



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

Ecole Nationale Polytechnique
Laboratoire de Recherches Sciences de l'Eau

Département Hydraulique
Mémoire de Master
Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN HYDRAULIQUE

Réalisé par

Mr **BAZA Mouloud Amine**

Thème :

Etude de l'écoulement dans les transitions
Application à un convergent de l'oued El
Hamiz

Sujet proposé et dirigé par : Dr S. BENMAMAR



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

Résumé :

Notre mémoire a pour objectif le dimensionnement du convergent du cours d'eau de l'oued El Hamiz, entre la liaison du tronçon 3 et tronçon 4 à cause des inondations qui sont devenues une question d'actualité et une préoccupation quotidienne du gouvernement. Pour cela nous avons suivi les étapes suivantes :

Une présentation général de la zone d'étude ; généralité sur les convergents; détermination des dysfonctionnements avec le code de calcul numérique Rubar20; ce dernier résout les équations de Saint Venant ; en dernière solution, vérifier le dimensionnement avec Rubar20.

Mots clés: convergent, Rubar20, inondation, aménagement.

Abstract:

This thesis aims for sizing the converging streams of "oued El Hamiz" between the binding of section 3 and section 4 because of the floods which have become a topical issue and a daily concern of the government. For this we follow the following steps:

A general presentation of the study area; generality of the converging; determining malfunctions with the numerical calculation code Rubar20; it solves the Saint-Venant equations; in the final solution, check sizing with Rubar20.

Keywords: converging, Rubar20, flood, development.

ملخص:

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

تقديم عام لمنطقة الدراسة؛ تحديد تحديد الأعطال ؛ التشخيص العام للوادي،

الكلمات الرئيسية: متقارب، التشخيص، روبر 20، الفيضانات، التطور،.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude : la vallée de l'oued El Hamiz.....	2
I.1. Présentation des différentes communes regroupées dans la région d'étude.....	3
I.1.1 Commune de Hammadi	3
I.1.2 Commune de Dar El Beida	3
I.1.3 Commune de Rouiba	3
I.1.4 Commune de Bordj El Kiffan (ex-Fort-de-l'Eau).....	4
I.1.5 Commune de Bordj El Bahri	4
I.2. Différents aspects de la zone d'étude.....	4
I.2.1. Aspect géomorphologique	4
I.2.2. Aspect sismicité	4
I.2.4. Aspect d'érosion dans le bassin versant	4
I.3. Présentation de l'oued el Hamiz et ses affluents	5
I.4. Ouvrages traversant oued El Hamiz	5
I.5. Conclusion.....	6
Chapitre II : Généralités sur les écoulements à surface libre	7
II.1 Généralités sur les écoulements à surface libre.....	7
II.2 Canaux prismatiques, canaux non prismatiques	8
II.3 Les différents régimes d'écoulement	9
II.3.1 Régime permanent.....	9
II.3.2 Écoulement permanent uniforme	9
II.3.3 Écoulement permanent varié	9
II.3.4 Régime transitoire	9
II.3.5 Régime d'écoulement- Notion du nombre de Fronde	9
II.4 Etude bibliographique : Etat de connaissance sur les équations de base	10
II.5 Etat de connaissance sur les ondes transversales (ondes de choc).....	11
Conclusion	13
Chapitre III : Théorie du dimensionnement du convergent.....	14
III.1 Notion d'ondes transversales.....	14
III.1.1 Déviation positive d'un mur	14
III.1.2 Déviation négative d'un mur	15
III.1.3 Notions d'ondes positives et d'ondes négatives	15
III.2 Rétrécissement d'un canal dans des conditions d'écoulement torrentiel.....	16
III.2.1 Les différents types d'étrécissement	17

Table des matières

III.2.2 Rétrécissement en forme d'entonnoir.....	17
Conclusion	20
Chapitre IV : Présentation Rubar20	21
IV.1. Description du schéma numérique :	23
IV.2. Formules de frottement utilisées.....	24
IV.3. Les programmes de calcul du code de calcul Rubar 20.....	24
IV.3.1. Programme Secma	25
IV.3.2 Programme Mcoxima.....	26
.3.3 PROGRAMME Mail 20	26
IV.3.4 Programme Vf2m.....	27
IV.3.5 Programme Rubar20	27
IV.4. Le Maillage De Calcul.....	27
IV.5. Formules de diffusion turbulente utilisées.....	28
IV.6. Les ouvrages	29
IV.7. Utilisation de Fudaa-Prepro.....	29
Chapitre V : Dimensionnement du convergent	31
V.1 Construction du modèle de calcul appliqué à l'oued El Hamiz.....	31
V.1.2 Construction du fichier (*.M).....	32
V.1.2 Construction du fichier (*.IMA)	32
V.1.3 Construction du fichier (*.MAI)	33
V.1.4 Construction du fichier (*.DAT).....	34
V.1.5 L'utilisation du logiciel Fudaa Prepro.....	35
V.1.6 Coefficient de frottement au fond	35
V.2 Simulation de la crue de l'oued El Hamiz et visualisation des résultats après l'aménagement.....	36
V.2.1 Les conditions initiales.....	36
V.2.2 Les conditions aux limites.....	36
V.2.3 Paramètres de calculs	38
V.2.4 Lancement de la simulation et visualisation des résultats.....	39
V.3. Dimensionnement du convergent	40
Conclusion	43
Conclusion générale	44
Bibliographie	45

Liste des figures

Figure I.1: localisation de la zone d'étude.....	3
Figure II. 1: Section transversale d'un cours d'eau naturel.....	8
Figure II. 2 : canaux artificiels.....	8
Figure II. 3: déviation d'un mur.....	12
Figure II. 4: représentation schématique de l'écoulement dans un rétrécissement.....	12
Figure III. 1: Schéma d'une déviation positive d'une paroi.....	14
Figure III. 2: Illustration d'une déviation négative de la paroi.....	15
Figure III. 3: déviation d'un mur et représentation des lignes de courants dans un canal ..	16
Figure III. 4: rétrécissement de canal. a) entonnoir b) éventail, c) tuyère.....	17
Figure III. 5: Représentation schématique de l'écoulement dans un rétrécissement de canal d'après JPPEN et DAWSON (1951) [Ippen, 1951].....	18
Figure III. 6: Conception d'un rétrécissement de canal en forme d'entonnoir d'après IPPEN et DAWSON (1951).....	19
Figure IV. 1: exécutable de Secma.....	26
Figure IV. 2: exécutable de Mcoxima.....	26
Figure IV. 3: exécutable de Mail20.....	26
Figure IV. 4: exécutable de Mail20.....	27
Figure IV. 5: exemple d'un maillage du code de calcul Rubar20.....	28
Figure V. 1: implantation des profils en travers et lignes directrices de la zone d'étude....	31
Figure V. 2: programme SECMA.....	32
Figure V. 3: lecture du fichier El Hamiz par le programme MCOXIMA.....	33
Figure V. 4: lecture fichier *.IMA par le programme MAIL20.....	34
Figure V. 5: lecture fichier *.IMA par le programme VF2M.....	34
Figure V. 6: maillage de la zone d'étude.....	35
Figure V. 7: édition des conditions initiales.....	36
Figure V. 8: hydrogramme de la crue centennale à l'entrée de la zone d'étude.....	37
Figure V. 9: hauteur d'eau de la crue centennale en fonction de la hauteur à l'entrée de la zone d'étude.....	37
Figure V. 10: Lancement de la simulation.....	39
Figure V. 11: Etendue de la crue sur terrain avec construction à 36000 s.....	40
Figure V. 12: représentation du nombre de Froude.....	40
Figure V. 13: représentation du nombre de Froude après changement de pente.....	41
Figure V. 14: schéma du convergent (unité en mètres).....	42
Figure V. 15 : étendu de la crue.....	42

Notation

b	(m)	: Largueur de convergent
C	-	: coefficient de Chézy pour le frottement
D_h	(m^2)	: Diamètre hydraulique
F	-	: contraintes dues au vent
Fr	-	: Nombre de Froude
g	(m/s^2)	: Accélération de la pesanteur
h	(m)	: la hauteur d'eau
K	-	: Coefficient de viscosité
L	(m)	: Longueur du convergent
P	(m)	: Périmètre
Q	(m^3/s)	: Débit
S	(m^2)	: Surface
V	(m/s)	: Vitesse moyenne
W	(m^2/s)	: vitesse du vent à 10 m du sol
Z	(m)	: La cote du fond
α	($^\circ$)	: Pente
β	($^\circ$)	: Angle de déviation de l'onde
θ	($^\circ$)	: Angle de rétrécissement

Introduction Générale

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

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

Notre travail consiste à étudier les transitions dans les cours d'eau et ensuite de dimensionner un convergent qui se trouve entre la jonction du tronçon 3 et tronçon 4.

Cette étude se compose de deux parties. En premier, une généralité sur l'écoulement de l'eau dans les canaux à ciel ouvert qui est d'une extrême complexité. En effet, tout changement de section ou de direction d'un canal considéré, tel qu'un rétrécissement entraîne une surface d'écoulement irrégulière et ondulée. Cette irrégularité représente de grandes perturbations qui provoquent des ondes stationnaires à la surface de l'eau.

Cette complexité a été d'ailleurs soulignée par Gaulee (1564-1642): "je me suis heurté, dit-il, à moins de difficultés dans la découverte du mouvement des corps célestes, malgré leur éloignement étonnant que dans les recherches sur le mouvement de l'eau courante qui se produit cependant sous nos yeux".

Deuxième partie concerne l'étude de l'écoulement dans un tronçon de l'oued Hamiz, avec une solution apportée.

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

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

La zone de l'étude porte sur le bassin versant d'El Hamiz qui couvre une superficie d'environ 315 km² à son embouchure près du Cap Matifou.

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

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

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

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

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

En effet, la densité de la population est d'environ 1 300 habitants par Km². Celle-ci est relativement modeste mais elle est inégalement répartie : par exemple elle est beaucoup plus importante dans El Hamiz, construits sur des terrains marécageux en bordure de l'oued avec un développement urbain anarchique.

L'oued El Hamiz fait suite à l'oued Larbatache. Ce dernier, régularisé par le barrage d'El Hamiz, prend ses sources dans le massif de l'Atlas Blidéen à 1139m d'altitude sur le versant sud, il sort du massif en amont de Larbatache (aval du barrage) et coule ensuite vers le nord dans la plaine de la Mitidja jusqu'à la mer (Figure I.1).

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



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

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

La région objet de l'étude regroupe les communes suivantes :

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

I.1.1 Commune de Hammadi

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

Sa superficie est de 24 km² et sa population est estimée à 27 972 habitants suivant le recensement de 1998.

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

I.1.2 Commune de Dar El Beida

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

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

I.1.3 Commune de Rouiba

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

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

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

Bordj El Kiffan est une commune côtière située à l'Est de la wilaya d'Alger et fait partie de l'agglomération d'Alger. Sa superficie est de 21.69 km²

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

I.1.5 Commune de Bordj El Bahri

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

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

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

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

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

I.2.1. Aspect géomorphologique

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

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

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

I.2.2. Aspect sismicité

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

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

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

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

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

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

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

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

Deux sur la rive droite

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

Un sur la rive gauche : Bakora.

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

- La rectification du tracé du lit en plan avec suppression des méandres, la longueur initiale de 29km a été ramenée à 23km.
- Recalibrage du lit mineur de l'oued capable d'évacuer une crue de 650 m³/s.
- Création par endiguement d'un lit majeur capable d'évacuer une crue de 1000 m³/s.

- La rectification de la pente de l'oued par la réalisation de 6 seuils.
- La protection des berges par la mise en œuvre de 20000m linéaires de gabions,

I.4. Ouvrages traversant oued El Hamiz

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

- ❖ Pont Hammadi (CW149).
- ❖ Conduite de gaz.
- ❖ Conduite d'eau pour l'irrigation.
- ❖ Pont de l'aéroport.
- ❖ Autoroute (A61).
- ❖ Pont de l'ancienne route Alger-Rouiba.
- ❖ Pont de la voie ferrée Alger-Constantine.
- ❖ Pont d'El Hamiz (RN5)
- ❖ Trois seuils.
- ❖ Conduite d'eau d'AEP.
- ❖ Passerelle.
- ❖ Pont mixte pour tramway et véhicule de la RN24.

I.5. Conclusion

La partie de l'oued concernée par cette étude la jonction entre le tronçon 3 et le tronçon 4 où il y a lieu de dimensionner un convergent.

Chapitre II : Généralités sur les écoulements à surface libre

L'hydraulique traite des écoulements dans les canaux artificiels et naturels ayant une surface libre soumise à la pression atmosphérique. L'écoulement à surface libre est caractérisé par l'existence d'une surface libre en contact direct avec l'air ambiant, donc la surface de l'écoulement à une pression égale à la pression atmosphérique.

L'étude de l'écoulement de l'eau dans les canaux à ciel ouvert est d'une extrême complexité, lorsque nous l'envisageons dans toute sa généralité. En effet, tout changement de section ou de direction d'un canal considéré, tel qu'un rétrécissement ou élargissement entraîne une surface d'écoulement irrégulière et ondulée. Ces irrégularités représentent de grandes perturbations qui provoquent des ondes stationnaires à la surface de l'eau. De telles ondes sont appelées "ondes transversales", ou par analogie avec la dynamique des gaz "ondes de choc".

Nous posons dans ce chapitre les différents types de canaux et les régimes d'écoulement qui y sont associés.

Ce chapitre constitue un résumé des bases hydrodynamiques des écoulements à surface libre.

Nous verrons, dans un premier temps, le vocabulaire couramment utilisé dans le domaine de l'hydraulique à surface libre en définissant physiquement les notions d'écoulement uniforme, non-uniforme, etc...

II.1 Généralités sur les écoulements à surface libre

- On appelle canal un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique.

On distingue deux catégories de canal :

- Les canaux naturels sont des cours d'eaux existant naturellement sur terre, tels que les cours d'eau, torrents, fleuves et estuaires, et dont les propriétés géométriques et hydrauliques sont généralement assez irrégulières (figure II.1) :

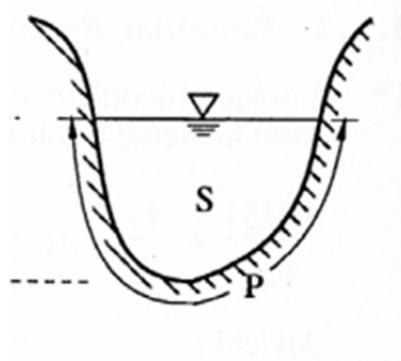


Figure II.1 : Section transversale d'un cours d'eau naturel.

- Les canaux artificiels sont des cours d'eau réalisés par l'homme, tels que, les canaux de navigation et d'évacuation, et dont les propriétés hydrauliques et géométriques sont généralement assez régulières.

Les canaux artificiels usuellement utilisés sont illustrés dans la figure (II.2):

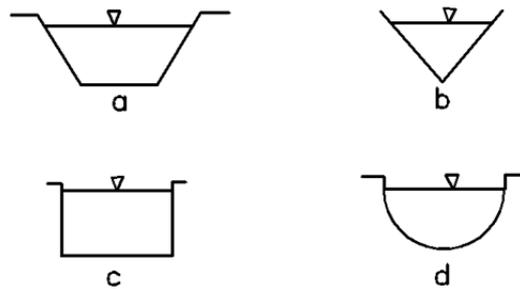


Figure II.2 : canaux artificiels

a-Profil trapézoïdale ; b-Profil triangulaire ; c-Profil rectangulaire ; d-Profil semi-circulaire

II.2 Canaux prismatiques, canaux non prismatiques

Un canal est dit prismatique si :

- Les génératrices du canal sont des droites parallèles entre elles.
- La forme géométrique du canal ne varie pas le long du courant liquide.

Par ailleurs, on dit qu'un canal est non prismatique si :

- Les génératrices du canal ne sont plus parallèles entre elles.
- La forme du canal est soumise à des changements locaux de sections le long du courant liquide.

Les changements locaux de sections peuvent être :

- Des rétrécissements brusques ou graduels (convergents).
- Des élargissements brusques ou graduels (divergents).

Les canaux non prismatiques sont souvent utilisés sur une courte distance, c'est pour cela d'ailleurs qu'on les désigne généralement sous le nom de "transitions". Leur présence engendre des instabilités à la surface libre.

II.3 Les différents régimes d'écoulement

L'écoulement d'un fluide réel dans un canal à surface libre engendre les forces suivantes :

- Forces d'inertie
- Forces de gravité
- Forces de frottement

II.3.1 Régime permanent

Le chenal transporte un débit Q constant dans le temps. Le tirant d'eau (Y) en un point donné est donc aussi constant. En pratique, on peut calculer en régime permanent des canaux d'irrigation, des écoulements en rivière à l'étiage ou en régime moyen. Mais le calcul d'un écoulement en crue ne peut pas être abordé par le régime permanent.

Permanent : Q indépendant de $t \Rightarrow Y$ indépendant de t

Le régime permanent peut être uniforme ou varié selon la géométrie du chenal [Degoutte, 2006].

II.3.2 Écoulement permanent uniforme

L'écoulement est uniforme permanent si la profondeur d'eau, h ou D_h , ainsi que les autres paramètres, tels que la vitesse moyenne, le débit, la rugosité et la pente de fond, restent invariables dans les différentes sections du canal le long de l'écoulement [Walter, 1993].

II.3.3 Écoulement permanent varié

L'écoulement est varié lorsque la géométrie ou la rugosité ne sont pas constantes. Mais il l'est aussi dans un tronçon dont la géométrie et la rugosité sont constantes si le tirant d'eau n'est pas constant. Nous distinguerons les écoulements graduellement ou rapidement variés [Degoutte, 2006].

II.3.4 Régime transitoire

Le débit varie en fonction du temps, et il en va donc de même du tirant d'eau en chaque point du cours d'eau. Le calcul du laminage d'une crue par un barrage est typiquement un problème de calcul transitoire ; de même le calcul d'un écoulement de rivière en crue, surtout lorsque le lit majeur est sollicité [Degoutte, 2006].

II.3.5 Régime d'écoulement- Notion du nombre de Froude

L'effet de la gravité sur le régime d'écoulement est représenté par le rapport des forces d'inertie aux forces de gravité. Ce rapport de grande utilité en hydraulique des écoulements à surface libre est défini comme étant le nombre de Froude, et est exprimé par :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times D_h}} \quad (\text{II-1})$$

où : V : Vitesse de l'écoulement (m/s) ; g : Accélération de la pesanteur (m/s²), D_h : Profondeur hydraulique définie comme étant le rapport entre la section mouillée du canal et la largeur de la surface libre (m).

Si le nombre de Froude (Fr) est égal à 1, on dira que l'écoulement est en régime critique.

Par contre, si le nombre de Froude (Fr) est inférieur à 1, l'écoulement est alors en régime fluvial « subcritique ». Dans ce cas l'effet de la gravité est plus prononcé; ceci se traduit par une faible vitesse d'écoulement.

Finalement, si le nombre de Froude (Fr) est supérieur à 1, le régime d'écoulement devient torrentiel « supercritique ». Les forces d'inertie seront donc plus prépondérantes; ceci se traduit par une importance vitesse d'écoulement [Berreksi, Magister 1998].

II.4 Les équations de base de l'écoulement dans les convergents

En vue de dimensionner le convergent dans notre cours d'eau oued El Hamiz, il est nécessaire de poser d'abord les équations de base qui les régissent. Ces dernières sont celles des écoulements graduellement variés en régime non permanent à surface libre.

On trouve dans différents travaux entrepris par certains chercheurs sur les écoulements fluvial, et qui ont proposé des systèmes d'équations obtenus en appliquant soit les principes de conservation de la masse et de la quantité de mouvement, ou alors les principes de conservation de la masse et de l'énergie, tout en posant certaines hypothèses afin de faciliter la résolution du problème en question.

Parmi ces hypothèses, on cite celle d'une faible pente de fond du canal, dont l'effet d'une valeur appréciable n'a pas été pris en considération que par quelques chercheurs seulement.

- Ainsi, **Chow (1959)** a donné dans son ouvrage, les différents types d'écoulements et leurs équations de base dans le cas unidimensionnel seulement [Chow, 1959].

Les écoulements graduellement variés non permanents sont gouvernés par les équations unidimensionnelles de Saint-Venant, obtenues par l'application des principes de conservation de la masse et de la quantité de mouvement moyennant certaines hypothèses simplificatrices, notamment celle d'une pente faible:

➤ Equation de continuité :

$$\frac{dh}{dt} + V \frac{dh}{dx} + D \frac{dV}{dx} = 0 \quad (\text{II-2})$$

Avec, $D = A/B$

Où, A : surface ; B : largeur.

➤ Equation de quantité de mouvements :

$$\frac{1}{g} \times \frac{dV}{dt} + \frac{V}{g} \frac{dV}{dx} + \frac{dh}{dx} = S_0 - S_F \quad (\text{II-3})$$

Par contre, si la pente du canal est considérable, elle aura alors un effet sur la distribution de pression. Cette dernière est de ce fait multipliée par un facteur de correction « $\cos \alpha$ », où α a représenté l'angle d'inclinaison du fond du canal avec l'horizontale :

L'équation dynamique devient :

$$\frac{1}{g} \times \frac{dV}{dt} + \frac{V}{g} \frac{dV}{dx} + \cos \alpha \times \frac{dh}{dx} = S_0 - S_F \quad (\text{II-4})$$

Par ailleurs, le nombre de Froude dans ce cas est donné comme suit

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \times h \times \cos \alpha}} \quad (\text{II-5})$$

II.5 Les ondes transversales (ondes de choc)

Les écoulements torrentiels dans les canaux non prismatiques à surface libre entraînent des perturbations distinctes, qui ne se manifestent pas dans le cas fluvial. Celles-ci, ne sont autres que des ondes stationnaires, appelées "ondes de choc", et qui peuvent conduire à de grandes complications si leur hauteur est considérable. Par conséquent, il devient indispensable d'étudier et d'analyser ce phénomène, afin de trouver les moyens nécessaires permettant au moins leur réduction.

Plusieurs chercheurs ont tenté d'étudier et d'éclairer ce type d'écoulement, avec toutes les complexités qui s'engendrent, et de présenter l'influence du changement de direction sur la surface du cours d'eau.

Ainsi, lorsqu'un écoulement supercritique passe à travers un canal dont la paroi latérale est déviée en un certain point d'un angle θ vers l'écoulement, ce changement provoquera alors, des lignes de discontinuités et par suite perturbation de l'écoulement le long d'une ligne droite appelée onde transversale, faisant un angle β_1 (Figure II.1) avec la direction initiale.

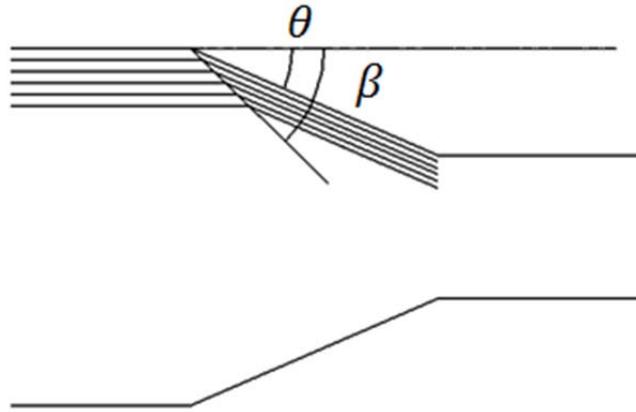


Figure II.3 : déviation d'un mur

Dans un écoulement torrentiel à travers une contraction rectiligne (Figure II.4), les ondes de choc symétriques qui se forment à l'entrée de la transition, se rencontrent au point B sur l'axe de symétrie du canal, puis elles sont réfléchies sur les parois opposées à l'aval. Donc, l'écoulement dans le canal aval est très perturbé.

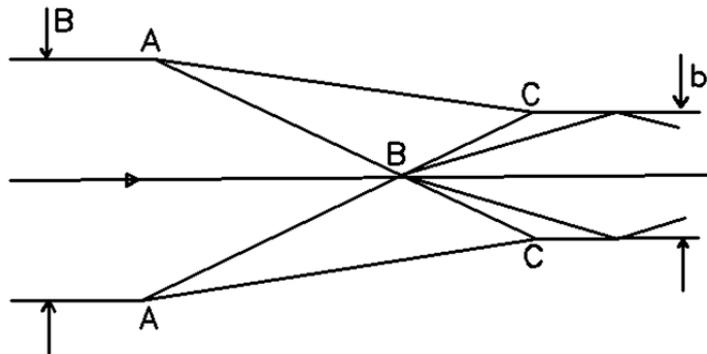


Figure II.4: représentation schématique de l'écoulement dans un rétrécissement

Afin de minimiser ces perturbations, il faudra concevoir une contraction dans laquelle, la réflexion des ondes transversales ne pénètre pas dans le canal aval

D'autre part, l'étude pratique des écoulements supercritiques traversant des rétrécissements, entraînant la naissance des ondes transversales a été traitée par un certain nombre d'investigateurs, que ce soit d'une manière analytique. ... , ou d'une manière expérimentale sur modèle réduit réalisé au laboratoire, ou encore en utilisant la résolution avec des méthodes numériques, exploitant ainsi le grand progrès de l'outil informatique, qui a beaucoup contribué au développement de l'hydraulique et autres... [Berreksi, Magister 1998].

Au niveau du département "Hydraulique" de l'Ecole Nationale Polytechnique (E.N.P.), on trouve quelques travaux qui traitent ces écoulements par des procédés numériques. Un premier travail a été présenté en (1993) par Berreksi Et Bouhadji, suivi en (1994) par celui de Absi Et Retieb, puis en (1995) par celui d'Amghar et Morsali, qui n'ont tous pas pris en

considération l'effet d'une pente augmentée, et se sont contentés à des transitions de faible pente. Par contre, en (1996) un travail qui rentre dans le cadre du thème de recherche traité dans la présente thèse, examinant les écoulements supercritiques dans des transitions à forte pente a été présenté par Oukacha Et Lecheheb [Berreksi, Magister 1998].

Conclusion

Ces dernières définitions nous permettrons de déceler les dysfonctionnements du cours d'eau au niveau du convergent et savoir comment ci prendre pour réaliser un convergent correct.

Chapitre III : Théorie du dimensionnement d'un convergent

Tout changement de section dans un cours d'eau entraîne une surface d'écoulement irrégulière et ondulée. Les irrégularités ainsi générées sont négligeables pour des écoulements fluviaux, mais deviennent très importantes pour des écoulements torrentiels.

On relève d'une part, que des ondes de choc sont fréquemment présentes dans des canaux non prismatiques pour des écoulements en régime supercritique, et d'autre part, que les conditions d'écoulement torrentielles ne se retrouvent pratiquement que dans des canaux artificiels.

La formation d'ondes transversales, l'analyse des rétrécissements, et les moyens de réduction de telles ondes seront examinés dans ce chapitre.

III.1 Notion d'ondes transversales

Les écoulements subcritique et supercritique dans des canaux à surface libre ont un comportement tout à fait différent; si le premier ne produit pas d'ondes de choc, le deuxième par contre est le siège d'apparition de celles-ci.

Les écoulements torrentiels entraînent donc des particularités du type ondes, qui constituent des problèmes caractéristiques le long du canal dans les deux directions, amont et aval. Ainsi, chaque obstacle dans le canal- par exemple, rétrécissement, crée de grandes perturbations qui provoquent des ondes stationnaires à la surface de l'eau.

De telles ondes sont appelées "ondes transversales" ou, par analogie avec la dynamique des gaz "ondes de choc". Il devient par suite indispensable de chercher les moyens permettant d'éviter ou au moins de réduire la formation de ces ondes, qui nécessitent dans la plupart des cas une revanche supplémentaire [Berreksi, Magister 1998].

III.1.1 Déviation positive d'un mur

Considérons un écoulement supercritique dans un canal présentant un changement de direction brusque et positive d'un angle θ , illustré par la figure (III.1) :

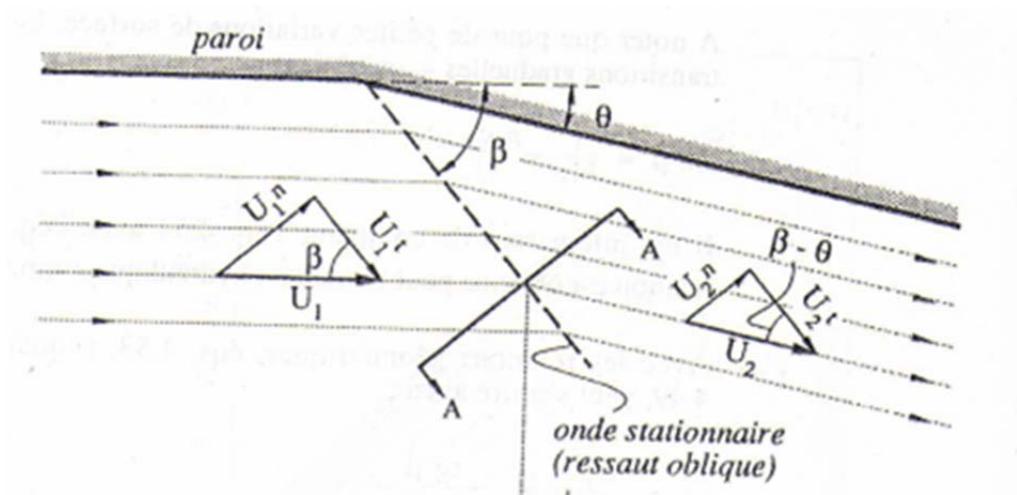


Figure III.1 : Schéma d'une déviation positive d'une paroi.

III.1.2 Déviation négative d'un mur

Soit à présent un écoulement supercritique dans un canal ayant une déviation négative de la paroi, faisant un angle θ avec la direction initiale (Figure III.2)

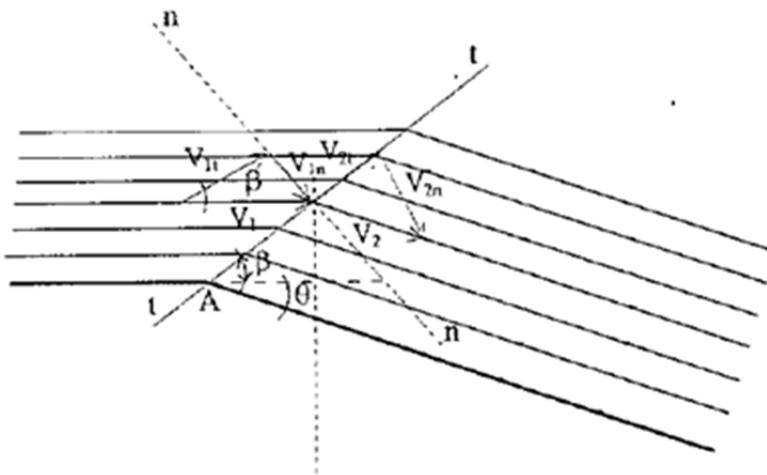


Figure III.2: Illustration d'une déviation négative de la paroi.

III.1.3 Notions d'ondes positives et d'ondes négatives

Soit le canal à surface libre présentant un changement de direction brusque mais faible donné par la figure (III.3), et dont le nombre de Fraude de l'écoulement à l'entrée est $F_1 > 2$.

Le canal en question change de direction aux points A et B d'un angle θ .

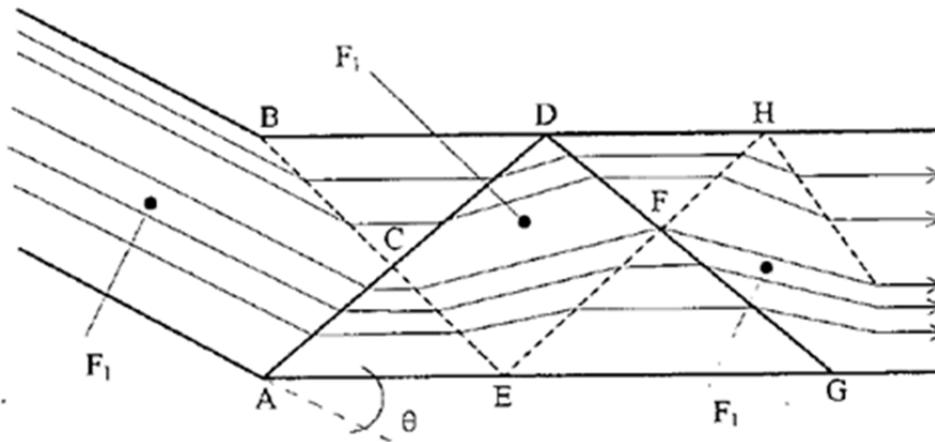


Figure III.3 : déviation d'un mur et représentation des lignes de courants dans un canal de largeur finie (— : Onde positive ; - - - : Onde négative)

La déviation de la paroi au point A est qualifiée de positive, et une "onde positive" se forme ainsi, engendrant une augmentation de la profondeur de l'écoulement. Par contre, la déviation de la paroi au point B est négative, ce qui conduit à la formation d'une "onde négative" avec diminution de la profondeur de l'écoulement. L'onde négative est cependant différente de l'onde positive du fait que le changement de profondeur s'effectue d'une manière progressive et non brutale.

Dans la zone située à l'amont des ondes transversales, c'est-à-dire à gauche de ACB, l'écoulement n'est pas influencé par le changement de direction, et les lignes de courant restent donc parallèles au canal d'entrée. Tandis que, dans les zones ACE et BCD, les lignes de courant sont parallèles aux parois du canal aval et les profondeurs de l'écoulement augmentent et diminuent respectivement

Les deux ondes transversales partant respectivement des points A et B se rencontrent au point C. Elles pénètrent alors dans des zones perturbées, mais aboutissent en raison de l'inversion à la zone d'état initial. Il en résulte que les caractéristiques de l'écoulement dans la zone CDEF sont égales à h_1 et F_1 . Mais les lignes de courant ont été déviées de 2θ par rapport à la direction de l'écoulement initial.

A l'aval de la ligne DFE, une inversion se produit de nouveau, et les lignes de courant deviennent par suite parallèles aux parois. Il en résulte une augmentation de la profondeur de l'écoulement dans la zone DFH et une diminution dans la zone EFG. Donc, le long de la paroi AEG, la surface de l'eau s'élève tout d'abord brusquement, puis chute au-dessous de la profondeur initiale h_1 .

L'écoulement dans le canal devient ainsi très perturbé, ce qui nécessite des parois plus hautes que celles de la zone d'entrée, d'où, on conclut qu'une grande partie de l'étude des coursiers doit se porter sur la réduction des sommets des ondes [Berreksi, 1998].

III.2 Rétrécissement d'un canal dans des conditions d'écoulement torrentiel

La conception des rétrécissements de canaux, dans un écoulement supercritique entraîne plusieurs complications contrairement à un cas subcritique. Un rétrécissement se présente aux endroits où :

- la pente du radier est augmentée,
- la rugosité est réduite,
- le débit augmente.

Des ondes transversales obliques prennent naissance et peuvent se propager loin à l'aval nécessitant ainsi des hauteurs considérables des parois du canal; à moins que la transition soit conçue de manière à minimiser ce phénomène.

Un rétrécissement bien conçu se caractérise par un écoulement presque uniforme dans la partie du canal rétrécie [Sturm, 1985].

III.2.1 Les différents types d'étrécissement

Un rétrécissement consiste à passer d'un canal d'entrée de largeur b_1 à un canal de largeur b_3 avec $b_3 < b_1$. Il existe plusieurs types de rétrécissements, parmi lesquels on distingue principalement ceux en forme d'entonnoir, en forme d'éventail et en forme de tuyère (Figure III.4). [Reinauer, 1995]

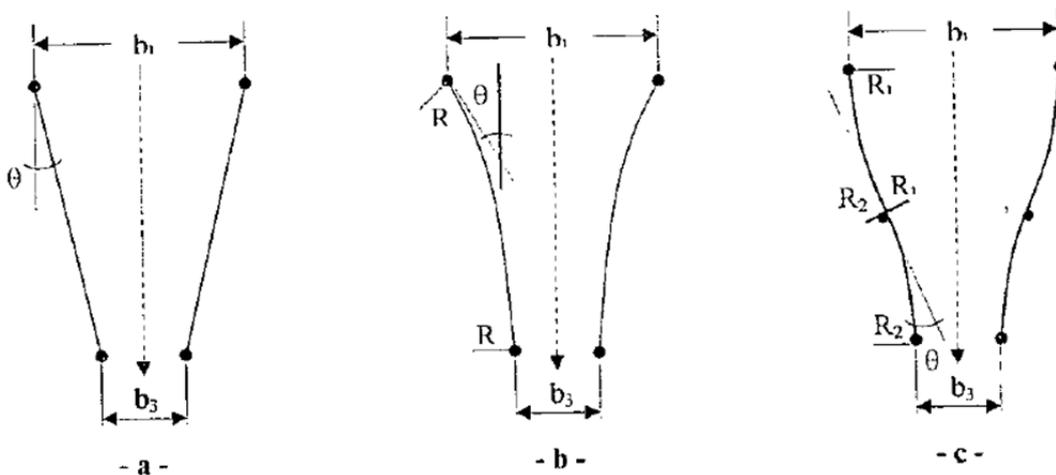


Figure III.4 : rétrécissement de canal. a) entonnoir b) éventail, c) tuyère.

Le premier type a une forme polygonale entre la partie large et la partie étroite du canal. Dans la forme en éventail, on utilise des arcs circulaires dont la courbure est orientée vers l'écoulement, tandis que dans la forme en tuyère deux arcs circulaires sont disposés en S. Le rétrécissement en forme d'éventail correspond à la forme optimale du point de vue

géométrique, car il présente le minimum de déviations élémentaires. En ce qui concerne le rétrécissement en forme de tuyère, l'arc aval aura un rayon plus grand que l'arc amont.

Dans ce qui suit, on s'intéressera plus particulièrement au rétrécissement en forme d'entonnoir [Reinauer, 1995].

III.2.2 Rétrécissement en forme d'entonnoir

Soit le rétrécissement symétrique, de tracé rectiligne représenté par la figure (III.45) avec lignes de courant et ondes transversales. L'indice « 1 » correspond aux conditions d'écoulement à l'amont de la transition, h_1 , V_1 et F_1 sont respectivement la profondeur, la vitesse et le nombre de Fraude de l'écoulement à l'entrée. Les largeurs du canal d'entrée et du canal de sortie sont b_1 et b_3 ($b_3 < b_1$). Pour un angle de rétrécissement arbitraire θ , le schéma de l'écoulement est aussi illustré sur la figure (III.5):

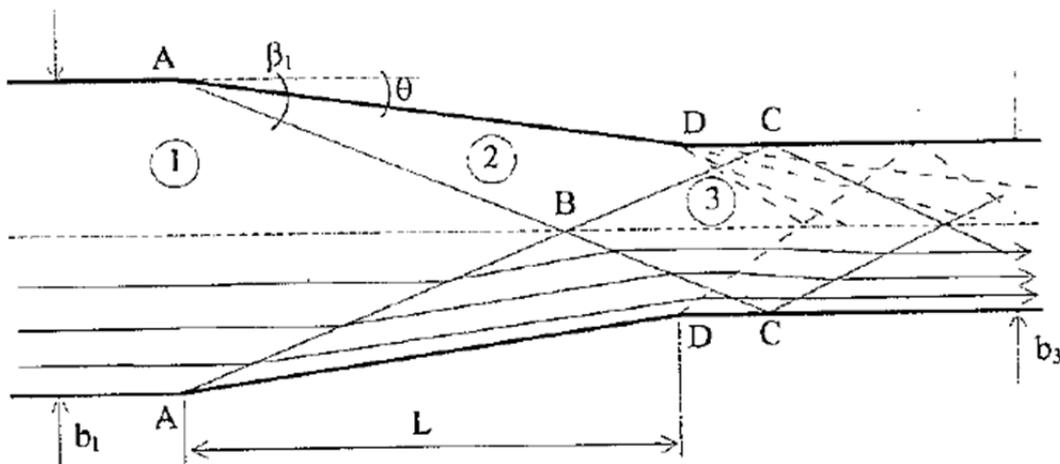


Figure III.5: Représentation schématique de l'écoulement dans un rétrécissement de canal d'après Ippen Et Dawson (1951) [Ippen, 1951].

Ce changement de la largeur du canal, ou cette déviation du mur d'un angle θ , engendre un système d'ondes de choc. Ainsi, des ondes transversales positives partent des points A sous un angle β_1

Les deux ondes de choc des points A se rencontrent au point B situé sur l'axe du canal, puis sont réfléchies sur les parois opposées aux points C et pénètrent par suite dans le canal aval. Entre-temps, des ondes négatives sont créées aux points D à la sortie du rétrécissement. L'interférence entre les ondes positives et négatives donne naissance à des ondes croisées (souvent assez désagréables) qui peuvent persister loin en aval, ce qui conduira à un écoulement très agité. Il en résulte que l'écoulement dans le canal aval connaît de fortes perturbations,

Par conséquent, un choix correct de l'angle de rétrécissement θ , qui dépend du nombre de Froude amont F_1 et du rapport des largeurs $r = b_3/b_1$, donne une nette amélioration de l'écoulement.

Si l'angle de déviation θ est bien choisi, les ondes transversales positives partant des points A et se rencontrant au point B sur l'axe du canal, seront dans ce cas dirigées exactement vers les points D sous l'angle β_2 (Figure III.6), l'interférence des ondes se produit alors. L'écoulement qui en résulte dans le canal aval n'a pratiquement pas de perturbation de surface. Il s'ensuit que seul l'écoulement dans la zone (2) n'est pas axial [Berreksi, Magister 1998].

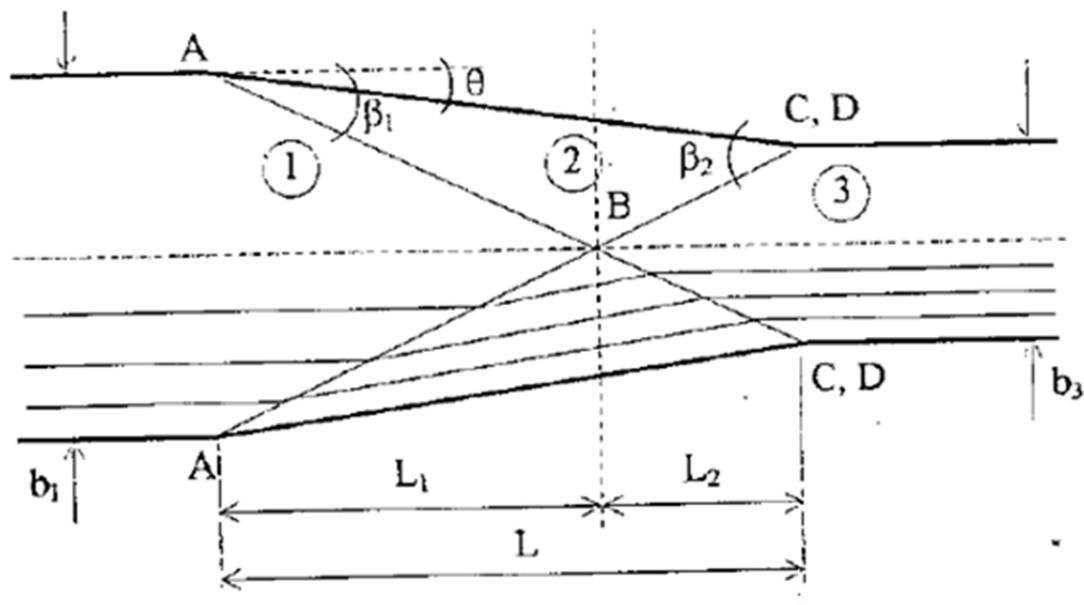


Figure III.6 : Conception d'un rétrécissement de canal en forme d'entonnoir d'après Ippen et Dawson (1951).

Donc, afin d'éviter ou au moins minimiser la propagation d'onde comme suggéré par Ippen et Dawson et Graf, il faut que la réflexion des fronts d'ondes touche exactement les parois de la transition à la fin de la contraction (Figure III.6). Cette condition peut être exprimée d'après les considérations géométriques (Figure III.6) par:

$$L = L_1 + L_2 = \frac{b_1 - b_3}{2 * \operatorname{tg} \theta} \quad (\text{III-1})$$

$$L_1 = \frac{b_1}{2 * \operatorname{tg} \beta_1} \quad (\text{III-2})$$

$$L_2 = \frac{b_3}{2 * \operatorname{tg}(\beta_2 - \theta)} \quad (\text{III-3})$$

D'après Graf, l'angle de rétrécissement θ , peut être déterminé par la formule approchée suivante:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\operatorname{tg} \beta \times (\sqrt{1 + 8(Fr^n)^2} - 3)}{2 \operatorname{tg}^2 \beta + \sqrt{1 + 8(Fr^n)^2} - 1} \quad (\text{III-4})$$

Avec,

$$\sin \beta = \frac{1}{Fr} \quad (\text{III-5})$$

$$Fr^n = Fr \times \sin \beta \quad (\text{III-6})$$

Conclusion

On a présenté dans ce chapitre, une généralité sur les écoulements supercritiques traversant des canaux à ciel ouvert non prismatiques, à faible pente. Ce type d'écoulement est très complexe, du moment qu'il engendre toujours des surfaces d'écoulement irrégulières et ondulées. Ces irrégularités représentent de grandes perturbations qui provoquent des ondes stationnaires à la surface de l'eau. De telles ondes sont appelées "ondes transversales" ou par analogie avec la dynamique des gaz "ondes de choc".

Chapitre IV : Présentation du programme Rubar20

L'Irstea a développé un outil de résolution numérique 2D appelé RUBAR 20. Ce logiciel a été initialement conçu pour le calcul de propagation d'onde de rupture de barrage en bidimensionnel. A ce titre, il permet de simuler la propagation d'une onde issue soit d'une rupture instantanée de barrage (on partira d'un mur d'eau), soit d'une rupture progressive (pour laquelle on connaît l'hydrogramme au droit du barrage ou pour laquelle on la modélise par un ouvrage particulier). Il traite donc, en particulier, la propagation d'un front sur une zone initialement sèche.

De manière plus générale, ce logiciel permet tout calcul hydraulique ressortant des équations de Saint-Venant bidimensionnelles, en particulier, lorsque les variations temporelles des caractéristiques hydrauliques sont importantes (crues). Les équations que le logiciel résout sont écrites sous la forme:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = P \quad \text{(IV-1)} \\ \\ \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{Q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(\frac{Q_x Q_y}{h} \right)}{\partial y} = \\ = -g h \frac{\partial Z}{\partial x} - g \frac{Q_x \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{C^2 h^2} + \frac{\partial}{\partial x} \left(Kh \frac{\partial \left(\frac{Q_x}{h} \right)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Kh \frac{\partial \left(\frac{Q_x}{h} \right)}{\partial y} \right) + F_x(w) + P_x \quad \text{(IV-2)} \\ \\ \frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{Q_x Q_y}{h} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(\frac{Q_y^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right)}{\partial y} = \\ = -g h \frac{\partial Z}{\partial y} - g \frac{Q_y \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{C^2 h^2} + \frac{\partial}{\partial x} \left(Kh \frac{\partial \left(\frac{Q_y}{h} \right)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Kh \frac{\partial \left(\frac{Q_y}{h} \right)}{\partial y} \right) + F_y(w) + P_y \quad \text{(IV-3)} \end{array} \right.$$

Où, h : est la hauteur d'eau ; Z : la cote du fond ; Q_x : le débit (unitaire) selon l'axe Ox égal au produit de la vitesse par la hauteur ; Q_y : le débit (unitaire) selon Oy ; g : l'accélération de la pesanteur ; K : le coefficient de viscosité ; C : le coefficient de Chézy pour le frottement ; W : la vitesse du vent à 10 m du sol ; F_x et F_y : les contraintes dues au vent ; P_x et P_y : les composantes du frottement à la paroi (verticale) exprimée comme le frottement au fond mais

la contrainte étant parallèle à la paroi, on utilise un facteur multiplicatif valant 0 pour les mailles sans paroi et h/L pour les autres mailles avec, L : dimension de la maille dans la direction perpendiculaire à la paroi ; P : l'apport local correspondant à la pluie (dont on néglige la quantité de mouvement). En outre, il est possible d'introduire des ouvrages (déversoirs, etc) ; la loi d'ouvrage donne alors un débit qui vient s'ajouter au débit fourni par les équations de Saint Venant.

Le code de calcul utilise la méthode des volumes finis appliquée à un maillage constitué de quadrilatères et de triangles qui ont entre eux 0 ou 1 (entier) côté commun. A chaque pas de temps, pour calculer les flux entrants et sortants de chaque maille, est résolu un problème de Riemann dans la direction normale à l'arête. deux schémas numériques sont disponibles pour résoudre ce problème :

- un schéma de Van Leer avec deuxième ordre en espace et premier ordre en temps.
- un schéma de Van Leer avec deuxième ordre en temps et en espace.

On résout d'abord le problème homogène pour les 3 équations unidimensionnelles mises sous forme conservative puis on ajoute les termes du second membre où on retrouvera le terme de gravité, les frottements, etc (Paquier, 1995). Cette méthode de résolution s'appuie sur les travaux de Jean Paul Vila portant sur les schémas numériques appliqués aux systèmes hyperboliques non linéaires (Vila, 1986).

Toutes les données du calcul y compris la cote du fond sont décrites indépendamment du maillage. Si nécessaire, une interpolation est ensuite effectuée soit aux sommets (cote du fond par exemple) soit au centre de la maille (coefficient de frottement par exemple).

Les conditions aux limites peuvent être de 4 types :

- réflexion : flux nul sur l'arête ;
- flux entrant en imposant 2 des 3 variables (ou 3 en régime torrentiel) ;
- flux sortant avec une condition qui peut être soit hauteur imposée soit une loi de tarage soit un régime critique ;
- flux sortant calculer à partir du fluide à l'intérieur du domaine de calcul.

Les conditions initiales sont fixées par l'utilisateur en tirant d'eau (ou cote) et débits (ou vitesses) en chaque centre de maille à l'instant de début du calcul.

Le pas de temps peut être soit fixe, soit variable (déterminé en fonction du nombre de Courant); des variations trop brutales engendrent cependant des perturbations numériques. Il en est de même des dimensions de maille qui ne doivent pas être dans un trop grand rapport entre les 2 directions et d'une maille à sa voisine.

IV.1. Description du schéma numérique

Les équations précédentes sont résolues par le solveur du code Rubar20, basé sur la méthode des volumes finis appliquée à un maillage non structuré et constitué de quadrilatères et de triangles. Par ailleurs, le code utilise un schéma explicite de Van Leer avec second ordre en temps et en espace. Ce schéma numérique comprend quatre étapes (Paquier, 1995) :

1. Un calcul du gradient de chacune des variables (h étant remplacé par la variable z le niveau d'eau qui est égal à la côte du fond plus la hauteur d'eau) dans chaque maille pour chacune des deux directions correspondant aux axes 'x' et 'y' par une méthode des moindres carrés. Pour garder le caractère de schéma à variation totale décroissante, une limitation des gradients est effectuée, ce qui permet d'éviter la création d'extremums sur ces variables aux milieux des arêtes de la maille considérée.
2. La variable $W = (h, Q_x \text{ et } Q_y)$ est ensuite calculée à un temps intermédiaire $t_{n+1/2}$ au centre m_{ij} de chacune des arêtes de chaque maille du maillage i par :

$$W_{m_{ij}}^{n+1/2} = W_{m_{ij}}^n - 0,5 \Delta t \left[f'_1 \left(W_i^n \right) W_{xi}^n + f'_2 \left(W_i^n \right) W_{yi}^n \right] + 0,5 \Delta t S_i^n \quad (\text{IV-4})$$

Dans laquelle f_i (respectivement f_j) : sont les flux selon 'x' (respectivement 'y') correspondant au premier membre des équations (IV-2) et (iv-3) ; S : le second membre ; W_{xi}^n : (respectivement w_{yi}^n) les valeurs à gauche (respectivement à droite) de l'arête.

3. La résolution d'un problème de Riemann unidimensionnel dans la direction normale à l'arête à $t_{n+1/2}$ afin d'estimer les flux à travers les arêtes pour le premier membre des équations (IV-2) et (IV-3). Ce mode de calcul permet de tenir compte des discontinuités de la ligne d'eau ; il permet, de ce fait, de représenter des ressauts hydrauliques sans toutefois tenir compte de leur longueur (Paquier, 1995).
4. L'intégration du second membre des équations (IV-2) et (IV-3) sur la surface de la maille afin d'ajouter la contribution correspondante et d'obtenir la valeur finale W^{n+1} par :

$$W_i^{n+1} = W_i^n + \sum_j \frac{\varepsilon_{ij} L_{ij}}{A_i} \Delta t f_i \left(W_{m_{ij}}^{n+1/2} \right) + \Delta t S_i^{n+1/2} \quad (\text{IV-5})$$

Dans laquelle f_i : représente le flux selon 'x', la sommation portant sur les mailles j qui ont un côté commun avec la maille M_i (de surface A_i) et ξ_{ij} vaut 1 ou -1 selon l'orientation de l'arête M_{ij} (de longueur L_{ij}) commune aux mailles M_i et M_j .

La contribution du second membre inclut :

- Des termes de gravité ou de pente traités comme les flux destinés à ce qu'une surface libre horizontale reste horizontale en l'absence d'apports

- Des termes de frottement au fond qui sont simplement estimés au centre de la maille et calculés de manière implicite.
- Des termes de diffusion qui sont traités comme des flux.
- Les autres termes sont calculés au centre de la maille et traités de manière explicite.

En outre, les mailles sèches sont traitées de manière spécifique dans le sens où une maille est considérée sèche tant que la hauteur d'eau ne dépasse pas 0,1 mm.

IV.2. Formules de frottement utilisées

Les écoulements étudiés lorsque les événements sont à une échelle urbaine ou rural réelle, sont en régime turbulent rugueux du fait du fort nombre de Reynolds et des grandes tailles caractéristiques des aspérités au fond, le coefficient de frottement de Strickler (K dans les équations (IV-2) et (IV-3)) est considéré constant durant la totalité de l'événement et ne dépend que des caractéristiques du fond (lit de rivière, rue...), ça valeur est donnée par le modélisateur, à qui revient le choix des formules utilisé. Dans cette étude, on se basant sur les investigations menées sur terrain et les photos satellites de Google Earth qui montre assez bien la couverture végétal du sol.

IV.3. Les programmes de calcul du code de calcul Rubar 20

Tous les programmes sont écrits en FORTRAN. La visualisation des données et des résultats ainsi que la saisie de certaines données peuvent s'effectuer à partir de deux pré et post processeurs indépendants qui sont MOCAHY et FUDAA-PREPRO. Ce dernier est le préprocesseur choisi pour cette étude. Des utilitaires complémentaires permettent les transformations de format de fichier et les interpolations nécessaires.

Avant de présenter les programmes, voici une liste des extensions des fichiers que nous aurons à utiliser durant la suite de l'étude.

CIN : conditions initiales par maille

CLI : conditions aux limites (arêtes rentrantes ou sortantes).

COF : cote du fond en chaque nœud d'un maillage.

COT : cote du fond sur une grille régulière orientée N-S et O-E ou sur des parallélogrammes.

COX : cote du fond spécifiée en certains points définis par leurs coordonnées

DAT : ensemble des données par maille y compris cote du fond et arêtes limite.

ECI : édition des conditions initiales.

ECL : édition des conditions aux limites.

EDM : édition du maillage.

EFR : édition des frottements au fond.

ENV : maxima des résultats depuis le début du calcul.

FRT : frottement au fond par maille. FRX : frottement au fond en certains points définis par leurs coordonnées.

IMA : coordonnées des sommets des quadrilatères de base du maillage et nombre de mailles par quadrilatère.

OUT : valeurs aux arêtes rentrantes ou sortantes et sur les ouvrages. OUV : caractéristiques des ouvrages

PAR : paramètres de simulation

TPS : ligne d'eau à pas de temps fixe.

Voici les programmes principaux les plus utilisées dans cette étude :

IV.3.1. Programme Secma

Le programme SECMA crée le fichier de sections de maillage (ou sections interpolées) *.m. Longitudinalement, des sections sont rajoutées si la distance est supérieure au pas donné par l'utilisateur. Transversalement, on rajoute des points entre les lignes directrices selon un pas donné par zone (entre deux lignes directrices) ou un nombre de mailles (si le pas est nul) ; ainsi, soit le nombre de points par zone est constant soit le pas d'espace est constant (option "optimisation").

L'interpolation dans SECMA se fait en deux étapes : interpolation transversale à l'intérieur de chaque section (linéaire par morceaux) pour obtenir des sections à nombres de points identiques puis interpolation longitudinale sur chaque ligne reliant les points d'ordre identique afin de créer les points des sections intermédiaires; dans cette dernière étape, une distance minimale entre sections peut être maintenue.

Pour garder les points des sections brutes qui ne sont pas des lignes directrices, il faut lire le fichier dans SECMA deux fois: un premier passage avec un pas d'espace transversal donne comme négatif permettra de compléter les sections a un nombre de points constant par zone ; au deuxième passage, en indiquant que tous les points sont des directrices, on pourra interpoler librement tout en gardant les points initiaux.

Pour créer un raffinement de maillage, il faut encadrer la zone par des sections et des lignes directrices qui seront confondues ailleurs. Sur la figure suivante, nous présentons le menu de SECMA:

```

c:\ D:\rubar20\secma.exe
But : CREER UN MAILLAGE DE LA RIVIERE BASEE
SUR DES SECTIONS EN TRAVERS
-NUMERISATION DES SECTIONS: ABCISSE CURVILIGNE
-INTERPOL ENTRE CN : SPLINE 1 C B
<PAR DEFAUT INTERPOLATION LINEAIRE 2D>
-PRISE EN COMPTE DE ZONES
-OPTIMISATION DES MAILLES
<PAR DEFAUT NOMBRE DE POINTS PAR ZONE CONSTANT>

UERSION: 6.4

NOM DU FICHIER DE SECTIONS .ST:

```

Figure IV.1 : exécutable de Secma

IV.3.2 Programme Mcoxima

Le programme Mcoxima transforme le fichier de maillage *.m en fichier de mailles *.IMA et de côtes du fond *.COX. Il est aussi possible de construire par ce programme, un fichier *.FRX correspondant aux frottements au fond et défini par bande de maillage parallèle aux lignes directrices.

```

c:\ C:\Documents and Settings\Ali Azouaou\Bureau\dossier maillage mdina\mcoxima.exe
CONVERSION D UN MAILLAGE
EN FICHIERS .COX .FRX ET .IMA
UERSION DU 19 mai 2008

NOM DU FICHIER DE SECTIONS DE MAILLAGE :

```

Figure IV.2 : exécutable de Mcoxima

Le programme MCOXIMA permet d'effectuer une opération similaire à celle pour *.FRX mais pour le fichier *.INX de conditions initiales.

3.3 PROGRAMME Mail 20

```

c:\ D:\rubar20\palmfait\mail20.exe
GENERATION DE MAILLAGES POUR RUBAR 20
CEMAGREF UERSION 19/06/2008
DONNEZ LE NOM DE L'ETUDE EN 6 CARACTERES

```

Figure IV.3 : exécutable de Mail20

IV.3.4 Programme Vf2m

Le programme Vf2m définit les paramètres principaux, il permet de saisir et d'interpoler sur un maillage défini auparavant (fichier MAI). Les données sont:

- cote du fond (par nœud).
- coefficient de frottement au fond (par maille).
- conditions initiales (par maille).
- coefficients de diffusion (par maille).
- apports de pluie (par maille). Ces apports sont exprimés sous forme de chroniques en mm/heure, un numéro de chronique étant affecté à chaque maille.
- vent (par maille). Le vent est exprimé en m/s sous forme de chroniques, un numéro de chronique étant affecté à chaque maille.

Voici sur la figure le programme Vf2m et les différents calculs qu'il fait :

```

c:\ D:\rubar20\palmfait\vf2m.exe
DONNEZ LE NOM DE L'ETUDE EN MOINS DE 6 CARACTERES
loulou
DONNEZ LE NOMBRE DE DECIMALES SUR <X,Y> <entre 0 et 4>
1
VF2M : LECTURE FICHIER DONNEES ETUDE.MAI
-----
LE NOM DE L ETUDE EST : loulou
-----
MENU D APPEL DES PROGRAMMES DE SAISIE
-----
CHOIX 1 : GENERATION DE LA STRUCTURE DE DONNEES
CHOIX 2 : SAISIE DU FROTTEMENT
CHOIX 3 : SAISIE DES DONNEES INITIALES
CHOIX 4 : SAISIE DES PARAMETRES DE CALCUL
CHOIX 5 : SAISIE DES OUVRAGES
CHOIX 6 : SAISIE DES APPORTS
CHOIX 7 : SAISIE DES UENTS
CHOIX 8 : SAISIE DES DIFFUSIONS
CHOIX 9 : SAISIE DES POSITIONS DES LIMNIGRAMMES
CHOIX 0 : RETOUR AU SYSTEME
-----
DONNEZ UOTRE CHOIX
ATTENTION : LE FICHIER ETUDE.DAT DOIT EXISTER POUR LE CHOIX 5
  
```

Figure IV.4 : exécutable de Mail20

IV.3.5 Programme Rubar20

Le programme RUBAR 20 effectue la résolution des équations de Saint-Venant bidimensionnelles selon un schéma explicite en volumes finis. Cette méthode implique un très faible pas de temps (nombre de Courant inférieur à 1) ce qui limite l'emploi du logiciel à des circonstances hydrauliques rapidement transitoires et en premier lieu aux phénomènes de propagation d'onde de rupture de barrage.

IV.4. Le Maillage De Calcul

Le maillage de Rubar20 est constitué de grands quadrilatères (ou de triangles considérés comme des quadrilatères ayant le quatrième sommet identique au premier) divisés en NL fois

NC mailles où $NC+1$ est le nombre de nœuds sur le premier côté et le troisième côté et $NL+1$ le nombre de nœuds sur les 2 autres côtés. 2 mailles adjacentes ont en commun une arête entière définie par ses 2 nœuds. On a donc le schéma suivant :

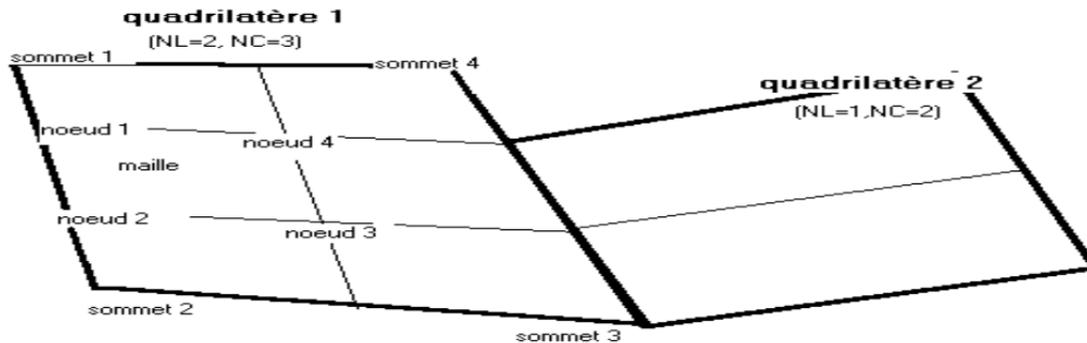


Figure IV.5 : exemple d'un maillage du code de calcul Rubar20

La définition du maillage se fait donc par saisie dans le sens trigonométrique des coordonnées des quatre (04) sommets des grands quadrilatères (ou blocs de mailles) et des NL et NC correspondants. Un nouveau quadrilatère devra avoir un côté entier étant tout ou partie d'un côté d'un quadrilatère déjà défini, ce côté étant celui saisi en premier lieu. Compte tenu de ce mode de saisie, il est conseillé de préparer sommairement son maillage à l'avance en précisant l'ordre de saisie des divers sommets.

Les données sont stockées dans un fichier *.IMA. La génération du fichier *.MAI qui contient la numérotation des mailles, les nœuds propres à chaque maille et les coordonnées de ces derniers peut donc se faire dans le programme Mail 20 :

- soit par lecture d'un fichier IMA (ou d'un ancien fichier MAI).
- soit par saisie des données au clavier;
- soit par lecture d'un fichier IMA (ou d'un ancien MAI) suivie d'une saisie complémentaire.

IV.5. Formules de diffusion turbulente utilisées

Le terme de diffusion utilisé dans les équations (IV-2) et (IV-3) fait appel à un coefficient de diffusion (ou de viscosité) ν . Ce terme a pour vocation de rendre compte principalement de la diffusion (ou viscosité) induite par la turbulence qui se développe au sein de l'écoulement et de manière secondaire de la diffusion provenant de l'intégration des équations de Navier-Stokes sur la verticale.

Il reste désormais à déterminer la méthode de détermination de ce coefficient. Il existe en effet dans la littérature plusieurs modèles de turbulence de complexités différentes allant de la

viscosité turbulente constante (le cas utilisée dans les calculs présentés dans cette étude) à des modèles k- ϵ plus coûteux en temps de calcul. Le concept de viscosité turbulente constante sur l'ensemble de l'écoulement consiste donc à considérer le coefficient ν constant en espace et en temps.

IV.6. Les ouvrages

Les ouvrages sont simulés comme un moyen de transférer un débit d'une maille à une autre. Si les 2 mailles sont contiguës, l'ouvrage correspond à une arête ; sinon l'ouvrage est défini par deux (02) arêtes séparées par une ou plusieurs mailles contiguës. Plusieurs ouvrages élémentaires (cinq (05) au maximum) peuvent être installés à l'intérieur d'un tel ouvrage. Deux ouvrages différents ne peuvent avoir une arête (amont ou aval) commune.

La définition d'un ouvrage va donc comprendre :

- la définition de l'arête 1 (normalement amont, obligatoirement pour des ouvrages tels que B pour lesquels l'inversion de l'écoulement n'est pas prévue) et de la maille 1 (où sera normalement prélevé le débit) ;
- la définition des mailles internes à l'ouvrage (0, 1 ou plusieurs);
- la définition de l'arête 2 et de la maille 2 (où normalement sera injecté le débit);
- le nombre d'ouvrages élémentaires;
- les caractéristiques de chaque ouvrage élémentaire : type d'ouvrage et pour un déversoir, longueur de déversement L , cote de seuil Z_d , cote de mise en charge Z_m , coefficient de débit m . m est le coefficient de débit du seuil dénoyé dans la formule

Les autres ouvrages possibles actuellement sont une brèche, un déversoir, un apport de débit ponctuel, un transfert de débit.

IV.7. Utilisation de Fudaa-Prepro

Fudaa-Prepro est un pré-post processeur conçu par Cetemef, il comprend un superviseur qui renvoie à l'un des trois programmes de visualisation :

- 1) « Mesh » qui ne permet que de visualiser le maillage contenu dans un fichier MAI ou DAT;
- 2) « Editor » qui permet de visualiser l'ensemble des données d'entrée du programme RUBAR 20. Si un fichier PAR existe, un clic sur ce fichier entraîne l'ouverture de l'ensemble des données de la même étude contenues dans le même répertoire. Il est ensuite possible (à maillage fixé) de modifier certaines données de manière interactive. Il est aussi possible d'exporter une partie du maillage pour recréer un nouveau projet. En outre, depuis l'editor,

- 3) « Post » qui permet de visualiser la plupart des résultats : variables contenues dans les fichiers TRC, TPS, ENV, OUT. Les types de visualisation sont :
- une vue globale permettant d'afficher (en plus d'un éventuel fond de plan), une carte de différentes variables à un temps sauvegardé (possibilité d'animation);
 - une vue par section (coupe dans un (ou plusieurs) plan vertical). Ces "profils spatiaux" permettent un calcul du débit à travers la section à un temps donné;
 - des courbes d'évolution dans le temps en un point du maillage pour les variables sauvegardées;
 - la comparaison entre deux simulations est possible ainsi que la visualisation des différences.
 - une vue 3D des niveaux d'eau.

Chapitre V : Dimensionnement du convergent

Dans ce chapitre on va entamer la simulation de la crue centennale dans le cours d'eau aménagé, et le dimensionnement du convergent

V.1 Construction du modèle de calcul appliqué à l'oued El Hamiz

La construction du modèle de calcul se fait par le logiciel RUBAR20 qui est un outil de résolution 2D. A ce titre, il permet de simuler la propagation d'une onde issue soit d'une rupture instantanée de barrage, soit d'une rupture progressive.

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

Pour l'obtention d'un maillage de calcul correct, il faut se doter d'un plan topographique, mais comme nous avons changé les côtes du terrain à cause du recalibrage apporté à l'oued El Hamiz, on était obligé de recalculer les nouvelles côtes du terrain aménagé.

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

En premier lieu, le travail consiste à introduire les nouvelles données du terrain du cours d'eau, dans le logiciel Fudaa Modeleur.

Nous avons tracé les profils en travers, ensuite nous avons tracé les lignes directrices.

La figure V.1 ci-dessous permet de visualiser les profils en travers qui sont en jaune et les lignes directrices en bleu.

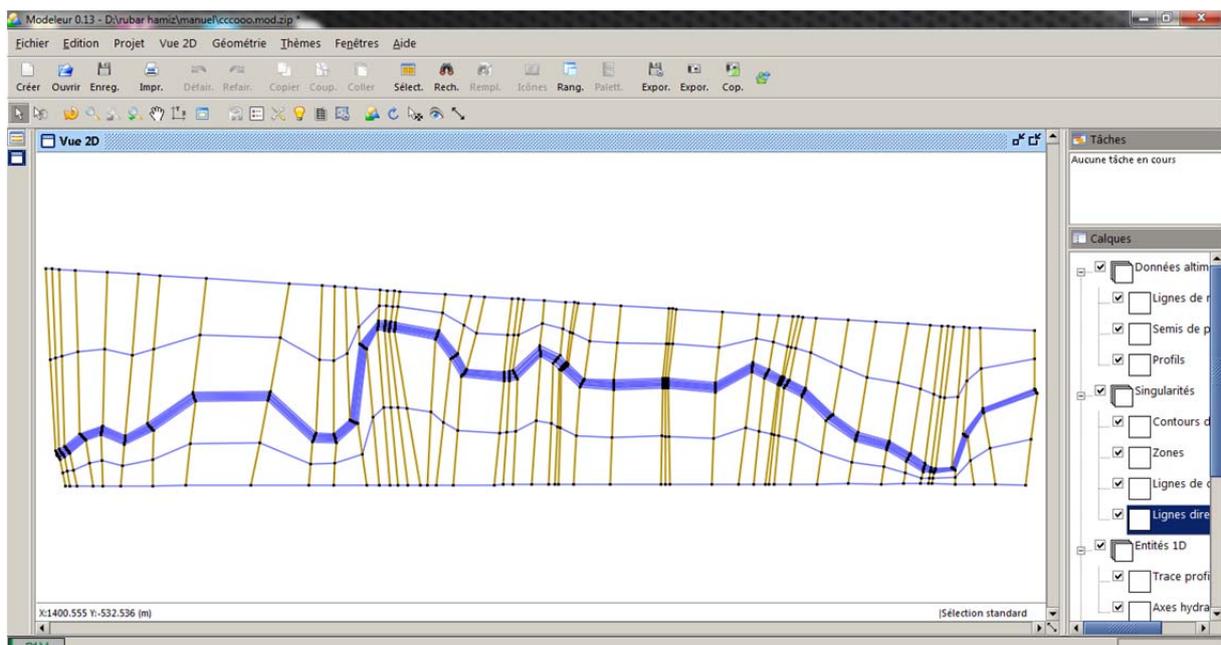


Figure V.1: implantation des profils en travers et lignes directrices de la zone d'étude

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

V.1.2 Construction du fichier (*.M)

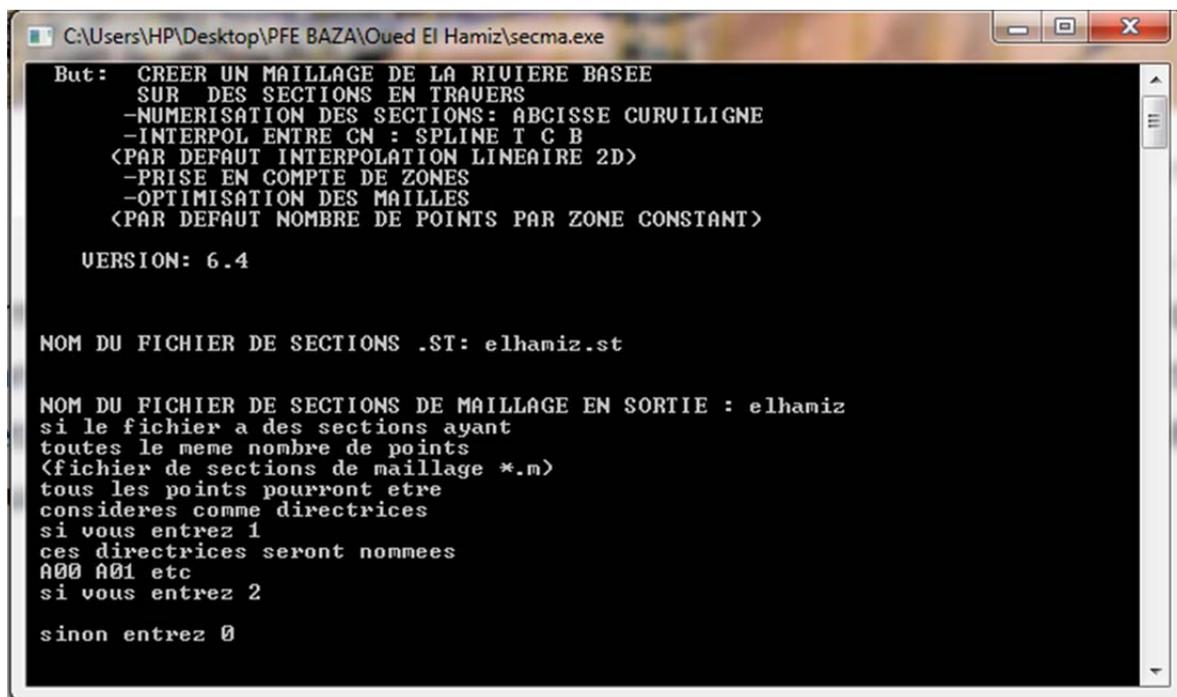
Nous avons utilisé le programme SECMA pour obtenir le maillage de calcul.

Il suffit de suivre la succession de données à introduire dans cette partie

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

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

La figure V.2 ci-dessous montre l'interface du programme SECMA.



```

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

VERSION: 6.4

NOM DU FICHIER DE SECTIONS .ST: elhaniz.st

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

Figure V.2: programme SECMA

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

V.1.2 Construction du fichier (*.IMA)

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

De plus, le programme crée les fichiers suivants :

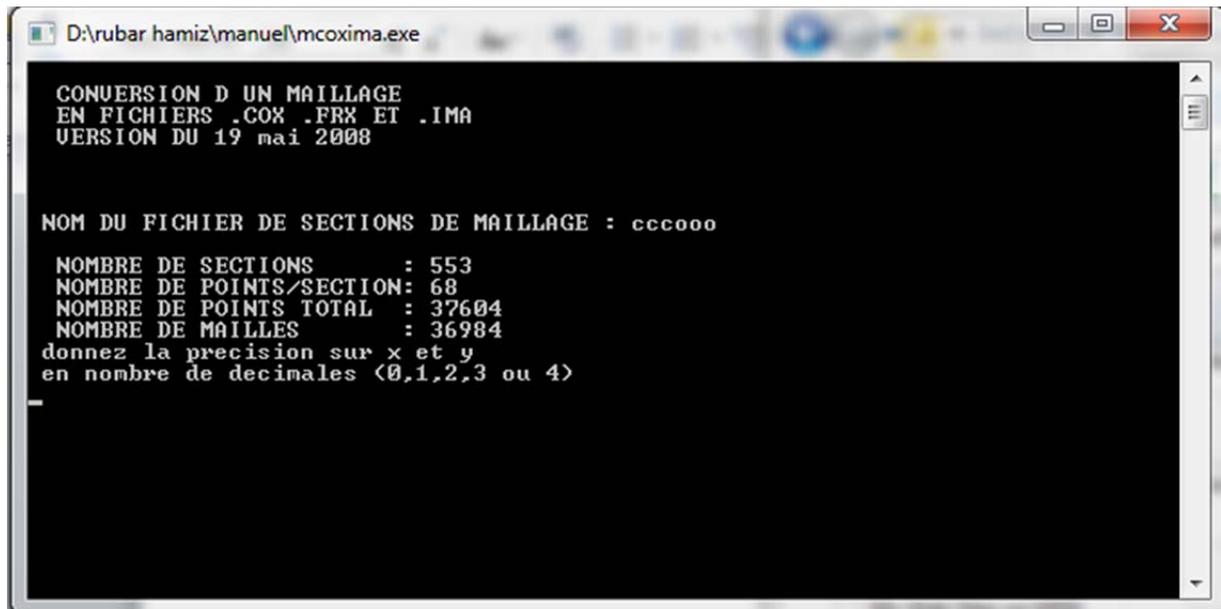
Le fichier (*.COX) : Contient les côtes du fond sur une grille régulière orienté Nord-sud et ouest-est ou sur des parallélogrammes

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

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

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

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



```
D:\rubar hamiz\manuel\mcoxima.exe
CONVERSION D UN MAILLAGE
EN FICHIERS .COX .FRX ET .IMA
VERSION DU 19 mai 2008

NOM DU FICHIER DE SECTIONS DE MAILLAGE : cccooo

NOMBRE DE SECTIONS      : 553
NOMBRE DE POINTS/SECTION: 68
NOMBRE DE POINTS TOTAL  : 37604
NOMBRE DE MAILLES       : 36984
donnez la precision sur x et y
en nombre de decimales <0,1,2,3 ou 4>
```

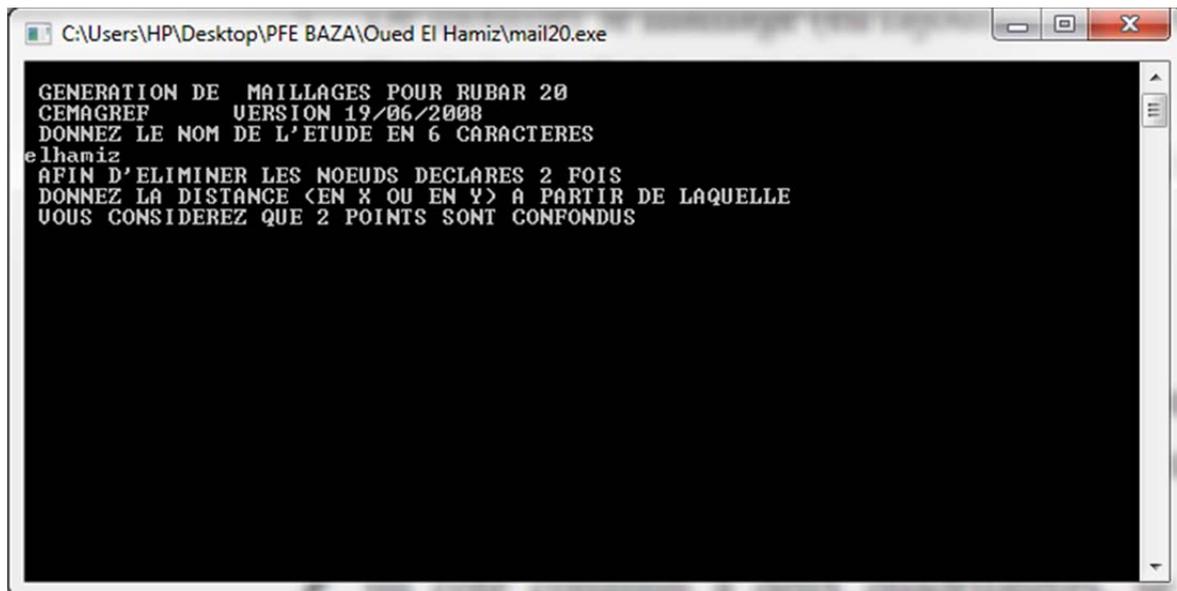
Figure V.3: lecture du fichier El Hamiz par le programme MCOXIMA

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

V.1.3 Construction du fichier (*.MAI)

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

La figure V.4 ci-dessous montre l'interface du programme MAIL20



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

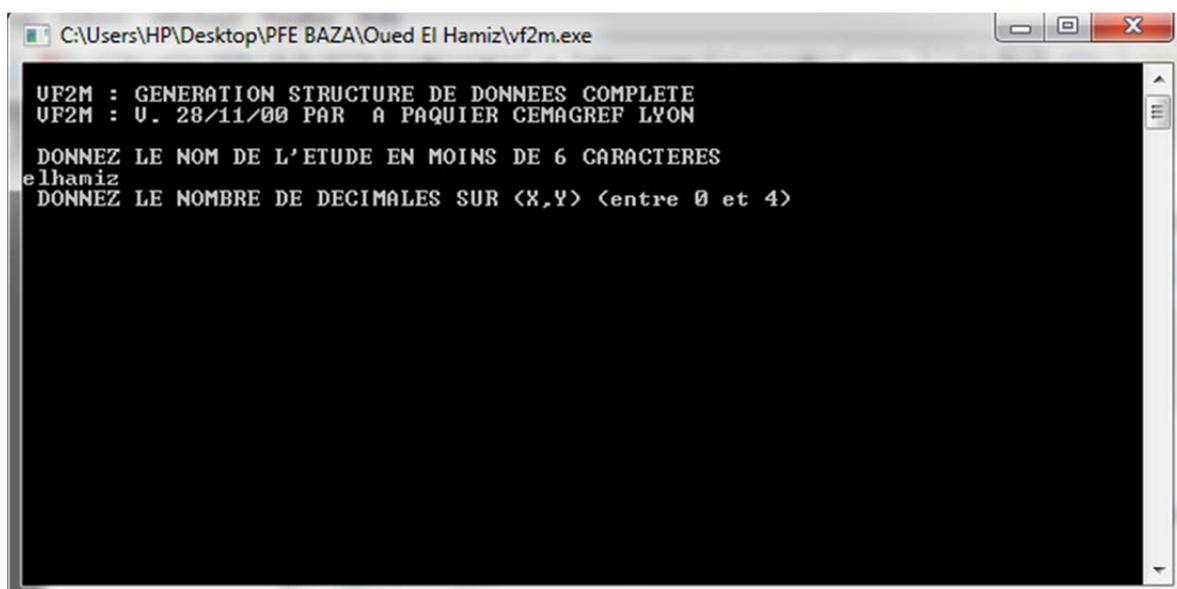
Figure V.4: lecture fichier *.IMA par le programme MAIL20

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

V.1.4 Construction du fichier (*.DAT)

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

La figure V.5 ci-dessous montre l'interface du programme VF2M.



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

Figure V.5: lecture fichier *.IMA par le programme VF2M

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

V.1.5 L'utilisation du logiciel Fudaa Prepro

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

Le maillage de calcul de la zone d'étude est illustré sur la figure V.6 suivante.

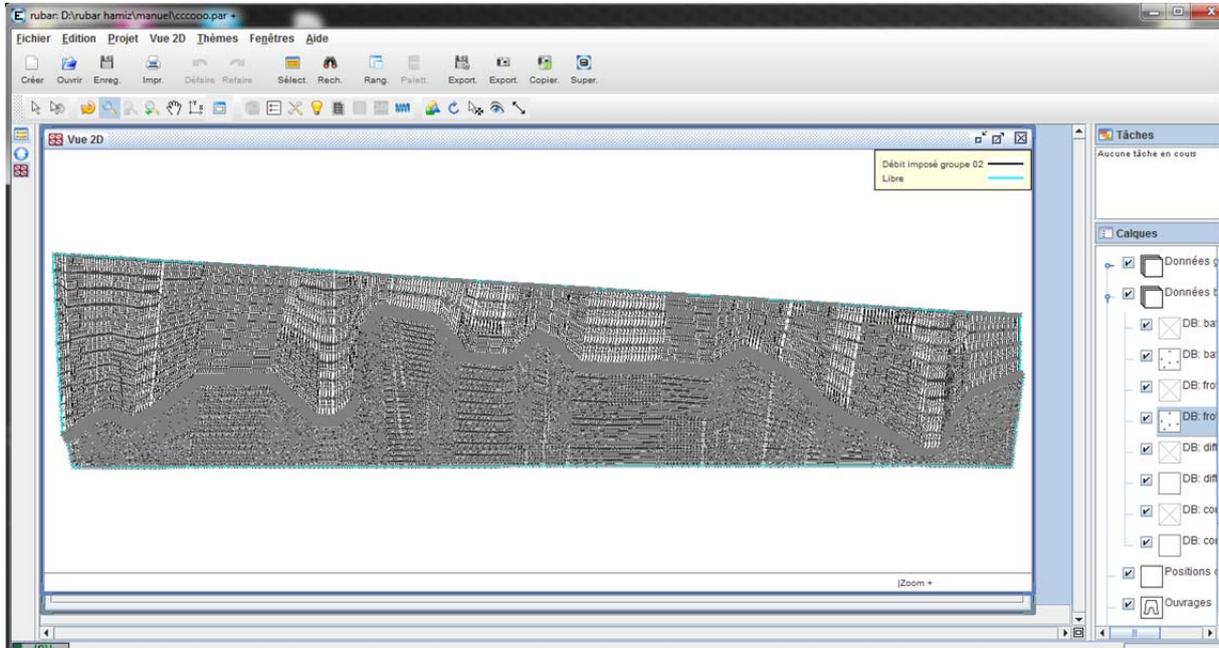


Figure V.6: maillage de la zone d'étude

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

Les paramètres que nous devons définir dans cette partie sont :

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

V.1.6 Coefficient de frottement au fond

La valeur du coefficient de frottement du fond est le paramètre le plus délicat à introduire dans le modèle, car sa valeur est dépendante de la nature du sol en régime turbulent rugueux.

Les frottements de l'eau sur le sol sont représentés par les coefficients de Strickler. Le frottement est d'autant plus fort que le coefficient de Strickler est bas.

Afin que sa présentation soit complète, les résultats sont présentés ci-dessous.

Les coefficients de Strickler retenus sont les suivants :

- 35 dans le lit mineur et le lit majeur en terre.

- 70 dans la zone bétonnée (lit mineur et lit majeur).

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

V.2 Simulation de la crue de l'oued El Hamiz et visualisation des résultats après l'aménagement

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

V.2.1 Les conditions initiales

Les conditions initiales sont définies en chaque centre de maille correspondant aux arrêtes limites à l'entrée du domaine d'étude, elles sont éditées dans Fudaa-Prepro. Elles sont sur le frottement, la hauteur H, et le débit selon X et Y. Dans notre étude, nous avons supposé que la hauteur de l'eau est nulle dans l'oued, d'où le débit est nulle figure V.7.

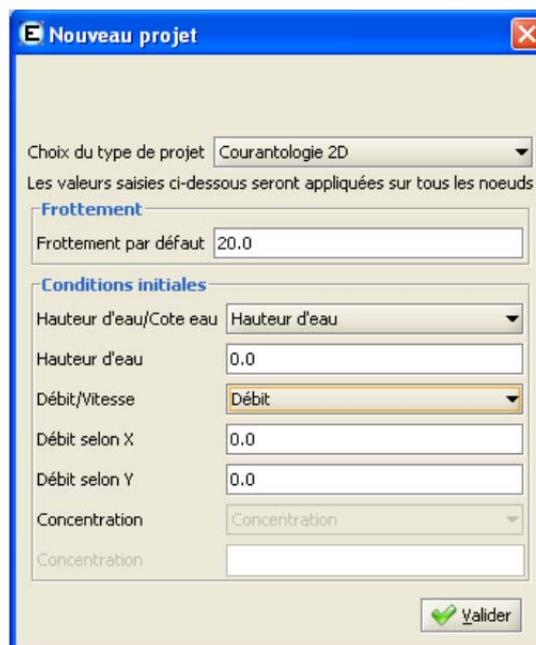


Figure V.7: édition des conditions initiales.

V.2.2 Les conditions aux limites

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

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

- Hydrogramme de crue à l'entrée du cours d'eau (figure V.8), sans oublier que le débit est composé d'un débit normal et d'un débit tangentiel. Ce dernier est considéré comme étant nul parce que les arrêtes sont perpendiculaires à la direction de l'écoulement.
- Détermination de la hauteur d'eau en fonction du temps à l'entrée du cours d'eau (figure V.9), on l'a déduit à partir de la courbe de tarage extrapolée de l'oued El Hamiz.

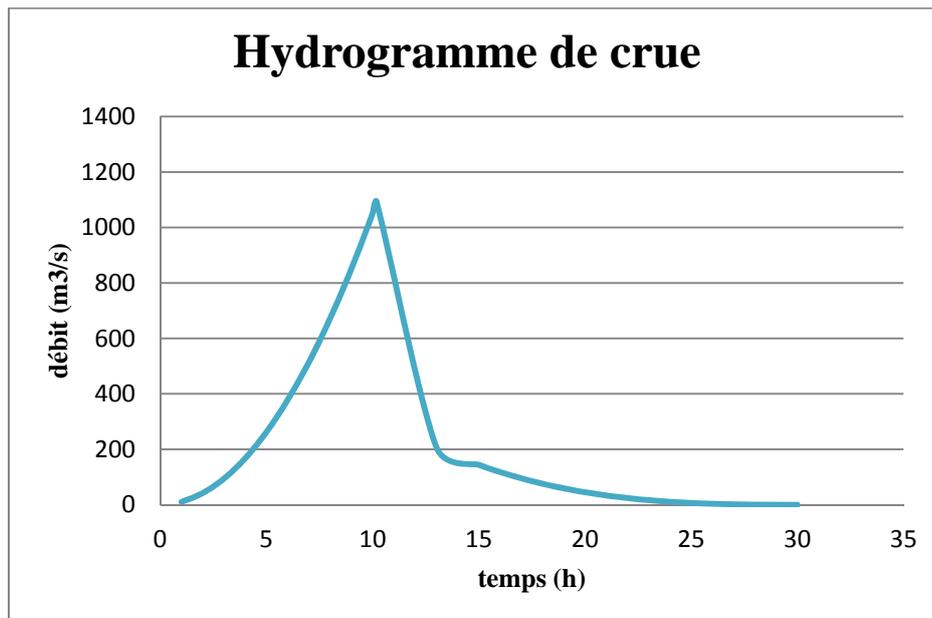


Figure V.8: hydrogramme de la crue centennale à l'entrée de la zone d'étude.

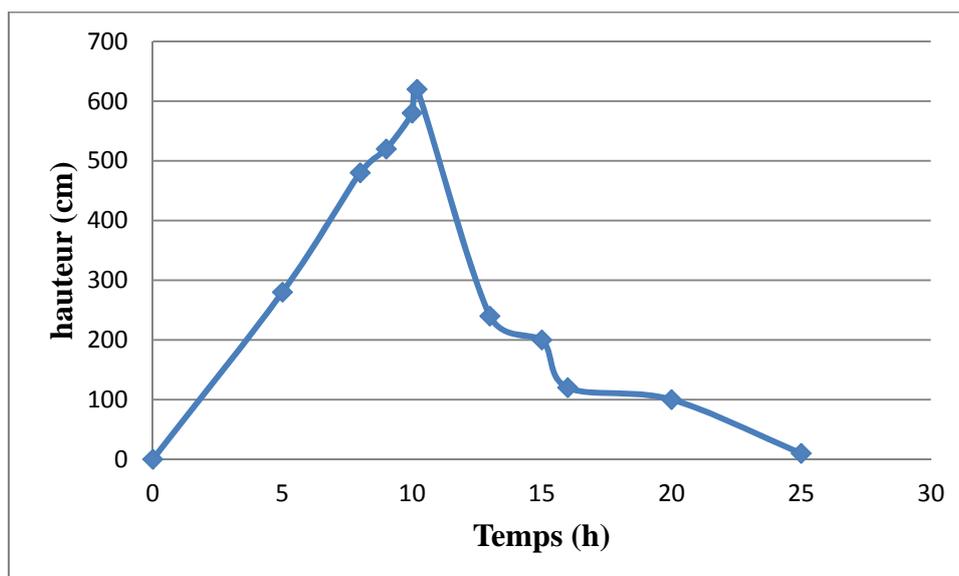


Figure V.9: hauteur d'eau de la crue centennale en fonction de la hauteur à l'entrée de la zone d'étude.

V.2.3 Paramètres de calculs

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

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

Les principaux paramètres de calculs sont :

- Temps de début de simulation (en seconde) est égale à 0.
- Temps de fin de simulation égale au temps de la décrue.
- Pas de temps de calcul.
- L'accélération de la pesanteur qui correspond la région d'étude ($9,81 \text{ m/s}^2$ comme valeur par défaut).
- Le paramètre ICFL : ce paramètre permet de conserver le pas de temps pendant le calcul. Pour ne pas conserver le pas du temps il faut choisir l'option du calcul à nombre de courant constant (introduire le pas de temps initial ICFL égal à 1). Si non, le pas sera conservé durant tout le calcul (ICFL = 0).
- Le paramètre ICLVAR : ce paramètre définit les conditions aux limites variables dans le temps ou non :
 - 0 : si les conditions aux limites sont fixes dans le temps.
 - 1 : si les valeurs aux limites sont fluctuantes dans le temps.
- Le paramètre ALPHA : ce paramètre définit la correction de Van Leer. La valeur de pente pour les schémas de Van Leer, est comprise entre 0,5 et 1 (0,6 : par défaut). Plus la valeur est proche de 1, plus on a de la précision mais le schéma sera moins stable.
- Le paramètre IOFR : définit le type de frottement:

On a :

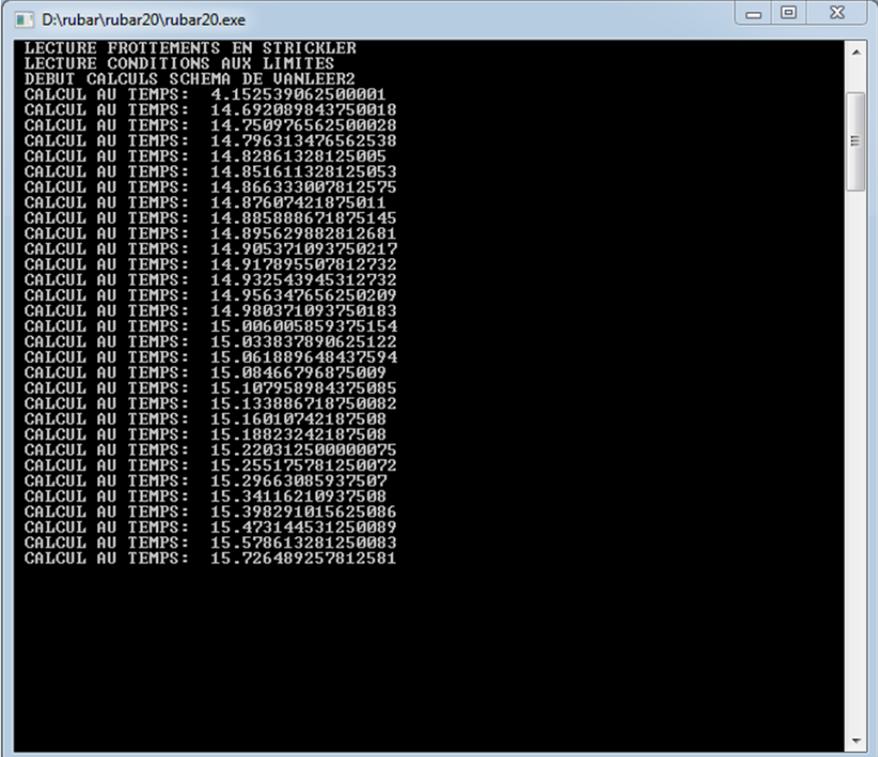
- 0: pour Chézy.
- 1: pour Strickler.
- 2: pour Darcy Weisbach.
- Le paramètre IOSMB, ce paramètre permet de définir le calcul vis-à-vis des ouvrages, aux apports de pluies...etc.
 - IOSMB = 3 : s'il y a des ouvrages.
 - IOSMB = 0,2 : pas d'ouvrage ;
 - IOSMB = 2,3 : s'il y a des apports de pluies.
- Le paramètre PARAY : ce paramètre définit la précision sur les hauteurs, autrement dit c'est la hauteur minimale au-dessous de laquelle, les hauteurs sont considérées comme nulles. (10^{-4} valeur par défaut).
- Le paramètre IREP : permet de définir la reprise du calcul si on choisit cette option (IREP=1), ceci permet dans ce cas de préciser un temps et une ligne d'eau dans un fichier (*.TPS). Dans le cas, il ne y'a pas de reprise de calcul (IREP=0).

- Le paramètre ISCHEM : ce paramètre permet de définir le type de schéma numérique :
 - 1 : pour schéma de Van Leer d'ordre 1 en temps
 - 2 : pour schéma de Van Leer d'ordre 1 en temps et en espace (ce schéma est plus précis). (2 : Valeur par défaut)
- Le paramètre CFL : ce paramètre correspond à la valeur du nombre de courant à ne pas dépasser. Cette valeur ne doit pas dépasser 1. (0.5 : valeur par défaut).
- Le paramètre FVIX, et VFIY, ce paramètre représente la vitesse du vent dans les deux directions, en [m/s], et si un fichier (*.VEN) existe le programme utilise automatiquement les valeurs contenues dans ce fichiers, sinon il utilise le FVIX, et VFIY.

V.2.4 Lancement de la simulation et visualisation des résultats

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

Le programme lance le calcul (figure V.10) qui permet de déterminer l'évolution de la ligne d'eau, à partir de la résolution des équations de Saint-Venant et l'équation de convection-diffusion selon un schéma explicite en volume finis. La méthode de résolution implique un pas de temps très faible, il est recommandé d'employer ce code à des phénomènes hydrauliques transitoires.



```
D:\rubar\rubar20\rubar20.exe
LECTURE FROTTEMENTS EN STRICKLER
LECTURE CONDITIONS AUX LIMITES
DEBUT CALCULS SCHEMA DE VANLEER2
CALCUL AU TEMPS: 4.152539062500001
CALCUL AU TEMPS: 14.692089843750018
CALCUL AU TEMPS: 14.750976562500028
CALCUL AU TEMPS: 14.796313476562538
CALCUL AU TEMPS: 14.82861328125005
CALCUL AU TEMPS: 14.851611328125053
CALCUL AU TEMPS: 14.866333007812575
CALCUL AU TEMPS: 14.87607421875011
CALCUL AU TEMPS: 14.885880671875145
CALCUL AU TEMPS: 14.895629882812681
CALCUL AU TEMPS: 14.905371093750217
CALCUL AU TEMPS: 14.917095507812732
CALCUL AU TEMPS: 14.932543945312732
CALCUL AU TEMPS: 14.956347656250209
CALCUL AU TEMPS: 14.980371093750103
CALCUL AU TEMPS: 15.006005859375154
CALCUL AU TEMPS: 15.033837890625122
CALCUL AU TEMPS: 15.061889648437594
CALCUL AU TEMPS: 15.08466796875009
CALCUL AU TEMPS: 15.107958984375085
CALCUL AU TEMPS: 15.133886718750082
CALCUL AU TEMPS: 15.16010742187508
CALCUL AU TEMPS: 15.18823242187508
CALCUL AU TEMPS: 15.220312500000075
CALCUL AU TEMPS: 15.255175781250072
CALCUL AU TEMPS: 15.29663085937507
CALCUL AU TEMPS: 15.34116210937508
CALCUL AU TEMPS: 15.390291015625086
CALCUL AU TEMPS: 15.473144531250089
CALCUL AU TEMPS: 15.578613281250083
CALCUL AU TEMPS: 15.726489257812581
```

Figure V.10: Lancement de la simulation

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

Les résultats de la simulation sont donnés dans la figure (V.11) ci-dessous:



Figure V.11 : Etendue de la crue sur terrain avec construction à 36000 s

D'après les résultats obtenus, Aucun débordement n'est observé sur tout le long du cours d'eau, sauf dans la jonction du tronçon 3 et le tronçon 4, où il y'a lieu de dimensionner la jonction entre les deux tronçons qui a une forme de convergent.

V.3. Dimensionnement du convergent

a) Détermination de la pente du canal

Les lois citées dans le chapitre (III) s'appliquent sur un écoulement à grande vitesse $Fr > 1$ (écoulement torrentiel).

La figure V.12 montre que nombre de Froude ne dépasse pas la valeur 1, l'écoulement qui traverse cette partie est fluvial $Fr < 1$. (Résultat obtenu par Rubar20)

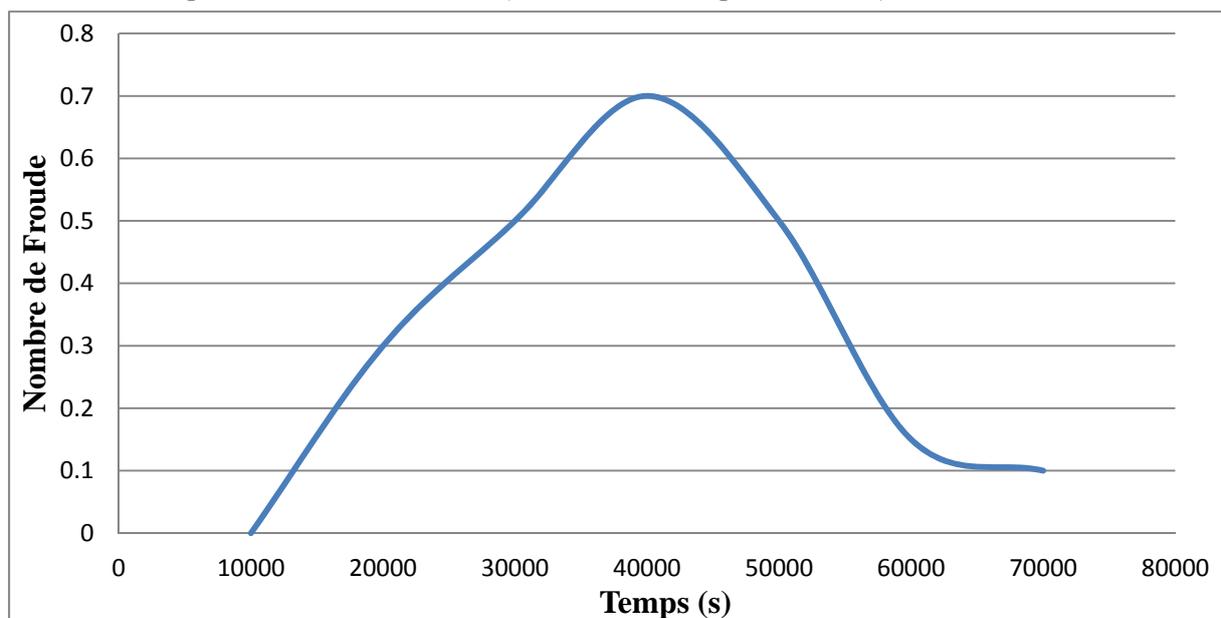


Figure V.12 : représentation du nombre de Froude

Pour provoquer l'écoulement torrentiel. Nous avons décidé d'augmenter la pente.

Nous avons fait plusieurs tentatives avec Rubar20, pour trouver la pente qui provoque l'écoulement torrentiel. Pour cela nous avons suivi les mêmes étapes que précédemment (création du modèle de calculs et de simulation).

D'après les résultats obtenus, nous gardons les résultats suivants.

La pente choisie est de 0.004, nous donne un nombre de Froude $Fr > 1$.

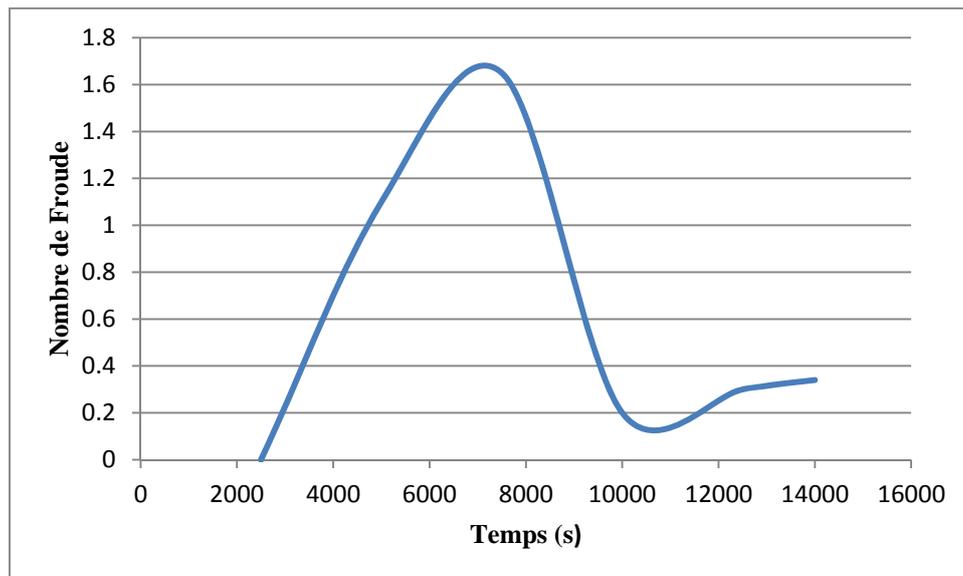


Figure V.13 : représentation du nombre de Froude après changement de pente

Après le changement de pente on arrive à un nombre de Froude $Fr = 1.7$ (écoulement est torrentiel).

b) dimensionnement du convergent

On passe au dimensionnement du convergent, pour améliorer les conditions d'écoulement dans une contraction rectiligne de canal, il faut passer par un judicieux choix de l'angle de déviation θ . Ce choix dépend essentiellement du nombre de Froude.

On choisit un rétrécissement en forme d'entonnoir, avec un choix judicieux de l'angle θ , à cause des ondes transversales positives, pour les diriger vers la fin du convergent.

Pour cela l'angle de rétrécissement θ , peut être déterminé par la formule (III-4), mais avant nous avons besoin de déterminer l'angle β avec la formule (III-5).

On trouve, les résultats suivant $\beta = 30^\circ$ et $\theta = 0.42^\circ$.

Après le choix de θ , et pour éviter ou minimiser la propagation d'onde, il faut veiller que la réflexion d'ondes touche exactement les parois à la fin de la contraction.

Nous avons utilisé la formule (III-1) pour la détermination de la longueur totale du convergent.

Après le calcul la longueur du convergent : $L = 1750$ m.

Les résultats obtenu sont résumé dans le tableau V-1 :

Tableau V-1 : dimensions du convergent

Variable	Valeur	Formule utilise
α	0.004	
b_1	54 m	
b_3	26 m	
β	30°	(III-5)
θ	0.42°	(III-4)
L	1750 m	(III-1)

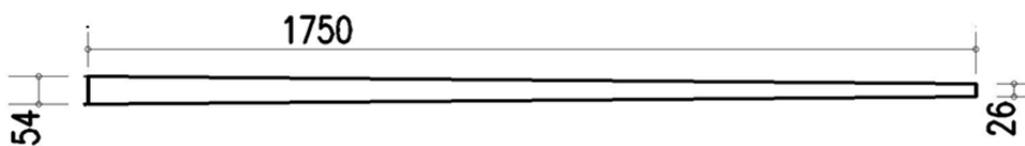


Figure V.14 : schéma du convergent

c) Vérification du convergent

Suite à ce dimensionnement, nous avons vérifié l'écoulement dans le cours d'eau.

Nous avons réalisé le modèle de calcul et la simulation, nous obtenons le résultat suivants figure V.15 :

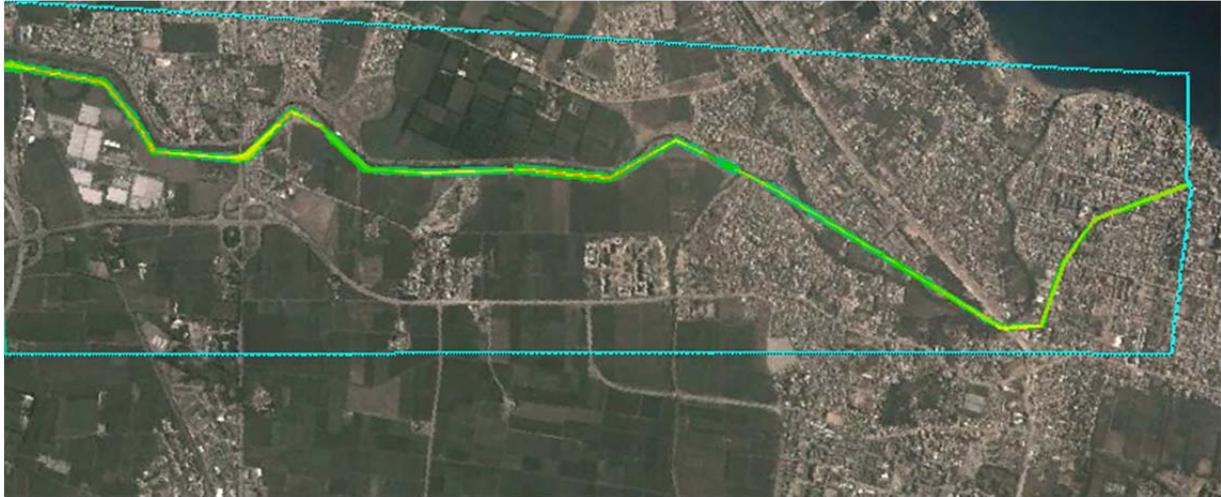


Figure V.15 : Etendue de la crue sur terrain

Aucun débordement n'apparaît sur tout le long de l'oued El Hamiz

Conclusion

La dimension du convergent était conditionnée de deux paramètres : la pente du fond du canal et le nombre de Froude.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans ce mémoire de Master, nous avons présenté les écoulements supercritiques traversant des canaux à ciel ouvert non prismatiques, à faible pente. Ce type d'écoulement est très complexe, du moment qu'il engendre toujours des surfaces d'écoulement irrégulières et ondulées. Nous avons simulé l'écoulement dans l'oued el Hamiz via le programme RUBAR20, puis nous avons dimensionné le convergent qui est la jonction entre le tronçon 3 et le tronçon 4.

La difficulté dans ce type de travaux est le manque de données : topographiques, hydrologiques...

A travers nos résultats, nous pouvons conclure que le programme Rubar20 simule bien l'écoulement dans les transitions.

Références Bibliographiques

Ali Azouaou, F., (2009). " Simulation de la crue d'octobre 2008 dans la commune Ghardaia via le code de calcul Rubar20 ". Mémoire de projet de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique-Alger, 78pages.

Berreksi, A., (1998). "Simulation des écoulements a surface libre dans des canaux a faible et a forte pente a géométries variable". Mémoire de Magister, Ecole Nationale polytechnique-Alger, 170 pages.

Degoutte, G., (2006). Diagnostic, "aménagement et gestion des rivières- hydraulique et morphologie fluviales appliquées". Tec & doc -Lavoisier, 394 pages.

Graf, W.H., (1993)."Hydraulique fluvial : Écoulement permanent uniforme et non uniforme ". Presses polytechnique et universitaire romandes, 257 pages.

Ippen, A., T., and Dawson, J., H., (1951)"Design of channels contractions", Symposium on High-Velocity Flow in Open Channels, Trans. Amer. Soc. Civ. Engrs., Vol. 116, 346 pages.

Reinauer, R., (1995) "Kanalkontraktionen bei schiessendem abfluss und stosswellenreduktion mit diffraktoren", VAM, Mitteilungen, Zürich, 140 pages.

Sturm, T. W., (1985) "Simplified design of contractions in supercritical flow", Jour. Of Hydr. Engrg., ASCE, vol. 111, No. 5, May, 875 pages.