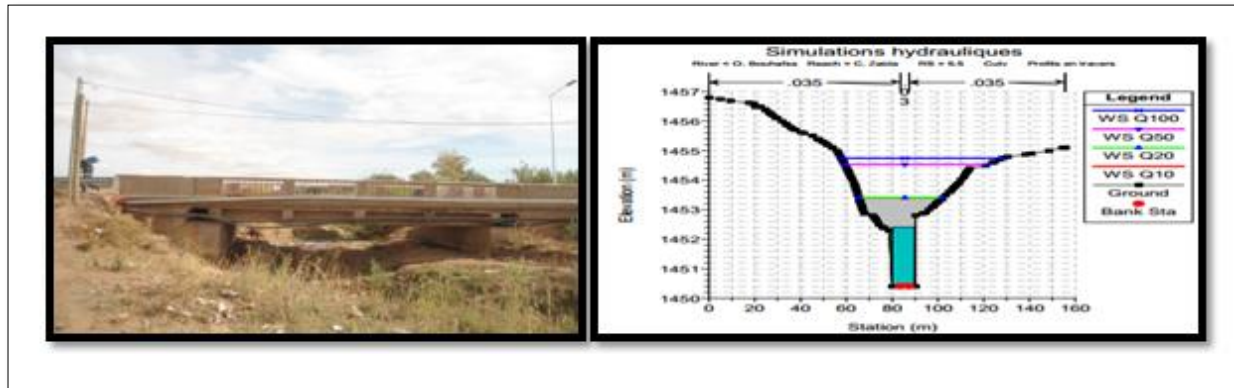


Figure 34 : La simulation du pont sur la RN

Une vue en profil de la ligne d'eau max de la crue centennale est présentée dans la figure suivante :

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

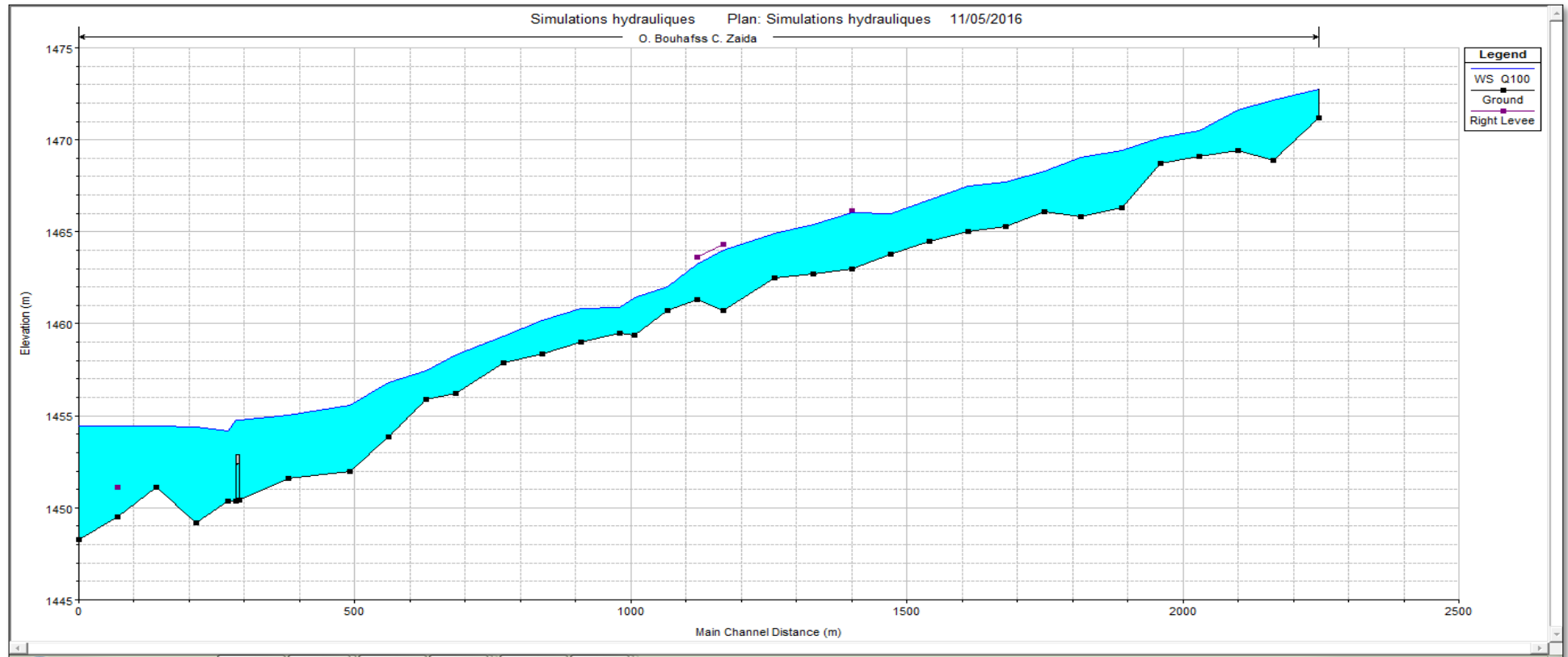


Figure 35 : Profil en long Oued Bouhafss, crue 1/100

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

### 4.2. Chaâba Tamalht

La simulation de la crue sur le modèle de la Chaâba Tamalht a donné les résultats suivants :

**Tableau 24 : Résultats de la Chaâba Tamalht, crue centennale**

profil	La crue	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	cote min (m)	niveau d'eau (m)	Pente hydraulique (m/m)	Vitesse moyenne (m/s)	Surface mouillée (m <sup>2</sup> )	Largeur au mimoir (m)	Nb de Froude
27	Q100	10.23	1467	1467.51	0.007526	1.33	7.91	29.88	0.76
26	Q100	10.23	1466.2	1466.77	0.012923	1.66	6.24	24.22	0.98
25	Q100	10.23	1465.37	1465.71	0.017613	1.55	6.62	32.65	1.09
24	Q100	10.23	1464.87	1465.2	0.004025	0.78	13.56	72.84	0.53
23	Q100	10.23	1464.25	1464.67	0.011615	1.31	7.82	35.57	0.89
22	Q100	10.23	1463.6	1463.83	0.01332	0.81	12.69	133.33	0.83
21	Q100	10.23	1463	1463.23	0.006209	0.67	15.41	124.17	0.6
20	Q100	10.23	1462.5	1462.72	0.006862	0.79	13.03	89.35	0.64
19	Q100	10.23	1462.1	1462.27	0.007155	0.77	14.26	117.84	0.65
18	Q100	10.23	1461.3	1461.83	0.004966	1.01	11.38	72.44	0.61
17	Q100	10.23	1461.1	1461.58	0.002845	0.9	15.68	73.89	0.48
16	Q100	10.23	1460.87	1461.16	0.012147	1.35	9.46	62.35	0.91
15	Q100	10.23	1460.12	1460.63	0.005133	0.98	10.76	46.39	0.61
14	Q100	10.23	1459.87	1460.34	0.003582	0.86	11.85	42.93	0.52
13	Q100	10.23	1459.6	1460.04	0.004108	1.11	10.83	49.47	0.58
12	Q100	10.23	1459.37	1459.77	0.003919	0.99	13.18	68.81	0.55
11	Q100	10.23	1459	1459.47	0.004324	1.08	11.75	55.23	0.59
10	Q100	10.23	1458.6	1459.06	0.007346	1.17	8.92	40.31	0.73
9	Q100	10.23	1458.25	1458.65	0.005099	0.85	12.07	58.59	0.59
8	Q100	10.23	1458	1458.5	0.001908	0.79	12.89	31.94	0.4
7	Q100	10.23	1457.7	1458.47	0.000231	0.33	30.75	58.41	0.15
6	Q100	10.23	1457.7	1458.46	0.000101	0.27	39.68	64.08	0.1
5.5		10.23	1457.6	1458.46	0.000061	0.22	49.12	74.12	0.08
5	Q100	10.23	1456.6	1458.45	0.000053	0.3	40.32	40.72	0.08
4	Q100	Culvert							
3	Q100	10.23	1456.5	1457.28	0.010265	2.18	4.69	8.74	0.95
2	Q100	10.23	1455.7	1457.4	0.000041	0.25	52.4	59.94	0.07
1	Q100	10.23	1453.8	1457.4	0.000001	0.06	311.82	182.18	0.01

A partir de l'analyse des résultats en haut, il ressort que :

- L'écoulement est fluvial caractérisé par un nombre de Froude strictement inférieur à l'unité sauf au niveau de la section 25 qui présente une pente considérable;
- Les vitesses d'écoulement restent inférieures à 1.5 (m/s) sauf au niveau de l'ouvrage (section 3) où elle dépasse 2 (m/s) ce qui est normal ;
- La cuvette de Chaâba reste suffisante pour véhiculer le débit des différentes crues.

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

- Le dalot sur la RR50, comme la figure n°36 le montre, présente une hauteur suffisante qui permet le passages des crues simulées. Le profil en long et le figure illustre cette suffisance.

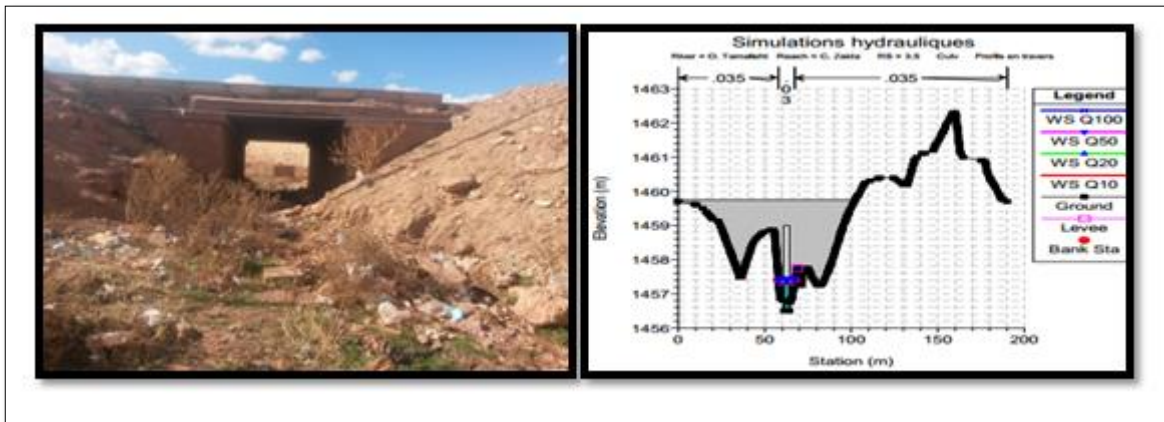


Figure 36 : La simulation du dalot sur la RR 503

Une vue en profil de la ligne d'eau max de la crue centennale est présentée dans la figure suivante :

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

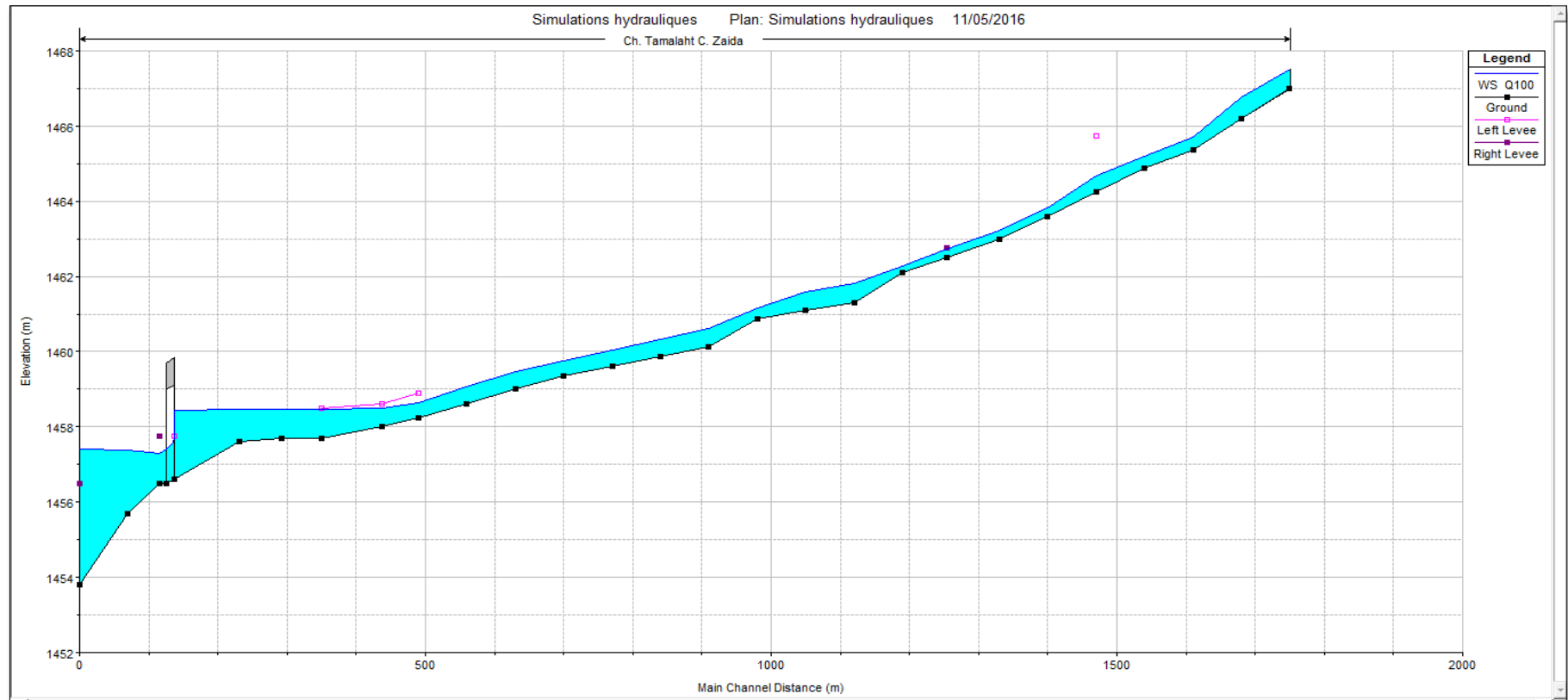


Figure 37 : Profil en long de la Chaâba Tamalht, crue 1/100

### 4.3. Chaâba Tassafayt

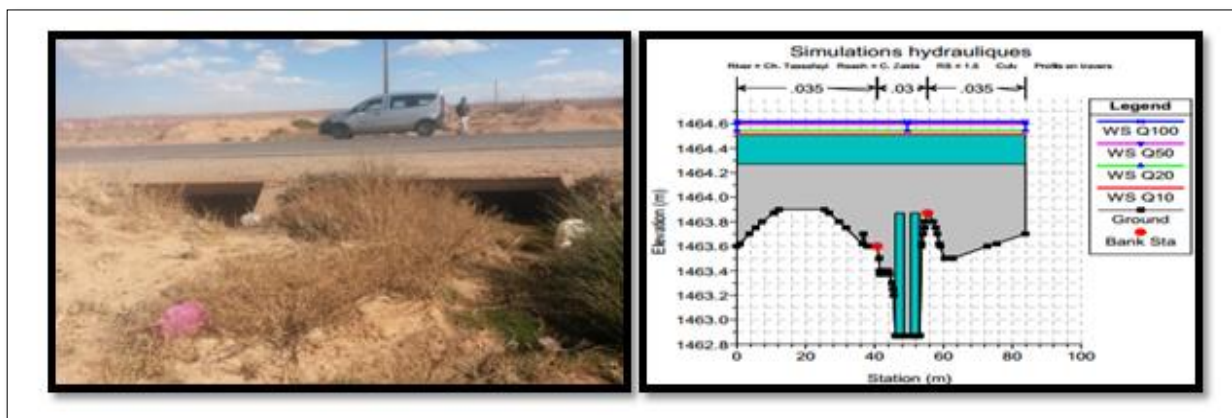
La simulation de la crue sur le modèle de Chaâba Tassafayt a donné les résultats suivants :

**Tableau 25: Résultats de la Chaâba Tassafayt, crue centennale**

Profil	La crue	Q Total (m3/s)	Cote min (m)	niveau d'eau (m)	Pente hydraulique (m/m)	Vitesse moyenne (m/s)	Surface mouillée (m2)	Largeur au miroir (m)	Nb de Froude
6	Q100	44.61	1464.5	1465.6	0.003719	1.99	30.69	40.05	0.64
5	Q100	44.61	1464.2	1465.3	0.006194	2.52	26.92	50.67	0.82
4	Q100	44.61	1463.5	1464.63	0.015028	3.09	18.09	40.07	1.21
3	Q100	44.61	1463.3	1464.65	0.001134	1.19	45.03	49.71	0.36
2	Q100	44.61	1462.87	1464.65	0.000285	0.71	86.04	83.85	0.19
1.5		Culvert							
1	Q100	44.61	1462.75	1463.66	0.004	1.72	32.13	87.96	0.64

A partir de l'analyse des résultats en haut et d'autres, il ressort que :

- L'écoulement est fluvial caractérisé par un nombre de Froude strictement inférieur à l'unité sauf au niveau de la section 4 qui présente une pente considérable ;
- La cuvette de Chaâba reste suffisante pour vehicular le debit des différentes crues.
- Le dalot à deux ouvertures sur la RR503 ne présente pas l'ateur suffisante qui permet le passage de toutes les crues simulées. Le profil en long et la figure n°38 illustrent bien cette insuffisance par les niveaux d'eau qui dépasse la chaussée.



**Figure 38 : La simulation du dalot à deux ouvertures sur la RR 503**

Une vue en profil de la ligne d'eau max de la crue centennale est présentée dans la figure suivante.

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

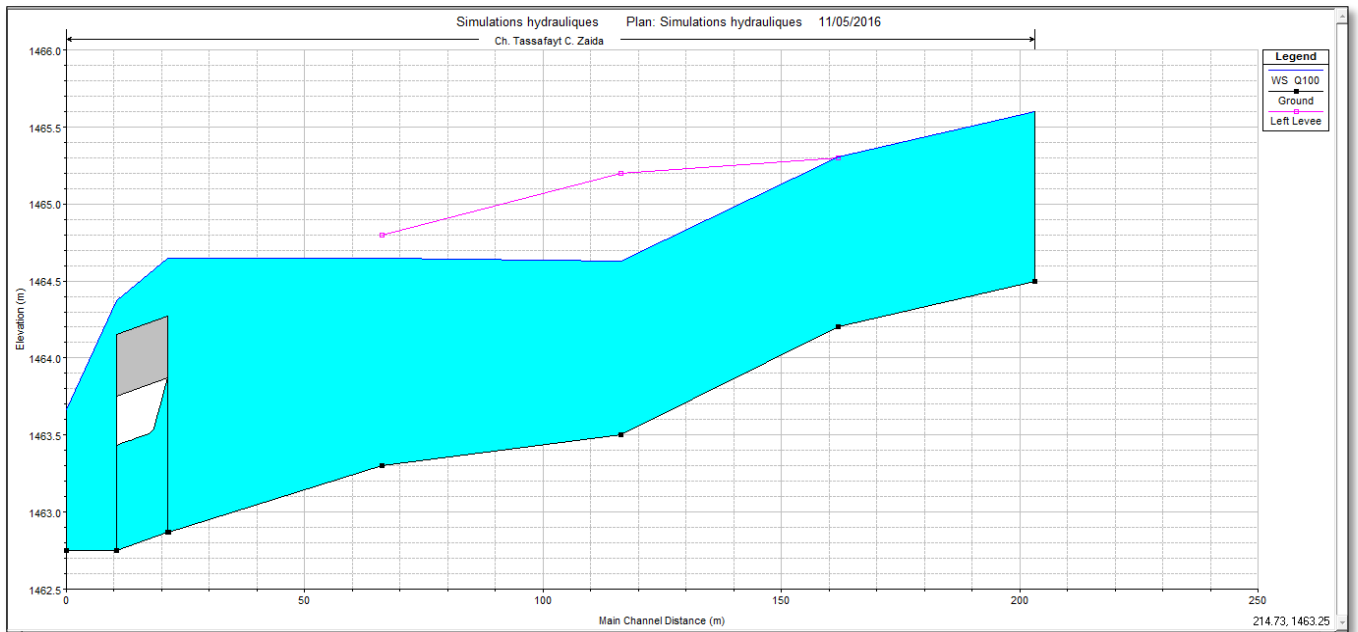


Figure 39 : Profil en long de la Chaâba Tassfayt, de la crue 1/100

Après avoir réalisé la simulation hydraulique, on exporte les résultats obtenus vers Rivercad ( Reach » Import » Import HEC-RAS project) afin d'identifier les zones inondables et la présenter sur Autocad, toujours en moyen de RiverCad ( Output » Floodplain Map Results ). Ce module de RiverCad génère le niveau que l'eau peut atteindre lors d'une crue centennale.

### Remarque :

- Les résultats de simulations (tableaux et graphiques) des crues 1/10, 1/20 et 1/50 pour l'oued Bouhafs sont représentés en **annexe n°3**.
- La simulation de l'oued Moulouya a été réalisé à la demande d'ABHM pour disposer d'un outil préventif sur son dynamique fluviale sans qu'il fera un sujet d'aménagement pour le moment au niveau du centre Zaida.
- La Chaâba « Est» n'a pas été un sujet de simulation pour une raison de manque des données topographiques d'un coté, et da sa nature non identifiée naturellement d'autres coté, car ses écoulement résultent des crues qui se propagent superficiellement avec la pente offerte en inondant les riverains, et dont l'aménagement sera donné en consultation avec les experts de GCIM.



### 4.4. Délimitation des zones inondables

Dans cette étape, on consiste à superposer les résultats de simulation de la crue centennale avec l'image satellitaire de Zaida.

La figure n°40 montre la superposition des deux cartes don on remarque que lors d'une crue centennale, il y aura des débordements sur le lit majeur des cours d'eau simulés, ces débordements vont toucher plusieurs zones, à savoir la zone d'activités artisanales, des constructions, les voies publics en quelque point surtout la RR503 à l'entrée du centre depuis Khenifra et quelques chemins piétons au milieu urbain.

Les risques encourus lors de cette crue centennale ainsi que les dégâts humains et matériels qu'elle engendre laissent à réfléchir des solutions intégrées afin de remédier à ce fléau.

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt



Figure 40 : La représentation de la zone inondable

**Chapitre 5 :**  
**SCHEMAS D'AMENAGEMENTS**

## **1. Les solutions d'aménagements**

D'après les simulations hydrauliques faites sur les différents cours d'eau et les résultats de diagnostic, il ressort que :

Les eaux des oueds et Chaâbas qui font l'objet de la présente étude débordent et provoquent systématiquement des inondations des riveraines (voir figure n°40) pour les raisons suivantes :

- L'occupation des rives des oueds et Chaâbas par des constructions ;
- L'accumulation des ordures ménagères et de remblai dans ses lits et au niveau des aménagements de protection existants ;
- L'extension du centre sur ses lits ;

Etant donné que les bassins de notre étude sont suburbaines, aucune solution indirecte, qui consiste à intervenir plus loin des sites menacés en aménageant un ouvrage de dérivation des oueds responsables des inondations, n'a pu être envisagé.

Seule la protection directe qui consiste à intervenir directement sur les sites menacés ( zones d'inondations), peut être envisageable.

Parmi les critères généraux de choix de l'axe des ouvrages de protection, on trouve les suivants :

- Les zones habitées et limitrophes à l'oued doivent être protégées ;
- La topographie du terrain : un ouvrage à faible hauteur est évidemment moins cher ;
- L'emplacement de ces ouvrages doit être implanté tel que l'objet cible à « protéger » ne soit pas menacé, par exemple, par érosion de ses talus ou de sa fondation

### **1.1. Hypothèses retenues**

#### **1.1.1. Les coefficients de rugosité**

Les coefficients de rugosité (n - Manning) prises en compte sont les suivants :

Sections bétonnées :  $n=0.016$

Sections en sol naturel :  $n=0.028$

#### **1.1.2. Revanche de dimensionnement**

Il est pris en compte un tirant d'air dans les ouvrages enterrés et à ciel ouvert d'au moins de 15 à 20 cm pour tenir compte des turbulences en surface (remous et vagues) et des objets

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

flottants susceptibles de dégrader la génératrice supérieure de l'ouvrage, et une revanche de 50 cm pour les murs de protection.

### 1.1.3. Principes d'aménagements

Dans le cadre des aménagements, la faisabilité des ouvrages qu'il est possible de mettre en place et leur implantation possible tient compte de plusieurs paramètres :

- Présence des réseaux souterrains existants secs et humides à dévier,
- Emprise maximale disponible sous chaussée de bâti à bâti,
- Présence de commerce à maintenir en activité,
- Sécurité des riverains
- Gestion de la circulation durant les travaux.

### 1.1.4. Pré-dimensionnement

Le pré-dimensionnement de l'ouvrage hydraulique a été calculé à partir de la formule de Manning Strickler :

$$Q = K * R_H^{2/3} * I^{1/2} * S$$

K : Coefficient de Strickler caractérisant la rugosité des parois;

P : Périmètre mouillée (m) ;

S : Section mouillée (m<sup>2</sup>) ;

R : Rayon hydraulique = S/P (m) ;

I : Pente (m/m).

Pour les ouvrages de franchissement, le calcul de la capacité des ouvrages peut être effectué selon les formules de Delorme (utilisés par la DRCR pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement) lesquelles s'écrivent comme suit :

$$Q_{CR} = 1.5 \times L \times H^{(3/2)} \quad \text{Pour les dalots}$$

$$Q_{CR} = 2.8 \times R \times H^{(3/2)} \times 0.88 \quad \text{Pour les buses}$$

Où :

L : Ouverture du dalot en (m)

R : Rayon de la buse en (m)

H : Hauteur sous dalles pour les dalots ou le diamètre intérieur pour les buses en (m)

### 1.2. L'aménagement de l'oued Bouhafs

A fin de protéger les constructions, sur les rives de l'oued, touchées par l'extension de la crue centennale (voir la figure), qui fait l'objectif de protection le plus couramment utilisé dans ce genre de projet, il est proposé de réaliser un mur de protection en maçonnerie de longueur 101.5 m sur sa rive droite et un deuxième de longueur 78.5 m sur sa rive gauche.

**Tableau 26 : Aménagement de l'oued Bouhafs**

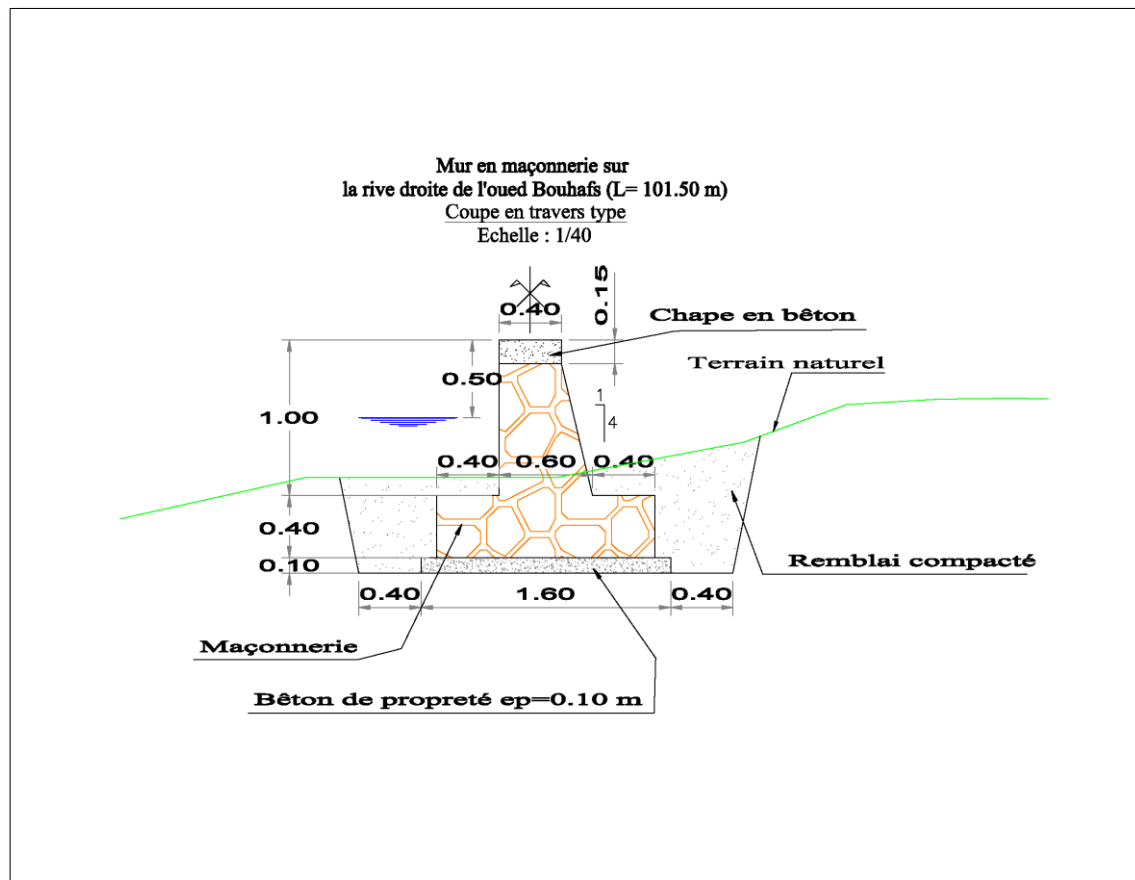
Nature de l'ouvrage	Hauteur (m)	Longueur (m)
Mur en maçonnerie	Variable = hauteur d'eau pour la crue centennale plus une revanche de 50cm	Mur de la rive droite : 101.5 ml Mur de la rive gauche : 78.5 ml

Le mur proposé repose sur une couche de béton de propreté dosé à 150kg de ciment par m<sup>3</sup> du béton. L'épaisseur de cette couche est de 10cm et sa largeur est de 1.60 m. Sur cette couche de béton de propreté on placera une semelle en maçonnerie d'une épaisseur de 40 cm entièrement enfouie dans le sol. La largeur à la base de cette semelle est de 1.40m. Au-dessus de la semelle, repose le mur en maçonnerie. Le parement du mur exposé à l'eau est incliné avec un fruit de 1H/4V, tandis que l'autre parement est vertical. La largeur du mur à son sommet (chape) est égale à 40cm.

La réalisation de ces murs nécessitera au préalable le creusement de fouilles de 90cm de profondeur, 2m de largeur à la base et un fruit des parements de 1H/4V.

La figure n°41 illustrent les coupes en travers types des murs à projeter.





**Figure 41 : Coupe en travers type du mur de protection (Bouhafs)**

### 1.3. L'aménagement de la Chaâba Tamalht

Comme le cas de l'oued Bouhafs, la Chaâba de tamalht inondera des constructions lors de passage d'une crue centennale, pour remédier au problème, il est proposé de réaliser des murs de protection dans la rive gauche, dont les caractéristiques sont les suivantes :

**Tableau 27: Aménagement de la Chaâba Tamalht**

Nature de l'ouvrage	Hauteur (m)	Longueur (m)
Mur en maçonnerie	Variable = hauteur d'eau pour la crue centennale plus une revanche de 50cm	Mur à l'aval immédiat du dalot existant sur la RR503 : 260 ml
		Mur entre les sections 12 et 13 : 80 ml
		Mur au niveau de la section 17 : 77 ml





## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

Tableau 28: Recalibrage de la Chaâba Tassfayt

Nature de l'ouvrage	Hauteur (m)	Largeur à la base(m)	Pente des talus (m/m)	Pente du lit de l'oued	Longueur (ml)
Recalibrage en forme d'un canal trapézoïdal en terre	2	4.5	3H/2V	2.50 %	215

La figure n°43 illustre la coupe en travers type de la Chaâba recalibrée.

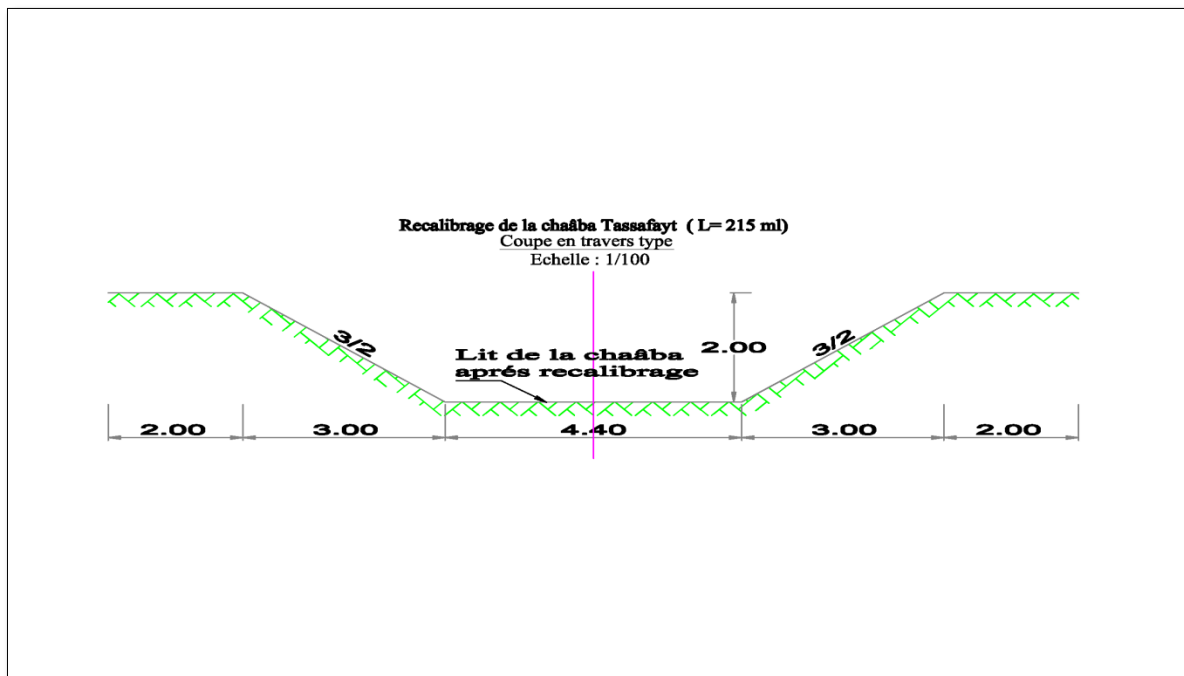


Figure 43: la coupe en travers type de la Chaâba recalibrée

### 1.5. L'aménagement de la Chaâba Est

En ce qui concerne la Chaâba Est, et compte tenu de son existence à l'intérieur d'un périmètre urbain et de ses débordements en période des crues, son lit doit être matérialisé. Il est proposé de l'aménager sur deux tronçons.

Le premier tronçon consiste à réaliser un canal à ciel ouvert trapézoïdal en béton armé sur une longueur de 675 m depuis le début du périmètre urbain à l'est sur la RN13 jusqu'au juste avant les établissements publics ( commune locale, caïdat...etc)

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

Tableau 29 : L'aménagement de la Chaâba Est (tronçon 1)

Nature de l'ouvrage	Hauteur (m)	Largeur à la base(m)	Pente des talus (m/m)	Pente du radier	Longueur (ml)
Canal trapézoïdal en béton armé	1.55	1.5	3H/2V	1.1 %	675 m

La figure n°44 illustre la coupe en travers type du canal en béton armé à projeter.

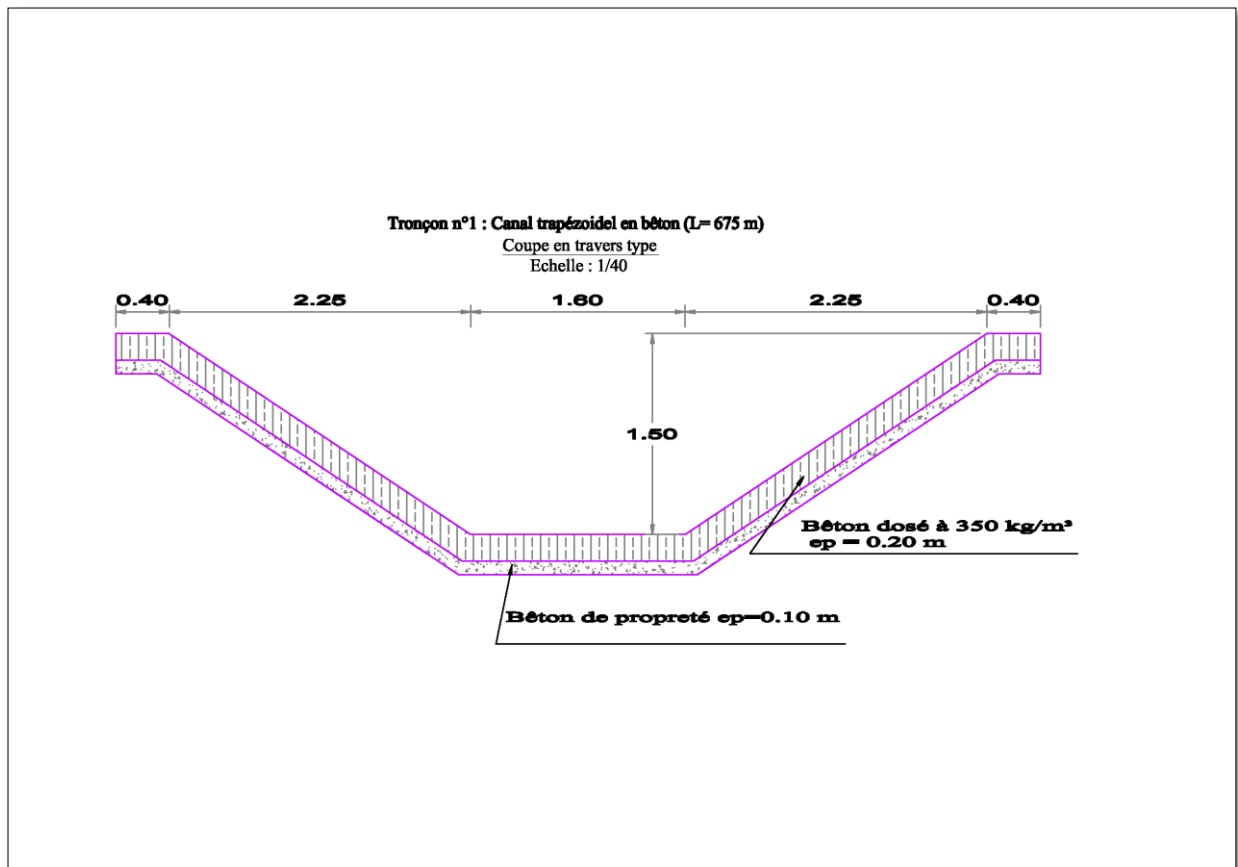


Figure 44: Coupe en travers type du canal en béton armé

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

Le deuxième tronçon sur une longueur de 175 m, qui consiste à réaliser un dalot qui permettra l'acheminement des eaux de la crue depuis la fin du canal jusqu'à l'oued Moulouya, le choix d'un dalot est à justifier par l'existence de plusieurs traversées des pistes à ce niveau.

Tableau 30 : L'aménagement de la Chaâba Est (tronçon 2)

Nature de l'ouvrage	Hauteur (m)	Largeur (m)	Pente des talus (m/m)	Pente du radier	Longueur (ml)
Dalot enterré	2.10	2.1	3H/2V	1.79 %	175 m

La figure n°45 illustre la coupe en travers type du dalot enterré à projeter.

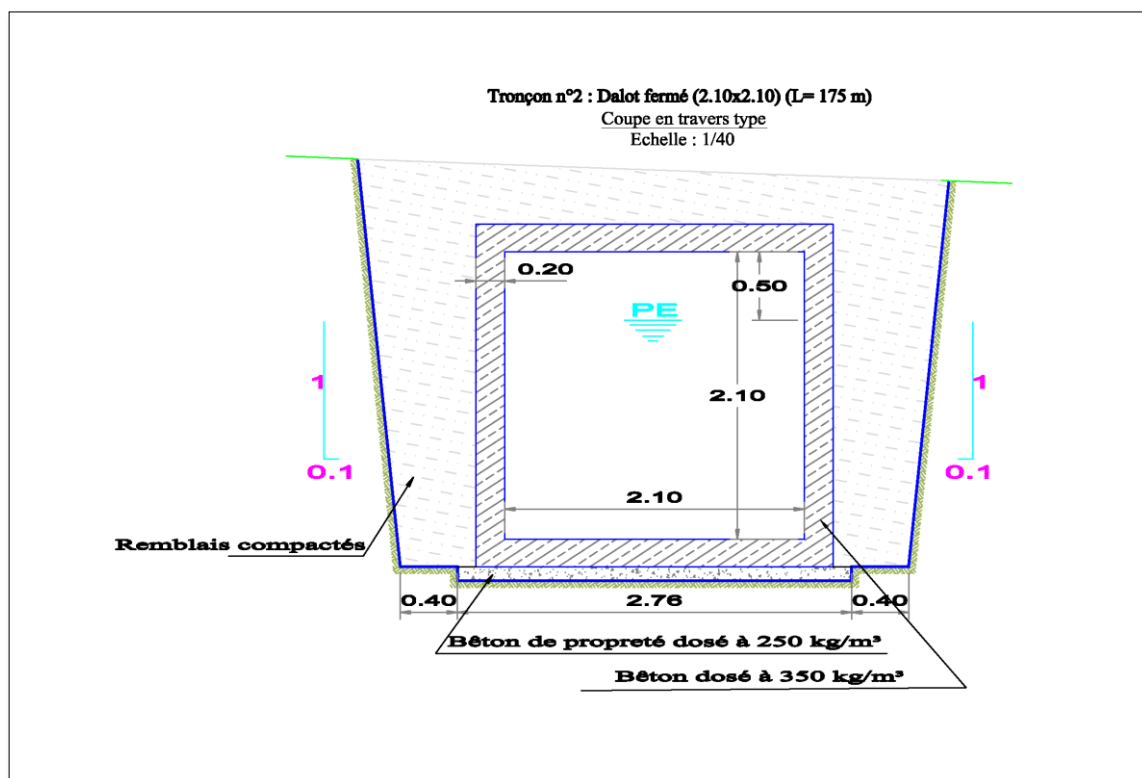


Figure 45: Coupe en travers type du dalot enterré

### 1.6. Les Ouvrages de franchissement

Les études hydrauliques ont montré l'incapacité de transit des ouvrages de franchissement sur l'oued Bouhaf et la Châaba tassfayt. Afin de remédier au problème, et d'évacuer les débits de projet calculés avant sans rencontrer des problèmes de débordements à l'intersection de ces cours d'eau avec la RN13 et la RR 503, il a été jugé utile de curer et de renforcer le pont sur l'oued Bouhafs par l'ajout, à côté de l'existant, d'un dalot à six ouvertures dont les dimensions sont les suivantes : 6x3m x3m.

La vérifications hydraulique se font par la formule de Delorme, et la figure n°46 montre la coupe en travers types de l'ouvrage à projeter.

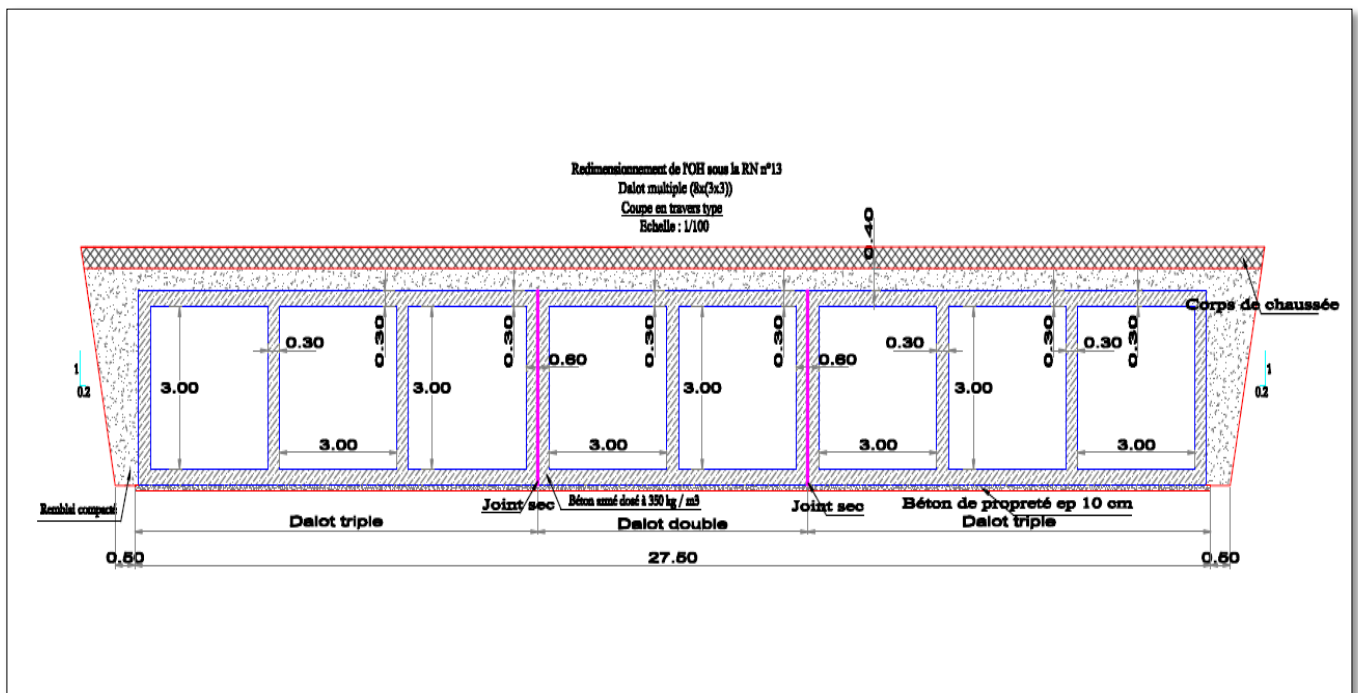


Figure 46: Redimensionnement de l'OH sur la RN13

De même, il a été jugé utile de curer le dalot à deux ouvertures sur la RR503 au niveau de la Chaâba Tassfayt et de le renforcer par l'ajout de deux autres ouvertures de dimensions 6x3.5m x3m à côté de l'existant. La figure n°47 montre la coupe en travers types de l'ouvrage à projeter.

NB : L'annexe n°6 explicite les tracés en plan, sur la carte d'inondation, des ouvrages à projeter.

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

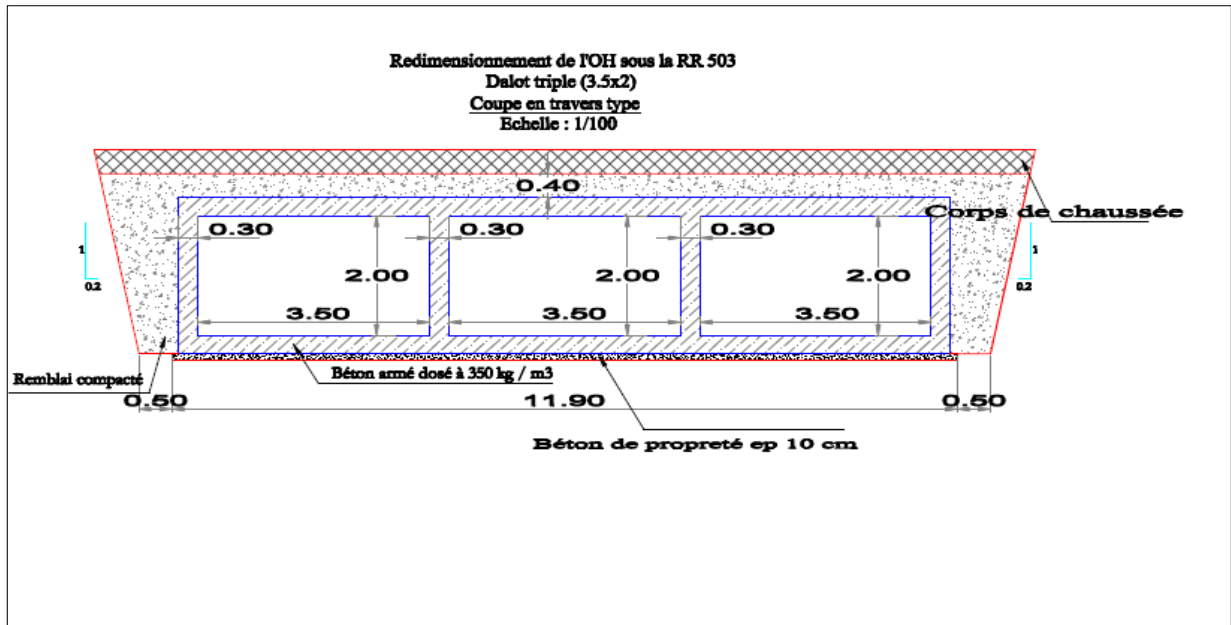


Figure 47 : Redimensionnement l'OH sur la RR503

## 2. Estimation financière sommaire

L'étude financière consiste à donner une approximation du montant global des aménagements retenus. Les propositions d'aménagement de l'oued Bouhafs, ainsi des autres cours d'eau, ont été estimées financièrement dont le chiffrage est présenté dans le tableau n°30 et l'annexe n°5.

Tableau 31 : Détail Estimatif (Aménagements de l'oued Bouhafs)

Aménagements de l'oued Bouhafs					
Mur en maçonnerie sur la rive droite de l'oued Bouhafs ( L = 101.50 m)					
N°	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	Uté	Qté	P.U	MONTAN
				DHS	T (DHS)
1	Déblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	183	40 Dh	7 308 Dh
2	Remblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	96	60 Dh	5 786 Dh
3	Béton de propreté	m <sup>3</sup>	16	800 Dh	12 992 Dh
4	Béton dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> pour la chape	m <sup>3</sup>	6	1 200 Dh	7 308 Dh
5	Ferraillage	kg	151	12 Dh	1 809 Dh
6	Maçonnerie en moellon	m <sup>3</sup>	100	500 Dh	50 243 Dh
<b>imprévus 15%</b>					<b>12 817 Dh</b>
<b>Total H.T</b>					<b>98 261 Dh</b>
<b>TVA 20%</b>					<b>19 652 Dh</b>
<b>Total TTC</b>					<b>117 914 Dh</b>

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

<b>Mur en maçonnerie sur la rive gauche de l'oued Bouhafs ( L = 78.50 m)</b>					
N°	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	Uté	Qté	P.U	MONTANT
				DHS	(DHS)
1	Déblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	141	40 Dh	5 652 Dh
2	Remblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	75	60 Dh	4 475 Dh
3	Béton de propreté	m <sup>3</sup>	13	800 Dh	10 048 Dh
4	Béton dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> pour la chape	m <sup>3</sup>	5	1 200 Dh	5 652 Dh
5	Ferraillage	kg	117	12 Dh	1 399 Dh
6	Maçonnerie en moellon	m <sup>3</sup>	78	500 Dh	38 858 Dh
<b>imprévus 15%</b>					<b>9 912 Dh</b>
<b>Total H.T</b>					<b>75 995 Dh</b>
<b>TVA 20%</b>					<b>15 199 Dh</b>
<b>Total TTC</b>					<b>91 194 Dh</b>
<b>Curage de l'oued et Ajout des ouvertures sous la RN n°13 : Dalot multiple (6x(3x3))</b>					
N°	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	Uté	Qté	P.U	MONTANT
				DHS	(DHS)
1	Déblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	960	40 Dh	38 400.00
2	Remblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	104	60 Dh	6 240.00
3	Béton de propreté	m <sup>3</sup>	16	800 Dh	13 120.00
4	Béton dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	247	1 200 Dh	296 832.00
5	Acier pour armature	kg	27 210	12 Dh	326 515.20
6	Chaussé	m <sup>3</sup>	80	200 Dh	16 000.00
7	Gabions	m <sup>3</sup>	44	600 Dh	26 400.00
8	Joints water stop	ml	15	200 Dh	3 044.00
<b>imprévus 15%</b>					<b>108 983 Dh</b>
<b>Total H.T</b>					<b>835 534 Dh</b>
<b>TVA 20%</b>					<b>167 107 Dh</b>
<b>Total TTC</b>					<b>1 002 641 Dh</b>

Il en sort une évaluation d'un coût global des travaux de l'ordre de 4 769 229 DHS.

## Conclusion générale

L'objectif du présent projet de fin d'études était de proposer des solutions d'aménagement pour protéger le centre de Zaida contre les méfaits d'une crue centennale.

Les aménagements à projeter ont été proposés de telle sorte à acheminer les crues de rares fréquences vers l'oued Moulouya sans débordements.

L'étude hydrologique menée, des bassins versants concernés par l'étude, a permis d'estimer le temps de concentration et les débits des crues, pour différentes fréquences.

Ensuite, il a été question de monter un modèle hydraulique numérique et géométrique des cours d'eau, objets d'une modélisation hydraulique qui a été développée en détail. Le principe de reconstitution hydraulique de la géométrie est basé sur l'établissement des profils en travers et en long de ces cours d'eau. Pour ce faire, on a utilisé le logiciel RiverCad en se basant sur les levés topographiques de Zaida. La densité et l'implantation des PTs à établir sont choisies de manière à se rapprocher au mieux des conditions réelles du cours d'eau du point de vue topographique et hydraulique.

Les résultats ressortis, de la simulation hydraulique à l'aide de logiciel HEC-RAS, sont présentés sous forme de tableaux récapitulatifs qui contiennent les valeurs de débit, de hauteur d'eau, de vitesse et de nombre de Froude dans chaque section des cours d'eau, et donc permettent, d'avoir en chiffre, tous les paramètres qui puissent aider, ultérieurement, à prendre des décisions au sujet d'un aménagement quelconque, sur la zone étudiée. Ces résultats se présentent aussi sous forme graphique grâce à des profils en travers, des profils en long et des vues 3D, où les niveaux d'eau atteints par les différentes crues sont indiqués.

En ce qui concerne les solutions d'aménagements, on a proposé la réalisation des murs de protection au niveau de la Chaâba Tamlaht et l'oued Bouhafis, ainsi le curage et le renforcement hydraulique du pont sur la RN13.

Pour la chaâba Tassfayt, le recalibrage de son lit, le renforcement et le curage de l'ouvrage hydraulique sur la RR503 ont été proposés pour une bonne protection des zones à risque d'inondation.

L'aménagement de la chaâba « Est » nécessiterait la réalisation d'un canal trapézoïdal en béton et d'un dalot enterré au niveau des zones carrossables.

Enfin les décisions finales doivent passer par une recherche de compromis entre l'efficacité attendues en terme de lutte contre les inondations et le coût induit par les aménagements.

## **Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt**

---

Après une concertation avec le Maître d'Ouvrage (ABHM), des améliorations et des modifications peuvent être apportées au projet en phase d'avant projet détaillé.



## Références bibliographiques

[1] : ETUDE POUR LA REALISATION D'UNE CARTOGRAPHIE ET D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE SUR LES RISQUES MAJEURS AU MAROC - Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement , Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques, 2008.

[2] : G. ZAHOUR & H. OUAFIK. « Réglementation Et Législation En Matière De Gestion Des Inondations Au Maroc. Quels Apports De La Loi 10 95 ? », Revue HTE N°143/144, Sept. / Déc. 2009.

[3] : A. Dahman Saidi & D. de Nil, « Risk Nexus, Inondations au Maroc de 2014: quels enseignements tirer de Guelmim et Sidi Ifni ».

[4] : M. Chahboune et al, Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique et pélagique des eaux du barrage Hassan II et de ses affluents (Province de Midelt, Maroc),septembre 2014.

[5] : A. MECHARD « Eléments de Géologie Marocaine », Ministère de l'Energie et des Mines, Editor: Service géologique du Maroc, janvier 1976.

[6] : M. RHANEM, Faculté des Sciences, B. P 11201, Zitoune, Meknès, Etude climatique en moyenne montagne méditerranéenne: le cas de la localité de Midelt dans le haut bassin versant de la Moulouya (Maroc) pour des fins bioécologiques

[7] : Service géologique du Maroc « Ressources en eau du Maroc, tome 3, domaine atlasique et sud-atlasique », Rabat 1977.

[8] : Bulletin officiel, résultats du RGPH 2014.

[9] : S. BENGAMRA (2015) cours hydrologie générale, Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Al-Hoceima (ENSAH).

[10] : Schéma directeur national d'assainissement liquide, Maroc 2000.

[11] : Guide hydrologique et hydraulique pour le dimensionnement des franchissements routiers, DRCR 1997

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

- [12] : Etude de protection contre les inondations de la ville de Safi. GCIM : 2015.
- [13] : V. Guinot, Université Montpellier 2 « Les modèles numériques en hydrologie et en hydraulique », 2003.
- [14] : G. DEGOUTTE, aide mémoire d'hydraulique à surface libre, 2003.
- [15] : N. KREIS Modélisation des crues des rivières de moyenne montagne pour la gestion intégrée du risque d'inondation, Application à la vallée de la Thur (Haut-Rhin) : Thèse de Doctorat Sciences de l'Eau. ENGREF : 2004
- [16] : Etude de protection contre les inondations du centre de TELAT DE KETAMA. AL KHIBRA Etudes ET Conseils, 2013.
- [17] : US Army Corps of Engineers Center, Hydrologic Engineering Center « HEC-RAS User's Manual, Version 4.1.0, May 2005 »,

## Webographie

- [A] : <http://agriculture-et-riviere.blogspot.com/2009/02/d-le-recalibrage-des-rivieres>.
- [B] : <http://www.keller-france.com/techniques/applications/ouvrages-en-terre>
- [C]: <https://rge.revues.org/4630>
- [D]: <http://www.vidourle.org/eptb/missions-objectifs/>
- [E]: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Classification\\_de\\_K%C3%B6ppen](https://fr.wikipedia.org/wiki/Classification_de_K%C3%B6ppen)
- [F]: <http://fr.climate-data.org/location/295745/>

## **Annexes**

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

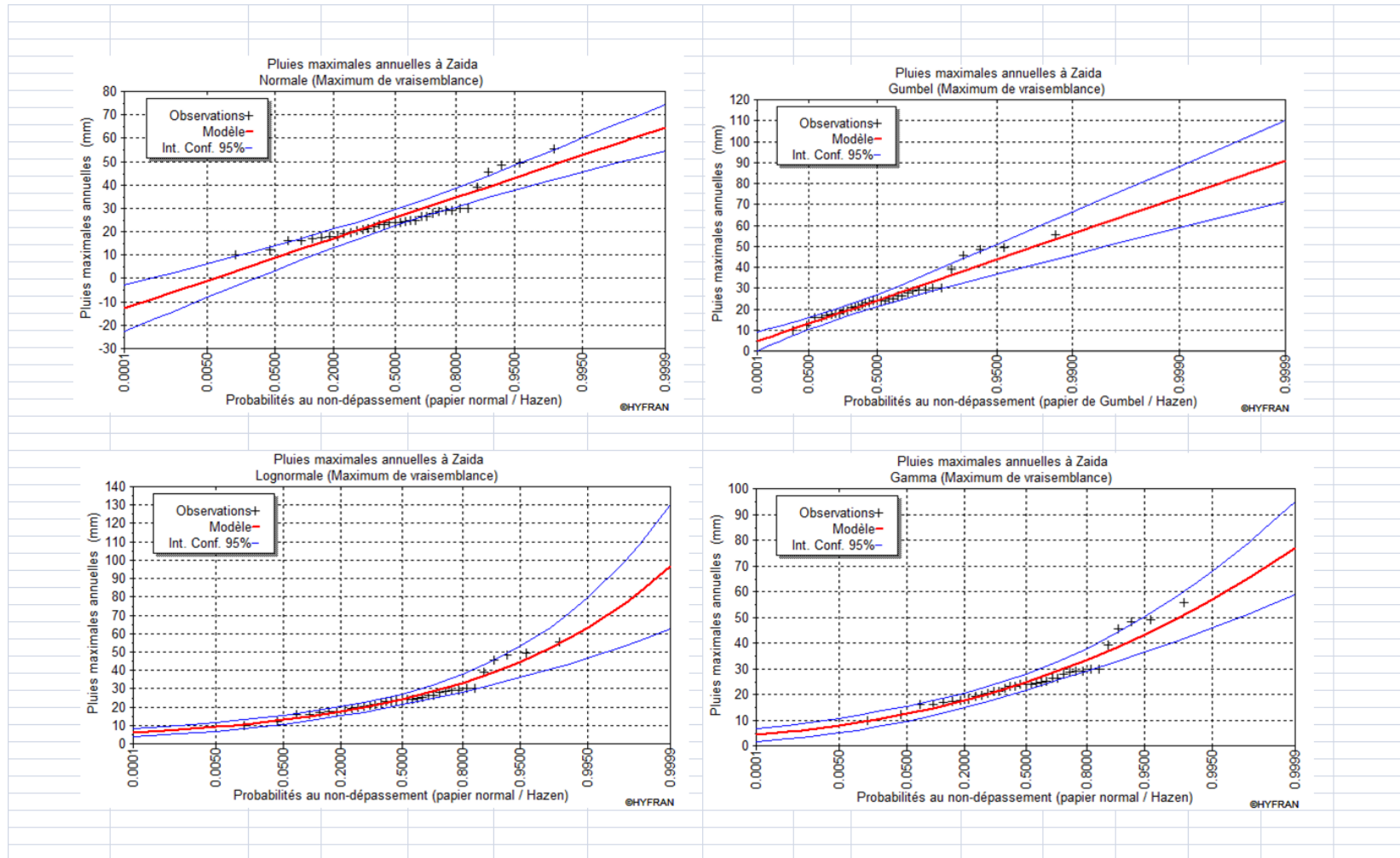
Annexe n°1 : Série des pluies journalières maximales annuelles au poste de Zaida

Année	ZAIDA
1980/1981	24.1
1981/1982	16.1
1982/1983	55.6
1983/1984	12.2
1984/1985	45.6
1985/1986	16.0
1986/1987	30.0
1987/1988	21.2
1988/1989	24.9
1989/1990	28.0
1990/1991	17.0
1991/1992	23.0
1992/1993	10.0
1993/1994	17.8
1994/1995	25.0
1995/1996	29.0
1996/1997	19.2
1997/1998	23.0
1998/1999	22.2
1999/2000	17.4
2000/2001	49.2
2001/2002	29.2
2002/2003	18.0
2003/2004	24.0
2004/2005	30.0
2005/2006	21.0
2006/2007	26.3
2007/2008	24.2
2008/2009	28.7
2009/2010	23.8
2010/2011	39.2
2011/2012	26.3
2012/2013	20.5
2013/2014	19.5
2014/2015	48.4

<b>N</b>	35
<b>M</b>	25.9
<b>E</b>	10.4
<b>Max</b>	55.6
<b>Min</b>	10

# Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

## Annexe n°2 : Graphiques des ajustements des Pjmax aux différentes lois de probabilité.



## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

Annexe n°3 : Résultats de la simulation hydraulique des Q10 à Q50 pour l'oued Bouhafs.

Oued	PTs	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Cote du lit (m)	Surface libre (m)	I (m/m)	V (m/s)	Sm (m <sup>2</sup> )	Nb.Fr
Bouhafs	34	Q10	124.33	1471.2	1472.51	0.010002	3.12	39.88	1.04
Bouhafs	34	Q20	147.23	1471.2	1472.61	0.010007	3.34	44.23	1.06
Bouhafs	34	Q50	170.36	1471.2	1472.7	0.010008	3.54	48.52	1.08
Bouhafs	33	Q10	124.33	1468.87	1471.84	0.005728	3.55	45.51	0.86
Bouhafs	33	Q20	147.23	1468.87	1471.95	0.00593	3.77	51.32	0.88
Bouhafs	33	Q50	170.36	1468.87	1472.06	0.006127	3.97	56.68	0.9
Bouhafs	32	Q10	124.33	1469.4	1471.25	0.010522	3.51	36.17	1.09
Bouhafs	32	Q20	147.23	1469.4	1471.4	0.009482	3.63	42.06	1.06
Bouhafs	32	Q50	170.36	1469.4	1471.53	0.008664	3.73	47.98	1.03
Bouhafs	31	Q10	124.33	1469.12	1470.28	0.015746	3.68	34.22	1.29
Bouhafs	31	Q20	147.23	1469.12	1470.35	0.016448	3.99	37.65	1.34
Bouhafs	31	Q50	170.36	1469.12	1470.43	0.016768	4.25	41.18	1.37
Bouhafs	30	Q10	124.33	1468.7	1469.83	0.009988	2.74	45.46	1.01
Bouhafs	30	Q20	147.23	1468.7	1469.93	0.009597	2.86	51.4	1.01
Bouhafs	30	Q50	170.36	1468.7	1470.02	0.009366	2.99	56.89	1.01
Bouhafs	29	Q10	124.33	1466.3	1469.14	0.004085	3.64	53.43	0.75
Bouhafs	29	Q20	147.23	1466.3	1469.25	0.00438	3.89	59.27	0.78
Bouhafs	29	Q50	170.36	1466.3	1469.35	0.004741	4.16	64.39	0.82
Bouhafs	28	Q10	124.33	1465.8	1468.73	0.008747	4.18	50.76	0.9
Bouhafs	28	Q20	147.23	1465.8	1468.84	0.008898	4.35	57.75	0.91
Bouhafs	28	Q50	170.36	1465.8	1468.95	0.008518	4.39	65.54	0.9
Bouhafs	27	Q10	124.33	1466.1	1468	0.005276	2.62	49.01	0.79
Bouhafs	27	Q20	147.23	1466.1	1468.12	0.005261	2.79	54.88	0.8
Bouhafs	27	Q50	170.36	1466.1	1468.22	0.005416	2.98	59.96	0.82
Bouhafs	26	Q10	124.33	1465.3	1467.3	0.008366	3.22	39.29	0.98
Bouhafs	26	Q20	147.23	1465.3	1467.45	0.00768	3.35	45.55	0.96
Bouhafs	26	Q50	170.36	1465.3	1467.59	0.007058	3.45	52.23	0.94
Bouhafs	25	Q10	124.33	1465	1467.04	0.002718	2.23	57.41	0.59
Bouhafs	25	Q20	147.23	1465	1467.21	0.002617	2.35	65.33	0.59
Bouhafs	25	Q50	170.36	1465	1467.37	0.002532	2.46	73.22	0.59
Bouhafs	24	Q10	124.33	1464.5	1466.31	0.008379	3.37	37.28	0.99
Bouhafs	24	Q20	147.23	1464.5	1466.46	0.007745	3.52	42.76	0.98
Bouhafs	24	Q50	170.36	1464.5	1466.61	0.007245	3.64	48.47	0.96
Bouhafs	23	Q10	124.33	1463.8	1465.77	0.007755	3.74	44.1	0.99
Bouhafs	23	Q20	147.23	1463.8	1465.84	0.009015	4.17	47.72	1.08
Bouhafs	23	Q50	170.36	1463.8	1465.91	0.009765	4.48	52.03	1.13
Bouhafs	22	Q10	124.33	1463	1465.63	0.001412	2.03	78.27	0.45
Bouhafs	22	Q20	147.23	1463	1465.79	0.001475	2.17	88.21	0.47
Bouhafs	22	Q50	170.36	1463	1465.91	0.001558	2.32	97.22	0.48
Bouhafs	21	Q10	124.33	1462.7	1464.89	0.006222	3.61	40.59	0.91

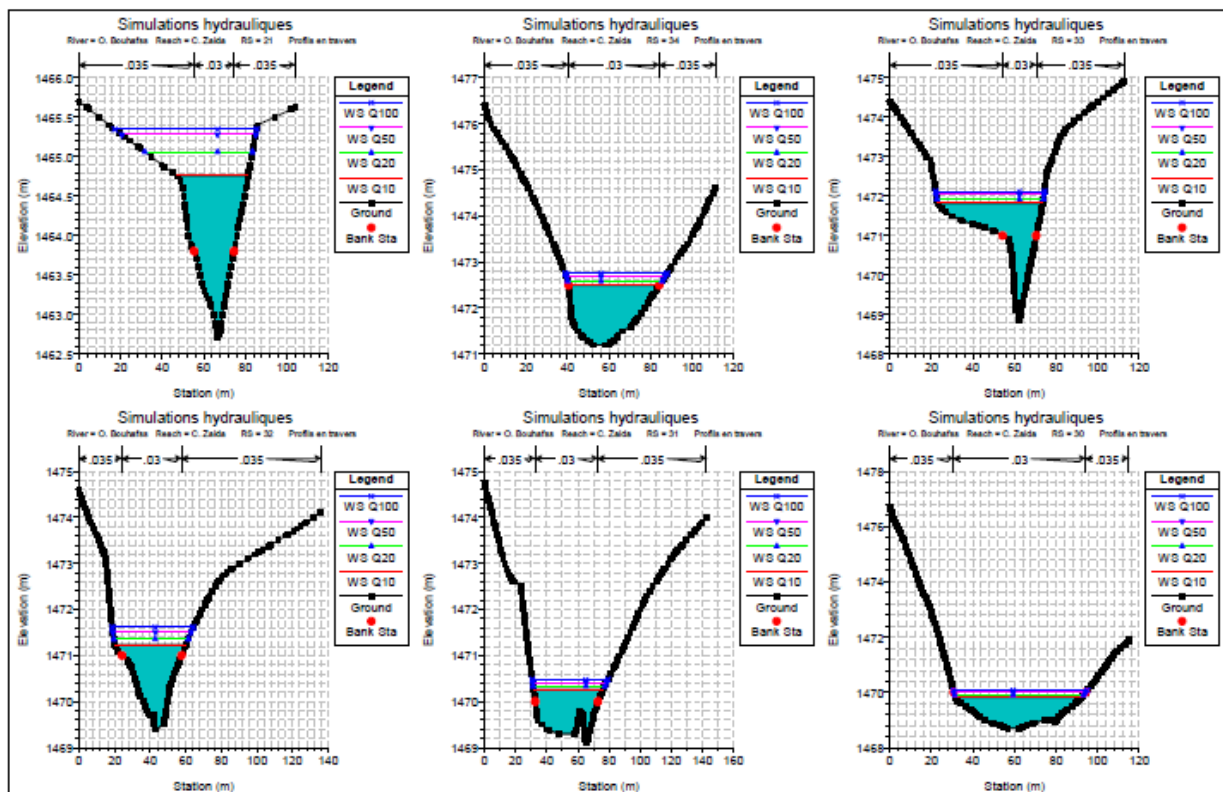
**Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt**

Bouhafs	21	Q20	147.23	1462.7	1465.12	0.005064	3.57	52.08	0.84
Bouhafs	21	Q50	170.36	1462.7	1465.3	0.004532	3.59	62.97	0.8
Bouhafs	20	Q10	124.33	1462.5	1464.39	0.001758	1.89	84.96	0.48
Bouhafs	20	Q20	147.23	1462.5	1464.58	0.001498	1.88	104.15	0.45
Bouhafs	20	Q50	170.36	1462.5	1464.75	0.001323	1.89	123.39	0.43
Bouhafs	19	Q10	124.33	1460.75	1463.37	0.007638	3.95	36.43	0.97
Bouhafs	19	Q20	147.23	1460.75	1463.65	0.00607	3.9	46.05	0.89
Bouhafs	19	Q50	170.36	1460.75	1463.84	0.00552	3.96	54.24	0.86
Bouhafs	18	Q10	124.33	1461.3	1463	0.009259	3.63	35.84	1.05
Bouhafs	18	Q20	147.23	1461.3	1463.06	0.011068	4.08	38.22	1.16
Bouhafs	18	Q50	170.36	1461.3	1463.15	0.01121	4.32	42.79	1.18
Bouhafs	17	Q10	124.33	1460.7	1461.76	0.026896	4.46	27.89	1.66
Bouhafs	17	Q20	147.23	1460.7	1461.86	0.025408	4.64	31.87	1.64
Bouhafs	17	Q50	170.36	1460.7	1461.94	0.02463	4.86	35.6	1.64
Bouhafs	16	Q10	124.33	1459.4	1461.22	0.008231	3.24	45.99	0.98
Bouhafs	16	Q20	147.23	1459.4	1461.29	0.009036	3.53	51.01	1.03
Bouhafs	16	Q50	170.36	1459.4	1461.36	0.009742	3.8	56.25	1.08
Bouhafs	15	Q10	124.33	1459.5	1461.07	0.003794	2.16	64.61	0.66
Bouhafs	15	Q20	147.23	1459.5	1460.77	0.017507	3.74	41.24	1.35
Bouhafs	15	Q50	170.36	1459.5	1460.84	0.017217	3.93	46.2	1.36
Bouhafs	14	Q10	124.33	1459	1460.58	0.006504	2.74	55.6	0.86
Bouhafs	14	Q20	147.23	1459	1460.7	0.005906	2.8	66.72	0.84
Bouhafs	14	Q50	170.36	1459	1460.78	0.005784	2.91	75.61	0.84
Bouhafs	13	Q10	124.33	1458.37	1460.01	0.007296	3.19	55.48	0.93
Bouhafs	13	Q20	147.23	1458.37	1460.07	0.007876	3.42	62	0.98
Bouhafs	13	Q50	170.36	1458.37	1460.13	0.008096	3.59	69.17	1
Bouhafs	12	Q10	124.33	1457.9	1459.1	0.015584	4.32	43.12	1.34
Bouhafs	12	Q20	147.23	1457.9	1459.19	0.014506	4.4	50.16	1.31
Bouhafs	12	Q50	170.36	1457.9	1459.27	0.013743	4.49	57	1.29
Bouhafs	11	Q10	124.33	1456.2	1458.16	0.008647	3.37	51.83	1.01
Bouhafs	11	Q20	147.23	1456.2	1458.22	0.009385	3.62	57.42	1.06
Bouhafs	11	Q50	170.36	1456.2	1458.27	0.010139	3.87	62.39	1.1
Bouhafs	10	Q10	124.33	1455.87	1457.21	0.016144	3.92	37.5	1.32
Bouhafs	10	Q20	147.23	1455.87	1457.31	0.014888	4.04	44.61	1.29
Bouhafs	10	Q50	170.36	1455.87	1457.4	0.014023	4.15	51.69	1.27
Bouhafs	9	Q10	124.33	1453.87	1456.65	0.006428	3.58	54.49	0.87
Bouhafs	9	Q20	147.23	1453.87	1456.72	0.007026	3.83	60.88	0.92
Bouhafs	9	Q50	170.36	1453.87	1456.78	0.007613	4.08	66.56	0.96
Bouhafs	8	Q10	124.33	1452	1455.24	0.012989	5.21	33.73	1.2
Bouhafs	8	Q20	147.23	1452	1455.37	0.012376	5.31	39.76	1.18
Bouhafs	8	Q50	170.36	1452	1455.49	0.011799	5.39	45.69	1.17
Bouhafs	7	Q10	124.33	1451.6	1454.74	0.005329	3.37	53.92	0.79
Bouhafs	7	Q20	147.23	1451.6	1454.88	0.004997	3.43	64.25	0.78
Bouhafs	7	Q50	170.36	1451.6	1454.98	0.005238	3.62	71.34	0.8
Bouhafs	6	Q10	124.33	1450.37	1453.89	0.003007	2.83	44.94	0.58

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

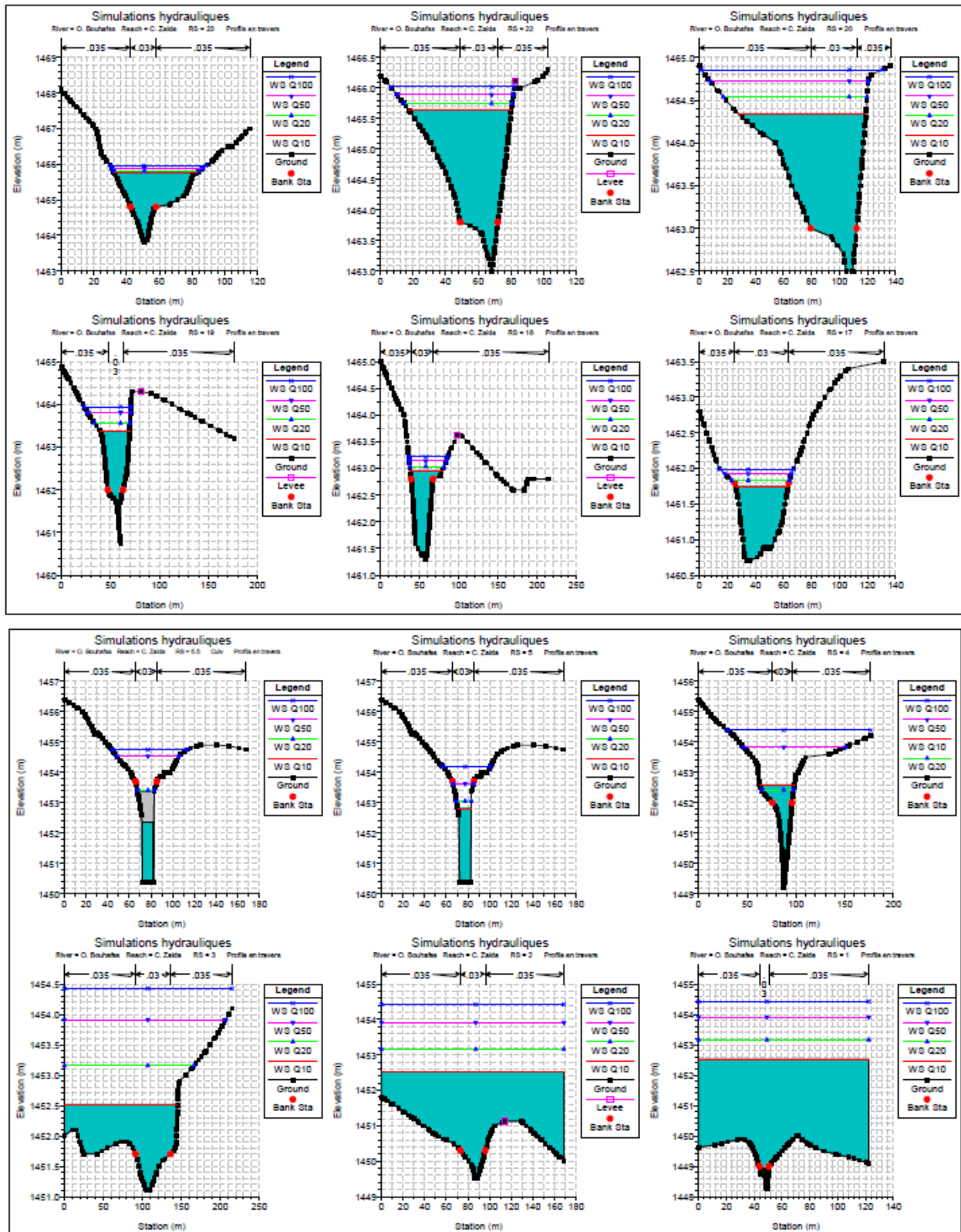
Bouhafs	6	Q20	147.23	1450.37	1454.17	0.002783	2.94	55.21	0.57
Bouhafs	6	Q50	170.36	1450.37	1454.43	0.002526	2.97	67.9	0.55
Bouhafs	5.5		Culvert						
Bouhafs	5	Q10	124.33	1450.37	1452.83	0.009575	4.55	27.35	0.99
Bouhafs	5	Q20	147.23	1450.37	1453.14	0.009589	4.67	31.54	1
Bouhafs	5	Q50	170.36	1450.37	1453.6	0.008549	4.39	38.85	0.96
Bouhafs	4	Q10	124.33	1449.2	1452.62	0.006087	3.53	39.13	0.87
Bouhafs	4	Q20	147.23	1449.2	1452.44	0.013276	4.82	32.8	1.26
Bouhafs	4	Q50	170.36	1449.2	1453.83	0.001285	2.33	104.35	0.44
Bouhafs	3	Q10	124.33	1451.1	1452.51	0.001485	1.37	116.64	0.42
Bouhafs	3	Q20	147.23	1451.1	1453.16	0.000328	0.88	213.33	0.21
Bouhafs	3	Q50	170.36	1451.1	1453.91	0.000102	0.62	356.04	0.13
Bouhafs	2	Q10	124.33	1449.5	1452.53	0.000094	0.61	294.22	0.12
Bouhafs	2	Q20	147.23	1449.5	1453.16	0.000049	0.51	400.87	0.09
Bouhafs	2	Q50	170.36	1449.5	1453.92	0.000027	0.43	528.34	0.07
Bouhafs	1	Q10	124.33	1448.25	1452.53	0.000034	0.46	367.78	0.07
Bouhafs	1	Q20	147.23	1448.25	1453.16	0.000025	0.44	445.18	0.07
Bouhafs	1	Q50	170.36	1448.25	1453.91	0.000018	0.41	537.7	0.06

Les profils en travers au passage de la crue centennale (Oued Bouhafs)



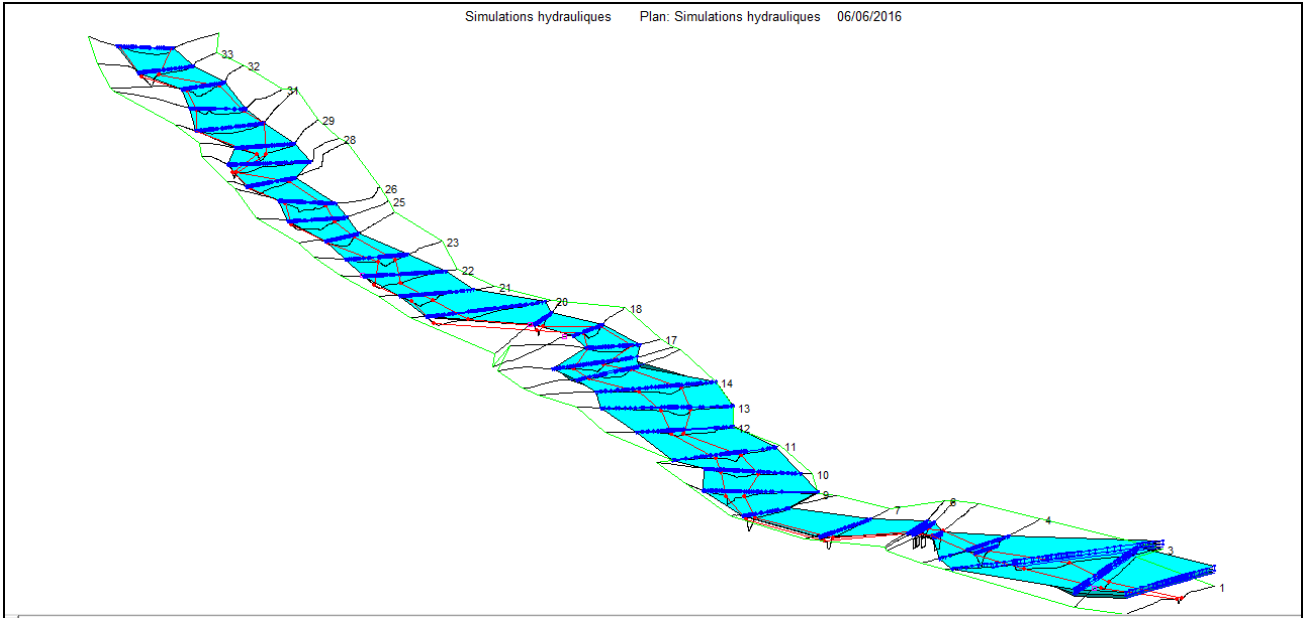


# Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt



# Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

Vue 3D du cours d'eau (Oued Bouhafis)



## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

### Annexe n°4: Coefficients de Manning

Type de canal	n de Manning
<b>Canaux de terre excavés</b>	
Propre	0,022
Graveleux	0,025
Herbeux	0,030
Caillouteux, galets (ou courants naturels)	0,035
<b>Canaux revêtus artificiellement</b>	
Bronze	0,011
Acier, lisse	0,012
Acier, peint	0,014
Acier riveté	0,015
Fonte	0,013
Béton, bien fini	0,012
Béton, brut	0,014
Bois raboté	0,012
Brique	0,014
Maçonnerie	0,015
Asphalte	0,016
Métal oxydé	0,022
Maçonnerie en moellons bruts	0,025

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

### Annexe n°5 : Estimation financière.

Aménagements de l'oued Tamellaht					
<u>Mur en maçonnerie sur la rive gauche de l'oued Tamellaht ( H= 1 m &amp; L = 157.00 m)</u>					
N°	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	Uté	Qté	P.U DHS	MONTANT (DHS)
1	Déblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	283	40 Dh	11 304 Dh
2	Remblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	149	60 Dh	8 949 Dh
3	Béton de propreté	m <sup>3</sup>	25	800 Dh	20 096 Dh
4	Béton dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> pour la chape	m <sup>3</sup>	9	1 200 Dh	11 304 Dh
5	Ferrailage	kg	233	12 Dh	2 798 Dh
6	Maçonnerie en moellon	m <sup>3</sup>	155	500 Dh	77 715 Dh
<b>imprévus 15%</b>					<b>19 825 Dh</b>
<b>Total H.T</b>					<b>151 991 Dh</b>
<b>TVA 20%</b>					<b>30 398 Dh</b>
<b>Total TTC</b>					<b>182 389 Dh</b>
<u>Mur en maçonnerie sur la rive gauche de l'oued Tamellaht ( H= 1.5 m &amp; L = 260.00 m)</u>					
N°	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	Uté	Qté	P.U DHS	MONTANT (DHS)
1	Déblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	549	40 Dh	21 944 Dh
2	Remblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	307	60 Dh	18 408 Dh
3	Béton de propreté	m <sup>3</sup>	44	800 Dh	35 360 Dh
4	Béton dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> pour la chape	m <sup>3</sup>	16	1 200 Dh	18 720 Dh
5	Ferrailage	kg	386	12 Dh	4 633 Dh
6	Maçonnerie en moellon	m <sup>3</sup>	356	500 Dh	178 100 Dh
<b>imprévus 15%</b>					<b>41 575 Dh</b>
<b>Total H.T</b>					<b>318 740 Dh</b>
<b>TVA 20%</b>					<b>63 748 Dh</b>
<b>Total TTC</b>					<b>382 488 Dh</b>
Aménagements de la chaâba Tassafayt					
<u>Tronçon n°1 : Recalibrage de la chaâba Tassafayt ( L= 215 ml )</u>					
N°	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	Uté	Qté	P.U DHS	MONTANT (DHS)
1	Déblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	2 258	40 Dh	90 300 Dh
2	Remblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	430	60 Dh	25 800 Dh
<b>imprévus 15%</b>					<b>17 415 Dh</b>
<b>Total H.T</b>					<b>133 515 Dh</b>
<b>TVA 20%</b>					<b>26 703 Dh</b>
<b>Total TTC</b>					<b>160 218 Dh</b>

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

<b>Redimensionnement de l'OH sous la RR 503 : Dalot triple (3.5x2)</b>					
N°	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	Uté	Qté	P.U	MONTANT
				DHS	(DHS)
1	Déblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	241	40 Dh	9 648.00
2	Remblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	81	60 Dh	4 838.40
3	Béton de propreté	m <sup>3</sup>	10	800 Dh	7 680.00
4	Béton dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	122	1 200 Dh	146 832.00
5	Acier pour armature	kg	13 460	12 Dh	161 515.20
6	Chaussé	m <sup>3</sup>	45	200 Dh	9 072.00
7	Gabions	m <sup>3</sup>	26	600 Dh	15 600.00
<b>imprévus 15%</b>					<b>53 278 Dh</b>
<b>Total H.T</b>					<b>408 463 Dh</b>
<b>TVA 20%</b>					<b>81 693 Dh</b>
<b>Total TTC</b>					<b>490 156 Dh</b>
<b>Aménagements de la chaâba Sud-Est</b>					
<b>Tronçon n°1 : Canal trapézoïdal en béton de section (1.6x1.5)m<sup>2</sup> sur une linéaire de 155.00 ml</b>					
N°	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	Uté	Qté	P.U	MONTANT
				DHS	(DHS)
1	Déblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	744	40 Dh	29 760 Dh
2	Remblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	310	60 Dh	18 600 Dh
3	Béton de propreté	m <sup>3</sup>	122	800 Dh	97 960 Dh
4	Béton dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> y/c coffrage	m <sup>3</sup>	243	1 200 Dh	292 020 Dh
5	Ferrailage	kg	21 902	12 Dh	262 818 Dh
6	Joints Water stop	ml	336	200 Dh	67 260 Dh
<b>imprévu 15%</b>					<b>115 263 Dh</b>
<b>Total H.T</b>					<b>883 681 Dh</b>
<b>TVA 20%</b>					<b>176 736 Dh</b>
<b>Total TTC</b>					<b>1 060 417 Dh</b>
<b>Tronçon n°2 : Dalot fermé de section (2.1x2.1)m<sup>2</sup> sur une linéaire de 175.00 ml</b>					
N°	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	Uté	Qté	P.U	MONTANT
				DHS	(DHS)
1	Déblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	1 925	40 Dh	77 000 Dh
2	Remblai pour ouvrages	m <sup>3</sup>	858	60 Dh	51 450 Dh
3	Béton de propreté	m <sup>3</sup>	48	800 Dh	38 640 Dh
4	Béton dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> y/c coffrage	m <sup>3</sup>	322	1 200 Dh	386 400 Dh
5	Ferrailage	kg	28 980	12 Dh	347 760 Dh
6	Joints Water stop	ml	138	200 Dh	27 600 Dh
<b>imprévu 15%</b>					<b>139 328 Dh</b>
<b>Total H.T</b>					<b>1 068 178 Dh</b>
<b>TVA 20%</b>					<b>213 636 Dh</b>
<b>Total TTC</b>					<b>1 281 813 Dh</b>



## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

### Annexe n°6 : Tracé en plan des ouvrages à projeter



## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---

## Protection contre les inondations du Centre Zaida dans la province de Midelt

---