

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR
HYDRAULICS

"The Mujahid Abdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري
"المجاهد عبد الله عرباوي"

ⵎⵓⵔⵉⵏⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵏ ⵓⵎⵓⵔⵉⵏ ⵏ ⵓⵙⵏⵉⵙⵏ ⵏ ⵓⵙⵏⵉⵙⵏ

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : Conception des systèmes d'assainissement

THEME :

**Aménagement d'Oued Djemaa commune d'Isser
Wilaya de Boumerdes**

Présenté par :

AIT HACENE Siham.

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms		Grade	Qualité
DJOUDAR	Dahbia	M. C. A	Présidente
TOUAHIR	Sabah	M. A. A	Examinatrice
HADJ SADOK	Nabila	M. A. A	Examinatrice
MEDDI	Mohamed	Professeur	Promoteur

Session Novembre 2021

Dédicace

*Je dédie ce travail à mon regretté oncle **Rabeh AIT HACENE** et à l'âme de Mr.
Rabeh BENAHAD*

Qu'Allah leur accorde le plus haut paradis.

C'est avec un immense plaisir que je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents

Puisse dieu faire de cet accomplissement une récompense de leurs sacrifices et de leurs efforts.

Mes chers frères

Mahdi et Faycel

Mes grands-parents

Que dieu leurs donne de la santé

Ma grande famille

Qui a toujours cru en moi

AZZONE Hocine

Mon oncle qui m'a toujours soutenu

Manel et Amel

Mes copines depuis l'enfance, mes sœurs.

Mes copines

Avec qui j'ai partagé les bons et les mauvais moments, votre connaissance est un plaisir pour moi

(Imene, Meriem, Khayra, Fatima, Souassan)

Remerciement

Tout un travail réussi dans la vie nécessite d'abord la bénédiction d'ALLAH, et ensuite l'aide et le support de plusieurs personnes. Je tiens donc à le remercier en premier degré ensuite à adresser ma reconnaissance à toute personne qui m'a aidé de loin ou de près afin de réaliser ce travail.

Tout d'abord, j'adresse mon grand amour et respect à mes parents ; mon père pour son sacrifice, ma mère pour sa tendresse ; grâce à leurs amours, confiances, soutien morale je suis arrivée où je voulais. A mes frères Mahdi et Faycel, à mes grands-parents pour leurs soutien et encouragements et surtout le douaa. Mon plus grand souhait dans cette vie, c'est de les voir toujours à côté de moi, en bonne santé, heureux et que la paix soit avec eux.

Ensuite, j'exprime mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à Mr Mohamed MEDDI, Professeur à l'ENSH, pour m'avoir encadrée. Je lui exprime ma reconnaissance pour ses précieux conseils qui m'ont guidé à la réalisation de ce mémoire.

Puis, je présente mes vifs remerciements à Mr TOUMI, Mr AMMARI et Mr BOUKHELIFA et à l'ensemble de mes enseignants en graduation et en post graduation qui m'ont orienté vers le bon chemin de recherche ; je remercie les membres de jury pour le soutien et l'intérêt qu'ils ont portés à ce travail

Enfin, je tiens à remercier très vivement :

Mme BRAHMI, Mr ABID, Mr BERGHOUT, Mr FERHATI et Mr ARIBI, ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

Siham AIT HACENE

المخلص

الجزائر من البلدان التي واجهت ظواهر الفيضانات التي تتجلى بشكل كارثي، مما يشكل عائقاً رئيسياً للتنمية الاقتصادية والاجتماعية. تهدد العديد من المناطق في البلاد بهذه الكوارث الهيدرولوجية، والتي غالباً ما تتفاقم آثارها بسبب التحضر الفوضوي الذي ينطوي على احتلال الأراضي التي غمرتها الفيضانات وحتى ضفاف الوديان. من خلال هذا العمل سنهتم بحماية مدينة يسر من الفيضانات من خلال تهيئة الرافد الرئيسي لوادي يسر الذي يحيط بهذه المدينة، نتحدث عن واد جمعة. مفاتيح الكلمات: ظواهر، الفيضانات، حماية، تهيئة، الرافد، واد جمعة.

Résumé

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social. Plusieurs régions du pays menacées par ces catastrophes hydrologiques dont les effets sont souvent intensifiés par une urbanisation anarchique impliquant une occupation des terres inondées et même les rives des oueds. A travers ce travail, on va s'intéresser à la protection de la ville d'Isser contre les inondations en aménageant l'affluent principale d'oued Isser qui entoure cette ville, on parle d'Oued Djemaa.

Mots clés : Phénomène, Inondation, Protection, Aménagement, affluent, Oued Djemaa.

Abstract

Algeria is one of the countries confronted with the phenomena of floods that manifest themselves in a catastrophic way constituting a major constraint for the economic and social development. Several regions of the country threatened by these hydrological disasters whose effects are often intensified by anarchic urbanization involving the occupation of flooded land and even the banks of wadis. Through this work, we will focus on the protection of the city of Isser against flooding by developing the main tributary of Oued Isser that surrounds this city, we speak about Oued Djemaa.

Key words: Phenomena, Floods, Protection, Developing, Tributary, Oued Djemaa.

SOMMAIRE

Remerciement.....	i
Résumé.....	i
Introduction générale	1
CHAPITRE I : Généralité sur les inondations	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Définition des inondations :.....	3
I.3. Crues.....	3
I.3.1. Définition.....	3
I.3.2. Processus conduisant aux crues :.....	4
a. Eau mobilisable :.....	4
b. Ruissellement :.....	4
c. Temps de concentration (ou durée caractéristique) :.....	5
d. Propagation de la crue :.....	5
e. Débordement :.....	5
I.4.1. Types des inondations principales:.....	5
a. Inondations lentes (ou inondations de plaine) :.....	5
b. Inondations due aux crues torrentielles :.....	6
c. Inondations par ruissellement urbain :.....	7
I.4.2. Types des inondations particulières :.....	7
a. Inondations par les torrents :.....	7
b. Inondations par remontée de nappe :.....	7
c. Submersions marines :.....	8
d. Inondation par rupture d'une protection :.....	9
I.5. Gestion des risques liés aux inondations :.....	9
I.5.1. Prévision :.....	9
a. Observations de terrains	10
b. Mise en place d'un service d'annonce de crues :.....	10
I.5.1. Aménagement du bassin versant.....	11
a. Niveau des versants :.....	11
b. Niveau du lit :.....	11
I.5.3. Pendant et après la crise :.....	12
I.6. Inondations en Algérie :.....	12
I.6.1. Recensement des inondations catastrophiques en Algérie (1970 – 2001) : [Lahlah,2004]	12
I.7. Conclusion :.....	14

SOMMAIRE

CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction	16
II.2. Présentation de la commune d'isser	16
II.2.1. Situation	16
II.2.2. Limites administratives	16
II.3. Agglomérations urbaines	18
II.4. Situation climatique	19
a. Climat	19
b. Pluviométrie	19
c. Température	21
d. Vent	22
e. Humidité	22
f. Rayonnement solaire	22
g. Aléas naturels	23
II.5. Les données physiques de la commune	23
a. Relief et la géologie	23
b. Zone des vallées	23
c. Zone des collines	24
d. Zone des piémonts	25
e. Hydrogéologie	25
II.6. Activités économiques :	26
a. Secteur agricole	26
b. Secteur industriel	26
II.7. Hydraulique	27
a. Assainissement	27
II.8. Situation hydrographique	27
II.8.1. Oued Djemaa	28
II.9. Menace d'inondation aux Issers	28
II.10. Conclusion	29

CHAPITRE III : Caractéristiques du bassin versant d'oued djemaa

III.1. Introduction	31
III.2. Définition du bassin versant	31
III.3. Caractéristiques physiographiques et morphologiques	32
a. Superficie:	33
b. Périmètre	33
c. Caractéristique de forme.....	33
d. Relief.....	34

SOMMAIRE

III.4. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant	40
III.5. Conclusion	45

CHAPITRE IV : Etude climatique et hydrologique

IV.1. Introduction	47
IV.2. Etude des précipitations et des écoulements	47
a. Présentation de la station de mesure	47
b. Pluies maximales journalières	48
c. Analyse statistique des pluies maximales journalières	49
d. Caractéristiques empiriques de la série des pluies maximales journalière	49
e. Choix de la loi d'ajustement	49
f. Détermination de la pluie maximale journalière	56
g. Courbes intensité – Durée – Fréquences	57
IV.3. Etude des crues	59
a. Construction des hydrogrammes des crues (SOKOLOVSKY)	61
b. Résultat de calcul	62
IV.4. Conclusion	63

CHAPITRE V : Modélisation Hydraulique

V.1. Introduction	65
V.2. Choix de type de modélisation	65
V.3. Présentation de logiciel HEC-RAS	65
V.3.1. Points forts et points faibles	66
a. Points forts	66
b. Points faibles	66
V.4. Mode pratique	67
V.4.1. Application sur Civil 3D	67
V.4.2. Application HEC-RAS	70
a. Présentation de la fenêtre principale de HEC-RAS	71
b. Lancement de calcul	72
V.4.3. Discussion des résultats	79
V.5. Conclusion.....	79

CHAPITRES. VI : Calcul hydraulique

VI.1. Introduction	81
VI.2. Nature d'écoulement dans les canaux	81
VI.2.1. Type d'écoulement de surface	82
VI.2.1.1. Variabilité dans le temps.....	82
VI.2.1.2. Variabilité dans l'espace	83
VI.2.1.3. Régime permanent graduellement varié	84

SOMMAIRE

VI.3. Proposition d'aménagement	85
VI.3.1. Description et caractéristique de chaque variante	85
VI.3.2. Choix de la variante	85
VI.4. Description du matelas Reno	86
VI.5. Critère de choix de la méthode de protection	88
VI.6. Dimensionnement des ouvrages proposés	88
VI.7. Choix de la section	88
VI.8. Calcul hydraulique.....	90
VI.8.1. Formules de dimensionnement des canaux.....	90
VI.8.2. Choix des paramètres de dimensionnement.....	91
VI.8.3 Conclusion.....	92
CHAPITRES VII : Organisation de chantier	
VII.1. Introduction	94
VII.2. Préparation de chantier	94
a. Débroussaillage et nettoyage du terrain	94
b. Décapage	94
c. Déblai	94
d. Fourniture et mise en œuvre de matelas reno	95
VII. 3. Fourniture et mise en œuvre de matelas reno	95
VII.3.1. Mise en œuvre du matelas Reno	95
VII.3.2. Remplissage du matelas Reno	96
VII.3.3. Fermeture du matelas Reno	97
VII.4. Engins utilisés	98
VII.4.1. Engins de débroussaillage	98
VII.4.2. Engins de terrassements	98
VII.5. Devis de projet.....	100
VII.6. Conclusion	100
CONCLUSION GENERALE.....	102
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	104
Annexe.....	107

Liste des figures

Figure I. 1 : Exemple d'une inondation de plaine.....	6
Figure I. 2 : Les inondations dues à des crues torrentielles.....	7
Figure I. 3 : Exemple d'une inondation par remontée de la nappe.....	8
Figure I. 4 : Exemple d'une inondation par submersion marine.....	9
Figure I. 5 : Exemple d'une inondation par rupture de protection.....	9
Figure II. 1 : Situation de la zone d'étude.....	16
Figure II. 2 : Limite administrative de la commune d'Isser.....	17
Figure II. 3 : Pluies mensuelles de la station de Bordj Menaiel (1971-1995).....	20
Figure II. 4 : Pluies mensuelles de la station de Draa Ben Khadda (1968-2011).....	20
Figure II. 5 : Pluies mensuelles de la station de Lakhdaria (1967-2011).....	21
Figure II. 6 : Système unitaire.....	27
Figure III. 1: Bassin versant de la zone d'étude.....	32
Figure III. 2: la courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Djemaa.....	35
Figure III. 3: Hiérarchisation du réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Djemaa.....	41
Figure IV. 1 : Ajustement des P_{jmax} à la loi GEV.....	51
Figure IV. 2 : Les caractéristiques de la loi GEV.....	52
Figure IV. 3 : Ajustement des P_{jmax} à la loi Normale.....	53
Figure IV. 4 : Les caractéristiques de la loi Normale.....	53
Figure IV. 5 : Ajustement des P_{jmax} à la loi Lognormal.....	55
Figure IV. 6 : Les caractéristiques de la loi Lognormale.....	55
Figure IV. 7 : Situation géographique des douze (12) régions homogènes.....	56
Figure IV. 8 : Courbe IDF.....	59
Figure IV. 9 : carte des trois régions homogènes.....	60
Figure IV. 10 : Hydrogramme de crue du bassin versant d'Oued Djemaa.....	62
Figure V. 1 : Création d'une surface.....	67
Figure V. 2 : création d'un contour.....	68
Figure V. 3 : Présentation de travail fait sur le logiciel Civil 3D.....	69
Figure V. 4 : L'interface de logiciel HEC-RAS.....	71
Figure V. 5 : L'interface de logiciel HEC-RAS 6.1.0 après la création de fichier.....	73
Figure V. 6 : Choix de l'unité de calcul.....	73
Figure V. 7 : Importation des données.....	74
Figure V. 8 : Présentation de la géométrie d'oued Djemaa.....	74
Figure V. 9 : Présentation d'une section.....	75
Figure V. 10 : Introduction du débit.....	75
Figure V. 11 : Introduction des conditions aux limites.....	76
Figure V. 12 : Lancement de la simulation.....	76
Figure V. 13 : Graphe de la hauteur d'eau pour une section spécifique.....	77
Figure V. 14 : L'élévation d'eau sur le long de l'oued.....	77
Figure V. 15 : Visualisation des résultats de la simulation sur RAS Mapper.....	78
Figure V. 16 : Exportation des résultats de HEC-RAS vers ArcGIS.....	78
Figure V. 17 : Zones inondables (crues centennales).....	79
Figure VI. 1: Ecoulement à surface libre.....	82
Figure VI. 2: Types d'écoulements (variabilité dans le temps).....	82
Figure VI. 3: Type d'écoulement (variabilité dans l'espace).....	83
Figure VI. 4: Schéma explicatif des types d'écoulement.....	84
Figure VI. 5: Matelas Reno : spécification technique.....	86
Figure VI. 6: Revêtements continus d'épaisseur modeste et de flexibilité considérable.....	87
Figure VI. 7: La section de meilleure conductivité pour différentes formes de canal.....	89
Figure VII. 1 : Préparation du font de matelas reno.....	96
Figure VII. 2 : Remplissage de matelas reno.....	96
Figure VII. 3 : Fermeture du matelas Reno.....	97
Figure VII. 4 : Epareuse.....	98
Figure VII. 5 : Chargeuse pelleuse.....	99
Figure VII. 6 : Pelle mécanique hydraulique.....	99

Listes des tableaux

Tableau III. 1 : Surfaces partielle par tranche d'altitude	35
Tableau III. 2 : Résultats de l'indice de pente.....	37
Tableau III. 3 : Classification des reliefs.....	38
Tableau III. 4 : Longueurs correspondantes à chaque courbe de niveau.....	38
Tableau III. 5 : Résultats de l'indice de pente moyenne.....	39
Tableau III. 6 : Résultats de l'indice de pente roche.....	39
Tableau III. 7 : Temps de concentration.....	43
Tableau III. 8 : Caractéristiques hydro-morphométriques du bassin versant.....	45
Tableau IV. 1 : caractéristiques de la station pluviométrique de DRAA BEN KHEDDA.....	47
Tableau IV. 2 : Série des pluies maximales journalières de la station de Draa Ben Khedda ..	48
Tableau IV. 3 : caractéristique empirique de la série pluviométrique.....	49
Tableau IV. 4 : Tableau de classement selon l'ordre (fréquences) de la loi GEV.....	50
Tableau IV. 5 : Tableau de classement selon l'ordre (fréquences) de la loi Normale.....	52
Tableau IV. 6 : Tableau de classement selon l'ordre (fréquences) de la loi Lognormale	54
Tableau IV. 7 : $q(F)$ (quantile fonction).....	57
Tableau IV. 8 : Pluies maximales journalière fréquentielle.....	57
Tableau IV. 9 : la pluie de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retours. ...	58
Tableau IV. 10 : Fonction quantile $q(F)$	60
Tableau IV. 11 : Formules des Q_{max} selon les trois régions du Nord Algérien.....	60
Tableau IV. 12 : Débit de crue pour différentes périodes de retour.....	61
Tableau IV. 13 : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue a.....	61
Tableau IV. 14 : Débit de crue.....	62
Tableau VI. 1 : Les caractéristiques des matelas Reno standard.....	87
Tableau VI. 2 : Paramètres géométriques d'un canal trapézoïdal.....	90
Tableau VI. 3 : Caractéristique de la section optimale d'une section trapézoïdale.....	90
Tableau VI. 4 : Pente du radier aux différents tronçons.....	91
Tableau VI. 5 : Hauteur d'eau de différents tronçons.....	92
Tableau VII. 1: Devis estimatif et quantitatif de projet.....	100

Listes des planches

Planche n°1 : Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Djemaa.

Planche n°2 : Plan de masse de la ville d'Isser.

Planche n°3 : Plan d'aménagement d'oued Djemaa.

Planche n°4 : profil en long.



Introduction Générale

Introduction générale

Une inondation est une submersion temporaire naturelle d'un espace par l'eau. Ce phénomène est caractérisé par une montée plus au moins subite du niveau d'un cours d'eau. Elle se manifeste par un débordement du lit de l'oued ou par un afflux de l'eau dans les talwegs, sous forme de crue. Cette dernière fait partie intégrante de la vie d'un cours d'eau de façon que l'alternance entre hautes et basses eaux façonne la morphologie et la biodiversité du milieu. Cependant, la modification de l'occupation des sols dans le bassin versant et aux bords des oueds ainsi que leurs anthropisations accentuent ce phénomène et l'aggravent, soit par augmentation du ruissellement ou par exposition des enjeux.

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social.

Plusieurs régions du pays menacées par ces catastrophes hydrologiques dont les effets sont souvent intensifiés par une urbanisation anarchique impliquant une occupation des terres inondées et même les rives des oueds.

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

Les risques des inondations sont dus à l'interaction complexe de plusieurs composantes, c'est le produit de la concomitance de facteurs topographiques, géologique, hydrologiques, météorologiques et humains.

L'objectif de cette étude est la protection de la ville d'Isser contre les inondations. Ce rapport de synthèse a pour but la collecte des données et l'analyse de ces dernières afin de mettre en place une méthode de travail adéquate pour bien cerner la problématique d'inondation de la ville d'Isser.

Ce mémoire s'organise autour de sept chapitres. Le premier traite les inondations d'une manière globale. A travers ce chapitre, on présente les processus conduisant aux crues, on cite ses typologies et enfin, on parle sur la gestion de ses inondations.

Le deuxième chapitre porte sur la présentation de la zone d'étude « la ville d'Isser ». Tout d'abord, on présente la localisation de la commune Isser et ses limites administratives. Puis, on

traite sa situation climatique, hydrauliques, ses reliefs et sa géologie. On termine ce chapitre par oued Djemaa qui est la base de notre étude.

Le troisième chapitre a pour objet de déterminer les caractéristiques du bassin versant d'oued Djemaa. Ces caractéristiques sont regroupées en trois grands titres : la morphologie du bassin, le relief et en fin le réseau hydrographique.

Dans le quatrième chapitre, on s'intéresse à l'étude climatique et hydrologique. Afin de d'obtenir l'hydrogramme de crue du bassin versant de la zone d'étude, on doit passer par choisir une loi d'ajustement adéquate et calculer le différent débit correspond aux différentes périodes de retour.

Le cinquième chapitre porte sur la modélisation hydraulique. A travers ce chapitre on obtient une carte des zones inondables provoqués par oued Djemaa sur la partie urbaine de la ville d'Isser. Pour réaliser cette carte on doit passer par trois logiciels différents : Civil 3D pour la préparation de fond de l'oued et les section transversales, HEC-RAS pour la simulation et ArcGIS pour la création de la carte.

Le sixième chapitre a pour objet de proposer un aménagement adéquat à la zone d'étude. Cet aménagement doit respecter tous les points traiter dans les chapitres précédant sans oublier le coté économique.

Chaque projet nécessite un budget et une bonne organisation pour que le travail soit dans le délai. Le septième chapitre est basé sur ces deux points précédents.

On termine ce travail par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus.



Chapitre I : Généralité sur les inondations

I.1. Introductions :

L'eau dans la nature est sous différentes formes, on trouve les eaux souterraines (les nappes ...), comme on trouve les eaux de surfaces (rivières, oueds ...). Ses eaux sont libres, elles prennent la forme de l'espace occupé, de plus, elles créent leurs trajectoires.

Avec le temps, les développements de l'homme influent de manière indirecte sur la trajectoire de ses eaux précisément les eaux de surfaces. Également, les précipitations et les mauvais réseaux d'évacuation jouent un rôle important dans l'augmentation de niveau de ses eaux ce qui provoque des débordements qui conduisent vers la suite des inondations.

I.2. Définition des inondations :

Les inondations sont l'une des catastrophes naturelles les plus fréquentes et qui provoquent des pertes en vies humaines et des dégâts matériels. 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.

I.3. Crues :

I.3.1. Définition :

La crue est un phénomène naturel et saisonnier qui correspond à une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau qui ne provoque pas de perturbations majeures lorsque son ampleur est modérée. Elle est décrite à partir de trois paramètres : le débit, la hauteur d'eau et la vitesse du courant. En fonction de l'importance des débits, une crue peut être contenue dans le lit mineur de cours d'eau, ou déborder dans son lit moyen ou majeur. Par ailleurs, les caractéristiques des précipitations (extension, intensité, durée) et des bassins versants peuvent donner lieu, selon les cas, à trois types de crues caractérisées en fonction du mode de propagation de l'onde de crue :

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

- Les crues complexes : juxtaposant les deux types de crues précédents.

Une inondation désigne un recouvrement d'eau qui déborde du lit mineur ou qui afflue dans les talwegs ou les dépressions. Lorsque le débit et le volume d'eau d'une crue sont importants. Cette définition, plus large que celle retenue habituellement par les hydrologues, permet d'ajouter aux phénomènes classiques que sont les débordements d'un cours d'eau, directs ou indirects (contournement d'un ouvrage, fonctionnement d'un déversoir), d'autres manifestations comme les remontées de nappes, les ruissellements résultant de fortes pluies d'orages sur des petits bassins versants (mise en charge des talwegs en milieu urbain), les inondations par rupture d'ouvrages de protection (brèches dans les digues), ou encore les inondations estuariennes résultant de la conjonction de fortes marées, de situations dépressionnaires et de la crue des fleuves.

I.3.2. Processus conduisant aux crues :

Comprendre le processus à l'origine des crues et des inondations suppose d'analyser les différents facteurs contribuant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau.

a. Eau mobilisable :

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

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

b. Ruissellement :

Le ruissellement étroitement lié à la nature du sol et de son occupation de surface, correspond à la part de l'eau qui n'a pas été interceptée par le feuillage, ni restituée à l'atmosphère par évaporation, et qui n'a pas pu s'infiltrer, ou qui resurgit très rapidement après infiltration et écoulement hypodermique ou souterrain. Il sera donc d'autant plus faible que la couverture végétale sera dense (arbres, herbes et tapis d'humus) et que les sols seront profonds et non saturés par des épisodes pluvieux récents. Inversement, l'imperméabilisation des sols due à l'urbanisation (infrastructures, constructions) le favorisera. Par ailleurs, l'intensité de la pluie joue aussi un rôle non négligeable en

créant, au-delà d'une certaine valeur, un film d'eau à la surface du sol, qui va conduire à un écoulement maximum. (Sahbi H., 2014)

c. Temps de concentration (ou durée caractéristique) :

Le temps de concentration est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau ayant le plus long chemin hydraulique à parcourir parvienne jusqu'à l'exutoire. Il est donc fonction de la taille et de la forme du bassin versant, de la topographie et de l'occupation des sols.

d. Propagation de la crue :

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

e. Débordement :

Le phénomène de débordement est consécutif à la propagation d'un débit supérieur à celui que peut évacuer le lit mineur, dont la capacité est généralement limitée à des débits de crues de période de retour de l'ordre de 1 à 5 ans. Il peut se produire une ou plusieurs fois par an ou seulement tous les dix ans en moyenne voire tous les cent ans. En débordant, l'eau alimente massivement la nappe phréatique située sous le champ d'inondation et approvisionne Le risque d'inondation, milieux de vie des végétaux et des animaux aquatiques ou hygrophiles. (Sahbi H., 2014)

I.4. Typologies des inondations :

Dans la nature on trouve plusieurs types d'inondation, partagés entre principaux et particuliers.

I.4.1. Types des inondations principales :

a. Inondations lentes (ou inondations de plaine) :

Les inondations à monter lente des eaux résultent de crues provoquées par des pluies prolongées qui tombent sur des reliefs peu marqués aux sols assez perméables c'est-à-dire sur lequel un ruissellement met beaucoup de temps à se déclencher. L'intervalle de temps existant entre le déclenchement de la pluie, le ruissellement, la propagation de la crue, la montée des eaux et le débordement permet généralement de prévoir l'inondation, surtout si le cours d'eau est équipé d'un système d'annonce de crues, et de prendre toutes les dispositions nécessaires vis-à-vis de la population : information, évacuation éventuelle, etc.

Ces inondations peuvent néanmoins occasionner une gêne considérable pour les personnes, représenter une menace pour de nombreux riverains, et parfois provoquer des victimes en raison de la méconnaissance du risque et des caractéristiques de l'inondation (hauteurs de submersion pouvant atteindre plusieurs mètres, vitesses du courant localement très élevées). En outre, les submersions peuvent se prolonger plusieurs jours, voire plusieurs semaines, entraînant des dégâts considérables aux biens, des perturbations importantes sur les activités, des désordres sanitaires et des préjudices psychologiques graves. La durée de submersion peut donc être un paramètre important à prendre en compte dans la description de l'aléa.



Figure I. 1 : Exemple d'une inondation de plaine.

http://www.irmagrenoble.com/photos/diaporama_phototheque.php?id_photos=4613&theme=4#image-10

b. Inondations due aux crues torrentielles :

Ces inondations correspondent à des crues dont le temps de concentration des eaux est, par convention, inférieur à 12 heures. Elles se forment dans une ou plusieurs des conditions suivantes : averse intense à caractère orageux et localisé, pentes fortes, vallée étroite sans effet notable d'amortissement ni de laminage. Ce phénomène se produit principalement en montagne et en région méditerranéenne, mais il peut aussi se rencontrer dans beaucoup d'autres régions, surtout sur les petits bassins versants lors des orages d'été. La brièveté du délai entre la pluie génératrice de la crue et le débordement rend très difficiles, sinon impossibles, l'alerte et l'évacuation des populations menacées. Par ailleurs, la hauteur de submersion, et surtout la vitesse d'écoulement et de montée des eaux, de l'ordre de plusieurs décimètres par heure (sa valeur est rarement connue localement pour une crue donnée), représentent des facteurs de risques et de dangers aggravés.



Figure I. 2 : Les inondations dues à des crues torrentielles. [Vinet, 2003]

c. Inondations par ruissellement urbain :

Les inondations par ruissellement urbain sont dues à des écoulements sur la voirie de volumes d'eau ruisselés sur le site ou à proximité, qui ne sont pas absorbés par le réseau d'assainissement superficiel et souterrain. Elles sont souvent la conséquence d'orages violents s'abattant sur des zones urbanisées ou à leur voisinage immédiat. Les bassins versants sont généralement de petite taille (moins de 10 km), et les axes drainants très courts (moins de 5 km). Le temps de propagation de la crue est réduit et le débordement survient très rapidement par dépassement de la capacité ou par obturation avec embâcle des fossés et canalisations enterrées.

I.4.2. Types des inondations particulières :

a. Inondations par les torrents :

Les torrents sont des cours d'eau à pente forte (supérieure à 6 %) présentant des débits irréguliers et des écoulements très chargés. Ils sont générateurs de risque d'inondation accompagnés d'érosion et d'accumulations massives de matériaux qui justifient une détermination soignée d'aléa et des prescriptions.

b. Inondations par remontée de nappe :

Le risque d'inondation dû à une crue peut être accru par un risque de remontée des eaux des nappes phréatiques. Dans certains endroits et sous certaines conditions, une élévation exceptionnelle du niveau de ce type de nappe entraîne un type particulier d'inondation dit « inondation par remontée de nappe ». On admet que ce phénomène est fréquemment observé dans la zone de convergence des écoulements en raison de la présence d'un substratum imperméable.

L'excès d'eau ne peut que s'émerger en surface ; d'où l'apparition de zones hydromorphes (étangs, mares temporaires et marécages) dans certaines zones de dépression.



Figure I. 3 : Exemple d'une inondation par remontée de la nappe.

<https://www.lamy-expertise.fr/comprendre-risque-inondation-remontee-nappes-phreatiques>

c. Submersions marines :

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques (forte dépression et vent de mer) et marégraphiques sévères provoquant par exemple des ondes de tempête. Elles affectent en général des terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers, mais aussi parfois au-dessus, si des projections d'eaux marines franchissent des ouvrages de protection.

Elles sont dues :

- A la rupture ou à la destruction d'un cordon dunaire à la suite d'une érosion intensive ;
- Au débordement ou à la rupture de digues ou d'ouvrages de protection, ou encore à leur franchissement par des « paquets de mer » ;
- A des vagues de forte amplitude provoquées par des glissements sous-marins.

Les submersions sont en principe de courte durée (de quelques heures à quelques dizaines d'heures, exceptionnellement quelques jours), en raison de leur origine (franchissement lié à la généralités sur marée ou à une tempête).

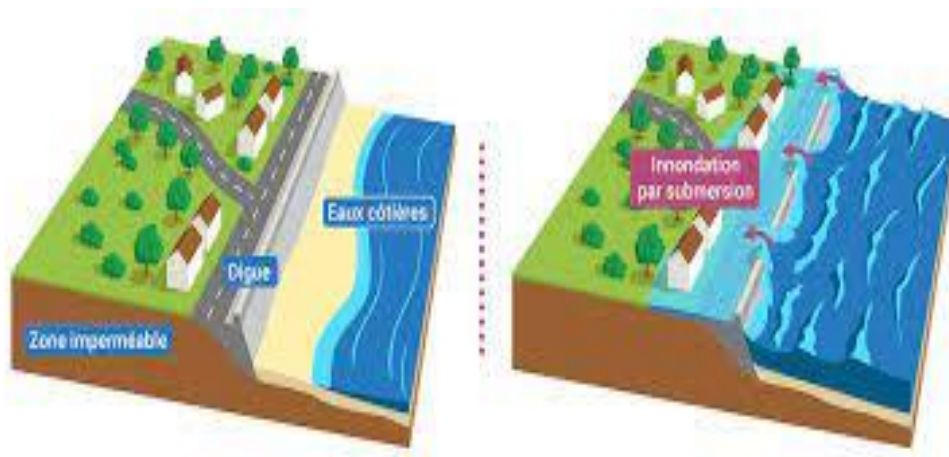


Figure I. 4 : Exemple d'une inondation par submersion marine.
<https://www.eaufrance.fr/les-inondations-et-les-submersions-marines>

d. Inondation par rupture d'une protection :

La rupture d'une digue peut provoquer une inondation très brutale et d'autant plus dommageable que le site étudié est proche de la digue. Comme Il est très difficile de prévoir la rupture d'un ouvrage de protection, ce qui rend la prévention de ce type d'accident particulièrement incertain.

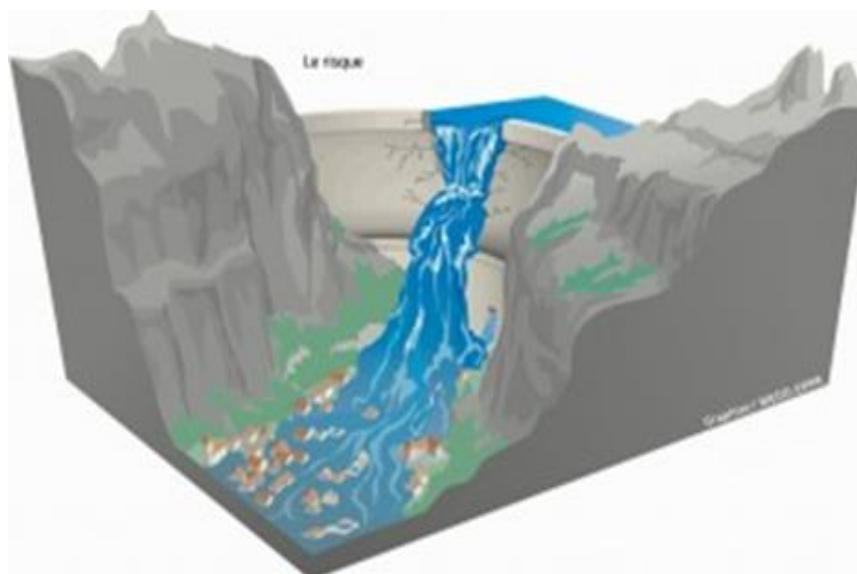


Figure I. 5 : Exemple d'une inondation par rupture de protection.
<http://www.mementodumaire.net/risques-technologiques/rt-4-rupture-de-barrage/>

I.5. Gestion des risques liés aux inondations :

I.5.1. Prévision :

La première démarche à entreprendre est de procéder à un inventaire des observations de terrain, la seconde est de mettre en place un service d'annonce de crue.

a. Observations de terrains

Il s'agit d'analyser, aux différents endroits des bassins versants susceptibles de subir une crue ou une inondation, les paramètres suivants :

- ✓ La délimitation précise des secteurs inondables, pour chaque type de crue ;
- ✓ La typologie des inondations (pointe, durée, récurrence, intensité) ;
- ✓ L'ampleur de l'inondation possible ;
- ✓ La période de retour ;
- ✓ L'évaluation des dommages à craindre, sur les plans matériel et humain.

b. Mise en place d'un service d'annonce de crues :

La prévision porte sur la collecte et la transmission des données pluviométriques et hydrologiques. Bien entendu, l'efficacité des systèmes d'alerte dépend de leur qualité et donc des moyens mis à la disposition des spécialistes mais aussi de l'ancienneté des chroniques disponibles. Il est très important de multiplier et d'accumuler des données dans la plupart des cas. Les délais, souvent, pour alerter les populations se réduisent à quelques heures voir moins. Cependant l'apparition de capteurs et des systèmes de transmission a permis d'améliorer l'annonce des crues (Lobled et al., 1987).

Deux aspects de la prévision peuvent être distingués :

- **Prévision immédiate :**

Avec l'alerte des populations quelques heures avant que la crue n'intervienne. Ce rôle était joué par des observateurs chargés de suivre la montée des eaux et de transmettre les informations par les moyens de communication. Les mesures sont progressivement automatisées et les services ont même la possibilité d'interroger les stations en cas de besoins que ce soit sur la pluie, les débits, les volumes d'eau des retenues, l'onde de crue, etc... L'implantation d'un réseau de radar météorologique qui mesure la pluie tombée, avant son accumulation au sol, permet d'anticiper au mieux et peut représenter un véritable outil d'aide à la décision (Roy, 2000). Cependant la prévision notamment pour les phénomènes brutaux, n'est pas facile, car même le recours aux documents, radars et satellitaires, ne permet ni de localiser avec précision les points d'impacts majeurs des phénomènes de grande ampleur, ni d'évaluer leur importance réelle.

- **Prévision à long terme :**

Elle peut se faire en utilisant les documents historiques et les cartes à risques. Un “chevelu” dense concentré, des pentes fortes sur terrain imperméables, une incision importante, l’absence d’une couverture végétale dense, sont autant de facteurs favorables à la production d’une crue importante. Aussi, la cartographie de l’occupation du sol, base d’une analyse de vulnérabilité des biens, obtenus par traitement des données multiples, permet d’évaluer la densité du couvert végétal et d’estimer la proportion du ruissellement des différentes parcelles. La pertinence d’une cartographie géomorphologique spécialisée est largement démontrée (Lambert, 1996). Elle permet de situer les ouvrages et travaux susceptibles de modifier le fonctionnement hydromorphologique de base (freinage ou d’accélération de l’écoulement des eaux, amplification des crues etc...).

A partir des analyses effectuées, l’action devrait se tourner prioritairement vers l’aménagement du bassin versant.

I.5.2. Aménagement du bassin versant :

- a. Au niveau des versants :**

Le reboisement apparaît comme la première solution envisageable pour la protection des versants, car la forêt intercepte la pluie (réduction ou anéantissement de l’effet “Splash”), et retarde la fonte des neiges sous son couvert, accroît l’évapotranspiration (en particulier en été ou la transpiration des arbres contribue à l’assèchement des sols et l’abaissement du niveau des nappes phréatiques, au bénéfice de la rétention). L’humus forestier qui est relativement abondant, est capable d’absorber jusqu’à 10 fois son poids d’eau (Loup, 1974). Inversement, la destruction d’une forêt provoque un accroissement annuel de l’écoulement, mais aussi l’apparition de ravins. En cas d’absence de couverture végétale, l’érosion (depuis l’effet Splash jusqu’à l’écoulement concentré) se développe.

- b. Au niveau du lit :**

La correction des lits est souvent la solution proposée par les ingénieurs qui cherchent à accroître la section mouillée en élargissant les lits ou encore à les approfondir par des dérochements ou encore en érigeant des digues, etc... Tous ces travaux ont pour but de minorer les niveaux, encore faut – il que ces interventions soient précédées d’une connaissance préalable de la crue maximale probable, et mieux encore du bassin versant. Le recalibrage qui consiste à rectifier la section d’écoulement et à augmenter le débit, permet d’évacuer plus rapidement la crue, mais déplace le risque sur le secteur aval, sur des zones intermédiaires ne permettant pas de stocker

une partie des eaux. Le mieux est de chercher à étaler la crue que la contenir, un bon aménagement devrait donc examiner avec soin la solution des retenues de ralentissement, dans toutes les variantes axiales ou latérales selon les configurations locales et non pas seulement celle des barrages réservoirs.

Pour le lit des cours d'eau, il convient de cesser tout dragage, et d'interdire toute gravière de basse terrasse, notamment dans les zones amont des agglomérations.

I.5.3. Pendant et après la crise :

En dépit de toutes les mesures de protection et/ou de prévention que l'homme peut arrêter, les crues et les inondations imprévues seront toujours probables. Aussi, il importe d'envisager des scénarios tenant compte de l'inévitable. Les plans d'organisation des secours sont des dispositifs d'urgence, destinés à faire face à tout événement calamiteux, d'ordre exceptionnel, dépassant les possibilités opérationnelles de secours locaux. Les dispositions législatives et réglementaires confient à l'état la responsabilité de la prévention et de la réponse aux besoins des populations en cas de catastrophes naturelles. Cependant, il est à signaler que le choc de la phase d'urgence ne représente en fait que le début des difficultés rencontrées, pour les familles sinistrées. Le règlement ou l'indemnisation sont accompagnés d'une série de vicissitude. Les aides immédiates (évacuation, hébergement : distribution de vivres, sanitaires et habillements) sont généralement correctement effectuées et largement médiatisées. Les aides postérieures, à la crise (collectivités locales, mouvement association, état) sont plus aléatoires, généralement longues à intervenir et toujours jugées insuffisantes par ceux qui ont été affectés (Vuillaume, 2000).

I.6. Inondations en Algérie :

L'Algérie est un pays qui a vécu des catastrophes naturelles et qui est confronté aux phénomènes de crue et inondations. Cette dernière se manifestent du façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour développement économique et social.

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 de crue ; ces évènements sont toujours la causes des lourds dégâts humains et matériels.

I.6.1. Recensement des inondations catastrophiques en Algérie (1970 – 2001) :

[Lahlah S., 2004]

- 12 Octobre 1971 : Fortes pluies orageuses à Azzazga (pluie journalière 182.6 mm) a causé 40 morts et des centaines d'habitations détruites.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES INONDATIONS

- 27 au 29 Mars 1973 : Pluie journalière de 166.2 mm à l'est du pays provoque des inondations catastrophiques.
- 28 au 31 Mars 1974 : Pluies journalières de 688 mm en 4 jours au niveau de wilaya de Tizi Ouzou et Alger.
- 01 Septembre 1980 : Pluies orageuses violentes à El Eulma qui provoques des dégat au niveau de l'oued Djehadi (44 morts, 50 Blesses, 365 familles sinistrées).
- 17 Novembre 1980 : Forte crue à oued M'Zab Ghardaia.
- 11 Novembre 1982 : Annaba.
- 22 Aout 1983 : Birrine à Djelfa (10 morts, 10 blesses, 200 habitations détruites et 1200 têtes de bétail emportés par les eaux.
- 03 Février 1984 : Pluies abondantes sur l'ensemble de l'est Algérien (Jijel, Constantine, Skikda, Guelma, Khenchla, Oum El Bouaghi) qui provoquent des lourds dégâts.
- 29 Décembre au 1 Janvier 1985 : Pluies exceptionnelles de 4 jours à Jijel, Constantine, Skikda, Guelma, Annaba et El Tarf.
- 17 Juin 1989 : Pluies diluviennes à Tiaret de 15 min de durée qui résulte à des affaissements de terrains et des dégâts matériels.
- 01 Septembre 1989 : Forte chute de pluies à Biskra, provoquant des débordements des oueds El Arab, El Mellah et El Khadhra. Ce débordement à détruits 400 palmiers, des serres et des cultures de maraîchage ; de plus 2 morts et 35 blessés.
- 21 Septembre 1989 : Fortes pluies orageuses à Msila.
- 11 Octobre 1989 : fortes pluies orageuses à El Taref et par conséquence pn trouve 60 familles sinistrées.
- 15 Octobre 1989 : Orage intense à Ain Defla.
- 03 Juin 1991 : Orage local et très violent à Ghardaïa.
- 26 – 27 janvier 1992 : Fortes pluies sur plusieurs sur plusieurs régions du centre algérien (Alger, Blida, Tipaza, Ain Defla, Médéa).
- 20 octobre 1993 : Pluies orageuses intenses à la ville de Oued R'hiou causant crues violentes au niveau d'oued Grigra (wilaya de Rélizène).
- 23 Septembre 1994 : Inondations catastrophiques touchant plusieurs régions du pays (Bordj Bou Arrérige, Msila, Djelfa, Médéa, Bouira, Ain Defla et Tiaret).
- 29 septembre au 02 octobre 1994 : Inondations catastrophiques à Ghardaïa, Laghouat, Biskra, Maskara, Tissemsilt, Sidi Bel Abbas.

- 06 octobre 1994 : Fortes pluies orageuse à Oum El Bouaghi provoquant d'immense dégat au niveau de la région de Bir El Hanchir.
- 06 février 1996 : Fortes pluies dans la daïra d'El Khemis wilaya de Ain Defla provoquant des débordements catastrophiques des cours d'eaux.
- 04 avril 1996 : Inondation catastrophique dans la wilaya de Annaba et El Taref.
- 24 septembre 1998 : Pluies diluviennes et inondation catastrophique au niveau de wilaya de Bouira et Médéa.
- 06 octobre 1998 : Pluies diluviennes et inondation catastrophique au niveau de wilaya de El Djelf.
- 14 janvier 1999 : Fortes chutes de pluies provoquant des inondations catastrophiques à Adrar.
- 28 septembre 2000 : Pluies diluviennes dans la région de Bou Saada provoquant des fortes crues d'oued Bou Saada.
- 14 octobre 2000 : Forte pluie dans la wilaya de Ain Temochent et crues catastrophiques de l'oued El Maleh.
- 23 octobre 2000 : Pluie torrentielles à la wilaya de Naama provoquant des inondations catastrophiques dans la région d'Ain Sefra et Mechria.
- 24 octobre 2000 : Inondations catastrophiques à Sidi Bel Abbas, Tissemsilt, Chlef et Ain Defla.
- 09 – 10 novembre 2001 : Meurtrières inondations, un évènement météorologique gravé dans la mémoire des algériens. C'est les inondations de Bab El Oued, Alger qui résultent d'énormes dégâts environ 700 morts.

1.7. Conclusion :

Les inondations sont des évènement naturels, lourd de conséquences (pertes humaines, sociales, économiques et environnementales) dans tous types des pays soit développés ou en développement, on ne peut pas les arrêter mais on peut diminuer ces dégâts prenant des précaution nécessaires comme : observation continue des précipitations, bonne préparation d'un plan d'évacuation, Renseigner auprès des locaux, afin de connaître les zones risquant d'être inondées. S'informer sur la manière dont les alertes aux crues sont délivrées à la population, et comment se comporter face à une telle mesure.



Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.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, 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.

II.2. Présentation de la commune d'isser :

II.2.1. Situation :

La commune d'Isser est située à 60 km à l'est d'Alger et à environ 22 km au sud-est de la wilaya de Boumerdes. Elle s'étend sur une superficie de 67.03 km² et compte une population de 32 580 habitants avec une densité de 486 hab/km² au dernier recensement de 2008.



Figure II. 1: Situation de la zone d'étude. (DRE)

II.2.2. Limites administratives :

La commune intéressée par cette étude est le chef-lieu de la Daïra de Isser. Elle est limitée par :

- Au Nord-est par la commune de Bordj-Menaïel.
- Au Nord-ouest par la commune de Si Mustapha.
- Au l'Ouest par la commune de Souk EL Had.
- Au Sud par la commune de Chaabet El Aneur.
- Au Sud-est par la commune de Timezrit.
- Au Sud-ouest par la commune de Beni-Amrane.

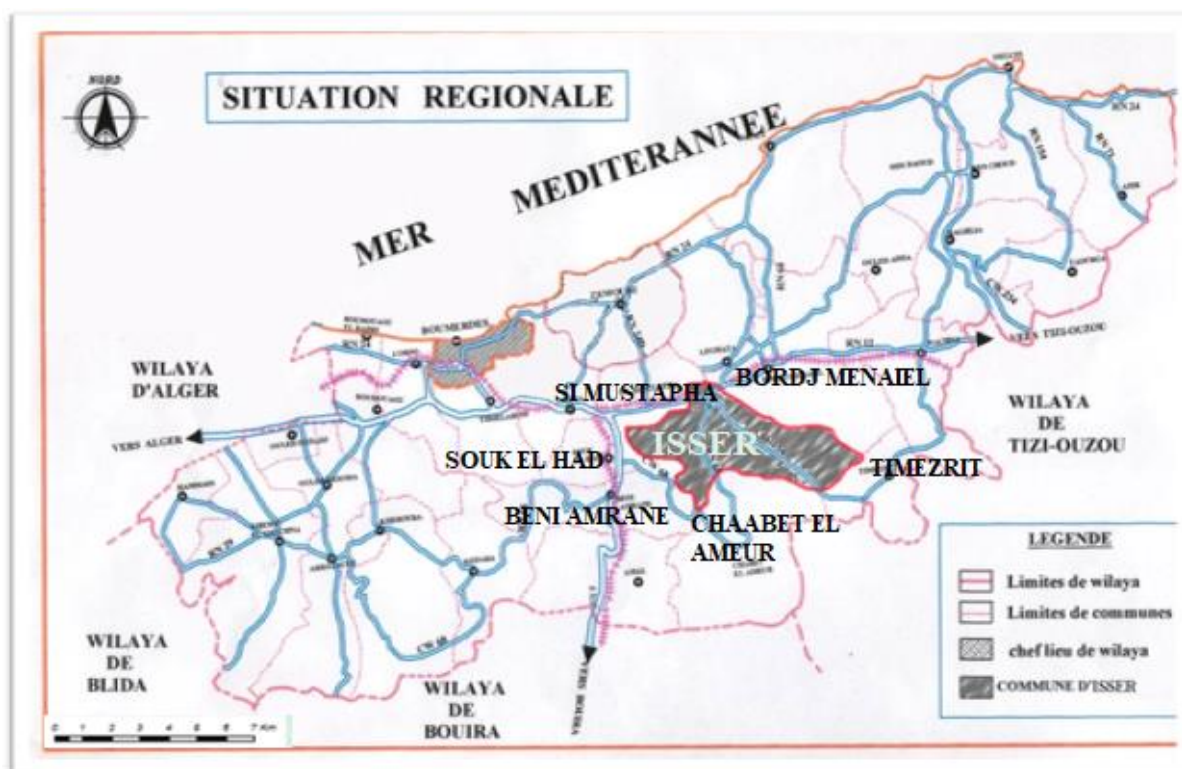


Figure II. 2: Limites administratives de la commune d'Isser. (DRE)

La ville des Issers est un important axe de liaison entre la capitale et la région de la haute-Kabylie, étant donné que l'ancienne route de la Kabylie passe par la ville, ainsi que le chemin de fer Alger - Tizi Ouzou.

La commune d'ISSER dispose d'une bonne accessibilité routière :

- La RN°12 (reliant Alger –Tizi-Ouzou) traversant au Nord l'agglomération chef-lieu, représente la route de la plus grande importance qui passe par le territoire de la commune.

- La RN°68 traversant le chef-lieu et le territoire de la commune du Nord au Sud, menant vers Chaabet El Aneur, Draa El Mizane et Bouira. Cette route est de seconde importance par rapport à la RN N°12.
- Le CW N° 151 traversant la commune de l'ouest au sud-est reliant principalement le chef-lieu de commune avec la commune de Souk El Had et Beni Amrane à l'Ouest et Timezrit à l'Est. Ce chemin joue également un rôle de desserte interne notamment vers Carrière, Teurfa, Iouanoughene, Igoumrassene et une bonne partie de la zone éparsée.
- La commune possède également un réseau de desserte local englobant l'ensemble des chemins communaux d'une structure pouvant s'avérer relativement dépassée par rapport aux besoins futurs.

II.3. Agglomérations urbaines :

La commune d'Isser se présente comme suit :

- Un centre urbain : ISSER chef-lieu de commune et de daïra.
- Deux agglomérations secondaires : OUANOUGHA et le village socialiste ZOUAK AMAR.
- Une zone éparsée composée de 13 hameaux :
 - Les fermes d'OUEDS DJEMAA
 - BAGHLA
 - TEURFA
 - GHOMRASSA
 - BOUIDER
 - HASSAK ARABI
 - CHELLOUT
 - TAMLAKAMT
 - EL-ABID
 - TIHACHADINE

- DJAOUNA
- EL-HAMRI
- BOUCHAKOR

II.4. Situation climatique :

a. Climat :

Notre zone d'étude jouit d'un climat méditerranéen, caractérisée par une saison hivernale pluvieuse et douce, avec une pluviosité très irrégulière allant de mois de Septembre au mois de Mai, et par un été chaud et sec qui s'étale de mois de juin au mois d'Aout.

b. Pluviométrie :

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en eau (A N R H). Il s'agit d'observations journalières reportées sur des tableaux de cumuls mensuels (T C M). A partir de ces données mensuelles nous avons reconstitué les valeurs de pluies annuelles.

⇒ Pluies mensuelles :

Les pluies mensuelles sont prises au niveau des 3 stations pluviométriques : station de Bordj-Menaiel, Lakhdaria et Draa Ben Khedda. Ses données sont représentées dans les tableaux ci-dessous :

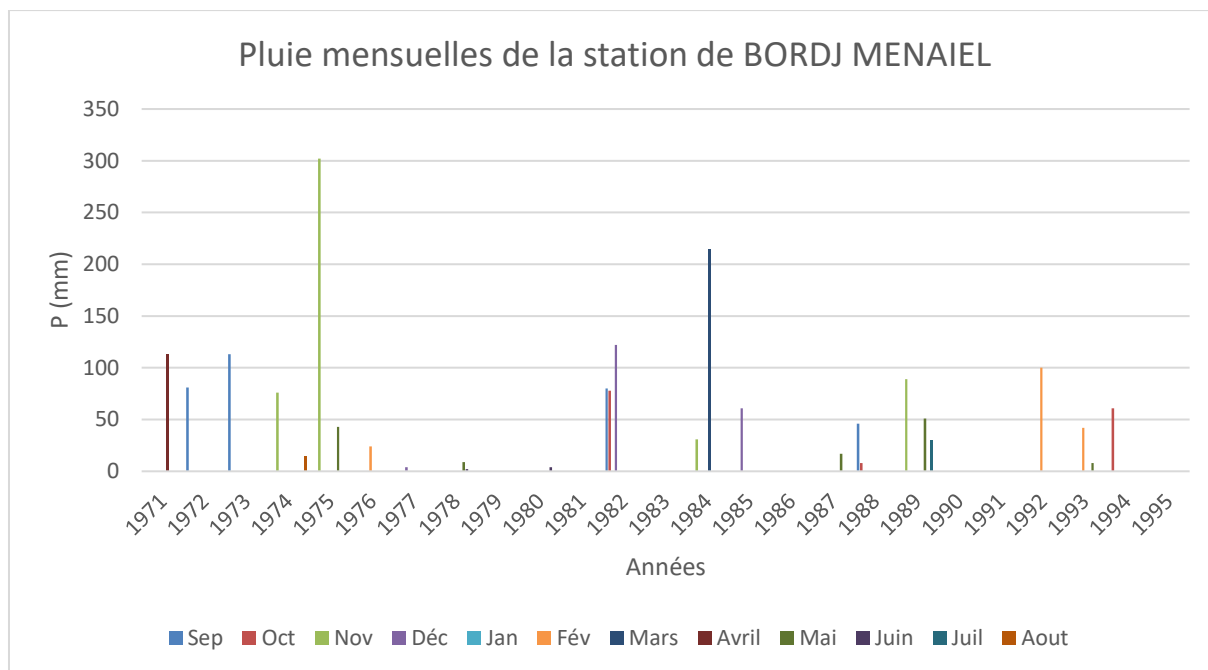


Figure II.3 : Les pluies mensuelles de la station de Bordj-Menaïel (1971 – 1995).

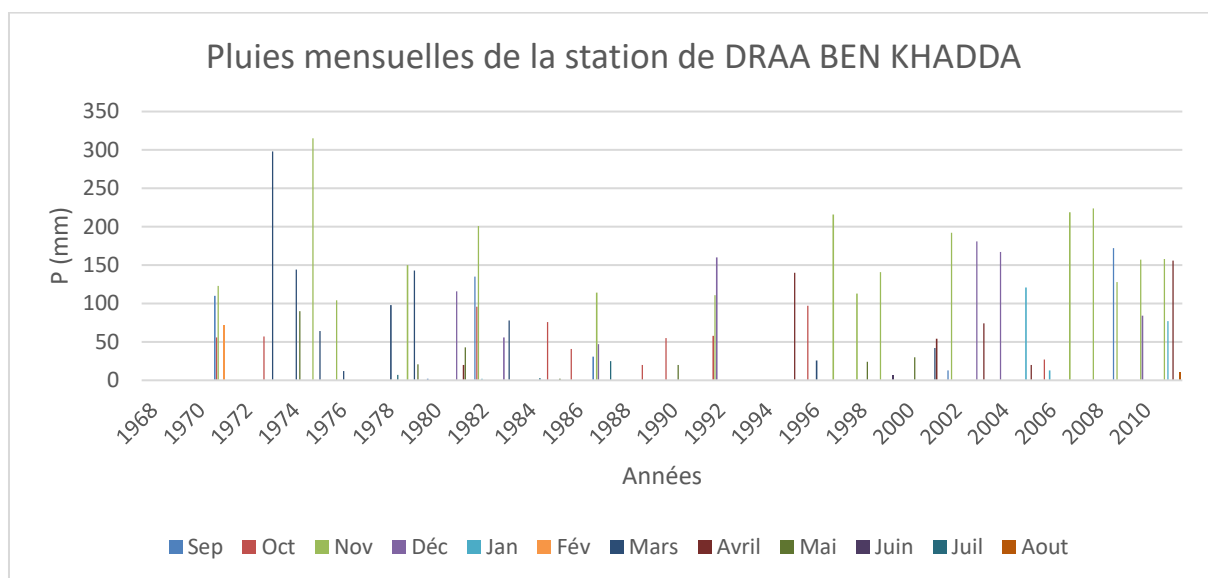


Figure II. 4 : Les pluies mensuelles de la station de Draa Ben Khedda (1968 – 2011).

Source : ANRH

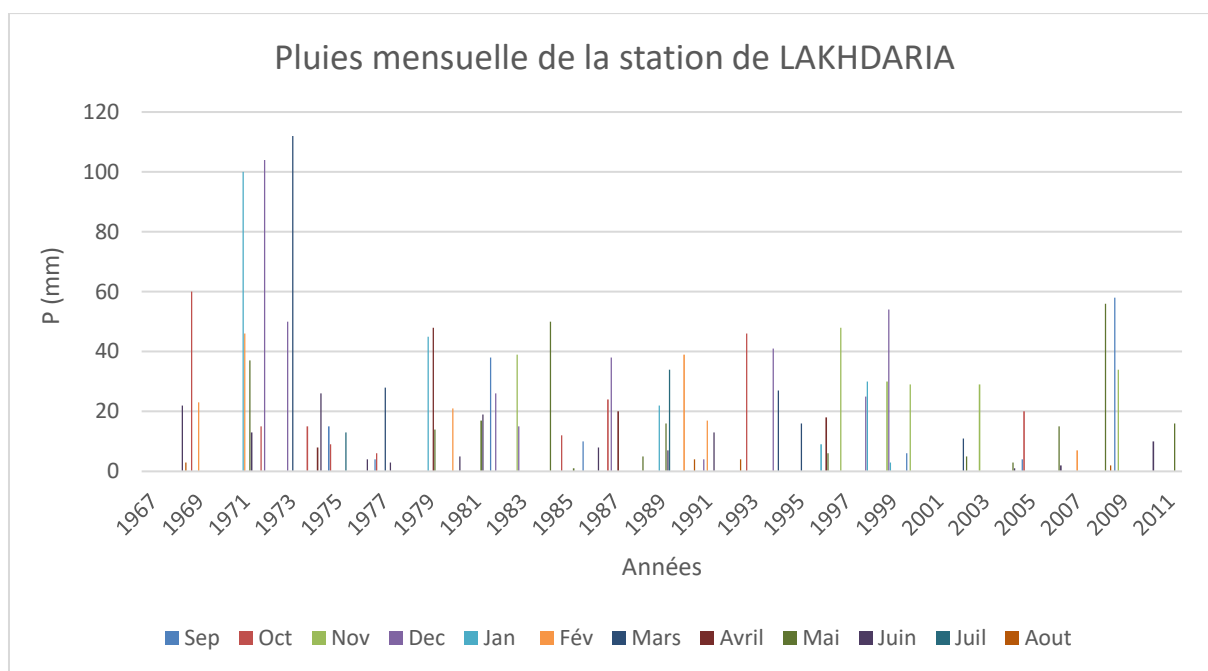


Figure II. 5 : Les pluies mensuelles de la station de Lakhdoria (1967 – 2011).

Source : ANRH

D'après ces trois stations pluviométriques, on remarque que la pluie mensuelle présente une irrégularité dans leur distribution.

c. Température :

La température est un élément majeur qui régit le climat d'une région donnée, Elle conditionne l'évolution du déficit d'écoulement et contribue à la détermination de l'évapotranspiration.

La région d'Isser est caractérisée par une saison très chaude dure 3,0 mois, du 22 juin au 20 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 29 °C. Le mois le plus chaud de l'année à Isser est août, avec une température moyenne maximale de 32 °C et minimale de 20 °C.

La saison fraîche dure 4,0 mois, du 24 novembre au 24 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 19 °C. Le mois le plus froid de l'année à Isser est janvier, avec une température moyenne minimale de 6 °C et maximale de 16 °C.

d. Vent :

Le vent observé à un emplacement donné dépend fortement de la topographie locale et d'autres facteurs, et la vitesse et la direction du vent instantané varient plus que les moyennes horaires.

La vitesse horaire moyenne du vent à Isser connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année.

La période la plus venteuse de l'année dure 5,5 mois, du 29 octobre au 15 avril, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 13,6 kilomètres par heure.

La période la plus calme de l'année dure 6,5 mois, du 15 avril au 29 octobre.

e. Humidité :

Nous estimons le niveau de confort selon l'humidité sur le point de rosée, car il détermine si la transpiration s'évaporerait de la peau, causant ainsi un rafraîchissement de l'organisme. Les points de rosée plus bas sont ressentis comme un environnement plus sec et les points de rosée plus haut comme un environnement plus humide. Contrairement à la température, qui varie généralement considérablement entre le jour et la nuit, les points de rosée varient plus lentement. Ainsi, bien que la température puisse chuter la nuit, une journée lourde est généralement suivie d'une nuit lourde.

Isser connaît des variations saisonnières extrêmes en ce qui concerne l'humidité perçue.

La période la plus lourde de l'année dure 4,0 mois, du 9 juin au 9 octobre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 17 % du temps.

f. Rayonnement solaire :

Cette section traite du rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien total atteignant la surface du sol sur une zone étendue, en tenant pleinement compte des variations saisonnières sur la longueur du jour, de la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon, de l'absorption par les nuages et d'autres composantes atmosphériques. Le rayonnement en ondes courtes inclut la lumière visible et le rayonnement ultraviolet.

Le rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen connaît une variation saisonnière extrême au cours de l'année.

La période la plus lumineuse de l'année dure 3,4 mois, du 8 mai au 19 août, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré supérieur à 6,7 kWh. The brightest month of the year in Isser is juillet, with an average of 7,7 kWh.

La période la plus sombre de l'année dure 3,4 mois, du 31 octobre au 11 février, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré inférieur à 3,4 kWh. The darkest month of the year in Isser is décembre, with an average of 2,4 kWh.

g. Aléas naturels :

- Zone sismique : le séisme du 21 Mai 2003 a occasionné beaucoup de dégâts dans la commune d'Isser autant sur le plan humain que sur le bâti.
- Zone inondable : à cause du réseau hydrographique existant au niveau de la commune comme : oued Isse, oued Djemaa ... Toute construction édiflée dans ces zones est subordonnée à l'accord des services de l'hydraulique de la ville d'Isser.

II.5. Données physiques de la commune :

a. Relief et la géologie :

Le site naturel de la commune est composé essentiellement de :

- Une zone de plaines alluviales à l'Ouest.
- Une zone de colline au centre.
- Une zone de piémonts à l'est.

b. Zone des vallées :

Deux vallées forment cette zone la vallée de l'Oued ISSER au Nord et à l'Ouest, et celle de l'oued Djemaa au centre de la commune :

⇒ Vallée de l'oued Isser :

La vallée de l'oued ISSER est constituée d'une superficie importante de terres plates. L'oued a permis la formation de terrasses et des lits alluviaux importants. Les terrasses de formation sont très fertiles.

La création de la ville des ISSER sur cette vallée qui remonte à l'époque coloniale, et son extension s'est faite sur des terres à une très bonne potentialité agricole.

Les terrasses supérieures n'offrent pas la même qualité des terrains elles ont été découpées en plusieurs endroits par les cours d'eau gonflés par les pluies d'hiver, y trouvant là un matériel peu résistant. Ces terrains sont formés de dépôts de limons.

⇒ **Vallée de l'oued Djemaa :**

Comprenant les 6,5 derniers km avant sa confluence avec l'oued ISSER, dont il est le principal affluent. L'oued DJEMAA a, par l'importance de son bassin versant et à cause de la violence des cours d'eau qui s'y jettent, formé une vallée, cependant assez étroite inférieure à 1,5 km, elle est assez riche sur sa rive droite.

L'agglomération d'ISSER ville s'est constituée sur la terrasse ancienne de l'oued DJEMAA, au déterminent des terres agricoles comme pour la ville des ISSER. Ces terrains sont formés des dépôts caillouteux et limoneux arrachés aux collines avoisinantes, constitués de matériel sédimentaire.

c. Zone des collines :

Dans cette zone le paysage est fait de collines arrondies aux pentes convexes. Les altitudes moyennes dépassent très rarement les 300m. Seules les collines à l'extrémité Ouest sont boisées le reste de la zone est composée de collines, principalement des céréales qui y sont pratiquées.

Le sous-bassement est constitué de marnes tertiaires, principalement des marnes bleues, saines aux horizons inférieurs, mais qui se délitent facilement aux horizons supérieurs, donnant un sol peu consistant, soumis à l'érosion hydrogène.

Des processus de transport aggravent ce phénomène d'érosion et réduisent d'autant les superficies des terres cultivables.

Aux périodes de pluies, chaque talweg des débits importants d'eau entreillant davantage les collines. L'intérêt agricole se restreint ainsi, et sans une pratique spécifique aux Touares, des terres de plus en plus nombreuses sont laissées en jachères ou sont réservées à la pâture.

La végétation qui recouvre ces collines est une strate herbacée, qui ne résiste pas à l'érosion.

Dans cette zone la population est répartie en de petites concentrations surtout familiales (BOUCHAKOR).

A l'Est de cette zone, sur la dépression de l'oued CHERAGA est dominée par une colline allongée dénommée BAGHLA où l'altitude maximale est 278 m. coupée par un talweg, la colline offre un paysage encore plus dénudé qu'en zone Ouest

Le versant Sud est couvert d'une strate herbacée, et sert des terrains de parcourt, tandis que la versant Nord est plus favorable à l'arboriculture en contre bas, principalement des oliviers, chênes verts chênes klermes près du sommet. Mais ce qui différencie cette zone avec les collines à l'ouest de la commune est le soubassement gréseux qui est le sien ; caractéristique d'une zone périphérique ou de bordure du massif ancien. La résistance à l'érosion est donc plus grande, tandis que l'écoulement des eaux de pluie se fait moins violemment.

L'habitat est ici plus concentré, il est principalement localisé à l'ancien regroupement de TEURFA et dans le talweg où se trouve un hameau portant ce même non de TEURFA.

d. Zone des piémonts :

Dans cette zone l'altitude maximale est située entre 560 m et 600 m à la limite des deux communes d'ISSER et TIMEZRIT (foret de BOUAROUS les hauteurs d'OUANOUGHA).

Cette région est entièrement formée de terrains anciens, ce sont surtout des roches métamorphiques' gneiss ou schistes. On trouve également des granites qui forment le soubassement du socle.

Au Nord le contact avec les terrains sédimentaires se fait par une dépression où coule l'oued CHERAGA, les premières pentes sont recouvertes par des grés ce qui au contact des terrains marneux imperméable, engendre des sources, résurgences des nappes aquifères.

La population a défriché les pentes et a fait succéder à la végétation naturelle une occupation du sol dominée par l'olivier et le petit jardinage.

Dans cette zone la population est répartie en de petits villages (GHOUMRASSA, OUANOUGHA et CHELLOUT) l'extension de ces villages se fait au bas des pentes à la recherche des terrains plus facilement labourables.

e. Hydrogéologie :

Les études antérieures, en particulier celles de Guirkanov 1974, ont permis de distinguer plusieurs zones aquifères dans la plaine des Isser correspondant aux terrasses alluviales, terrasses marines et aux dunes anciennes. [Bentchakal, 2008]

⇒ **Nappe de la formation éolienne actuelle :**

Elle affleure tout le long du littoral du Bas Isser. Son épaisseur varie entre 3 à 5 mètres. Le niveau statique de cette nappe se situe entre 0.5 et 1 mètre de profondeur.

⇒ **Nappe de la terrasse littorale de quaternaire inférieur :**

Les terrains contenant cette nappe sont formés de graviers et de sables graveleux. La nappe est libre et les niveaux statiques se situent entre 7 à 15 mètres.

L'alimentation de cette nappe s'effectue par l'infiltration des pluies et l'apport des eaux souterraines provenant des terrains plus anciens situés au sud de la plaine.

⇒ **Nappe aquifère des alluvions du quaternaire :**

L'aquifère décrit est inclus dans les limites de la 2^{ème} et la 3^{ème} terrasses, au-dessus du lit majeur de l'oued Isser. La formation aquifère est formée de galets à remplissage sableux et graveleux avec une alternance par endroit de passage argileux.

Le niveau statique de l'eau se trouve entre 6 à 8 mètres de profondeur.

II.6. Activités économiques :

a. Secteur agricole :

La commune d'Isser, ou sur le grand échelle la daïra d'Isser, est connu par ses montagnes et ses champs. L'activité majeure des citoyens est l'agriculture dont elle est partagée entre Culture maraîchère, viticulture, agriculture, oléiculture...

b. Secteur industriel :

Le secteur industriel au niveau de la daïra d'Isser n'est pas trop développé.

Parmi les entreprises existantes, on peut citer :

- ⇒ Iso 9 international : produits de biscuiteries ;
- ⇒ Socothyd : société des cotons hydrophiles et d'articles d'hygiène ;
- ⇒ OCE : omnium de la chimie et de l'emballage.
- ⇒ SAEG : société algérienne d'émaillage et de galvanisation...

II.7. Hydraulique :

a. Assainissement :

Les systèmes d'évacuation de la commune d'ISSER sont composés principalement de conduites (circulaire, ovoïde), de canaux et fossés.

La commune d'ISSER est dotée d'un réseau d'assainissement unitaire (Ce système permet d'évacuer en commun toutes les eaux usées et pluviales dans une même conduite).

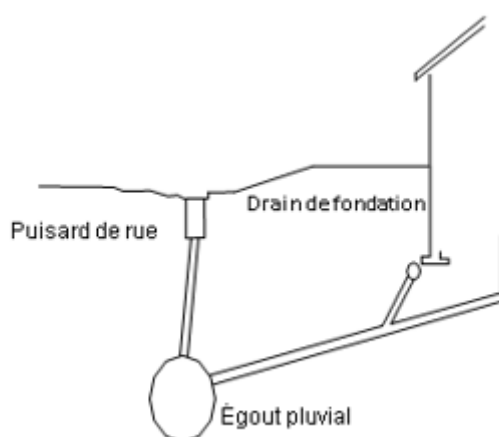


Figure II. 6 : Système unitaire (DRE)

Le choix du schéma du réseau d'évacuation à adopter dépend des divers paramètres :

- ✓ La topographie du terrain ou toutes dispositions étant prises ;
- ✓ La répartition géographique des habitants ;
- ✓ L'implantation des canalisations dans le domaine public ;
- ✓ L'emplacement de la station d'épuration.

Pour la commune d'ISSER il existe un Schéma transversal ou oblique, Ce schéma comporte des ramifications de collecteurs qui permettent de rapporter l'effluent à l'aval de l'agglomération. Ce type de schéma est adopté lorsque la pente du terrain est faible.

II.8. Situation hydrographique :

Le réseau hydrographique de notre zone d'étude est représenté par un oued principal qui est oued Isser et plusieurs oueds secondaires dont le plus important est oued Djemaa qui est la base de notre travail.

D'une manière générale, le réseau hydrographique est assez dense au sud qu'au nord de la daïra.

II.8.1. Oued Djemaa :

Principal affluent d'oued ISSER, oued DJEMAA coule au fond d'une dépression synclinale et collecte au Sud les eaux massives des BENI –KHALFOUN.

Soixante km² et plus sont drainés par ce bassin versant (48*106 m²/an) ce bassin versant se décompose dans cette commune en 4 sous bassins 3 sont sur la rive gauche et collectent les eaux de la zone des collines, et drainent les eaux de la montagne.

- ⇒ Le bassin de l'oued SENADOR : sa superficie est d'environ 500 ha, très peu ramifié, il recueille les eaux du versant Est de la montagne d'AKBOU. Le lit de l'oued est étiré sur plus de 5 km. Il est pratiquement sec toute l'année.
- ⇒ Le bassin de l'oued GUERES BAHIA : recevant avec l'oued BOUCHAKOR les eaux de l'ancien Douar GUTOUS, le régime de cet oued est le plus souvent nul. Son lit entaille cette région de collines sur environ 4,5 km, le bassin versant qu'il détermine est supérieure à 450 ha.
- ⇒ Le bassin de l'oued BOUCHAKOR : plus hiérarchisé que les précédents il recueille les eaux qui ruissellent sur le versant est de la montagne d'AKBOU, jusqu'au niveau de CHAABET EL AMEUR, son bassin versant n'est pas circonscrit entièrement dans les limites communales, où il occupe 880 ha.

Les 3 bassins acheminent la quasi-totalité des pluies qui tombent sur cette région au sous-sol imperméable. Pour ces 3 oueds une mobilisation des eaux de surface peut être entreprise à cause des caractéristiques de leurs lits étroits et longs qui se prêtent bien à ce genre d'opération, opération déjà tentée par un petit barrage sur l'oued SENADOF.

II.9. Menace d'inondation aux Issers :

S'il y a une commune qui risque de se voir un jour envahir par les eaux dans la wilaya de Boumerdès c'est bien celle des Issers. Compte tenu de sa situation géographique et son emplacement, la ville des Issers, cette municipalité de l'est de la wilaya de Boumerdès vit de nos jours sous une réelle menace des eaux pluviales. Cloîtrées entre deux oueds, (Isser et Djemâa), les populations habitant au chef-lieu et au niveau des zones inondables ne sont pas mises à l'abri d'éventuels débordements. Les leçons et les exemples des crues vécues par le passé, notamment celles de 1973, de 2002 et la furie de l'oued Isser de l'année précédente sont

loin d'être retenues par les autorités censées protéger la population de ce genre de risques. A défaut de mettre les bouchées doubles pour épargner le risque d'inondation qui plane sur la ville, les responsables locaux font preuve d'inertie en la matière.

Faute d'entretien, les avaloirs et les caniveaux du chef-lieu se sont avérés inaptes pour la rétention des grandes quantités d'eau qui s'abattent sur la région en période hivernale. Les artères et les ruelles submergent à la moindre averse, rendant la circulation piétonne et automobile plus difficile. Le réseau de drainage des eaux de pluie présente d'énormes défaillances et ne répond nullement aux normes requises.

II.10. Conclusion :

A travers ce chapitre, on a pu présenter notre zone d'étude en visant un ensemble des caractéristiques géologique, climatiques aussi physiques de la région d'Isser. Cette présentation sert à entamer l'étude hydrologique d'une manière efficace.



**Chapitre III : Caractéristiques du bassin versant
d'Oued Djemaa**



III.1. Introduction :

Le bassin versant se définit comme l'aire de collecte considérée à partir d'un exutoire, limitée par le contour à l'intérieur duquel se rassemblent les eaux précipitées qui s'écoulent en surface et en souterrain vers cette sortie.

Cette surface de collecte des eaux est constituée de différents matériaux : sol végétal, sol revêtu..., favorisant plus ou moins l'écoulement des eaux.

Suivant la taille, la forme, la pente moyenne de cette surface les eaux s'écouleront plus ou moins rapidement. En conséquence, il existe différents paramètres pour décrire un bassin versant.

Les paramètres descriptifs du bassin versant :

- ✓ Sa surface ;
- ✓ Son coefficient de ruissellement ;
- ✓ La longueur du cheminement hydraulique ;
- ✓ Sa pente moyenne et sa pente moyenne pondérée ;
- ✓ Son temps de concentration.

III.2. Définition du bassin versant :

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

Un bassin versant est caractérisé par trois composantes principales :

- ✓ Sa limite, l'enveloppe des surfaces potentiellement drainantes et les extrémités avalées du réseau de drainage ;
- ✓ Son organisation qui peut être reliée à la structure du réseau, à la distribution surfacique des éléments de drainage etc. ;
- ✓ Sa composition, les types de recouvrement de surface, et quelques grandeurs géométriques associées.

III.3. Caractéristiques physiographiques et morphologiques :

Dans le but de déterminer le comportement d'un régime hydrologique, on s'intéresse à préciser les caractéristiques morphologiques d'un bassin versant, d'après ces caractéristiques on peut citer : la surface, le périmètre, les caractéristiques de forme, la pente ...

Deux bassins voisins avec les mêmes conditions climatiques, géologiques et des caractéristiques morphologiques différentes, réagissent différemment du point de vue régime d'écoulement. D'après cette comparaison on voit l'importance de ces caractéristiques, ce qui permet de dire que sont l'empreinte d'un bassin versant.

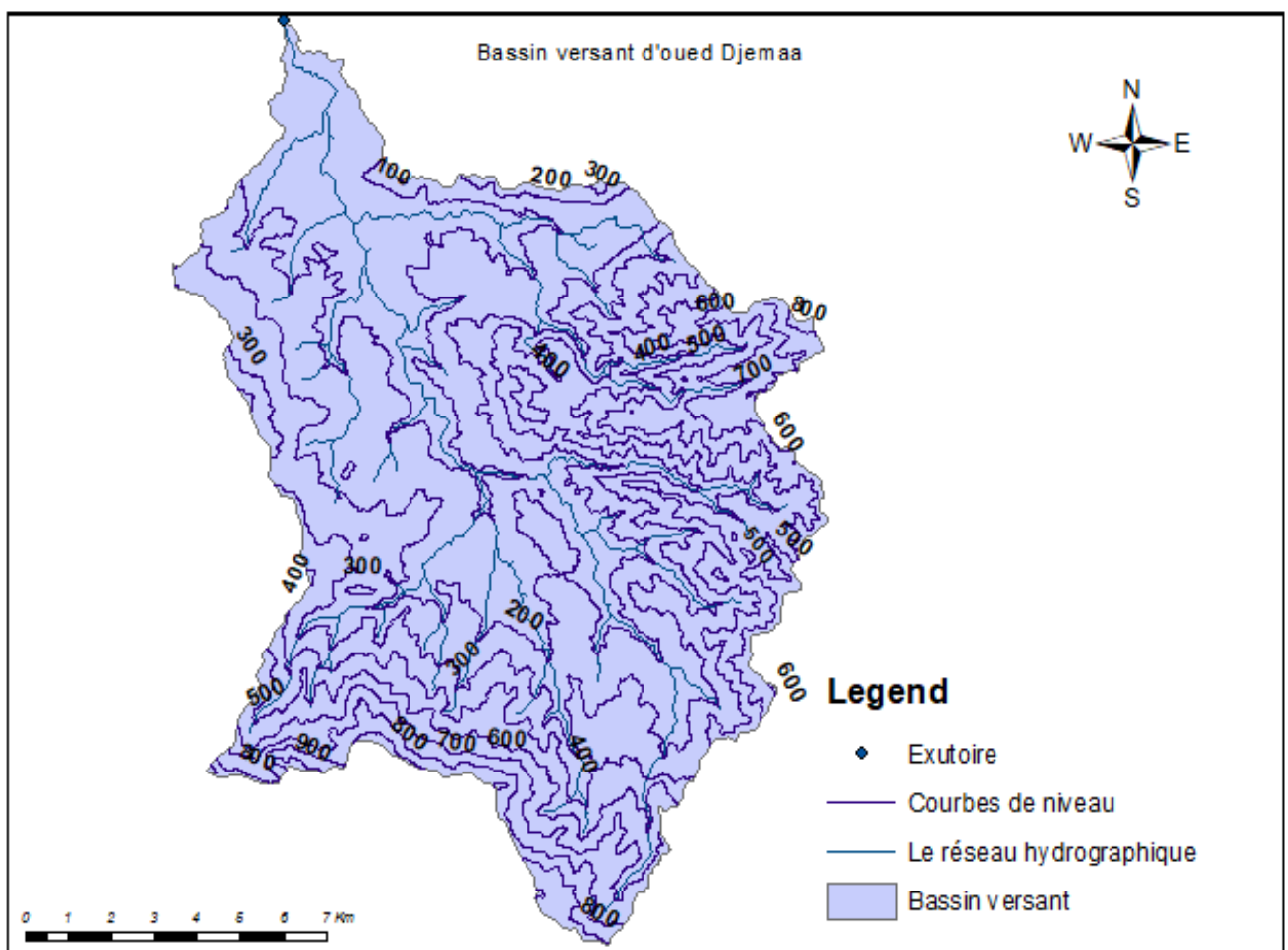


Figure III. 1: Bassin versant de la zone d'étude.

Oued Djemaa est un affluent principal d'Oued Isser, Son bassin versant est caractérisé par :

a. Superficie :

L'aire est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin. Elle est exprimée en Km².

Le bassin versant d'oued Djemaa a une superficie de 168.893 Km², cette dernière est calculée par le logiciel ArcGIS.

b. Périmètre :

Le périmètre est la longueur, généralement exprimée en km, de la ligne de contour du bassin. Il est exprimé en Km.

Le périmètre du bassin versant d'oued Djemaa est calculé par ArcGIS aussi et il est égale à 60,48 Km.

c. Caractéristique de forme :

• Indice de compacité de Gravelius :

L'indice de forme Kc, appelé indice de compacité de Gravelius, est un paramètre indicateur de la forme du bassin versant, il enseigne aussi sur la vitesse de concentration des débits, la puissance des crues et l'importance de l'activité de l'érosion du sol.

$$Kc = 0.28 (P / \sqrt{S})$$

Avec :

- ✓ P : périmètre du bassin versant (km).
- ✓ A : surface du bassin versant (km²).

Pour le bassin versant d'oued Djemaa, on a :

$$Kc = 0.28 * (60.48 / \sqrt{164.83}) \Rightarrow Kc = 1.319.$$

Discussion: on a $Kc = 1.335 > 1$. Donc, on peut dire que c'est un bassin est de forme allongée.

- **Rectangle équivalent :**

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

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

$$Leq = \frac{K^* \sqrt{S}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K} \right)^2} \right) \Rightarrow Leq = 22.79 \text{ km}$$

$$l = \frac{K^* \sqrt{S}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K} \right)^2} \right) \Rightarrow l = 7.23 \text{ km}$$

d. Relief :

Le relief a une influence remarquable sur l'écoulement, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

- ✓ La courbe hypsométrique ;
- ✓ Les altitudes caractéristiques ;
- ✓ L'indice de pente globale ;
- ✓ L'indice de pente moyenne.

- **Courbe hypsométrique :**

La courbe hypsométrique est l'un des paramètres les plus essentiels dans l'étude du relief elle fournit une vue synthétique de la pente. Elle représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface ou le pourcentage de surface du bassin. Elle exprime la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie au-delà d'une certaine altitude.

Tableau III. 1: Surfaces partielle par tranche d'altitude

Altitude (m)	Altitude moyenne (m)	Surface partielle		Surface cumulée		Si * Hi (km)
		Si (km ²)	Si (%)	Sc (km ²)	Sc (%)	
1000 – 900	950	0.188	0.11	0.188	0.11	0.178
900 – 800	850	2.055	1.22	2.243	1.33	1.747
800 – 700	750	4.937	2.92	7.180	4.25	3.703
700 – 600	650	9.167	5.43	16.347	9.68	5.959
600 – 500	550	14.826	8.78	31.173	18.46	8.154
500 – 400	450	19.469	11.53	50.642	29.99	8.761
400 – 300	350	26.515	15.70	77.157	45.69	9.280
300 – 200	250	34.703	20.55	111.86	66.24	8.676
200 – 100	150	40.222	23.82	152.082	90.06	6.033
100 – 0	50	16.811	9.95	168.893	100	0.841

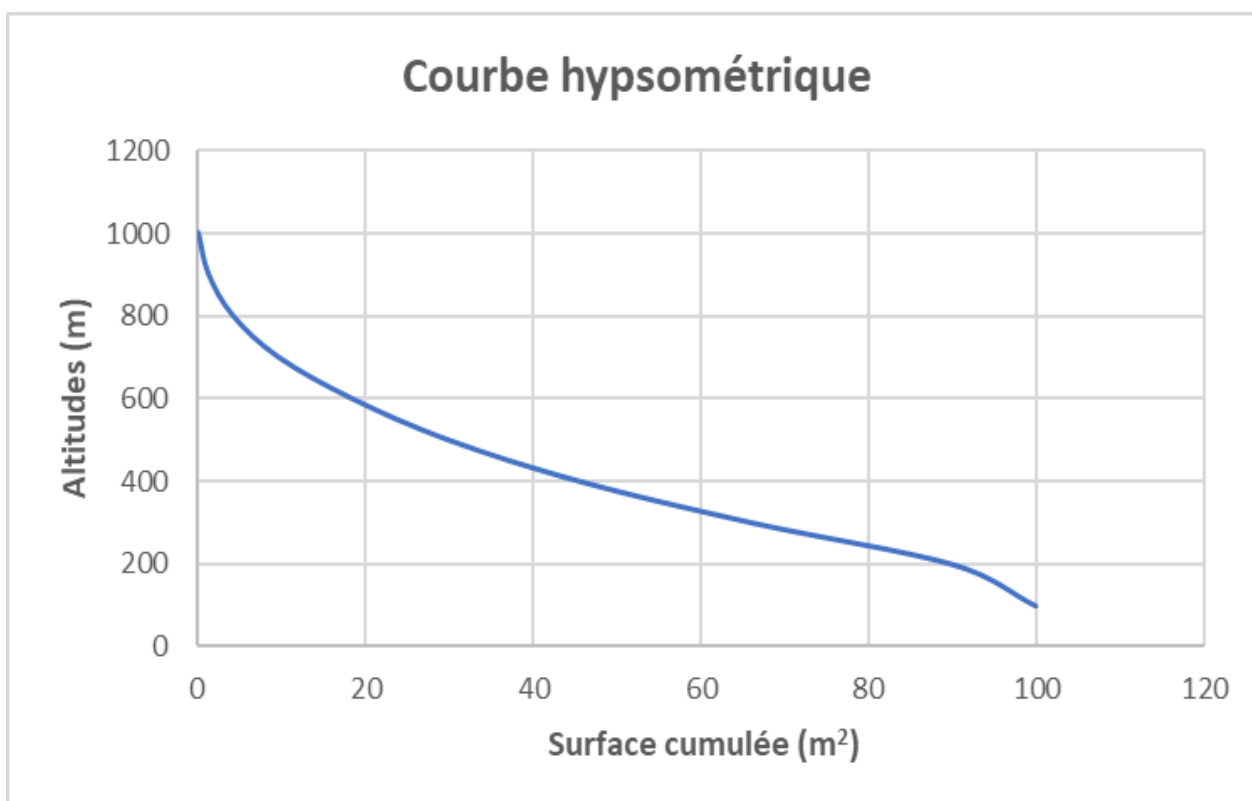


Figure III. 2 : La courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Djemaa.

- **Caractéristiques des altitudes :**

⇒ **Altitude minimale et maximale :**

L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces altitudes sont obtenues directement de la carte topographique.

$$H_{\max} = 1000 \text{ m.}$$

$$H_{\min} = 0 \text{ m}$$

⇒ **Altitude moyenne du bassin versant :**

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

$$H_{\text{moy}} = \frac{Si * Hi}{S}$$

Avec :

- ✓ H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m] ;
- ✓ Si : aire comprise entre deux courbes de niveau [km²] ;
- ✓ Hi : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;
- ✓ S : superficie totale du bassin versant [km²].

L'application numérique donne :

$$H_{\text{moy}} = 315.77 \text{ m}$$

⇒ **Altitude médiane :**

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

D'après la courbe hypsométrique, on a : $H_{50\%} = 350 \text{ m}$.

- **Pente :**

La pente influe sur l'écoulement et sa vitesse, donc il est indispensable de déterminer sa valeur. D'une manière générale, la pente est définie comme étant la différence d'élévation (ΔH) entre l'exutoire et le point le plus élevé de la ligne d'écoulement divisé par la longueur hydrologique (L_H).

$$I = \Delta H / L_H$$

Il existe un autre facteur appelé l'indice de pente, il définit comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent (L). Sa formule est :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Tableau III. 2 : Résumé des résultats de l'indice de pente.

H5% (m)	H95% (m)	L (Km)	I _g (m/Km)
750	150	22.79	26.33

Tableau III. 3 : Classification du relief.

R1	Relief très faible	I_g ≤ 0,002
R2	Relief faible	0,002 < I_g ≤ 0,005
R3	Relief assez faible	0,005 < I_g ≤ 0,01
R4	Relief modéré	0,01 < I_g ≤ 0,02
R5	Relief assez fort	0,02 < I_g ≤ 0,05
R6	Relief fort	0,05 < I_g ≤ 0,1
R7	Relief très fort	0.1 ≤ I_g

⇒ **Indice de pente moyenne du bassin versant :**

La pente moyenne du bassin versant est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct donc sur le temps de concentration etc. Elle influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. Toutes se basent sur une lecture d'une carte topographique réelle ou approximative. La méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante :

$$I_m = \Delta H \sum Li / S$$

Avec :

- ✓ I_m : Pente moyenne du bassin versant % ;
- ✓ ΔH : Dénivelée entre deux courbes de niveau (m) ;
- ✓ Li : Longueur de la courbe de niveau d'ordre 1, 2, 3..., n (m) ;
- ✓ S : Surface totale du bassin versant.

Tableau III. 4 : Longueurs correspondantes à chaque courbe de niveau.

Courbes de niveaux (m)	Longueurs (Km)	Courbes de niveaux(m)	Longueurs (Km)	Courbes de niveaux(m)	Longueurs (Km)
900	2.746	600	34.427	300	83.587
800	12.276	500	62.33	200	77.105
700	21.264	400	73.571	100	53.814

Tableau III. 5 : Résultats de l'indice de pente moyenne.

ΔH (m)	$\sum Li$ (Km)	S (Km ²)	I _m (m/Km)
100	421.12	168.893	24.9

L'indice de pente qui correspond à notre cas ($I_g = 0.026$) est compris entre 0.02 et 0.05. Donc, on dit que le relief qui caractérise notre bassin versant est assez fort.

⇒ **L'indice de pente de roche I_p :**

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

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} * \left(\sqrt{\sum Si (Hi - H(i-1))} \right)$$

Avec :

- ✓ L : longueur du rectangle (Km).
- ✓ Si : Surface partielle (%) comprise entre 2 courbes de niveau H_i et H_{i-1} (m).

Tableau III.6 : Résultats l'indice de pente roche.

L (Km)	$\sum (Si (Hi - H_{(i-1)}))$	I _p (m/Km)
22.79	100.01	2.09

⇒ **Dénivelée spécifique :**

Elle sert à comparer les indices de pentes du bassin de superficie différentes, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout bassin quelle que soit sa surface. Elle est donnée par la formule suivante :

$$Ds = Ig * \sqrt{S}$$

Avec :

- ✓ D_s : la dénivelée spécifique ;
- ✓ I_g : l'indice de pente globale ;
- ✓ S : la surface du bassin versant.

$$D_s = 342 \text{ m}$$

III.4. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant :

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux : la géologie, le climat, la pente du terrain et la présence humaine.

Le réseau hydrographique est caractérisé par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) et son profil en long.

* Hiérarchisation du réseau :

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau, diffère selon les auteurs. Nous adoptons la classification de Strehler :

- ✓ Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1 ;
- ✓ Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $n+1$;
- ✓ Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre, ce qui se résume par : $n+n=n+1$ et $n+m=\max(n,m)$.

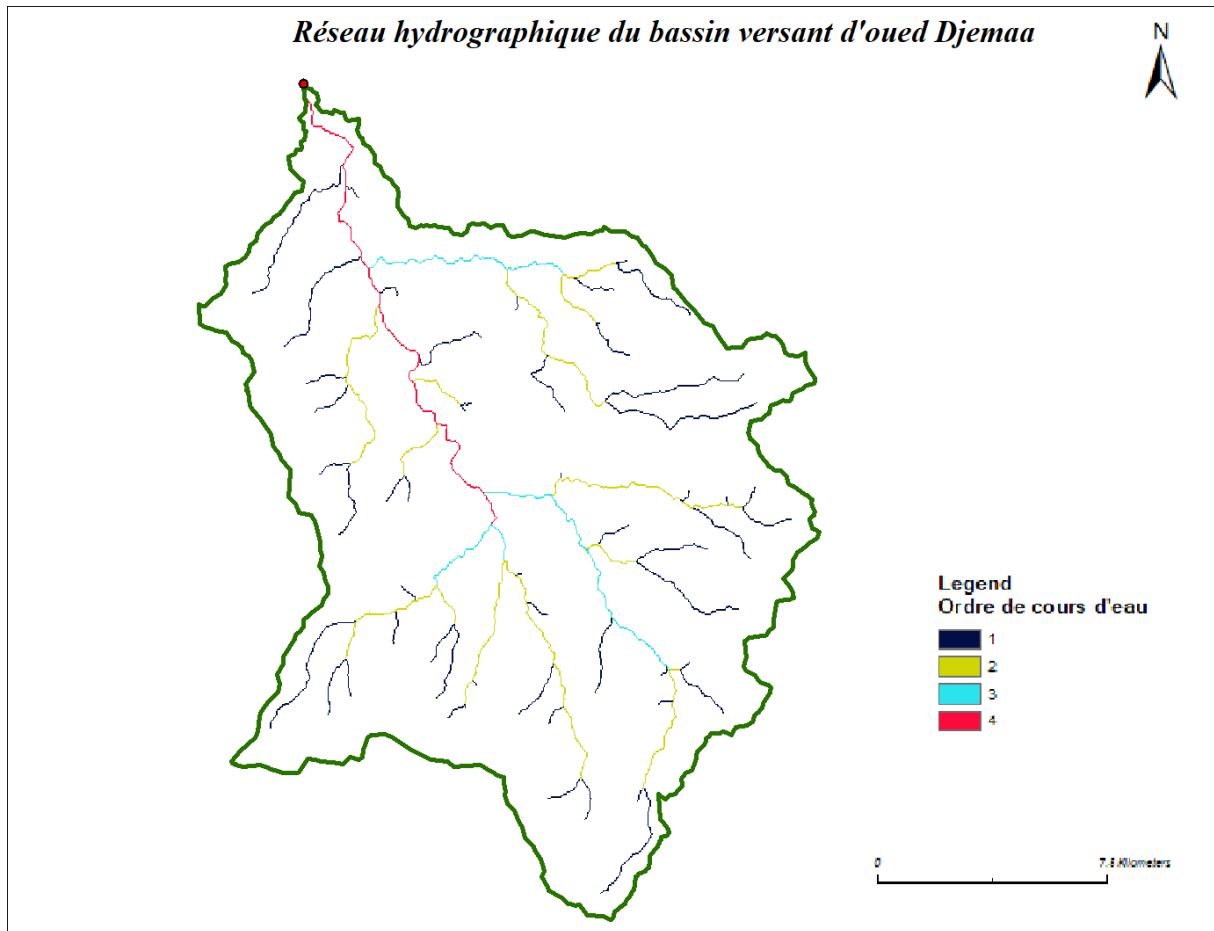


Figure III. 3: Hiérarchisation du réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Djemaa

Après hiérarchisation, on infère que le réseau hydrographique est d'ordre 4.

⇒ **Longueur du cours d'eau principal :**

La longueur du cours d'eau principal est une grandeur très utilisée dans les calculs hydrologiques. Il existe deux façons de procéder pour la calculer (McCuen. 2004) :

- ✓ La distance mesurée le long du cours principal du bassin, à partir de l'exutoire de ce dernier jusqu'à la fin du cours d'eau (L_{cp}) ;
- ✓ La distance mesurée le long du cours d'eau principal entre deux points situés à 10% et 85% de distance de l'exutoire (L_{cp_10-85}).

La longueur de cours d'eau principale en utilisant ArcGIS est : $L_{cp} = 14.206$ Km.

⇒ **Pente moyenne du cours d'eau principal :**

La pente moyenne du cours d'eau principal permet de déterminer la vitesse d'écoulement vers l'exutoire. Une pente douce laisse l'eau s'infiltrer dans le sol, tant dis qu'une forte pente facilite l'écoulement superficiel.

La pente du cours d'eau principal correspond au rapport entre la différence d'élévation (ΔH) du point le plus haut et du point le plus bas divisée par la longueur du cours d'eau :

$$I_{cp} = \frac{\Delta H}{L_{cp}}$$

Avec :

- ✓ ΔH : différence d'élévation entre H_{max} et H_{min} ;
- ✓ L_{cp} : la longueur du cours d'eau principal.

$$I_{cp} = 70.4 \text{ m/Km.}$$

⇒ **Densité de drainage :**

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques.

La densité de drainage, introduite par Horton, se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin versant.

$$D_d = \sum L_i / S$$

Avec :

- ✓ D_d : densité de drainage en Km^{-1} ;
- ✓ L_i : Longueur du talweg en Km ;
- ✓ S : surface du bassin versant Km^2 .

$$D_d = 0.849 \text{ Km/ Km}^2.$$

Commentaire :

On remarque que la densité du drainage est très faible ce qui permet de dire que le sol est fortement résistant, ainsi, la couverture végétale est dense et par conséquent le bassin est mal drainé.

⇒ **Temps de concentration :**

Le temps de concentration (T_c) est un paramètre fondamental dans les études d'hydrologie. Il correspond à la durée maximale nécessaire à une goutte d'eau, tombée au point le plus éloigné du bassin versant, d'arriver à l'exutoire.

Ce temps influe directement sur l'ampleur de la crue. Une valeur élevée caractérise la lenteur de la crue dans le temps. Par contre, une valeur faible du temps de concentration indique une réponse dangereuse du bassin versant par une propagation instantanée de la crue.

Il existe de nombreuses formules empiriques permettant de connaître le temps de concentration. Néanmoins, nous retenons les formules de Kirpich et Giandotti. Ces deux formules ont été élaborées dans un contexte semblable que celui du Nord d'Algérie. Le tableau ci-dessous résume le calcul du temps de concentration.

Tableau III. 7 : Temps de concentration.

Auteurs	Formules	Temps de concentration
Kirpich	$T_c = 0.39 \left(\frac{L_{cp}}{\sqrt{I_{cp}}} \right)^{0.77}$	8.36
Giandotti	$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 L_{cp}}{0.8 * \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$	5.16

Avec :

- ✓ S : surface du bassin versant ;
- ✓ I_c : pente moyenne de cours d'eau principal en (%) ;
- ✓ L_p : longueur du talweg principal ;
- ✓ H_{moy} : altitude moyenne de bassin versant ;
- ✓ H_{min} : altitude minimale du bassin versant.

Commentaire :

A travers les calculs, on a trouvé des résultats assez proches. Nous choisissons donc de prendre le temps de concentration le plus petit donnant la plus grande valeur de vitesse d'écoulement (cas d'écoulement le plus défavorable). Nous optons alors pour la formule de Giandotti avec un temps de concentration égale à 5.16 h.

⇒ **Vitesse moyenne de ruissellement :**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$Vr = \frac{Lcp}{Tc}$$

Avec :

- ✓ Lcp : longueur de cours d'eau principal [Km] ;
- ✓ Tc : temps de concentration [heure] ;

$$Vr = 2.75 \text{ Km/h}$$

Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des caractéristiques physiographiques et morphométriques du bassin versant étudié.

Tableau III. 8 : Caractéristiques hydro-morphométriques du bassin versant.

Caractéristiques		Valeur
Morphométrie		
Superficie (S)	Km ²	168.893
Périmètre (P)	Km	60.48
Longueur de Rectangle équivalent (Leq)	Km	22.79
Largeur de Rectangle équivalent (leq)	Km	7.23
Indice de compacité de Gravelius (KG)	-	1.319
Relief		
Altitudes maximal (Hmax)	m	1000
Altitudes moyenne (Hmoy)	m	315.77
Altitude médiane (H _{50%})	m	350
Altitude minimale (Hmin)	m	0
Altitude 5% (H _{5%})	m	750
Altitude 95% (H _{95%})	m	150
Indice de pente globale Ig	m/Km	26.33
Indice de pente moyenne	m/Km	24.9
Indice de pente de roche	m/Km	2.09
Dénivelée spécifique	m	
Le réseau hydrographique		
Longueur de cours d'eau principal	Km	14.206
Pente moyenne de cours d'eau	m/Km	70.4
Densité de drainage	Km/Km ²	0.849
Temps de concentration	h	5.16
Vitesse de ruissellement	Km/h	2.75

III.5. Conclusion :

Le bassin étudié est l'un des sous bassins constituant le bassin versant d'oued Isser. Il a une forme allongée et drainé par oued Djemaa qui se déverse vers oued Isser ensuite en mer. Ce bassin a un relief assez fort et est relativement pointu avec un point d'altitude 1000m. le talweg principal à une longueur de 14.206m avec une pente de 0.07 %, le temps de concentration est estimé à 5.16h.



**Chapitre IV : Etude climatique et
hydrologique**



IV.1. Introduction :

L'étude hydrologique pour la réalisation d'un ouvrage hydrotechnique révèle une importance considérable. Le but est donc de mettre en évidence les paramètres hydrologiques de l'oued tels que les débits des crues qui constituent la base de dimensionnement des ouvrages constituant l'aménagement.

L'hydrologie offre à l'ingénieur des outils d'inventaire et d'analyse des données pour répondre à des besoins sur le plan de la conception des éléments d'un aménagement.

IV.2. Etude des précipitations et des écoulements :

Afin de prévenir un risque ou un évènement hydrologique, on doit passer par l'analyse d'observation statistique qui concerne l'étude des pluies maximales journalières. Cette étude a pour but de déterminer les pluies extrêmes selon les différentes périodes de retour.

a. Présentation de la station de mesure :

Le bassin versant d'oued Djemaa est entouré par 3 Stations : station de Bordj-Menaiel, station de Draa Ben Khadda et la station de Lakhdharia.

La station la plus proche est celle de Bordj-Menaiel mais elle est arrêtée depuis longtemps, donc j'ai opté à utiliser les données de la station de Draa Ben Khadda.

Tableau IV. 1: caractéristiques de la station pluviométrique de DRAA BEN KHEDDA.

Station pluviométrique	Nom	DRAA BEN KHEDDA
	Code	021804
	Les coordonnées	X = 615.2
		Y = 382.5
	L'altitude	Z = 90.0
	Période d'observation	1968 – 2018
Nombres d'année	50 ans	
Le grand bassin versant	BV Isser n° 9	

Source : ANRH.

b. Pluies maximales journalières :

Tableau IV. 2: Série des pluies maximales journalières de la station de Draa Ben Khedda

Années	Pj max	Années	Pj max
1968	45.6	1994	67.8
1969	15	1995	44.8
1970	26.6	1996	43.5
1971	72.5	1997	79.9
1972	53.2	1998	31.3
1973	137	1999	81.7
1974	55.7	2000	65.4
1975	68.9	2001	28.4
1976	46.5	2002	80.9
1977	44.6	2003	80
1978	35.2	2004	39.6
1979	61.2	2005	49.7
1980	53.5	2006	109.6
1981	42.4	2007	114.3
1982	75.2	2008	59.6
1983	45.8	2009	70.8
1984	55.9	2010	74.7
1985	46.6	2011	66.8
1986	62.6	2012	73.7
1987	35.7	2013	47.6
1988	62.4	2014	52.5
1989	28.9	2015	60.1
1990	39.3	2016	44.9
1991	54.8	2017	69.3
1992	66.9	2018	78.8
1993	36.7		

Source : ANRH

c. Analyse statistique des pluies maximales journalières :

L'estimation des statistiques liées aux précipitations représente un vaste domaine qui pose de nombreux défis aux météorologues et hydrologues. La recherche d'un modèle de fréquence des hauteurs de pluies journalières revêt une grande importance en hydrologie opérationnelle : elle constitue la base de calcul de la crue de projet associée à une probabilité d'occurrence donnée, une fois les quantiles déterminés. L'approche la plus connue et la plus courante est l'approche statistique. Elle consiste à rechercher une loi de probabilité qui s'ajuste le mieux aux valeurs observées de la variable aléatoire "pluie maximale journalière" après comparaison de différentes lois de probabilités et méthodes d'estimation à l'aide de tests d'adéquation.

d. Caractéristiques empiriques de la série des pluies maximales journalière :

Les caractéristiques empiriques de cette série pluviométrique sont obtenues à l'aide de logiciel Hyfran.

Tableau IV. 3: caractéristique empirique de la série pluviométrique.

Paramètres	Valeurs
Nombre d'année	51 ans
Minimum	15 mm
Maximum	137 mm
Moyenne	58.5 mm
Ecart type	22.6 mm
Médiane	55.7 mm

e. Choix de la loi d'ajustement :

Afin de déterminer le meilleur ajustement, on a utilisé le logiciel Hyfran pour comparer entre trois lois d'ajustement qui sont : la loi GEV, loi Normal et loi Log normal.

⇒ **Loi GEV :**

Les résultats de cette loi sont représentés ci-dessous.

Tableau IV. 4: Tableau de classement selon l'ordre (fréquences)

Période de retour T	Probabilité au non dépassement q	Pluie maximale journalière
10000.0	0.9999	185
2000.0	0.9995	166
1000.0	0.9990	157
200.0	0.9950	135
100.0	0.9900	125
50.0	0.9800	114
20.0	0.9500	99.8
10.0	0.9000	88.2
5.0	0.8000	75.5
3.0	0.6667	65.1
2.0	0.5000	55.5
1.4286	0.3000	45.4
1.2500	0.2000	39.9
1.1111	0.1000	33.1
1.0526	0.0500	28.0
1.0204	0.0200	22.7
1.0101	0.0100	19.5
1.0050	0.0050	16.7
1.0010	0.0010	11.3
1.0005	0.0005	9.34
1.0001	0.0001	5.39

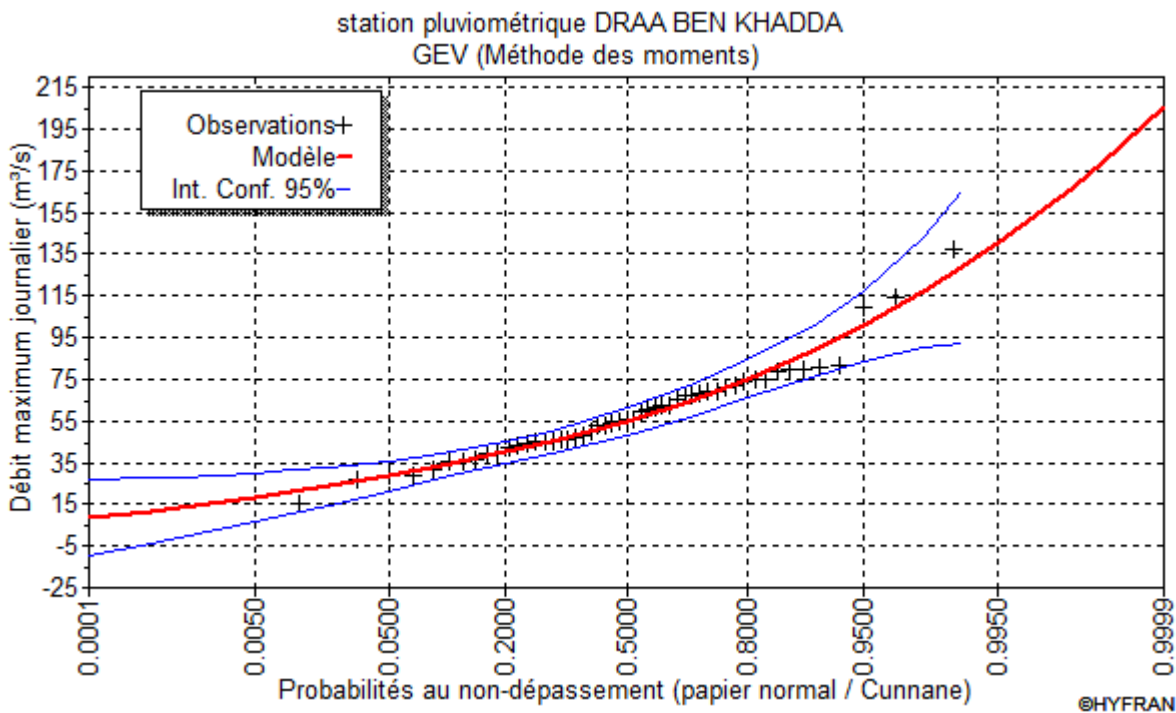


Figure IV. 1: Ajustement des Pjmax à la loi GEV.

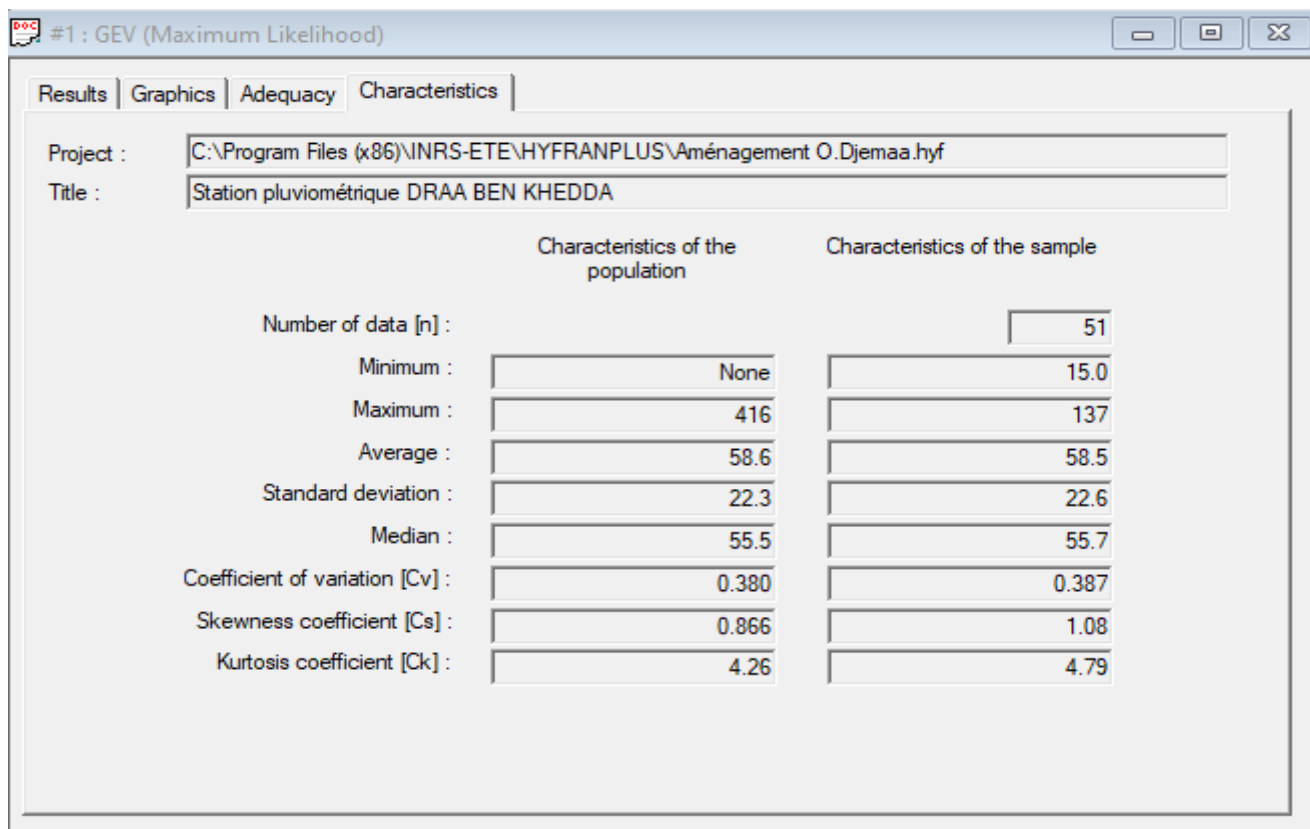


Figure IV. 2: Les caractéristiques de la loi GEV.

⇒ **Loi normale :**

Tableau IV. 5 : Tableau de classement selon l'ordre (fréquences)

Période de retour T	Probabilité au non dépassement q	Pluie maximale journalière
10000.0	0.9999	143
2000.0	0.9995	133
1000.0	0.9990	128
200.0	0.9950	117
100.0	0.9900	111
50.0	0.9800	105
20.0	0.9500	95.7
10.0	0.9000	87.5
5.0	0.8000	77.6
3.0	0.6667	68.3
2.0	0.5000	58.5
1.4286	0.3000	46.7
1.2500	0.2000	39.5
1.1111	0.1000	29.5
1.0526	0.0500	21.3
1.0204	0.0200	12.0
1.0101	0.0100	5.88
1.0050	0.0050	0.232
1.0010	0.0010	-11.4
1.0005	0.0005	-15.9
1.0001	0.0001	-25.6

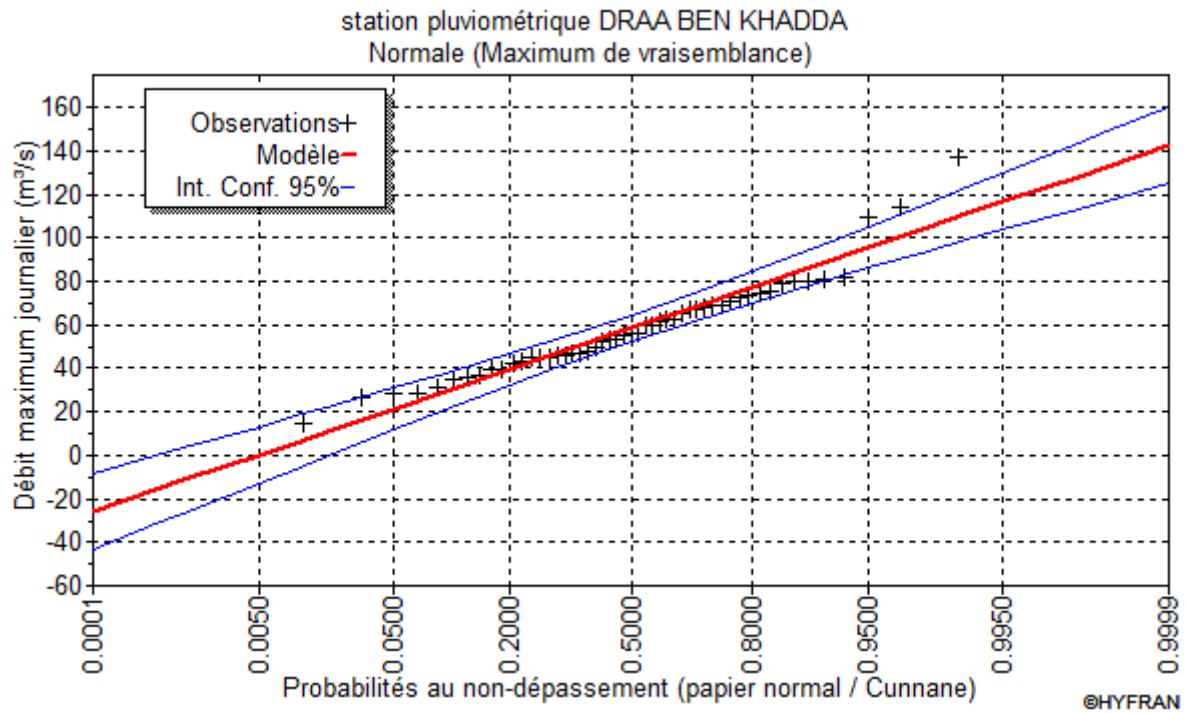


Figure IV.3 : Ajustement des Pjmax à la loi Normale.

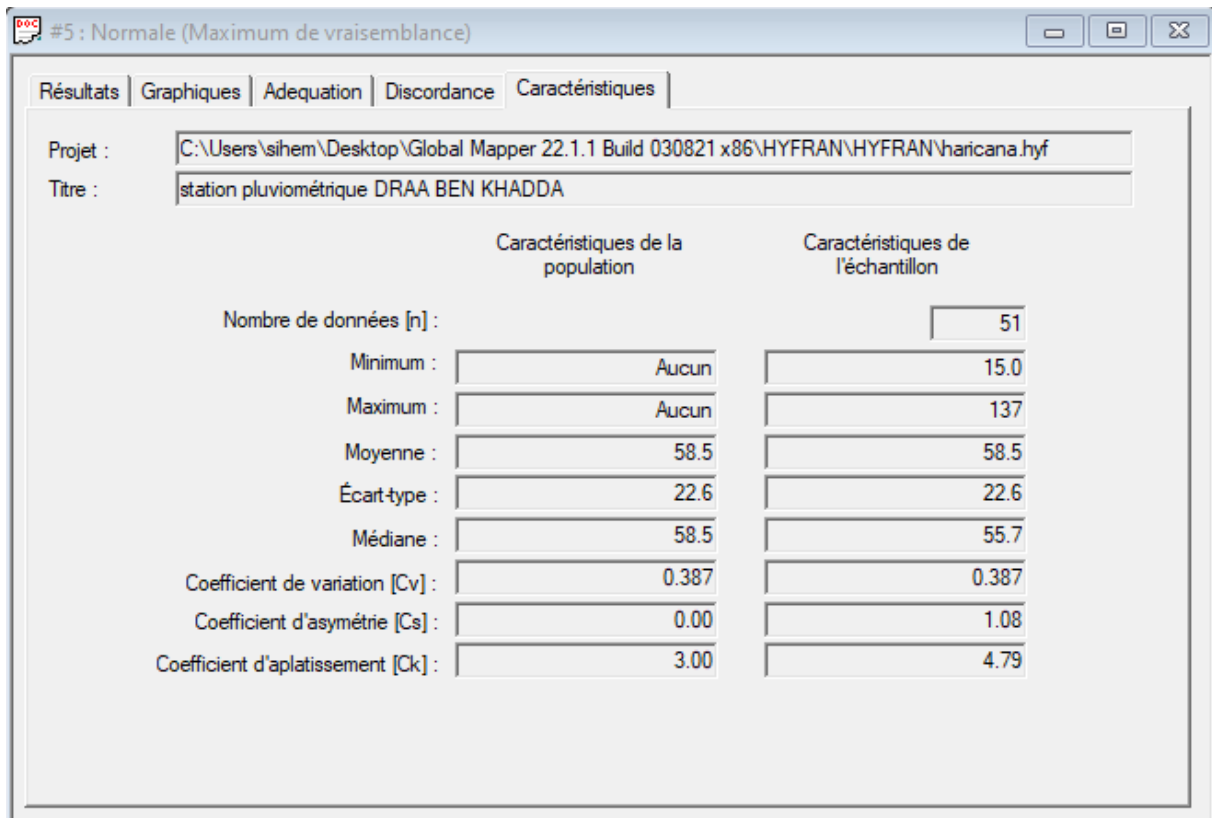


Figure IV. 4 : Les caractéristiques de la loi Normale.

⇒ **Loi Lognormale :**

Tableau IV. 6 : Tableau de classement selon l'ordre (fréquences)

Période de retour T	Probabilité au non dépassement q	Pluie maximale journalière
10000.0	0.9999	237
2000.0	0.9995	200
1000.0	0.9990	185
200.0	0.9950	151
100.0	0.9900	137
50.0	0.9800	123
20.0	0.9500	104
10.0	0.9000	90.4
5.0	0.8000	75.9
3.0	0.6667	64.5
2.0	0.5000	54.5
1.4286	0.3000	44.2
1.2500	0.2000	39.0
1.1111	0.1000	32.7
1.0526	0.0500	28.3
1.0204	0.0200	24.1
1.0101	0.0100	21.6
1.0050	0.0050	19.6
1.0010	0.0010	16.0
1.0005	0.0005	14.8
1.0001	0.0001	12.5

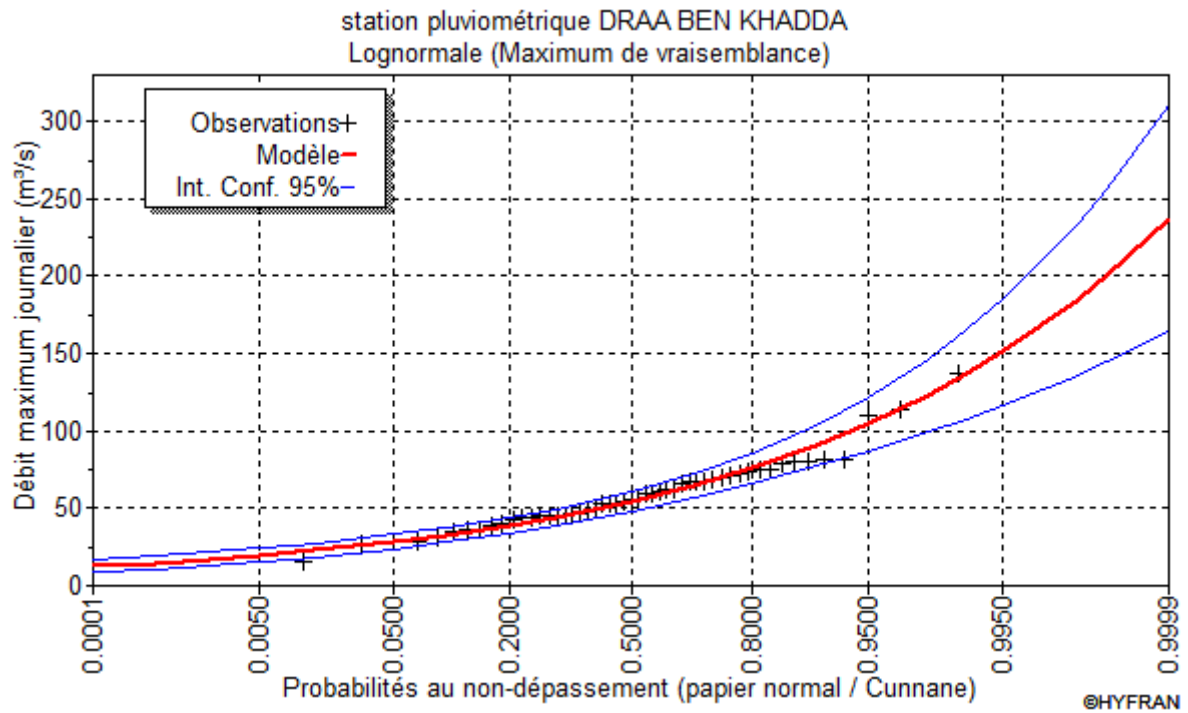


Figure IV. 5 : Ajustement des Pjmax à la loi Lognormale.

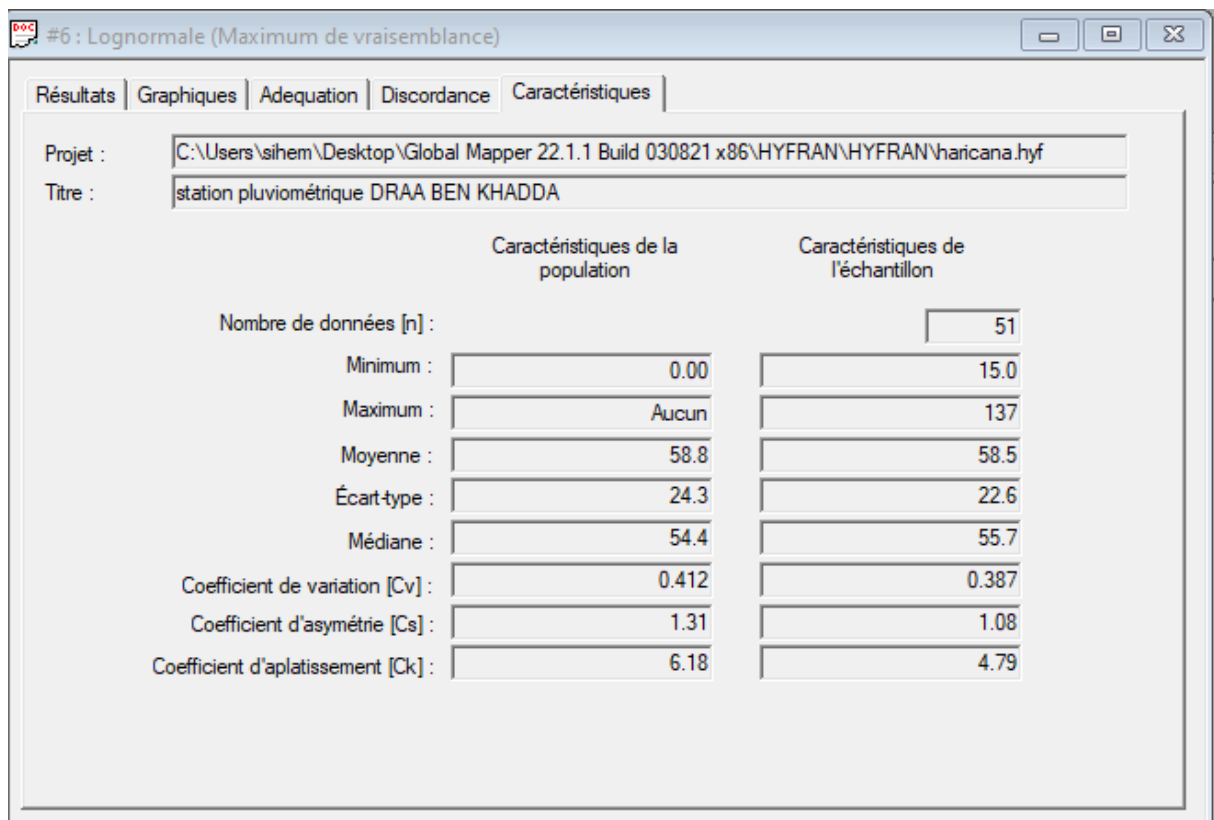


Figure IV. 6 : Les caractéristiques de la loi Lognormale.

Commentaire :

D'après les différents résultats obtenus par Hyfran, on remarque que :

⇒ Les résultats des tableaux de la loi GEV et la loi Lognormale sont approximatifs par rapport au tableau des résultats de la loi Normal.

⇒ Pour une période de retour $T = 100$ ans et une pluie maximale de 137 mm, on a une probabilité de 0.9900. Lors de la projection, on trouve que pour la loi Lognormale l'allure du modèle passe par ce point contrairement aux autres modèles.

Donc, la loi qui a un meilleur ajustement est la loi Lognormale

f. Détermination de la pluie maximale journalière :

Pour une période de retour, la pluie maximale journalière égale à la pluie maximale journalière moyenne d'une station multipliée par la fonction de quantile de la région concernée. Donc la formule sera :

$$P_{jmax}(F) = P_{jmax} * q(F)$$

Tel que la fonction de quantile est déterminée d'après la régionalisation des précipitations maximales journalières du Nord d'Algérie représentée dans la carte ci-dessous : [Meddi, M., & Toumi, S., 2015]

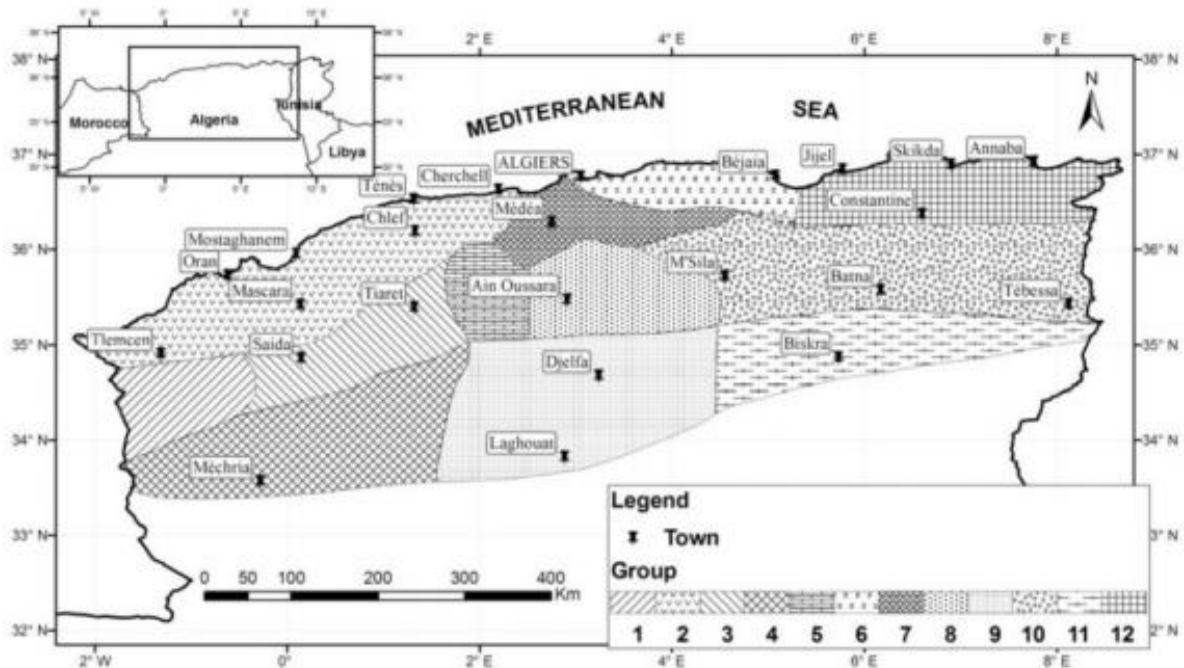


Figure IV. 7 : Situation géographique des douze (12) régions homogènes.

CHAPITRE IV : ETUDE CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE

[Meddi M & Toumi S., 2015]

Chaque région a sa fonction de quantile qui correspond selon des différentes périodes de retour.

Tableau IV. 7 : $q(F)$ (quantile fonction). [Meddi M & Toumi S., 2015]

Période de retour (ans)	2	5	10	20	50	100	200	500
Fonction de quantile $q(F)$								
Région 1	0.89	1.31	1.61	1.92	2.36	2.72	3.11	3.67
Région 2	0.88	1.27	1.57	1.89	2.38	2.8	3.26	3.97
Région 3	0.93	1.25	1.46	1.68	1.96	2.17	2.4	2.7
Région 4	0.9	1.28	1.56	1.88	2.38	2.83	3.37	4.23
Région 5	0.92	1.31	1.58	1.85	2.2	2.48	2.77	3.16
Région 6	0.92	1.26	1.5	1.75	2.1	2.39	2.69	3.12
Région 7	0.9	1.27	1.54	1.83	2.23	2.56	2.91	3.43
Région 8	0.92	1.28	1.53	1.78	2.1	2.35	2.61	2.96
Région 9	0.91	1.29	1.56	1.87	2.33	2.74	3.21	3.95
Région 10	0.9	1.28	1.56	1.85	2.26	2.6	2.96	3.49
Région 11	0.91	1.32	1.61	1.9	2.29	2.59	2.91	3.34
Région 12	0.89	1.28	1.57	1.88	2.33	2.71	3.12	3.73

La ville d'Isser fait partie de la région 6, donc les pluies maximales journalières fréquentielles à travers les périodes de retour (10, 20, 50, 100) seront comme suit :

Tableau IV. 8 : Pluies maximales journalière fréquentielle.

Période de retour		q(F)	Pjmax (F)
10	Région 6	1.5	205.5
20		1.75	239.75
50		2.1	287.7
100		2.39	327.43

g. Courbes intensité – Durée – Fréquences :

Les courbes IDF (Intensité–Durée–Fréquence) représentent l'évolution de l'intensité de la pluie « i » en fonction de la durée « d » de la pluie (généralement de quelques minutes à quelques heures) et de la fréquence de la pluie exprimée en période de retour T.

CHAPITRE IV : ETUDE CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE

Le calcul de la pluie de courte durée est effectué à l'aide de la formule de K. BODY :

$$P_{ct} = P_{jmax} * \left(\frac{t}{24}\right)^b$$

Avec :

- ⇒ Pct : Pluie de courte durée ;
- ⇒ Pmax j : Pluie maximale journalière ;
- ⇒ b : exposant climatique (b= 0.37).

L'intensité de pluie est donnée par la formule de Montana :

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t}$$

Avec :

- ⇒ It : l'intensité maximale de période t (mm/h) ;
- ⇒ Pct : Pluies de courte durée (mm).

Tableau IV. 9 : la pluie de courte durée et l'intensité pour différentes périodes de retours.

Temps (h)	Période de retour							
	10		20		50		100	
	Pct (mm)	I (mm/h)	Pct (mm)	I (mm/h)	Pct (mm)	I (mm/h)	Pct (mm)	I (mm/h)
1	63.406	63.406	73.974	73.974	88.769	88.769	101.028	101.028
2	81.944	40.972	95.601	47.800	114.721	57.360	130.563	65.282
3	95.207	31.736	111.075	37.025	133.290	44.430	151.696	50.565
4	105.900	26.475	123.550	30.887	148.260	37.065	168.734	42.183
5	115.014	23.003	134.184	26.838	161.020	32.204	183.256	36.651
6	123.041	20.507	143.548	23.925	172.257	28.710	196.045	32.674
7	130.263	18.609	151.973	21.710	182.368	26.053	207.552	29.650
8	136.860	17.108	159.670	19.959	191.604	23.951	218.064	27.258
9	142.956	15.884	166.782	18.531	200.139	22.238	227.777	25.309
10	148.639	14.864	173.413	17.341	208.095	20.810	236.831	23.683
11	153.975	13.998	179.637	16.331	215.564	19.597	245.333	22.303
12	159.012	13.251	185.514	15.460	222.617	18.551	253.340	21.113
13	163.792	12.600	191.091	14.699	229.309	17.640	260.975	20.075

CHAPITRE IV : ETUDE CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE

14	168.345	12.025	196.403	14.029	235.683	16.835	268.230	19.159
15	172.698	11.513	201.481	13.432	241.778	16.118	275.166	18.344
16	176.872	11.054	206.350	12.897	247.620	15.476	281.815	17.813
17	180.884	10.640	211.031	12.414	253.237	14.896	288.208	16.953
18	184.750	10.263	215.542	11.975	258.650	14.369	294.368	16.354
19	188.483	9.920	219.897	11.574	263.876	13.888	300.316	15.806
20	192.094	9.605	224.110	11.206	268.932	13.446	306.070	15.304
21	195.594	9.314	228.192	10.866	273.831	13.040	311.646	14.840
22	198.989	9.045	232.154	10.552	278.585	12.663	317.057	14.411
23	202.289	8.795	236.004	10.261	283.205	12.313	322.314	14.014
24	205.5	8.563	239.75	9.990	287.7	11.987	327.43	13.643

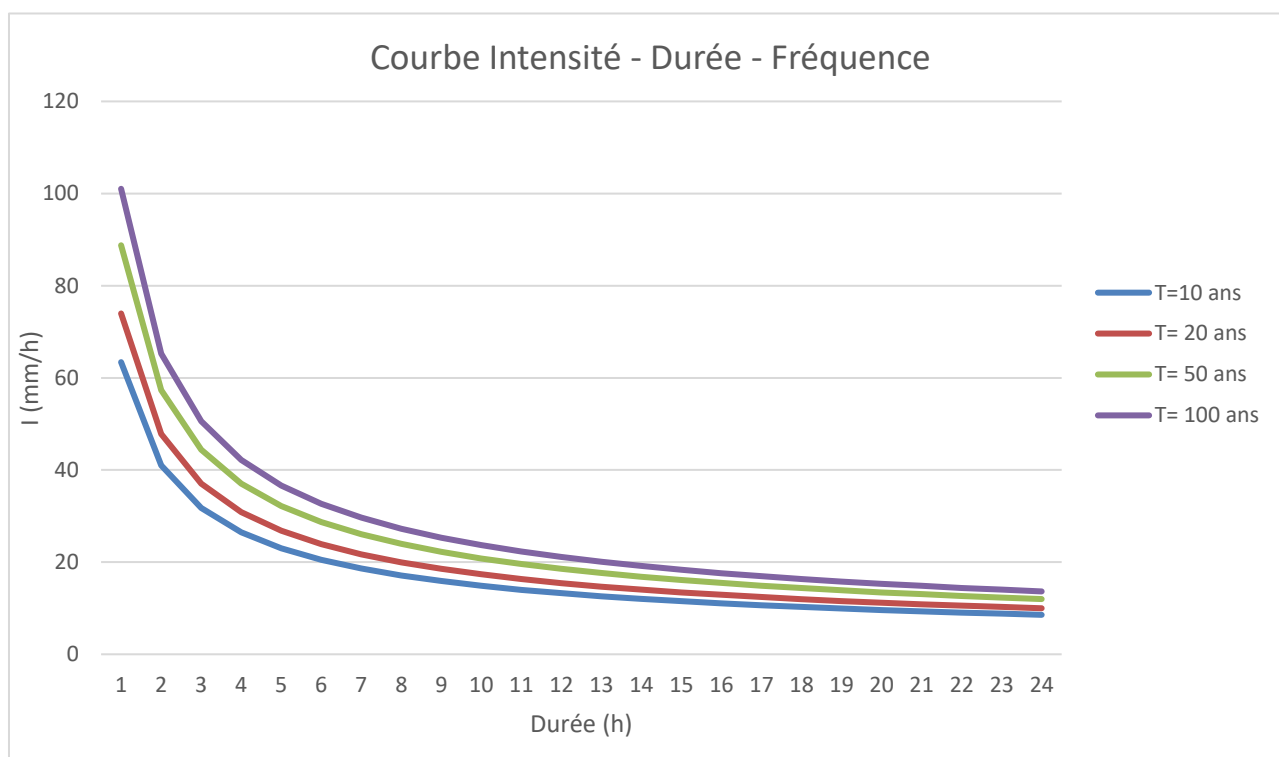


Figure IV. 8 : Courbe IDF

IV.3. Etude des crues :

Selon l'article de monsieur MEDDI et al. (2017) ont mis en disposition une formule pour calculer Q_{max} de l'une des trois régions du nord d'Algérie pour une période de retour donnée.

$$Q_{max} (F) = Q_{max} * q (F)$$

Avec :

CHAPITRE IV : ETUDE CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE

- ⇒ Q_{max} : débit max calculé par le modèle correspondant à la région concernée en fonction de la surface du bassin versant (A) en km^2 et la pente du cours d'eau principal (S) sans unité ;
- ⇒ $q(F)$: fonction quantile correspondante.

Tableau IV. 10: Fonction quantile $q(F)$. [MEDDI et al., 2017]

Période de retour	10	20	50	100
Région I	2.14	2.74	3.53	4.13
Région II	2.27	3.22	4.74	6.14
Région III	2.29	2.94	3.77	4.37

Tableau IV. 11 : formules des Q_{max} selon les trois régions du Nord Algérien. [MEDDI et al., 2017]

Régions	Q_{max}
Région I	$Q_{max} = 3.52 * A^{0.96} * S^{0.54}$
Région II	$Q_{max} = 2.73 * A^{0.35} * S^{0.44}$
Région III	$Q_{max} = 1.26 * A^{0.16} * S^{-1.014}$

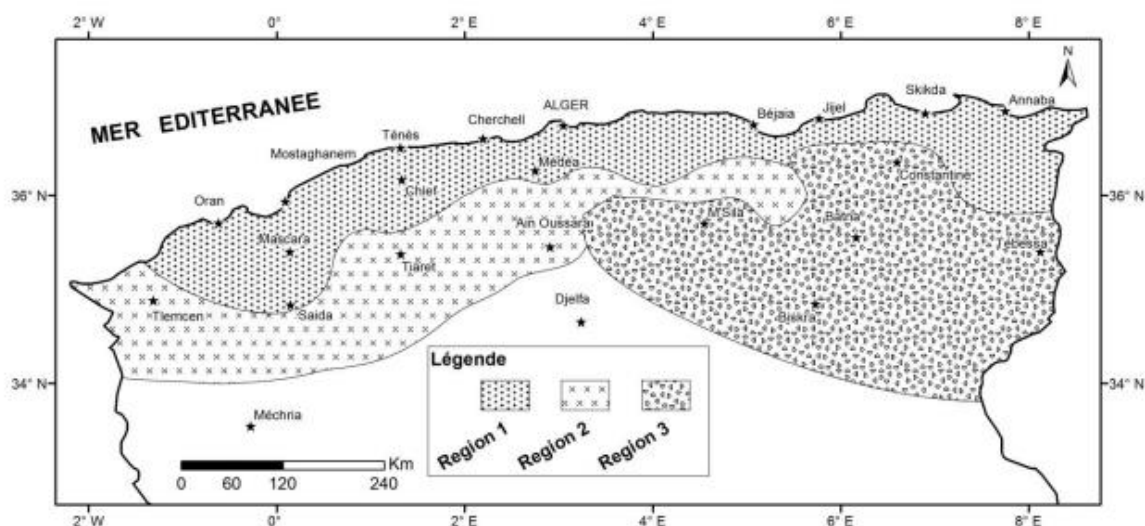


Figure IV. 3: carte des trois régions homogènes. [MEDDI et al., 2017]

Le secteur d'étude appartient à la région I. il est caractériser par :

⇒ Surface : $A = 168.893 \text{ Km}^2$

⇒ La pente de cours d'eau principale : $S = 0.07$

$$Q_{\max} = 115.19 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tableau IV. 12 : Débit de crue pour différentes périodes de retour.

Période de retour	$Q_{\max} \text{ (m}^3/\text{s)}$
10	246.51
20	315.62
50	406.62
100	475.73

a. Construction des hydrogrammes des crues (SOKOLOVSKY) :

Pour ce travail, la détermination de l'hydrogrammes des crues est basée sur la méthode empirique SOKOLOVSKY. Cette méthode consiste à diviser l'hydrogramme en deux parties non symétriques, une est calculée à partir du temps de montée et l'autre à partir du temps de décrue, chacune à sa propre équation.

- **Temps de montée :**

Le temps de montée est donnée par la formule suivante :

$$Q_m = Q_{\max,p} [t / t_m]^n$$

- **Temps de décrue :**

$$Q_d = Q_{\max,p} [t_d - t/t_m]^m$$

Avec :

⇒ $T_m = T_c$: Temps de montée ;

⇒ $T_d = aT_m$ (Sokolovsky) ;

⇒ a : Coefficient qui dépend des caractéristiques du bassin versant ; ($a = 3$)

⇒ m, n : puissance des équations $m = 3, n = 2$;

Tableau IV. 13 : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue a . (Younes, 2020)

Conditions	a
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2 à 2,5

CHAPITRE IV : ETUDE CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE

Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales.	3 à 4
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4 à 7

b. Résultat de calcul :

- ✓ Le temps de montée de la crue : 5.16 h ;
- ✓ Le temps de décro de la crue : 15.48 h ;
- ✓ Le temps de base : 20.64 h.

Pour les différentes périodes de retours, les résultats sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 14 : Débit de crue.

Temps (h)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
1.032	9.860	12.625	16.265	19.028
2.064	39.440	50.499	65.059	76.112
3.096	88.743	113.623	146.383	171.252
4.128	157.766	201.997	260.237	304.448
5.16	246.51	315.62	406.62	475.7
12.9	30.814	39.453	50.828	59.466
15.48	0	0	0	0

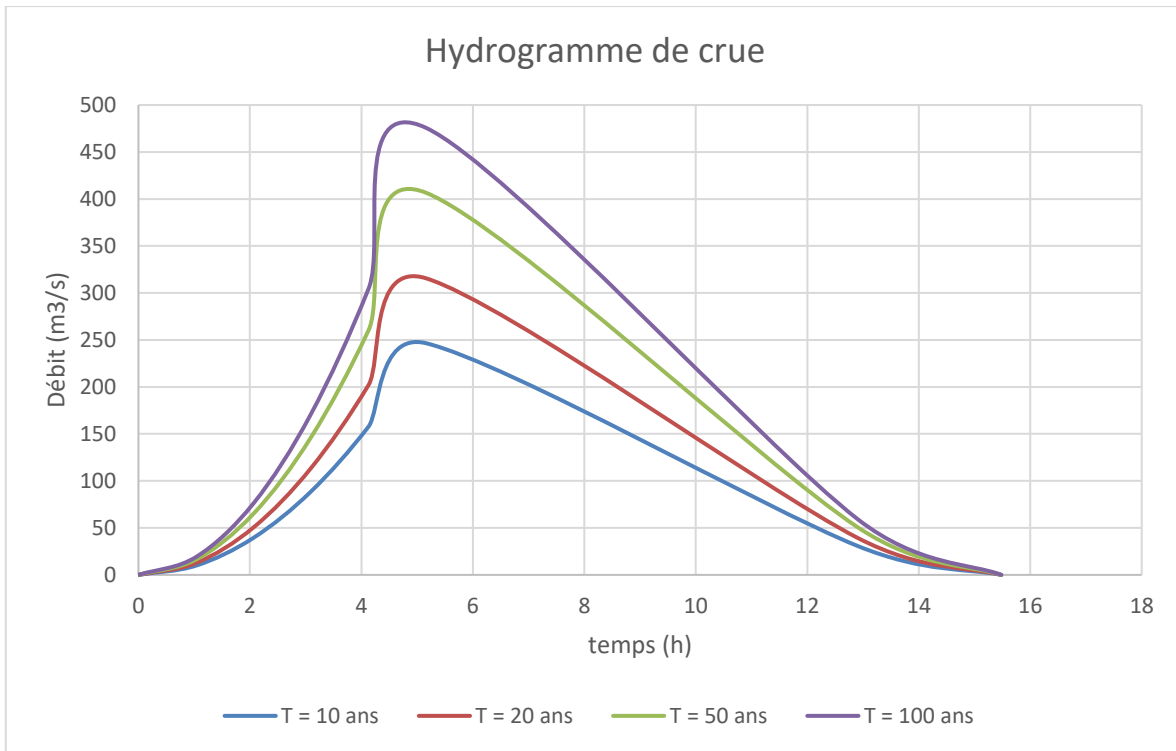


Figure IV. 10 : Hydrogramme de crue du bassin versant d'Oued Djemaa.

IV.4. Conclusion :

Les hydrogrammes des crues établis permettent de voir l'évolution des crues dans le temps.

Finalement, une évaluation plus ou moins variée a permis de fixer les valeurs des crues qui traversant la ville d'ISSER ont permis de dimensionner les ouvrages proposés pour protéger cette ville contre les inondations.



Chapitre V : Modélisation Hydraulique

V.1. Introduction :

L'étude hydraulique consiste à faire le diagnostic de la zone d'étude pour tout événement hydraulique le but de réaliser un modèle hydraulique pour calculer l'élévation de la ligne d'eau pour des écoulements graduellement varié, d'une part, et d'autre part pour déterminer les zones de débordement.

L'analyse hydraulique pour l'établissement des zones inondables, s'est basée sur la modélisation hydraulique le long de l'oued par l'utilisation du logiciel HEC-RAS (HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, RIVER ANALYSIS SYTEME), qui est un logiciel informatique capable de modéliser des écoulements à surface libre dans les canaux naturels et artificiels avec la prise en compte des ouvrages de franchissement. Il permet de simuler les écoulements graduellement variés en régime transitoire, d'effectuer les calculs de lignes d'eau en régime dynamique en simulant les différents obstacles le long du cours d'eau.

V.2. Choix de type de modélisation :

La modélisation de rivière est un exercice complexe qui demande une bonne connaissance du terrain et des écoulements. Les logiciels hydrauliques sont des outils informatiques qui permettent de simuler les écoulements d'un cours d'eau et sont donc utilisés pour modéliser les rivières.

Dans le cadre de la modélisation de rivière, il existe différents types de logiciel hydraulique :

- ✓ Les logiciels 1D ;
- ✓ Les logiciels 2D ;
- ✓ Les logiciels qui couplent les modèles 1D et 2D.

Au regard des caractéristiques de la zone d'étude et des variables étudiées (hauteur de la ligne d'eau et débit), l'utilisation d'un modèle 1D est suffisant. En effet, plusieurs observations semblent justifier l'hypothèse d'un écoulement unidirectionnel comme l'absence d'affluents et d'ouvrages longitudinaux (digue ou déversoir longitudinal). C'est pourquoi, nous avons choisi d'utiliser le logiciel HEC-RAS de l'US Army Corps of Engineers pour modéliser l'écoulement du cours d'eau à l'état naturel.

V.3. Présentation de logiciel HEC-RAS :

Le logiciel HEC-RAS est un logiciel de simulation de l'hydraulique dans les rivières et canaux développé par le corps des ingénieurs de l'armée américaine. Il permet d'évaluer les

débites et hauteurs d'eau sur l'ensemble des sections d'une rivière. Il utilise des équations d'hydraulique à surface libre (Saint-Venant 1D, Manning-Strickler...).

HEC-RAS est initialement un logiciel de modélisation monodimensionnelle (1D). Il permet également la modélisation bidimensionnelle (2D) depuis sa version 5.0.

HEC-RAS 1D/2D trouve ses applications en hydraulique à surface libre, maritime ou fluviale :

- ✓ Étude de l'impact de la construction d'ouvrages (ponts, seuils, épis) ;
- ✓ Ruptures de barrages ;
- ✓ Études d'inondation ;
- ✓ Transport de traceurs chimiques ou de polluants.

V.3.1. Points forts et points faibles :

a. Points forts :

- ⇒ Outil polyvalent et complet :
 - ✓ Capable de modéliser en 1D pur, 2D pur et couplage 1D/2D ;
 - ✓ Génération du maillage, modélisation, présentation des résultats, ...
- ⇒ Très bonne représentation des ouvrages hydrauliques, modulable et proche de la réalité ;
- ⇒ Modélisation précise du lit mineur (conservation de la précision des levés topographiques) ;
- ⇒ HEC-RAS travaille à une échelle plus fine que la maille et produit des résultats plus précis qu'un autre modèle pour un même nombre de mailles.

b. Points faibles :

- ⇒ Certaines fonctionnalités en 1D ne sont pas encore disponibles en 2D comme la modélisation du transport de sédiments ou de la qualité de l'eau ;
- ⇒ Le logiciel n'inclut pas de module permettant une modélisation hydrologique. Si nécessaire, elle doit être réalisée préalablement par le biais d'un autre outil tel que HEC-HMS.

V.4. Mode pratique :

Cette étape est basée principalement sur deux logiciels. Le premier est Civil 3D, ce logiciel nous permet de délimiter le fond de l'oued et les coupes transversal. Le deuxième est HEC-RAS qui sert à déterminer les zones inondables.

V.4.1. Application sur Civil 3D :

Développé par la société Autodesk, leader mondial dans l'édition des logiciels de D.A.O et C.A.O, AutoCAD Civil 3D est un logiciel de documentation et conception des infrastructures civiles. On peut le définir aussi comme étant un logiciel de conception des projets de travaux publics (routes, les chemins de fer, les tunnels...).

L'AutoCAD Civil 3D est utilisé pour :

- ✓ La topographie ;
- ✓ Le calcul de cubatures (volumes déblais/remblais) ;
- ✓ La conception de projets 3D ;
- ✓ Le tracé des réseaux d'assainissement ;
- ✓ Le tracé des réseaux d'alimentation en eau potable...

Pour notre cas, on va délimiter oued Djemaa. Les étapes à suivre sont comme suit :

⇒ **Etape 01** : créer une superficie.

Sur la barre « TOOLSPACE », On clique sur : surface => create surface => donner un nom => créer un nouveau calque.

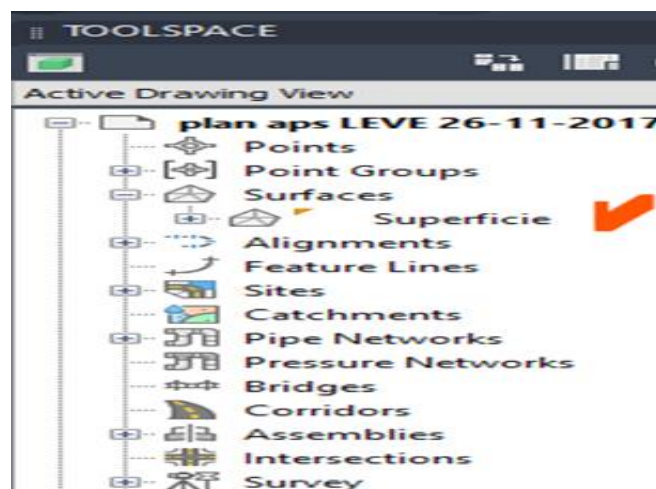


Figure V. 1 : Création d'une surface.

⇒ **Etape 02** : Ajouter un contour.

Sur la barre « TOOLSPACE » on clique sur : surface => superficie => définition => contour
=> add contour => ok => sélectionner => ok.

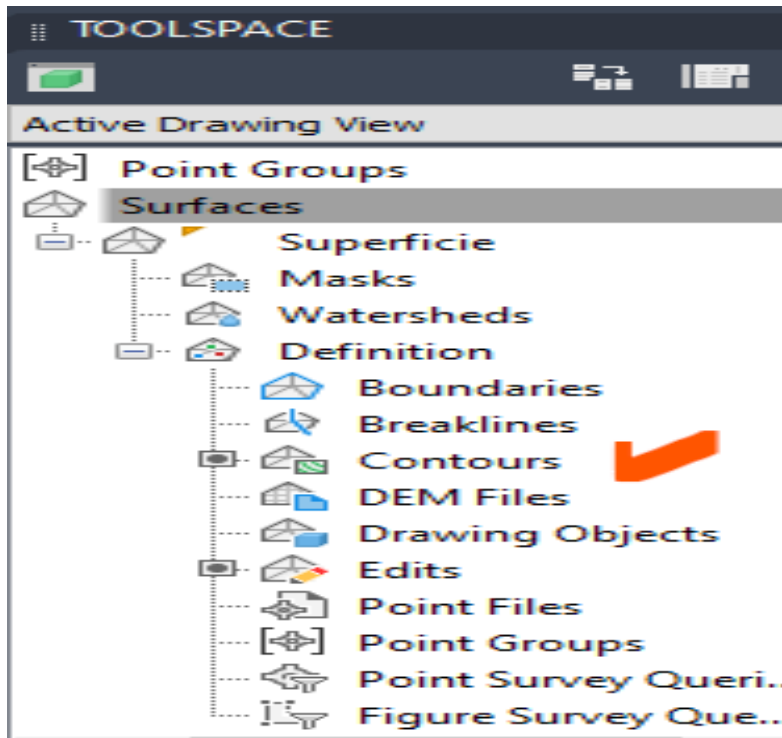


Figure V. 2 : création d'un contour.

⇒ **Etape 03** : Création de l'axe de l'oued.

Sur la barre « Draw » on clique sur polyline, ensuite on trace l'axe de l'oued.

⇒ **Etape 04** : Préciser le sens d'écoulement.

Sur la barre « Create design » on clique sur : Alignment => Create alignment from objects => sélectionner l'axe => clique droit (l'apparition de la flèche qui indique le sens d'écoulement)
=> ok (l'apparition de la fenêtre « Create alignment from objects ») => donner un nom => créer un nouveau calque => alignment label set (on choisit majeure and minore only) => désactiver « conversion options » => ok.

⇒ **Etapes 05** : Créer des tabulations.

Sur la barre « Profile ans section views » on clique sur : Sample lines => on modifie les propriétés selon notre cas d'étude => ok => ok.

⇒ **Etape 06** : Créer la rive gauche et la rive droite.

Sur la barre « Draw » on clique sur polyline, ensuite on trace la rive gauche ensuite la rive droite.

⇒ **Etape 07** : Exporter les données.

On clique sur « Output » => export to HEC RAS => nommer l'oued => sélectionner les deux rives => export => sélectionner le fichier où on veut enregistrer le travail => nommer le fichier => ok => ok.

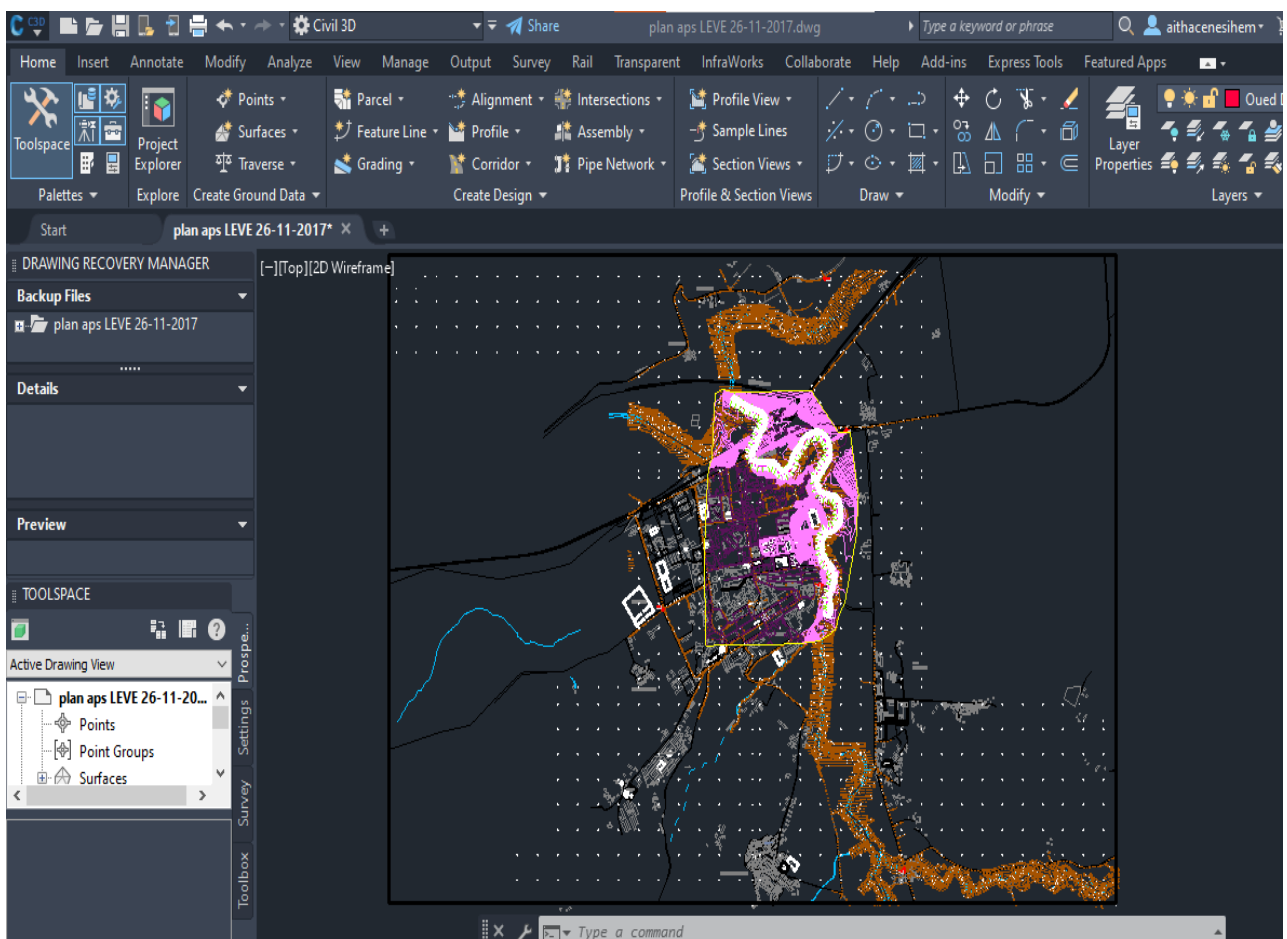


Figure V. 3 : Présentation de travail fait sur le logiciel Civil 3D.

⇒ **Etapes 08** : création d'un terrain.

On clique sur : Surface => export to DEM => préciser DEM FILE NAME => choisir GEOTIF (*.tif) => définir la projection (pour notre cas d'étude : UTM WGS 84 ZONE 31).

V.4.2. Application HEC-RAS :

HEC-RAS est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre. Il comporte une interface graphique permettant d'éditer, modifier et visualiser les données d'entrée, de même qu'observer les résultats obtenus. (W.F. Chen et J.Y. Richard Liew, 2002)

Les fichiers de données d'un projet sont catégorisés comme suit :

- ✓ **Données de plan (plan data) :** Un plan représente un ensemble spécifique de données géométriques et de données de flux - les deux éléments requis pour effectuer une analyse hydraulique. Une fois les données géométriques et de flux entrées dans les projets, les plans peuvent être formulés en comparant les données géométriques et de flux. (Djebri et Dahmani, 2020)
- ✓ **Données géométriques (geometric data) :** Les données géométriques représentent les éléments physiques d'un système de cours d'eau. Les données géométriques comprennent la connectivité de la rivière, les sections transversales des canaux, les longueurs de portée, les coefficients de perte d'énergie, les informations de jonction des cours d'eau et les données de structure hydraulique. (Djebri et Dahmani, 2020)
- ✓ **Données de débit stationnaire (steady flow data) :** Des données de débit constant comprenant le régime d'écoulement, les conditions aux limites et les informations de débit de pointe sont nécessaires pour effectuer une analyse de débit constant. (Djebri et Dahmani, 2020)
- ✓ **Données de débit instationnaire (unsteady flow data) :** L'utilisateur doit saisir les conditions aux limites de toutes les limites externes du système, ainsi que tous les emplacements internes souhaités, et définir les conditions initiales de flux et de zone de stockage dans le système au début de la période de la simulation. Les conditions aux limites peuvent être saisies manuellement par l'utilisateur ou importées à partir d'un fichier HEC-DSS. (Djebri et Dahmani, 2020).
- ✓ **Données sur les sédiments (sediment data) :** Les capacités de transport des sédiments de HEC-RAS sont en cours de développement. Cette fonctionnalité devrait être disponible dans les futures versions du programme. (Djebri et Dahmani, 2020)

- ✓ **Données de conception hydraulique (hydraulic design data) :** Cette option permet à l'utilisateur d'effectuer une série de modifications de canal et d'évaluer l'hydraulique de ces modifications. Ces données peuvent être utilisées pour déterminer si une modification de canal entraînera un affouillement supplémentaire du lit du canal et des berges. (Djebri et Dahmani, 2020).

a. Présentation de la fenêtre principale de HEC-RAS :

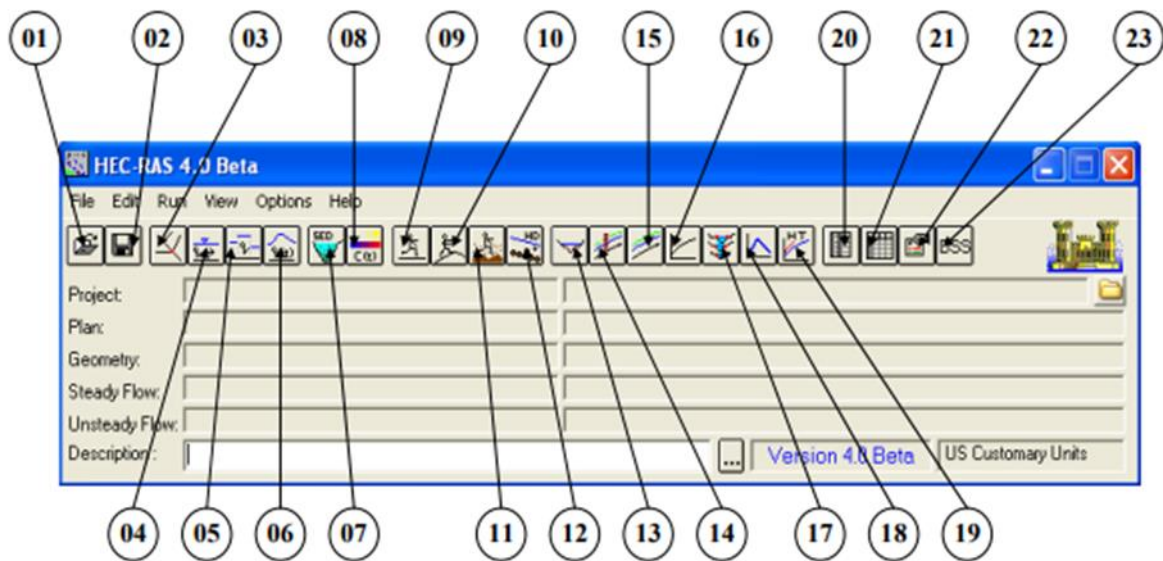


Figure V. 4 : L'interface de logiciel HEC-RAS. (Djebri et Dahmani, 2020)

1. Ouvrir un projet existant (ouvrir an existing project) ;
2. Enregistrer un travail (save all new edits in existing project) ;
3. Fenêtre de géométrie (view/edit geometric data) ;
4. Introduire les données de régime stationnaire (view/edit steady flox data) ;
5. Introduire les données de régime quasi-stationnaire (view/edit quasi-unsteady flow data);
6. Introduire les données de régime non-stationnaire (view/edit unsteady flow data) ;
7. Introduire les données de transport solide (view/enter sediment boundary conditions) ;
8. Introduire les données de qualité d'eau (view/edit water quality boundary conditions) ;
9. Lancer la simulation de régime stationnaire (perform a steady flow simulation) ;
10. Lancer la simulation de régime non stationnaire (perform an unsteady flow simulation);

11. Lancer le calcul de transport solide (perform a quasi unsteady simulation) ;
12. Exécuter le calcul de la conception hydraulique (perform hydraulic design computation);
13. Détails des sections en travers (view cross section) ;
14. Affichage des caractéristiques de l'écoulement (view profiles) ;
15. Affichage générale de profile (view general profile plot) ;
16. Courbes d'estimation (view computed routing curves) ;
17. Vues 3D (3D view of results or terrain) ;
18. Hydrographe de crue (plot stage and stage hydrographs) ;
19. Affichage de propriétés hydrauliques (hydraulic property table plots) ;
20. Affichage des résultats détaillés (view detailed output) ;
21. Affichage global des résultats (view summary output tables by profile) ;
22. Rapport d'erreurs (summary of errors);
23. Données DSS (view DSS data).

b. Lancement de calcul :

- **Implantation de fichier de la géométrie :**

Une fois que les données soient exporter vers HEC-RAS, on lance le programme et on crée un fichier qui contient les données de notre zone d'étude.

Pour importer les données de la géométrie on doit passer par un ensemble des étapes qui sont :

⇒ File => new project => choisir l'emplacement de projet => nommer.

CHAPITRE V : MODELISATION HYDRAULIQUE

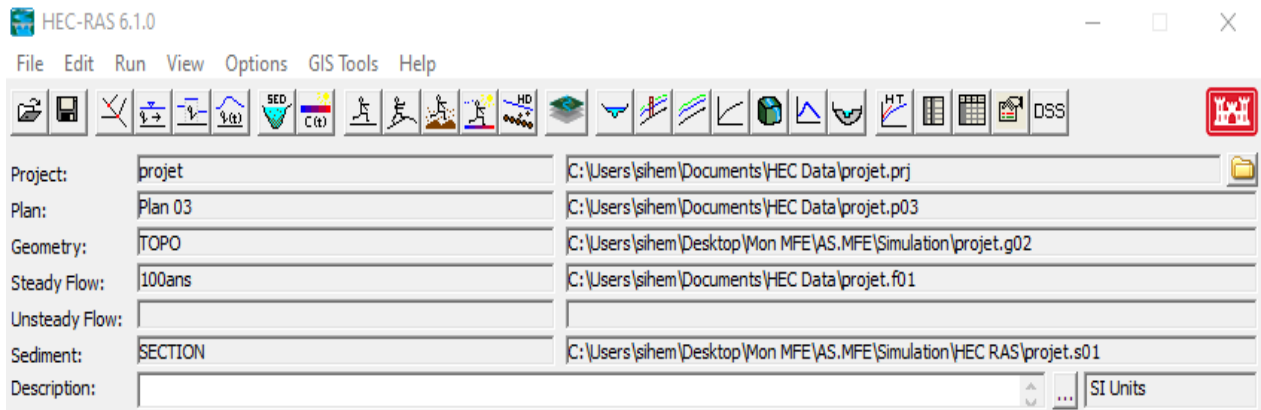


Figure V. 5 : L'interface de logiciel HEC-RAS 6.1.0 après la création de fichier.

⇒ View/edit geometric data ⇒ import geometry data ⇒ GIS format ⇒ choisir le fichier de la géométrie faite par le logiciel Civil 3D ⇒ préciser l'unité ⇒ finish import data.

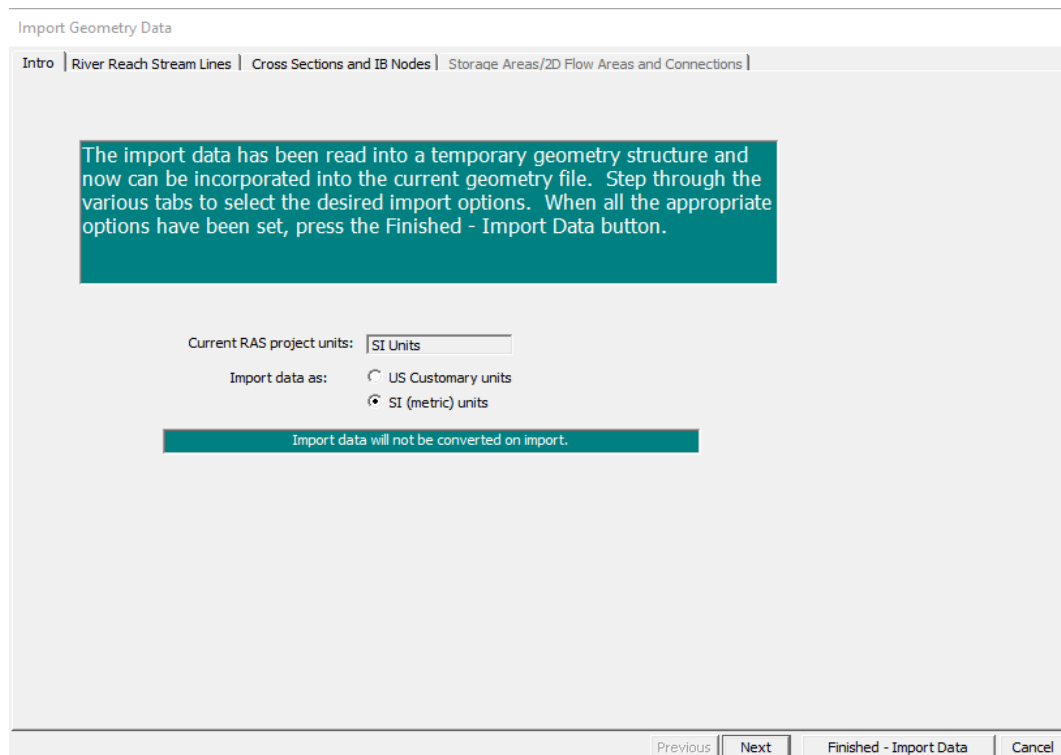


Figure V. 6 : Choix de l'unité de calcul.

CHAPITRE V : MODELISATION HYDRAULIQUE

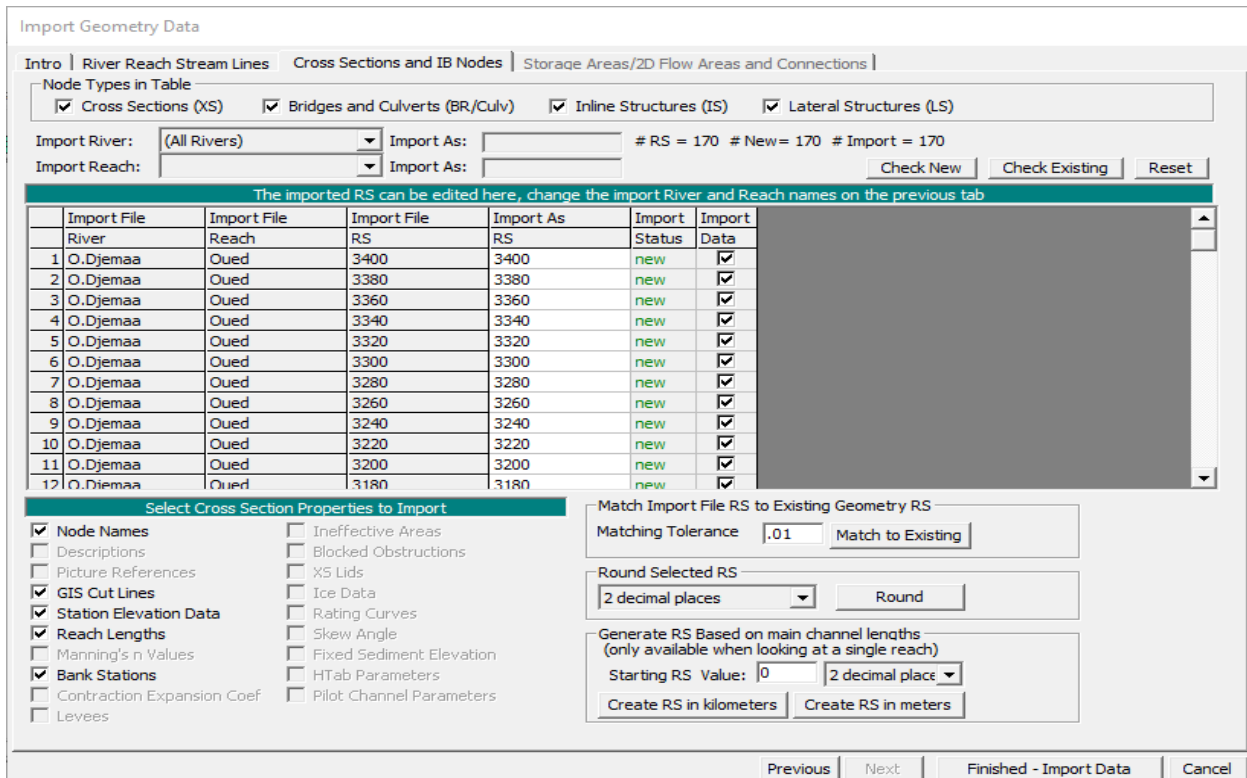


Figure V. 7 : Importation des données.

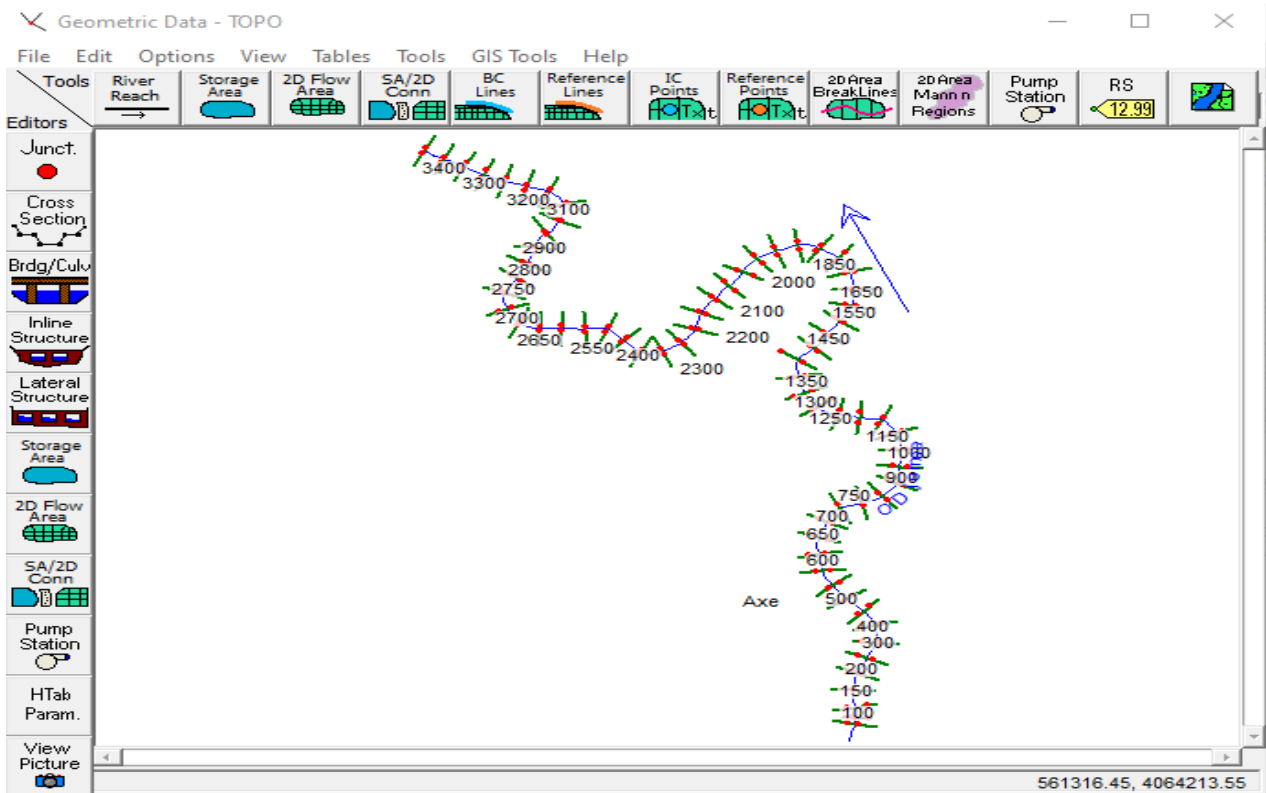


Figure V. 8 : Présentation de la géométrie d’oued Djemaa.

Pour visualiser les profils en travers on clique sur :

- Soit : View/edit geometric data => cross section.
- Soit : View/Enter sediment boundary data.

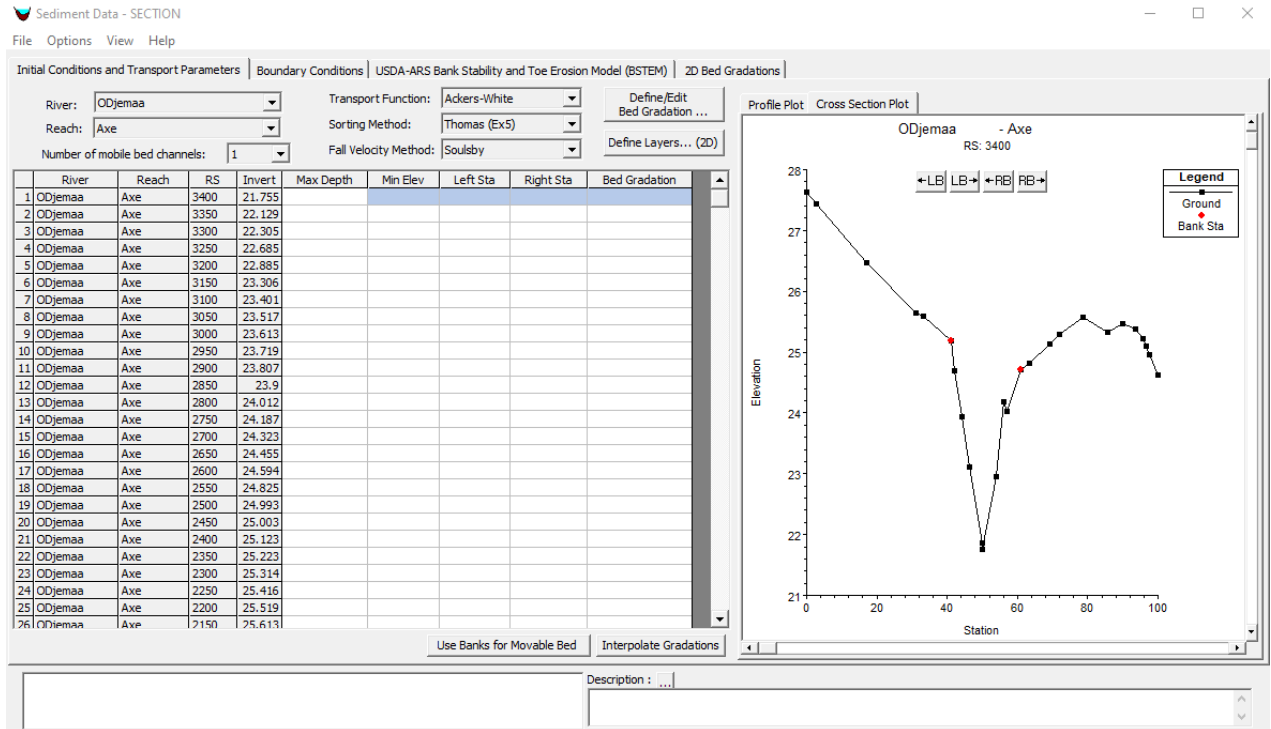


Figure V. 9 : Présentation d'une section.

• **Introduction du débit et les conditions aux limites :**

Pour introduire le débit on doit cliquer sur view/edit steady flow data.

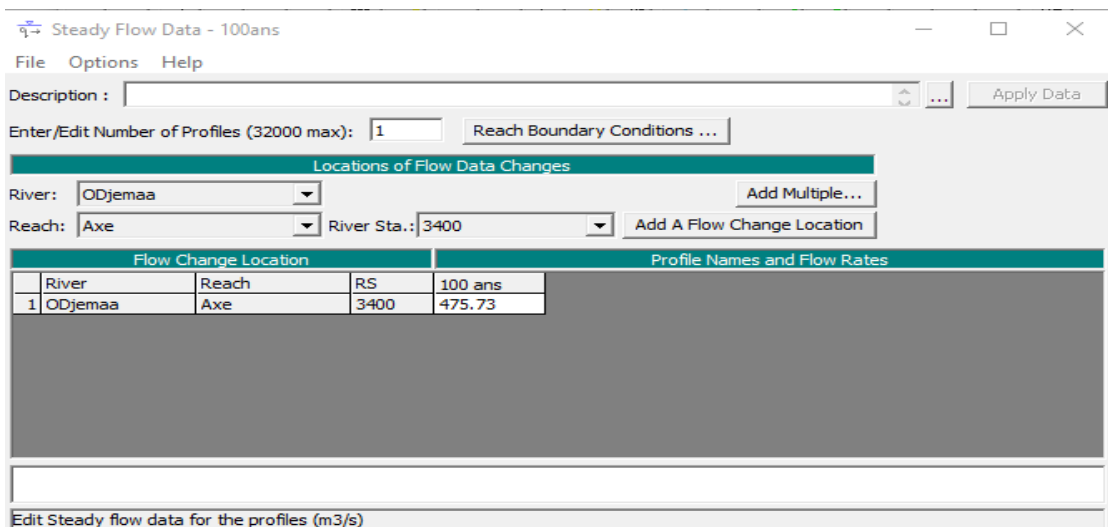


Figure V. 10 : Introduction du débit.

Pour ajouter la pente topographique, on clique sur view/edit steady flow data => Reach boundary conditions => normal depth => ajouter la pente => ok => ok => apply data.

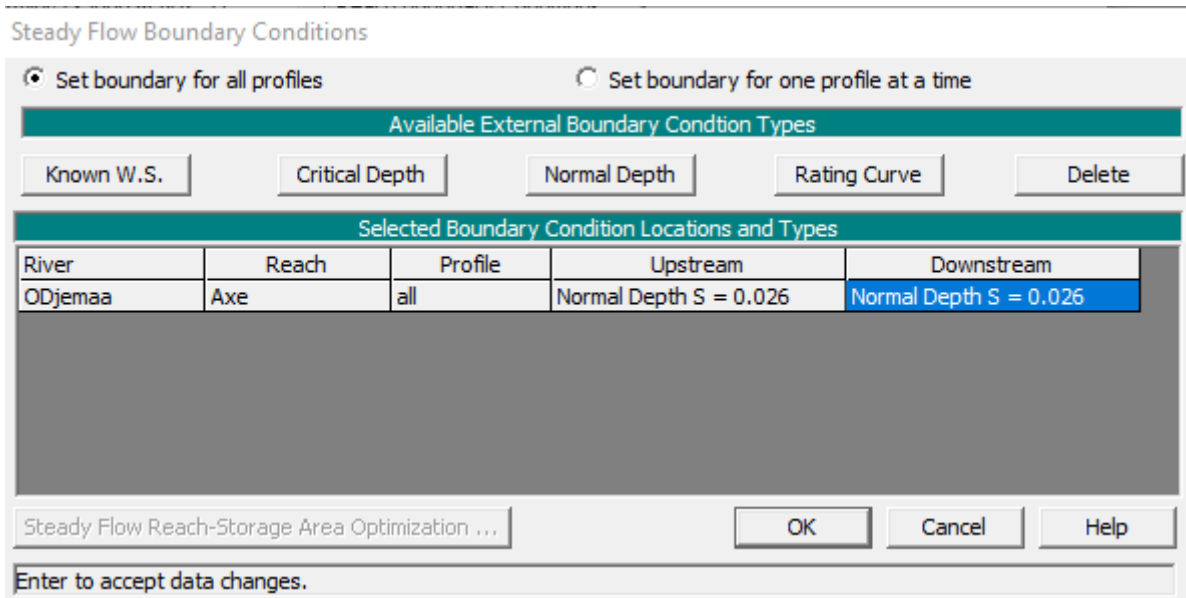


Figure V. 11 : Introduction des conditions aux limites.

- **Lancer la simulation :**

on clique sur perform a steady flow simulation => choisir Flow Regime => compute.

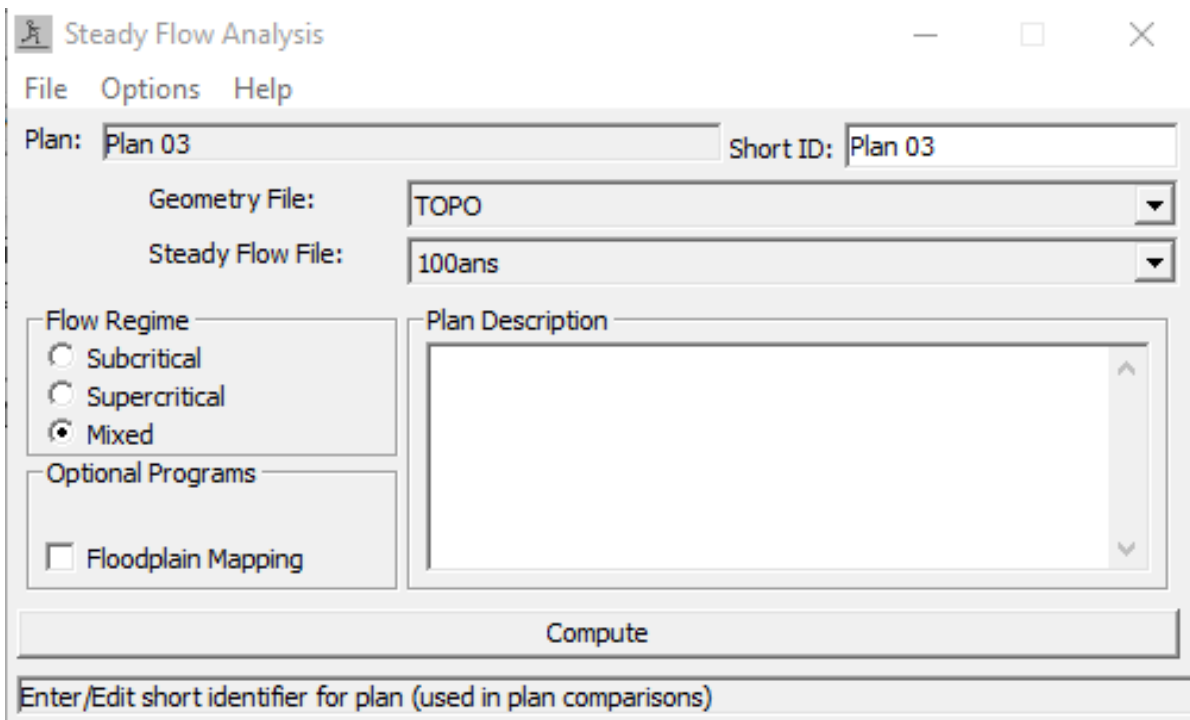


Figure V. 12 : Lancement de la simulation.

• Résultats de la simulation par HEC-RAS :

Le tableau de résultats est présenté dans l'annexe.

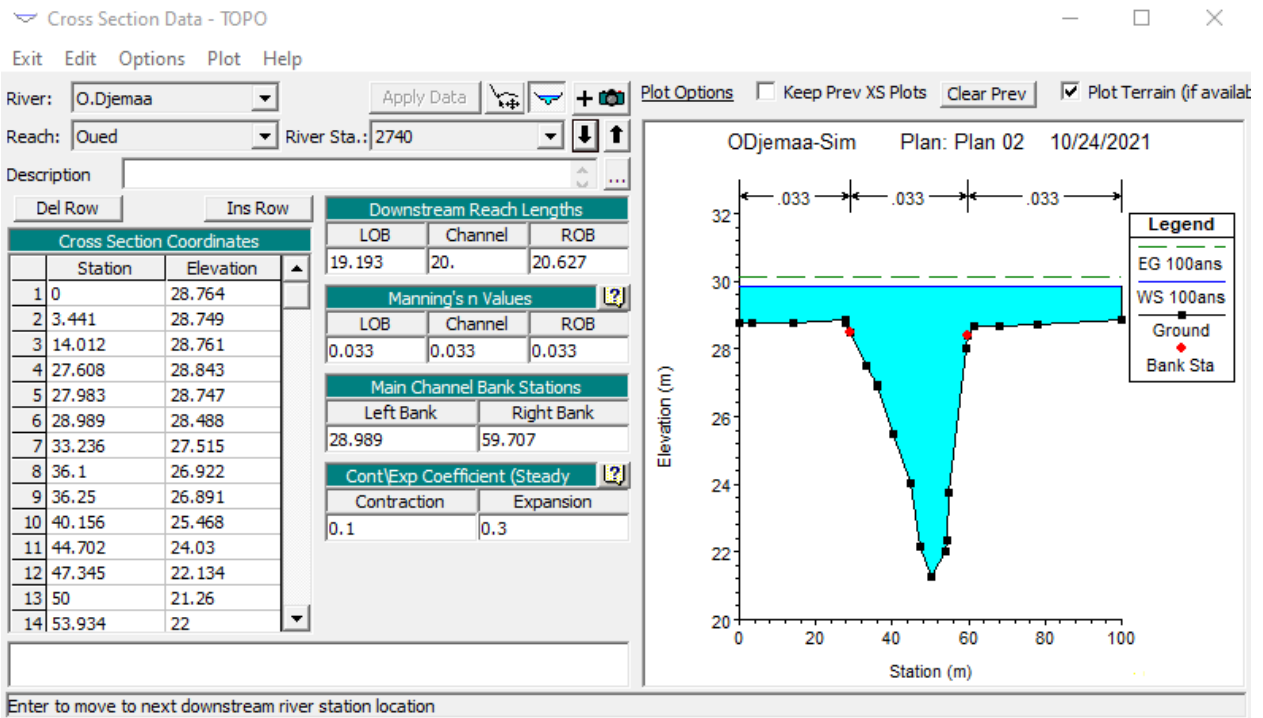


Figure V. 13 : Graphe de la hauteur d'eau pour une section spécifique.

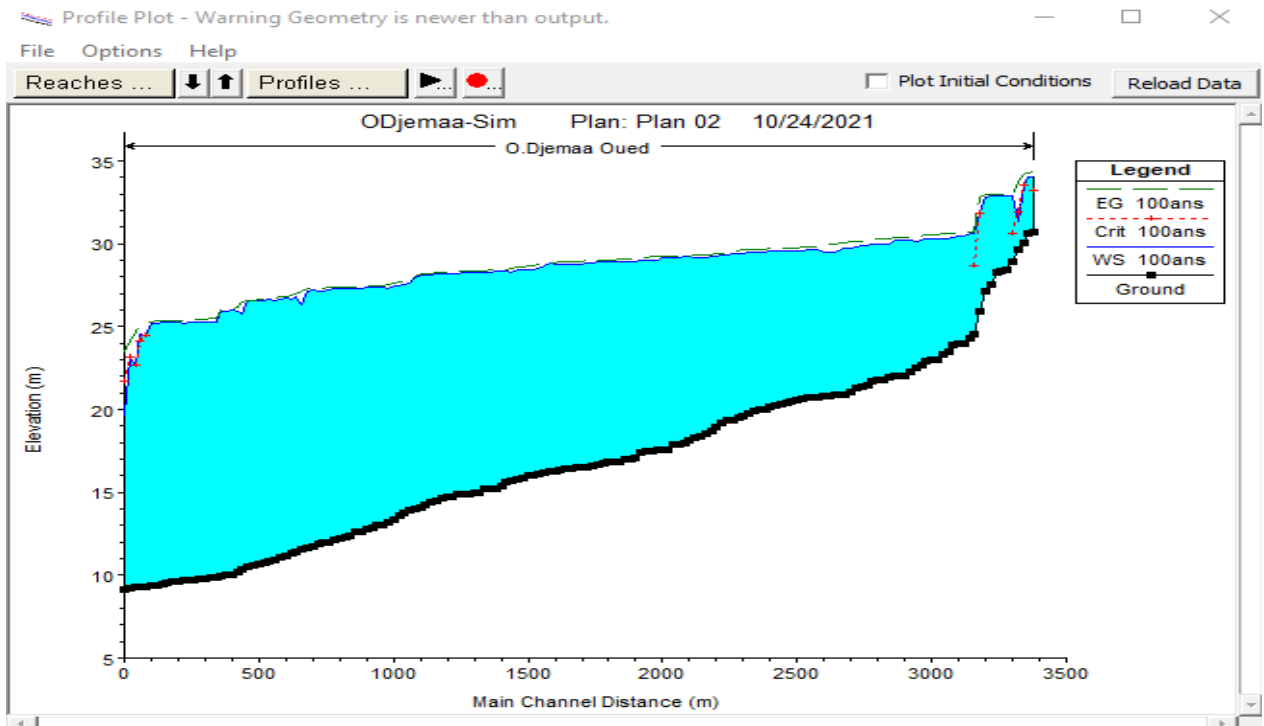


Figure V. 14 : L'élévation d'eau sur le long de l'oued.

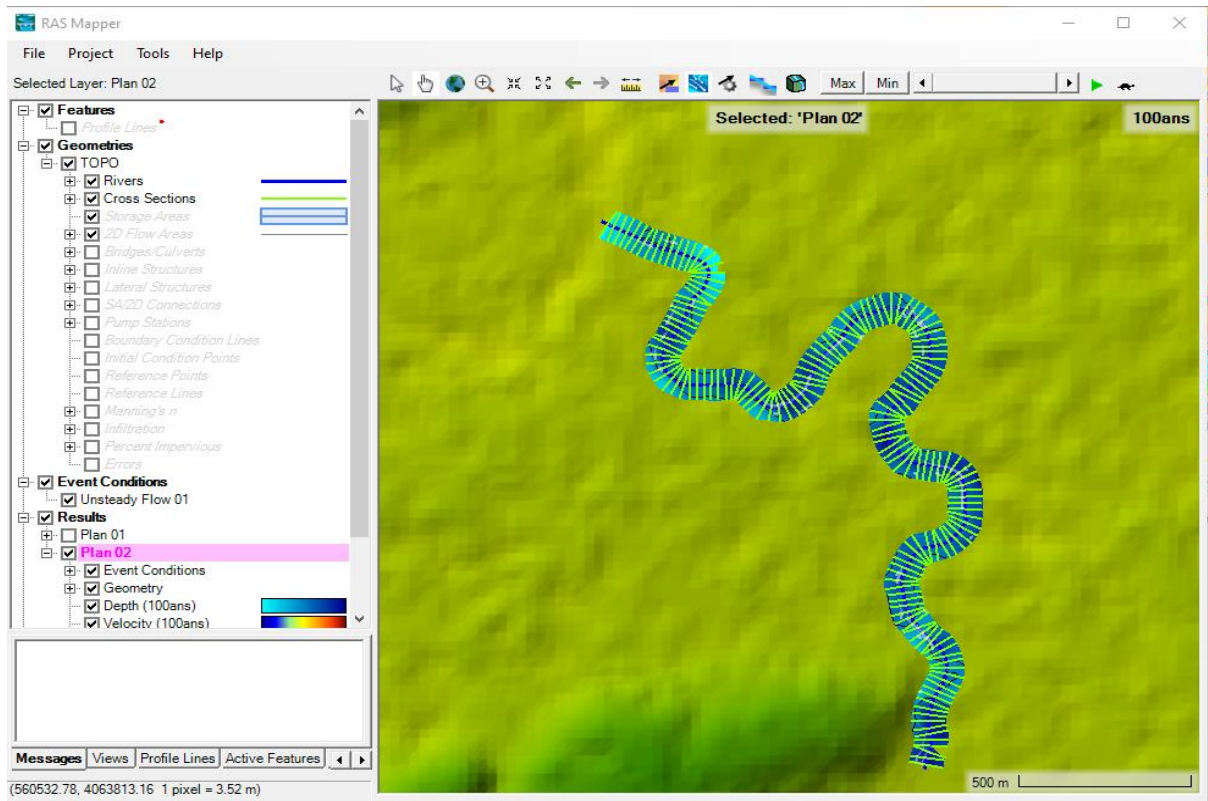


Figure V. 15 : Visualisation des résultats de la simulation sur RAS Mapper.

Après la simulation, les résultats sont transformés vers ArcGis. Dans ce dernier on peut visualiser les surfaces inondables. Pour exporter ces résultats on clique sur :

Files => Export GIS Data.

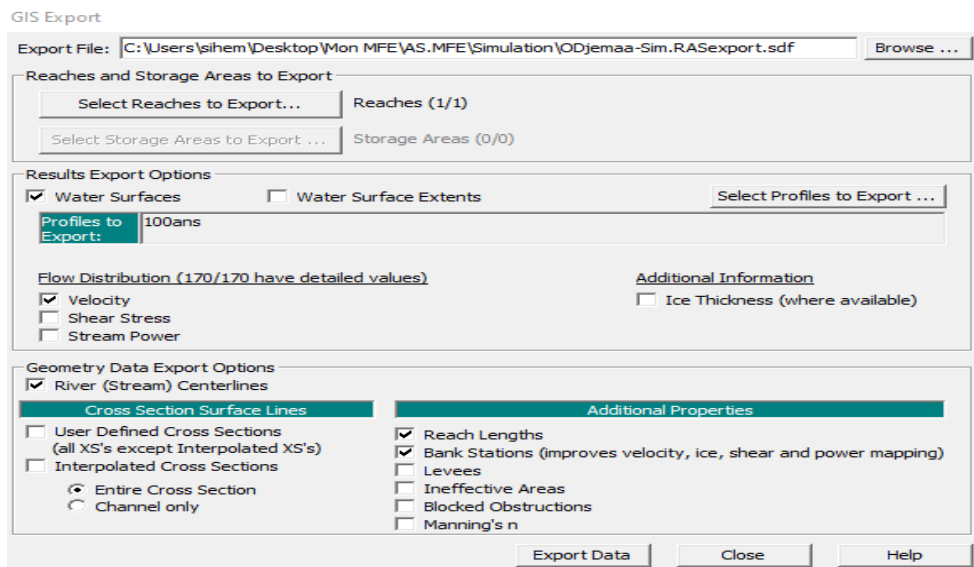


Figure V. 16 : Exportation des résultats de HEC-RAS vers ArcGIS.

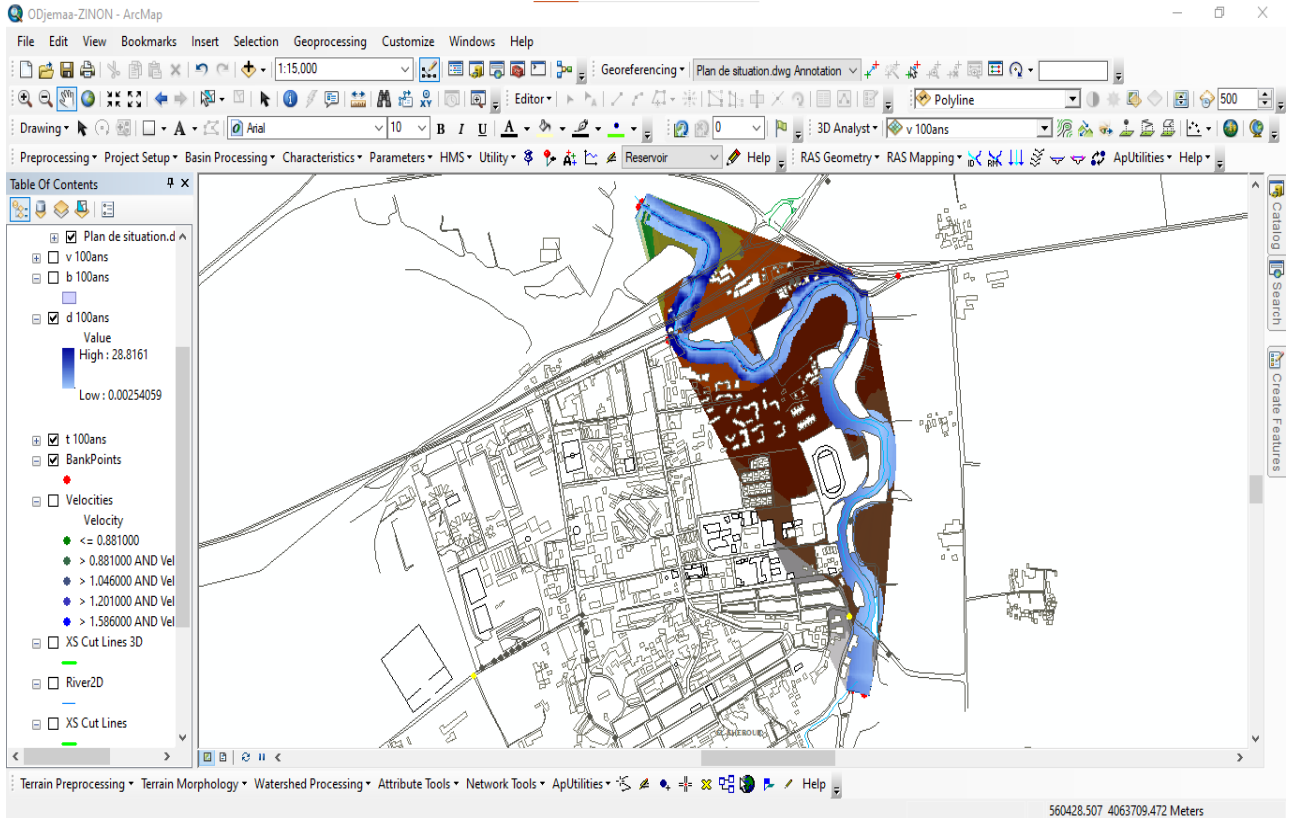


Figure V. 17 : Zones inondables (crues centennales).

V.4.3. Discussion des résultats :

Après l'analyse des résultats nous constatons ce qui suit :

- ⇒ Les zones inondables sont importantes sur le long d'oued Djemaa ;
- ⇒ Les hauteurs d'eau sont importantes ;
- ⇒ Les vitesses sont importantes.

V.5. Conclusion:

Pour conclure cette partie de l'étude, nous allons projeter les aménagements possibles afin d'éviter de subir des inondations lors des crues dans la ville. Nous tentons de donner des solutions réelles avec calculs hydrauliques.



Chapitre VI : Calcul hydraulique

VI.1. Introduction :

Depuis toujours, l'homme a aménagé les cours d'eau pour réduire les risques d'inondation. Cela s'est traduit essentiellement par des endiguements, des rééquilibrages ou la réalisation de grands barrages. Mais les aménagements réalisés à un endroit se répercutent sur la manière dont l'eau va s'écouler en aval.

De ce fait, l'eau est plus vite évacuée du secteur à protéger, mais cette eau arrive plus rapidement en aval, ce qui aggrave les inondations de cet endroit. Les travaux de protection contre les inondations doivent donc être aussi envisagés en fonction de leurs conséquences en aval.

En effet, l'évaluation du risque d'inondation doit s'appuyer sur des estimations fiables des niveaux d'eau et des vitesses locales, que ce soit en zone rurale (problèmes de stockage, érosion ou dépôt de limon) ou dans les plaines d'inondation urbanisées (problèmes de vulnérabilité).

Le but de ce travail est de protéger la ville d'Isser contre les inondations en aménageant l'oued principale de la ville qu'est oued Djemaa. Cette protection consiste à sélectionner les meilleures solutions d'aménagement compte tenu des conditions naturelles.

Sur la base des données du milieu physique morphométriques et climatiques, une étude hydrologique a été engagée a permis de déterminer l'ensemble des paramètres servant à la conception et aux dimensionnements des ouvrages de protection.

VI.2. Nature d'écoulement dans les canaux :

Les écoulements dans les canaux naturels (rivière) et artificiels (irrigation, assainissement) sont, dans la plupart des cas, des écoulements à surface libre. La surface libre est l'interface entre l'air et l'eau. La pression y est égale le plus souvent à la pression atmosphérique. (Vazquez. J.,2010).

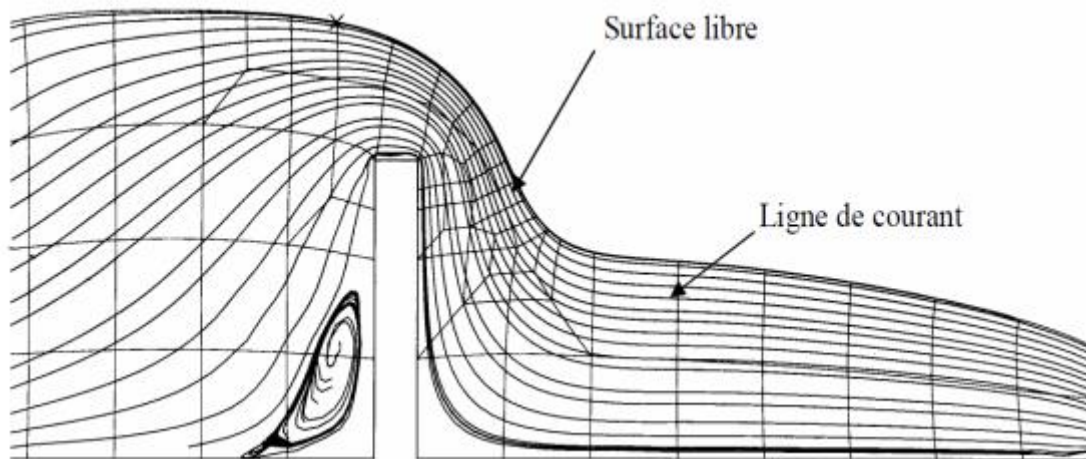


Figure VI. 1: Ecoulement à surface libre. (Trad D. et Boulakhoua A. E., 2015)

VI.2.1. Type d'écoulement de surface :

On peut définir les écoulements suivants la variabilité des caractéristiques hydrauliques tels que le tirant d'eau et la vitesse en fonction du temps et de l'espace.

VI.2.1.1. Variabilité dans le temps :

Le mouvement est permanent (ou stationnaire) si les vitesses et la profondeur restent invariables dans le temps en grandeur et en direction. Le mouvement est non-permanent dans le cas contraire.

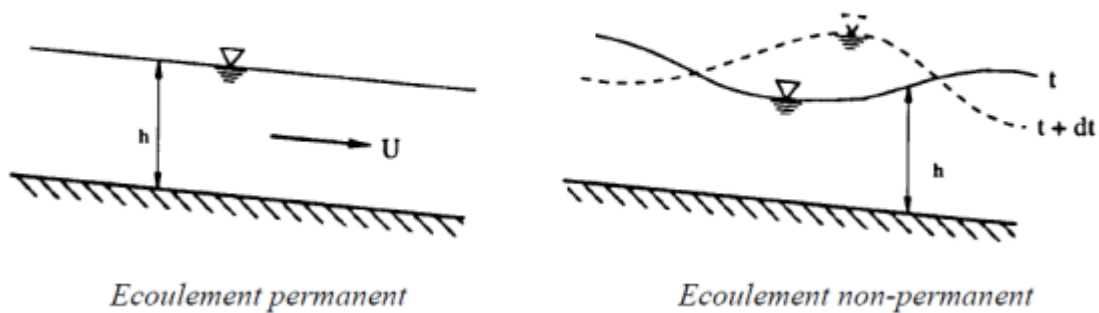


Figure VI. 2: Types d'écoulements (variabilité dans le temps).

(Trad D. et Boulakhoua A. E., 2015)

Au sens strict, l'écoulement dans les canaux est rarement permanent. Néanmoins les variations temporelles sont, dans certains cas, suffisamment lentes pour que l'écoulement

puisse être considéré comme une succession de régime permanent. On peut alors définir ainsi le régime quasi-permanent.

VI.2.1.2. Variabilité dans l'espace :

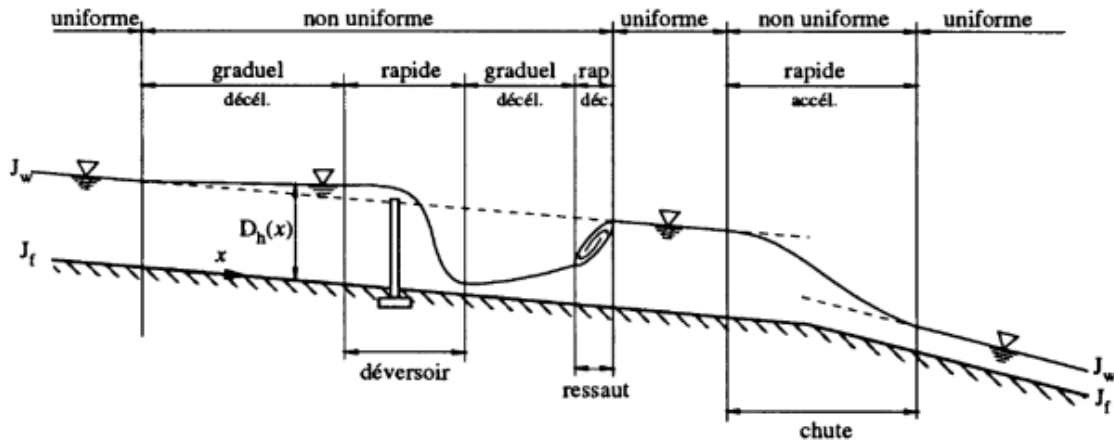


Figure VI. 3: Type d'écoulement (variabilité dans l'espace).

(Trad D. et Boulakhoua A. E., 2015)

- Le mouvement est uniforme si les paramètres caractérisant l'écoulement restent invariables dans les diverses sections du canal. La ligne de la pente du fond est donc parallèle à la ligne de la surface libre.
- Le mouvement est non-uniforme ou varié si les paramètres caractérisant l'écoulement changent d'une section à l'autre. La pente de la surface libre diffère de celle du fond.
- Un écoulement non-uniforme peut être accéléré ou décéléré suivant que la vitesse croît ou décroît dans le sens du mouvement.
- Lorsque le mouvement est graduellement varié, la profondeur ainsi que les autres paramètres varient lentement d'une section à l'autre.
- Lorsque le mouvement est rapidement varié, les paramètres caractérisant l'écoulement changent brusquement, parfois avec des discontinuités.
- Cela se manifeste en général au voisinage d'une singularité, telle qu'un seuil, un rétrécissement, un ressaut hydraulique ou une chute brusque.

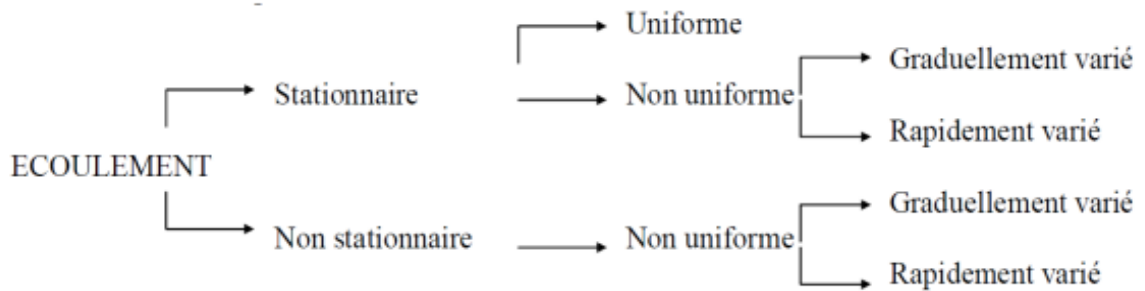


Figure VI. 4: Schéma explicatif des types d'écoulement.

(Trad D. et Boulakhoua A. E., 2015)

VI.2.1.3. Régime permanent graduellement varié :

Les rivières naturelles ont des caractéristiques assez hétérogènes, tant en ce qui concerne leur profil en long que leurs profils en travers : alternance de hauts fonds (seuils) et de bas-fonds (mouilles), présence ou non de dunes ou de rides, cours rectilignes ou sinueux, végétation sur les berges ou les bancs de sable, mais aussi présence d'ouvrage : ponts, seuils ou digues. Toutes ces hétérogénéités produisent des perturbations de l'écoulement qui s'écarte alors largement du régime uniforme.

Ces perturbations peuvent se faire sentir à plusieurs kilomètres de l'ouvrage. C'est le cas par exemple en amont d'un barrage qui barre la rivière et provoque une surélévation de la ligne d'eau ou encore d'un élargissement de la section d'écoulement qui provoque un abaissement de la ligne d'eau. Nous sommes donc très loin des conditions d'écoulement uniforme. Ainsi, un observateur positionné au droit d'un tronçon de rivière en régime permanent devra considérer que les conditions locales qu'il observe peuvent dépendre de conditions qui se trouvent en dehors de sa zone d'observation.

L'écoulement dépend alors de 'conditions aux limites', intérieures ou plus généralement extérieures à la fenêtre d'observation. Ce type d'écoulement peut apparaître par exemple :

- dans un canal de gabarit uniforme, à cause d'un seuil qui vient perturber l'écoulement ;
- en rivière à cause d'une modification de gabarit, de la pente ou encore à cause de la présence d'un ouvrage.

VI.3. Proposition d'aménagement :

Afin d'éviter de subir des inondations lors des crues dans la ville, nous tentons de donner des solutions réelles avec calculs hydrauliques. Pour oued Djemaa, nous proposons :

- ✓ Variante 01 : revêtement en béton armé.
- ✓ Variante 02 : revêtement en matelas Reno.

VI.3.1. Description et caractéristique de chaque variante :

⇒ Variante 01 :

- Section trapézoïdale ou rectangulaire avec revêtement en béton armé avec des dalots de passage.
- Rugosité du canal et : (0.012-0.013).
- La durée de vie de l'ouvrage et plus élevé par rapport aux autres variantes.
- Plus couteuse par rapport aux autres variantes, en outre les ouvrages en béton armé ont besoin de main d'œuvre et d'engins spéciaux.

⇒ Variante 02 :

- Sections trapézoïdale composée de revêtement en matelas Reno et en gabion.
- Rugosité du gabion est de (0.0225-0.025).
- Faible coût par rapport aux canaux en béton armés.
- Perméabilité initiale qui s'élimine automatiquement par l'effet mécanique des matériaux charriés.

VI.3.2. Choix de la variante :

D'après la description de chaque variante nous concluons que les deux variantes peuvent protéger la ville contre les crues de l'oued Djemaa donc l'aspect technique est vérifié pour les deux variantes, à cet effet, notre choix dépend de l'aspect économique et environnementale.

Alors la variante sélectionnée pour protéger la ville contre l'inondation de l'oued Djemaa c'est la deuxième variante : revêtement en matelas Reno.

VI.4. Description du matelas Reno :

Matelas Reno est nommé de cette façon après un chantier sur le fleuve Reno il y a plus de 100 ans, il est maintenant synonyme de travaux hydrauliques et des projets de protection contre l'érosion à travers le monde

Il s'agit d'une structure métallique de forme parallélépipédique particulièrement étendue et d'épaisseur modeste, compartimentée, fabriquée en grillage métallique à mailles hexagonales double torsion, fortement galvanisée et bénéficiant éventuellement d'un revêtement en matière plastique.

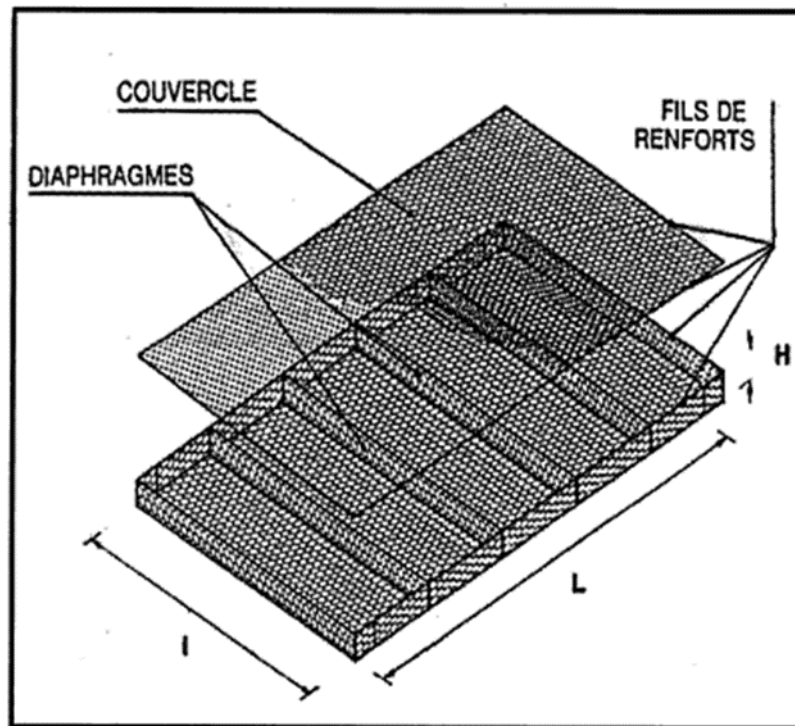


Figure VI. 5: Matelas Reno : spécification technique. (Michel C., 1998)

Cette structure, remplie, lors de la pose, de pierres et de cailloux, dont les dimensions sont adéquates, présente de nombreuses analogies avec les gabions-boîtes ordinaires (la régularité géométrique et le schéma de construction) mais en diffère du point de vue fonctionnel car elle s'applique aux revêtements continus d'épaisseur modeste et de flexibilité considérable.



Figure VI. 6: Revêtements continus d'épaisseur modeste et de flexibilité considérable.

(Trad D. et Boulakhoua A. E., 2015)

Le matelas Reno se compose d'une toile continue, qui constitue la base et les parois latérales, et où sont insérés à intervalles d'un mètre, des diaphragmes du même grillage, pour former une structure cellulaire diaphragmée d'une largeur variant de 2 à 3 mètres.

Le diamètre des fils des périmètres extérieurs du grillage est plus grand que celui du fil qui constitue la maille du grillage, ce qui, lors de la mise en œuvre, renforce la structure et facilite les ligatures de fermeture des diaphragmes et d'union entre les éléments.

Tableau VI. 1 : Les caractéristiques des matelas Reno standard. (Trad D et Boulakhoua A. E., 2015)

Matelas Reno galvanisés			Matelas Reno galvanisés et plastifiés			
Maille type	Diamètre fil (mm)	Epaisseur (m)	Maille type	Fil		Epaisseur (m)
				Ø interne mm	Ø externe mm	
6x8	2	0,17	6x8	2	3	0,17
	2,2	0,23		2,2	3,2	0,23
	0,3					0,3
5x7	2,00	0,15				
		0,2				
		0,25				

VI.5. Critère de choix de la méthode de protection :

✓ Souplesse et monolithisme de la protection :

A l'inverse des protections en enrochements libres qui peuvent s'affaisser lors de la déstabilisation d'un élément due, soit à des tassements du corps de digue, soit à l'effritement dans le temps des arêtes des roches (cas général des enrochements de cuirasse latéritique), les structures en gabions et matelas Reno profitant de leurs caractéristiques peuvent résister et à la compression et à la traction. Ce qui assure dans tous les cas la pérennité des ouvrages.

✓ Travaux réalisés avec le concours des populations riveraines :

La mise en œuvre des matelas Reno nécessite une main d'œuvre non spécialisée importante.

✓ Diminution sensible des coûts de construction.

VI.6. Dimensionnement des ouvrages proposés :

La détermination des largeurs de lit de l'oued est en fonction de la différence de niveau d'eau (niveau d'eau au moment de la crue), on peut jouer sur la largeur de lit de l'oued dans la section initiale et faire reprofilage dans les sections pour faire passer le débit.

La largeur entre les berges du canal est définie par rapport à la pente du talus.

On a pris pour les calculs hydrauliques le débit de la crue de bassin. Le débit centennal est $Q_{100} = 475.73 \text{ m}^3/\text{s}$.

VI.7. Choix de la section :

La construction d'un canal pour transporter un débit Q doit satisfaire les conditions de transport d'un débit maximal et d'un coût de réalisation assez faible.

La section d'écoulement répondant à ces exigences est celle dont le rayon hydraulique, R_h , est maximal.

Ce dernier s'écrit pour un canal trapézoïdal comme suit :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{bh+mh^2}{b+2h\sqrt{1+m^2}}$$

Avec :

$$b = 2h\sqrt{1+m^2} - 2mh$$

En remplaçant b par sa formule, on obtient :

$$R_h = \frac{2h(\sqrt{1+m^2}-m)h+mh^2}{2h(\sqrt{1+m^2}-m)+2h\sqrt{1+m^2}}$$

$$R_h = \frac{2h^2\sqrt{1+m^2}-2h^2m+mh^2}{4h\sqrt{1+m^2}-2hm} = \frac{2h^2\sqrt{1+m^2}-mh^2}{4h\sqrt{1+m^2}-2hm}$$

$$R_h = \frac{h(2h\sqrt{1+m^2}-mh)}{2(2h\sqrt{1+m^2}-mh)} = \frac{h}{2}$$

Nous constatons que le rayon hydraulique est la moitié du tirant d'eau, ce résultat correspond à la forme circulaire, canal semi-circulaire, de rayon $r = h$ qui présente le profil de section de meilleure conductivité, cependant la réalisation de ce type de section est très coûteuse ce qui écarte la possibilité d'être choisit pour notre aménagement.

Pour réaliser une section avantageuse dans un canal trapézoïdal ou rectangulaire il faut dimensionner les paramètres géométriques de ces derniers de telle manière à pouvoir dessiner un cercle à l'intérieur tangent aux parois.

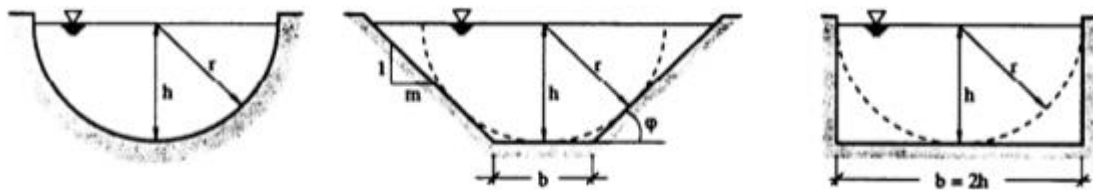


Figure VI. 7: La section de meilleure conductivité pour différentes formes de canal.

(Chabane et Labbaoui, 2016)

Pour notre aménagement, nous avons opté pour un canal trapézoïdal dont les paramètres géométriques sont représentés dans le tableau suivant.

CHAPITRE VI : CALCUL HYDRAULIQUE

Tableau VI. 2 : Paramètres géométriques d'un canal trapézoïdal.

Paramètres	Expressions
La largeur inférieure du canal, b (m)	$2h(\sqrt{1+m^2} - m)$
La largeur supérieure du canal, B (m)	$b + 2mh$
La surface mouillée, S_m (m ²)	$h(b + mh)$
Le périmètre mouillé, P_m (m)	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$
Le rayon hydraulique, R_h (m)	$\frac{h(b + mh)}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$
Le fruit des talus, selon le terrain, m	$1/\text{tga}$

Tableau VI. 3 : Caractéristique de la section optimale d'une section trapézoïdale.

Caractéristique	Base	Fruit de talus	Base	Rayon hydraulique
	$b = f(m, h)$	m	$b = f(h)$	$R = f(h)$
Relation	$2h\sqrt{m^2 + 1} - 2mh$	$1/\sqrt{3}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}h$	$\frac{1}{2}h$

VI.8. Calcul hydraulique :

VI.8.1. Formules de dimensionnement des canaux :

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

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S_m \cdot \sqrt{I}$$

Avec :

- ✓ Q : débit de dimensionnement m³/s ;
- ✓ n : coefficient de Manning représentant la rugosité pris pour le gabion (n = 0.025) ;
- ✓ I : pente du canal m/m ;
- ✓ R : rayon hydraulique tel que :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m}$$

- ✓ S_m : section mouillée du canal (forme trapézoïdale) ;
- ✓ P_m : périmètre mouillé, pour une forme trapézoïdale
- ✓ m : Fruit du talus.

VI.8.2. Choix des paramètres de dimensionnement :

- **La pente de projet :**

Le choix de la pente de projet relève d'une grande importance avant de procéder au calcul hydraulique car elle a une influence directe sur la vitesse et le régime d'écoulement.

Les valeurs de I représentant la pente du radier aux différents tronçons de l'aménagement sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau VI. 4 : Pente de radier aux différents tronçons.

N° de tronçon	Début de section	Fin de section	Longueur (m)	Pente (I) (m/m)
1	3400	3220	180	0.01967
2	3220	2960	260	0.01773
3	2960	2620	340	0.00515
4	2620	2260	360	0.00397
5	2260	1920	340	0.00676
6	1920	1240	680	0.00337
7	1240	960	280	0.00636
8	960	540	420	0.00529
9	540	20	520	0.00312

- **Fruit de talus :**

Dans notre cas, nous prenons $m = 1$ pour des raisons pratiques (facilité de réalisation sur terrain) d'autant plus que ça se rapproche de la valeur optimale.

- **Choix de la largeur du fond :**

La largeur de fond est tirée à partir de levé topographique. Elle se diffère d'une section à l'autre.

- **Calcul de la hauteur d'eau :**

Nous procédons à la variation de h jusqu'à l'obtention d'une égalité entre les deux termes de l'équation suivante. Nous rajouterons à cette hauteur une marge de sécurité (revanche) estimée à $1/4 * h$.

$$\frac{n \cdot Q}{\sqrt{I}} = \frac{[(b + mh)h]^{5/3}}{[b + 2h\sqrt{1 + m^2}]^{2/3}}$$

On a obtenu cette équation lors de remplacement de la formule du rayon hydraulique dans la formule de Manning Strickler.

Les résultats de calculs sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau VI. 5 : Hauteur d'eau de différents tronçons.

N° du tronçon	Q (m3/s)	n	I (m / m)	b (m)	h (m)
1	475.73	0.025	0.01967	12	4
2	475.73	0.025	0.01773	12	4
3	475.73	0.025	0.00515	9	6
4	475.73	0.025	0.00397	9	6
5	475.73	0.025	0.00676	12	4
6	475.73	0.025	0.00337	9	6
7	475.73	0.025	0.00636	9	6
8	475.73	0.025	0.00529	9	6
9	475.73	0.025	0.00312	9	7

VI.9. Conclusion :

Afin de trouver la variante adéquate d'aménagement, qui présente des critères techniques appropriés à l'objectif de protection dont il est question, qui serait réalisables sur le terrain sans pour autant être hors du coût. Nous avons proposé un canal trapézoïdal en matelas reno, dans le but d'évacuer d'un débit important. Cette variante est connue par ses avantages protecteurs d'oued Djemaa contre l'érosion et aussi avoir une bonne résistance.



Chapitre VII : Organisation de chantier

VII.1. Introduction :

Un projet est limité par le temps donc il nécessite un plan de gestion, ce qui fait grâce à l'organisation de chantier. Cette dernière est une démarche visant à gérer de bout en bout le bon déroulement d'un projet. Elle permet d'organiser les travaux et de choisir les engins nécessaires influençant sur les coûts et le délai d'exécution du projet.

Notre étude consistera donc à organiser le chantier d'aménagement d'une partie d'oued Djemaa dans la ville d'Isser pour assurer :

- ✓ La rapidité d'exécution des diverses opérations ;
- ✓ Une économie par synchronisation et réduction des travaux ;
- ✓ Une organisation de l'emploi du matériel et du personnel en garantissant leur sécurité ;
- ✓ En finalité un devis quantitatif estimatif du projet sera établi afin d'évaluer le coût de réalisation du barrage.

On a choisi un canal en matelas Reno pour aménager l'oued Djemaa. Cette variante nécessite une préparation de terrain différente.

VII.2. Préparation de chantier :

a. Débroussaillage et nettoyage du terrain :

Le débroussaillage d'un terrain a pour but de débarrasser et de nettoyer un espace vert de ses broussailles afin de réduire toute masse végétale.

b. Décapage :

Le décapage est une opération de terrassement visant à ôter la couche superficielle de terre. Cette dernière se compose en effet de végétaux et de déchets organiques susceptibles de rendre instable le futur édifice. Elle est retirée sur une épaisseur comprise entre 10 cm et 40 cm.

c. Déblai :

Ensemble des terres retirées du sol lors des divers travaux de terrassement. Les terres sont soit réutilisées sur le terrain sous forme de remblais, soit retirées du chantier.

Cette étape consiste à donner la forme du canal. Pour notre cas, on a opté pour un canal trapézoïdal.

d. Fourniture et mise en œuvre de matelas reno :

L'installation de matelas reno passe par plusieurs étapes comme : mise en œuvre, remplissage et fermeture.

VII. 3. Fourniture et mise en œuvre de matelas reno :

Les éléments sont fournis plies de façon à occuper le moins de place possible.

Avant la pose l'élément est facilement préparé en effectuant seulement les ligatures verticales d'union entre les bords du diaphragme et les côtés latéraux du grillage de base qui constituent, comme nous l'avons déjà dit, les parois de l'élément.

La ligne du pli des parois latérales est bien définie à l'emplacement voulu, par un fil métallique de diamètre supérieur.

VII.3.1. Mise en œuvre du matelas Reno :

Il vaut mieux préparer les éléments du matelas Reno avant la pose, même si le talus à revêtir n'est pas très incliné, et cela pour une question de facilité et pour ne pas abîmer le terrain déjà nivelé.

Après avoir disposé sur le plan de pose un certain nombre d'éléments avec les cellules ligaturées, on les relie solidement entre eux le long des arêtes en contact. Pour ces ligatures, on fait passer le fil dans toutes les mailles de façon continue, avec un double tour chaque deux mailles.

Il est recommandable, pour plus de facilité, de procéder à la ligature tant que les éléments sont vides.

Pour plus de solidité et pour obtenir une structure continue, il faut que tous les matelas soient liés entre eux.



Figure VII. 1 : Préparation du font de matelas reno. (Trad et Boulakhoua, 2015)

VII.3.2. Remplissage du matelas Reno :

Les opérations de remplissage du matelas Reno sont fort simples : la dimension des mailles est si petite que l'on peut employer du gravier ordinaire ou des petites pierres, sans intervention manuelle, à l'aide exclusivement de moyens mécaniques.



Figure VII. 2 : Remplissage de matelas reno. (Trad et Boulakhoua, 2015)

Le matériau ne doit pas avoir des caractéristiques particulières si ce n'est qu'il ne doit être gélif ni friable.

Il est préférable que la pierre utilisée ait un poids spécifique non inférieur à 2000 Kg/m.

VII.3.3. Fermeture du matelas Reno :

Après le remplissage, on procède à la fermeture des éléments à l'aide du couvercle ou avec du grillage en rouleaux et on effectue les ligatures le long des bords latéraux et des diaphragmes internes.



Figure VII. 3 : Fermeture du matelas Reno. (Trad et Boulakhoua, 2015)

Il vaut mieux relier le couvercle d'abord aux bords latéraux et ensuite aux diaphragmes intérieurs.

Les différentes opérations de remplissage du matelas Reno peuvent être résumées de la façon suivante :

- 1) préparation des différents éléments avant la pose ;
- 2) pose et union des éléments entre eux ;
- 3) remplissage des éléments ;
- 4) ligature des couvercles.

VII.4. Engins utilisés :

VII.4.1. Engins de débroussaillage :



Figure VII. 4 : Epareuse.

<https://www.travaux-publics-trv.fr/Fauchage-Debroussaillage-art-19.html>

Le terme épareuse est parfois employé pour nommer une machine qui coupe les buissons et l'herbe au bord des routes ou qui est utilisée dans le cadre de travaux agricoles. Le terme plus généralement acquis pour un tel matériel est faucheuse / débroussailleuse hydraulique.

VII.4.2. Engins de terrassements :

Un engin de chantier ou engin de génie civil est un engin utilisé sur les chantiers pour effectuer différents travaux de terrassement.

Un engin de terrassement est parfois vu comme un équipement de construction ou équipement lourd. Les engins de terrassement réfèrent généralement à des véhicules d'ingénierie dessinés et construits pour exécuter des tâches de terrassement. Les engins de terrassement comprennent une large gamme de produit. Quelques-uns des plus connus sont la chargeuse sur pneu, la niveleuse, le bulldozer sur chenille, le bulldozer sur pneu, la chargeuse sur chenille, la décapeuse automotrice sur pneus, la niveleuse hydraulique, le camion-benne, etc.



Figure VII. 5 : Chargeuse pelleuse.

<http://genieecivil.blogspot.com/2015/07/les-engins-de-terrassement-i.html>

VII.4.3. Pelle hydraulique :



Figure VII. 6 : Pelle mécanique hydraulique.

<http://genieecivil.blogspot.com/2015/07/les-engins-de-terrassement-i.html>

La pelle hydraulique est utilisée pour remplir les cases de matelas reno afin de facilité la tâche.

VII.5. Devis de projet :

Tableau VII. 1: Devis estimatif et quantitatif de projet.

Désignation	Travaux d'aménagement	Quantité	Unité	Prix unitaire	Montant (DA)
Travaux préparatoire	Débroussaillage et nettoyage du terrain	34302.473	m ²	100	3 430 243.7
Travaux de terrassements	Décapage	34302.473	m ³	400	13 720 989.2
	Déblai	131514.04	m ³	600	78 908 424
Travaux de génie civil	Matelas reno	14659.646	m ³	4000	58 638 584
Montant total HT (DA)					154 698 240.9
TVA %					29 381 265.771
Montant TTC (DA)					184 079 507.00

Le montant total du projet est de 184 079 507.00 DA.

VII.6. Conclusion :

L'exécution d'un ensemble de travaux par gestion rationnelle de temps ; demande conjointement des moyens humains, techniques et matériels, afin d'aboutir à un but ultime qui est la livraison du projet dans les délais prévus, sans sortir des couts d'investissement initiaux.

A l'issue de ce volet nous avons pu estimer le cout global du projet d'aménagement d'Oued Djemaa qui est de : 184 079 507.00 DA.



Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

La synthèse des risques liés aux inondations dues aux débordements des cours d'eau est basée essentiellement sur deux principaux concepts : hydrologique et hydraulique. L'hydrologie permet d'alimenter le modèle hydraulique par l'estimation du débit de crue et l'appréhension de la réponse hydrologique du bassin versant. La composante hydraulique permet de faire une simulation nécessaire de l'écoulement afin de déterminer les zones de débordement et ainsi se donner les moyens de proposer des aménagements qui répondent aux besoins de la gestion, la protection et de la prévention lors des inondations.

La zone d'étude est considérée, la ville d'Isser, à haut risque d'inondation présentant un degré de vulnérabilité assez élevé compte tenu de sa situation géographique, ainsi sa situation hydrographique, car elle est entourée par plusieurs cours d'eau, les plus grands sont oued Isser et oued Djemaa.

L'étude géomorphologique du bassin versant d'oued Djemaa montre qu'il est forme allongée. Ce bassin a un relief assez fort et est relativement pointu avec un point d'altitude 1000m. le talweg principal à une longueur de 14.206m avec une pente de 0.07 %. Le réseau hydrographique étant très dense et le temps de concentration assez faible rend les crues d'autant plus dangereuses.

Pour l'estimation de la pluie et le débit de crue centennial, le choix s'est porté sur l'utilisation des formules élaborées dans le cadre de l'étude liée à la régionalisation des précipitations maximales journalières du Nord d'Algérie.

Quant à la partie simulation hydraulique, le choix s'est porté sur le logiciel HEC-RAS afin de connaître le régime hydraulique et les zones de débordement du cours d'eau. Ceci en passant par le logiciel AUTOCAD CIVIL 3D permettant de générer les profils en travers à partir d'un modèle numérique de terrain, aussi ArcGIS pour la visualisation des résultats et création des cartes. Ceci a montré qu'oued Djemaa déborde en tout point sur la partie urbaine avec des élévations d'eau et des vitesses différentes.

Pour l'aménagement d'oued Djemaa nous avons opté, après une étude technico-économique, pour un canal trapézoïdal en matelas reno, dans le but d'évacuer d'un débit important. Cette variante est connue par ses avantages protecteurs contre l'érosion, avoir une bonne résistance et elle se caractérise par sa souplesse donc elle correspond aux profils de sols. Le montant de projet est 184 079 507.00 DA.



Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **ANRH** : Agence nationale des ressources hydrauliques.
- **Bentchakal, 2008.** Place de l'agriculture dans le développement local cas de la daïra des ISSERS, wilaya de Boumerdes. Magister en science de la terre 2008.
- **Chabane et Labbaoui, 2016.** Etude de protection contre les inondations de la ville d'el bayadh (oued deffa). Mémoire MASTER. Université de Bejaia.
- **Chen W.F. et Richard Liew J.Y., 2002.** The Civil Engineering (Handbook, Second, Edition. 29 Aout 2002).
- **Djebri et Dahmani, 2020.** Etude pour la protection d'une ville contre les inondations par HEC HMS et HEC RAS Cas de : ville de Ain Touta.
- **DRE** : Direction des ressources en eau.
- **Lahlah S., 2004.** Les inondations en Algérie : Actes des journées techniques et risques naturels : Inondation, prévision et protection 15 et 16 décembre 2004.
- **Meddi M et Toumi S., 2015.** Spatial variability and cartography of maximum annual daily rainfall under different return periods in Northern Algeria. Journal of Mountain Science, 12(6), 1403-1421.
- **Meddi M. et Toumi S., 2016.** regional approach for the estimate of maximum daily rainfall in northern algeria. larhyss journal p-issn 1112-3680/e-issn 2521-9782, (28), 285-301.
- **Meddi M. et al., 2017.** Application of the L-moments approach to the analysis of regional flood frequency in Northern Algeria. Int. J. Hydrology Science and Technology, Vol. 7, No. 1, 2017.
- **Michel C., 1998.** Protection en matelas reno du parement amont du barrage d'Al Bassam de Niandouba (Senegal)
- **Sahbi.H., 2014.** Aménagement de l'oued SLAIMA commune de Tafraoui wilaya d'Oran.
- **Saouli, 2019.** Problematique du risque inondation en milieu urbain cas de la ville d'El-Bayadh.
- **Trad D. et Boulakhoua A. E., 2015.** Protection de la ville de Meskiana contre les inondations.
- **Vazquez. J.,2010.** Cours hydraulique à surface libre. École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg – France, 105p
- **Vinet F., 2003.** Crues et inondations dans la France méditerranéenne. Les crues torrentielles des 12 et 13 novembre 1999 (Aude, Tarn, Pyrénées-Orientales et Hérault).

- **Younes, 2020.** Etude de protection des villes contre les inondations cas du centre de still el oued.
- http://www.irmagrenoble.com/photos/diaporama_phototheque.php?id_photos=4613&theme=4#image-10
- <https://www.lamy-expertise.fr/comprendre-risque-inondation-remontee-nappes-phreatiques>
- <https://www.eaufrance.fr/les-inondations-et-les-submersions-marines>
- <http://www.mementodumaire.net/risques-technologiques/rt-4-rupture-de-barrage/>
- <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html>
- <https://www.travaux-publics-trv.fr/Fauchage-Debroussaillage-art-19.html>
- <http://genieecivil.blogspot.com/2015/07/les-engins-de-terrassement-i.html>

Annexe

ANNEXE : Résultats de la simulation par HEC-RAS

Distance	Profile	Q Total	Alt du radier	Alt ligne d'eau	Prof ligne d'énergie	Pente ligne d'énergie	V écoulement	S mouillé	Largeur au miroir	Nombre de froude
(m)		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
3400	100ans	473.75	30.69	32.51	34.45	0.026014	6.17	76.8	53.48	1.64
3380	100ans	473.75	30.62	33.66	33.99	0.002804	2.66	209.04	178.86	0.58
3360	100ans	473.75	30.02	33.42	33.9	0.005399	3.78	185.73	195.56	0.8
3340	100ans	473.75	29.62	32.81	32.89	0.000898	1.69	397.79	276.06	0.33
3320	100ans	473.75	28.9	32.84	32.86	0.000151	0.86	701.8	334.39	0.15
3300	100ans	473.75	28.41	32.85	32.86	0.000065	0.64	1009.81	391.81	0.1
3280	100ans	473.75	28.37	32.84	32.86	0.000074	0.68	914.13	370.29	0.11
3260	100ans	473.75	28.31	32.83	32.85	0.000102	0.76	803.39	350.31	0.12
3240	100ans	473.75	27.53	32.84	32.85	0.000035	0.54	1248.02	418.27	0.08
3220	100ans	473.75	27.15	32.78	32.84	0.000493	1.56	479.42	287.75	0.25
3200	100ans	473.75	25.9	31.94	32.75	0.003326	4.32	150.75	107.24	0.63
3180	100ans	473.75	24.52	30.65	30.71	0.00024	1.36	550.21	266.1	0.19
3160	100ans	473.75	24.29	30.66	30.7	0.000137	1.07	655.54	262.71	0.15
3140	100ans	473.75	23.99	30.44	30.67	0.000818	2.4	274.36	163.95	0.34
3120	100ans	473.75	23.96	30.43	30.65	0.000711	2.3	292.08	169.59	0.31
3100	100ans	473.75	23.85	30.43	30.63	0.00071	2.17	294.77	179.61	0.32
3080	100ans	473.75	23.52	30.33	30.61	0.000876	2.58	264.71	174	0.35
3060	100ans	473.75	23.36	30.34	30.58	0.000886	2.3	257.19	164.02	0.35
3040	100ans	473.75	23	30.31	30.56	0.000916	2.33	233.55	100	0.34
3020	100ans	473.75	23	30.26	30.54	0.001151	2.46	223.4	100	0.39
3000	100ans	473.75	22.96	30.28	30.5	0.000796	2.2	252.69	100	0.33
2980	100ans	473.75	22.67	30.18	30.48	0.000957	2.62	230.77	100	0.37

ANNEXE : Résultats de la simulation par HEC-RAS

2960	100ans	473.75	22.54	30.17	30.46	0.000967	2.6	231.6	100	0.37
2940	100ans	473.75	22.29	30.2	30.42	0.000904	2.31	255.01	100	0.35
2920	100ans	473.75	22.03	30.24	30.38	0.000501	1.89	312.41	100	0.26
2900	100ans	473.75	22	30.24	30.37	0.00037	1.64	332.18	100	0.24
2880	100ans	473.75	22.05	30.24	30.36	0.000319	1.61	340.21	100.72	0.22
2860	100ans	473.75	21.93	29.98	30.33	0.001232	2.75	206.22	98.63	0.41
2840	100ans	473.75	21.82	29.98	30.29	0.00123	2.67	219.66	97.57	0.4
2820	100ans	473.75	21.74	29.95	30.27	0.001154	2.67	216.64	99.75	0.38
2800	100ans	473.75	21.67	29.95	30.24	0.001046	2.57	230.06	100	0.37
2780	100ans	473.75	21.49	29.85	30.21	0.001304	2.9	213.91	100	0.4
2760	100ans	473.75	21.34	29.88	30.17	0.000898	2.59	236.23	100	0.35
2740	100ans	473.75	21.26	29.84	30.14	0.001107	2.65	224.49	100	0.38
2720	100ans	473.75	21.02	29.76	30.11	0.001462	2.82	207.95	100	0.43
2700	100ans	473.75	20.91	29.76	30.08	0.001138	2.67	221.7	100	0.38
2680	100ans	473.75	20.9	29.62	30.04	0.001553	3.09	197.68	100	0.45
2660	100ans	473.75	20.88	29.53	30	0.001624	3.29	188.17	100.73	0.46
2640	100ans	473.75	20.8	29.49	29.97	0.001754	3.22	180.64	102.59	0.48
2620	100ans	473.75	20.79	29.5	29.92	0.001352	3.13	204.2	100	0.43
2600	100ans	473.75	20.75	29.63	29.83	0.000654	2.17	273.25	100	0.3
2580	100ans	473.75	20.7	29.62	29.82	0.000663	2.16	273.94	100	0.3
2560	100ans	473.75	20.69	29.63	29.8	0.00064	2.07	287.9	100	0.29
2540	100ans	473.75	20.67	29.6	29.78	0.000827	2.19	271.56	100	0.32
2520	100ans	473.75	20.59	29.58	29.77	0.000701	2.18	277.87	100	0.31
2500	100ans	473.75	20.49	29.58	29.75	0.00058	2.01	293.78	100	0.28
2480	100ans	473.75	20.44	29.56	29.74	0.000621	2.02	286.27	100	0.29
2460	100ans	473.75	20.31	29.56	29.72	0.000526	2.03	306.83	103.76	0.27
2440	100ans	473.75	20.26	29.55	29.71	0.000574	2.05	297.32	100	0.28

ANNEXE : Résultats de la simulation par HEC-RAS

2420	100ans	473.75	20.19	29.55	29.69	0.000513	1.94	313.35	100	0.26
2400	100ans	473.75	20	29.52	29.68	0.000554	2.07	301.71	100	0.27
2380	100ans	473.75	19.99	29.52	29.66	0.000529	2.03	313	100	0.26
2360	100ans	473.75	19.96	29.52	29.65	0.000351	1.83	346.17	100	0.22
2340	100ans	473.75	19.73	29.47	29.64	0.000554	2.09	297.2	100	0.27
2320	100ans	473.75	19.6	29.44	29.62	0.000668	2.06	275.55	100	0.3
2300	100ans	473.75	19.49	29.43	29.6	0.000637	1.98	285.66	100	0.29
2280	100ans	473.75	19.36	29.38	29.56	0.000694	2.06	283.27	102.65	0.3
2260	100ans	473.75	19.36	29.29	29.47	0.000593	2.2	294.03	100	0.27
2240	100ans	473.75	19.17	29.29	29.43	0.000423	2	324	100	0.24
2220	100ans	473.75	18.96	29.21	29.37	0.000567	2.1	301.88	100	0.27
2200	100ans	473.75	18.73	29.21	29.35	0.000443	1.75	322.22	100	0.25
2180	100ans	473.75	18.51	29.2	29.3	0.000219	1.64	389.93	103.15	0.18
2160	100ans	473.75	18.42	29.2	29.3	0.000256	1.64	380.31	100	0.19
2140	100ans	473.75	18.32	29.2	29.29	0.000235	1.52	390.15	100	0.19
2120	100ans	473.75	18.13	29.22	29.28	0.000117	1.13	493.08	100	0.14
2100	100ans	473.75	18	29.21	29.27	0.000107	1.15	480.25	100	0.13
2080	100ans	473.75	17.86	29.17	29.27	0.000257	1.49	383.41	100	0.19
2060	100ans	473.75	17.86	29.16	29.26	0.000272	1.63	370.39	100	0.2
2040	100ans	473.75	17.61	29.17	29.25	0.000216	1.39	416.1	100	0.16
2020	100ans	473.75	17.6	29.16	29.24	0.000281	1.54	386.89	100	0.18
2000	100ans	473.75	17.6	29.03	29.22	0.000611	2.14	271.29	99.53	0.27
1980	100ans	473.75	17.52	28.97	29.21	0.000805	2.37	240.33	75.37	0.31
1960	100ans	473.75	17.47	29	29.13	0.000347	1.73	339.01	100	0.21
1940	100ans	473.75	17.41	28.97	29.1	0.000383	1.8	328.54	100	0.22
1920	100ans	473.75	17.06	28.93	29.09	0.000633	2.04	294.23	100	0.27
1900	100ans	473.75	17	28.92	29.07	0.000646	2.01	300.19	100	0.26

ANNEXE : Résultats de la simulation par HEC-RAS

1880	100ans	473.75	16.98	28.91	29.06	0.000633	2.06	302.23	100	0.25
1860	100ans	473.75	16.84	28.89	29.05	0.000746	2.09	289.43	100	0.27
1840	100ans	473.75	16.81	28.88	29.03	0.000538	1.98	309.11	100	0.24
1820	100ans	473.75	16.8	28.88	29.02	0.00042	1.85	327.34	100	0.22
1800	100ans	473.75	16.75	28.89	29	0.000303	1.71	358.13	100	0.2
1780	100ans	473.75	16.65	28.88	29	0.00033	1.73	353.17	100	0.2
1760	100ans	473.75	16.59	28.84	28.98	0.000583	1.96	307.6	100	0.25
1740	100ans	473.75	16.55	28.8	28.97	0.000712	2.1	289.38	100	0.26
1720	100ans	473.75	16.5	28.79	28.96	0.000664	2.09	294.14	100	0.25
1700	100ans	473.75	16.49	28.77	28.94	0.000769	2.14	284.25	100	0.27
1680	100ans	473.75	16.45	28.72	28.92	0.000675	2.18	271.24	94.89	0.25
1660	100ans	473.75	16.43	28.74	28.9	0.000482	1.97	309.64	100	0.23
1640	100ans	473.75	16.39	28.73	28.89	0.000543	2.02	301.23	100	0.23
1620	100ans	473.75	16.3	28.79	28.86	0.00011	1.17	477.36	100	0.13
1600	100ans	473.75	16.29	28.8	28.85	0.00007	1.03	556.93	100	0.11
1580	100ans	473.75	16.18	28.68	28.83	0.000535	1.96	308.43	99.49	0.24
1560	100ans	473.75	16.1	28.55	28.74	0.000578	2.11	267.46	70.76	0.25
1540	100ans	473.75	16	28.42	28.67	0.000933	2.41	236.41	76.04	0.31
1520	100ans	473.75	15.99	28.42	28.64	0.000714	2.25	256.88	79.51	0.28
1500	100ans	473.75	15.86	28.4	28.62	0.000811	2.28	253.62	87.62	0.3
1480	100ans	473.75	15.8	28.43	28.59	0.000557	1.95	303.26	100	0.26
1460	100ans	473.75	15.7	28.31	28.49	0.000632	2.06	274.55	100	0.27
1440	100ans	473.75	15.65	28.32	28.45	0.000396	1.76	332.98	100	0.22
1420	100ans	473.75	15.41	28.31	28.44	0.000473	1.71	326.9	100	0.24
1400	100ans	473.75	15.24	28.33	28.41	0.000238	1.39	398.87	100	0.18
1380	100ans	473.75	15.19	28.31	28.4	0.000331	1.51	367.72	100	0.2
1360	100ans	473.75	15.24	28.3	28.39	0.000287	1.44	379.74	100	0.2

ANNEXE : Résultats de la simulation par HEC-RAS

1340	100ans	473.75	15	28.28	28.37	0.00033	1.47	368.14	100	0.2
1320	100ans	473.75	14.99	28.25	28.35	0.00037	1.53	359.12	100	0.21
1300	100ans	473.75	14.91	28.24	28.34	0.000359	1.55	361.6	100	0.21
1280	100ans	473.75	14.89	28.25	28.33	0.00023	1.42	408.77	100	0.17
1260	100ans	473.75	14.85	28.22	28.32	0.00038	1.68	358.82	100	0.19
1240	100ans	473.75	14.77	28.21	28.31	0.00047	1.66	345.49	100	0.19
1220	100ans	473.75	14.71	28.22	28.3	0.000275	1.46	399.32	100	0.16
1200	100ans	473.75	14.67	28.21	28.29	0.000335	1.5	380.24	100	0.18
1180	100ans	473.75	14.52	28.19	28.27	0.00034	1.48	380.39	100	0.18
1160	100ans	473.75	14.42	28.1	28.19	0.00032	1.55	377.14	100	0.19
1140	100ans	473.75	14.26	28.09	28.19	0.000421	1.55	359.51	100	0.19
1120	100ans	473.75	14.08	28.07	28.16	0.000337	1.52	377.2	100	0.18
1100	100ans	473.75	14	27.97	28.07	0.000415	1.61	355.56	100	0.19
1080	100ans	473.75	13.9	27.62	27.72	0.000307	1.62	375.81	100	0.17
1060	100ans	473.75	13.76	27.54	27.7	0.000572	2.01	294.93	91.46	0.25
1040	100ans	473.75	13.59	27.48	27.69	0.000628	2.2	252.02	57.19	0.24
1020	100ans	473.75	13.38	27.45	27.61	0.000469	1.97	281.28	66.02	0.23
1000	100ans	473.75	13.17	27.3	27.51	0.001001	2.21	251.57	99.31	0.3
980	100ans	473.75	13	27.36	27.47	0.000494	1.71	335.3	100	0.22
960	100ans	473.75	12.99	27.35	27.46	0.000421	1.67	347	95.33	0.19
940	100ans	473.75	12.87	27.35	27.45	0.000385	1.63	358.34	100	0.2
920	100ans	473.75	12.75	27.34	27.44	0.00044	1.6	350.66	99.63	0.2
900	100ans	473.75	12.64	27.32	27.43	0.000507	1.67	336.35	100	0.19
880	100ans	473.75	12.58	27.3	27.42	0.000649	1.72	316.54	100	0.2
860	100ans	473.75	12.4	27.29	27.4	0.000545	1.56	333.96	100	0.19
840	100ans	473.75	12.3	27.28	27.39	0.000547	1.66	331.94	100	0.21
820	100ans	473.75	12.23	27.26	27.38	0.000523	1.74	332.47	100	0.21

ANNEXE : Résultats de la simulation par HEC-RAS

800	100ans	473.75	12.13	27.26	27.37	0.000406	1.72	348.41	100	0.19
780	100ans	473.75	12	27.21	27.36	0.000616	1.85	301.38	92.27	0.22
760	100ans	473.75	11.99	27.14	27.34	0.000927	2.08	253.46	92.09	0.27
740	100ans	473.75	11.87	27.17	27.3	0.000462	1.74	312.78	100	0.2
720	100ans	473.75	11.75	27.23	27.27	0.000113	1.02	534.86	100	0.11
700	100ans	473.75	11.64	27.14	27.26	0.000362	1.59	319.44	91.1	0.21
680	100ans	473.75	11.53	26.36	27.16	0.003292	3.98	119.07	15.59	0.46
660	100ans	473.75	11.4	26.84	26.93	0.000236	1.46	386.59	100	0.17
640	100ans	473.75	11.29	26.65	26.9	0.000765	2.35	235.02	58.98	0.26
620	100ans	473.75	11.19	26.71	26.83	0.000257	1.66	333.9	69.88	0.17
600	100ans	473.75	11.05	26.69	26.8	0.000323	1.67	341.59	84.4	0.19
580	100ans	473.75	10.95	26.6	26.73	0.000624	1.79	312.43	100	0.22
560	100ans	473.75	10.86	26.62	26.71	0.000395	1.58	362.92	100	0.18
540	100ans	473.75	10.77	26.53	26.64	0.000368	1.58	347.15	100	0.19
520	100ans	473.75	10.65	26.53	26.63	0.000457	1.49	352.09	100	0.17
500	100ans	473.75	10.58	26.53	26.59	0.000213	1.21	441.87	100	0.15
480	100ans	473.75	10.47	26.54	26.58	0.000091	1.1	537.3	100	0.1
460	100ans	473.75	10.33	25.73	26.5	0.003666	4.03	128.52	31.67	0.42
440	100ans	473.75	10.18	25.94	26.18	0.001282	2.56	240.71	97.93	0.29
420	100ans	473.75	10	25.97	26.09	0.000375	1.75	351.68	100	0.18
400	100ans	473.75	9.99	25.96	26.06	0.000401	1.68	352.16	100	0.19
380	100ans	473.75	9.94	25.88	26.03	0.000641	1.91	306.52	100	0.22
360	100ans	473.75	9.89	25.25	25.52	0.001521	2.56	227.99	99.78	0.32
340	100ans	473.75	9.85	25.25	25.48	0.001074	2.4	250.02	97.54	0.29
320	100ans	473.75	9.8	25.24	25.46	0.000984	2.32	253.29	92.44	0.28
300	100ans	473.75	9.78	25.24	25.44	0.000688	2.12	277.99	100	0.25
280	100ans	473.75	9.73	25.24	25.42	0.000547	2.03	296.04	100	0.24

ANNEXE : Résultats de la simulation par HEC-RAS

260	100ans	473.75	9.74	25.27	25.4	0.000304	1.72	345.35	100	0.18
240	100ans	473.75	9.68	25.21	25.38	0.000616	2.05	280.41	100	0.24
220	100ans	473.75	9.61	25.27	25.34	0.00028	1.33	408.52	100	0.16
200	100ans	473.75	9.59	25.28	25.33	0.000178	1.19	464.92	100	0.13
180	100ans	473.75	9.57	25.26	25.33	0.000243	1.24	413.85	100	0.15
160	100ans	473.75	9.49	25.25	25.32	0.000253	1.22	405.96	100	0.15
140	100ans	473.75	9.4	25.19	25.31	0.000459	1.24	332.79	100	0.19
120	100ans	473.75	9.39	25.19	25.3	0.000408	1.15	345.71	100	0.18
100	100ans	473.75	9.32	24.47	25.22	0.006968	4.08	138.01	95.59	0.69
80	100ans	473.75	9.3	24.51	25	0.004392	3.44	167.34	100	0.56
60	100ans	473.75	9.27	22.7	24.7	0.01777	6.26	75.72	22.25	1.08
40	100ans	473.75	9.2	23.08	24.13	0.011366	4.98	115	75.19	0.82
20	100ans	473.75	9.15	19.65	23.49	0.032062	8.68	54.57	13.56	1.38