



DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : Conception des Systèmes d'Assainissement

THEME :

**Etude d'aménagement de Oued Tinn pour la protection
contre les inondations de la plaine des Bordjias
(W. de Mostaganem)**

Présenté par :

M^r : OUBICHE Mohamed Lamine Fares

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>
<i>M^{me} AMMOUR Fadhila.</i>	<i>M.A.A</i>	<i>Présidente</i>
<i>M^{me} KAHLERRAS Malika.</i>	<i>M.A.A</i>	<i>Examinatrice</i>
<i>M^{me} SALHI Chahrazed.</i>	<i>M.A.A</i>	<i>Examinatrice</i>
<i>M^{me} HADJ SADOK Nabila.</i>	<i>M.A.A</i>	<i>Examinatrice</i>
<i>M^r BOUKHELIFA Mustapha</i>	<i>M.A.A</i>	<i>Promoteur</i>

Septembre 2016

Remerciement

Avant tout propos, nous remercions « Dieu » le tout puissant qui nous a donné sagesse, santé et surtout patience pour faire ce modeste travail.

Tout d'abord je tiens à remercier les membres de jury qui feront l'honneur de corriger ce présent travail le jour de la soutenance.

Je désire aussi adresser toute ma gratitude envers mon enseignant et mon promoteur Mr Mustapha Boukhelifa pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion, et surtout pour sa personnalité et la qualité d'enseignement qui font de lui un exemple à suivre pour moi et tous les élèves ingénieurs de l'école.

Je tiens à remercier aussi mon enseignant monsieur Abdelhadi Ammari pour sa compréhension et sa disponibilité

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes parents, mon petit frère Ryan et toute la famille OUBICHE ainsi qu'à tous mes amis qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel à en citer : Boussaa Farid, Labdi Mohamed Larbi, Chouchaoui Zakaria, Beniddir Abdelmadjid ainsi que tous mes camarades de l'école.

ملخص:

سهل البرجياص الموجود بولاية مستغانم يقطع من طرف واد التين الذي يعتبر الرافد الرئيسي لمنطقة الدراسة , هذا الأخير يجمع ما بين روافد أخرى و هي واد ملاح و واد مخرالوف فهذه الأخيرة هي المصدر الأساسي للفيضانات الناجمة عن الإمطار الغزيرة .

الهدف من هذه الدراسة وتقدير المنسوب المائي للفيضانات بانتهاج طريقة SCS-CN بواسطة البرنامج HEC-HMS وكذلك دراسة رد فعل المجاري المائية الطبيعية و إخراج خريطة التعرض للفيضانات لتحديد المناطق المعرضة للخطر بواسطة البرامج AutoCad Civil 3D et HEC-RAS من اجل تهيئة مرافق الحماية ضد الفيضانات.

Résumé :

La plaine des Bordjias située dans la wilaya de Mostaganem, est traversée par l'Oued Tinn qui constitue le principal cours d'eau de la zone d'étude. Ce cours d'eau qui est relié à deux autres oueds qui sont mekhrallouf et Melah est à l'origine d'inondations engendrée par des précipitations intenses.

L'objet de notre étude est l'estimation de l'hydrogramme de crue avec la méthode SCS-CN à l'aide de l'outil HECHMS et l'étude de la réponse des cours d'eau naturels afin d'identifier les enjeux ainsi que les zones vulnérables via la carte des zones inondables de la région d'étude qui sera élaborée par le biais d'outil informatique qui sont les logiciels AutoCad Civil 3D et HEC-RAS, dans le but d'envisager des aménagements de lutte contre les inondations.

Abstract:

The plain of Bordjias, located In the wilaya of Mostaganem, is crossed by Oued Tinn which is the main watercourse of study area. This river which is connected to two other rivers are mekhrallouf and Melah are the source of flooding caused by heavy precipitation. The purpose of our study is the estimation of the flood hydrograph with the SCS- CN method using the HEC-HMS tool; for each reach and the study of the response of natural watercourses to identify issues and areas at risk by developing the flood vulnerability map on the study area using a combination between the two programs AutoCAD Civil 3D and HECRAS, in order to consider control facilities against flooding.

SOMMAIRE

Chapitre I: Présentation De La Zone D'Etude

INTRODUCTION	1
I.1 Localisation géographique	1
I.2 Topographie	4
I.3 Géologie	5
I.4 hydrogéologie	6
I.5 Etude climatologique	7
I.6 Hydrométrie	10

Chapitre II : Etude des précipitations maximales journalières

INTRODUCTION	22
II.1 Présentation de la station pluviométrique et pluies maximales journalières	22
II.2 précipitations maximales journalières	23
II.3 Choix de la loi d'ajustement	24
II.4 Pluies de courte durée	32

Chapitre III : Estimation des débits de crues des cours d'eau

INTRODUCTION	35
III.1 La méthode SCS-CN	35
III.2 La méthode de Sokolovsky	46
III.3 La méthode de Turazza	47
III.4 Hydrogramme de crue par les formules empiriques	48

Chapitre IV : Etude des écoulements dans les cours d'eau non aménagés

INTRODUCTION	53
IV.1 Description du réseau à simuler	53
IV.1.1 Oued Tinn	53
IV. 1.2 Simulation de l'écoulement sur HEC-RAS	55
IV.1.2.1 Estimation du coefficient de Manning	56
IV.1.2.2 Données de débit	57
IV.1.2.3 Simulation	58

IV.1.2.4 Résultat de la simulation	58
IV.1.2.5 Détermination des enjeux et des zones à risques	60

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagements pour la protection contre les inondations

INTRODUCTION	63
V.1 Généralité	63
V.1.1 l'écoulement à surface libre	63
V.1.2 Les canaux à ciel ouvert.....	63
V.1.3 Les différents types de Canaux.....	63
V.2 Principe d'aménagement	64
V.3 Etude des variantes	66
V.4 Résultat de la simulation par HEC-RAS	73

Chapitre VI : Estimation quantitative et financière du système de protection contre les inondations

INTRODUCTION	86
VI.1 Chiffrage des aménagements proposés.....	86
VI.2 présentation des matériaux de l'aménagement	85
VI.3 Les engins utilisés pour les différentes opérations	88

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Présentation De La Zone D'Etude

Figure I.1 : Localisation de la zone d'étude. Ech :1/500000	2
Figure I.2 : Image satellitaire non traitée de l'Embouchure d'Oued Tinn	2
Figure I.3 : Echantillon de section transversale.....	3
Figure I.4: plaine des Bordjias.....	3
Figure I.5: Carte géologique de la région de Mostaganem ech :1/100000.....	5
Figure I.6: Carte piézométrique de la région de Mostaganem (juin 1990).....	6
Figure I.7 : Carte piézométrique de la région de Mostaganem (juin 2010)	6
Figure I.8 : variation annuelle des températures.....	7
Figure I.9 : Courbe hypsométrique de l'Oued Tinn.....	13
Figure I.10 : Courbe hypsométrique de l'Oued Mekrallouf.....	14
Figure I.11 : Courbe hypsométrique de l'Oued Melah.....	15
Figure I.12 : délimitation du bassin versant de l'oued Tinn ainsi que des sous bassins.....	16

Chapitre II : Etude des précipitations maximales journalières

Figure II.1: Ajustement à la loi de Gumbel	27
Figure II.2: ajustement à la loi de Galton (Lognormale).....	28
Figure II.3: ajustement à la loi de GEV.....	31

Chapitre III : Estimation des débits de crues des cours d'eau

Figure III.1: Séparation de la pluie.....	36
Figure III.2: Relation pluie-débit.....	36
Figure III.3: Division en sous bassin.....	37
Figure III.4 : Représentation du schéma d'écoulement sur HEC-HMS.....	40
Figure III.5 : Hydrogramme de crue SB oued Tinn pour une période de 10ans.....	41
Figure III.6 : Hydrogramme de crue SB oued Tinn pour une période de retour de 50 ans.....	41
Figure III.7 : Hydrogramme de crue oued SB Tinn pour une période de retour de 100 ans.....	42
Figure III.8 : Hydrogramme de crue oued SB Mekrallouf pour une période de retour de 10 ans.....	42
Figure III.9 : Hydrogramme de crue oued SB Mekrallouf pour une période de retour de 50 ans.....	43
Figure III.10 : Hydrogramme de crue SB oued Mekrallouf pour une période de retour de 100ans...	43
Figure III.11 : Hydrogramme de crue oued SB Melah pour une période de retour de 10 ans.....	44
Figure III.12 : Hydrogramme de crue SB oued Melah pour une période de retour de 50 ans.....	44

Figure III.13 : Hydrogramme de crue SB oued Melah pour une période de retour de 100ans.....	45
Figure III.14 : Hydrogramme de crue du BV O.T.....	49
Figure III.15 : Hydrogramme de crue BV O.M.....	50
Figure III.16 : Hydrogramme de crue BV O.M.....	51

Chapitre IV : Etude des écoulements dans les cours d'eau non aménagés

Figure IV.1: Colmatage du chenal de l'oued Tinn par les roseaux.....	54
Figure IV.2: Pont traversant l'oued Tinn.....	54
Figure IV.3: Axe de l'oued Tinn sur HEC-RAS.....	55
Figure IV.4: Courbes Granulométrique de Oued Tinn.....	56
Figure IV.5: Exemple de section en travers de l'oued Tinn.....	57
Figure IV.6 : Exemple de profil en travers après simulation.....	59
Figure IV.6 : Exemple de profil en travers après simulation.....	59
Figure IV.8 : la première zone inondée par le débordement de l'oued.....	60
Figure IV.9 : la deuxième zone inondée par le débordement de l'oued.....	60
Figure IV.10 : la troisième zone inondée par le débordement de l'oued.....	61

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagements pour la protection contre les inondations

Figure V.1: canal naturel.....	64
Figure V.2: Profile en travers après aménagement tronçon 29780_variante 1.....	73
Figure V.3: profile en long après aménagement variante 1.....	74
Figure V.4: Profile en travers après aménagement tronçon 29780_variante 2.....	76
Figure V.5: Abaque de l'angle de frottement $f = (forme, d)$, Lencastre 1996.....	78
Figure V.6: profile en long après aménagement variante 2.....	81
Figure V.7: Profile en travers après aménagement tronçon 29780_variante 3.....	82
Figure V.8: profile en long après aménagement variante 2.....	84

Chapitre VI : Estimation quantitative et financière du système de protection contre les inondations

Figure VI.1: disposition de matelas ACBM dans un canal.....	87
Figure VI.2: mise en place des matelas ACBM.....	88
Figure VI.3: Bulldozer.....	89
Figure VI.4: pelle retro.....	90
Figure VI.5: Camio a benne et charger.....	91

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Présentation De La Zone D'Etude

Tableau I.1: températures mensuelles moyennes, minimales et maximales.....	7
Tableau I.2: Moyenne mensuelle des vitesses du vent (station de Mostaganem).....	9
Tableau I.3 : valeur mensuelle de l'humidité relative Station de Mostaganem.....	10
Tableau I.4 : Répartition mensuelle de l'évaporation	11
Tableau I.5 : résultats des paramètres morphométries.....	12
Tableau I.6 : Hypsométrie Du bassin versant de l'Oued Tinn.....	13
Tableau I.7 : Hypsométrie Du bassin versant de l'Oued Mekrallouf.....	14
Tableau I.8 : Hypsométrie Du bassin versant de l'Oued Melah.....	15
Tableau I.9 : Altitudes caractéristiques.....	16
Tableau I.10 : Indice de pente global.....	17
Tableau I.11 : pente moyenne des cours d'eau principaux	18
Tableau I.12 : temps de concentration	19
Tableau I.13 : récapitulatif des caractéristiques hypsométriques des bassins versants.....	20

Chapitre II : Etude des précipitations maximales journalières

Tableau II.1: Station pluviométrique de KheirEddine.....	22
Tableau II.2: Pluie maximales journalières de la station de KheirEddine (040602).....	23
Tableau II.3: Caractéristiques de la série.....	24
Tableau II.4: Résultat de l'ajustement à la loi de Gumbel.....	25
Tableau II.5 : caractéristique de l'échantillon a la loi de Gumbel.....	26
Tableau II 6: Résultat de l'ajustement à la loi de Galton(Lognormale).....	27
Tableau II.7 : caractéristique de l'échantillon a la loi de Galton	28
Tableau II.8 : Résultat de l'ajustement à la loi de GEV.....	30
Tableau II.9 : caractéristique de l'échantillon a la loi de GEV.....	31
Tableau II.10 : Récapitulatif des pluies, intensités maximales de durée t (h) et de période de retour.....	33

Chapitre III : Estimation des débits de crues des cours d'eau

Tableau III.1: Surfaces des sous bassins.....	38
Tableau III.2: Temps de concentration et temps de parcours.....	38
Tableau III.3: CNp des différentes surfaces.....	39
Tableau III.4: pourcentage des surfaces imperméables.....	39
Tableau III.5 : Résultats des débits.....	40
Tableau III.6 : Débits de crue par la méthode Sokolovsky pour T=100ans.....	41
Tableau III.7 : Débits de crue par la méthode Sokolovsky pour T=50ans.....	42
Tableau III.7 : Débits de crue par la méthode Sokolovsky pour T=10ans.....	43
Tableau III.8 : Débits de crue par la méthode Turazza Tinn.....	44
Tableau III.9 : Débits de crue par la méthode Turazza Mekrallouf.....	45
Tableau III.10: Débits de crue par la méthode Turazza Melah	45
Tableau III.11 : Hydrogramme de crue des différentes périodes de retour BV O.T.....	49
Tableau III.12: Hydrogramme de crue des différentes périodes de retour BV O.M.....	50
Tableau III.13 : Hydrogramme de crue des différentes périodes de retour BV O.M.....	51

Chapitre IV : Etude des écoulements dans les cours d'eau non aménagés

Tableau IV.1: Valeurs estimées de Ks et n	56
Tableau IV.2: Valeurs du coefficient de Manning de l'oued Tinn	57
Tableau IV.3: Données de débit	57

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagements pour la protection contre les inondations

Tableau V.1: rugosité des matériaux pour la première variante	67
Tableau V.2: dimension de l'aménagement d'Oued Tinn pour T=100ans (variante_1).....	68
Tableau V.3: rugosité des matériaux pour la première variante	69
Tableau V.4: dimension de l'aménagement d'Oued Tinn pour T=100ans (variante_2).....	70
Tableau V.5: rugosité des matériaux pour la première variante	71
Tableau V.6: dimension de l'aménagement d'Oued Tinn pour T=100ans (variante_3).....	72
Tableau V.7: résultats de la simulation après aménagement (variante 1)	73
Tableau V.8 : Quantification de la première variante.....	74
Tableau V.9 : résultats de la simulation après aménagement (variante 2).....	75
Tableau V.10 : coefficient K_M et K'_M en fonction de m et du rapport b/h.....	79
Tableau V.11 : paramètres du canal.....	79
Tableau V.12 : résultats des contraintes tractrices.....	80
Tableau V.13 : résultats de la simulation après aménagement (variante 3).....	82
Tableau V.14 : Quantification de la troisième variante.....	83

Chapitre VI : Estimation quantitative et financière du système de protection contre les inondations

Tableau VI.1: Devis estimatifs.....	86
-------------------------------------	----

LISTE DES PLANCHES

Planche n° 01 : Vue en plan des aménagements de protection contre les inondations.

Planche n° 02 : profil en long des cours d'eau aménagés.

Planche n° 03 : Coupes types des cours d'eau aménagés.

Introduction générale

Introduction générale

Les inondations ont à leur origine des événements météorologiques-hydrologiques qui, à cause de leur nature stochastique, sont très difficiles à prévoir quant à leur période de retour et leur intensité. Elles sont d'autant plus à redouter lorsqu'elles se produisent en ville, là où se situe une forte concentration des activités humaines. Par conséquent, les activités économiques sont fortement perturbées et les coûts pour la société deviennent exorbitants d'où la nécessité de prévoir et d'empêcher le retour de ces catastrophes.

L'examen des événements catastrophiques survenus dans notre pays montre que sur l'ensemble des bassins versant algériens, des superficies important des terres agricoles, des plaines et des agglomérations sont fréquemment envahies par les eaux de la crue.

Dans notre cas on va étudier le problème des inondations dans la plaine des Bordjias qui est une entité géographique située dans la limite Sud-ouest de la wilaya de Mostaganem, La configuration géomorphologique de cette plaine est caractérisée par un relief plat, favorise l'épandage des eaux superficielles et résiduelles qui inondent en période humide, une bonne partie des terres agricoles. La plaine de Bordjias est soumise au ruissellement de trois bassins versants hydrographiques qui sont: le bassin de l'oued Tinn qui occupe la majorité de la superficie de la plaine de Bordjias dans la wilaya de MOSTAGANEM, l'oued Mekhrallouf et l'oued Mellah dont la grande partie de sa superficie se trouve dans la wilaya de MASCARA La morphologie du bassin de l'oued Tinn et en particulier sa très faible pente montre bien que ce dernier représente une zone d'épandage due à son débordement. Les autres bassins limitrophes peuvent jouer un rôle aggravant ce problème.

Pour trouver une solution a ce problème l'étude a été divisée en six chapitres : en premier lieu une présentation de la zone d'étude a été détaillé ensuite on est passé à l'estimation de l'hydrogramme de crue après une étude hydrologique très détaillés à l'aide d'outil informatique le logiciel HEC HMS. Afin d'identifier les enjeux ainsi que les zones à risque une carte de vulnérabilité a été établi à l'aide d'une combinaison entre deux logiciels AutoCAD Civil 3D et HEC RAS. Enfin des variantes d'aménagement ont été proposé et la meilleure a été choisi d'un point de vue technique et une estimation quantitative et financière du projet a été faite

CHAPITRE I :

***Présentation de la zone
d'étude***

Introduction :

Avant tout projet de protection contre les inondations, l'étude du site est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques du lieu et les facteurs influençant sur la conception du projet.

Donc pour bien mener cette étude il est nécessaire de se renseigner sur le terrain du point de vue topographique, géologique, hydrogéologique et climatique.

I.1 Localisation et situation géographique :

Le tronçon de cours d'eau à aménager se trouve dans la zone de la plaine de Bordjias dans la wilaya de Mostaganem. Toutefois le bassin versant au droit de l'embouchure d'Oued Tinn s'étend sur trois wilayas, Mostaganem, Relizane et Mascara. La zone d'étude se trouve à 20km au sud du chef de lieu de la wilaya de Mostaganem.

Le site est facilement accessible à partir des RN17 et RN17AB. L'écoulement se fait suivant des axes Est – Ouest, ensuite Sud – Nord.

L'embouchure de l'Oued Tinn est une Sebkhia. Cette dernière constitue également l'embouchure de l'Oued Habra. De là les deux cours d'eau forment la Macta qui se jette en Mer. Les coordonnées UTM (30S) de la Sebkhia (embouchure Oued Tinn) sont :

- X = 761 km
- Y = 3963 km

La wilaya de Mostaganem dans ses limites actuelles se situe à environ 360 Km l'Ouest d'Alger et à 80 Km à l'Est d'Oran. C'est une Wilaya côtière située au Nord-Ouest du territoire national. Elle couvre une superficie de 2.269 Km² et est limitée :

- A l'Est par les Wilayas de Chlef et Relizane ;
- Au Sud par les Wilayas de Mascara et de Relizane ;
- A l'Ouest par les Wilayas d'Oran et de Mascara ;
- Au Nord par la Mer Méditerranée ;

Son littoral s'étend sur une longueur de 124 Km et traverse huit (08) communes. Elle est composée de dix (10) Daïras et trente-deux (32) communes.

Il est à préciser que le méridien de Greenwich traverse la Wilaya à partir du Nord à travers le territoire de la commune côtière de Stidia, à une dizaine de kilomètres à l'Ouest du chef-lieu de Wilaya.



Figure I.1 : Localisation de la zone d'étude. Ech : 1/500000 (source Google Maps).



Figure I.2 : Image satellitaire non traitée de l'Embouchure d'Oued Tinn (source Google earth)



Figure I.3 : Echantillon de section transversale



Figure I.4 : plaine des Bordjias

I.2 Topographie :

La topographie de Mostaganem permet d'identifier 06 unités naturelles :

- Le cordon littoral : D'une longueur de 124 Km et s'étalant sur huit (08) communes, le cordon littoral couvre une superficie de 27.043 hectares. Il constitue la frange sahélienne de la wilaya, composée de formations de sables et de dunes.
- La plaine des Bordjias : La plaine des Bordjias couvre une superficie d'environ 25.000 hectares. Située dans la partie Sud-Ouest de la wilaya, dont elle constitue la limite, elle fait partie de la grande plaine sublittoral d'El Habra. Elle se distingue par une topographie relativement plane (pentes généralement inférieures à 3%) et une altitude avoisinant les 40 à 50 mètres. La partie à aménager de l'Oued situe dans la plaine des Bordjias.
- Le plateau de Mostaganem : Le plateau de Mostaganem s'étend sur une superficie de 56.198 hectares. Il présente un relief relativement ondulé s'abaissant sur la plaine d'El Habra et le golf d'Arzew. L'exposition générale est orientée vers le Nord. Son altitude oscille entre 200 et 250 mètre dans la partie Nord, entre 150 et 200 mètres dans la partie Ouest et entre 300 et 350 mètres à l'Est.
- La vallée du Chélif : La vallée du Chélif, qui fait partie de la plaine du Chélif, occupe une superficie de 15.647 hectares. Elle correspond à de larges terrasses dans la partie amont et centrale, puis se rétrécit progressivement jusqu'à l'embouchure de l'oued. Mais elle n'est pas considérée dans cette étude.
- Les collines sublittorales : Les collines sublittorales qui constituent dans la partie Ouest le prolongement des piémonts des monts de Dahra, s'étendent sur une superficie de 14.268 hectares. Leurs altitudes oscillent entre 150 et 200 mètres et la pente est modérée (3 à 12%).
- Les monts de Dahra : Les monts du Dahra couvrent une superficie de 78.550 hectares. Ils se présentent sous la forme de petits massifs d'aspect collinaire. Le relief est très accidenté dans l'ensemble de cette zone, il est entaillé par un réseau hydrographique très chevelu. Les versants présentent des pentes appartenant dans l'ensemble à la classe des 12-25%. Les pentes les plus accusées (> 25%) caractérisent les versants de la partie Est.

I.3 Géologie :

Le bassin versant se trouve, d'un point de vue géologique, dans le plateau de Mostaganem. Le plateau de Mostaganem est constitué par des rides anticlinales SW-NE, pliocènes et post-pliocènes recouvertes par des dunes. Pendant le Quaternaire les fleuves ont contourné cette région par l'W (Hillil-Mina) et par le N (Chéelif), et la prédominance de l'infiltration sur le ruissellement dans des terrains très perméables a été la cause de la formation de nombreux bassins fermés. Par ailleurs, les phénomènes de surcreusement n'ont pas eu lieu en l'absence de formations salifères. Les matériaux qui peuvent être observés dans le bassin versant sont des alluvions récentes, des sables du plateau de Mostaganem, des grès pliocènes et des encroûtements gréco-calcaires. Ces dernières sont le résultat d'une cimentation par l'ascension et l'évaporation des eaux chargées de carbonate calcique. En général, il s'agit de matériaux avec une certaine perméabilité. La nappe aquifère importante se trouve dans les grès pliocènes qui constituent le plateau.

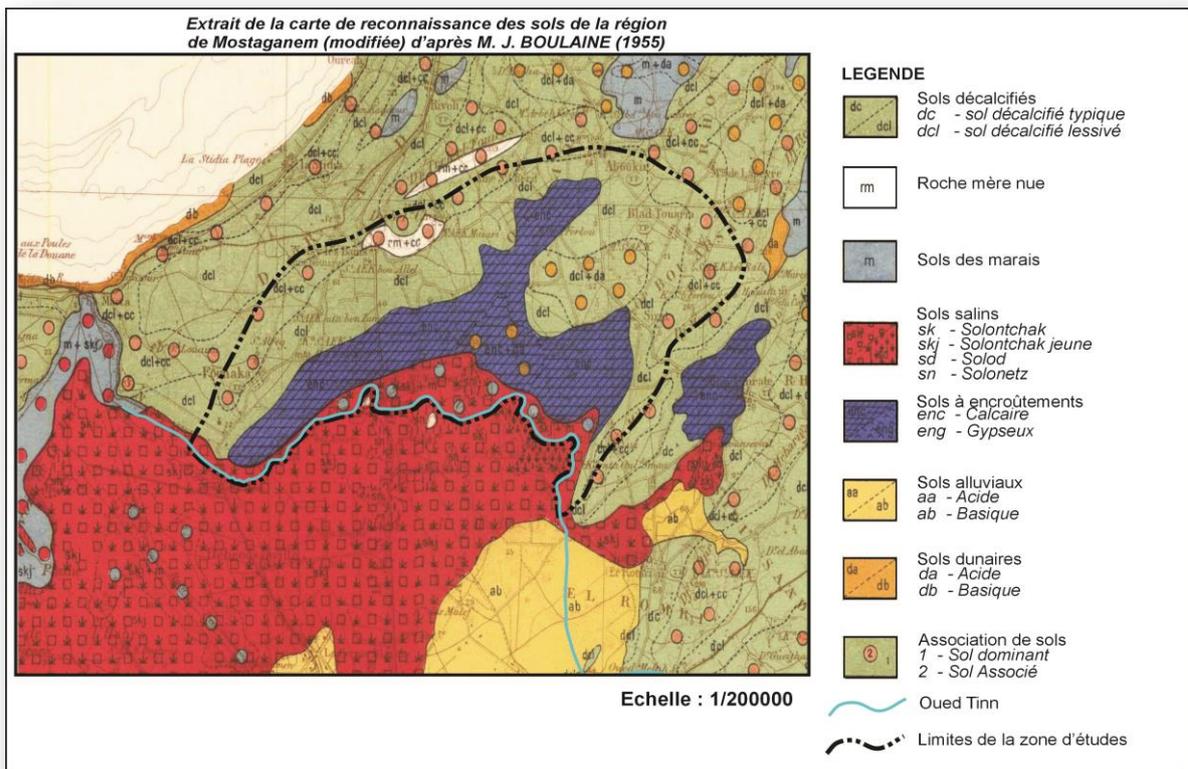


Figure I.4 : Carte géologique de la région de Mostaganem

I.4 hydrogéologie :

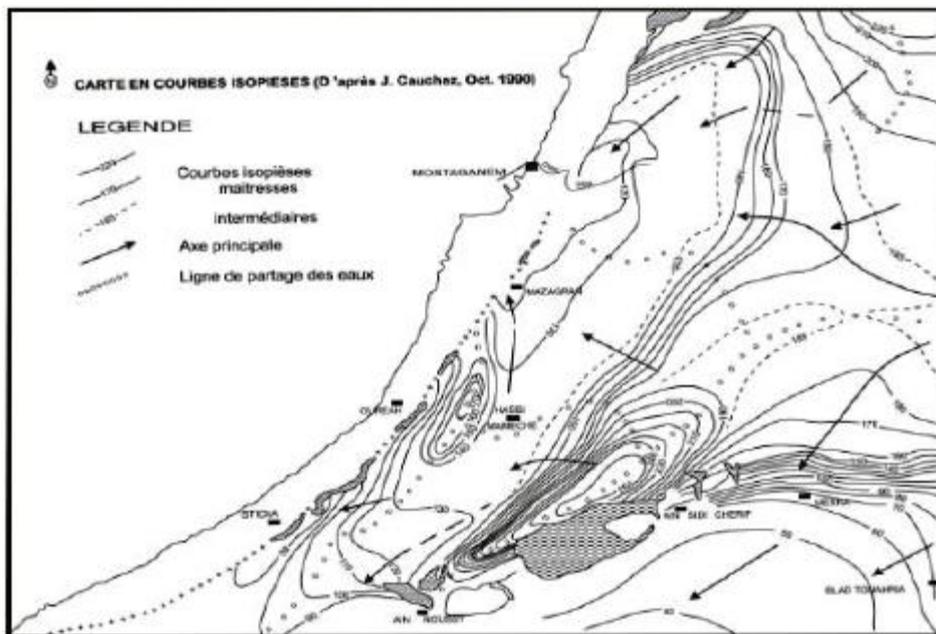


Figure I.6: Carte piézométrique de la région de Mostaganem. (Juin 1990) ech :(1/100000).

Cette carte en courbe isopièze a été constituée par les services de l'ANRH en 1990 ou nous pouvant distinguer huit bassins hydrogéologiques constituant la nappe aquifère de cette région et dont le plus important a une superficie de 200 Km² (oued Sefra) Mostaganem. Les axes principaux de convergences et de l'écoulement de la nappe ont des directions divergentes.

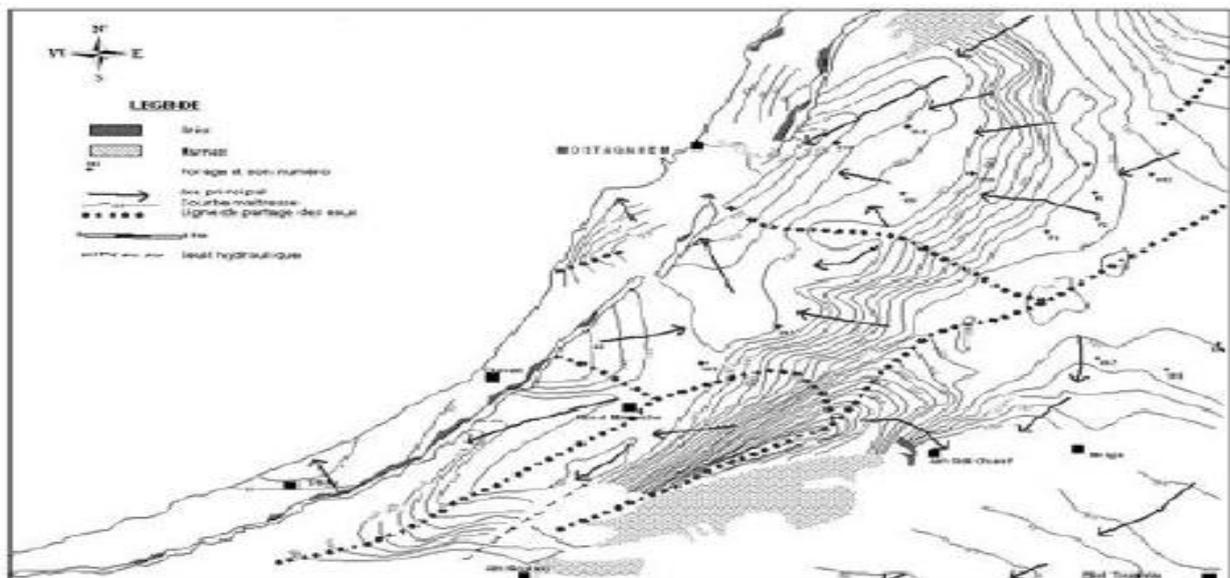


Figure I.7 : carte piézométrique de la région de Mostaganem (Juin 2010) ech (1/100000)

Cette carte fait ressortir l'existence de trois secteurs. Au Sud-est et au Nord-ouest, deux systèmes où le gradient hydraulique est faible, compris entre 2,5 et 5,5%. Il semble même qu'il y'ait une zone « plate » dans la région de Mesra Ain Sidi Chérif. Ils se raccordent au niveau d'un véritable seuil hydraulique où le gradient atteint une valeur moyenne de 3,3%. Ces zones d'alimentation de la nappe sont constituées par les différents djebels ou bombements affectant le Plateau, ainsi que sa bordure nord. Dans ces zones, le gradient hydraulique est élevé et les axes principaux d'écoulement ont des directions divergentes, mais la direction Nord-est Sud-ouest reste la direction privilégiée correspondant à celle des structures du Plateau.

I.5 Etude climatologique :

I.5.1 Température :

Les données présentées dans le tableau suivant sont les températures moyennes mensuelles concernant la station de Mostaganem.

L'analyse de ces données a permis d'identifier deux périodes :

- Une période froide de novembre à avril avec des températures moyennes inférieures à 15°C, le mois de Janvier étant le plus froid avec une température moyenne de 11,25°C.
- Une période chaude de mai à octobre avec une température moyenne supérieure à 17°C, et les mois d'Août et Juillet sont les plus chauds avec une température moyenne de 24 °C.
- La température moyenne annuelle de l'air est de 16,96°C.

Tableau I.1 : températures mensuelles moyennes, minimales et maximales (2007)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	avril	mai	Juin	Juil.	Aout	Moyenne annuelle
Tmin	17.00	14.00	10.00	8.00	7.00	7.50	8.00	10.00	13.00	16.00	18.50	19.00	12.33
Tmax	28.00	23.00	19.00	16.00	15.50	16.00	17.00	19.00	22.00	25.00	29.00	29.50	21.58
Tmoy	22.50	18.50	14.50	12.00	11.25	11.75	12.50	14.50	17.50	20.50	23.75	24.25	16.96

Source : station de Mostaganem année :2007

Les températures moyennes minimales et maximales sont reportées graphiquement comme suit :

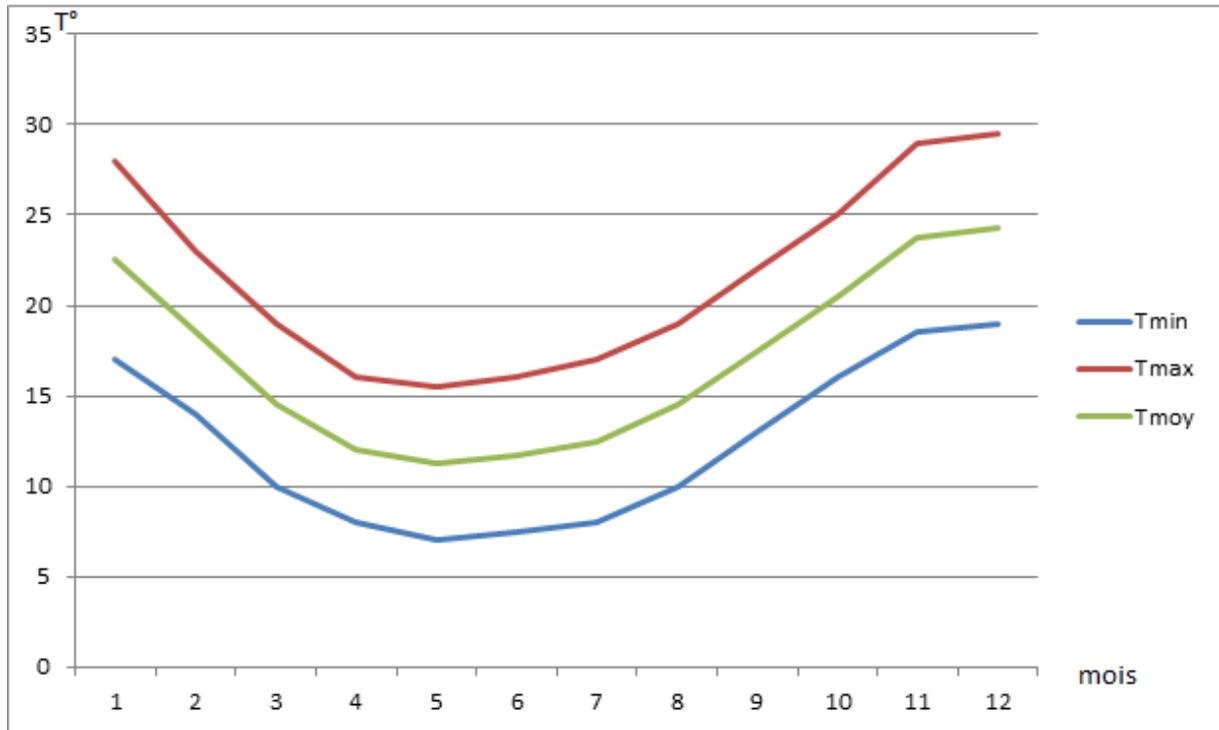


Figure I.8 : variation mensuelle des températures

Interprétation :

On constate du tableau précédent que :

- La température mensuelle minimale et celle du mois de janvier, elle est de 7°
- La température mensuelle maximale et celle du mois de d’Aout, elle est de 29.5°
- La température moyenne annuelle est de 16.96°

I.5.2 le vent :

Le tableau ci-dessous montre la variation de la vitesse du vent selon la saison :

Tableau I.2 : Moyenne mensuelle des vitesses du vent (station de Mostaganem)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			moyenne
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
Vitesse m/s	2.7	3	3.1	3.3	3.5	3.3	3.7	3.8	3	3.1	2.7	2.3	3.3

Source : station de Mostaganem Année : 1993

I.5.3 humidité relative de l'air :

L'humidité relative de l'air, ou degré hygrométrique, couramment notée ϕ , correspond au rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la même température. Elle est donc une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions. Ce rapport changera si on change la température ou la pression bien que l'humidité absolue de l'air n'ait pas changée. Elle est mesurée à l'aide d'un hygromètre.

Tableau I.3 : valeur mensuelle de l'humidité relative Station de Mostaganem

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			moyenne
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
Humidité (en%)	70.0	78.3	74.0	73.7	70.7	76.2	74.7	72.0	74.0	78.2	76.7	68.7	73.94

Source : station de Mostaganem Année : 1993

I.5.4 l'Evapotranspiration :

L'évapotranspiration (ET) est la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de l'évapotranspiration mensuelle moyenne et interannuelle.

Dans ce tableau sont indiquées :

Les valeurs de l'ETP données par l'ANRH dans la notice explicative de la carte des évapotranspirations du nord de l'Algérie.

Tableau I.4 : Répartition mensuelle de l'évaporation

	j	f	m	a	m	j	j	a	s	o	n	d	Année
Evapotranspiration	51	66	101	131	156	177	194	180	136	97	59	46	1993

Source : station de Mostaganem Année : 1993

I.6 Hydrométrie :

Le territoire de la wilaya de Mostaganem appartient à trois sous-bassins hydrographiques :

- ✓ Le bassin versant de Chélif (01), dans sa partie inférieure
- ✓ Le bassin versant des côtiers Oranais (04), où se trouve la partie ouest de la wilaya
- ✓ Le bassin versant des côtiers Algérois (02), dont le sous bassin de Dahra englobe la partie Est de la wilaya. (Monographie Mostaganem, 2010)

I.6.1 Définition d'un bassin versant :

Le bassin versant est une unité géographique définie à partir d'une section droite d'un cours d'eau et qui comprend toute la surface en amont de cette section de telle sorte que toute l'eau qui arrive sur cette surface, forme un point unique de l'espace qu'on appelle l'exutoire

Selon la nature de terrains, on peut distinguer deux types de bassins versants :

- Bassin versant topographique : il est limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente.
- Bassin versant hydrogéologique : on ajoutera aux considérations topographiques des considérations hydrogéologiques qui sont définies par les eaux souterraines.

I.6.2 Morphométrie :

Les différents paramètres morphométriques sont calculés à partir des cartes topographiques qui englobent tout le bassin versant y'en a 6 cartes topographiques (5 à l'échelle 1/50000 et la 6ème à une échelle de 1/250000)

I.6.2.1 La surface :

La surface topographique est le paramètre le plus important. Il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques (apports solide et liquide, lame d'eau ruisselée, lame d'eau infiltrée, ...). Elle est déterminée par le logiciel MapInfo version 8.0 (sur les cartes topographiques du bassin versant).

I.6.2.2 Le périmètre :

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin. Chaque bassin réagit d'une façon propre aux précipitations qu'il reçoit. Ces caractéristiques hydrologiques sont fonction d'une part du climat qu'il subit et d'autre part de son propre milieu physique. Il est calculé à l'aide du logiciel MapInfo version 8.0.

I.6.2.2 Caractéristiques de forme :

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement global et notamment le temps de repense du bassin versant. C'est la configuration géométrique projetée sur un plan horizontal. 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.

I.6.2.3 Indice de compacité de Gravelius :

Indice de Gravelius « Kc » appelé aussi indice de forme. Cet indice caractérise la forme du bassin et exprime l'allongement des bassins versants. [1]

$$Kc = 0.28 \frac{P_{BV}}{\sqrt{S_{BV}}} \dots\dots\dots(I.1)$$

Avec : P_{BV} : Périmètre du bassin versant.

S_{BV} : Surface du bassin versant.

Plus le Kc sera proche de 1, plus le bassin aura une forme ramassée et plus le temps de concentration sera court.

I.6.2.4 Le rectangle équivalent :

On suppose que l'écoulement sur un bassin versant donnée est le même que sur un rectangle de même superficie, ayant le même indice de Gravelius, la même répartition hypsométrique, la même distribution des sols et de la végétation, la même densité de drainage.

Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » définit respectivement par les formules suivantes [2] :

- La longueur du rectangle équivalent

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

- La largeur du rectangle équivalent

$$l = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{Kc} \right)^2} \right) \dots\dots\dots(L3)$$

Les résultats des paramètres morphométriques des deux bassins versants de la région d'études sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau I.5 : résultats des paramètres morphométriques

Bassin versant	Surface (Km ²)	Périmètre (km)	Kc	L(Km)	l(Km)
BV1 (Oued tinn)	388.2	107.4	1.52	44.35	8.75
BV2 (Oued Mekrallouf)	464.49	118.6	1.54	55.79	9.39
BV3 (Oued Melah)	361.15	90.53	1.33	34.28	10.54

I.6.3 Le relief :

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

I.6.3.1 Les courbes hypsométriques :

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin versant (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 aussi 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.

A. Oued Tinn :

Tableau I.6 : Hypsométrie Du bassin versant de l'Oued Tinn

Altitude m	Hi m	surface partielle Km ²	surface partielle %	Hi*Si	cumule Si %	
300	342	321	1.38	0.4	442.98	0.4
250	300	275	12.84	3.3	3531	3.7
223	250	236.5	22.78	5.9	5387.47	9.6
200	223	211.5	26.1	6.7	5520.15	16.3
160	200	150	56.08	14.4	10094.4	30.7
120	160	130	19.75	5.1	2765	35.8
100	120	110	18.18	4.7	1999.8	40.5
50	100	75	47.43	12.2	3557.25	52.7
4	50	27	183.68	47.3	4959.36	100

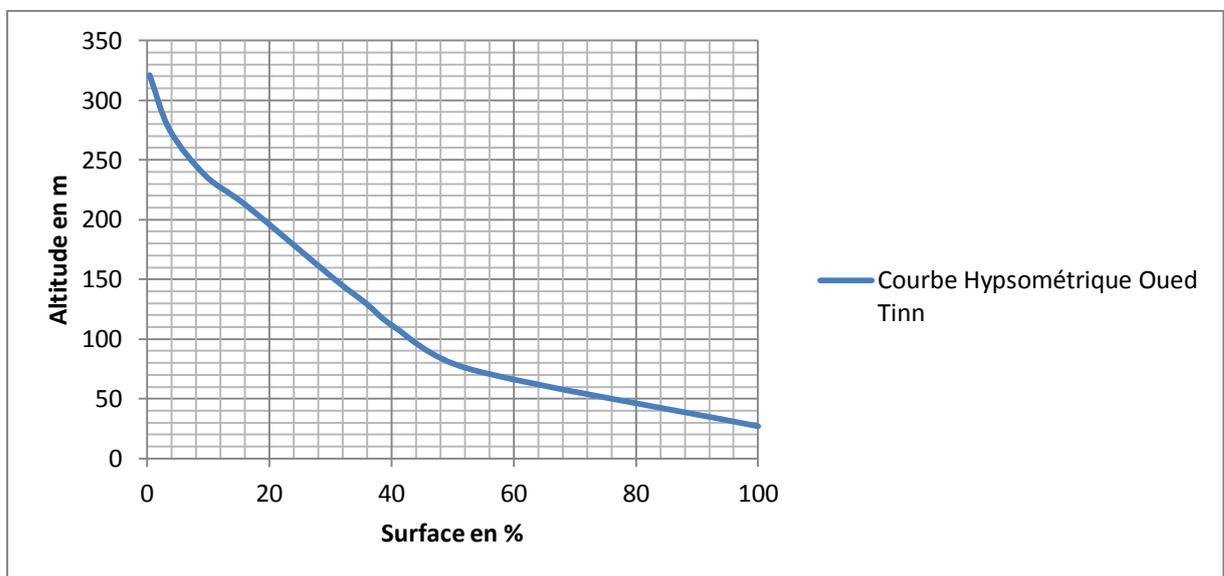


Figure I.9 : Courbe hypsométrique de l'Oued Tinn

B. Oued Mekhrallouf :

Tableau I.7 : Hypsométrie Du bassin versant de l'Oued Mekhrallouf

Altitude m	Hi m	surface partielle Km ²	surface partielle %	Hi*Si	cumule Si %
500	713	606.5	3.23	1958.995	0.7
450	500	475	12.18	5785.5	3.3
350	400	375	22.19	8321.25	8.1
300	350	325	32.07	10422.75	15
250	300	275	40.44	11121	23.7
200	250	225	53.32	11997	35.2
150	200	175	71.7	12547.5	50.6
100	150	125	55.29	6911.25	62.5
50	100	75	88.19	6614.25	81.5
4	50	27	85.88	2318.76	100

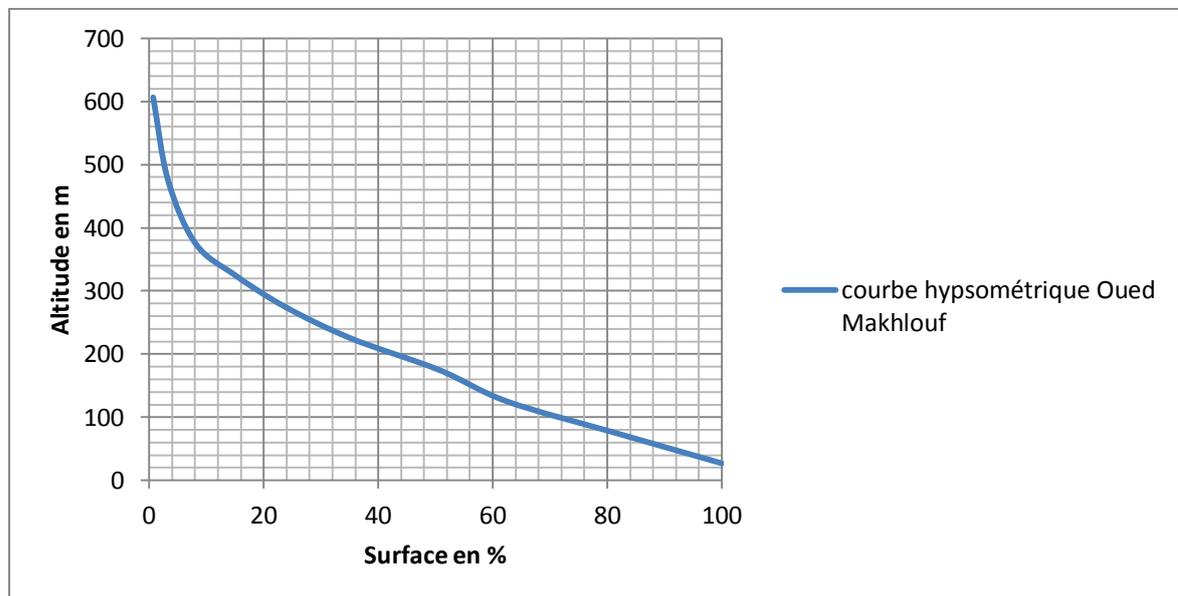


Figure I.10 : Courbe hypsométrique de l'Oued Mekhrallouf

C. Oued Melah :

Tableau I.8 : Hypsométrie Du bassin versant de l'Oued Melah

Altitude m		Hi m	surface partielle Km ²	surface partielle %	Hi*Si	cumule Si %
800	897	848.5	2.39	0.7	2027.915	0.7
700	800	750	5.67	1.6	4252.5	2.3
600	700	650	10.07	3	6545.5	5.3
500	600	550	19.48	5.4	10714	10.7
400	500	450	32.69	9	14710.5	19.7
300	400	350	31.63	8.7	11070.5	28.4
200	300	250	40.43	11.2	10107.5	39.6
100	200	150	41.42	11.4	6213	51
4	100	52	177.37	49	9223.24	100

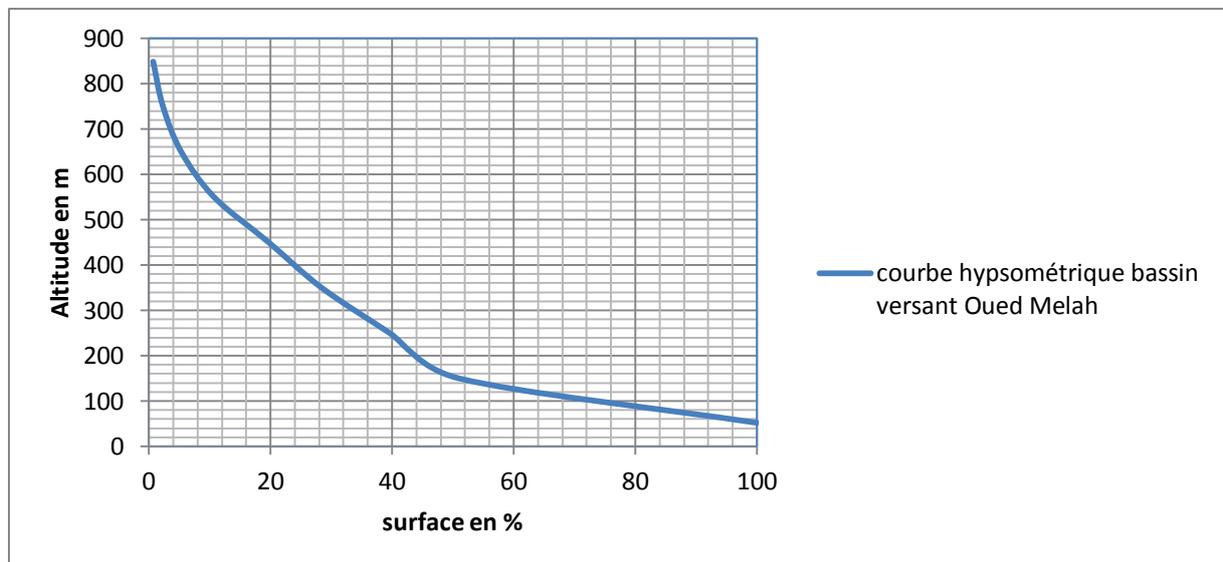


Figure I.11 : Courbe hypsométrique de l'Oued Melah

I.6.3.2 Les altitudes caractéristiques :

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique. Ces altitudes sont :

- Altitude maximale : représente le point le plus élevé du bassin,
- Altitude minimale : montre le point le bas, généralement à l'exutoire du bassin,
- Altitude médiane ou $H_{50\%}$: est déterminée sur la courbe hypsométrique,
- Altitude moyenne H_{moy} : est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot H_i}{S} \dots\dots\dots (I.4)$$

Avec :

$$H_i = \frac{H_{I+n} + H_n}{2} \dots\dots\dots (I.5)$$

H_i : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives (en mètre).

S_i : Surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives (en km^2).

S : Surface totale du bassin versant (en km^2).

Tableau I.9 : Altitudes caractéristiques

Bassin	Oued Tinn	Oued Melah	Oued Mekrallouf
Hmax	342	897	713
Hmin	4	4	4
Hmoy	98.55	207.3	167.92
$H_{50\%}$	76	150	178

I.6.3.2 Indice de pente globale (I_g) :

Il est définit comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalant. On prend deux points S1 et S2 sur l'axe des abscisses telles que 90% de la surface du bassin versant soit comprise entre ces deux valeurs et que 5% de la surface totale du bassin versant soit inférieure à S1 et 5% soit supérieure à S2. Les altitudes correspondantes sont lues sur la courbe hypsométrique. L'indice de pente globale (I_g) est donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \dots\dots\dots (I.6)$$

Avec :

D : Dénivelée entre H5% et H95% (m.)

L : longueur du rectangle équivalent (Km).

H5% et H95% : sont respectivement les altitudes correspondantes à S5% et S95%.

Les résultats de l'indice de pente globale (Ig) calculé dans les deux bassins versants de la région d'études sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau I.10 : Indice de pente global

bassins	H_{5%} (m)	H_{95%} (m)	H_{5%}- H_{95%}	L (km)	Ig(m/ km)
Oued Tinn	270	42	238	44.35	5.37
Oued Mekrallouf	420	40	380	55.79	6.81
Oued Melah	670	60	610	34.28	17.79

I.6.4 Le réseau hydrographique :

On désigne par réseau hydrographique un ensemble hiérarchisé et structuré de chenaux qui assurent le drainage superficiel, permanent ou temporaire, d'un bassin versant ou d'une région donnée. Un réseau hydrographique peut prendre des différentes formes.

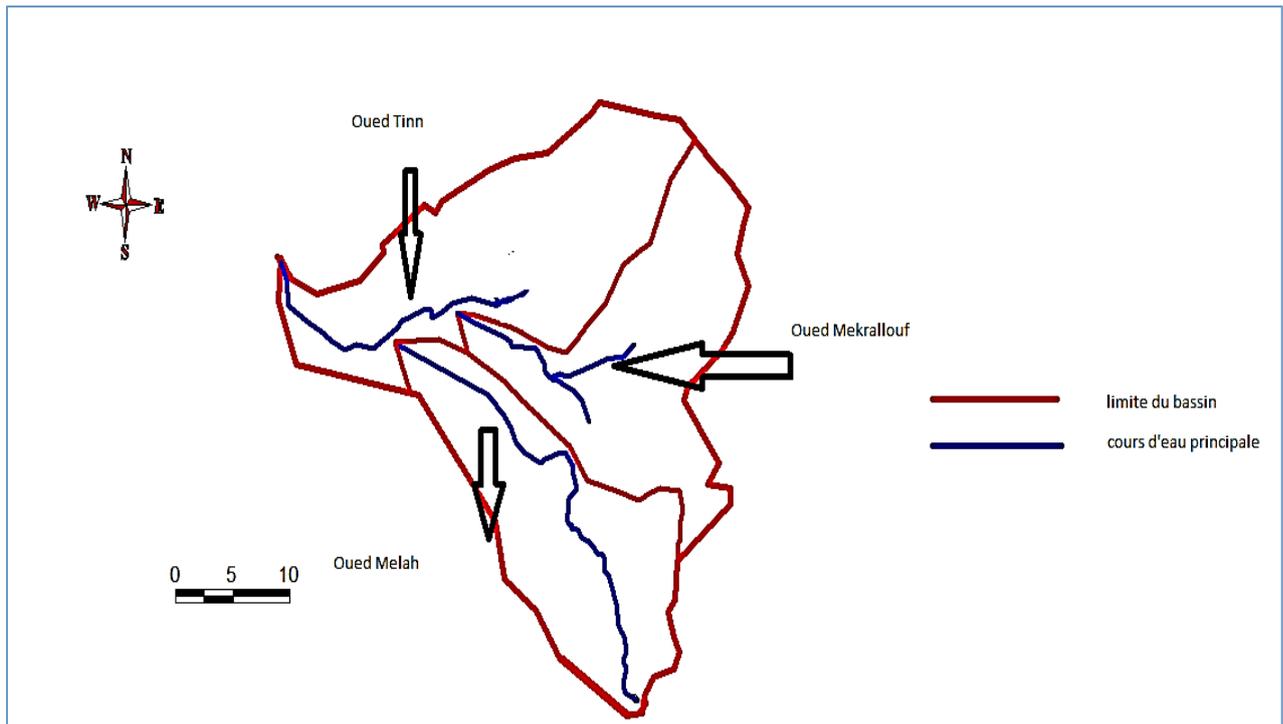


Figure I.12 : délimitation du bassin versant de l'oued Tinn ainsi que des sous bassins

I.6.4.1 La pente moyenne du cours d'eau principale :

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc sur le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer. Entièrement ou en partie dans le sol.

Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer la pente longitudinale du cours d'eau consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau.

$$P_{\text{moy}} = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

Avec :

P_{moy} : pente moyenne du cours d'eau [m/km],

ΔH : dénivellation entre deux points suffisamment distance [m],

ΔL : longueur du cours d'eau principal [km].

Les résultats de calcul de la pente moyenne du cours d'eau principal sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.11 : pente moyenne des cours d'eau principaux

Bassin versant	BV (Oued Tinn)	BV (Oued Mekrallouf)	BV (Oued Melah)
Pmoy (m/Km)	2.28	3.01	11.73

I.6.4.2 Le temps de concentration :

Le temps de concentration T_C des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier. Il est composé de trois termes différents :

- T_h : Temps d'humectation c'est le temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle.
- T_r : Temps de ruissellement ou d'écoulement c'est le temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur).
- T_a : Temps d'acheminement c'est le temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire.

Le temps de concentration T_C est donc égal au maximum de la somme de ces trois termes.

$$T_C = \max . \left[\sum (T_h + T_r + T_a) \right]$$

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

Dans notre cas et suivant les limites d'application des formules de temps de concentration on opte pour la formule de Giandotti cette dernière elle a été choisi vu la taille du bassin versant.

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}$$

Avec :

S : Surface du bassin versant en [Km²] ;

L : Longueur du talweg principal en [Km] ;

H_{moy} - H_{min} : respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en [m].

Les résultats pour les trois bassins sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau I.12 : temps de concentration

Bassin versant	BV (Oued Tinn)	BV (Oued Mekrallouf)	BV (Oued Melah)
Temps de concentration h	15.19	11.08	11.44

Tableau I.13 : récapitulatif des caractéristiques hypsométriques des bassins versants

Caractéristiques	Notation	Unité	BV O.Tinn	BV O.Mekrallouf	BV O.Melah
Surface	S	Km ²	388.2	465.49	361.15
Périmètre	P	Km	107.4	118.6	90.53
Longueur du cours d'eau principale	L _c	Km	29.24	18.22	36.4
Longueur	L	Km	44.35	55.79	34.28
Largeur	l	Km	8.75	9.39	10.54
Altitude maximale	H _{max}	m	342	713	897
Altitude minimale	H _{min}	m	4	4	4
Altitude médiane	H _{50%}	m	76	178	150
Altitude moyenne	H _{moy}	m	98.55	167.92	207.3
Altitude 5%	H _{5%}	m	270	420	670
Altitude 95%	H _{95%}	m	42	40	60
Indice de compacité	Kc	/	1.52	1.54	1.33
Indice de pente global	Ig	m/km	5.37	6.81	17.79
Pente moyenne du cours d'eau principale	Imoy	m/km	2.28	3.01	11.73
Temps de concentration	Tc	h	15.19	11.08	11.44

Conclusion : au cours de ce chapitre nous avons pu mettre en évidence toute les caractéristiques géographiques, topographiques, géologiques, hydrogéologiques, climatologiques et morphométriques de notre zone d'étude afin de les utilisés pour une meilleure estimation de la crue.

les bassins versants délimités précédemment ont une forme allongée, escarpée en amont et plat en aval, avec des surfaces très importante ce qui interprète les valeurs élevés du temps de concentration et les valeurs obtenues par le calcul de l'indice de compacité.

CHAPITRE II :

***Etude des précipitations
maximales journalières***

Introduction :

En Algérie, les inondations découlent principalement après la provenance d'un événement pluvieux extrême ; ce qui nous pousse à faire une étude des pluies maximales journalières afin d'aboutir aux pluies extrêmes suivant différentes périodes de retour et ainsi faire le calcul des pluies de courtes durée.

II .1 Présentation de la station pluviométrique et pluies maximales journalières :

Les pluies maximales journalières jouent un rôle prépondérant dans la genèse des crues et dans les processus d'érosion des sols. Afin de préciser la connaissance de ces pluies, une analyse fréquentielle est effectuée sur les pluies maximales journalières (tableau 4) de la station ANRH de KheirEddine (040602). Cette station est la plus proche ayant un nombre d'année d'enregistrement suffisant. Elle se trouve aux coordonnées Lambert Algérie suivantes, à la limite amont du bassin versant d'Oued Tinn.

Tableau II.1 : Station pluviométrique de KheirEddine (1970-2009)

Support pluviométrique	Altitude : Z (m)	180
	Abscisse : X (m)	277
	Ordonné : Y (m)	284.60
	Code de la station	040602
	Nom de la station	KheirEddine
Taille de l'échantillon : N	39	
P moy max journalière (mm)	63.5	

Tableau II.2 : Pluie maximales journalières de la station de KheirEddine (040602).

Années	P _{max,j} (mm)						
1970/1971	16,8	1981/1982	30,1	1992/1993	39,4	2003/2004	62,1
1971/1972	19,9	1982/1983	31,8	1993/1994	42,4	2004/2005	65,6
1972/1973	20,2	1983/1984	34,1	1994/1995	42,8	2005/2006	71,7
1973/1974	20,4	1984/1985	34,3	1995/1996	44,1	2006/2007	74,4
1974/1975	23,4	1985/1986	34,7	1996/1997	44,2	2007/2008	97
1975/1976	24,5	1986/1987	35,6	1997/1998	44,7	2008/2009	124,4
1976/1977	25,2	1987/1988	37,5	1998/1999	47,3		
1977/1978	27,1	1988/1989	38,1	1999/2000	47,4		
1978/1979	27,2	1989/1990	38,6	2000/2001	47,5		
1979/1980	28,2	1990/1991	39,3	2001/2002	47,5		
1980/1981	30	1991/1992	39,3	2002/2003	49,9		

Source : ANRH

II .2 précipitations maximales journalières :

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

Pour notre étude on passe par les étapes suivantes :

- Classer la série des précipitations par ordre croissant,
- Calcul de la fréquence expérimentale,
- Calcul des caractéristiques empiriques de la série de donnée,
- Ajuster avec la méthode de maximum de vraisemblance
- Calculer le quantile et son intervalle de confiance.

Tableau II.3 : Caractéristiques de la série

Caractéristiques	Formules	Valeurs
La somme des $P_{max j}$ en (mm)	$\sum_{i=1}^{N=39} Xi$	1648,7
la moyenne des $P_{max j}$ en (mm)	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n=39} Xi}{n}$	42.27
L'écart type « σ_x »	$\sigma_x = \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{41} (X_i - 41.05)^2}{39}} \right]$	21.005
Coefficient de variation « Cv » :	$C_V = \frac{\sigma}{\bar{X}}$	0,49
L'exposant climatique :	$b = 0.40$	(Donné par l'ARNH)

II.3 Choix de la loi d'ajustement

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques. L'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. Toutefois, de nombreuses études comparatives. Autant empiriques que théoriques. Ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation la plus efficace pour une loi donnée.

Dans notre étude on va utiliser les trois lois suivantes :

- La loi de GUMBEL.
- La loi de GALTON (log-normal).
- La loi de GEV

L'ajustement des pluies maximales journalières sera traité par le logiciel HYFRAN.

II.3.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(y) = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots (II.1)$$

Avec :

$$y = a (x - x_0),$$

$1/a$: la pente de la droite de *GUMBEL*,

y : variable réduite de *GUMBEL*,

x : précipitation maximale journalière (mm),

x_0 : ordonnée à l'origine en (mm),

On peut écrire : $y = - \ln (- \ln (F (x)))$

Avant de procéder à l'ajustement il faut suivre les étapes suivantes :

- ✓ Classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1, 2, 3, ..., n.
- ✓ Calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de *HAZEN*.

$$F(m) = \frac{m-0.5}{n} \dots \dots \dots \text{(II.2)}$$

- D'où : m : rang de précipitation.

n : nombre d'observations ($n = 40$).

- ✓ Calculer la variable réduite de *GUMBEL* donnée par la formule : $y = - \ln (- \ln (F(x)))$.
- ✓ Calculer les paramètres d'ajustement « a » et « x_0 ».
- ✓ Représenter graphiquement les couples (x_i, y_i) sur papier *GUMBEL*.

Estimation par la méthode de maximum de vraisemblance :

On utilisant le logiciel HYFRAN

Nombre d'observations : 39

Quantiles :

$q = F(X)$ (probabilité au non-dépassement)

$T = 1/ (1-q)$

Tableau II.4 : Résultat de l'ajustement à la loi de Gumbel

Période de retour	probabilité(q)	XT (mm)	Ecart Type	Intervalle de confiance
1000	0.999	128	12.9	103 - 153
100	0.99	96.5	8.98	78.9 - 114
50	0.98	87	7.8	71.7 - 102
20	0.95	74.3	6.26	62.0 - 86.5
10	0.9	64.4	5.1	54.4 - 74.4
5	0.8	54.2	3.96	46.4 - 61.9

Test d'adéquation (khi carrée) :

Nombre de degré de liberté $\gamma=5$

P-value=0.1175

$X^2_{calculée}=8.79$

$X^2_{théorique}=11.07$

$X^2_{calculée} < X^2_{théorique}$ **l'adéquation est bonne**

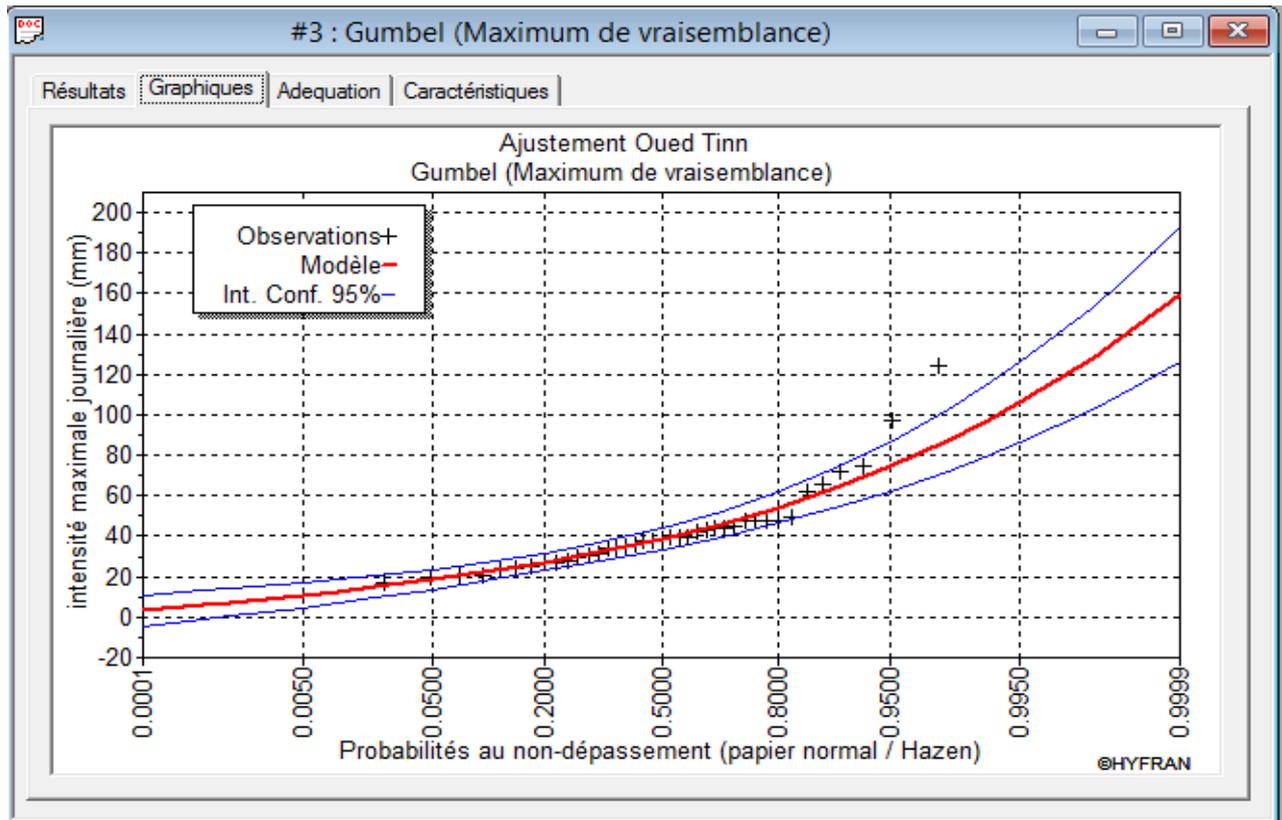


Figure II.1 : Ajustement à la loi de Gumbel

Commentaire : la loi de Gumbel ne s’ajuste pas car il y a des valeurs négatives

Tableau II.5 : caractéristique de l’échantillon a la loi de Gumbel

Gumbel (maximum de vraisemblance)	Carac.de l’échantillon
Minimum	16.8
Maximum	124
Moyenne	42.3
Ecart – type	21.3
Médiane	38.6
Coefficient de variation (C _v)	0.503

II.3.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (Lognormale) :

Le procédé d’ajustement est identique à celui établi pour la loi de GALTON. Seule la représentation graphique change ou elle est faite sur du papier log-normale. La loi de GALTON a une fonction de répartition qui s’exprime selon la formule suivante :

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_u^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2} du \dots\dots\dots(II.3)$$

Ou :
$$u = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_x} \quad (\text{variable réduite de GAUSS})$$

L’équation de la droite de GALTON est la suivante :

$$\text{Log } x(p \%) = \overline{\text{Log}x} + \delta \cdot \text{Log } u(p \%) \dots\dots\dots(II.4)$$

$$\text{Log}X = \frac{\sum_{i=1}^{30} \overline{\text{Log}Xi}}{N} \dots\dots\dots(II.5)$$

Lognormale : les résultats d’ajustement sont donnés par le logiciel HYFRAN

Nombre d’observation : 39

Quantiles :

q = F(X) (probabilité au non dépassement)

T = 1/ (1-q)

Log normale (Maximum de vraisemblance)

Tableau II.6 : Résultat de l’ajustement à la loi de Galton(Lognormale)

periode de retour	probabilité(q)	XT(mm)	Ecart Type	Intervalle de confiance
1000	0.999	145	24.2	97.3 - 192
100	0.99	104	13.9	76.9 - 132
50	0.98	92.7	11.3	70.5 - 115
20	0.95	77.8	8.27	61.6 - 94.0
10	0.9	66.5	6.21	54.4 - 78.7
5	0.8	55.1	4.42	46.4 - 63.8

Test d'adéquation (khi carrée) :

Nombre de degré de liberté $\gamma=5$

p-value=0.275

$X^2_{calculée}=6.33$

$X^2_{théorique}=11.07$

$X^2_{calculée} < X^2_{théorique}$ l'adéquation est bonne

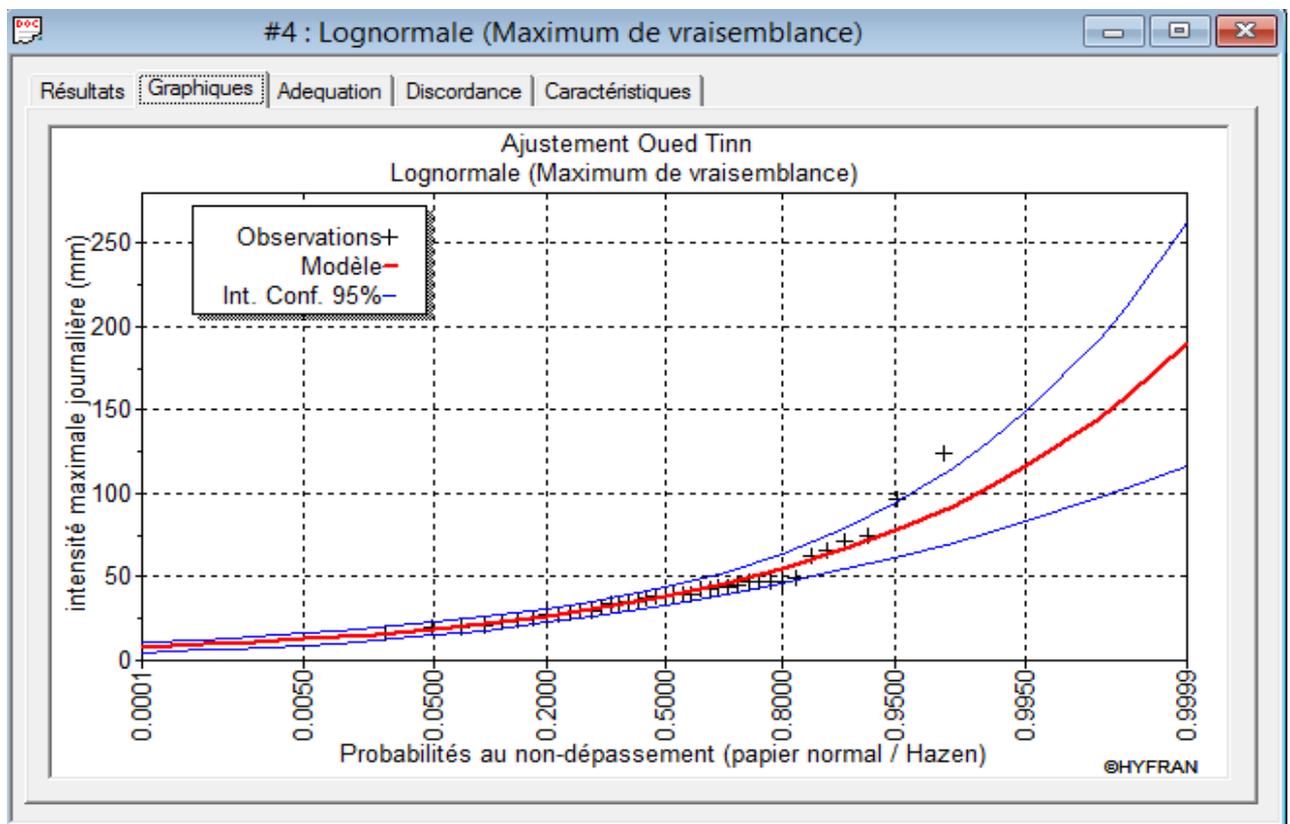


Figure II.2 : ajustement à la loi de Galton (Lognormale)

Tableau II.7 : caractéristique de l'échantillon a la loi de Galton

Galton (Maximum de vraisemblance)	Carac.de l'échantillon
Minimum	16.8
Maximum	124
Moyenne	42.3
Ecart – type	21.3
Médiane	38.6
Coefficient de variation (Cv)	0.503

II.3.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GEV:

C'est une loi a trois paramètres :

- localisation : D
- échelle : G
- forme : k

$$k \neq 0 : F(x) = \exp - (1 - k (x - D) / G)^{1/k} \dots\dots\dots(\text{II.6})$$

Les résultats d'ajustement sont donnés par le logiciel HYFRAN :

Tableau II.8 : Résultat de l'ajustement à la loi de GEV

periode de retour	probabilité(q)	XT(mm)	Ecart Type	Intervalle de confiance
1000	0.999	207	94.4	N/D
100	0.99	122	31.8	N/D
50	0.98	103	21.6	60.8 - 145
20	0.95	81.2	12.2	57.3 - 105
10	0.9	66.8	7.61	51.8 - 81.7
5	0.8	53.7	4.71	44.4 - 62.9

Test d'adéquation (khi carrée) :

Nombre de degré de liberté $\gamma=4$

$p\text{-value}=0.175 ; X^2_{\text{calculée}}=6.33 ; X^2_{\text{théorique}}=9.488$

$X^2_{\text{calculée}} < X^2_{\text{théorique}}$ **l'adéquation est bonne**

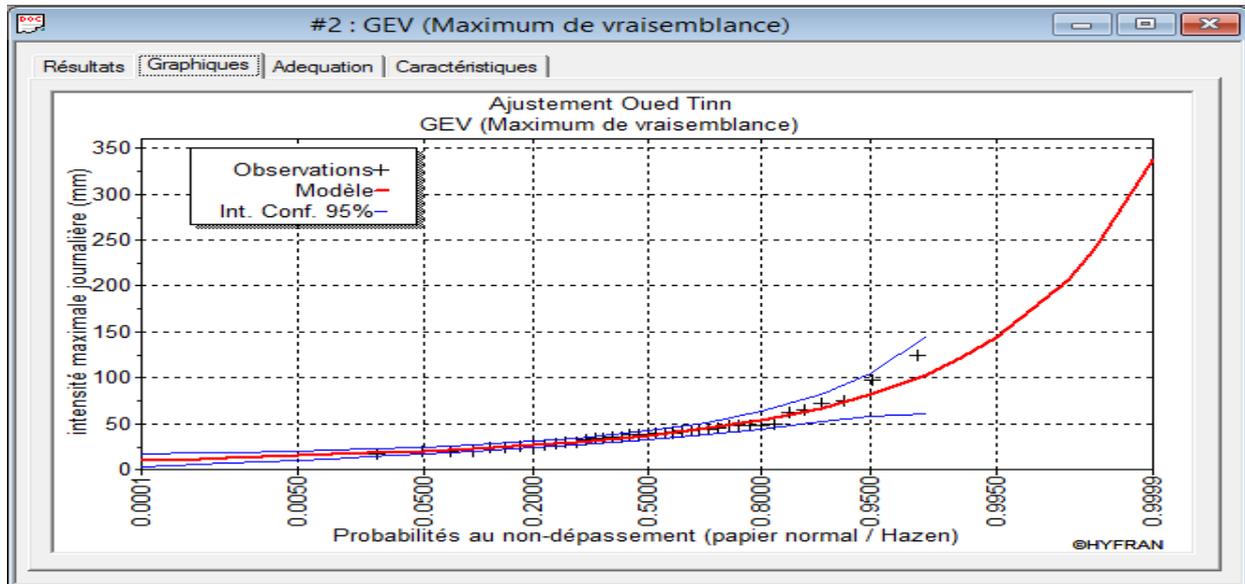


Figure II.3 : ajustement à la loi de GEV

Tableau II.9 : caractéristique de l'échantillon a la loi de GEV

GEV (Maximum de vraisemblance)	Carac.de l'échantillon
Minimum	16.8
Maximum	124
Moyenne	42.3
Ecart – type	21.3
Médiane	38.6
Coefficient de variation (Cv)	0.503

Résultat de l'ajustement :

En se référant aux graphes obtenues, par ces trois lois, celui de Gumbel, Galton (lognormale) et de GEV, nous remarquerons que l'ajustement issu de la loi de Galton est le meilleur, du moment que la position des données expérimentales sont plus proches de la droite théorique. Donc on opte pour la loi lognormale.

II .4 Pluies de courte durée :

Pour une période donnée la quantité de pluie tombée dans un temps donnée "t" est donnée par la formule de Body (ANRH 1984) :

$$P_{ct} = P_{\max j} \left(\frac{t}{24} \right)^b \dots\dots\dots(\text{II.7})$$

Avec : **t** : durée de l'averse.

b : exposant climatique (**b = 0.37**, selon l'ANRH).

Les intensités maximales de période *t (h)* et période de retour *T=100 (ans)* sont calculées par la relation :

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t} \dots\dots\dots(\text{II.8})$$

Avec :

I : l'intensité maximale de période *t (h)*.

Les précipitations et les intensités maximales pour différentes durées sont représentées au tableau suivant :

D'où :

P : Pluies de courte durée (*mm*).

I : Intensité maximale (*mm/h*).

Tableau II.10 : Récapitulatif des pluies, intensités maximales de durée t (h) et de période de retour

Période de retour (ans)	1000		200		100		50		20		10		5	
	Pct (mm)	It(mm/ h)	Pct(m m)	It(mm /h)	Pct(m m)	It(mm/ h)								
0.08	17.57	219.66	14.06	175.7 2	12.60	157.55	11.23	140.43	9.43	117.86	8.06	100.74	6.68	83.47
0.25	26.79	107.15	21.43	85.72	19.21	76.85	17.13	68.50	14.37	57.49	12.29	49.14	10.18	40.72
1.00	44.74	44.74	35.79	35.79	32.09	32.09	28.60	28.60	24.00	24.00	20.52	20.52	17.00	17.00
2.00	57.82	28.91	46.26	23.13	41.47	20.74	36.96	18.48	31.02	15.51	26.52	13.26	21.97	10.99
3.00	67.18	22.39	53.74	17.91	48.18	16.06	42.95	14.32	36.04	12.01	30.81	10.27	25.53	8.51
6.00	86.82	14.47	69.45	11.58	62.27	10.38	55.50	9.25	46.58	7.76	39.82	6.64	32.99	5.50
12.00	112.20	9.35	89.76	7.48	80.47	6.71	71.73	5.98	60.20	5.02	51.46	4.29	42.64	3.55
24.00	145.00	6.04	116.00	4.83	104.00	4.33	92.70	3.86	77.80	3.24	66.50	2.77	55.10	2.30
48.00	187.39	3.90	149.91	3.12	134.40	2.80	119.80	2.50	100.55	2.09	85.94	1.79	71.21	1.48
96.00	242.18	2.52	193.74	2.02	173.70	1.81	154.83	1.61	129.94	1.35	111.07	1.16	92.03	0.96
168.00	297.89	1.77	238.31	1.42	213.66	1.27	190.44	1.13	159.83	0.95	136.62	0.81	113.20	0.67
240.00	339.91	1.42	271.93	1.13	243.80	1.02	217.31	0.91	182.38	0.76	155.89	0.65	129.17	0.54

Conclusion :

Les deux lois couramment employées en hydrologie, et particulièrement pour décrire les modules pluviométriques méditerranéens sont les lois de Gumbel et de Galton, notre série s'ajuste très bien au premier modèle.

L'étude des valeurs maximales est souvent délicate pour l'irrégularité du régime et les grands écarts entre les pluies des années sèches et les années pluvieuses. Cependant, il existe de nouvelles méthodes qui permettent de fixer un certain seuil et de ne pas prendre forcément le maxima de chaque année mais plusieurs pour chacune ; ce qui nous donnent des séries plus longues et plus représentatives toutefois le travail reste fastidieux.

CHAPITRE III :

***Estimation des débits de crues
des cours d'eau***

Introduction :

Dimensionner un ouvrage se trouvant à l'aval d'un bassin versant donné ou d'une partie de ce dernier nécessite l'estimation des débits de crues de différents temps de retour. Dans ce but, des méthodes plus ou moins complexes ont été développées. Dans notre travail on a opté de travailler avec trois approches différentes et de choisir celle qui conviendra le mieux à notre contexte. Les méthodes utilisées sont les suivantes :

- ✓ La méthode SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number) ;
- ✓ La méthode empirique de Sokolovsky ;
- ✓ La méthode empirique de Turazza

III.1 La méthode SCS-CN :

La méthode du Soil Conservation Service a été mise au point aux Etats Unis sur la base de résultats de mesures pluvio-hydrométriques pratiquées sur plusieurs centaines de bassins versants. Elle a été appliquée par plusieurs bureaux d'études au contexte méditerranéen. Avant tout, on suppose qu'un épisode pluvieux de période de retour engendre un ruissellement de même période de retour. Les seules données nécessaires à la transformation sont les caractéristiques de la pluie choisie et les caractéristiques géométriques et physiques du bassin versant (temps de concentration, surface, pente du cours d'eau...) [5] .

La précipitation totale est séparée en trois composantes :

- ✓ Ruissellement direct (Q)
- ✓ Eau retenu F
- ✓ Infiltration initiale I_a

$$P=Q+F+I_a.....(III.1)$$

En posant (S) comme le potentiel maximum de rétention, elle démarre du concept qui stimule que la proportion d'eau pouvant être ruisselée par unité de celle pouvant être stockée est égale à la proportion d'eau ruisselée par l'unité de celle qui est stockée.

$$\frac{F}{p} = \frac{Q}{P-I_a}(III.2)$$

Donc on aura :

$$\frac{(P-I_a)-Q}{S} = \frac{Q}{P-I_a}(III.3)$$

D'où :

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \dots\dots\dots(\text{III. 3})$$

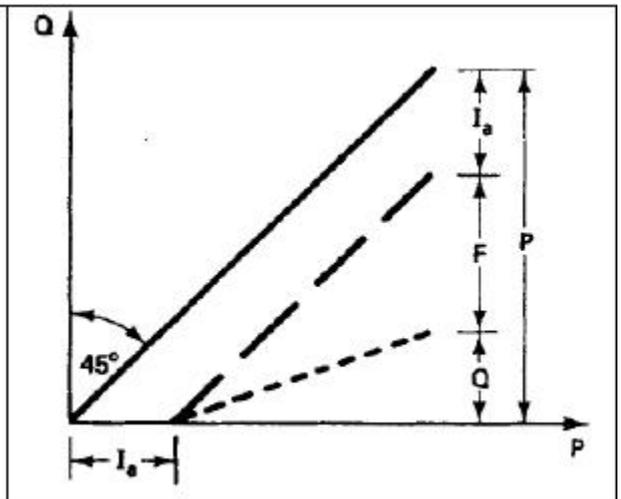
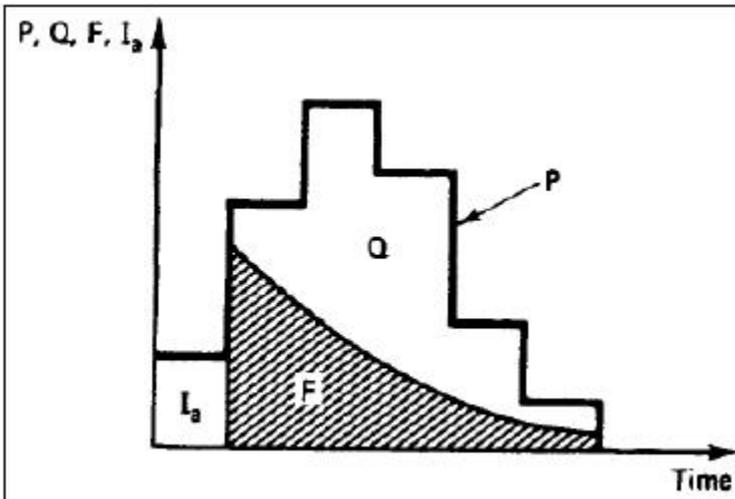


Figure III.1 : Séparation de la pluie

Figure III.2 : Relation pluie-débit

Après plusieurs études une relation empirique a été établie cette dernière relie la rétention potentielle à l'infiltration initiale :

$$I_a = 0.2S \dots\dots\dots(\text{III.5})$$

Ce qui donne :

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \dots\dots\dots(\text{III.6})$$

Selon des études sur différents types de sol, les chercheurs ont trouvés la méthode d'estimer le S à partir du CN le curve number qui est fonction de la géologie, du couvert végétal ainsi que de l'humectation initiale.

Ces trois paramètres permettent de déterminer CN à partir des tables de ce dernier

$$S = \frac{1000}{CN - 10} \dots\dots\dots(\text{III. 7})$$

Et le temps de base de l'hydrogramme de crue :

$$T = 2.67 \left(\frac{t_{averse}}{2} + 0.6tc \right) \dots\dots\dots(\text{III.8})$$

III.1.1 Application de la méthode :

L'application de la méthode SCS CN se fait à partir du logiciel HEC-HMS (voir présentation en annexe), ce dernier permet de déterminer directement les hydrogrammes de crues.

III.1.1.1 Démarches à suivre :

Afin d'utiliser le logiciel HEC-HMS il est nécessaire de déterminer des paramètres d'entrées tel que la surface, le curve number, pourcentage des surfaces imperméables et le temps de parcours. Pour cela on doit passer par plusieurs étapes :

- ✓ Division en sous bassins
- ✓ Calcul de temps de concentration de chaque sous bassin
- ✓ Caractérisation des surfaces homogènes
- ✓ Détermination de CN de chaque surface
- ✓ Détermination du pourcentage des surfaces imperméables

A-division en sous bassins :

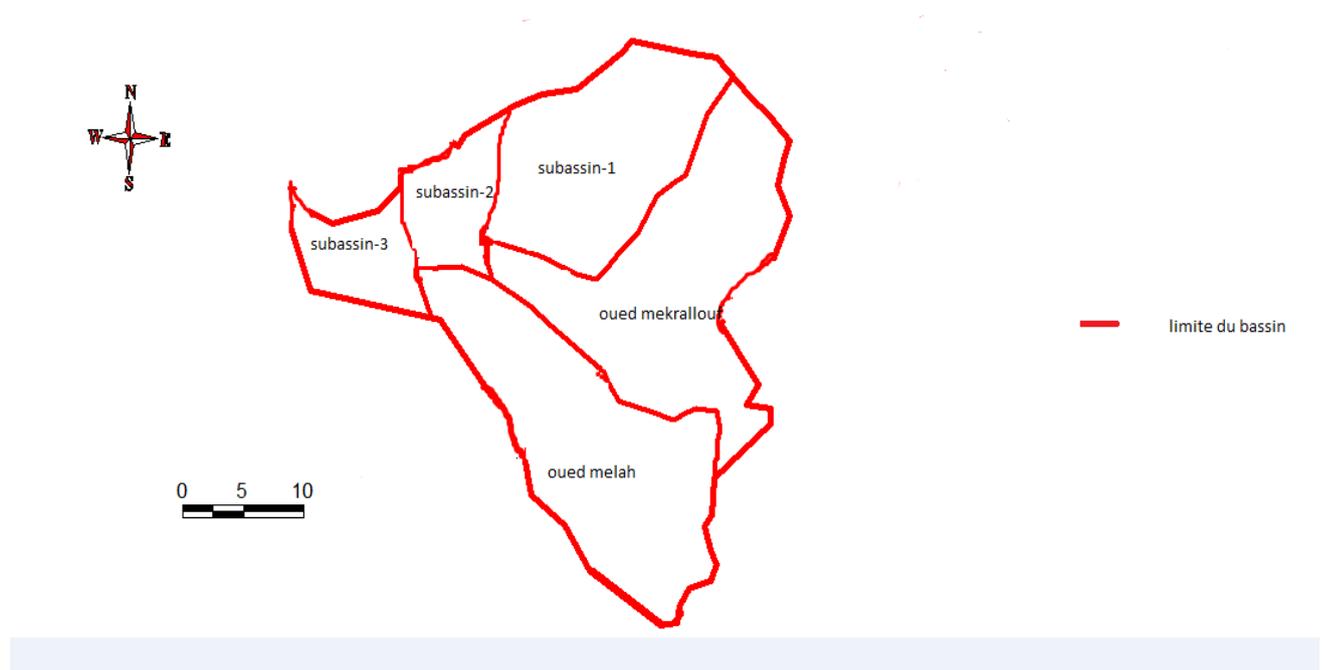


Figure III.3 : Division en sous bassin

Remarque :

La division des sous bassins (surfaces partielles) a été faite par le logiciel MAP.INFO ou nous avons divisés le bassin de l'Oued Tinn en trois sous bassins (subassin-1, subassin-2 et subassin-3) pour qu'il n'y ait pas un surdimensionnement dans la partie amont de l'aménagement cette division de fait en suivant les lignes de cretes.

Tableau III.1 : Surfaces des sous bassins

Sous bassin	Code HEC-HMS	Surface Km ²
Sous bassin 1	Subassin-1	249.8
Sous bassin 2	Subassin-2	42.7
Sous bassin 3	Subassin-3	95.8
Mekrallouf	Oued Mekrallouf	464.59
Melah	Oued Melah	361.15

B. Calcul du temps de concentration et le temps de parcours :

Pour le calcul du temps de concentration des surfaces partielles du bassin de l’oued Tinn nous avons utilisés la formule de Kirpich [2] :

$$T_c = 0.0195 \cdot L^{0.77} \cdot I^{-0.385} \dots\dots\dots(\text{III.9})$$

L : longueur du cours d’eau principal m

I : la pente en m/m

Pour le temps de parcours :

$$Lag = 0.6 \cdot T_c \dots\dots\dots(\text{III.10})$$

Tableau III.2 : Temps de concentration et le temps de parcours

Sous bassin	Tc (h)	Lag (min)
Subassin-1	3.05	110
Subassin-2	3.63	131
Subassin-3	8.75	315
Oued Mekhrallouf	11.08	399
Oued Melah	11.44	412

C. détermination du curve number CN :

Le temps de concentration est déterminé à partir des tables (voir annexes) et il est fonction des trois paramètres qui sont :

- ✓ Classe géologique (A, B, C et D)
- ✓ Couvert végétale (bonne, mauvaise ou moyenne)
- ✓ Condition d'humectation (I, II, III)

Pour déterminer le CNp des surfaces homogènes composant les sous bassins on procède a un calage des images satellitaires sur Map-Info et on fait le calcul des surfaces les résultats du CNp sont présentés dans le tableau suivant :

$$CNp = \frac{\sum CNi * Si}{\sum Si} \dots\dots\dots (III.11)$$

Tableau III.3 : CNp des différentes surfaces

Bassin	Oued Tinn			Oued Mekrallouf	Oued Melah
	Sous bassin 1	Sous bassin 2	Sous bassin 3		
CN pondéré	75.24	76.42	75.62	73.36	74.24

D. Détermination des pourcentages des surfaces imperméables :

De la même manière et à l'aide des images satellitaires on détermine le pourcentage des surfaces imperméable par rapport à la surface totale les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : pourcentage des surfaces imperméables

Bassin	Oued Tinn			Oued Mekrallouf	Oued Melah
	Sous bassin 1	Sous bassin 2	Sous bassin 3		
Pourcentage des surfaces imperméable	1.77	9.39	4.07	2.11	2.74

III.1.1.2 Résultat de la simulation :

On a simulé les évènements pluvieux des différentes périodes de retour (10ans, 50ans, 100ans) et la même durée de pluies 6h.

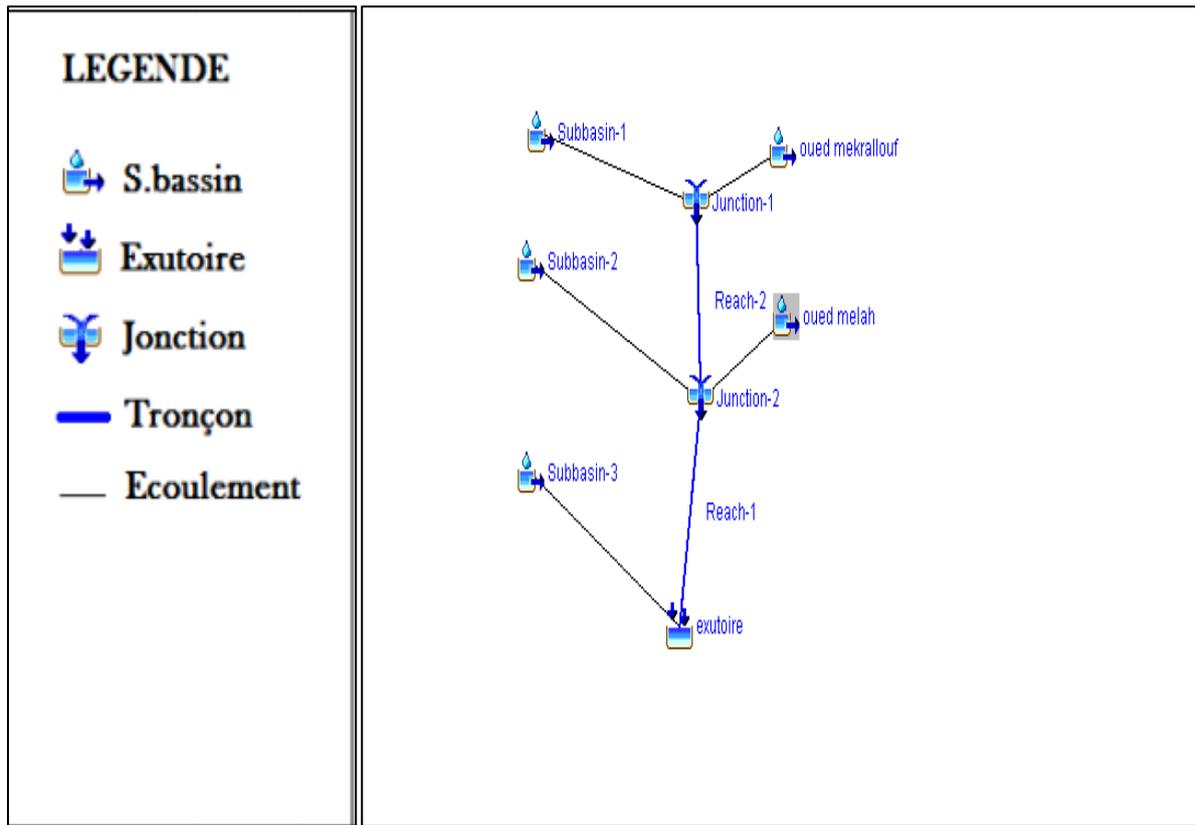


Figure III.4 : Représentation du schéma d'écoulement sur HEC-HMS

Tableau III.5 : Résultats des débits

Elément	débit m3/s pour différentes T		
	T=100ans	T=50ans	T=10ans
oued Mekrallouf	129,3	98,7	35,0
Subbasin-1	197,0	150,9	57,3
Junction-1	224,6	174,7	68,1
Reach-2	224,6	174,7	68,1
oued Melah	110,1	85,5	33,1
Subbasin-2	39,5	31,6	14,6
Junction-2	324,8	251,4	99,9
Reach-1	324,8	251,4	99,9
Subbasin-3	43,6	34,5	14,7
exutoire	341,4	265,4	105,2

A. Bassin oued Tinn :

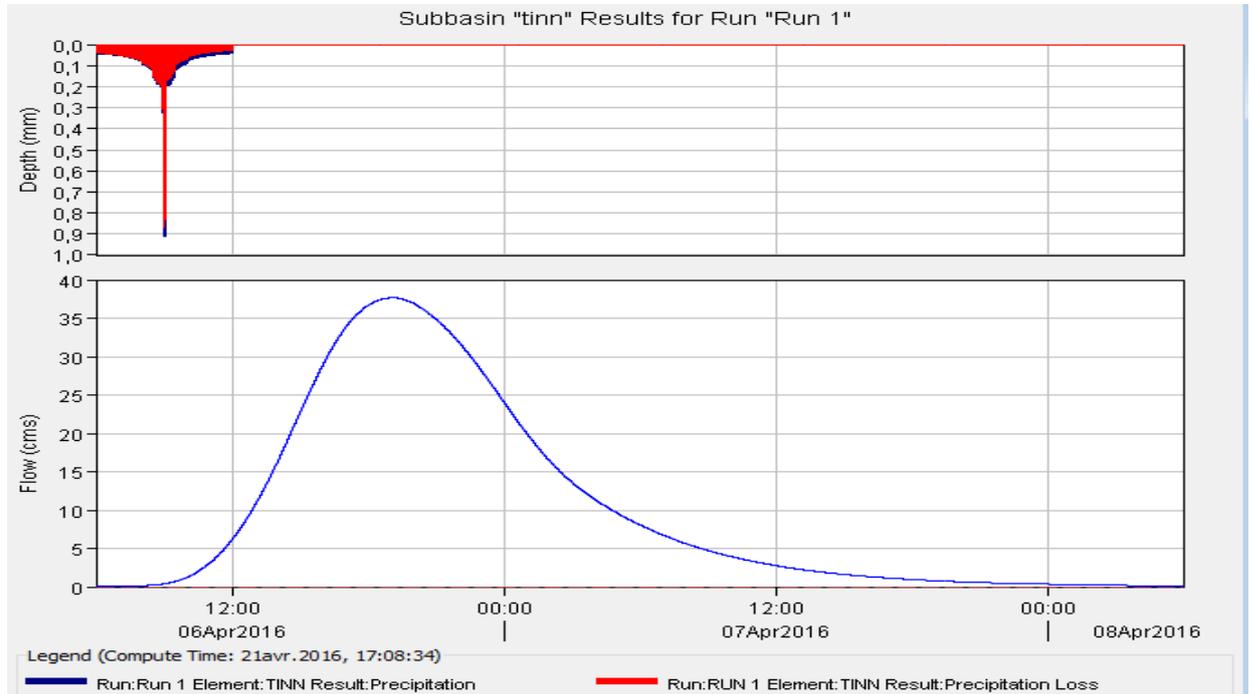


Figure III.5 : Hydrogramme de crue SB oued Tinn pour une période de 10ans

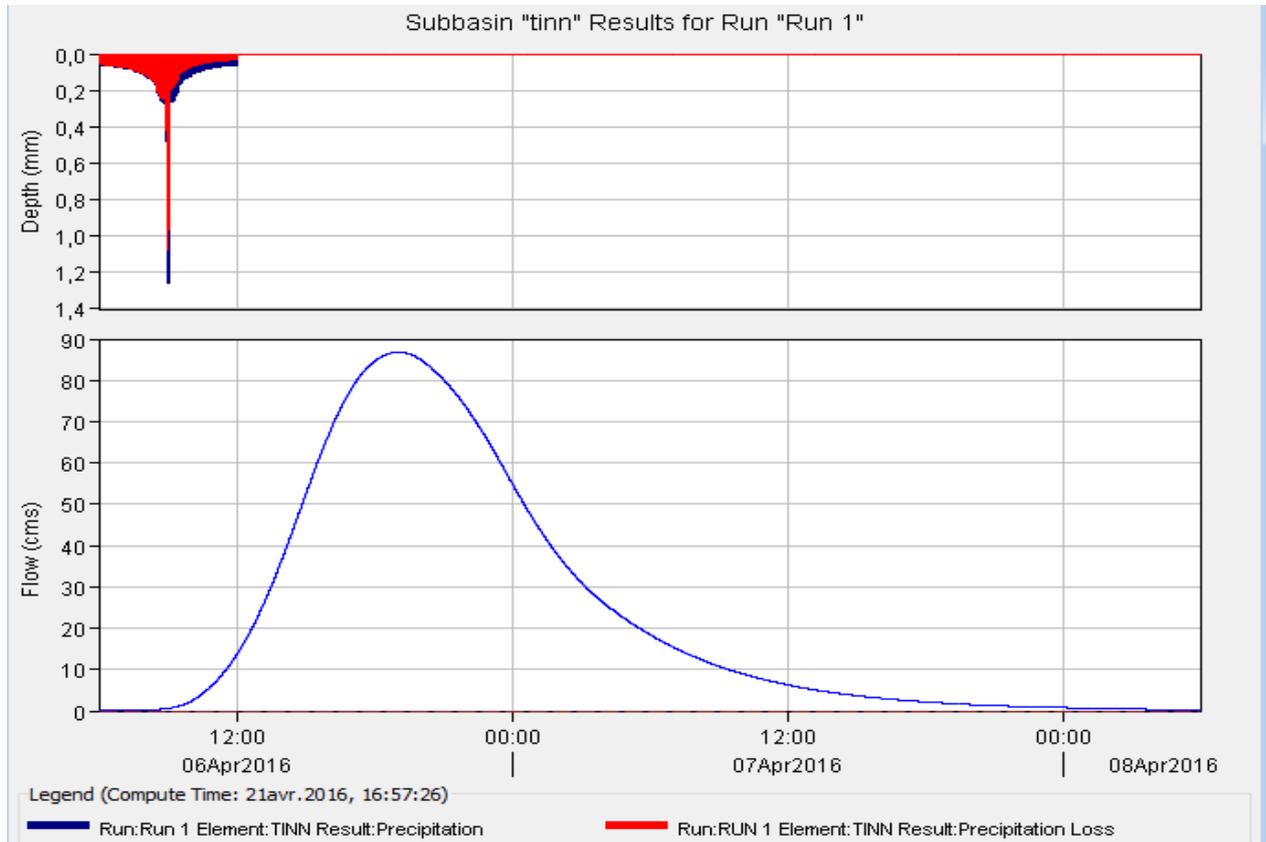


Figure III.6 : Hydrogramme de crue SB oued Tinn pour une période de retour de 50 ans

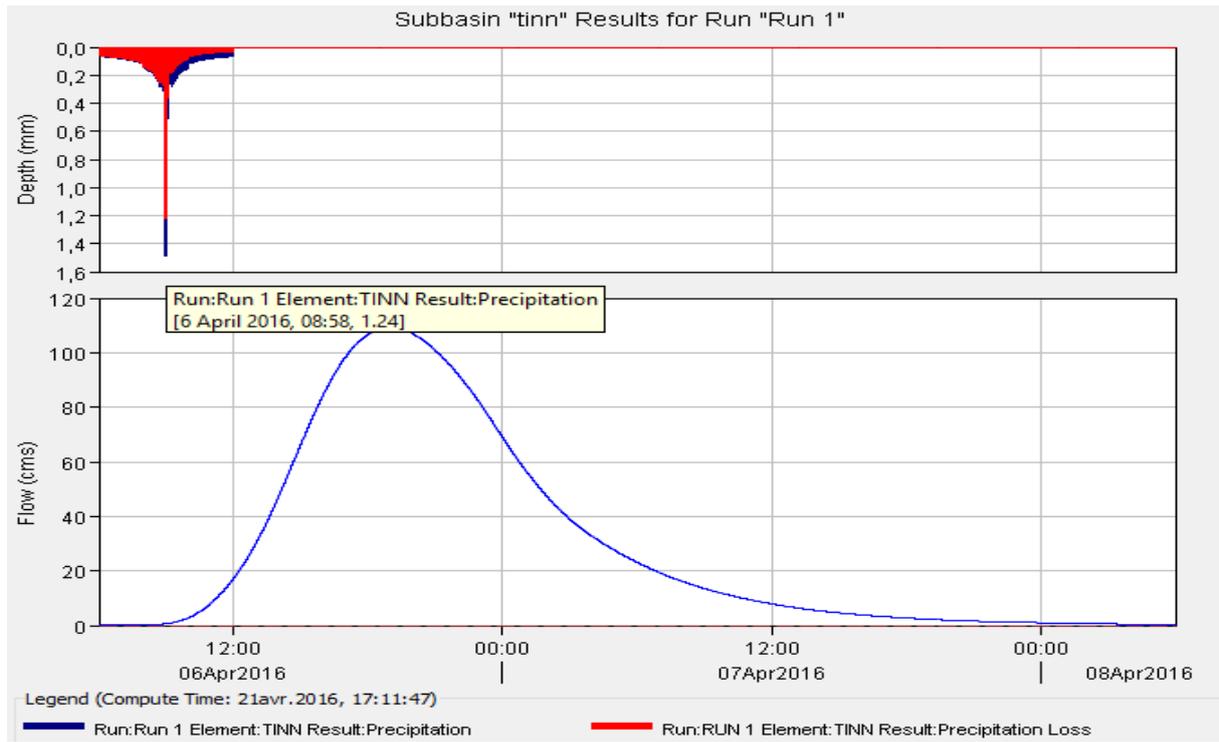


Figure III.7 : Hydrogramme de crue oued SB Tinn pour une période de retour de 100 ans

B. Bassin oued Mekrallouf :

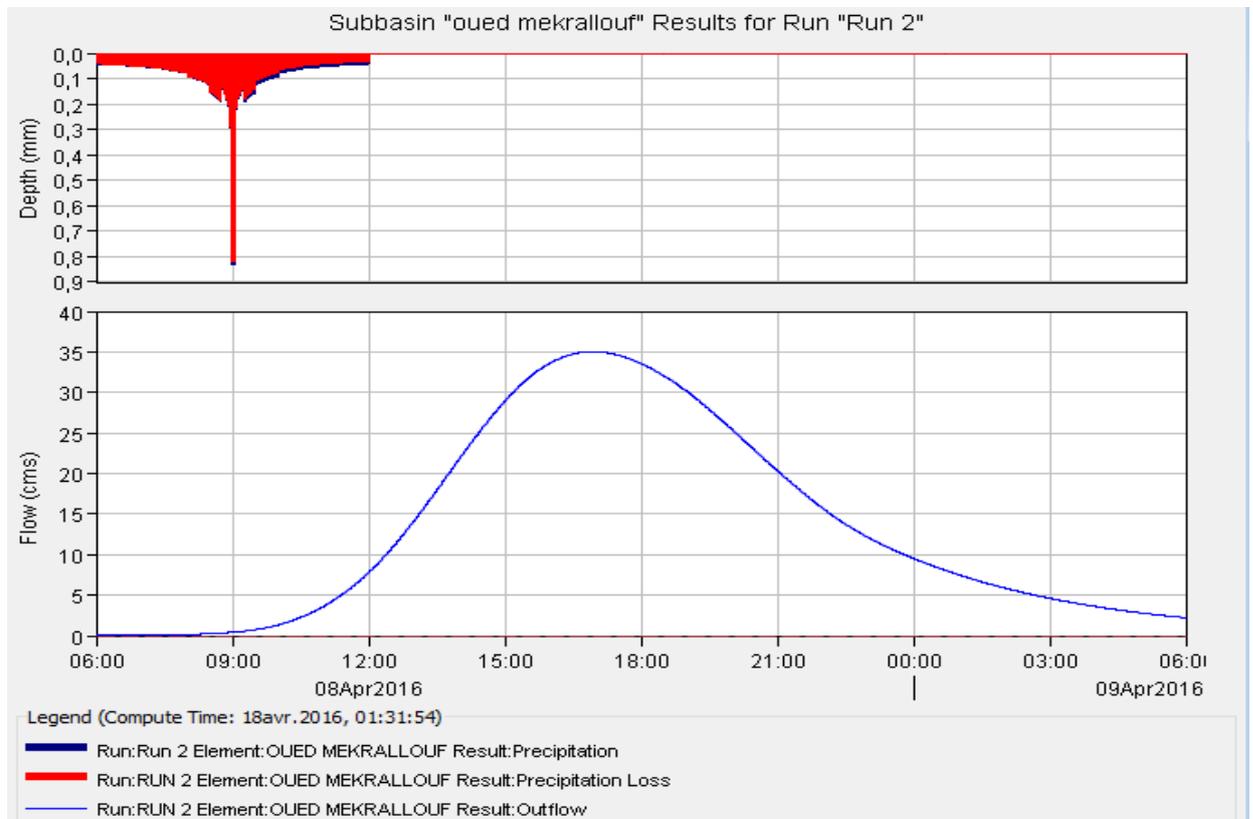


Figure III.8 : Hydrogramme de crue oued SB Mekrallouf pour une période de retour de 10 ans

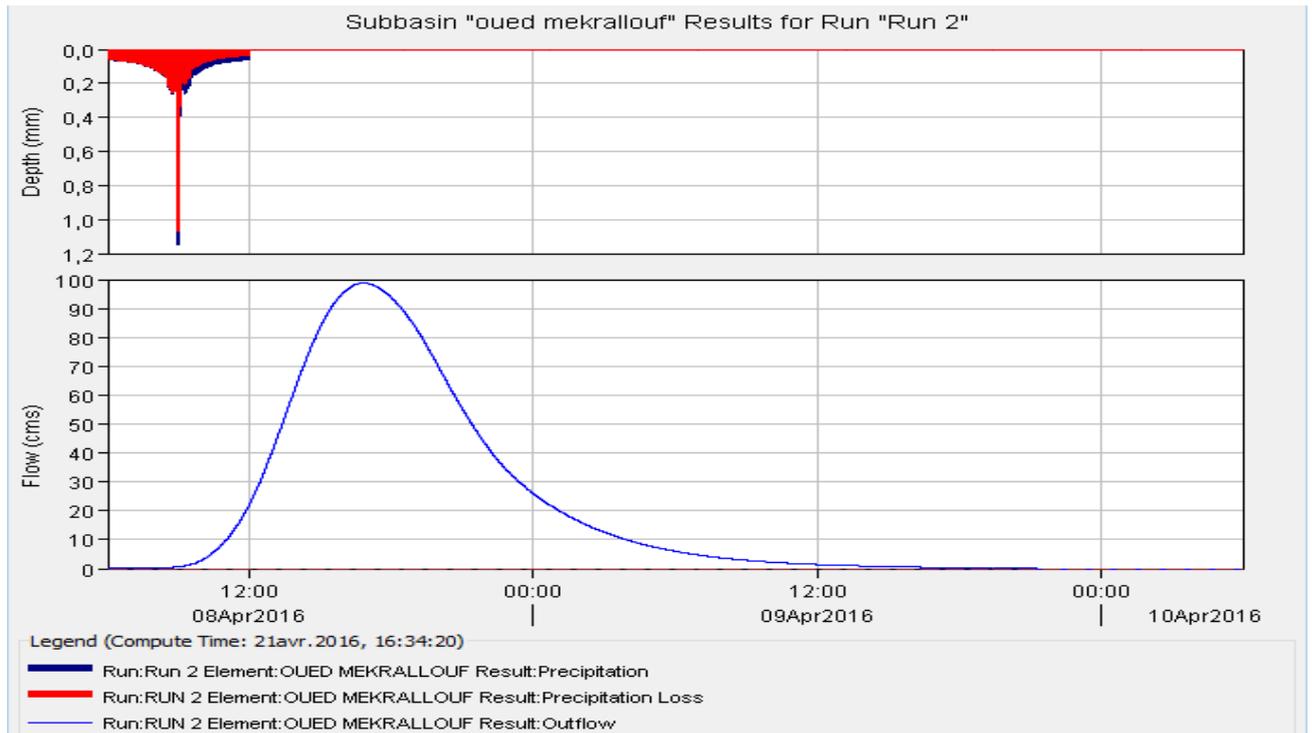


Figure III.9 : Hydrogramme de crue oued SB Mekrallouf pour une periode de retour de 50 ans

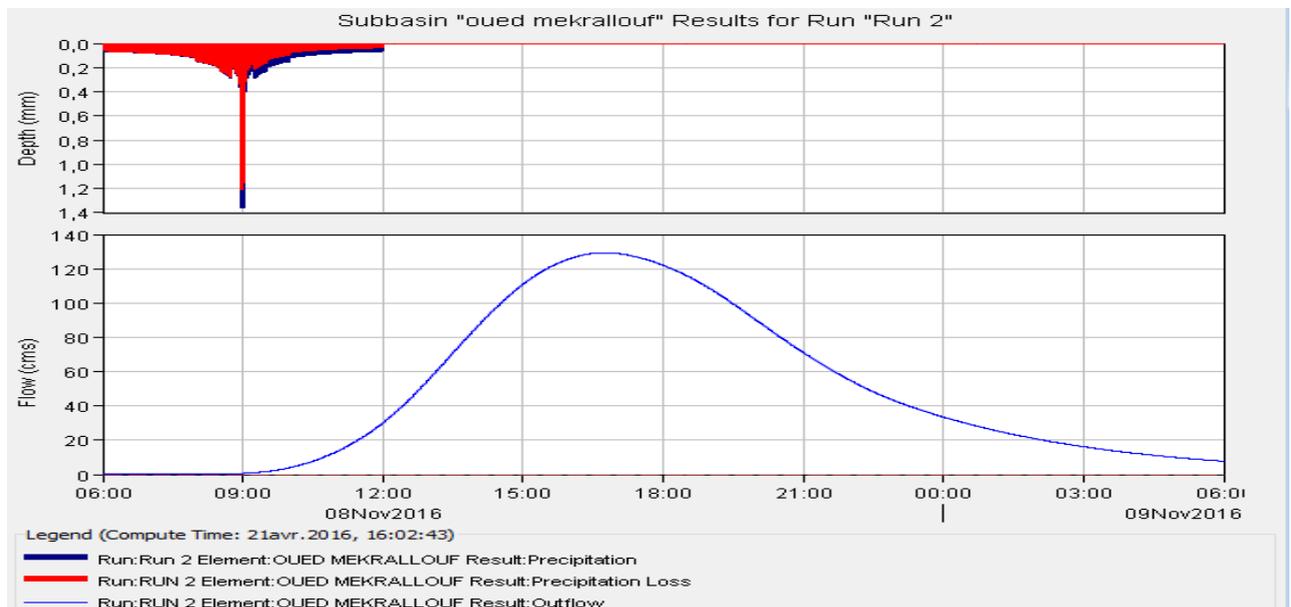


Figure III.10 : Hydrogramme de crue SB oued Mekrallouf pour une période de retour de 100ans

C. Oued Melah :

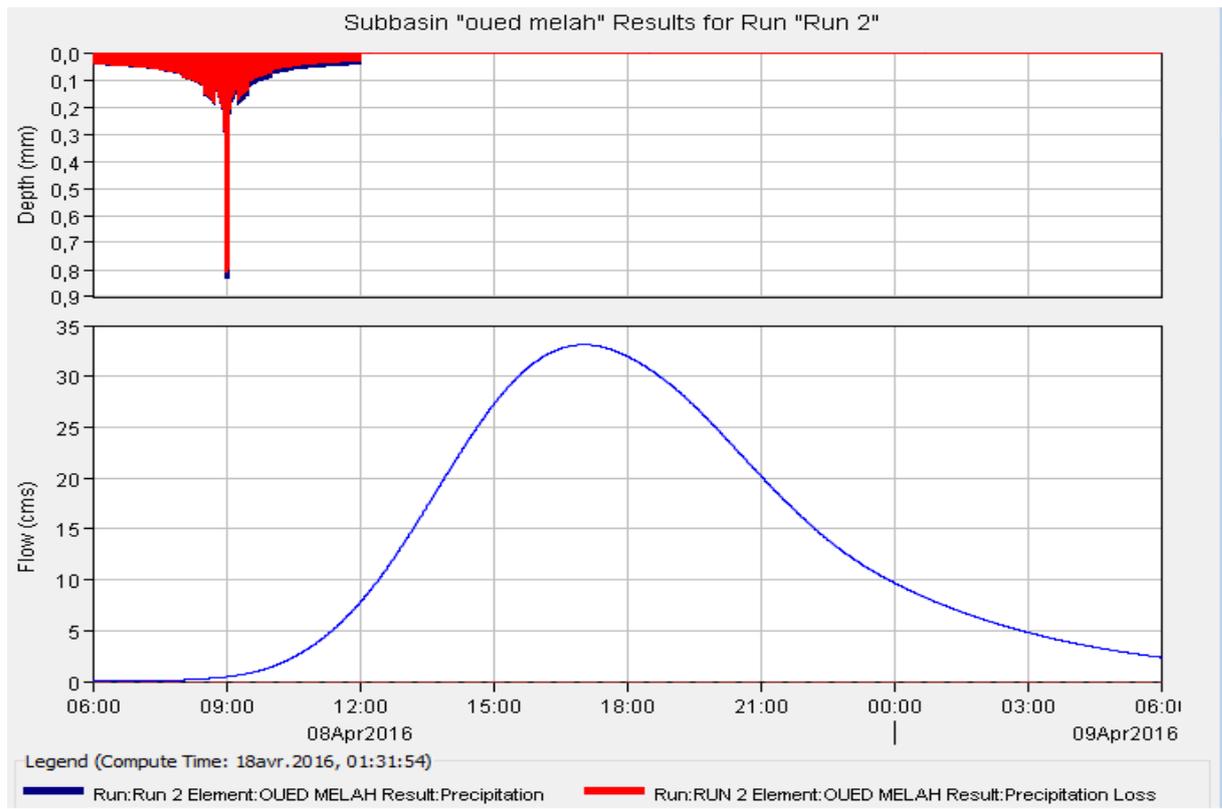


Figure III.11 : Hydrogramme de crue oued SB Melah pour une période de retour de 10 ans

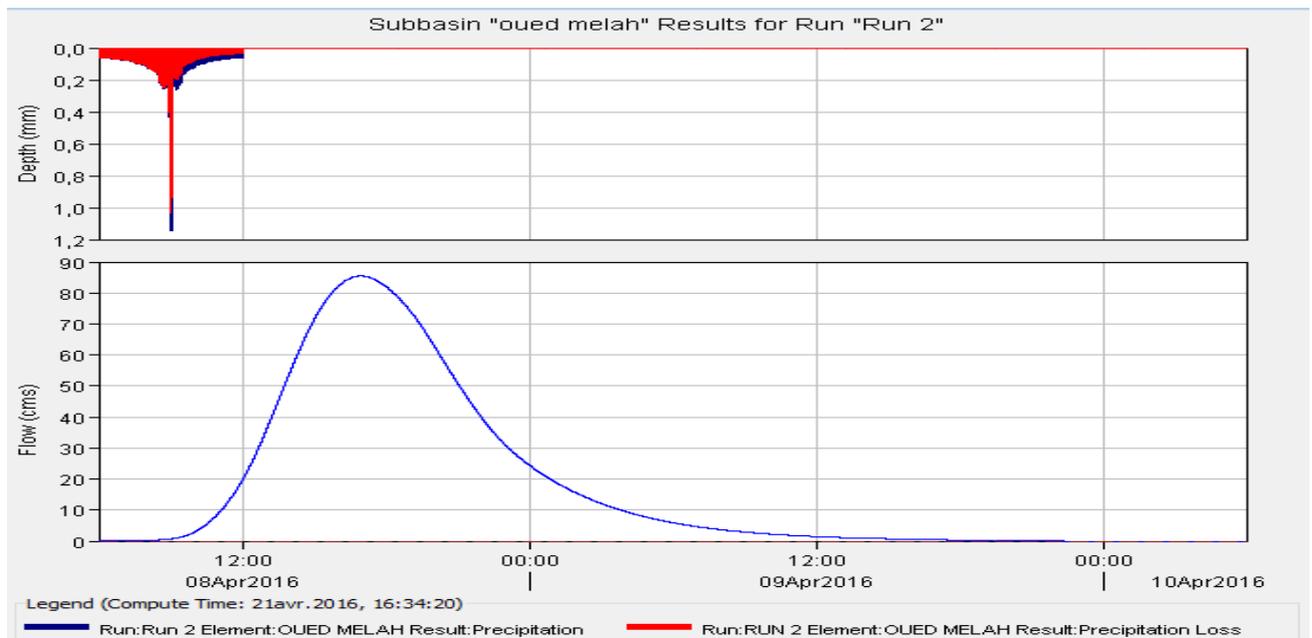


Figure III.12 : Hydrogramme de crue SB oued Melah pour une période de retour de 50 ans

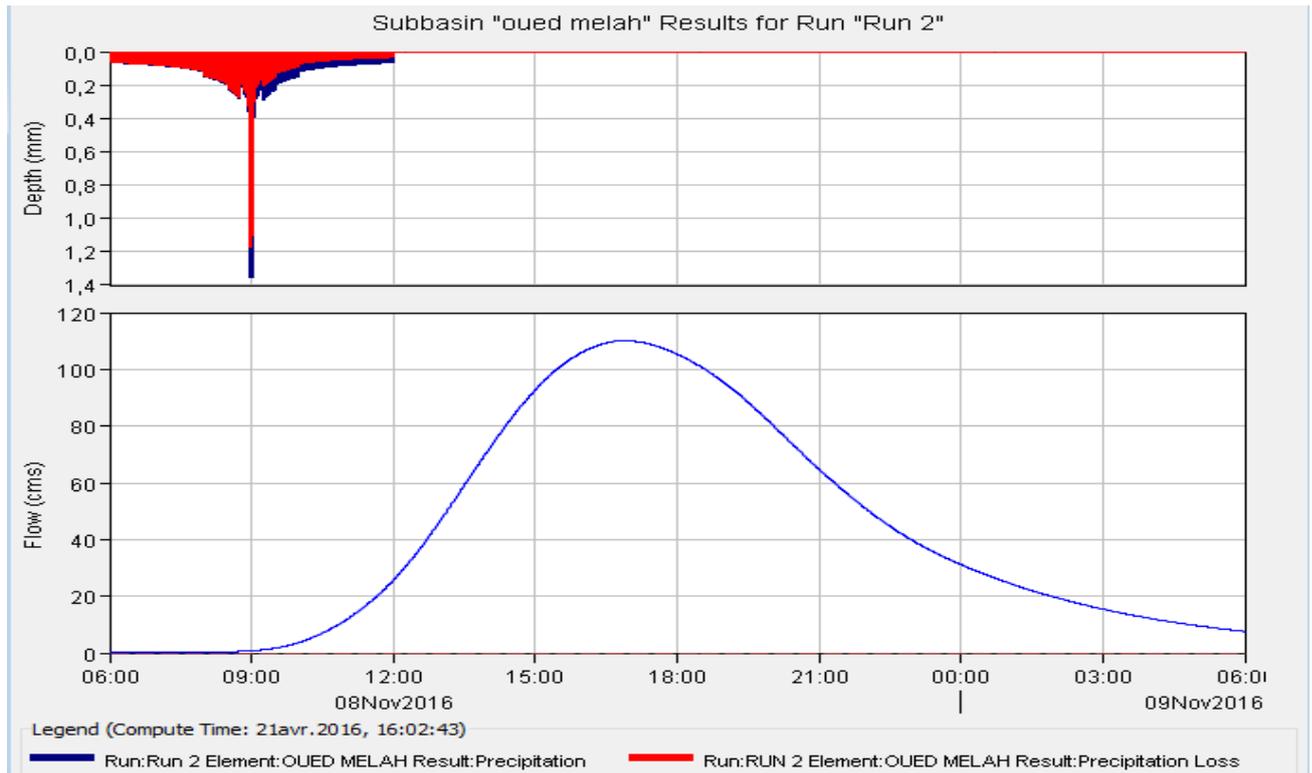


Figure III.13 : Hydrogramme de crue SB oued Melah pour une période de retour de 100ans

III.2 La méthode de Sokolovsky :

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{\max, p\%} = 0,28 \cdot \frac{(p_{tc\%} - Ho) \cdot \alpha p\% \cdot s \cdot f}{t_m = t_c} \dots\dots\dots(III.12)$$

Avec :

S : Surface du bassin versant en Km²,

Tc : Temps de concentration du bassin versant en h,

Ptc% : précipitation en mm de probabilité p% correspondant à un temps tc

αp% : Coefficient de ruissellement pour la crue probable

0.28 : coefficient de changement d'unité

Ho : perte initiale en (mm)

f : Coefficient de forme de la crue, peut être calculé par la formule :

$$f = \frac{12}{4 + 3\gamma} \dots\dots\dots(III.13)$$

Pour :

- $S \leq 50km^2$ on a : $\gamma = 2$
- des petits bassins non boisé et sol peu perméable, on a : $\gamma = 2 \div 2.5$
- bassin boisé et sol perméable, on a : $\gamma = 3 \div 4$

Sachant que nos deux bassins versant ont une surface inférieure à 50 Km² on prend, alors :

Les débits de crues des bassins versants calculés par les différentes formules sont représentés dans les tableaux suivants.

Tableau III.5 : Débits de crue par la méthode Sokolovsky pour T=100ans

Sokolovsky T=100 ans					
T	S (km ²)	tc	p p%,tc	αp%	Q max,p%
Tinn	388.2	15.19	86.61	0.56	285.44
Mekrallouf	464.5	11.08	76.34	0.53	391.61
Melah	361.15	11.44	77.32	0.54	300.35

Tableau III.6 : Débits de crue par la méthode Sokolovsky pour T=50ans

Sokolovsky T=50 ans					
SB	S (km ²)	tc	p p%,tc	αp%	Q max,p%
Tinn	388.22	15.1900	78.27	0.54	247.40
Mekrallouf	464.5	11.0800	69.64	0.52	342.79
Melah	361.15	11.4400	70.47	0.52	262.64

Tableau III.7 : Débits de crue par la méthode Sokolovsky pour T=10ans

Sokolovsky T=10 ans					
SB	S (km ²)	tc	p p%,tc	αp%	Q max,p%
1	388.22	15.1900	55.38	0.47	147.95
2	464.5	11.0800	48.81	0.45	198.80
3	361.15	11.4400	49.44	0.45	152.81

III.3 La méthode de Turazza :

Cette formule utilise l'intensité moyenne maximale de précipitations déterminées sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant [1].

$$Q_{\max, p\%} = \frac{c \cdot i_{tc\%} \cdot A}{3.6} \dots\dots\dots(III.14)$$

D'où :

A : Surface du bassin versant.

i_{tc%} : Intensité de la pluie de fréquence (P%) pour une durée égale au temps de concentration Tc.

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

Tableau III.8 : Débits de crue par la méthode Turazza Tinn

Tinn	Intensité Tc	
T		DEBIT
5	3.06	197.982
10	3.7	239.39
20	4.32	279.504
50	5.15	333.205
100	5.78	373.966

Tableau III.9 : Débits de crue par la méthode Turazza Mekrallouf

Mekrallouf	Intensité Tc	
T		DEBIT
5	3.74	289.53833
10	4.51	349.14917
20	5.28	408.76
50	6.29	486.95083
100	7.05	545.7875

Tableau III.10 : Débits de crue par la méthode Turazza Melah

Melah	INTEN TC	
T		DEBIT
5	3.66	220.3015
10	4.42	266.04717
20	5.17	311.19092
50	6.16	370.78067
100	6.91	415.92442

III.4 Hydrogramme de crue par les formules empiriques :

Les Hydrogrammes de crues pour diverses fréquences sont évalués par la méthode de Sokolovsky qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques.

1. La montée de la crue : $Q_{max} = Q_{max p} \left[\frac{t}{t_m} \right]^n$ (III.15)

2. La décrue : $Q_{max} = Q_{max p} \left[\frac{t_d - t}{t_d} \right]^m$ (III.16)

Avec :

t_m : temps de montée de la crue ; t_d : temps de la décrue ;

m.n : puissance des équations m = 2. n = 3.

$t_m = t_c$ et $t_d = \gamma \cdot t_c$; On prend $\gamma = 3$.

Les débits de crues des différentes périodes de retour des deux bassins versants sont donnés aux tableaux suivants ainsi que les Hydrogrammes correspondants.

A. Bassin oued Tinn :

Tableau III.11 : Hydrogramme de crue des différentes périodes de retour BV O.T

Temps (h)	Période de retour		
	10ans	50ans	100ans
2	0.34	0.56	0.65
4	2.70	4.52	5.21
6	9.12	15.25	17.59
8	21.61	36.14	41.70
10	42.21	70.59	81.44
12	72.94	121.97	140.73
14	115.83	193.69	223.47
15.19	147.95	247.40	285.44
16	140.20	238.68	275.38
20	105.87	197.93	228.36
24	77.66	160.99	185.74
28	54.97	127.86	147.52
32	37.19	98.54	113.69
36	23.73	73.04	84.27
38	18.43	61.71	71.20
42	10.32	41.93	48.38
46	5.03	25.95	29.95
50	1.95	13.79	15.91
54	0.48	5.44	6.28
58	0.03	0.91	1.05
60.76	0.00	0.00	0.00

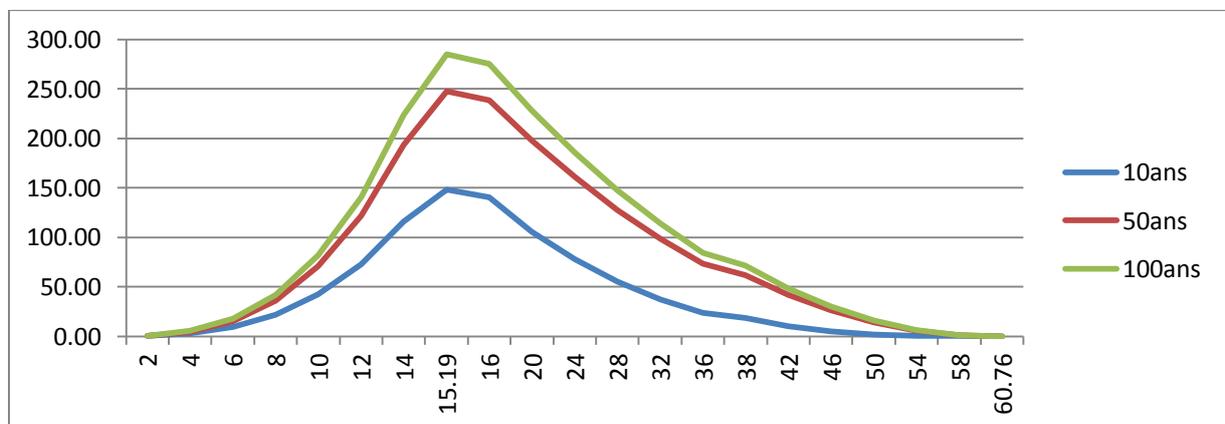


Figure III.14 : Hydrogramme de crue du BV O.T

B. Bassin oued Mekhrallouf :

Tableau III.12: Hydrogramme de crue des différentes périodes de retour BV O.M

Temps (h)	Période de retour		
	10ans	50ans	100ans
2	1.2	2.02	2.30
4	9.4	16.13	18.43
6	31.6	54.43	62.19
8	74.8	129.03	147.40
10	146.1	252.00	287.90
11.08	198.8	342.79	391.61
12	187.9	324.08	370.23
14	165.4	285.21	325.83
16	144.3	248.82	284.26
18	124.6	214.92	245.53
20	106.4	183.50	209.63
22	89.6	154.56	176.57
24	74.3	128.10	146.35
26	60.4	104.13	118.95
28	47.9	82.63	94.40
30	36.9	63.62	72.68
32	27.3	47.09	53.80
34	19.2	33.04	37.75
36	12.5	21.48	24.53
38	7.2	12.39	14.16
40	3.4	5.79	6.61
42	1.0	1.67	1.91
44.32	0.0	0.00	0.00

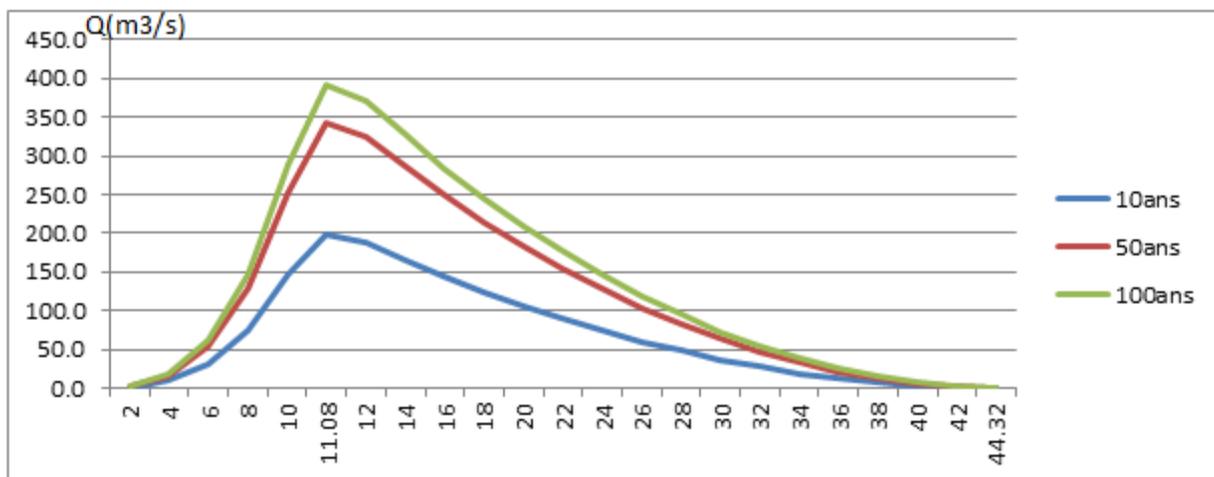


Figure III.15 : Hydrogramme de crue BV O.M

C. Bassin oued Melah :

Tableau III.13 : Hydrogramme de crue des différentes périodes de retour BV O.M

Temps (h)	Période de retour		
	10ans	50ans	100ans
2	0.82	1.40	1.60
4	6.53	11.23	12.84
6	22.05	37.89	43.33
8	52.26	89.82	102.71
10	102.06	175.42	200.61
11.44	152.81	262.64	300.35
12	147.86	254.14	290.63
16	114.90	197.48	225.84
20	86.09	147.96	169.21
24	61.43	105.58	120.74
28	40.92	70.33	80.43
32	24.56	42.22	48.28
36	12.36	21.24	24.29
40	4.30	7.40	8.46
44	0.40	0.69	0.79
45.76	0.00	0.00	0.00

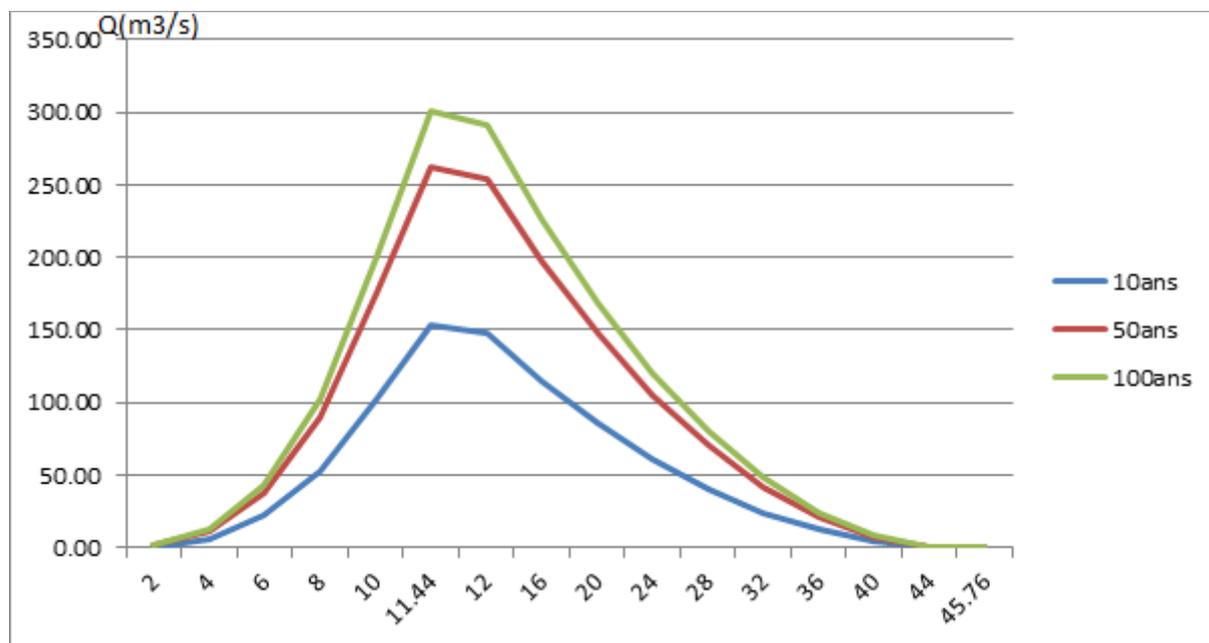


Figure III.16 : Hydrogramme de crue BV O.M

Conclusion :

Quand on ne dispose pas de données de mesures fiables et vu la grande différence de débit donnée par les formules empiriques, c'est difficile de faire le choix de l'approche qui pourrait nous donner des résultats représentatifs, sur lesquels on va se baser pour concevoir des aménagements pluviaux. Ainsi, il devient insensé de prendre une méthode qui ne s'adapte pas à notre contexte. Néanmoins, nous avons tranché sur la méthode SCS étant donné que c'est une démarche complète dans laquelle on n'a pas été obligé de faire beaucoup d'estimations sur des paramètres, et en plus elle se base sur des données réelles de terrain faciles à acquérir.

CHAPITRE IV :

***Etude des écoulements dans
les cours d'eau non aménagés***

Introduction :

Dans ce chapitre on cherche à établir un modèle du réseau de cours d'eau qui sera représentatif du cours d'eau sur le terrain afin d'y simuler les différentes crues déterminées auparavant et d'étudier la variation du plan d'eau dans l'oued a aménagé et de spatialiser le débit de pointe en tout point dans ce dernier. A la fin de chapitre le but sera d'élaborer la carte des zones inondables dans la plaine des Bordjias afin de caractériser les différents enjeux matériels et humains, qui sera un outil d'aide à la décision, soit dans la conception de l'aménagement, ou bien dans la prévention non structurelle.

IV.1 Description du réseau à simuler :

Il a été identifié que les cours d'eau causant l'inondation de la zone d'étude (plaine des Bordjias) étaient Oued Tinn et ses affluents à savoir Oued Mekhallouf et Oued Melah. L'Oued Mekhallouf, draine les eaux des versants Sud de Djebel Mouzaia et Milar. Il rejoint l'Oued Tinn en rive gauche. Quant à Oued el Melah il prend naissance dans le massif montagneux très escarpé de Sedjrara à cheval sur les wilayas de Relizane et Masaca (près de Mohammadia). Ce dernier rejoint également L'oued Tinn en rive gauche. Enfin il y a l'Oued Tinn qui draine en grande partie les eaux de la plaine de Bordjias. La plus grande partie du bassin versant d'Oued Tinn est en plaine avec un relief très plat. La partie de l'oued à aménager s'étend sur 30km.

IV.1.1 Oued Tinn :

Oued Tinn a connu de multiple aménagement et modification de son tracé, toutefois actuellement les débordements de ce dernier persistent encore. En effet, les aménagements subits son aujourd'hui obsolète. Oued Tinn est traversé par une multitude de passage qui ne sont praticable en temps sec. Aussi, il est traversé par 8 ponts et une voie de chemin de fer. De même qu'en amont de l'aménagement oued Tinn est longé en rive droite par la route nationale 17AB et en aval près de la Sebkha d'el Macta il est longé par une ligne de chemin de fer et traversé par des lignes électriques.



Figure IV.1 : Photo du Colmatage du chenal de l'oued Tinn par les roseaux



Figure IV.2 : Photo du Pont traversant l'oued Tinn

IV.1.2 Simulation de l'écoulement sur HEC-RAS :

Nous allons à présent mener une étude plus locale sur l'inondabilité des zones à risques. Pour cela, nous disposons de la réponse hydrologique en tout point du bassin versant, issue de HEC-HMS, ainsi que les estimations de débits de crue pour différentes périodes de retour, obtenues par la méthode SCS-CN.

La simulation sera donc lancée sur le logiciel HEC-RAS (voir présentation en annexe), dans lequel on fait entrer la géométrie de l'oued sous forme de profils en travers. Les profils doivent être relevés perpendiculairement à la direction de l'écoulement. L'orientation de l'axe peut être différente dans le lit mineur de rivière et dans le lit majeur [3].

IV.1.2.1 Données géométriques :

Dans ce projet, nous avons utilisé le levé topographique du cours d'eau a aménagé et qui a été établi auparavant par des ingénieurs d'un bureau d'étude.

Pour charger les profils en travers sur le logiciel HEC-RAS nous avons passés par le logiciel AutoCad Civil 3D qui présente un avantage et une facilité pour générer les formes géométriques (Axe de l'oued ainsi que les profils en travers) à partir du levé topographique de ce dernier, et qui est reconnu par le logiciel HEC-RAS ce qui facilite l'importation du fichier vers ce dernier et qui nous a permis de gagner en temps et en précision.

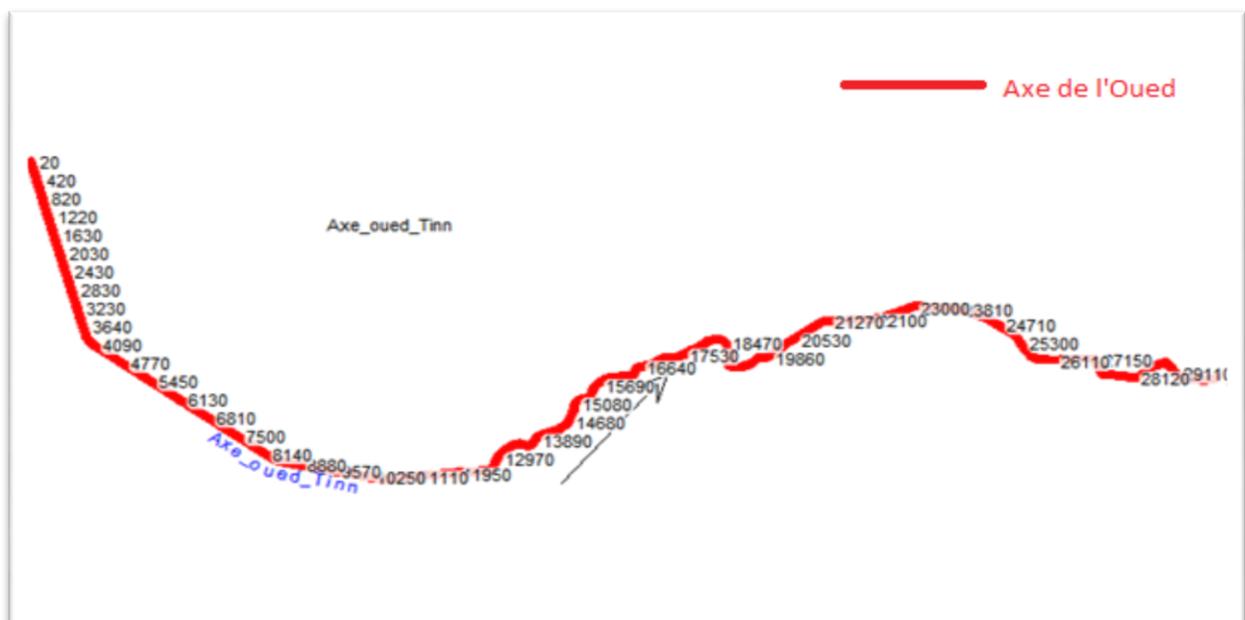


Figure IV.3 : Axe de l'oued Tinn sur HEC-RAS montrant les profils en travers

IV.1.2.1 Estimation du coefficient de Manning :

Afin de faire un calcul précis, il est intéressant d'estimer correctement le coefficient de rugosité de Strickler K_s , qui peut aussi être exprimé sous la forme du coefficient de rugosité de Manning n ($n=1/K_s$).

- Pour une granulométrie étalée ($Cu > 3$) : $K_s = 26 / d_{90}^{1/6}$

- pour une granulométrie uniforme ($Cu < 3$) : $K_s = 26 / d_{50}^{1/6}$

Avec Cu : coefficient d'uniformité de Hazen, $Cu = d_{60} / d_{10}$.

D'après les analyses granulométriques effectuée en sept points le long de l'oued Tinn, ce dernier présente une granulométrie assez homogène

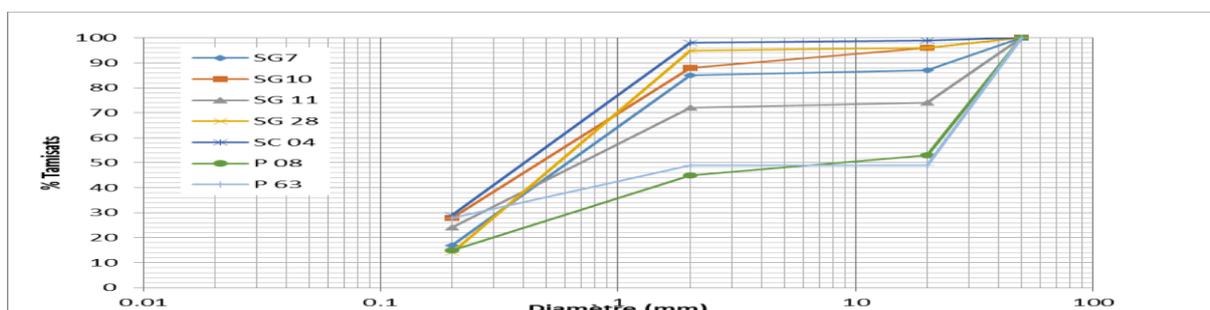


Figure IV.4 : Courbes Granulométrique de Oued Tinn

Tableau IV.1 : Valeurs estimées de K_s et n

Point	d10	d60	Cu	Type granulométrie	d50	d90	K_s uniforme	K_s étalée	Coef. Rug. n
SG7	0.2	0.9	4.5	Etalée	-	25		48	0.0208
SG10	0.2	0.7	3.5	Etalée	-	2.5		71	0.0142
SG 11	0.2	1.25	6.25	Etalée	-	35		45	0.0220
SG 28	0.2	0.75	3.75	Etalée	-	20		50	0.0200
SC 04	0.2	0.55	2.75	uniforme	8.5	-	46	-	0.0215
P 08	0.2	25	125	Etalée	-	40		44	0.0225
P 63	0.2	25	125	Etalée	-	40		44	0.0225

En se basant sur cette étude nous avons pu estimer la valeur du coefficient de Manning pour chaque rive ainsi que pour le lit mineur de l'oued Tinn les valeurs obtenues sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.2 : Valeurs du coefficient de Manning de l'oued Tinn

Cours d'eau	Coefficient de Manning		
	Rive gauche	Lit mineur	Rive droite
Oued Tinn	0.022	0.022	0.022

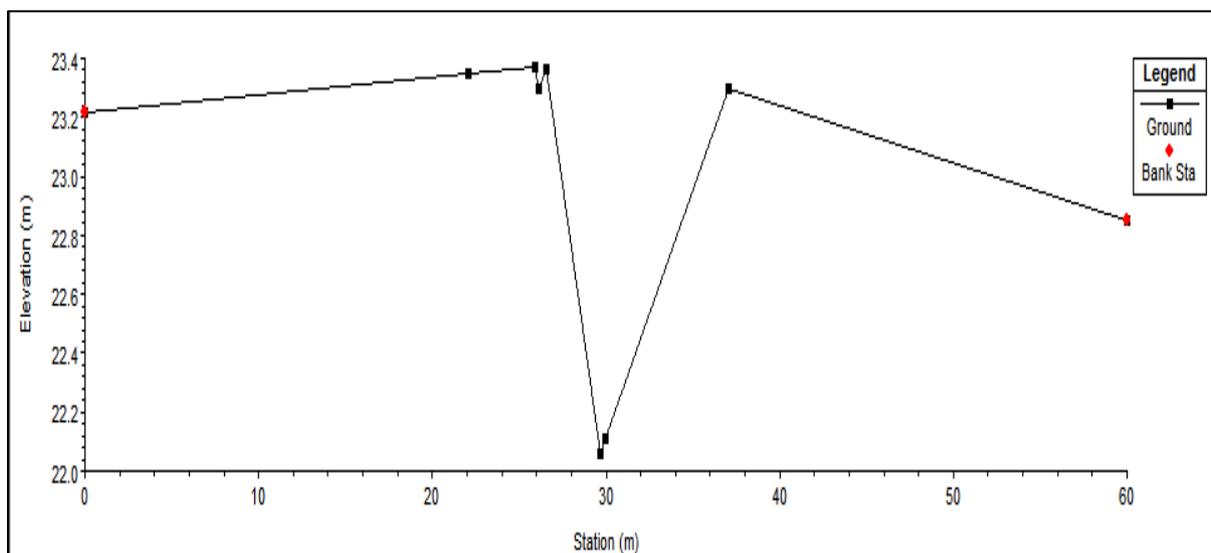


Figure IV.5: Exemple de section en travers de l'oued Tinn

IV.1.2.2 Données de débit :

Après les données géométriques on introduit les données concernant les débits de chaque tronçon du cours d'eau, dans notre cas on a 3 tronçons qui sont divisés par rapport aux interceptions de l'oued (Mekrallouf et Melah) avec l'oued Tinn, pour cela nous allons utiliser les débits de crues des périodes de retour de 100 ans.

Tableau IV.3 : Données de débit

Cours d'eau	Débit (m ³ /s)		
	Tronçon 1	Tronçon 2	Tronçon 3
Oued Tinn	224.6	324.8	341.4

Maintenant on doit introduire les conditions aux limites autrement dit la hauteur d'eau en amont et en aval. HEC-RAS nous donne les choix suivants :

- **Hauteur d'eau connue** : pour chaque profil d'écoulement, la hauteur est connue.
- **La hauteur critique** : le programme calcule lui-même la hauteur critique et l'utilise comme condition aux limites.
- **La hauteur normale** : le logiciel nous demande la pente d'énergie qui sera utilisée pour le calcul de la hauteur normale par l'équation de Manning. Si la pente d'énergie n'est pas connue, l'utilisateur peut l'estimer en introduisant la pente de la surface de l'eau, ou la pente du fond.
- **Courbe de tarage** : le logiciel nous demande d'introduire la courbe débit-hauteur.

Dans notre cas, nous allons choisir la hauteur critique, puisque on ne dispose pas d'information comme la courbe de débit-hauteur, ou bien de mesures complètes qui pourraient nous permettre d'utiliser les autres alternatives.

IV.1.2.3 Simulation :

Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulement.

Nous avons lancé la simulation en supposant un régime fluvial et un écoulement uniforme permanent.

IV.1.2.4 Résultat de la simulation :

Après avoir lancé le calcul sous HEC-RAS, nous pouvons obtenir de nombreux résultats. En outre, nous pouvons obtenir les profils des zones inondables selon le débit considéré. Et les vitesses d'écoulement ainsi que les lignes d'eau et d'énergie (Voir tableau en annexe).

Nous pouvons ainsi observer la variation de la vitesse d'écoulement sur le lit mineur et les deux rives suivant chaque profil en travers. Nous remarquerons que la vitesse est très fluctuante.

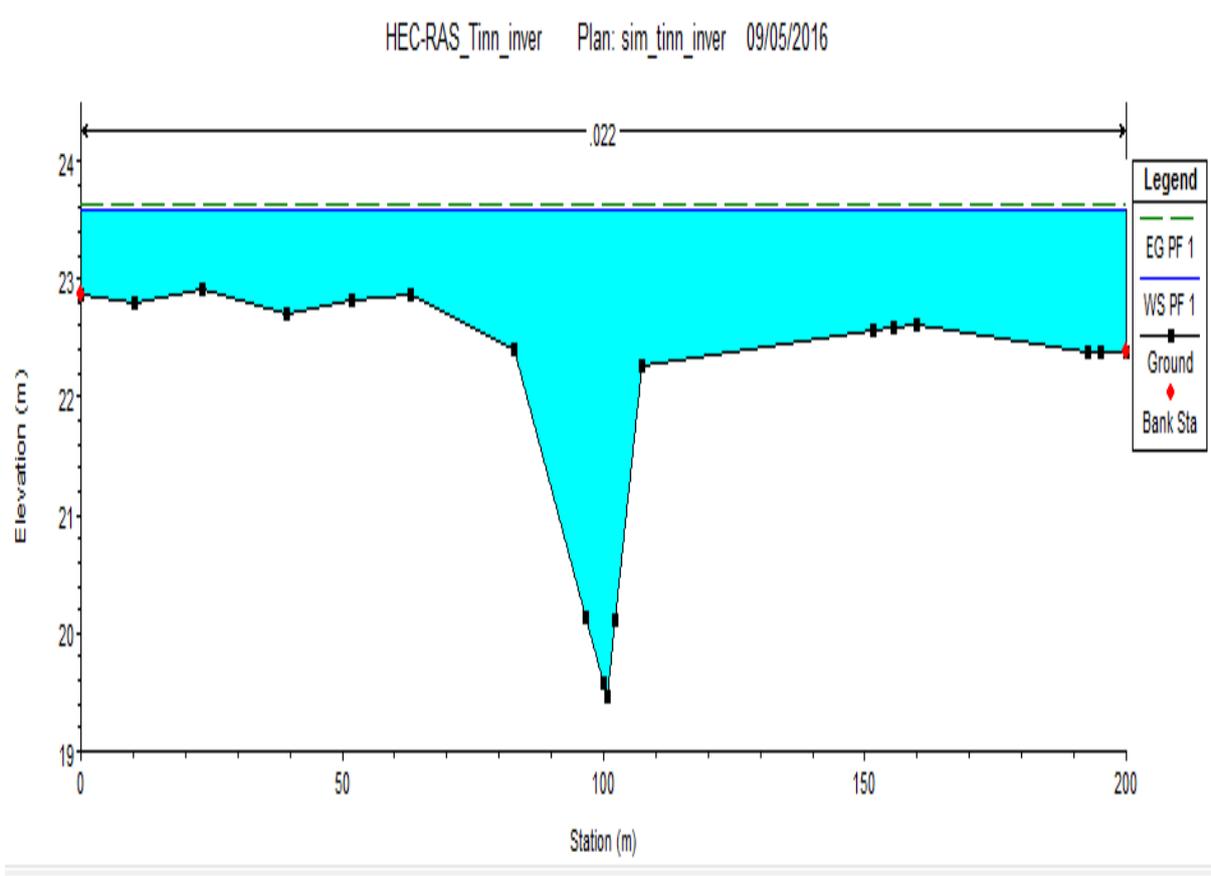


Figure IV.6 : Exemple de profil en travers après simulation

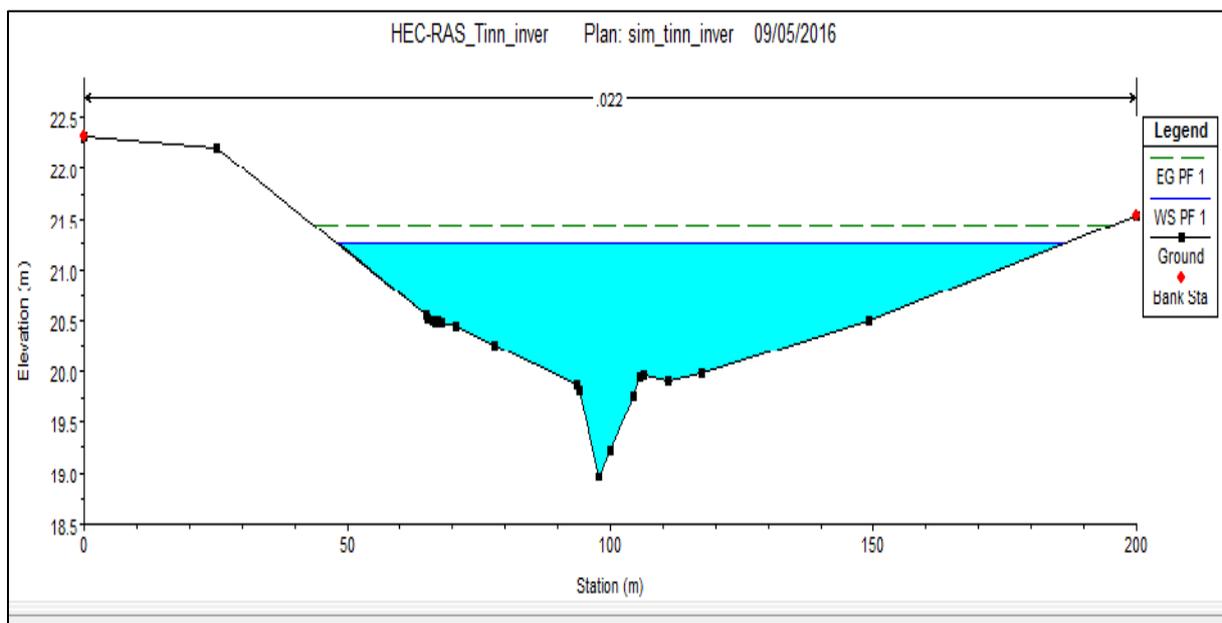


Figure IV.7 : Exemple de profil en travers après simulation

Constats :

- Le profil en long de Oued Tinn présente de nombreuses contre-pentes ce qui peut renseigner sur un fort dépôt sédimentaire.
- La vitesse d'écoulement moyenne dans l'oued Tinn est de 1.13 m/s. Toutefois, elle atteint par endroit 0.5 m/s ce qui indique un fort dépôt de sédiment et par d'autres endroits plus de 5 m/s ce qui indique une forte érosion. Cette alternance favorise une forte dynamique sédimentaire.
- Le tirant d'eau moyen pour une période de retour $T = 100$ ans est de plus de 2 m, ce qui est assez conséquent. Surtout que par endroits il dépasse les 3 mètres.
- La plupart des profils de l'oued présente un débordement pour une période de retour centennale.

IV.1.2.5 Détermination des enjeux et des zones à risques :

HEC-RAS permet d'engendrer la carte qui représente les zones inondables et les zones à risques pour une période de retour centennale ces dernières sont représentées dans une carte (voir planche numéro 1).

Dans cette partie nous allons présenter les endroits qui présentent un risque s'ils sont inondés. On a noté que l'oued Tinn présente un débordement tout au long de l'oued et sur les deux berges.

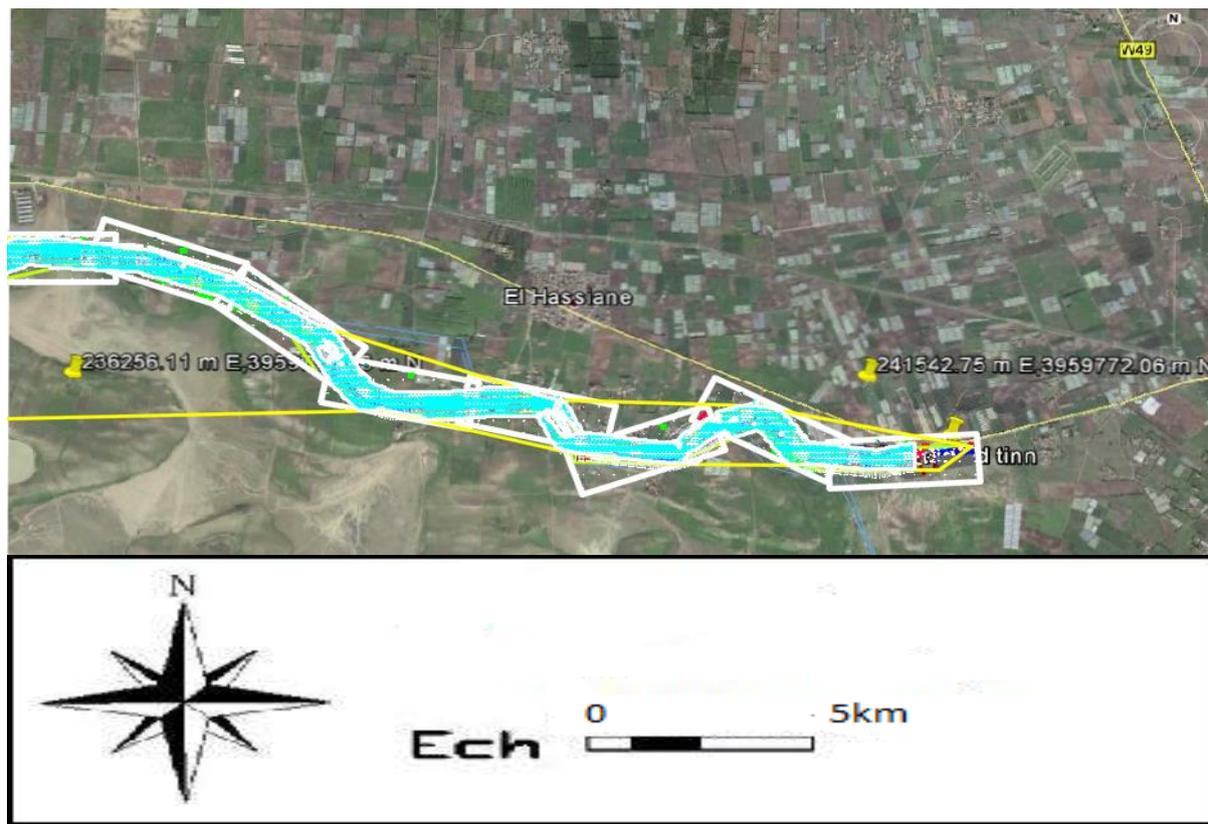


Figure IV.8 : la première zone inondée par le débordement de l'oued

Commentaire : sur cette partie de l'oued on constate qu'il ya un village qui se situe sur les rives de l'oued est qui est complètement inondé ainsi qu'une partie de la route nationale 17AB et une bonne partie des terres agricoles qui avoisinent le cours d'eau.

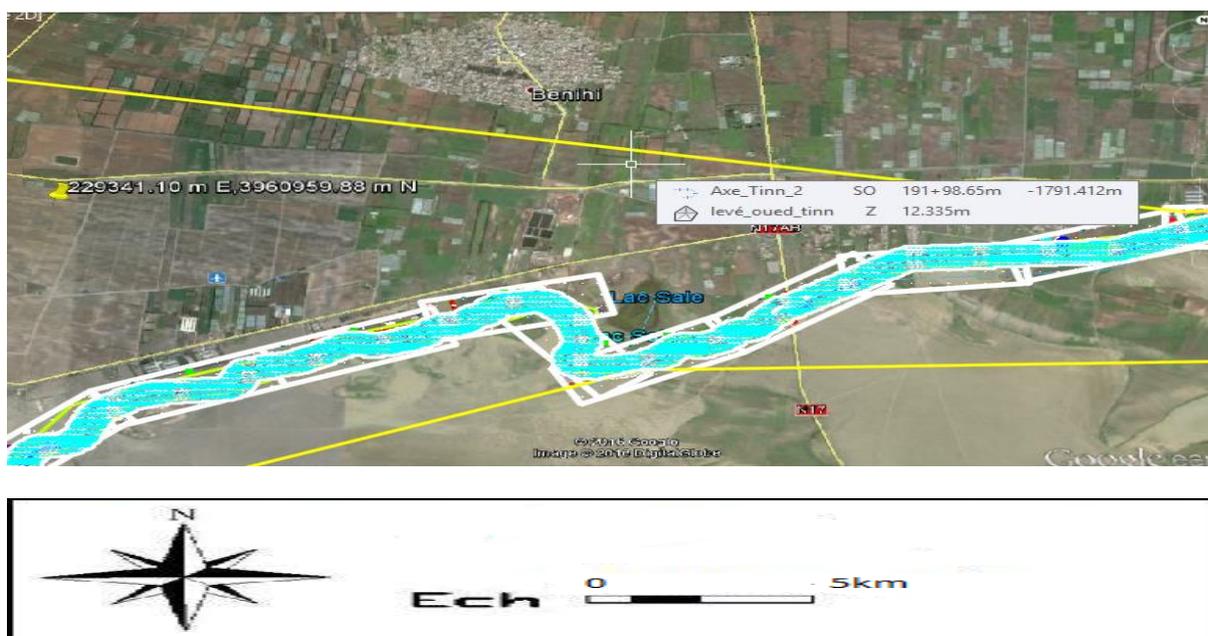


Figure IV.9 : la deuxième zone inondée par le débordement de l'oued

Commentaire : dans cette partie on constate que la plupart des zones inondées sont des terres agricoles y'a aussi une partie de la route N17AB et un pont traversant le cours d'eau.

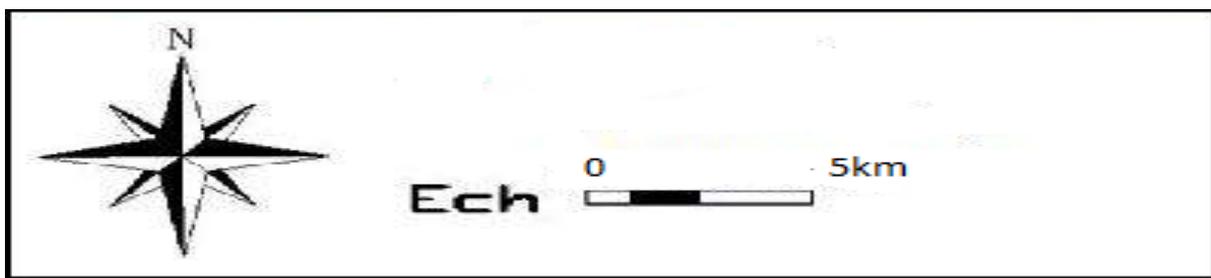


Figure IV.10 : la troisième zone inondée par le débordement de l'oued

Commentaire : dans cette partie aussi y'a toujours les zones agricoles qui avoisinent le cours d'eau qui sont inondées, y'a aussi une partie du chemin de fer traversant l'oued et aussi un pont de la route N17AB

Conclusion :

Dans ce chapitre on a essayé de faire une représentation du cours d'eau naturel à partir du levé topographique de ce dernier et qui reste toujours approximatif vu que ce dernier a été élaboré pendant la période où le cours d'eau était en écoulement donc il n'a pas été évident de faire l'axe exacte de l'oued, cependant on a réussi à établir, une carte de vulnérabilité au risque d'inondations, ainsi, qu'à avoir la variation spatiale des vitesses le long de l'oued pour une crue centennale. Et aussi, une approximation sur les hauteurs que peut atteindre cette crue. On peut dire qu'on dispose d'un outil permettant de trancher sur les mesures structurelles à prendre et donc proposer des solutions à travers les variantes optimales pour l'aménagement de cet oued.

CHAPITRE V :

*Etude des variantes
d'aménagements pour la
protection contre les
inondations*

Introduction :

Le calcul hydraulique s'inspire de la règle des valeurs extrêmes (débit et vitesse d'écoulement), donc les canaux doivent satisfaire les conditions de l'évacuation rapide et continue de toutes les quantités des eaux dans le but d'assurer une protection suffisante contre les inondations ainsi protéger les zones à enjeux. L'optimisation et le choix du schéma souhaitable d'aménagement, consiste à trouver le meilleur compromis entre impacts et contraintes présentes, afin de minimiser le problème d'inondation, sans pour autant projeter des solutions à un coût trop élevé ou bien qui auront des conséquences déplorables sur l'environnement.

V.1 Généralité :

V.1.1 L'écoulement à surface libre :

Il est défini comme un écoulement de liquide avec une surface qui est en contact avec l'aire libre est la pression atmosphérique, ce cas d'écoulement se fait sous l'action de la force de gravité à cause de l'existence de la pente.

V.1.2 Les canaux à ciel ouvert :

On appelle canal, un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique. Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum. Pour un canal de pente "i" et de coefficient de rugosité "n", la section qui véhicule le débit maximum est celle où le rayon hydraulique est maximal, et la section est minimale. Parmi toutes les formes de section, la semi-circulaire s'est celle qui satisfait au rayon hydraulique maximum. Dans les conditions techniques de réalisation, la forme semi-circulaire sera la plus coûteuse que la celle trapézoïdale ou rectangulaire qui présentent des avantages de simplicité de réalisation.

V.1.3 Les différents types de Canaux :

On distingue deux catégories de canaux :

- 1) les canaux naturels,
- 2) les canaux artificiels,

V.1.3.a Les canaux naturels :

Ce sont les cours d'eau qui existent naturellement sur (ou sous) terre; tels que les ruisselets, torrents, rivières, fleuves et estuaires. Les propriétés géométriques et hydrauliques des canaux naturels sont généralement assez irrégulières. L'application de la théorie hydraulique ne donne que des résultats approximatifs obtenus moyennant certaines hypothèses.

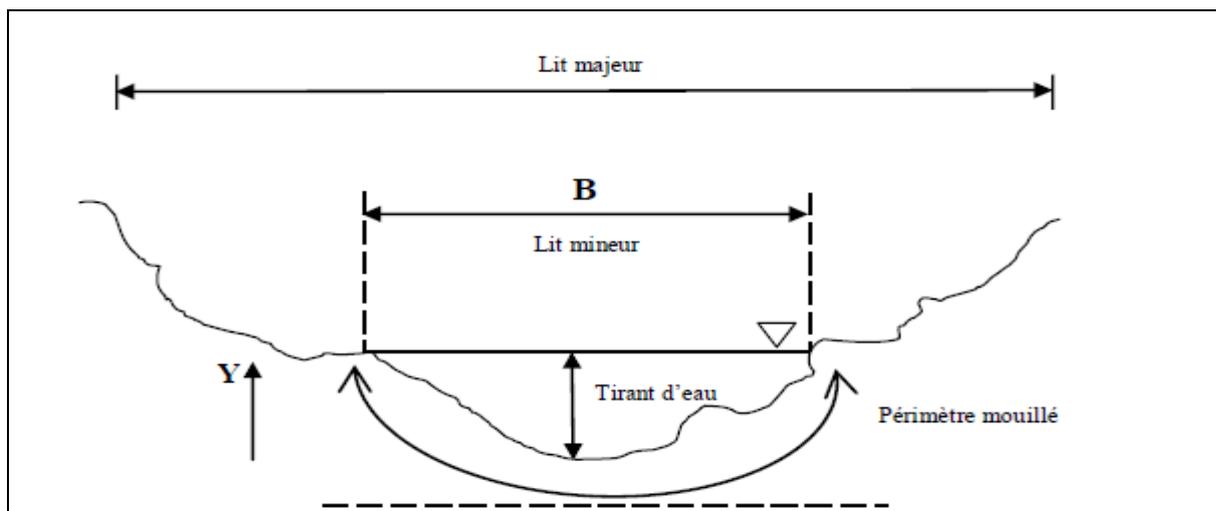


Figure V.1 : canal naturel

Section d'écoulement (ou section mouillée) S_m :

Partie de la section du canal limitée par les parois et la surface libre.

Périmètre mouillé P_m :

Longueur de la surface d'écoulement en contact avec le lit (fond + berges), c'est-à-dire le périmètre de la section d'écoulement moins la largeur au miroir.

Largeur au miroir B :

Largeur de la section d'écoulement au niveau de la surface libre. La pression du fluide à cette interface est égale à celle de l'atmosphère.

Tirant d'eau : profondeur maximale d'une section d'écoulement ;

V.1.3.b Les canaux artificiels :

Ce sont des cours d'eau réalisés par l'homme sur (ou sous) terre tels que: les canaux découverts construits au ras du sol (canaux de navigation, d'adduction et d'évacuation, d'irrigation et de drainage) ou les canaux couverts dans lesquels les liquides ne remplissent pas toute la section (tunnels hydrauliques, aqueducs, drains, égouts). Les propriétés hydrauliques des canaux artificiels sont généralement assez régulières. L'application de la théorie hydraulique donne souvent des résultats satisfaisants.

V.2 Principe d'aménagement :

Afin de protéger la plaine des Bordjias trois variantes d'aménagement de l'oued Tinn sont envisageable et ces dernières varient de tronçon à autre selon leurs conditions de réalisation.

V.2.1 Les différents types d'aménagements envisageables :

➤ **Recalibrage (reprofilage) :**

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.

Ce type de travaux hydrauliques a été mis en œuvre très anciennement dans les zones urbaines et périurbaines, souvent accompagné d'endigements étroits, pour réduire la fréquence des inondations. Il a été utilisé de manière quasi systématique dans les zones rurales, particulièrement au cours des années 1950 à 1980, pour diminuer la fréquence de submersion des terres agricoles, notamment celles exploitées en maïs, céréale très peu résistante à la submersion. En concertation avec les acteurs du monde agricole qui proposaient un « débit de projet » (égal à Q10ans, Q50ans ou Q100ans), l'ingénieur hydraulicien calculait le profil type à donner au cours d'eau pour garantir ce projet de débit sans débordement. Notons que le recalibrage d'un cours d'eau a souvent été couplé à d'autres interventions telles que :

- la rectification du lit mineur.
- la protection des berges contre l'érosion.

➤ **Dérivation :** On dérive le tracé du cours d'eau afin de l'adapter aux contraintes actuelles et futures du secteur

➤ **Endiguement :**

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.

Remarque : sur les tronçons à forte vitesse il n'est pas possible d'envisager uniquement un recalibrage de la section d'écoulement. Ce doit être accompagné d'un revêtement de protection. Sur les tronçons à faible vitesse un recalibrage du cours d'eau est envisageable toutefois un fort élargissement des sections d'écoulement est primordiale.

V.2.2 Les formules de dimensionnement des canaux :

Le calcul se fera par la formule de « Manning Strickler », dont la formulation est la suivante [4] :

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot S_m \cdot \sqrt{I} \dots\dots\dots(V.1)$$

Avec :

Q débit de dimensionnement en m³/s

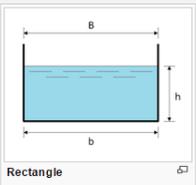
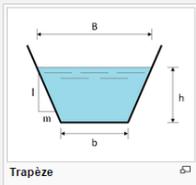
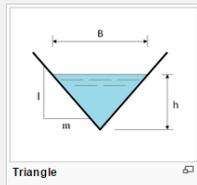
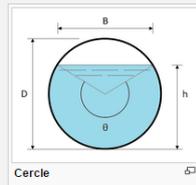
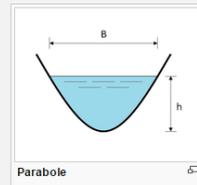
S section mouillée.

R rayon hydraulique R = S / P.

P périmètre mouillé.

I pente (constante par hypothèse) du tronçon de cours d'eau (pente du fond).

Pour la détermination des paramètres :

					
Largueur, B	b	$b + 2 \times mh$	$2 \times mh$	$(\sin \frac{\theta}{2}) \cdot D$ ou $2\sqrt{h \cdot (D - h)}$	$\frac{3S}{2h}$
Surface, S	$b \times h$	$(b + mh) \cdot h$	$m \times h^2$	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta) \cdot D^2$	$\frac{2}{3}Bh$
Périmètre mouillé, P	$b + 2h$	$b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$2h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$\frac{1}{2} \theta \cdot D$	$B + \frac{8h^2}{3B}$
Rayon hydraulique, R _h	$\frac{bh}{b + 2h}$	$\frac{(b + mh) \cdot h}{b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{mh}{2 \cdot \sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{1}{4} \left[1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right] D$	$\frac{2B^2h}{3B^2 + 8h^2}$
Profondeur hydraulique, D _h	h	$\frac{(b + mh)h}{b + 2 \times mh}$	$\frac{1}{2}h$	$\left[\frac{\theta - \sin \theta}{\theta} \right] D$	$\frac{2}{3}h$

Dans notre cas on prend une section trapézoïdale et une section rectangulaire (Wikipédia).

V.3 Etude des variantes :

Oued Tinn de point de départ de son aménagement jusqu'à son embouchure dans la Macta s'étend sur une longueur de 29780m. Il traverse, tout au long de son parcours, plusieurs zones agricoles, et deux principales zones d'habitation Aouedj et Kaoura. Au cours de son passage à travers la zone d'habitation de Aouedj Oued Tinn est très encombré, pour cette raison il est projeté pour les deux variantes d'aménagement une dérivation de ce dernier. Cette dérivation se fait entre le PK 27250 et PK 25800 sur une longueur de 1450mètres.

Chapitre V Etude des variantes d'aménagements pour la protection contre les inondations

Ci-après il est donné le descriptif des variantes :

Variante 1 :

La variante_1 est un reprofilage du terrain naturel par une section trapézoïdale avec recouvrement des berges par pierres taillées avec jointures en mortier et un lit nu. Le relief très plat d'oued Tinn nécessitera, par endroit, pour la réalisation de la section trapézoïdale l'exécution d'un endiguement sur les deux rives. Le tronçon traversant la localité de Aouedj sera dévié entre le PK 27250 et PK 25800 car sur dernier il y a un encombrement assez important. La zone en amont de Aouedj présentant un encombrement moins important il sera aménagé par un canal trapézoïdal en béton entre les PK 28600m et PK 27250m.

Tableau V.1 : rugosité des matériaux pour la première variante

Matériau	Pierre	Lit naturel
Rugosité	0.025	0.022

Les dimensions de l'aménagement sont résumées dans le tableau ci-après :

Chapitre V Etude des variantes d'aménagements pour la protection contre les inondations

Tableau V.2 : dimension de l'aménagement d'Oued Tinn pour T=100ans (variante_1)

Tronçons	Q (m3/s) T= 100ans	Profil départ	Profil arrivée	Longueur (m)	Section/ nature	Pente projet	Fruit de talus m	Largeur fond B	Hauteur canal H
1	224.4	29780	28600	1180	Trapézoïdal/ empierrement	1.75/1000	2	10	4
2	224.4	28600	27250	1350	Trapézoïdal / béton	3.15/1000	0.557	7	4
3	224.4	27250	25800	1450	Trapézoïdal empierrement (Dérivation)	2.20/1000	2	10	4
4	224.4	25800	23800	2000	Trapézoïdal empierrement	0.65/1000	2	20	4
5	324.8	23800	20408	3392	Trapézoïdal empierrement	0.60/1000	2	25	3.5
6	324.8	20408	14590	5818	Trapézoïdal empierrement	0.10/1000	2	35	6
	341.4	14590	10510	4080					
7	341.4	10510	50	10540	Trapézoïdal empierrement	0.30/1000	2	35	4.5

Variante 2 :

La variante_2 est un reprofilage du terrain naturel par une section trapézoïdale non revêtue (berges et lit). Le relief très plat d'oued Tinn nécessitera, par endroit, pour la réalisation de la section trapézoïdale l'exécution d'un endiguement sur les deux rives. Le tronçon traversant la localité de Aouedj sera dévié entre le PK 27250 et PK 25800 car sur dernier il y a un encombrement assez important. La zone en amont de Aouedj présentant un encombrement moins important il sera aménagé par un canal trapézoïdal en béton entre les PK 28600m et PK 27250m.

Tableau V.3 : rugosité des matériaux pour la première variante

Matériau	Lit naturel
Rugosité	0.022

Les dimensions de l'aménagement sont résumées dans le tableau ci-après :

Chapitre V Etude des variantes d'aménagements pour la protection contre les inondations

Tableau V.4 : dimension de l'aménagement d'Oued Tinn pour T=100ans (variante_2)

Tronçons	Q (m3/s) T= 100ans	Profil départ	Profil arrivée	Longueur (m)	Section/ nature	Pente projet	Fruit de talus m	Largeur fond B	Hauteur canal H
1	224.4	29780	28600	1180	Trapézoïdal/ reprofilage TN	1.75/1000	2	10	4
2	224.4	28600	27250	1350	Trapézoïdal / béton	3.15/1000	0.557	7	4
3	224.4	27250	25800	1450	Trapézoïdal / reprofilage TN (Dérivation)	2.20/1000	2	10	4
4	224.4	25800	23800	2000	Trapézoïdal / reprofilage TN	0.65/1000	2	20	4
5	324.8	23800	20408	3392	Trapézoïdal / reprofilage TN	0.60/1000	2	25	3.5
6	324.8	20408	14950	5818	Trapézoïdal / reprofilage TN	0.10/1000	2	40	6
	341.4	14590	10510	4080					
7	341.4	10510	50	10460	Trapézoïdal / reprofilage TN	0.30/1000	2	40	4.5

Chapitre V Etude des variantes d'aménagements pour la protection contre les inondations

Variante 3 :

La variante_3 est décomposée en deux parties :

Partie_1 : Une section rectangulaire avec un lit (radier) en béton et des murs latéraux en enrochement avec jointure en mortier de ciment. Le tronçon traversant la localité de Aouedj sera dévié entre le PK 27250 et PK 25800 car sur ce dernier il y a un encombrement assez important. La zone en amont de Aouedj présentant un encombrement moins important il sera aménagé par un canal trapézoïdal en béton entre les PK 28600m et PK 27250m.

Partie_2 : Un reprofilage du terrain naturel par une section composée en double trapèze avec recouvrement des berges par matelas articulé en blocs de béton évidé (ACBM détail de ce matériau en annexe) et le lit en béton. Le relief très plat, des sections naturelles d'oued Tinn nécessitera, par endroit, pour la réalisation de la section trapézoïdale l'exécution d'un endiguement sur les deux rives.

Tableau V.5 : rugosité des matériaux pour la première variante

Matériau	roche	ACBM	Béton
Rugosité	0.025	0.018	0.014

Les dimensions de l'aménagement sont résumées dans le tableau ci-après :

Chapitre V Etude des variantes d'aménagements pour la protection contre les inondations

Tableau V.6 : dimension de l'aménagement d'Oued Tinn pour T=100ans (variante_3)

Tronçons	Q (m3/s) T= 100ans	Profil départ	Profil arrivée	Longueur (m)	Section/ nature	Pente projet	Fruit de talus m	Base inférieure/ base supérieure	Hauteur canal H
1	224.4	29780	28600	1180	Rectangulaire /béton /roches	1.75/1000	/	10	4.5
2	224.4	28600	27250	1350	Rectangulaire /béton /roches	3.15/1000	/	10	3.5
3	224.4	27250	25800	1450	Rectangulaire /béton /roches (Dérivation)	2.20/1000	/	10	4
4	224.4	25800	23800	2000	Rectangulaire /béton /roches	0.65/1000	/	15	4.5
5	324.8	23800	20408	3392	Double trapèze/ revêtement ACBM	0.60/1000	2	15/25	4
6	324.8	20408	14590	5818	Double trapèze/ revêtement ACBM	0.10/1000	2	25/55	5
	341.4	14590	10510	4080					
7	341.4	10510	50	10460	Double trapèze/ revêtement ACBM	0.30/1000	2	25/55	3

V.4 Résultat de la simulation par HEC-RAS :

V.4.1 Variante 1 :

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.7 : résultats de la simulation après aménagement (variante 1)

Profil	Débit Q m3/s	Vitesse m/s	Froude	Tirant d'eau (m)	Remarque	Pente projet m/m
29780	224.4	2.3	0.38	4.98	Régime fluvial	0.0018
28600	224.4	5.79	1.01	4.16	Régime torrentiel	0.0031
27250	224.4	6.32	1.5	2.4	Régime torrentiel	0.0022
25800	224.4	1.87	0.33	4.23	Régime fluvial	0.0006
23800	324.8	2.15	0.35	4.44	Régime fluvial	0.0006
20408	324.8	1.19	0.18	5.83	Régime fluvial	0.0001
14590	341.4	1.32	0.2	5.59	Régime fluvial	0.0001
10510	341.4	1.42	0.21	5.29	Régime fluvial	0.0003
0	341.4	4.27	1	2.05	Régime critique	

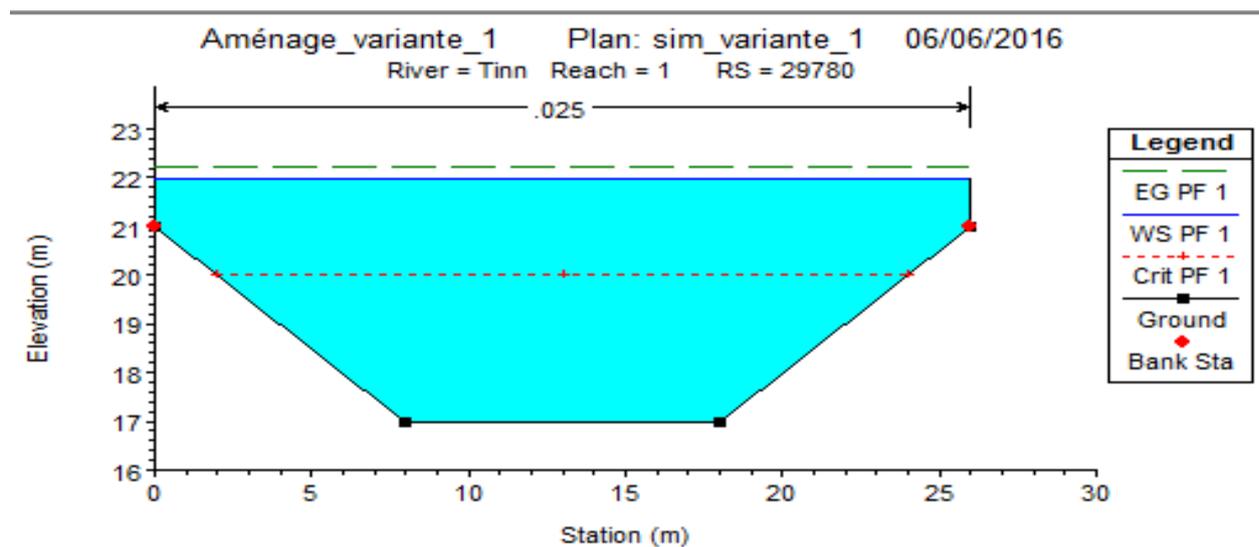


Figure V.2 : Profile en travers après aménagement tronçon 29780_variante 1

Le reste des profils sera représenté en annexe.

V.4.1.1 Interprétation :

Après avoir lancé la simulation on constate que le tirant d'eau atteint par endroit les 5.83 et que la vitesse d'écoulement atteint les 5.79 m/s ce qui peut représenter un danger sur les berges mais pas dans le cas de cette variante vu que les berges sont protégés par des pierres, on remarque aussi que le régime dans la plupart des tronçons est fluvial.

V.4.1.2 Quantification :

- Pour les pierres on prend une épaisseur de 20 cm.
- Pour le béton on prend une épaisseur de 15 cm.
- Pour le béton de propreté on prend une épaisseur de 5 cm.

Tableau V.8 : Quantification de la première variante

Type des matériaux	Volume m ³
Pierre	122725.38
Béton	2472.48

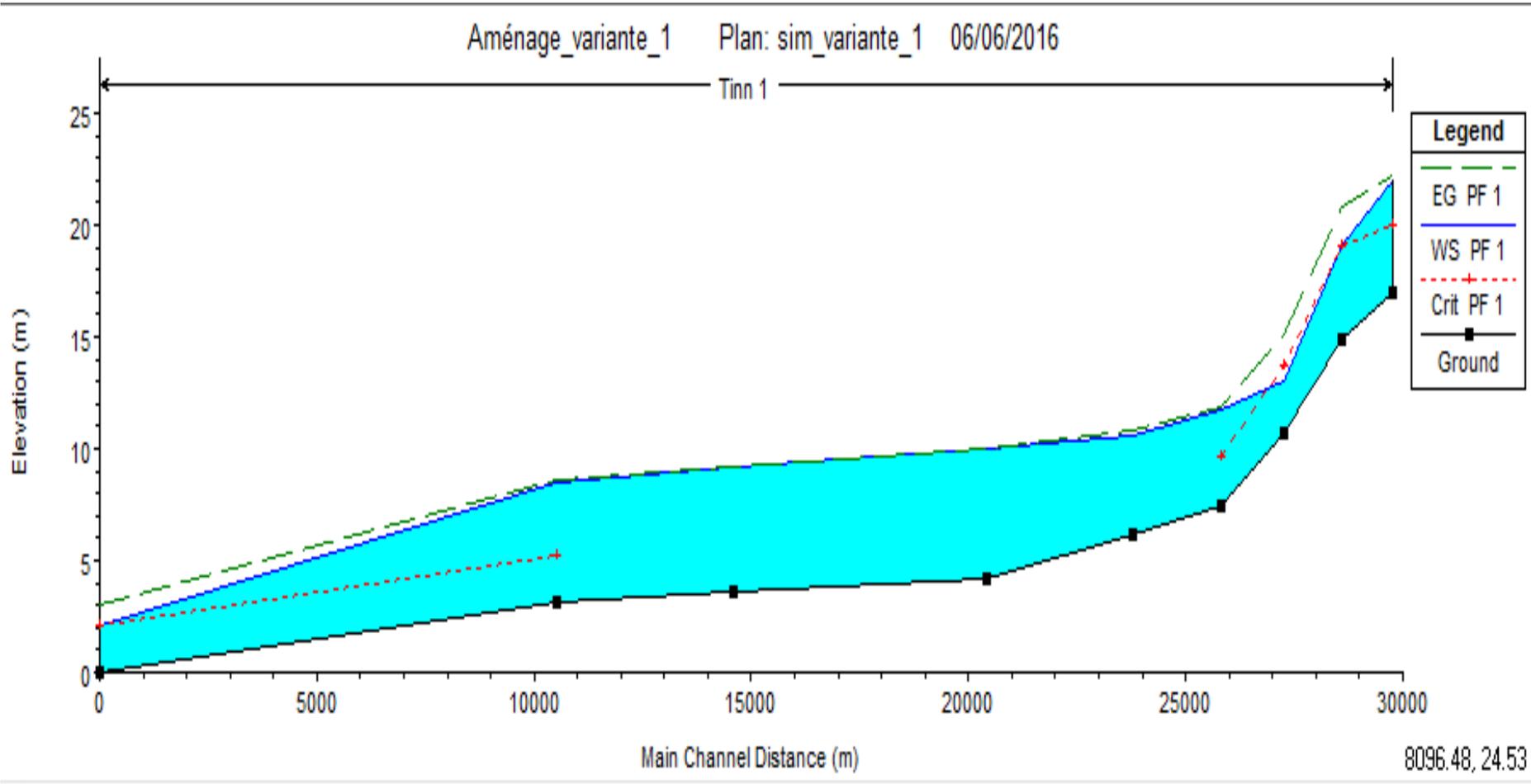


Figure V.3 : profile en long après aménagement variante 1

V.4.2 Variante 2 :

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.9 : résultats de la simulation après aménagement (variante 2)

Profil	Débit Q m3/s	Vitesse m/s	Froude	Pente projet m/m	tirant d'eau (m)	Remarque
29780	224.4	2.27	0.37	0.0018	5.03	Régime fluvial
28600	224.4	5.61	0.96	0.0031	4.27	Régime fluvial
27250	224.4	4.64	1	0.0022	3.02	Régime critique
25800	224.4	2.16	0.4	0.0006	3.77	Régime fluvial
23800	324.8	2.46	0.44	0.0006	3.73	Régime fluvial
20408	324.8	1.26	0.19	0.0001	5.14	Régime fluvial
14590	341.4	1.39	0.22	0.0001	4.93	Régime fluvial
10510	341.4	1.48	0.24	0.0003	4.66	Régime fluvial
0	341.4	4.05	1		1.86	Régime critique

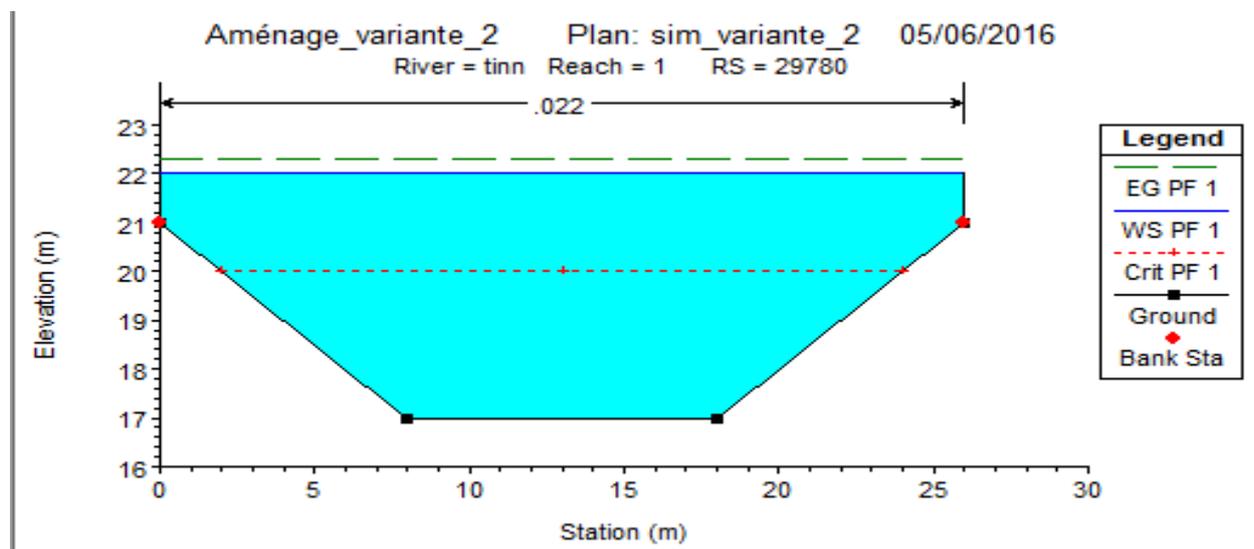


Figure V.4 : Profile en travers après aménagement tronçon 29780_variante 2

Le reste des profils sera représentés en annexe.

V.4.2.1 Interprétation :

Après avoir lancé la simulation on constate que le tirant d'eau atteint par endroit les 5.03 m et que la vitesse d'écoulement atteint les 5.61 m/s ce qui peut représenter un danger sur les berges de ce fait une étude de stabilité des berges est établi pour cette variante, on remarque aussi que le régime dans la plupart des tronçons et fluviales.

V.4.2.2 Quantification :

Vu qu'il s'agit d'un reprofilage du terrain naturel l'étude de quantification elle n'est pas nécessaire pour cette variante vu que le déblai et les travaux de terrassement sont valables pour les 2 autres variantes.

V.4.2.3 Etude de stabilité du canal :

On va s'intéresser au tronçon ou la vitesse est importante dans notre cas le tronçon (27250) et on va se baser sur le critère de la tension critique pour l'étude de la stabilité des canaux non revêtus [7].

A) Coefficient de Manning Strickler :

Il déjà été démontré et déterminé dans le chapitre précédent.

B) Angle de frottement interne :

A Partir de l'abaque suivant, on tire l'angle interne de frottement qui dépend de la dimension et la forme des particules :

On supposera que le matériau est peu anguleux pour notre travail.

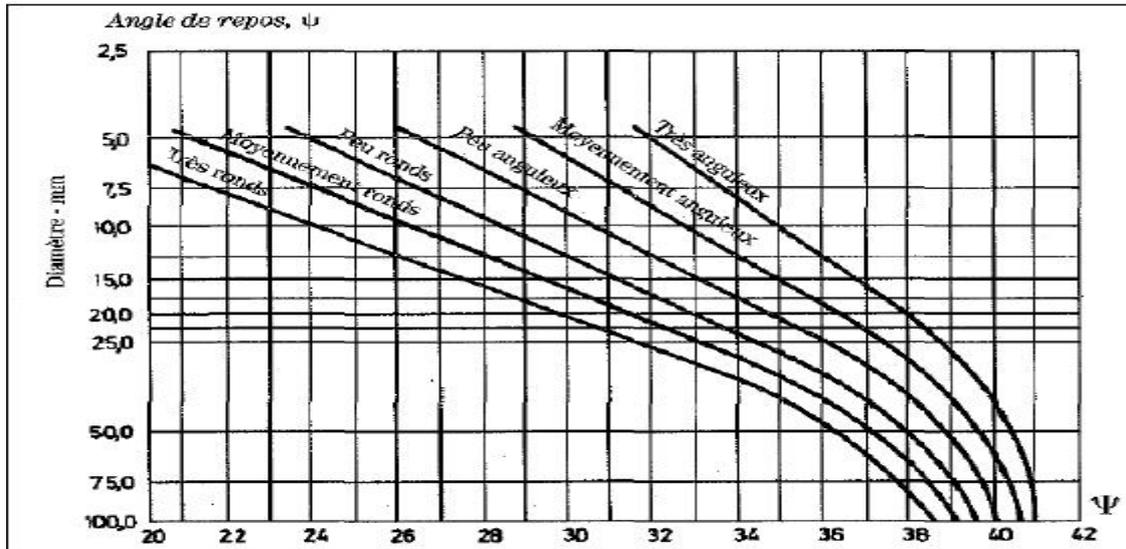


Figure V.5 : Abaque de l'angle de frottement $f = (forme, d)$, Lencastre 1996

C) Angle de talus :

Le choix de cet angle se fait souvent, de façon à assurer la stabilité des talus, pour cette raison il faut admettre une pente de talus de façon à avoir $\theta < \psi$.

D) Force tractrice critique du fond :

$$\tau^* = \frac{(\tau_0)_{crit}}{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot d} \dots \dots \dots (V.2)$$

τ^* Coefficient sans dimension appelé paramètre de Shields.

$(\tau_0)_{crit}$ La tension tangentielle critique exercée sur le fond (N/m^2).

D : diamètre moyen des matériaux.

γ_s, γ_w Poids volumique de l'eau et des matériaux en (N/m^3).

E) Force tractrice critique sur les berges :

$$(\tau_0^t)_{crit} = (\tau_0)_{crit} \cdot \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \psi}}$$

Chapitre V Etude des variantes d'aménagements pour la protection contre les inondations

F) Vérification des conditions sur la hauteur d'écoulement :

On peut décrire la distribution de la force tractrice, dans un canal trapézoïdal par les relations suivantes :

- Force maximale au fond $\tau_M = K_M \cdot \omega \cdot h \cdot I$
- Force maximale sur les talus $\tau'_M = K'_M \cdot \omega \cdot h \cdot I$

K_M, K'_M : Coefficients de distribution de la force tractrice dans un canal trapézoïdal.

Pour dire que le canal est stable que ce soit pour le fond ou pour les berges il faut que les conditions suivantes soient vérifiées :

$$\tau_M < (\tau_0)_{crit}$$

$$\tau'_M < (\tau'_0)_{crit}$$

Tableau V.10 : coefficient K_M et K'_M en fonction de m et du rapport b/h

m	2		1.5	
b/h	K_M	K'_M	K_M	K'_M
1	0.780	0.730	0.780	0.695
2	0.890	0.760	0.890	0.735
3	0.940	0.760	0.940	0.743
4	0.970	0.770	0.970	0.755
5	0.980	0.770	0.980	0.770
6	0.990	0.770	0.990	0.760

Dans notre cas ces conditions ne sont pas vérifiées.

Tableau V.11 : paramètres du canal

Donnée du canal	b(m)	h(m)	n	i(%)
Valeur	10	3.02	0.022	0.002

Tableau V.12 : résultats des contraintes tractrices

Contrainte tractrice	$\tau_{o \text{ crit}}$	$\tau_{o \text{ crit}}^t$	τ_M	τ'_M
Valeur	0.0664	0.019	0.063	0.05

Interprétation :

De ces résultats on peut conclure que la stabilité n'est pas vérifiée et ceci pour les berges, tandis que celle du fond elle est bel et bien vérifiée mais ça reste insuffisant pour adopter cette variante.

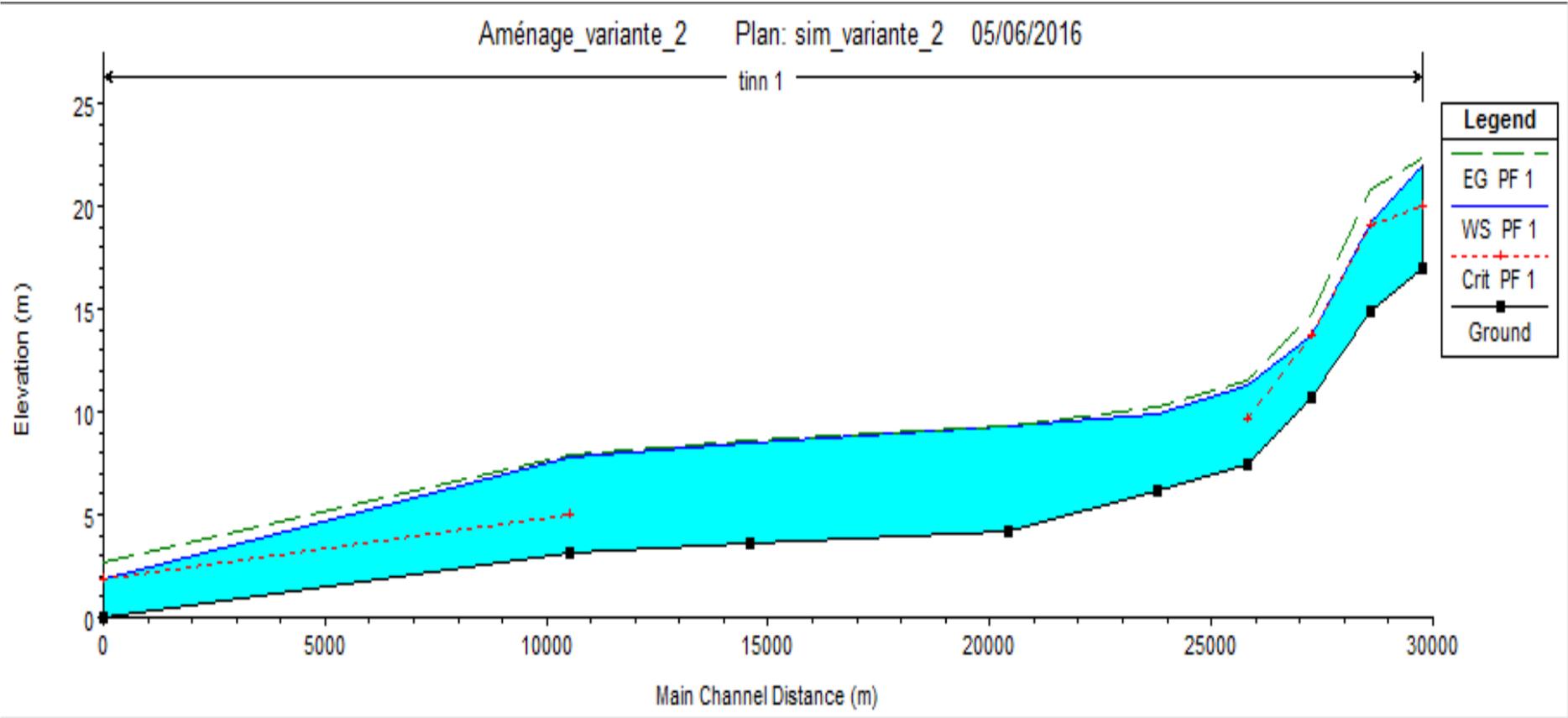


Figure V.6 : profile en long après aménagement variante 2

V.4.3 variante 3 :

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.13 : résultats de la simulation après aménagement (variante 3)

Profil	Débit Q m ³ /s	Vitesse m/s	Froude	Pente projet m/m	Tirant d'eau(m)	Remarque
29780	224.4	4.87	0.72	0.0018	4.61	Régime fluvial
28600	224.4	6.04	1	0.0031	3.71	Régime critique
27250	224.4	6.8	1.19	0.0022	3.3	Régime torrentiel
25800	224.4	3.47	0.53	0.0006	4.31	Régime fluvial
23800	324.8	5.28	0.94	0.0006	3.21	Régime fluvial
20408	324.8	2.09	0.32	0.0001	4.42	Régime fluvial
14590	341.4	2.5	0.4	0.0001	4.05	Régime fluvial
10510	341.4	2.31	0.38	0.0003	3.73	Régime fluvial
0	341.4	4.25	0.87		2.45	Régime fluvial

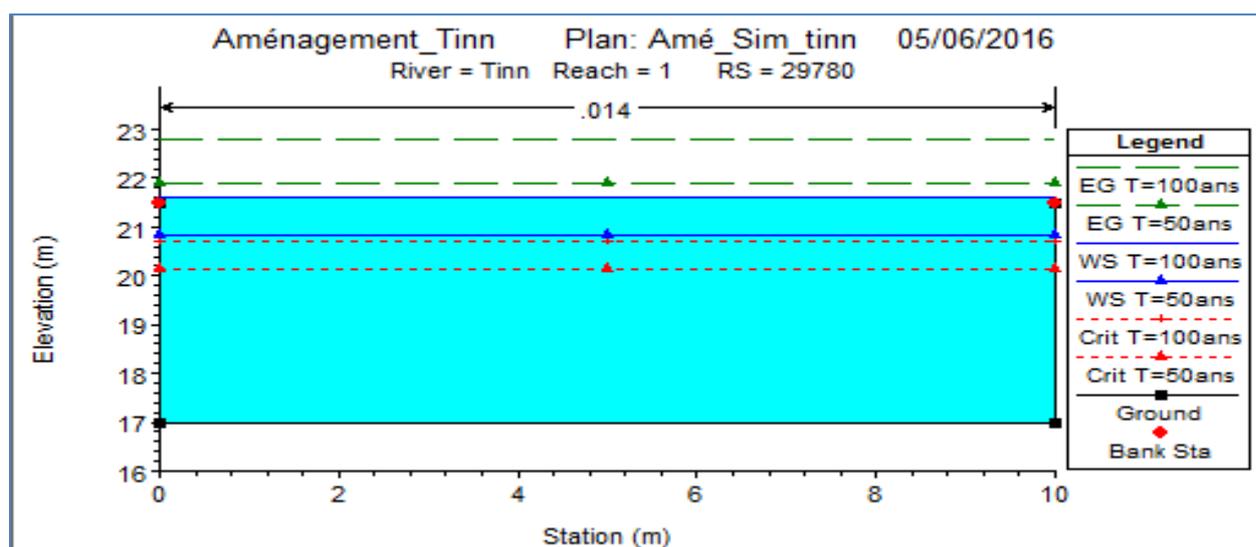


Figure V.7 : Profile en travers après aménagement tronçon 29780_variante 3

V.4.3.1 Interprétation :

Après avoir lancé la simulation on constate que le tirant d'eau atteint par endroit les 4.46 m et que la vitesse d'écoulement atteint les 5.28 m/s mais sa représente pas de danger ni pour les berges vues que ces derniers sont revêtus en ACBM et en roche, ni pour le fond vu que ce dernier il est en béton, on remarque aussi que le régime dans la plupart des tronçons et fluviales.

V.4.3.2 Quantification :

- Pour l'ACBM on prend une épaisseur de 15 cm.
- Pour le béton on prend une épaisseur de 15 cm.
- Pour le béton de propreté on prend une épaisseur de 5 cm.
- Pour les roches on prend une épaisseur de 20cm.

Tableau V.14 : Quantification de la troisième variante

Type du matériau	Volume m ³
Béton	8970
Béton de propreté	3490
ACBM	135769.39
Roche	9690

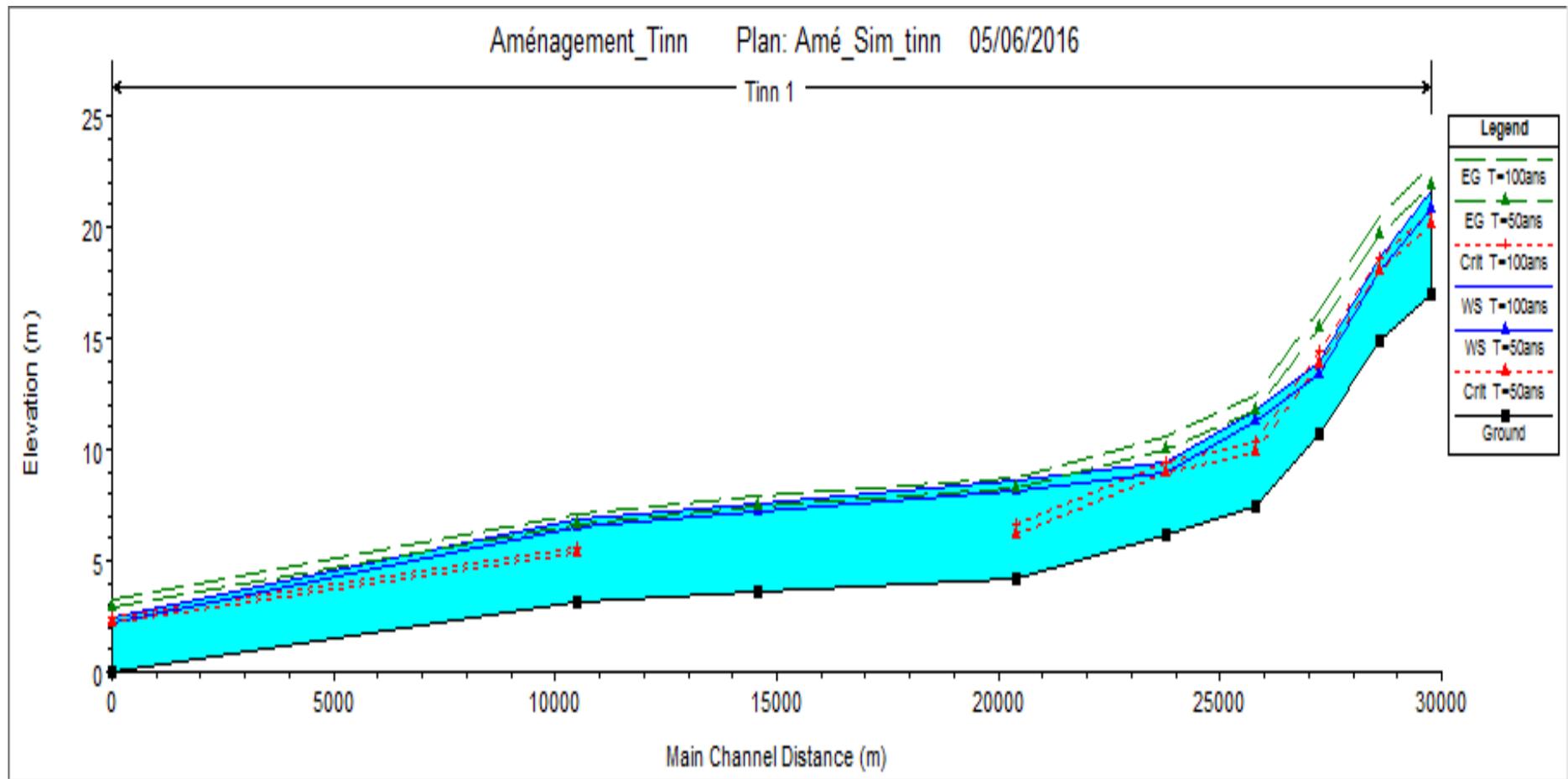


Figure V.8 : profile en long après aménagement variante 2

Conclusion :

Au bout de ce chapitre nous avons abouti aux résultats suivants :

- la 2eme variante elle sera rejetée d'un point de vue technique vu qu'elle ne satisfait pas la condition de stabilité des berges comme il a été démontré précédemment.
- La première variante elle sera rejetée pour la non disponibilité du matériau (pierre) vu la longueur de l'oued et la quantité trop importante nécessaire pour l'aménagement de ce dernier.
- La troisième variante est la meilleure du point de vue technique et la facilité de réalisation et la disponibilité des matériaux

Ya un faible débordement dans la partie aval de l'oued pour un débit centennal et ceci revient au profil du terrain naturel qui est trop plat dans cette partie de l'oued.

CHAPITRE VI :

*Estimation quantitative et financière
du système de protection contre les
inondations*

Introduction :

Dans ce chapitre nous allons établir une estimation quantitative et financière de la projection du système de protection contre les inondations et présenter les différents matériaux composant ce dernier. Le but final de cette partie est d'arriver au coût total de notre projet.

VI.1. Chiffrage des aménagements proposés :

VI.1.1 Les hypothèses de chiffrage :

Le présent chapitre propose une estimation financière du coût de l'aménagement retenu, les estimations des prix des ouvrages et aménagements donnés :

- Prix unitaire des terrassements.
- Prix unitaire de fourniture et pose de (béton, ACBM).

VI.1.2 Chiffrage de la variante retenue :

Tableau VI.1 : devis estimatif

Désignation	U	Quantité	Prix /U (D.A)	Montant (D.A)
Déblai	m3	1402084	400.00	560833600.00
Remblai	m3	733081.81	550.00	403194995.5
Béton	m3	8970	18000.00	161460000.00
Roche	m3	9690	2000.00	19380000.00
ACBM	m2	905129.27	5000.00	4525646350.00
Béton de propreté	m3	3490	4000.00	13960000.00
			total	5684474945.50

VI.2 présentation des matériaux de l'aménagement :

VI.2.1 présentation de l'ACBM :

Le matelas articulé en blocs béton (ACBM) est une pièce rectangulaire composée de blocs en béton de différentes épaisseurs liés entre eux par des cordes en polypropylène. Le matelas en blocs béton est une structure flexible disponible en plusieurs dimensions et plusieurs épaisseurs s'adaptant aux différents contextes. Les matelas ACBM sont utilisés pour le lestage et la protection des pipelines ainsi que pour la protection de la base d'ouvrages hydrauliques contre l'affouillement.

Chapitre VI : Estimation quantitative et financière du système de protection contre les inondations

Les matériaux utilisés sont sélectionnés pour avoir une longue durée de vie en eau et être chimiquement stable; ce qui n'engendre pas de réduction significative de leur résistance à la compression. La manutention des ACBM est réalisée grâce à un palonnier qui est connecté aux boucles de levage. Le haut niveau de flexibilité permet aux matelas de se plier sans compromettre son intégrité.

L'avantage des ACBM est que le coffrage du matelas est modulaire et peut être transporté en cas de besoin le plus près possible de la zone de déploiement. Cela limite les coûts de transport du produit, et permet de fabriquer des dimensions de matelas sur-mesure.

VI.2.2 Dimension de l'ACBM :

Dimensions courantes :

- Longueurs : 3 à 6 m.
- Largeurs : 2 / 3m.
- Epaisseurs. : 0.15 /0.20/0.25/0.30 m.



Figure VI.1 : disposition de matelas ACBM dans un canal



Figure VI.2 : mise en place des matelas ACBM

VI.3 Les engins utilisés pour les différentes opérations :

- Pour l'exécution des déblais et des remblais nous utilisons des bulldozers,
- Pour l'extraction des alluvions nous utilisons des pelles rétro,
- Pour le transport des terres nous utilisons des camions à benne,
- Pour les travaux de finition (régalage et compactage) nous utilisons des compacteurs à pneus.



Figure VI.3 : Bulldozer .



Figure VI.4 : Pelle rétro .



Figure VI.5 : Camion a benne et charger

Conclusion générale

Conclusion générale

Une étude réaliste du comportement d'un cours d'eau fait appel aux différentes données climatiques, hydrologiques et topographique afin de faire une représentation idéale sur le phénomène des inondations, et ainsi trouver les solutions les mieux adaptés pour lutter contre ce dernier.

Afin de trouver la solution aux problèmes des inondations dans la plaine des Bordjias nous avons débuté par une présentation de la zone d'étude ensuite une évaluation des débits de crue, pour avoir des résultats significatifs d'étude nous avons fait appel à la méthode SCS qui est la plus adaptée pour notre cas d'étude du fait qu'elle ne fait pas appel à beaucoup de paramètres, seulement à des données réelles du sol, faciles à acquérir à l'aide des outils informatiques.

Donc au terme de ce travail on peut affirmer que malgré l'utilisation des outils informatiques très développés tel que Civil 3D, HEC-RAS et HEC-HMS, la représentation du phénomène ainsi que du cours d'eau reste approximative vu l'impossibilité de faire une représentation réelle de ces derniers, mais la représentation qui a été faite reste très proche de la réalité.

Aussi, au cours de ce travail des zones vulnérables aux inondations au niveau de la plaine ont été identifiées et des aménagements ont été proposés, où nous avons fait le choix d'un aménagement qui est constitué de deux parties, la première s'agit d'un revêtement de berge par des roches et un lit en béton, et la deuxième un revêtement par ACBM avec un lit nu, ces derniers permettent une évacuation rapide et plus ou moins sûre de la crue.

Le projet a été estimé à un coût qui s'élève à 5684474945.50 DA

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]: B.TOUAIBIA, Manuel pratique d'hydrologie, Mars 2004.
- [2]: José Llamas, Hydrologie générale Principe et applications, 2eme édition, gaëten morin éditeur, 1998.
- [3]: HEC-RAS Users manuel. US Army corps of engineers Hydrologic Engineering Center, version 4.1 january 2010.
- [4]: Armando LENCASTRE, Hydraulique Générale, 2eme édition, éditions EYROLLES, 1996.
- [5]: K. X. Soulis, J. D. Valiantzas/ SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds –the two-CN system approach. Hydro. Earth Syst published: 28 March 2012.
- [6]: HINGRAY B., PICOUET C. & MUSY A. (2009) Hydrologie, 2 Une science pour l'ingénieur, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 600 p.
- [7]: DEGOUTTE G. (2006) Cours d'hydraulique, dynamique et morphologie fluviale (<http://www.agroparistech.fr/coursenligne/hydraulique/hydraulique.html>), Site Web AgroParisTech.

Annexes

A.1 Présentation du logiciel HEC-HMS :

HEC-HMS est un logiciel de modélisation hydrologique de la transformation de la pluie en débit, Afin de simuler le comportement hydrologique d'un Bassin Versant (BV), le logiciel HEC-HMS prend en compte les différents paramètres suivants:

- les précipitations: ces données peuvent correspondre à des relevés pluviométriques réels d'évènements pluvieux ordinaires ou exceptionnels mais aussi à des évènements pluvieux théoriques basés sur une étude statistique.
- les pertes (par infiltration, retenue ou évapotranspiration) qui permettent d'évaluer le ruissellement à partir des précipitations et des caractéristiques du BV.
- les ruissellements directs qui prennent en compte les écoulements de surface, les stockages et les pertes de charge.
- l'hydrologie fluviale, c'est à dire le comportement de l'eau lorsqu'elle se trouve dans le lit de la rivière.

Ces différents paramètres sont ensuite modélisés mathématiquement par un ensemble d'équations qui permettent d'obtenir la réponse du système hydrogéologique global à un changement de conditions hydrométéorologiques.

A.2 présentation du logiciel HEC-RAS :

Le logiciel HEC-RAS est un logiciel libre de droit de simulation de l'hydraulique dans les rivières et canaux. Il a été conçu par le Hydrologic Engineering Center du U.S Army Corps of Engineers (le corps des ingénieurs de l'armée américaine). Il permet d'évaluer les débits et hauteurs d'eau sur l'ensemble des sections d'une rivière. Il utilise des équations d'hydraulique à surface libre (Saint-Venant 1D, Manning-Strickler...) et des modèles pour les seuils, le frottement etc. Il est présentement utilisé dans plusieurs firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux.

Dans sa version actuelle, ce logiciel permet d'effectuer des calculs d'écoulements filaires à surface libre en régime permanent. Les calculs de lignes d'eau permettent tant l'analyse de la capacité de cours d'eaux (risques de débordement, inondations) que l'étude de l'impact de modifications des conditions de bords (ponts, endiguements) pour en quantifier l'impact sur le bassin versant.

Ce logiciel s'est déjà montré très performant pour ce type d'étude. Il permet de visualiser les profils en travers et de modéliser des phénomènes naturels comme par exemple des crues ou une montée des eaux sans débordement. Ce logiciel utilise des données en ASCII ce qui autorise un traitement de données simplifié.

HEC-RAS est capable de résoudre une simplification unidimensionnelle des équations d'écoulement (Pour cela le logiciel utilise une méthode par éléments finis basés sur le " box scheme "). La ligne d'eau est calculée d'une section à une autre en résolvant l'équation de l'énergie par une méthode itérative (standard step method). Elle est obtenue à partir de l'équation de quantité de mouvement, et représente la conservation de la charge hydraulique. L'équation résolue est la suivante :

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Avec

- Y : hauteur d'eau
- Z : côte du fond
- V : vitesse d'écoulement moyenne sur une section
- g : Accélération de la pesanteur
- α : coefficient de pondération
- h_e : Perte de charge

Annexes

De manière générale, nous devons résoudre 2 équations :

L'équation de continuité :

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0$$

Où :

- A : est la section du canal
- S : est la section inondée
- Q : est le débit
- Q_l : les apports latéraux

L'équation de quantité de mouvement :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0$$

Avec :

- Q : le débit
- V : la vitesse
- S_f : la pente.

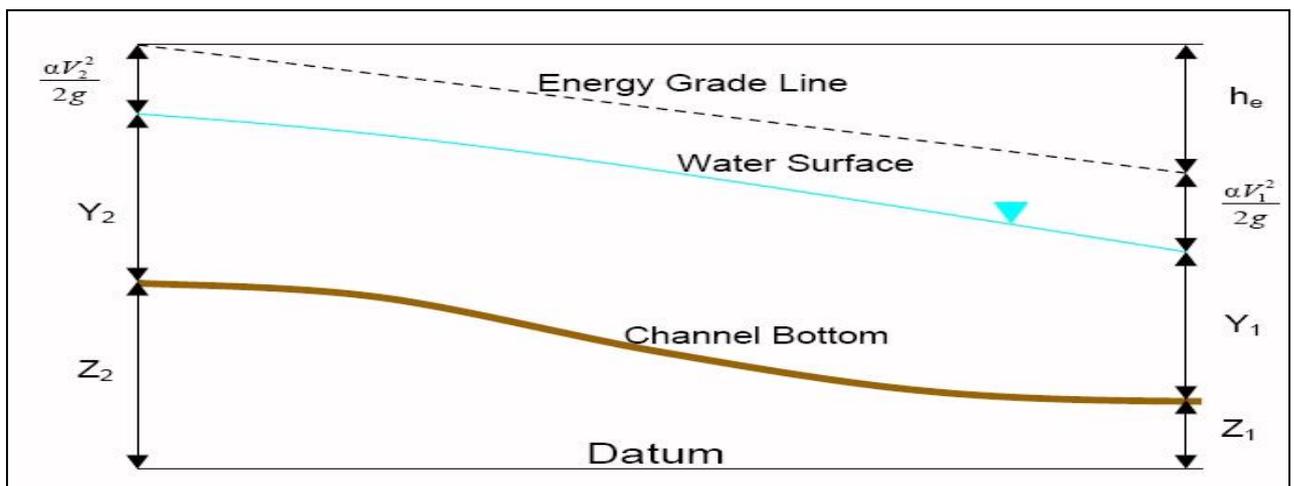


Figure A.1 : représentation énergétique des Ecoulements à surfac libre

Avec HEC-RAS, un ensemble de fichiers, que l'on nomme Projet, sont requis pour effectuer l'analyse hydraulique d'un cours d'eau. Une terminologie particulière est employé e pour définir chacune de ces composantes. Les définitions sont présentées à la page suivante et la figure ci-dessous illustre la hiérarchie des fichiers d'un projet.

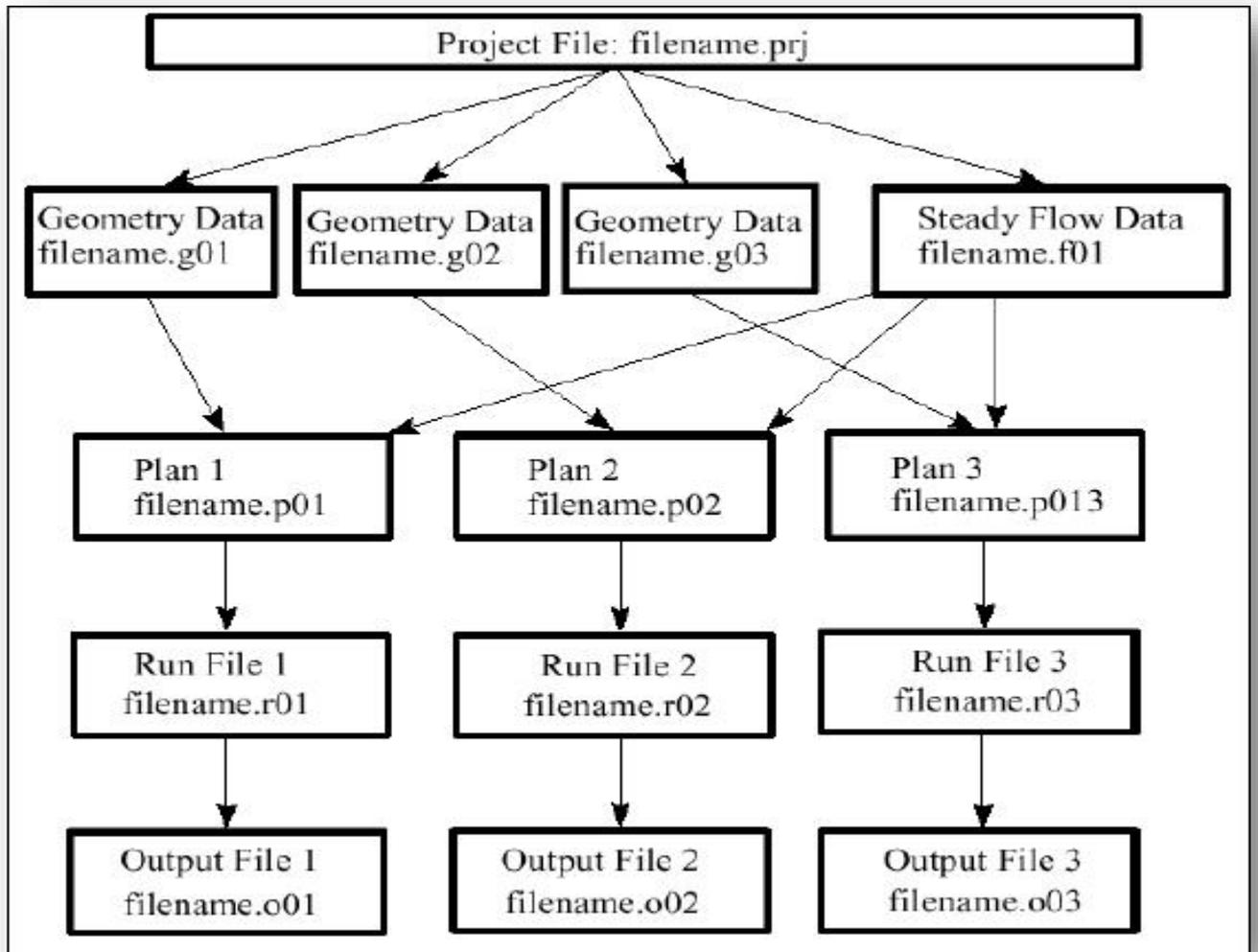


Figure A.2 : Schéma des fichiers d'un projet sur HEC-RAS

A.3 Résultats de la simulation à l'état naturel sur HEC-RAS :

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width
29600	224.4	21.53	23.76	23.79	0.000171	0.83	270.26	160
29500	224.4	21.37	23.75	23.78	0.000128	0.76	294.64	160
29200	224.4	21.97	23.68	23.72	0.000239	0.92	244.38	160
29000	224.4	20.27	23.67	23.69	0.000068	0.63	356.23	160
28800	224.4	22.06	23.59	23.66	0.000515	1.16	193.38	160
28500	224.4	21.5	23.24	23.39	0.001822	1.7	132.19	160
28400	224.4	21.6	22.77	23.08	0.005773	2.46	91.27	150.4
28000	224.4	16.58	18.07	19.09	0.020034	4.49	50.03	85.25
27600	224.4	15.64	18.57	18.58	0.00006	0.6	371.1	160
27500	224.4	16.28	18.55	18.58	0.000094	0.69	324.02	160
27200	224.4	15.55	18.24	18.48	0.00218	2.18	102.94	96.6
27000	224.4	14.9	17.46	17.81	0.005579	2.61	85.96	124.4
26800	224.4	14.65	15.62	16.15	0.013278	3.22	69.63	143.91
26500	224.4	13.68	15.14	15.23	0.000758	1.3	172.07	160
26400	224.4	13.12	15.15	15.18	0.000147	0.79	282.39	160
26000	224.4	12.84	15.11	15.13	0.000104	0.71	313.89	160
25600	224.4	12.94	15.03	15.07	0.000205	0.88	256.05	160
25500	224.4	13	15.01	15.05	0.000209	0.88	253.99	160
25200	224.4	12.25	14.81	14.93	0.001043	1.48	151.67	146.28
25000	224.4	11.96	14.77	14.81	0.000261	0.94	238.26	160
24800	224.4	11.22	14.74	14.77	0.00015	0.8	281.28	160
24500	224.4	11.87	14.7	14.73	0.00012	0.75	300.82	160
24400	224.4	12.77	14.62	14.7	0.000547	1.25	179.16	136.82
24000	224.4	12.48	14.39	14.46	0.000643	1.24	180.86	160
23600	324.8	11.86	14.24	14.3	0.000295	1.14	285.94	160
23500	324.8	11.46	14.22	14.27	0.000209	1.02	317.31	160
23200	324.8	11.4	14.14	14.2	0.000269	1.1	294.47	160
23000	324.8	11.27	14.09	14.15	0.000236	1.06	306.55	160
22800	324.8	11.12	14.05	14.1	0.000241	1.07	304.8	160
22500	324.8	11.69	13.95	14.02	0.000324	1.17	278.56	160
22400	324.8	10.79	13.92	13.99	0.000274	1.11	292.77	160
22000	324.8	11.11	13.81	13.88	0.000285	1.12	289.35	160
21600	324.8	10.08	13.78	13.81	0.000088	0.78	414.64	160
21500	324.8	10.47	13.77	13.8	0.000086	0.78	416.28	160
21200	324.8	10.91	13.73	13.77	0.000134	0.89	364.39	160
21000	324.8	10.98	13.71	13.74	0.000099	0.81	399.37	160
20800	324.8	9.55	13.7	13.72	0.000053	0.67	481.8	160
20500	324.8	10.96	13.65	13.69	0.000175	0.97	336.07	160
20400	324.8	11.11	13.59	13.67	0.000385	1.22	265.3	160
20000	324.8	9.96	13.56	13.59	0.000078	0.76	429.09	160
19600	324.8	10.02	13.55	13.57	0.000046	0.64	505.86	160

Annexes

19500	324.8	10.01	13.54	13.56	0.000041	0.62	520.54	160
19200	324.8	9.85	13.53	13.55	0.000044	0.63	512.29	160
19000	324.8	9.6	13.52	13.54	0.000043	0.63	514.93	160
18800	324.8	9.93	13.51	13.53	0.000049	0.66	495.86	160
18500	324.8	10.1	13.5	13.52	0.000043	0.63	512.68	160
18400	324.8	10	13.49	13.51	0.000045	0.64	506.82	160
18000	324.8	10.05	13.47	13.49	0.000058	0.69	471.26	160
17600	324.8	9.77	13.45	13.47	0.000038	0.61	534.23	160
17500	324.8	9.8	13.44	13.47	0.000063	0.71	457.29	160
17200	324.8	9.74	13.43	13.45	0.000049	0.66	495	160
17000	324.8	9.7	13.41	13.44	0.000058	0.69	469.62	160
16800	324.8	9.76	13.41	13.43	0.000036	0.6	542.13	160
16500	324.8	9.61	13.4	13.42	0.000031	0.57	567.66	160
16400	324.8	9.55	13.39	13.41	0.000037	0.6	539.56	160
16000	324.8	9.64	13.37	13.4	0.000049	0.65	496.94	160
15600	324.8	9.65	13.36	13.38	0.000034	0.59	553.8	160
15500	324.8	9.78	13.35	13.37	0.000059	0.69	468.52	160
15200	324.8	9.72	13.34	13.36	0.000043	0.63	514.44	160
15000	324.8	9.8	13.33	13.35	0.000048	0.65	498.35	160
14800	341.4	9.78	13.32	13.34	0.00005	0.67	506.44	160
14500	341.4	9.87	13.3	13.32	0.000053	0.69	498.08	160
14400	341.4	9.66	13.29	13.32	0.000048	0.67	512.31	160
14000	341.4	10.01	13.26	13.29	0.000073	0.75	452.56	160
13600	341.4	9.99	13.24	13.27	0.000054	0.69	493.39	160
13500	341.4	9.78	13.23	13.26	0.000064	0.72	471.21	160
13200	341.4	9.94	13.22	13.24	0.000056	0.7	490.25	160
13000	341.4	10.01	13.21	13.23	0.000058	0.7	484.44	160
12800	341.4	10.12	13.18	13.22	0.000087	0.8	427.61	160
12400	341.4	9.75	13.13	13.18	0.000156	0.95	359.5	160
12000	341.4	9.67	13.13	13.16	0.000094	0.81	419.84	160
11600	341.4	9.74	13.1	13.13	0.000071	0.75	456.53	160
11500	341.4	9.61	13.07	13.1	0.000071	0.75	456.46	160
11200	341.4	9.71	13.06	13.09	0.000101	0.83	410.56	160
11000	341.4	9.78	13.04	13.07	0.000068	0.74	462.43	160
10800	341.4	9.57	13.02	13.05	0.000069	0.74	459.36	160
10500	341.4	9.5	13	13.03	0.000111	0.86	397.41	160
10400	341.4	9.45	12.38	12.89	0.00501	3.14	108.6	110.75
10000	341.4	9.25	10.28	11.75	0.033098	5.37	63.56	119.17
9600	341.4	8.75	10.62	10.73	0.000746	1.53	223.43	160
9500	341.4	8.32	10.42	10.51	0.000417	1.28	266.34	160
9200	341.4	8.21	10.33	10.45	0.000736	1.52	224.47	160
9000	341.4	8.13	10.14	10.24	0.000615	1.44	236.96	160
8800	341.4	7.83	10.07	10.14	0.000341	1.21	282.81	160
8500	341.4	7.75	10.01	10.08	0.00031	1.17	291.82	160

Annexes

8400	341.4	7.31	9.86	9.96	0.000512	1.37	249.66	157.45
8000	341.4	7.5	9.75	9.89	0.0009	1.61	211.75	160
7600	341.4	7.22	9.54	9.63	0.000452	1.31	260.75	160
7500	341.4	6.63	9.38	9.46	0.000362	1.23	278.36	160
7200	341.4	6.66	9.36	9.43	0.000287	1.14	298.29	160
7000	341.4	6.34	9.3	9.35	0.000207	1.04	329.23	160
6800	341.4	6.42	9.24	9.3	0.000249	1.09	311.82	160
6500	341.4	6.38	9.2	9.26	0.0002	1.02	333.27	160
6400	341.4	6.54	9.13	9.19	0.000237	1.08	316.28	160
6000	341.4	6.58	9.11	9.17	0.000246	1.09	312.53	160
5600	341.4	6.7	8.89	9.01	0.00068	1.52	224.06	149.44
5500	341.4	6.39	8.65	8.75	0.00058	1.41	241.52	160
5200	341.4	6.1	8.64	8.7	0.000281	1.14	299.79	160
5000	341.4	6.12	8.53	8.61	0.000343	1.21	282.55	160
4800	341.4	5.83	8.48	8.55	0.000278	1.14	299.32	157.79
4500	341.4	5.93	8.39	8.48	0.000424	1.29	265.21	160
4400	341.4	6.18	8.3	8.37	0.000272	1.13	302.45	160
4000	341.4	6.1	8.27	8.34	0.000304	1.17	292.59	160
3600	341.4	6.18	8.13	8.21	0.000352	1.22	280.18	160
3500	341.4	5.71	7.98	8.06	0.00038	1.25	273.96	160
3200	341.4	5.88	7.93	8.02	0.000487	1.34	254.07	160
3000	341.4	5.53	7.85	7.91	0.000251	1.1	310.39	160
2800	341.4	5.42	7.8	7.86	0.000222	1.06	322.19	160
2500	341.4	5.43	7.75	7.81	0.000246	1.09	312.26	160
2400	341.4	5.17	7.68	7.74	0.000244	1.09	313.05	160
2000	341.4	5.1	7.66	7.71	0.00023	1.07	318.77	160
1600	341.4	5.15	7.53	7.6	0.000334	1.2	284.6	160
1500	341.4	5.47	7.39	7.47	0.000344	1.21	281.8	160
1200	341.4	5.47	7.33	7.42	0.000478	1.34	255.23	160
1000	341.4	5.33	7.2	7.29	0.000425	1.29	264.68	160
800	341.4	5.23	7.11	7.2	0.000469	1.33	255.94	160
500	341.4	5.23	6.93	7.07	0.000921	1.63	209.17	160
400	341.4	5.08	6.57	6.73	0.001318	1.82	187.56	160

A.4 Profils en travers après aménagement :

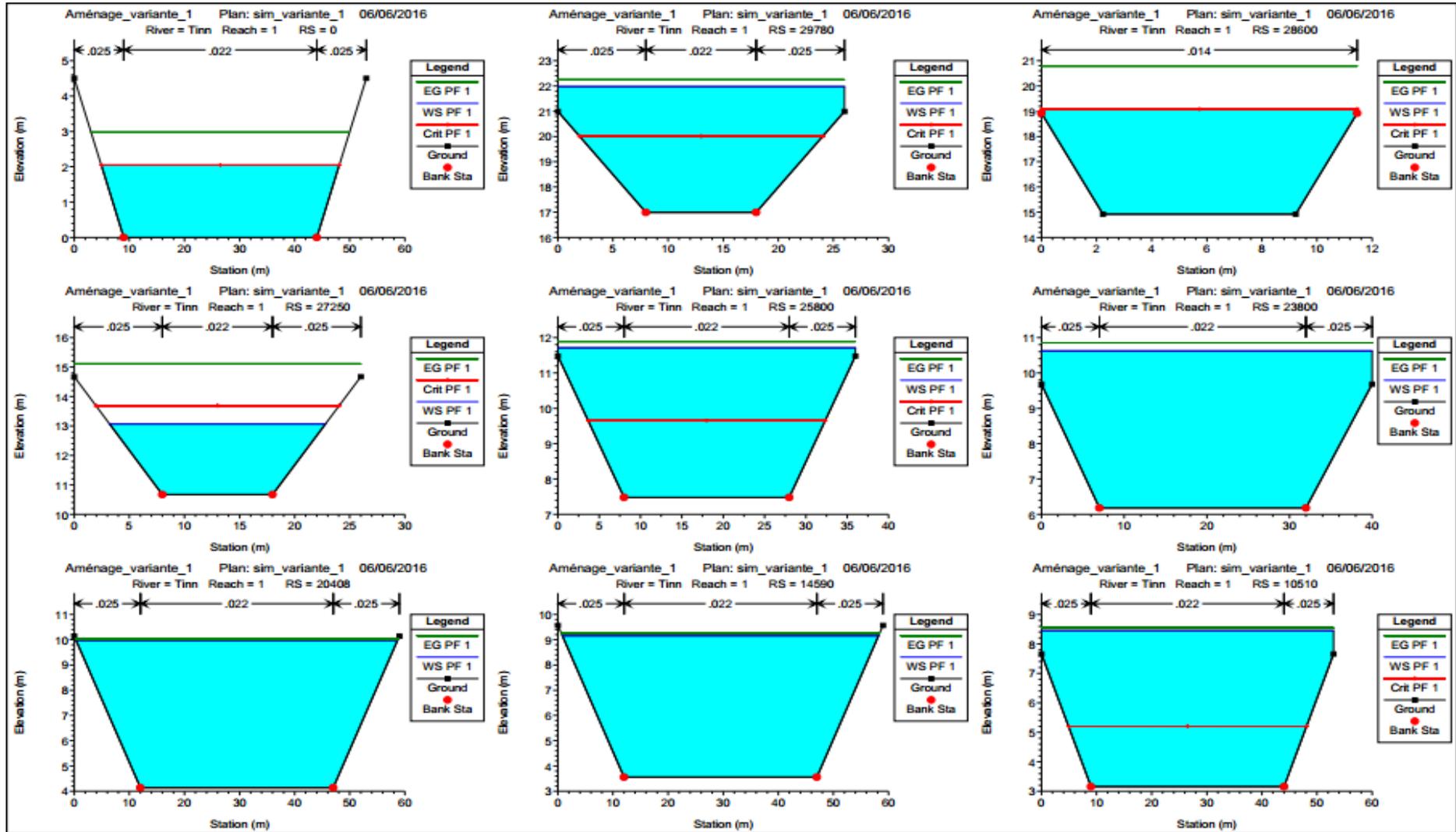


Figure A.3 : profils en travers après aménagement de la première variante

Annexes

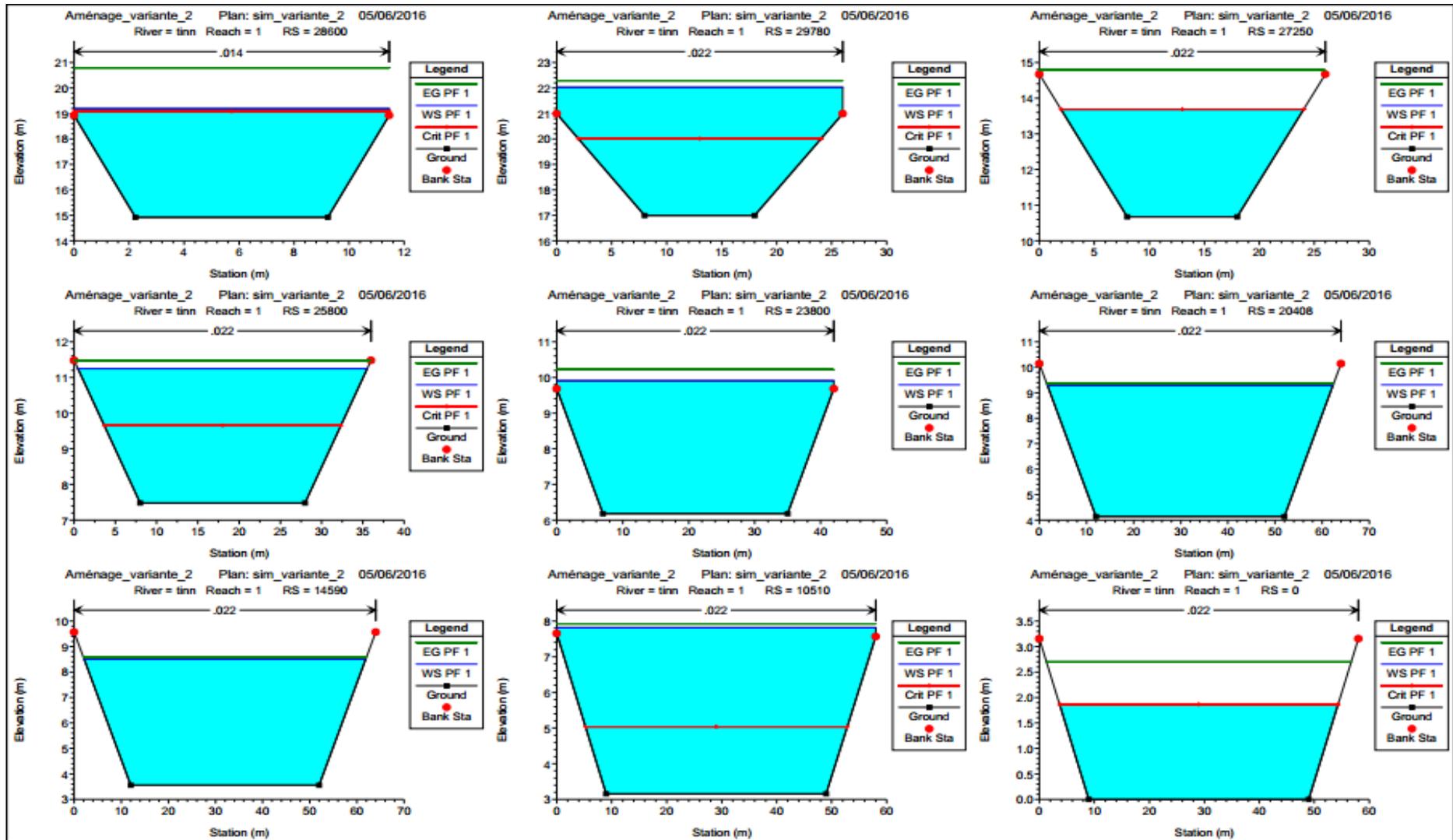


Figure A.4 : profils en travers après aménagement de la deuxième variante

Annexes

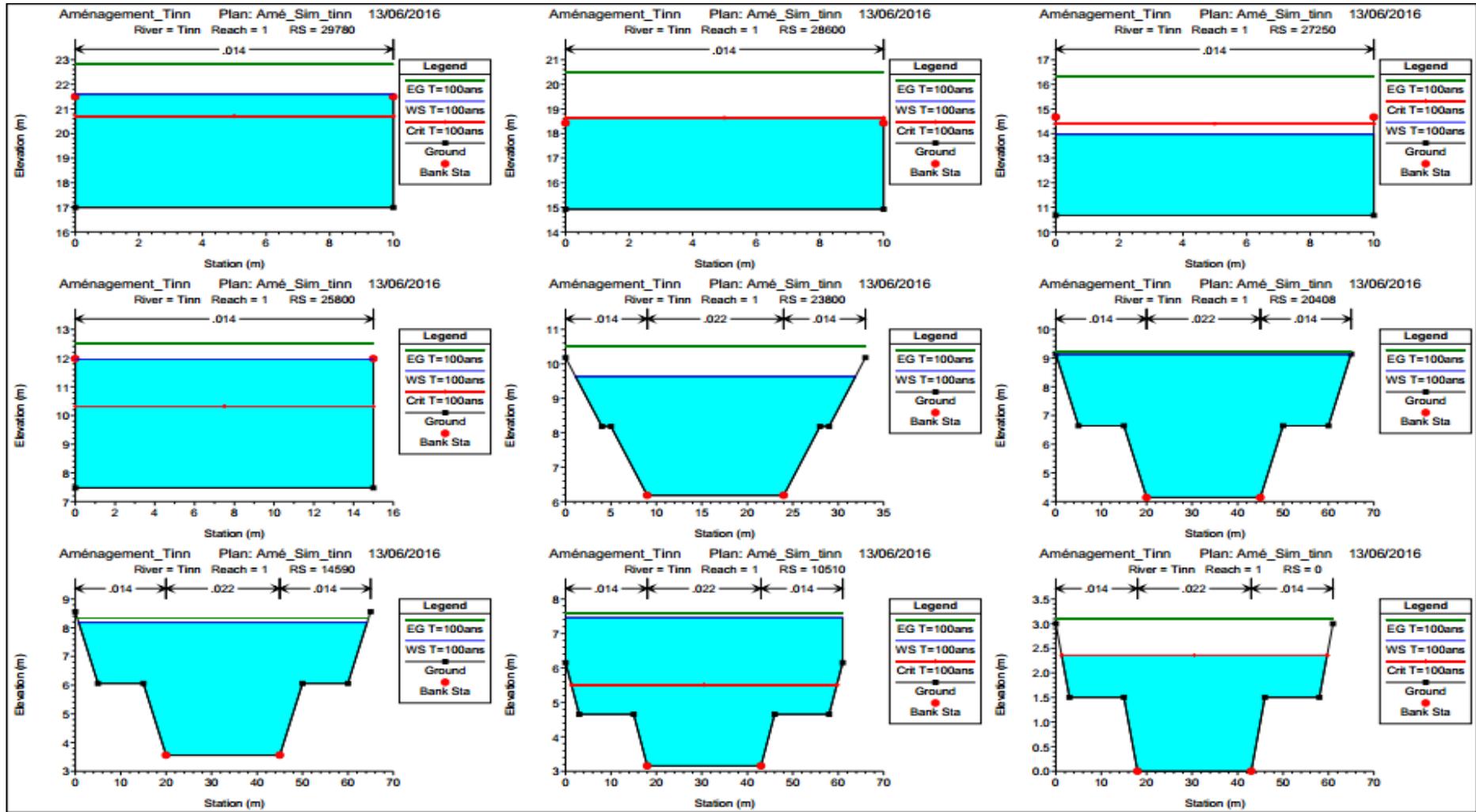


Figure A.5 : profils en travers après aménagement de la variante choisie

A.5 Tables du CN (Hydrologic analysis and design, McCuen) :

TABLE 3-18 Runoff Curve Numbers (average watershed condition, $I_a = 0.25$)

Land Use Description		Curve Numbers for Hydrologic Soil Group					
		A	B	C	D		
Fully developed urban areas ^a (vegetation established)							
Lawns, open spaces, parks, golf courses, cemeteries, etc.							
Good condition; grass cover on 75% or more of the area		39	61	74	80		
Fair condition; grass cover on 50% to 75% of the area		49	69	79	84		
Poor condition; grass cover on 50% or less of the area		68	79	86	89		
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.							
Streets and roads							
Paved with curbs and storm sewers		98	98	98	98		
Gravel		76	85	89	91		
Dirt		72	82	87	89		
Paved with open ditches		83	89	92	93		
		Average % impervious ^b					
Commercial and business areas		85	89	92	94	95	
Industrial districts		72	81	88	91	93	
Row houses, town houses, and residential with lots sizes 1/8 acre or less		65	77	85	90	92	
Residential: average lot size							
1/4 acre		38	61	75	83	87	
1/3 acre		30	57	72	81	86	
1/2 acre		25	54	70	80	85	
1 acre		20	51	68	79	84	
2 acre		12	46	65	77	82	
Developing urban areas ^c (no vegetation established)							
Newly graded area							
		77	86	91	94		
Western desert urban areas							
Natural desert landscaping (pervious area only) ^f		63	77	85	88		
Artificial desert landscaping		96	96	96	96		
Land Use Description		Treatment or Practice ^d	Hydrologic Condition	Curve Numbers for Hydrologic Soil Group			
				A	B	C	D
Cultivated agricultural land							
Fallow							
Straight row or bare soil			77	86	91	94	
Conservation tillage		Poor	76	85	90	93	
Conservation tillage		Good	74	83	88	90	
Row crops							
Straight row		Poor	72	81	88	91	
Straight row		Good	67	78	85	89	
Conservation tillage		Poor	71	80	87	90	
Conservation tillage		Good	64	75	82	85	
Contoured		Poor	70	79	84	88	
Contoured		Good	65	75	82	86	
Contoured and conservation tillage		Poor	69	78	83	87	
Contoured and conservation tillage		Good	64	74	81	85	

(continued)

Annexes

TABLE 3-18 Runoff Curve Numbers (average watershed condition, $I_a = 0.2S$) (Continued)

Land Use Description	Treatment or Practice ^d	Hydrologic Condition	Curve Numbers for Hydrologic Soil Group			
			A	B	C	D
Small grain	Contoured and terraces	Poor	66	74	80	82
	Contoured and terraces	Good	62	71	78	81
	Contoured and terraces	Poor	65	73	79	81
	and conservation tillage	Good	61	70	77	80
	Straight row	Poor	65	76	84	88
	Straight row	Good	63	75	83	87
	Conservation tillage	Poor	64	75	83	86
	Conservation tillage	Good	60	72	80	84
	Contoured	Poor	63	74	82	85
	Contoured	Good	61	73	81	84
	Contoured and	Poor	62	73	81	84
	conservation tillage	Good	60	72	80	83
	Contoured and terraces	Poor	61	72	79	82
	Contoured and terraces	Good	59	70	78	81
	Contoured and terraces	Poor	60	71	78	81
and conservation tillage	Good	58	69	77	80	
Close-seeded legumes rotations meadows ^e	Straight row	Poor	66	77	85	89
	Straight row	Good	58	72	81	85
	Contoured	Poor	64	75	83	85
	Contoured	Good	55	69	78	83
	Contoured and terraces	Poor	63	73	80	83
	Contoured and terraces	Good	51	67	76	80
Noncultivated agricultural land Pasture or range	No mechanical treatment	Poor	68	79	86	89
	No mechanical treatment	Fair	49	69	79	84
	No mechanical treatment	Good	39	61	74	80
	Contoured	Poor	47	67	81	88
	Contoured	Fair	25	59	75	83
	Contoured	Good	6	35	70	79
	Meadow	—	30	58	71	78
Forestland—grass or orchards—evergreen deciduous		Poor	55	73	82	86
		Fair	44	65	76	82
		Good	32	58	72	79
Brush		Poor	48	67	77	83
		Fair	35	56	70	77
		Good	30	48	65	73
Woods		Poor	45	66	77	83
		Fair	36	60	73	79
		Good	25	55	70	77
Farmsteads	—	59	74	82	86	
Forest-range Herbaceous		Poor	^a	80	87	93
		Fair		71	81	89
		Good		62	74	85
Oak-aspen		Poor		66	74	79
		Fair		48	57	63
		Good		30	41	48

Annexes

TABLE 3-18 Runoff Curve Numbers (average watershed condition, $I_a = 0.2S$) (Continued)

Land Use Description	Treatment or Practice ^d	Hydrologic Condition	Curve Numbers for Hydrologic Soil Group			
			A	B	C	D
Juniper		Poor	^e	75	85	89
		Fair		58	73	80
		Good		41	61	71
Sage-grass		Poor		67	80	85
		Fair		51	63	70
		Good		35	47	55

^aFor land uses with impervious areas, curve numbers are computed assuming that 100% of runoff from impervious areas is directly connected to the drainage system. Pervious areas (lawn) are considered to be equivalent to lawns in good condition. The impervious areas have a *CN* of 98.

^bIncludes paved streets.

^cUse for the design of temporary measures during grading and construction. Impervious area percent for urban areas under development vary considerably. The user will determine the percent impervious. Then using the newly graded area *CN*, the composite *CN* can be computed for any degree of development.

^dFor conservation tillage poor hydrologic condition, 5 to 20% of the surface is covered with residue (less than 750-lb/acre row crops or 300-lb/acre small grain). For conservation tillage good hydrologic condition, more than 20% of the surface is covered with residue (greater than 750-lb/acre row crops or 300-lb/acre small grain).

^eClose-drilled or broadcast.

For noncultivated agricultural land:

Poor hydrologic condition has less than 25% ground cover density.

Fair hydrologic condition has between 25 and 50% ground cover density.

Good hydrologic condition has more than 50% ground cover density.

For forest-range:

Poor hydrologic condition has less than 30% ground cover density.

Fair hydrologic condition has between 30 and 70% ground cover density.

Good hydrologic condition has more than 70% ground cover density.

^fComposite *CN*'s for natural desert landscaping should be computed using Figure 3-21 based on the impervious area percentage (*CN* = 98) and the pervious area *CN*. The pervious area *CN*'s are assumed equivalent to desert shrub in poor hydrologic condition.

^gCurve numbers for group A have been developed only for desert shrub.