

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-  
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE URBAINE

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : Assainissement

THEME :

**Etude d'aménagement de chaâbat Djenane Er-Ramda et El Kahla,  
commune de Hammadi Krouma (W.Skikda)**

PRESENTE PAR :

**M<sup>elle</sup> GHEZALI Sana**

Devant les membres du jury :

<b>Noms et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
<b>M<sup>r</sup> KHODJET KESBA Omar</b>	<b>Professeur</b>	<b>Président</b>
<b>M<sup>r</sup> DJELLAB Mohamed</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Membre</b>
<b>M<sup>me</sup> CHENITI Naoual</b>	<b>M.A.A</b>	<b>Membre</b>
<b>M<sup>me</sup> BERBACHE Sabah</b>	<b>M.A.A</b>	<b>Membre</b>
<b>M<sup>r</sup> AMMARI Abdelhadi</b>	<b>M.C.B</b>	<b>Promoteur</b>

Septembre 2017

## *Remerciement*

*Avant tout, Je remercie ALLAH qui a illuminé mon chemin et qui m'a donné la force et la sagesse, ainsi la bonne volonté pour achever ce modeste travail.*

*Toute ma gratitude envers mon promoteur Mr A.AMMARI, pour sa gentillesse, sa générosité, ses conseils précieux, son esprit de recherche et ses commentaires Efficaces, ses remarques, ses encouragements et son soutien. Un grand merci de m'avoir donné la chance d'être votre étudiante et de réaliser ce travail.*

*Je tiens à remercier l'ensemble des enseignants de l'ENSH, sans exception  
Pour leurs conseils durant toute ma période d'étude.*

*Je tiens à remercier Mr O.KHOJET-KESBA, d'avoir accepté de présider mon jury de soutenance, et également les membres du jury, Mme N.CHENITI, Mme S.BERBACHE, Mr M.DJELLAB de l'ENSH-Blida pour le temps consacré à l'évaluation du présent mémoire.*

*Enfin un grand merci à tout ceux qui n'ont jamais cessé de me soutenir et de m'encourager tout au long de mon parcours et de m'avoir plus d'une fois remonté le moral  
Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.*

*Sana GHEZALI*

# Dédicaces

---

*C'est avec profonde gratitude et sincère mots, que je dédie ce modeste  
travail de fin d'étude*

*A mes chers parents qui m'ont donné tout pour que  
j'avance et je réussisse.*

*A mes adorables frères ; Noufel, Abdelmounaim, Rami et Hatem.*

*A toute ma grande famille CHEZALI*

*Particulièrement a l'adorable qui a partagé avec moi ce  
mémoire depuis sa naissance Imene*

*A tous mes amis surtout de l'ENSTH sans exception et ceux qui me sont  
chers et je n'ai pas cité leurs noms.*

*«Finalement a tous ceux qui ont cru de moi et qui m'ont  
aidé ne serait ce que par un sourire sincère».*

*Sana.G*

## ملخص

الهدف من عملنا هذا هو إجراء دراسة لتطوير الشعبات من أجل حماية مدينة حمادي كروما بولاية سكيكدة ضد الفيضانات . وتنقسم الدراسة إلى ثلاث اقسام رئيسية ؛ الأولى مكرسة لدراسة المنطقة المعنية مع لمحة موجزة عن أساسيات التهيئة ، في حين أن الثانية هي التي تتعامل مع التنمية نفسها فتحصلنا على مشروع قابل للإنجاز و ملائم لحماية المدينة من الفيضانات و أخيرا قمنا بتحديد مدة و تكلفة إنجاز هذا المشروع.

## Résumé

L'objectif de notre travail est de réaliser une étude d'aménagement des Chaâbats afin de protéger la ville de Hammadi Krouma contre les inondations.

L'étude est scindée en trois grandes parties ; la première est consacrée à l'étude de la zone attitrée avec un petit aperçu sur les notions de base des aménagements alors que la deuxième est celle qui traite l'aménagement en lui-même. Ensuite nous avons abouti à un projet réalisable qui parait être le plus adapté pour garantir la protection de la ville contre les inondations, et finalement nous déterminons la durée et le coût pour la réalisation de ce projet.

## Abstract

The objective of our work is to carry out a study of development of the Chaabats in order to protect the city of Hammadi Krouma against the floods.

The study is divided into two main parts; the first is devoted to the study of the designated area with a brief overview of the basic concepts of development, while the second is the one that deals with the development itself. After that, we suggested a realizing project in order to protect the city against the floods. Finally we determine the duration and the cost for this project.

# Table des matières

Remerciement .....	I
Dédicace .....	II
Résumé .....	III
Table de matière.....	IV
Liste des figures .....	X
Liste des tableaux .....	XII
Liste des planches .....	XV
Liste des abréviations .....	XVI
Introduction générale .....	XVII

## **Chapitre I : Description De La Zone D'étude et historique des inondations**

I.1	Les inondations en Algérie.....	2
I.2	.Historique des inondations SKIKDA.....	2
I.3	Position géographique du site .....	4
I.4	Localisation de la zone d'étude.....	5
I.5	Situation démographique.....	6
I.6	Situation climatique.....	7
I.6.1	Le climat.....	7
I.6.2	Pluviomètre .....	7
I.6.3	La température.....	8
I.6.4	Le vent.....	8
I.7	Situation hydrographique .....	8
I.8	Situation géologique.....	9

I.8.1	Sismicité : .....	10
-------	-------------------	----

Conclusion

.....**Erreur !**

**Signet non défini.12**

## **Chapitre II :Etude hydrologique**

II.1	Bassin versant.....	14
II.1.1	Définition d'un bassin versant .....	14
II.1.2	Paramètres morpho métriques du bassin versant .....	14
II.1.3	Caractéristiques de forme.....	16
II.1.4	Relief.....	18
II.1.4.1	Courbe hypsométrique.....	18
II.1.4.2	Altitudes caractéristiques.....	21
II.1.4.3	Indice de pente global $I_g$ .....	22
II.1.4.4	Indice de pente de roche $I_p$ .....	23
II.1.4.5	Pente Moyenne De Bassin versant( $I_m$ ) .....	24
II.1.5	Le réseau hydrographique.....	25
II.1.5.1	Longueur du cours d'eau principale .....	26
II.1.5.2	Densité de drainage .....	27
II.1.5.3	La pente moyenne d'un cours d'eau .....	27
II.1.6	Temps de concentration .....	28
II.1.7	vitesse moyenne de l'écoulement .....	29
II.2	Analyse des données pluviométriques et calcul des différents paramètres de la série : .....	30
II.2.1	Analyse des données statistiques : .....	30
II.2.2	Les précipitations maximales journalières.....	31
II.2.3	Ajustement des séries pluviométrique .....	33
II.2.3.1	Choix de la loi d'ajustement.....	33

II.2.3.2	Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel : .....	33
II.2.3.3	Ajustement de la série pluviométrique à Loi de Galton .....	36
II.2.3.4	Ajustement de la série pluviométrique à Loi des extrêmes généralisée GEV .....	37
II.2.3.5	Test de validité d'un ajustement : .....	39
II.3	Pluie de courte durée .....	41
II.4	Etudes des crues .....	43
II.4.1	Formule de TURAZZA.....	44
II.4.2	Formule de GIANDOTTI .....	44
II.4.3	Formule de SOKOLOVOSKY .....	45
Conclusion : .....		49

### **Chapitre III : Etude des variantes d'aménagement**

III.1	Les différents aménagements répertoriés .....	52
III.2	Descriptions des chaâbats à aménager .....	53
III.3	Variantes proposées.....	55
III.4	Calcul hydraulique .....	56
III.5	Dimensionnement des ouvrages proposés: .....	57
III.5.1	Etude de la première Variante.....	58
III.5.1.1	Chaâbat Djenane Er-Ramda : .....	58
III.5.1.2	Chaâbat El Kahla : .....	60
III.5.2	Etude de la deuxième variante .....	61
III.5.2.1	Chaâbat Djenane Er-Ramda : .....	61
III.5.2.2	Chaâbat El Kahla : .....	62
III.6	Critères de choix de la variante adéquate.....	63
III.6.1	Comparaison entre les variantes étudiées .....	64
Conclusion .....		64

## **Chapitre IV : calcul de la variante retenue**

IV.1	Aménagement hydraulique: .....	65
IV.1.1	Les conditions de l'écoulement uniforme : .....	65
IV.1.2	Les formules principales de calcul.....	65
IV.1.3	Profondeur ou tirant d'eau .....	67
IV.1.4	Les paramètres géométriques : .....	67
IV.1.5	Profondeur critique $h_c$ .....	68
IV.1.8	Calcul de la ligne d'eau.....	69
IV.2	Calcul des paramètres géométrique et hydraulique de la variante choisie.....	69
IV.2.1	chaâbat Djenane ER-Ramda .....	69
IV.2.2	chaâbat El Kahla .....	79
	Conclusion.....	89

## **Chapitre V : Management de projet**

V.1	Détermination des différents volumes.....	91
V.1.1	Volume de la couche de terre végétale .....	91
V.1.2	Volume des déblais des tranchées.....	91
V.1.3	Volume du lit de propreté .....	92
V.1.4	Volume du béton armé.....	92
V.2	Devis quantitatif et estimatif des travaux .....	94
V.3	Planification .....	95
V.3.1	Définition .....	95
V.3.2	Technique de planification.....	96
V.3.2.1	Méthodes basées sur le réseau .....	96

V.3.2.2	Méthodes basées sur le graphique .....	97
V.3.3	Choix de la méthode de calcul .....	97
V.3.3.1	Les paramètres de la méthode CPM .....	97
V.3.3.2	Le chemin critique .....	98
V.3.3.3	Elaboration du réseau selon la méthode C.P.M.....	98
V.3.4	Diagramme de Gantt .....	100
Conclusion.....		101
Conclusion générale .....		102
Références et bibliographie .....		101
Annexes .....		103

## *Listes des figures*

### **Chapitre I :**

Figure I. 1 Inondations en Algérie

Figure I. 2 Résultat après inondation du 17 février 2015

Figure I. 3 Carte de la Wilaya de SKIKDA montre la situation géographique de la ville de Hammadi Krouma

Figure I. 4 Image satellitaire non traitée de Google Earth de la zone d'étude.

Figure I. 5 situation hydrographique des chaâbats Djenane er-Ramda et el Kahla dans le bassin versant de Saf Saf

Figure I. 6 extrait de la carte géologique Ramdane djamel du bassin versant safsaf

Figure I. 7 Carte De Micro Zonage Sismique Du Territoire National-RPA 99 (Version 2003)

### **Chapitre II :**

Figure II. 1 Présentation de la délimitation des bassins versants

Figure II. 2 Représentation de la décomposition des bassins versants

Figure II. 3 Courbe hypsométrique

Figure II. 4 Réseau hydrographique des bassins versants (classification SCHUMM)

Figure II. 5 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel

Figure II. 6 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton

Figure II. 7 Représentation graphique de l'ajustement de la loi de GEV

Figure II. 8 Comparaison des trois lois

Figure II. 9 Courbes des pluies -durées-fréquences

Figure II. 10 Courbes intensités -durées-fréquences

Figure II. 11 Hydrogramme de crues du bassin versant de Djenane Er-Ramda

Figure II. 12 Hydrogramme de crues du bassin versant d'El Kahla

### **Chapitre III :**

Figure III. 1 Chaâbat Djenane Er-Ramda se déversant sur une cité OPGI.(2011)

Figure III. 2 Chaâbat Djenane er-Ramda à l'intérieure du Village( 2011)

Figure III. 3 Chaâbat el Kahla à l'intérieure du Village(2011)

Figure III. 4 Représentation de zone inondable du chaâbat Djenane er-Ramda et chaâbat el Kahla

Figure III. 5 Schéma d'un divergent

### **Chapitre IV :**

Figure IV. 1 Tirant d'eau [Source : Saad BENNIS]

Figure IV. 2 Schéma hydraulique de la section (1) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 3 La ligne d'eau du (tronçon 1) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 4 Schéma hydraulique de la section (2) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 5 La ligne d'eau du (tronçon 2) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 6 Schéma hydraulique de la section (3) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 7 la ligne d'eau du (tronçon 3) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 8 Schéma hydraulique de la section (4) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 9 la ligne d'eau du (tronçon 4) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 10 Schéma hydraulique du dalot( 1) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 11 La ligne d'eau du dalot( 1 )de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 12 Schéma hydraulique du dalot (2) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 13 La ligne d'eau du dalot( 2 )de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 14 Schéma hydraulique du dalot (3) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 15 La ligne d'eau du dalot (3) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Figure IV. 16 Schéma hydraulique de la section (1) de Chaâbat El Kahla

Figure IV. 17 La ligne d'eau du tronçon (1) de Chaâbat El Kahla

Figure IV. 18 Schéma hydraulique de la section (2) de Chaâbat El Kahla

Figure IV. 19 la ligne d'eau du tronçon (2) de Chaâbat El Kahla

Figure IV. 20 Schéma hydraulique de la section (3) de Chaâbat El Kahla

Figure IV. 21 la ligne d'eau du tronçon (3) de Chaâbat El Kahla

Figure IV. 22 Schéma hydraulique du dalot (1) de Chaâbat El Kahla

Figure IV. 23 La ligne d'eau du dalot (1) de Chaâbat El Kahla

Figure IV. 24 Schéma hydraulique du dalot (2) de Chaâbat El Kahla

Figure IV. 25 La ligne d'eau du dalot (2) de Chaâbat El Kahla

Figure IV. 26 Schéma hydraulique du dalot (3) de Chaâbat El Kahla

Figure IV. 27 La ligne d'eau du dalot (3) Chaâbat El Kahla

### **Chapitre V :**

Figure V. 1 Réseau à nœud du projet d'aménagement du chaâbat Djenane er-Ramda

Figure V. 2 Réseau à nœud du projet d'aménagement du chaâbat El Kahla

Figure V. 3 Diagramme de Gantt (aménagement du chaâbat Djenane er-Ramda)

Figure V. 4 Diagramme de Gantt (aménagement du chaâbat El Kahla)

## *Liste des tableaux*

### **Chapitre I :**

Tableau I. 1 Les coordonnées des exutoires des BV

Tableau I. 2 Estimation de la population

Tableau I. 3 Pluviométrie moyenne mensuelle à la station de SKIKDA Période (1966-2002).

Tableau I. 4 Répartition de la température à la station de Skikda pour la période (1967 - 2002)

### **Chapitre II :**

Tableau II. 1 indice de compacité de chaque bassin versant

Tableau II. 2 Coefficient d'allongement de chaque BV

Tableau II. 3 les paramètres morphométriques des bassins versants.

Tableau II. 4 surface partielles des bassins par tranche d'altitudes

Tableau II. 5 les différentes altitudes caractéristiques des bassins

Tableau II. 6 Classification du relief (O.R.S.T.O.M).

Tableau II. 7 détermination de la pente de Roche

Tableau II. 8 pente moyenne de chaque bassin

Tableau II. 9 Les longueurs des cours d'eau principal des deux bassins

Tableau II. 10 densité de drainage de chaque bassin

Tableau II. 11 la pente moyenne des cours d'eau

Tableau II. 12 Temps de concentration

Tableau II. 13 Vitesse moyenne de l'écoulement

Tableau II. 14 Caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant

Tableau II. 15 Coordonnées géographiques de station météorologiques Skikda (Port)

Tableau II. 16 Précipitations maximale journalière

Tableau II. 17 Paramètres statistiques de la série

Tableau II. 18 Les paramètres de la loi de Gumbel issus de la méthode des moments

Tableau II. 19 Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel

Tableau II. 20 Les paramètres de la loi de Galton

Tableau II. 21 Les paramètres de la loi de GEV

Tableau II. 22 paramètre de test de  $\chi^2$

Tableau II. 23 Pluies et intensités de courtes durées

Tableau II. 24 Débits de crue du BV 01 par les trois méthodes (m<sup>3</sup>/s)

Tableau II. 25 Débits de crue du BV 02 par les trois méthodes (m<sup>3</sup>/s)

Tableau II. 26 Résultats de calcul des débits par la méthode de Sokolovsky pour le bassin versant de Djenane Er-Ramda

Tableau II. 27 Résultats de calcul des débits par la méthode de Sokolovsky pour le bassin versant d'El-Kahla

### **Chapitre III :**

Tableau III. 1 variantes proposées pour l'aménagement

Tableau III. 2 Valeurs du coefficient de Manning pour différents matériaux.

Tableau III. 3 Résultat de variante 1 (chaâbat Djenane er-Ramda)

Tableau III. 4 Dimensionnement des divergents

Tableau III. 5 Résultat de dimensionnement des 3 dalots

Tableau III. 6 Résultat de variante 1 (chaâbat El Kahla)

Tableau III. 7 Résultat de dimensionnement des 3 dalots de chaâbat El Kahla

Tableau III. 8 Résultat de variante 2 (chaâbat Djenane er-Ramda)

Tableau III. 9 Résultat de variante 2 (chaâbat El Kahla)

Tableau III. 10 Analyse technico-économique de chaque variante d'aménagement

### **Chapitre IV :**

Tableau VI. 1 Calcul des paramètres géométriques du canal trapézoïdal de chaâbat Djenane ER-Ramda

Tableau VI. 2 Calcul des paramètres hydrauliques du canal trapézoïdal de chaâbat Djenane ER-Ramda

Tableau VI. 3 Calcul des paramètres géométriques des dalots de chaâbat Djenane ER-Ramda

Tableau VI. 4 Calcul des paramètres hydrauliques des dalots de chaâbat Djenane ER-Ramda

Tableau VI. 5 Calcul des paramètres géométriques du canal trapézoïdal de chaâbat EL Kahla

Tableau VI. 6 Calcul des paramètres hydrauliques du canal trapézoïdal de chaâbat EL Kahla

Tableau VI. 7 Calcul des paramètres géométriques des dalots de chaâbat EL Kahla

Tableau VI. 8 Calcul des paramètres hydrauliques des dalots de chaâbat EL Kahla

### **Chapitre V :**

Tableau V. 1 Volumes des travaux de chaâbat Djenane er Ramda

Tableau V. 2 Volumes des travaux de chaâbat el Kahla

Tableau V. 3 Le devis des différents travaux de chaâbat Djenane er-Ramda

Tableau V. 4 Le devis des différents travaux de chaâbat el Kahla

Tableau V. 5 Temps de réalisation de chaque tâche (chaâbat Djenane er-Ramda )

Tableau V. 6 Temps de réalisation de chaque tâche (chaâbat el Kahla)

## ***Liste Des Planches***

Planche N°1 : Plan de situation des chaâbats Djenane er-Ramda et El Kahla.

Planche N°2 : Profiles en long des chaâbats Djenane Er-Ramda et El Kahla.

Planche N°3 : Coupes Types Des Aménagements.

## *Liste Des Abréviations*

**BV** : bassin versant

**RN** : route nationale

**ANRH** : agence nationale des ressources hydrauliques

**ONM** : Office national de la météo

**BET** : bureau d'étude

**NGA** : niveau géographique algérien

**UTM** : Universel transverse Mercator

**O.R.S.T.O.M** : Office de la recherche scientifique et technique d'outre mer (devenu IRD)

**P<sub>moy</sub>** : Pluie moyenne annuelle en [mm] ;

**Q** : débit (m<sup>3</sup>/s) ;

**I** : pente de fond du canal (%) ;

**n** : coefficient de rugosité de MANING [m<sup>1/3</sup>.s<sup>-1</sup>] ;

**I** : pente de fond du canal (%) ;

**ic** : pente critique %

**Cv** : Coefficient de variation ;

**GEV** : Generalized Extrem Value.

**Hs** : énergie spécifique

# **Introduction Générale**

## **Introduction générale**

L'inondation est le débordement d'un cours d'eau hors de son lit habituel entraînant la submersion d'espace habituellement exondés. Il s'applique aussi au remplissage d'une cuvette topographique par les eaux de ruissellement local. On parle alors d'inondation pluviale. Ces phénomènes se distinguent par la vitesse de l'eau, le volume d'eau écoulé et la hauteur d'eau.

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social. Les régions du Nord Algérien sont plus particulièrement exposées aux crues. En effet, ces dernières années les perturbations météorologiques et les changements climatiques sont provoqué des phénomènes de crues et d'inondations quasi-systématiques de certains oueds dans de nombreuses régions du pays. Dans les zones urbaines, et en absence d'aménagements adéquats, les crues peuvent constituer un danger potentiel pour les populations.

Dans ce mémoire nous allons faire un aménagement pour la protection contre ce phénomène pour la ville Hammadi Krouma traversée par chaâbat Djenane Er-Ramda et chaâbat El Kahla qui sont à l'origine d'inondations récurrentes engendrées par des précipitations intenses. A cet effet, une étude complète devrait être élaborée afin de remédier à toute contrainte pouvant être un danger pour cette zone.

L'objectif de notre travail est d'étudier l'inondation de Hammadi Krouma, et de traiter les moyens de protection contre ce phénomène par un aménagement hydraulique de protection, qu'on va dimensionner selon les données de bases et l'étude hydrologique pour la détermination de la crue de projet qu'on doit faire évacuer. Ensuite on doit proposer des variantes et adopter le système d'aménagement le plus approprié sur le plan technico-économique, qui permet l'évacuation des eaux de crues, sans causer des un risque d'inondation. Enfin on dimensionne et on projette des sections des chaâbats selon la variante retenue, ainsi que l'estimation du coût du projet.

# **Chapitre I**

**Description de la zone d'étude et  
historique des inondations**

avant d'entamer tout projet, la connaissance de la zone d'étude est primordiale ; elle nous permettra d'avoir un maximum de données, ainsi que les caractéristiques qui peuvent influencer la conception. Ce qui constituera une aide à la décision dans le choix de la variante d'aménagement.

### I.1 Les inondations en Algérie

L'Algérie connaît épisodiquement des phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique. Par conséquent, des inondations dramatiques ne sont pas toujours liées à des situations météorologiques exceptionnelles, mais dans beaucoup de cas, elles surviennent lors d'événements pluvieux ordinaires et saisonniers.

D'après le recensement effectué par les services de la protection civile, une commune sur trois est susceptible d'être inondée partiellement ou en totalité.

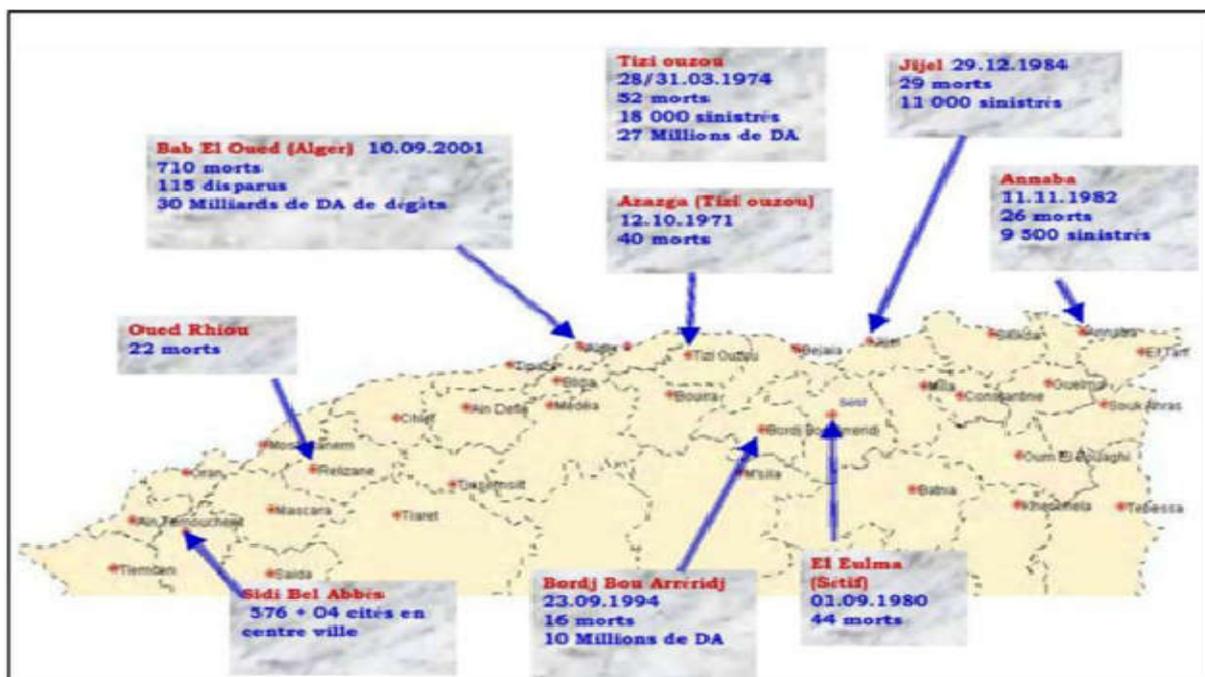


Figure I. 1 Inondations en Algérie

### I.2 .Historique des inondations SKIKDA

Cette région a connu plusieurs inondations par le passé, dont certaines étaient fort dévastatrices, notamment celle de novembre 1957, février et décembre 1984 et également celle de décembre 1990.

On présente dans ce qui suit par ordre chronologique, un bref aperçu des inondations survenues

- 03 Février 1984 : Pluies abondantes généralisées sur l'ensemble de l'Est Algérien avec un foyer de maximum sur les monts de Constantine (120 mm en 03 jours) et les monts de la Medjerda (80 mm en 03 jours) ont provoqué des inondations catastrophiques dans toutes les wilayas de l'Est Algérien..
- Dégâts:
  - Jijel: 20 morts, 500 têtes de bétail emportées et dégâts évalués à 50 millions DA.
  - Constantine: 1140 familles sinistrées 200 ha de cultures détruites
  - Skikda : 8000 habitations envahies par les eaux.
  - Guelma : 03 disparus, 157 familles sinistrées, 02 ponts détruits et canalisations d'AEP détruites à 100 %.
  - Khenchla: 777 familles sinistrées et pertes importantes en cheptel.
  - Oum El Bouaghi: 144 maisons détruites et 429 familles sinistrées.
- 29 Décembre au 01 Janvier 1985 : Pluies exceptionnelles (plus de 250 mm en 04 jours seulement et 195 mm en une journée) généralisées sur toutes l'Est Algérien provoquant des inondations très catastrophiques dans les wilayas de: Jijel, Constantine, Skikda, Guelma, Annaba et El Tarf.
- 28 octobre 2006 : forte pluie a causé un glissement de terrain et inondations à skikda
- 31 Octobre 2011 : forte pluie sous forme d'averses Les cumuls estimés dans ces régions atteindront ou dépasseront localement les 70 mm.
- 31 Aout 2012 pluie exceptionnelle dévastatrice
- 17 février 2015 situation dramatique causée par les pluies de plusieurs maisons situées sur la route menant vers la cité Zefzef, où le niveau de l'eau a atteint plus de 1,5 m de hauteur



**Figure I. 2 Résultat après inondation du 17 février 2015**

La commune de Hammadi Krouma a connu plusieurs inondations par le passé, dont certaines étaient fort dévastatrices, notamment celle de novembre 1957, février et décembre 1984 et également celle de décembre 1990, vu le développement rapide des différents centres, et la négligence ou la sous-estimation des dangers que représentent les affluents de ces oueds (petits cours d'eau), ont conduit à une extension urbaine ne tenant pas compte des dangers que représentent ces derniers. Il est déplorable, que nous constatons que, dans certains cas, des programmes d'équipements et de logement sont implantés sur les itinéraires même des cours d'eau ; sans tenir compte d'une solution de substitution pour la prise en charge des eaux torrentielles.

Le problème de protection contre les inondations ne possède pas de solution unique, car ce sont les conditions locales qui commandent. De plus la réalisation de telle protection nécessite la réunion de certain nombre de conditions qui la plupart du temps limitent les résultats, donc il faut chercher le type de protection le mieux adapté à la zone à protéger en prenant les marges de sécurité suffisantes, car les méthodes d'études ne sont pas toujours précis.

De ce fait, l'ingénieur a besoin de s'imposer une limite au débit de crues en fonction desquels il doit concevoir les ouvrages hydrauliques, donc une étude détaillée doit être lancée au niveau de notre zone dans les chapitres suivants.

### **I.3 Position géographique du site**

La ville de Hammadi Krouma qui est le chef lieu de la commune, est situé au sud est du chef lieu de la wilaya de Skikda à deux (02) kilomètres environ.

Elle est délimitée :

- Au nord par la ville de SKIKDA centre et filfila
- À l'Est par la commune Djendel Saadi Mohamed
- Au Sud par la commune de Ramdane Djamel et Beni Bechir.
- à l'Ouest par la commune d'El- Hadaïek



**Figure I. 3 Extrait de la carte de la Wilaya de SKIKDA montre la situation géographique de la ville de Hammadi Krouma**

#### **I.4 Localisation de la zone d'étude**

La localité de Hammadi Krouma est située dans la vallée du Safsaf. Les deux principaux chaâbats qui traversent le village sont chaâbat Djenane Er-Ramda et chaâbat El-Kahla, qui sont indépendantes et se déversent sur Oued Safsaf.

Les coordonnées des points des exutoires des bassins versants sont déterminées à UTM de la carte topographique de SKIKDA

Tableau I. 1 Les coordonnées des exutoires des BV

Bassin versant	Les coordonnées de l'exutoire		
	X(km)	Y(km)	Z(m)
chaâbat Djenane Er-Ramda	315.963	4079.617	10
chaâbat El-Kahla	316.145	316.145	11



Figure I. 4 Image satellitaire non traitée de Google Earth de la zone d'étude.

### I.5 Situation démographique

La population de la commune de Hammadi Krouma est répartie sur le territoire communal de manière irrégulière, la majeure partie de la population se concentre au chef-lieu dans une proportion de 60 % qui reflète également l'indice d'urbanisation. Selon les statistiques de 2008, la population est de l'ordre de 30 404 habitants. On peut estimer le nombre d'habitants pour des horizons futurs, en utilisant la loi des accroissements géométriques donnée par la relation suivante :

$$P_t = P_0 (1 + T)^N \quad (I.1)$$

Avec :

$P_t$  : Nombre d'habitants à l'horizon futur.

$P_0$  : Nombre d'habitants à l'année de base 2008

$T$  : taux d'accroissement égale d'après l'APC de Hammadi Krouma à 2.8%

$N$  : écart d'années entre les deux horizons

D'où on aura les résultats suivants :

**Tableau I. 2 Estimation de la population**

Horizon	2017	2040
Population (habitant)	38983	81970

## I.6 Situation climatique

### I.6.1 Le climat

La commune de Hammadi Krouma est caractérisée par un climat méditerranéen avec une saison pluvieuse, qui s'étale du mois de septembre qui annonce l'arrivée des premières pluies de l'automne jusqu'au mois de Mai, qui annonce la fin de la saison humide et le début de la saison sèche.

### I.6.2 Pluviomètre

Les précipitations montrent un rythme pluviométrique mensuel et annuel irrégulier d'une année à l'autre, avec une moyenne pluvieuse de 350 à 400 mm. La période humide débute du mois de novembre jusqu'à mois d'avril. La période sèche s'étale du mois de juin au mois de d'août. La pluviométrie annuelle dépasse 720 mm, les précipitations moyennes mensuelles sont représentées dans le tableau II.2 ci-après :

**Tableau I. 3 Pluviométrie moyenne mensuelle à la station de SKIKDA Période (1966-2002).**

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
Moy (mm)	36.2	73.8	92.6	122.7	104.8	89.8	71.5	64.4	35.6	12.7	2.6	9.0

Source (ANRH Constantine)

Selon le tableau I.2, la plus grande valeur de précipitation moyenne mensuelle, correspond au mois de Décembre (122.7 mm), par contre la plus faible valeur correspond au mois de juillet avec 2.6 mm.

### I.6.3 La température

Les données recueillies à la station de Skikda font ressortir une température moyenne annuelle de 20°C. Dans le tableau ci-après, nous représentons les températures moyennes mensuelles ainsi que les températures maximales et minimales.

Tableau I. 4 Répartition de la température à la station de Skikda pour la période 1967 - 2002

mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
<b>Tmin °C</b>	20.9	18.2	13.3	10.7	10.4	10.4	10.5	13.7	16	19.3	22.3	22.8
<b>Tmoy °C</b>	22.2	18.8	15.4	11.5	11.3	11.5	12.7	14.7	17.5	20.2	23.4	24
<b>Tmax °C</b>	23.3	20.1	16.6	12.8	12.9	12.8	14.2	16	18.3	21.1	24.7	24.4

Source : station de Skikda

La région se caractérise par un été chaud et un hiver froid, tel que la valeur moyenne annuelle est de 20°C, donc à partir des valeurs montrées dans le tableau ci-dessus, on peut distinguer deux saisons :

- Une saison froide, allant d'Octobre à Mai, avec une température moyenne inférieure à la moyenne annuelle. Le mois de Janvier représente le mois le plus froid avec une température moyenne de 11,3 °C.
- Une saison chaude, allant de juin à septembre, avec une température moyenne supérieure à la moyenne annuelle. Le mois le plus chaud est marqué par le mois d'Aout avec une température moyenne de 24 °C.

### I.6.4 Le vent

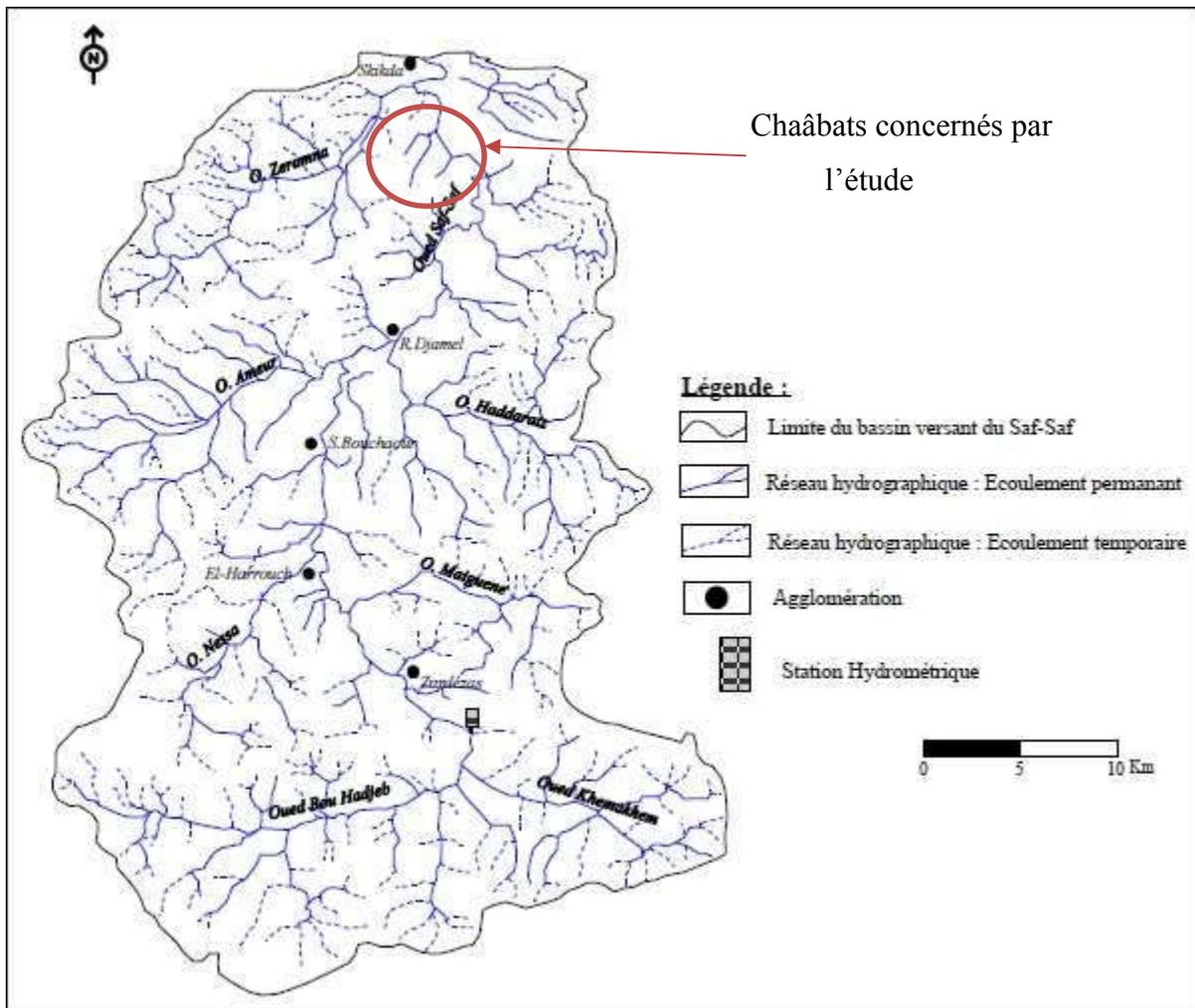
Cette région est caractérisée par des vents chauds et secs en Eté, froids et secs en Hiver. La vitesse moyenne des vents est considérée comme « modérée » avec une moyenne de 2.9 m/s.

## I.7 Situation hydrographique

Le réseau hydrographique est défini comme étant l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. C'est l'une des caractéristiques les plus importantes du bassin.

Les deux principaux chaâbats qui traversent la ville sont chaâbat El-Kahla et chaâbat Djenane Er-Ramda. Les deux chaâbats sont indépendantes et se déversent sur Oued Safsaf.

Pour bien illustrer la situation hydrogéologique, on présente la carte suivante.



**Figure I. 5 situation hydrographique des chaâbats Djenane er-Ramda et el Kahla dans le bassin versant de Saf Saf**

### I.8 Situation géologique

La lecture de la carte géologique nous a permis d'apporter que le périmètre de l'étude présente des terrains pratiquement plats, la pente est légèrement inférieure à 2%

Une nappe superficielle à près de 2 m de profondeur est signalée.

Quelques rares lignes d'écoulement des eaux très peu profondes indiquent un très mauvais drainage des eaux de surface, et même des inondations et des stagnations des eaux à chaque période de pluie.

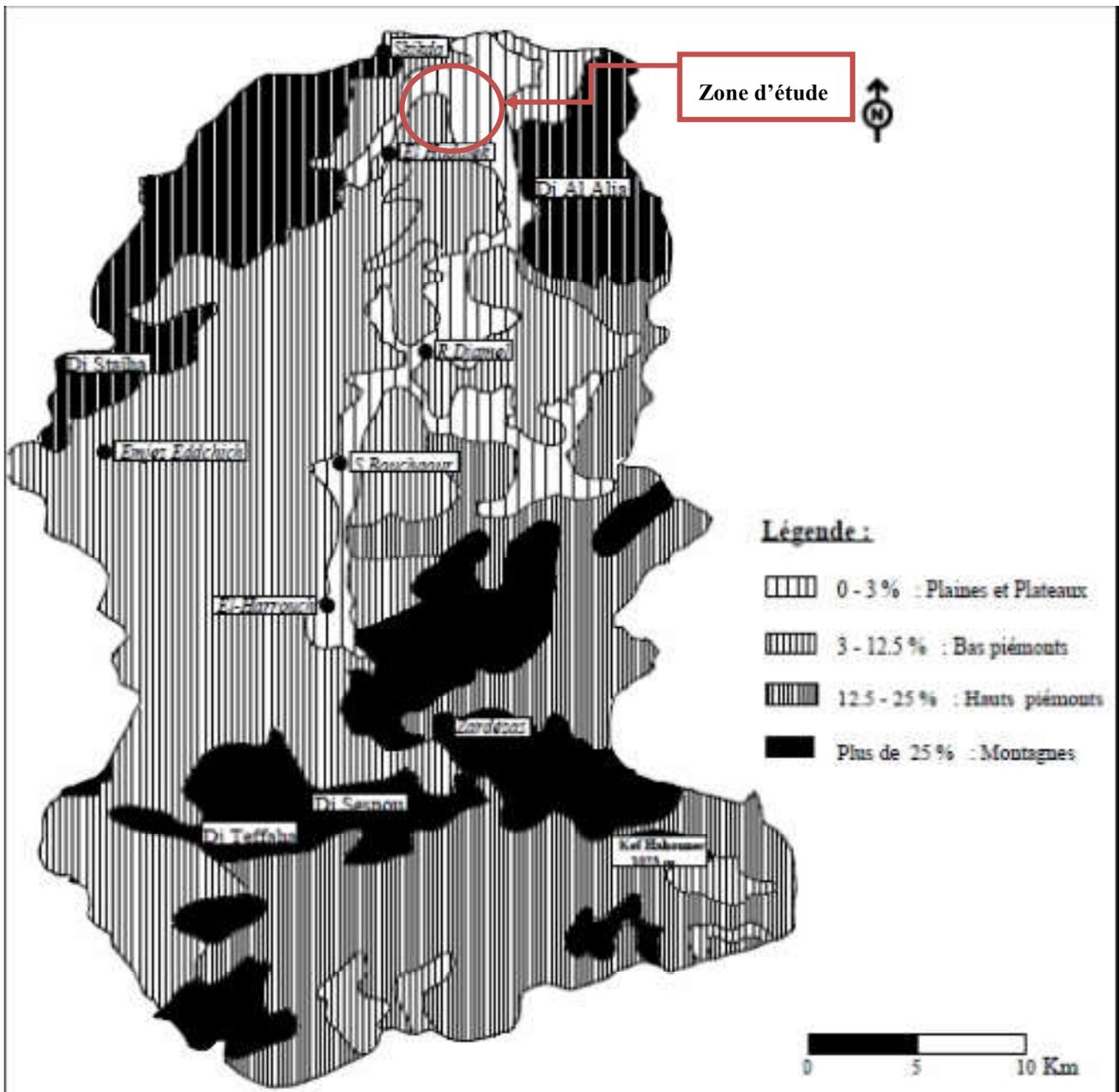


Figure I.6 extrait de la carte géologique Ramdane djamel du bassin versant safsaf

### I.8.1 Sismicité :

Les séismes ou tremblements de terre sont des secousses qui affectent l'écorce terrestre leur intensité est très variable.

Certains séismes sont des frémissements que seuls les appareils spéciaux appelés sismographes, peuvent les mettre en évidence.

➤ **les effets géologiques des séismes :**

Les grands séismes provoquent à la surface du sol

- L'ouverture de nombreuses fissures ;
- La formation de failles c'est à dire des cassures le long desquelles s'effectuent des déplacements de terrains, ces déplacements sont verticaux, et parfois horizontaux.
- Des modifications dans le trajet des cours d'eau.
- La sismicité est le nombre et l'intensité des séismes ayant lieu dans une région.
- La prospection sismique ou la sismique utilise des ondes issues d'explosions soit réfractées (sismique réfraction) soit réfléchit (sismique réflexion).

Le territoire national est divisé en cinq (05) zones de sismicité croissante définies sur la carte des zones sismiques.

- Zone 0 : Sismicité Négligeable.
- Zone I : Sismicité Faible.
- Zone IIa et IIb : Sismicité Moyenne
- Zone III : Sismicité Elevée.

La zone d'étude, appartient à la wilaya de SKIKDA et est classée en zone "2" (sismicité moyenne) dans laquelle les règles parasismiques devront être appliquées lors de l'élaboration des projets de construction importante ou de grande envergure.

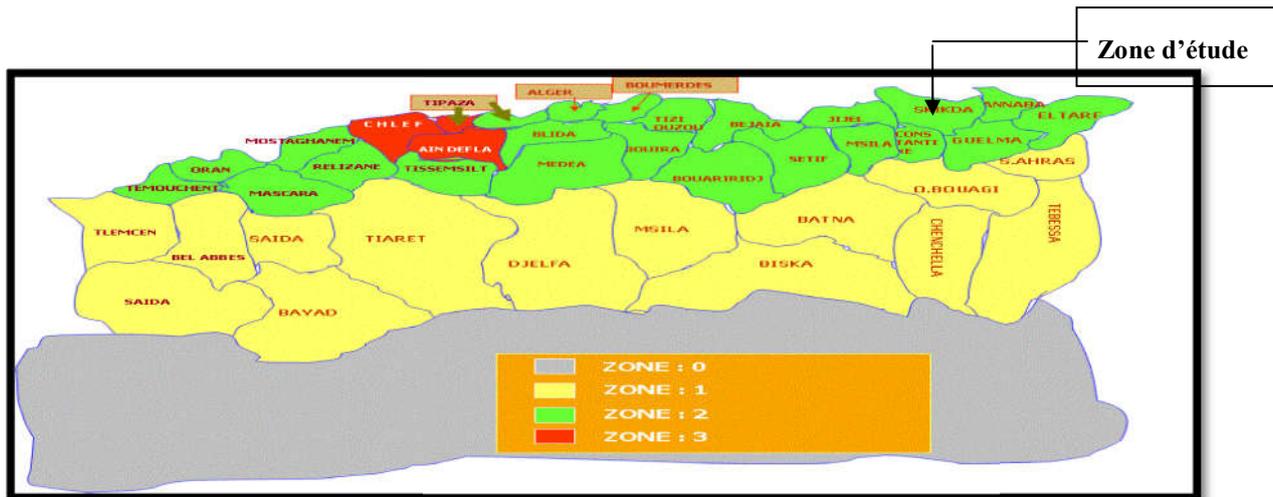


Figure I. 7 carte De Micro Zonage Sismique Du Territoire National-RPA 99 (Version 2003)

## Conclusion

Une présentation fiable de la zone d'étude s'avère d'une grande importance, vu le taux d'informations qu'elle nous fournit, ce qui permet de bien évaluer les risques qui peuvent être engendrés par un phénomène naturel comme les crues. Dans cette partie, nous avons défini les données nécessaires concernant notre région du point de vue climatique, géologie, démographie ainsi que la situation hydrographique. Ces données nous serviront pour entamer notre étude d'aménagement dans les chapitres suivants.

# **Chapitre II**

## **Etude hydrologique**

L'hydrologie est la science qui étudie les eaux terrestres, leur origine, leur mouvement et leur répartitions sur notre planète, leurs propriétés physiques et chimiques, leurs interactions avec l'environnement physique et biologique.

Le but de l'étude hydrologique est de calculer évaluer ou encore estimer avec la plus grande précision possible, les paramètres hydrologiques servant pour la détermination des volumes d'eau à évacuer en période de crue.

## **II.1 Bassin versant**

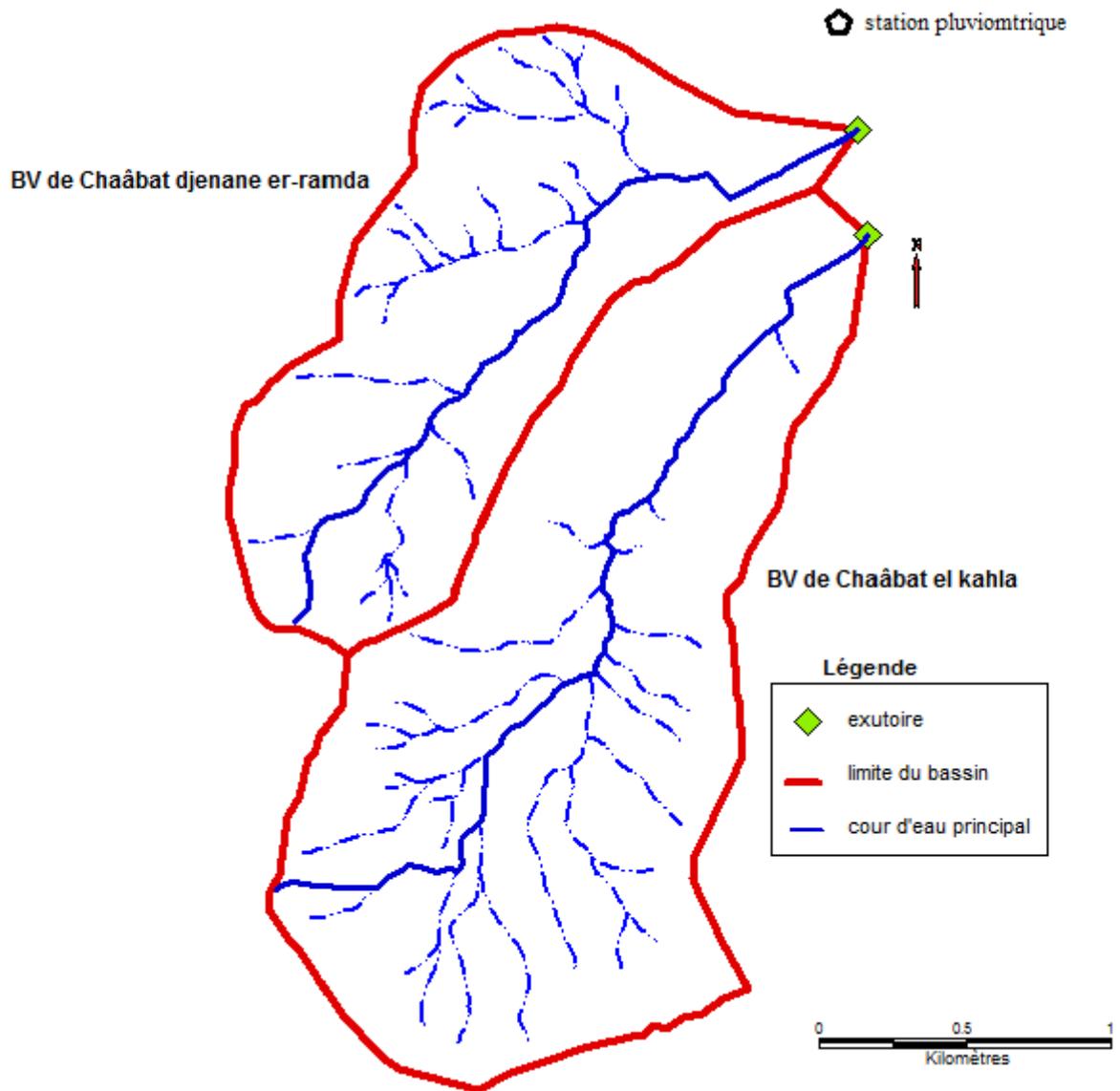
### **II.1.1 Définition d'un bassin versant**

Est un espace géographique dont les apports hydriques naturels sont alimentés exclusivement par les précipitations, et dont les excès en eau ou en matières solides transportées par l'eau forment, à un point unique de l'espace, une embouchure ou un exutoire.

Il est aussi défini comme la totalité de la surface drainée par une cour d'eau et ses affluents en amont de cette section.

### **II.1.2 Paramètres morpho métriques du bassin versant**

L'étude morphométrique permet une étude complémentaire du relief et une meilleure définition des paramètres physiques du bassin versant. A cet effet, en nous basant sur les cartes d'état-major à l'échelle 25 000<sup>ème</sup> de Skikda, que nous avons scanné, nous avons défini les différentes données et paramètres physiques des bassins versants de chaâbat Djenane Er-Ramda et chaâbat el Kahla.



**Figure II. 1 Présentation de la délimitation des bassins versants**

### **A. Superficie (S)**

La surface du bassin versant est le paramètre le plus important des caractéristiques. Elle est obtenue par le logiciel MAPINFO sur la carte topographique de SKIKDA, échelle 1/25 000. La surface «S» d'un bassin versant s'exprime généralement en « km<sup>2</sup> ».

### **B. Périmètre (P)**

Le périmètre est défini par la ligne des crêtes formant le contour du bassin versant il a été déterminé également par le logiciel cité précédemment. Le périmètre d'un bassin versant est exprimé en « Km ».

### II.1.3 Caractéristiques de forme

La forme du bassin versant influence fortement sur l'écoulement global et notamment le temps de réponse du bassin versant.

Un bassin versant allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin ramassé même s'ils sont placés dans les mêmes conditions météorologiques. Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu. Mais aussi de comparer les bassins versants entre eux.

#### A. L'indice de compacité de Gravelius « $K_C$ »

L'indice de compacité «  $K_C$  » définit l'allure de l'écoulement général en relation avec la forme du bassin versant. Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi} \cdot S} \approx 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (\text{II.1})$$

P : Périmètre du bassin versant en (km).

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

Si  $K_C = 1 \Rightarrow$  bassin ramassé.

Si  $K_C > 1 \Rightarrow$  bassin allongé.

Pour notre cas :

**Tableau II. 1 indice de compacité de chaque bassin versant**

BV	Kc		forme du BV
<b>BV de Chaâbat djenane er-Ramda</b>	1,334	$K_C > 1$	Allongée
<b>BV de Chaâbat el Kahla</b>	1,299	$K_C > 1$	Allongée

#### B. Coefficient d'allongement :

Le coefficient d'allongement est déterminé par la formule suivante :

$$K_p = \frac{P^2}{S} \quad (\text{II.2})$$

A.N :

**Tableau II. 2 Coefficient d’allongement de chaque BV**

BV	K <sub>p</sub>
<b>BV de Chaâbat Djenane er-Ramda</b>	22,347
<b>BV de Chaâbat el Kahla</b>	21,197

**C. Rectangle équivalent**

Ce paramètre permet la comparaison facile des bassins entre eux du point de vue l’influence de leurs caractéristiques sur l’écoulement. On posera comme hypothèse que l’écoulement sur un bassin versant donne est approximativement le même, a conditions climatiques égales, que sur un rectangle de même surface, ayant le même coefficient Kc et la même répartition hypsométrique ; étant entendu que la répartition des sols et de végétation ainsi que la répartition de drainage, sont respectés dans les différents aires entre les courbes de niveau.

Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » définit respectivement par les formules suivantes :

- La longueur du rectangle équivalent :

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{Kc} \right)^2} \right) \tag{II.3}$$

- La largeur du rectangle équivalent :

$$l = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{Kc} \right)^2} \right) \tag{II.4}$$

Le tableau suivant englobe les paramètres morphométriques du bassin versant calculés précédemment :

**Tableau II. 3 les paramètres morphométriques des bassins versants.**

BV	Surface (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)	Kc	L (km)	l (km)
<b>Djenane er-Ramda</b>	2,034	6,742	1,334	2,585	0,787
<b>el Kahla</b>	3,332	8,404	1,299	3,143	1,060

### II.1.4 Relief

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

- La courbe hypsométrique.
- Les altitudes caractéristiques.
- L'indice de pente globale.
- Indice de pente de roche  $I_p$
- L'indice de pente moyenne.

#### II.1.4.1 Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

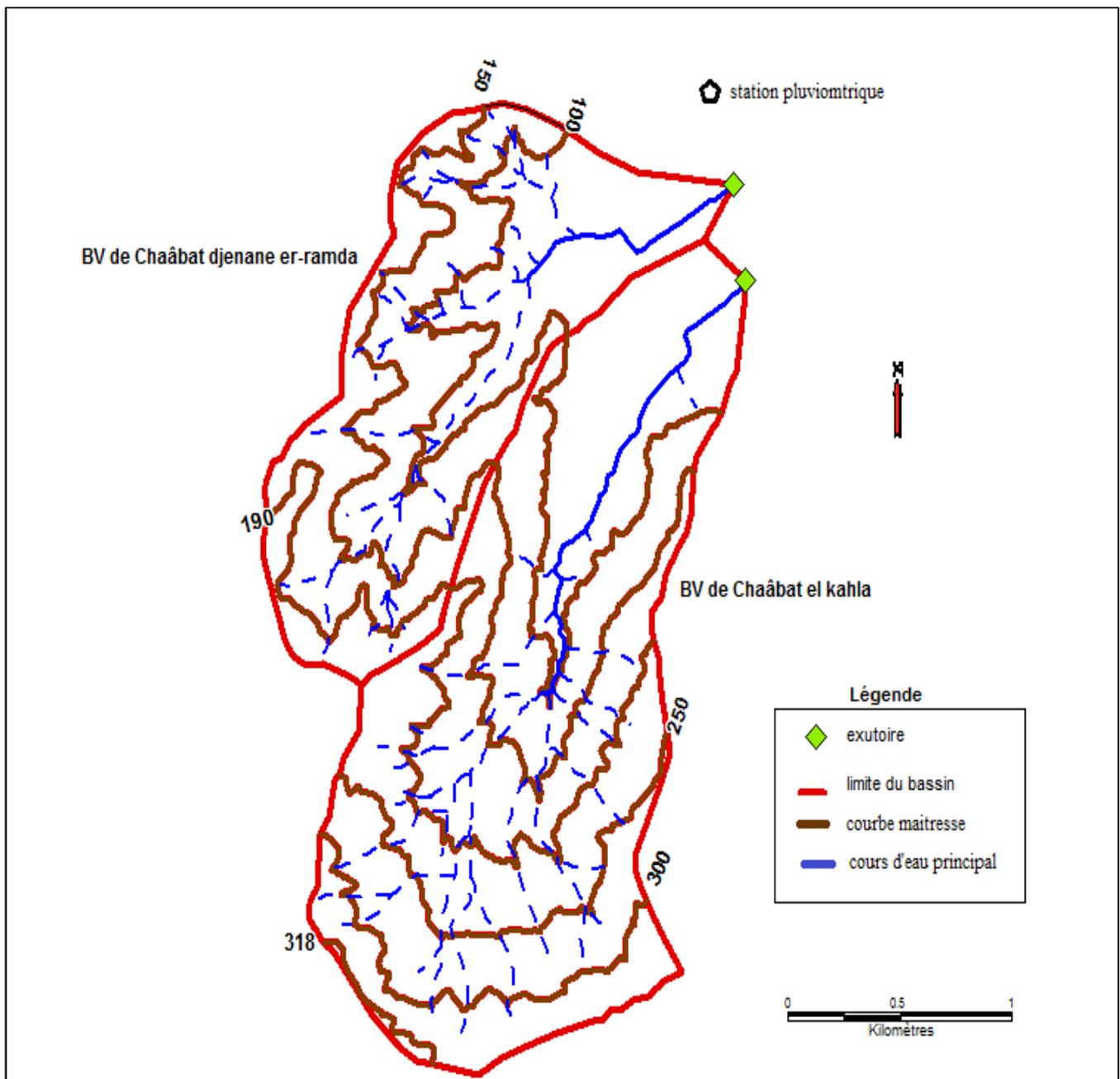


Figure II. 2 Représentation de la décomposition des bassins versants

Les résultats des surfaces partielles des bassins par tranche d'altitudes sont donnés par le tableau suivant :

Tableau II. 4 Surface partielles des bassins par tranche d'altitudes

N°	Côtes		Superficies	Taux	Superficie	Taux
			partielles	partiels	cumulées	cumulés
	m	NGA	km <sup>2</sup>	%		%
<b>BV de Chaâbat Djenane Er-Ramda</b>						
1	190	150	0,179	8,8%	0,179	8,8%
2	150	100	0,502	24,7%	0,680	33,4%
3	100	50	0,693	34,1%	1,373	67,5%
4	50	10	0,661	32,5%	2,034	100,0%
Totaux			2,034	100,0%	2,034	100,0%
<b>BV de Chaâbat El-Kahla</b>						
1	318	300	0,021	0,6%	0,021	0,6%
2	300	250	0,363	10,9%	0,384	11,5%
3	250	200	0,497	14,9%	0,881	26,4%
4	200	150	0,619	18,6%	1,500	45,0%
5	150	100	0,579	17,4%	2,079	62,4%
6	100	50	0,547	16,4%	2,626	78,8%
7	50	11	0,706	21,2%	3,332	100,0%

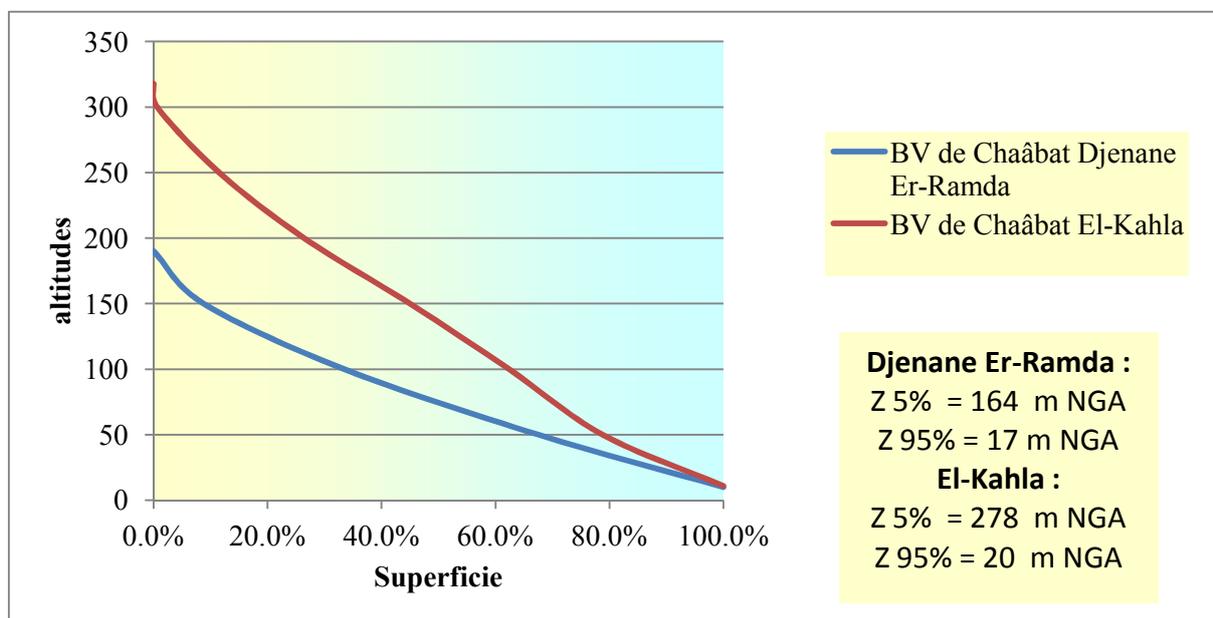


Figure II. 3 Courbe hypsométrique

### II.1.4.2 Altitudes caractéristiques

#### a) L'altitude minimale et maximale

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

➤ *Bassin versant de Chaâbat Djenane Er-Ramda :*

$$H_{\max} = 190 \text{ m NGA} \quad , \quad H_{\min} = 10 \text{ m NGA}$$

➤ *Bassin versant de Chaâbat El-Kahla :*

$$H_{\max} = 318 \text{ m NGA} \quad , \quad H_{\min} = 11 \text{ m NGA}$$

#### b) L'altitude moyenne du bassin versant

L'altitude moyenne est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en œuvre de modèles hydrologiques. Elle est Définie comme suit :

$$H_{\text{moy}} = \sum \frac{S_i \cdot H_i}{S} \tag{II.5}$$

Où :

**H<sub>moy</sub>** : altitude moyenne du bassin [m]

**Si** : aire comprise entre deux courbes de niveau [km<sup>2</sup>]

**Hi** : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m]

**S** : superficie totale du bassin versant [km<sup>2</sup>]

A.N :

➤ *Bassin versant de Chaâbat Djenane Er-Ramda :* H<sub>moy</sub>=81,056 m NGA.

➤ *Bassin versant de Chaâbat El-Kahla :* H<sub>moy</sub>=138,48 m NGA.

**c) L'altitude médiane**

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

D'après la courbe hypsométrique on a :

- *Bassin versant de Chaâbat Djenane Er-Ramda* :  $H_{50\%} = 75$  m.
- *Bassin versant de Chaâbat El-Kahla* :  $H_{50\%} = 137$  m.

Le tableau ci-dessous présente les différentes altitudes :

**Tableau II. 5 Les différentes altitudes caractéristiques des bassins**

<b>Altitudes</b>	<b>H max</b>	<b>H min</b>	<b>H 5%</b>	<b>H 50%</b>	<b>H 95%</b>	<b>H moy</b>
<b>BV 1</b>	190	10	164	75	17	81,06
<b>BV 2</b>	318	11	278	137	20	138,48

**II.1.4.3 Indice de pente global  $I_g$**

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du sous bassin et la longueur du rectangle équivalent. On prend deux points S1, S2 sur l'axe des abscisses tels que 90% de la surface du sous bassin soit comprise entre ces deux valeurs et que 5% de la surface totale du sous bassin soit inférieure à S1 et 5% soit supérieure à S2

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \tag{II.6}$$

$H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  sont lues à partir de la courbe hypsométrique

**L** : longueur du rectangle équivalent.

AN :

- *Bassin versant de Chaâbat Djenane Er-Ramda* :  $I_g = 0,057$
- *Bassin versant de Chaâbat El-Kahla* :  $I_g = 0,082$

**Tableau II. 6 Classification du relief (O.R.S.T.O.M).**

Relief très faible	$I_g \leq 0,002$
Relief faible	$0,002 < I_g \leq 0,005$
Relief assez faible	$0,005 < I_g \leq 0,01$
Relief modéré	$0,01 < I_g \leq 0,02$
Relief assez fort	$0,02 < I_g \leq 0,05$
Relief fort	$0,05 < I_g \leq 0,1$
Relief très fort	$0,1 \leq I_g$

Pour notre cas, BV1 :  $I_g = 0.057$  et BV2 :  $I_g = 0.082$ ,

Donc d'après le tableau II.6, notre relief est classé type fort

#### **II.1.4.4 Indice de pente de roche $I_p$**

$I_p$  est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces comprises entre 2 courbes de niveau  $H_i$  est  $H_{i-1}$ . Il est donné par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sqrt{\sum S_i (H_i - H_{i-1})} \quad \text{(II.7)}$$

Où :

**L** : longueur du rectangle (Km).

**Si** : Surface partielle (%) comprise entre 2 courbe de niveau  $H_i$  et  $H_{i-1}$  (m).

La pente roche est déterminée en se basant sur le tableau suivant :

**Tableau II. 7 Détermination de la pente de Roche**

N°	Côtes		Superficies partielles km <sup>2</sup>	Hi m	Hi*Si	Hmoy m NGA	Hi-Hi-1 m	Si*(Hi-Hi-1)
	m	NGA						
<b>BV de Chaâbat Djenane Er-Ramda</b>								
1	190	150	0,179	170	30,345	81,056	40	7,140
2	150	100	0,502	125	62,713		50	25,085
3	100	50	0,693	75	51,960		50	34,640
4	50	10	0,661	30	19,818		40	26,424
<b>Totaux</b>			2,034		164,836			93,289
<b>BV de Chaâbat El-Kahla</b>								
1	318	300	0,021	309,0	6,572	138,48	18	0,383
2	300	250	0,363	275,0	99,825		50	18,150
3	250	200	0,497	225,0	111,735		50	24,830
4	200	150	0,619	175,0	108,308		50	30,945
5	150	100	0,579	125,0	72,413		50	28,965
6	100	50	0,547	75,0	41,010		50	27,340
7	50	11	0,706	30,5	21,536		39	27,538
<b>Totaux</b>			3,332		461,398			158,151

AN :

- *Bassin versant de Chaâbat Djenane Er-Ramda* : Ip=6,007
- *Bassin versant de Chaâbat El-Kahla* : Ip= 7,093

#### II.1.4.5 Pente Moyenne De Bassin versant(Im)

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

$$I_m = \frac{\Delta H.(0,5l_1 + l_2 + l_3 + \dots + 0,5l_n)}{S} \quad \text{(II.8)}$$

Où :

**Im** : pente moyenne [%].

**li** : longueur totale de courbes de niveau [km].

**ΔH**: équidistance entre deux courbes de niveau [Km].

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

**Tableau II. 8 Pente moyenne de chaque bassin**

<b>BV</b>	<b>Im</b>
<b>Djenane Er-Ramda</b>	0,187
<b>El-Kahla</b>	0,193

### **II.1.5 Le réseau hydrographique**

La connaissance du réseau hydrographique, nous permet de bien se renseigner sur le mode de drainage des bassins versants, ainsi que leurs aptitudes au ruissellement.

Egalement, elle permet la détermination de certains paramètres liés au ruissellement, tels que la densité de drainage.

Pour le calcul de ces paramètres, il a été procédé à une classification et numérotation des Talwegs en utilisant la méthode de SCHUMM, la plus utilisée pour les petits bassins versants.

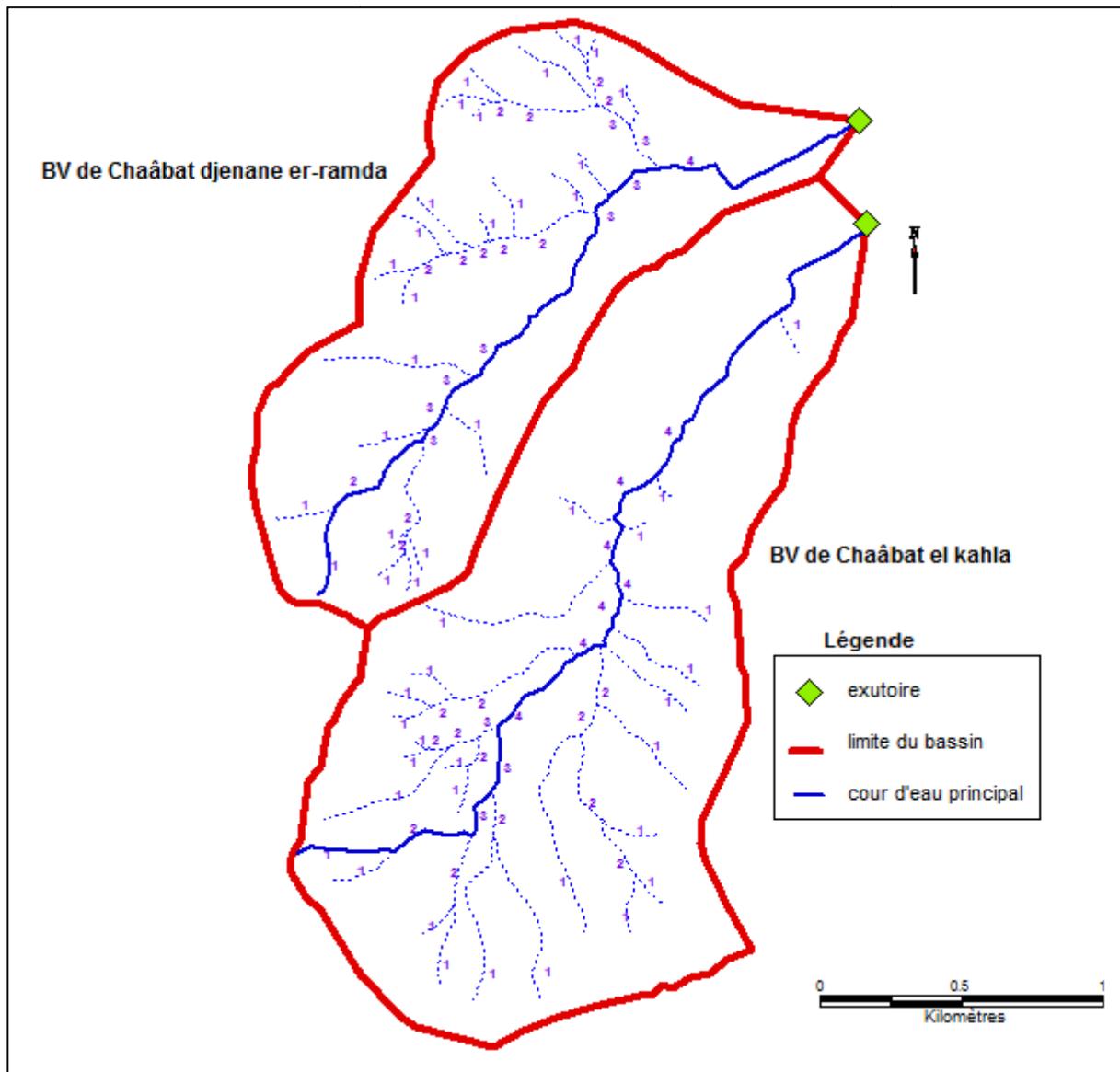


Figure II. 4 Réseau hydrographique des bassins versants (classification SCHUMM)

II.1.5.1 Longueur du cours d'eau principale

Les longueurs des cours d'eau principal mesuré dans les deux bassins de la région d'étude sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II. 9 Les longueurs des cours d'eau principal des deux bassins

bassin versant	surface (km <sup>2</sup> )	périmètre (km)	longueur principal (km)
BV de Chaâbat Djenane er-Ramda	2.034	6.742	2.967
BV de Chaâbat el Kahla	3.332	8.404	3.577

### II.1.5.2 Densité de drainage

La densité de drainage, est définie comme étant le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs  $L_i$  du bassin, à la surface totale  $S$ . Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en  $Km / Km^2$ .

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \quad (II.9)$$

**Tableau II. 10 Densité de drainage de chaque bassin**

bassin versant	surface (km <sup>2</sup> )	Longueur de cours d'eau (km)	Densité de drainage (km/km <sup>2</sup> )
<b>BV de Chaâbat Djenane er-Ramda</b>	2.034	9.905	4.870
<b>BV de Chaâbat el Kahla</b>	3.332	13.837	4.153

### II.1.5.3 La pente moyenne d'un cours d'eau

Ce paramètre a pour but la détermination de vitesse d'écoulement jusqu'à arriver à l'exutoire du bassin, donc elle a une influence sur le temps de concentration et par conséquent, elle agit sur le débit maximal observé.

$$I = \frac{\Delta H_{max}}{L} \quad (II.10)$$

Où :

**I** : Pente moyenne du cours d'eau [m/m].

**$\Delta H_{max}$**  : Dénivellation maximale de la rivière [m].

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

**A.N** :

**Tableau II. 11 La pente moyenne des cours d'eau**

bassin versant	Lp (km)	Hmax-Hmin (m)	I moy
<b>BV de Chaâbat Djenane er-Ramda</b>	2.967	155	0.0522
<b>BV de Chaâbat el Kahla</b>	3.577	257	0.0718

### II.1.6 Temps de concentration

Le temps de concentrations des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire de la goutte d'eau la plus éloignée pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier.

Pour la définition du temps de concentration, et en absence de formule spécifique pour la région nous avons appliqué la formule empirique qui se rapproche au mieux de notre contexte.

**Tableau II. 12 Temps de concentration**

Auteurs	Formules	Temps de concentration (heure)	
		BV N°1	BV N°2
<b>Ventura</b>	$0,1272 * \frac{\sqrt[2]{S}}{\sqrt{I}}$	0.794	0.866
<b>CALIFORNIA</b>	$\left(\frac{0.87 \cdot L^3}{H}\right)^{0.386}$	0.450	0.455
<b>Kirpich</b>	$0,000325 * \frac{L^{0,77}}{(H_{moy})^{0,385}}$	0.478	0.488

Avec :

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

L : La longueur du talweg principale (Km).

$$H = H_{moy} - H_{min} \quad (II.11)$$

H<sub>moy</sub> : L'altitude moyenne du bassin versant (m).

H<sub>min</sub> : L'altitude minimale du bassin versant (m).

I : Pente moyenne du talweg principal.

➤ **Comparaison:**

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

### II.1.7 vitesse moyenne de l'écoulement

Cette vitesse est donnée par la formule suivante :

$$V_R = \frac{L}{T_c} \quad \text{(II.12)}$$

AN :

**Tableau II. 13 Vitesse moyenne de l'écoulement**

bassin versant	Lp (km)	temps de concentration (h)	Vitesse de ruissellement (km/h)
<b>BV de Chaâbat djenane er-Ramda</b>	2.967	0.478	6.211
<b>BV de Chaâbat el Kahla</b>	3.577	0.488	7.331

**Tableau II. 14 Caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant**

Caractéristiques		BV.N°1	BV.N°2
<b>1-Morphométrie</b>			
Surface	(Km <sup>2</sup> )	2.034	3.332
Périmètre	(Km)	6.742	8.404
Rectangle équivalent	Longueur Km	2.585	3.143
	Largeur Km	0.787	1.060
L'indice de compacité de Gravelius « Kc »		1.334	1.299
<b>2-Les reliefs</b>			
Les altitudes caractéristiques.			
Altitude maximale	(m)	190	318
Altitude minimale	(m)	10	11
Altitude moyenne	(m)	81.07	138.48

**Suite du tableau II.14**

<b>Caractéristiques</b>	<b>BV.N°1</b>	<b>BV.N°2</b>
Altitude médiane (m)	75	137
Altitude 5% (m)	164	278
Altitude 95% (m)	17	20
Indice de pente globale (%)	5.69	8.21
Indice de pente de roche	6.007	7.093
Pente moyenne du bassin versant (%)	18.66	19.27
<b>3-Le réseau hydrographique</b>		
Densité de drainage (km /km <sup>2</sup> )	4.87	4.153
Pente moyenne du cours d'eau (%)	5.22	7.18
Longueur du cours d'eau principal (km)	2.967	3.577
Temps de concentration (h)	0.478	0.488
Vitesse moyenne de ruissellement (km /h)	6.211	7.331

**II.2 Analyse des données pluviométriques et calcul des différents paramètres de la série :**

**II.2.1 Analyse des données statistiques :**

Les précipitations représentent un facteur essentiel dans le bilan hydrologique, sa quantification est faite au niveau de plusieurs stations pluviométriques implantées à travers le territoire algérien dans le but d'avoir une information précise sur ces paramètres.

Nous prenons comme base de calcul la série pluviométrique de la station expérimentale de Skikda (**Port**) qui se trouve à 5 km de la zone d'étude dont l'indication de la station **355** sur une période de fonctionnement de 45 ans (de la période 1969-1970 à 2013-2014), qui nous a été fournie par l'ANRH d'Alger et représenter dans le tableau (II.16).

**Tableau II. 15 Coordonnées géographiques de station météorologiques Skikda (Port)**

<b>Station</b>	<b>Indicatif</b>	<b>Latitude (N)</b>	<b>Longitude Est</b>	<b>Altitude (m)</b>
<b>Skikda</b>	355	36° 53'	06° 54' E	1

### **II.2.2 Les précipitations maximales journalières**

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie de durée et de période de retour.

**Tableau II. 16 Précipitations maximale journalière**

<b>Années</b>	<b>P<sub>jmax</sub>(mm)</b>
1969-1970	68.5
1970-1971	79.5
1971-1972	107.4
1972-1973	99.5
1973-1974	132.4
1974-1975	89.9
1975-1976	102.6
1976-1977	119.2
1977-1978	110.1
1978-1979	123.4
1979-1980	114.6
1980-1981	104
1981-1982	108.1
1982-1983	118.6
1983-1984	126.8
1984-1985	159.8
1985-1986	96.8
1986-1987	122.6
1987-1988	105
1988-1989	100.9
1989-1990	113.4
1990-1991	127.6
1991-1992	137.3
1992-1993	130.6
1993-1994	117.3
1994-1995	146.4
1995-1996	131.1
1996-1997	104.8
1997-1998	149.2

**Suite du tableau II.16**

<b>Années</b>	<b>P<sub>jmax</sub>(mm)</b>
1998-1999	115.4
1999-2000	162.5
2000-2001	120.2
2001-2002	80.9
2002-2003	143.7
2003-2004	128.8
2004-2005	121.4
2005-2006	136.1
2006-2007	141.6
2007-2008	129.4
2008-2009	84.7
2009-2010	160.6
2010-2011	151
2011-2012	125.1
2012-2013	101.3
2013-2014	149.2

Source ANRH Alger

Caractéristiques de la série (avec N = 45 ans)

**Tableau II. 17 Paramètres statistiques de la série**

<b>Nombre d'observations</b>	45
<b>Maximum</b>	162.5
<b>Minimum</b>	68.50
<b>Moyenne</b>	120.0
<b>Ecart-type</b>	22.29
<b>Médiane</b>	120.2

## II.2.3 Ajustement des séries pluviométrique

### II.2.3.1 Choix de la loi d'ajustement

L'analyse fréquentielle d'une longue série de valeurs maximales permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée. La validité des résultats de l'analyse fréquentielle dépendra du choix du modèle fréquentiel.

À l'aide de logiciel Hyfran on a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières à la loi de :

- Gumbel (doublement exponentielle),
- Galton (log normale),
- GEV ainsi que les tests d'adéquation.

### II.2.3.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel :

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-x_0)}} \quad (\text{II.13})$$

**F(x)** : Fréquence au dépassement de la valeur de x ;

**$\alpha$ ,  $x_0$**  : Coefficients d'ajustement ;

-  **$x_0$**  est le paramètre de position (mode) ;

-  **$\alpha$**  est le paramètre d'échelle différent de zéro et positif appelé aussi « gradex » quand il se trouve sous forme  $1/\alpha$  .

✓ Par un changement de variable  $y = \alpha (x-x_0)$  ; la loi de Gumbel s'écrit :

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

$y = \alpha (x-x_0)$  est la variable réduite de Gumbel.

Et l'équation de la droite de Gumbel est  $x = (1/\alpha) y + x_0$ .

- ✓ La fréquence expérimentale en utilisant la formule de Hazen qui s'applique pour les lois normales et quasi normales :

$$F(x) = \frac{m - 0.5}{n} \times 100 \quad \text{(II.15)}$$

- **m** : Numéro d'ordre ;

- **n** : Taille de la série ;

- ✓ La variable de Gumbel pour chaque valeur observée ;

$$y = -[Ln(-LnF(x))] \quad \text{(II.16)}$$

➤ **Ajustement par la méthode des moments**

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 18 Les paramètres de la loi de Gumbel issus de la méthode des moments**

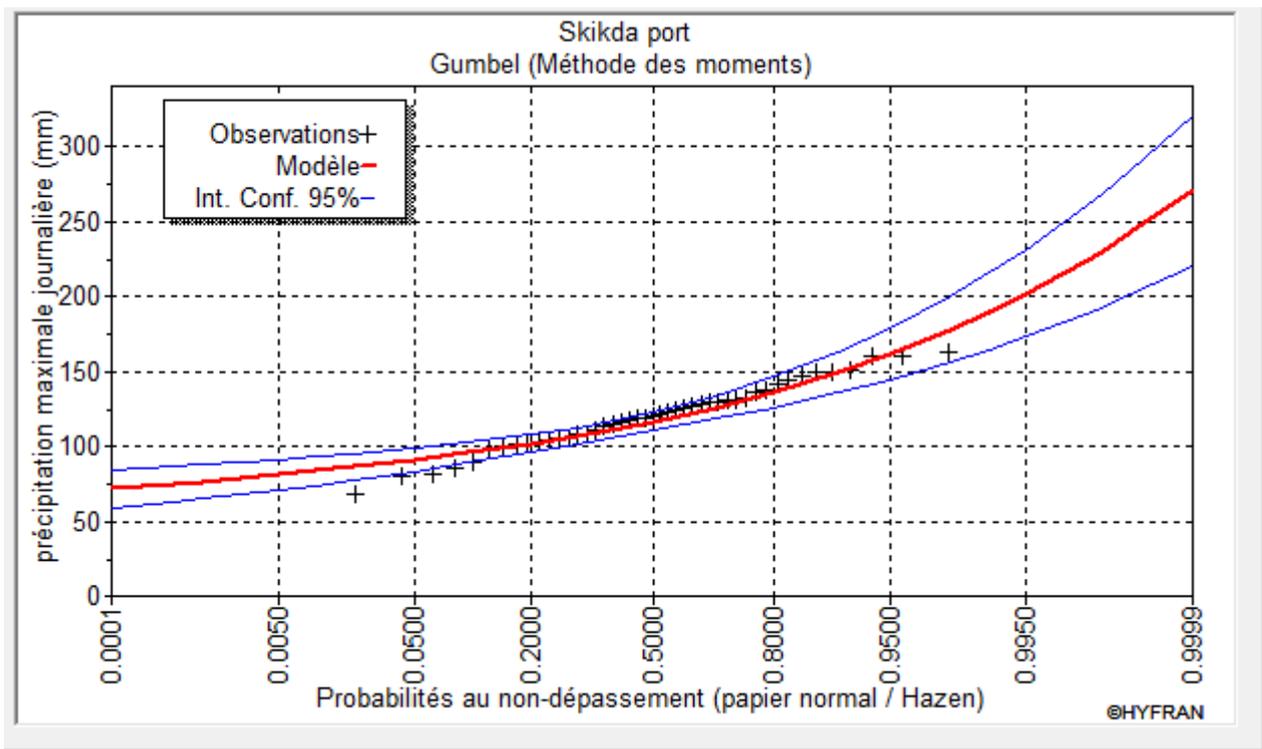
<b>Nombre de données</b>	45
<b><math>\bar{X}</math></b>	120
<b><math>\sigma</math></b>	22.29
<b><math>X_0</math></b>	109.95
<b><math>\alpha</math></b>	<b>17.38</b>
L'équation de la droite de Gumbel s'écrit ainsi : <b><math>P_{\max,j} (P\%) = 17.38 * Y + 109.95</math></b>	

Les résultats de calcul des fréquences expérimentales et des valeurs théoriques sont exposés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 19 Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel**

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart type	Intervalle de confiance
T (ans)	Q	XT	$\sigma$	95 (%)
100.0	0.9900	189.9	13.04	164.3 - 215.5
50.0	0.9800	177.8	11.19	155.8 - 199.7
20.0	0.9500	161.6	8.763	144.4 - 178.7
10.0	0.9000	149.1	6.937	135.5 - 162.7
5.0	0.8000	136.0	5.136	126.0 - 146.1

La présentation de la droite de Gumbel est montrée par la figure suivante :



**Figure II. 5 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel**

### II.2.3.3 Ajustement de la série pluviométrique à Loi de Galton

Une variable aléatoire  $x$  a une distribution log normale lorsque  $y = \ln x$  est normale. La loi de Galton résulte de la loi normale mais rendue dissymétrique par un changement de variables.

✓ Sa fonction de répartition est donnée par :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du \quad (\text{II.17})$$

$F(x)$  : Fréquence au non dépassement.

✓ La variable réduite est de la forme :

$$u = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x} \quad (\text{II.18})$$

Et l'équation de la variable réduite présentée sous la forme  $\overline{\text{Log}x} + u\sigma_{\text{Log}x}$  est l'équation d'une droite sur papier gauss-logarithmique avec en abscisse l'échelle gaussienne et en ordonnée l'échelle logarithmique.

#### ➤ Résultats de l'ajustement

Les résultats de l'ajustement dans le tableau suivant :

**Tableau II. 20 Les paramètres de la loi de Galton**

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart type	Intervalle de confiance
T (ans)	Q	XT	$\sigma$	95 (%)
100.0	0.9900	185.5	10.47	165.0 - 206.1
50.0	0.9800	175.9	9.091	158.1 - 193.8
20.0	0.9500	162.4	7.293	148.2 - 176.7
10.0	0.9000	151.3	5.969	139.6 - 163.0
5.0	0.8000	138.9	4.713	129.6 - 148.1

• Paramètre :

$u : 4,76$

$\sigma : 0.195$

La présentation de la droite de Galton est montrée par la figure suivante :

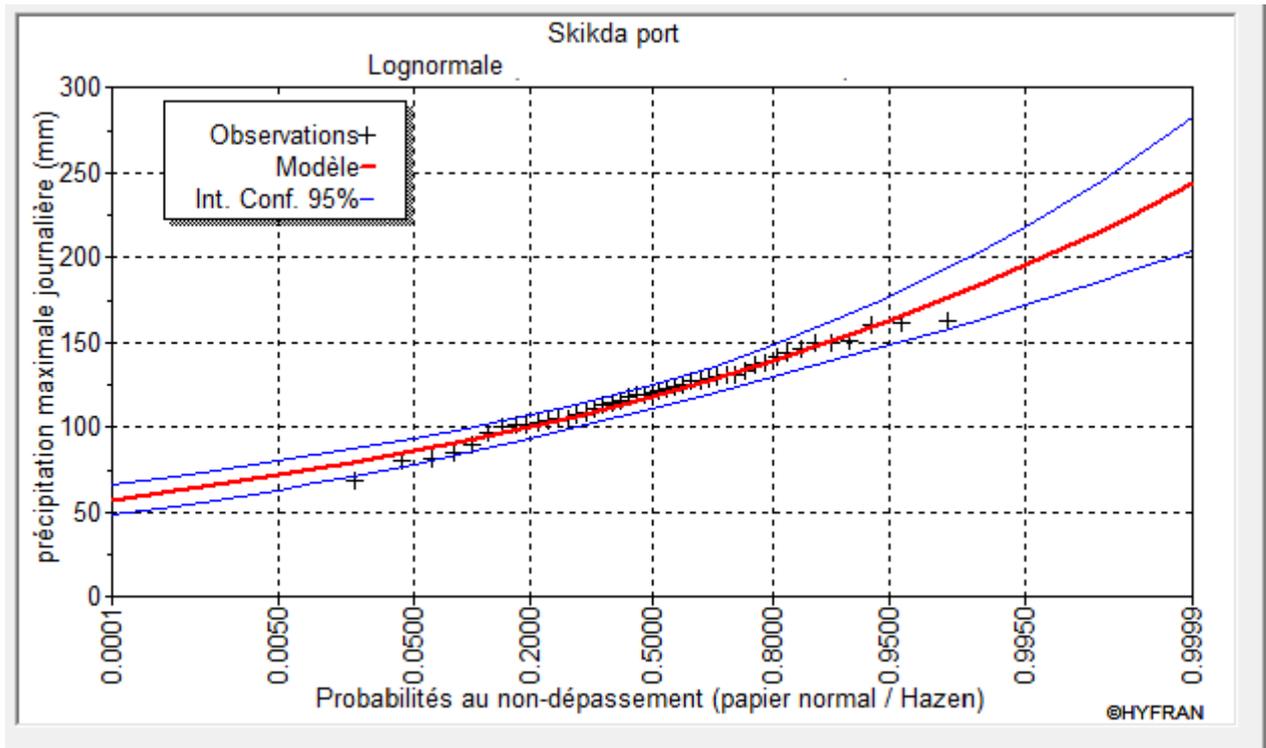


Figure II. 6 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton

II.2.3.4 Ajustement de la série pluviométrique à Loi des extrêmes généralisée GEV

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

$$F(x) = e^{-(1 - \frac{x-a}{b})^{\frac{1}{c}}}$$
(II.19)

Avec :

**a** : paramètre de position.

**b** : paramètre de dispersion.

x : variable étudié « Pmax, j »

✓ La formule de la variable réduite est décrite en-dessous :

$$Y = -\frac{1}{c} \ln \left( 1 - c \frac{x-a}{b} \right) \quad (\text{II.20})$$

Avec :

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (\text{II.21})$$

✓ L'expression d'un quantile est la suivante :

$$F(x) = a + \frac{b}{c} \{1 - [-\ln(F(x))]^c\} \quad (\text{II.22})$$

➤ **Résultats de l'ajustement**

Les résultats de l'ajustement dans le tableau suivant :

**Tableau II. 21 Les paramètres de la loi de GEV**

<b>Période de retour</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Valeurs théoriques</b>	<b>Ecart type</b>	<b>Intervalle de confiance</b>
<b>T (ans)</b>	<b>Q</b>	<b>XT</b>	<b>σ</b>	<b>95 (%)</b>
100	0.99	167.1	7.105	153.2 - 181.1
50	0.98	163.1	5.954	151.4 - 174.8
20	0.95	156	4.653	146.9 - 165.2
10	0.9	149	4.025	141.1 - 156.9
5	0.8	139.6	3.785	132.2 - 147.0

• **Paramètre :**

**α:** 22.78

**K :** 0.32

**u :** 112.52

La présentation de la droite de GEV est montrée par la figure suivante :

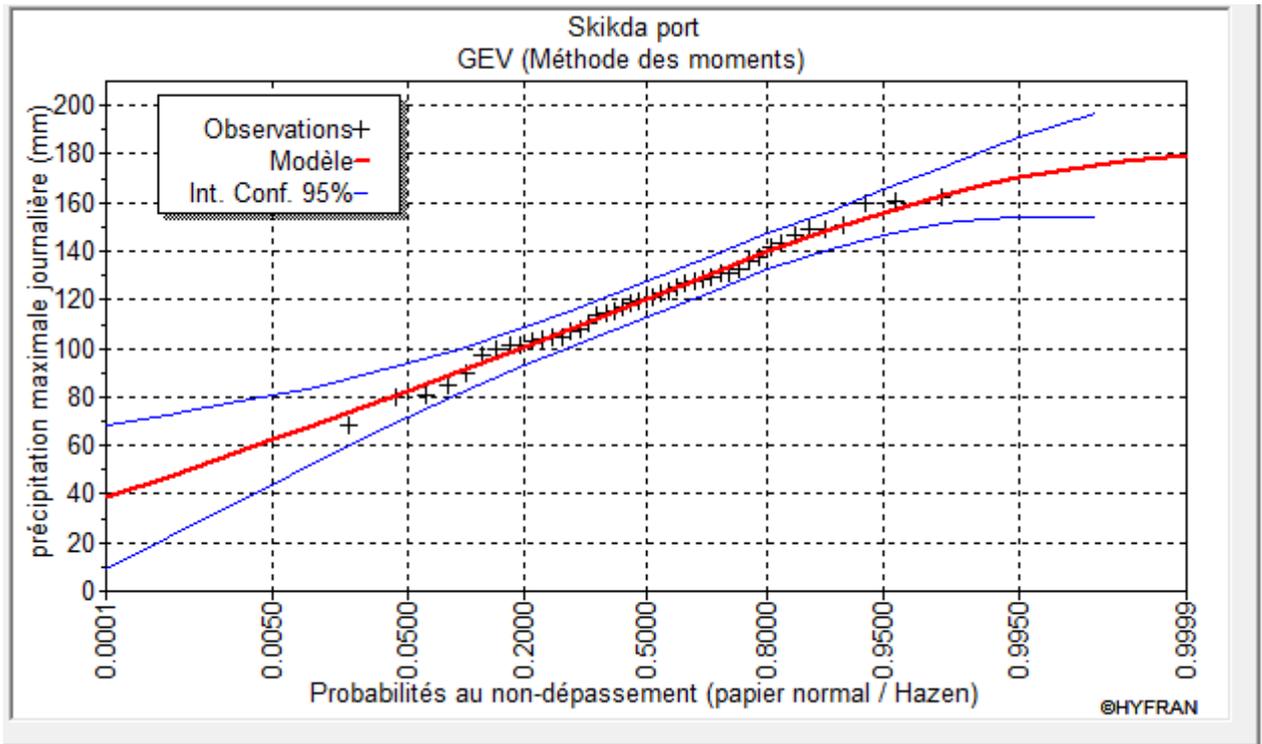


Figure II. 7 Représentation graphique de l'ajustement de la loi de GEV

II.2.3.5 Test de validité d'un ajustement :

a) Test d'adéquation par statique khi<sup>2</sup>

La loi choisie pour ajuster la distribution statistique de l'échantillon, ne représente qu'approximativement l'échantillon étudié, l'erreur commise en adoptant une loi donnée est une erreur d'adéquation. Il convient par conséquent de comparer l'adéquation de ces lois afin d'adopter le meilleur ajustement. L'un des tests le plus employé, est le test du Khi carré « $\chi^2$ ».

Le test d'adéquation du Khi<sup>2</sup> effectué à l'aide du logiciel Hyfran pour les 3 lois a donné les résultats suivants :

Tableau II. 22 paramètre de test de  $\chi^2$

Lois statistiques	Degré de liberté	X <sup>2</sup> calculé	X <sup>2</sup> théorique
Gumbel	6	3,2	12,59
Log-normale	6	2	12,59
GEV	5	3.6	11.07

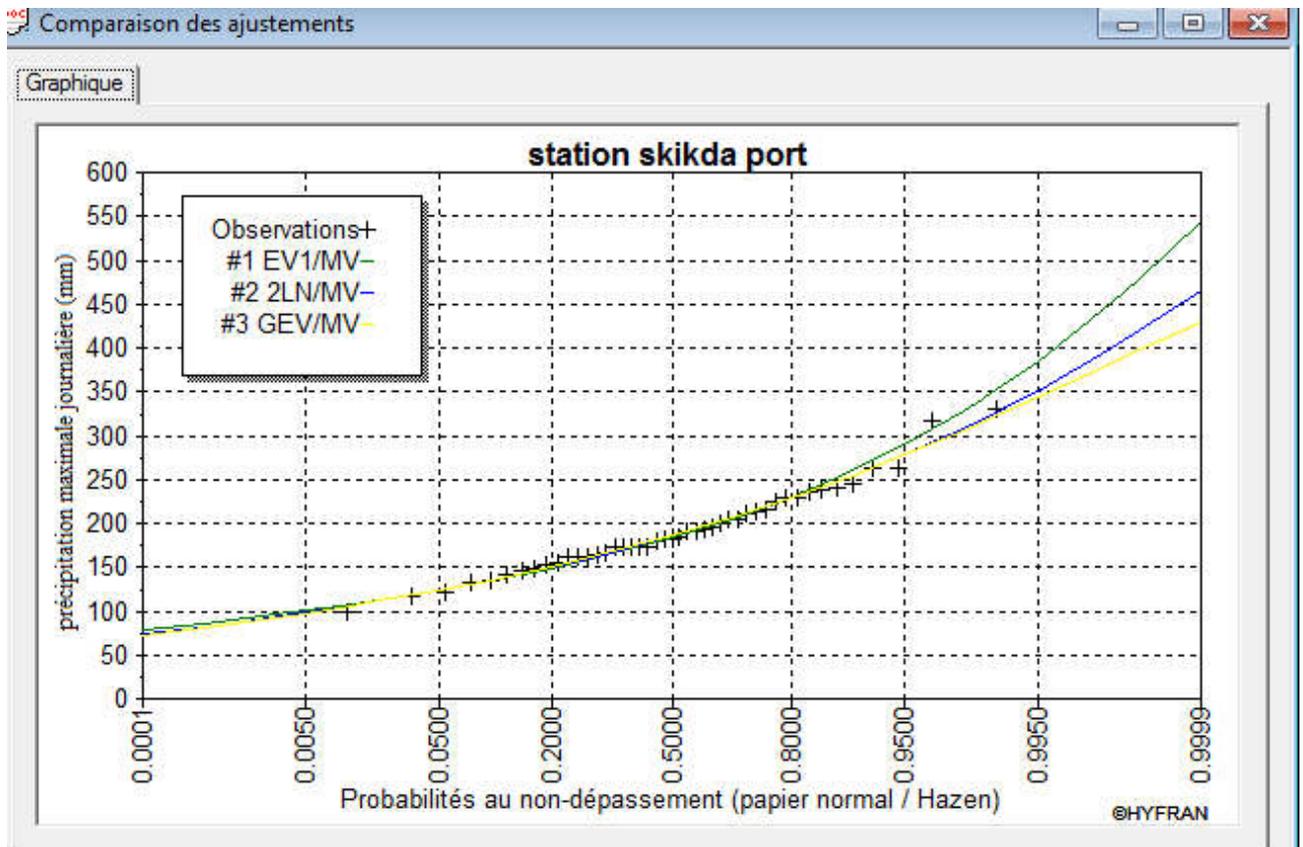
➤ **Interprétation :**

$X^2$  calculé <  $X^2$  théorique donc l'ajustement des lois sont bon pour une probabilité soit 95 % En utilisant les trois lois Gumbel, Galton et GEV, on constate que les droites d'ajustement sont bien ajustées par rapport aux nuages de points expérimentaux.

Pour comparer les trois méthodes, nous devons tracer sur le même graphe les trois courbes d'ajustement à l'aide d'Hyfran;

D'après la comparaison graphique qui a été faite avec Hyfan On a opté pour **la loi de Galton**

**b) Graphique**



**Figure II. 8 Comparaison des trois lois**

La visualisation des courbes est aussi un indicateur fiable sur le modèle à choisir, cela confirme le résultat du test qui privilégie une adéquation à **la loi Log-normale**.

### II.3 Pluie de courte durée

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

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

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

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

$$P_{ct, p\%} = p_{max, j} * \left(\frac{t}{24}\right)^b \tag{II.23}$$

Avec :

$P_{ct, p\%}$  : pluie de courtes durées (mm) de fréquence égale à celle de  $p_{max, j}$ .

$P_{max, j}$  : pluie maximale fréquentiel.

$t$  : durée de l'averse en (h).

$b$  : exposant climatique ( $b=0.4$ ) [Source : ANRH ALGER].

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

$$I_t = \frac{pct}{t} \tag{II.24}$$

$I_t$  : intensité de la durée  $t$  (h), exprimé en (mm/h).

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de calcul :

**Tableau II. 23 Pluies et intensités de courtes durées pour des différentes périodes de retour**

période de retour	100 ans		50 ans		20 ans		10 ans		5 ans	
	pct (mm)	It (mm/h)								
0,25	29.884	119.54	28.337	113.35	26.162	104.65	24.374	97.497	22.377	89.506
0,5	39.432	78.864	37.391	74.782	34.521	69.043	32.162	64.324	29.526	59.052
1	52.031	52.031	49.338	49.338	45.551	45.551	42.438	42.438	38.960	38.960
2	68.655	34.327	65.102	32.551	60.105	30.053	55.997	27.999	51.408	25.704
3	80.744	26.915	76.565	25.522	70.689	23.563	65.857	21.952	60.460	20.153
4	90.591	22.648	85.902	21.476	79.310	19.827	73.889	18.472	67.833	16.958
5	99.048	19.810	93.922	18.784	86.714	17.343	80.787	16.157	74.166	14.833
6	106.54	17.757	101.028	16.838	93.274	15.546	86.899	14.483	79.777	13.296
7	113.32	16.188	107.453	15.350	99.207	14.172	92.426	13.204	84.851	12.122
8	119.54	14.942	113.349	14.169	104.650	13.081	97.497	12.187	89.506	11.188
9	125.30	13.922	118.817	13.202	109.698	12.189	102.200	11.356	93.824	10.425
10	130.70	13.070	123.931	12.393	114.420	11.442	106.599	10.660	97.863	9.786
11	135.77	12.343	128.747	11.704	118.866	10.806	110.742	10.067	101.666	9.242
12	140.58	11.715	133.307	11.109	123.076	10.256	114.664	9.555	105.267	8.772
13	145.16	11.166	137.644	10.588	127.080	9.775	118.395	9.107	108.691	8.361
14	149.52	10.680	141.786	10.128	130.904	9.350	121.957	8.711	111.962	7.997
15	153.71	10.247	145.753	9.717	134.567	8.971	125.369	8.358	115.094	7.673
16	157.73	9.858	149.565	9.348	138.086	8.630	128.648	8.040	118.104	7.382
17	161.60	9.506	153.236	9.014	141.475	8.322	131.806	7.753	121.003	7.118
18	165.34	9.185	156.780	8.710	144.747	8.042	134.854	7.492	123.802	6.878
19	168.95	8.892	160.207	8.432	147.912	7.785	137.802	7.253	126.508	6.658
20	172.45	8.623	163.528	8.176	150.978	7.549	140.659	7.033	129.131	6.457
21	175.85	8.374	166.751	7.941	153.953	7.331	143.431	6.830	131.676	6.270
22	179.15	8.143	169.883	7.722	156.845	7.129	146.125	6.642	134.149	6.098
23	182.37	7.929	172.931	7.519	159.659	6.942	148.746	6.467	136.555	5.937
24	185.50	7.729	175.900	7.329	162.400	6.767	151.300	6.304	138.900	5.788

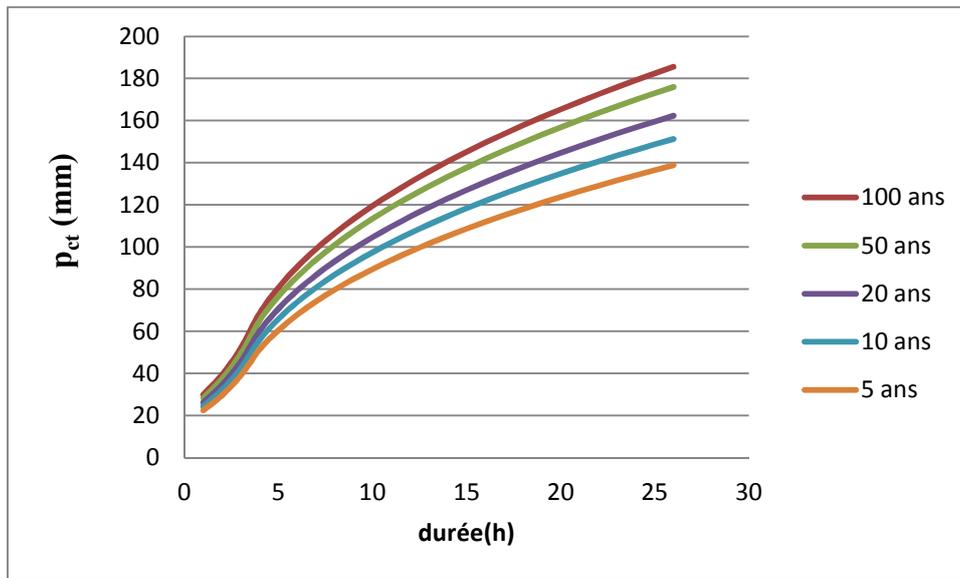


Figure II. 9 Courbes des pluies -durées-fréquences

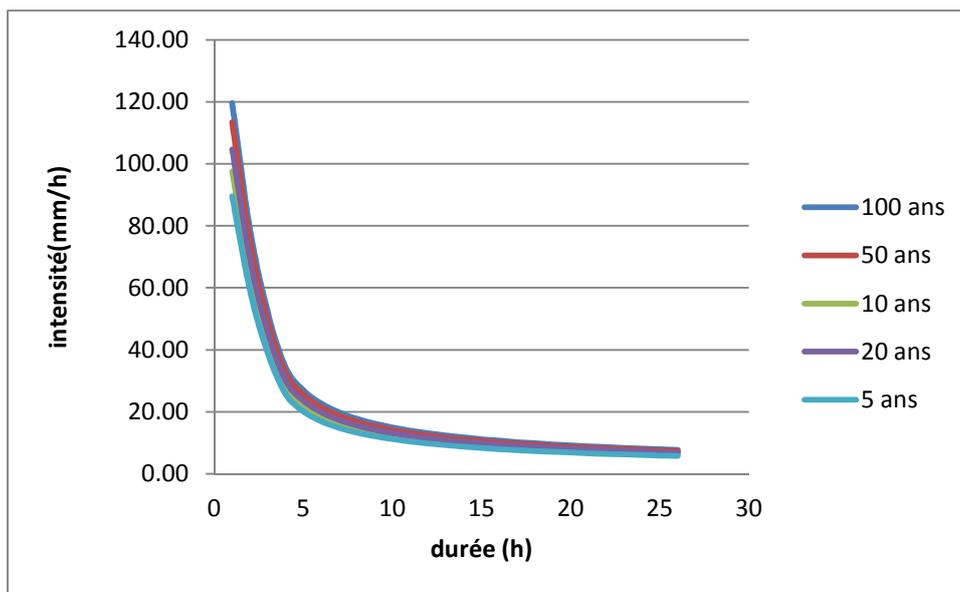


Figure II. 10 Courbes intensités -durées-fréquences

#### II.4 Etudes des crues

Après avoir étudié les caractéristiques du bassin versant (la morphologie, les propriétés physiques de versant, la structuration du réseau...) dans le chapitre I. Et on a déterminé la quantité de pluie d'une période de retour de 50 ans supposée à la base de la génération de la crue de projet. On se trouve devant la question suivante : Quelle sera la quantité de débit d'eau qui sera générée à l'exutoire de notre bassin versant ?

Pour arriver à une réponse clair et représentative on doit connaitre la réponse hydrologique (la manière comment va réagit notre bassin versant lorsque est soumis à la sollicitation suivante (pluie maimale journalière d'une quantité de 175.9 mm et d'une période de retour de 50 ans).

Pour arriver à ces fins on fait appel à trois approches empiriques :

#### II.4.1 Formule de TURAZZA

Cette formule utilise l'intensité moyenne maximale de précipitation déterminée sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant.

$$Q_{\max, p\%} = \frac{C \cdot I_{tc} \cdot S}{3.6} \quad (\text{II.25})$$

Avec :

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

**I<sub>tc</sub>** : intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h.

**C** : coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité p%.

#### II.4.2 Formule de GIANDOTTI

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante

$$Q_{\max, p\%} = \frac{C \cdot S \cdot h_{tc, p\%} \cdot \sqrt{h_{moy} - h_{min}}}{4\sqrt{S} + 1.5l} \quad (\text{II.26})$$

Avec :

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

**L** : longueur du talweg principale en km.

**H<sub>moy</sub>** : altitude moyenne en m.

**H<sub>min</sub>** : altitude minimale en m.

**H<sub>tc, p%</sub>** : lame d'eau précipitée pour une probabilité donnée et d'une durée égale au temps de concentration des eaux

**C** : coefficient topographique variant entre 0.066 et 0.166.

On prend c=0.166.

### II.4.3 Formule de SOKOLOVOSKY

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{\max, p\%} = 0,28 \cdot \frac{(X_{p\%} t_c - H_0) \cdot \alpha_{p\%} \cdot S \cdot f}{t_m = t_c} \quad (\text{II.27})$$

$\alpha_{p\%}$  : coefficient de ruissellement pour la crue probable.

$$\alpha_{p\%} = \frac{\sqrt{pct\%} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{pct\%} + \sqrt{H_0}} \quad (\text{II.28})$$

Avec :

**S** : surface du bassin versant en km

**f** : coefficient de forme de la crue.

**T<sub>c</sub>** : temps de concentration du bassin versant.

**X<sub>ptc%, tc</sub>** : précipitation en mm de probabilité p% correspondant à un temps tc.

**H<sub>0</sub>** : pertes initiales en mm, Au NORD de l'ALGEIRE H<sub>0</sub>=7mm.

**0.28** : coefficient de changement d'unité.

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

$$F = \frac{12}{4 + 3\gamma} \quad (\text{II.29})$$

Pour S < 50 km<sup>2</sup> on a  $\gamma = 2$ .

Pour des petits bassins non boisés, sol peu perméable. On a  $\gamma = (2-2.5)$ .

Pour bassin boisés, sol perméable on a  $\gamma = (3-4)$ .

Puisque la surface du bassin versant < 50 km<sup>2</sup>, on prend  $\gamma = 2$  alors :  $F = \frac{12}{4 + 3 \cdot 2} = 1.2$

**Tableau II. 24 Débits de crue du BV 01 par les trois méthodes (m<sup>3</sup>/s)**

<b>BV de Chaâbat Djenane er-Ramda</b>					
<b>période T (ans)</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
<b>Formule de TURAZZA</b>	36.637	32.570	28.065	24.279	20.575
<b>Formule de GIANDOTTI</b>	10.851	10.290	9.500	8.851	8.125
<b>Formule de SOKOLOVOSKY</b>	18.290	16.659	14.425	12.644	10.723

**Tableau II. 25 Débits de crue du BV 02 par les trois méthodes (m3/s)**

<b>BV de Chaâbat el kahla</b>					
<b>période T (ans)</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
<b>Formule de TURAZZA</b>	59.255	52.677	45.392	39.269	33.277
<b>Formule de GIANDOTTI</b>	19.251	18.255	16.854	15.702	14.415
<b>Formule de SOKOLOVOSKY</b>	29.785	27.137	23.509	20.617	17.496

Nous adoptons le débit maximal de crue centennale donné par la formule de SOKOLOVSKY étant donné que la méthode adoptée pour le tracé de l'hydrogramme de crue est celle de SOKOLOVSKY qui a une relation directe avec la formule de débit maximale de crue, en plus c'est une méthode qui a donné ces preuves en Algérie.

➤ **Construction des hydrogrammes des crues (SOKOLOVSKY)**

La méthode de Sokolovsky divise l'hydrogramme en deux parties non symétriques, une est calculée à partir du temps de montée et l'autre à partir du temps de décrue, chacune a sa propre équation.

- **Pour le temps de montée :**

$$Q_{\max} = Q_{\max p} [t/t_m]^n \tag{II.30}$$

- **Pour la décrue :**

$$Q_{\max} = Q_{\max p} [t_d - t/t_d]^m \tag{II.31}$$

$T_m = T_c$  : Temps de montée.

$T_d = \delta T_m$  (Sokolovsky).

$\delta$  : Coefficient qui dépend des caractéristiques du bassin versant on le prend égale à 2.  $\delta = 2$

Les résultats de calcul sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 26 Résultats de calcul des débits par la méthode de Sokolovsky pour le bassin versant de Djenane Er-Ramda**

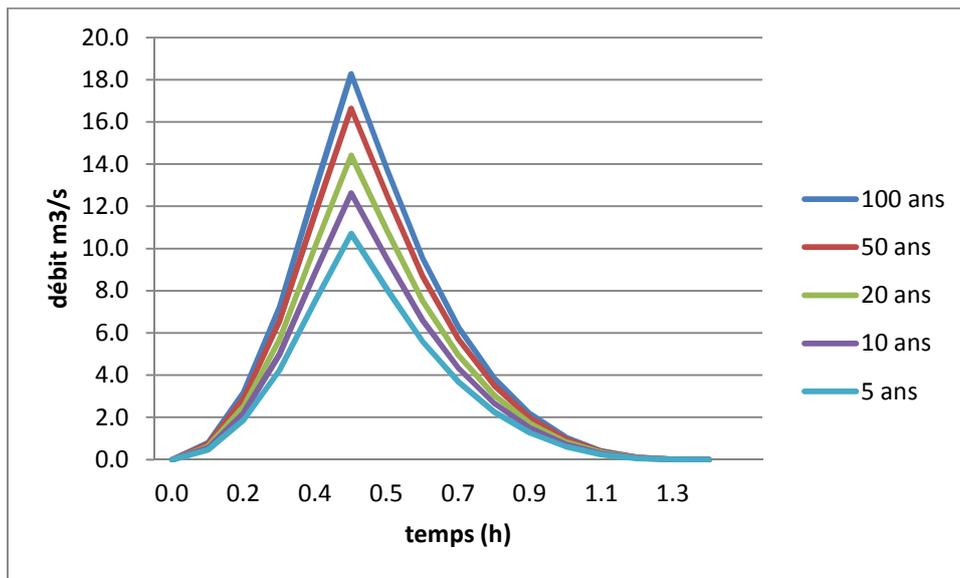
<b>période de retour</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
<b>Durée (h)</b>	<b>Q (m3/s)</b>				
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	0.800	0.729	0.631	0.553	0.469
0.20	3.202	2.916	2.525	2.214	1.877
0.30	7.204	6.562	5.682	4.980	4.224
0.40	12.808	11.666	10.101	8.854	7.509
0.478	18.265	16.636	14.405	12.627	10.708
0.50	13.757	12.531	10.850	9.511	8.066
0.60	9.531	8.682	7.517	6.589	5.588
0.70	6.274	5.714	4.948	4.337	3.678
0.80	3.859	3.515	3.043	2.667	2.262
0.90	2.160	1.967	1.703	1.493	1.266
1.00	1.051	0.957	0.829	0.727	0.616
1.10	0.407	0.370	0.321	0.281	0.238
1.20	0.100	0.092	0.079	0.069	0.059
1.30	0.007	0.006	0.005	0.005	0.004
1.35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

**Tableau II. 27 Résultats de calcul des débits par la méthode de Sokolovsky pour le bassin versant d'El-Kahla**

<b>période de retour</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
<b>Durée (h)</b>	<b>Q (m3/s)</b>				
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	1.251	1.140	0.987	0.866	0.766
0.20	5.003	4.558	3.949	3.463	3.063
0.30	11.256	10.256	8.885	7.792	6.892
0.40	20.011	18.232	15.795	13.852	12.252
0.488	29.779	27.131	23.504	20.613	18.232
0.50	25.675	23.392	19.554	17.772	15.082
0.60	18.243	16.621	13.722	12.628	10.716
0.70	12.405	11.302	9.184	8.586	7.287
0.80	7.967	7.259	5.775	5.515	4.680

Suite du tableau II.27:

période de retour	100	50	20	10	5
Durée (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)				
0.9	4.739	4.318	3.336	3.28	2.784
1	2.527	2.302	1.703	1.749	1.484
1.1	1.139	1.038	0.715	0.789	0.669
1.2	0.384	0.35	0.21	0.266	0.226
1.3	0.069	0.062	0.025	0.047	0.04
1.35	0.016	0.014	0.003	0.011	0.009
1.4	0.001	0.001	0	0.001	0
1.42	0	0	0	0	0



**Figure II. 11 Hydrogramme de crues du bassin versant de Djenane Er-Ramda**

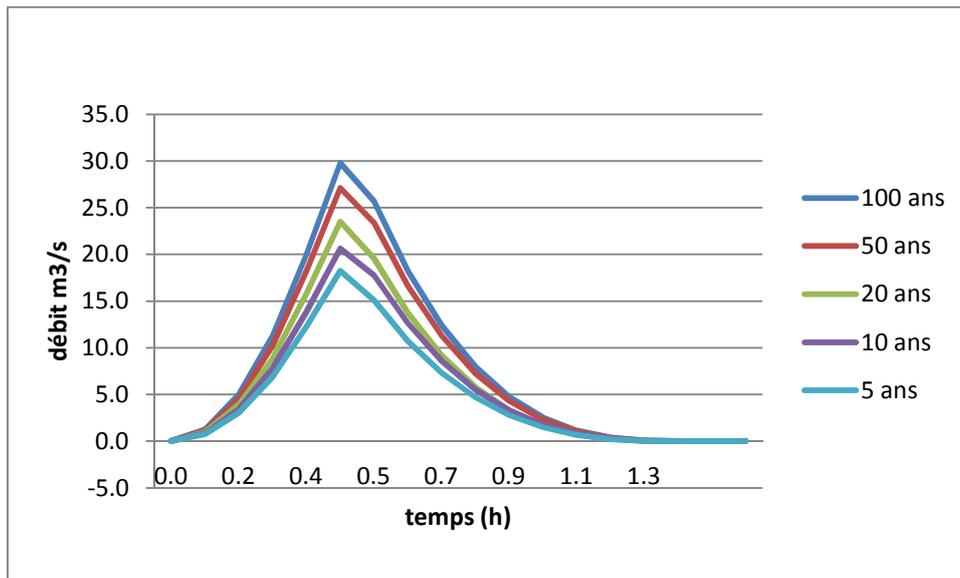


Figure II. 12 Hydrogramme de crues du bassin versant d'El Kahla

**Conclusion :**

Dans ce chapitre on a déterminé les caractéristiques hydromorphométriques des bassins versants et les pluies fréquentielles. Le modèle fréquentiel le plus adéquat d'après le test d'adéquation et l'analyse de la distribution en queue de la série pluviométrique est celui de log normal, avec un quantile de cinquante ans estimé à 175.9 mm. Ensuite on a exprimé la relation pluie-durée-période de retour à l'aide de la construction des courbes IDF afin de répartir le quantile journalière sur les différentes durées.

Pour les crues, les différentes méthodes utilisées donnent en s'appuyant sur une période de retour de 50 ans un débit de 16.66 m³/s pour BV de Djenane Er-Ramda et 27.137 m³/s pour BV d'El-Kahla, et avec ces débits on permet de dimensionner les ouvrages proposés dans le chapitre suivant.

# **Chapitre III**

## **Etude des variantes d'aménagement**

Les mesures structurelles visent à réaliser des aménagements sur les réseaux et le bassin versant pour diminuer les débordements ou protéger les zones à enjeux. Elles agissent sur les conséquences de l'aléa naturel au droit des lieux habités en l'état actuel du bassin versant. L'optimisation et le choix du schéma souhaitable d'aménagement, consiste à trouver le meilleur compromis entre impacts et contraintes présentes, afin de régler le problème d'inondation, sans pour autant projeter des solutions à un coût hors de propos ou bien qui auront des conséquences néfastes sur l'environnement du cours d'eau.

## **III.1 Les différents aménagements répertoriés**

### **➤ Canalisation :**

La Canalisation est une structure hydraulique aménagée par l'homme dont le concepteur doit assurer la permanence d'une alimentation en eau suffisante à sa fonction, au milieu d'un environnement plus ou moins difficile. La modification se fait sur les caractéristiques géométriques et hydrauliques d'un cours d'eau, par curages, creusement, rectifications...

### **➤ Dragage**

Le dragage est un approfondissement du lit mineur par prélèvement de ses matériaux. Creuser le lit mineur c'est dans tous les cas augmenter la pente et donc accélérer le courant.

### **➤ Couverture du cours d'eau**

La couverture du cours d'eau est la chenalisation poussée à l'extrême, notamment en milieu urbain avec la couverture ou la mise sous tuyau complète du cours d'eau sur des linéaires pouvant être très importants.

### **➤ Endiguement**

L'endiguement est l'augmentation de la hauteur des berges pour éviter le débordement des eaux, et pour préserver le maximum d'espace pour l'agriculture et l'urbanisation.

### **➤ Rectification**

La rectification (recouplement des méandres) de très nombreux cours d'eau naturellement sinueux ou méandriformes ont été artificiellement rectifiés sur de longues distances, généralement pour en augmenter.

## ➤ Recalibrage

Le principe du recalibrage consiste à augmenter la débitance du lit mineur en augmentant la section d'écoulement par élargissement du lit, approfondissement ou les deux.

### III.2 Descriptions des chaâbats à aménager

Avant le choix des variantes, on doit passer d'abord à une analyse du site pour but de bien connaître l'état des deux chaâbats et leurs caractéristiques. L'étude concernera Chaâbat Djenane Er-Ramda, ainsi que Chaâbat El-Kahla.

La première sera traitée à partir de son débouché avec oued Saf-Saf sur une longueur de 1150 ml, soit tout le tronçon situé en milieu urbain.

Chaâbat El-Kahla, sera aménagée de sa limite aval au niveau du chemin de wilaya, jusqu'au point situé en amont du lotissement OPGI, soit sur 751 ml.



**Figure III. 1 Chaâbat Djenane Er-Ramda se déversant sur une cité OPGI.(2011)**

Il n'y a pas de chaâbat aménagé, ni même un semblant de tranchée pouvant recevoir les eaux de ruissellement.



**Figure III. 2 Chaâbat Djenane er-Ramda à l'intérieure du Village( 2011)**



**Figure III. 3 Chaâbat el Kahla à l'intérieure du Village(2011)**

## ➤ Bandes d'inondation

L'aire située entre les limites de la zone inondable et les limites des pleines d'inondation de la crue de la période de retour cinquante est appelée bande d'inondation, comme illustré dans la figure (III.4) ;



**Figure III. 4 Représentation de zone inondable du chaâbat Djenane er-Ramda et chaâbat el Kahla**

Vu de l'importance des dégâts causés par ces inondations, une solution s'impose pour éviter des catastrophes qui peuvent causer des pertes humaines et économiques importantes, on traitera les aménagements adéquats.

### III.3 Variantes proposées

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

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

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

Dans notre projet on va considérer deux variantes d'aménagement pour chaque chaâbat dont les mesures à prendre de l'amont vers l'aval, sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau III. 1 Variantes proposées pour l'aménagement**

<b>Chaâbat</b>	<b>Aménagement proposé</b>
<b>Chaâbat Djenane Er-Ramda</b>	<b>Variante 1</b> : projection d'un canal trapézoïdal en béton armé sur une longueur de 1150 ml avec la projection de trois dalots qui traversent les deux routes de 9 ml et le chemin ferré de 18 ml.
	<b>Variante 2</b> : projection d'un canal fermé rectangulaire sous forme de galerie en béton armé sur une longueur de 1150 ml
<b>Chaâbat El Kahla</b>	<b>Variante 1</b> : projection d'un canal trapézoïdal en béton armé sur une longueur de 751 ml avec la projection de trois dalots qui traversent les deux routes de 15 ml et 4 ml et le chemin ferré de 29 ml.
	<b>Variante 2</b> : projection d'un canal fermé rectangulaire sous forme de galerie en béton armé sur une longueur de 751 ml.

### III.4 Calcul hydraulique

Pour trouver les dimensions du canal, en fonction du débit de projet, on se base sur l'équation universelle de Manning-Strickler, qui est de la forme suivante :

$$Q = \frac{1}{n} I^{1/2} R^{2/3} S \dots\dots\dots(1)$$

Où :

Q : débit de projet pour une période de retour donnée ;

n : coefficient de rugosité égal à 1/K (K = coefficient de Strickler) ;

I : pente hydraulique assimilée à la pente du lit du canal ;

R : rayon hydraulique, qui est égal au rapport de la section mouillée au périmètre mouillé;

S : section du canal.

Pour ce qui est des valeurs de Manning, on s'est référée sur les valeurs présentées par Degoutte (2012).

**Tableau III. 2 Valeurs du coefficient de Manning pour différents matériaux.**

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

### **III.5 Dimensionnement des ouvrages proposés:**

Pour notre travail, on va utiliser un outil de calcul qui traite tout type d'écoulement et régime hydraulique que ce soit en charge ou libre pour différents cas de forme géométriques d'ouvrages, l'exploitation de ce logiciel nous permis de définir la forme géométrique et dimensionnelle des

ouvrages d'évacuation du débit de crues de projet de la manière suivante:

- ✓ La détermination des sections d'ouvrages hydrauliques projetés en deux variantes d'aménagement.
- ✓ La détermination des caractéristiques du régime d'écoulement suivant les cas de variantes projetées à savoir :
  - ✓ Les sections hydrauliques à adopter,
  - ✓ Les vitesses d'écoulement,
  - ✓ Les tirants d'eau ( $H_n$ ,  $H_{critique}$ ),
  - ✓ Vérification du régime d'écoulement pour chaque tronçon,

### III.5.1 Etude de la première Variante

Dans cette variante l'aménagement se réalise avec un canal de forme trapézoïdale revêt en béton armé. Le principe de calcul de l'outil de calcul «canal 21» est basé sur la méthode par approximation successive.

Le débit de dimensionnement est estimé à 16.66 m<sup>3</sup>/s pour Chaâbat Djenane Er-Ramda et 27.137 m<sup>3</sup>/s pour Chaâbat El Kahla, d'après le tableau III.3 on prend  $K=75$  donc le coefficient de rugosité est de 0.013

#### III.5.1.1 Chaâbat Djenane Er-Ramda :

##### A. Dimensionnement des sections :

La partie à aménagé de Chaâbat Djenane Er-Ramda qui s'étend sur une longueur de 1150 m, caractérisée par des pentes irrégulières le long de son parcours, localisée en quatre passages différents, pour cette raison elle sera divisée dans cette étude en quatre tronçons, dont les résultats sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III. 3 Résultat de variante 1 (chaâbat Djenane er-Ramda)**

<i>Tronçon</i>	<i>Long</i>	<i>Q (50)</i>	<i>I</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>B</i>	<i>Hm</i>	<i>Pm</i>	<i>Sm</i>	<i>V</i>	<i>Fr</i>
	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	m/m			(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	/
<b>1</b>	236	16.66	0.036	0.013	1	1.5	0.97	3.67	1.93	8.64	3.12
<b>2</b>	207	16.66	0.006	0.013	1	2.5	1.23	5.23	3.80	4.38	1.38
<b>3</b>	112	16.66	0.012	0.013	1	2.5	0.99	4.71	2.96	5.63	1.95
<b>4</b>	561	16.659	0.003	0.013	1	4	1.12	6.50	5.11	3.26	1.04

Pour des raisons de conception, on a pris un fruit des talus égal à 1

➤ **Interprétation des résultats :**

On constate que le nombre de Froude est supérieur à 1 donc le régime est torrentiel sur le long de notre canal. Les vitesses d'écoulement varient entre 3 à 8 m/s le long du canal trapézoïdale.

**B. Dimensionnement des divergents**

C'est un ouvrage d'une réalisation assez simple, il est nécessaire pour assurer la liaison entre deux canaux de section différentes en réduisant les pertes de charge dans un changement brusque de la section du canal comme la figure montre ;

Le divergent est caractérisé pour les sections amont B1, aval B2>B1 et l'angle d'ouverture  $\alpha$  on définit la longueur du divergent par les formules suivantes :

$$l_t = \frac{B_2}{2 \tan \alpha} \dots \dots \dots (III.2)$$

$$l = \frac{B_1}{2 \tan \alpha} \dots \dots \dots (III.3)$$

et  $l_{diver} = l_t - l \dots \dots \dots (III.4)$

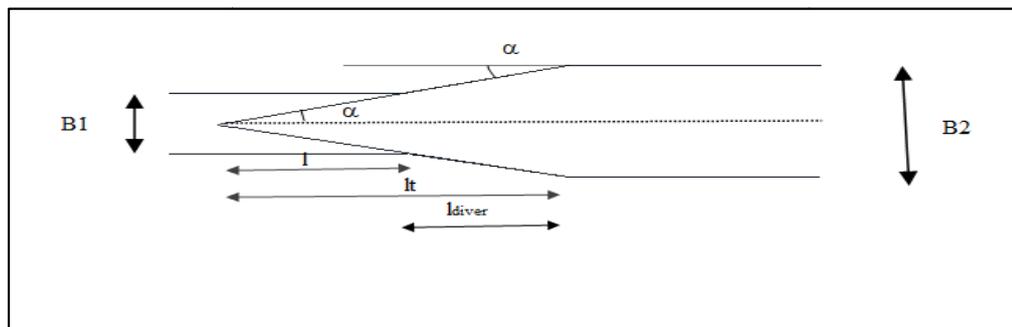
avec

$\alpha$  : L'angle d'ouverture

B1 : section amont

B2 : section aval

$l_{diver}$  : longueur du divergent



**Figure III. 5 Schéma d'un divergent**

AN : on prend  $\alpha=60^\circ$

**Tableau III. 4 Dimensionnement des divergents**

	<b>B1(m)</b>	<b>B2(m)</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>l_{diver}</math> (m)</b>
<b>divergent 1</b>	1.5	2.5	60°	0.29
<b>divergent 2</b>	2.5	4	60°	0.43

**C. Dimensionnement des dalots**

Chaâbat Djenane Er-Ramda traverse deux routes et un chemin ferré ce qui nous a obligé de projeter trois dalots dimensionnés à l'aide de l'outil de calcul «canal 21», ces dalots coupent le tronçon 4, et les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau III. 5 Résultat de dimensionnement des 3 dalots**

<b>Tronçon</b>	<b>Long</b>	<b><math>Q</math> (50)</b>	<b><math>I</math></b>	<b><math>n</math></b>	<b><math>B</math></b>	<b><math>Hm</math></b>	<b><math>Pm</math></b>	<b><math>Sm</math></b>	<b><math>V</math></b>	<b><math>Fr</math></b>
	<b>(m)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>m/m</b>		<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>/</b>
<b>Dalot 1</b>	18	16.66	0.02	0.013	3	0.85	4.69	2.54	6.57	2.28
<b>Dalot 2</b>	9	16.66	0.016	0.013	3	0.91	4.83	2.74	6.07	2.03
<b>Dalot 3</b>	9	16.66	0.048	0.013	3	0.62	4.25	1.87	8.89	3.59

➤ **Interprétation des résultats :**

On constate que le nombre de Froude est supérieur à 1 donc le régime est torrentiel sur le long de notre canal.

**III.5.1.2 Chaâbat El Kahla :**

La partie à aménagé de Chaâbat El Kahla qui s'étend sur une longueur de 751 m, caractérisée par des pentes irrégulières le long de son parcours, localisée en trois passages différents, pour cette raison elle sera divisée dans cette étude en trois tronçons, dont les résultats sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III. 6 Résultat de variante 1 (chaâbat El Kahla)**

<b>Tronçon</b>	<b>Long</b>	<b><math>Q</math> (50)</b>	<b><math>I</math></b>	<b><math>n</math></b>	<b><math>m</math></b>	<b><math>B</math></b>	<b><math>Hm</math></b>	<b><math>Pm</math></b>	<b><math>Sm</math></b>	<b><math>V</math></b>	<b><math>Fr</math></b>
	<b>(m)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>m/m</b>			<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>/</b>
<b>1</b>	358	27.137	0.008	0.013	1	2.5	1.32	6.21	5.01	5.42	1.75
<b>2</b>	112	27.137	0.012	0.013	1	2.5	1.18	5.82	4.32	6.28	2.13
<b>3</b>	233	27.137	0.02	0.013	1	2.5	1.02	5.39	3.59	7.56	2.71

➤ **Interprétation des résultats :**

On constate que le nombre de Froude est supérieur à 1 donc le régime est torrentiel sur le long de notre canal.

➤ **Remarque :**

Chaâbat El Kahla traverse une route, un chemin ferré et un pont en aval ce qui nous a obligé de projeter trois dalots dimensionnés à l'aide d'un outil de calcul, le premier dalot est projeté à la fin du tronçon 1, c.à.d. il sépare les deux tronçons 1 et 2, le deuxième dalot coupe le tronçon 3 et le troisième dalot est projeté à l'aval. Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau III. 7 Résultat de dimensionnement des 3 dalots de chaâbat El Kahla**

<i>Tronçon</i>	<i>Long</i>	<i>Q (50)</i>	<i>I</i>	<i>n</i>	<i>B</i>	<i>Hm</i>	<i>Pm</i>	<i>Sm</i>	<i>V</i>	<i>Fr</i>
	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	m/m		(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	/
<b>Dalot 4</b>	15	27.137	0.011	0.013	2.5	1.81	6.12	4.52	6.00	1.42
<b>Dalot 5</b>	29	27.137	0.009	0.013	2.5	1.96	6.42	4.89	5.54	1.27
<b>Dalot 6</b>	4	27.137	0.015	0.013	2.5	1.60	5.71	4.01	6.77	1.71

➤ **Interprétation des résultats :**

On constate que le nombre de Froude est supérieur à 1 donc le régime est torrentiel sur le long de notre canal.

**III.5.2 Etude de la deuxième variante**

Dans cette variante l'aménagement se réalise avec un canal sous forme de galerie en béton armé. Le principe de l'outil de calcul «canal 21» est basé sur la méthode par approximation successive.

Le débit de dimensionnement est estimé à 16.66 m<sup>3</sup>/s pour Chaâbat Djenane Er-Ramda et 27.137 m<sup>3</sup>/s pour Chaâbat El Kahla, d'après le tableau III.3 on prend K=75 donc le coefficient de rugosité est de 0.013

**III.5.2.1 Chaâbat Djenane Er-Ramda :**

Comme mentionné précédemment dans la première variante, Chaâbat Djenane er-Ramda sera divisée en quatre tronçons, dont les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III. 8 Résultat de variante 2 (chaâbat Djenane er-Ramda)**

<i>Tronçon</i>	<i>Long</i>	<i>Q (100)</i>	<i>I</i>	<i>n</i>	<i>B</i>	<i>Hm</i>	<i>Pm</i>	<i>Sm</i>	<i>V</i>	<i>Fr</i>
	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	m/m		(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	/
<b>1</b>	236	16.659	0.036	0.013	1.5	1.36	4.22	2.04	8.18	2.24
<b>2</b>	207	16.659	0.006	0.013	2.5	1.57	5.63	3.92	4.25	1.09
<b>3</b>	112	16.659	0.012	0.013	2.5	1.28	6.56	5.12	3.25	0.92
<b>4</b>	561	16.659	0.003	0.013	4	1.20	4.91	3.01	5.54	1.61

➤ **Interprétation des résultats**

On constate que le régime torrentiel domine le long de notre canal. Alors qu'on remarque un régime fluvial au niveau du quatrième tronçon en aval.

➤ **Remarque**

Dans cette variante la procédure de calcul est la même que la première, la projection des dalots se fait dans les mêmes endroits et le même dimensionnement.

**III.5.2.2 Chaâbat El Kahla :**

Comme mentionné précédemment dans la première variante, Chaâbat El Kahla sera divisée dans en trois tronçons, dont les résultats sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau III. 9 Résultat de variante 2 (chaâbat El Kahla)**

<i>Tronçon</i>	<i>Long</i>	<i>Q (50)</i>	<i>I</i>	<i>n</i>	<i>B</i>	<i>Hm</i>	<i>Pm</i>	<i>Sm</i>	<i>V</i>	<i>Fr</i>
	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	m/m		(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	/
<b>1</b>	358	27.137	0.008	0.013	2.5	2.05	6.60	5.13	5.29	1.18
<b>2</b>	112	27.137	0.012	0.013	2.5	1.75	6.00	4.37	6.21	1.50
<b>3</b>	233	27.137	0.02	0.013	2.5	1.43	5.37	3.59	7.57	2.02

➤ **Interprétation des résultats**

On constate que le nombre de Froude est supérieur à 1 donc le régime est torrentiel sur le long de notre canal.

➤ **Remarque**

Dans cette variante la procédure de calcul est la même que la première, la projection des dalots se fait dans les mêmes endroits et le même dimensionnement.

**III.6 Critères de choix de la variante adéquate.**

Pour les différentes variantes présentées ci-dessus, on peut citer d'une manière plus ou moins précise les avantages et les inconvénients relatifs à chaque variante.

**Tableau III. 10 Analyse technico-économique de chaque variante d'aménagement**

<b>Variante</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Canal de forme trapézoïdal en béton</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• assure un bon écoulement hydraulique en exploitant la section économique du canal.</li> <li>• très répandu dans la protection contre les inondations.</li> <li>• entretient facile.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• risque réel d'être utilisé comme décharge par les riverains (ce problème peut être évité tout en procédant au curage périodique et l'entretien de l'ouvrage).</li> </ul>
<b>Canal de formes rectangulaires fermées en béton</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour le protéger contre les rejets public (poubelle, décharge industrielle .....)</li> <li>• Pour protège les habitants surtout les enfants</li> <li>• Pas de difficulté dans la réalisation par rapport aux canaux trapézoïdales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il est caractérisé par des hauteurs d'eau assez élevées ce qui conduit à des travaux de terrassement profonds très coûteux.</li> <li>• Volume très important du béton.</li> </ul>

## III.6.1 Comparaison entre les variantes étudiées

Le choix d'une variante optimale, répond aux exigences technico-économiques, d'après les tableaux de dimensionnement précédents, on remarque que les hauteurs de la deuxième variante pour les deux chaâbats sont assez élevées par rapport à celles de la première variante, ce qui conduit à des travaux de terrassement profonds très coûteux. Ainsi qu'elle nécessite un volume très important du béton, donc on va opter pour la première variante qui consiste à la projection d'un canal trapézoïdale avec des 3 dalots pour chaque chaâbat, voir leur coût qui est le moins réduit, et leurs avantages techniques à savoir un rendement hydraulique efficace, un entretien très facile.

### Conclusion

Afin de trouver la variante adéquate d'aménagement, qui présente des critères techniques appropriés à l'objectif de protection dont il est question, qui serait réalisables sur le terrain sans pour autant être hors de coût. Nous avons présentés plusieurs solutions, avec leurs avantages et inconvénients, mais aussi, les problèmes liés à leurs réalisations. Ainsi, le choix final consiste principalement en la projection de canaux trapézoïdaux en béton, et des dalots pour chaque chaâbat, et nous soumettons le choix de cette variante qui présente beaucoup plus d'avantages liés surtout à la facilité de réalisation et de sa gestion durable. La variante retenue fera l'objet d'une étude détaillée, ce que nous allons voir dans le chapitre suivant à travers un calcul hydraulique.

# **Chapitre IV**

## **Calcul de la variante retenue**

Dans le présent chapitre nous entamons une étude détaillée de la variante choisit, afin de mettre en clair tous les paramètres géométrique ainsi les paramètres hydraulique. Le concept de protection de notre zone d'étude, est basé sur la crue de période de retour 50 avec un débit  $Q=16.66 \text{ m}^3/\text{s}$  pour chaâbat Djenane er-Ramda et  $27.137 \text{ m}^3/\text{s}$  pour chaâbat El Kahla, qui doit être transité jusqu'à l'aval sans débordement.

La variante retenue consiste à la projection d'un canal trapézoïdal en béton armé avec des dalots pour chaque chaâbat.

**IV.1 Aménagement hydraulique:**

Pour un écoulement lentement variable, on peut admettre qu'en toute section la pente de la ligne de charge est celle d'un régime uniforme.

**IV.1.1 Les conditions de l'écoulement uniforme :**

- le débit de l'eau dans chaque section des tronçons proposés est constant.
- le canal est prismatique.
- La profondeur  $h$  du courant est constante sur sa longueur.
- La pente de chaque section est constante.
- Les résistances locales sont absentes.
- La rugosité des parois est constante.

**IV.1.2 Les formules principales de calcul**

Dans le calcul des canalisations on utilise les différentes formules d'écoulements, parmi ces formules on a :

**a) formule de Chézy**

La formule de Chézy est de la forme :

$$V = C \times \sqrt{R \times i} \dots\dots\dots(\text{IV.1})$$

Avec :

- $V$  : vitesse moyenne de l'écoulement.
- $R$  : rayon hydraulique ( $R=S/P$ ,  $P$  est le périmètre mouillé);

- $i$  : pente du radier.
- $C$  : coefficient de Chézy dépend de la nature de parois et du rayon hydraulique; pour l'estimer il existe plusieurs formules, on note celle de BAZIN (1864) la plus utilisée :

$$C = \frac{87 \times \sqrt{R}}{\gamma + \sqrt{R}} \dots\dots\dots(\text{IV.2})$$

$\gamma$  : Coefficient de BAZIN qui varie suivant les matériaux employés et la nature des eaux transportées.

**b) Formule de Manning- Strickler (1899-1911)**

L'expression du coefficient de Chézy dans cette formule est :

$$C = \frac{1}{N} \times R^{\frac{1}{6}} \dots\dots\dots(\text{IV.3})$$

$N$  : coefficient de Manning qui caractérise la nature du canal.

$$V = \frac{1}{N} \times R^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(\text{IV.4})$$

Pour Strickler  $K=1/N$  qui est fonction de la rugosité des parois du chenal, mais contrairement au coefficient de Chézy il dépend très peu du tirant d'eau.

En partant de la formule de Chézy et de la valeur de coefficient  $C$  donnée ci-dessus, nous obtenons la très classique et très importante formule de Manning- Strickler:

$$V = K_s \times R^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(\text{IV.5})$$

Elle s'écrit aussi :

$$Q = S \times K_s \times R^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(\text{IV.6})$$

Avec :  $Q = S \times V \dots\dots\dots(\text{IV.7})$

- $V$  : vitesse moyenne.
- $K_s$  : coefficient de rugosité ou de Strickler du lit.
- $S$  : section mouillée.

- R : rayon hydraulique.
- P : périmètre mouillé.
- i : pente (constant par hypothèse) du tronçon du cours d'eau (pente du fond).

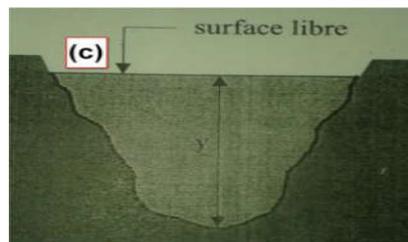
➤ **Remarque :**

Dans notre calcul on va choisir la formule de MANING-STRICKLER.

### IV.1.3 Profondeur ou tirant d'eau

On appelle profondeur d'eau la hauteur au-dessus du point le plus bas de la section perpendiculaire à l'écoulement. On la note souvent par  $h$  ou  $y$ . Lorsque l'écoulement est uniforme cette profondeur s'appelle la profondeur normale, pour la calculer on dispose de plusieurs formules à savoir :

- Méthode graphique.
- Méthode itérative.



**Figure IV. 1 Tirant d'eau [Source : Saad BENNIS]**

A un débit donné,  $h_n$  est appelée profondeur normale, une fois fixées la nature de la paroi et la pente, on dispose en régime permanent uniforme d'une relation reliant la profondeur  $h$  au débit  $Q$ . La détermination de la profondeur  $h_n$  dans notre cas se fait par la méthode itérative.

La hauteur du canal est égale à la hauteur de l'eau « profondeur normal », en l'ajoute la marge de sécurité prise dans notre étude à 0.5 m selon les hauteurs d'eau calculées.

### IV.1.4 Les paramètres géométriques :

#### IV.1.4.1 Le choix de la section de meilleure conductivité :

Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum. Pour un canal de pente  $J_u$  et de coefficient de rugosité  $n$ , la section qui véhicule le débit maximum  $Q_{max}$  est celle où le rayon hydraulique  $R_h$  est maximal, et la section  $S$  est minimale. ( $R_h$  étant la surface mouillée  $S_m$  sur le périmètre mouillé  $P_m$ ). Notre choix portera sur la section rectangulaire,

On définit la surface mouillée S et le périmètre mouillé P par :

$$S = h.(b + m .h) = b .h \dots\dots\dots(\text{IV.8})$$

$$P = b + 2 h .\sqrt{1 + m^2} \dots\dots\dots (\text{IV.9})$$

Avec :

- m : Le fruit des talus, m = 0, dans la section rectangulaire
- h : Le tirant d'eau maximum (pour Q<sub>max</sub>), en m.
- b : La largeur du canal, en m.

**IV.1.4.2 Calcul du rayon hydraulique maximal:**

On a :  $R_h = \frac{S}{P} \dots\dots\dots(\text{IV.10})$

Alors le rayon hydraulique sera maximal pour une valeur de P<sub>min</sub>.

Le périmètre soit minimal pour dP = 0

**IV.1.5 Profondeur critique h<sub>c</sub>**

La profondeur critique h<sub>c</sub> est une profondeur qui correspond à une charge spécifique minimale h<sub>s</sub>. Pour la calculer on utilise la méthode itérative, dont la procédure est la suivante :

Pour un régime critique le nombre de froude égale à 1 alors :

$$Fr = \frac{B \cdot Q^2}{g \cdot A^3} = 1 \dots\dots\dots(\text{IV.11})$$

Nous remplaçons respectivement B et A par leurs formules, on aura :

$$\frac{(b+2 \cdot m \cdot y_c) \cdot Q^2}{g \cdot y_c^3 (b+m \cdot y_c)^3} = 1 \dots\dots\dots (\text{IV.12})$$

On connaît b, m, g, Q et on attribue des valeurs à h<sub>c</sub> pour assurer l'égalité de la relation.

**IV.1.6 Calcul de la vitesse d'écoulement**

Le calcul de la vitesse est nécessaire pour vérifier si cette dernière est assez élevée pour éviter la sédimentation de matière en suspension et n'est pas trop forte pour causer l'érosion.

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{S_f} \dots\dots\dots(\text{IV.13})$$

Avec :  $S_f$  = La pente de la ligne d'énergie.

#### IV.1.7 Nombre du Froude

C'est le rapport entre les forces de gravité et celles d'inertie ou:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} \dots \dots \dots (IV.14)$$

Le rôle du nombre de Froude est de permettre le classement des écoulements comme suit :

- écoulement fluvial  $Fr < 1 \Rightarrow hcr < hn$ .
- écoulement torrentiel  $Fr > 1 \Rightarrow hcr > hn$ .
- écoulement critique  $Fr = Fcr = 1 \Rightarrow hcr = hn$ .

#### IV.1.8 Calcul de la ligne d'eau

La variation de débit, de la pente, de la rugosité, ou bien n'importe quel paramètre qui influence sur l'écoulement provoque une variation de la profondeur de l'eau le long du canal ce qu'on appelle la ligne d'eau. Pour le calcul et le tracé de la ligne d'eau, on peut distinguer pour cela 3 méthodes :

- La méthode par intégration directe ;
- La méthode par approximation successive ;
- La méthode par intégration graphique.

### IV.2 Calcul des paramètres géométrique et hydraulique de la variante choisie

#### IV.2.1 chaâbat Djenane ER-Ramda

Nous avons déjà cité dans le chapitre précédent, les différentes variantes d'aménagement proposé, et dans le même titre de sujet, notre choix est effectué, en la projection d'un canal de forme trapézoïdale en béton avec la projection de trois dalots, Le canal s'étale sur une longueur de 1150 m.

Les paramètres géométriques et hydrauliques calculés de chaque ouvrage sont résumés dans les tableaux suivants :

Tableau VI. 1 Calcul des paramètres géométriques du canal trapézoïdal de chaâbat Djenane ER-Ramda

<i>tronçons</i>	<i>Long</i>	<i>Q (50)</i>	<i>I</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>b</i>	<i>B</i>	<i>h</i>	<i>Pm</i>	<i>Sm</i>	<i>H</i>
	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	m/m		m/m	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)
1	236	16.66	0.036	0.013	1	1.5	2.47	0.97	3.67	1.93	1.47
2	207	16.66	0.006	0.013	1	2.5	3.72	1.23	5.23	3.80	1.72
3	112	16.66	0.012	0.013	1	2.5	3.49	0.99	4.71	2.96	1.49
4	561	16.66	0.003	0.013	1	4	5.12	1.12	6.50	5.11	1.62

Tableau VI. 2 Calcul des paramètres hydrauliques du canal trapézoïdal de chaâbat Djenane ER-Ramda

<i>tronçons</i>	<i>Long</i>	<i>Q (50)</i>	<i>h</i>	<i>Hs</i>	<i>hc</i>	<i>V</i>	<i>Fr</i>	<i>régime</i>	<i>ic</i>
	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	/	/	m/m
1	236	16.66	0.97	4.78	1.88	8.18	2.24	torr	0.0035
2	207	16.66	1.22	2.20	1.49	4.25	1.09	torr	0.003
3	112	16.66	0.99	2.60	1.49	5.65	1.96	torr	0.003
4	561	16.66	1.12	1.66	1.15	5.54	1.61	torr	0.0026

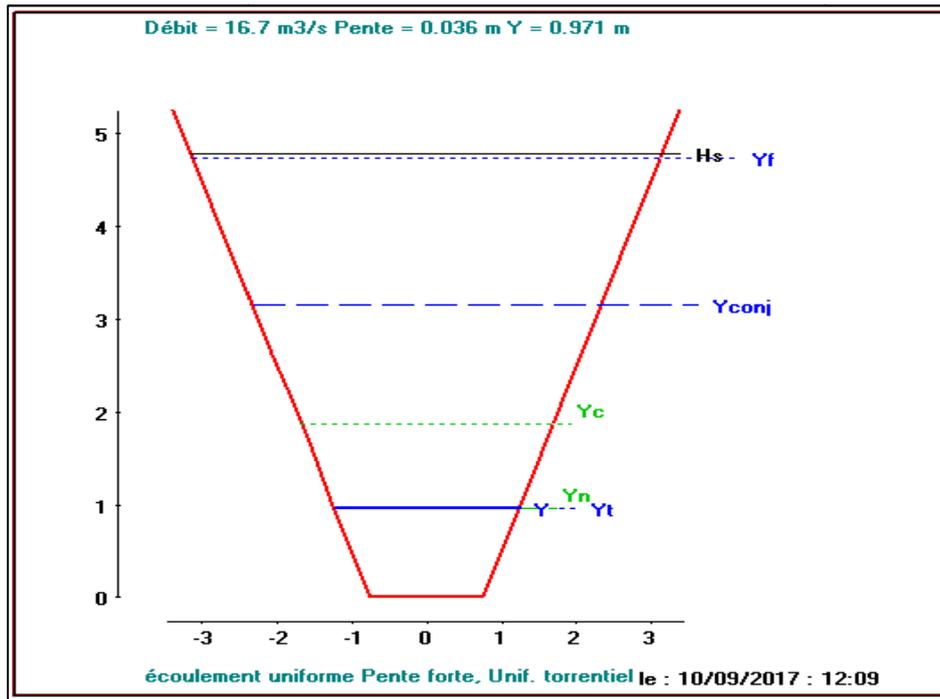


Figure IV. 2 Schéma hydraulique de la section (1) de chaâbat Djenane ER-Ramda

D'après la simulation, on constate que l'écoulement est torrentiel caractérisé par un hauteur égale à 0.97m , On remarque que le long du tronçon (1) on a  $ic < i, hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

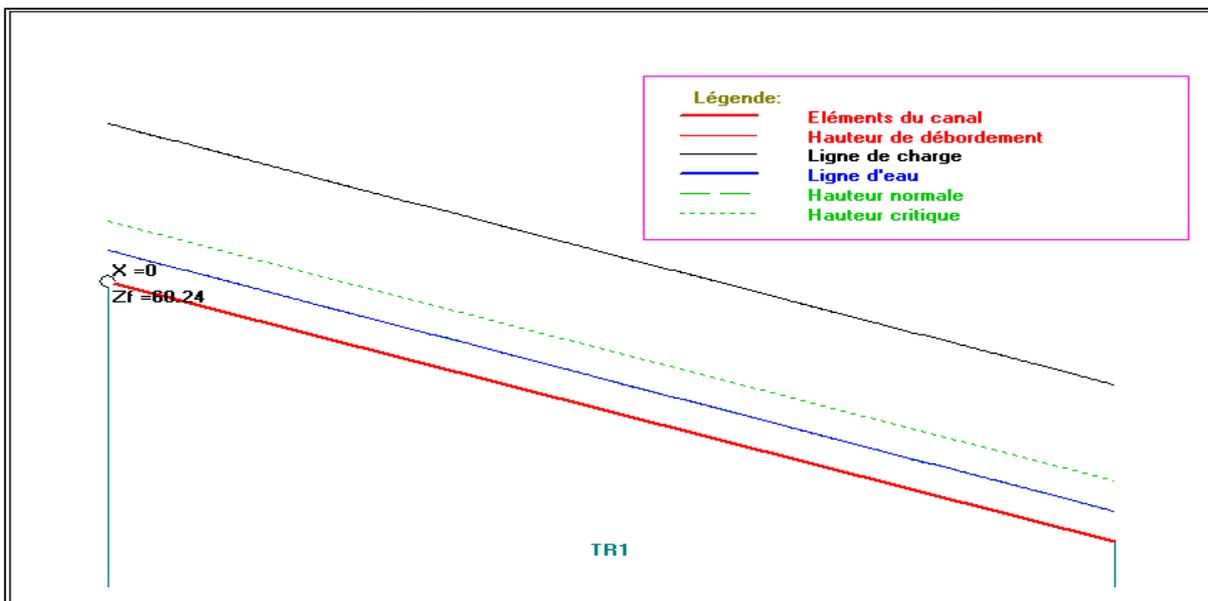


Figure IV. 3 La ligne d'eau du (tronçon 1) de chaâbat Djenane ER-Ramda

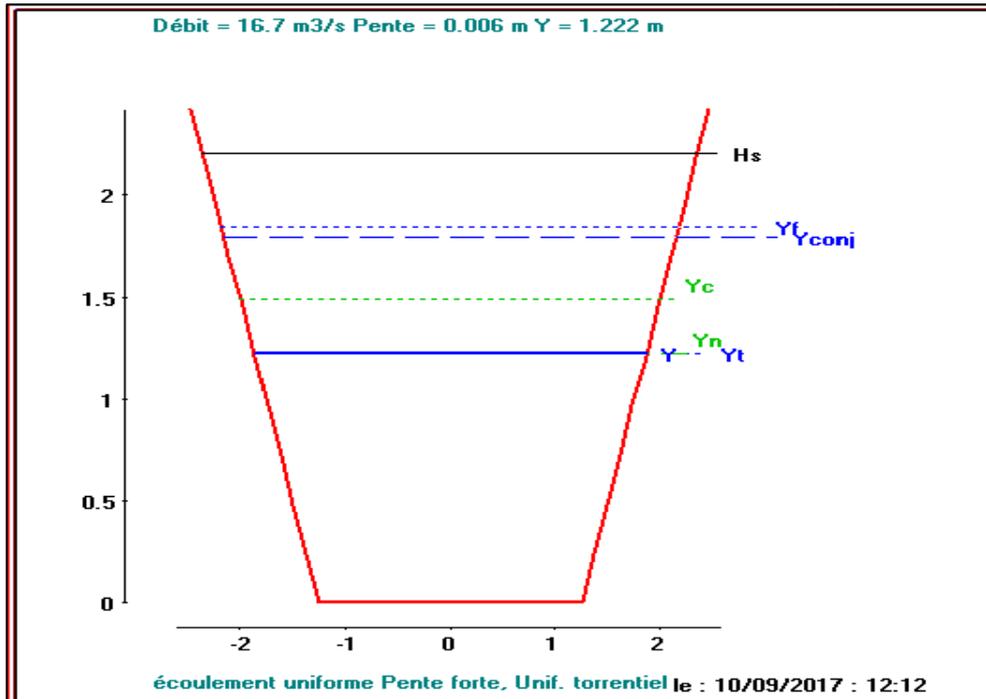


Figure IV. 4 Schéma hydraulique de la section (2) de chaâbat Djenane ER-Ramda

D'après la simulation, on constate que l'écoulement est torrentiel caractérisé par un hauteur égale à 1.23m, On remarque que le long du tronçon (2) on a  $ic < i$ ,  $hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

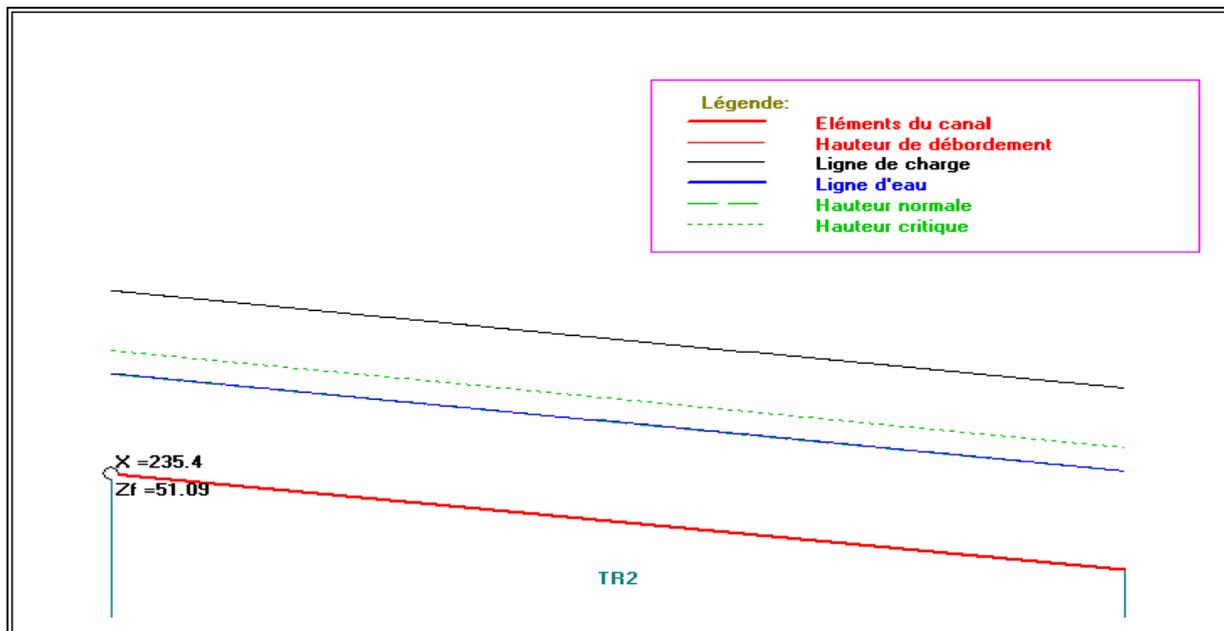


Figure IV. 5 La ligne d'eau du (tronçon 2) de chaâbat Djenane ER-Ramda

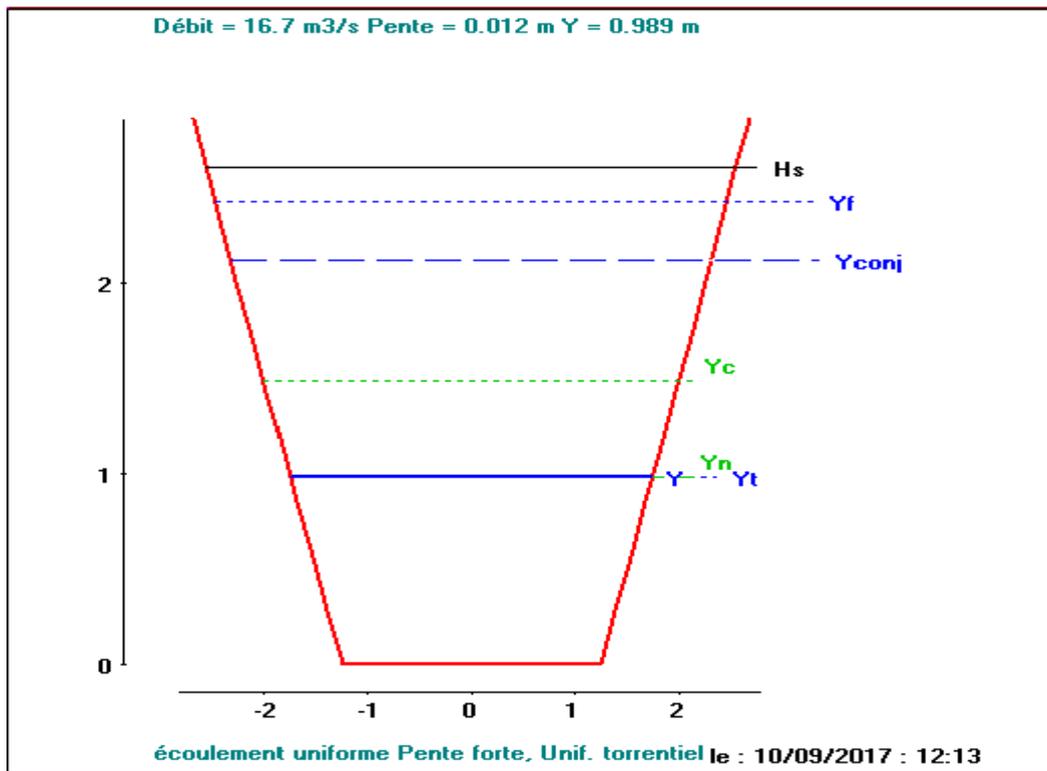


Figure IV. 6 Schéma hydraulique de la section (3) de chaâbat Djenane ER-Ramda

D'après la simulation, on constate que l'écoulement est torrentiel caractérisé par un hauteur égale à 0.99 m , On remarque que le long du tronçon (3) on a  $ic < i$ ,  $hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

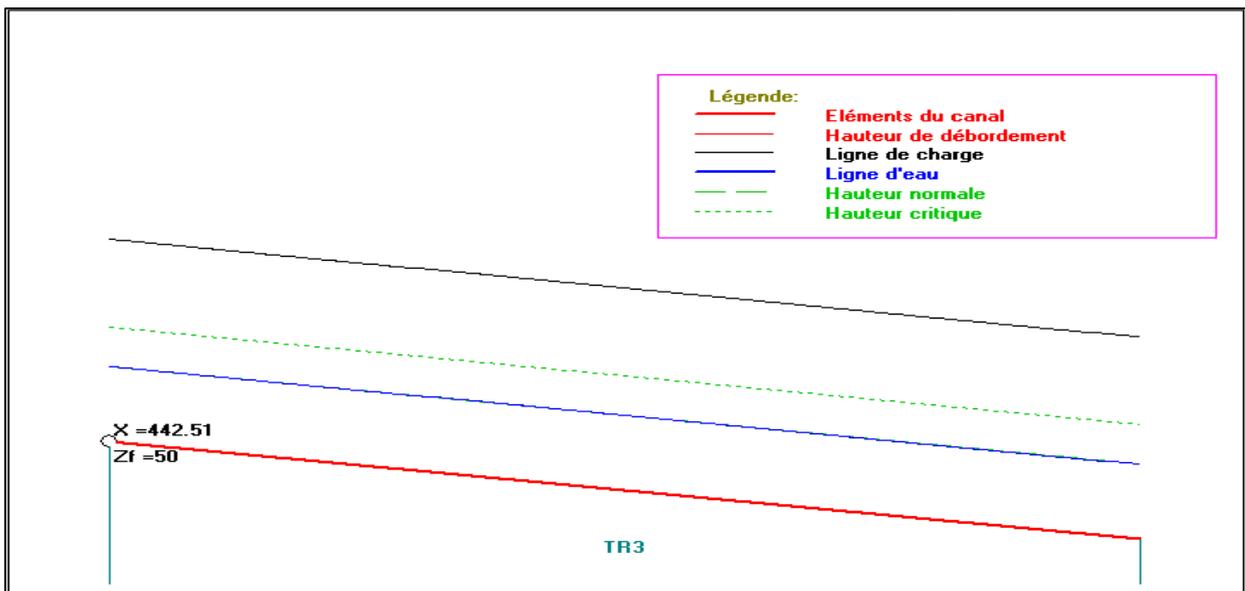


Figure IV. 7 la ligne d'eau du (tronçon 3) de chaâbat Djenane ER-Ramda

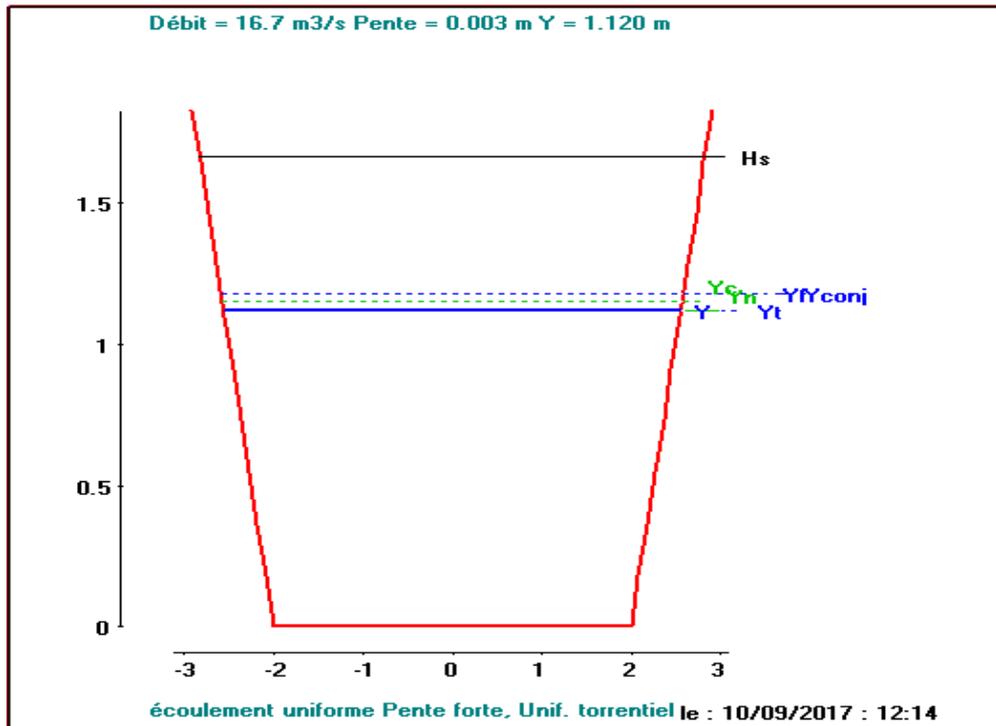


Figure IV. 8 Schéma hydraulique de la section (4) de chaâbat Djenane ER-Ramda

D'après la simulation, on constate que l'écoulement est torrentiel caractérisé par un hauteur égale à 1.12m , On remarque que le long du tronçon (4) on a  $ic < i$ ,  $hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

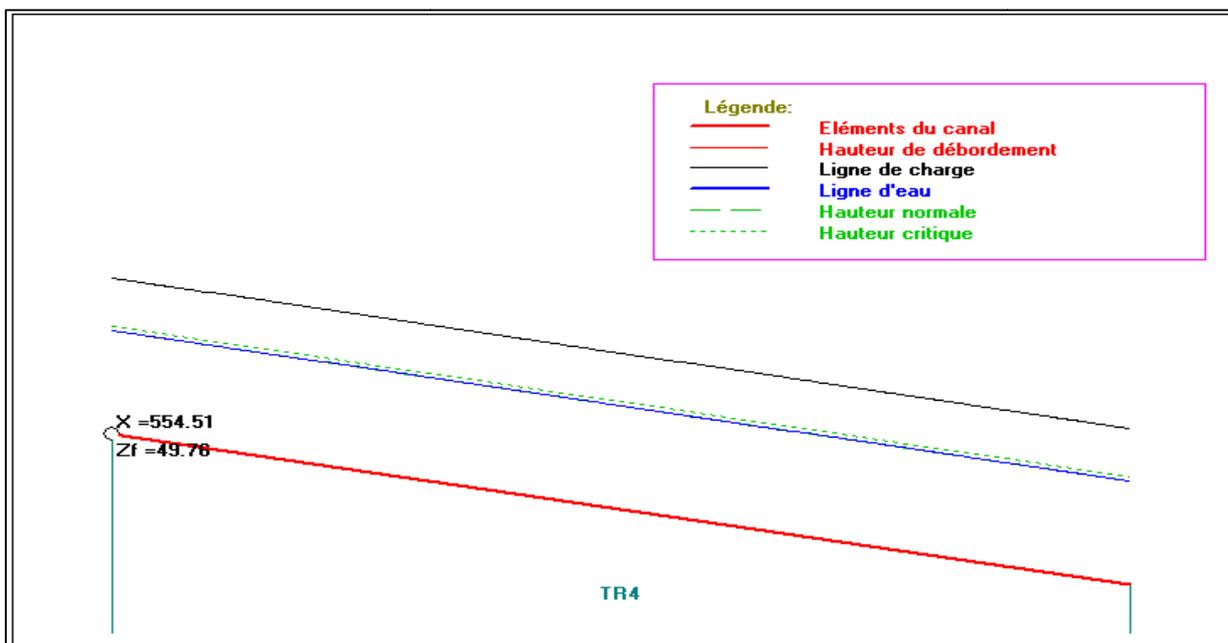


Figure IV. 9 la ligne d'eau du (tronçon 4) de chaâbat Djenane ER-Ramda

➤ **Commentaire**

Les vitesses d'écoulement varient entre 4 à 8 m/s dans les différents tronçons, le tableau IV.2 montre un régime d'écoulement torrentiel le long du canal, caractérisé par des vitesses élevées, afin d'assurer l'évacuation rapide de flux de la crue.

Chaâbat Djenane Er-Ramda traverse 2 routes et un chemin ferré ce qui nous a obligé de projeter trois dalots dimensionnés à l'aide d'un outil de calcul, ces dalots coupent le tronçon 4, et les résultats sont récapitulés dans les tableaux suivant :

**Tableau VI. 3 Calcul des paramètres géométriques des dalots de chaâbat Djenane ER-Ramda**

<i>Tronçon</i>	<i>Long</i>	<i>Q (50)</i>	<i>I</i>	<i>n</i>	<i>B</i>	<i>h</i>	<i>Pm</i>	<i>Sm</i>	<i>H</i>
	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	m/m		(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)
<b>Dalot 1</b>	18	16.66	0.02	0.013	3	0.85	4.69	2.54	1.35
<b>Dalot 2</b>	9	16.66	0.016	0.013	3	0.91	4.83	2.74	1.41
<b>Dalot 3</b>	9	16.66	0.048	0.013	3	0.62	4.25	1.87	1.12

**Tableau VI. 4 Calcul des paramètres hydrauliques des dalots de chaâbat Djenane ER-Ramda**

<i>Tronçon</i>	<i>Long</i>	<i>Q (50)</i>	<i>h</i>	<i>Hs</i>	<i>hc</i>	<i>V</i>	<i>Fr</i>	<i>régime</i>	<i>ic</i>
	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	/	/	m/m
<b>Dalot 1</b>	18	16.66	0.85	3.05	1.46	6.57	2.28	torr	0.004
<b>Dalot 2</b>	9	16.66	0.91	2.79	1.46	6.07	2.03	torr	0.004
<b>Dalot 3</b>	9	16.66	0.62	4.65	1.46	8.89	3.59	torr	0.004

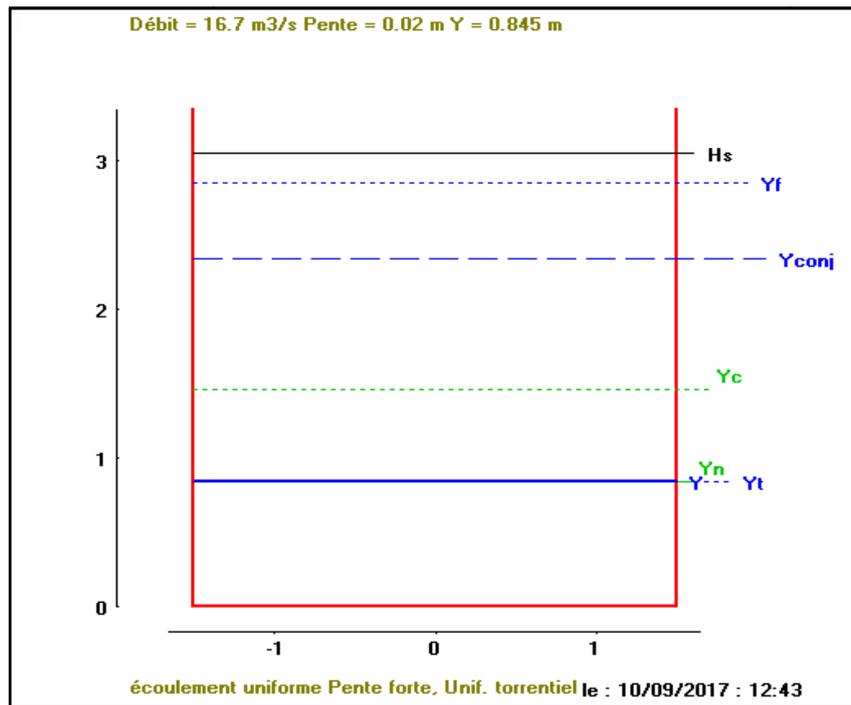


Figure IV. 10 Schéma hydraulique du dalot( 1) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Le dalot 1 est caractérisé par un hauteur de 1.35 m , On remarque que le long du dalot (1) on a  $ic < i$ ,  $hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

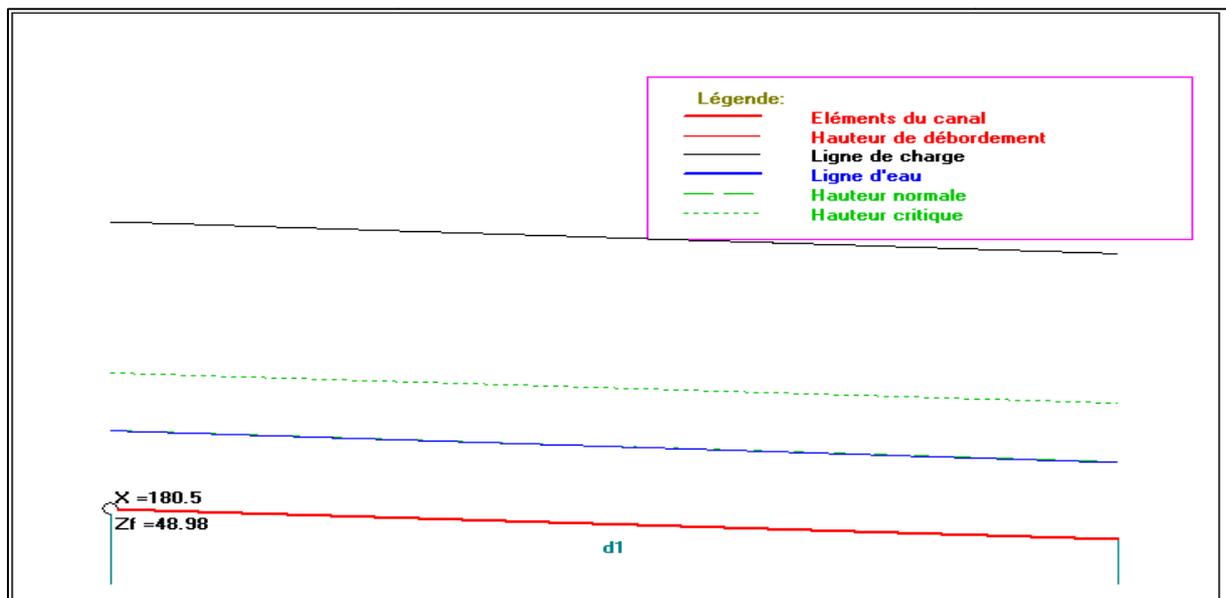


Figure IV. 11 La ligne d'eau du dalot( 1) de chaâbat Djenane ER-Ramda

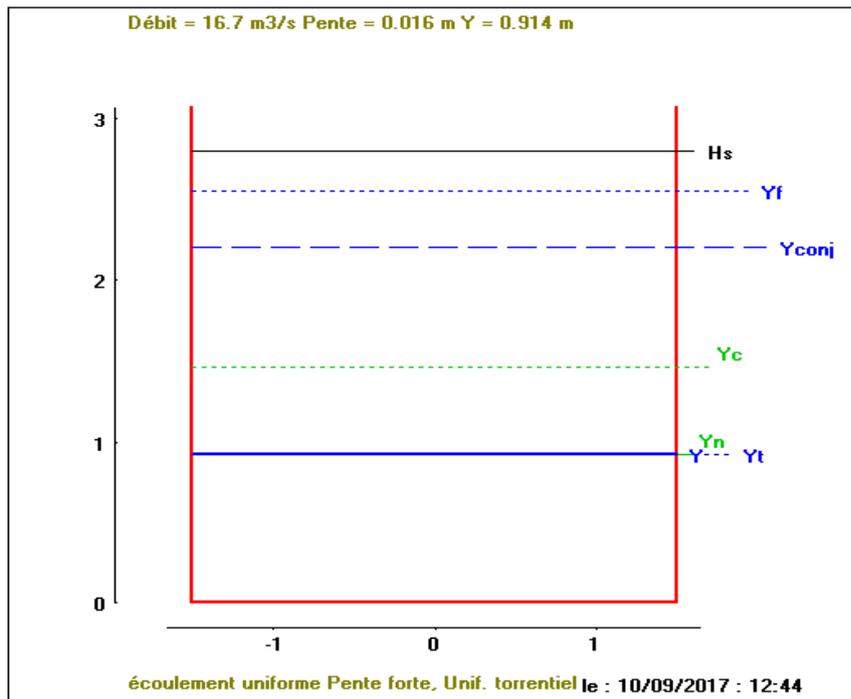


Figure IV. 12 Schéma hydraulique du dalot (2) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Le dalot 1 est caractérisé par un hauteur de 1.41 m , On remarque que le long du dalot (2) on a  $hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

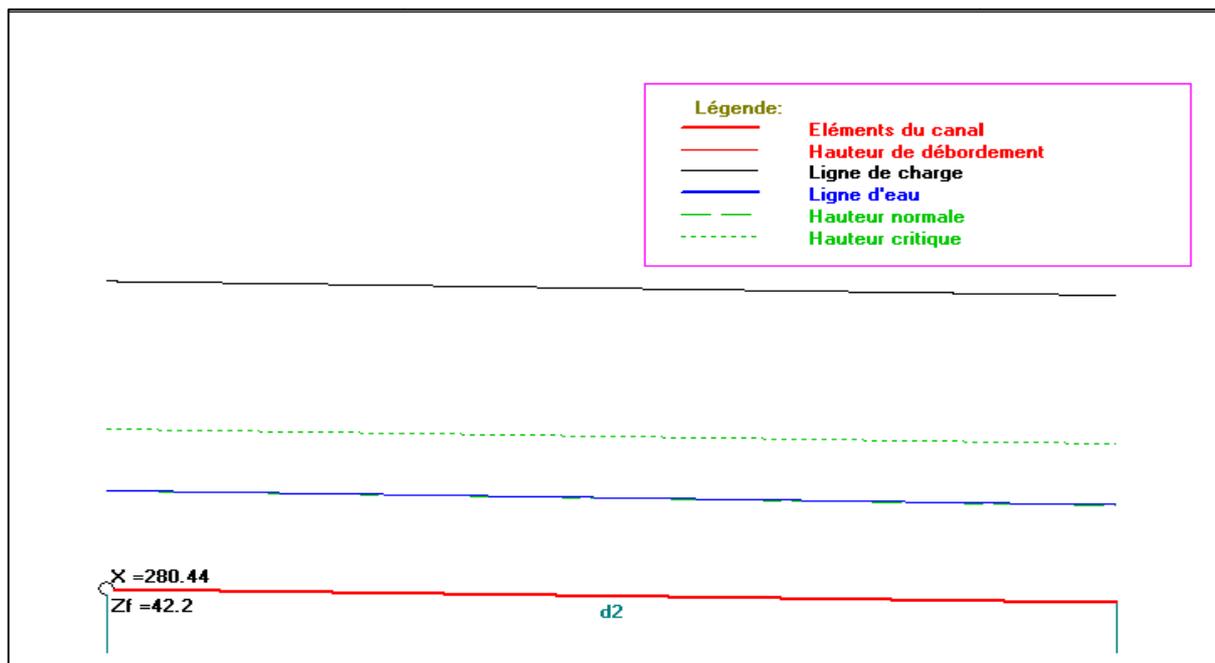


Figure IV. 13 La ligne d'eau du dalot( 2) de chaâbat Djenane ER-Ramda

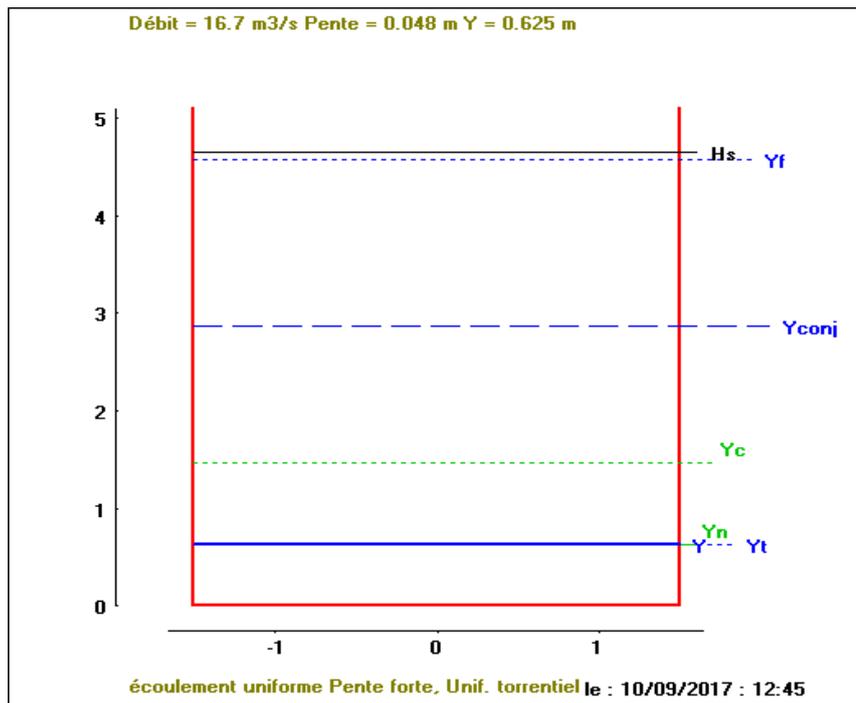


Figure IV. 14 Schéma hydraulique du dalot (3) de chaâbat Djenane ER-Ramda

Le dalot 1 est caractérisé par un hauteur de 1.12 m , On remarque que le long du dalot (3) on a  $ic < i$ ,  $hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

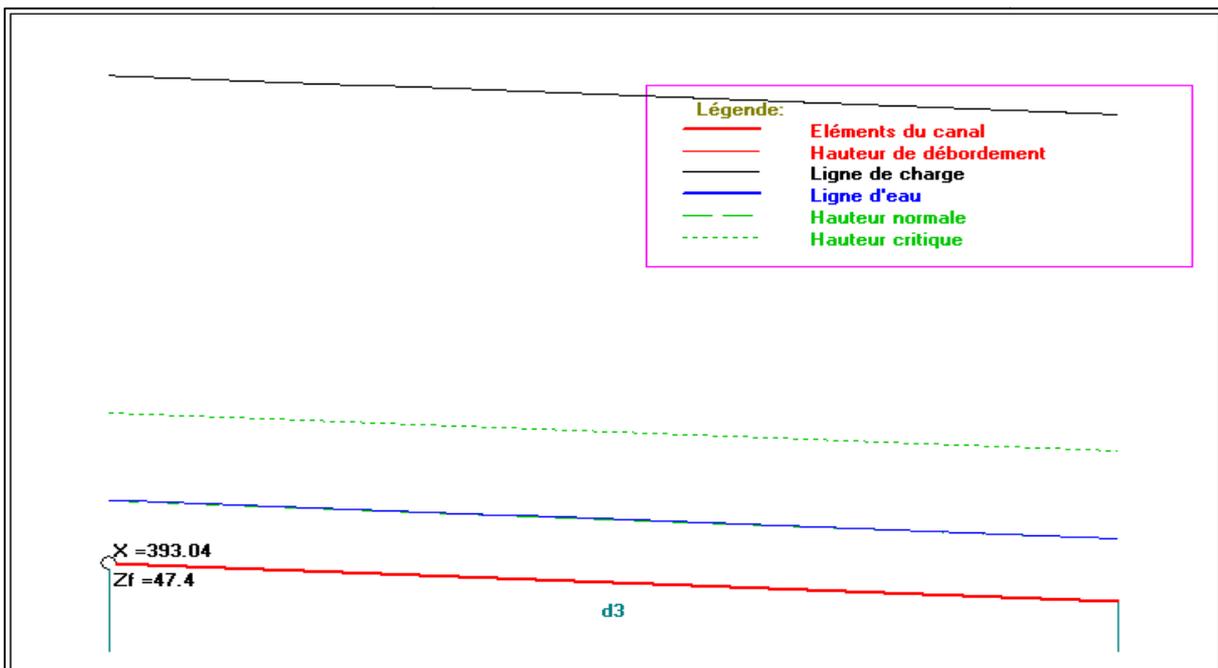


Figure IV. 15 La ligne d'eau du dalot (3) de chaâbat Djenane ER-Ramda

### ➤ **Commentaire**

Les vitesses d'écoulement varient entre 6 à 8 m/s. Le régime d'écoulement est torrentiel le long du canal, caractérisé par des vitesses élevées, afin d'assurer l'évacuation rapide de flux de la crue, ainsi qu'un curage des sédiments déposés.

### **IV.2.2 chaâbat El Kahla**

La solution retenue consiste à la projection d'un canal de forme trapézoïdale en béton armé avec la projection de trois dalots. Le canal s'étale sur une longueur de 751 m.

Les paramètres géométriques et hydrauliques calculés de chaque ouvrage sont résumés dans les tableaux suivants :

**Tableau VI. 5 Calcul des paramètres géométriques du canal trapézoïdal de chaâbat EL Kahla**

<i>tronçon</i>	<i>Long</i>	<i>Q (50)</i>	<i>I</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>b</i>	<i>B</i>	<i>hm</i>	<i>Pm</i>	<i>Sm</i>	<i>H</i>
	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	m/m			(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)
<b>1</b>	358	27.137	0.008	0.013	1	2.5	5.13	1.32	6.21	5.01	1.82
<b>2</b>	112	27.137	0.012	0.013	1	2.5	4.85	1.18	5.82	4.32	1.68
<b>3</b>	233	27.137	0.02	0.013	1	2.5	4.54	1.02	5.39	3.59	1.52

**Tableau VI. 6 Calcul des paramètres hydrauliques du canal trapézoïdal de chaâbat EL Kahla**

<i>tronçons</i>	<i>Long</i>	<i>Q (50)</i>	<i>h</i>	<i>Hs</i>	<i>hc</i>	<i>V</i>	<i>Fr</i>	<i>régime</i>	<i>ic</i>
	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	/	/	m/m
<b>1</b>	358	27.137	1.31	2.81	1.79	5.29	1.18	torr	0.002
<b>2</b>	112	27.137	1.18	3.19	1.79	6.21	1.50	torr	0.002
<b>3</b>	233	27.137	1.02	3.93	1.79	7.57	2.02	torr	0.002

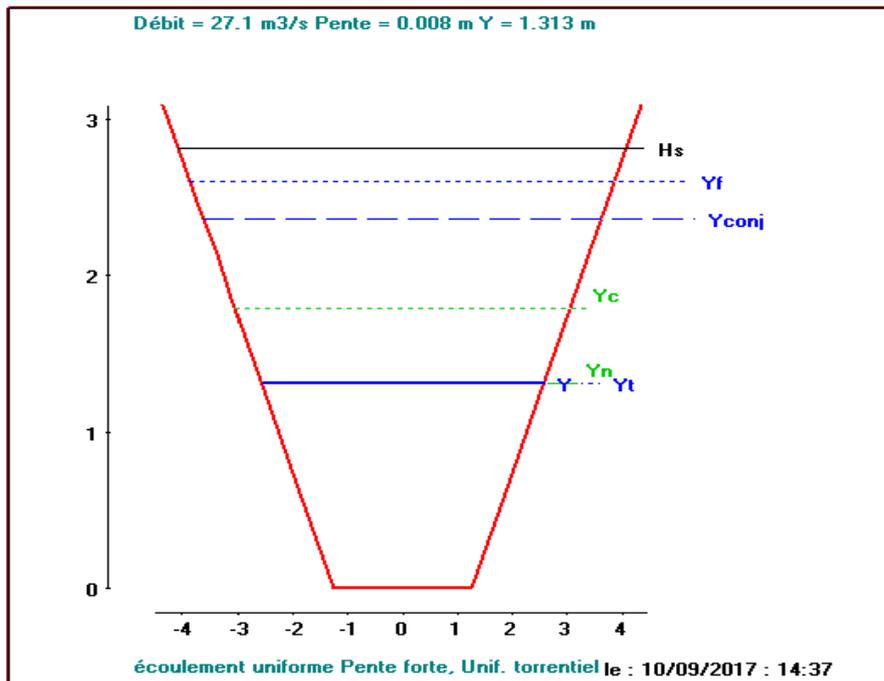


Figure IV. 16 Schéma hydraulique de la section (1) de Chaâbat El Kahla

D'après la simulation, on constate que l'écoulement est torrentiel caractérisé par un hauteur égale à 1.32 m , On remarque que le long du tronçon (1) on a  $ic < i$ ,  $hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

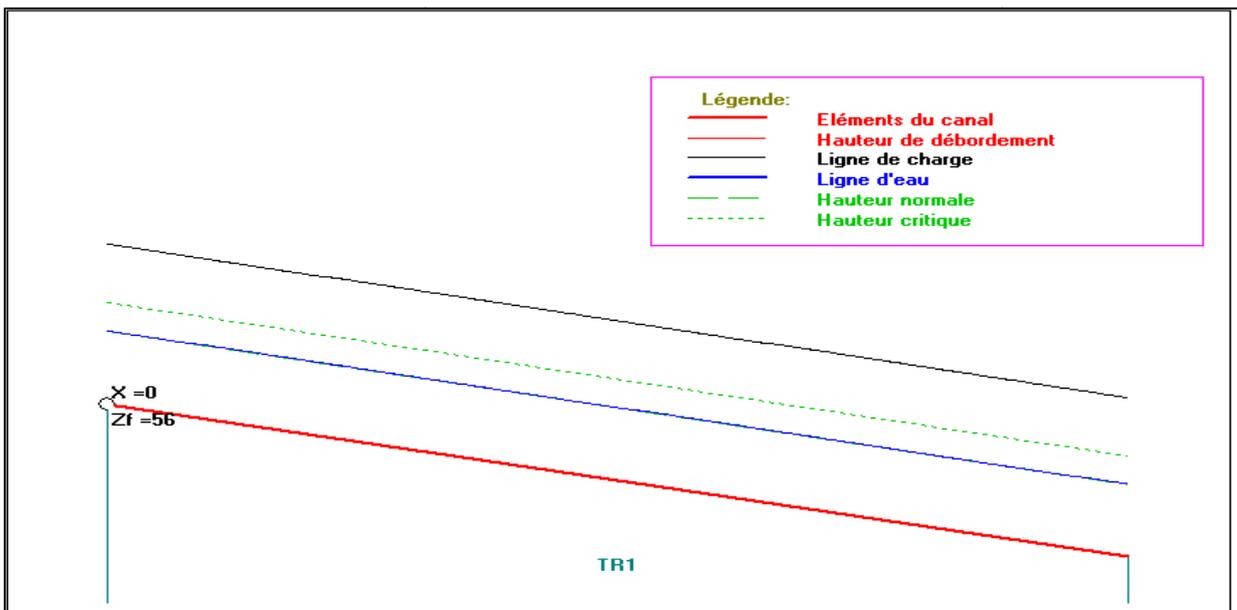


Figure IV. 17 La ligne d'eau du tronçon (1) de Chaâbat El Kahla

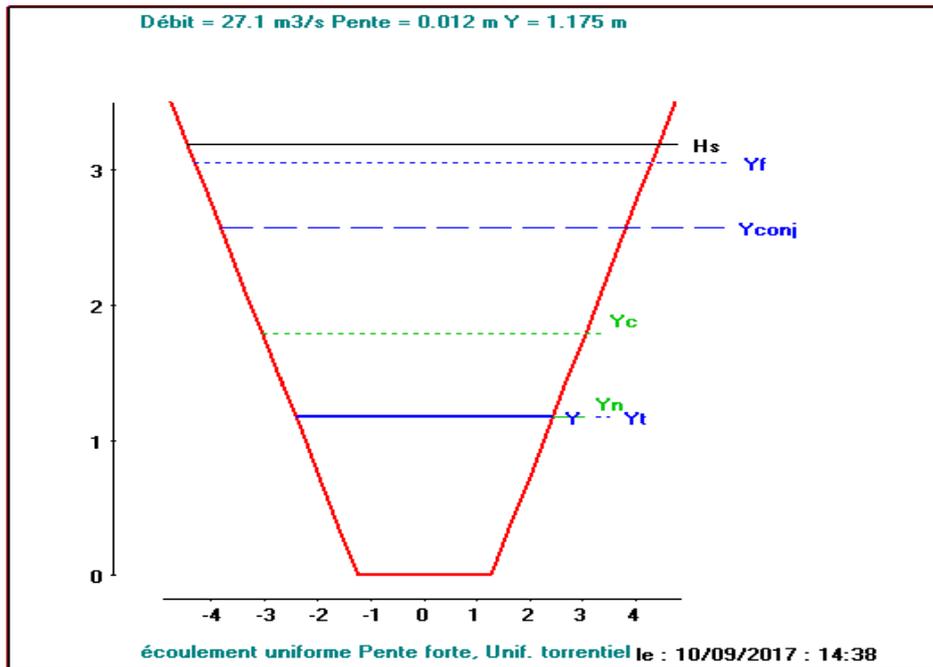


Figure IV. 18 Schéma hydraulique de la section (2) de Chaâbat El Kahla

D'après la simulation, on constate que l'écoulement est torrentiel caractérisé par un hauteur égale à 1.18m , On remarque que le long du tronçon (2) on a  $ic < i$ ,  $hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

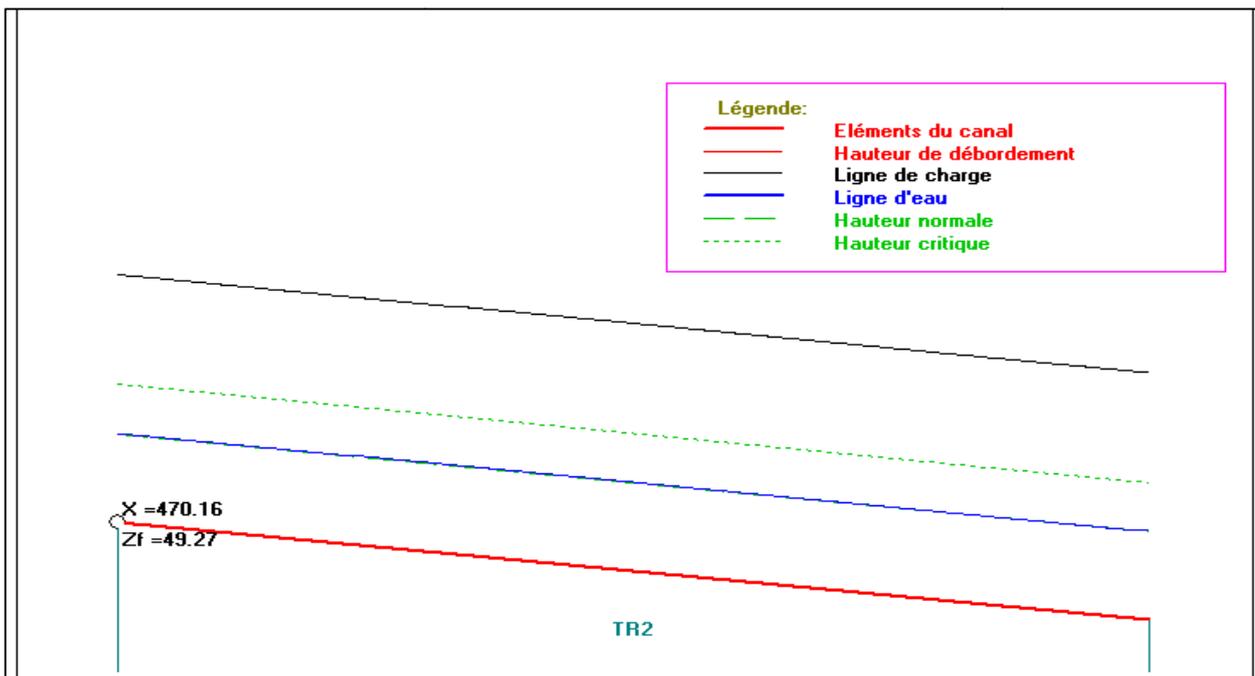


Figure IV. 19 la ligne d'eau du tronçon (2) de Chaâbat El Kahla

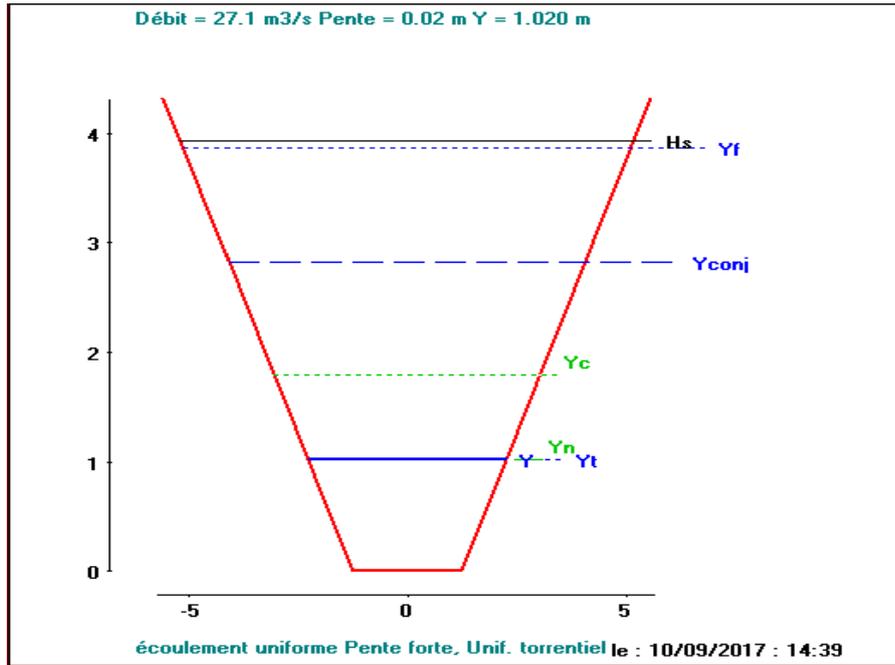


Figure IV. 20 Schéma hydraulique de la section (3) de Chaâbat El Kahla

D'après la simulation, on constate que l'écoulement est torrentiel caractérisé par un hauteur égale à 1.02 m , On remarque que le long du tronçon (3) on a  $ic < i$ ,  $hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

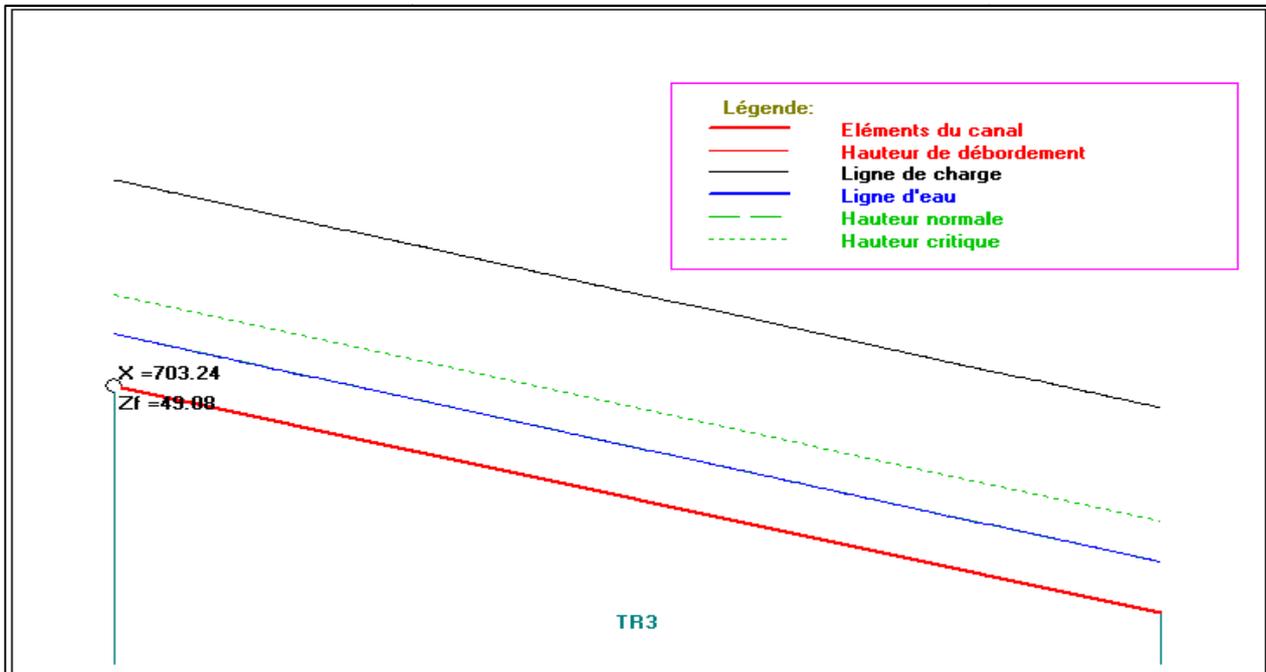


Figure IV. 21 la ligne d'eau du tronçon (3) de Chaâbat El Kahla

➤ **Commentaire**

Le régime d'écoulement est torrentiel le long du chaâbat Djenane er-Ramda, caractérisé par des vitesses élevées variant entre 5 à 7 m/s, afin d'assurer l'évacuation rapide de flux de la crue, ainsi qu'un curage des sédiments déposés.

➤ **Remarque :**

Chaâbat El Kahla traverse une route, un chemin ferré et un pont en aval ce qui nous a obligé de projeter trois dalots dimensionnés à l'aide d'un outil de calcul, le premier dalot est projeté à la fin du tronçon 1, c.à.d. il sépare les deux tronçons 1 et 2, le deuxième dalot coupe le tronçon 3 et le troisième dalot est projeté à l'aval.

Les paramètres géométriques et hydrauliques calculés de chaque ouvrage sont résumés dans les tableaux suivants :

Tableau VI. 7 Calcul des paramètres géométriques des dalots de chaâbat EL Kahla

<i>Tronçon</i>	<i>Long</i>	<i>Q (50)</i>	<i>I</i>	<i>n</i>	<i>b</i>	<i>hm</i>	<i>Pm</i>	<i>Sm</i>	<i>H</i>
	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	m/m		(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)
<b>Dalot 1</b>	15	27.137	0.011	0.013	2.5	1.81	6.12	4.52	2.31
<b>Dalot 2</b>	29	27.137	0.009	0.013	2.5	1.96	6.42	4.89	2.46
<b>Dalot 3</b>	4	27.137	0.015	0.013	2.5	1.60	5.71	4.01	2.10

Tableau VI. 8 Calcul des paramètres hydrauliques des dalots de chaâbat EL Kahla

<i>Tronçon</i>	<i>Long</i>	<i>Q (50)</i>	<i>h</i>	<i>Hs</i>	<i>hc</i>	<i>V</i>	<i>Fr</i>	<i>régime</i>	<i>ic</i>
	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	/	/	m/m
<b>Dalot 1</b>	15	27.137	1.81	3.64	2.29	6.00	1.42	torr	0.006
<b>Dalot 2</b>	29	27.137	1.96	3.52	2.29	5.54	1.27	torr	0.006
<b>Dalot 3</b>	4	27.137	1.60	3.94	2.29	6.77	1.71	torr	0.006

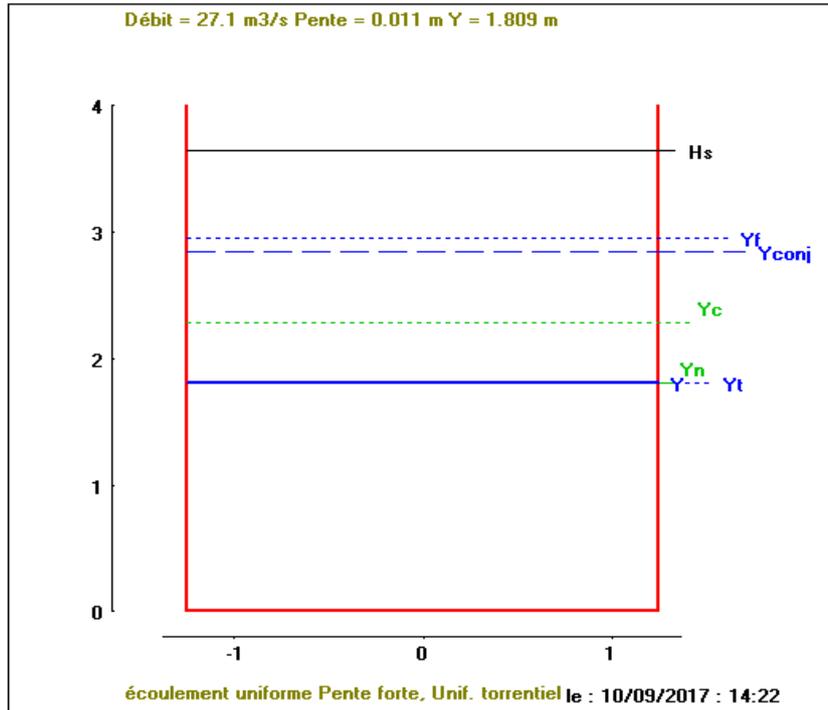


Figure IV. 22 Schéma hydraulique du dalot (1) de Chaâbat El Kahla

Le dalot 1 est caractérisé par un hauteur de 2.31 m , On remarque que le long du dalot (1) on a  $ic < i$ ,  $hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

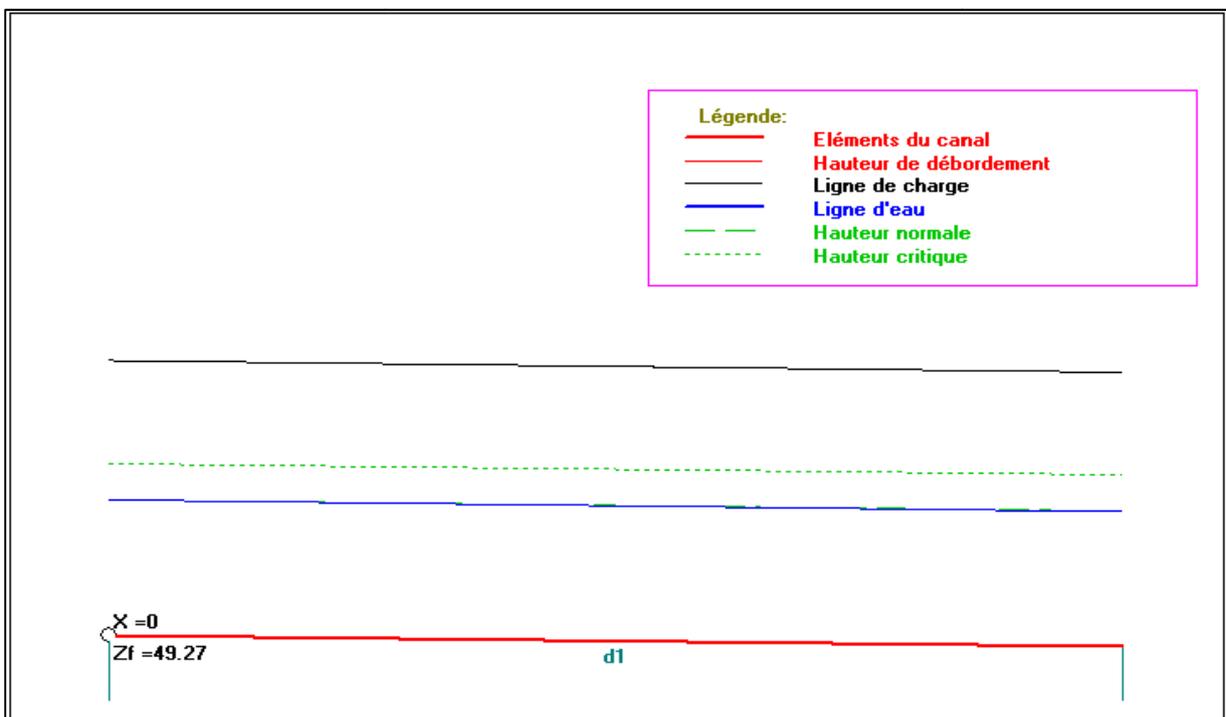


Figure IV. 23 Figure IV. 23 La ligne d'eau du dalot (1) de Chaâbat El Kahla

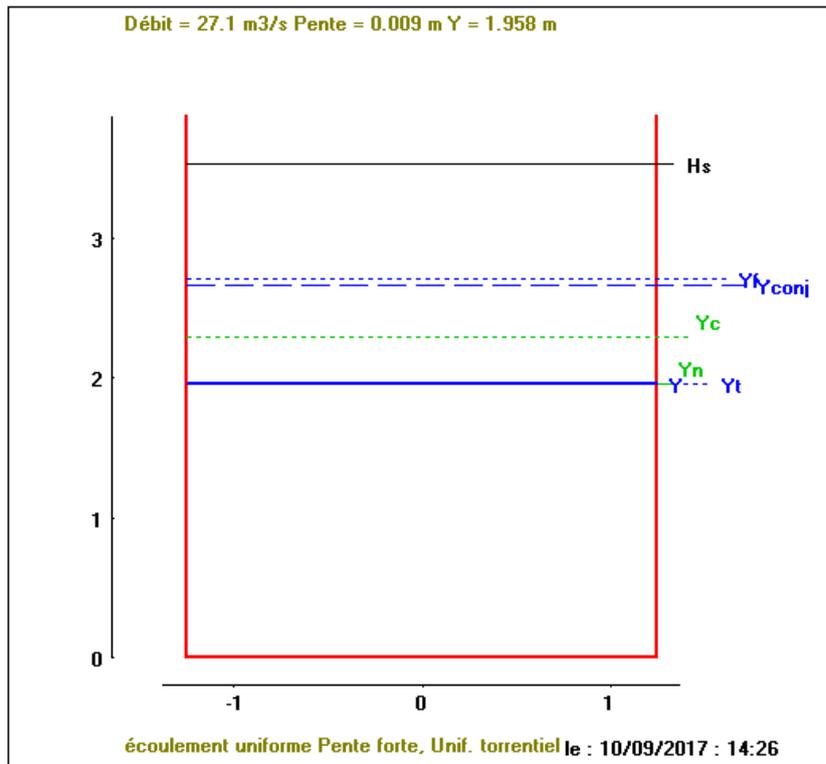


Figure IV. 24 Schéma hydraulique du dalot (2) de Chaâbat El Kahla

Le dalot 1 est caractérisé par un hauteur de 2.46 m , On remarque que le long du dalot (1) on a  $ic < i$ ,  $hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

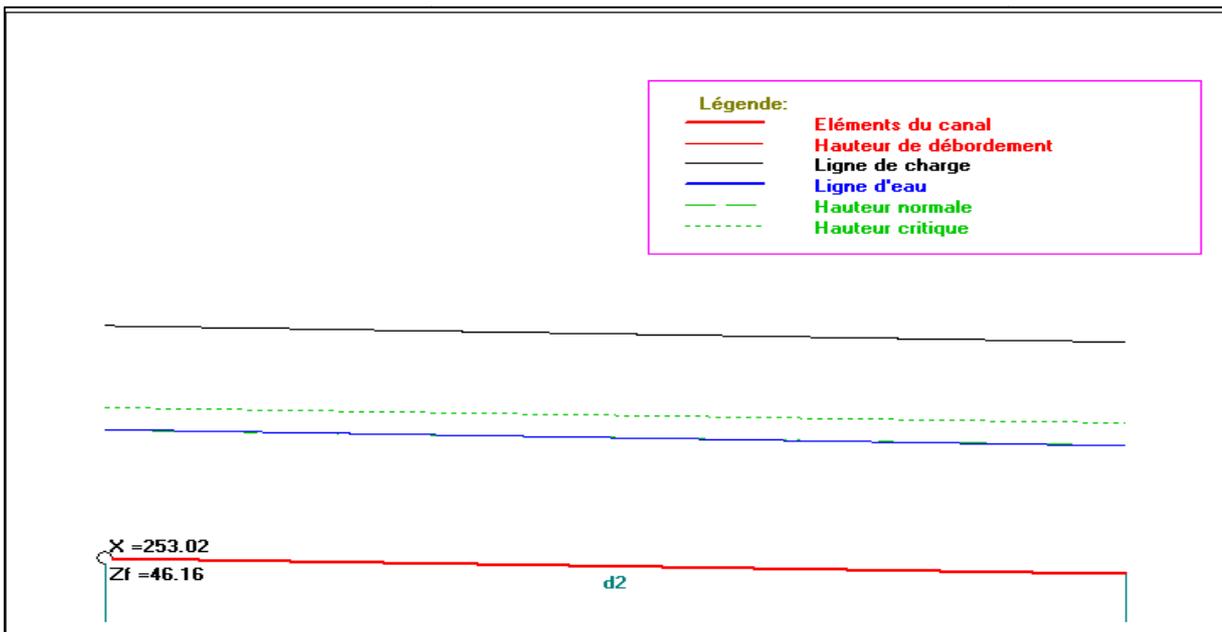


Figure IV. 25 La ligne d'eau du dalot (2) de Chaâbat El Kahla

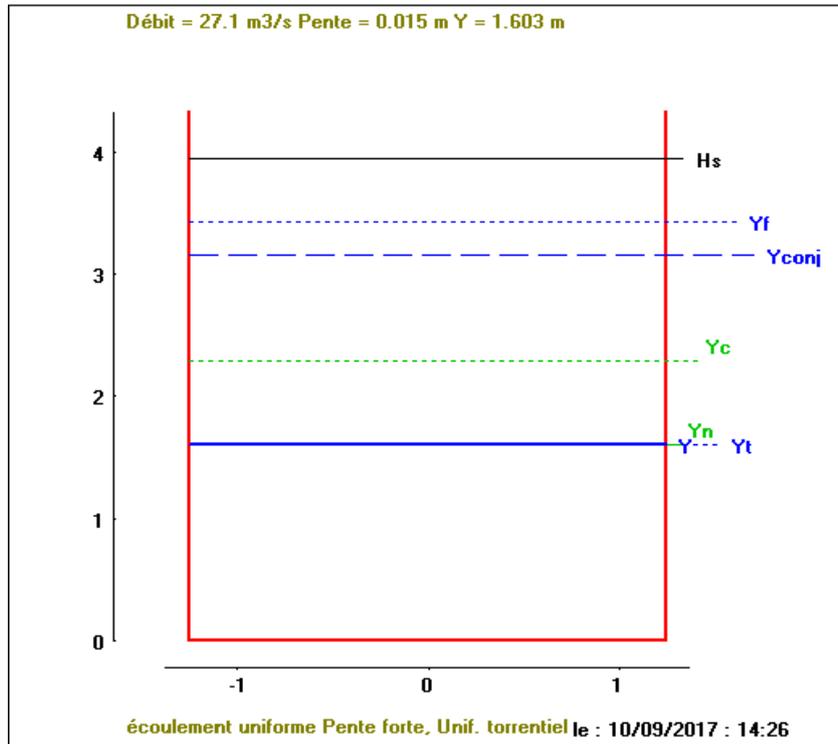


Figure IV. 26 Schéma hydraulique du dalot (3) de Chaâbat El Kahla

Le dalot 1 est caractérisé par un hauteur de 2.10 m , On remarque que le long du dalot (3) on a  $ic < i$ ,  $hc > h$  et  $Fr > 1$  donc Le type de courbe de remous dans ce cas est S2, il est présenté dans la figure suivante :

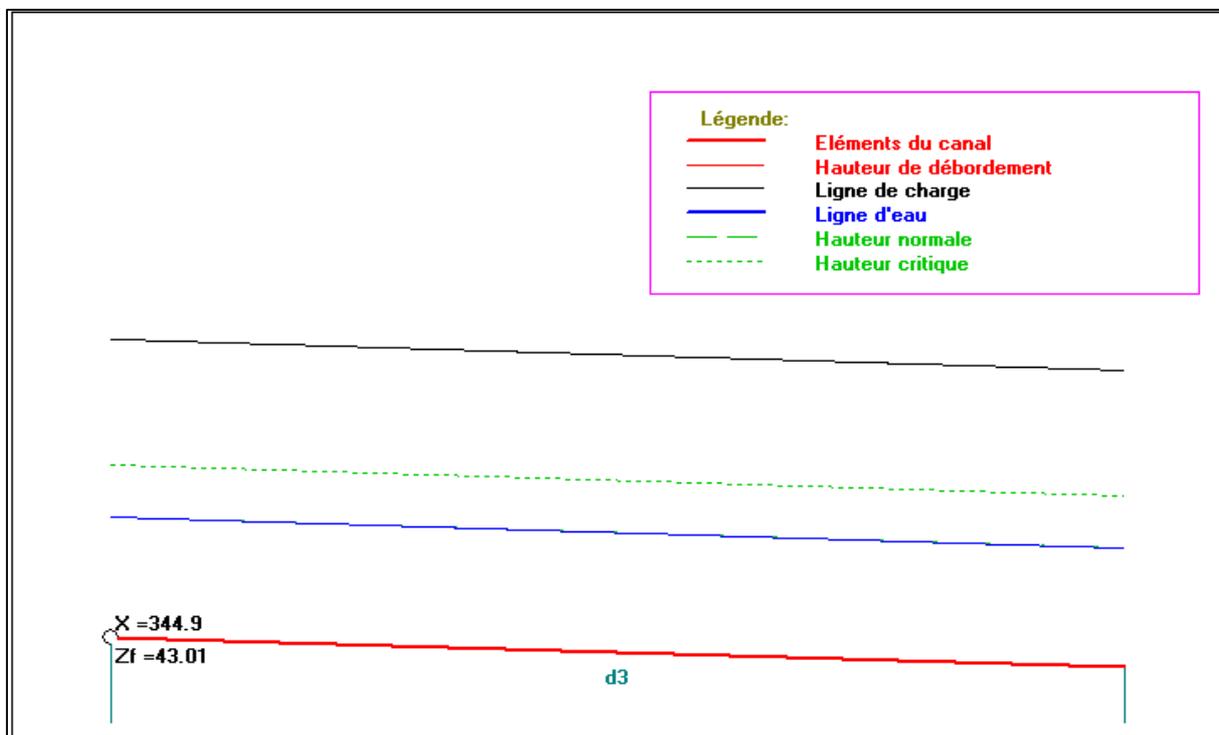


Figure IV. 27 La ligne d'eau du dalot (3) Chaâbat El Kahla

### ➤ **Commentaire**

Chaâbat El Kahla est caractérisé par des vitesses élevées, elles varient entre 5 à 6 m/s afin d'assurer l'évacuation rapide de flux de la crue. Ainsi qu'un curage des sédiments déposés. Le régime d'écoulement est torrentiel le long du chaâbat Djenane er-Ramda.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre on a aménagé les deux chaâbats de telle façon à avoir un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et la surface libre est soumise à la pression atmosphérique avec un profil qui véhicule le débit maximum.

Le dimensionnement des canaux (trapézoïdaux, et rectangulaires) s'est fait par un outil de calcul, on remarque que le régime d'écoulement est torrentiel le long des canaux composant le projet.

La fiabilité des canaux aménagés dépendent de ces caractéristiques hydrauliques et du type de construction ainsi que son inspection et son entretien continu.

Le dimensionnement achevé, on passera à la partie Management de projet qui comportera le planning des travaux et l'estimation sommaire des coûts.

# **Chapitre V**

## **Management de projet**

La réalisation d'un système de protection contre les inondations est régie par les lois auxquelles sont soumis tous chantiers se trouvant dans la nature, en milieu urbain soient ils ou en milieu rural. Pour une réalisation optimale il faut suivre les règles de l'organisation du chantier en général. La méthode la plus utilisée est la méthode CPM « critical path méthode », c'est une méthode qui consiste à réduire les temps de réalisation, les coûts, et augmenter le rendement du travail. Elle se base sur l'établissement d'un réseau qui traduit la succession des opérations constituant le projet en question. A la fin on obtient ce qu'on appelle le chemin critique.

### **V.1 Détermination des différents volumes**

Ce calcul consiste à déterminer les quantités de toutes les opérations effectuées sur le terrain pour la réalisation du projet, ensuite les multiplier par le prix unitaire correspondant. Les différentes tâches effectuées par ordre chronologique sont :

- Les travaux de décapage de la couche de terre végétale.
- L'exécution des tranchées.
- Les Travaux de remblaiement de la tranchée.
- Le transport des sols excédentaires.

#### **V.1.1 Volume de la couche de terre végétale**

$$V_{cv} = H L B \dots\dots\dots(V.2)$$

$V_{cv}$  : Volume de la couche de terre végétale en (m<sup>3</sup>).  
H : Profondeur la couche de terre végétale (on prend  $H_v = 0,1$  m).  
L : Longueur totale de la tranchée en (m).  
B : Largeur de la couche de terre végétale en (m).

#### **V.1.2 Volume des déblais des tranchées**

$$V_d = B L H \dots\dots\dots(V.3)$$

$V_d$  : Volume des déblais des tranchées en (m<sup>3</sup>).  
B : Largeur de la couche du tronçon en (m).  
L : Longueur totale de la tranchée en (m).  
H : Profondeur de la tranchée en (m)

**V.1.3 Volume du lit de propreté**

$$V_{bp} = d_{dp} * L * b_{radier} \dots \dots \dots (V.4)$$

Avec :

$V_{bp}$  : Volume du béton de propreté (m<sup>3</sup>).

$d_{dp}$  : épaisseur de la couche de béton de propreté (= 10 cm).

$b_{radier}$  : Largeur de radier (m).

L : Longueur totale de la tranchée (m).

**V.1.4 Volume du béton armé**

$$V_{B.A} = d_{B.A} * l * (P_{exte} + P_{inte})/2 \dots \dots \dots (V.7)$$

Avec :

$V_{B.A}$  : Volume de béton armé (m<sup>3</sup>).

$d_{B.A}$  : Épaisseur de la couche de béton armé (= 20 cm).

l : Longueur de tranchée (m).

$P_{exte}$  : Périmètre extérieur du canal trapézoïdal (m).

$P_{inte}$  : Périmètre intérieur du canal trapézoïdal (m).

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des calculs des différents volumes des matériaux à utiliser dans la conception des ouvrages constituent le projet.

**Tableau V. 1 Volumes des travaux de chaâbat Djenane er Ramda**

<b>Désignation</b>	<b>U</b>	<b>Quantité</b>
<b>Décapage de la tranchée</b>	m3	472.44
<b>Déblai</b>	m3	2362.22
<b>Remblai</b>	m3	1417.33
<b>Evacuation des déblaies excédentaires</b>	m3	944.89
<b>Béton de propreté</b>	m3	472.44
<b>Béton</b>	m3	2260.03

**Tableau V. 2 Volumes des travaux de chaâbat el Kahla**

<b>Désignation</b>	<b>U</b>	<b>Quantité</b>
<b>Décapage de la tranchée</b>	m3	187.75
<b>Déblai</b>	m3	938.75
<b>Remblai</b>	m3	563.25
<b>Evacuation des déblaies excédentaires</b>	m3	375.50
<b>Béton de propreté</b>	m3	187.75
<b>Béton</b>	m3	895.46

**V.2 Devis quantitatif et estimatif des travaux**

Afin d’avoir une idée sur le coût de réalisation de notre projet, il faut passer par le calcul du devis quantitatif et estimatif. Le tableau suivant récapitule l’ensemble des calculs des différents prix des matériaux à utiliser dans la conception des ouvrages constituent le projet.

**Tableau V. 3 Le devis des différents travaux de chaâbat Djenane er-Ramda**

<b>Désignation</b>	<b>U</b>	<b>Quantité</b>	<b>Prix /U (D.A)</b>	<b>Montant (D.A)</b>
<b>Décapage de la tranchée</b>	m3	472.44	150	70 867
<b>Déblai</b>	m3	2362.22	400	944 887
<b>Remblai</b>	m3	1417.33	500	708 665
<b>Evacuation des déblaies excédentaire</b>	m3	944.89	300	283 466
<b>Béton de propreté</b>	m3	472.44	5000	2 362 218
<b>Béton</b>	m3	2260.03	28000	63 280 738
<b>Montant HT</b>				<b>67 650 842</b>
<b>TVA 19%</b>				<b>12 853 660</b>
<b>Total TTC</b>				<b>80 504 502</b>

**Tableau V. 4 Le devis des différents travaux de chaâbat el Kahla**

Désignation	U	Quantité	Prix /U (D.A)	Montant (D.A)
<b>Décapage de la tranchée</b>	m3	187.75	150	28 163
<b>Déblai</b>	m3	938.75	400	375 500
<b>Remblai</b>	m3	563.25	500	281 625
<b>Evacuation des déblaies excédentaires</b>	m3	375.50	300	112 650
<b>Béton de propreté</b>	m3	187.75	5000	938 750
<b>Béton</b>	m3	895.46	28000	25 072 857
<b>Montant HT</b>				<b>26 809 545</b>
<b>TVA 19%</b>				<b>5 093 814</b>
<b>Total TTC</b>				<b>31 903 358</b>

Donc le montant total du projet reviens : **112 407 860 DA**, cent douze millions quatre cent sept mille huit cent soixante Dinars Algériens.

### **V.3 Planification**

#### **V.3.1 Définition**

La planification est une phase important pour la bonne façon d'utiliser la main d'œuvre et les autres moyens dans le chantier, elle consiste :

- L'installation des postes de travail ;
- L'observation instantanée ;
- L'analyse des tâches ;
- Le chronométrage ;
- La définition des objectifs et des attributions ;
- La simplification des méthodes ;

- La stabilisation des postes de travail.

## V.3.2 Technique de planification

Il existe deux principales méthodes de planification à savoir :

- Méthodes basées sur le réseau
- Méthodes basées sur le graphique

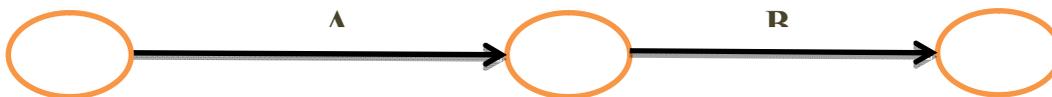
### V.3.2.1 Méthodes basées sur le réseau

#### a- Définition du réseau

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes et la durée de réalisation. On distingue deux types de réseaux :

##### a.1- réseau à flèches

L'opération est représentée par une flèche et la succession des opérations par des nœuds.



L'opération (A) précède l'opération (B).

##### a-2 : Réseau à nœuds

L'opération est représentée par un nœud et la succession des opérations par des flèches.



L'opération (B) ne peut commencer que si l'opération (A) est complètement achevée.

Pour construire un réseau, il convient d'effectuer les opérations suivantes :

- Etablissement d'une liste des tâches.
- Détermination des tâches qui précèdent et qui succèdent.
- Etablissement des graphes partiels.
- Regroupement des graphes partiels.
- Construction du réseau.

- a) Méthode C.P.M (Méthode du chemin critique) : L'objectif de cette méthode est de réduire les temps de réalisation d'un ouvrage en tenant compte de trois phases :
- 1<sup>ère</sup> phase : l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré.
  - 2<sup>ème</sup> phase : analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour, selon l'unité de temps retenue.
  - 3<sup>ème</sup> phase : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.
- b) Méthode PERT (Program Evaluation and Review Technical) : C'est une technique d'ordonnancement des tâches et contrôle des programmes, c'est une méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur chronologie et leur dépendance concourent toutes à l'obtention d'un produit fini.

### V.3.2.2 Méthodes basées sur le graphique

- a) Méthode linéaire (ligne of balance technique) : Cette méthode est destinée à la planification des projets de construction dont les travaux sont répétitifs.
- b) Méthode à barres Cette technique consiste à déterminer deux réseaux et un diagramme à barres (plan de travail).

### V.3.3 Choix de la méthode de calcul

Le choix de la méthode de calcul repose essentiellement sur le type d'ouvrage construire. Il est préférable dans le cas où les opérations se suivent comme dans notre cas d'opter pour la méthode C.P.M.

#### V.3.3.1 Les paramètres de la méthode CPM

- TR : Temps de réalisation des tâches.
- DCP : Date de commencement plutôt.
- DCPP : Date de commencement au plus tard.
- DFP : Date de fin au plutôt.
- DFPP : Date de fin au plus tard.
- MT : Marge totale.

Avec :

- $DFP = DCP + TR$ .
- $DCPP = DFPP - TR$ .

**V.3.3.2 Le chemin critique**

La détermination du chemin critique se fait par:

$$MT = 0$$

$$\sum TR_{c.c} = DCP$$

**V.3.3.3 Elaboration du réseau selon la méthode C.P.M**

La méthode C.P.M est une méthode de planification, elle a pour objectif de réduire le temps et le coût de réalisation de projet et augmenter le rendement du travail. Pour la construction du réseau il faut d'abord établir les différentes tâches des travaux et le temps de réalisation de chaque tâche, Ces derniers sont les suivantes :

**Tableau V. 5 Temps de réalisation de chaque tâche (chaâbat Djenane er-Ramda )**

<b>Notation</b>	<b>Opération</b>	<b>Durée [jour]</b>
A	Décapage de la couche de terre végétale	10
B	Exécution des tranchées	50
C	Remblai	20
D	Compactage	10
E	Lit de béton propriété	20
F	Bétonnage	80
G	Travaux de la finition	10

**Tableau V. 6 Temps de réalisation de chaque tâche (chaâbat el Kahla)**

<b>Notation</b>	<b>Opération</b>	<b>Durée [jour]</b>
A	Décapage de la couche de terre végétale	10
C	Exécution des tranchées	40
D	Remblai	15
E	Compactage	10

Suite du tableau V.6

F	Lit de béton propriété	15
G	Bétonnage	70
H	Travaux de la finition	10

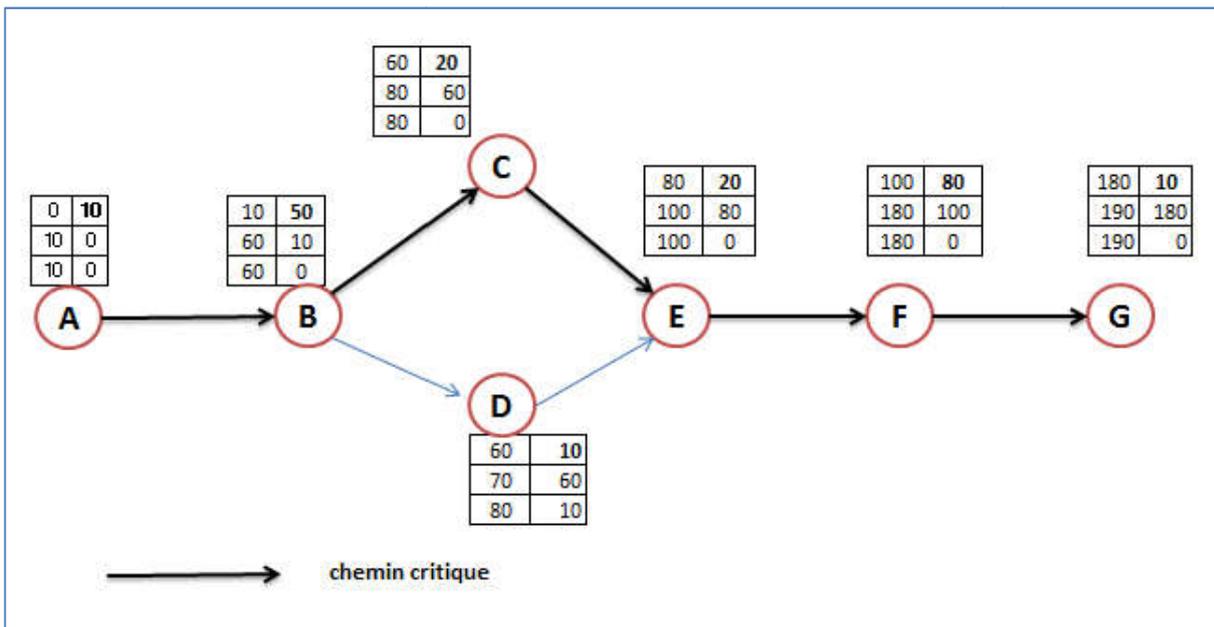


Figure V. 1 Réseau à nœud du projet d'aménagement du chaâbat Djenane er-Ramda

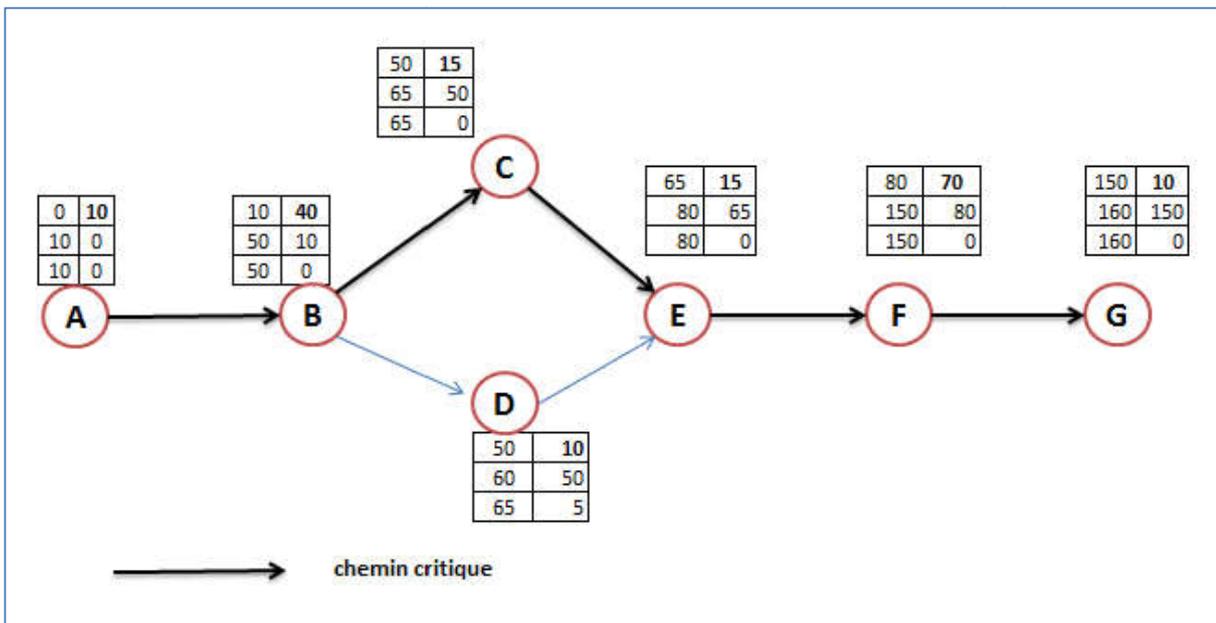


Figure V. 2 Réseau à nœud du projet d’aménagement du chaâbat El Kahla

### V.3.4 Diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt est un outil utilisé en ordonnancement et gestion de projet, permettant de visualiser dans le temps les diverses tâches liées composant un projet (il s’agit d’une représentation d’un graphe connexe). Il permet de représenter graphiquement l’avancement du projet.

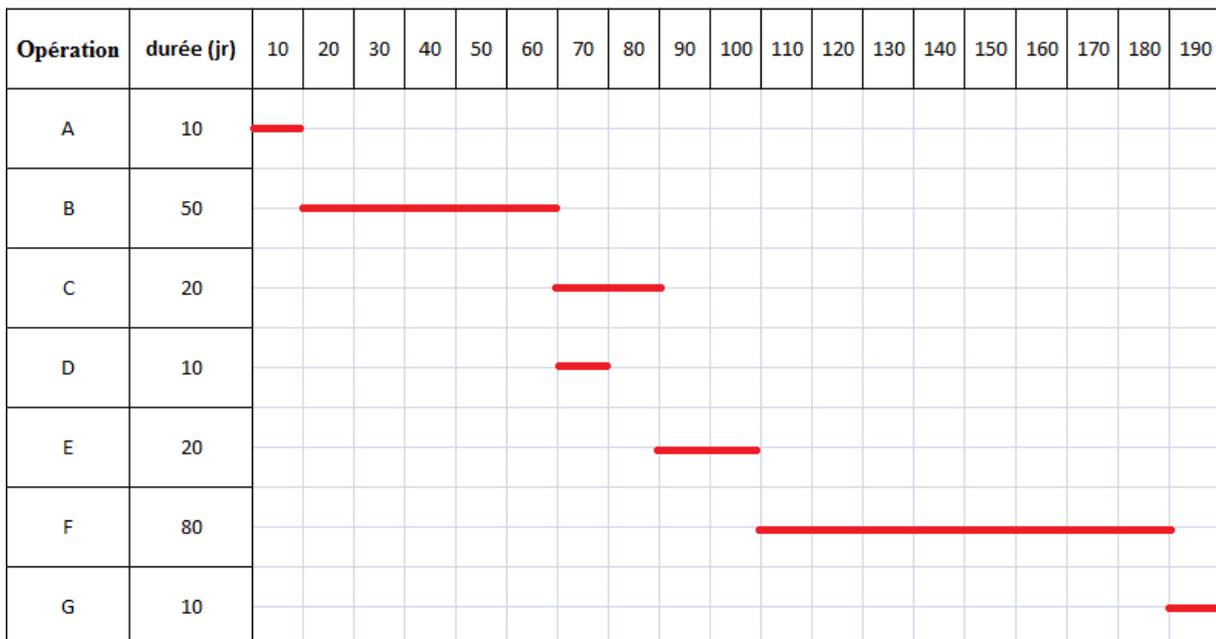


Figure V. 3 Diagramme de Gantt (aménagement du chaâbat Djenane er-Ramda)

La durée totale du projet d’aménagement chaâbat Djenane er-Ramda est de 190 jr

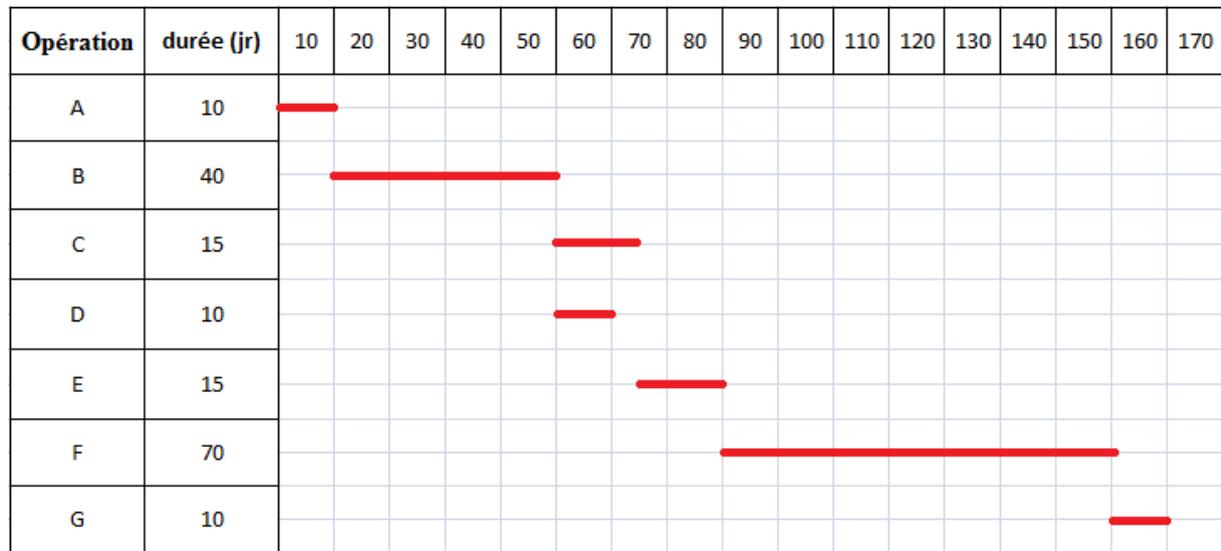


Figure V.4: Diagramme de Gantt (aménagement du chaâbat El Kahla)

La durée totale du projet d'aménagement chaâbat El Kahla est de 160 jr

**Conclusion**

L'exécution d'un ensemble de travaux par gestion rationnelle de temps ; demande conjointement des moyens humains, techniques et matériels, afin d'aboutir à un but ultime qui est la livraison du projet dans les délais prévus, sans sortir des couts d'investissement initiaux. A l'issue de ce volet nous avons pu estimer le cout global du projet d'aménagement chaâbat Djenane er-Ramda et el Kahla qui est de **112 407 860** DA pour un délai de réalisation de 350 jour.

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

Une étude concrète d'un quelconque cours d'eau requiert un maximum de données climatiques, hydrologiques et topographiques dans le but de faire la représentation la plus proche de l'état naturel de l'oued. Afin de pouvoir traiter l'aspect réel du problème d'inondation sur la zone en question, et ainsi donner des solutions mieux adaptées au contexte. Et aussi de prévenir différents scénarios d'évènements soit en matière de phénomènes naturels, ou bien de mesures que l'on pourrait envisager ; ce que l'on saura faire aisément, une fois tous les aspects représentés d'une manière détaillée, avec des simulations de l'écoulement à l'aide de différents outils informatiques et différents logiciels.

A travers cette étude, on a pris conscience de la nécessité d'entretenir Chaâbat Djenane Er-Ramda et El Kahla qui traversent la ville de Hammadi Krouma en différentes endroits, pour empêcher le problème d'inondation et protéger leurs biens. Nous avons d'abord présenté la zone d'étude, puis estimé les débits de crue maximaux à évacuer par ces cours d'eau. Et afin de choisir l'aménagement adéquat, nous avons effectué une analyse technico-économique pour choisir la variante qui répond à notre objectif d'étude.

En effet, la variante choisie comprend un aménagement par un canal trapézoïdal en béton sur une longueur de 1150 ml pour Chaâbat Djenane Er-Ramda et 751 ml pour El Kahla, aussi la réalisation de 6 dalots du même type de construction.

Le coût de ce projet est estimé à 112 407 860 DA, et comme tout projet celui-ci se doit d'être suivi afin de garantir un meilleur service et une longévité acceptable.

## ***Bibliographie***

**Armando LANCASTRE.** HYDRAULIQUE générale : Edition EYROLLES, 61, Bld Saint Germain,1983.631P

**ARMONDO LENCASTRE.** (1996) Hydraulique Générale, édition Paris

**B.TOUAIBIA** manuel pratique d'hydrologie page 4,5,7,8 ; Mars 2004.

**DEGOUTTE Gérard,** Diagnostic, aménagement et gestion des rivières (2° Éd.)  
Hydraulique et morphologie fluviales appliquées.

**Direction des ressources en eau de la W.Skikda,** documentation sur l'historique des inondations dans la wilaya de Skikda

**G.J. Arcement Jr. and V.R. Schneider:** Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients)

**LLAMAS José** Hydrologie générale principe et applications, 2eme édition, gaëten morin éditeur, 1998.

**MAOU Amel** Estimation des crues de référence pour les Plans de Prévention du Risque Inondation. Cas du bassin versant du Saf Saf, NE Algérie, mémoire de magistère université de Badji Mokhtar ANNABA ; 2011

**Règles parasismiques Algérienne** PRA 99/version 2003.

**Willi Hager et Anton J.Schleiss** ,Constructions hydrauliques, écoulements stationnaires, page 38

