

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département :Génie civile et hydraulique
Réf:.....



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم:الهندسة المدنية و الري
المرجع.....

Mémoire de Master Filière : Hydraulique

Spécialité : Ouvrages Hydrauliques

Thème

ÉTUDE DE PROTECTION DE LA VILLE BISKRA CONTRE LES CRUES

Nom et prénom de l'étudiant:
Ouarda Ben Lamri

Encadrant:
Prof. Naïma Benmebarek
Co-Encadrant:
Menouba Tibermacine

Année universitaire : 2019 - 2020

REMERCIEMENTS

Avant tout je remercie dieu le tout puissant et miséricordieux de m'avoir donné le courage et la volonté pour élaborer ce mémoire. Au terme de cette modeste étude, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à Madame le Professeur NAÏMA BEN MEBAREK, ma Promotrice de mémoire dont la disponibilité, le savoir faire et le soutien ne m'ont jamais fait défaut.

Je remercie également tous mes professeurs

Je remercie aussi tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail, Aussi, je me permets d'exprimer tout mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur d'apprécier ce travail.

Merci

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mon père et Ma mère Mon

Mari ZAOUI TAYEB

Mon frère KHALED et mes sœurs

Les enfants:

Mendhir , Rehayem , Chamsse

Ranime , Rim , Amani, Tahani , Tawba , Estabrak , Bassma

Mes collègues de la promo d'hydraulique option

Ouvrages Hydrauliques

De 2019/2020

BEN LAMRI

Sommaire

Introduction générale	01
Chapitre I : Généralités sur les inondations	
I-1 Introduction.....	04
I-2 Inondations	04
I-3 Types d'inondations	04
I-4 Causes et facteurs aggravants le phénomène d'inondation.....	07
I-5 Problématique des inondations en Algérie	08
I-6 Définition d'une crue	10
I-7 Les différentes types de crues	10
I-8 Conclusion.....	11
Chapitre II : Procédés de protection contre les inondations	
II-1 Introduction.....	13
II-2 Rééquilibrage du cours d'eau	13
II-2-1 Les conséquences d'un rééquilibrage	14
II-2-2 Les inconvénients du rééquilibrage	14
II-2-3 Interventions après rééquilibrage	15
II-3 Barrage écrémeur	15
II-4 Correction torrentielle	16
II-5 Les digues de protection contre les inondations	16
II-6 Canal de dérivation	17
II-7 Les épis.....	18
II-8 Banquette	18
II-9 Les protections classiques	19
II-10 L'entretien des lits.....	19
II-11 Reboisement et techniques végétales.....	19
II-12 Les enrochements.....	20
II-13 Techniques mécaniques	20
II-13-1 Les blocs de béton ou le béton armé.....	20

II-13-2 maçonnerie ou enrochement liaisonnée.....	22
II-13-3 Le gabion.....	22
II-14 Conclusion	23

Chapitre III : Présentation de la région d'étude

III.1 Introduction	25
III.2 Situation géographique	25
III.3 Situation Topographie	26
III.4 Géologie du site	26
III.5 Inondations dans la ville de Biskra	27
III.6 Urbanisation et population	27
III.7 Description du réseau d'assainissement	27
III.8 Description du réseau en eau potable.....	28
III.8.1 Ressources d'approvisionnement	28
III.9 Données climatiques.....	28
III.9.1 Les vents.....	28
III.9.2 Les températures	29
III.9.3 Précipitations moyennes mensuelles	29
III.9.4 Humidité	29
III.10 Réseau hydrographique	29
III.10.1 Le bassin versant.....	29
III.10.2 Présentation de les oueds.....	30
III.11 Conclusion.....	31

Chapitre IV : Etude hydrologique

IV.1 Introduction	33
IV.2 Caractéristiques hydromorphométriques des bassins versants.....	33
IV.2.1 Définition d'un bassin versant	33
IV.2.2 Morphométrie	33
IV.2.3 Le temps de concentration	35
IV.3 Apports liquides.....	37

IV.3.1 Apports moyens annuels.....	37
IV.3.2 Variabilité de l'apport	38
IV.3.2.1 Calcul du coefficient de variation	38
IV.4 Etude fréquentielle des apports liquides	39
IV.5 Etude des crues.....	40
IV.5.1 Temps de concentration (Tc).....	40
IV.5.2 Etude des pluies journalières de différentes fréquences.....	40
IV.5.2.1 Pluie maximale journalière fréquentielle	40
IV.5.2.2 Pluies de courte durée	41
IV.5.3 Débits maximums	42
IV.5.3.1 Débit moyen journalier de différentes fréquences	42
IV.5.3.2 Débits instantanés de crues de diverses fréquences	42
IV.6 Conclusion.....	44

Chapitre V: Modélisation hydraulique des écoulements et aménagements proposés

V.1 Introduction	46
V.2 Logiciel de calcul HEC- RAS.....	46
V.3 Simulation de débit unipolaire à une ou deux dimension.....	47
V.4 Introduction des données sur le logiciel et calcul	48
V.4.1 Données topographique du terrain	48
V.4.2 Données des trois ponts	49
V.4.3 Données de débit et des conditions au limite du débit	51
V.5 Analyse des résultats de calcul	52
V.5.1 Interprétation des résultats.....	58
V.5.2 Revanche.....	58
V.5.3 Section ovale des ponts busées	59
V.6 Aménagements proposés.....	60
V.6.1 Solution pour la crue centennale (période de retour 1/100)	60
V.6.1.1 Rééquilibrage du lit d'oued.....	60
V.6.1.2 Agrandissement de la section de passage d'eau au niveau du premier pont busé...	61

V.6.1.3 Elargissement de la section de l'oued Avant le premier Pont sur pieu.....	61
V.6.1.4 Rive droite du pont buse N°02.....	61
V.6.1.5 Poste SONALGAZ.....	61
V.6.1.6 PALMERAIE à 1.0 km en amont du premier pont sur pieux.....	61
V.6.1.7 Sortie de la ville au niveau du périmètre agricole de MESDOUR.....	61
V.6.1.8 Sortie de la ville au niveau du QUARTIER FELIACH.....	62
V.6.2 Solution pour la crue millénaire (période de retour 1/1000)	62
V.7 Conclusion.....	63
Conclusion générale.....	64
Bibliographie.....	

Liste des tableaux

Tableau III.1: Estimation de la population pour différents horizons de calcul	27
Tableau III.2: vents moyens annuels	29
Tableau III.3 : températures moyennes annuelles	29
Tableau III.4 : Précipitations moyennes mensuelles	29
Tableau III.5 : variation annuelle de l'humidité	29
Tableau IV.1 : caractéristiques principales de bassin versant	35
Tableau IV.2 : temps de concentration des trois bassins versants	36
Tableau IV.3 : Récapitulatif du calcul de la lame d'eau et de l'apport moyen annuel	38
Tableau IV.4 : Récapitulatif du calcul du coefficient de variation	39
Tableau IV.5 : Les rapports liquides de différentes fréquences BV1	39
Tableau IV.6 : Les rapports liquides de différentes fréquences BV2	40
Tableau IV.7 : Les rapports liquides de différentes fréquences BV3	40
Tableau IV.8 : temps de concentration BV1-BV2 et BV3	40
Tableau IV.9 : Pluie maximale journalière fréquentielle BV1	41
Tableau IV.10 : Pluie maximale journalière fréquentielle BV2	41
Tableau IV.11 : Pluie maximale journalière fréquentielle BV3	41
Tableau IV.12 : Pluies de courte durée-BV1	42
Tableau IV.13 : Pluies de courte durée-BV2	42
Tableau IV.14 : Pluies de courte durée-BV3	42
Tableau IV.15 : Débits moyens journaliers de différentes fréquences	42
Tableau IV.16 : débits instantanés (relation de Giandotti) BV1.....	43
Tableau IV.17 : débits instantanés (relation de Giandotti) BV2...	43
Tableau IV.18 : débits instantanés (relation de Giandotti) BV3.....	43
Tableau IV.19 : débits instantanés (relation de Sokolovsky).BV1.....	43
Tableau IV.20 : débits instantanés (relation de Sokolovsky)-BV2.....	44
Tableau IV.21 : débits instantanés (relation de Sokolovsky)-BV3...	44
Tableau V.1 : Résultats des caractéristiques de l'hydro gramme de crue selon SCS.	52
Tableau V.2: Terminologie du Logiciel HEC-RAS	53
Tableau V.3: Résultats du Logiciel HEC-RAS	54
Tableau V.3 (suite): Résultats du Logiciel HEC-RAS	55

Liste des *Figures*

<i>Figure</i>		<i>Page</i>
Figure I.1	Ecoulement d'une rivière dans son lit mineur.....	04
Figure I.2	Ecoulement d'une rivière dans son lit majeur	05
Figure I.3	Affleurement de la nappe et inondation des terrains bas.....	05
Figure I.4	Inondations de Ghardaïa (10/2008).....	09
Figure I.5	Inondations de BAB EL OUED (10/2008).....	10
Figure II.1	Rééquilibrage d'un cours d'eau.....	14
Figure II.2	Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue.....	15
Figure II.3	Fonctionnement de barrage écrêteur.....	15
Figure II.4	Fonctions des barrages de correction torrentielle.....	16
Figure II.5	Positions de la digue par rapport aux cours d'eau.....	17
Figure II.6	Ouvrages De Protection Des Inondations.....	17
Figure II.7	Canal de dérivation	18
Figure II.8	Implantation des épis	18
Figure II.9	Technique de banquettes	18
Figure II.10	Reboisement.....	20
Figure II.11	Enrochement d'une berge	20
Figure II.12	Protection avec des blocs de béton creux.....	21
Figure II.13	Protection des berges en béton armé	21
Figure II.14	Aménagement avec maçonnerie a gauche et a droite en enrochement liaisonnée.....	22
Figure II.15	Exemples de réalisation d'un mur en gabion.....	23

Figure III.1	Carte de situation géographique de la ville de Biskra	25
Figure III.2	Les frontières de la Wilaya de Biskra	26
Figure III.3	Carte géologique de la Wilaya de Biskra.....	26
Figure III.4	Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Biskra ...	30
Figure III.5	Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra	31
Figure IV.1	Carte Des Formes Géomorphologiques De La Wilaya De Biskra	34
Figure V.1	Exemple de modélisation d'oued ZERZOUR avec HEC RAS.....	47
Figure V.2	Exemple de capacité de gestion des ruptures de digue.....	48
Figure V.3	Exemples de graphiques et rapports.....	48
Figure V.4	Levé topographique avec axe d'oued sur 13.3 km et 138 sections en travers (Equidistance 100 ml).....	49
Figure V.5	Données du pont N°01 (pont Busée PK 4+830).....	50
Figure V.6	Données du pont N°02 (pont sur pieu PK 6+130).....	50
Figure V.7	Profil en long de l'oued avec les niveaux d'eau entre les 04 ponts pour un débit de 2484 m ³ /s.....	56
Figure V.8	Profil en long de l'oued avec les niveaux d'eau pour les 13.3 km de l'oued pour un débit de 2484 m ³ /s.....	56
Figure V.9	Section en travers au PK 8+800 de l'oued pour un débit de 2484 m ³ /s.	57
Figure V.10	Vue 3D de l'oued pour un débit de 2484 m ³ /s.....	57
Figure V.11	Vue 3D de l'oued au niveau du pont busée avec débordement sur la rive coté centre ville pour un débit de 2484 m ³ /s.....	58
Figure V.12	Section en travers ovale du pont busé	59
Figure V.13	Positionnement des digues en amont de la ville.....	62

Résumé :

La problématique des risques naturels et plus particulièrement du risque d'inondation est un sujet d'actualité en Algérie et dans le monde entier notamment au regard des dernières grandes crues catastrophiques. Dans ce contexte, ce travail vise l'étude de protection de la ville de Biskra contre les inondations.

Sur la base des données morpho-métriques et climatiques, une étude hydrologique a été engagée. En s'appuyant sur les données topographiques et hydrologiques, la simulation des écoulements avec le model Hec-Ras a été effectuée. L'analyse des résultats obtenus nous a permis de localiser les zones critiques et mettre en relief les points noirs. Pour la maîtrise des crues, nous sommes passés alors au diagnostic qui vise à relever les anomalies et les contraintes imposées sur site puis proposer quelques aménagements nécessaires contre les inondations

Mots clés : Inondation, bassin versant, Modèle hydrologique, Modèle HEC-HMS.

ملخص

تعد قضية المخاطر الطبيعية وخاصة مخاطر الفيضانات من قضايا الساعة في الجزائر وحول العالم ، لا سيما في ضوء آخر الفيضانات الكارثية الكبرى. في هذا السياق يهدف هذا العمل إلى دراسة حماية مدينة بسكرة من السيول.

على أساس البيانات المورفومترية والمناخية ، قمنا بدراسة هيدرولوجية. بناءً على البيانات طبوغرافية والهيدرولوجية ، تم إجراء محاكاة التدفق باستخدام نموذج Hec-Ras. سمح لنا تحليل النتائج التي تم الحصول عليها بتحديد المناطق الحرجة وإبراز البقع السوداء. للسيطرة على الفيضانات ، انتقلنا بعد ذلك إلى التشخيص الذي يهدف إلى تحديد العيوب والقيود المفروضة على الموقع ثم اقتراح بعض التحسينات اللازمة ضد الفيضانات.

كلمات مفتاحية: فيضانات، مستجمع مياه، النموذج الهيدرولوجي، نموذج HMS

Introduction générale

Introduction générale

Les inondations sont l'une des catastrophes naturelles les plus fréquentes. Le réchauffement climatique ainsi que l'activité humaine ont augmenté le risque de montée des eaux et leur impact. La dimension des inondations est extrêmement variable : de petites inondations locales à des catastrophes de grande échelle touchant plusieurs pays. Les inondations peuvent être la résultante de différents événements, des pluies fortes et abondantes aux tsunamis en passant par une rivière en crue. En fonction de la cause, l'inondation survient brutalement (dans le cas d'un tsunami par exemple) ou plus lentement, dans la plupart des cas lorsqu'une rivière est en crue. Les inondations surviennent généralement les bandes côtières où les zones à proximité d'une voie d'eau, même petite.

L'Algérie est un pays confronté aux phénomènes de crues et d'inondation qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour la développement économique et social.

Notre étude s'inscrit dans le cadre de la protection de la ville de Biskra contre les inondations créées par les crues exceptionnelles. Cette étude consiste d'abord à décrire toutes les caractéristiques de la zone d'étude avec quelques événements catastrophiques qui ont frappé la ville, ensuite, une étude hydrologique très détaillée qui résume les aspects morphologiques pluviométrique du bassin versant alimentant Oued Biskra, puis la recherche de débits de pointe avec lequel nous avons entamé la simulation d'une crue centennale en utilisant le code HEC-RAS. Nous avons pu localiser les zones à risque de débordement sur un tronçon de 11 km traversant la ville du nord au sud. Les résultats de simulation obtenus nous ont permis de choisir les variantes de protection adéquates correspondant à chaque zone constituant le tronçon.

Après un introduction générale présentant la problématique, ce mémoire est scindé en cinq chapitres. Le premier chapitre s'intéresse aux inondations et aux crues.

Le deuxième chapitre est consacré aux différents procédés de protection contre les inondations.

Le troisième chapitre présent donne des informations sur la région d'étude concernant la situation géographique et démographique, la géologie, le climat et les réseaux hydrographiques.

Le quatrième chapitre traite l'étude hydrologique qui englobe les caractéristiques hydro-morpho-métriques du bassin versant et l'étude fréquentielle des apports et des crues.

Le cinquième chapitre s'intéresse à l'étude de modélisation hydraulique des écoulements pour les différentes périodes de retour en utilisant le Logiciel HEC-RAS et à l'étude d'aménagement d'OUED SIDI ZERZOUR à l'intérieur de la ville de BISKRA.

Le mémoire est clôturé par une conclusion générale

CHAPITRE I :

Généralités sur les inondations

I.1 Introduction:

L'inondation est un phénomène naturel susceptible de provoquer des pertes de vie humaine, le déplacement de populations, d'avoir un impact sur la santé humaine, les biens et les réseaux. Elle peut également nuire à l'environnement et compromettre gravement

Le développement économique. Les inondations représentent la moitié des catastrophes naturelles mondiales en raison de leur fréquence.

I.2 Inondation :

Les inondations sont le résultat du débordement d'une rivière dans sa plaine inondable (MVCA et al. 2006). C'est un phénomène naturel produit par la présence d'un excédent d'eau dans le système. En Algérie, elles résultent plus fréquemment lors des crues exceptionnelles. Par ailleurs, d'autres événements météorologiques peuvent amener suffisamment d'eau pour causer une inondation. La succession d'événements pluviaux sur quelques jours peut également amener un surplus d'eau qui excède les niveaux de captage du bassin versant. En effet, un bassin versant permet seulement à une quantité maximale fixe d'eau de s'infiltrer dans les sols et aquifères. Les débordements débutent quand le sol est sursaturé et les pluies continuent de façon à dépasser sa capacité d'infiltration. (Anctil, 2015)

I.3 Types d'inondations:

On distingue plusieurs types d'inondations:

- Les inondations par débordement direct, le cours d'eau sort de son lit mineur (Figure I.1) pour occuper son lit majeur (Figure I.2). Le niveau de l'eau augmente et la rivière déborde alors de sa situation habituelle. Le cours d'eau peut alors envahir des vallées entières.



Figure I.1: Ecoulement d'une rivière dans son lit mineur



Figure I.2: Ecoulement d'une rivière dans son lit majeur

Les inondations par débordement indirect, les eaux remontent par effet de siphon à travers les nappes alluviales, ce sont des nappes souterraines, dans les réseaux d'assainissement ou encore des points bas localisés. Cette remontée empêche toute infiltration de l'eau dans le sol, ce qui provoque des inondations (Figure I.3).



Figure I.3: Affleurement de la nappe et inondation des terrains bas

- Les inondations par ruissellement, ce sont les inondations qui peuvent se produire principalement en zone urbanisée lorsque l'imperméabilisation des sols c'est-à-dire la capacité du sol à faire passer l'eau et la conception de la ville font obstacle au bon écoulement des "grosses" pluies (dues par exemple aux orages) ou bien parce que la capacité des systèmes de drainage ou d'évacuation des sols est insuffisante.

Pour la montée lente des eaux en région de plaine ou de nappe affleurant, on distingue:

Les inondations de plaine. La rivière sort de son lit lentement et peut inonder la plaine pendant une période relativement longue.

Les inondations par remontée de nappe. Lorsque plusieurs années humides se succèdent, le niveau d'étiage de la nappe peut devenir plus haut chaque année ; la recharge naturelle

annuelle de la nappe par les pluies est plus importante que sa vidange vers les exutoires naturels.

Le niveau de la nappe peut alors atteindre la surface du sol. La zone non saturée est alors totalement envahie par l'eau lors de la montée du niveau de la nappe : c'est l'inondation par remontée de nappe. Ce phénomène très lent peut durer plusieurs mois.

La formation rapide de crues torrentielles consécutives à des averses violentes

Les crues des rivières torrentielles et des torrents. Lorsque des précipitations intenses tombent sur un bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, entraînant des crues brutales et violentes dans les torrents et les rivières torrentielles. Le lit du cours d'eau est en général rapidement colmaté par des barrages que peuvent former le dépôt de sédiments et des bois morts. Lorsqu'ils cèdent, ces barrages libèrent une énorme vague, qui peut être mortelle.

Pour le ruissellement urbain et agricole

Le ruissellement concentré organisé en rigoles ou ravines parallèles le long de la plus grande pente. Il commence à éroder et peut marquer temporairement sa trace sur le versant.

L'imperméabilisation du sol (bâtiments, voiries, parkings, etc.) limite l'infiltration des pluies et accentue le ruissellement, ce qui occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales.

Le ruissellement diffus dont l'épaisseur est faible et dont les filets d'eau buttent et se divisent sur le moindre obstacle.

Le ruissellement en nappe, plutôt fréquent sur les pentes faibles, occupe toute la surface du versant.

- **La submersion marine**

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer lors de conditions météorologiques et océaniques défavorables (basses pressions atmosphériques et fort vent d'afflux agissant, pour les mers à marée, lors d'une pleine mer) ; elles peuvent durer de quelques heures à plusieurs jours.

Trois modes de submersion marine sont distingués:

Submersion par débordement, lorsque le niveau marin est supérieur à la cote de crête des ouvrages ou du terrain naturel,

Submersion par franchissements de paquets de mer liés aux vagues, lorsque, après déferlement de la houle, les paquets de mer dépassent la cote de crête des ouvrages ou du terrain naturel,

Submersion par rupture du système de protection, lorsque les terrains situés en arrière sont en dessous du niveau marin : défaillance d'un ouvrage de protection ou formation de brèche

dans un cordon naturel (cf. Illustration 29), suite à l'attaque de la houle (énergie libérée lors du déferlement), au mauvais entretien

D'un ouvrage, à une érosion chronique intensive, au phénomène de surverse, à un déséquilibre sédimentaire du cordon naturel, etc.

Les tempêtes provoquent des trains de houle qui, s'ils sont dirigés face aux côtes, peuvent déferler et envahir le littoral. Ces fortes vagues touchant la côte sont accentuées à marée haute particulièrement quand le coefficient de marée est plus haut que la moyenne, c'est à dire quand il y a surcote. Les surcotes et décotes sont les différences entre la marée prédite et la hauteur d'eau observée. Plus la dépression accompagnant la tempête est creuse plus la surcote sera accentuée. Selon les prévisions, le changement climatique à l'origine de la hausse du niveau de la mer dans les décennies à venir, amplifiera ce phénomène.

I.4 Causes et facteurs aggravants le phénomène d'inondation:

Bien que la cause fondamentale de la plupart des inondations soit les fortes pluies, elles ne sont pas toutes dues aux phénomènes exceptionnels. Des facteurs hors les conditions climatiques agissent soit pour aggraver les effets d'une crue, soit pour créer eux mêmes des phénomènes hydrauliques dans les surfaces d'eau, tels que la présence de débris et des troncs d'arbres qui réduisent la capacité du lit des oueds alors les risques des inondations sont favorisées par l'imperméabilisation des sols, l'artificialisation des cours d'eau. Ainsi L'augmentation du volume et de la vitesse de ruissellement des eaux, la saturation des réseaux, la remontée de nappes sont autant de facteurs qui provoquent des catastrophes en milieu urbain.

D'une manière générale, les causes des inondations sont classées en trois types (I. Hafiane et I. Benzaid ,2015):

Inondations liées aux situations météorologiques remarquables se traduisant par une forte pluviosité (pluies importantes et orages violents). Certaines inondations sont liées à des circonstances météorologiques particulières, comme les cyclones ou les orages violents. Elles peuvent également être dues à l'effet simultané de plusieurs phénomènes : c'est souvent le cas des submersions marines provoquées par la combinaison d'une forte houle, de coefficients de marée élevés et parfois même d'une onde de tempête et d'une crue estuarienne□

Inondations résultant des activités humaines : défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux de pluie, l'encombrement des oueds par les déchets, les décombres et les troncs d'arbre,...etc. Toutefois, l'activité humaine aggrave le risque d'inondation. Ainsi, en zone inondable, le développement économique constitue l'un des principaux facteurs aggravants, par augmentation de la vulnérabilité. De plus, les aménagements (activités, voiries, remembrement agricole, déforestation...) modifient les conditions d'écoulement (imperméabilisation et

ruissellement), tout en diminuant les champs d'expansion des crues. Sur les cours d'eau, les aménagements (pont, enrochements) et le défaut chronique d'entretien de la part des riverains, aggravent le risque. L'occupation des zones inondables par des bâtiments et matériaux sensibles à l'eau peut aussi générer, en cas de crue, un transport et un dépôt de produits indésirables, susceptibles de former des barrages, appelés embâcles, voire des pollutions accidentelles. Leur rupture peut engendrer une inondation brutale des zones situées en aval.

Inondations produites dans des régions à topographie défavorable ; comme le cas des villes traversées par des oueds (El Bayadh, Bordj Bou Arreridj, Sidi Bel Abbas, etc.),

Ou situées au pied d'une montagne (Ain Deffa, Batna et Médéa). Ces agglomérations à forte concentration de populations et sous l'effet d'une urbanisation anarchique sont exposées au risque d'inondation aussi légère qu'elle soit.

Ces inondations selon les caractéristiques des crues, leurs durées et leurs étendues sont de deux types :

Inondations engendrées par crues torrentielles, elles affectent les petits bassins versants de quelque dizaines de km² et sont le plus souvent liées à des chutes de pluies isolées et localement intenses issues de phénomènes de convection sous forme de tempêtes orageuses se produisant en automne et en été. Les crues de ce type sont particulièrement dangereuses en raison de leur soudaineté et leur rapidité.

Inondation des grands bassins versants, elles résultent des précipitations importantes généralisées sur des grands étendues et caractérisées par leur quantité et leur longue durée qui peut atteindre 10 à 15 jours. Ces crues sont massives, lentes et à évolution facilement prévisible sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents avals plus courts et plus rapides.

I. 5 Problématique des inondations en Algérie

Plusieurs régions du pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes naturelles dont les effets sont souvent intensifiés par d'autres facteurs qui aggravent les effets des crues, ces événements dramatiques engendrant souvent des bilans lourds de pertes de vies humaines et de dégâts matériels ne sont pas toujours liées à des situations météorologiques exceptionnelles et surviennent dans beaucoup de régions suite à des épisodes pluvieux saisonniers et n'ayant rien d'exceptionnel.

L'inventaire des inondations catastrophiques à travers le pays établi pour les 30 dernières années montre qu'il n'existe pas de régions prémunies contre ce risque et que ces événements sont imprévisibles dans le temps et dans l'espace.

Ces inondations selon les caractéristiques des crues, leurs durées et leurs étendues sont de deux types :

✚ Inondations engendrées par crues torrentielles (crues éclairées), elles affectent les petits bassins versants de quelque dizaines de km² et sont le plus souvent liées à des chutes de pluies isolées et localement intenses issues de phénomènes de convection sous forme de tempêtes orageuses se produisant en automne et en été. Les crues de ce type sont particulièrement dangereuses en raison de leur soudaineté et leur rapidité.

✚ Inondation des grands bassins versants, elles résultent des précipitations importantes généralisées sur des grands étendues et caractérisées par leur quantité et leur longue durée qui peut atteindre 10 à 15 jours. Ces crues sont massives, lentes et à évolution facilement prévisible sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents avals plus courts et plus rapides.

On présente dans ce qui suit, un bref aperçu de quelques inondations survenues à Biskra en Algérie:

01 Septembre 1989 :

Fortes chutes de pluies à la wilaya de BISKRA accompagnées de grêles et d'un vent d'une rare violence provoquant le débordement des oueds El Arab, El Mellah et El Kheddra.

Dégâts :

02 morts et 35 blessés.

400 palmiers, des serres et de cultures de maraîchages détruites.

29 Septembre au 02 Octobre 1994 :

Inondations catastrophiques dans plusieurs régions du pays (Ghardaia, Laghouat, Biskra, Tissemsilt, Sidi

Bel Abbés).

Dégâts:

- Ghardaïa : Dégâts matériels évalués à 270 millions DA.
- Laghouat : Dégâts matériels évalués à 05 millions DA dans le secteur de l'hydraulique.
- Biskra : 08 morts, 22 familles sinistrées et routes endommagées.
- Tissemsilt : 09 morts
- Sidi Bel Abbés : 02 morts.



Figure I.4: Inondations de Ghardaïa (10/2008)

En Algérie, On note les inondations violentes de BAB EL OUED (Alger) Les 10 et 11 novembre 2001:

Dégâts :

- Personnes décédées : 733 ou plus de 800
- Personnes blessées : 311
- 30 000 personnes sans-abris
- D'importants dégâts matériels.



Figure I.5: Inondations de **BAB EL OUED** (10/2008)

I.6 Définition d'une crue:

Une crue, phénomène hydrologique de base, est l'augmentation plus ou moins brutale de la quantité d'eau (le débit) qui s'écoule dans la rivière et par conséquent de la hauteur d'un cours d'eau. Le débit d'un cours d'eau en un point donné est la quantité d'eau (en m³) passant en ce point par seconde ; il s'exprime en m³/s. Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module ; on parle alors de crue critique, laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines. (Salomon, 1997).

I.7- Les différents types de crues:

Sur le bassin versant, les trois principaux types de crues qui peuvent avoir lieu sont:

- Les crues brutales : soudaines ou encore qualifiées d'éclair sont dues à des pluies orageuses très violentes et localisées. Elles sont caractérisées par une montée des eaux très rapide.
- Les crues torrentielles : ces phénomènes se rencontrent majoritairement en zone montagneuse ou méditerranéenne, mais également sur des petits bassins (gorges, vallées étroites...) à forte pente et forte capacité de ruissellement, provoquant une concentration rapide des eaux de pluie dans le cours d'eau.
- Les crues de plaine: le cours d'eau sort de son lit mineur lentement et peut inonder la plaine pendant une période relativement longue. Les hauteurs d'eau atteintes peuvent être très importantes, le cours d'eau allant occuper son lit moyen et éventuellement son lit majeur. Elles se

produisent essentiellement sur le Lot, où les débits peuvent dépasser 3000 m³/s voire 4000 m³/s pour les crues centennales dans la partie moyenne et aval du bassin.

I.8 Conclusion

Le processus d'inondation est relativement commun dans certaines régions du monde. Il fait partie des cycles naturels qui sont aggravés par les changements climatiques. Les inondations gagnent de l'intensité et réussissent à franchir la crue de 100 ans à plusieurs reprises. Par la suite, quelques semaines ou mois sont requis pour réhabiliter la région affectée. Quand ces événements extrêmes se produisent en région urbaine, les dommages sont facilement doublés. Alors les grandes villes doivent trouver un moyen de gérer le surplus des eaux d'inondations qui deviennent progressivement plus communes. Les inondations entraînent de nombreuses conséquences dont la contamination des sources d'eau en plus de l'érosion et d'un risque plus élevé de glissements de terrain. Les espèces vivantes, soit animales et humaines, doivent quitter leurs habitats, et ce de façon semi- permanente.

Chapitre II

Procédés de protection contre les inondations

II.1. Introduction

La prévention des risques et la protection des populations nécessitent que soient prises des mesures collectives et des mesures individuelles:

La protection individuelle:

- interdire la construction dans les zones les plus exposées ou qui présentent un intérêt pour le laminage des crues
- réglementer la construction dans les zones modérément inondables, en fixant par exemple une cote de plancher à respecter au-dessus du niveau de la crue de projet.

La protection collective:

- aménagement du cours d'eau
- aménagement du BV

La lutte contre les inondations passe tout d'abord par une réflexion et une politique de gestion à l'échelle des bassins versants. L'objectif est de retenir l'eau le plus en amont et de freiner le ruissellement pour retarder l'écoulement vers la rivière et favoriser l'infiltration vers les nappes souterraines. Dans ce chapitre, on va présenter certaines techniques de protection.

II.2. Rééquilibrage du cours d'eau

Puisque la vitesse d'écoulement des eaux d'une rivière est directement proportionnelle à sa forme et la position de l'eau dans le chenal, une rivière droite transportera plus vite l'eau qu'une rivière courbée.

L'écoulement se fait en ligne droite dans un circuit non interrompu ce qui permet à l'eau d'accumuler de la vitesse et d'évacuer la région plus rapidement. D'autres projets de même nature incluent l'élargissement des cours d'eau et l'évacuation des débris afin d'éliminer toute forme de résistance à l'écoulement.(ECCC, 2013)

Le recalibrage est une intervention sur une rivière consistant à reprendre en totalité le lit et les berges du cours d'eau dans l'objectif prioritaire d'augmenter la capacité hydraulique du tronçon.

Cette opération a des conséquences écologiques locales néfastes (suppression de la végétation des berges, perturbations géomorphologiques, destruction de l'habitat piscicole, etc.). Elle conduit également à une accélération des flux et augmente les risques de crues en aval.

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.

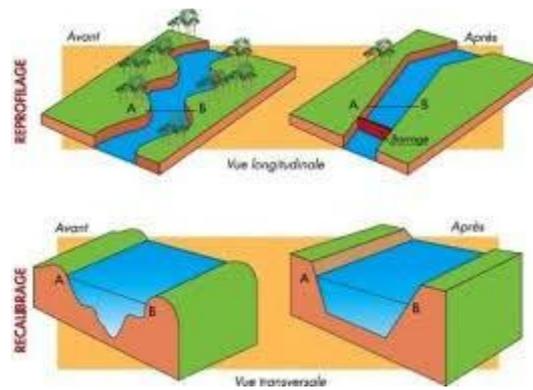


Figure II.1: Rééquilibrage d'un cours d'eau

II-2-1. Les conséquences d'un rééquilibrage

• Sur les débits de pointe

Un rééquilibrage a forcément pour conséquence de diminuer localement la fréquence des submersions et donc de diminuer l'effet de laminage des crues par épandage dans le lit majeur.

• Morphologiques pour le profil en long

Les conséquences sur le profil en long d'un rééquilibrage avec risberme sont analogues.

Si la risberme est fréquemment inondée, elle est l'objet de dépôts fins ou grossiers et se surélève. Lorsque des vieux seuils sont supprimés, une érosion régressive s'en suit ainsi qu'un exhaussement aval.

• Morphologiques pour les berges

Un rééquilibrage s'accompagne souvent, comme on l'a vu, d'un enlèvement important de la végétation, ce qui accroît la sensibilité des berges à l'érosion.

De plus, un rééquilibrage entraîne une augmentation de la vitesse de l'eau. Une conséquence directe est l'accroissement de l'érosion en rive concave. Il faut aussi noter que l'augmentation des vitesses infléchit vers l'aval le courant dans les coudes. Comme on trouve une autre conséquence est l'augmentation de la rapidité de la décrue.

La stabilité au glissement des berges est donc affectée. Les solutions sont :

- L'adoption de pentes de berges suffisamment douces pour améliorer la tenue au glissement.
- La pose de matériaux plus résistants dans les coudes les plus prononcés.
- Et chaque fois qu'il est possible le maintien des arbres ou au moins des souches et le maintien des seuils existants.

II.2. 2. Les inconvénients du rééquilibrage

Parmi les inconvénients de cette technique on trouve :

- Aggravation des inondations au débouché dans un tronçon aval non rééquilibré.

- Evacuation accélérée : moindre recharge des nappes en crue.
- Déconnexion des annexes fluviales, perturbation du cycle de reproduction de certaines espèces.
- Perturbation du transport solide : érosions et/ou dépôts.
- Augmentation des contraintes hydrauliques en crue.

II.2. 3 Interventions après rééquilibrage

Notons que le rééquilibrage 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;
- La suppression de la ripisylve (systématique sur au moins l'une des deux berges);
- L'endiguement « rustique » (merlon réalisé avec les déblais du rééquilibrage).

II.3. Barrage écrêteur

Le barrage écrêteur a pour but l'écrêtement des crues, et parfois, a vocation multiple, son principe de fonctionnement est de stocker temporairement un certain volume dans le lit du cours d'eau à l'amont pour protéger l'aval de façon à diminuer le débit de crue en aval (figure II.2). Elle fait appel à une solidarité à l'échelle du bassin versant entre amont/aval et secteurs urbains/ruraux selon le schéma suivant (figure II.3) :

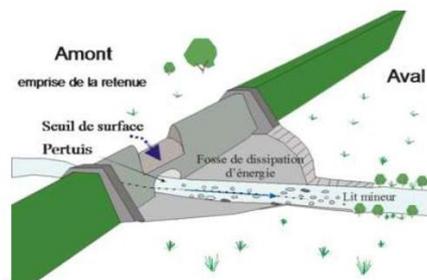


Figure II.2: Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue

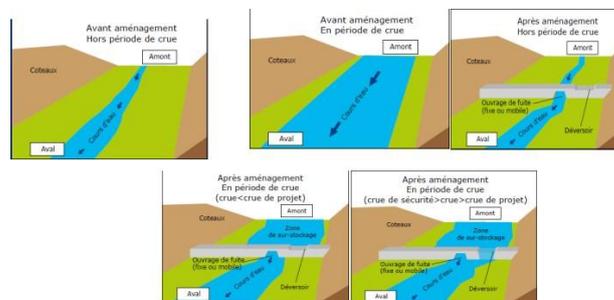


Figure II.3: Fonctionnement de barrage écrêteur

II.4. Correction torrentielle

C'est une technique qui a pour objectif de limiter les vitesses des écoulements dans les cours d'eau ayant des régimes torrentiels. Un torrent est corrigé par la construction d'un nombre de digues successives transversales sur les lits des canaux naturels (Abdeddaim, 2008).



Figure II.4 : Fonctions des barrages de correction torrentielle

Le nombre des digues à construire est donné selon la formule:

$$N = L.(P-I)/H \dots\dots\dots (II-1)$$

$$N = L.(P-I)/H \text{ (II-1)}$$

N : Nombre de Dignes

L : Longueur du ravin (m).

P : Pente moyenne du lit.

H : Hauteur moyenne des digues (1 à 4 mètres).

I : Pente de compensation (pente inter digue, elle est inférieure à la pente initiale du lit de ravin) $i \approx 0.01$

$$I = \frac{f.b.(d-p)}{0,076.0,0625^2 c^2 R^2} \dots\dots\dots (II-2)$$

f : Coefficient de frottement des matériaux.

b : Longueur du caillou (m).

d : Densité du caillou.

P : Densité de l'eau boueuse (varie de 1 à 1,8). C : Coefficient dépendant des parois de la digue.

R : Rayon hydraulique moyen du ravin(m)

II.5. Les digues de protection contre les inondations

Les digues de protection contre les inondations sont des ouvrages dont au moins une partie est construite en élévation au-dessus du niveau du terrain naturel et destinés à contenir épisodiquement un flux d'eau afin de protéger des zones naturellement inondables.

Les digues de protection contre les inondations constituent le deuxième grand type de digues. On trouve ces digues essentiellement le long des cours d'eau, parfois positionnées

directement en contact avec la berge, ou éloignées de plusieurs mètres, ou plus (quelques centaines de mètres), de celle-ci (Figure II.5)

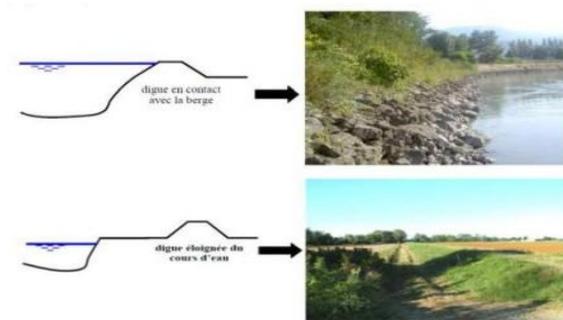


Figure II-5 : Positions de la digue par rapport aux cours d'eau

Il s'agit d'aménagement longitudinal le long des berges qui sert à protéger de l'inondation des zones où sont présents des enjeux importants (habitations, zones commerciales industriels... etc.) (Figure II.6)



Figure II.6: Ouvrages de protection des inondations

II.6. Canal de dérivation

Un canal de dérivation est une option pour retirer l'eau du système de la rivière. Une rivière artificielle est alors creusée pour contourner la ville avec un barrage à l'entrée et à la sortie du canal afin de contrôler le débit lorsqu'il se fait remplir. Il peut alors demeurer vide des années de suite pendant une sécheresse et être rempli lorsqu'une inondation se produit. Cette solution permet d'alléger le débit de la rivière qui traverse la ville sans devoir retenir des eaux supplémentaires dans une autre partie du bassin versant. (Anctil, 2015). Par contre, cette solution est complètement dépendante de la topographie et ne peut pas être une solution en elle-même (Komarnicki, 2013, 5 octobre).



Figure II.7: Canal de dérivation

II.7. Les épis

Un épi en rivière est ouvrage transversal au courant, enraciné dans la berge, ne barrant qu'une partie du lit et au moins partiellement submersible. Les épis sont utilisés pour protéger les berges ou pour faciliter la navigation. Dans le domaine maritime, des épis peuvent être utilisés pour protéger des plages (Gérared, 2012)



Figure II.8 : Implantation des épis

II.8. Banquette

La technique des banquettes est de double objectif, la lutte contre l'érosion et la réduction de ruissellement en favorisant l'infiltration due à la diminution de pente. Leurs effets sont considérables dans la défense et la restauration de sol.

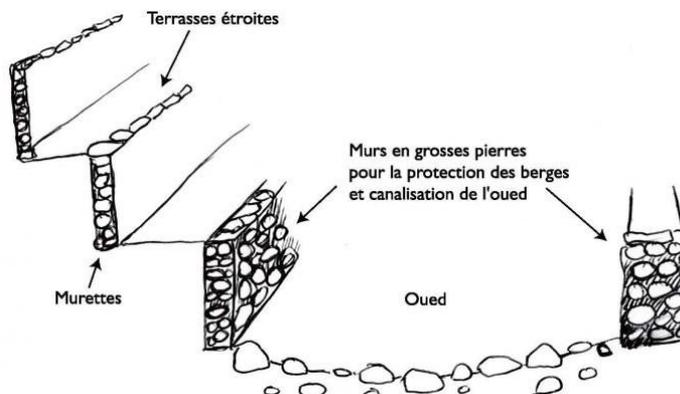


Figure 9 : Technique de banquettes

II.9. Les protections classiques:

Face au problème des crues, l'homme n'est pas démuni et il faut souligner que si le cout moyen des inondations ne cesse d'augmenter, à l'inverse, le nombre des victims a considérablement diminué. L'homme dispose encore de la solution d'adaptation (solution ancienne) qui est la plus simple, et de loin la plus efficace, largement adoptée par nos ancêtres. Bien entendu les hommes ont de tout temps cherché à se protéger contre ces calamités et la meilleure protection consistait à vivre dans des lieux réputés à l'abri des inondations ; hauts de versants, collines, etc. Le risque d'inondation était éliminé par l'absence de construction en zone inondable, ou accepté en connaissance de cause.

II.10. L'entretien des lits:

Au cours des siècles précédents les cours d'eau non domaniaux étaient exploités; pêche professionnelle, utilisation de l'énergie (moulins et forages), produits de curage et bois morts. Leur entretien considéré comme essentiel était assuré par les riverains. Puis le déclin économique de ces activités jugées trop "rurales" et "secondaires" a progressivement amené un désintérêt. Les rives des cours d'eau furent laissées à elles-mêmes, aggravant de décennies par les collectivités locales dans la mesure de leurs budgets et des priorités considérées.

Les atteintes causées par les inondations confirment l'intérêt d'un entretien régulier, où les embâcles risquent de se former en cas de crue au niveau des ouvrages de franchissement (telles les ponts), aggravant l'inondation des terres riveraines et détériorant les ouvrages (pont, voies ferrées...). L'entretien des cours d'eau englobe l'enlèvement de la végétation présente dans le lit mineur et surtout l'enlèvement des embâcles.

Il n'est pas cependant absolument sûr qu'un entretien parfait du seul cours d'eau soit la réponse la plus appropriée pour réduire les dégâts des inondations.

II.11. Reboisement et techniques végétales:

Les forêts ont un rôle considérable dans la conservation de sol et des eaux. Le volume intercepté de pluies et non négligeable et contribue dans le ralentissement de la montée de crue et en opposé on doit conserver les forêts existants contre le déboisement (un fort accroissement de ruissellement a été observé après des coupes sélectives des forêts. Le taux d'infiltration sous un couvert végétal naturel non modifié est généralement élevé et le ruissellement est un phénomène relativement rare sauf dans le cas de pluie exceptionnellement violente (Chachoua, 2010). Au plan de la tenue des berges, un arbre peut jouer différents rôles selon, sa taille, sa position et son espèce citons ici le platane qui tapisse la berge et la protège de l'érosion.

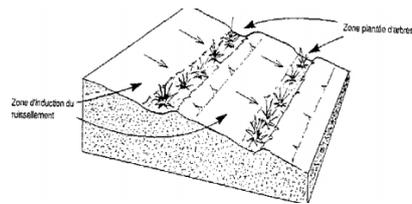


Figure II.10 : Reboisement

En comparaison avec les techniques habituelles de l'ingénierie civile, on peut accorder aux techniques végétales un certain nombre d'avantages:

- Régulation du cycle hydrologique (favorisation de l'infiltration et écrêtement des pointes des crues).
- Excellente intégration paysagère des ouvrages de stabilisation dans le milieu.
- Absence de perturbation dans les échanges entre le lit mineur et la nappe phréatique, à plus grande échelle entre le cours d'eau et ses zones humides et milieux annexes.
- Participation à l'autoépuration du cours d'eau par absorption d'éléments nutritifs ou polluants et filtration d'apports sédimentaires. Ce filtre se réalise essentiellement par les essences herbacées et buissonnantes, qui par la densité de leurs tiges aériennes, piègent les particules en transport dans les eaux.
- Résistance souple opposée aux contraintes hydrauliques, permettant de mieux dissiper l'énergie. (Douglas, 2001)

II.12. Les enrochements:

Ils sont posés ou fixés le long des berges particulièrement soumises à l'érosion. Cette méthode est couramment utilisée dans les zones urbanisées et offre un bon niveau de protection.

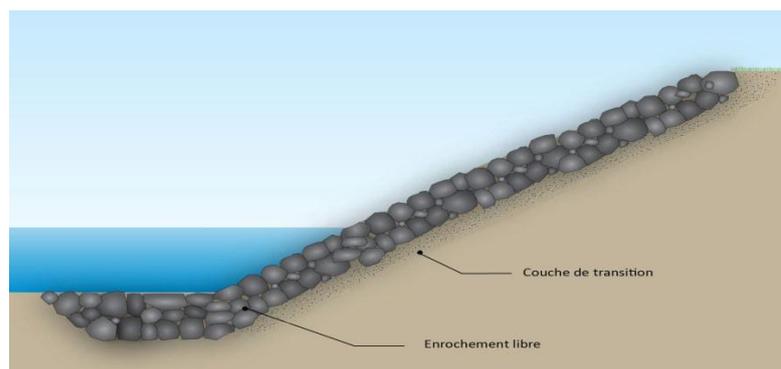


Figure II.11: Enrochement d'une berge

II.13. Techniques mécaniques:

II.13.1. Les blocs de béton ou le béton armé:

La protection des berges quelque soit en béton armé ou en blocks de béton (Rouabah wafa, 2015) est caractérisé par :

- Contrainte structurelle à cause d'accrochement de manière simple ($E=10\text{cm}$)

- Mauvaise adaptabilité à la partie où la vitesse d'écoulement est rapide
- Relativement faible rugosité de surface et faible effet de diminution de vitesse d'écoulement

Les différents avantages et inconvénient des blocks de béton sont :

- Nécessité de réaliser la fondation en béton,
- Mauvaise adaptabilité à la partie où la vitesse d'écoulement et la pente des berges sont rapides
- Faible durabilité à l'érosion et à l'effritement



Figure II.12: Protection avec des blocs de béton creux

Les différents avantages et inconvénient du béton armé sont :

- Meilleures caractéristiques hydrauliques de l'écoulement.
- Les matériaux de construction sont disponibles.
- La forme étroite est adaptée à la ville.
- Une durée de vie importante.
- En cas d'obstruction, une facilité de nettoyage.
- Assurance d'une propreté relative de ne pas être utilisé comme une décharge.
- Un coût de génie civil élevé.
- Risque d'être considéré comme une décharge par les riverains. (Daewoo Engineering, 2012).
- Simple à réaliser.



Figure II.13: Protection des berges en béton armé

II.13.2. Maçonnerie ou enrochement liaisonnée:

Soutènement très simple, il consiste à "disposer" des roches en général assez grosses pour former un talus, selon un angle plus ou moins prononcé. Une fois la mise en place effectuée, la masse des roches assure la stabilité de l'ensemble (Daewoo Engeniering, 2012).

Les principales caractéristiques des murs en maçonneries sont :

- Bonne capacité hydraulique grâce à l'intégration des roches entre elle avec une liaison en ciment
- Excellente adaptabilité à la partie où la vitesse d'écoulement est rapide
- Forte rugosité de surface et excellente flexibilité Les différents avantages et inconvénient sont:
- Courte durée d'exécution grâce à la simplicité des travaux et la réalisation indépendante.
- Facilité de la garde de la forme lors de la conception du mur.
- Moins couteux s'il y a disponibilité des matériaux (zone d'emprise près de la zone d'étude).



Figure II.14 : aménagement avec maçonnerie a gauche
et a droite en enrochement liaisonnée

II.13.3. Le gabion:

Les gabions sont des structures parallélépipédiques formées de cages grillagées en fil de fer et emplies de Cailloux ou de galets. La forme des murs est en escalier des deux côtés de l'axe de la rive. Il est ancré de 50 cm environ au sol. Des gabions en semelles sont placés entre le terrain de fondation et les gabions afin de mieux répartir les charges.

Les principaux avantages du gabion:

- Les gabions coutent peu surtout si les pierres sont disponibles.
- Ils permettent de réduire la vitesse des courants grâce à leurs perméabilités.
- Parfaite intégration à l'environnement.
- La rigidité de chaque gabion, ainsi que le mode de solidarisations des gabions mis en place, confèrent à l'ensemble un caractère monolithique.

Les principaux Inconvénients du gabion :

- Durée de l'ouvrage relativement courte.
- Curage de l'ouvrage très difficile du fait de ses aspérités.

- l'amont et l'aval sont les points les plus sensibles de la ligne d'enrochement, si l'eau arrive à passer d'arrière les blocs amont tout l'ouvrage est menacé par l'érosion et peut assez rapidement s'effondrer.
- Il demande une main d'œuvres qualifiées pour sa bonne exécution.



Figure II.15: Exemples de réalisation d'un mur en gabion

II-14-conclusion:

En conclusion, le problème de protection contre les inondations ne possède pas de solution unique, car ce sont les conditions locales qui commandent. On peut dire qu'il y a autant de problèmes différents à résoudre que de zones inondables. De plus, la réalisation de telle ou telle protection nécessite la réunion d'un certain nombre de conditions qui la plupart du temps limite les possibilités et les résultats. Il faut donc rechercher toujours le type de protection le mieux adapté à la zone à protéger en prenant les marges de sécurité suffisantes, car les méthodes d'études ne sont pas toujours précises.

Chapitre III

Présentation de la région d'étude

III.1. 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 (ZAZI; 2008), qui peuvent se répartir en (04) classes:

- Les données relatives à l'agglomération;
- Les données naturelles du site;
- Les données relatives au développement futur de l'agglomération;
- Les données propres des Oueds.

III.2. Situation géographique:

Biskra est une commune du Nord – Est du Sahara Algérien .Chef-lieu de la Wilaya de Biskra est située à 480 KM environ au Sud-est d'Alger .La ville a une superficie de 127.55 Km² (12755 hectares), sa population est d'environ 266 763 habitants. Biskra se trouve à une altitude de 124 m, latitude est de 34,48° de latitude nord, à une longitude de 5,73°Est et à 87 m d'altitude. (Figure III.1) (GUEHILIZ, 2016)

La ville de Biskra couvre une superficie globale de 127.77 KM². Cette wilaya est limitée (Figure III.2) :

- Au nord par la wilaya de Batna et la wilaya de M'sila;
- À l'est par la wilaya de Khenchla;
- À l'ouest par la wilaya de Djelfa;
- Au sud par la wilaya d' El Oued.



Figure III.1 : Carte de situation géographique de la ville de Biskra



Figure III.2 : Les frontières de la Wilaya de Biskra

III.3. Situation Topographie

La wilaya de Biskra présente un relief diversifié avec, au nord des massifs montagneux qui cèdent rapidement place, un peu plus, au Sud aux plaines puis aux vastes étendues steppiques et sahariennes parsemées d'oasis verdoyantes. Elle est située une altitude de 120 m au-dessus du niveau de la mer, ce qui fait d'elle une des villes les plus basses d'Algérie. C'est ce qui fait la particularité de sa situation hydrologique.

III.4. Géologie du site:

La région des Biskra est une zone de transition structurale et sédimentaire. Les bordures sont constituées par des calcaires et de marne des crétacés avec des interactions gypseuses. En générale ces dernières formant la chaîne montagneuse de l'atlas saharien. Les formations géologiques existantes ont été effectuées de mouvements tectoniques suivis de phénomènes d'érosion suffisamment actifs pour engendrer des lacunes locales (Sebkha) et des plissements (plissement de Djebel Boughazal). En effet, le sel est le caractère essentiel dominant de ces formations) (Figure III.3).

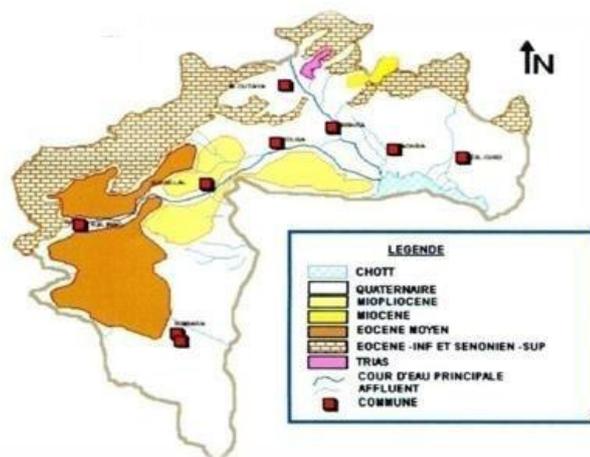


Figure III.3: Carte géologique de la Wilaya de Biskra (GUEHILIZ, 2016)

III.5. Inondations dans la ville de Biskra:

La ville de Biskra a connu plusieurs inondations, d'importance très variable. Parmi les plus forts écoulements, nous signalerons celui d'Avril 1949 qui causa des dégâts sérieux aux habitants de la rive droite de l'oued. La crue, dont le débit a été estimé à 1000 m³/s environ, a une période de retour de 10.000 ans (Rapport Final d'étude de la stratégie nationale des inondations protection civile Biskra), elle a écoulé pendant trois jours sans interruption, et inondé tous les quartiers de la ville de Biskra situés sur les rives de l'oued.

III.6 .Urbanisation et population:

La population totale du bassin est estimée à 348747 habitants, à l'an 2019, en se basant sur l'année de référence ou RGPH (Recensement Général de Population et d'Habitats) de l'année 2019, avec un taux d'accroissement démographique de l'ordre de 2.05 % selon les indications de la direction de planification et d'aménagement du territoire DPAT. L'estimation de la population future dans la ville de Biskra, suit un modèle exponentiel défini par la relation suivante :

$$P_n = P_o (1+T)^n$$

D'où :

P_n : La population future après n années. P_o : La population actuelle.

T : Le taux d'accroissement démographique.

n : Nombre d'années séparant l'année de référence de l'année considérée.

Les résultats des estimations de la population à différents horizon sont reportés dans le *tableau II.1 (ANRH (BISKRA))*.

Tableau III.1: Estimation de la population pour différents horizons de calcul

<i>Horizon</i>	<i>1998</i>	<i>2000</i>	<i>2005</i>	<i>2010</i>	<i>2015</i>	<i>2020</i>
<i>Estimation</i>	238140	252650	292890	339540	393610	456310

III.7 Description du réseau d'assainissement:

La ville de Biskra est dotée en effet, d'un réseau d'assainissement relevant en totalité du système unitaire, où l'ensemble des eaux usées et pluviales sont évacuées en commun, un réseau vétuste et insuffisant qui ne couvre pas la totalité du périmètre urbain. On relève l'absence quasi-totale de réseau d'assainissement dans certains quartiers (El Alia, vieux Biskra, Sidi Ghezal....) où le recours aux fosses sceptiques et rejets en pleine nature constituent une atteinte à la santé publique. Le réseau comprend six (06) collecteurs principaux en béton armé.

- Collecteur n° 01(Sidi Ghezal) : zone Ouest et Sud-ouest de Biskra, rejet vers oued Z'mor
- Collection n°02(centre ville) : Zone centre et sud ouest, rejet verZ'mor
- Collection n°03(centre ville) : zone Sud du centre ville, rejet vers Z'mor

- Collecteur n°04(centre ville) : Centre ville, rejet vers l'oued Biskra, à la rive droite de l'oued
- Collecteur n°05(zone Sud Ouest) : zone de Sidi Ghazel et la zone basse de la zone industrielle vers le rejet de Sidi Ghazel
- Collecteur n° 06 : zone d'El Alia, rejet vers la rive gauche de l'oued Biskra

La longueur totale du réseau est de 300.427Km, les formes des collecteurs rencontrées sont : la forme mixte(ramifié et maillé).

III.8. Description du réseau en eau potable:

III.8.1. Ressources d'approvisionnement

En matière d'approvisionnement en eau potable, la dotation moyenne à travers la région de Biskra est fixée par la DHW de Biskra à 360 litres par jour et par habitant, les besoins en eau vont s'augmenter donc à 45,82 millions de m³ pour l'année 2010. Cependant, le volume réellement produit pour couvrir ces besoins en eau domestiques est de l'ordre de 37,03 millions de m³ par an, soit un taux de satisfaction de près de 80 %.

a)-Approvisionnement par les forages :

La nappe alluviale de l'Oued Biskra est exploitée par six (06) forages:

- 2 forages alimentant en eau potable la ville de Biskra, fournissant annuellement 4.959.200 m³ soit un débit fictif continu de 157 l/s F1(x=778.15km, y=181.25km) et F2(x=780.05km, y=180.8km);
- 3 forages en travers de l'oued Biskra F1(x=778.085 km, y=180.69km) ; F2(x =778.21km, y=180.7km)et F3 (x=778.2km, y =180.95km);
- 1 forage situé sur la rive gauche, dans le prolongement des forages précédents, alimentait en eau potable l'agglomération de Felieche (x= 779 km, y= 175,7km).(DHY)

b)-L'approvisionnement par les barrages :

Les eaux du barrage rejoignent le même cheminement que ceux des forages à partir d'un réservoir situé dans la station de traitement des eaux du barrage de Fontaine des Gazelles. **III-9**

III.3. Données climatiques :

Le climat de Biskra est un climat saharien, sec en été et très agréable en hiver. La pluviométrie est en moyenne entre 120 et 150 mm/an. La température moyenne sur toute l'année est de 20,9 °C.

III.9.1. Les vents:

La vitesse horaire moyenne du vent à Biskra connaît une variation saisonnière *modérée* au cours de l'année. Pour avoir un aperçu de la grandeur de ces vents on propose le *tableau II. 02* qui récapitule les vents moyens mensuels durant l'année.

Tableau III.2: vents moyens annuels (ANRH (BISKRA))

<i>Mois</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juil</i>	<i>Août</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>
<i>Vitesse (m/s)</i>	22	17	14	22	22	23	20	16	16	18	23	20

III.9.2. Les températures:

La variation des températures se situe entre 12 et 36 °c.

Le tableau III.3 nous donne un aperçu sur la variation des températures moyennes durant l'année

Tableau III.3: températures moyennes annuelles :SOURCE : ANRH (BISKRA)

<i>Mois</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juil</i>	<i>Août</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>
<i>Températures °c</i>	12	13	18	22	25	35	36	35	31	25	16	15

III.9.3. Précipitations moyennes mensuelles:

Pour caractériser le régime des pluies nous avons établi l'histogramme des précipitations moyennes mensuelles interannuelles) à partir des données climatologiques rassemblées dans le tableau 04, les données qui y sont recueillies couvrent les années hydrologiques (2000 / 2001 à 2015 / 2016).

Pour la station de Biskra le mois le plus arrosé est le mois de Octobre avec une précipitation moyenne mensuelle de 21.75mm par contre le mois le plus sec correspond au mois de Juillet avec une précipitation moyenne mensuelle de l'ordre de 0.56mm.

Tableau III.4 : Précipitations moyennes mensuelles SOURCE : ANRH(BISKRA)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou
P(mm)	13,63	21,75	18,63	8,19	16,25	6,25	16,06	15,31	10,00	5,44	0,56	3,50

III.9.4. Humidité:

La variation de l'humidité dans l'air est assez considérable comme l'illustre le tableau III.5

Tableau III.5: variation annuelle de l'humidité (ANRH(BISKRA))

<i>Mois</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juil</i>	<i>Août</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>
<i>Humidité %</i>	55	45	38	38	35	23	27	33	43	43	53	54

III.10. Réseau hydrographique:**III.10.1. Le bassin versant:**

Le bassin hydrographique, ou bassin versant est l'unité ou le cadre de toute étude hydrologique. Les limites d'un bassin sont formées par les lignes de partage des eaux ; qui le séparent des bassins adjacents. Elles sont facilement réparables dans les régions où le relief est

bien marqué, il n'en est pas de même dans les régions très plates, où les eaux divaguent dans celles où les écoulements temporaires se perdent dans les sables ou dans les cuvettes désertiques.

Dans un bassin hydrographique, la topographie ou le système de pentes commande la trajectoire des écoulements et l'organisation du drainage ou réseau hydrographique, celui-ci dépend de l'alimentation en eau. Le terme de bassin hydrographique est parfois remplacé par celui du bassin versant ; qui désigne la surface d'interception des précipitations, alimentant un cours d'eau.

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous affluents permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant. (MEGUENNI; 2013)

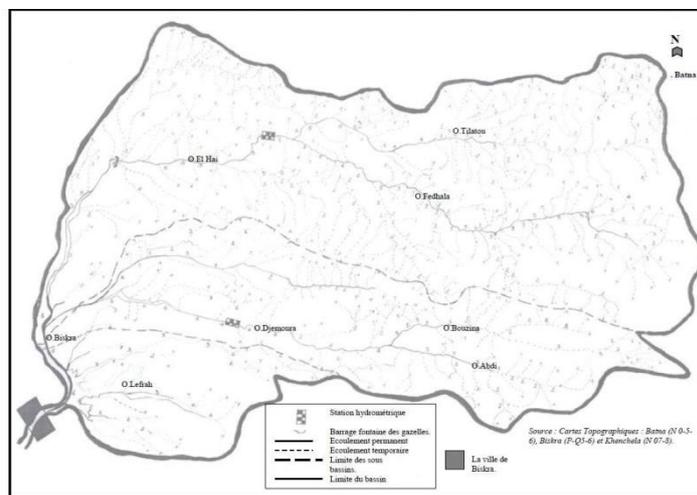


Figure III.4: Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Biskra.

III.10.2. Présentation des Oueds

L'ensemble des Oueds (figure III.5) parcourent la région fait partie du grand bassin versant Saharien du chott Melgir:

- L'Oued Djeddi (l'oued le plus important du bassin), présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 9130Km² ; il constitue un collecteur des eaux de ruissellement d'une superficie importante du flanc Sud de l'Atlas Saharien.
- L'Oued Biskra, son réseau hydrographique est constitué par un grand nombre d'affluent qui collectent les eaux de ruissellement du Sud-ouest de l'Aurès. Cet Oued a formé une vallée alluviale qui recèle une importante nappe d'inféro-flux actuellement exploitée.
- L'Oued El Arab prend sa source des monts qui constituent la partie Orientale des Aurès et se jette dans la zone dépressionnaire du chott Melghir.

Chapitre IV

Etude hydrologique

IV.1. Introduction

Dans les régions arides et semi-arides, les précipitations, étant caractérisées par de fortes irrégularités (**Boutouga, 2012**), ont généralement des effets dévastateurs et néfastes à travers les crues des cours d'eau. Ces oueds qui ne présentent pas d'écoulement pérennes sont, en fait, la principale origine de l'alimentation des aquifères, notamment les nappes de l'inféa-flux. Le régime pluviométrique des cours d'eau est fonction du régime de la pluviométrie. Ces cours d'eau se caractérisent par un régime torrentiel et se manifestent dans de courtes durées. Les apports sont très variables d'une année à l'autre.

Une partie importante de l'eau de ces cours d'eau est évaporée et le reste alimente les aquifères souterrains. Ces écoulements qui sont diffus sur les flancs des reliefs deviennent concentrés au niveau des oueds. Les eaux précipitées sur les hauteurs septentrionales (Atlas saharien, Aurès) sont acheminées vers les zones basses (chott).

La vitesse d'écoulement des eaux et la vitesse de propagation des crues sont, essentiellement, en relation avec la pente hydrographique. L'étude du profil en long des cours d'eau nous renseigne sur leurs effets dévastateurs et le mode d'alimentation des aquifères.

IV.2. Caractéristiques hydromorphométriques des bassins versants:**IV.2.1. Définition d'un bassin versant:**

Le bassin versant au droit d'une section de mesure est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. Tous les écoulements qui prennent naissance à l'intérieur de cette surface topographique passe par la section de mesure pour poursuivre leur trajet à l'aval. Chaque bassin versant est séparé des autres par une ligne de partage des eaux. Cette limite est déterminée sur la carte topographique. En commençant par l'exutoire, on trace à main levée des segments perpendiculaires aux courbes de niveau en passant par les crêtes, aboutissant automatiquement à l'exutoire. Les différents paramètres du bassin versant (forme, altitude, pente, relief...etc) interviennent dans les différents écoulements. (**Mr: ZAIZ ISSAM;2008**)

IV.2.2. Morphométrie:

Sur la base de la carte topographique à l'échelle 1/50.000 Biskra ont été délimités les bassins versants et calculés les différents paramètres morphologiques des bassins versants. Le relief est de type jurassien, se présente sous la forme de plis courts et espacés. Au niveau de la région Sud, la plaine saharienne est un piémont sans relief marqué qui relie par une pente douce les chaînons atlasiques aux étendues sahariennes proprement dites. Elle est formée par toute une série de glacis d'érosion modelés par le ruissellement, où se localisent les Oasis. En surfaces, les

dépôts grossiers se trouvent au pied des montagnes passent à des dépôts argilo sableux, vers le Sud.

A l'Est, le relief est caractérisé par le développement d'une vaste plaine découpée par des lits d'oueds qui s'écoulent des monts de l'Atlas et disparaissent dans la grande dépression fermée du chott Melghir. La région de Biskra est composée de quatre éléments géomorphologiques divers, montagnes, plaines, plateaux et dépressions.(Figure IV.1).(GUEHILIZ.2016)

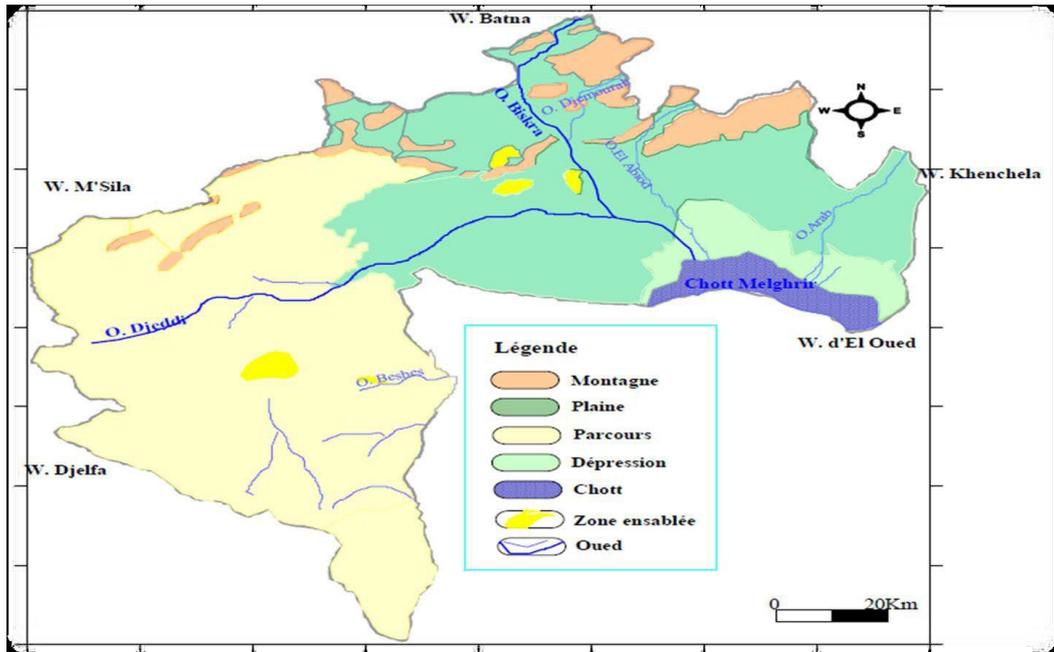


Figure IV.1: Carte des formes géomorphologiques de la Wilaya de Biskra

La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologique (apport; volume de précipitation ou infiltration) elle est déterminée par logiciel AUTOCAD sur la carte topographique.

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.

Biskra est divisée en trois bassins versants dont les caractéristiques principales sont récapitulées dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1: caractéristiques principales de bassin versant Source :(A.Meguenni, 2013).

Désignation	BV1	BV2	BV3
Superficies« S » km ²	1788	906	93
Périmètre « p » km	229	184	99
Indice de compacité Kc	1.52	1.71	2.87
Altitude maximale Hmax(m)	2091	2321	1270
Altitude moyenne Hmoy(m)	200	200	150
Altitude minimaleHmin(m)	956	998	410
Altitude médiane (m)	1060	1200	400
Longueur du rectangle équivalent L(m)	95.19	79.92	47.10
Indice de pente de roche IPR	0.315	0.146	1.30
Indice de pente globale	14.71	16.78	16.98
Ig Dénivelée utile(H5%-H95%)(m)	622	505.07	163.797
Densité de drainage globale (km/km ²)	0.50	0.71	1.84
Densité de drainage permanent (km/km ²)	0.082	0.098	0.34
Densité de drainage temporaire (km/km ²)	0.42	0.062	1.50
Longueur de talweg principal«LP»(Km)	107	93	57

IV.2.3. Le temps de concentration:

Le temps de concentration TC 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 :

Th: Temps d'humectation c'est le temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle.

Tr: 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).

Ta: 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 TC 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 TCest la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques.

a) Formule de GIANDOTTI:

$$T_C = \frac{4\sqrt{S}+1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy}-H_{min}}} \dots\dots\dots(IV.1)$$

S : Surface du bassin versant en [Km2];

L : longueur du talweg principale en [Km];

Hmoy,-Hmin : respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en [m].

b) Formule de CALIFORNIA:

$$T_C = \left(\frac{0.87.L^3}{H_{max}-H_{min}}\right)^{0.386} \dots\dots\dots(IV.2)$$

L:longueur du talweg principale en [Km];

Hmax- Hmin : respectivement la hauteur maximale et minimale du B.V en [m].

c) Formule de KIRPICH:

$$T_C = 0,3 \left(\frac{LP}{lm^{0,25}}\right)^{0.76} \dots\dots\dots(IV.3)$$

LP : Longueur du cours d'eau principal (km) ;

Imoy : Pente moyenne du bassin versant.

d) Formule de VENTURA améliorée par PASSINI:

$$T_C = 0,1272 \sqrt{\frac{S}{i_{min}}} \dots\dots\dots(IV.4)$$

S : Surface du bassin versant en [Km2] ;

imoy : Pente moyenne du bassin versant.

Tableau IV.2:Temps de concentration des trois bassins versants

FORMULES	TEMPS DE CONCENTRATION BV1	TEMPS DE CONCENTRATION BV2	TEMPS DE CONCENTRATION BV3
GIANDOTTI	12.11 heure	9.38heure	6.55 heure
VENTURA &PASSINI!	127.41heure	73.80heure	14.40 heure
Kurpich	5.59heure	4.58 heure	2.76 heure

D'après l'analyse des différentes formules empiriques (Tableau IV.2) et devant la disparité des résultats, il ressort qu'on écarte les valeurs VENTURA et Kurpich et on prend la valeur de Giandotti car dans le contexte Algérien et pour les grands bassins versants, il peut être notamment calculé par la formule de Giandotti (1937) d'où la valeur du temps de concentration choisie est $T_c = 12.11$ heure BV1 et $T_c = 9.38$ heure BV2 et $T_c = 6.55$ heure BV3.

IV.3. Apports liquides:

IV.3.1. Apports moyens annuels:

En raison de l'absence des stations hydrométriques, l'estimation de l'apport moyen annuel est faite moyennant les formules empiriques suivantes:

- Formule de SAMIE
- Formule de MALLET et GAUTHIER
- Formule de SOGREAH

Formule de SAMIE:

$$Le = P^2(293 - 2,2\sqrt{S}) \dots\dots\dots(IV.5)$$

$$A = Le * S * 10^3$$

Le : Lame d'eau écoulée
 P : pluie moyenne annuelle en mm.
 A : Apport moyen annuel, Hm3
 S: surface du bassin versant Km2

Formule de MALLET et GAUTHIER:

$$Le = 0,6 * P(1 - 10^{-0,36P^2}) * 10^3 \dots\dots\dots(IV.6)$$

$$A = Le * S * 10^{-3}$$

P : pluie annuelle, exprimée en mm.

3. Formule de SOGREAH :

$$Le = 720 \left(\frac{P-150}{1000} \right)^{1,85} \dots\dots\dots(IV.7)$$

$$A = Le * S * 10^{-3}$$

P : pluie annuelle, exprimée en (mm)

Tableau IV.3 : Récapitulatif du calcul de la lame d'eau et de l'apport moyen annuel

FORMULES	SAMIE			MALLETET- GAUTHIER			SOGREAH		
	BV1	BV2	BV3	BV1	BV2	BV3	BV1	BV2	BV3
Lame d'eau écoulée, Le (mm)	62.71	71.11	85.23	76.91	76.91	76.91	0.67	0.67	0.67
Apport moyen annuel (hm ³)	112.12	64.43	7.92	137.52	69.68	7.15	1.19	0.6	0.06

Devant la disparité des valeurs ainsi trouvées par les' formules sus indiquées (Lame d'eau et apport moyen), de ce fait, on a éliminé les valeurs minimales, et on a pris en considération les maximales pour les formules (SAMIE; SOGREAH), ce qui donne la valeur moyenne de l'apport moyen annuel de 112.12 Hm3/ an pour BV1 et 64.43 Hm3/ an pour BV2 et 7.92 Hm3/ an pour BV3, et par conséquent celle de la lame d'eau ruisselée est de **62.71 mm pour BV1** et **71.11mm pour BV2** et **85.23mm pourBV3**.

IV.3.2. Variabilité de l'apport :

IV3.2.1. Calcul du coefficient de variation

La variabilité de l'apport annuel est caractérisée par le coefficient de variation (Cv) estimé dans notre cas; à défaut d'information hydrométrique par des formules empiriques.

➤ **Formue de PADOUN**

$$Cv = K \frac{0,93}{M_0^{0,23}} \dots\dots\dots(IV.8)$$

Avec (0.25 < K < 1), K: Coefficient de réduction de la crue, on le prend =0.9

Mo= Module de l'écoulement spécifique (L/ S/ Km2)

Où:
$$M_0 = \frac{A}{S \times Tc} \dots\dots\dots(IV.9)$$

A- Apport moyen annuel en (H m3)

T- temps de concentration en secondes

➤ **Formule de SKOLOVSKY -CHEVELEV:**

Cette formule étant destinée pour les régions arides et semi arides

$$Cv = 0,78 - 0,291Log(M_0) - 0,0063Log(S+1)\dots\dots\dots(IV.10)$$

S : Superficie du bassin versante (0.4Km2)

➤ **Formule d'UKRUPOVODHOZ:**

$$Cv = \frac{0,70}{M_0^{0,125}}\dots\dots\dots(IV.11)$$

Cette formule a été établie sur la base des données de l'apport de 21 bassins de petits oueds de l'Algérie du Nord.

➤ Formule d'ANTONOV:

$$Cv = \frac{0,78}{(S+1000)^{0,097}} \dots\dots\dots (IV.12)$$

Tableau IV.4 : Récapitulatif du calcul du coefficient de variation

FORMULES	PADOUN	SOKOLOVSKY	UKRUPOVODHOZ	ANTONOV	MOY
Cv-Bv1	0.66	0.65	0.62	0.40	0.58
Cv-Bv2	0;61	0.61	0.59	0.40	0.55
Cv-Bv3	0.56	0.60	0.41	0.40	0.52

On adopte la moyenne des résultats Cv-Bv1=0.58 et Cv-Bv2=0.55 et Cv-Bv3=0.52

IV4. Etude fréquentielle des apports liquides :

Nous adoptons la distribution LOGNORMALE (GALTON, général aux séries observées, l'expression de la loi s'écrit:

$$A_{f\%} = \frac{A_0}{\sqrt{(C_v^2+1)}} e^{u \sqrt{\ln(C_v^2+1)}} \dots\dots\dots (IV.13)$$

Ou

A₀ : Apport moyen annuel, A₀ (hm 3)

A_{f%}: Apport liquide de fréquence donnée

C_v : Coefficient de variation pris égal à(0.58)

u : variable de Gauss

Tableau IV.5: Les apports liquides de différentes fréquencesBV1

Periode de Retour (ans)	2	5	10	20	50	100	1000
Variable de Gauss	0	0.841	1.282	1.645	2.057	2.33	3.09
A _f (%)	10.277	16.16	20.50	24.92	31.11	36.04	10.277
Le (mm)	9.176	14.432	18.300	22.251	27.778	32.177	9.176
M₀	0.0014	0.0022	0.0028	0.0035	0.0043	0.0050	0.0075

Tableau IV..6: Les apports liquides de différentes fréquences BV2

Periode de Retour (ans)	2	5	10	20	50	100	1000
Variable de Gauss	0	0.841	1.282	1.645	2.057	2.33	3.09
A _f (%)	10.409	16.04	20.12	24.25	29.97	34.49	50.97
Le (mm)	0.563	0.867	1.088	1.311	1.620	1.864	2.755
M₀	0.0001	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0004	0.0005

Tableau IV.7: Les apports liquides de différentes fréquences BV3

Periode de Retour (ans)	2	5	10	20	50	100	1000
Variable de Gauss	0	0.841	1.282	1.645	2.057	2.33	3.09
A _f (%)	10.605	12.76	19.23	24.00	21.77	32.22	60.38
Le (mm)	0.200	0.646	1.088	1.311	1.620	1.864	2.156
M ₀	0.0001	0.00012	0.0002	0.00031	0.0003	0.00014	0.0002

IV.5. Etude des crues:

L'étude des crues nécessite la détermination des paramètres conditionnant le comportement hydrologique du bassin versant tels que :

- Le temps de concentration
- La pluie maximale journalière de différentes fréquences.
- La pluie de courte durée de même fréquence.

IV.5.1. Temps de concentration (T_c)

Tableau IV.8: Temps de concentration BV1-BV2 et BV3

FORMULES	Temps de concentration BV1	Temps de concentration BV2	Temps de concentration BV3
GIANDOTTI	12.11 heure	9.38 heure	6.55 heure

IV.5.2. Etude des pluies journalières de différentes fréquences

IV.5.2.1. Pluie maximale journalière fréquentielle

$$P_{j \max f\%} = \frac{P_{j \max}}{\sqrt{(C_v^2 + 1)}} e^{u \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}} \dots \dots \dots (IV.14)$$

Ou:

P_{jmax} : Pluie maximale journalière

P_{jmax f%} : Pluie maximale journalière fréquentielle

C_v: Coefficient de variation pris égal

u: variable de Gauss

Tableau IV.9: Pluie maximale journalière fréquentielle BV1

Période de Retour (ans)	2	5	10	20	50	100	1000
fréquence de Retour	50%	20%	10%	5%	2%	1%	0.1%
Variable de Gauss	0	0.8428	1.285	1.645	2.0571	2.328	3.09
P_{jmax} (%)	34.601	54.47	69.12	83.90	104.76	121.21	182.70

Tableau IV.10: Pluie maximale journalière fréquentielle BV2

Periode de Retour (ans)	2	5	10	20	50	100	1000
fréquence de Retour	50%	20%	10%	5%	2%	1%	0.1%
Variable de Gauss	0	0.8428	1.285	1.645	2.0571	2.328	3.09
P_{jmax} (%)	35.049	54.06	67.85	81.64	100.91	115.99	171.62

Tableau IV.11: Pluie maximale journalière fréquentielle BV3

Période de Retour (ans)	2	5	10	20	50	100	1000
fréquence de Retour	50%	20%	10%	5%	2%	1%	0.1%
Variable de Gauss	0	0.8428	1.285	1.645	2.0571	2.328	3.09
P_{jmax} (%)	37.153	54.06	62.30	80.44	94.99	100.69	164.52

IV.5.2.2. Pluies de courte durée:

A partir des pluies journalières maximales nous calculons les pluies de courte durée de même fréquence en utilisant la relation suivante:

$$P_{tc} = P_{jmax} \left(\frac{T_c}{24}\right)^b \dots\dots\dots\text{(IV.15)}$$

P_{tc}: pluie de courte durée de fréquence donnée (mm)

P_{jmax}: pluie max .journalière de même fréquence(mm)

T_c: temps de concentration,(1.8heure)

b : coefficient climatique.

TableauIV.12: Pluies de courte durée -BV1

Periode de Retour (ans)	2	5	10	20	50	100	1000
P_{tc}(mm)	13.229	20.827	26.43	32.08	40.05	46.34	69.85
Q_{tc}	0.158	0.249	0.315	0.383	0.478	0.553	0.834

Tableau IV.13: Pluies de courte durée -BV2

Periode de Retour (ans)	2	5	10	20	50	100	1000
P_{tc} (mm)	12.304	18.977	23.82	28.66	35.43	40.72	60.25
Q_{tc}	0.138	0.213	0.267	0.322	0.397	0.457	0.676

Tableau IV.14: Pluies de courte durée-BV3

Periode de Retour (ans)	2	5	10	20	50	100	1000
P_{tc} (mm)	12.304	18.977	23.82	28.66	35.43	40.72	60.25
Q_{tc}	0.129	0.180	0.210	0.232	0.265	0.322	0.457

IV.5.3- Débits maximums :

IV.5.3.1-Débit moyen journalier de différentes fréquences

Il est donné par la relation de **SAMIE**

$$Q_{j_{f\%}} = \frac{P_{j_{max_{f\%}} * r * S * K_a}{86,4} \dots \dots \dots (IV.16)$$

D'où

$P_{j_{max}}$: pluie maximale journalière fréquentielle ; mm

r : coefficient de ruissellement instantané de crue fonction de la hauteur de précipitation journalière maximale pour une fréquence donnée.

S: surface du bassin versant; Km²

K_a : coefficient d'amortissement de crue valant 0,8.

Tableau IV.15: Débits moyens journaliers de différentes fréquences

Periode de Retour (ans)	2	5	10	20	50	100	1000
$Q_{j_{f\%}} BV1$	0.16	0.30	0.41	0.52	0.69	0.82	1.35
$Q_{j_{f\%}} BV2$	2.55	4.72	6.40	8.14	10.65	12.66	20.34
$Q_{j_{f\%}} BV3$	2.78	5.66	7.42	9.06	12.78	14.87	25.46

IV.5.3.2. Débits instantanés de crues de diverses fréquences:

En raison de l'absence de mesures hydrométriques, la détermination des crues de projet a nécessité l'utilisation de différentes formules qui donnent des résultats acceptables concernant les débits estimés.

➤ **Relation de Giandotti:**

$$Q_{f\%} = Q_{j_{f\%}} \left(\frac{P_{tc} * 24}{P_{j_{max_{f\%}} * T_c} \right) \dots \dots \dots (IV.17)$$

Tableau IV.16: Débits instantanés (relation de Giandotti) BV1

Période de Retour (ans)	10	20	50	100	1000
fréquence de Retour	10%	5%	2%	1%	0,1%
Variable de Gauss	1,285	1,6449	2,0571	2,328	3,09
Qmax(GIANDOTTI),(m ³ /s)	2.09	2.69	3.54	4.24	6.92

Tableau IV.17: Débits instantanés (relation de Giandotti) BV2

Période de Retour(ans)	10	20	50	100	1000
fréquence de Retour	10%	5%	2%	1%	0,1%
Variable de Gauss	1,285	1,6449	2,0571	2,328	3,09
Qmax (GIANDOTTI), (m ³ / s)	38.04	48.40	63.30	75.25	120.88

Tableau IV.18: Débits instantanés (relation de Giandotti) BV3

Période de Retour(ans)	10	20	50	100	1000
fréquence de Retour	10%	5%	2%	1%	0,1%
Variable de Gauss	1,285	1,6449	2,0571	2,328	3,09
Qmax (GIANDOTTI), (m ³ / s)	38.04	48.40	63.30	75.25	120.88

➤ **Relation de Sokolovsky**

$$Q_{f\%} = 0.28 \left(\frac{P_{tc} * S * r}{T_c} * f \right) \dots \dots \dots (IV.18)$$

f:coefficient de la forme de crue = 1,04

Tableau IV.19: Débits instantanés (relation de Sokolovsky)-BV1

Période de Retour(ans)	10	20	50	100	1000
fréquence de Retour	10%	5%	2%	1%	0,1%
Variable de Gauss	1,285	1,6449	2,0571	2,328	3,09
Qmax (Sokolovsky)(m ³ /s)	2.74	3.52	4.64	5.55	9.07

Tableau IV.20: Débits instantanés (relation de Sokolovsky)-BV2

Période de Retour (ans)	10	20	50	100	1000
fréquence de Retour	10%	5%	2%	1%	0,1%
Variable de Gauss	1,285	1,6449	2,0571	2,328	3,09
Qmax (Sokolovsky) (m ³ /s)	49.85	63.41	82.94	98.61	158.40

Tableau IV.21: Débits instantanés (relation de Sokolovsky)-BV3

Période de Retour (ans)	10	20	50	100	1000
fréquence de Retour	10%	5%	2%	1%	0,1%
Variable de Gauss	1,285	1,6449	2,0571	2,328	3,09
Qmax (Sokolovsky) (m ³ /s)	49.85	63.41	82.94	98.61	158.40

IV.6. Conclusion

La ville de Biskra est située dans une région semi-aride, les précipitations, étant caractérisées par de fortes irrégularités ayant généralement des effets dévastateurs et néfastes à travers les crues des cours d'eau. Les oueds de la région sont la principale origine de l'alimentation des aquifères, notamment les nappes de l'inféro-flux et ils se caractérisent par un régime torrentiel et se manifestent dans de courtes durées. L'aménagement des cours d'eaux de la ville s'avère alors nécessaire pour la protection des riverains contre les inondations et l'érosion afin de protéger les vies humaines et le milieu naturel, les biens publique et privés, créer des nouveaux espaces pour l'urbanisme, respecter l'aspect environnemental et promouvoir le développement local

Chapitre V

Modélisation hydraulique des écoulements et aménagements

V.1. Introduction

Avec une surface d'un bassin versant de plus de 3000Km², une longueur d'oued principal qui dépasse les 100 km, un débit de crue 1/1000 qui dépasse les 4000 m³/s Oued SIDI ZERZOUR est parmi les oued les plus importants de la wilaya de Biskra et dans toute la partie Est Algérien, et il devient encore plus important en sachant qu'il passe par le centre-ville de BISKRA, là où la largeur de l'oued est la plus rétrécie vu la construction dans sur les cotés de l'oued.

L'objectif de cette étude est de faire une simulation des dommages qui peuvent être engendrés après un passage d'une crue importante, la détermination des zones inondables et par la suite proposer des solutions adéquates de telle façon à ne pas gêner l'écoulement tout en gardant un impact minimum sur l'environnement.

Cette étude fait partie de cinq étapes qui sont les suivantes :

- Etape N°01: Levé topographique : Résultat 35 ha de levé de l'oued avec les détails qui sont importants pour les calculs (les ponts, les lignes électriques, les obstacles de l'oued, l'assainissement de l'oued....).
- Etape N°02 : l'hydrologie dont l'objectif a été la détermination des débits de crue des différentes périodes de retours pour les différents bassins versants (Chapitre précédent).
- Etape N°03 : Modélisation hydraulique des écoulements

On élaborera à la modélisation hydraulique de la crue calculée pour les différentes périodes de retours grâce un logiciel Bidimensionnel et faire l'analyse par la suite pour délimiter les zones inondables.

- Etape N°04 : Etude des variantes d'aménagement.

A partir de la modélisation hydraulique et suite à la délimitation des zones inondables, des propositions de variantes jugées intéressantes de point de vue technique et économique seront proposées.

V.2. Logiciel de calcul HEC- RAS

HEC-RAS, Hydrologie Engineering Centres River Analyisé System (Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux.

La procédure de base de calcul du logiciel HEC-RAS pour les écoulements permanents est basée sur la solution de l'équation de conservation de l'énergie à une dimension. Les pertes d'énergie sont évaluées par les frottements et les effets de contraction / expansion. L'équation de quantité de mouvement est également utilisée dans les situations d'écoulement rapidement varié, par exemple au niveau de ressauts hydrauliques, de ponts et de confluences.

HEC-RAS est capable de modéliser un réseau de canaux, un système hydrographique ramifié ou une simple partie d'un cours d'eau. Certaines simplifications doivent être réalisées pour modéliser les situations d'écoulements complexes avec HEC-RAS. Il est capable de simuler divers régimes d'écoulement (fluvial ou torrentiel) en prenant en compte les effets de ponts et seuils. HEC-RAS permet également de simuler l'évolution de la qualité de l'eau, le transport sédimentaire les plaines d'inondation ou encore les ruptures de digue. Les calculs peuvent se réaliser pour des écoulements stationnaires (débits constant) ou suivant des hydro_grammes par

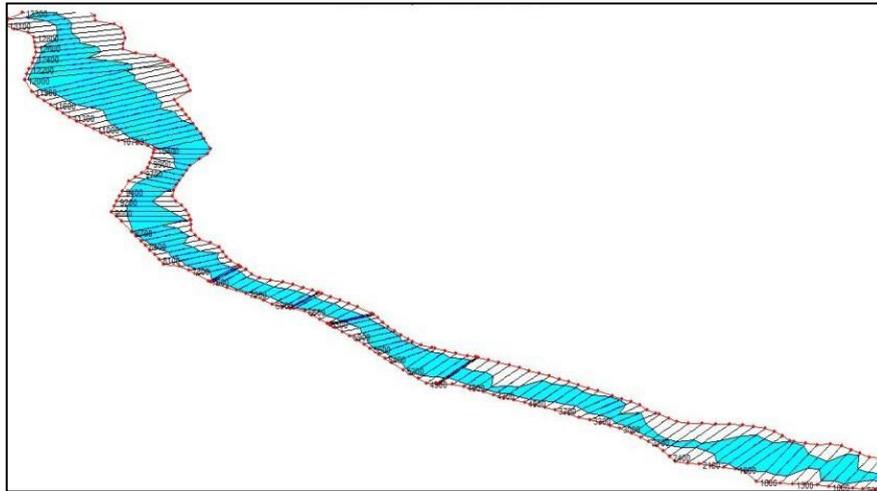


Figure V.1:Exemple de modélisation de oued ZERZOUR avec HEC RAS

Les défauts et les imperfections du programme HEC-RAS sont principalement le cas des cours d'eau à faible pente ($< 0.1\%$) et une pente supérieure à 10% peut en effet causer des instabilités. Enfin, d'autres limitations sont constatées comme pour un écoulement sous vanne de profondeur et quelques types d'écoulements non permanents.

V.3. Simulation de débit unipolaire a une ou deux dimensions

Dans cette composante du système de modélisation HEC-RAS est capable de simuler un système unidimensionnel, bidimensionnel, et mixte bidirectionnel unidimensionnel à travers un réseau complet de canaux ouverts, de plaines d'inondation. La composante d'écoulement instable peut être utilisée pour effectuer un régime d'écoulement Fluvial, torrentiel, et mixte.

Les caractéristiques particulières de la composante d'écoulement instable incluent: Analyse de rupture de barrage; Franchissement et débordement des digues. Station de pompage; Opérations de navigation de barrages. Systèmes de conduites sous pression, Caractéristiques d'étalonnage et autre capacité de calcul.

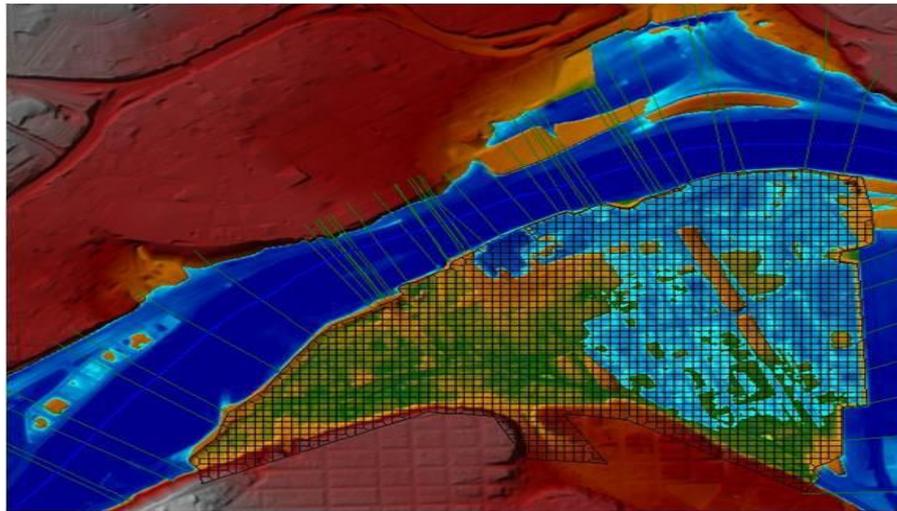


Figure V.2: Exemple de capacité de gestion des ruptures de digue.

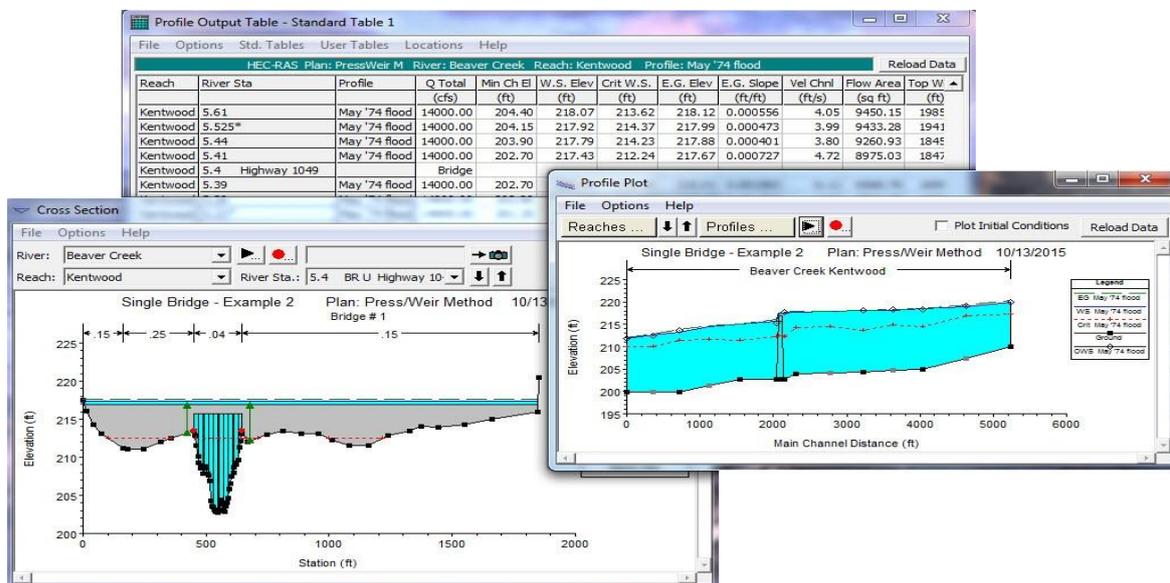


Figure V.3: Exemples de graphiques et rapports.

V.4. Introduction des données sur le logiciel et calcul

V.4.1. Données topographique du terrain

A l'aide du logiciel Civil 3D (logiciel AUTODESK) on peut exporter directement les données du terrain vers le logiciel HEC-RAS en suivant les étapes suivantes.

- Modélisation du levé topographique en version TNA de telle manière que le logiciel puisse lire les données du terrain naturelle.
- Tracé l'axe de l'oued sur la vue en plan. A préciser que le dessin de l'axe doit être fait de l'aval vers l'amont soit de l'exutoire vers l'entrée de l'oued vers la ville (Exutoire : PK 0+000 ; Entrée Oued dans la ville PK13+300).
- Tracée les limites de l'oued à prendre en considération lors des calculs

- Faire la tabulation de l'axe chaque 100m pour avoir une bonne précision sur un profil en long de 13.30 km. On aura 138 profils en travers.
- Exporter les données en fichier format **.géo*.
- Aller sur le logiciel et importer le fichier **.géo*.

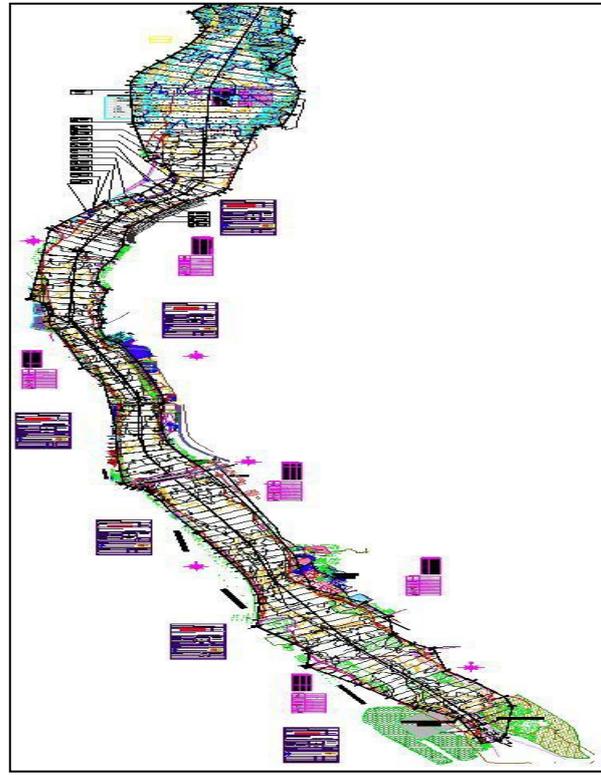


Figure V.4: Levé topographique avec axe d'oued sur 13.3 km et 138 sections en travers (Equidistance 100 ml).

Le coefficient de rugosité de Manning pour tous l'oued (le lit majeur et le lit mineur) est le même, et il est de 0.025 car le lit d'oued est homogène principalement en gravelet. Pour l'intérieur des buses elliptique on prend la rugosité du PVC qui est de 0.013.

V.4.2 Données des trois-ponts :

Nous avons entré les données des 04 ponts qui sont les suivants :

- **PONT N°01 ; PK 4 +830 ; Pont busée** avec 53 buses elliptiques de hauteur de 2.75 m et de largeur 4.5m avec une cote du pont de 100mNGA.
- **PONT N°02 ; PK 6+130 ; Pont sur pieu** avec 7 rangées de pieu d'équidistance de 35m avec une cote du pont de 111.65mNGA et un vide sous le pont d'une longueur de 175ml.
- **PONT N°03 ; PK 6+790 ; Pont busée** avec 44 buses elliptiques de hauteur de 2.75 m et de largeur 4.5m et une cote du pont de 114.55mNGA.

- **PONT N°04 ; PK 7+510 ; Pont sur pieu avec 9 rangées de pieu d'équidistance de 25m, diamètre du pieu est de 1.2m avec une cote du pont de 111 m NGA un vide sous le pont d'une longueur de 250ml.**

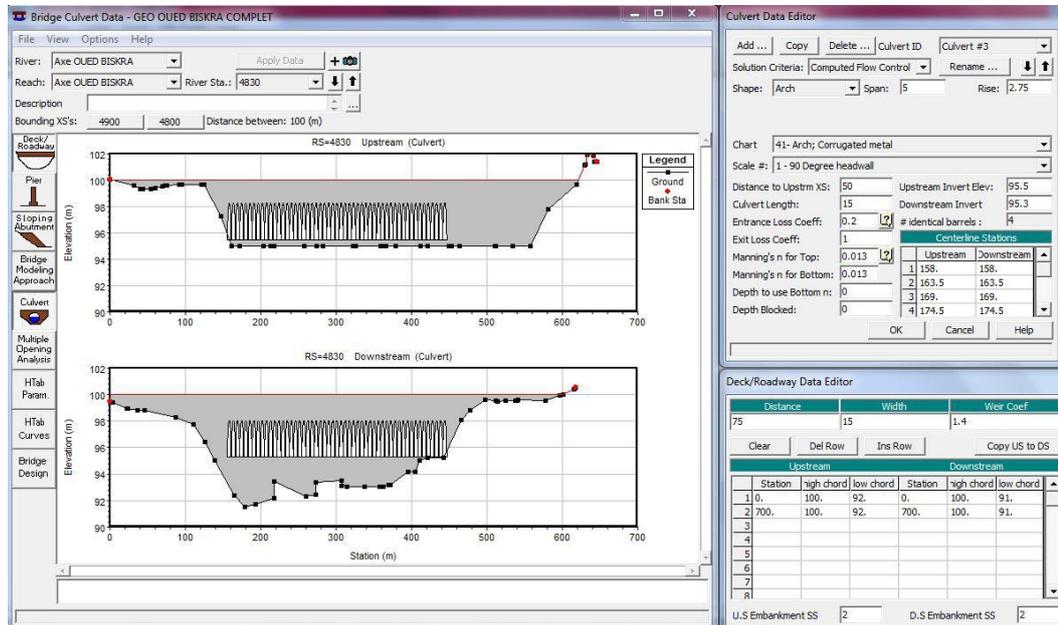


Figure V.5 : Données du pont N°01 (pont Busée PK 4+830)

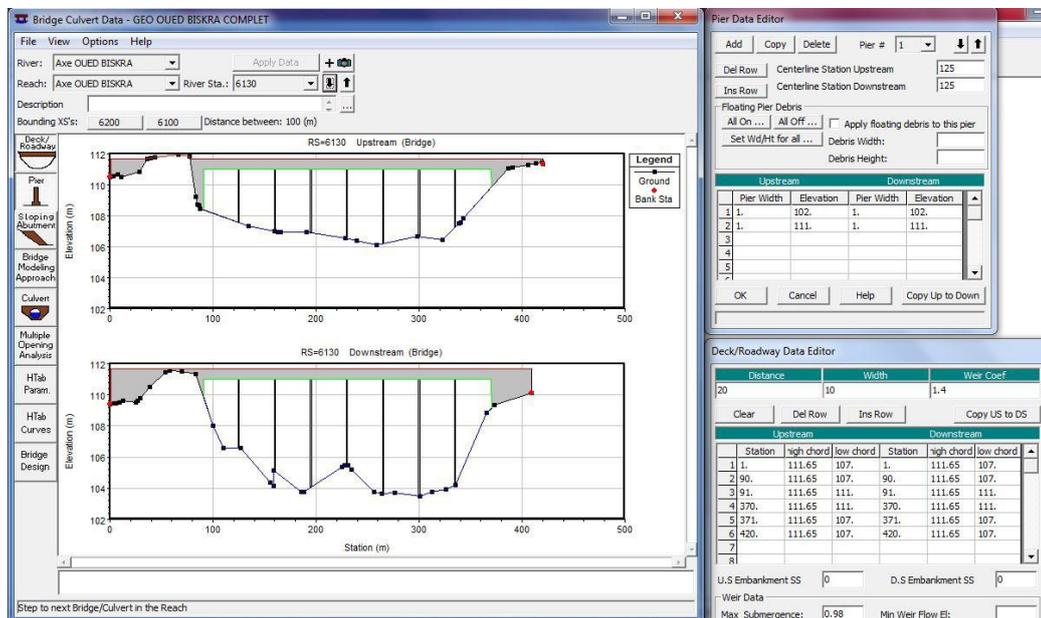


Figure V.6 : Données du pont N°02 (pont sur pieu PK 6+130)

V.4.3. Données de débit et des conditions au limite du débit.

Pour l'introduction des débits on a pris un des cas les plus défavorable qui est le débit centennale des trois bassins versants, et on a pris comme référence la Méthode SCS car elle donne beaucoup de détails dont le logiciel HEC-RAS utilise.

La méthode SCS (Soil Conservation Service) a été appliquée et calée en région méditerranéenne sur des bassins jaugés, et elle a donnée des résultats assez proches de la réalité. Son principe est le même que celui de l'hydro gramme unitaire, on suppose qu'un épisode pluvieux de temps T engendre un ruissellement de même période. L'hydro gramme élémentaire, généré par la pluie élémentaire tombée pendant un pas de temps D, est supposé triangulaire, avec

: $1/3 T_c < D < 2/3 T_c$, il est caractérisé par :

- Son débit de pointe : Q_p
- Son temps de montée : $T_p = D/2 + 0,6T_c$
- Son temps de descente : $T_d = 1,67T_p$
- Son temps de base : $T_b = T_p + T_d$

La pluie de durée 6D (P6D) est décomposée en un hyétogramme moyen défavorable composé de 6 pluies élémentaires :

- $P_1=0.08P6D$; $P_4=0.49P6D$
- $P_2=0.09P6D$; $P_5=0.15P6D$
- $P_3=0.11P6D$; $P_6=0.08P6D$

La lame d'eau ruisselée, LR, est donnée en fonction de la pluie P par une équation du type

$$LR = f(P, S); LR = (P - 0.2 S)^2 / (P + 0.8 S) \dots \dots (V.1)$$

- P: pluie cumulée (mm) fonction du temps t
- S: déficit d'écoulement maximal théorique (mm): $S = S_0 + S_1 t$
- S_0 : seuil de ruissellement(mm),
- S_1 : est assimilable à une vitesse d'infiltration(mm/h),
- t : temps en heures

La résolution de $LR = f(P)$ donne, pour une valeur de S égale à S max à $t=6D$, une courbe dite courbe de ruissellement identifiée par son numéro CN (curvenumber) variable entre 0 et 100:

$$S_{max} = 25.4 (1000 - 10CN) / CN, \text{ pour } t=6D) \dots \dots (V.2)$$

L'évolution du déficit d'écoulement au cours de l'averse est obtenue après identification de S_{max} par : $S_0 = 0.2 S_{max}$, $S_1 = (S_{max} - S_0) / 6D) \dots \dots (V.3)$

Le volume ruisselé de chaque hydro gramme élémentaire est

Le volume ruisselé élémentaire est donc : $V_r = L_r \times A$; A : surface du bassin versant

$$Et Vr = (Qp \times Tb) / 2 \dots (V.4)$$

Cette équation permet de déterminer Qp, débit de pointe de l'hydrogramme élémentaire
L'application de la méthode SCS a donné les résultats présentés dans le tableau V.1 :

Tableau V.1 : Résultats des caractéristiques de l'hydro gramme de crue selon SCS.

	BV1						BV2						BV3					
Temps de concentration Tc (h)	7.6						11.8						14.9					
Temps de montée Tp (h)	6.1						9.1						11.9					
Temps de descente Td (h)	10.1						15.2						19.9					
Temps de base Tb (h)	16.2						24.2						31.9					
Durée de l'averse 6D (h)	18						24						36					
Période de retour (ans)	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100
Pluie de durée 6D (mm)	25.3	38.1	46.5	54.6	65	73	35.9	51.9	62.5	72.6	85.7	95.6	38.7	51.2	59.5	67.5	77.8	85.5
Lame ruisselée (mm)	0.1	2.1	4.6	7.6	12.3	16.4	6.2	15	21.9	29.1	39	46.9	7.6	14.6	19.9	25.4	33	38.9
Volume ruisselé (Hm ³)	0.02	0.38	0.82	1.36	2.2	2.93	6.43	15.49	22.66	30.1	40.41	48.59	14.16	27.23	37.19	47.49	61.64	72.8
Débit de pointe (m ³ /s)	0.7	13.1	28.1	46.7	75.4	100.6	147.5	355.5	520.1	690.9	927.7	1116	246.6	474.2	647.7	827.1	1073.5	1267.9

Dans notre cas, on somme les débits des 03 bassins versants pour les six périodes de retour et on les introduit dans le logiciel de calcul à la dernière section qui se trouve au PK 13+300. Par exemple pour le débit centennal, on trouve (2484m³/s)

Concernant les conditions aux limites on donne un premier niveau d'eau pour chaque débit en amont on donne la hauteur d'eau normal.

la hauteur d'eau normale à l'intérieur de l'oued en fonction du débit d'eau, de la pente et de la géométrie est obtenue en utilisant la formule de l'écoulement à surface libre suivante :

$$Q=K.S.R^{2/3}I^{1/2}.....(V.5)$$

Avec :

- Q : Débit d'écoulement;
- K : Coefficient de rugosité égale à K = 40;
- R : Rayon hydraulique R=S/P;
- I : Pente du fil d'eau;
- S : Surface d'écoulement ;
- P : Périmètre mouillé;

Une fois que les données calculées sont entrées dans le logiciel, les calculs ont été lancés
On précise qu'on n a pas utilisé le Logiciel et que les résultats nous ont été fournis suite aux contraintes causées par COVID 19.

V.5. Analyse des résultats de calcul

La terminologie utilisée par le Logiciel est présentée dans le tableau V.2 alors que les résultats de calculs sont résumés dans le tableau V.3 ci-après:

Tableau V.2: Terminologie du Logiciel HEC-RAS

Désignation dans le tableau	Désignation En Anglais	Traduction en français
Reach	//	Nom de la rivière
River Sta	River Station	Section en travers
Profile	//	Débit affecté selon le tableau des débits (Voir Page 19).
Q Total	Flow Total	Débit de calcul à cette section
Min Ch El	Minimum Chanel Elevation	Cote minimal du lit de l'oued
W.S.Elev	Water surface Elevation	Cote du plan d'eau
CritW.S	Critical Water Surface	Cote du plan d'eau de la hauteur critique
E.G Elev	Energy Elevation	Cote de la ligne d'énergie
E.G Slope	Energy Slope	Pente de la ligne d'énergie
VelChnl	Velocity channel	Vitesse d'écoulement dans le canal
Flow Aera	//	Surface mouillée d'écoulement
Top width	//	Largeur de la section en travers
Froude Chl	Froude chanel	Nombre de Froude

Tableau V.3: Résultats du Logiciel HEC-RAS

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Axe OUED BISKRA Reach: Axe OUED BISKRA Profile: PF 6

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Axe OUED BISKRA	13300	PF 6	2484.00	163.88	167.12	167.12	168.15	0.004842	4.50	551.51	267.72	1.00
Axe OUED BISKRA	13200	PF 6	2484.00	161.95	165.79		166.06	0.000907	2.28	1089.34	418.14	0.45
Axe OUED BISKRA	13100	PF 6	2484.00	160.50	165.41		165.92	0.001446	3.18	781.96	258.42	0.58
Axe OUED BISKRA	13000	PF 6	2484.00	160.46	164.97		165.73	0.001947	3.86	643.21	197.99	0.68
Axe OUED BISKRA	12900	PF 6	2484.00	158.51	164.04	163.73	165.42	0.003344	5.20	478.08	140.14	0.90
Axe OUED BISKRA	12800	PF 6	2484.00	159.92	163.84	163.84	164.94	0.004804	4.63	536.62	248.17	1.01
Axe OUED BISKRA	12700	PF 6	2484.00	158.30	161.72	161.72	162.75	0.004878	4.48	553.95	271.12	1.00
Axe OUED BISKRA	12600	PF 6	2484.00	157.48	160.31	160.31	161.08	0.005415	3.89	637.94	418.20	1.01
Axe OUED BISKRA	12500	PF 6	2484.00	156.45	159.54	159.54	160.29	0.005616	3.83	649.29	449.22	1.02
Axe OUED BISKRA	12400	PF 6	2484.00	156.56	158.90	158.90	159.49	0.005948	3.41	728.26	625.06	1.01
Axe OUED BISKRA	12300	PF 6	2484.00	155.53	158.16	158.16	158.71	0.006001	3.29	755.67	690.34	1.00
Axe OUED BISKRA	12200	PF 6	2484.00	154.57	157.00	157.00	157.49	0.006184	3.09	804.63	826.53	1.00
Axe OUED BISKRA	12100	PF 6	2484.00	154.02	156.13	156.13	156.61	0.006417	3.05	813.92	875.18	1.01
Axe OUED BISKRA	12000	PF 6	2484.00	152.81	155.37	155.37	155.78	0.006584	2.85	872.09	1058.28	1.00
Axe OUED BISKRA	11900	PF 6	2484.00	152.03	154.13	154.13	154.62	0.006307	3.11	799.32	824.45	1.01
Axe OUED BISKRA	11800	PF 6	2484.00	151.74	153.47	153.47	153.94	0.006276	3.04	817.58	870.72	1.00
Axe OUED BISKRA	11700	PF 6	2484.00	150.44	152.49	152.49	152.98	0.006297	3.09	804.47	837.27	1.01
Axe OUED BISKRA	11600	PF 6	2484.00	149.76	151.72	151.72	152.21	0.006210	3.11	799.60	816.22	1.00
Axe OUED BISKRA	11500	PF 6	2484.00	148.56	150.87	150.87	151.38	0.006214	3.15	787.32	785.24	1.01
Axe OUED BISKRA	11400	PF 6	2484.00	147.58	149.92	149.92	150.49	0.006037	3.33	746.10	672.00	1.01
Axe OUED BISKRA	11300	PF 6	2484.00	146.59	149.13	149.13	149.74	0.005822	3.48	713.96	586.36	1.01
Axe OUED BISKRA	11200	PF 6	2484.00	145.93	148.37	148.37	148.99	0.005785	3.49	712.40	580.23	1.00
Axe OUED BISKRA	11100	PF 6	2484.00	145.23	147.68	147.68	148.30	0.005807	3.47	715.96	589.41	1.01
Axe OUED BISKRA	11000	PF 6	2484.00	144.05	146.85	146.85	147.44	0.005816	3.38	734.58	628.96	1.00
Axe OUED BISKRA	10900	PF 6	2484.00	143.85	146.13	146.13	146.70	0.005920	3.36	738.99	647.01	1.00
Axe OUED BISKRA	10800	PF 6	2484.00	142.49	145.25	145.25	145.84	0.005766	3.41	728.50	611.59	1.00
Axe OUED BISKRA	10700	PF 6	2484.00	142.37	144.36	144.36	145.00	0.005769	3.53	704.59	562.16	1.01
Axe OUED BISKRA	10600	PF 6	2484.00	141.22	143.47	143.47	144.11	0.005767	3.53	703.93	560.03	1.01
Axe OUED BISKRA	10500	PF 6	2484.00	140.03	142.41	142.41	143.11	0.005599	3.69	672.84	489.08	1.01
Axe OUED BISKRA	10400	PF 6	2484.00	138.88	141.60	141.60	142.35	0.005467	3.83	647.76	437.33	1.01
Axe OUED BISKRA	10300	PF 6	2484.00	137.19	141.12	140.78	141.63	0.002816	3.15	788.82	434.70	0.75
Axe OUED BISKRA	10200	PF 6	2484.00	137.86	140.41	140.36	141.24	0.004678	4.03	615.83	342.53	0.96
Axe OUED BISKRA	10100	PF 6	2484.00	136.58	140.38		140.85	0.001870	3.02	822.57	353.85	0.63
Axe OUED BISKRA	10000	PF 6	2484.00	135.63	139.34	139.34	140.50	0.004758	4.77	520.27	225.11	1.00
Axe OUED BISKRA	9900	PF 6	2484.00	133.98	138.75	138.75	139.80	0.004891	4.54	547.01	261.29	1.00
Axe OUED BISKRA	9800	PF 6	2484.00	134.67	137.88	137.88	138.82	0.005073	4.30	577.87	309.52	1.00
Axe OUED BISKRA	9700	PF 6	2484.00	133.80	137.33	137.33	138.24	0.005098	4.21	589.33	326.80	1.00
Axe OUED BISKRA	9600	PF 6	2484.00	133.11	136.50	136.50	137.42	0.005101	4.24	585.19	321.70	1.01
Axe OUED BISKRA	9500	PF 6	2484.00	132.74	135.58	135.58	136.43	0.005220	4.08	608.27	361.07	1.00
Axe OUED BISKRA	9400	PF 6	2484.00	130.57	134.83		135.46	0.003498	3.52	705.43	387.88	0.83
Axe OUED BISKRA	9300	PF 6	2484.00	130.84	134.19	134.19	135.01	0.005371	4.00	620.70	388.73	1.01
Axe OUED BISKRA	9200	PF 6	2484.00	130.04	133.37	133.37	134.10	0.005546	3.79	655.74	457.15	1.01
Axe OUED BISKRA	9100	PF 6	2484.00	129.29	132.34	132.34	133.06	0.005535	3.77	659.28	462.49	1.01
Axe OUED BISKRA	9000	PF 6	2484.00	128.84	131.38	131.38	132.06	0.005761	3.64	681.66	518.24	1.01
Axe OUED BISKRA	8900	PF 6	2484.00	128.25	130.55	130.55	131.20	0.005645	3.57	695.44	536.44	1.00
Axe OUED BISKRA	8800	PF 6	2484.00	127.91	129.87	129.87	130.51	0.005634	3.56	697.39	539.65	1.00
Axe OUED BISKRA	8700	PF 6	2484.00	126.38	129.02	129.02	129.70	0.005768	3.64	682.30	519.74	1.01
Axe OUED BISKRA	8600	PF 6	2484.00	125.86	127.92	127.92	128.65	0.005410	3.78	656.42	449.77	1.00
Axe OUED BISKRA	8500	PF 6	2484.00	124.74	127.14	127.14	127.94	0.005303	3.96	626.93	394.89	1.00
Axe OUED BISKRA	8400	PF 6	2484.00	123.41	126.05	126.05	126.85	0.005241	3.96	627.98	393.02	1.00
Axe OUED BISKRA	8300	PF 6	2484.00	122.54	124.97	124.97	125.76	0.005288	3.93	632.74	403.22	1.00
Axe OUED BISKRA	8200	PF 6	2484.00	120.80	123.35	123.35	124.13	0.005319	3.90	636.88	411.80	1.00
Axe OUED BISKRA	8100	PF 6	2484.00	119.68	122.51	122.51	123.39	0.005172	4.16	596.45	342.11	1.01
Axe OUED BISKRA	8000	PF 6	2484.00	119.34	121.75	121.75	122.56	0.005223	3.99	622.34	383.37	1.00
Axe OUED BISKRA	7900	PF 6	2484.00	118.25	121.19		121.91	0.003406	3.74	664.88	328.14	0.84
Axe OUED BISKRA	7800	PF 6	2484.00	117.80	120.84	120.65	121.55	0.003730	3.73	665.89	352.59	0.87
Axe OUED BISKRA	7700	PF 6	2484.00	116.23	120.91		121.25	0.001136	2.58	962.11	361.79	0.51
Axe OUED BISKRA	7600	PF 6	2484.00	116.04	120.98	118.73	121.14	0.000358	1.76	1412.14	396.51	0.30
Axe OUED BISKRA	7510		Bridge									
Axe OUED BISKRA	7500	PF 6	2484.00	115.00	118.10	117.96	118.91	0.004070	3.98	624.14	320.18	0.91
Axe OUED BISKRA	7400	PF 6	2484.00	114.45	117.41	117.41	118.44	0.004831	4.51	550.73	266.34	1.00
Axe OUED BISKRA	7300	PF 6	2484.00	113.98	116.86	116.86	117.91	0.004873	4.53	548.45	265.25	1.01
Axe OUED BISKRA	7200	PF 6	2484.00	113.47	116.26	116.26	117.34	0.004811	4.61	538.93	251.18	1.00
Axe OUED BISKRA	7100	PF 6	2484.00	112.41	115.77	115.77	116.82	0.004809	4.55	546.29	259.90	1.00
Axe OUED BISKRA	7000	PF 6	2484.00	112.02	115.14	115.14	116.10	0.004935	4.33	573.67	299.44	1.00
Axe OUED BISKRA	6900	PF 6	2484.00	110.88	114.80		115.30	0.001881	3.13	793.29	325.71	0.64
Axe OUED BISKRA	6800	PF 6	2484.00	109.85	114.99	112.04	115.13	0.000309	1.65	1502.67	413.46	0.28
Axe OUED BISKRA	6790		Culvert									
Axe OUED BISKRA	6700	PF 6	2484.00	108.00	111.41		111.81	0.001156	2.80	886.46	299.14	0.52
Axe OUED BISKRA	6600	PF 6	2484.00	107.57	110.80		111.59	0.003227	3.94	629.72	274.74	0.83
Axe OUED BISKRA	6500	PF 6	2484.00	106.52	110.52		111.28	0.002898	3.85	645.11	268.96	0.79
Axe OUED BISKRA	6400	PF 6	2484.00	106.11	110.33		110.99	0.002257	3.61	688.90	262.53	0.71
Axe OUED BISKRA	6300	PF 6	2484.00	104.76	109.66	109.52	110.67	0.003918	4.44	559.98	236.58	0.92
Axe OUED BISKRA	6200	PF 6	2484.00	106.11	109.66	109.06	110.26	0.002134	3.43	723.57	285.41	0.69
Axe OUED BISKRA	6130		Bridge									
Axe OUED BISKRA	6100	PF 6	2484.00	103.50	106.80	106.80	107.91	0.004796	4.65	533.87	243.82	1.00
Axe OUED BISKRA	6000	PF 6	2484.00	101.84	105.53	105.53	106.59	0.004855	4.55	545.84	261.21	1.01
Axe OUED BISKRA	5900	PF 6	2484.00	101.23	104.80	104.80	105.87	0.004820	4.58	542.29	255.57	1.00
Axe OUED BISKRA	5800	PF 6	2484.00	99.53	104.20	103.98	104.98	0.003603	3.93	632.75	301.61	0.87
Axe OUED BISKRA	5700	PF 6	2484.00	99.60	103.99		104.64	0.002633	3.55	699.35	306.36	0.75
Axe OUED BISKRA	5600	PF 6	2484.00	99.67	103.27	103.27	104.25	0.005040	4.38	567.17	295.49	1.01
Axe OUED BISKRA	5500	PF 6	2484.00	99.32	102.62	102.62	103.55	0.005074	4.25	584.57	320.58	1.00
Axe OUED BISKRA	5400	PF 6	2484.00	99.04	101.82	101.82	102.72	0.005146	4.19	592.84	335.67	1.01
Axe OUED BISKRA	5300	PF 6	2484.00	98.44	101.00	101.00	101.78	0.005314	3.91	635.21	408.78	1.00
Axe OUED BISKRA	5200	PF 6	2484.00	97.24	100.07	100.07	100.78	0.005604	3.74	665.00	477.03	1.01
Axe OUED BISKRA	5100	PF 6	2484.00	97.03	99.56		100.03	0.003162	3.05	815.69	516.97	0.77
Axe OUED BISKRA	5000	PF 6	2484.00	96.34	9							

Tableau V.3 (suite): Résultats du Logiciel HEC-RAS

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Axe OUED BISKRA Reach: Axe OUED BISKRA Profile: PF 6 (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Axe OUED BISKRA	4830		Culvert									
Axe OUED BISKRA	4800	PF 6	2484.00	91.50	95.02	95.02	96.07	0.005059	4.52	548.96	271.12	1.02
Axe OUED BISKRA	4700	PF 6	2484.00	90.12	94.40		94.90	0.001929	3.13	794.30	334.11	0.65
Axe OUED BISKRA	4600	PF 6	2484.00	88.70	94.30		94.68	0.001743	2.75	904.89	428.11	0.60
Axe OUED BISKRA	4500	PF 6	2484.00	88.49	93.67	93.67	94.36	0.005533	3.69	673.31	486.82	1.00
Axe OUED BISKRA	4400	PF 6	2484.00	88.06	92.96	92.96	93.68	0.005444	3.77	659.02	455.83	1.00
Axe OUED BISKRA	4300	PF 6	2484.00	86.84	91.78	91.78	92.62	0.005262	4.07	610.32	386.20	1.01
Axe OUED BISKRA	4200	PF 6	2484.00	86.53	91.17	91.17	91.92	0.005496	3.84	646.86	438.20	1.01
Axe OUED BISKRA	4100	PF 6	2484.00	85.55	89.97	89.97	90.71	0.005530	3.81	651.58	447.99	1.01
Axe OUED BISKRA	4000	PF 6	2484.00	85.34	89.08	89.08	89.82	0.005498	3.82	650.89	445.38	1.01
Axe OUED BISKRA	3900	PF 6	2484.00	85.34	88.69		89.30	0.003294	3.45	720.37	390.54	0.81
Axe OUED BISKRA	3800	PF 6	2484.00	85.79	88.08	88.08	88.87	0.005286	3.93	632.68	402.75	1.00
Axe OUED BISKRA	3700	PF 6	2484.00	84.28	87.47	87.47	88.28	0.005223	3.99	622.46	383.62	1.00
Axe OUED BISKRA	3600	PF 6	2484.00	83.38	86.50	86.50	87.29	0.005244	3.95	629.56	395.76	1.00
Axe OUED BISKRA	3500	PF 6	2484.00	82.72	85.98	85.93	86.78	0.004654	3.98	624.61	353.93	0.96
Axe OUED BISKRA	3400	PF 6	2484.00	82.14	85.61	85.50	86.30	0.004249	3.68	675.18	401.43	0.91
Axe OUED BISKRA	3300	PF 6	2484.00	81.32	85.07	85.07	85.82	0.005335	3.85	644.42	424.65	1.00
Axe OUED BISKRA	3200	PF 6	2484.00	80.42	84.33	84.33	85.14	0.005331	3.99	623.31	390.66	1.01
Axe OUED BISKRA	3100	PF 6	2484.00	79.14	83.27	83.27	84.19	0.005075	4.25	584.90	320.22	1.00
Axe OUED BISKRA	3000	PF 6	2484.00	78.07	82.55	82.31	83.45	0.003413	4.19	593.26	246.62	0.86
Axe OUED BISKRA	2900	PF 6	2484.00	77.14	81.89	81.89	83.02	0.004731	4.72	526.74	234.33	1.00
Axe OUED BISKRA	2800	PF 6	2484.00	77.07	81.21	81.21	82.26	0.004794	4.55	545.57	257.87	1.00
Axe OUED BISKRA	2700	PF 6	2484.00	76.72	80.75	80.75	81.60	0.005192	4.09	607.01	358.23	1.00
Axe OUED BISKRA	2600	PF 6	2484.00	76.34	79.83	79.74	80.54	0.004508	3.73	666.66	407.50	0.93
Axe OUED BISKRA	2500	PF 6	2484.00	74.37	79.35	79.31	80.06	0.005031	3.72	667.81	443.49	0.97
Axe OUED BISKRA	2400	PF 6	2484.00	74.73	79.49		79.72	0.001041	2.09	1189.04	576.96	0.46
Axe OUED BISKRA	2300	PF 6	2484.00	74.09	78.78	78.78	79.47	0.005774	3.66	678.72	513.30	1.02
Axe OUED BISKRA	2200	PF 6	2484.00	73.48	77.12	77.12	77.82	0.005499	3.69	672.57	483.97	1.00
Axe OUED BISKRA	2100	PF 6	2484.00	72.48	76.39	76.39	77.02	0.005956	3.50	709.28	586.74	1.02
Axe OUED BISKRA	2000	PF 6	2484.00	72.04	75.89		76.41	0.004481	3.18	781.61	604.04	0.89
Axe OUED BISKRA	1900	PF 6	2484.00	72.71	75.29	75.29	75.89	0.005926	3.41	728.57	625.09	1.01
Axe OUED BISKRA	1800	PF 6	2484.00	71.52	74.63	74.63	75.19	0.005901	3.32	748.01	665.06	1.00
Axe OUED BISKRA	1700	PF 6	2484.00	71.75	74.19	74.01	74.60	0.003666	2.84	873.55	685.96	0.80
Axe OUED BISKRA	1600	PF 6	2484.00	71.40	73.54	73.54	74.13	0.005969	3.38	734.45	640.98	1.01
Axe OUED BISKRA	1500	PF 6	2484.00	70.92	72.90	72.82	73.39	0.004676	3.08	806.14	674.07	0.90
Axe OUED BISKRA	1400	PF 6	2484.00	70.31	72.25	72.25	72.85	0.005919	3.43	723.64	614.18	1.01
Axe OUED BISKRA	1300	PF 6	2484.00	67.54	71.65		71.99	0.002067	2.58	963.71	570.89	0.63
Axe OUED BISKRA	1200	PF 6	2484.00	67.16	71.01	71.01	71.63	0.005839	3.50	709.78	579.15	1.01
Axe OUED BISKRA	1100	PF 6	2484.00	67.61	70.51	70.21	70.88	0.002813	2.71	916.37	634.09	0.72
Axe OUED BISKRA	1000	PF 6	2484.00	67.95	69.85	69.85	70.46	0.005878	3.46	717.55	597.89	1.01
Axe OUED BISKRA	900	PF 6	2484.00	65.09	69.54		69.68	0.000540	1.69	1469.84	599.37	0.34
Axe OUED BISKRA	800	PF 6	2484.00	64.94	69.25		69.58	0.001631	2.52	986.75	506.79	0.58
Axe OUED BISKRA	700	PF 6	2484.00	64.49	68.30	68.30	69.25	0.004991	4.31	575.93	305.21	1.00
Axe OUED BISKRA	600	PF 6	2484.00	63.86	67.55	67.53	68.37	0.004965	4.00	620.68	366.62	0.98
Axe OUED BISKRA	500	PF 6	2484.00	63.14	67.14	66.96	67.90	0.004154	3.88	640.07	346.38	0.91
Axe OUED BISKRA	400	PF 6	2484.00	63.18	67.45		67.63	0.000422	1.85	1342.59	397.09	0.32
Axe OUED BISKRA	300	PF 6	2484.00	62.83	67.03		67.52	0.002004	3.08	806.12	356.52	0.65
Axe OUED BISKRA	200	PF 6	2484.00	63.07	66.98		67.32	0.001274	2.57	965.47	398.65	0.53
Axe OUED BISKRA	100	PF 6	2484.00	61.68	66.85		67.19	0.001319	2.56	970.13	413.30	0.53
Axe OUED BISKRA	2.08	PF 6	2484.00	62.89	65.95	65.95	66.90	0.005050	4.30	577.02	308.37	1.00

Les profils en long de l’oued avec les niveaux d’eau entre les 04 ponts et pour les 13.3 km de l’oued pour un débit de 2484 m³/s sont présentés respectivement dans les figures V.8 et V.9.

La figure V.9 illustre une section transversale au PK 8+800 de l’oued alors qu’une vue 3D de l’oued est montrée dans la figure V.10.

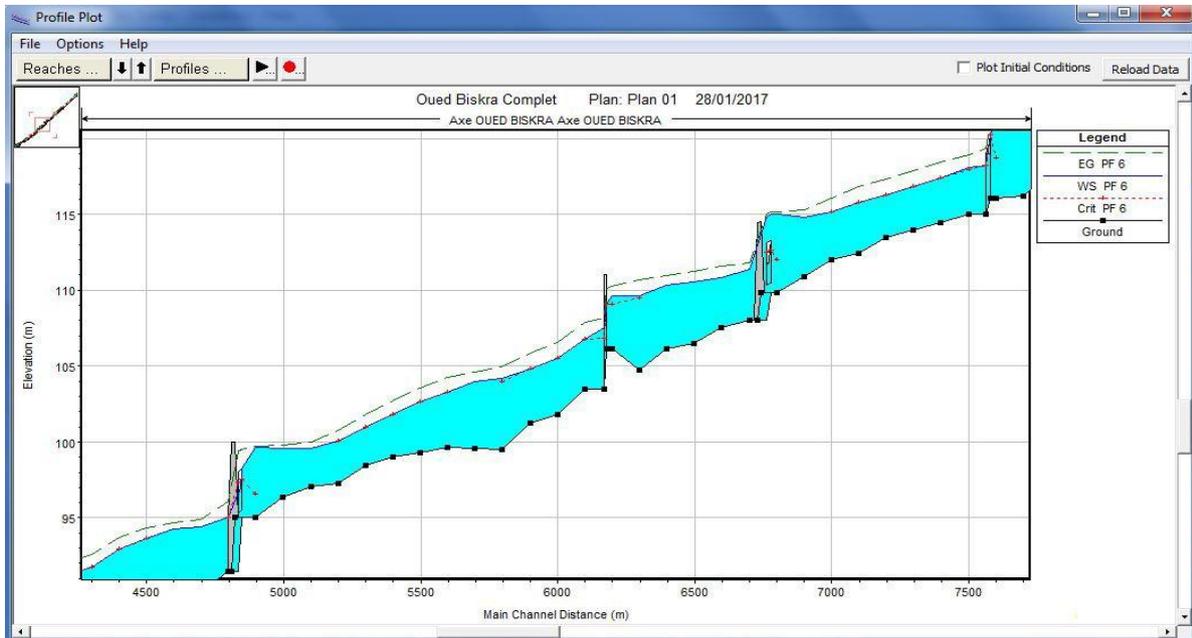


Figure V.7 : Profil en long de l’oued avec les niveaux d’eau entre les 04 ponts pour un débit de 2484 m³/s.

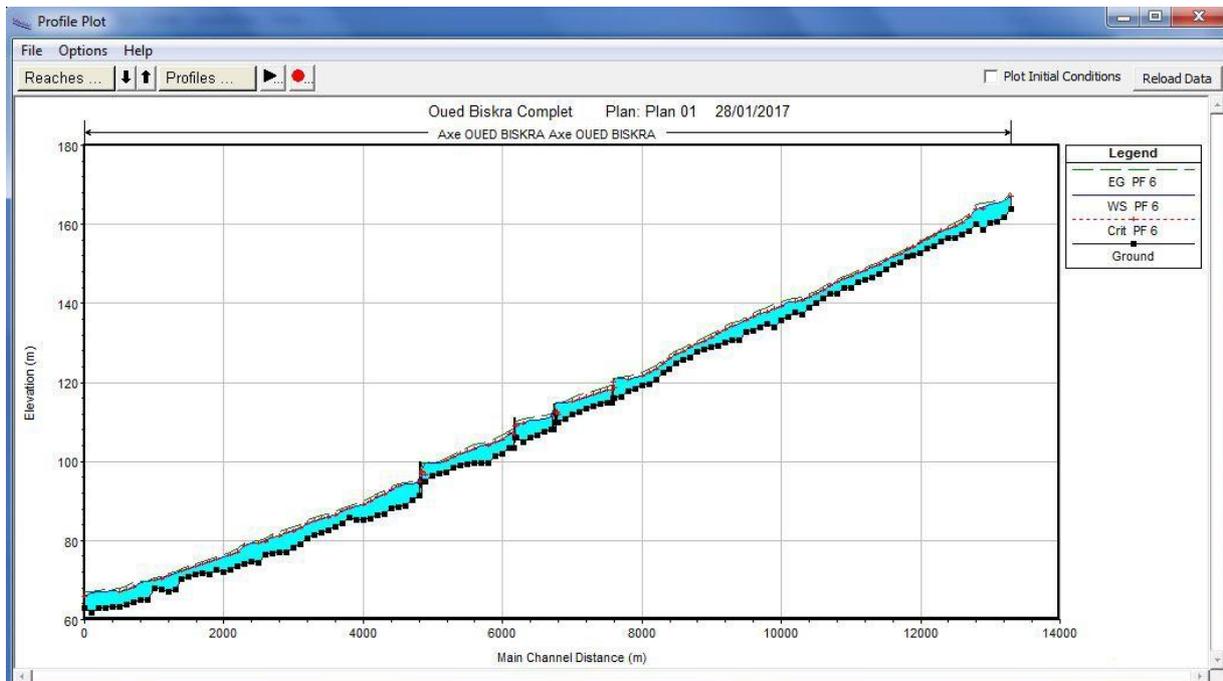


Figure V.8: Profil en long de l’oued avec les niveaux d’eau pour les 13.3 km de l’oued pour un débit de 2484 m³/s.

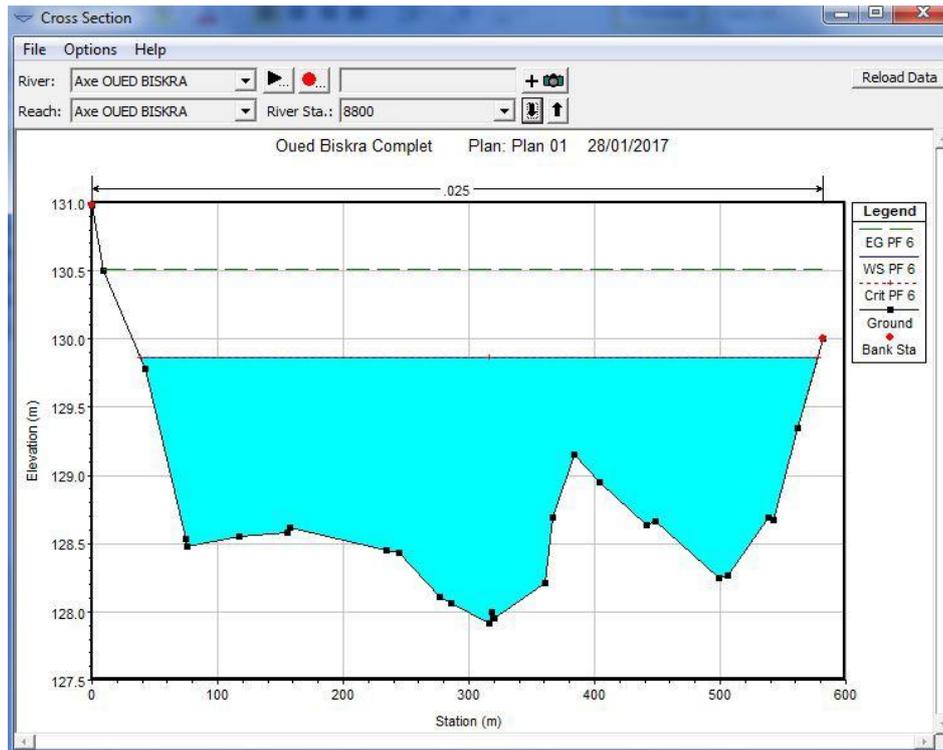


Figure V.9: Section en travers au PK 8+800 de l'oued pour un débit de $2484 \text{ m}^3/\text{s}$.

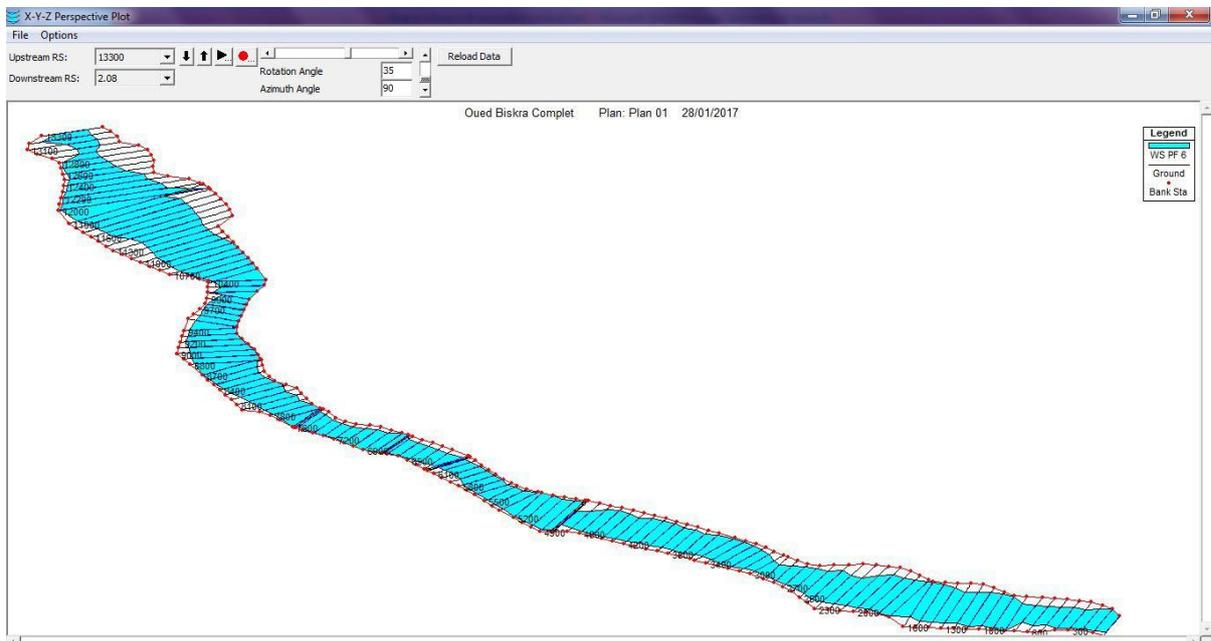


Figure V.10: Vue 3D de l'oued pour un débit de $2484 \text{ m}^3/\text{s}$.

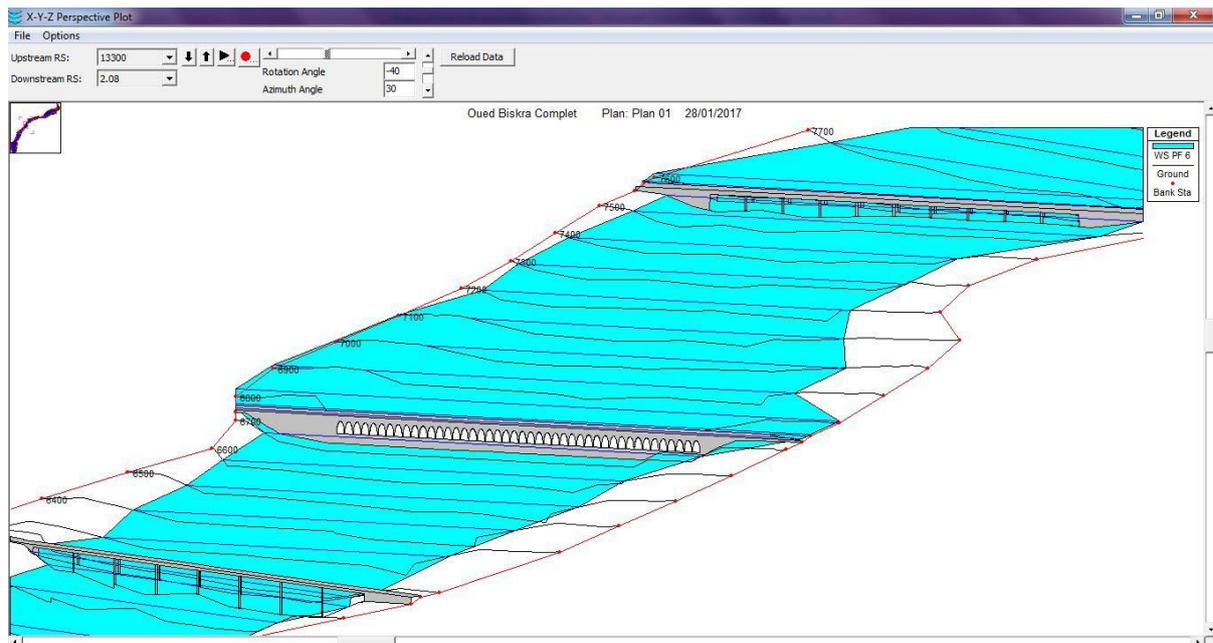


Figure V.11: Vue 3D de l'oued au niveau du pont busée avec débordement sur la rive coté centre-ville pour un débit de 2484 m³/s.

V.5.1. Interpretation des résultats

On remarque d'après les résultats de calculs que l'obstacle le plus influent et qui nous limite le débit de l'oued et le premier pont busée en suivant la direction d'écoulement de l'eau. Ce pont limite le débit à presque 2100 m³/s alors que notre débit centennal pour les trois bassins versants est supérieur à 2484 m³/s.

D'où dans les deux cas on peut dire que l'état actuelle de l'oued SIDI ZERZOUR à la partie du centre-ville avant le pont précédent ne peut dépasser un débit de 2560 m³/s, sachant que la hauteur à gauche est une digue de protection de la ville contre les inondations, de ce faite on remarque qu'on cas de dépassement du débit une bonne partie de la ville sera inondée. Aussi d'après les calculs, on remarque les zones à risque d'inondation sont les suivant (suivant la direction d'écoulement de l'eau) le poste de Sonalgaz et la palmeraie qui commence à être inondée à partir d'un débit de 1800 m³/s et le pont N°01 sur pieu qui ne peut supporter un débit supérieur à 2800 m³/s.

V.5.2. Revanche :

Par rapport au tirant d'eau il convient d'ajouter une revanche pour éviter les risques de débordement. Ce qui fait que la cote de couronnement des berges doit être égale à la cote de niveau d'eau majoré de la revanche. 'Dising of small dams' propose la formule suivante pour l'évaluation de la revanche.

$$R = 0.6 m + 0.05 v^3 \sqrt{h}$$

Avec :

- R : La revanche à adopter;
- V : Vitesse d'écoulement dans le canal;
- h : Hauteur d'eau dans le canal

Pour notre cas on proposera directement une revanche de 0.7 m.

V.5.3 Section ovale des ponts busés :

Pour les sections ovales du pont on a du redessiner la section en travers suivant les dimensions réels, supposer que la buse ovale est rempli à 90 % puis déduire graphiquement la section mouillée, le périmètre mouillé et le rayon hydraulique comme le démontre la figure suivante.

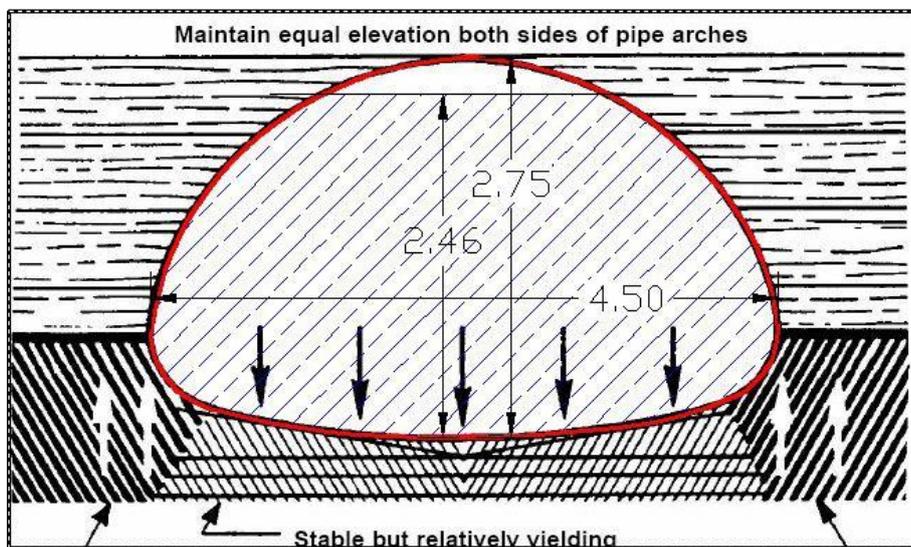


Figure V.12 : Section en travers ovale du pont busé.

La hauteur de la buse est de 2.75m et sa largeur est de 4.5m, obtient alors une surface mouillée de 9.09 m² et un périmètre mouillée de 9.418 m soit un rayon hydraulique de 0.965 m. Avec une pente moyenne de 1.2 % et une rugosité des parois de MANNINIG STRICKLERK = 60 et pour une hauteur d'eau de 2.46 m (90% de la hauteur total) on obtient avec la formule de l'écoulement à surface libre ($Q = K \times S \times R^{2/3} \times I^{1/2}$) un débit unitaire par buse de **Q Buse = 58.34 m³/s.**

Sachant que le **premier pont** possède **44 buses** ce qui signifie qu'il ne peut débiter que **Q pont1 = 2567 m³/s.** Par contre le deuxième pont possède 53 buses ce qui signifie qu'il peut débiter **Q pont2 = 3092 m³/s.**

On appliquant un **coefficient de contraction d'entrée à l'intérieur des buses de 0.85%** le premier pont ne pour débiter que **Q pont1 = 2182 m³/s.** Par contre le deuxième pont peut débiter **Q pont2 = 2628 m³/s.**

Le gros problème de la ville est le premier pont car il limite le débit à **2182 m³/s**, ce qui est nettement inférieur au débit de crue supposée lors des calculs qui est de **2484 m³/s qui est juste le débit centennal de trois bassins et non pas le débit millénaire**. En plus sur la rive droite de cette partie de l'oued suivant le sens d'écoulement une digue d'une hauteur de 04 m est construite pour la protection de la ville contre les crues de l'oued, Donc en cas de crue, c'est cette partie de la ville qui est dans une zone à risque d'inondation.

V.6. Aménagements proposés :

Nous avons constaté 05 zones inondables à savoir (par ordre de gravité) :

1. Premier pont busé de la ville car il limite le débit véhiculé par l'oued à 2100 m³/s, sachant que sur sa rive droite une digue est implanter pour protéger la ville. Donc c'est toute cette partie de la ville qui est sous risque d'inondation.
2. Le deuxième problème se trouve au niveau du poste Sonalgaz ou une forte probabilité d'inondation subsiste à partir d'un débit de 2100m³/s
3. Le troisième point critique est la palmeraie qui se situe avant l'entrée de la ville sur la rive gauche qui présente un risque d'inondation à partir d'un débit de 2000m³/s.
4. Le quatrième point est avant le pont N°01 sur pieu (actuellement en construction) à l'entrée de la ville que ne peut débiter plus de 2500m³/s.
5. Le cinquième point et la rive droite du pont buse N°02 qui ne peut débiter plus de 2500 m³/s. Avant de proposer des solutions pour les deux crues centennale (période de retour 1/100) millénaire (période de retour 1/1000), On propose:
 - Une expertise d'assainissement pour drainer les eaux pluviales à l'intérieur de la ville
 - Renforcer le système du réseau d'assainissement existant par des regards avaloires nécessaires.
 - Créer un collecteur du réseau d'assainissement des eaux pluviales.

V.6.1. Solution pour la crue centennale (période de retour 1/100):

Concernant la solution pour la crue centennale au milieu du tissu urbain les 03 types d'aménagements suivants sont recommandés.

V.6.1.1. Rééquilibrage du lit d'oued :

Vue l'état actuel du lit d'oued (Pleins de dépôts de terre) qui gênent l'écoulement de la crue centennale et qui font augmenter le niveau d'eau par conséquence, le rééquilibrage et le nettoyage du fond d'oued avec un aménagement d'une cunette au milieu pour les petits débits et plus que nécessaire pour assurer un bon écoulement.

Rien qu'avec le rééquilibrage ,nous allons avoir une diminution considérable du niveau d'eau durant la crue centennale et les zones inondables seront désormais non inondables (le calcul doit être confirmé par).

V.6.1.2. Agrandissement de la section de passage d'eau au niveau du premier pont busé

Ce dernier limite le débit à 2100 m³/s, sachant que sur sa rive droite une digue est implantée pour protéger la ville. Donc c'est toute cette partie de la ville qui est sous risque d'inondation. La solution est donc d'agrandir la section de passage d'eau au niveau de ce pont en créant une ouverture sur la rive gauche.

Aussi pour assurer que les eaux ne pénètrent pas vers le centre-ville, un mur sera implanté sur la digue de protection de cette dernière ce mur est une assurance en plus pour s'assurer que la partie du centre-ville qui est la plus exposée au risque d'inondation sera la dernière à être inondées en cas de crue exceptionnel.

V.6.1.3. Elargissement de la section de l'oued Avant le premier Pont sur pieu

Afin d'éviter les inondations en ce point, la solution est d'élargir la section de passage d'eau Avant le premier Pont sur pieu (en cours de construction), en intégrant les zones des stades dans l'oued.

V.6.1.4. Rive droite du pont buse N°02:

Après rééquilibrage de l'oued avec une pente uniforme, le problème de la rive gauche du pont busée N°01 ne sera plus posé.

V.6.1.5. Poste SONALGAZ:

Le poste thermoélectrique de SONALGAZ ce site à 2.0 km en amont du premier pont sur pieu, la hauteur d'eau en ce point est de 02m. Sachant un mur en gabion est déjà implanté la solution est d'augmenté la pente en ce lieu.

V.6.1.6. Palmeraie à 1.0 km en amont du premier pont surpieux :

Au niveau de a palmerai à 1.0 km en amont du premier pont sur pieux en construction actuellement, la hauteur d'eau selon les résultats de calculs est de 02 m soit à la cote de 126 m NGA, Sachant que la palmeraie qui si situe sur la rive gauche est à la cote de 125.5 cette dernière sera inondée. Un mur en gabion d'une hauteur de 1.5 m sera projeté. Ce mur sera plus haut si le rééquilibrage en aval de cette zone n'aura pas eu lieu

V.6.1.7. Sortie de la ville au niveau du périmètre agricole de MESDOUR :

L'oued en cette zone à 4.8 km en aval du deuxième pont busé est rétréci par l'existence des zones agricoles à l'intérieur de ce dernier. Ce rétrécissement provoque une remonté considérable qui gêne l'écoulement et qui inonde les agricultures. De préférence il faut écarter

ces zones agricoles de l'oued afin de permettre un écoulement simple et rapides des eaux en cette zone de l'oued.

V.6.1.8. Sortie de la ville au niveau du QUARTIERFELIACH:

Au niveau de ce cartier à 2.0 km en aval du deuxième pont busé, l'oued se rétrécit à une largeur de 265 m ce qui provoque une augmentation de la vitesse des eaux et qui érode les talus. La solution pour cette zone vue qu'elle est limitée dans sa rive gauche par des habitations et sur sa rive droite par la route nationale, le mieux est de bien protéger les berges de la route par des gabions ou des murs de soutènements pour éviter l'érosion du sol, en plus du rééquilibrage du font de l'oued.

V.6.2. Solution pour la crue millénaire (période de retour 1/1000):

Pour la crue de période de retour 1/1000 (crue millénaire de 4159 m³/s) la solution idéale se trouve à 4 km avant la ville au point d'intersection entre le les trois bassins versants. La solution est de projeter 03 digues sur les 03 axes d'oued qui alimentent oued ZERZOUR. Les digues seront dimensionnées de manière à limité le débit d'Oued ZERZOUR à la crue centennale soit 2500 m³/s. Le reste du débit qui arrive aux digues sera stocké en amont de ces derniers.

De préférence ces digues seront réalisées en terre avec un noyau étanche, vue la disponibilité des matériaux de remblaiement sur le site des barrages.

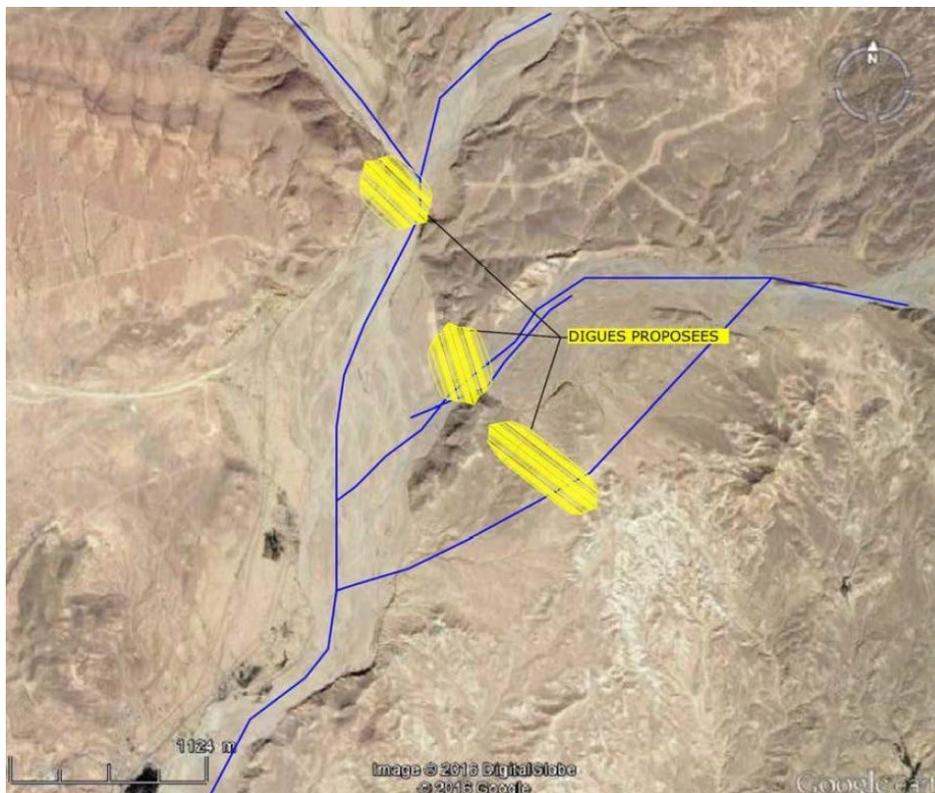


Figure V.13: Positionnement des digues en amont de la ville.

V.7. Conclusion :

L'objectif de la modélisation hydraulique des écoulements de l'oued est la délimitation des zones à risques d'inondation en utilisant les résultats des calculs hydrologiques et topographiques sur un logiciel de calcul bidimensionnel.

En suivant ces étapes et en utilisant le logiciel de calcul HEC RAS on a constaté 5 zones inondables:

1 Le premier pont busé de la ville car il limite le débit véhiculé par l'oued à 2100 m³/s, sachant que sur sa rive droite une digue est implanter pour protéger la ville. Donc c'est toute cette partie de la ville qui est sous risque d'inondation.

2 Le deuxième problème se trouve au niveau du poste Sonalgaz ou une forte probabilité d'inondation subsiste à partir d'un débit de 2100m³/s

3 Le troisième point critique est la palmeraie qui se situe avant l'entrée de la ville sur la rive gauche qui présente un risque d'inondation à partir d'un débit de 2000m³/s.

4 Le quatrième point est avant le pont N°01 sur pieu (actuellement en construction) à l'entrée de la ville que ne peut débiter plus que 2500m³/s.

5 Le cinquième point est la rive droite du pont buse N°02 qui ne peut débiter plus que 2500 m³/s.

Les principales solutions proposées, pour une crue centennale, concernent le rééquilibrage de l'oued au niveau du tissu urbain sur un linière de 3.4 km, et l'augmentation de la section de passage d'eau au niveau du premier pont busé en créant une ouverture toute en protègent l'autre rive avec un mur en gabions de 1.5m de hauteur.

Pour la crue millénaire, La solution est de projeter 03 digues sur les 03 axes d'oued qui alimentent oued ZERZOUR.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le territoire nationale est soumis aux inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social . D'après le recensement effectué par les services de la protection civile, une ville sur trois est susceptible d'être inondée en partie ou en totalité. Les grandes villes doivent alors trouver un moyen de gérer le surplus des eaux d'inondations qui deviennent progressivement plus communes. Les inondations entraînent de nombreuses conséquences dont la contamination des sources d'eau en plus de l'érosion, d'un risque plus élevé de glissements de terrain ainsi et d'importants dégâts humains et matériels.

La ville de Biskra a connu plusieurs inondations, d'importance très variable. Parmi les plus forts écoulements, nous signalerons celui d'Avril 1949 qui causa des dégâts sérieux aux habitants de la rive droite de l'oued.

Pour éviter les dégâts des inondations qui se produisent lors des saisons hivernales, une étude hydrologique détaillée de la région d'étude a été menée. La ville de Biskra est donc située dans une région semi-aride, les précipitations, étant caractérisées par de fortes irrégularités ayant généralement des effets dévastateurs et néfastes à travers les crues des cours d'eau.

La modélisation hydraulique des écoulements de l'oued a permis la délimitation des zones à risques d'inondation en utilisant les résultats des calculs hydrologiques et topographiques sur un logiciel de calcul bidimensionnel HEC-RAS.

En se basant sur les résultats obtenus à l'aide du logiciel de calcul HEC-RAS, on a détecté 5 zones inondables.

Pour la maîtrise des crues, nous avons envisagé quelques aménagements:

- Faire un rééquilibrage d'oued en amont pour éviter le débordement des eaux en cas des crues.
- Elargissement des sections de passage dans les endroits critiques.
- Changer les pentes si nécessaire.
- Protéger les berges de la route par des gabions ou des murs de soutènements pour éviter l'érosion du sol.
- Un mur en gabion d'une hauteur de 1.5 m sera projeté. Ce mur sera plus haut si le rééquilibrage en aval de cette zone n'aura pas eu lieu.
- Faire une expertise d'assainissement pour drainer les eaux pluviales à l'intérieur de la ville.
- Renforcer le système du réseau d'assainissement existant par des regards avaloires nécessaires.
- Créer un collecteur du réseau d'assainissement des eaux pluviales.
- Pour la crue millénaire, La solution est de projeter 03 digues sur les 03 axes d'oued qui alimentent oued ZERZOUR.

Bibliographie

1. Abdeddaim. " Contribution à la mise en oeuvre d'une méthode d'analyse du risque d'inondation et de prévision des solutions d'aménagement". 2008,Thèse de magister, Université deBatna.
2. Aissa M. "Protection des villes contre les inondations cas du centre d'ain fezza Tlemcen". Master 2016, Université Abou Bekr Belkaid , Tlemcen.
3. Anctil, F. " L'eau et ses enjeux" (4e éd.), 2015, Laval, QC : les presses de l'université Laval.
4. Boutouga Fateh." Ressources et Essai de Gestion des eaux dans le Zab Est de Biskra". Master 2012, Université Badji Mokhtar, Annaba.
5. Chachoua A. "Gestion de crue dans un bassin versant –Etude hydrologique, hydraulique et aménagement". 2010, Mémoire de Magister, Université de Tlemcen. Daewoo Engineering . "Rapport final de l'étude d'aménagement d'oued ELHARRACH: Elaboration d'un Plan Directeur de Requalification d'Oued El Harrach". 2012.Alger.
6. Duglas. A."Caractérisation du régime des crues le modèle débit-durée-fréquence convergent Approche locale et régionale". 2001,Thèse Doctorat. Institut national polytechnique de Grenoble.
7. Environment and Climate Change Canada (ECCC)."Reducing Flood Damage".2013. Repéré à <https://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=72FDC156-1> Gerared Degoutte. " Diagnostic aménagement et gestion des rivières Hydraulique et morphologie fluvial appliquées". 2012, 2édition Expert hydraulique à IRSTEA, enseignant en écoles d'ingénieur.
8. Guehiliz Naoual . "Contribution à l'étude des plantes spontanées dans l'Oued de Biskra". Master 2016,Université Mohamed Khider-Biskra.
9. Hafiane Ikram et Benzaid Ismahane." lutte contre les inondations de la commune de Bouhachanna". Master 2015, Université 8 Mai 1945 de Guelma.
10. Komarnicki, J." Winnipeg Floodway has Saved \$32 billion in Flood damages".2013 5 octobre,Calgary Herald. Repéré à <http://www.calgaryherald.com/news/winnipeg+floodway+saved+billion+flood+damages/9000252/story.html>
11. Meguenni Abdelkader. "contribution a l'étude hydrogéologique de la nappe du mio- plio- quaternaire de la region sud de la ville de Biskra, Algérie". Master 2013, Université Abou Bekr Belkaid , Tlemcen.

12. Mississippi Valley Conservation Authority (MVCA), Ontario Power Generation (OPG), Canadian Hydro Developers Inc. (CHD), Enterdu Power Systems Ltd. (EPS), Mississippi Valley Power Corporation (MVPC), Ontario Ministry of Natural Resources (OMNR).. Mississippi River Water Management Plan. (Rapport de gestion des eaux final préparé pour OMNR). 2006, Kemptville, Ontario :MVCA.
13. Rouabah Wafa." les critères environnementaux des aménagements hydrauliques- cas d'étude Oued Chebba ville d'Elmhir w.bba".Master 2015, ENSH, Blida.
14. Salomon Jean-Noël. "L'homme face aux crues et aux inondations". 1997, Presses Universitaire de Bordeaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux.
15. Zaiz Issam."Etude de protection de la ville de cherchell (w.Tipaza) contre les inondations". Master 2008, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique « Arbaoui Abdellah »,Blida.