

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUE
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : HYDRAULIQUE URBAINE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : GUERBI Mohammed Ali
ABDELKEBIR Brahim

Intitulé

Protection contre les inondations par
l'utilisation d'ARC GIS, HEC GEO RAS et HEC
RAS. Cas de la ville d'El-Kseur W. Bejaia

Soutenu devant le jury composé de :

Mr. HASBAIA Mahmoud	Université Mohamed BOUDIAF - M'sila	Président
Mr. MOKHTARI El Hadj	Université Mohamed BOUDIAF - M'sila	Rapporteur
Mr. HAMIDOU Mohamed	Université Mohamed BOUDIAF - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016 /2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUE

FILIERE : HYDRAULIQUE

OPTION : HYDRAULIQUE URBAINE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : GUERBI Mohammed Ali

ABDELKEBIR Brahim

Intitulé

Protection contre les inondations par
l'utilisation d'ARC GIS, HEC GEO RAS et HEC
RAS. Cas de la ville d'El-Kseur W. Bejaia

Soutenu devant le jury composé de :

Mr. HASBAIA Mahmoud	Université Mohamed BOUDIAF - M'sila	Président
Mr. MOKHTARI El Hadj	Université Mohamed BOUDIAF - M'sila	Rapporteur
Mr. HAMIDOU Mohamed	Université Mohamed BOUDIAF - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016 /2017

Sommaire

Introduction générale	01
Chapitre I : Connaissance du risque inondation	
I.1. Introduction	02
I.2. Qu'est-ce qu'une inondation ?	02
I.3. Crue	02
I.4. Le lit de la rivière	03
I.3.1. Le lit mineur	03
I.3.2. Le lit moyen	03
I.3.3. Le lit majeur	04
I.3.4. Rive, Berge	04
I.5. Principes et notion de risque d'inondation	05
I.4.1. Risque majeur	05
I.4.2. L'aléa	05
I.4.3. La vulnérabilité	06
I.4.4. Les enjeux	06
I.4.5. Le risque d'inondation	06
I.5. Le processus conduisant aux crues et aux inondations	07
I.5.2. Le ruissellement	07
I.5.3. Le temps de concentration	07
I.5.4. La propagation de la crue	07
I.5.5. Le débordement	07
I.6. Typologie des inondations	08
I.6.1. Les inondations de plaine (crues lentes)	08
I.6.2. Les inondations par remontée de nappe	08
I.6.3. Les inondations torrentielles (crues-éclair)	09
I.6.4. Les inondations par ruissellement pluvial ou par refoulement des réseaux	10
I.6.5. Les inondations littorales ou submersions marines	10
I.7. Manifestation à l'échelle de la planète	11
I.8. Problématique des inondations en Algérie	12
I.9. Conclusion	13
Chapitre II : Présentation de la région d'étude	
II.1. Introduction	14
II.2. Présentation de la zone d'étude	14
II.2.1. Situation géographique du bassin versant de la Soummam	14
II.2.2. Les grands traits morphologiques	16
II.2.2.1. La chaîne du Djurdjura	16
II.2.2.2. Vallée de la Soummam	16
II.2.2.3. Chaîne des Bibans	16
II.2.2.4. Chaîne de la basse Kabylie	16
II.2.2.5. Chaîne du sud	16
II.2.3. Le couvert végétal	17
II.2.4. Types du sol	17
II.3. Situation climatique du bassin versant de Soummam	18
II.3.1. Climatologie	18
II.3.2. Température	18
II.3.3. Vent	19
II.3.4. L'humidité relative	19
II.3.5. Pluviométrie	19
II.4. Caractéristique morpho-métriques	20
II.4.1. Les caractéristiques de la disposition dans le plan	20

II.4.1.1. La surface (A)	20
II.4.1.2. Le périmètre (P)	20
II.4.1.3. La forme (KG)	21
II.4.1.4. Le rectangle équivalent	21
II.5. Caractéristiques Hypsométriques (Altitudes)	23
II.5.1. Les altitudes maximale et minimale (Hmax et Hmin)	23
II.5.2. La courbe hypsométrique	23
II.5.3. L'altitude moyenne (Hmoy)	25
II.5.4. L'altitude médiane (H50%)	25
II.5.5. La dénivelée simple (D)	25
II.6. Les indices de pentes	25
II.6.1. La pente moyenne du bassin versant (Im)	26
II.6.2. L'indice de pente Roche (Ip)	26
II.6.3. Indice de pente globale (Ig)	26
II.6.4. Dénivelée spécifique (Ds)	27
II.7. Caractéristiques du réseau hydrographique	28
II.7.1. Hiérarchisation du réseau (Ordre du bassin versant)	28
II.7.2. Rapport de confluence	29
II.8. Temps de concentration	29
II.8.1. Formule de GIANDOTTI	29
II.9. Conclusion	30

Chapitre III : Etude hydrologique

III.1. Introduction	31
III.2. Données disponibles des débits	31
III.3. Ajustement de la série des débits de pointe enregistrée à la station de Sidi Aich suivant les lois de distribution	33
III.3.1. Ajustement suivant la loi de GUMBEL	33
III.3.1.1. Description théorique	33
III.3.1.2. Résultats pratiques	34
III.3.1.3. Tests d'adéquation de la loi de GUMBEL	34
III.3.2. Ajustement suivant la loi de GALTON (Log Normale)	35
III.3.2.1. Description théorique	35
III.3.2.2. Résultats pratiques	35
III.3.2.3. Tests d'adéquation de la loi Log -Normal	36
III.3.3. Choix du modèle statistique adéquat pour les deux stations et sélection de la station représentative	37
III.4. Hydrogramme de crue	37
III.5. Détermination du volume de la crue	40
III.6. Conclusion	40

Chapitre IV : Simulation par HEC-RAS et visualisation des résultats

IV.1. Introduction	41
IV.2. Dispositif et outils informatiques utilisées	41
IV.2.1. ArcGIS	42
IV.2.1.1. Présentation de l'interface ArcMap	42
IV.2.1.2. Présentation de l'interface ArcCatalog	43
IV.2.1.3. Présentation de l'interface ArcToolBox	45
IV.2.2. HecGeoRAS	45
IV.2.3. HEC-RAS	47
IV.2.3.1. Description du modèle	47
IV.2.3.2. Les équations de Saint-Venant 1D	48
IV.3. Application du logiciel HEC-RAS Cas régime permanent 1D	51
IV.3.1. Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS	51

IV.3.2. Les données géométriques	51
IV.3.3. Les données de l'écoulement et les conditions aux limites	53
IV.3.4. Résultats et analyse de la simulation	54
IV.3. Application du logiciel HEC-RAS Cas non régime permanent 2D	56
IV.4. Les aménagements de protection contre les inondations	66
IV.4.1. Protection directe (Rapprochées)	66
IV.4.2. Protection indirecte (Éloignées)	67
IV.5. Conclusion	67
Conclusion générale	68

Liste des figures

Figure I.1. Crue simple et crue complexe	03
Figure I.2. Lit mineur d'un cours d'eau	03
Figure I.3. Lit moyen d'un cours d'eau	04
Figure I.4. Lit majeur d'un cours d'eau	04
Figure I.5. L'aléa, l'enjeu et le risque	05
Figure I.6. Zone à enjeux et zone sans enjeu	06
Figure I.7. Les inondations de plaine	08
Figure I.8. Les inondations par remontée de nappe	09
Figure I.9. Les inondations torrentielles	10
Figure I.10. Les inondations littorales ou submersions marines	11
Figure I.11. Nombre d'inondations par pays durant la période 1974 – 2003	11
Figure I.12. Cas significatifs des inondations survenues en Algérie	12
Figure I.13. Montrant l'ampleur des dégâts de l'inondation du bab el Oued 10/11/2001	12
Figure I.14. Montrant l'ampleur des dégâts de l'inondation du Ghardaïa en octobre 2008	12
Figure II.1. Situation du bassin versant de la Soummam	15
Figure II.2. Situation géographique de la ville El-Kseur	15
Figure II.3. Les grands sous bassins versants de la Soummam	15
Figure II.4. Carte des sols du sous bassin de la Soummam	17
Figure II.5. Carte du réseau triangulé irrégulier (TIN) du sous bassin versant de la Soummam	20
Figure II.6. Carte du modèle numérique du terrain MNT du sous bassin versant de la Soummam	22
Figure II.7. Le rectangle équivalent du sous BV N° 1510	22
Figure II.8. Carte d'altitudes du sous bassin versant de la Soummam	23
Figure II.9. La courbe hypsométrique du sous bassin versant N° 1510	24
Figure II.10. Carte pentes du sous bassin versant de la Soummam	25
Figure II.11. Réseau hydrographique et ses ordres d'un bassin versant	28
Figure II.12. Réseau hydrographique et ses ordres du sous bassin versant de la Soummam	29
Figure III.1. La répartition max annuelle des débits	32
Figure III.2. Variabilité chronologique des débits annuelles	32
Figure III.3. Ajustement à une loi de GUMBEL	34
Figure III.4. Ajustement à une loi de GALTON	36
Figure III.5. Hydrogramme de crue fréquentielle du sous BV Soummam	39
Figure IV.1. Représentation schématique du dispositif informatique utilisé	42
Figure IV.2. Interface de ArcMap	43
Figure IV.3. La barre générale d'outils	43

Figure IV.4. Interface de ArcCatalog	44
Figure IV.5. Interface de ArcCatalog au travers d'ArcMap	44
Figure IV.6. Interface de ArcToolbox	45
Figure IV.7. L'extension HecGeoRas sur l'interface ArcMap	46
Figure IV.8. Entités géométriques numérisées sur ArcMap à l'aide de l'extension Hec-GeoRas	46
Figure IV.9. Interface de HEC-RAS 5.0.3	47
Figure IV.10. Exemple de section avec une hauteur d'eau	47
Figure IV.11. Conservation de la charge entre deux sections	49
Figure IV.12. Découpage de la section pour le calcul du frottement	50
Figure IV.13. Petit volume de contrôle	50
Figure IV.14. Modèle géométrique de cours d'eau principale	52
Figure IV.15. Données géométrique et hydraulique de la Section transversal à l'exutoire	53
Figure IV.16. Fenêtre représente les différents débits fréquents	53
Figure IV.17. Fenêtres des conditions aux limites.....	54
Figure IV.18. Vue en Plan en 3D de l'oued Cheliff, après simulation	55
Figure IV.19. Profil en long de l'oued Soummam avec la ligne de surface pour T = 100 ans	55
Figure IV.20. Section avec une hauteur d'eau pour T = 100 ans	56
Figure IV.21. Système de référence spatiale	56
Figure IV.22. Nouveau terrain Couche	57
Figure IV.23. Mappeur RAS	57
Figure IV.24. Données géométriques	58
Figure IV.25. La zone de flux 2D et le maillage	58
Figure IV.26. L'exportation de l'image à partir du Mappeur RAS	59
Figure IV.27. Importation de l'image à partir la fenêtre géométrique	60
Figure IV.28. La ligne de délimitation en aval	60
Figure IV.29. Fenêtre de la simulation	61
Figure IV.30. L'élévation du plan d'eau	62
Figure IV.31. Vitesse de l'écoulement	62
Figure IV.32. Les lignes de courant	63
Figure IV.33. La zone inondable de la ville El-Kseur	63
Figure IV.34. L'élévation du plan d'eau pour T = 10 ans	64
Figure IV.35. Vitesse de l'écoulement pour T = 10 ans	64
Figure IV.36. Les lignes de courant pour T = 10 ans	65
Figure IV.37. La zone inondable de la ville El-Kseur pour T = 10 ans	65
Figure IV.38. Coupe type de digue	67

Liste des tableaux

Tableau II.1. Communes et agglomérations relevant du bassin de la Soummam.....	14
Tableau II.2. Moyennes mensuelles des températures (max ‘M’et min ‘m’) dans la région de la basse vallée de la Soummam (période de 1970 - 2011)	18
Tableau II.3. Vitesse mensuelle moyenne du vent (1994-2003)	19
Tableau II.4. Humidités relatives mensuelles en % (1994-2004).....	19
Tableau II.5. Valeurs des précipitations estimées par régression de la 3 station du sous bassin versant d’oued Soummam	20
Tableau II.6. Répartition hypsométrique du bassin versant d’oued Soummam	24
Tableau II.7. Caractéristiques physiographiques des bassins versants de la Soummam	30
Tableau III.1. Débits max annuelles	31
Tableau III.2. Estimation des paramètres de la loi de GUMBEL et GALTON.....	34
Tableau III.3. Résultats du test Khi carré (GUMBEL)	35
Tableau III.4. Résultats du test Khi carré (GALTON)	36
Tableau III.5. Estimation des débits de pointe correspondants aux différentes périodes de retour d’après la station de Sidi Aich suivant la loi de GUMBEL et de GALTON.....	37
Tableau III.6. Estimation des débits de pointe correspondants Hydrogrammes de crues fréquentielles du sous BV Oued Soummam	38
Tableau III.7. Estimation du volume de crue de l’Oued Soummam	40
Tableau IV.1. Les résultats numériques des paramètres hydrauliques	54

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

Mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, pour leur patience illimitée, leur encouragement contenu, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

Mes chers frères : Marwa, Massa, Idris, Djaleul et Mey, pour leur grand amour et leur soutien qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.

Mon très cher ami Brahim.

Mes chers amis qui sans leur encouragement ce travail n'aura jamais vu le jour.

Et à toute ma famille et à tous ceux que j'aime.

A ma chère mère et mon cher père pour le grand amour dont ils m'ont entouré depuis ma naissance pour leurs patiences, leurs sacrifices et leurs encouragements

A mon frère et mes sœurs en leurs souhaitant la réussite dans leurs études et leurs vies

A toute ma famille,

ABDELKEBIR

A tous mes chers amis à l'université et ailleurs pour les moments agréables que nous avons passés ensemble

A mon encadreur @ toute personne qui un jour m'a appris une chose

A tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail

A tous ceux qui j'aime et qui m'aiment

A tous ceux-ci je dédie ce modeste travail.

Guerbi Mohammed Ali

Abdelkebir Brahim

Remerciements

Nous voulons exprimer par ces quelques lignes de remerciements notre gratitude envers tous ceux en qui par leur présence, leur soutien, leur disponibilité et leurs conseils, nous avons eu courage d'accomplir ce projet.

Nous commençons par remercier Monsieur MOKHTARI Elhadj qui nous a fait l'honneur d'être notre encadreur.

Nous le remercions profondément pour son encouragement continue et aussi d'être toujours là pour nous écouter, nous aider et nous guider à retrouver le bon chemin par sa sagesse et ses précieux conseils,

Ainsi que son soutien moral et sa preuve de compréhension, ce qui nous a donné la force et le courage d'accomplir ce projet.

Nos remerciements à notre chef de département d'hydraulique Monsieur NEBAR Mohammed Lakhdar, pour son aide et son soutien, en lui souhaitant une bonne continuation.

Nous tenons à remercier également toute l'équipe de la faculté de la technologie, et plus particulièrement, le département d'hydraulique.

Nous tenons d'autre part à remercier les respectables membres du jury pour bien vouloir nous accorder de leur temps précieux pour commenter, discuter et juger notre travail.

En fin, nous ne pouvons achever ce mémoire sans exprimer notre gratitude à tous les professeurs de département d'hydraulique, pour leur dévouement et leur assistance tout au long de nos études universitaires.

Introduction générale

Introduction générale

L'homme, depuis des siècles, s'installe aux abords des rivières afin de profiter de ses avantages ; transport fluvial de marchandises, pêche, ressource d'alimentation en eau, source d'énergie hydraulique... mais il doit aussi en subir les caprices dont les plus redoutables sont liés aux crues.

Les inondations représentent un danger pour les biens et les personnes dans la plupart des régions du globe. Elles causent plus de 50% des catastrophes naturelles : en moyenne 20.000 morts / an dans le monde.

La ville de El-Kseur objet de notre étude est parmi les régions les plus touchées par le phénomène d'inondation, elle est située dans le bassin versant de la Soummam portant le N° 1510 selon la codification de l'ANRH, il est situé dans la partie Nord-est de l'Algérie, du point de vue distance à environ 100 et 200 Km respectivement au Sud et à l'Est de la capitale Alger. Le bassin couvre une superficie de 1071 Km² de forme irrégulièrement étirée dans la direction Est-Ouest et accède à la Méditerranée par le golf de Béjaïa. Il est limité par les chaînes montagneuses de Djurdjura et ses contreforts qui s'étendent jusqu'à la mer au Nord.

L'objectif général de ce travail est l'application du Modèle HEC-RAS 1D et 2D, un modèle de simulation hydraulique qui permet la détermination des limites du champ d'inondation de crues de référence à partir d'une étude topographique qui a pour but de décrire la géométrie du terrain pour le dimensionnement de l'ouvrage de protection.

Le mémoire, ici présenté est composé de quatre chapitres, cela nous mène à poser la problématique suivante :

Comment prévoir le risque d'inondation d'un évènement pluvial futur et quelle sont les meilleures méthodes de protection ?

Pour répondre à cette question, nous proposons premièrement, de comprendre le processus de formation d'une inondation pour pouvoir le modéliser et cartographier ses résultats. Cela nous a amené à fixer les objectifs spécifiques suivants :

- 1) Réaliser un système qui permet de modéliser le processus de l'inondation à partir des prévisions météorologiques.
- 2) Faire une représentation cartographique de l'information sur cet aléa future qui permettra au décideur d'avoir une idée claire et précise sur le danger futur.
- 3) proposer des ouvrages hydrauliques qui permettent la protection des aléas exposés aux inondations futures.

CHAPITRE I

Connaissance du risque inondation

Chapitre I. Connaissance du risque inondation

I.1. Introduction

Les zones inondables sont soumises à différents types d'inondation, dont les caractéristiques influencent le déroulement des crises et l'ampleur des impacts humains et économiques. Le risque n'est pas le même sur les différents territoires exposés puisque ni l'aléa ni la vulnérabilité sont les mêmes ; les crues surviennent de manière plutôt lente sur les bassins plats alors qu'elles se produisent de manière extrêmement rapide et brutale sur les bassins pentus. Aussi les inondations ne provoquaient pas de catastrophes susceptibles de marquer les esprits si les zones inondables n'étaient pas ou peu occupées par l'homme. [1]

Le but principal de ce chapitre est de développer la connaissance du risque inondation ; le phénomène naturel générateur de ce risque et de déroulement ainsi que les enjeux et leur vulnérabilité. Il clarifie le désordre de cette notion en montrant que le risque d'inondation est un concept complexe bien souvent associé à l'unique dimension physique liée à l'aléa, alors que l'aléa n'est pas nécessairement le moteur du risque, la vulnérabilité aussi.

I.2. Qu'est-ce qu'une inondation ?

Les inondations sont des catastrophes naturelles : une inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement ou apparaître et l'homme qui s'installe dans la zone inondable pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités.

Etymologie : le mot inondation vient du latin : « inundatio » qui signifie submersion. [2]

I.3. Crue

La crue est une phase du régime hydrologique d'un cours d'eau caractérisé par l'augmentation plus ou moins brutale du débit sous l'effet de facteurs extérieurs et maintenant ce débit au-dessus d'un seuil donné. L'élévation rapide du niveau d'eau peut produire non seulement le remplissage du lit mineur mais aussi la submersion du lit majeur.

En général, on distingue deux types de crues : les crues fluviales et les crues torrentielles même si le passage de l'une à l'autre se fait de façon continue. Les crues fluviales, souvent saisonnières, affectent les cours d'eau importants aux vastes bassins versants ; en général la montée des eaux y est lente. Les crues torrentielles ou rapides, subites, brutales, soudaines ou encore éclair affectent n'importe quelle partie du réseau hydrographique ; elles sont souvent dues à des pluies de caractère convectif très violentes et localisées ; elles sont caractérisées par une évolution très rapide, la montée des eaux étant très brutale.

La crue est simple, si elle présente une seule pointe. Elle est dite complexe si elle présente plusieurs pointes comme le montre la figure suivante. [3]

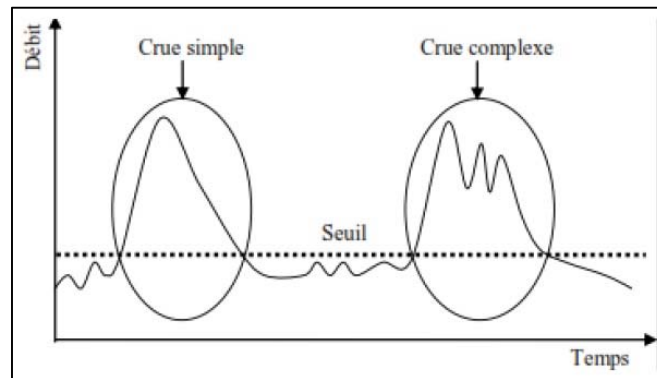


Figure I.1. Crue simple et crue complexe (source Google)

I.4. Le lit de la rivière

I.4.1. Le lit mineur

Le lit mineur est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles).

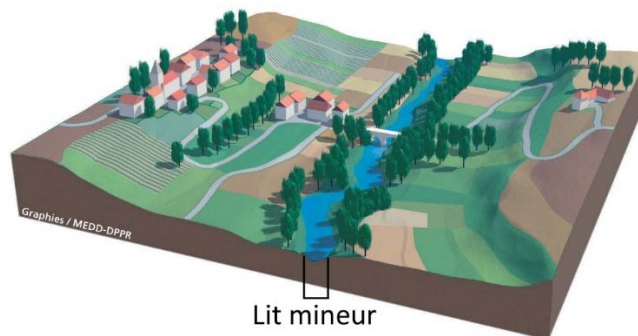


Figure I.2. Lit mineur d'un cours d'eau (Source graphies / MEDD-DPPR)

I.4.2. Le lit moyen

Sous certains climats, et pour certains cours d'eau, on peut identifier un lit moyen. Pour les crues de période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé, sur lequel s'écoulent les crues moyennes.



Figure I.3. Lit moyen d'un cours d'eau (Source graphies / MEDD-DPPR)

I.4.3. Le lit majeur

Le lit majeur comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles. Le lit majeur fait partie intégrante de la rivière. En s'y implantant, on s'installe donc dans la rivière elle-même.

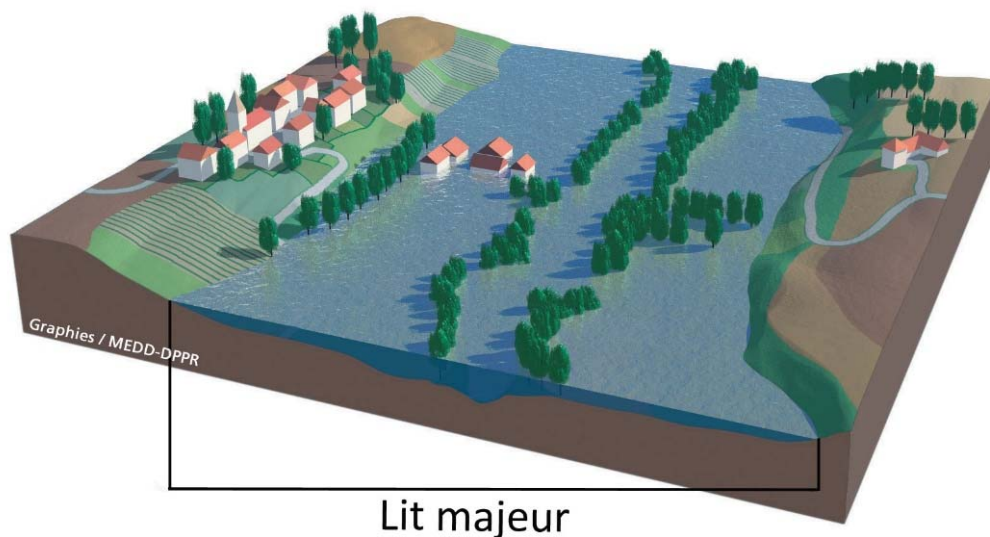


Figure I.4. Lit majeur d'un cours d'eau (Source graphies / MEDD-DPPR)

I.4.4. Rive, Berge

La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Tandis que la rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre. Elle démarre au sommet de la berge et constitue une partie plate plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique. [4]

I.5. Principes et notion de risque d'inondation

Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités.

I.5.1. Risque majeur

Un risque majeur est la possibilité d'un événement, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dommages importants et dépasser les capacités de réaction de la société. Il est caractérisé par sa faible probabilité d'occurrence et par son énorme gravité. Il résulte de la confrontation d'un aléa avec un ou plusieurs enjeux. Son existence est liée :

- D'une part à la présence d'un événement, qui est la manifestation d'un phénomène naturel (l'aléa) ;
- D'autre part à l'existence d'enjeux, pouvant être affectés par un phénomène. Les conséquences d'un risque majeur sur les enjeux se mesurent en termes de vulnérabilité.

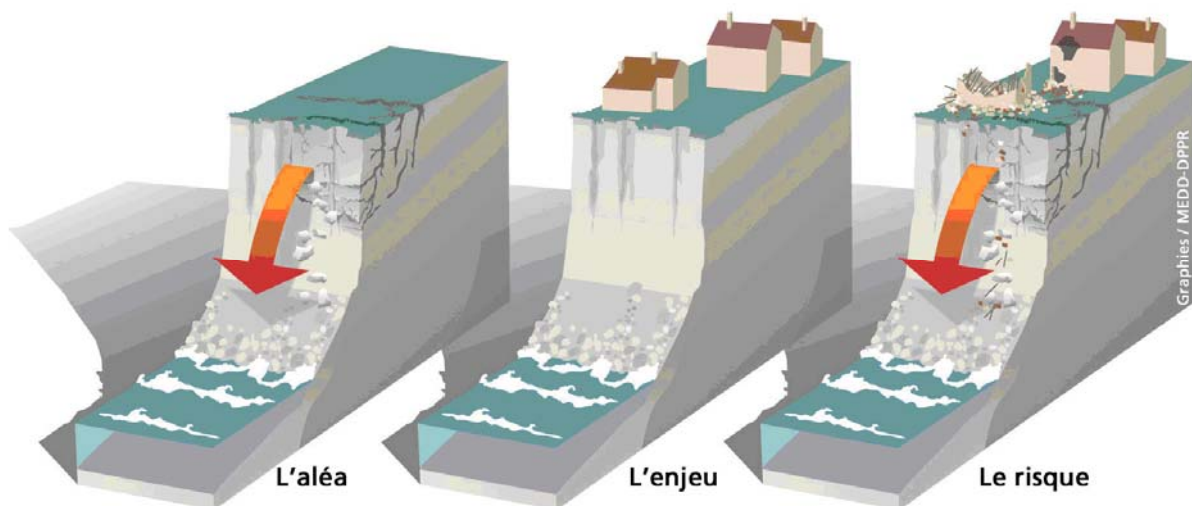


Figure I.5. L'aléa, l'enjeu et le risque (Source graphies / MEDD-DPPR)

I.5.2. L'aléa

L'aléa est la manifestation d'un phénomène d'occurrence et d'intensité données susceptible d'engendrer des dommages. Il représente un événement menaçant ayant une probabilité d'occurrence dans une région au cours d'une période donnée. [5]

L'aléa inondation consiste à évaluer la probabilité d'occurrence en un site ou une région, d'être exposé à une submersion par des eaux.

I.5.3. La vulnérabilité

La Vulnérabilité traduit un degré de perte par une quantification des dommages infligés à une région, en conséquence ou suite à un phénomène susceptible d'engendrer des victimes et des dommages matériels. [5]

I.5.4. Les enjeux

Les enjeux représentent l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. Ils sont généralement classés en trois types : Les enjeux humains, Les enjeux économiques et Les enjeux environnementaux.

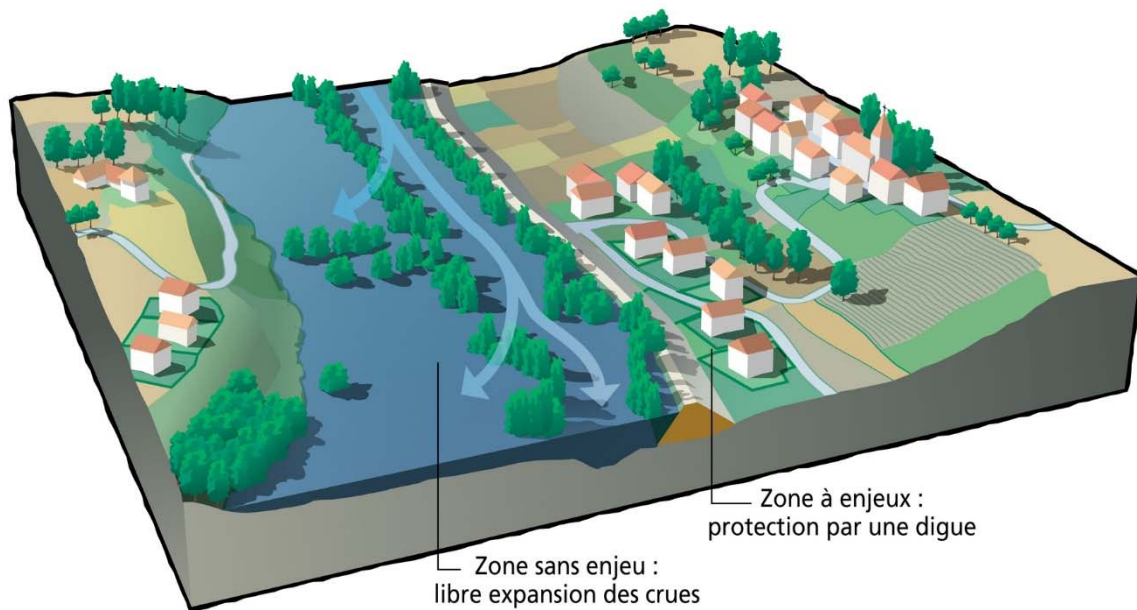
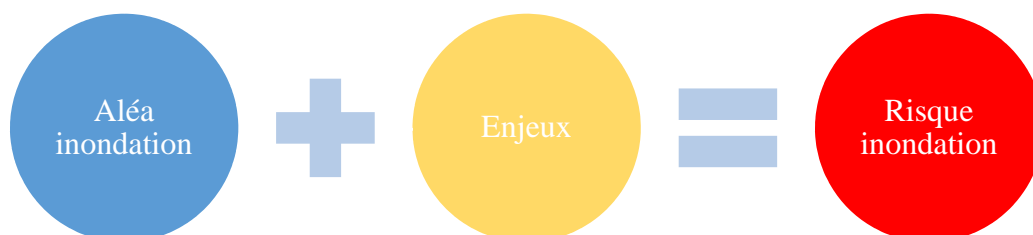


Figure I.6. Zone à enjeux et zone sans enjeu (Source graphies / MEDD-DPPR)

I.5.5. Le risque d'inondation

Le risque d'inondation est l'espérance mathématique de pertes au cours d'une période de référence et dans une région bien définie. Il est proportionnel à la vulnérabilité des constructions et infrastructures et aux enjeux (humains économiques et environnementaux) et dépend donc de l'extension de cette région. Il s'agit en fait de la probabilité d'avoir des dégâts suite à une crue et/ou inondation. Son évaluation mathématiquement est exprimée par le produit entre l'aléa et les enjeux.



I.6. Le processus conduisant aux crues et aux inondations

Le phénomène inondation est la conséquence de plusieurs processus qui sont :

I.6.1. L'eau mobilisable

Dans notre pays la cause fondamentale de la plupart des inondations est l'arrivée d'importantes chutes de pluies parfois exceptionnelles, notons que les précipitations en Algérie sont caractérisées par une très forte irrégularité tant inter - annuelle que saisonnière entraînant des étiages extrêmement sévères et inversement, de fortes crues et des inondations pendant la période hivernale.

I.6.2. Le ruissellement

Le ruissellement dépend de la nature du sol et de son occupation de surface. Il 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 ressurgir très rapidement après infiltration et écoulement hypodermique ou souterrain. Il sera donc d'autant plus faible que le couvert végétal sera dense et que les sols 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.

I.6.3. Le temps de concentration

Il 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.

I.6.4. La propagation de la crue

L'eau de ruissellement se rassemble dans un axe drainant ou 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 ;

I.6.5. Le débordement

Il 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.

I.7. Typologie des inondations

En fonction de l'événement créateur de la catastrophe, On peut distinguer plusieurs types d'inondation : inondations de plaine (crues lentes), par remontée de nappe, par crues torrentielles, par ruissellement en secteur urbain ou rural, inondation par rupture d'une digue et inondations marines. Dans les quatre premiers cas, le phénomène générateur est la pluie et l'inondation engagera à partir des fleuves et des rivières ; la classification consiste donc à distinguer les inondations provoquées par des crues à cinématique lente (inondations de plaine, remontée de nappe) de celles générées par des crues à cinématique rapide (crues torrentielles, ruissellement). Tandis que dans les deux derniers cas ; le premier c'est les circonstances locales qui jouent pour faire d'une inondation sur événement particulier et le deuxième c'est l'action de la mer qui est le facteur principal déterminant la survenance des désordres. [1]

I.7.1. Les inondations de plaine (crues lentes)

Elles concernent les grands bassins versants (Seine, Loire, Meuse, Saône...). Ces inondations ont pour origine des précipitations successives et soutenues, affectant de vastes superficies et entraînant des crues lentes mais généralisées du réseau hydrographique. Elles peuvent aussi résulter de la combinaison de plusieurs facteurs, précipitations importantes et fonte des neiges par exemple, et durer de quelques jours à plusieurs semaines dans les bassins à faible pente. Par exemple la crue de la Seine amont en 2013... [1]



Figure I.7. Les inondations de plaine (Source graphies / MEDD-DPPR)

I.7.2. Les inondations par remontée de nappe

Les nappes phréatiques ou nappes libres sont alimentées par la pluie. Si des événements pluvieux exceptionnels surviennent pendant les périodes annuelles où les nappes sont fortement chargées, le niveau de la nappe peut alors atteindre la surface du sol et provoquer l'inondation par remontée de nappe. Parfois ces inondations s'accompagnent d'effondrements de terrains. Ce type d'inondation peut être catastrophique comme lors de la crue de la Somme en 2001. Les

inondations par remontée de nappe présentent la particularité de durer longtemps (souvent plusieurs mois) et de couvrir de vastes zones géographiques. Sur la période 1982-2013, environ 825 communes ont été reconnues au moins une fois au titre de ce péril. [1]



Figure I.8. Les inondations par remontée de nappe (Source graphies / MEDD-DPPR)

I.7.3. Les inondations torrentielles (crues-éclair)

Ces crues sont générées par des précipitations intenses sur des bassins versants de pente forte à moyenne. L'eau se concentre rapidement dans le cours d'eau, qui sort de son lit. Elles sont caractérisées par une montée des eaux relativement rapide, de fortes vitesses d'écoulement et une durée souvent inférieure à 24 heures. Avec leurs vitesses d'écoulement élevées, ces crues risquent d'affouiller, d'éroder des berges, voire de détruire des bâtiments. La rapidité de montée des eaux peut rendre l'alerte difficile. Ces crues sont donc particulièrement dangereuses, y compris pour les personnes. En outre, les rivières peuvent être chargées en matériaux, parfois de grande taille, arrachés des berges. Les risques d'embâcles (enchevêtrement d'arbres, de débris, d'objets) sont fréquents lorsque le cours d'eau traverse des zones urbanisées avec de nombreux ouvrages de franchissement (ponts, etc.). Lorsque ceux-ci sont mal conçus ou sous-dimensionnés, ils peuvent générer des embâcles et provoquer des débordements au droit des ouvrages, voire leur destruction, si la pression exercée par la crue devient trop forte. [6]

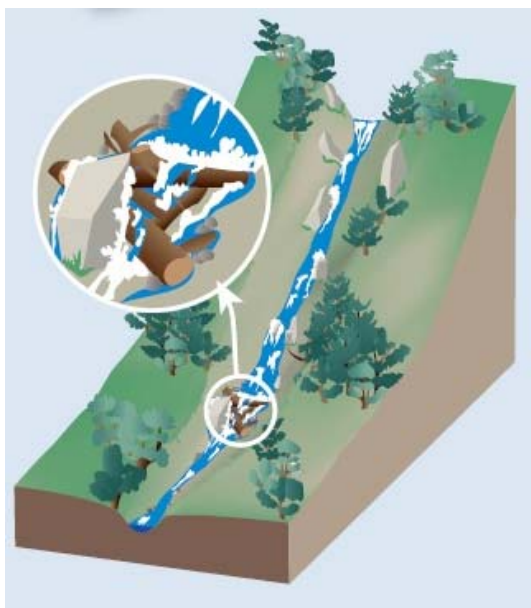


Figure I.9. Les inondations torrentielles (Source graphies / MEDD-DPPR)

I.7.4. Les inondations par ruissellement pluvial ou par refoulement des réseaux

Ce type d'inondation a généralement lieu lors de pluies orageuses de forte intensité, quand les réseaux hydrauliques naturels (cours d'eau) ou artificiels (évacuation des eaux pluviales, réseaux d'assainissement) ne peuvent évacuer le surplus d'eau. Le phénomène est amplifié par l'imperméabilisation des sols (bâtiments, routes), qui limite l'infiltration et génère du ruissellement. L'eau envahit alors les rues rapidement, parfois en moins d'une heure. [6]

I.7.5. Les inondations littorales ou submersions marines

Inondation par rupture d'ouvrage, dans le cas de cours d'eau endigués, l'inondation peut survenir brutalement, soit par rupture de la digue, soit par surverse (débordement par-dessus la digue conduisant très souvent à une rupture). Le phénomène peut être très brutal et d'autant plus dommageable que des enjeux humains et matériels sont proches de la digue. La subite inondation de ces secteurs ne laisse aucun délai pour intervenir et son énergie représente un danger pour les personnes. Se trouver derrière un ouvrage de protection dimensionné pour un certain niveau de crue peut donc augmenter le risque si l'ouvrage cède ou si l'eau dépasse le niveau prévu. [6]

Les submersions marines correspondent aux inondations de la zone côtière par la mer du fait de conditions météorologiques et marégraphiques sévères (tempêtes). Trois modes de submersion peuvent être distingués :

- Le débordement : lorsque le niveau de la mer est supérieur au niveau des ouvrages ou du trait de côte naturel
- Le franchissement du trait de côte par paquet de mer résultant du déferlement des vagues
- La rupture d'ouvrage ou la destruction de cordons dunaires sous l'action de la marée et des vagues. L'eau est alors susceptible d'envahir les espaces protégés par ces éléments si leurs altitudes sont inférieures au niveau de la mer

Quelques exemples : la tempête Xynthia en février 2010, Johanna en mars 2008. [1]

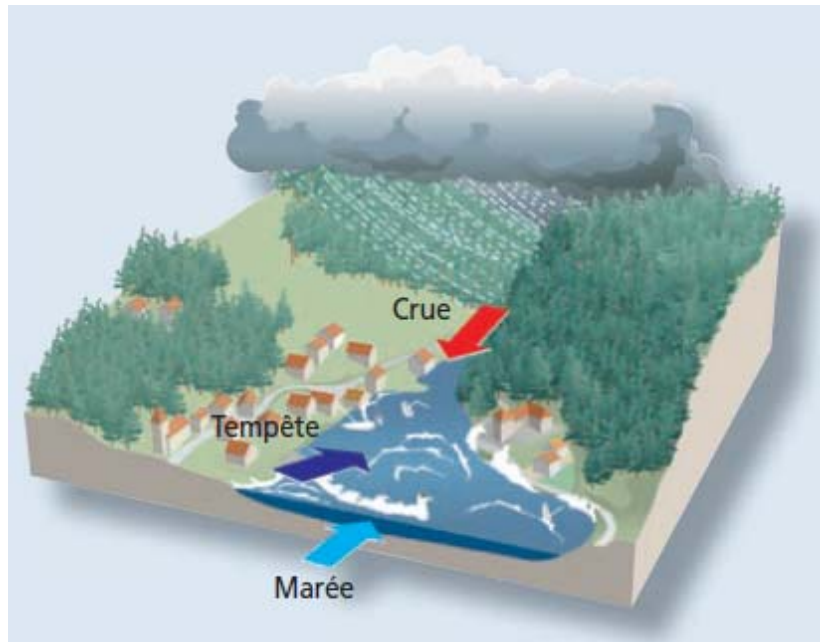


Figure I.10. Les inondations littorales ou submersions marines (Source graphies / MEDD-DPPR)

I.8. Manifestation à l'échelle de la planète

La moitié des catastrophes naturelles mondiales sont des inondations. Ces catastrophes résultent de phénomènes naturels périodiques comme la mousson ou el niño, d'autres sont le fait de circonstances particulières (cyclones, typhons, orages violents) et sont aggravées par les dérèglements climatiques. Selon la base de données internationale sur les catastrophes EM-DAT, 2 470 crues se sont produites à l'échelle internationale lors des vingt dernières années (1999 et 2009). 147 457 personnes y ont perdu la vie et les dommages ont été estimés à 372,5 milliards de \$ US. [7]

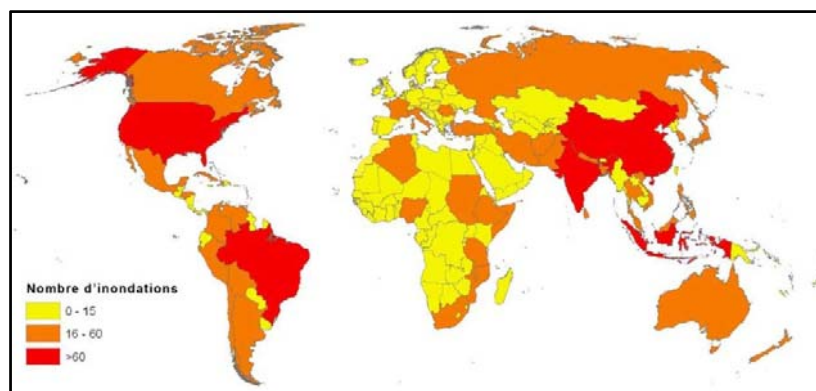


Figure I.11. Nombre d'inondations par pays durant la période 1974 – 2003 (Source EM-DAT)

I.9. Problématique des inondations en Algérie

D’après le recensement effectué par les services de la protection civile, une commune sur trois est susceptible d’être inondée partiellement ou en totalité. Ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices. Elles atteignent parfois l’ampleur d’une catastrophe nationale (DGPC, 2007). La figure I.10 représente l’ampleur des inondations en Algérie. [8]

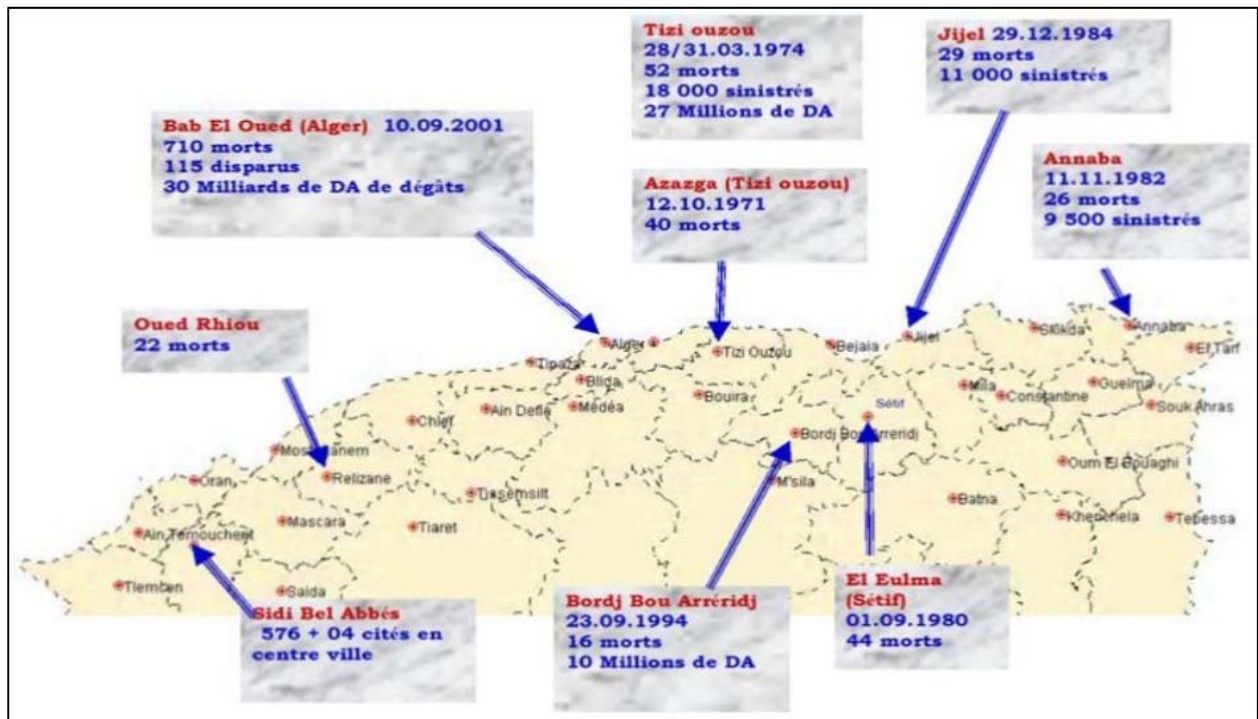


Figure I.12. Cas significatifs des inondations survenues en Algérie (Source DGPC, 2007)

Les crues et les inondations qu’elles provoquent, constituent en Algérie, la cause récurrente de catastrophes meurtrières, celles de l’Oued Koriche (Alger) en Novembre 2001 de l’Oued M’Zab (Ghardaïa) en Octobre 2008 en témoignent et restent gravées dans la mémoire des populations.



Figure I.13. Montrant l’ampleur des dégâts de l’inondation du bab el Oued 10/11/2001 (Source Google)



Figure I.14. Montrant l’ampleur des dégâts de l’inondation du Ghardaïa en octobre 2008 (Source Google)

I.10. Conclusion

Une inondation est une submersion plus ou moins rapide d'une zone, avec des hauteurs d'eau et des vitesses de courant parfois très supérieures à la normale. Elle est due à une augmentation du débit d'un cours d'eau provoquée par des pluies importantes et durables.

L'inondation n'est pas le risque ; le risque exige qu'un phénomène auquel on peut attribuer une probabilité de survenance et une intensité l'aléa soit susceptible, en se produisant, de provoquer des dommages. Il faut donc que la zone inondable soit occupée par l'homme. Malgré cela l'importance des enjeux (populations, habitations et équipement...) n'explique pas à elle seule la gravité potentielle de la catastrophe. Celle-ci est également tributaire de la vulnérabilité de ces enjeux, c'est -à-dire leur propension à subir des dommages. La plupart des experts définissent le risque comme « Risque = aléa + L'enjeu », alors que d'après cette formule, un même risque peut-être le produit d'un aléa fort avec une vulnérabilité faible, d'un aléa moyen et une vulnérabilité moyenne ou d'un aléa faible et une vulnérabilité forte.

CHAPITRE II

Présentation de la région d'étude

Chapitre II. Présentation de la région d'étude

II.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à une description générale du bassin versant de la Soummam afin de donner les indications géographiques, géomorphologiques, géologique et hydrogéologiques, bases indispensables à la compréhension future des mécanismes hydrologiques. En effet l'altitude, les cours d'eau et la forme d'un bassin versant reliées à la lithologie renseignent sur le type de réponse hydrologique du bassin. Aussi, l'ensemble des principales caractéristiques physiographiques qui jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau, a une forte influence sur la répartition spatio-temporelle des précipitations et des écoulements au sein du bassin étudié.

II.2. Présentation de la zone d'étude

II.2.1. Situation géographique du bassin versant de la Soummam

Le bassin versant de la Soummam, objet de la présente étude, portant le n° 15 selon la codification de l'ANRH est subdivisé en 10 sous bassins versants. Il est situé dans la partie Nord-Est de l'Algérie (figure II.1), entre les méridiens 3° 36' 50" et 5° 35' 56" et les parallèles de 35° 44' 56" et 36° 46' 30"et, du point de vue distance à environ 100 et 200 Km respectivement au Sud et à l'Est de la capitale Alger. Le bassin couvre une superficie de 9109 Km² de forme irrégulièrement étirée dans la direction Est-Ouest et accède à la Méditerranée par le golf de Béjaïa. Il est limité par les chaînes montagneuses de Djurdjura et ses contreforts qui s'étendent jusqu'à la mer au Nord, les contreforts du mont du Hodna au Sud, les chaînes des Babors et le plateau de Sétif à l'Est et le plateau de Bouira à l'Ouest.

La population dans la région d'étude est estimée à 1.933.610 habitants répartie sur quatre wilayas en partie : Béjaïa, Bouira, Sétif et Bordj Bou Arreridj. [9]

Tableau II.1. Communes et agglomérations relevant du bassin de la Soummam [10]

Wilaya	Nombre de communes relevant du bassin	Nombre d'agglomérations	Population 1998 (hab.)		Population 2020 (hab.)		Superficie des communes relevant du bassin (Km ²)	Densité (Hab/Km ²)
			Agglomérée	Eparse	Agglomérée	Eparse		
Béjaïa	35/39	157	570.068	64.938	827.803	94.297	2232	285
Sétif	27/30	125	553.251	135.547	944.317	231.359	3040	227
Bouira	24/45	50	270.101	116.742	378.865	163.752	2332	166
BBA	20/34	65	159.911	63.052	274.119	108.084	2658	84
Total	106	397	1.933.610		3.022.596		10.262	762

Le bassin de la Soummam compte 106 communes regroupant 397 agglomérations. Le tableau II.1 illustre la répartition de ces communes par wilaya relevant du bassin : [10]

Nous constatons d'après le tableau II.1 que la population est concentrée dans les deux wilayas : Sétif et Béjaïa qui totalisent une population de 1.323.804 habitants, soit 68 % de la population total du bassin. La densité de la population dans le bassin est de 762 habitants par Km². Les plus fortes densités de la population sont enregistrées au niveau des wilayas de Béjaïa et Sétif (512 habitants par Km²).

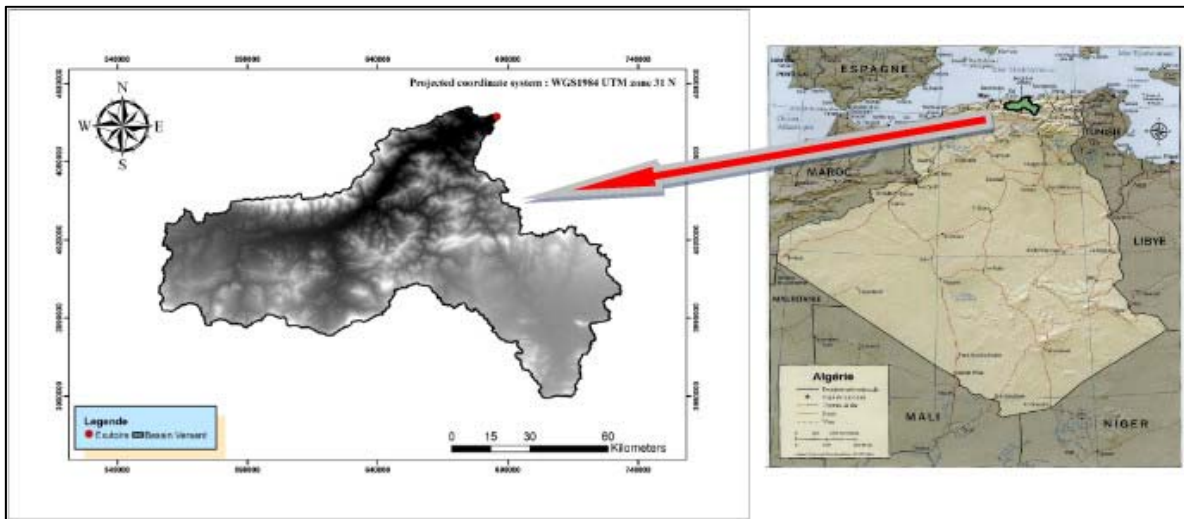


Figure II.1. Situation du bassin versant de la Soummam



Figure II.2. Situation géographique de la ville El- Kseur

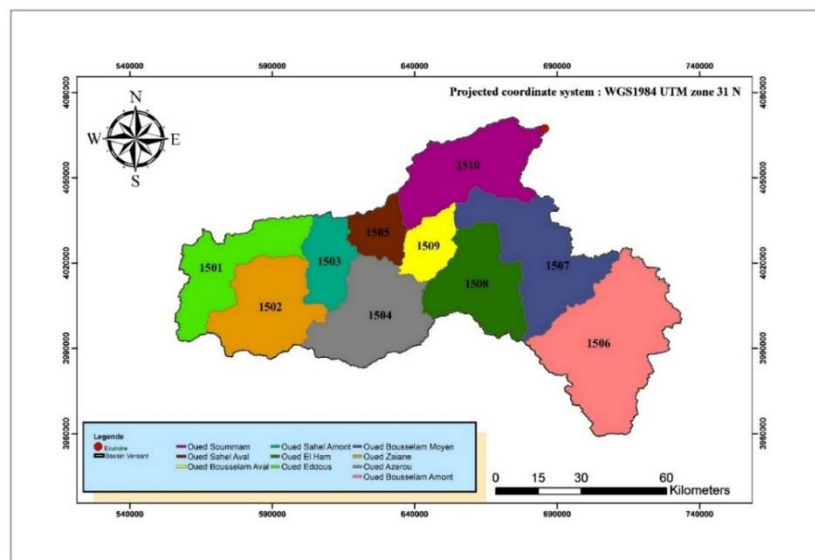


Figure II.3. Les grands sous bassins versants de la Soummam

II.2. Les grands traits morphologiques

Le relief de la Soummam est très varié et les principales unités morphologiques du Nord au Sud sont :

II.2.1. La chaîne du Djurdjura

C'est une chaîne marquante dans la structure de la haute Kabylie. Elle s'élève abruptement au Nord de Bouira à la hauteur de 2123m pour atteindre sa hauteur maximale près de M'chedellah, (Lala Khadîdja 2308m). Elle se termine par la chaîne de Gouraya et son pittoresque Cap Carbon dans le golf de Béjaïa.

II.2.2. Vallée de la Soummam

La vallée de la Soummam est un vaste couloir à fond plat situé entre le Djurdjura et les Bibans dans le cours supérieur, et entre la haute et la basse Kabylie dans le cours inférieur. Elle pénètre dans le bassin du côté Ouest sous le nom du plateau de Bouira, faisant suite à la plaine des Arib. Vers l'Est, la vallée rétrécit, tourne au Nord-Ouest et disparaît presque près de Sidi Aïch. De nouveau, elle s'élargit graduellement jusqu'au golf de Béjaïa.

II.2.3. Chaîne des Bibans

D'orientation générale Est-Ouest, cette chaîne pénètre dans le bassin de la Soummam près de Sour El Ghozlane et s'étend vers Dj. Anechar (1415m) en passant par Azerou N'Said (1283m). Une ramification importante de la chaîne s'en sépare près de Guenzat en direction de Dj. Es-Sarsara, (1487m) pour atteindre Dj. Anini (1596m).

II.2.4. Chaîne de la basse Kabylie

A l'Est du bassin, apparaît une chaîne de montagnes considérable ; c'est la chaîne de la basse Kabylie. Cette chaîne se situe au Nord-Est du cours aval du Boussellem et est constituée d'une série de crêtes différemment orientées. Sa hauteur moyenne varie entre 1200 et 2000m et atteint son maximum aux Babors (2004m).

II.2.5. Chaîne du sud :

Ce sont des crêtes de petites tailles qui séparent les terrains montagneux de l'Atlas tellien de la plaine du Hodna (Dj. Dira, Dj. Choukhot et Dj. Mansoura).

II.2.3. Le couvert végétal

La végétation du bassin versant de la Soummam est de type méditerranéen et est très variée. Les régions alluvionnaires de la haute Soummam sont occupées par des chênaies.

La basse et moyenne Soummam sont occupées par des oliveraies et des vignobles. Dans la région de la moyenne Soummam, le couvert végétal est moins dense.

Dans la plaine, la végétation est dense mais essentiellement temporaire ; elle est formée par les grands et formidables champs de cultures maraîchère diverses.

Les forêts qui couvraient la région fournissaient le bois nécessaire à une industrie du bois florissante mais malheureusement ce capital tend à disparaître sous les feux qui ravagent chaque année des milliers d'hectares. A cela s'ajoute l'absence d'une politique claire de reboisement et de lutte contre les incendies.

II.2.4. Types du sol

Dans le bassin versant de la Soummam on trouve des types de sols anciens de formation paléo marécageuse qui sont caractérisés par des formations bien accentués. La carte des sols du bassin de la Soummam a été extraite de la carte des sols de l'Algérie faite par J. Durand en 1954. La majorité des sols dans le bassin de la Soummam sont des sols calcaires (riches en calcaire). Ces sols ont généralement une texture légère et sont donc perméables. Au nord du bassin, on rencontre des sols insaturés qui ne contiennent pas de calcaire dont l'argile peut être plus abondante en surface qu'en profondeur ; leurs roches mères sont généralement imperméables ou donnent des produits de décomposition imperméables. Le long des oueds, les sols existants sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux. En outre on rencontre, en petites quantités des sols calciques et des sols en équilibre peu épais, plus ou moins riches en calcaire et très pauvres en sels solubles. [12]

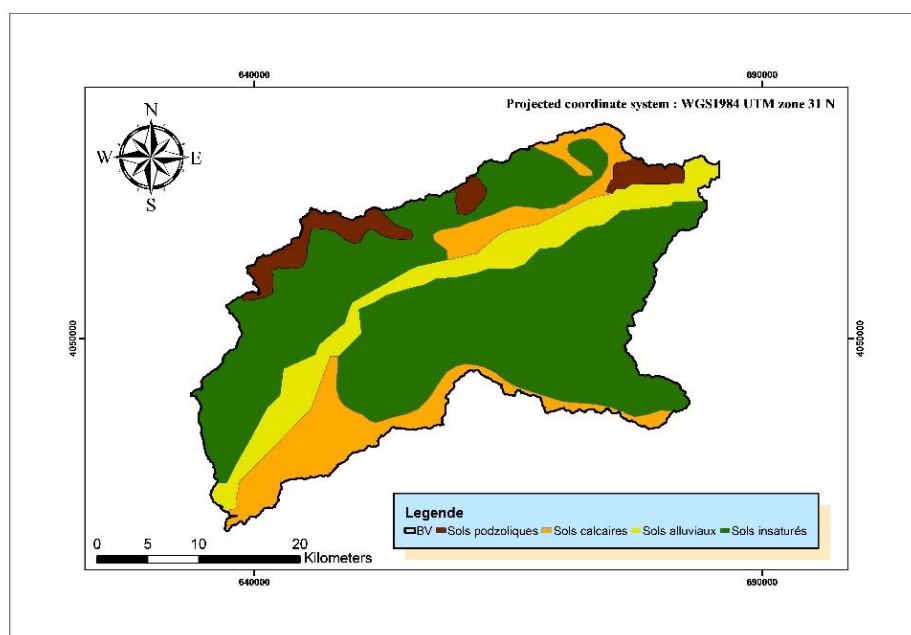


Figure II.4. Carte des sols du sous bassin de la Soummam

II.3. Situation climatique du bassin versant de Soummam

II.3.1. Climatologie

Dans chaque pays, chaque village, les caractéristiques moyennes des saisons déterminent le climat. On peut définir les climats à partir de deux phénomènes : la température et les précipitations, c'est à dire la pluie, la neige ou la grêle. Dans les grandes lignes, on décrit un type de climat, mais tant d'éléments le modifient.

Une région de montagne ne subira pas le même climat qu'une plaine. Une vallée située sur le versant d'une montagne n'a pas le même climat qu'une autre vallée sur le versant opposé, même si les deux sont à la même altitude. [13]

Le climat du bassin versant de la Soummam, montre une série de transition entre climat humide, dans les montagnes proches de la Méditerranée, et climat semi-aride des hautes-plaines (environ Sétif). Mais partout les averses sont fréquentes et règne aussi en été une sécheresse prolongée. Les argiles se dessèchent, se fendillent, ce qui favorisant certaines phénomènes (ruissellement, mouvement de masse et surtout nuit à la végétation). [14]

II.3.2. Température

La température, seconde facture consécutive du climat, influe sur le développement de la végétation et le fonctionnement du système racinaire et elle affecte les relations physiologiques entre les organes souterrains et les organes aériens, d'après (GRECO,1966). Les températures moyennes mensuelles relevées sur 41 ans de 1970 à 2011 sont représentées par le tableau suivant :

Tableau II.2. Moyennes mensuelles des températures (max 'M'et min 'm') dans la région de la basse vallée de la Soummam (période de 1970 - 2011) [15]

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
M (C°)	16.47	17.07	18.61	20.26	22.86	26.37	29.47	30.16	28.14	25.28	20.85	17.57
m (C°)	7.50	7.67	9.04	10.83	13.96	17.57	20.37	21.18	19.04	15.73	11.71	8.70
T_{moy}(C°)	11.99	12.37	13.82	15.54	18.41	21.97	24.92	25.67	23.59	20.50	16.28	13.13

m : température moyenne minimales du mois,

M : température moyenne maximales du mois,

T_{moy}: Température moyenne mensuelle.

II.3.3. Vent

Dans la vallée de la Soummam, les vents dominants sont les vents du nord-ouest (vents marins qui s'engouffrent facilement dans la vallée de la Soummam). En hiver, ils apportent les nuages, la pluie. En été, ce sont les vents sud-est qui sont beaucoup moins importants et surtout le vent sud, le sirocco, vent sec d'intensité variable ayant une action funeste sur la végétation. Les moyennes mensuelles des vitesses du vent moyen sur dix ans sont données par le Tableau suivant :

Tableau II.3. Vitesse mensuelle moyenne du vent (1994-2003) [15]

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
V(m/s)	4,7	4,28	3,92	3,52	3,58	3,47	3,63	3,38	3,54	4,13	4,4	4,91

La vitesse du vent la plus faible a été enregistrée le mois d'aout de l'ordre de 3,38 m/s contrairement à la période hivernale où les vents sont froids et violents surtout dans le mois de décembre et janvier dont la vitesse du vent varie entre 4,91 et 4,7 m/s.

II.3.4. L'humidité relative

Le tableau suivant illustre les données relatives aux humidités moyennes mensuelles :

Tableau II.4. Humidités relatives mensuelles en % (1994-2004) [15]

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Humidité (%)	74,9	77,0	76,8	78,20	78,5	77,0	72,7	75,5	75,4	74,2	76,30	75,50

Les pourcentages d'humidité varient entre 72 et 78 % au cours de l'année, La moyenne minimale a été enregistrée le mois de juillet avec une valeur de 72,7% et la maximale au mois de Mai avec une valeur de 78,5 %.

II.3.5. Pluviométrie

La pluviométrie du bassin versant de l'oued Soummam est bien déterminée grâce à l'existence d'environ 50 stations pluviométriques, soit à peu près une station pour 180 km². Le montant de la précipitation annuelle est caractérisé par grands écarts dans le bassin de la Soummam. La précipitation est au maximum sur les pentes des montagnes du Djurdjura et on l'estime à environ 1500 mm par an. La côte méditerranéenne, où la pluviosité annuelle atteint 1000 mm, est également une région de grande précipitation. La précipitation minimum, de 300 à 400 mm par an en moyenne, correspond à la partie sud-est du bassin sur le plateau qui s'étend de Sétif aux monts du Hodna.

Tableau II.5. Valeurs des précipitations estimées des 3 stations du sous bassin versant d'oued Soummam [15]

N°	Codes	P _{an}	P _{Sept}	P _{Oct}	P _{Nov}	P _{Dec}	P _{Jan}	P _{Fev}	P _{Mar}	P _{Avr}	P _{Mai}	P _{Jun}	P _{Jut}	P _{Aou}
1	151002	532.52	25.07	44.74	52.38	79.57	80.95	70.22	55.25	48.55	36.31	14.16	3.91	6.37
2	151003	735.29	37.57	63.96	82.2	126.63	117.8	104.15	81.45	59.61	36.99	15.84	3.26	5.42
3	151007	834.52	32.85	69.44	87.4	149.13	142.5	116.78	98.94	75.32	47.48	16.31	4.19	7.56

II.4. Caractéristique morpho-métriques

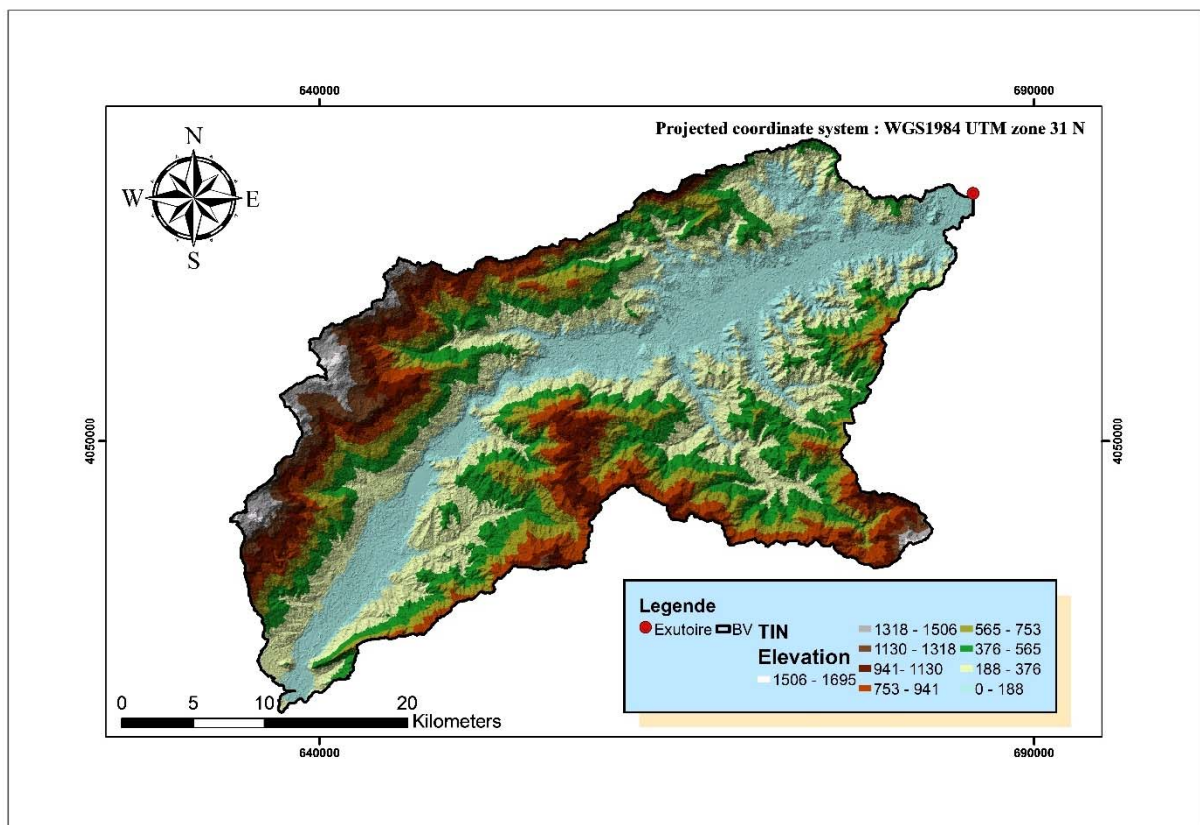


Figure II.5. Carte du réseau triangulé irrégulier (TIN) du sous bassin versant de la Soummam

II.4.1. Les caractéristiques de la disposition dans le plan

II.4.1.1. La surface (A)

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface. La surface du bassin versant peut-être mesurée par superposition d'une grille dessinée sur papier transparent, par l'utilisation d'un planimètre ou par des techniques de digitalisation (logiciel ArcGis ...).

II.4.1.2. Le périmètre (P)

Une fois le bassin versant est délimité sur carte topographique, son périmètre peut être mesuré par un curvimètre ou par des techniques de digitalisation (logiciel ArcGis ...).

II.4.1.3. La forme (K_G)

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration et de la vitesse de concentration à l'exutoire.

En revanche, les bassins en forme d'éventail, présentant un temps de concentration plus court, auront les plus forts débits de pointe.

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple l'indice de compacité de Gravelius (1914) K_G , défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots (II.1)$$

- Lorsque $K_G = 1$, Le BV est de forme circulaire. Lorsque $K_G = 1,12$: le BV est un carré.
- Lorsque K_G se rapproche de 1 : le bassin est de forme compacte ou arrondi.
- Lorsque K_G est supérieur à 1 : le bassin est de forme allongée.

II.4.1.4. Le rectangle équivalent

C'est une notion qui a été introduite par Roche (en 1963) qui permet de comparer facilement des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. On suppose que l'écoulement sur un bassin donné est approximativement le même, à conditions climatologiques égales, que sur un rectangle de même superficie, ayant même coefficient de Gravelius et même répartition hypsométrique, étant entendu que la distribution des sols et de la végétation et la densité de drainage sont respectées dans les différentes aires comprises entre les courbes de niveaux. Il s'agit donc d'une transformation purement géométrique dans laquelle le contour du bassin devient un rectangle de même périmètre, les courbes de niveaux des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire un des petits côtés du rectangle que nous avons appelé rectangle équivalent.

Soit l et L la largeur et la longueur du rectangle. P et A le périmètre et la surface du bassin versant. On a, d'après les définitions ci-dessus :

$P = 2 \cdot (L_{\text{rec}} + l_{\text{rec}})$, $A = L_{\text{rec}} \cdot l_{\text{rec}}$ et $K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$. En combinant ces 3 relations, on obtient respectivement L_{rec} et l_{rec} la longueur et la largeur du rectangle équivalent.

$$L_{\text{rec}} = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \dots \dots \dots (II.2)$$

$$I_{rec} = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (II.3)$$

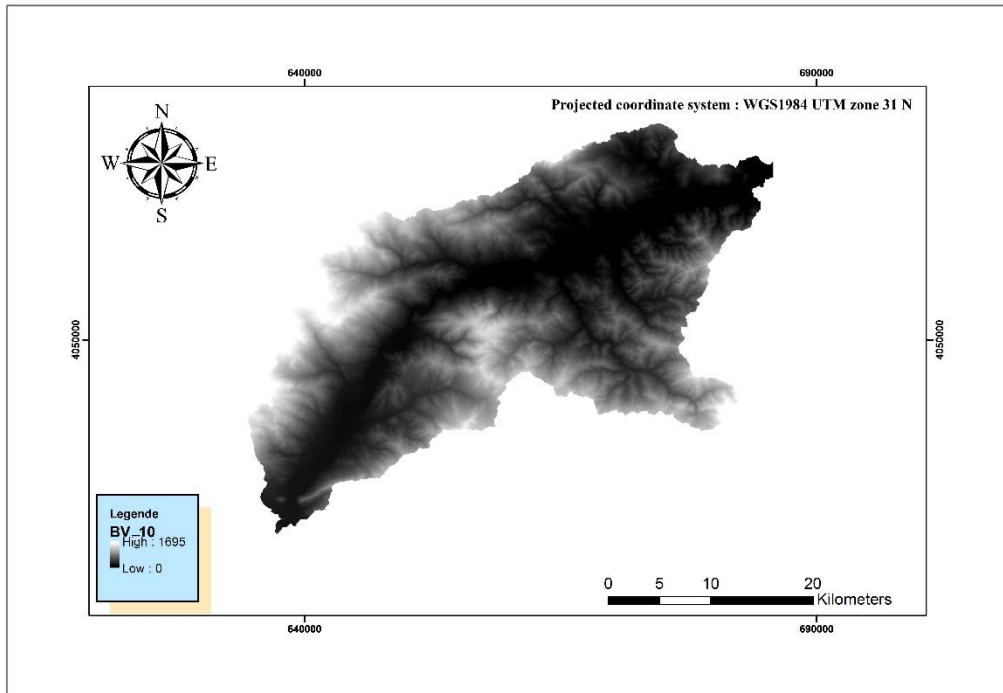


Figure II.6. Carte du modèle numérique du terrain MNT du sous bassin versant de la Soummam

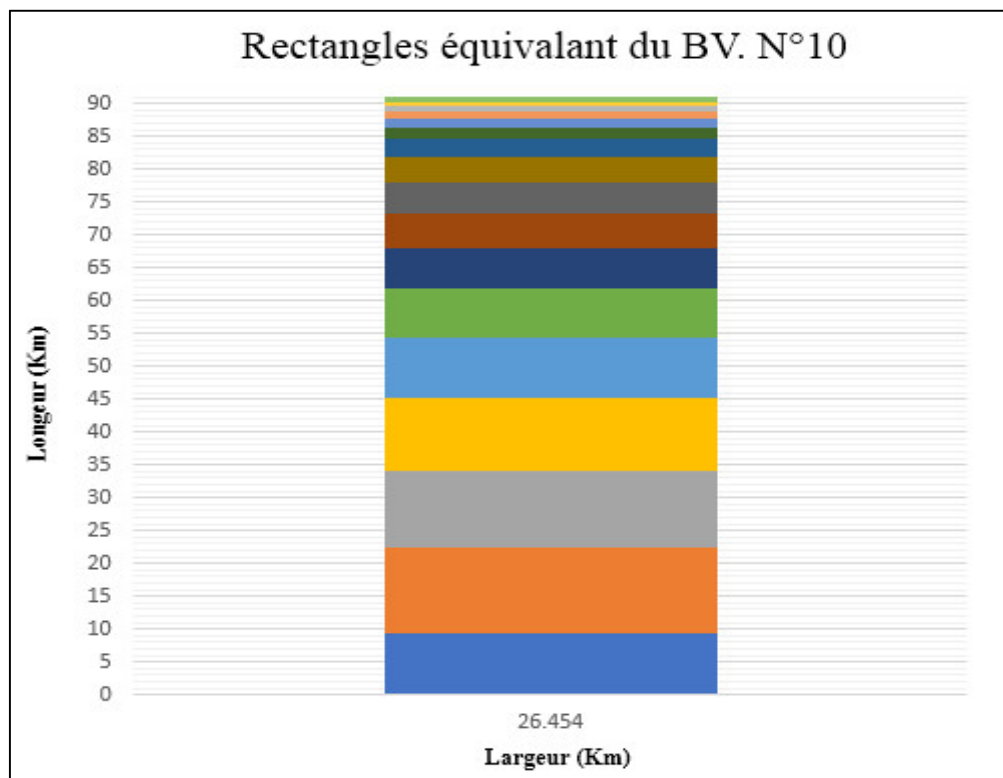


Figure II.7. Le rectangle équivalent du sous BV N°1510

II.5. Caractéristiques Hypsométriques (Altitudes) :

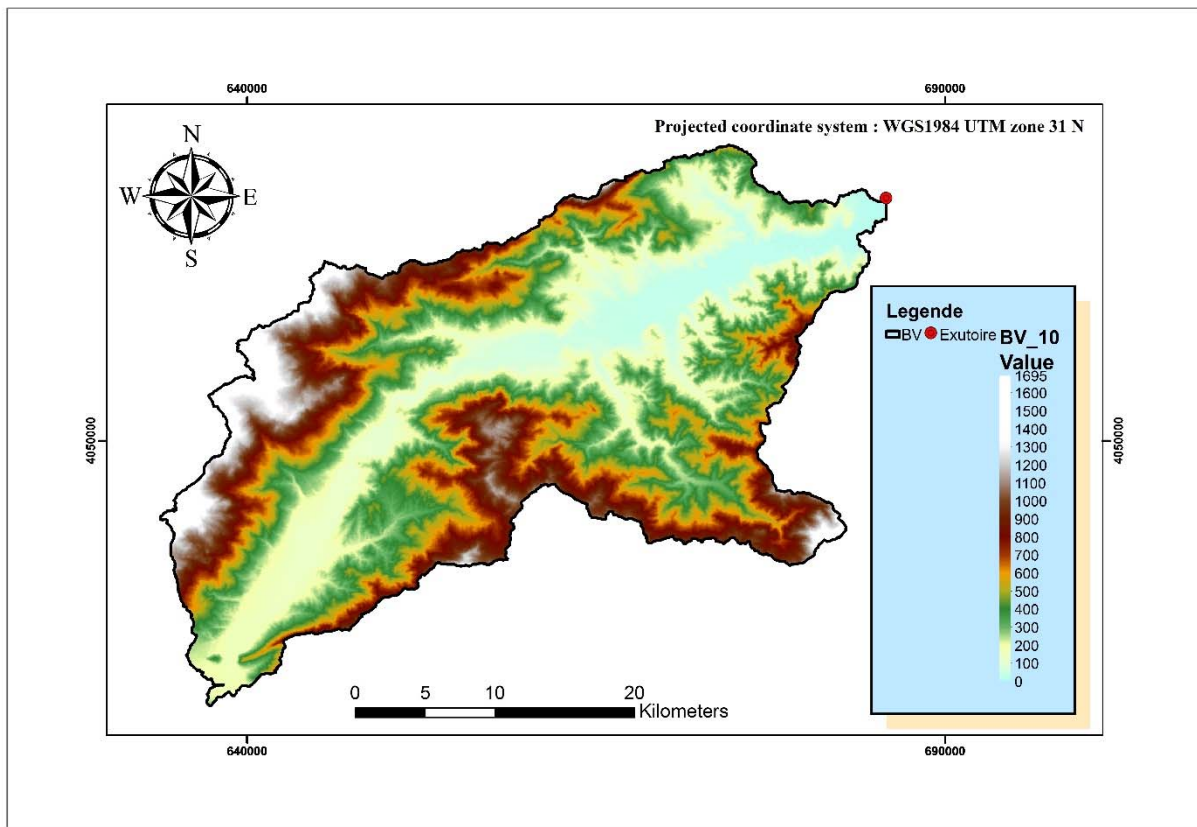


Figure II.8. Carte d'altitudes du sous bassin versant de la Soummam

II.5.1. Les altitudes maximale et minimale (H_{max} et H_{min})

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

II.5.2. La courbe hypsométrique

L'étude statistique permet de tracer la "courbe hypsométrique". Cette courbe donne la surface s (en km^2 ou en % de la surface totale) où les altitudes sont supérieures à une cote h donnée. Cette courbe est établie en planimétrant pour différentes altitudes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau correspondante. Cette méthode est précise mais fastidieuse. Une autre consiste à échantillonner les altitudes selon un maillage carré. On admet alors que l'altitude au centre d'une maille est égale à l'altitude moyenne de la maille.

Tableau II.6. Répartition hypsométrique du bassin versant d'oued Soummam

Altitudes (m)	Superficies partielles		Superficies cumulées		Altitude moyenne (m)
	(Km ²)	(%)	(Km ²)	(%)	
1600-1695	0.3528	0.03	0.3528	0.03	1647.5
1500-1600	5.5873	0.52	5.9401	0.55	1550
1400-1500	10.8864	1.02	16.8264	1.57	1450
1300-1400	13.8077	1.29	30.6342	2.86	1350
1200-1300	16.0674	1.50	46.7015	4.36	1250
1100-1200	19.8531	1.85	66.5547	6.22	1150
1000-1100	33.2242	3.10	99.7789	9.32	1050
900-1000	46.1867	4.31	145.9656	13.64	950
800-900	54.3593	5.08	200.3249	18.71	850
700-800	62.3570	5.83	262.6819	24.54	750
600-700	73.7024	6.89	336.3842	31.42	650
500-600	88.5174	8.27	424.9016	39.69	550
400-500	108.0417	10.09	532.9433	49.79	450
300-400	131.2200	12.26	664.1633	62.04	350
200-300	139.7446	13.05	803.9079	75.10	250
100-200	155.4504	14.52	959.3582	89.62	150
0-100	111.1123	10.38	1070.4705	100	50
Total	1070.47	100			

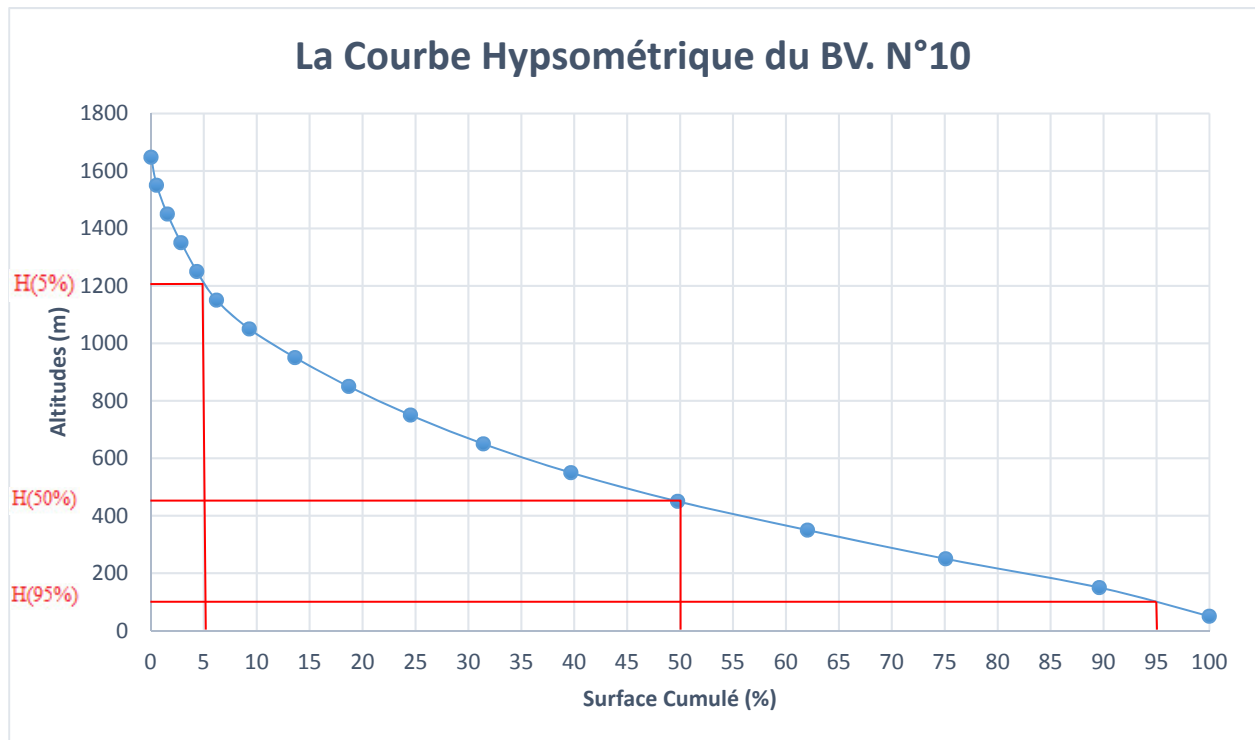


Figure II.9. La courbe hypsométrique du sous bassin versant N° 1510

II.5.3. L'altitude moyenne (H_{moy})

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \sum_1^i \frac{A_i \cdot h_i}{A} \dots\dots\dots(II.4)$$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m] ;

A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [km²] ;

h_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

A : superficie totale du bassin versant [km²].

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.

II.5.4. L'altitude médiane ($H_{50\%}$)

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.

II.5.5. La dénivelée simple (D)

On définit la "dénivelée D " comme étant la différence de côte entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$:
Celles –ci sont lues sur la courbe hypsométrique.

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \dots\dots\dots(II.5)$$

II.6. Les indices de pentes

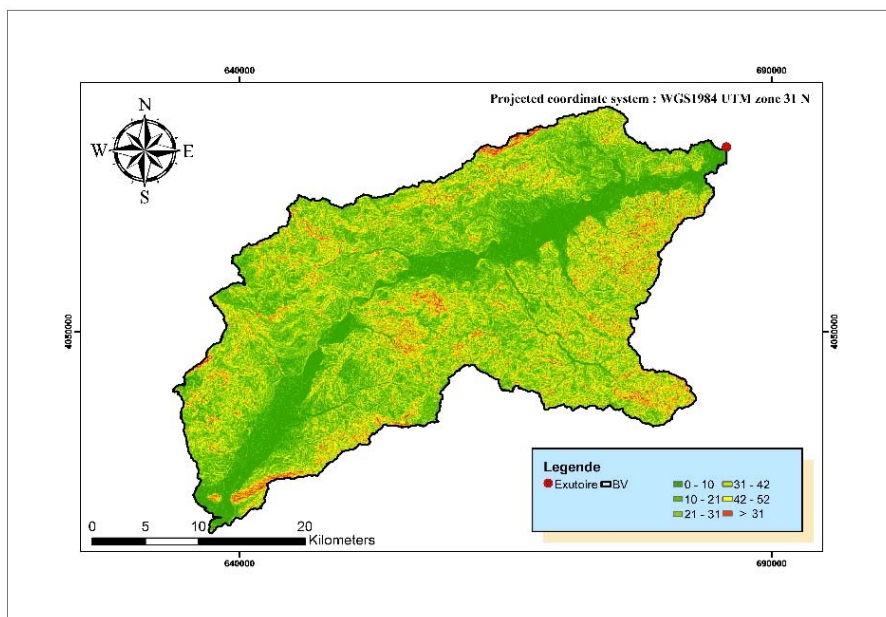


Figure II.10. Carte pentes du sous bassin versant de la Soummam

L'objectif de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant et de permettre des comparaisons et des classifications.

II.6.1. La pente moyenne du bassin versant (I_m)

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct - donc sur le temps de concentration t_c et 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 :

$$I_m = \frac{D.L}{A} \dots \dots \dots (II.6)$$

L : longueur totale de courbes de niveau [km],

D : équidistance entre deux courbes de niveau [m],

A : surface du bassin versant [km²].

II.6.2. L'indice de pente Roche (I_p)

Cet indice se calcule à partir du rectangle équivalent. Il est égal à la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments pondérés par la surface intéressée, soit :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L_{rec}}} \sum_{i=1}^n \left(X_i \sqrt{\frac{d}{X_i}} \right) \dots \dots \dots (II.7)$$

Où :

I_p : indice de pente [%],

L_{rec} : longueur du rectangle [m],

x_i : distance qui sépare deux courbes sur le rectangle [m] (la largeur du rectangle étant constante, cette distance est égale au facteur de pondération),

d : distance entre 2 courbes de niveau successives (peut être variable) [m],

d/x_i : pente moyenne d'un élément [%].

II.6.3. Indice de pente globale (I_g)

L'indice de Roche étant cependant trop long à évaluer pour des études rapides, il a été proposé, par Laborde, un indice encore plus simple : la pente globale

$$I_g = \frac{D}{L_{rec}} \dots \dots \dots (II.8)$$

Où :

D étant la dénivelée H5% - H95%, définie sur la courbe hypsométrique ou même directement à l'œil sur la carte topographique ;

L : étant la longueur du rectangle équivalent.

Cet indice, très facile à calculer, est des plus utilisés. Il sert de base à une des classifications (O.R.S.T.O.M. actuellement IRD) pour des bassins versants dont la surface est dès l'ordre de 25 km² :

- 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 $0,1 < I_g$

II.6.4. Dénivelée spécifique (Ds)

L'indice I_g décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes.

La dénivelée spécifique D_s ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale I_g en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à A :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{A} = \frac{D}{L} \sqrt{L \cdot I} = D \sqrt{\frac{I}{L}} \dots \dots \dots (II.9)$$

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie ($D = H5\% - H95\%$) et de la forme du bassin (I/L). Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M., indépendante des surfaces des bassins.

- R1 Relief très faible $D_s < 10$ m
- R2 Relief faible $10 \text{ m} < D_s < 25$ m
- R3 Relief assez faible $25 \text{ m} < D_s < 50$ m
- R4 Relief modéré $50 \text{ m} < D_s < 100$ m
- R5 Relief assez fort $100 \text{ m} < D_s < 250$ m
- R6 Relief fort $250 \text{ m} < D_s < 500$ m
- R7 Relief très fort $D_s > 500$ m

II.7. Caractéristiques du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. La définition d'un cours d'eau est difficile à donner avec précision, en particulier pour les cours d'eau temporaires. Selon le support cartographique utilisé, on étudiera le réseau avec plus ou moins de détails : en photographie aérienne, on pourra déceler des thalwegs de très faibles extensions, tandis qu'on ne verra que les cours d'eau pérennes et importants sur une carte au 1/100 000ème.

L'étude du chevelu hydrographique servant surtout à comparer des bassins entre eux, il suffit, dans la plupart des cas, de se fixer une définition du thalweg élémentaire et de l'appliquer pour l'étude de tous les bassins (par exemple : thalwegs = traits bleus temporaires ou pérennes sur carte I.G.N. au 1/50 000ème).

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

II.7.1. Hiérarchisation du réseau (Ordre du bassin versant)

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. Parmi toutes ces classifications, nous adopterons celle 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 $n + m = \max(n,m)$.

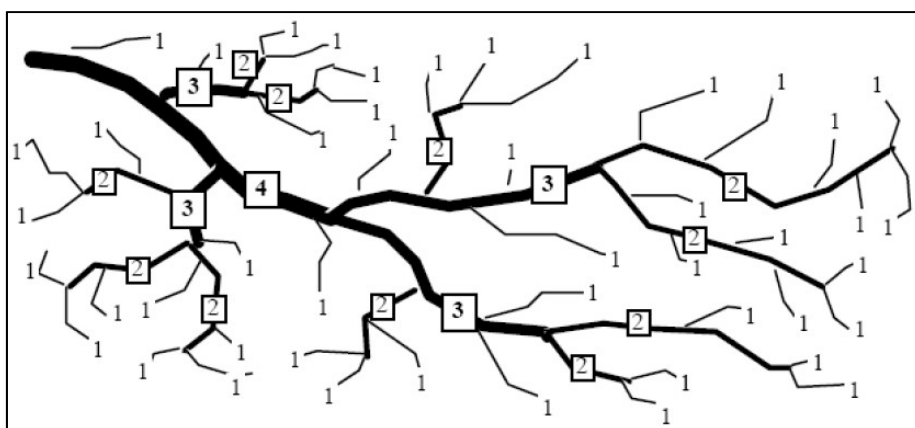


Figure II.11. Réseau hydrographique et ses ordres d'un bassin versant (Source cours hydrologie)

II.7.2. Rapport de confluence :

C'est le rapport du nombre de thalwegs d'ordre x et de celui des thalwegs d'ordre immédiatement supérieur (x+1). Il est donné par la relation suivante :

$$R_c = \frac{N_x}{N_{x+1}} \dots \dots \dots (II.10)$$

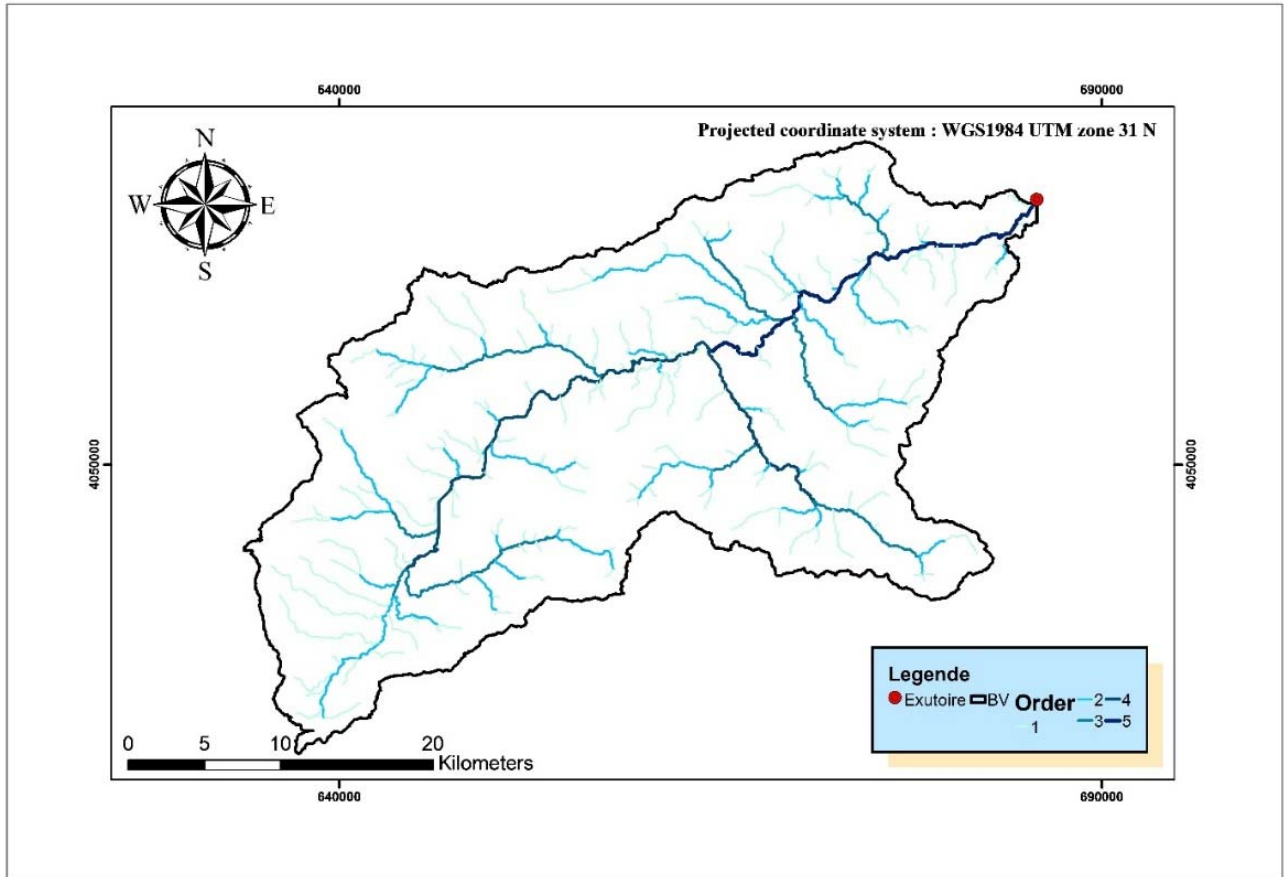


Figure II.12. Réseau hydrographique et ses ordres du sous bassin versant de la Soummam

Tous les paramètres hydro-morpho-métriques des sous bassins cités ci-dessus sont résumés dans le tableau suivant :

II.8. Temps de concentration

An cas des bassins versant non jaugés, le temps de concentration représente la durée quemet une goutte d'eau de ruissellement du point le plus élevé au point représentant l'exutoire dubassin versant.

Le temps de concentration est déterminé par La formule morpho-métrique suivante :

II.8.1. Formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A}+1.5L_{cp}}{0.8\sqrt{H_{moy}-H_{min}}} \dots \dots \dots (II.11)$$

Tableau II.7. Caractéristiques physiographiques des bassins versants de la Soummam

Paramètres du BV 1510									
Caractéristiques morpho-métriques	A (Km ²)	1070.47	Caractéristiques du relief	H_{max} (m)	2305	Caractéristiques hydrographiques	Σ L_i (Km)	70.45	
	P (Km)	204.08		H_{min} (m)	0		D_a (‰)	616.04	
	K_G (-)	1.75		H_{moy} (m)	479.48		F₁ (-)	0.58	
	L_{rec} (Km)	90.17		H_{5%} (m)	1215.64		C_t (-)	0.285	
				H_{95%} (m)	112.95				
	I_{rec} (Km)	11.87		H_{50%} (m)	448.25		L_{cp} (Km)	79.91	
				D (m)	1102.68				
	R_C (-)	2.24		D_s (m)	400.11		T_c (h)	14.313	
I_p (%)			27.78						
I_g (%)			12.2						
		P_{moy} (%)	70.45	Ve (Km/h)	5.58				

II.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de représenter le bassin versant de Soummam, connaître la topographie, les Conditions climatiques et l'état actuel du réseau hydrographique de la région et les tout Caractéristique hydraulique de Bejaia, La collecte des données consiste à rechercher toutes les informations disponibles dans la région à étudier. Cette étape constitue la phase la plus importante. Elle est basée sur la collecte des informations brutes, et aussi de vérifier sa fiabilité pour une prise de décision correcte. Nous allons donc, procéder dans le chapitre qui suit au calcul hydrologique.

CHAPITRE III

Etude hydrologique du bassin versant

Chapitre III. Etude hydrologique du bassin versant

III.1. Introduction

L'objectif de toute étude hydrologique est de déterminer pour un bassin versant donné les hydrogrammes de crues à différentes périodes de retour et de définir les débits maxima probables correspondants qui seront utilisée comme conditions aux limites dans l'étude hydraulique. A cet effet, l'utilisation d'un modèle de calcul des débits et d'estimation des eaux à l'échelle d'un bassin versant devient nécessaire.

III.1. Données disponibles des débits

Les données ANRH de la station de Sidi Aich ont été utilisées. La série de débit maximale annuelle étudiée s'étend de 1953 à 1973, soit 39 années hydrologiques ce qui permet une plus adéquate analyse statistique des débits maximaux annuelle génératrices de crues. La figure (III.2) montre la chronologie annuelle des Q_{jmax} .

Tableau III.1. Débits max annuelles

Station	Sidi Aich		
Code	151001		
Année	Q max (m ³ /s)	Année	Q max (m ³ /s)
1953 - 1954	416.10	1973 - 1974	1820.00
1954 - 1955	228.20	1974 - 1975	324.27
1955 - 1956	457.50	1975 - 1976	500.00
1956 - 1957	137.12	1976 - 1977	170.80
1957 - 1958	790.00	1977 - 1978	259.76
1958 - 1959	638.96	1978 - 1979	77.96
1959 - 1960	363.80	1979 - 1980	452.00
1960 - 1961	797.60	1980 - 1981	754.00
1961 - 1962	130.20	1981 - 1982	424.40
1962 - 1963	320.00	1982 - 1983	626.92
1963 - 1964	658.00	1983 - 1984	464.14
1964 - 1965	350.00	1984 - 1985	371.60
1965 - 1966	626.00	1985 - 1986	1046.44
1966 - 1967	350.00	1986 - 1987	247.50
1967 - 1968	2700.00	1987 - 1988	224.94
1968 - 1969	518.00	1988 - 1989	309.16
1969 - 1970	1026.00	1989 - 1990	171.00
1970 - 1971	518.28	1990 - 1991	170.00
1971 - 1972	1429.00	1991 - 1992	424.40
1972 - 1973	730.00		

L'histogramme à la figure (III.1) montre la variation annuelle des débits maximaux. On note une augmentation des débits de l'année 1968 et 1974.

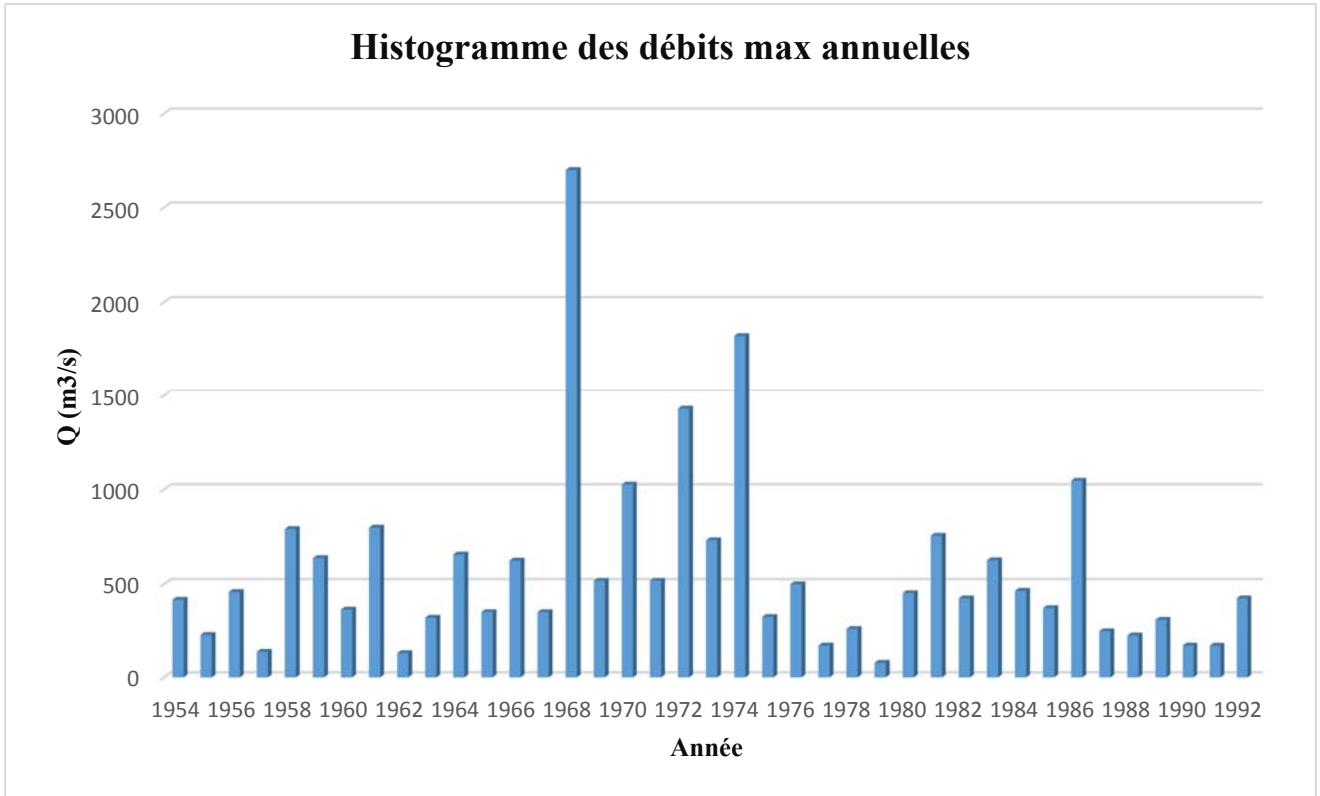


Figure III.1. La répartition max annuelle des débits

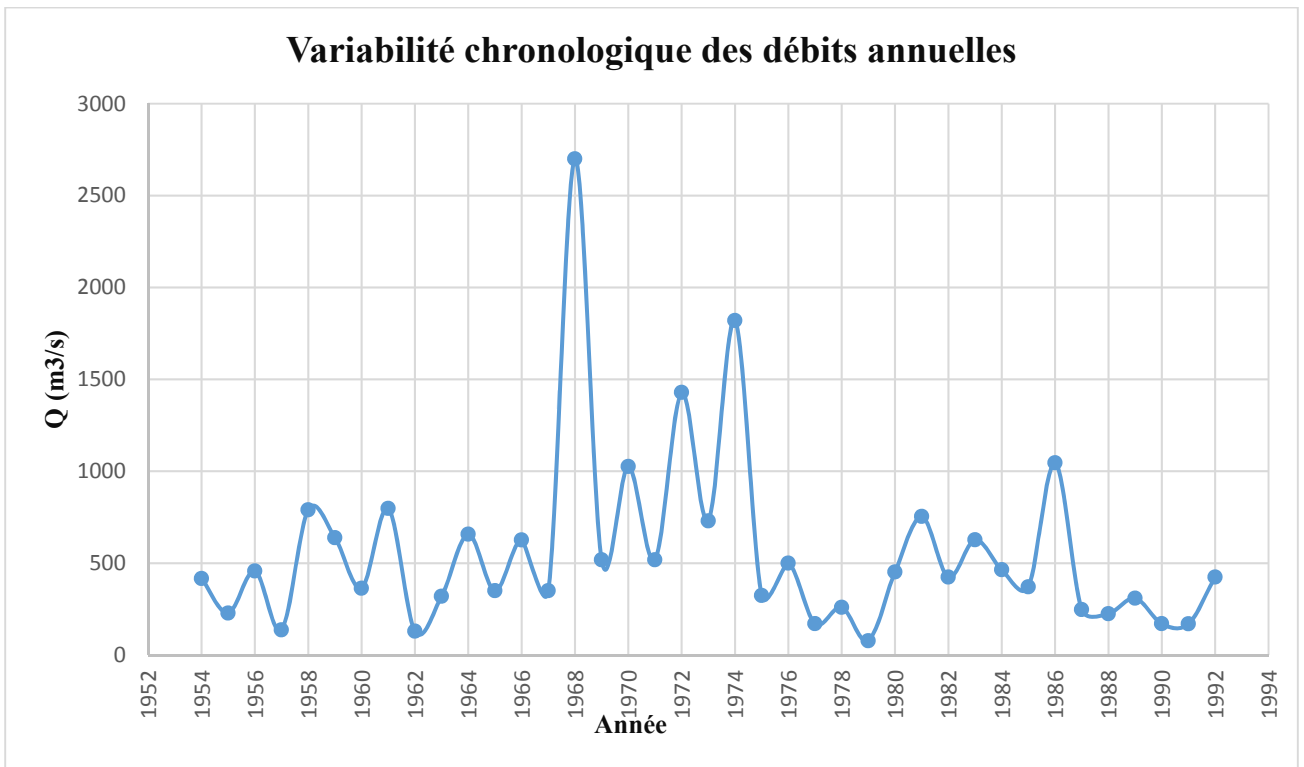


Figure III.2. Variabilité chronologique des débits annuels

III.2. Ajustement de la série des débits de pointe enregistrée à la station de Sidi Aich suivant les lois de distribution

III.3.1. Ajustement suivant la loi de GUMBEL

III.3.1.1. Description théorique :

La loi de GUMBEL est un modèle fréquentiel très souvent utilisé pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes. La fonction de répartition $F(Q_p)$ s'exprime de la manière suivante :

$$F(Q_p) = e^{-e^{-\alpha(Q_p-u)}} \dots \dots \dots (III.1)$$

Les paramètres α et u peuvent être estimés à partir de la moyenne et de l'écart type de l'échantillon par les relations suivantes :

$$\alpha = \frac{1.2825}{\delta_{Q_p}} \dots \dots \dots (III.2)$$

$$u = \bar{Q}_p + 0.45\delta_{Q_p} \dots \dots \dots (III.3)$$

Pour une période de retour donnée, le débit extrême maximal correspondant peut être estimé à partir de la relation :

$$Q_{p_i} = \bar{Q}_p + K\delta_{Q_p} \dots \dots \dots (III.4)$$

Avec K est la variable réduite de Gumbel :

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[0.5772 + \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \dots \dots \dots (III.5)$$

$$\text{Et } T = \frac{1}{1-F} \dots \dots \dots (III.6)$$

La démarche suivie est organisée comme suite :

- Utiliser les statistiques descriptives pour estimer les paramètres de la loi (moyenne, Ecart Type ...).
- Trier les valeurs dans l'ordre décroissant et attribuer un rang à chaque valeur.
- Calculer la probabilité expérimentale de dépassement pour chaque rang (d'après
- L'équation de Wei bull : $P(Q > Q_i) = (R / (N+1))$).
- Calculer la probabilité expérimentale de non dépassement pour chaque rang ($P(Q < Q_i) = 1 - P(Q > Q_i)$).
- Calculer la période de retour expérimentale ($T = 1 / P(Q > Q_i)$).
- Calculer la variable réduite expérimentale de Gumbel pour chaque rang ; équation (III.5).
- Calculer la probabilité théorique de non dépassement pour chaque rang ; équations(1), (2) et (3).
- Calculer la probabilité théorique de dépassement pour chaque rang ($P(Q > Q_i) = 1 - P(Q < Q_i)$).
- Calculer la période de retour théorique ($T = 1 / P(Q > Q_i)$).
- Calculer la variable réduite théorique de Gumbel pour chaque rang ; équation (5).

- Comme un test graphique d'adéquation, tracer les deux courbes des débits de pointes observés en fonction de la variable réduite théorique et expérimentale de Gumbel et voir est ce que la série suit la droite théorique d'Henry.
- Confirmer l'adéquation de la loi par le test de χ^2 .

III.3.1.2. Résultats pratiques

Les paramètres qu'on peut les tirer à partir de cette série lorsqu'on applique la loi de GUMBEL, sont représentés dans le tableau III.2.

Tableau III.2. Estimation des paramètres de la loi de GUMBEL et GALTON.

Statistique de base	Données
Nombre d'observations	39
Minimum	78
Maximum	2700
Moyenne	565
Ecart-type	499
Médiane	424
Coefficient de variation (Cv)	0.884
Coefficient d'asymétrie (Cs)	2.66
Coefficient d'aplatissement (Ck)	9.99

III.3.1.3. Tests d'adéquation de la loi de GUMBEL

a. Test graphique :

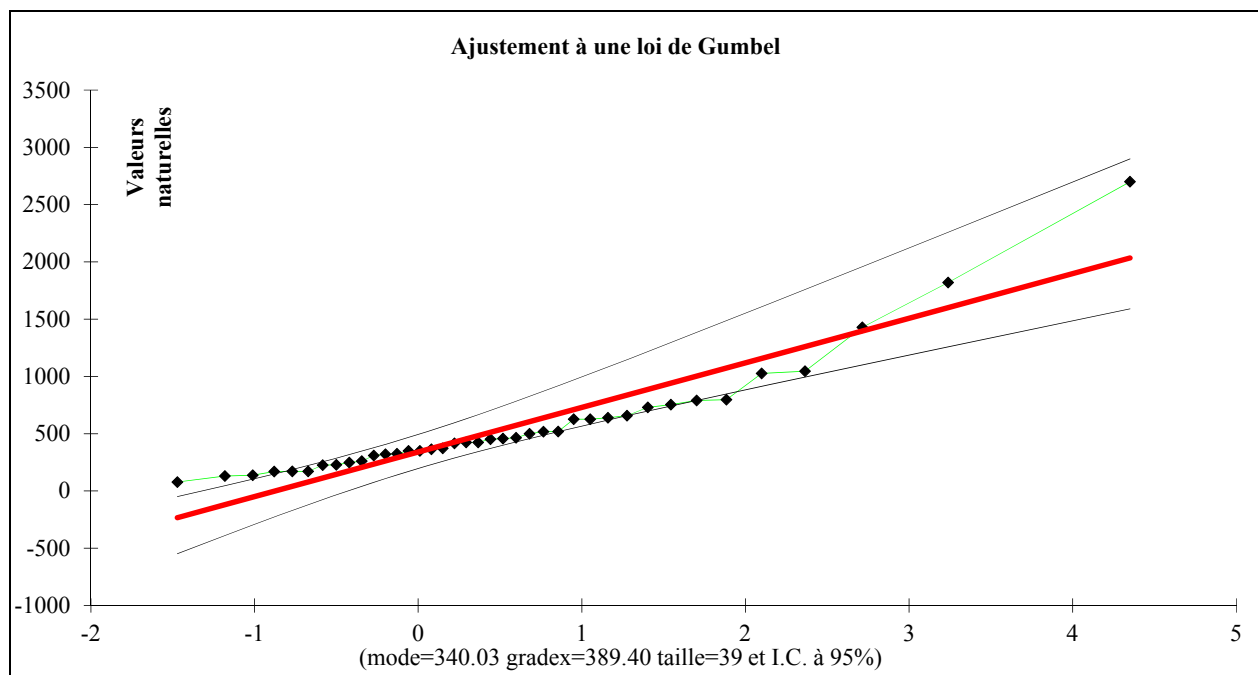


Figure III.3. Ajustement à une loi de GUMBEL

b. Test du Khi carré (χ^2) :

Hypothèses :

H_0 : L'échantillon provient d'une loi GUMBEL

H_1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi GUMBEL

Résultats :

Tableau III.3. Résultats du test Khi carré

Valeur de la statistique	$X^2 = 2.64$
P-value	$P = 0.7551$
Degrés de liberté	5
Nombre de classes	8

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5%.

III.3.2. Ajustement suivant la loi de GALTON (Log Normale)**III.3.2.1. Description théorique**

Cette loi a une expression presque identique à celle de la loi normale sauf qu'il y a une transformation logarithmique près. En effet, on peut lui donner la représentation suivante :

$$F(Q_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad \text{Avec : } U = \left(\frac{\log(Q_p) - M}{\delta_{Q_p}} \right)$$

Où ; M : la moyenne des logarithmes de la variable Q_p , $M = \frac{\sum_{i=1}^N \log(Q_{p_i})}{N}$

δ_{Q_p} : l'écart-type des logarithmes de la variable Q_p .

La procédure d'utilisation est identique à celle de la loi normale, mis à part qu'on doit procéder avant toute chose à une transformation logarithmique des données (logarithme népérien ou à base 10).

III.3.2.2. Résultats pratiques

Les paramètres qu'on peut les tirer à partir de cette série lorsqu'on applique la loi de GALTON, sont représentés dans le tableau III.2.

III.3.2.3. Tests d'adéquation de la loi Log -Normal

a. Test graphique :

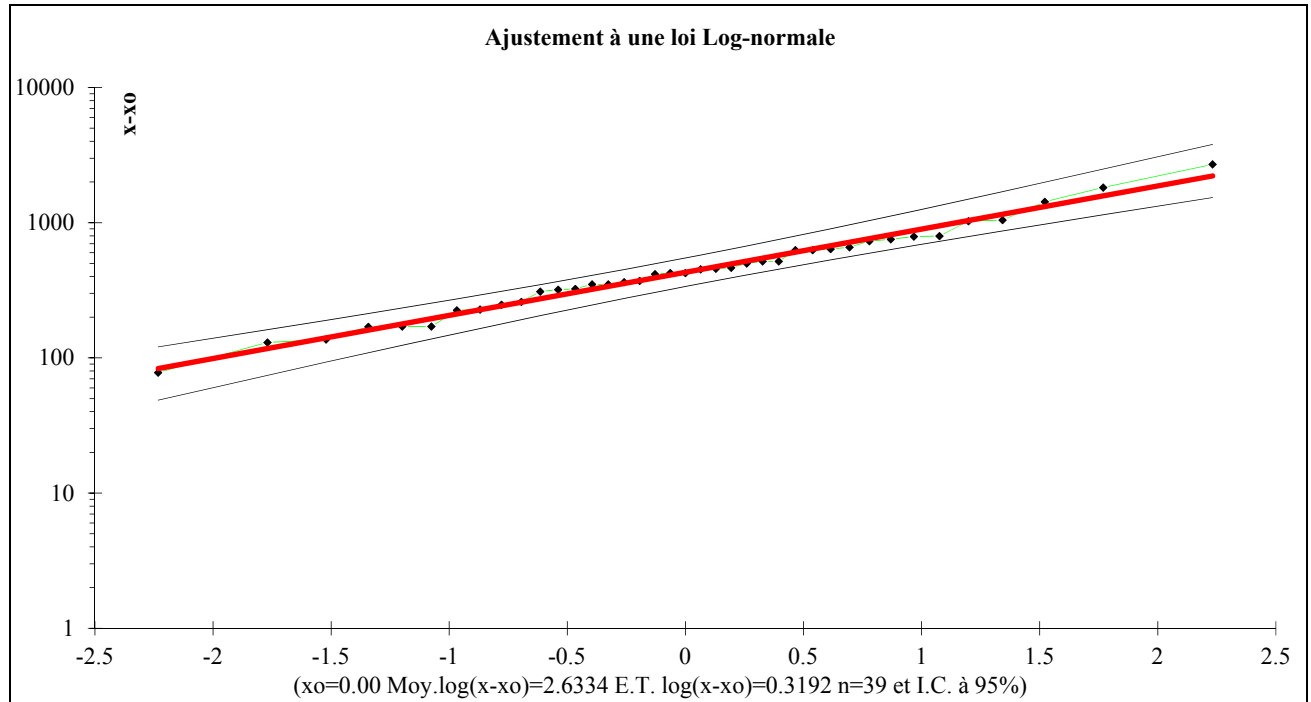


Figure III.4. Ajustement à une loi de GALTON

Quand on compare la figure III.4 de l'ajustement suivant la loi Log-Normale à la figure III.3 de l'ajustement suivant la loi GUMBEL, il ressort clairement que la loi Log-Normale s'ajuste mieux que la loi GUMBEL aux valeurs des débits de pointe.

b. Test du Khi carré (χ^2)

Hypothèses :

H_0 : L'échantillon provient d'une loi Log-Normale

H_1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Log-Normale

Résultats :

Tableau III.4. Résultats du test Khi carré

Valeur de la statistique	$X^2 = 2.64$
P-value	$P = 0.7551$
Degrés de liberté	5
Nombre de classes	8

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5%.

III.3.3. Choix du modèle statistique adéquat pour les deux stations et sélection de la station représentative

Les résultats issus des tests d'adéquation de l'ajustement d'une série des débits de pointe enregistrées au station hydrométrique de Sidi Aich par les deux lois de distribution GUMBEL et Log-Normale, montrent que la loi la plus adéquate pour la série est celle Log-Normale. D'où les débits de pointes correspondants aux différentes périodes de retour, sont tirés de ce modèle pour la station et représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.5. Estimation des débits de pointe correspondants aux différentes périodes de retour d'après la station de Sidi Aich suivant la loi de GUMBEL et de GALTON.

Station Sidi Aich 151001					
Période de Retour (ans)	F (ans ⁻¹)	GUMBEL		GALTON	
		U. GUMBEL	Q (m ³ /s)	U de GAUSS	Q (m ³ /s)
10	0.9	2.250	1216.337	0,001	1102.82
50	0.98	3.902	1859.467	0,002	2377.17
100	0.99	4.600	2131.353	0,002	1945.61
1000	0.999	6.907	3029.752	0,003	4167.02

Et puisque notre sujet intéresse de la genèse des crues pour cartographier l'aléa ; c'est-à-dire le débit des crues responsables des inondations dans l'agglomération de Sidi Aich est généré beaucoup plus à l'amont qu'à l'aval de la ville. En plus que la station hydrométrique de Sidi Aich a été mentionnée dans un rapport de la DHW qu'elle présente une faible qualité de la section de mesure (peu adaptée aux débits forts). Pour toutes ces raisons, on a choisi la station hydrométrique de Sidi Aich comme station représentative à partir de sa série de débits de pointe on va prévenir les débits correspondants aux différentes périodes de retours.

III.4. Hydrogramme de crue

C'est une courbe représentant l'évolution des débits en fonction du temps pendant la crue, il permet d'estimer quelques caractéristiques relatives à la crue telle que, la forme, le volume, temps de montée et temps de base, pour le tracé de l'hydrogramme, on utilise la méthode de SKOLOVOSKY. [16]

Cette méthode qui consiste à tracer la courbe à partir de deux équations paraboliques l'une pour la montée de la crue et l'autre pour la décrue.

➤ **Branche de crue (Montée) :**

$$Q(t) = Q_{\max} \left[\frac{t}{T_m} \right]^n \dots \dots \dots (III.7)$$

➤ Branche de crue (Descente) :

$$Q(t) = Q_{\max} \left[\frac{(T_d + T_c - t)}{T_d} \right]^m \dots\dots\dots (III.8)$$

Q_{\max} (%) : débit maximum de fréquence donnée.

Q_t : débit instantané au moment (t).

t_m, t_d : temps de montée et de décrue.

m, n : puissances des paraboles ($m=3, n=2$).

Temps de base : $t_b = t_m + t_d$.

On considère généralement que : $t_d = 4 t_m$, et $t_m = t_c$.

Tableau III.6. Estimation des débits de pointe correspondants Hydrogrammes de crues fréquentielles du sous BV Oued Soummam

Branche de crue (Montée)	Temps (h)	Q (10) ans	Q (100) ans	Q (50) ans	Q (1000) ans
	0	0	0	0	0
1	5.383	11.604	9.497	20.341	
2	21.533	46.415	37.989	81.362	
3	48.449	104.434	85.475	183.066	
4	86.132	185.660	151.955	325.450	
5	134.581	290.094	237.429	508.516	
6	193.796	417.736	341.898	732.262	
7	263.778	568.584	465.362	996.691	
8	344.527	742.641	607.819	1301.800	
9	436.042	939.905	769.271	1647.590	
10	538.323	1160.376	949.718	2034.062	
11	651.371	1404.055	1149.158	2461.215	
12	775.186	1670.942	1367.593	2929.050	
13	909.767	1961.036	1605.023	3437.565	
14	1055.114	2274.338	1861.446	3986.762	
	14.313	1102.82	2377.17	1945.61	4167.02

Branche de crue (Descente)					Branche de crue (Descente)				
Temps (h)	Q (10) ans	Q (100) ans	Q (50) ans	Q (1000) ans	Temps (h)	Q (10) ans	Q (100) ans	Q (50) ans	Q (1000) ans
15	1063.594	2292.618	1876.408	4018.805	44	123.085	265.315	217.149	465.080
16	1008.177	2173.163	1778.639	3809.409	45	110.170	237.475	194.363	416.278
17	954.718	2057.931	1684.326	3607.415	46	98.191	211.654	173.229	371.015
18	903.183	1946.846	1593.409	3412.691	47	87.113	187.775	153.686	329.158
19	853.538	1839.832	1505.823	3225.103	48	76.902	165.764	135.671	290.573
20	805.745	1736.814	1421.507	3044.519	49	67.521	145.544	119.121	255.129
21	759.771	1637.715	1340.398	2870.805	50	58.936	127.039	103.976	222.691
22	715.580	1542.459	1262.435	2703.827	51	51.112	110.173	90.172	193.126
23	673.136	1450.970	1187.556	2543.453	52	44.012	94.870	77.647	166.300
24	632.405	1363.172	1115.697	2389.550	53	37.603	81.054	66.339	142.082
25	593.351	1278.990	1046.797	2241.984	54	31.848	68.649	56.186	120.337
26	555.939	1198.346	980.794	2100.621	55	26.712	57.579	47.126	100.932
27	520.133	1121.166	917.626	1965.329	56	22.161	47.768	39.096	83.734
28	485.899	1047.373	857.229	1835.975	57	18.158	39.140	32.034	68.610
29	453.201	976.891	799.543	1712.425	58	14.669	31.619	25.879	55.426
30	422.003	909.644	744.504	1594.546	59	11.658	25.129	20.567	44.050
31	392.272	845.557	692.051	1482.204	60	9.090	19.594	16.037	34.347
32	363.970	784.552	642.122	1375.267	61	6.930	14.938	12.226	26.186
33	337.064	726.555	594.653	1273.602	62	5.143	11.085	9.073	19.432
34	311.518	671.488	549.584	1177.074	63	3.692	7.959	6.514	13.952
35	287.296	619.277	506.851	1085.551	64	2.544	5.484	4.489	9.613
36	264.363	569.845	466.393	998.900	65	1.663	3.584	2.934	6.283
37	242.685	523.116	428.148	916.987	66	1.013	2.183	1.787	3.827
38	222.225	479.014	392.052	839.680	67	0.559	1.205	0.986	2.112
39	202.949	437.463	358.045	766.844	68	0.266	0.574	0.470	1.006
40	184.820	398.387	326.063	698.347	69	0.099	0.214	0.175	0.375
41	167.805	361.711	296.045	634.055	70	0.023	0.049	0.040	0.085
42	151.868	327.357	267.928	573.835	71	0.001	0.002	0.002	0.004

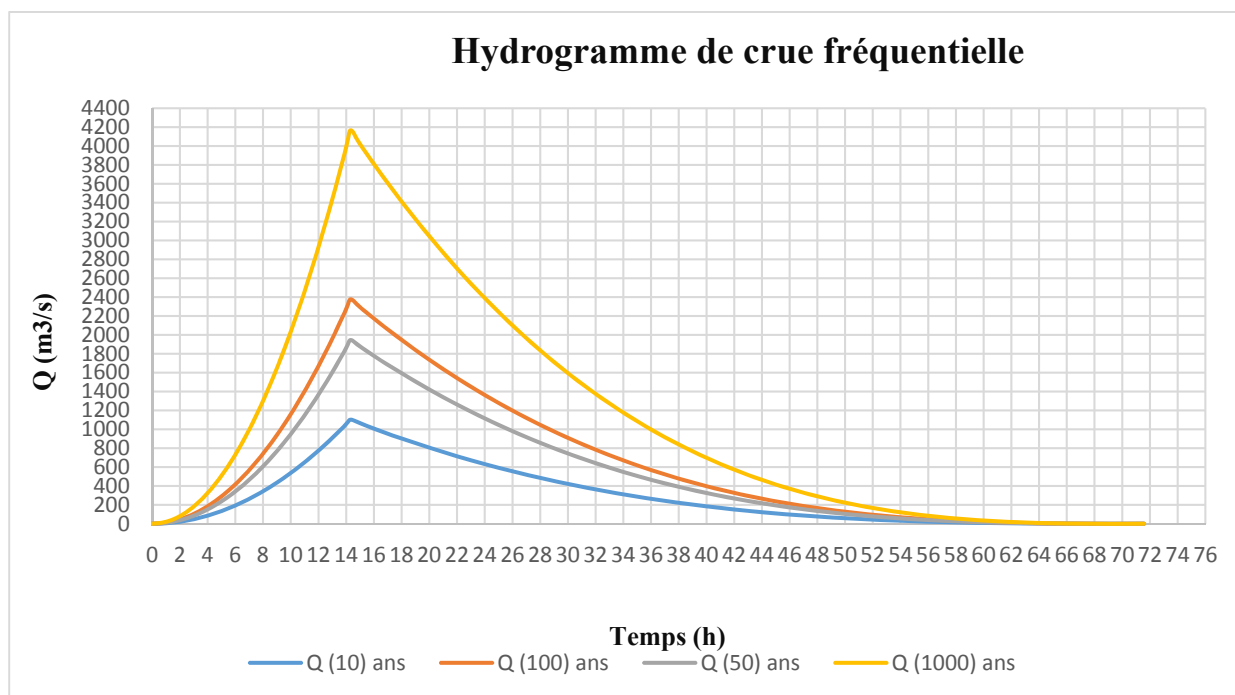


Figure III.5. Hydrogramme de crue fréquentielle du sous BV Soummam

III.5. Détermination du volume de la crue

Le volume de crue donnée par la relation suivante : [17]

$$W_1 = \frac{(Q_{max}t_m)}{m+1} \dots\dots\dots(III.9)$$

$$W_2 + \frac{(Q_{max}t_d)}{n+1} \dots\dots\dots(III.10)$$

$$W_t = W_1 + W_2 \dots\dots\dots(III.11)$$

Avec :

W₁: apport pendant la crue (H_m)

W₂: apport pendant la décrue

W_t: apport total (H_m)

Tableau III.7. Estimation du volume de crue de l’Oued Soummam

Période de Retour	10 ans	50 ans	100 ans	1000 ans
Q _{max} (m ³ /s)	1102.82	2377.17	1945.61	4167.02
W ₁ =[t _m / (m+1)].Q _{max} (m ³ /s)	14206196.39	30621990.79	25062764.34	53678301.53
W ₂ =[t _d / (n+1)].Q _{max} (m ³ /s)	3970152	8557812	7004196	15001272
W _t = W ₁ +W ₂ (m ³) (m ³ /s)	18176348.39	39179802.79	32066960.34	68679573.53
W _t = W ₁ +W ₂ (hm ³)	18.18	39.18	32.10	68.68

III.6. Conclusion

L’analyse statistique des données (crues) a pour but l’estimation des quantiles de débits et de volumes des crues. Dans ce chapitre, une présentation de la théorie de l’analyse statistiques des données est nécessaire, puisque son utilisation avec différentes lois de probabilité théoriques dans l’ajustement des débits maxima instantanés fréquentielle dans le but de déterminer le débit caractéristique de la crue du bassin versant de l’oued Cheliff. Aussi, le calcul des différents quantiles de débits est nécessaire dans l’établissement des hydrogrammes synthétiques mono-fréquence.

CHAPITRE IV

Cartographie des zones inondables par HEC RAS

Chapitre IV. Cartographie des zones inondables par HEC RAS

IV.1. Introduction

Un modèle est une représentation d'un phénomène physique, afin d'en avoir une meilleure compréhension ou d'analyser l'influence qu'il exerce. La représentation peut être physique, analogique ou mathématique. Dans le premier cas, le modèle est une maquette qui reproduit d'une manière adéquate la réalité. Les modèles analogiques utilisent les similitudes qui existent entre le phénomène à étudier et un autre phénomène physique. La méthode la plus utilisée est l'analogie entre le courant électrique et le flux d'eau. Dans ce cas, le modèle est le résultat de l'expression analytique de la complexité observée ou supposée et se présente généralement sous la forme d'un ensemble d'équations. La modélisation mathématique est un outil essentiel pour la connaissance des phénomènes naturels en élaborant un lien entre les variables d'entrée et de sortie par des relations mathématiques. [18]

IV.2. Dispositif et outils informatiques utilisées

Il faut tout d'abord signaler que nous avons choisi de se servir d'un code informatique unidimensionnel qui a prouvé son efficacité dans ce genre de calcul hydraulique. Il s'agit bien du code HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center, River Analysis System ou système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) élaboré par l'US Army Corps of Engineers, et publié en freeware depuis 1995. Ce logiciel s'est déjà montré très performant pour ce type d'étude, et bon nombre d'entreprises et de laboratoires le considèrent comme l'outil idéal de première approche (K. DEBIANE 2000 et R. CHAMPREDONDE 2006). Ce système permet d'analyser les débits et le niveau d'eau dans le lit des rivières et de déterminer les zones inondables. Il intègre de nombreux moyens de saisie de données, de composants d'analyse hydraulique, de stockage de données, de restitution sous forme de tableaux et de graphiques. Nous disposons de la version (HEC-RAS 5.0.3) disponible gratuitement sur le site officiel HEC-RAS.

En plus du code HEC-RAS, nous nous sommes servis du fameux logiciel ARCGIS, le leader en matière des systèmes d'information géographique.

Les échanges entre les deux programmes étant assurées par une extension développée aussi par HEC, le Corps des Ingénieurs de l'Armée Américaine : HEC-GeoRAS, dédiée à fonctionner sous ArcGIS.

Le tout forme donc un dispositif informatique cohérent qui permet dans un premier temps de préparer les données géométriques requises (preprocessing), de faire ensuite les calculs nécessaires (simulation), et d'exploiter enfin les résultats (postprocessing).



Figure IV.1. Représentation schématique du dispositif informatique utilisé

IV.2.1. Arc GIS

ArcGIS est un logiciel permettant d'exploiter un Système d'Information Géographique (SIG). Un logiciel SIG permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement de données géographiques. De plus, il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée.

Le principe directeur d'un SIG est le suivant : nous avons d'un côté les données géométriques et de l'autre les données attributaires. Ces données sont stockées sous format numérique et organisées par couches (appelées aussi « shapefiles » dans ArcGIS).

Petit point de détail : Arc GIS est en réalité une suite, qui se décline en trois versions (ArcView, Arc Editor et Arc Info). La différence entre ces versions est le nombre d'options supplémentaires disponibles, ArcView en possédant le moins. Ceci est indépendant des extensions (Spatial Analyst, 3D Analyst... que l'on peut acheter en supplément de chaque série).

Chacune de ces trois versions de la suite Arc Gis est constitué d'une interface ArcMap et d'une interface Arc Catalog. La version 10.3 apporte la possibilité de gérer ArcCatalog et ArcToolBox directement depuis l'interface d'ArcMap.

IV.2.1.1. Présentation de l'interface ArcMap

ArcMap montre, questionne, édite, crée ou analyse des données, sous forme de tables ou de cartes. ArcMap facilite la disposition des cartes lors de la mise en page pour l'impression, l'intégration dans d'autres documents et l'édition de documents électroniques. L'interface du logiciel est présentée ci-dessous : [19]

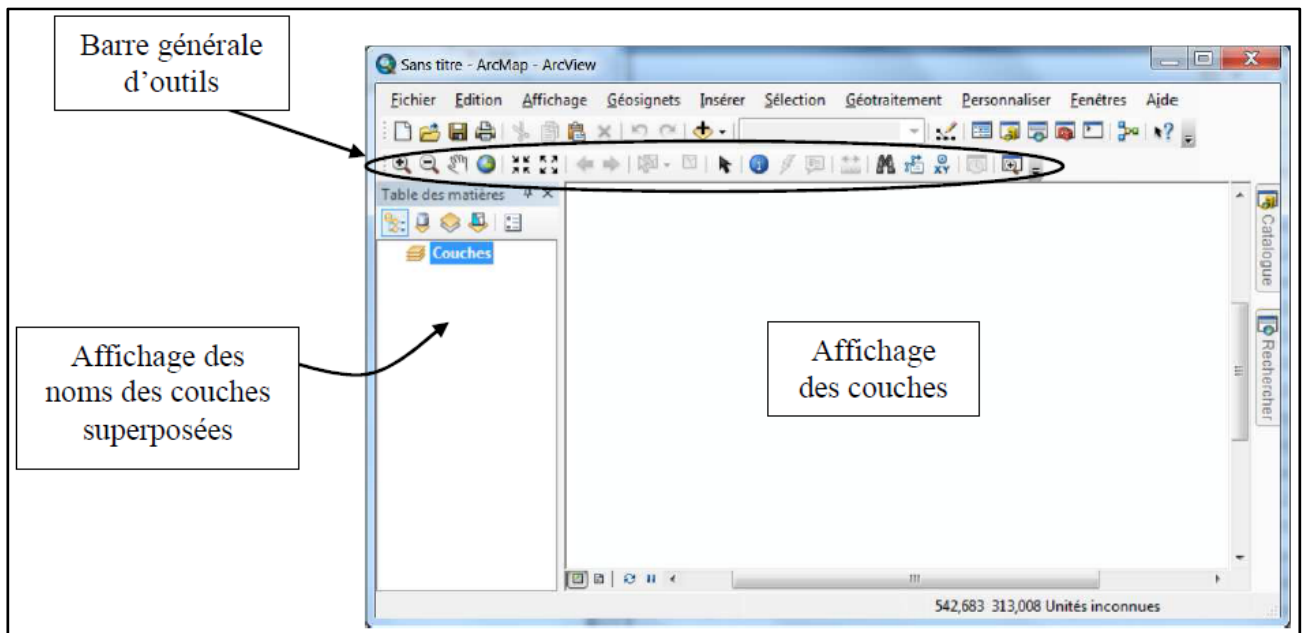


Figure IV.2. Interface de ArcMap

La barre générale d'outils se décline comme suit :

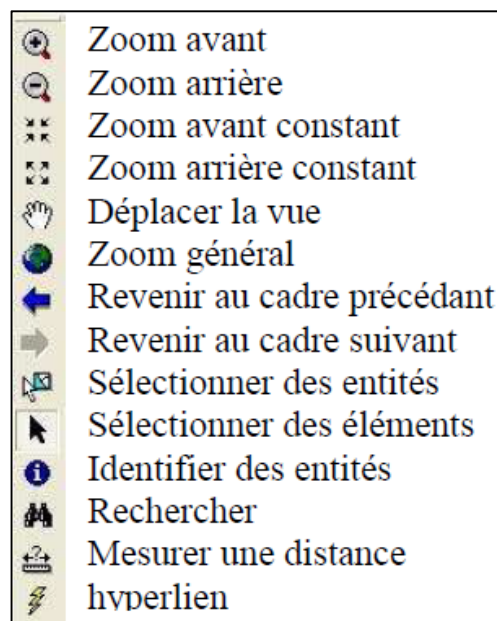


Figure IV.3. La barre générale d'outils

La barre d'outils renferme les outils de navigation sur les données graphiques des couches, ainsi que les outils d'affichage rapide de données sémantiques (attributaires) liées aux entités graphiques.

IV.2.12. Présentation de l'interface ArcCatalog

ArcCatalog vous permet de passer en revue, organiser, distribuer et modifier les éléments de propriétés des données géographiques. L'interface permet d'employer des méthodes graphiques ou textuelles pour passer en revue, contrôler ou modifier l'ensemble des données.

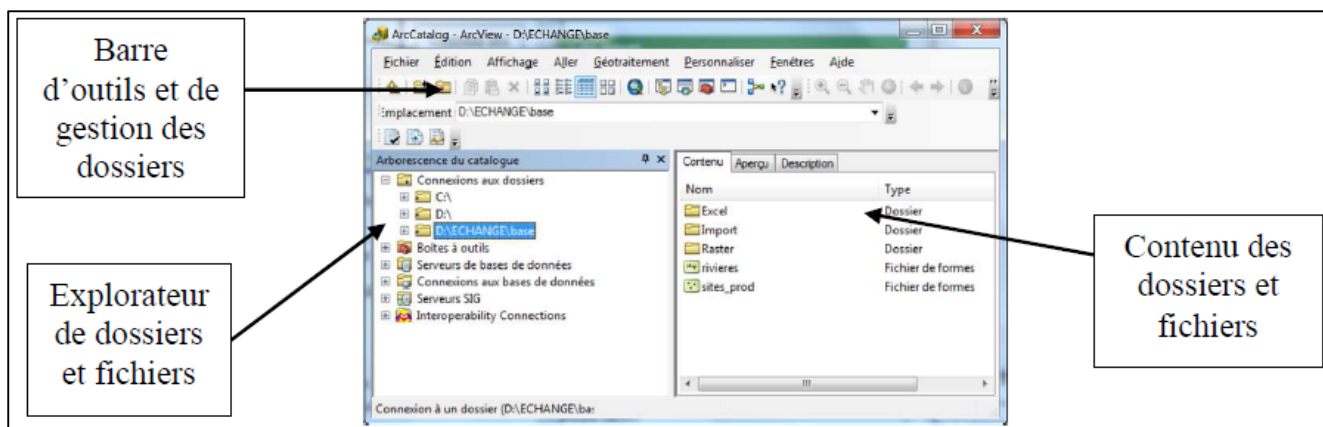


Figure IV.4. Interface de ArcCatalog

C'est idéalement dans cette interface que l'on exécutera les actions les plus courantes listées ci-dessous :

- Créer des nouvelles données (couches ou shapefiles, géodatabases...) ou supprimer une couche (soit l'ensemble des fichiers correspondants au shapefile),
- Attribuer un système de coordonnées lorsqu'il n'est pas reconnu par le logiciel, ou non renseigné,
- Avoir un aperçu géographique ou attributaire d'une couche donnée.

Désormais, l'interface ArcCatalog est disponible au travers d'ArcMap, ce qui facilite grandement la gestion des fichiers. Cet onglet se charge soit à partir de l'icône dans la barre standard d'ArcMap, soit à l'aide de l'onglet Catalogue situé à droite de la fenêtre

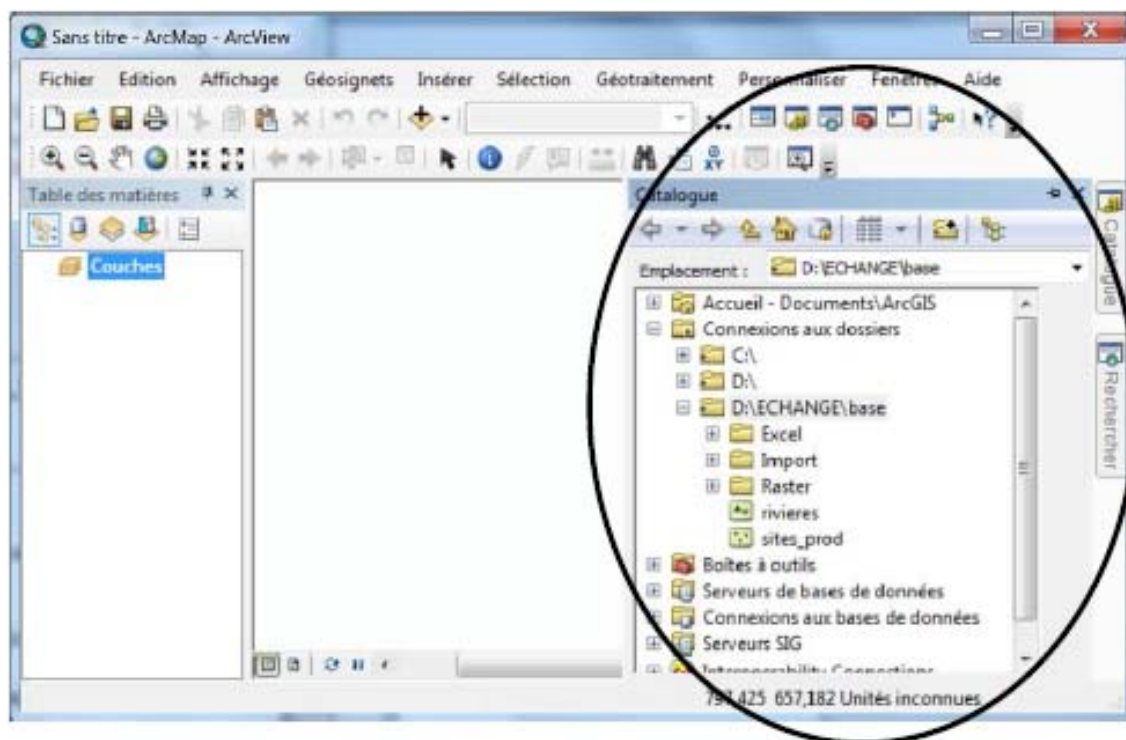


Figure IV.5. Interface de l'Arc Catalogue travers d'ArcMap

IV.2.13. Présentation de l'interface ArcToolBox

ArcToolbox est le module dans ArcGIS 10.3 qui permet d'accéder à toutes les fonctionnalités puissantes de traitement et d'analyse. La boîte à outils fournit un ensemble très riche de fonctions de géotraitement. Il convertit aussi les formats de données pour l'importation ou l'exportation de fichiers, ainsi que les changements de projection.

L'ensemble des outils présents dans chaque boîte à outil n'est pas obligatoirement accessible. Certains nécessitent l'achat d'extensions supplémentaires. Généralement, en cliquant sur un outil, une fenêtre correspondant à l'outil s'ouvre, permettant de paramétrer ce dernier. Il est possible de créer ses propres scripts, que ce soit au travers de python (livré avec le logiciel) ou en transformant un ModelBuilder. Attention : avant d'utiliser un outil, consultez l'aide, qui est très bien conçue et qui explique clairement le paramétrage des outils !

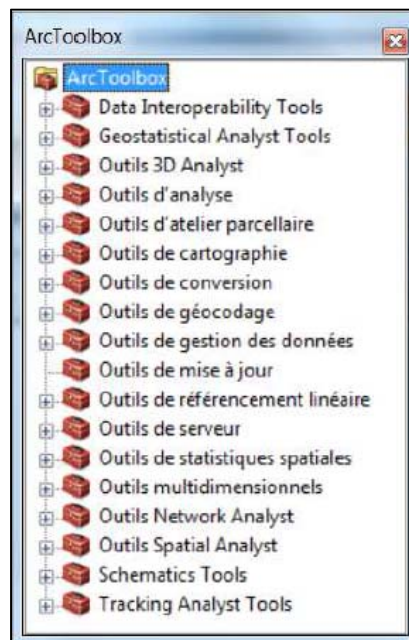


Figure IV.6. Interface de ArcToolbox

IV.2.2. HecGeoRAS

Afin de rendre possible les échanges entre HecRAS et les systèmes d'information géographique, le corps des ingénieurs de l'armée américaine a développé cet extension qui s'intègre après installation avec ArcGIS. La dernière version de HecGeoRAS disponible sur le site officiel de HEC-RAS, est HecGeoRAS 10.3 qui est compatible avec ArcGIS 10.3 et qui nécessite au moins la licence ArcView en plus des deux extensions Spatial Analyst et 3DAnalyst.

HecGeoRAS est un ensemble de procédures, d'outils et d'utilitaires pour le traitement des données géospatiales dans ArcGIS en utilisant une interface utilisateur graphique. Il permet d'une part, la préparation des données géométriques à exporter vers HecRAS, et la récupération des résultats de simulation effectuée par HEC-RAS. L'élaboration du fichier de la géométrie à

exporter, est basée sur un modèle numérique de terrain qui doit être de préférence sous forme de TIN. Les données résultantes de la simulation par HecRAS, peuvent être exploitées par HecGeoRAS sous ArcGIS pour analyser et cartographier les zones inondables, en plus d'autres possibilités.

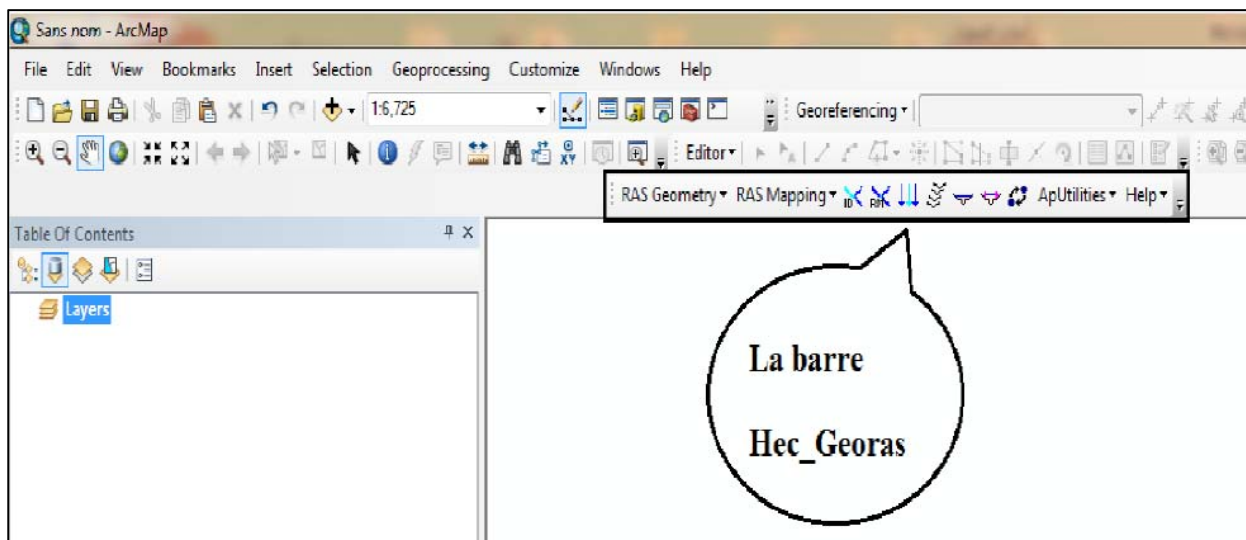


Figure IV.7. L'extension HecGeoRAS sur l'interface ArcMap

Pour assurer toutes ces fonctionnalités, la barre de HecGeoRAS est dotée de deux menus déroulants essentiels, le premier s'appelle RAS Geometry : il permet de faire toutes les opérations nécessaires à l'établissement du fichier de la géométrie (preprocessing) ; le deuxième s'appelle RAS Mapping : chargée d'effectuer les opérations en relation avec l'exploitation des résultats de la simulation par HEC-RAS.

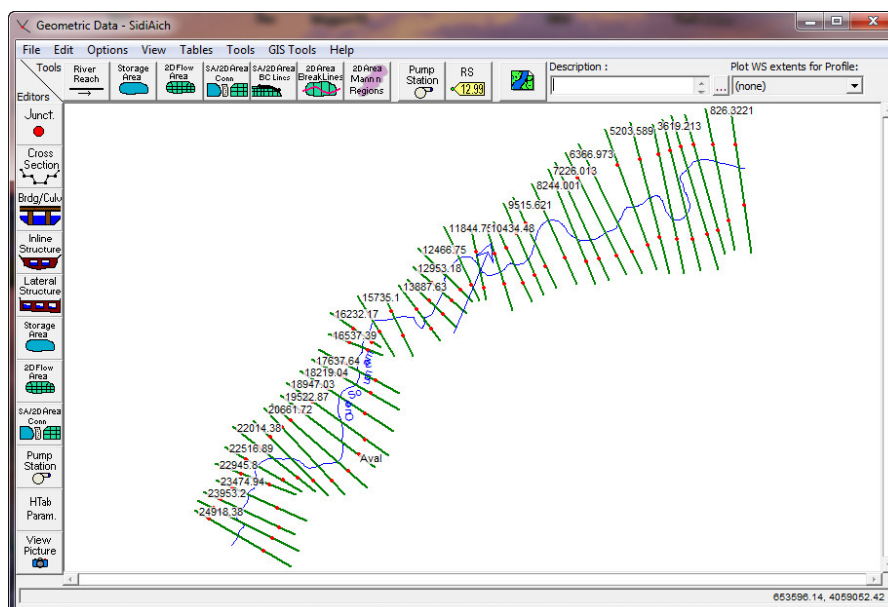


Figure IV.8. Entités géométriques numérisées sur ArcMap à l'aide de l'extension Hec-GeoRAS

IV.23. 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 débits et hauteurs d'eau sur l'ensemble des sections d'une rivière. Il utilise des équations d'hydraulique à surface libre (Saint-Venant 1D, Manning-Strickler...) et des modèles pour les seuils, le frottement etc.

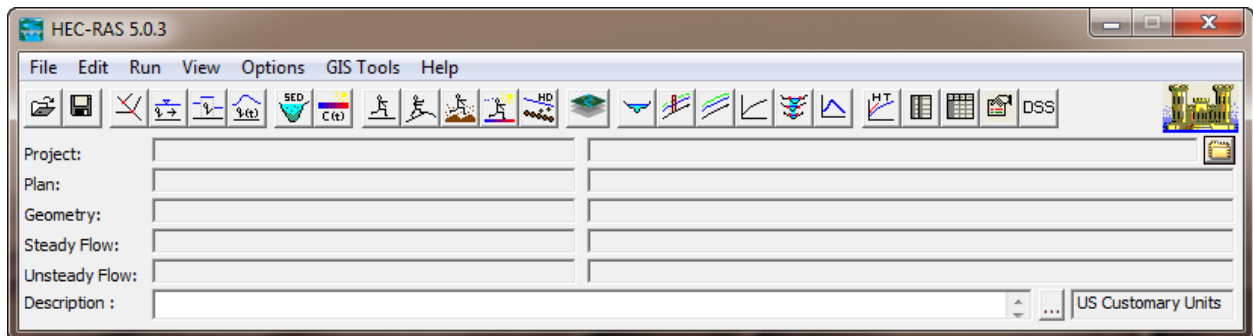


Figure IV.9. Interface de HEC-RAS 5.0.3

IV.23.1. Description du modèle

Dans le cadre du modèle hydraulique nous avons utilisé le logiciel HEC-RAS. Ce logiciel permet de modéliser les débits et les hauteurs d'eau dans une rivière. La première étape consiste à modéliser la rivière. Ce modèle se constitue d'une succession de sections dans lesquelles on calcule le débit et la hauteur d'eau : elles correspondent au maillage de la rivière. Ces sections ont été mesurées et sont donc assez fidèles à la réalité. On peut y observer le lit majeur et le lit mineur ainsi que l'érosion due aux lacets de la rivière.

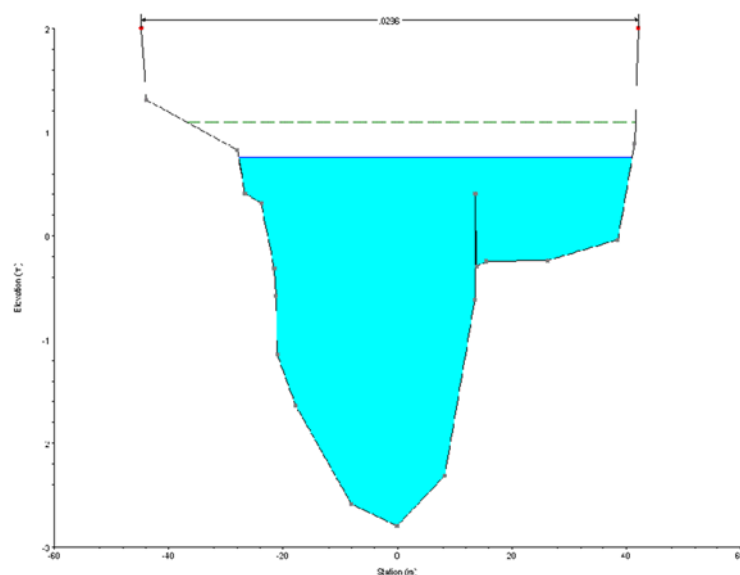


Figure IV.10. Exemple de section avec une hauteur d'eau

Le logiciel HEC-RAS permet de modifier énormément d'options pour pouvoir obtenir un modèle correct. On peut notamment modifier le coefficient de Strickler de chaque section, créer des ouvrages hydrauliques (seuils...), choisir diverses conditions limites avalées ou conditions initiales, simuler à partir d'un hydrogramme de crue, ajouter des déversoirs, simuler des écoulements permanents ou non-permanents etc. Nous verrons plus en détails ces options lorsque nous expliqueront ce que nous avons fait dans chaque partie.

Cela nous mène donc à la seconde étape, une fois que la rivière est modélisée, on modélise un type d'écoulement : il peut être stationnaire ou non-stationnaire. La simulation d'un écoulement stationnaire permet de se donner une première idée des hauteurs d'eau et des débits dans la rivière pour un certain débit amont. La simulation d'un écoulement instationnaire est celle que nous avons le plus utilisé puisque nous avons simulé des crues qui sont par définitions des phénomènes instationnaires. La méthode que nous avons principalement utilisée est l'utilisation d'un hydrogramme de crue à l'amont. Ensuite pour caler le modèle nous avons étudié les hauteurs d'eau sur deux sections .

IV.2.3.2. Les équations de Saint-Venant 1D

Le logiciel HEC-RAS utilise les équations de Saint-Venant 1D ("shallow water equations" en anglais) pour relier les hauteurs d'eau et les débits. Ces équations se déduisent des équations de Navier-Stokes grâce à des simplifications liées au modèle de la rivière.

A. Le cas stationnaire :

Comme nous l'avons dit dans la partie précédente, le maillage consiste en une succession de sections. Le logiciel calcule la hauteur d'une section à partir de la hauteur d'eau de la section précédente à l'aide de l'équation de conservation de l'énergie (conservation de la charge).

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots \dots \dots (IV.1)$$

Où :

Z_1 et Z_2 : côte du canal principal,

Y_1 et Y_2 : Profondeur de l'eau au niveau des sections,

V_1 et V_2 : vitesses moyennes (débit total / surface totale d'écoulement),

a_1 et a_2 : coefficients de pondération de vitesse égale à 1,

g : L'accélération de la gravité,

h_e : perte totale d'énergie.

Le coefficient de pertes de charge h_e se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \dots \dots \dots (IV.2)$$

Avec : L la distance entre les deux profils, S_f la pente de la ligne d'énergie (pente de frottement) et C le coefficient d'expansion ou de contraction.

Pour calculer le débit on utilise l'équation de Manning $Q = K S_f^{1/2}$ avec $K = \frac{1.486}{n} A R_h^{2/3}$

Ou :

n : Coefficient de frottement de Manning,

A : Section mouillée,

R_h : Rayon hydraulique,

S_f : Pertes de charges entre les deux section.

On voit donc que le débit sur chaque section est calculé à partir de la hauteur d'eau puisque le rayon hydraulique, la section mouillée ainsi que les pertes de charge dépendent de la hauteur d'eau. On peut visualiser cette conservation de la charge à l'aide de l'image suivante:

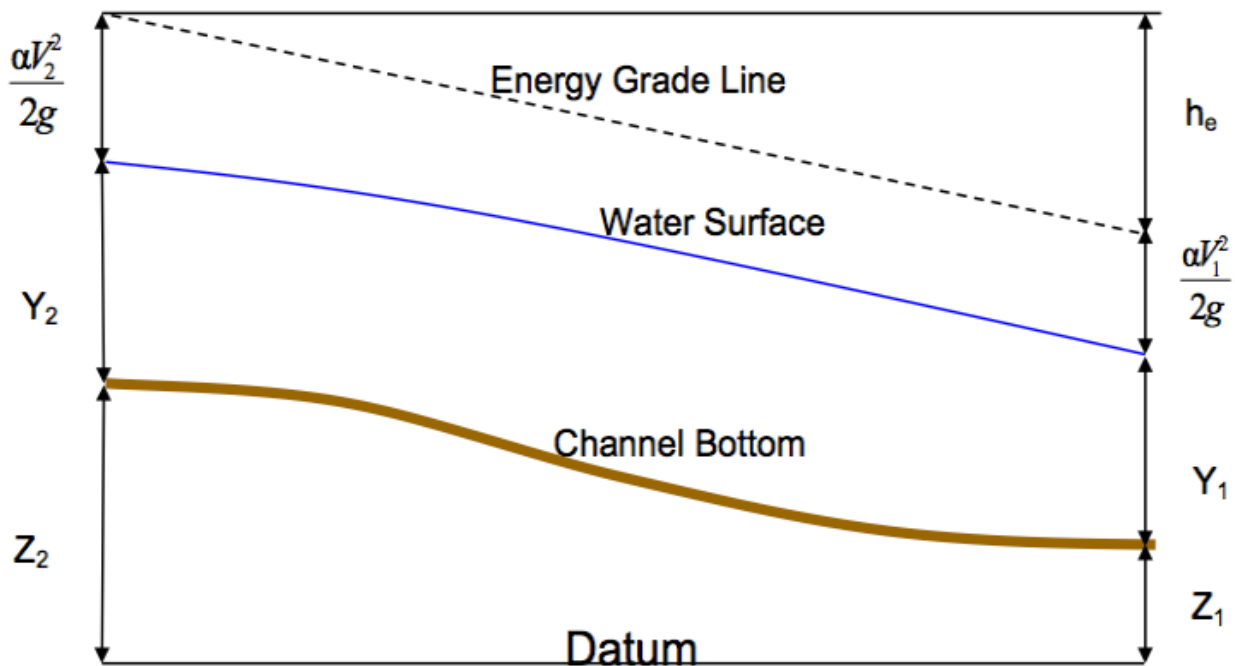


Figure IV.11. Conservation de la charge entre deux sections (source : HEC-RAS)

Pour obtenir des résultats satisfaisants il est nécessaire d'évaluer correctement les pertes de charges, et donc le frottement. Pour cela HEC-RAS découpe chaque section en plusieurs domaines verticaux et évalue le frottement sur chacun de ces domaines. En effet le frottement dépend de la vitesse et on se doute bien que la vitesse n'est pas la même sur les bords, dans le lit majeur ou dans le lit mineur. Le découpage se fait comme sur l'image qui suit :

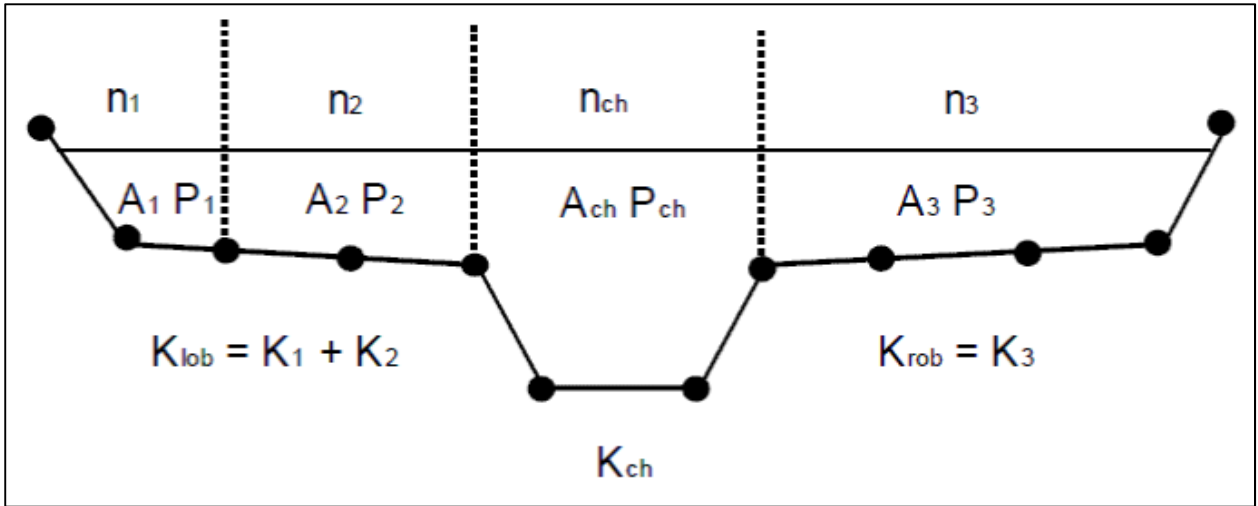


Figure IV.12. Découpage de la section pour le calcul du frottement (source : HEC-RAS)

B. Le cas instationnaire

Dans notre cas les études que nous avons faites étaient pour la quasi-totalité des études instationnaires puisque l'on modélisait des crues. La résolution sous HEC se fait alors différemment. Les équations utilisées cette fois-ci sont la conservation de la masse et la conservation de la quantité de mouvement. Ces équations correspondent en fait aux équations de Saint-Venant 1D. Pour obtenir ces équations on fait un bilan sur un petit volume de contrôle, comme sur l'image suivante :

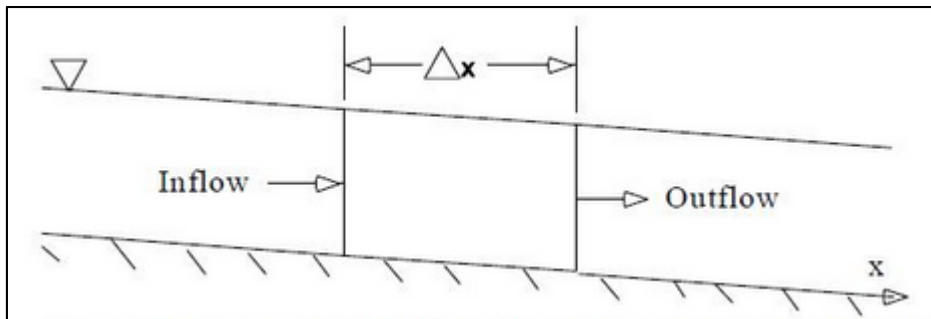


Figure IV.13. Petit volume de contrôle (source : HEC-RAS)

On obtient l'équation de conservation de la masse :

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_I = 0 \dots \dots \dots (IV.3)$$

Avec : A_T la section, Q le débit et q_I le débit entrant latéral par unité de longueur.

L'équation de conservation de la quantité de mouvement s'écrit :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \dots \dots \dots (IV.4)$$

Avec : $\frac{\partial z}{\partial x}$ la pente de la hauteur d'eau, S_f la pente de la ligne d'énergie (pente de frottement), A la section et V la vitesse moyenne.

Pour résoudre ces équations, le logiciel utilise la théorie des différences finies qui est à la fois pratique et simple pour ce cas 1D. Il utilise un schéma implicite qui permet d'utiliser un pas de temps beaucoup plus important que dans le cas du schéma explicite.

IV.3. Application du logiciel HEC-RAS Cas régime permanent 1D

IV.3.1. Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS

L'application du modèle HEC-RAS nécessite une banque de données concernant le site étudié :

- Les données géométriques relatives à chaque section :
 - 1- La section en travers, définie par une série de couples distance-altitude ;
 - 2- La distance à la section suivante (Rives et axe canal).
 - 3- Les coefficients de contraction et d'expansion.
- Les données de l'écoulement et les conditions aux limites ;
- Une singularité représentée dans notre travail par une ancienne diguette latérale le long du cours d'eau de protection contre les inondations implantée sur la partie droite du cours d'eau dans le lit majeur sur la partie de la plaine d'inondation, cette diguette a été édifiée durant les années cinquante.

IV.3.2. Les données géométriques

Les données géométriques nécessaires, consiste à l'établissement de la connectivité de l'information pour le système de rivière (schéma de système de rivière), les données des sections transversales, et les données d'ouvrage hydraulique existants ou projets (ponts, levées, structures latérales, déversoirs, etc.). La saisie des données géométriques se fait en deux étapes distinctes : [20]

Le traçage du schéma de système de rivières comme il est montré sur la figure (IV.14). Le schéma de système de rivière est un diagramme représentatif du réseau hydrographique d'une manière plus au moins réelle en prenant en considération les méandres (sinuosités) de la rivière. Il est tracé tronçon par tronçon, de l'amont vers l'aval (dans le sens d'écoulement positif).

La saisie des données pour les sections en travers du cours d'eau et les ouvrages hydrauliques. Ces données incluent :

- Les coordonnées X et Y de la section : chaque point de la section en travers doit être identifié par sa distance par rapport à un point de référence et son élévation.
- La distance à la section suivante : c'est la longueur décrivant la distance entre la section courante et la prochaine section aval. Ces distances sont définies pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite.
- Les valeurs de rugosité n de Manning : la valeur de la rugosité ou le coefficient de Manning n est indiqué pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite. Nous avons utilisé des

valeurs de n suivant les repères dans le levé topographique. Ces valeurs sont tirées du manuel d'utilisation de HEC-RAS.

- Situation des rives du canal principal (lit mineur) : les stations des rives du canal principal, sont employées pour séparer le lit mineur des deux parties du lit majeur en rive gauche, et rive droite.
- Coefficients de contraction et d'expansion : les coefficients de contraction et d'expansion sont utilisés pour évaluer la quantité de perte d'énergie qui se produit en raison d'une contraction ou d'une expansion d'écoulement.

Le modèle géométrique ainsi formé par le modèle HEC-RAS sur le tronçon réel du cours d'eau principal du bassin versant, été établi en subdivisant, le tronçon d'oued Soummam en 42 section.

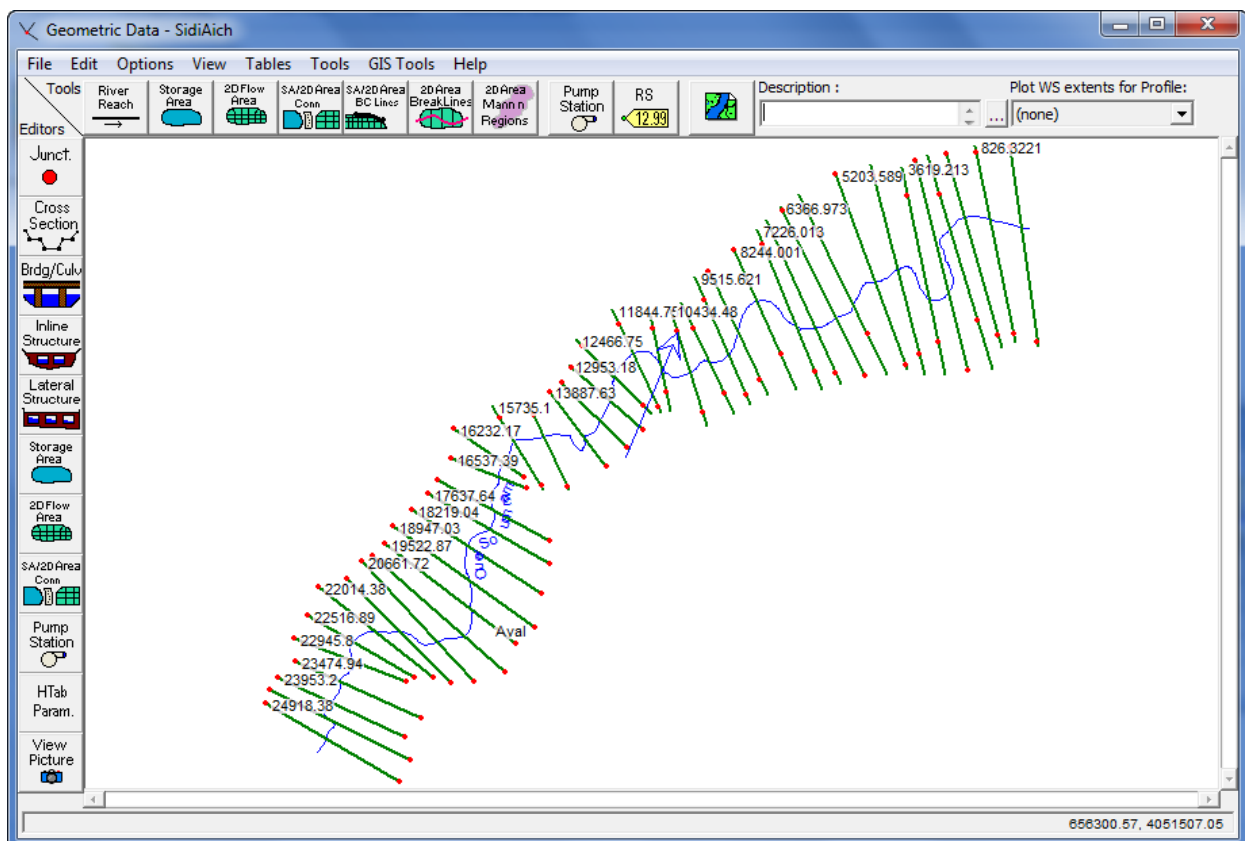
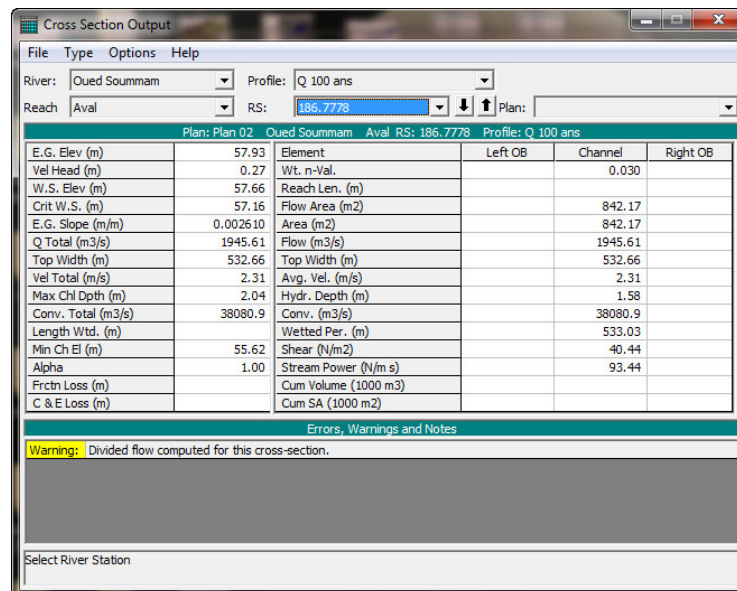


Figure IV.14. Modèle géométrique de cours d'eau principale

L'application du modèle HEC-RAS a été faite sur un tronçon réel décrit par un levé topographique d'oueds dans le bassin versant.



Plan: Plan 02		Oued Soummam		Aval RS: 186.7778		Profile: Q 100 ans	
E.G. Elev (m)	57.93	Element	Left OB	Channel	Right OB		
Vel Head (m)	0.27	Wt. n-Val.		0.030			
W.S. Elev (m)	57.66	Reach Len. (m)					
Crit W.S. (m)	57.16	Flow Area (m2)		842.17			
E.G. Slope (m/m)	0.002610	Area (m2)		842.17			
Q Total (m3/s)	1945.61	Flow (m3/s)		1945.61			
Top Width (m)	532.66	Top Width (m)		532.66			
Vel Total (m/s)	2.31	Avg. Vel. (m/s)		2.31			
Max Chl Dpth (m)	2.04	Hydr. Depth (m)		1.58			
Conv. Total (m3/s)	38080.9	Conv. (m3/s)		38080.9			
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		533.03			
Min Ch El (m)	55.62	Shear (N/m2)		40.44			
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		93.44			
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)					
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)					

Errors, Warnings and Notes

Warnings: Divided flow computed for this cross-section.

Select River Station

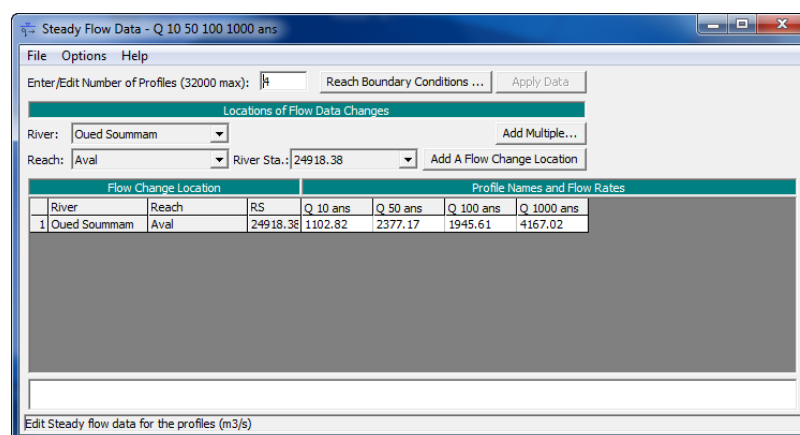
Figure IV.15. Données géométrique et hydraulique de la Section transversal à l'exutoire

IV.3.3. Les données de l'écoulement et les conditions aux limites

Après avoir saisi les données géométriques de chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique par HEC-RAS est de spécifier les débits d'entrée et toutes les conditions aux limites nécessaires pour pouvoir exécuter le calcul des profils de la surface de l'eau en chaque section du système de rivière. [20]

a. Données d'écoulement

Les données d'écoulement sont saisies de l'amont à l'aval pour chaque tronçon. Une valeur d'écoulement est écrite à l'extrémité en amont du système de rivière. Les débits appliqués sont les résultants de la simulation hydrologique retenue en utilisant le modèle HEC-RAS pour les quatre fréquences considérées (voir la figure ci-dessous).



Flow Change Location		Profile Names and Flow Rates				
River	Reach	RS	Q 10 ans	Q 50 ans	Q 100 ans	Q 1000 ans
1 Oued Soummam	Aval	24918.38	1102.82	2377.17	1945.61	4167.02

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

Figure IV.16. Fenêtre représente les différents débits fréquentiels

En cliquant sur le bouton **Reach boundary conditions** et on définit les conditions aux limites en aval si l'écoulement est fluvial (infracritique), et en amont si l'écoulement est torrentiel (supercritique).

Le HEC-RAS offre la possibilité de faire entrer comme conditions aux limites, une hauteur d'eau connue, une profondeur critique, une pente normale du point en amont ou en aval selon le régime d'écoulement ou une courbe d'estimation (différentes hauteurs d'eau et les débits correspondants).

Pour notre cas, on a introduit la valeur de 0.0026 m/m comme une pente normale évaluée à la tête d'oued Soummam.

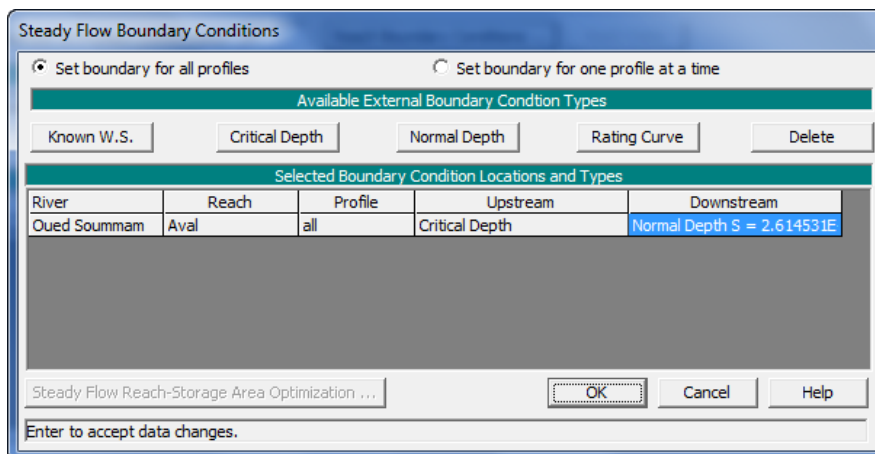


Figure IV.17. Fenêtres des conditions aux limites

b. Condition aux limites

Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulements. Dans ce dernier cas, HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement pour déterminer les changements de régime torrentiel fluvial, caractérisés par un ressaut.

IV.3.4. Résultats et analyse de la simulation

Une fois que le modèle termine tous les calculs avec succès, la visualisation des résultats peut se faire. Plusieurs options de visualisation des résultats de calcul sont disponibles et on peut visualiser et imprimer plusieurs types de résultats tabulés et graphiques.

Les résultats numériques des paramètres hydrauliques, visualisés sous forme tabulaire, pour le cas d'un écoulement permanent, pour l'ensemble des cours d'eau et pour la fréquence sont donnés dans l'annexe I.

Tableau IV.1. Les résultats numériques des paramètres hydrauliques

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Aval	24918.38	Q 10 ans	1102.82	121.00	123.27	121.68	123.28	0.000096	0.47	2337.19	1343.85	0.11
Aval	24918.38	Q 50 ans	2377.17	121.00	124.65	122.07	124.66	0.000064	0.57	4201.96	1366.92	0.10
Aval	24918.38	Q 100 ans	1945.61	121.00	124.18	121.95	124.19	0.000075	0.55	3558.74	1359.00	0.11
Aval	24918.38	Q 1000 ans	4167.02	121.00	126.64	122.47	126.66	0.000038	0.60	6956.89	1400.30	0.09
Aval	24420.65	Q 10 ans	1102.82	121.00	123.20		123.22	0.000179	0.65	1695.31	963.55	0.16
Aval	24420.65	Q 50 ans	2377.17	121.00	124.59		124.62	0.000129	0.76	3147.98	1118.42	0.14
Aval	24420.65	Q 100 ans	1945.61	121.00	124.11		124.14	0.000149	0.74	2624.61	1067.18	0.15
Aval	24420.65	Q 1000 ans	4167.02	121.00	126.60		126.63	0.000071	0.74	5621.63	1305.52	0.11

Un plan de l'ensemble du cours d'eau en trois dimensions du modèle géométrique ainsi que le profil en long du tronçon simulé sont montrés respectivement sur les figures (IV.17 et IV.18) pour les événements hydrométéorologiques considérés.

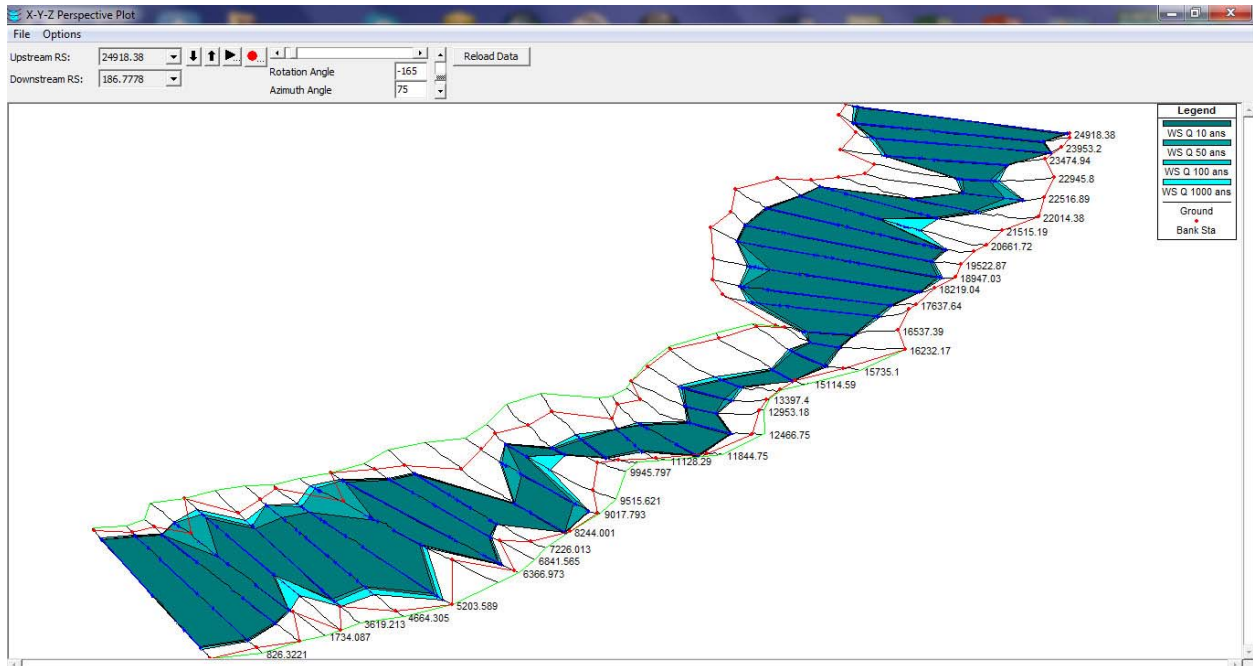


Figure IV.18. Vue en Plan en 3D de l'oued Soummam, après simulation

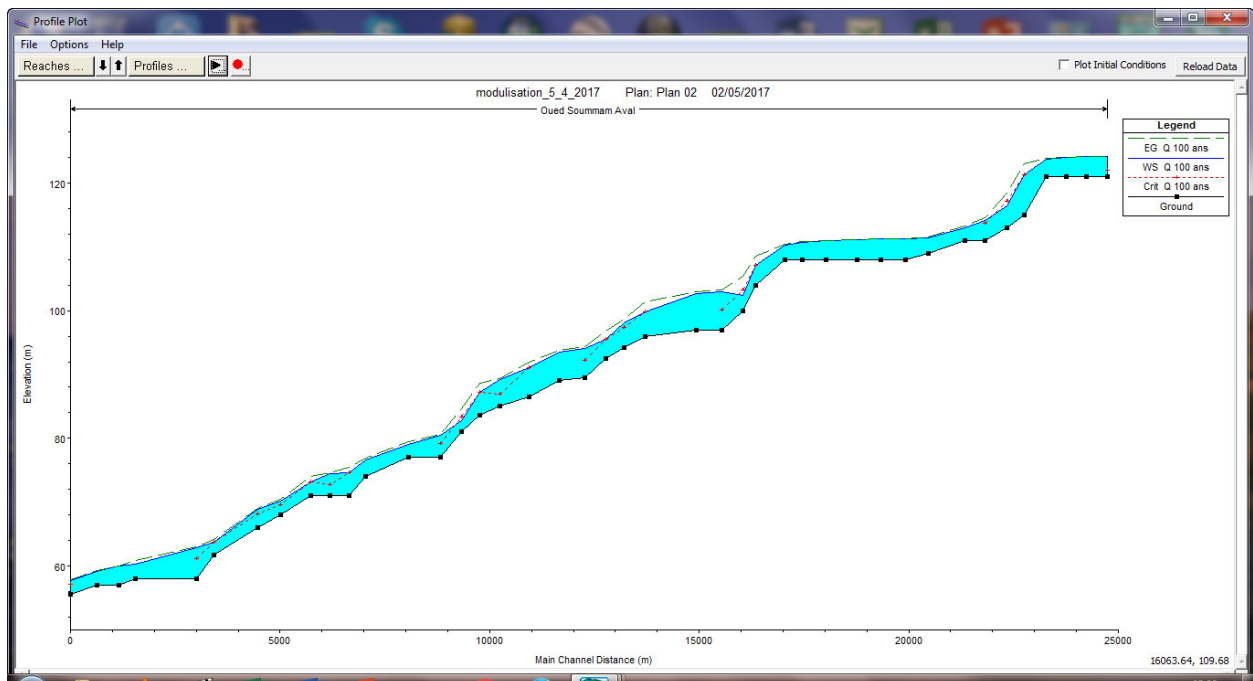


Figure IV.19. Profil en long de l'oued Soummam avec la ligne de surface pour $T = 100$ ans

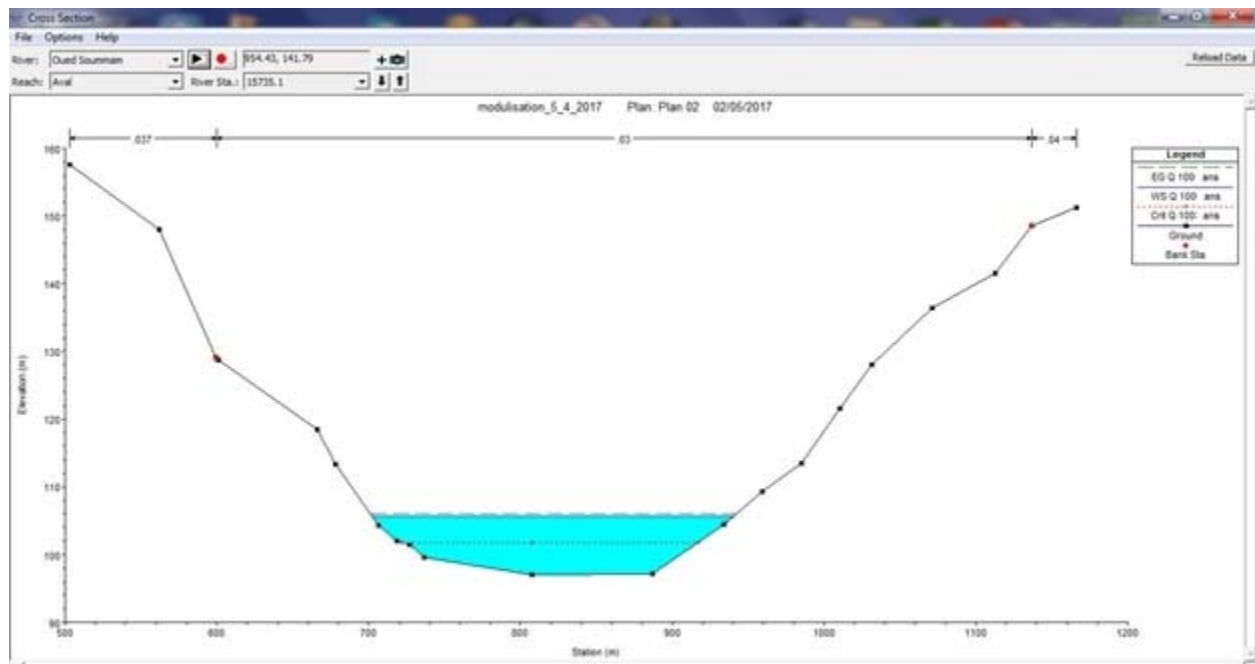



Figure IV.20. Section avec une hauteur d'eau pour $T = 100$ ans

Pour les autres profils en long et les sections sont donnés dans l'annexe II.

IV.3. Application du logiciel HEC-RAS Cas régime non permanent 2D

D'abord, créez un nouveau projet HEC-RAS. Ensuite, cliquez sur l'icône RAS Mapper . Dans le RAS Mapper, mettez en surbrillance l'option Terrains et cliquez avec le bouton droit de la souris. Ensuite, sélectionnez l'option Créer un nouveau terrain. Cela créera une fenêtre pour créer un système de référence spatiale comme Suit Sélectionner.

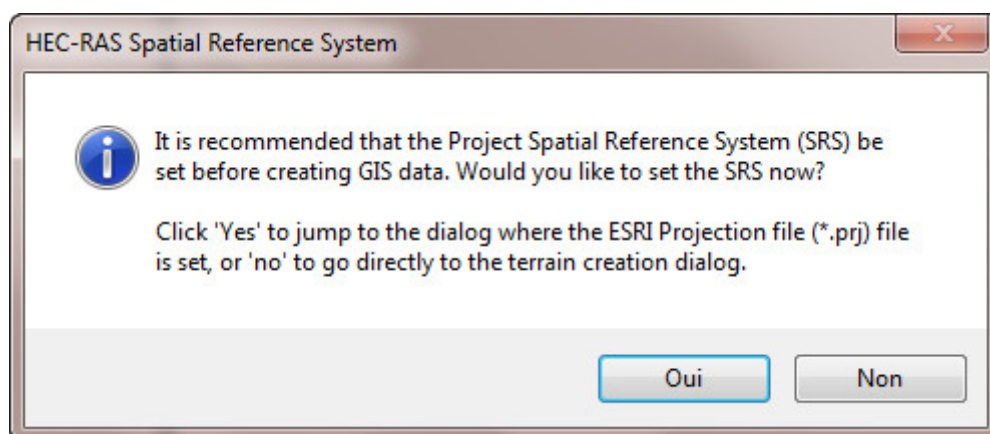


Figure IV.21. Système de référence spatiale

Sélectionnez l'option Non car les données Raster de la rivière Baxter que nous avons utilisées dans notre précédente Le didacticiel a déjà une projection. Cela se traduira par la fenêtre suivante pour un nouveau terrain Couche.

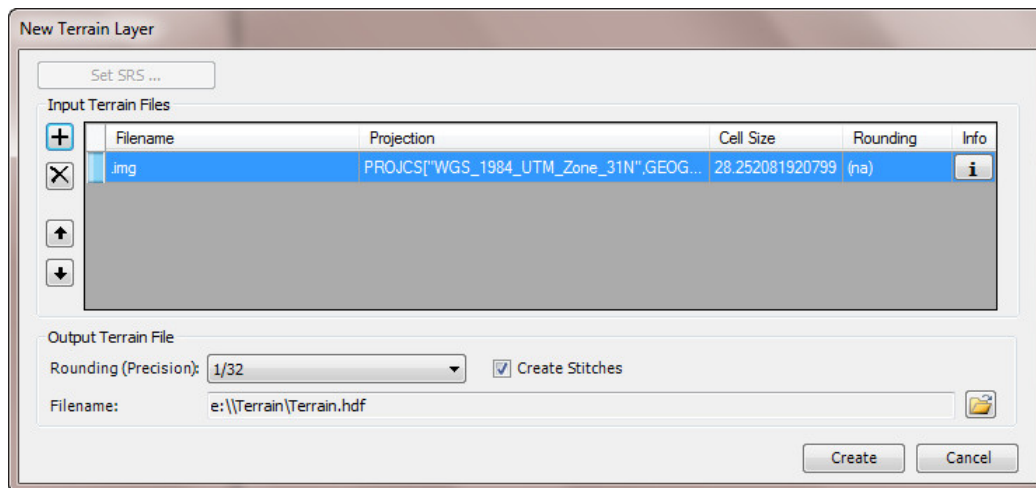


Figure IV.22. Nouveau terrain Couche

Dans la fenêtre ci-dessus, cliquez sur l'icône plus (+) et ouvrez les données raster dans l'annuaire Terrain / grille20 / grille 20 pieds. Le nom du fichier est w001001.adf. Cela va encore apporter une fenêtre.

Pour créer un système de référence spatiale. Maintenant, sélectionnez Oui. Notez dans la fenêtre que ce raster le fichier a une projection qui lui est associée. Maintenant, cliquez sur le bouton Créer comme suit.

Cela créera le terrain. Fermez la fenêtre résultante et n'oubliez pas d'enregistrer votre HECRAS projet. Maintenant, ouvrez le Mappeur RAS à nouveau et vérifiez la zone de terrain pour visualiser le terrain. Si là Le terrain n'est pas montré en surbrillance et vérifiez l'option du terrain et cliquez avec le bouton droit dessus. Sélectionnez le Option Zoom sur Layer et cela devrait afficher le terrain comme suit :

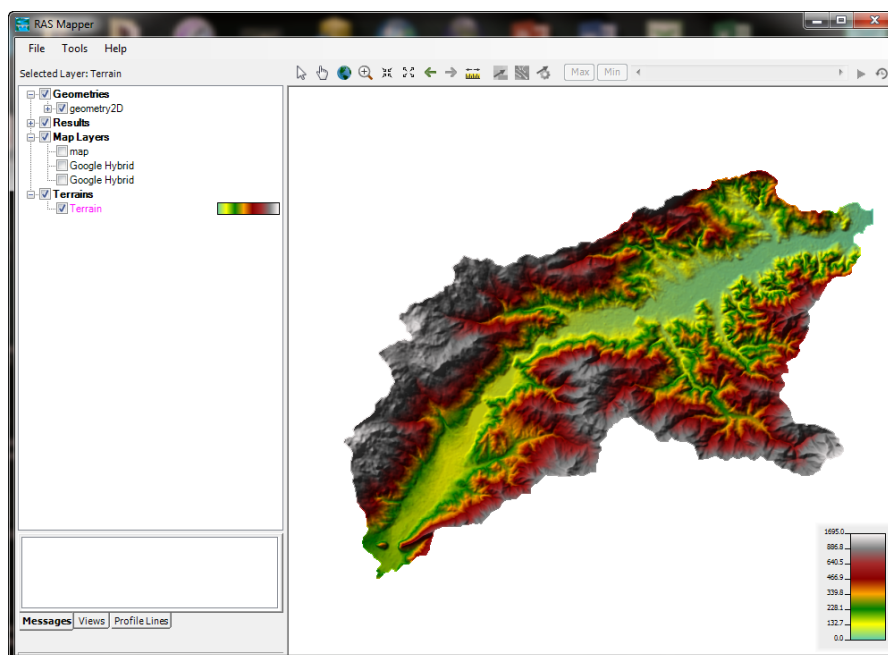



Figure IV.23. Mappeur RAS

Enregistrez votre projet HEC-RAS et ouvrez l'onglet Géométrie  et vous devriez pouvoir voir le terrain comme suit :

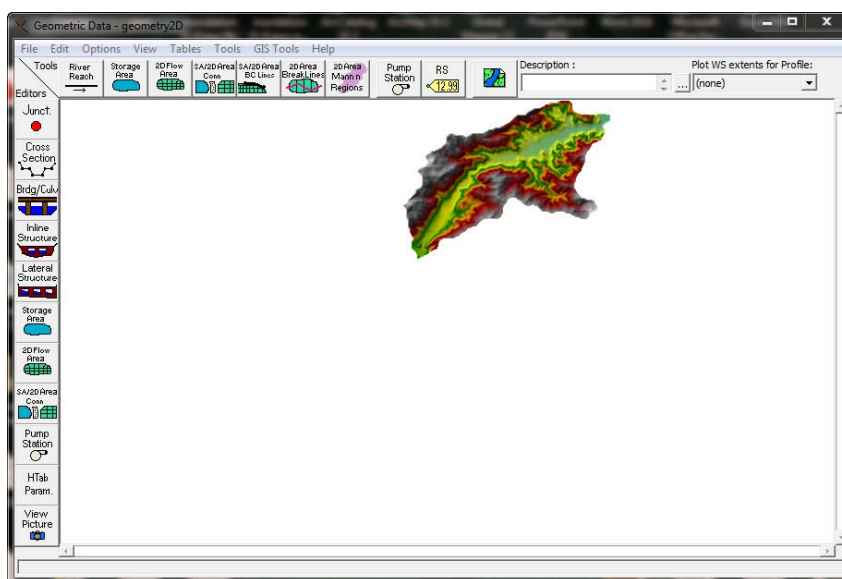



Figure IV.24. Données géométriques

Maintenant, vous pouvez commencer à ajouter des sections transversales et d'autres paramètres que vous avez appris dans le prétraitement de HEC-RAS. Parce que cette section est axée sur la modélisation 2D, nous utiliserons là l'icône 2DFlow Area, située en haut de la fenêtre Geometry.  Sélectionnez maintenant La zone de votre domaine et lui donner un nom. Cliquez sur OK et maintenant vous avez le 2D Flow zone qui sera le domaine de la simulation 2D. Ensuite, sélectionnez la zone 2D que vous avez créée et faites un clic droit dessus et sélectionnez Modifier 2DFlow Area. Ensuite, cliquez sur "Générer le calcul points en intervalle régulier ..." Ensuite, utilisez un Dx et Dy égal à 20 ou 50. Cliquez sur Générer Les points dans la zone de flux 2D et le maillage seront créés.

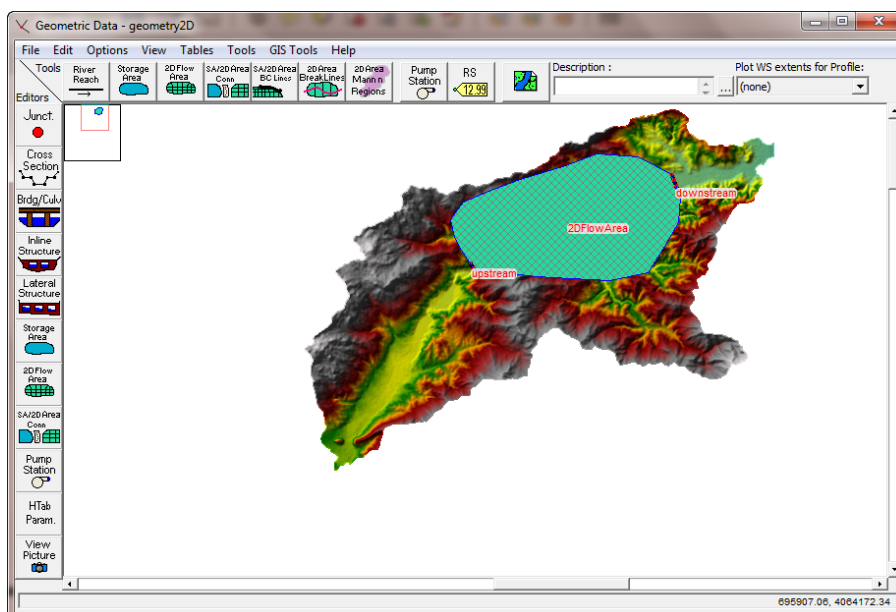


Figure IV.25. La zone de flux 2D et le maillage

Une fois que le maillage est généré, l'image DEM est perdue. Pour ramener le DEM, nous devons exporter ceci à partir du Mappeur RAS comme suit :

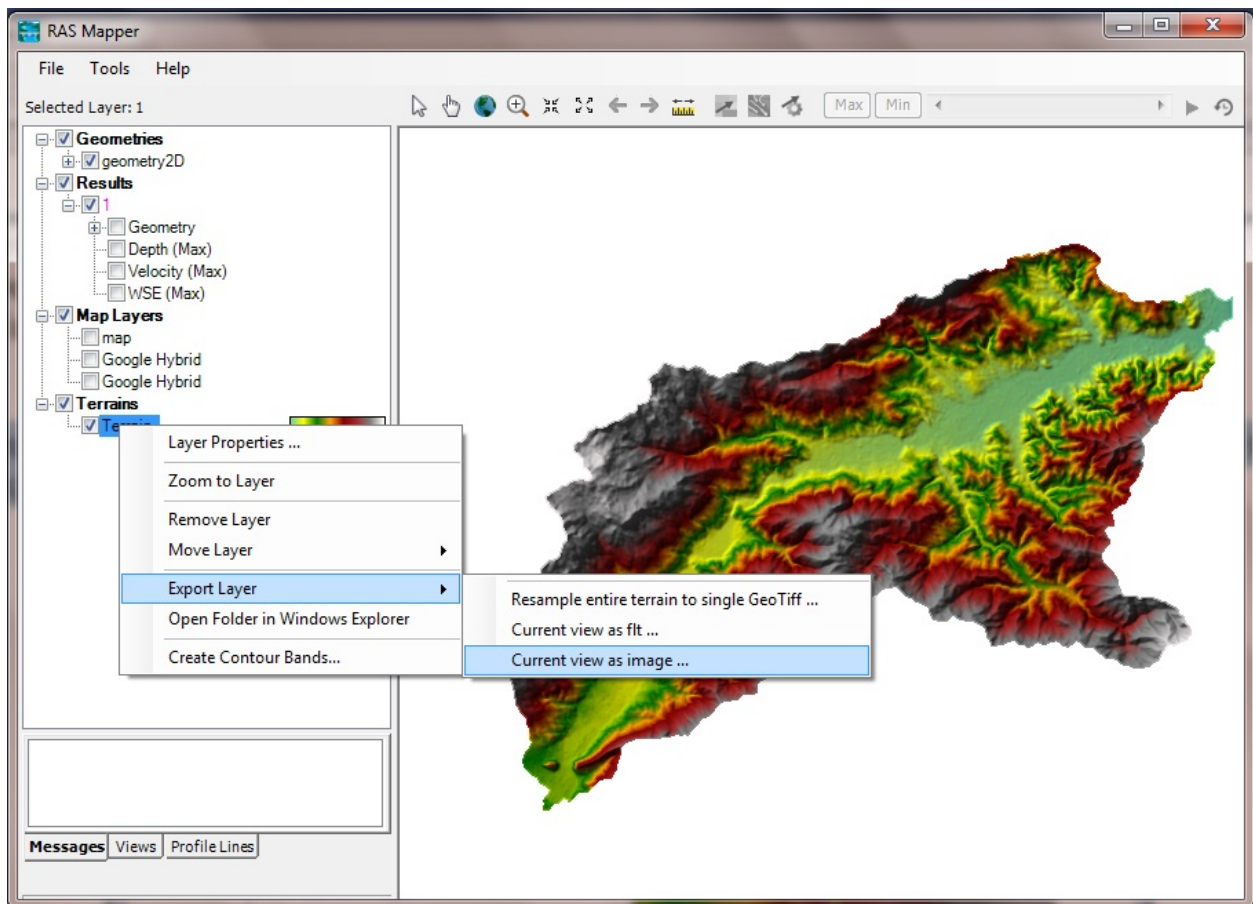



Figure IV.26. L'exportation de l'image à partir du Mappeur RAS

Affectez un nom à l'image et enregistrez-le en tant que .jpg. Assurez-vous que la résolution de l'image n'est pas beaucoup plus élevée que la résolution de votre écran car cela donnera une erreur. Après vous ont exporté l'image dont vous avez besoin pour l'ajouter en tant que couche de carte. Pour ce faire, dans RAS Mapper mettez en surbrillance et vérifiez l'option Couches de carte et cliquez avec le bouton droit dessus. Ensuite, sélectionnez Ajouter des données cartographiques couches et recherchez l'image que vous avez exportée. Vous pouvez également ajouter diverses cartes existantes calques dans le mappeur RAS. Par exemple, Google Map peut être exporté sous forme de TIF et JPEG. À Sélectionnez l'image de fond à afficher dans la fenêtre géométrique, utilisez l'icône  . Par exemple, deux figures avec différentes images d'arrière-plan sont présentées ci-dessous

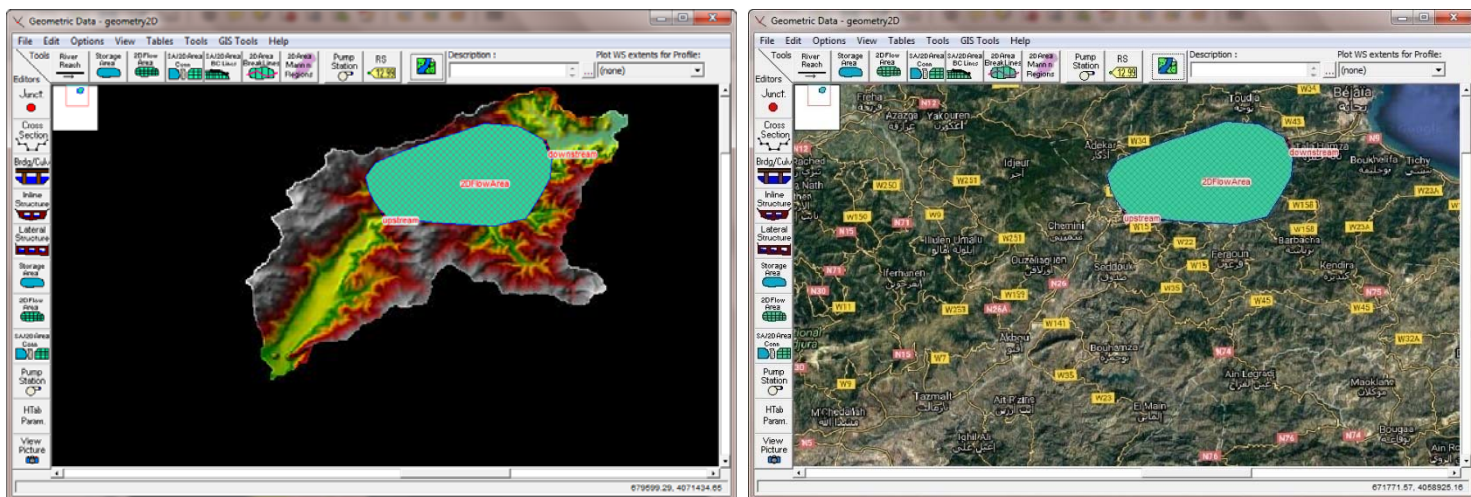




Figure IV.27. Importation de l'image à partir la fenêtre géométrique

Avant de créer les limites, il est préférable de modifier votre zone de flux 2D, en particulier des limites. Pour ce faire, dans l'onglet Géométrie.  Utilisez l'option modifiée pour ajouter des points, déplacer des points et supprimer des points. Maintenant, vous pouvez créer les lignes de délimitation à l'aide de  l'icône. Pour la rivière Upstream Baxter, le ruisseau tulle en amont et la rivière Downstream Baxter. La figure ci-dessous est pour la rivière Upstream Baxter. Assurez-vous que les lignes frontières en amont sont pas en dehors du canal principal de la rivière car cela donnera une zone d'inondation irréaliste. Assurez-vous également que les lignes de délimitation sont perpendiculaires au sens d'écoulement.

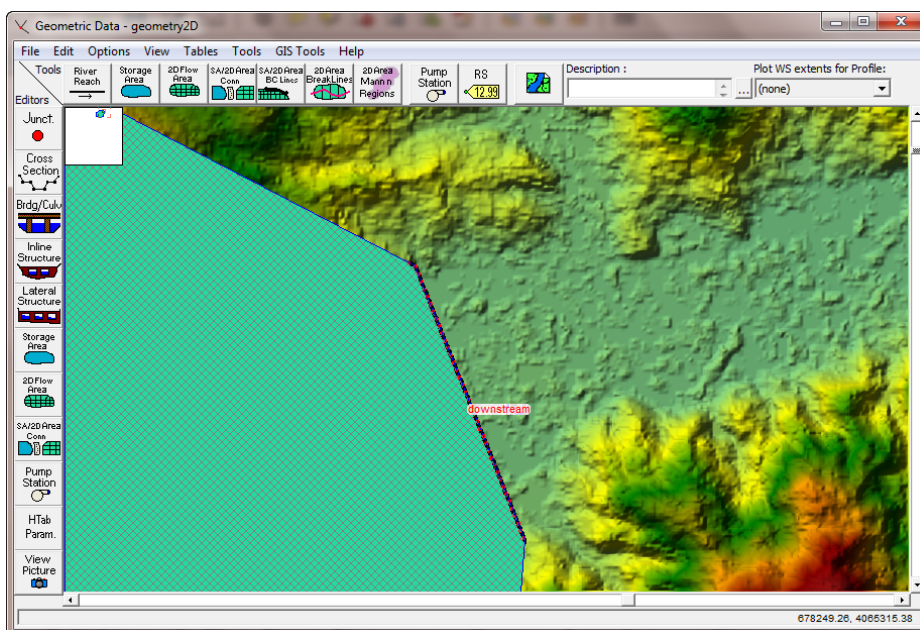


Figure IV.28. La ligne de délimitation en aval

Une fois que vous avez modifié les limites, vous voudrez peut-être reconstruire votre maillage. Une fois que c'est complet enregistrez vos données de géométrie et commencez à ajouter les conditions aux limites comme d'habitude (Édition / données de flux non stables). Vous pouvez utiliser les mêmes conditions de contribution que le 1D Unsteady Flux de données. Pour copier ces données, vous pouvez ouvrir une autre instance de HEC-RAS et copier les données directement (utilisez Ctrl "C" et Ctrl "V"). Maintenant, vous pouvez créer le plan avec les dates et paramètres de la simulation. Maintenant, vous devriez pouvoir exécuter le modèle.

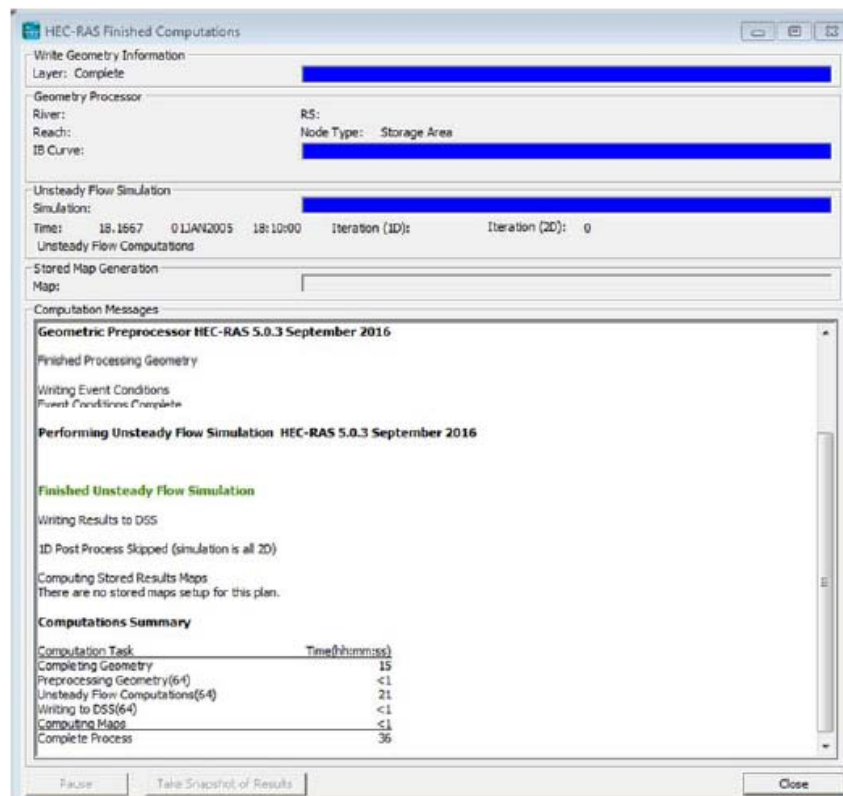
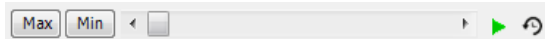


Figure IV.29. Fenêtre de la simulation

Une fois le modèle exécuté, la visualisation est effectuée dans RAS Mapper en cochant la case Résultats. Ici, vous souhaitez animer la profondeur de l'eau, la vitesse ou l'élévation de la surface de l'eau. Les résultats à différents moments peuvent être visualisés en faisant défiler l'onglet suivant vers la gauche ou vers la droite.



L'onglet ci-dessus se trouve dans le coin supérieur droit de la fenêtre du Mappeur RAS. Les deux figures ci-dessous montrent des instantanés de profondeur d'eau et de vitesse, respectivement.

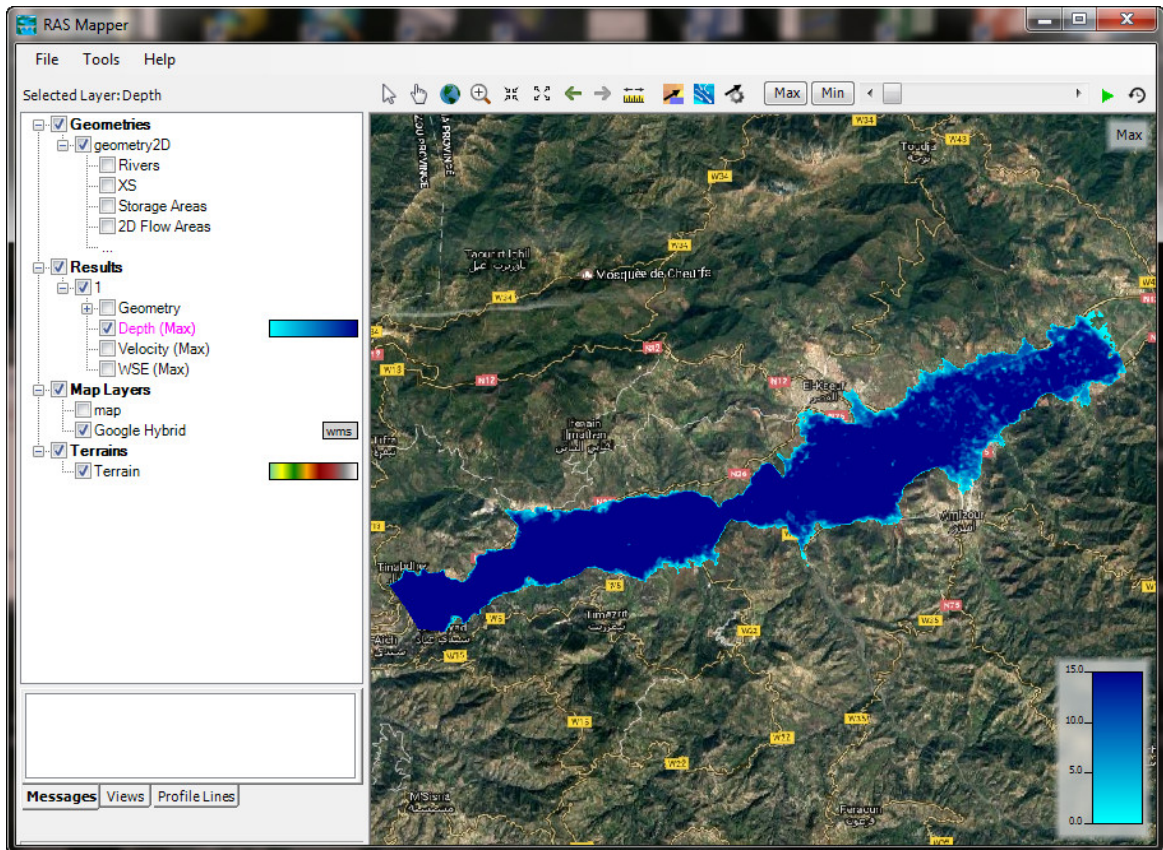


Figure IV.30. L'élévation du plan d'eau pour T = 100 ans

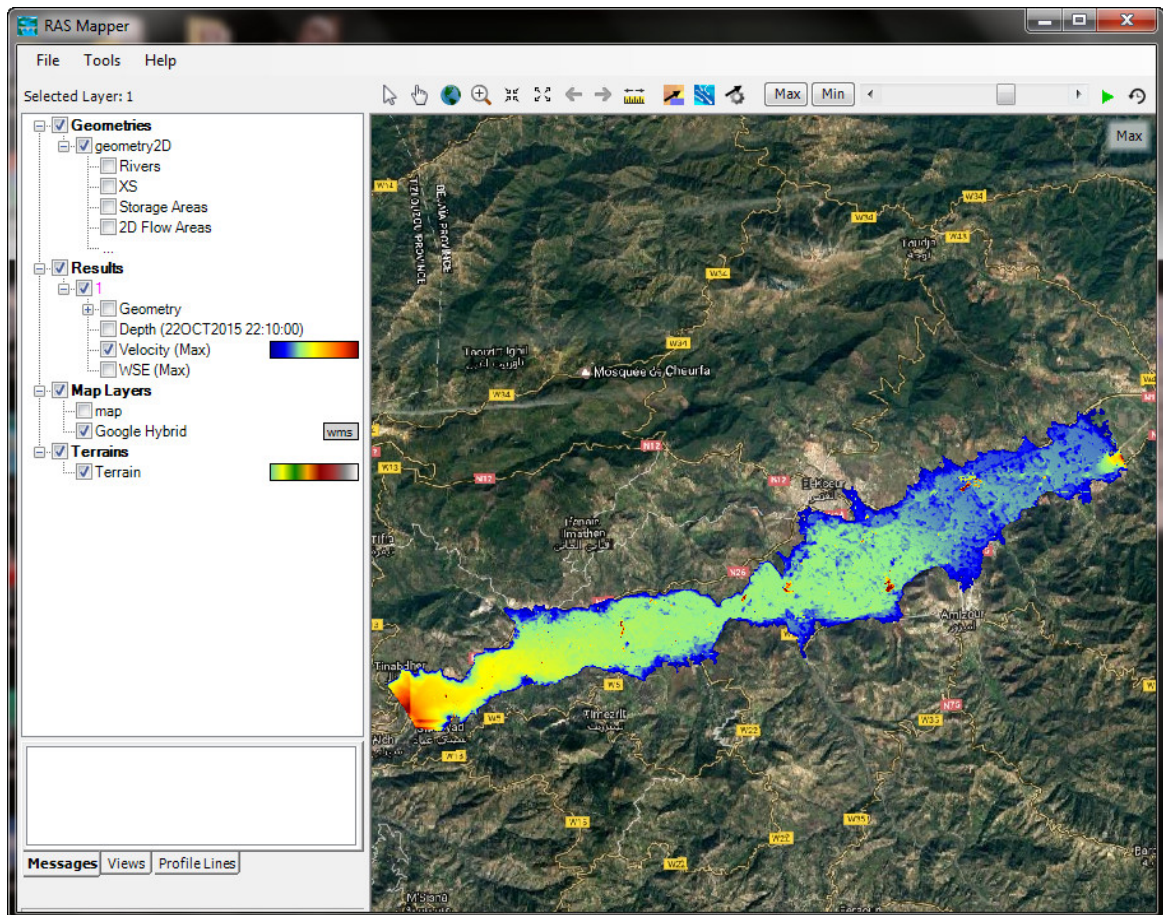




Figure IV.31. Vitesse de l'écoulement pour T = 100 ans

Si vous souhaitez visualiser le traçage des particules, vous pouvez utiliser l'icône  Puis cliquez sur l'icône  Pour sélectionner les paramètres du traçage. Voici un instantané du traçage des particules.

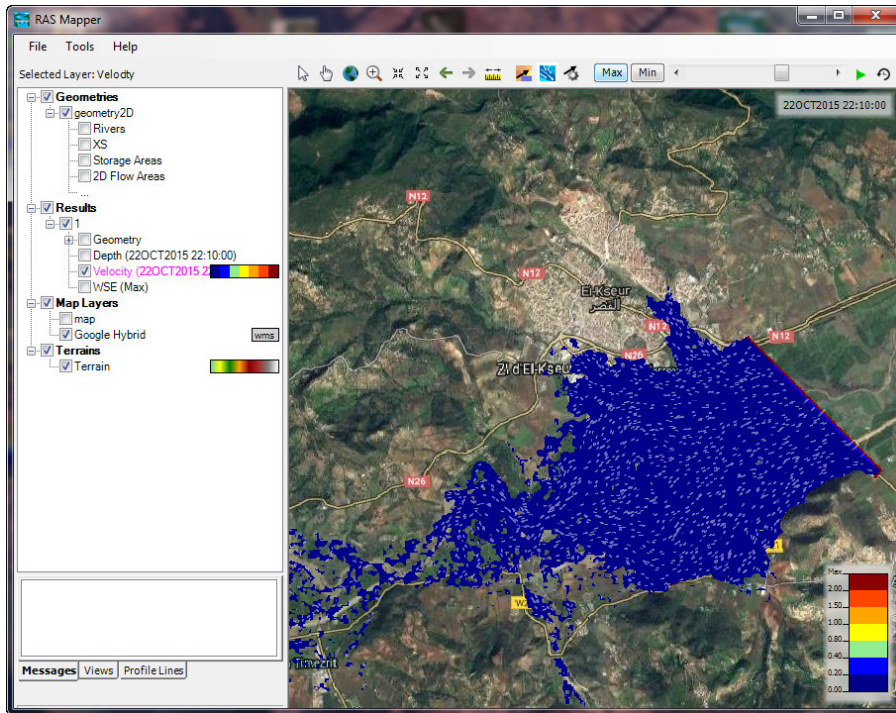


Figure IV.32. Les lignes de courant pour $T = 100$ ans



Figure IV.33. La zone inondable de la ville El-Kseur pour $T = 100$ ans

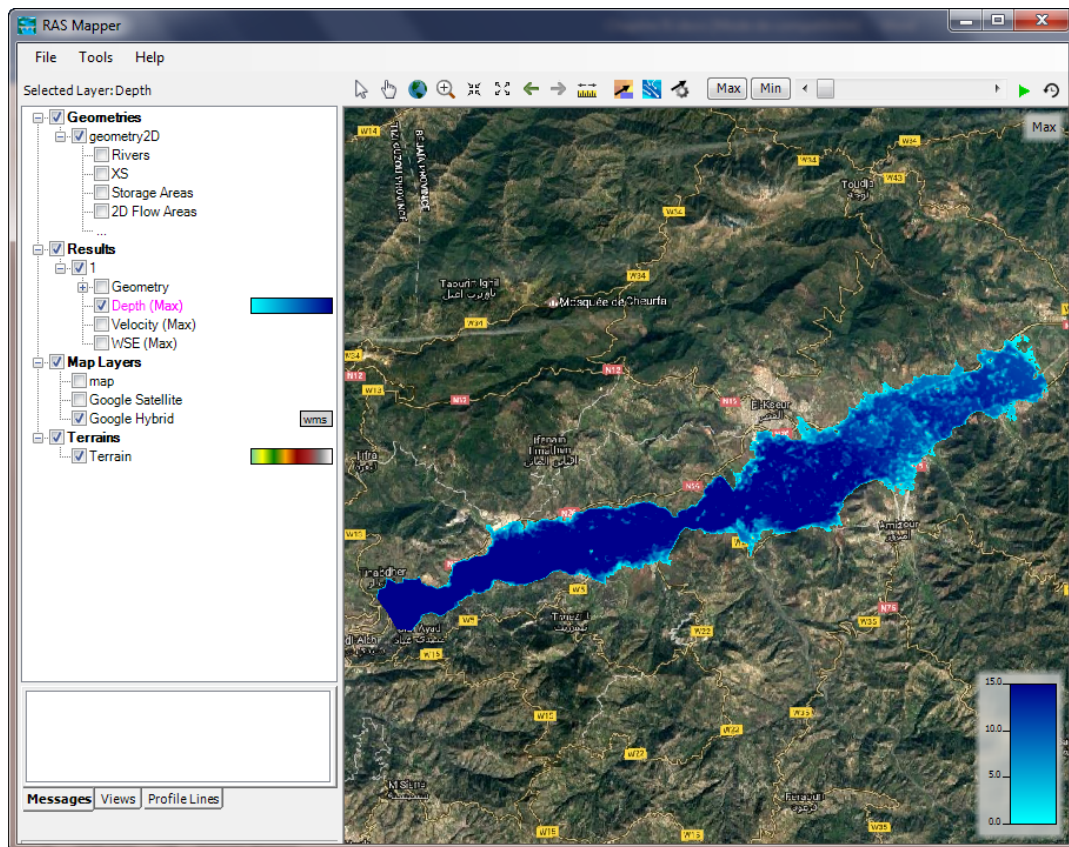


Figure IV.34. L'élévation du plan d'eau pour T = 10 ans

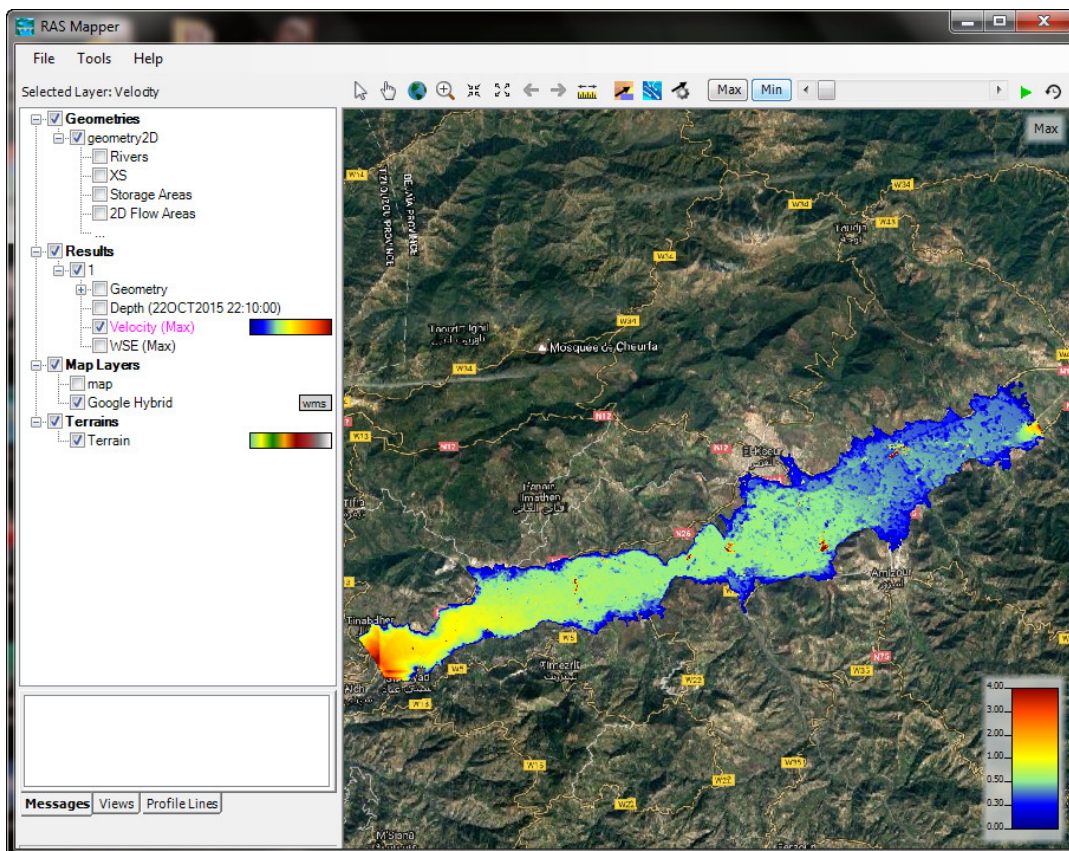


Figure IV.35. Vitesse de l'écoulement pour T = 10 ans

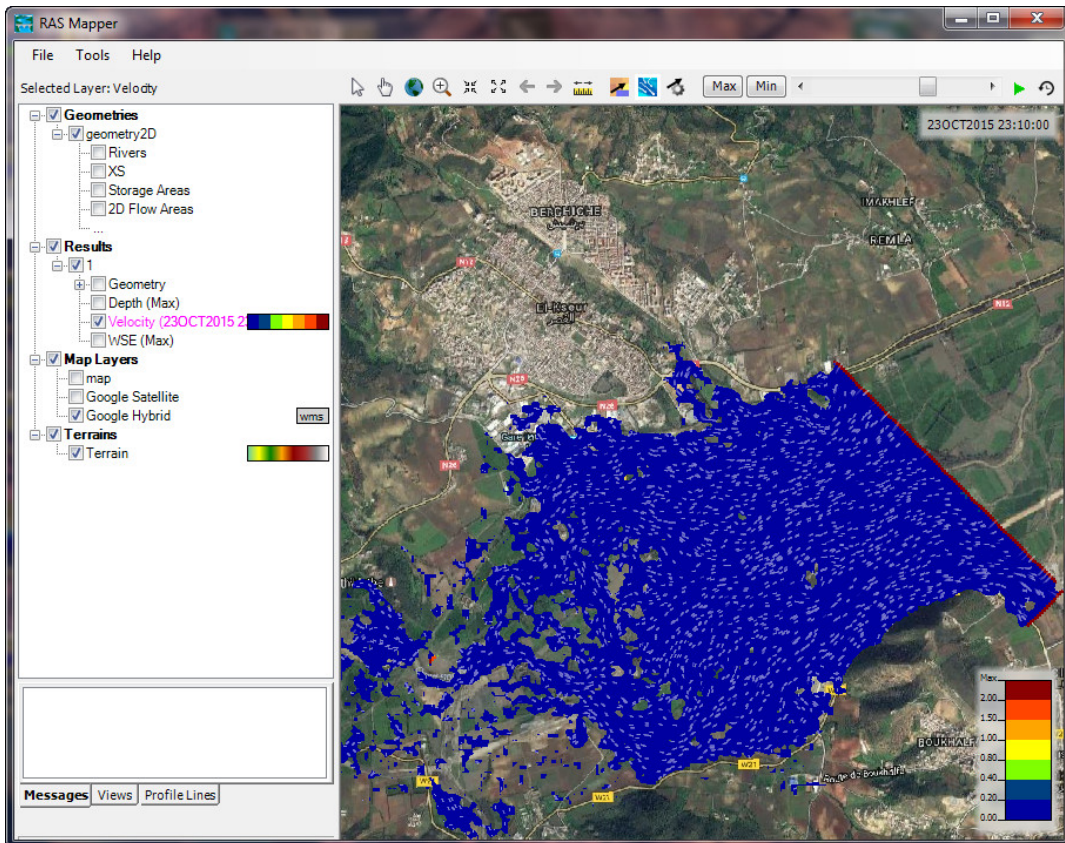


Figure IV.36. Les lignes de courant pour T = 10 ans

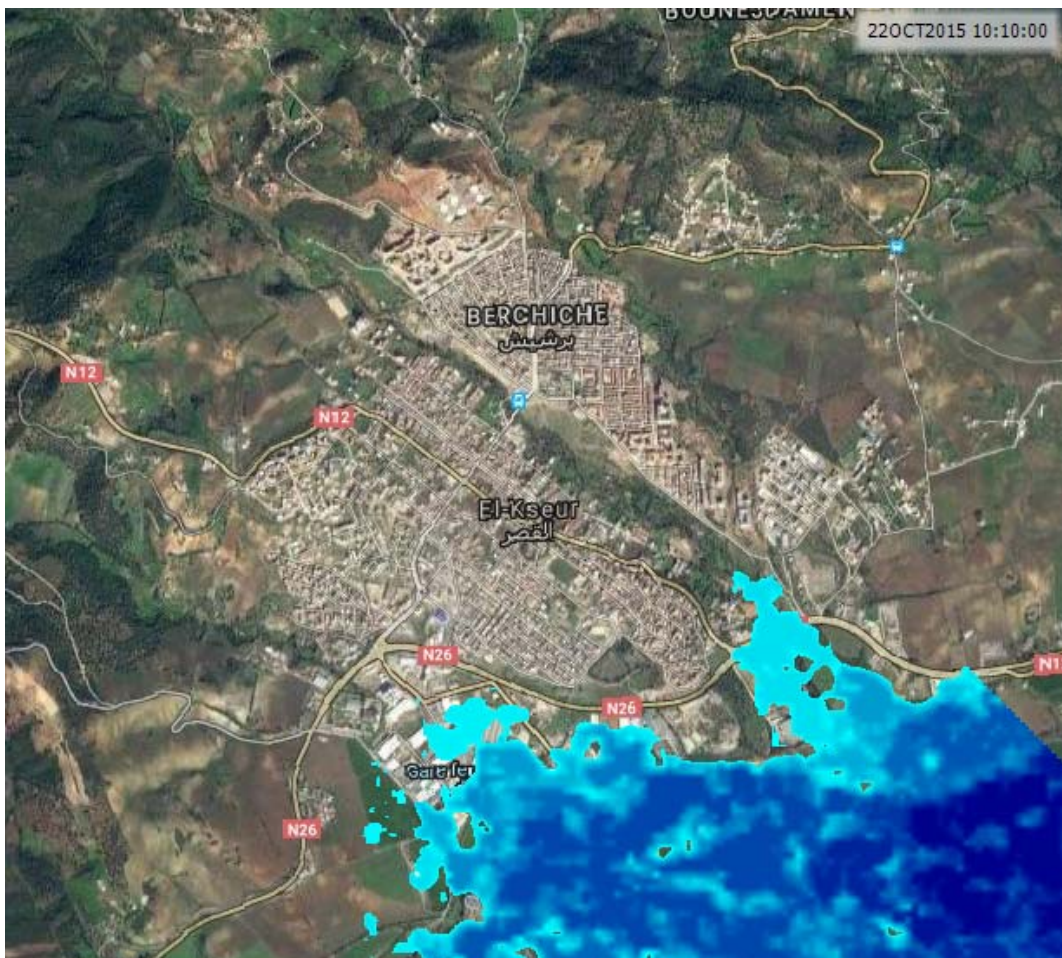


Figure IV.37. La zone inondable de la ville El-Kseur pour T = 10 ans

IV.4. Les aménagements de protection contre les inondations

Les ouvrages de génie civil constituent un patrimoine qu'il est nécessaire de maintenir, ce qui permet d'assurer la sécurité des biens et des personnes aussi garantir le fonctionnement et la pérennité des ouvrages sur le long terme sont les priorités. Il est donc essentiel de s'intéresser à la performance de ces ouvrages. Les ouvrages de protection peuvent être répartis en deux groupes : directes et indirectes.

IV.4.1. Protection directe (Rapprochées) :

La protection directe consiste à intervenir directement sur le site menacé par la mise en œuvre des actions suivantes :

- **Curage** : qui permet une nette amélioration des conditions d'écoulement suite à l'élimination de tous les obstacles et les dépôts entravant l'écoulement des eaux dans le cours d'eau. Le débroussaillage est également nécessaire à la traversée des agglomérations pour des raisons sanitaires et en sections courantes pour diminuer la rugosité et accroître la débitante.
- **Recalibrage** : qui permet d'élargir et d'approfondir les sections des cours d'eau pour augmenter leur capacité d'évacuation des eaux et assurer une section mouillée répondant aux critères de protections désirées.
- **Renforcement des ouvrages** : de franchissements des Oueds et modification de leurs caractéristiques et des systèmes existants en cas de leur insuffisance (ponts, dalots, buses...).
- **Réalisation des canaux** : permettant de régénérer le couloir initial de l'oued. Cette solution est indispensable dans le cas où le lit de l'oued et son domaine hydraulique ont été complètement occupé par des bâtiments ou par la voirie.
- **Protection des berges** : qui comprend tout ouvrage visant à maintenir la stabilité des terres en dépit de l'action de l'eau. Les berges sont en effet attaquées par des courants perturbateurs générés par les crues. De même, les terres glissent par suite de l'infiltration de l'eau après le retrait de la crue. La protection des berges est également nécessaire au voisinage de certains ouvrages tels que les ponts.
- **Endiguement des oueds** : par la réalisation de digues qui longent le cours d'eau sur ses deux berges. Cette opération est aisément réalisable par les ressources locales en main-d'œuvre et en matériaux. Par ailleurs, ce type de protection permet en outre de réaliser une protection sélective. Il peut en effet être établi graduellement en commençant par mettre à l'abri, de la plupart des crues, la partie la plus riche et la plus peuplée des zones exposées. En contrepartie on notera que ce procédé de protection présente l'inconvénient de provoquer une surélévation souvent notable du niveau des eaux et rend en outre plus difficile le drainage des terrains bas.

IV.4.2. Protection indirecte (Eloignées)

La protection indirecte par contre, consiste à intervenir plus loin des sites menacés, à l'extérieur du périmètre d'aménagement, en réalisant des ouvrages sur les oueds responsables des inondations :

- **Création des canaux périphériques** : de dérivation des eaux vers les oueds permettant de les restituer vers des zones situées en dehors des aires à protéger. Cette déviation pourrait concerner une partie ou la totalité des eaux d'un oued vers un autre.
- **Réalisation des barrages** : ou seuils pour stockage et laminage des crues à l'amont des zones menacées. Le volume et la capacité de laminage du barrage devront être optimisés de manière à répondre au-mieux à la protection envisagée.
- **Aménagement des bassins versants** : contre l'érosion par des méthodes biologiques et/ou par la construction de seuils en gabions qui permettent la réduction des vitesses d'écoulement et le dépôt des sédiments en amont.

L'ouvrage d'aménagement qui doit être mis en étude pour protéger la ville de El-Kseur contre le débordement de l'Oued Soummam est l'endiguement de ce dernier par la réalisation d'une digue. Donne une section transversale d'une digue type :

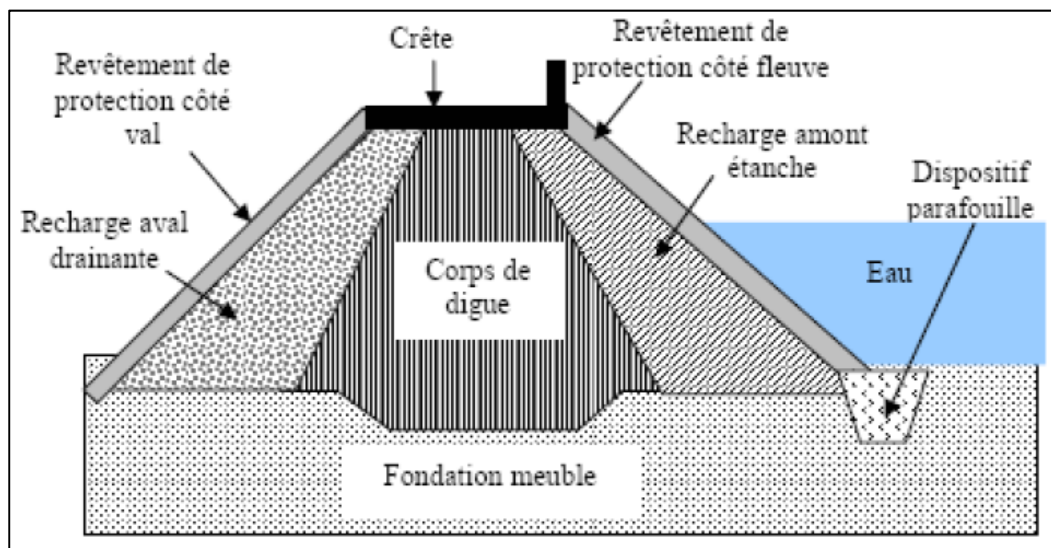


Figure IV.38. Coupe type de digue [21]

IV.5. Conclusion

La réalisation et l'étude de la modélisation hydraulique du tronçon d'Oued Soummam qui coule de la wilaya de Bejaïa permet de faire le diagnostic de cette zone d'étude pour tout événement hydraulique. Cette simulation consiste à calculer les hauteurs d'eau et déterminer les zones de débordement en utilisant le Système d'Information géographique « SIG » et le logiciel de modélisation de rivières HEC-RAS qui permettent de reproduire l'état de la zone naturelle à l'état numérique.

Conclusion générale

Conclusion générale

La synthèse des risques liés aux inondations dues aux débordements des cours d'eau est basée essentiellement sur trois principaux concepts : hydrologique, hydraulique et cartographique. L'hydrologie permet d'alimenter le modèle hydraulique par les conditions aux limites amont à l'aide d'hydrogrammes synthétiques mono-fréquence et permet d'alimenter le coter socio-économique pour donner une mesure équivalente de la vulnérabilité. La composante hydraulique permet de faire une simulation nécessaire afin de déterminer l'aléa et de fournir les courbes de tarages locales nécessaires au calcul de la vulnérabilité. Cette simulation unidimensionnelle ou l'écoulement à surface libre non permanent est décomposée en écoulement dans le canal principal et écoulement dans les plaines d'inondation actives.

Le choix du logiciel HEC-RAS pour effectuer cette simulation hydraulique est conditionné par la nature des données topographiques qui existent, car cette composante sert en entrée du modèle hydraulique comme condition à la limite, et comme une composante cartographique nécessaire à la représentation spatiale de l'aléa.

La cartographie sert à représenter les résultats de l'hydraulique, c'est-à-dire la variable caractérisant l'aléa et de la socio-économie, c'est-à-dire la variable caractérisant la vulnérabilité. La cartographie de ces deux variables aboutit à une carte de répartition spatiale du risque le long du cours d'eau.

La carte du risque d'inondation devrait pouvoir servir de base de connaissance nécessaire à la mise en place d'un système d'aide à la gestion pour que les aménagements préconisés puissent être testés et analysés dans le contexte global du bassin versant. En matière d'aménagement, le ralentissement dynamique consiste à utiliser autant des solutions qui visent à ralentir l'eau mais uniquement aux périodes les plus critiques, c'est-à-dire pendant les événements de crues eux-mêmes soit limités à quelques heures ou quelques jours.

L'étude de la vulnérabilité est une étape indispensable de toute étude de risque qui se veut complète sous peine de n'identifier qu'une seule des deux composantes qui qualifie une situation à risque. L'impossibilité de se prémunir de tout risque a pour corollaire naturel la nécessité de définir un niveau de risque acceptable ou plutôt un aléa admissible qui traduit le fait qu'une zone soumise à un risque acceptable n'est en fait plus une zone à risque : la gestion opérationnelle de cette situation ne doit plus se traduire par de nouveaux aménagements qui viendraient modifier le niveau d'aléa subi mais par des mesures d'une autre nature : prévision – aléa – gestion nécessaires pour rendre supportable ce risque (cet aléa) accepté.

Conclusion générale

D'autres recherches sont encore nécessaires pour améliorer les méthodes hydrologiques et hydrauliques pour une meilleure stabilisation et définition du concept du régime hydrologique et amélioration des connaissances sur le processus à l'origine du phénomène d'inondation et l'intégration des données socio-économique prise en compte des critères de qualité de l'eau.

Enfin et dans un cadre de préparation d'autres mémoires, ce sujet sera enrichi et complété par les axes de recherche suivants :

Validation de la cartographie en basant sur l'utilisation des images satellitaires, les photographies aériennes et l'observation de terrain.

- Cartographie de l'aléa des enjeux exposés (soit par approche quantitative ou qualitative).
- Comparaison entre la cartographie du risque inondation par approche de modélisation hydraulique, hydro géomorphologique.

Et dans un cadre Professionnel, Nous espérons que nous avons l'occasion de travailler sur le même sujet dans une équipe afin de mettre en œuvre une méthodologie consistante de gestion du risque des inondations.

Bibliographie

- [1] : LEDOUX, Bruno. « *La gestion du risque inondation* », 11 rue Lavoisier-Paris, Edition TEC et DOC, 2006.
- [2] : ANDRE, Musy. « *Hydrologie générale* », Bucarest, édition HGA, 1998.
- [3] : Gilard, O. et Gendreau, N. « *Inondabilité : une méthode de prévention raisonnable du risque d'inondation pour une gestion mieux intégrée des bassins versants.* », *Revue des sciences de l'eau*, 429 – 444 P. 3 (1998).
- [4] : MERABET. « *Protection de la ville de béni-ounif (BECHAR) contre les inondations application de logiciels HEC-HMS et HEC-RAS* », 2006.
- [5] : BLIN, Pierrick. « *Développement d'une nouvelle méthode de cartographie du risque unitaire d'inondation (crue) pour des résidences* », Canada, Thèse de Grande de Maître-Université du Québec, 2001.
- [6] : N'GAHANE, Pierre. « *Service Interministériel de Défense et de Protection Civiles de la Préfecture des Alpes de Haute-Provence* », Marseille, juillet 2009.
- [7] : Base de données internationale sur les catastrophes naturelles et technologiques (EM-DAT).
- [8] : (DGPC) Direction Générale du Protection Civil, Algérie, 2007.
- [9] : Recensement de l'ONS, 1998.
- [10] : ABH, 2003.
- [11] : Nalouf, F. « *Estimation du bilan hydrologique à l'échelle du bassin versant de la Soummam, Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master II* », 2010-2011.
- [12] : CHARIFI, S. « *Application du modèle hydrologique GR2M sur les bassins versants de la Soummam et de l'Isser* ». Mémoire de magistère, Alger, Ecole National polytechnique, 2006.
- [13] : GILLOT, A. et Petre, « *La météo et ses secrets* », France, Edition Fernand Nathan, 1982.
- [14] : « *Technologie des eaux résiduaires, production, collecte, traitement et analyse des eaux résiduaires* », PARIS, Edition Springer-verlag.
- [15] : O.N.M (office nationale de météorologie).
- [16] : Leclerc, M. « *Cours d'hydrodynamique fluviale : l'analyse, la prévention et l'aménagement des risques d'inondation* ». INRS-EAU, 67 P, 2000.
- [17] : ANRH, Blida ou de IO.N.M de dar el beida, Station El Hamis.
- [18] : Henine, H. « *Interfaçage entre un modèle hydrologique / modèle hydrodynamique au sein d'un système d'information intégré sous web incluent les SIG. Magister* ». ENP. Alger, 2004.
- [19] : www.sigea.educagri.fr.

[20] : MERRIEN SOUKATCHOFF, « *Eléments d'Hydrologie et d'hydrogéologie* », Ecole miens de Nancy.

[21] : Serre, D. « *Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations : Modélisation de critères de décision dans un Système d'Information Géographique* ». Thèse de Doctorat des Sciences de l'Information Géographique. Univ. Marne-La-Vallée, 2005.

HEC-RAS Plan: Plan 02 River: Oued Soummam Reach: Aval

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Aval	23953.2	Q 10 ans	1102.82	121.00	123.01		123.07	0.000715	1.04	1057.31	835.31	0.30
Aval	23953.2	Q 50 ans	2377.17	121.00	124.50		124.54	0.000261	0.88	2709.39	1301.47	0.19
Aval	23953.2	Q 100 ans	1945.61	121.00	123.98		124.03	0.000446	0.95	2039.43	1291.98	0.24
Aval	23953.2	Q 1000 ans	4167.02	121.00	126.57		126.60	0.000081	0.77	5442.55	1338.40	0.12
Aval	23474.94	Q 10 ans	1102.82	121.00	122.53		122.63	0.001156	1.40	786.54	571.35	0.38
Aval	23474.94	Q 50 ans	2377.17	121.00	124.30		124.39	0.000359	1.27	1869.92	653.75	0.24
Aval	23474.94	Q 100 ans	1945.61	121.00	123.71		123.80	0.000481	1.30	1492.50	626.28	0.27
Aval	23474.94	Q 1000 ans	4167.02	121.00	126.46		126.54	0.000179	1.23	3400.14	745.00	0.18
Aval	22945.8	Q 10 ans	1102.82	114.93	119.95	119.95	121.30	0.006417	5.15	214.32	79.44	1.00
Aval	22945.8	Q 50 ans	2377.17	114.93	121.89	121.89	123.72	0.005796	6.00	396.31	108.11	1.00
Aval	22945.8	Q 100 ans	1945.61	114.93	121.32	121.32	123.02	0.005981	5.77	336.98	99.67	1.00
Aval	22945.8	Q 1000 ans	4167.02	114.93	123.67	123.67	126.04	0.005417	6.81	611.68	130.81	1.01
Aval	22516.89	Q 10 ans	1102.82	113.00	116.00	116.42	117.26	0.014834	4.97	221.96	163.60	1.36
Aval	22516.89	Q 50 ans	2377.17	113.00	116.59	117.32	119.04	0.026546	6.94	342.77	237.11	1.84
Aval	22516.89	Q 100 ans	1945.61	113.00	116.47	117.06	118.43	0.023369	6.19	314.28	234.29	1.71
Aval	22516.89	Q 1000 ans	4167.02	113.00	117.10	118.31	121.20	0.031020	8.97	464.70	245.65	2.08
Aval	22014.38	Q 10 ans	1102.82	111.00	113.62	113.17	113.85	0.002751	2.14	515.87	381.38	0.59
Aval	22014.38	Q 50 ans	2377.17	111.00	114.38	113.85	114.81	0.003028	2.91	816.02	407.45	0.66
Aval	22014.38	Q 100 ans	1945.61	111.00	114.15	113.65	114.52	0.002946	2.69	723.92	399.63	0.64
Aval	22014.38	Q 1000 ans	4167.02	111.00	115.10	114.59	115.81	0.003512	3.72	1121.49	434.45	0.74
Aval	21515.19	Q 10 ans	1102.82	111.00	112.44		112.61	0.002215	1.80	613.56	499.95	0.52
Aval	21515.19	Q 50 ans	2377.17	111.00	113.28		113.53	0.002018	2.21	1074.66	597.90	0.53
Aval	21515.19	Q 100 ans	1945.61	111.00	113.02		113.25	0.002089	2.11	921.08	563.62	0.53
Aval	21515.19	Q 1000 ans	4167.02	111.00	114.30		114.58	0.001515	2.35	1771.80	724.93	0.48
Aval	20661.72	Q 10 ans	1102.82	109.00	110.63		110.81	0.001975	1.91	577.34	393.68	0.50
Aval	20661.72	Q 50 ans	2377.17	109.00	111.65		111.93	0.001741	2.37	1003.52	450.44	0.51
Aval	20661.72	Q 100 ans	1945.61	109.00	111.34		111.59	0.001773	2.24	867.63	428.83	0.50
Aval	20661.72	Q 1000 ans	4167.02	109.00	112.93		113.25	0.001593	2.49	1673.45	651.96	0.50
Aval	20119.04	Q 10 ans	1102.82	108.00	110.46		110.48	0.000233	0.67	1636.48	1073.85	0.17
Aval	20119.04	Q 50 ans	2377.17	108.00	111.60		111.63	0.000184	0.78	3054.49	1352.29	0.17
Aval	20119.04	Q 100 ans	1945.61	108.00	111.25		111.27	0.000208	0.75	2585.36	1318.16	0.17
Aval	20119.04	Q 1000 ans	4167.02	108.00	112.97		113.00	0.000123	0.84	4989.41	1466.00	0.14
Aval	19522.87	Q 10 ans	1102.82	108.00	110.41		110.42	0.000054	0.39	2800.57	1367.10	0.09
Aval	19522.87	Q 50 ans	2377.17	108.00	111.55		111.56	0.000061	0.54	4410.56	1475.66	0.10
Aval	19522.87	Q 100 ans	1945.61	108.00	111.20		111.21	0.000060	0.50	3891.34	1448.52	0.10
Aval	19522.87	Q 1000 ans	4167.02	108.00	112.93		112.95	0.000053	0.64	6463.94	1496.67	0.10
Aval	18947.03	Q 10 ans	1102.82	108.00	110.35		110.37	0.000193	0.64	1717.78	1051.04	0.16
Aval	18947.03	Q 50 ans	2377.17	108.00	111.48		111.51	0.000169	0.79	3016.49	1228.11	0.16
Aval	18947.03	Q 100 ans	1945.61	108.00	111.12		111.15	0.000180	0.75	2589.32	1188.68	0.16
Aval	18947.03	Q 1000 ans	4167.02	108.00	112.87		112.91	0.000126	0.86	4835.71	1384.11	0.15
Aval	18219.04	Q 10 ans	1102.82	108.00	110.18		110.21	0.000236	0.79	1393.28	725.13	0.18
Aval	18219.04	Q 50 ans	2377.17	108.00	111.30		111.35	0.000262	1.05	2255.66	824.70	0.20
Aval	18219.04	Q 100 ans	1945.61	108.00	110.94		110.99	0.000260	0.99	1969.78	789.54	0.20
Aval	18219.04	Q 1000 ans	4167.02	108.00	112.71		112.79	0.000208	1.20	3467.87	875.37	0.19
Aval	17637.64	Q 10 ans	1102.82	108.00	109.93		110.00	0.000562	1.19	928.73	504.18	0.28
Aval	17637.64	Q 50 ans	2377.17	108.00	111.00		111.13	0.000600	1.60	1481.77	537.27	0.31
Aval	17637.64	Q 100 ans	1945.61	108.00	110.65		110.77	0.000606	1.50	1299.22	526.58	0.30
Aval	17637.64	Q 1000 ans	4167.02	108.00	112.43		112.60	0.000484	1.82	2285.48	582.01	0.29
Aval	17241.99	Q 10 ans	1102.82	108.00	109.47		109.62	0.001928	1.72	641.09	503.06	0.49
Aval	17241.99	Q 50 ans	2377.17	108.00	110.63		110.81	0.001097	1.88	1267.62	572.21	0.40
Aval	17241.99	Q 100 ans	1945.61	108.00	110.24		110.42	0.001311	1.85	1051.63	553.79	0.43
Aval	17241.99	Q 1000 ans	4167.02	108.00	112.21		112.39	0.000596	1.86	2234.40	643.27	0.32
Aval	16537.39	Q 10 ans	1102.82	104.00	106.17	106.17	107.19	0.007129	4.46	247.03	122.95	1.01
Aval	16537.39	Q 50 ans	2377.17	104.00	107.55	107.55	109.15	0.006153	5.60	424.81	134.56	1.01
Aval	16537.39	Q 100 ans	1945.61	104.00	107.13	107.13	108.55	0.006380	5.28	368.53	130.99	1.01
Aval	16537.39	Q 1000 ans	4167.02	104.00	109.07	109.07	111.24	0.005496	6.52	638.77	147.31	1.00
Aval	16232.17	Q 10 ans	1102.82	100.00	101.65	102.24	103.69	0.019754	6.33	174.19	109.36	1.60
Aval	16232.17	Q 50 ans	2377.17	100.00	102.73	103.70	106.04	0.017034	8.06	294.85	114.38	1.60
Aval	16232.17	Q 100 ans	1945.61	100.00	102.39	103.25	105.34	0.017927	7.61	255.79	112.78	1.61
Aval	16232.17	Q 1000 ans	4167.02	100.00	104.02	105.32	108.46	0.014205	9.33	446.59	120.39	1.55

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Aval	15735.1	Q 10 ans	1102.82	97.00	101.56	99.30	101.70	0.000465	1.65	666.61	190.45	0.28
Aval	15735.1	Q 50 ans	2377.17	97.00	103.61	100.46	103.85	0.000506	2.18	1089.95	218.78	0.31
Aval	15735.1	Q 100 ans	1945.61	97.00	103.00	100.11	103.21	0.000498	2.03	958.38	211.83	0.30
Aval	15735.1	Q 1000 ans	4167.02	97.00	105.64	101.73	106.00	0.000535	2.68	1553.81	237.99	0.34
Aval	15114.59	Q 10 ans	1102.82	96.90	101.27		101.41	0.000494	1.64	672.20	203.08	0.29
Aval	15114.59	Q 50 ans	2377.17	96.90	103.31		103.55	0.000484	2.16	1099.48	215.39	0.31
Aval	15114.59	Q 100 ans	1945.61	96.90	102.70		102.91	0.000482	2.01	969.58	212.00	0.30
Aval	15114.59	Q 1000 ans	4167.02	96.90	105.30		105.68	0.000518	2.71	1539.83	226.07	0.33
Aval	13887.63	Q 10 ans	1102.82	96.00	98.83	98.71	99.85	0.005881	4.48	246.17	105.68	0.94
Aval	13887.63	Q 50 ans	2377.17	96.00	100.29	100.29	101.96	0.006031	5.72	415.24	125.62	1.01
Aval	13887.63	Q 100 ans	1945.61	96.00	99.81	99.81	101.33	0.006236	5.46	356.18	118.57	1.01
Aval	13887.63	Q 1000 ans	4167.02	96.00	102.05	102.05	104.02	0.005639	6.22	670.07	170.30	1.00
Aval	13397.4	Q 10 ans	1102.82	94.23	97.21	96.64	97.62	0.003112	2.86	385.83	202.21	0.66
Aval	13397.4	Q 50 ans	2377.17	94.23	98.54	97.76	99.14	0.002704	3.44	691.65	247.37	0.66
Aval	13397.4	Q 100 ans	1945.61	94.23	98.14	97.43	98.69	0.002879	3.27	595.31	240.69	0.66
Aval	13397.4	Q 1000 ans	4167.02	94.23	100.04	98.83	100.79	0.002134	3.86	1080.79	272.27	0.62
Aval	12953.18	Q 10 ans	1102.82	92.50	94.63	94.63	95.54	0.007397	4.21	261.66	146.32	1.01
Aval	12953.18	Q 50 ans	2377.17	92.50	95.85	95.85	97.30	0.006343	5.33	445.97	155.98	1.01
Aval	12953.18	Q 100 ans	1945.61	92.50	95.47	95.47	96.76	0.006604	5.02	387.61	152.99	1.01
Aval	12953.18	Q 1000 ans	4167.02	92.50	97.20	97.20	99.21	0.005685	6.28	663.14	166.64	1.01
Aval	12466.75	Q 10 ans	1102.82	89.46	93.06	91.62	93.21	0.000739	1.72	640.88	244.36	0.34
Aval	12466.75	Q 50 ans	2377.17	89.46	94.50	92.53	94.79	0.000839	2.36	1005.87	261.69	0.38
Aval	12466.75	Q 100 ans	1945.61	89.46	94.10	92.26	94.34	0.000793	2.16	900.30	256.80	0.37
Aval	12466.75	Q 1000 ans	4167.02	89.46	95.93	93.55	96.38	0.000957	3.00	1390.06	279.21	0.43
Aval	11844.75	Q 10 ans	1102.82	89.00	92.49		92.67	0.001016	1.88	587.13	249.51	0.39
Aval	11844.75	Q 50 ans	2377.17	89.00	93.87		94.17	0.001201	2.43	979.18	320.74	0.44
Aval	11844.75	Q 100 ans	1945.61	89.00	93.49		93.75	0.001138	2.26	860.40	301.30	0.43
Aval	11844.75	Q 1000 ans	4167.02	89.00	95.23		95.63	0.001490	2.80	1486.06	460.96	0.50
Aval	11128.29	Q 10 ans	1102.82	86.52	90.21	90.21	91.05	0.007625	4.06	271.68	164.30	1.01
Aval	11128.29	Q 50 ans	2377.17	86.52	91.41	91.41	92.36	0.007268	4.32	550.78	293.39	1.01
Aval	11128.29	Q 100 ans	1945.61	86.52	91.12	91.12	92.00	0.007427	4.16	468.07	268.10	1.00
Aval	11128.29	Q 1000 ans	4167.02	86.52	92.33	92.33	93.58	0.006629	4.96	840.43	339.21	1.01
Aval	10434.48	Q 10 ans	1102.82	85.00	87.89	86.31	88.01	0.000585	1.55	709.99	265.04	0.30
Aval	10434.48	Q 50 ans	2377.17	85.00	89.78	87.17	89.97	0.000492	1.91	1242.88	298.24	0.30
Aval	10434.48	Q 100 ans	1945.61	85.00	89.21	86.91	89.38	0.000512	1.81	1074.63	288.17	0.30
Aval	10434.48	Q 1000 ans	4167.02	85.00	91.78	88.15	92.02	0.000469	2.19	1902.50	359.06	0.30
Aval	9945.797	Q 10 ans	1102.82	83.60	86.16	86.16	87.23	0.006961	4.59	240.02	112.67	1.01
Aval	9945.797	Q 50 ans	2377.17	83.60	87.66	87.66	89.25	0.006048	5.57	426.61	134.80	1.00
Aval	9945.797	Q 100 ans	1945.61	83.60	87.20	87.20	88.64	0.006307	5.32	365.89	128.02	1.00
Aval	9945.797	Q 1000 ans	4167.02	83.60	89.21	89.21	91.29	0.005545	6.38	652.80	157.50	1.00
Aval	9515.621	Q 10 ans	1102.82	81.00	82.41	82.59	83.41	0.011623	4.42	249.47	182.45	1.21
Aval	9515.621	Q 50 ans	2377.17	81.00	83.03	83.68	85.19	0.016088	6.51	365.16	190.57	1.50
Aval	9515.621	Q 100 ans	1945.61	81.00	82.84	83.33	84.63	0.014894	5.92	328.51	186.50	1.42
Aval	9515.621	Q 1000 ans	4167.02	81.00	83.77	85.02	87.13	0.019062	8.12	513.29	218.40	1.69
Aval	9017.793	Q 10 ans	1102.82	77.00	79.75	78.64	79.87	0.000840	1.52	723.40	364.41	0.35
Aval	9017.793	Q 50 ans	2377.17	77.00	80.81	79.36	81.03	0.001041	2.08	1140.93	422.44	0.40
Aval	9017.793	Q 100 ans	1945.61	77.00	80.50	79.15	80.68	0.000989	1.93	1010.07	405.03	0.39
Aval	9017.793	Q 1000 ans	4167.02	77.00	81.88	80.16	82.21	0.001189	2.57	1623.36	485.16	0.45
Aval	8244.001	Q 10 ans	1102.82	77.00	78.52		78.76	0.002895	2.17	509.14	383.08	0.60
Aval	8244.001	Q 50 ans	2377.17	77.00	79.28		79.72	0.003100	2.94	809.86	406.38	0.66
Aval	8244.001	Q 100 ans	1945.61	77.00	79.05		79.42	0.003041	2.71	717.19	399.34	0.65
Aval	8244.001	Q 1000 ans	4167.02	77.00	80.05		80.75	0.003256	3.70	1126.61	414.46	0.72
Aval	7226.013	Q 10 ans	1102.82	74.00	76.03		76.21	0.002158	1.87	590.17	444.55	0.52
Aval	7226.013	Q 50 ans	2377.17	74.00	76.94		77.21	0.001935	2.31	1027.42	517.41	0.52
Aval	7226.013	Q 100 ans	1945.61	74.00	76.66		76.90	0.002013	2.20	884.33	494.75	0.53
Aval	7226.013	Q 1000 ans	4167.02	74.00	77.90		78.26	0.001770	2.67	1562.46	594.46	0.53
Aval	6841.565	Q 10 ans	1102.82	71.07	74.10	74.10	74.70	0.008393	3.43	321.08	268.77	1.00
Aval	6841.565	Q 50 ans	2377.17	71.07	74.92	74.92	75.84	0.007537	4.24	560.83	315.79	1.02
Aval	6841.565	Q 100 ans	1945.61	71.07	74.68	74.68	75.50	0.007641	4.00	486.37	301.83	1.01
Aval	6841.565	Q 1000 ans	4167.02	71.07	75.81	75.81	77.00	0.006699	4.82	864.39	367.21	1.00
Aval	6366.973	Q 10 ans	1102.82	71.00	73.69	72.35	73.73	0.000338	0.94	1177.47	622.57	0.22
Aval	6366.973	Q 50 ans	2377.17	71.00	74.88	72.88	74.95	0.000328	1.22	1950.27	679.38	0.23
Aval	6366.973	Q 100 ans	1945.61	71.00	74.53	72.73	74.59	0.000325	1.13	1717.46	663.13	0.22
Aval	6366.973	Q 1000 ans	4167.02	71.00	75.97	73.43	76.09	0.000377	1.52	2732.52	754.45	0.26
Aval	5908.58	Q 10 ans	1102.82	71.00	72.58	72.58	73.24	0.008218	3.60	306.64	235.66	1.01
Aval	5908.58	Q 50 ans	2377.17	71.00	73.55	73.55	74.46	0.006966	4.22	571.18	335.96	0.98
Aval	5908.58	Q 100 ans	1945.61	71.00	73.24	73.24	74.11	0.007386	4.13	472.34	286.32	1.00

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Aval	5908.58	Q 1000 ans	4167.02	71.00	74.45	74.45	75.54	0.006695	4.68	935.49	480.06	1.00
Aval	5203.589	Q 10 ans	1102.82	68.00	69.61	69.10	69.78	0.002413	1.85	595.69	494.75	0.54
Aval	5203.589	Q 50 ans	2377.17	68.00	70.37	69.75	70.65	0.002460	2.33	1021.02	609.81	0.57
Aval	5203.589	Q 100 ans	1945.61	68.00	70.17	69.56	70.41	0.002363	2.15	903.51	588.62	0.56
Aval	5203.589	Q 1000 ans	4167.02	68.00	71.27	70.37	71.62	0.001948	2.60	1603.57	681.51	0.54
Aval	4664.305	Q 10 ans	1102.82	66.00	68.30	67.79	68.46	0.002513	1.80	612.76	547.71	0.54
Aval	4664.305	Q 50 ans	2377.17	66.00	68.99	68.46	69.22	0.002796	2.12	1121.23	849.10	0.59
Aval	4664.305	Q 100 ans	1945.61	66.00	68.82	68.23	69.02	0.002774	1.98	981.41	817.20	0.58
Aval	4664.305	Q 1000 ans	4167.02	66.00	69.05	69.05	69.69	0.008091	3.56	1169.29	901.53	1.00
Aval	3619.213	Q 10 ans	1102.82	61.70	63.33	63.33	63.71	0.010515	2.71	407.31	576.39	1.03
Aval	3619.213	Q 50 ans	2377.17	61.70	63.83	63.83	64.40	0.008836	3.34	712.11	645.74	1.02
Aval	3619.213	Q 100 ans	1945.61	61.70	63.68	63.68	64.19	0.009053	3.14	618.84	625.33	1.01
Aval	3619.213	Q 1000 ans	4167.02	61.70	65.11	64.37	65.45	0.002111	2.58	1617.56	743.07	0.56
Aval	3192.699	Q 10 ans	1102.82	58.00	62.00	60.40	62.11	0.000789	1.49	738.32	366.15	0.34
Aval	3192.699	Q 50 ans	2377.17	58.00	63.25	61.43	63.44	0.000809	1.94	1227.82	420.11	0.36
Aval	3192.699	Q 100 ans	1945.61	58.00	62.88	61.12	63.04	0.000796	1.81	1075.64	402.62	0.35
Aval	3192.699	Q 1000 ans	4167.02	58.00	64.62		64.85	0.000921	2.12	1961.39	643.77	0.39
Aval	1734.087	Q 10 ans	1102.82	58.00	59.82		60.11	0.002858	2.40	459.05	292.64	0.61
Aval	1734.087	Q 50 ans	2377.17	58.00	60.57		61.15	0.004057	3.37	715.83	381.72	0.76
Aval	1734.087	Q 100 ans	1945.61	58.00	60.35		60.84	0.003734	3.10	633.47	361.15	0.72
Aval	1734.087	Q 1000 ans	4167.02	58.00	61.32	61.05	62.19	0.004841	4.17	1023.75	447.92	0.86
Aval	1350.867	Q 10 ans	1102.82	57.00	59.42		59.50	0.000862	1.24	887.76	620.18	0.33
Aval	1350.867	Q 50 ans	2377.17	57.00	60.18		60.33	0.001021	1.73	1372.73	661.82	0.38
Aval	1350.867	Q 100 ans	1945.61	57.00	59.95		60.08	0.000979	1.59	1223.38	649.07	0.37
Aval	1350.867	Q 1000 ans	4167.02	57.00	60.96		61.20	0.001160	2.18	1911.78	718.02	0.43
Aval	826.3221	Q 10 ans	1102.82	57.00	58.71		58.83	0.002043	1.58	699.55	653.28	0.49
Aval	826.3221	Q 50 ans	2377.17	57.00	59.40		59.61	0.001899	2.03	1171.99	709.78	0.50
Aval	826.3221	Q 100 ans	1945.61	57.00	59.18		59.37	0.001952	1.91	1020.46	692.16	0.50
Aval	826.3221	Q 1000 ans	4167.02	57.00	60.17		60.46	0.001737	2.39	1744.22	772.69	0.51
Aval	186.7778	Q 10 ans	1102.82	55.62	57.18	56.78	57.35	0.002610	1.87	589.43	511.62	0.56
Aval	186.7778	Q 50 ans	2377.17	55.62	57.87	57.32	58.19	0.002612	2.48	957.33	543.63	0.60
Aval	186.7778	Q 100 ans	1945.61	55.62	57.66	57.16	57.93	0.002610	2.31	842.17	532.66	0.59
Aval	186.7778	Q 1000 ans	4167.02	55.62	58.65	57.93	59.10	0.002610	2.97	1403.93	609.57	0.62

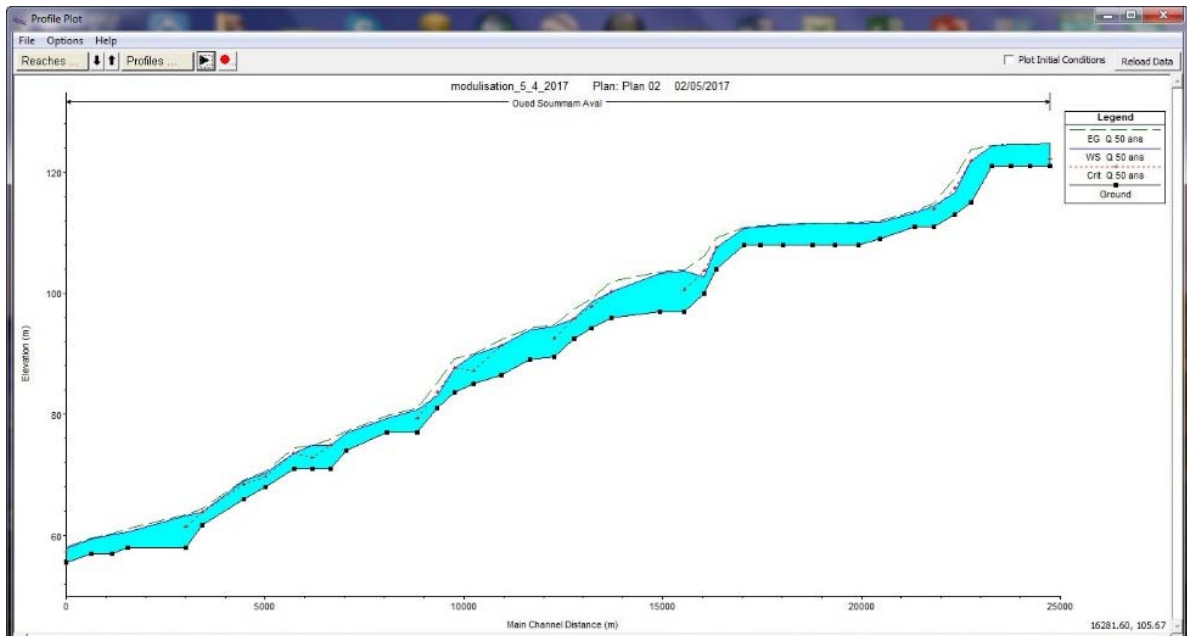


Figure.A.1. Profil en long pour T = 50 ans

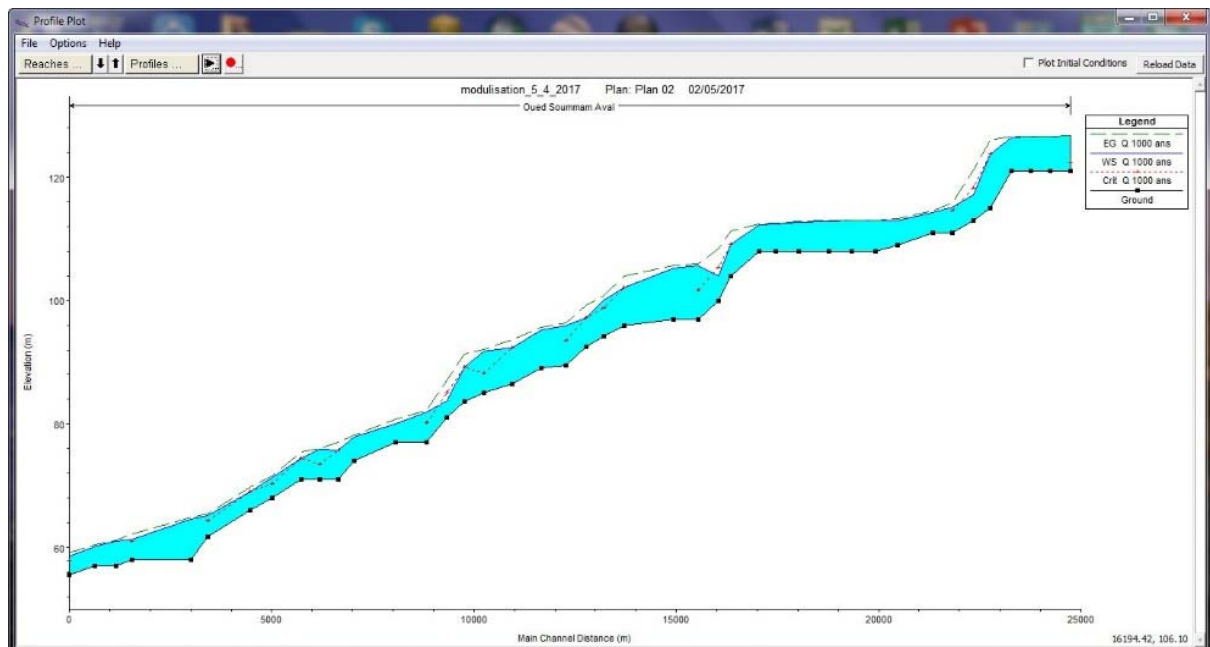


Figure.A.2. Profil en long pour T = 1000 ans

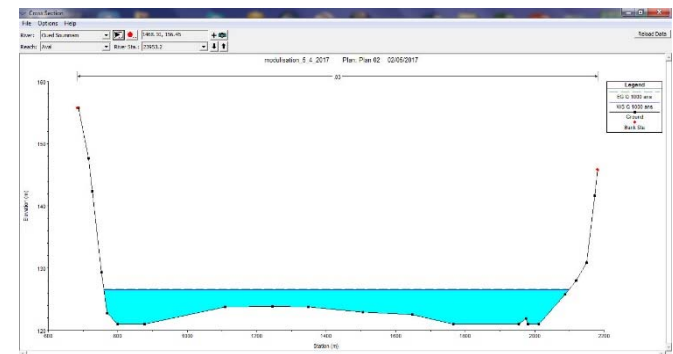
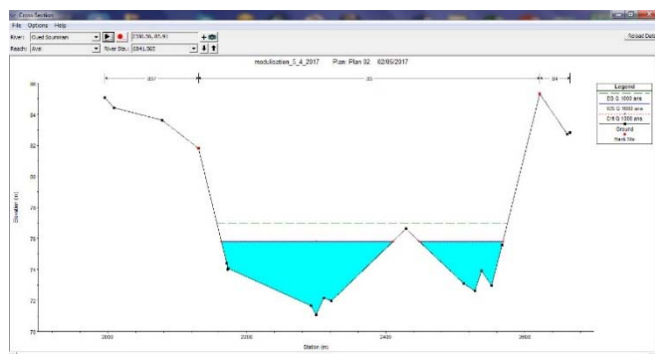
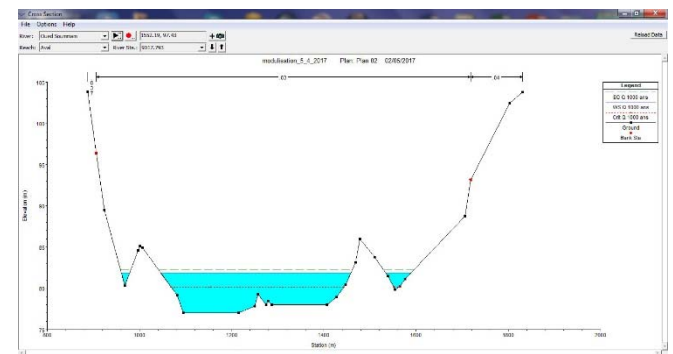
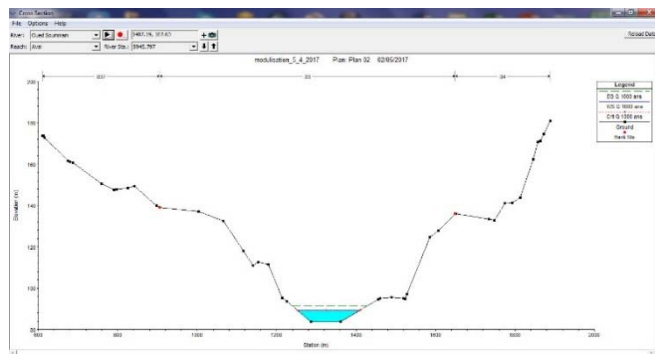
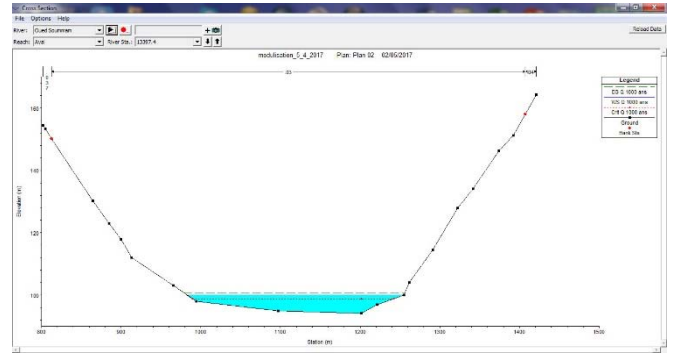
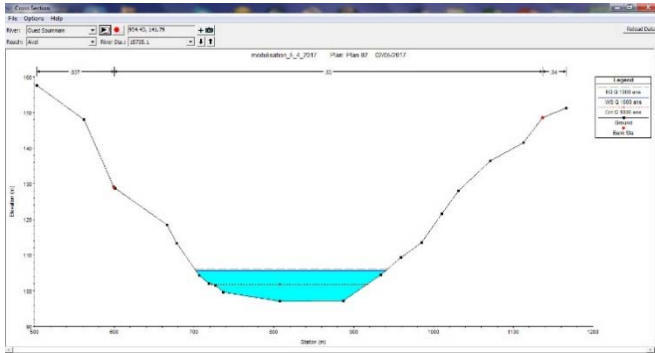


Figure.A.4. Quelques sections avec une hauteur d'eau pour T = 1000 ans

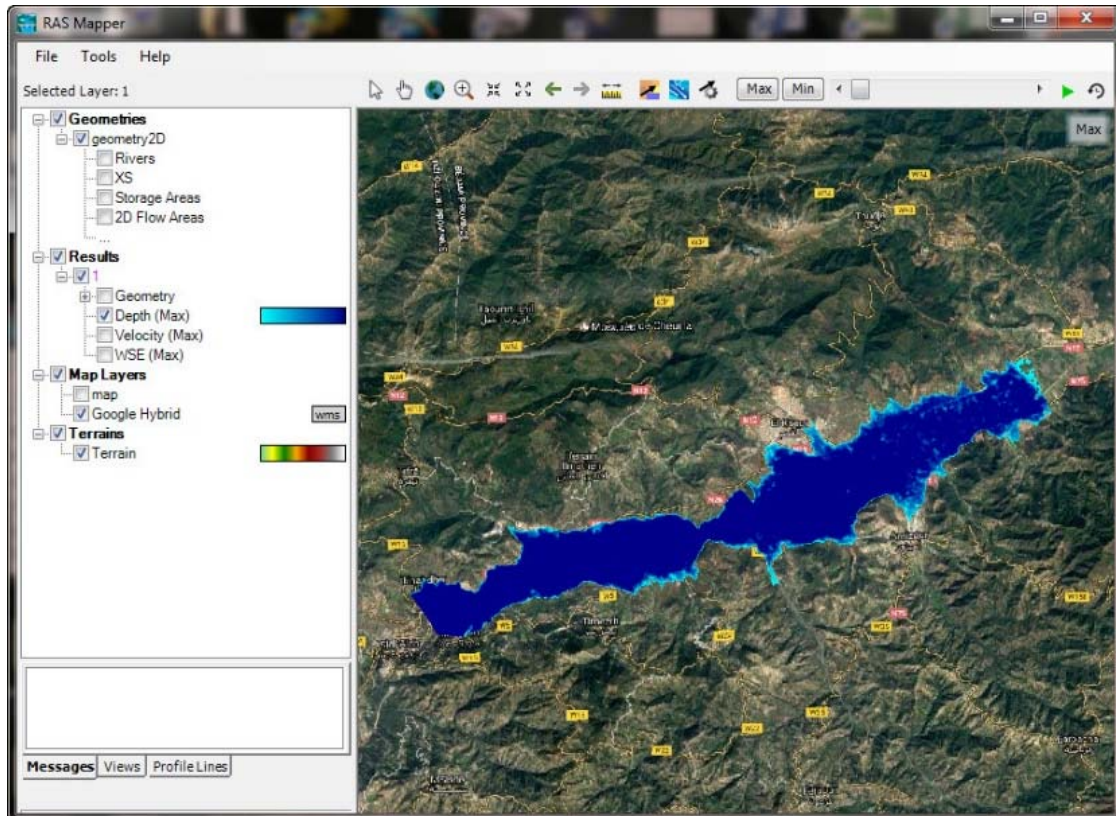


Figure.B.1. L'élévation du plan d'eau pour T = 50 ans

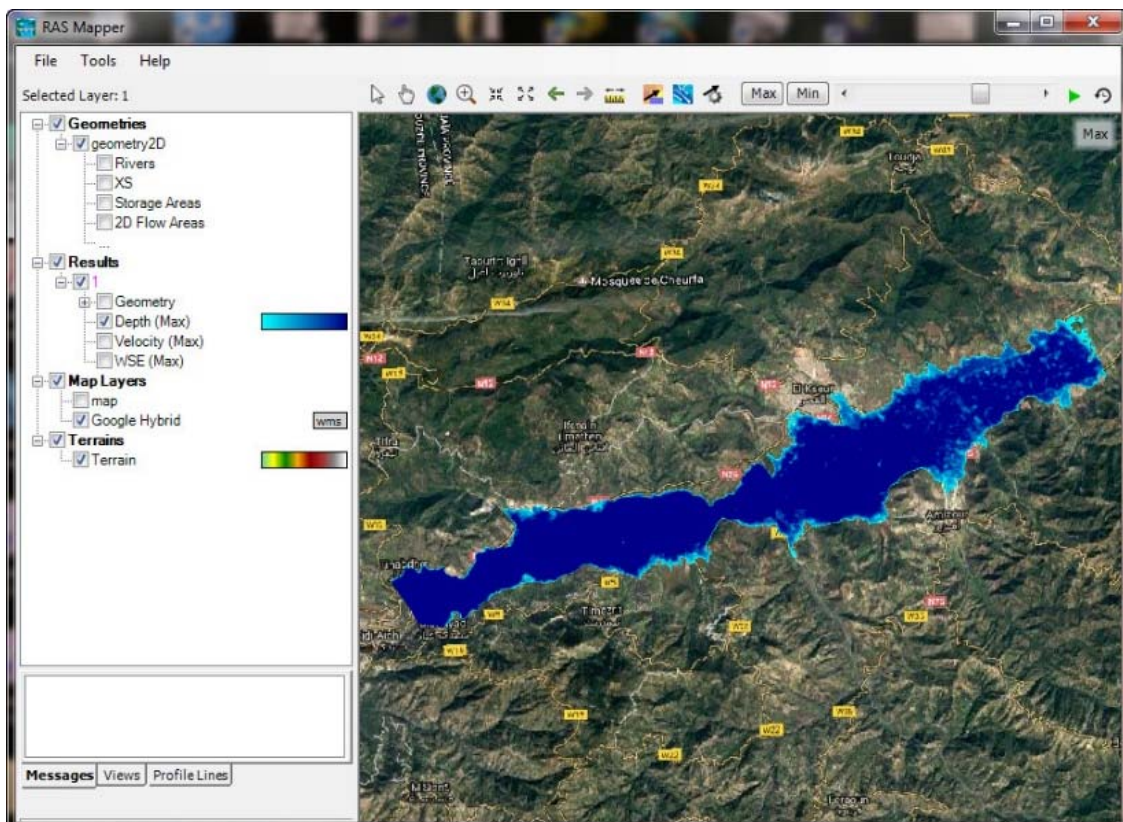


Figure.B.2. L'élévation du plan d'eau pour T = 1000 ans

ملخص :

إن مشكل الأخطار الطبيعية عموما وبشكل خاص الفيضانات تعتبر من بين مواضيع الأكثر انتشارا بين شعوب العالم عموما والجزائر بصفة خاصة، لاسيما من خلال وقائع الفيضانات المسجلة في الآونة الأخيرة. تشكل الفيضانات المرتبطة بالأحوال الجوية في حوض واد الصومام الخطر الطبيعي الأكثر خشية من طرف السكان القاطنين على ضفافه، هذه الأخيرة أضحت أكثر فأكثر غير قابلة للتحمل على الصعيدين البشري والمادي. من أجل ذلك أصبح تسيير هذه الأخطار ضرورة حتمية تتضمن استعمال جميع الوسائل المتوفرة.

ان دراسة الاحتمالات والترددات وتحليل الروابط بين الأمطار والتدفقات القصوى المسجلة من جهة، وتحليل معطيات الفيضانات التاريخية من جهة أخرى، أدوا الى تطوير بعض النماذج التجريبية لاستقراء نتائج تقييم التدفقات (الفيضانات العشرية، الخمسينية والمئوية) للتعريف بالفيضانات المرجعية من أجل إقامة مخططات الوقاية من خطر الفيضان على مستوى المنطقة التي أجريت فيها الدراسة. يمكن للنتائج المحصلة عليها تغذية نموذج هيدروليكي للجريان على السطح (HEC-RAS 5.0.3) مما يسمح لنا من بعد مسح طوبوغرافي لبقايا الفيضانات، بمعرفة مدى عرض وعمق المساحة المغطاة بالمياه، توزيع التدفق وسرعة الجريان. جميع هذه المعطيات ضرورية لتخطيط مناطق الخطر. هذه الوثائق كفيلا بالتجاوب مع ضروريات الحماية والوقاية وكذلك الحفاظ على الممتلكات في مسطحات الفيضانات في إطار التنمية المستدامة.

الكلمات الدلالية : حوض الصومام، الفيضان، خرنطة، العرض الهيدروليكي.

Abstract :

The problem of natural hazards in general and, in particular, floods are among the most common among the peoples of the world in general and Algeria in particular, especially through recent flood incidents. The weather-related floods in the Soummam Valley are the most feared natural hazard for the people living on its shores, the latter becoming increasingly intolerable on the human and material levels. For this reason, the management of these dangers has become an imperative, including the use of all available means.

The study of probability and frequency, the analysis of the links between precipitation and maximum recorded flows, and the analysis of historical flood data, on the other, led to the development of some empirical models to extrapolate the results of the assessment of flows (decimal, fiftieth and centennial floods) to identify reference floods for the establishment of flood risk prevention schemes at the level of the area in which the study was conducted. The results obtained can feed a surface model (HEC-RAS 5.0.3) allowing us to remotely scan the topography of flood residues by knowing the width and depth of the water-covered area, the flow distribution and the flow velocity. All of these data are necessary for the mapping of hazard zones. These documents are capable of responding to the protection and protection requirements as well as preserving the property in the flood areas within the framework of sustainable development.

Keyword : Soummam basin, Flood, cartography, modeling.

Résumé :

Le problème des risques naturels en général et en particulier les inondations sont parmi les sujets les plus répandues parmi les peuples du monde en général et en Algérie en particulier, notamment par les faits des inondations enregistrées récemment. Les inondations associées au temps dans un bassin de l'oued Soummam la crainte la plus naturelle du danger par la population vivant sur ses rives, celle-ci est devenue de plus en plus non portant sur les niveaux humains et matériels. Afin que la conduite de ces risques deviennent une nécessité comprennent l'utilisation de tous les moyens disponibles.

L'étude des probabilités et l'analyse de la fréquence des liens entre les précipitations et débits maximums enregistrés d'une part, et l'analyse des données des inondations historiques d'autre part, effectué pour développer des modèles expérimentaux pour extrapoler les résultats des débits d'évaluation (crues décimales, pentecôtisme et pourcentage) de la définition de crue de référence afin d'établir des systèmes de prévention des risques d'inondation au niveau de la zone où l'étude a été menée. Il peut nourrir les résultats obtenus par le modèle hydraulique d'écoulement a surface libre (HEC-RAS 5.0.3), ce qui nous permet de distance étude topographique des restes de l'inondation, sachant l'ampleur et de la profondeur de la zone couverte d'eau, le débit de distribution et de la vitesse d'écoulement. Toutes ces données sont nécessaires pour la cartographie des zones à risque. Ces documents sont capables de répondre aux besoins de protection et de prévention, ainsi que de maintenir la propriété dans des appartements d'inondation dans le contexte du développement durable.

Mots clés : Bassin de la Soummam, inondation, cartographie, modélisation.