

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 : TECHNOLOGIE
FILIERE :HYDRAULIQUE
OPTION : HYDRAULIQUE URBAINE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: Baza Meriem
Kharef Reguia

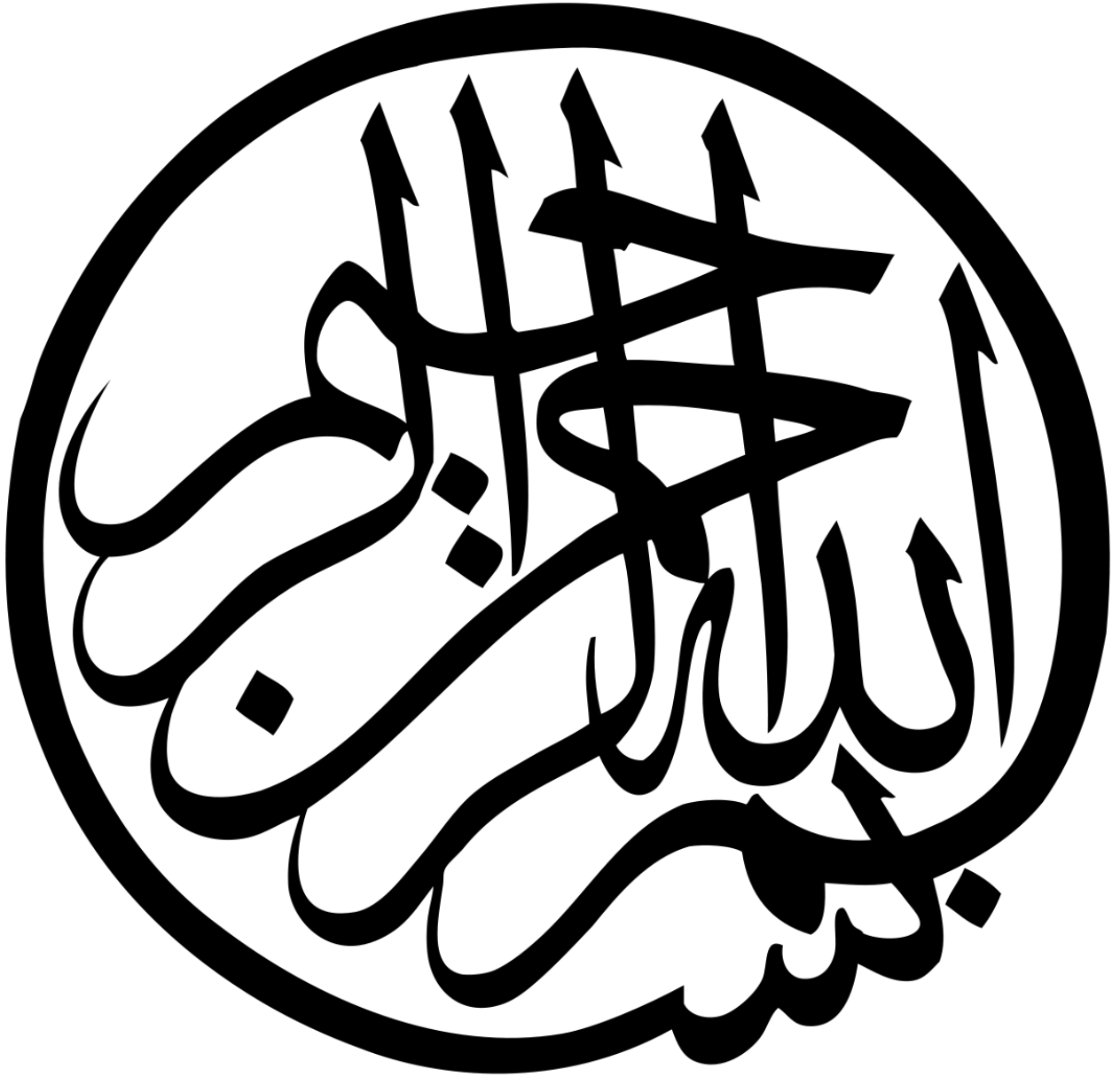
Intitulé

**Cartographie des zones inondables
Cas de la ville AIN TOUTA Wilaya de BATNA**

Soutenu devant le jury composé de:

BERGHOUT Ali	Université de M'sila	Président
MOKHTARI Elhadj	Université de M'sila	Rapporteur
ADJIZI Omar	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2018 /2019



Remerciements

Nous commençons par remercier dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

*Nos plus vifs remerciements vont à **Mr. MOKHTARI ELHADJ** qui nous a permis de bénéficier de son encadrement 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.

*Aussi a **Mr. BERGHOUT ALI** Les conseils qu'il nous a prodigué ,durer et nous diriger tout ou long de la réalisation de ce projet, et pour Tous les conseils instructifs et judicieux et leur disponibilité.*

Nous tenons à remercier également les membres de jury d'examiner ce travail.

Nos remerciements s'étendent également à tous nos enseignants durant les années d'études. Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Baza meriem

Kharefreguia

SOMMAIRE

Introduction générale.....	01
Chapitre 1. Généralités sur les inondations	
1.1 Introduction.....	03
1.2 Définition.....	03
1.2.1 Inondation.....	03
1.2.2 Crue.....	03
1.2.3 Éléments descriptifs d'une crue.....	04
1.2.4 Principaux paramètres nécessaires pour évaluer la catastrophe.....	04
1.3 Mécanismes de l'inondation.....	04
1.4 Type d'inondations.....	04
1.4.1 Les inondations par crues torrentielles.....	04
1.4.2 Les inondations par débordement direct (débordement des plaines)	05
1.4.3 Les inondations par accumulation d'eau ruisselée.....	05
1.4.4 Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique.....	05
1.4.5 Les inondations par submersion marine.....	06
1.5 Les causes et origines des inondations.....	07
1.6 Conséquences engendrées par les inondations.....	07
1.7 Les inondations en Algérie.....	08
1.7.1 Causes et types de crues catastrophiques en Algérie.....	09
1.7.2 Historique des inondations catastrophiques en Algérie.....	10
1.8 Conclusion.....	15
Chapitre2. Présentation de la région d'étude	
2.1 Introduction	17
2.2 Présentation de la zone d'étude	17
2.2.1 Situation géographique du bassin versant Ain TOUTA	17
2.2.2 Situation climatique du bassin versant Ain TOUTA	18
2.2.3 Données de base.....	18
2.2.4 Climatologie.....	19
2.3. Caractéristique géomorphologique de bassin versant	21
2.3.1 Définition du e bassin versant	21
2.3.2 Caractéristiques physiques et leurs influences sur l'écoulement des eaux	21
2.3.3 Caractéristiques géométriques	21

2.3.4 Caractéristiques hydrographique	33
2.4 Conclusion	40

Chapitre 3. Etude hydrologique

3.1.Introduction	42
3.2.Analyse des données pluviométriques.....	42
3.2.1 Pluies maximales journalières.....	42
3.2.2 Précipitation maximales	42
3.2.3 Choix de la loi d’ajustement	44
3.2.3.1Ajustement suivant la loi de GALTON (Log Normale)	45
3.2.3.2Ajustement suivant la loi de GUMBEL.....	47
3.2.3.3 Comparaison entre les deux lois d’ajustement	49
3.3 Pluies de courte durée.....	50
3.4 Etude des crues.....	50
3.4.1 Débits maxims fréquentiels.....	50
3.4. 2 Hydrogramme de crues.....	54
3.5 Conclusion.....	59

Chapitre4 .Cartographie des zones inondables

4.1Introduction	61
4.2. Les outils utilisés pour l’aide à la cartographié du risque inondation.....	61
4.2.1.ArcGIS	61
4.2.1.1.Présentation de l’interface ArcMap	63
4.2.1.2.Présentation de l’interface ArcCatalog.....	63
4.2.1.2.Présentation de l’interface ArcCatalog.....	63
4.2.1.3Présentation de l’interface ArcToolBox	65
4.2.2.HecGeoRAS	65
4.2.3.HEC-RAS	67
4.2.3.1. Description du modèle	67
4.2.3.1. Les équations de Saint-Venant 1D	68
4.3. Application du logiciel HEC-RAS Cas régime permanente 1D	71
4.3.1. Banque de données nécessaires à l’application du modèle HEC-RAS	71
4.3.2. Les données géométriques.....	72
4.3.3. Les données de l’écoulement et les conditions aux limites	75

4.3.4. Résultats et analyse de la simulation	76
4.4. Application du logiciel HEC-RAS Cas Régime non permanent1D.....	86
4.5. Interprétation des résultats.....	93
4. 6. Conclusion.....	94
Conclusion général	96
Références bibliographiques.....	99
Annexe.....	101

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1 .1. Eléments descriptif d'une crue	04
Figure 1.2. Les inondations torrentielles.....	05
Figure 1.3. Les inondations littorales ou submersions marines	06
Figure 1.4. Montrant l'ampleur des dégâts de l'inondation du Ghardaïa en octobre 2008 ...	13
Figure 1.5. Montrant l'ampleur des dégâts del'inondation du Ain touta en juin 2010.....	14

Chapitre 2

Figure 2.1. Situation géographique de la ville d'AIN TOUTA wilaya de BATNA.....	17
Figure2.2. Localisation de la zone d'étude et les sous bassins du versant (Ville de aintouta batna)	18
Figure 2.3. Délimitation des sous bassins versant.....	22
Figure 2.4. Carte d'altitude sous bassin versant 1.....	24
Figure 2.5 Courbe hypsométrique du sous bassin versant 1.....	25
Figure 2.6. Carte d'altitude sous bassin versant 2.....	26
Figure 2.7. Courbe hypsométrique du sous bassin versant 2.....	27
Figure 2.8 Carte d'altitude sous bassin versant 3.....	27
Figure2.9 .Courbe hypsométrique du sous bassin versant 3.....	28
Figure2.10. Carte d'altitude sous bassin versant 4.....	29
Figure2 .11. Courbe hypsométrique du sous bassin versant 4.....	30

Chapitre 3

Figure 3.1. Représentation des observations sur papier normale.	43
Figure 3.2. Histogramme des observations.....	44
Figure3.3. représentation graphique de l'ajustement par la loi de lognormale.....	47
Figure3.4 .Ajustement à la loi de GUMBEL.....	49
Figure3.5 . Comparaison entre les deux lois d'ajustement.....	49
Figure3.6. Hydrogrammes de crues SBV 1.....	55
Figure3.7 . Hydrogrammes de crues SBV 2.....	55
Figure3.8 .Hydrogrammes de crues SBV 3	57

Figure 3.9 Hydrogrammes de crues SBV 4.....	58
--	----

Chapitre 4

Figure 4.1. Représentation schématique du dispositif informatique utilisé.....	62
Figure 4.2. Interface de ArcMap.....	63
Figure 4.3. La barre générale d'outils.....	63
Figure 4.4. Interface de ArcCatalog.....	64
Figure 4.5. Interface de ArcCatalogau travers d'ArcMap.....	64
Figure4.6. Interface de ArcToolbox.....	65
Figure 4.7. L'extension HecGeoRas sur l'interface ArcMap.....	66
Figure 4.8 Quelques entités géométriques numérisées sur ArcMap à l'aide de l'extension Hec-GeoRas.....	66
Figure 4.9. Interface de HEC-RAS 5.0.3.....	67
Figure4.10. Exemple de section avec une hauteur d'eau.....	68
Figure 4.11. Conservation de la charge entre deux sections (source : HEC-RAS)	70
Figure 4.12. Découpage de la section pour le calcul du frottement (source : HEC-RAS)	70
Figure 4.13. Petit volume de contrôle (source : HEC-RAS)	71
Figure4.14. Modèle géométrique de cours d'eau principal.....	73
Figure 4.15. Données géométrique et hydraulique de la Section transversal à l'exutoire d'oueds... ..	74
Figure 4.16. Données géométrique et hydraulique de la Section transversal à l'exutoire oued4.....	74
Figure 4.17. Fenêtre représente les différents débits fréquentiels.....	75
Figure 4.18. Fenêtres des conditions aux limites.....	76
Figure 4.19. Fenêtre de la simulation.....	77
Figure4.20. Profil en long de l'oued 1 2 3 Ain touta avec la ligne de surface pour T = 500 ans.....	78
Figure4.21. Section avec une hauteur d'eau oued 123 pour T = 500 ans.....	78
Figure4.22. Section avec une hauteur d'eau oued 123 pour T = 50 ans.....	79
Figure 4.23. Vue en Plan en 3D de l'oued Ain Touta, après simulation oued123.....	79
Figure4.24. Profil en long de l'oued 4Ain touta avec la ligne de surface pour T = 500 ans.....	80
Figure4.25. Section avec une hauteur d'eau oued 4 pour T = 500 ans.....	80
Figure4.26. Section avec une hauteur d'eau oued 4 pour T = 50 ans.....	81
Figure 4.27. Vue en Plan en 3D de l'oued Ain touta, après simulation oued 4.....	81
Figure 4.28. La zone inondable de la ville Ain touta oued 123 pour une période de retour de 500ans.....	82
Figure 4.29. La zone inondable de la ville Ain Touta oued 4 pour une période de retour de	84

500ans.....	
Figure4.30. Les conditions aux limites pour un écoulement non permanent.....	87
Figure 4.31. L'hydrogramme de crue de période 500 ans.....	88
Figure 4.32. Caractéristiques de la simulation pour le cas d'un écoulement non permanent.....	89
Figure 4.33. Fenêtre de la simulation le cas d'un écoulement non permanent.....	90
Figure 4.34. Section avec une hauteur d'eau en régime non permanent oued123 pour T = 500ans.....	91

Liste des Tableaux

Chapitre 01

Tableau 1.1 : résumé ces conséquences.....	08
---	----

Chapitre 02

Tableau 2.1. Température min, max et moyenne mensuelle	19
Tableau2.2 .Les variations concernant les vitesses moyennes mensuelles et annuelles.....	20
Tableau 2.3. Caractéristiques de la station d' Ain Touta	20
Tableau 2.4. Caractéristiques de la station de Batna	20
Tableau 2.5 .Répartition altimétrique du sous bassin versant 1.....	25
Tableau 2.6 Répartition altimétrique du sous bassin versant 2.....	26
Tableau 2.7. Répartition altimétrique du sous bassin versant 3.....	28
Tableau 2.8. Répartition altimétrique du sous bassin versant 4.....	29
Tableau 2.9. Nature du relief en fonction de la dénivelée spécifique.....	32
Tableau 2.10. Indice de pente globale et classe de relief.....	32
Tableau 2.11 .Temps et vitesses de concentration des bassins versants.....	38
Tableau2.12 . Caractéristiques principales des sous bassins versants Ain touta.....	39

Chapitre 03

Tableau 3.1. Séries des Pluies Maximales Journalières (1929-2011).....	42
Tableau 3.2 . Estimation des paramètres de la loi de GUMBEL et GALTON.....	43
Tableau 3.3. Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON.....	46
Tableau 3.4. Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL.....	48
Tableau 3.5. pluies de courtes durées correspondant au temps de concentration de sous bassin1.2.3.4.....	50
Tableau3.6. les valeurs de coefficient (C)	51
Tableau 3.7. Débits fréquents obtenus par la méthode Turraza.....	51
Tableau3.8. Coefficient de forme.....	52
Tableau3.9. Débits fréquents obtenus par la méthode Sokolovski	52
Tableau3.10. Débits fréquents obtenus par la méthode MALLET-GAUTHIER.....	53
Tableau 3.11. Résultats des crues par les lois empiriques.....	53
Tableau3.12. Débits fréquents arrêtés pour les calculs.....	54
Tableau 3.13. Hydro grammes de crues pour différentes périodes de retour. SBV 1	55
Tableau 3.14. Hydro grammes de crues pour différentes périodes de retour. SBV 2	56
Tableau 3.15. Hydro grammes de crues pour différentes périodes de retour. SBV 3	57

Tableau 3.16 Hydro grammes de crues pour différentes périodes de retour. SBV4	58
---	----

Chapitre 04

Tableau 4. 1. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Ain touta 123 en régime permanent.....	83
Tableau 4. 2. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Ain touta 4 en régime permanent.....	85
Tableau 4. 3. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued 123 ain touta de régime non permanent pour quelques sections transversales.	92
Tableau 4. 4. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued 4 Ain Touta de régime non permanent pour quelques sections transversales.....	92

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

L'eau, source de vie, a pour origine principale la pluie. Cependant au cours des épisodes pluvieux les zones réceptrices sont souvent risquées par les inondations qui menacent la vie humaine ainsi que leurs secteurs d'activités.

L'objectif premier est de faire une synthèse bibliographique sur le risque des inondations par approche de modélisation hydraulique, ainsi d'exposer les capacités des outils informatiques dans la cartographie des résultats présentant ainsi un outil très ambitieux à la portée des décideurs pour définir les niveaux de protection à apprendre et les améliorations à apporter aux aménagements existants.

Pour ce fait, on a choisi la ville d'Ain Touta comme zone d'étude, le logiciel HEC RAS comme instrument de modélisation hydraulique et les systèmes d'information géographique (Arc Gis et Hec Geo Ras) comme outils de cartographie des zones exposées.

Comme méthodologie de travail, on a effectué en première étape une étude hydrologique qui sert à prévoir les débits des crues d'Oueds Ain Touta correspondants aux différentes périodes de retours. Cette étude est basée sur une analyse statistique fréquentielle des données hydrométriques disponibles.

Ensuite, en deuxième étape, on a fait une étude hydraulique qui consiste à avoir les hauteurs d'eaux correspondantes aux débits prévus précédemment. Pour cela, les résultats issus de l'étude hydrologique ont réunis avec la géométrie, la pente et la rugosité des Oueds pour être utilisés comme données d'entrée dans le modèle hydraulique HEC-RAS afin d'avoir en sortie les lames d'eaux correspondantes.

Enfin et à l'aide d'un outil de cartographie (Arc Gis), les résultats de la modélisation hydraulique (hauteur d'eau pour chaque débit) sont présentés sous forme des cartes des inondations.

Chapitre1.

Généralités sur les inondations

Généralités sur les inondations

1.1 Introduction

Une inondation est un fléau naturel qui affecte plusieurs pays du monde. Elle est due à de nombreux facteurs et aggravée par d'autre dont l'activité de l'homme qui fait souvent parti de l'un de ces facteurs. Les dégâts engendrés par cette catastrophe, qu'ils soient humains ou matériels sont généralement de statistiques lourdes.

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.[1]

1.2 Définition

1.2.1 Inondation

Une inondation est une submersion temporaire d'une zone habituellement sèche, par des eaux douces (fortes pluies, débordements de rivières,...etc.) ou salées (submersion marine, tsunami,...etc.). Elle peut être un phénomène régulier ou catastrophique et peut se produire lentement ou très rapidement selon les conditions topographiques et météorologiques de la zone affectée. L'inondation est issue de nombreux facteurs dont le plus répandu dans le monde est les crues. [2]

1.2.2 Crue

Une crue est une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau. Elle est caractérisée par quatre paramètres :

- ✓ Le débit.
- ✓ La hauteur d'eau.
- ✓ La vitesse d'écoulement.
- ✓ La durée.

1.2.3 Éléments descriptifs d'une crue

Une crue est décrite par quatre éléments (Figure 1.1), qui sont :

- ✓ **Temps de concentration** : durée nécessaire à la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire.
- ✓ **Pointe de crue** : puissance de la crue et durée de la période critique.
- ✓ **Courbe de tarissement** : retour de la rivière au niveau antérieur à la crue.

- ✓ **Fréquence de retour** : une crue centennale a, chaque année, une chance sur cent (1/100) de se produire.

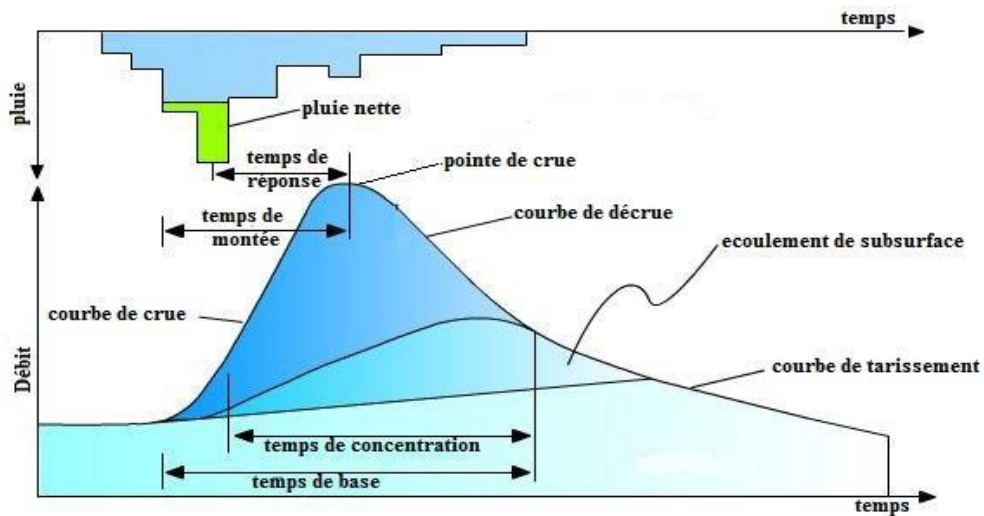


Figure1 .1 : Eléments descriptif d'une crue [3]

1.2.4 Principaux paramètres nécessaires pour évaluer la catastrophe

- ✓ La période de retour des crues.
- ✓ La hauteur et la durée de submersion.
- ✓ La vitesse d'écoulement.
- ✓ La torrencialité du cours d'eau.

1.3 Mécanismes de l'inondation

Les facteurs physiques qui influencent les inondations sont :

- Le régime des pluies.
- Le relief.
- La taille du bassin versant.
- L'état des sols.

Les facteurs aggravants le risque d'inondation sont :

- L'usage et l'occupation des sols.
- Aménagements du territoire.
- Le manque d'entretien des cours d'eau.

1.4 Type d'inondations

Il existe au moins cinq types d'inondations : [4]

1.4.1 Les inondations par crues torrentielles

Les crues torrentielles sont des phénomènes brusques et violents issues d'épisodes pluvieux d'une importante intensité. Le ruissellement de ces eaux charrie une grande quantité de

matériaux solides (sédiments, bois morts,... etc.) qui font, en quelque sections, colmater le lit du cours d'eau et former des obstacles appelés embâcles (Figure 12). En cédant, ces embâcles libèrent brutalement l'eau qu'ils ont retenue. En conséquence à cela des dégâts très importants sont engendrés.

On parle de crues torrentielles, lorsque le temps de concentration d'un bassin est inférieur à 12h. Elles touchent, généralement, les bassins de montagnes et les régions méditerranéennes mais aussi de petits bassins au relief accentué et à forte capacité de ruissellement peuvent être concernés.

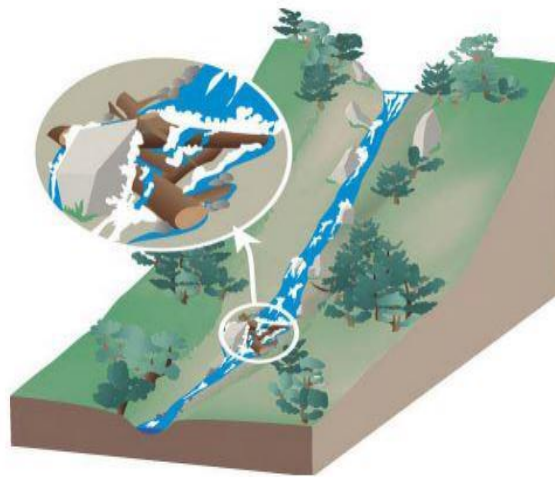


Figure 1.2 : Les inondations torrentielles (Source Graphies / MEDD-DPPR)

1.4.2 Les inondations par débordement direct (débordement des plaines)

Les inondations de plaine résultent d'épisodes pluviaux de longue durée et d'intensité modérée. Le sol recevant ces pluies est caractérisé par une faible capacité de ruissellement (lent à déclencher). Par accumulation d'eau, dépassant sa capacité, le cours d'eau déborde, l'écoulement sort du lit mineur pour occuper les terres avoisinantes.

1.4.3 Les inondations par accumulation d'eau ruisselée

Ce type d'inondation est provoqué suite à des pluies exceptionnelles ou d'orages violents s'abattant sur un sol de capacité d'infiltration et de drainage insuffisantes. Cette insuffisance est due essentiellement à deux facteurs :

- ✓ Soit, l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité du sol,
- ✓ Ou bien, le ruissellement se fait sur un sol déjà saturé par une nappe.

1.4.4 Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique

L'inondation causée par la destruction d'un ouvrage est un phénomène brutale et extrêmement dangereux. En effet, cette rupture provoque la libération d'une énorme quantité

d'eau munit d'une force dévastatrice gigantesque détruisant tous sur son passage. Les statistiques des dégâts matériels et humains engendrés sont inestimables.

La rupture d'un ouvrage est très difficile à prévoir par conséquent la prévention de la calamité est encore plus difficile.

1.4.5 Les inondations par submersion marine

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]

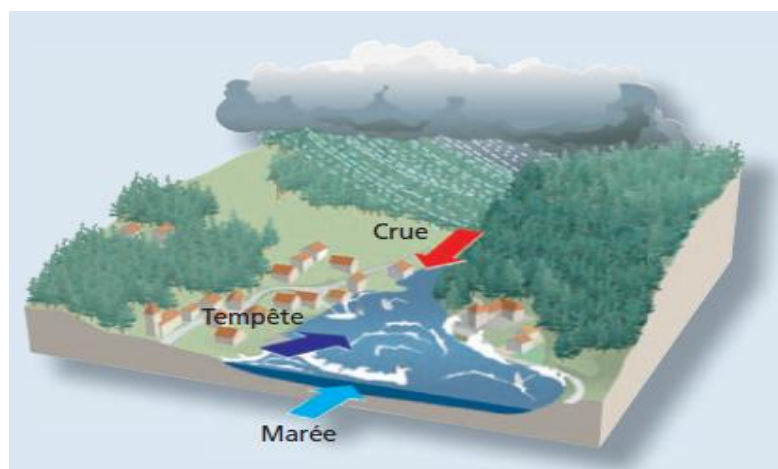


Figure 1.3. Les inondations littorales ou submersions marines (Source Graphies / MEDD-DPPR)

1.5 Les causes et origines des inondations

Elles sont causées par plusieurs facteurs, dont on cite : [5]

✓ **Causes d'origine naturelle** : elles correspondent aux phénomènes météorologiques et climatiques tels que : pluies exceptionnelles, orages violents, pluies torrentielles, fonte des neiges,...etc.

✓ **Causes d'origine humaine directe** : elles consistent dans la modification du système

fluvial des cours d'eau ou de leurs caractéristiques morphologiques (largeur, longueur, pente, etc.) par la construction d'ouvrages hydrauliques, le drainage, l'irrigation, la dégradation des sols et l'agriculture intensive (accélère le ruissellement et limite l'infiltration).

✓ **Causes d'origine humaine indirecte** : elles sont liées à la pollution et le réchauffement climatique qui ont modifié les conditions climatiques du monde entier.

L'émission de gaz à effet de serre provoque la fonte des glaciers des pôles (nord et sud), ceci entraîne la montée du niveau des océans et des cours d'eau ainsi que la procréation de cyclones d'intensité importante.

1.6 Conséquences engendrées par les inondations

Les inondations touchent presque tous les pays du monde avec des influences très différentes.

L'aléa présente des impacts importants sur la société, les dommages qu'elle procréé atteignent plusieurs secteurs : le secteur santé et vie, le secteur socio-économique et le secteur environnement. [4]

Le tableau 1.1 : résume ces conséquences.[6]

Secteurs	Conséquences
Santé et victimes	Propagation des maladies infectieuses et psychologiques.
	Manque d'hygiène.
	Blessures physiques.
	Décès.
	Malnutrition
Socio-économique	Destructions des infrastructures.
	Baisse d'emploi a long terme
	Menace le développement des villes et des villages.
	Migration.
	Pertes financières.
Environnement	Destruction des cultures.
	Pertes animales.
	Contaminations des eaux.

1.7 Les inondations en Algérie

L'Algérie, comme la plupart des autres pays du monde, connaît épisodiquement des phénomènes de crues et d'inondation qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour les activités et une entrave pour le développement économique et social.

Plusieurs régions du pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes naturelles dont les effets sont souvent intensifiés par d'autres facteurs qui aggravent les effets de crues.

Ces événements dramatiques engendrent souvent des bilans lourds de dégâts humains et matériels, cependant ils ne sont pas toujours procréés par des situations météorologiques exceptionnelles et se produisent dans beaucoup de régions suite à des épisodes pluviales saisonniers ordinaires, les causes de telles inondations sont liées en grande partie aux agissements de l'homme[7], dont on cite :

- L'occupation des rives des cours d'eau et l'urbanisation anarchique.
- La défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux pluviales.

Le gonflement des oueds par les décombres et les détritiques, ... etc.

1.7.1 Causes et types de crues catastrophiques en Algérie

La genèse des fortes crues et leurs impacts sur l'environnement et les activités différentes d'une région à une autre est fonction des conditions géographiques, climatiques et d'occupation des sols qui les caractérisent.

Bien que la cause fondamentale de la plupart des inondations soit les fortes pluies, elles ne sont pas toutes dues aux phénomènes exceptionnels. Des facteurs hors les conditions climatiques agissent soit pour aggraver les effets d'une crue, soit pour créer eux-mêmes des phénomènes hydrauliques dans les surfaces d'eau, tels que la présence de détritiques et des troncs d'arbres qui réduisent la capacité du lit des oueds, ...etc.

D'une manière générale, les causes des inondations en Algérie sont classées en trois types :

- Inondations liées aux situations météorologiques remarquables se traduisant par une forte pluviosité (pluies importantes et orages violents).
- Inondations résultant des activités humaines : défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux de pluie, l'encombrement des oueds par les déchets, les décombres et les troncs d'arbre, ...etc.
- Inondations produites dans des régions à topographie défavorable ; comme le cas des villes traversées par des oueds (El Bayadh, Bordj Bou Arreridj, Sidi Bel Abbes, etc.), ou situées au pied d'une montagne (Ain Deffa, Batna et Médéa). Ces agglomérations à forte concentration de populations et sous l'effet d'une urbanisation anarchique sont exposées au risque d'inondation aussi légère qu'elle soit. [8]

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

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

Les crues de ce type sont particulièrement dangereuses en raison de leur soudaineté et leur rapidité. Les ruissèlements d'une importante violence et rapidité peuvent intervenir en moins d'une heure après la pluie, alors les débits des oueds passent de quelques m³/s à des milliers de m³/s en 2 ou 3 heures seulement.

- Inondation des grands bassins versants, elles résultent des précipitations importantes généralisées sur des grands étendues et caractérisées par leur quantité et leur longue durée qui peut atteindre 10 à 15 jours. Ces crues sont massives, lentes et à évolution facilement

prévisible sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents avals plus courts et plus rapides. [9]

1.7.2 Historique des inondations catastrophiques en Algérie

Dans ce qui suit un bref aperçu, par ordre chronologique, des inondations survenues en Algérie au cours de ces dernières années, de 1987 à 2018.

❖ 05 Juillet 1987 :

Pluies orageuses très violentes à Batna (pluie journalière de 57 mm).

✓ Dégâts :

- 02 morts et des dizaines de familles sinistrées.
- Dégâts matériels évalués à 175 millions de centimes.

❖ 17 Juin 1989 :

Pluies diluviennes à Tiaret (orage violent d'une durée de 15 minutes).

✓ Dégâts :

- Affaissement de terrains et dégâts matériels considérables.

❖ 01 Septembre 1989 :

Fortes chutes de pluies à Biskra accompagnées de grêles et d'un vent d'une rare violence engendrant le débordement des oueds Al Arab, El Melleh et El Kheddra.

✓ Dégâts :

- 02 morts et 35 blessés.
- 400 palmiers et des serres de cultures de maraichages détruites.

❖ 21 Septembre 1989 :

Fortes pluies orageuses à M'Silla (la commune de Sidi Aissa est particulièrement touchée).

✓ Dégâts :

- 01 personne disparue et plus de 200 familles sinistrées à Sidi Aissa.
- 02 ouvrages d'art chevauchant les RN 08 et RN 40 emportés par les eaux.
- 03 ponts sur les RN 40 et RN 60 endommagés, 02 gués sur la RN 60 emportés par les

eaux et plusieurs kilomètres de routes détériorées.

- Perte d'une retenue collinaire et de douze digues de déviations.

❖ 11 Octobre 1989 :

Fortes pluies orageuses à El Tarf.

✓ Dégâts :

- 60 familles sinistrées à Drean.

❖ 15 Octobre 1989 :

Orage très intense s'abat sur la ville d'Ain Defla.

✓ Dégâts :

- 01 mort et une centaines de familles sinistrées.

❖ 03 Juin 1991

Orage local et très violent à Ghardaïa (08 mm en 03 heures).

✓ Dégâts :

- 09 morts et perte importante en cheptel et de palmeraies.
- Destruction partielle de la digue d'El Atteuf.
- Ponts, chaussées et réseaux d'assainissement avoisinant oued Mzab dégradés.

❖ 26-27 Janvier 1992 :

Fortes pluies généralisées du 24 au 28 janvier 1992 sur plusieurs wilayas du centre du pays, engendrant des inondations catastrophiques aux wilayas : Alger, Blida, Tipaza, Chlef, Ain Defla, Médéa,...etc.

✓ Dégâts :

- Beaucoup de morts et un nombre important de blessés.
- 637 familles sinistrées (361 à Alger, 106 à Tipaza, 87 à Médéa, 36 à Ain Defla et 23 à Chlef).
- Importants dégâts aux infrastructures routières et aux exploitations agricoles.

- Le pont reliant Bougara à Bouinan emporté.
- Le pont reliant l'Arbaa à Bougara endommagé.

❖ **23 Septembre 1994 :**

Inondations catastrophiques dans plusieurs régions du pays, les plus touchées sont : Bordj Bou Arreridj, Msila, Djelfa, Médéa, Bouira, Ain Defla et Tiaret.

✓ **Dégâts :**

- Bilan national : 27 morts, 84 blessés et 941 familles sinistrées.

❖ **29 Septembre au 02 octobre 1994 :**

Inondations catastrophiques dans les régions suivantes : Ghardaïa, Laghouat, Biskra, Mascara, Tissemsilt, Sidi Bel Abbas

✓ **Dégâts :**

- **Ghardaïa** : dégâts matériels évalués à 270 millions de DA.
- **Laghouat** : dégâts matériels évalués à 05 millions de DA dans le secteur d'hydraulique.
- **Biskra** : 08 morts, 22 familles sinistrées et routes endommagées.
- **Mascara** : 02 morts et importants dégâts matériels.
- **Tissemsilt** : 09 morts.
- **Sidi Bel Abbas** : 02 morts.

❖ **06 Octobre 1998 :**

Pluies diluviennes et inondations catastrophiques dans la wilaya de Djelfa.

✓ **Dégâts :**

- 200 hectares de récoltes inondées et pertes importantes en cheptel.
- Un petit barrage détruit à Thadmint et 20 puits d'irrigations éboulés.

❖ **23 Octobre 2000 :**

Pluies torrentielles à la wilaya de Naama engendrant des inondations catastrophiques aux régions de Ain Sefra et Mechria.

✓ **Dégâts :**

- 05 morts et une douzaine de personnes portées disparues.
- Perte importante en cheptel.
- La voie ferrée reliant Ain Sefra - Béni Ounif endommagée.
- Un pont situé centre de la ville de Meghrrar endommagé

❖ **10 -11 November 2001 :**

Pluies diluviennes s'abattent sur Alger et inonde la région de Bab El Oued. [11]

✓ **Dégâts :**

- 733 morts et 30000 sinistrés.
- Dégâts matériels importants.

❖ **01 Octobre 2008 :**

Pluies violentes localisées à Ghardaïa faisant dangereusement monter le niveau de l'eau dans les cours d'eau.



Figure 1.4. Montrant l'ampleur des dégâts de l'inondation du Ghardaïa en octobre 2008 (Source Google)

✓ **Dégâts :**

- Plus de 33 morts, 84 blessés et près de 600 habitations détruites.

❖ **01-02 Octobre 2011 :**

De fortes inondations frappent la ville d'El Bayadh par débordement de l'Oued Deffa.

✓ **Dégâts :**

- 13 morts, 400 familles sinistrées et des dégâts matériels importants.

❖ 14 juin 2010 :

Les photos montrent les ruelles de cette ville après que des pluies diluviennes se soient abattues sur elle le lundi 14 juin 2010 vers 16h. Subitement le ciel s'assombrit et des torrents de pluies s'en déversèrent sans créer gare ; en un instant, les artères de la ville devinrent des rivières. Etant donné que la plupart des avaloirs sont bouchés, les flots des eaux ont coulé sur les chaussées faisant des voitures des pirogues.

Le projet de canalisation souterraine destiné à supplanter le vieux oued qui traverse Ain touta, et censé sauver la ville des inondations et de la boue, est lui-même inondé et submergé par la boue. Pour rappel, le dit projet au coût de 200 millions de DA (2 millions d'euros) a été inauguré en aout 2009. Au bout seulement d'un mois de bricolage, il a été arrêté pour des raisons inconnues et livré à l'abandon total. Depuis lors, il n'a pas bougé d'un iota.



Figure 1.5. Montrant l'ampleur des dégâts de l'inondation du Ain touta en juin 2010
(Source Google)

❖ 11 févr. 2017

Annaba Les fortes précipitations enregistrées ont notamment occasionné des inondations autant au niveau des zones basses urbanisées du littoral, qu'à celui de certains axes routiers importants, tels que la RN 16 et la RN 44.

Outre les quartiers de M'haffeur, El-Mouqawama, Seybouse et 1er-Mai, Bouhdid et Boukhadra situés dans la partie ouest, est et nord-est de la ville chef-lieu de wilaya, les inondations ont touché les communes d'El-Hadjar, d'Aïn El-Berda et ont nécessité la mobilisation de moyens humains et matériels de la Protection civile.

❖ 12 septembre 2018

La nuit de mercredi 12 septembre a été, après les quelques dizaines de minutes de pluie de fin d'été, fatale pour la ville de Tébessa. Une centaine de voitures emportées par les eaux, une personne disparue dans les flots, des maisons complètement inondées, avec perte de plusieurs biens et, enfin, à la matinée de jeudi, un paysage apocalyptique de fin du monde.

1.8 Conclusion

Une crue est un niveau inhabituel observé dans un cours d'eau, son intensité varie spatialement et temporairement. Les conséquences qu'elle engendre en milieu naturel sont moindre tant dis que en milieu urbain, on ne peut jamais prévoir quel ampleur peuvent atteindre les dégâts humains et matériels entraînés par les inondations qui se procèes.

La problématique des inondations est particulièrement complexe à gérer. La protection des agglomérations de ce type de catastrophe nécessite l'implication de plusieurs disciplines afin de déterminer les divers paramètres contribuant dans leur formation ainsi que les solutions appropriées.

Chapitre 2.

Présentation de la région d'étude

Présentation de la région d'étude

2.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à une description générale du bassin versant Aïn Touta appartient au grand bassin de Chot Melghigh 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.

2.2Présentation de la zone d'étude

2.2.1 Situation géographique du bassin versant AIN TOUTA

La commune de AIN TOUTA est située au Sud-Ouest du chef-lieu de la wilaya de BATNA à une distance de 30 Km, elle est limitée par :

- La commune d'OUED CHAABA au NORD.
- Les communes de TILATOU et OULED AOUF à l'OUEST.
- La commune de BENI FEDHALA EL HAKANIA à l'EST.
- La commune de MAAFA au SUD.

Le sous bassins versants, objet de cette étude, sont situés dans la commune de AIN TOUTA wilaya de BATNA, appartient au grand bassin de Chot Melghigh numéroté 06 [12]

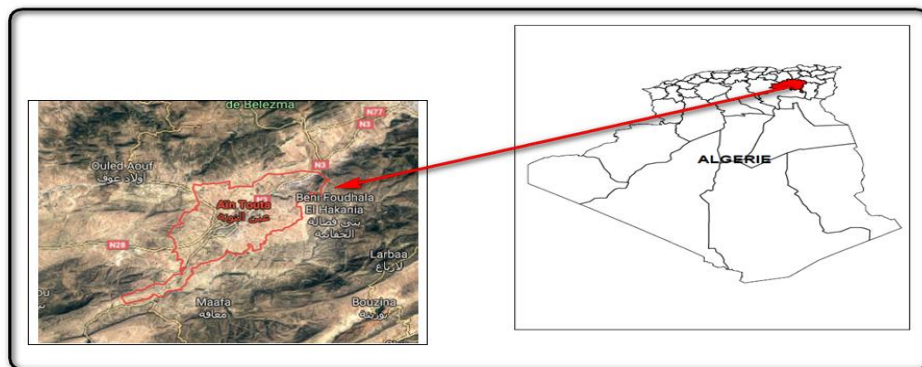


Figure 2.1. Situation géographique de la ville d'AIN TOUTA wilaya de BATNA[6]

2.2.2 Situation climatique du bassin versant Ain TOUTA

Les sous bassins versants, objet de cette étude, sont situés dans la ville d' Ain TOUTA wilaya de BATNA, appartient au grand bassin de Chot Melghigh numéroté 06.[12]

Les sous bassins versants délimitant la ville de l'Est sont délimités (voir figure) :

- Au Nord par DJEBEL TAFRENT ;
- A l'Est par les plateaux TAOURICHT et TAHENENT;
- A l'Ouest par la ville d'AIN TOUTA ;
- Au Sud Dj GUEROUAOU.

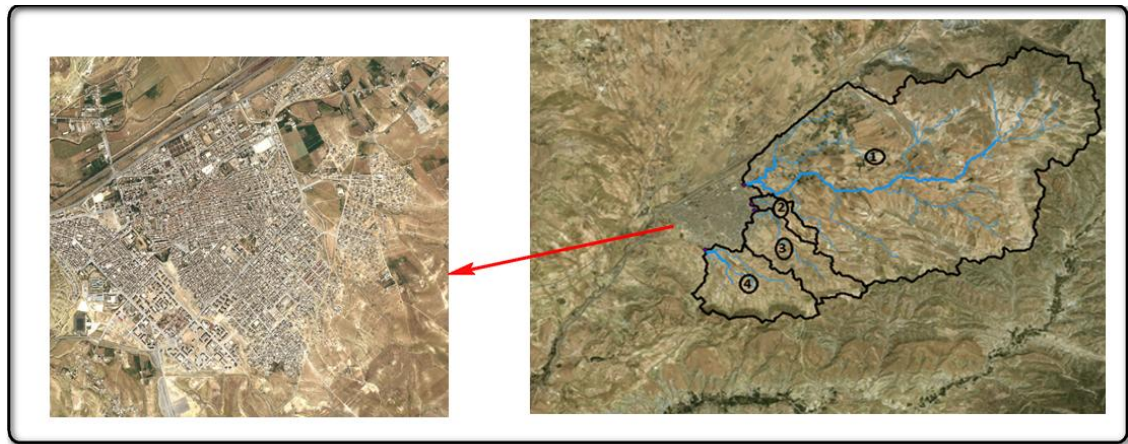


Figure2.2. Localisation de la zone d'étude et les sous bassins versants (Ville de Aintouta batna)

2.2.3Données de base

Les différents paramètres morphométriques du bassin versant (forme, altitude, pente, relief etc...) interviennent souvent de façon combinée dans les modalités de l'écoulement. Ils ont l'avantage de se prêter à une analyse quantifiée. Cette analyse intéresse deux domaines :

- La surface topographique,
- Le réseau hydrographique.

Pour quantifier ces paramètres, les documents cartographiques et moyens de mesures suivants ont été utilisés :

- Cartes topographiques
- Image satellite.
- Logiciel DAO.

2.2.4 Climatologie

Pour fournir les caractéristiques climatiques au bassin étudié, nous avons utilisé les données météorologiques enregistrées à la station de Batna.

- La Température de l'air
- La pluie
- Les Vents
- L'Humidité

Notre site est situé du côté nord et au piedmont des monts des Aurès. La station climatique de référence la plus proche prise en considération est la station de Batna (ferme). En effet, cette station jouie des mêmes caractéristiques du relief qui est à la continuité de celui du site de notre étude.

La classification nationale de la région de Batna se situe dans la zone climatique des Aurès-Nememcha parmi les 09 zones que comporte la classification.

Le palier pluviométrique de notre station est compris entre 300 et 400 mm ce qui nous permet de la classer dans le climat méditerranéen semi-aride, avec un hiver froid et un été moyennement chaud.

2.4.1 TEMPERATURE

- Les données concernant les températures relèvent toujours de la station de BATNA (73-2003)

Tableau 2.1 Température min, max et moyenne mensuelle[13]

SAISONS	AUTOMNE			HIVER		PRINTEMPS			ETE			MOY	
MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
MINIMA	14,6	9,78	5,02	2,13	0,81	1,62	3,53	5,77	9,76	14,97	18,21	17,87	8,67
MAXIMA	26,53	21,47	15,62	11,25	10,51	12,74	15,28	19,53	24,69	29,96	34,49	34,13	21,35
MOY/MOIS	20,57	15,62	10,32	6,69	5,66	7,18	9,40	12,65	17,22	22,46	26,35	26,00	15,01
MOY/SAISON	15,50			6,51		13,09			24,94				

Les températures sont variables d'une saison à l'autre. Comme on constate que la différence de températures entre l'été et l'hiver est très importante avec un écart de 18° c par contre le printemps et l'automne on des valeurs moyennes saisonnières qui se rapprochent 14°c.

2.4.2 LES VENTS :

Les vents les plus dominants sont ceux provenant du Nord- ouest et du Sud- est, la zone connait le SIROCCO pendant les mois de Juillet et Aout avec une moyenne annuelle de 15 jours.

Le tableau suivant indique les variations concernant les vitesses moyennes mensuelles et annuelles.

Tableau 2.2 les variations concernant les vitesses moyennes mensuelles et annuelles.

Sens		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Année		8,3	23,3	3,0	2,6	4,0	31,0	18,0	9,3
SAISONS	AUTOM	6,8	20,3	6,4	2,5	3,1	36,7	18,0	9,0
	HIVER	9,3	22,0	2,1	1,4	1,4	33,0	20,6	12,1
	PRINT	8,7	23,5	3,2	4,4	4,5	28,7	18,3	9,8
	ETE	8,6	28,6	3,7	3,4	6,1	25,6	15,3	7,3

2.4.3 La pluviométrie

Avant d'évaluer les précipitations sur les bassins versants, on a analysé les données disponibles aux stations pluviométriques de Batna ferme et d'Ain Touta.

Tableau 2.3 Caractéristiques de la station d' Ain Touta [12]

Station	Code	Coordonnées (Km)			Période de fonctionnement
		X	Y	Z	
Ain Touta	05-12-03	472.15	289.85	1150	13 ans

Tableau 2.4 caractéristiques de la station de Batna [12]

Station	Code	Coordonnées (Km)			Période de fonctionnement
		X	Y	Z	
Batna	07-03-16	710	261.4	982	75 ans

Pour ce qui concerne les caractéristiques des précipitations annuelles sur une période de 13 ans à la station d'Ain Touta on a: $P_{moy} = 277$ mm [12]

Pour ce qui concerne les caractéristiques des précipitations annuelles sur une période de 75 ans à la station de Batna on a: $P_{moy} = 387 \text{ mm}$ [12]

2.3. Caractéristique géomorphologique de bassin versant

2.3.1 Définition du bassin versant

Le bassin versant, unité géographique sur laquelle se fonde l'analyse hydrologique, peut être considéré comme étant un " système hydrologique clos" à l'intérieur duquel aucun écoulement extérieur n'intervient et où tous les apports pluvieux s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire.

Le bassin versant ainsi défini correspond à la totalité de la surface topographique drainée par un cours d'eau principal et ses affluents à l'amont de cette section. Il est matérialisé par son exutoire à partir duquel est tracé le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite. Celle-ci correspond généralement à la ligne de crête et caractérise alors le bassin versant topographique.[8]

Dans notre cas, le bassin versant ainsi délimité et stylisé correspond au bassin versant réel en raison d'un sol, de perméabilité moyenne qui recouvre le substratum. Par ailleurs, aucun apport latéral artificiel ne modifie la surface drainée circonscrite à l'intérieur du bassin versant.

2.3.2 Caractéristiques physiques et leurs influences sur l'écoulement des eaux

Les caractéristiques physiographiques du bassin versant influencent largement sa réponse hydrologique. Le temps de concentration T_c est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : la taille du bassin (sa surface), sa forme, son altitude, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates.

2.3.3 Caractéristiques géométriques

2.3.3.1 Surface et périmètre

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 a été mesurée à l'aide d'un planimètre.

La superficie (S) drainée déterminée par planimétrie ou en utilisant l'outil informatique .

Le périmètre (P) délimité, stylisé et mesuré au curvimètre ou en utilisant l'outil informatique.

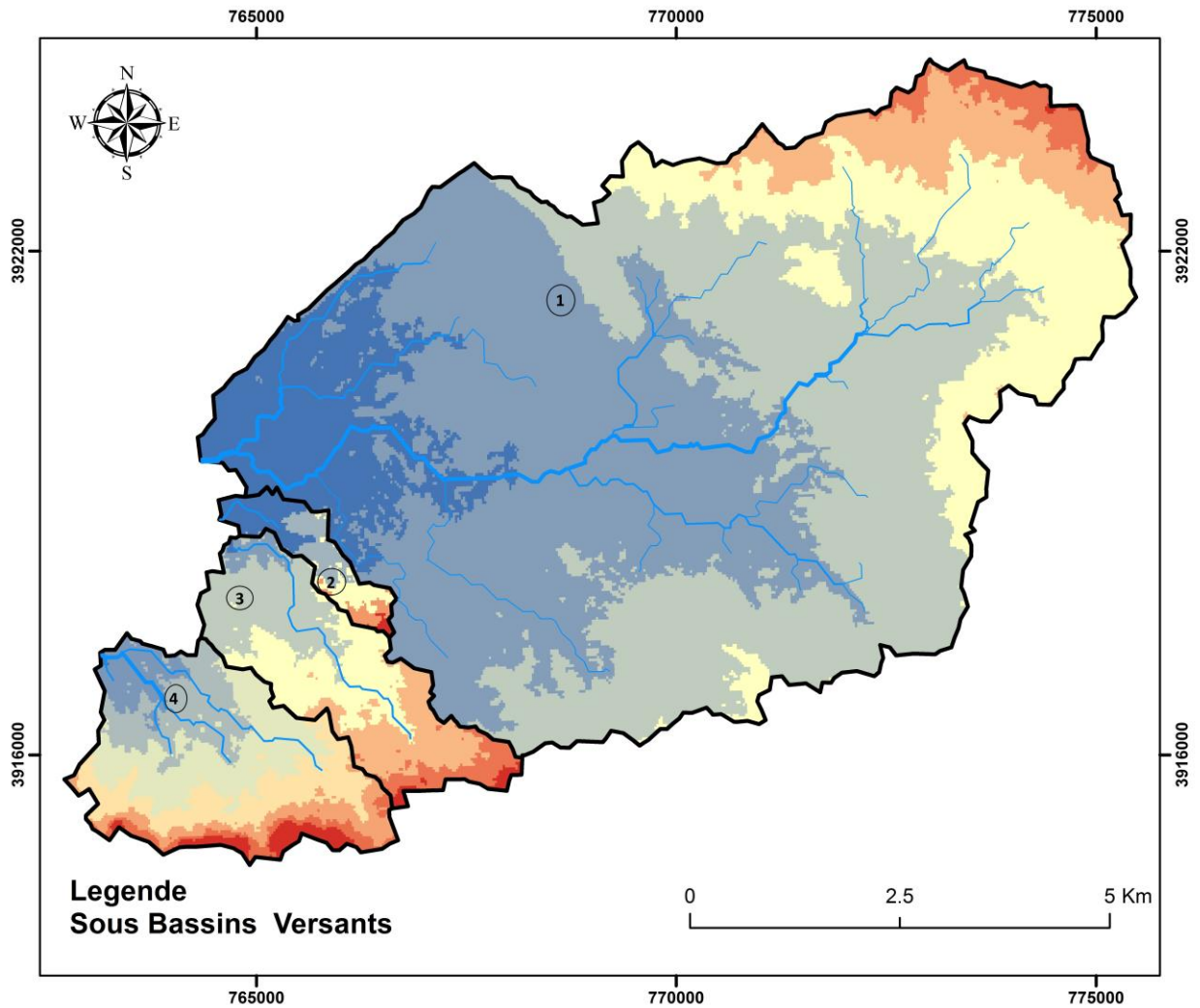


Figure 2.3. Délimitation des sous bassins versants

2.3.3.2 Forme

La forme d'un sous bassins versants 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.

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

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, l'indice **de compacité de Gravelius (1914)** définit comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{p}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2.1)$$

K c'est l'indice de compacité de Gravelius, A : surface du bassin versant [km^2], P étant le périmètre du bassin [km].

Cet indice est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

La notion de rectangle équivalent, introduite par Roche (1963), résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau.[9]

Si L et l représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, alors :

Le périmètre du rectangle équivalent vaut : $P = 2 \cdot (L+l)$; ; la surface $A = L \times l$; K_G représente le coefficient de compacité. En combinant ces trois relations, on obtient :

$$L = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.12} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right) \text{ si } K_G \leq 1.12 \quad (2.2)$$

2.3.3.3 Relief

L'influence du relief sur l'écoulement est évidente en raison de nombreux paramètres hydrométéorologiques qui varient avec l'altitude (précipitations, végétation, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine au moyen de caractéristiques suivantes :

- **Courbe hypsométrique**

La courbe hypsométrique traduit une vue synthétique sur la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle exprime la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

La courbe hypsométrique sert en particulier à déterminer la pluie moyenne sur un bassin versant et donne des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.[14]

Sous bassin versant 1

Carte altitude

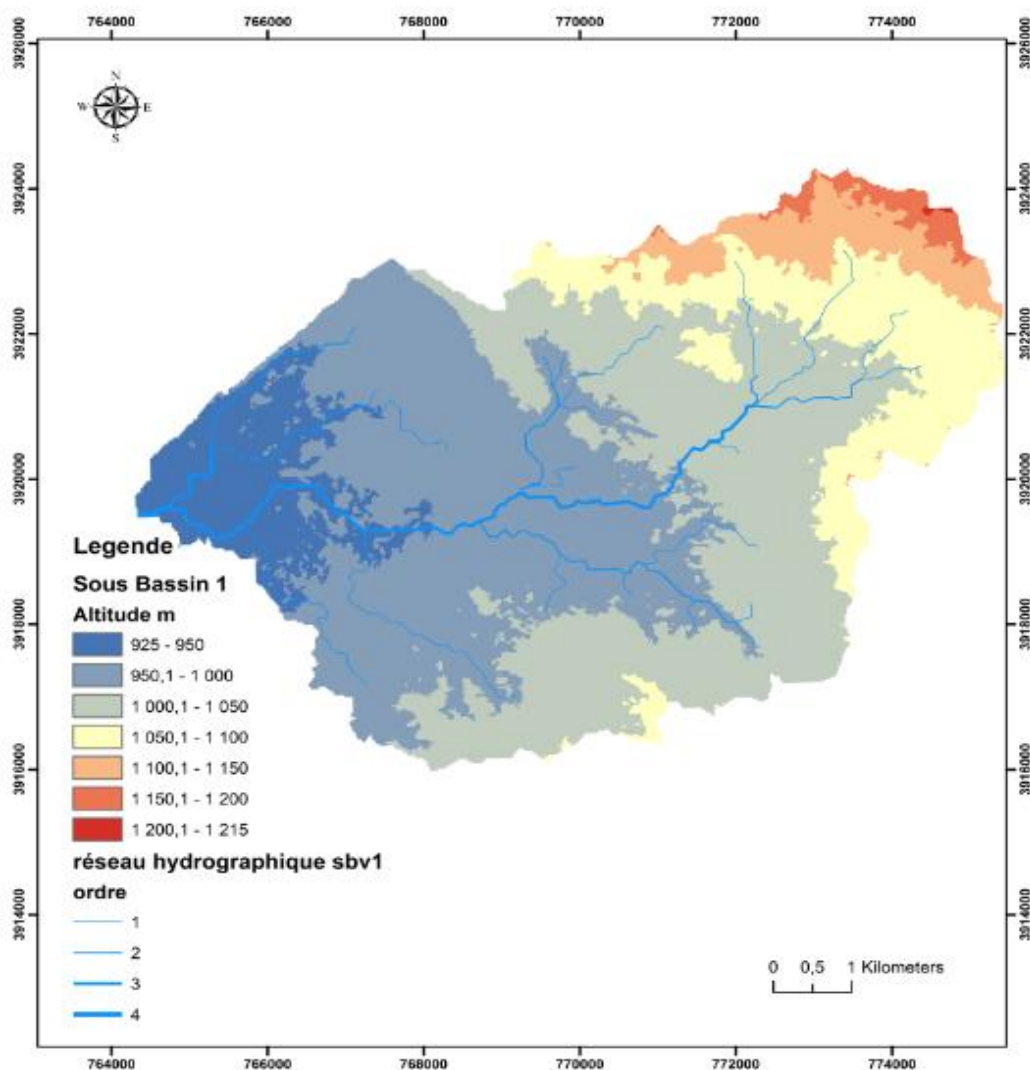


Figure 2.4. Carte d'altitude sous bassin versant 1

Tableau 2.5 : Répartition altimétrique du sous bassin versant 1

Tranche d'altitude (m)		Surface partielle (km ²)	Surface cumulée (km ²)	Surface cumulée (%)
1215	1200	0.02	0.02	0.04
1200	1150	0.83	0.85	1.52
1150	1100	2.94	3.79	6.77
1100	1050	7.87	11.66	20.83
1050	1000	18.64	30.30	54.13
1000	950	20.22	50.52	90.25
950	925	5.46	55.98	100.00

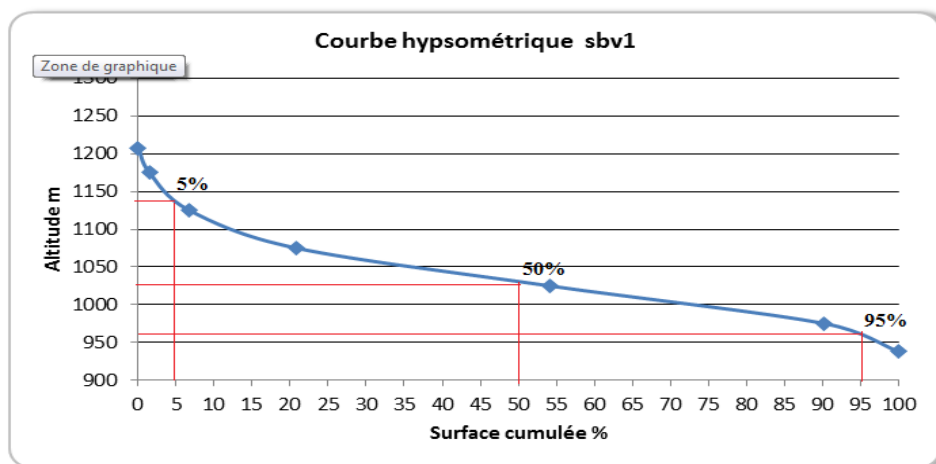


Figure 2.5: Courbe hypsométrique du sous bassin versant 1

Sous bassin versant 2

Carte altitude

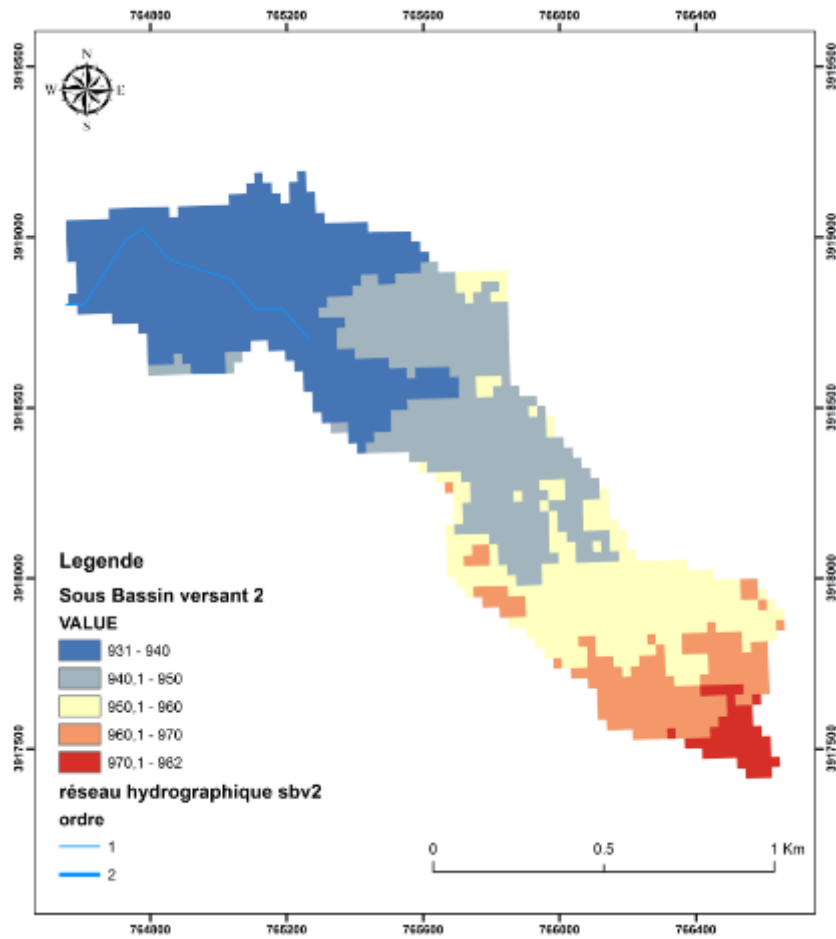


Figure 2.6 : Carte d'altitude sous bassin versant 2

Tableau 2.6 : Répartition altimétrique du sous bassin versant 2

Tranche d'altitude (m)		Surface partielle (km ²)	Surface cumulée (km ²)	Surface cumulée (%)
982	970	0,03	0,03	2,56
970	960	0,13	0,16	13,68
960	950	0,25	0,41	35,04
950	940	0,33	0,74	63,25
940	930	0,43	1,17	100,00

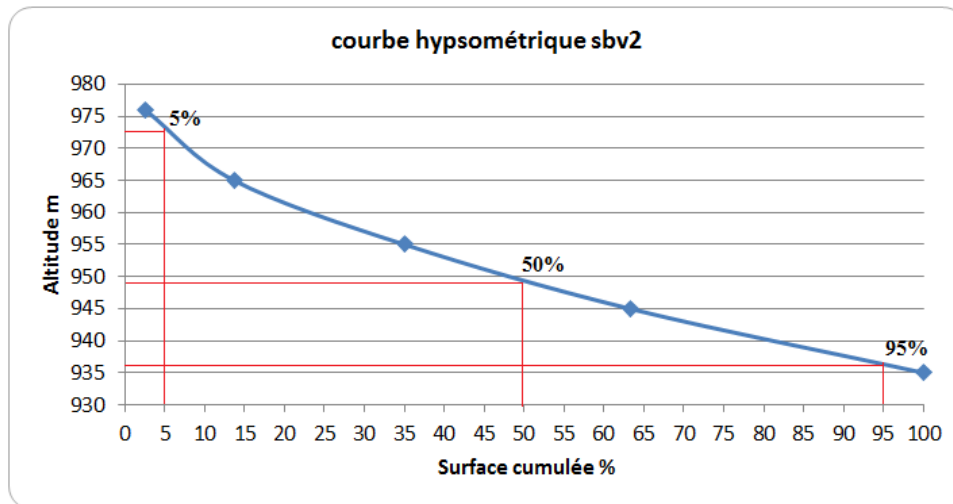


Figure 2.7: Courbe hypsométrique du sous bassin versant 2

Sous bassin versant 3

Carte altitude

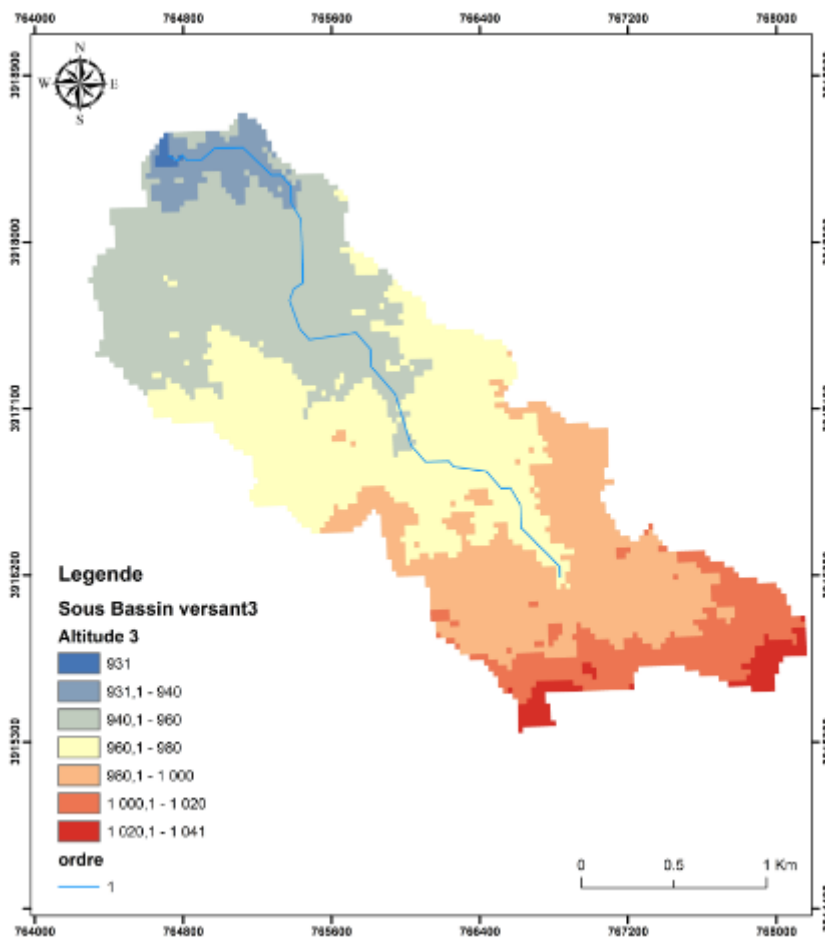


Figure 2.8 : Carte d'altitude sous bassin versant 3

Tableau 2.7 : Répartition altimétrique du sous bassin versant 3

Tranche d'altitude (m)		Surface partielle (km ²)	Surface cumulée (km ²)	Surface cumulée (%)
1389	1350	0,11	0,11	2,21
1350	1300	0,46	0,57	11,47
1300	1250	1,17	1,74	35,01
1250	1200	1,52	3,26	65,59
1200	1150	1,49	4,75	95,57
1200	1100	0,21	4,96	99,80
1100	1050	0,01	4,97	100,00

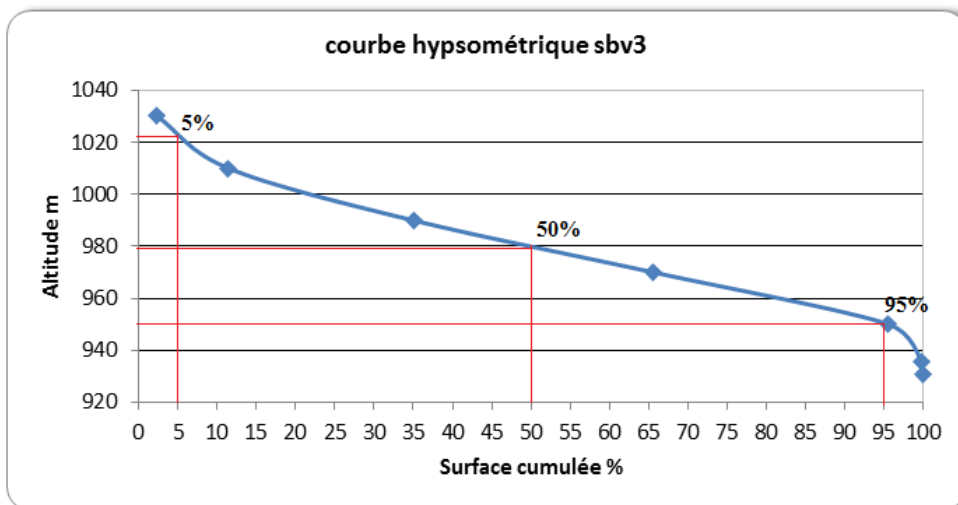


Figure 2.9 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant 3

Sous bassin versant 4

Carte altitude

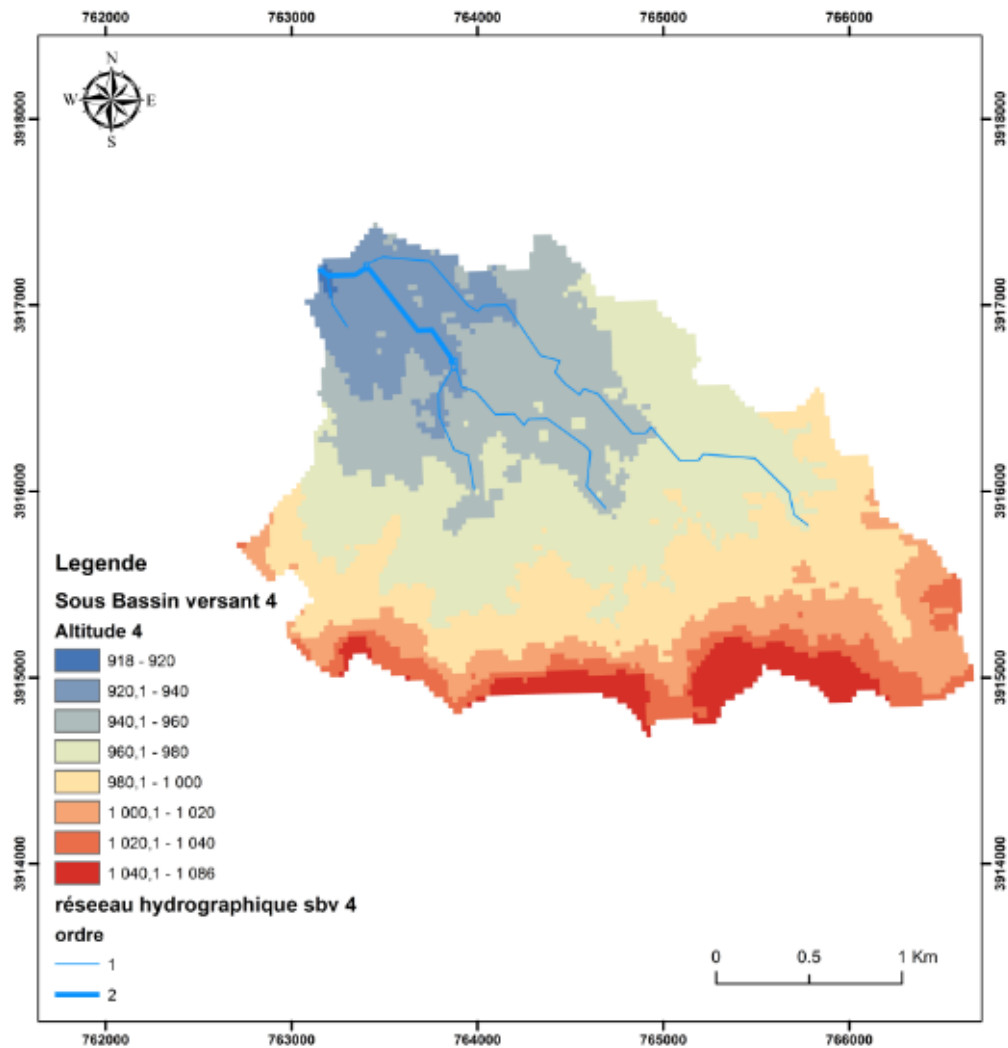


Figure2.10 : Carte d'altitude sous bassin versant 4

Tableau 2.8: Répartition altimétrique du sous bassin versant4

Tranche d'altitude (m)		Surface partielle (km ²)	Surface cumulée (km ²)	Surface cumulée (%)
1086	1040	0,34	0,34	5,13
1040	1020	0,39	0,73	11,01
1020	1000	0,71	1,44	21,72
1000	980	1,44	2,88	43,44
980	960	1,88	4,76	71,79
960	940	1,25	6,01	90,65
940	920	0,61	6,62	99,85
920	918	0,01	6,63	100,00

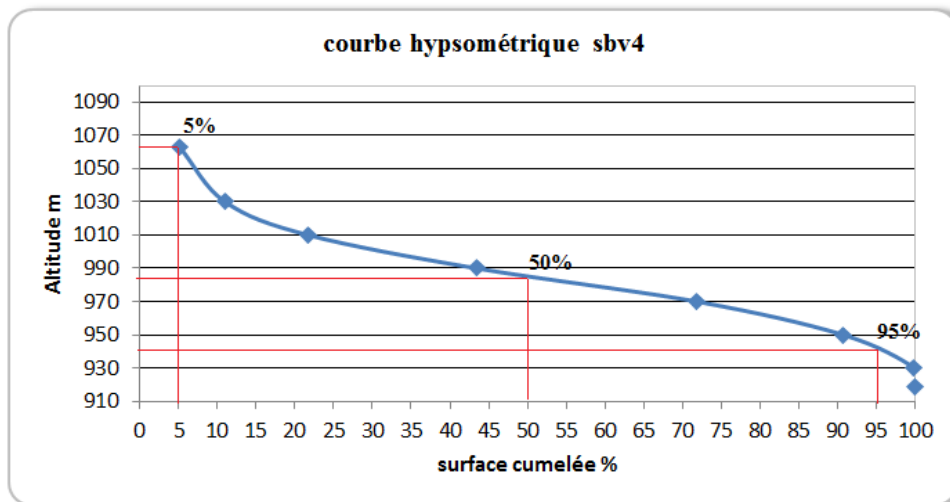


Figure 2.11 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant 4

Indices de pente

Le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et de classification.

Les indices de pente sont déterminés à partir de la répartition hypsométrique du bassin versant.

- **Indice de pente globale (I_g)**

Sur la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface totale, on aura les altitudes H5% et H95% entre lesquelles s'inscrivent l'indice de pente globale.

Il est déterminé à partir de la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (2.3)$$

Avec :

D: Dénivelé entre H5% et H95%, D= H5% - H 95% (m)

L: Longueur du rectangle équivalent (Km).

- **Indice de pente de Roche (I_r)**

C'est un indice un peu artificiel qui rend bien compte de l'influence du facteur pente sur le régime hydrologique du bassin. Il se détermine sur le rectangle équivalent.

Si les lignes de niveau sur le rectangle équivalent sont cotées a_0 (exutoire) a_1 a_2 ... a_{i-1} , a_i ... a_n , et la distance entre les courbes a_{i-1} et a_i soit x_i l'indice de pente de Roche est :

$$I_p = \frac{1}{L} \sum x_i \sqrt{\frac{a_i - a_{i-1}}{x_i}} \quad (2.4)$$

Avec :

L : Longueur du rectangle équivalent (m).

x_i : Distance entre les courbes de niveau a_{i-1} et a_i (m).

$\frac{a_i - a_{i-1}}{x_i}$ est la pente moyenne de l'élément de surface compris entre les courbes de niveau a_{i-1} et a_i .

L'indice de pente de roche est donc la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments, pondérée par la surface correspondante.

Si l'on désigne par β_i la fraction de la surface totale du bassin comprise entre les cotes a_{i-1} et a_i (fraction donnée par la répartition hypsométrique du bassin) on a :

$$I_p = \frac{1}{L} \sum \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} \quad (2.5)$$

- **Indice de pente moyenne (Im)**

Cet indice est calculé selon la formule suivante :[9]

$$I_M = \frac{H_{MAX} - H_{MIN}}{\sqrt{S}} \quad (2.6)$$

Avec :

HMAX : Altitude maximale observée sur le bassin versant (m).

HMIN : Altitude minimale observée sur le bassin versant (m).

S : Surface du bassin versant (Km²).

- **Dénivelé spécifique (DS)**

Elle est définie comme étant le produit de pente globale "I_g" et la racine carrée de la surface du bassin versant.

$$D_S = I_g \cdot \sqrt{S} \quad (2.7)$$

Avec :

I_g : Indice de pente globale (m/Km).

S : Surface du bassin versant (Km²).

L'ORSTROM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre-Mer) a élaboré selon sa deuxième classification un tableau qui donne la nature du relief suivant les valeurs de la dénivelée spécifique DS.

Tableau 2.9 Nature du relief en fonction de la dénivelée spécifique

Classe	Nature du relief	code	Dénivelé spécifique	
			Symbole	Valeur
R1	Relief très faible (R.T.Fa)	05	DS	10m
R2	Relief faible (R.Fa)	010	DS	25m
R3	Relief assez faible (R.A.Fa)	025	DS	50m
R4	Relief modéré (R.M)	50	DS	100m
R5	Relief assez fort (R.A.Fo)	100	DS	250m
R6	Relief fort (R.Fo)	250	DS	500m
R7	Relief très fort (R.T.Fo)	500	DS	750m

Relief MODERE A assez fort. entre R4 et R5

Tableau 2.10 : Indice de pente globale et classe de relief.

SBV	Superficie A (km ²)	Indice de pente globale I_g (m/km)	Indice de pente de ROCHE	Indice de pente moyenne (m/km)	Dénivelée Spécifique D_s (m)	Classe de relief
1	55.98	12.61	6.24	0.025	94.34	Relief modéré
2	1.17	18.98	6.64	0.021	20.53	Relief faible
3	4.97	17.42	8.40	0.025	38.83	Relief assez faible
4	6.63	27.15	10.20	0.040	69.90	Relief modéré

Toutefois, les résultats (tableau 2.9) permettent de montrer des valeurs des indices de pente moyennes et la dénivelée spécifique (Ds). On constate, que les sous bassin versant de AIN TOUTA se range dans les classes du relief faible à assez modéré.

- **Altitudes caractéristiques**

- 1. Les altitudes maximale et minimale**

L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point à l'exutoire. Ces deux données permettent entre autre de déterminer l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

- 2. L'altitude moyenne**

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

$$H_{moy} = \sum H_i \times \frac{A_i}{A} \quad (2.8)$$

Avec : H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m] ; A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [km^2] ; H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ; A : superficie totale du bassin versant [km^2].

- 3. L'altitude médiane**

L'altitude médiane correspond à l'altitude est lue sur la courbe hypsométrique au point 50% de la surface totale du bassin.

Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière. Ce qui le cas du bassin versant de l'Oued Aroua où on observe une altitude moyenne calculée un peu proche de l'altitude de fréquence 50% indiquant ainsi une symétrie à l'échelle du bassin versant.

2.3.4 Caractéristiques hydrographique

Le réseau hydrographique correspond à l'ensemble des cours d'eau, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Il traduit certainement une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes conditionnées par quatre facteurs principaux :

- La géologie, par ses caractéristiques, influence en particulier la forme et l'orientation du réseau hydrographique.
- Le climat, par ses effets, conditionne l'existence et la densité du réseau hydrographique.

- La pente du terrain, par son importance, détermine l'action des cours d'eau. Souvent érosive dans les zones élevées, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine en plaine.
- La présence humaine, par son action (drainage des terres agricoles, construction de barrages, endiguement, protection des berges et correction des cours d'eau) modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Divers paramètres descriptifs sont utilisés pour définir le réseau hydrographique.

2.3.4.1 Structure du réseau et ordre des cours d'eau

Le schéma du chevelu hydrographique a été établi à partir de la photo satellitaire.

La classification est facilitée par un système de numérotation des tronçons de cours d'eau (rivière principale et affluents). L'ordre des cours d'eau est donc une classification qui reflète la ramification du cours d'eau. Il existe plusieurs types de classifications des tronçons des cours d'eau, dont celle de Strahler (1957), la plus utilisée et que nous avons adopté ici.

Cette classification permet de décrire sans ambiguïté le développement du réseau de drainage d'un bassin de l'amont vers l'aval. Elle se base sur les règles suivantes :

- Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre un.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté de un.

Un bassin versant à l'ordre du plus élevé de ses cours d'eau, soit l'ordre du cours d'eau principal à l'exutoire. Il existe d'autres classifications de ce type comme celle de Horton (1945) qui est parfois utilisée dans le même but.

2.3.4.2 Longueurs et pentes caractéristiques du réseau

- **Longueur caractéristique**

Un bassin versant se caractérise principalement par la longueur du cours d'eau principal (L) qui est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux.

- **Pente moyenne d'un cours d'eau**

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau circule jusqu'à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Toute chose égale par ailleurs, une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus fréquemment utilisée consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau.[9]

$$P_{\text{moy}} = \frac{\Delta H_{\text{max}}}{L} \quad (2.9)$$

P_{moy} : pente moyenne du cours d'eau ; ΔH_{max} : dénivellation maximale de l'oued (différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire) ; L : longueur du cours d'eau principal.

2.3.4.3 Degré de développement du réseau

- **Densité de drainage**

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (2.10)$$

Avec :

D_d : densité de drainage [km/km²] ; L_i : longueur de cours d'eau [km] ; A : surface du bassin versant [km²].

- **Densité hydrographique**

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{\sum N_i}{A} \quad (2.11)$$

Où :

F : densité hydrographique [km⁻²] ; N_i : nombre de cours d'eau ; A : superficie du bassin [km²].

Le Coefficient de torrentialité se calcule à partir de la relation $CT = Dd \times FI$, avec $FI = NI / S$ fréquence de thalwegs d'ordre 1

2.3.4.4 Le temps de concentration T_c des eaux sur un bassin versant se définit comme

la durée maximum nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier.[15]

Il est composé de trois termes différents :

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

Le temps de concentration T_c correspond donc à la somme de ces trois termes, soit :

$$t_c = \max(\sum(t_h + t_r + t_a)) \quad (2.12)$$

Le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques. Il existe plusieurs types de relations qui permettent d'estimer T_c (Giandotti, Basso, Passini, Service routier de Californie etc...). Nous utiliserons pour le calcul de ce facteur les formules empiriques suivantes :

Formule de GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L_p}{0,8\sqrt{H_{MOY} - H_{MIN}}} \quad (2.13)$$

Formule de Ventura & Passini

$$T_c = \alpha * \sqrt{S} * L_p / \sqrt{I_g} \quad (2.14)$$

Formule ANONYME - R.BOURRIER (2, p55)

$$T_c = 4 \left(\frac{\sqrt[3]{SL}}{\sqrt{P}} \right)^{0,75} \quad (2.15)$$

Formule de Ventura

$$T_c = 76.3 * \sqrt{(S/P_{moy})} \quad (2.16)$$

Avec :

T_C : Temps de concentration (h).

L_P : Longueur du talweg principal (Km).

S ; A : Superficie du bassin versant (Km²).

P_m ; P : Périmètre du bassin versant (Km).

H_{MOY} : Altitude moyenne du bassin versant (m).

H_{MIN} : Altitude minimale du bassin versant (m).

2.3.4.5 Vitesse de propagation de la crue V_c

C'est la vitesse moyenne de propagation de la crue, elle est donnée par la formule:

$$V_c = \frac{L_P}{T_C} \quad (2.17)$$

Avec :

V_C : Vitesse de concentration (Km/h).

L_P : Longueur du talweg principal (Km).

T_C : Temps de concentration (h).

Chaque bassin versant réagit de façon propre aux précipitations qu'il reçoit. Les caractéristiques hydrologiques d'un bassin sont fonction d'une part du climat qu'il subit et d'autre part de son propre milieu physique.

Pour pouvoir comparer des bassins, et expliquer leur comportement distinct pour des mêmes conditions climatologiques, il est nécessaire de quantifier les facteurs caractéristiques du milieu physique.

Tableau 2.11Temps et vitesses de concentration des bassins versants

Site AIN TOUTA	S BV	Temps de concentration (Tc) (heures)					Vitesse de propagation (Vc) km/s
		GIANDOTTI	PASSINI	Ventura	ANONYME	Moyenne	
	1	6.247	0.508	1.528	5.118	3.35	3.37
	2	2.427	0.185	0.198	2.513	1.30	1.80
	3	2.956	0.255	0.402	3.270	1.70	2.5
	4	2.627	0.232	0.405	3.493	1.70	2.43

Tableau 2.12 Caractéristiques principales des sous bassins versants Ain touta

Paramètres	Symbole	Unité	SBV1	SBV2	SBV3	SBV4
Superficie	A	Km2	55.98	1.17	4.97	6.63
Périmètre	P	Km	38.18	6.87	13.17	12.99
Indice de compacité	Kc	/	1,43	1.78	1.65	1,41
Longueur du rectangle équivalent	LR	m	13.48	1.95	4.02	4.64
Largeur du rectangle équivalent	IR	m	4.15	0.6	1.24	1.43
Indice de pente de Roche	IP	%	6.24	6.64	8.4	10.2
Indice de pente global	Ig	m/km	12.61	18.98	17.42	27.15
Dénivelée spécifique	Ds	m	94.34	20.53	38.83	69.9
Type de relief	/	/	Relief modéré	Relief faible	Relief assez faible	Relief modéré
Altitude moyenne	Hmoy	m	1013	947	972	979
Altitude maximale	Hmax	m	1215	982	1041	1086
Altitude minimale	Hmin	m	925	930	930	918
Altitude à 5%	H5%	m	1130	973	1020	1066
Altitude à 95%	H95%	m	960	936	950	940
Longueur de cours d'eau principal	Lp	Km	11.3	2.4	4.3	4.11
Densité de drainage totale	Dd	Km/Km2	0,93	0,78	0.78	1.03
Pente moyenne de l'oued	Ic moy	m/Km	0.025	0.021	0.025	0.04
Coefficient de torrentialité	Ct	/	0.8	0.69	0.16	1.71
Temps de concentration	Tc	Heures	3.35	1.3	1.7	1.7
Vitesse de propagation de crue	Ve	Km/h	3.37	1.8	2.5	2.43
Classification de Horton	Ordre	/	4	2	1	2

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de représenter les sous bassins versants de Ain Touta, connaître la topographie, les conditions climatiques et l'état actuel du réseau hydrographique de la région et les tout caractéristique hydro morphologiques de Ain Touta. 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 3.

Etude hydrologique

Chapitre 3. Etude hydrologique

3.1.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.

3.2.Analyse des données pluviométriques

3.2.1 Pluies maximales journalières

L'estimation des pluies journalières est souvent génératrice de crues exceptionnelles. Pour cela, il est important d'effectuer un ajustement statistique d'une loi théorique à la série d'observations afin de déterminer les précipitations maximales journalières fréquentielles.

3.2.2 Précipitation maximales

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières du tableau 3.1 par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie de durée et de période de retour donnée.

Tableau 3.1 : Séries des Pluies Maximales Journalières (1929-2011) [12]

Année	Pjmax(mm)	Année	Pjmax(m)	Année	Pjmax(mm)	Année	Pjmax(mm)
1929/1930	38.4	1953/1954	21	1975/1976	46.4	1996/1997	27.3
1930/1931	37	1954/1955	32	1977/1978	32.9	1997/1998	51.9
1931/1932	23.6	1955/1956	46	1978/1979	30.5	1998/1999	17.2
1932/1933	39.9	1956/1957	20.5	1979/1980	12.3	1999/2000	26.8
1933/1934	35.1	1957/1958	46.5	1980/1981	25.4	2000/2001	39.8
1934/1935	29.9	1958/1959	39	1981/1982	14.3	2001/2002	20.3
1935/1936	37.6	1959/1960	29.2	1982/1983	59.6	2002/2003	52.4
1936/1937	48.1	1960/1961	28.4	1983/1984	48.3	2003/2004	45.2
1937/1938	46.6	1961/1962	47.7	1984/1985	36.8	2004/2005	42.8
1938/1939	24.4	1962/1963	57	1985/1986	20.1	2005/2006	49.9
1939/1940	41.5	1963/1964	26	1986/1987	13.1	2006/2007	21.1
1940/1941	17.2	1964/1965	23.8	1987/1988	35.2	2007/2008	36.2
1941/1942	46.2	1965/1966	33.5	1988/1989	60	2008/2009	39.3
1942/1943	33.2	1966/1967	18.4	1989/1990	39.7	2009/2010	32.6
1944/1945	20.7	1967/1968	78.5	1990/1991	20.7	2010/2011	64.6
1945/1946	21	1968/1969	51.7	1991/1992	22.1		
1947/1948	22.5	1971/1972	25.3	1992/1993	40.8		
1949/1951	23.6	1972/1973	49.6	1993/1994	24		
1951/1952	48.8	1973/1974	32.7	1994/1995	34.3		
1952/1953	38.8	1974/1975	23.7	1995/1996	34.3		

Dans notre étude on suit les étapes suivantes :

- ◇ Classer la série des précipitations par ordre croissant.
- ◇ Calcule de la fréquence expérimentale.
- ◇ Calcule des caractéristiques empiriques de la série de donnée.
- ◇ Ajuster graphiquement la loi choisie.
- ◇ Calculer le quantile et son intervalle de confiance.

Les caractéristiques empiriques de la série de donnée ont été obtenues par le logiciel HYFRAN

Tableau 3.2. Caractéristique de la série de donnée avec N = 75ans

Caractéristiques	Valeurs
Statistiques de base	75
Minimum	12.3
Maximum	78.5
Moyenne	35.0
Ecart-type	13.3
Médiane	34.3
Coefficient de variation (Cv)	0.381
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.611
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3.14

La représentation des observations sur du papier normale e leurs histogrammes sont présentés dans les figures 3.1et 3.2 respectivement :

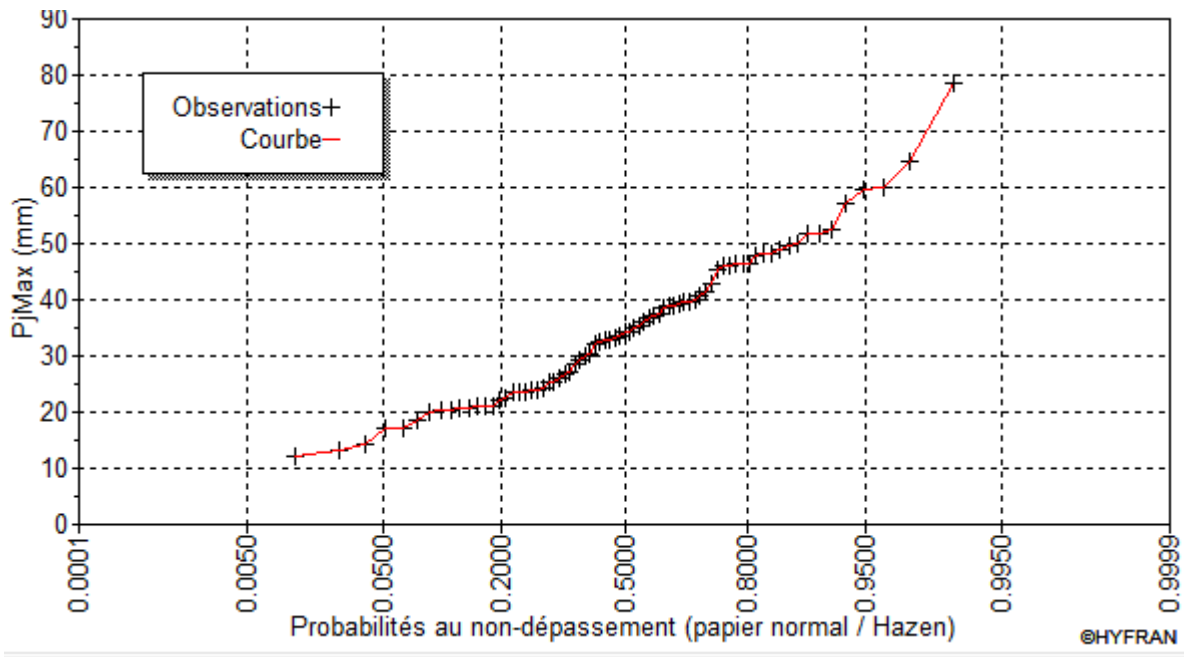


Figure3.1 Représentation des observations sur papier normale

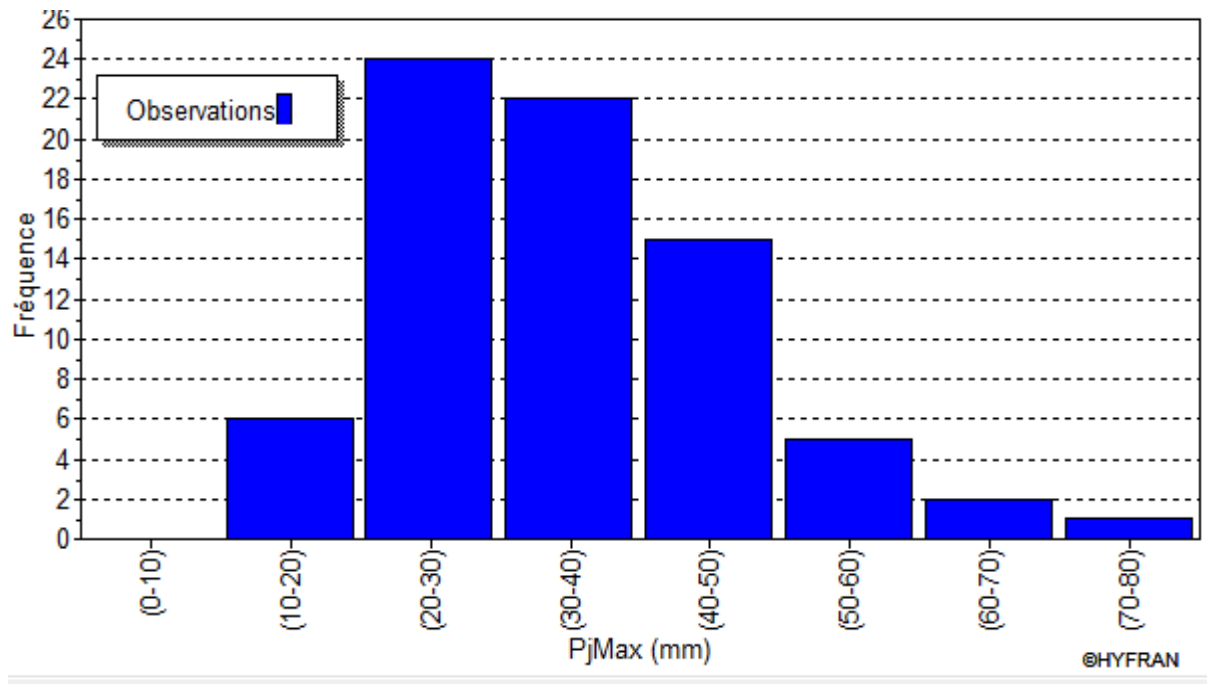


Figure 3.2 : Histogramme des observations

3.2.3 Choix de la loi d'ajustement :[16]

Les lois d'ajustement sont nombreuses et ne peuvent être appliquées à un échantillon que si les conditions d'homogénéités et stationnarités sont réunies.

Les critères de choix d'une loi sont liés à un ajustement graphique d'abord et ensuite à un test de dispersion. L'allure des points sur du papier à probabilité permet d'accepter ou de rejeter la loi.

Dans présente étude on applique la loi de GALTON (Loi Log normale) et la loi de GUMBEL

(Double exponentiel) et ce avec le logiciel HYFRAN.

Les caractéristiques des échantillons, les tests d'adéquation des deux lois ainsi que l'homogénéité sont calculés directement à partir du logiciel.

3.2.3.1 Ajustement suivant la loi de GALTON (Log Normale) :

Description théorique :

Le procédé d'ajustement est établi avec une représentation sur du papier log normale. La loi de GALTON a une fonction de répartition qui s'exprime selon la fonction suivante :

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[\ln x - \mu]^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (3.1)$$

$$U = \frac{\ln X_i - \ln \bar{X}}{\delta \ln X} \text{ (variable réduite de gauss)}$$

\bar{X} : La moyenne de l'échantillon

δ : L'écart-type de l'échantillon

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

$$\ln X (p\%) = \ln(\bar{X}) + \delta \cdot \ln u (p\%) \quad (3.2)$$

$$\ln \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N=75} \ln(X_i)}{N}$$

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

◇ classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang

1.2.3.4.5.....n.

◇ calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN :

$$F(x) = \frac{m-0.5}{n} \quad (3.3)$$

Avec :

- m : Rang de précipitation ;
- n : Nombre d'observations(75) .

◇ Calculer la variable réduite de GALTON donnée par la formule suivante :

$$U = \frac{\ln X_i - \ln \bar{X}}{\delta \ln X} \quad (3.4)$$

✓ **GALTON (log-Normale) (Maximum des vrais semblances) :**

Nombre d'observation : n = 75

❖ Paramètre :

$\mu = 3.48052$, $\sigma = 0.395542$

❖ Quantile :

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

T = 1 (1-q).

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GALTON sont représentées dans le tableau 3.3 suivant :

Tableau 3.3 : Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON

Période de retour (T)	Probabilité(q)	Pluies max(mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
500	0.9980	101.4	10.6	80.7	122
200	0.995	90	8.58	73.1	107
100	0.99	81.52	7.2	67.4	95.6
50	0.98	73.19	5.92	61.6	84.8
10	0.9	53.92	3.33	47.4	60.5
5	0.8	45.3	2.41	40.6	50

On constate que la droite d'ajustement est bien ajustée par rapport au nuage de points expérimentaux.

Test de Ki deux Carré (X²) :

Hypothèses :

H0 : L'échantillon provient d'une loi Lognormale

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Lognormale

Résultat de la statistique :	$X^2 = 7.87$
p-value	$p = 0.4466$
Degrés de liberté :	8
Nombre de classes :	11

Résultats :

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %

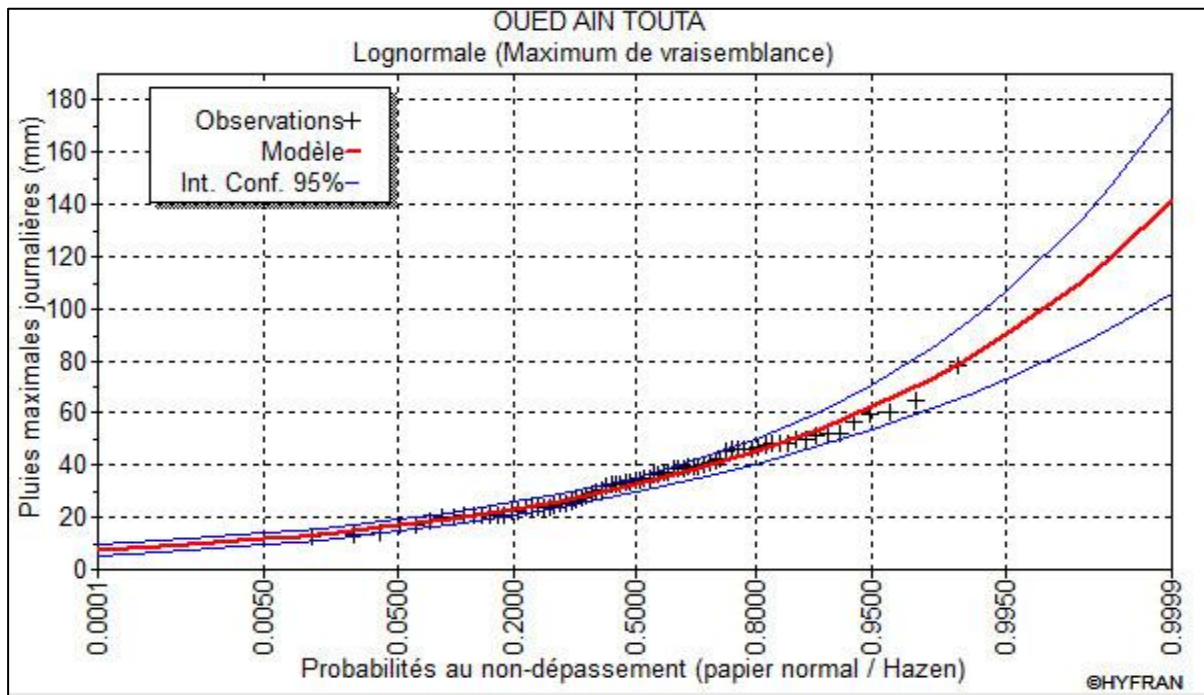


Figure 3.3 représentation graphique de l'ajustement par la loi de lognormale

3.2.3.2 Ajustement suivant la loi de GUMBEL :

Description théorique :

Le procédé d'ajustement est identique à celui établi pour la loi de GALTON. Seule la représentation graphique change ou elle est faite sur du papier (Gumbel/Hazen). La loi de GUMBEL a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(X) = e^{-e^{-y}} \quad (3.5)$$

Tel que : $y = a(x - x_0)$

- $1/a$: La pente de la droite de Gumbel,
- y : Variable réduite de GUMBEL,
- x : Précipitation maximale journalière (mm),
- x_0 : Ordonnée à l'origine en (mm).

On peut écrire :

$$y = -\ln(-\ln(F(x))) \quad (3.6)$$

✓ Gumbel (Méthode des moments) :

Nombre d'observations: 75

❖ Paramètre :

$u := 28.9811$, $\alpha := 10.3766$

❖ **Quantiles :**

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

$T = 1 / (1-q)$

Résultats pratiques :

Les paramètres qu'on peut les tirer à partir de cette série lorsqu'on applique la loi de GUMBEL

Tableau 3.4 Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBE

Période de retour (T)	Probabilité(q)	Pluies max(mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
500	0.9980	93.5	8.02	77.7	109
200	0.995	83.9	6.89	70.4	97.4
100	0.99	76.7	6.03	64.9	88.5
50	0.98	69.5	5.18	59.3	79.6
10	0.9	52.3	3.21	46.0	58.6
5	0.8	44.5	2.38	39.9	41.9

On constate que la droite d'ajustement est bien ajustée par rapport au nuage de points expérimentaux.

Test de Ki deux Carré (X²) :

Hypothèses :

H0 : L'échantillon provient d'une loi Gumbel

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gumbel

Résultats :

Résultat de la statistique :	$X^2 = 17.55$
p-value	$p = 0.0249$
Degrés de liberté :	8
Nombre de classes :	11

Résultats :

Nous devons REJETER H0 au niveau de signification de 5 % , mais on l'accepte au niveau de signification de 1% La figure 3.4 illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (Méthode des moments).

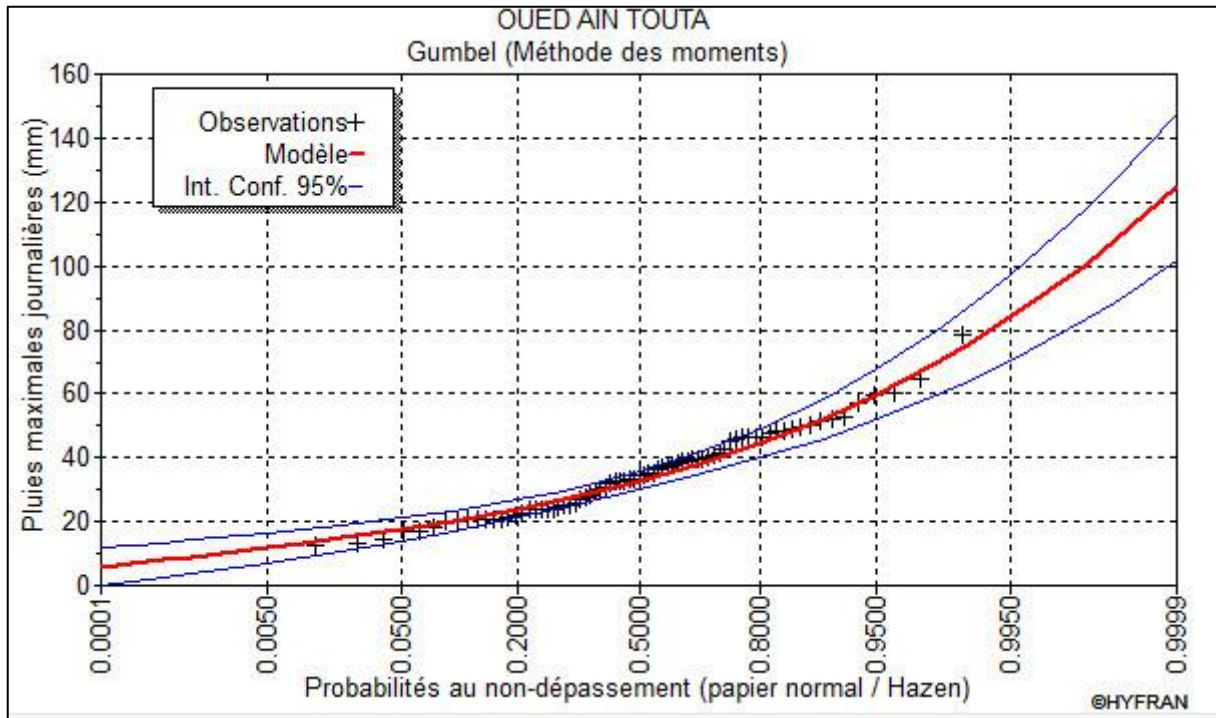


Figure 3.4 : Ajustement à la loi de GUMBEL

3.2.3.3 Comparaison entre les deux lois d'ajustement

La figure montre la comparaison entre les deux lois d'ajustement (Loi de Gumbel et loi de Galton).

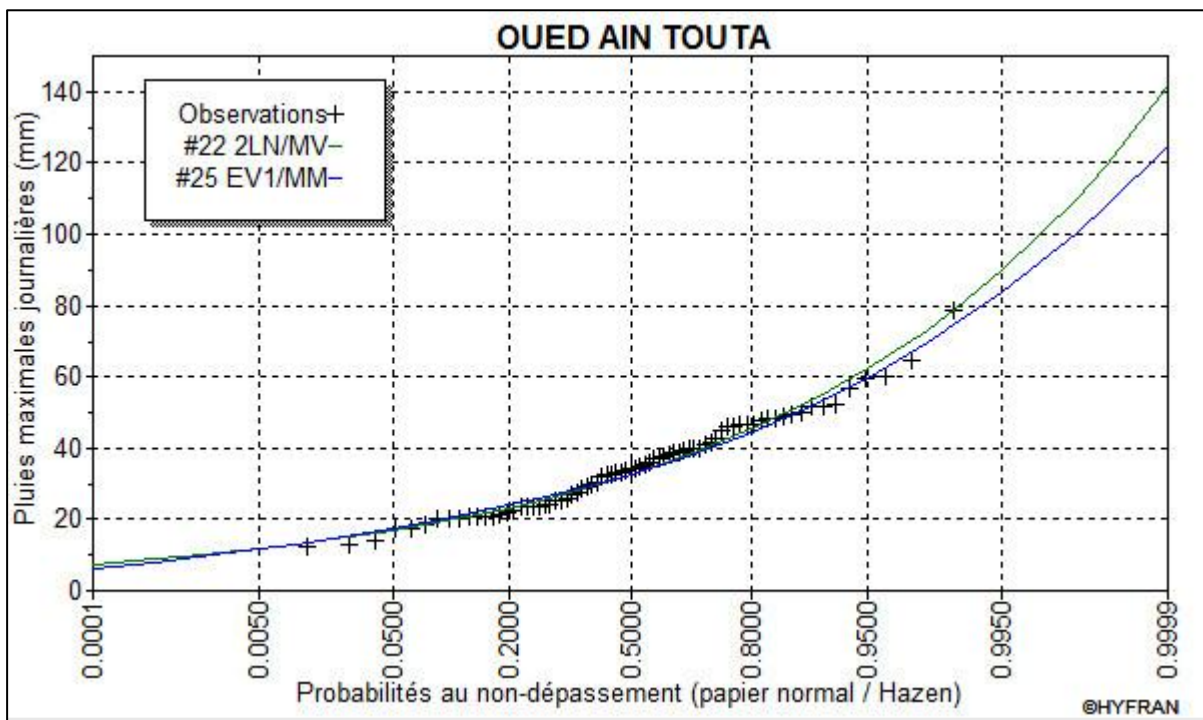


Figure 3.5 Comparaison entre les deux lois d'ajustement

En se référant aux graphes obtenues, par ces deux lois, celui de GUMBEL et GALTON, nous avons remarqué que l'ajustement issu de la loi de GALTON est le meilleur du moment que la position des données expérimentales sont plus proches de la droite théorique. Alors on opte pour la loi de GALTON (Log normale).

3.3 Pluies de courte durée

Pour une période donnée, la quantité de pluie tombée en un temps (t) est déterminée par la formule suivante:

$$P_{\max t, P\%} = P_{\max j, P\%} \left(\frac{t}{24} \right)^b \quad (3.7)$$

Avec : $P_{\max t, P\%}$: Pluie de courte durée pour une fréquence donnée (mm).

$P_{\max j, P\%}$: Pluie maximale journalière pour la même fréquence (mm).

t : Durée de pluie (h).

b : Exposant climatique; b = 0,25

L'intensité des pluies $I_t = \frac{P_{tc}}{t}$ (3.8)

Les résultats du calcul sont regroupés dans les tableaux 3.4 et 3.5

Tableau 3.5 pluies de courtes durées correspondant au temps de concentration de sous bassin 1.2.3.4

T	500		200		100		50		10		5	
	$\bar{P}_{\max j}$ (mm)	P_{tc} (mm)	$\bar{P}_{\max j}$ (mm)	P_{tc} (mm)	$\bar{P}_{\max j}$ (mm)	P_{tc} (mm)	$\bar{P}_{\max j}$ (mm)	P_{tc} (mm)	$\bar{P}_{\max j}$ (mm)	P_{tc} (mm)	$\bar{P}_{\max j}$ (mm)	P_{tc} (mm)
SBV 1	101.4	62.1	90	55.01	81.52	49.82	73.19	44.73	53.92	32.96	45.30	27.69
SBV 2	101.4	48.91	90	43.41	81.52	39.30	73.19	35.30	53.92	26.01	45.30	21.85
SBV 3	101.4	52.31	90	46.43	81.52	42.05	73.19	37.75	53.92	27.81	45.30	23.67
SBV 4	101.4	52.31	90	46.43	81.52	42.05	73.19	37.75	53.92	27.81	45.30	23.67

3.4 Etude des crues

3.4.1 Débits maximaux fréquents

L'absence de données observées nous a contraints à utiliser les formules empiriques les plus adéquates.

-Formule de TURAZZA

L'une des formules les plus utilisées est celle de TURAZZA qui s'exprime de la manière suivante :

$$Q_{p\%} = (C \times I_{p\%} \times S) / 3.6 \quad (3.9)$$

Où : $Q_{p\%}$ = Débit maximum de fréquence (P%)

C = Coefficient de ruissellement lié à la probabilité d'occurrence

I (P%)= Intensité de la pluie de fréquence (P%) pour une durée égale au temps de concentration T_c .

S = Superficie du bassin versant.

D'après son auteur, il est recommandé d'affecter les valeurs suivantes au coefficient (C)

Tableau 3.6 les valeurs de coefficient (C).

Période de retour (ans)	500	200	100	50	10	5
C	0,75	0,725	0,7	0,65	0,625	0,55

Rappelons que :

$$I_{p\%} = \frac{P_{tc(p\%)}}{T_c} \quad (3.10)$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3.7 Débits fréquentiels obtenus par la méthode Turraza

T	500		200		100		50		10		5	
	I_p (%)	$Q_{p\%}$ (m ³ /s)	I_p (%)	$Q_{p\%}$ (m ³ /s)	I_p (%)	$Q_{p\%}$ (m ³ /s)	I_p (%)	$Q_{p\%}$ (m ³ /s)	I_p (%)	$Q_{p\%}$ (m ³ /s)	I_p (%)	$Q_{p\%}$ (m ³ /s)
SBV 1	18.51	215.87	16.42	185.11	14.87	161.85	13.35	134.93	9.83	95.53	8.26	70.64
SBV 2	37.62	9.16	33.39	7.86	30.23	6.87	27.15	5.74	20	4.06	16.80	3.00
SBV 3	30.77	31.86	27.31	27.33	24.73	23.9	22.20	19.92	16.35	14.10	13.92	10.57
SBV 4	30.77	42.50	27.31	36.46	24.73	31.88	22.20	26.57	16.35	18.81	13.92	14.09

- Formule de SOKOLOVSKY

$$Q_{max} = \frac{0,28 P_{tcp\%} C_e S}{t_m} * f \quad (3.11)$$

f : coefficient de forme de la crue , $f = \frac{12}{4+3\gamma}$ (), on prend $\gamma=2,50$ d'où $f=1.04$ hydrogramme triangulaire

Tableau 3.8 Coefficient de forme

γ	2,0	2,5	3,0	4,0
f	1,20	1,04	0,92	0,75

t_m : temps de montée, en heures où $t_m = f (t_a)$

t_a : étant la durée de l'averse $t_a = t_c, = t_m$ cas des petits bassins versants

C_e : Coefficient de ruissellement en fonction de la fréquence,

Tableau 3.9 Débits fréquentiels obtenus par la méthode Sokolovsky

Période de retour (ans)		500	200	100	50	10	5
SBV1	Qmaxp% (m3/s)	226.30	194.07	169.70	141.47	96.23	74.10
SBV2	Qmaxp% (m3/s)	9.61	8.24	7.21	6.01	4.09	3.15
SBV3	Qmaxp% (m3/s)	33.39	28.65	25.06	20.90	14.21	11.08
SBV4	Qmaxp% (m3/s)	44.55	38.22	33.43	27.86	18.95	14.78

Formule de MALLET-GAUTHIER

$$Q_{max\%} = 2K \log(1 + 20\bar{P}) \frac{S}{\sqrt{L_t}} \sqrt{1 + 4 * \log T - \log S} \quad (3.12)$$

Avec :

- K : Constante comprise entre 1-3, on prend K=1.
- \bar{P} : Pluie moyenne annuelle (mm).
- S : Surface du bassin versant (Km2).
- L_t : Longueur du talweg principal (Km).
- T : Période de retour

Tableau 3.10 Débits fréquents obtenus par la méthode MALLET-GAUTHIER

Période de retour (ans)		500	200	100	50	10	5
SBV1	Qmaxp% (m3/s)	395.22	362.57	335.76	306.62	224.84	178.42
SBV2	Qmaxp% (m3/s)	19.36	18	16.89	15.71	12.55	10.91
SBV3	Qmaxp% (m3/s)	59.78	55.33	51.71	47.81	37.22	31.59
SBV4	Qmaxp% (m3/s)	81.11	75	70	64.66	50.05	42.22

Tableau 3.11 Résultats des crues par les lois empiriques

Périodes de retour (ans)			500	200	100	50	10	5
Qmax %	SBV1	Turaza	215.87	185.11	161.85	134.93	95.53	70.64
		Sokolovsky	226.30	194.07	169.70	141.47	96.23	74.10
		Mallet-Gauthier	395.22	362.57	335.76	306.62	224.84	178.42
Qmax %	SBV2	Turaza	9.16	7.86	6.87	5.74	4.06	3.00
		Sokolovsky	9.61	8.24	7.21	6.01	4.09	3.15
		Mallet-Gauthier	19.36	18	16.89	15.71	12.55	10.91
Qmax %	SBV3	Turaza	31.86	27.33	23.9	19.92	14.10	10.57
		Sokolovsky	33.39	28.65	25.06	20.90	14.21	11.08
		Mallet-Gauthier	59.78	55.33	51.71	47.81	37.22	31.59
Qmax %	SBV4	Turaza	42.50	36.46	31.88	26.57	18.81	14.09
		Sokolovsky	44.55	38.22	33.43	27.86	18.95	14.78
		Mallet-Gauthier	81.11	75	70	64.66	50.05	42.22

Choix du débit de crues (débit de dimensionnement) :

D'après les résultats obtenus par les différentes méthodes de calcul de débit de crues, on remarque que les valeurs obtenues par la méthode de SOKOLOVSKY et celle de Turaza sont très proches l'une de l'autre et cela pour les différentes fréquences de calcul.

On remarque que les résultats obtenus par la méthode Mallet-Gauthier sont grandes par rapport aux autres valeurs.

La méthode de SOKOLOVSKY qui elle, par contre, tiens compte de la surface, du temps de concentration, du coefficient de forme, du coefficient de ruissellement ainsi que de la précipitation correspondante au temps de concentration.

Etant donné que pour le tracé de l'hydrogramme de crue nous utilisons **la méthode de SOKOLOVSKY**, nous optons pour les débits de crues obtenus par la loi du même auteur.

Tableau 3.12 Débits fréquentiels arrêtés pour les calculs

Période de retour (ans)		500	200	100	50	10	5
Q _{max} p% (m ³ /s)	SBV1	226.30	194.07	169.70	141.47	96.23	74.10
	SBV2	9.61	8.24	7.21	6.01	4.09	3.15
	SBV3	33.39	28.65	25.06	20.90	14.21	11.08
	SBV4	44.55	38.22	33.43	27.86	18.95	14.78

3.4. 2 Hydrogramme de crues

La schématisation géométrique proposée par SOKOLOVSKI pour le tracé des hydrogrammes de crues permet de pallier l'absence de stations de mesures hydrométriques. Cet auteur donne à l'hydrogramme de crue la forme d'une courbe fermée par deux paraboles jointes au sommet dont les équations sont les suivantes :

$$Q_t = Q_{\max} \left(\frac{t}{t_m} \right)^m \quad (3.13)$$

Avec :

Q_t = Débit à l'instant t en heures après le début de la crue (m³/s)

Q_{\max} = Débit maximal de la crue (m³/s)

t_m = Temps de montée de la crue en heures. L'auteur préconise pour les petits bassins

$t_m = T_c$

m = Exposant de la parabole, pour les crues pluviales $m = 2$.

Equation de la courbe de décrue :

$$Q_{(t')} = Q_{\max} \left(\frac{t_d - t'}{t_d} \right)^n \quad (m^3/s) \quad (3.14)$$

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 $t_m = t_c$.

Le détail des calculs est reporté dans le tableau 3.12 et les hydrogrammes de crues pour différents temps de retour sont représentés sur la figure 3.5.

Tableau 3.13 Hydrogrammes de crues pour différentes périodes de retour. **SBV 1**

Temps (min)	500	200	100	50	10	5
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	8,96	7,69	6,72	5,60	3,81	2,93
80	35,85	30,74	26,88	22,41	15,24	11,74
120	80,66	69,17	60,49	50,42	34,30	26,41
160	143,39	122,97	107,53	89,64	60,98	46,95
201	226,30	194,07	169,70	141,47	96,23	74,10
240	165,25	141,71	123,92	103,30	70,27	54,11
280	116,30	99,74	87,21	72,70	49,45	38,08
320	78,12	66,99	58,58	48,84	33,22	25,58
360	49,37	42,34	37,02	30,86	20,99	16,17
400	28,71	24,62	21,53	17,95	12,21	9,40
440	14,81	12,70	11,11	9,26	6,30	4,85
480	6,33	5,42	4,74	3,95	2,69	2,07
520	1,92	1,65	1,44	1,20	0,82	0,63
603	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

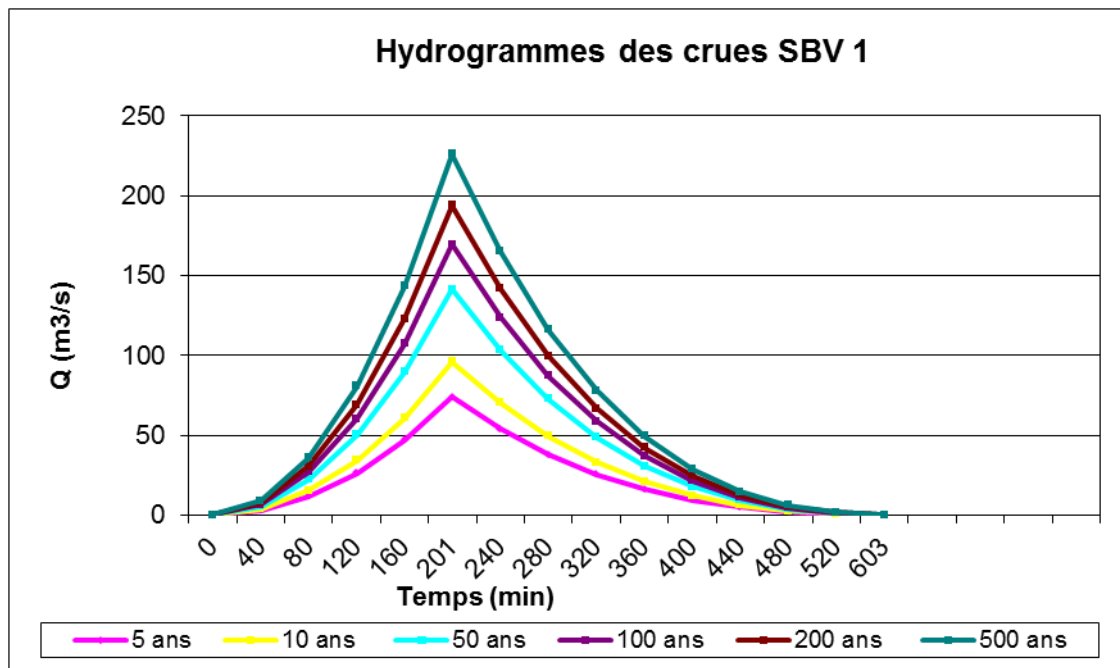


Figure 3.5 : Hydrogrammes de crues SBV 1

Tableau 3.14 Hydrogrammes de crues pour différentes périodes de retour. **SBV 2**

Temps (min)	500	200	100	50	10	5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.63	0.54	0.47	0.40	0.27	0.21
40	2.53	2.17	1.90	1.58	1.08	0.83
60	5.69	4.88	4.27	3.56	2.42	1.86
78	9.61	8.24	7.21	6.01	4.09	3.15
100	6.37	5.46	4.78	3.98	2.71	2.09
120	3.95	3.39	2.96	2.47	1.68	1.30
140	2.24	1.92	1.68	1.40	0.95	0.73
160	1.11	0.95	0.83	0.69	0.47	0.36
180	0.44	0.38	0.33	0.28	0.19	0.15
200	0.12	0.10	0.09	0.07	0.05	0.04
220	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
234	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

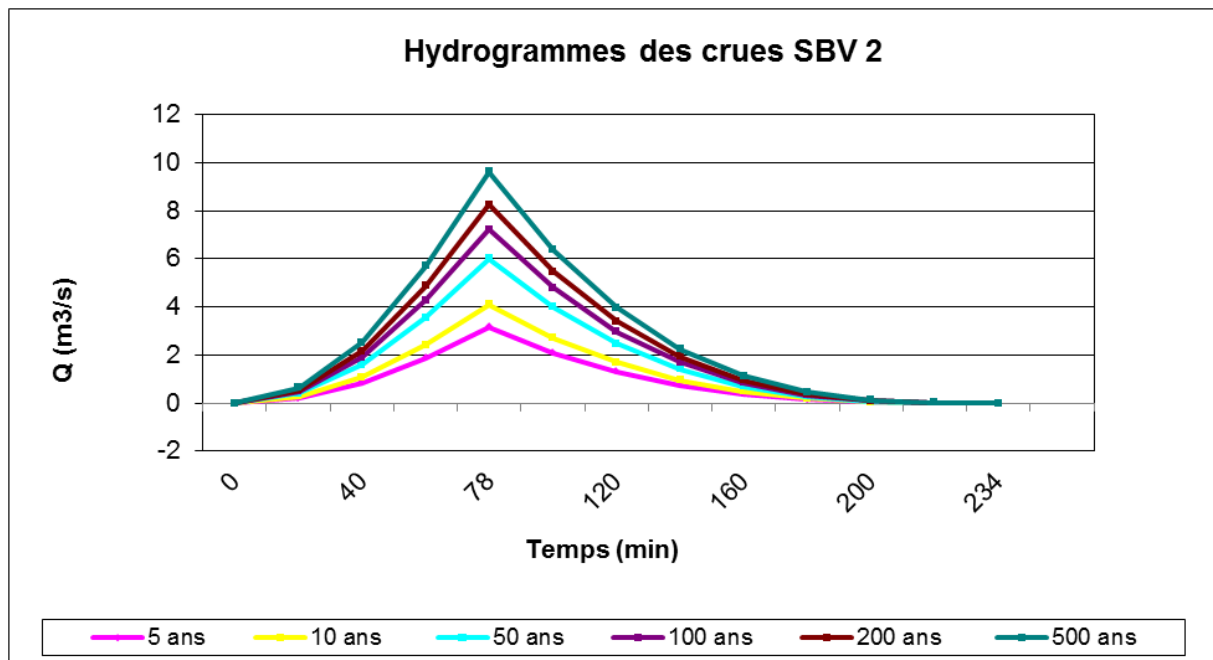


Figure 3.6 Hydrogrammes de crues SBV 2

Tableau 3.15 Hydrogrammes de crues pour différentes périodes de retour. **SBV 3**

Temps (min)	500	200	100	50	10	5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	1.28	1.10	0.96	0.80	0.55	0.43
40	5.13	4.41	3.85	3.21	2.19	1.70
60	11.55	9.91	8.67	7.23	4.92	3.83
80	20.54	17.62	15.42	12.86	8.74	6.82
102	33.39	28.65	25.06	20.90	14.21	11.08
120	24.50	21.02	18.39	15.34	10.43	8.13
140	17.35	14.89	13.02	10.86	7.38	5.76
160	11.74	10.08	8.81	7.35	5.00	3.90
180	7.50	6.43	5.63	4.69	3.19	2.49
200	4.42	3.80	3.32	2.77	1.88	1.47
220	2.33	2.00	1.75	1.46	0.99	0.77
240	1.03	0.88	0.77	0.65	0.44	0.34
260	0.34	0.29	0.25	0.21	0.14	0.11
280	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
306	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

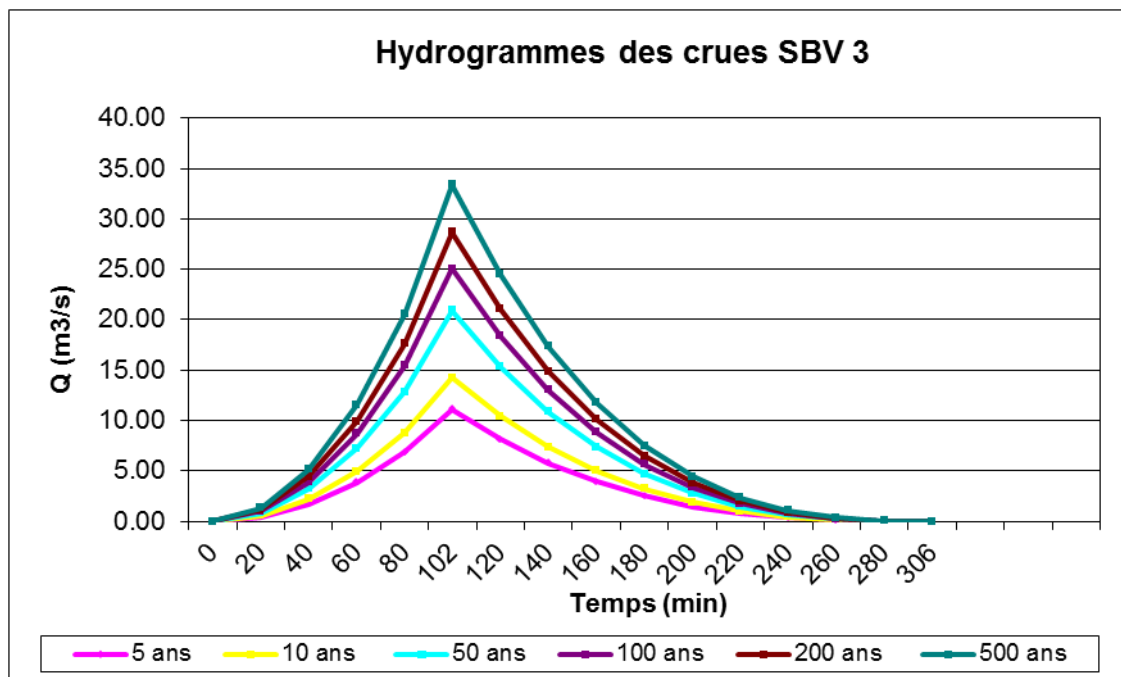


Figure 3.7 : Hydrogrammes de crues SBV 3

Tableau 3.16 Hydrogrammes de crues pour différentes périodes de retour. **SBV4**

Temps (min)	500	200	100	50	10	5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	1.71	1.47	1.29	1.07	0.73	0.57
40	6.85	5.88	5.14	4.28	2.91	2.27
60	15.42	13.22	11.57	9.64	6.56	5.11
80	27.40	23.51	20.56	17.14	11.66	9.09
102	44.55	38.22	33.43	27.86	18.95	14.78
120	32.69	28.04	24.53	20.44	13.91	10.85
140	23.15	19.86	17.37	14.48	9.85	7.68
160	15.67	13.44	11.76	9.80	6.67	5.20
180	10.01	8.58	7.51	6.26	4.26	3.32
200	5.90	5.06	4.43	3.69	2.51	1.96
220	3.11	2.67	2.33	1.95	1.32	1.03
240	1.38	1.18	1.03	0.86	0.59	0.46
260	0.45	0.38	0.34	0.28	0.19	0.15
280	0.07	0.06	0.05	0.05	0.03	0.02
306	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

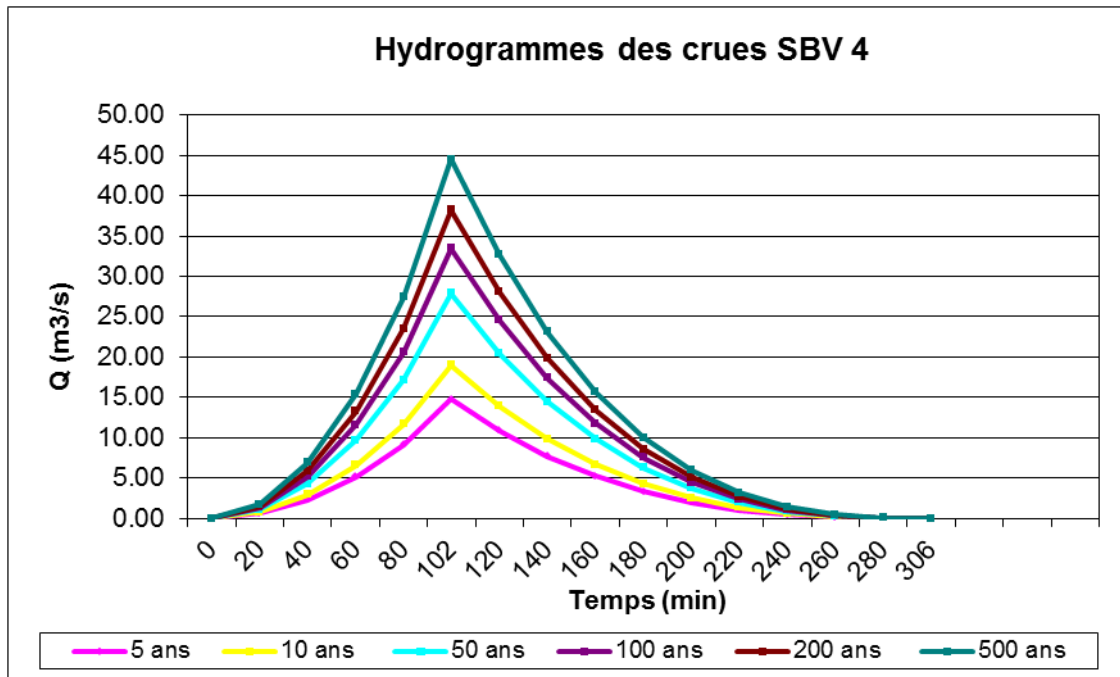


Figure 3.8: Hydrogrammes de crues SBV 4

3.5 Conclusion

L'analyse statistique des données (crués) 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 des différents sous bassins versants de l'oued Ain Touta. Aussi, le calcul des différents quantiles de débits est nécessaire dans l'établissement des hydrogrammes synthétiques mono-fréquence. Les débits maximaux fréquents déterminés à l'aide de formules empiriques (Turazza SOKOLOVSKI, Mallet-Gauthier) donnent des résultats assez concordants. Toutefois, nous avons retenu les résultats obtenus de **la méthode de SOKOLOVSKY**. Méthode qui prend en considération l'ensemble des paramètres physico climatiques du bassin versant. Ces résultats ont permis le calcul des volumes des crues maximales pour un temps de retour donné.

Chapitre 4.
Cartographie des zones inondables basée
sur le calcul hydrologique et la
modélisation hydraulique

Cartographie des zones inondables basée sur le calcul hydrologique et la modélisation hydraulique

4.1. Introduction

La cartographie est définie comme l'ensemble des études et des opérations scientifiques, techniques, et artistiques, intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration, de l'établissement et de l'utilisation de cartes, plans et autres modes d'expression.

La complexité des problèmes liés à l'abondance des données dans un cadre de cartographie du risque inondation (topographie, hydrologie, hydraulique, occupation des sols), nécessite le développement d'interfaces évoluées pour aider l'utilisateur et rendre son intervention plus efficace afin de résoudre les problèmes issus du risque inondation. C'est pour cela, la progression d'outils de cartographie automatiques couplés avec les outils de modélisation hydraulique est une nécessité pour disposer de cartes actualisables contribuant à la gestion du risque inondation. Des programmes de recherche spécifiques sont nécessaires pour faire progresser ce volet et utiliser les capacités de traitement informatique qu'offrent les matériels modernes. [10]

L'objectif principal de ce chapitre est délimiter et cartographier les zones inondables basée sur le calcul hydrologique et la modélisation hydraulique.

4.2. Les outils utilisés pour l'aide à la cartographie du risque inondation

Il faut tout d'abord signalé 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 (**H**ydrologic **E**ngineering **C**enter, **R**iver **A**nalysis **S**ystem 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. [10] Nous disposons de la version (HEC-RAS 5.0.3) disponible gratuitement sur le site officiel HECRAS.

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 assurés 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 4.1. Représentation schématique du dispositif informatique utilisé

4.2.1. ArcGIS :

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 : ArcGIS est en réalité une suite, qui se décline en trois versions (ArcView, ArcEditor et ArcInfo). 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 suite).

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

4.2.1.1. Présentation de l'interface ArcMap :

ArcMap montre, questionne, édite, créé 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 :[17]

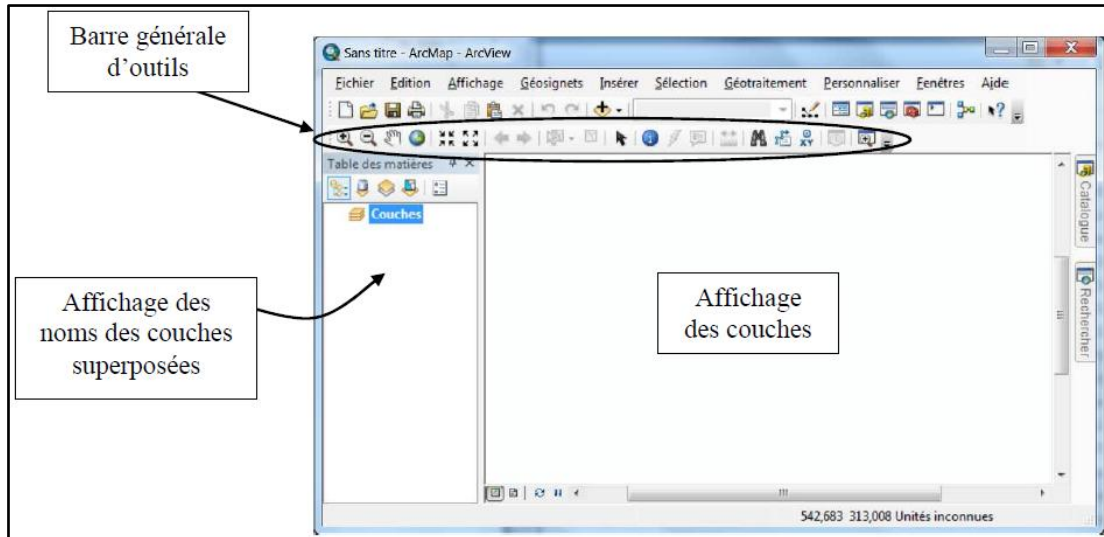


Figure 4.2. Interface de ArcMap

La barre générale d'outils se décline comme suit :

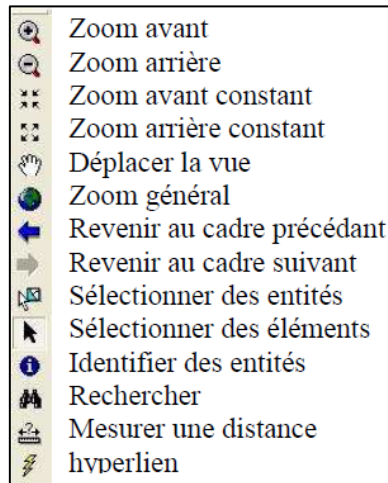


Figure 4.3. La barre générale d'outils

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.

4.2.1.2. 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.

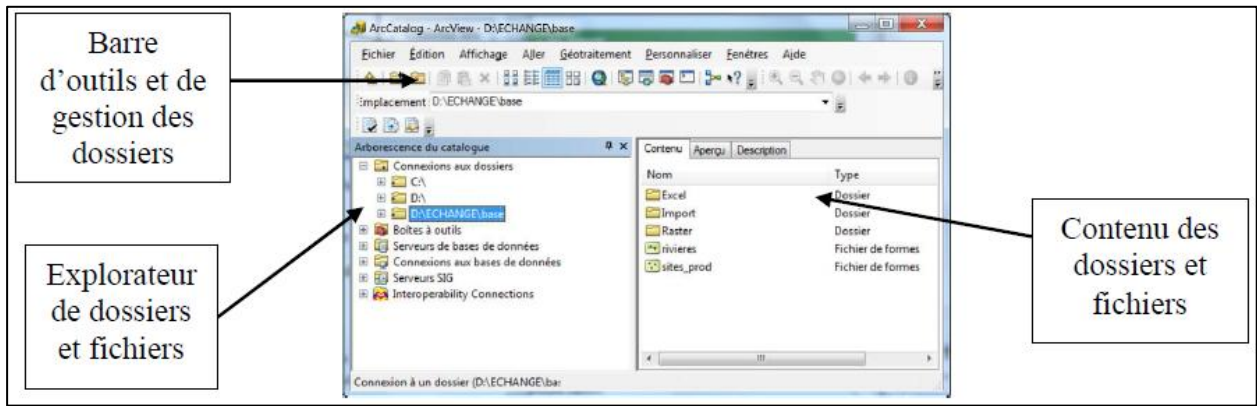


Figure 4.4. Interface de ArcCatalog

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 de ArcMap, soit à l'aide de l'onglet Catalogue situé à droite de la fenêtre

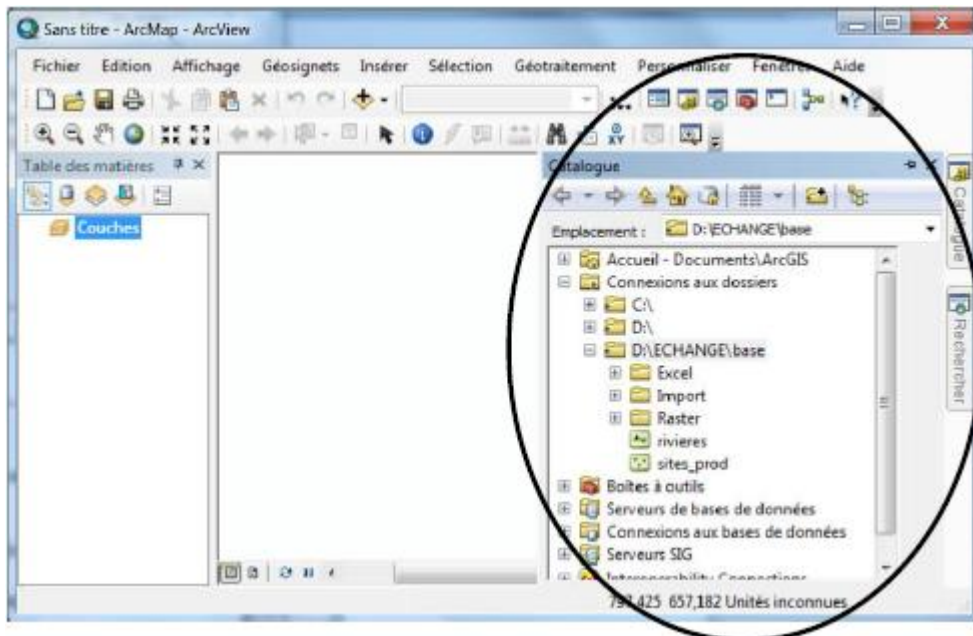


Figure 4.5. Interface de ArcCatalog au travers d'ArcMap

4.2.1.3 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 !

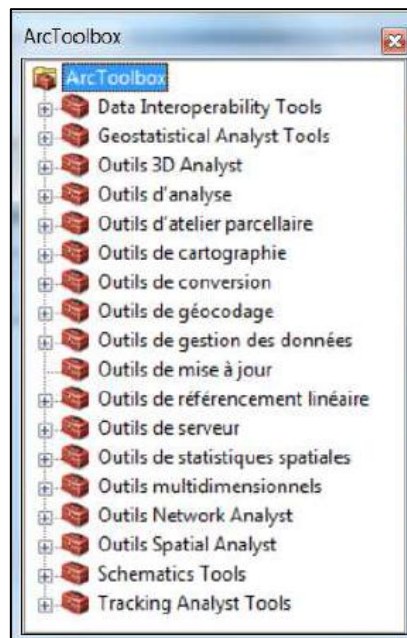


Figure4.6. Interface de ArcToolbox

4.2.2. 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.

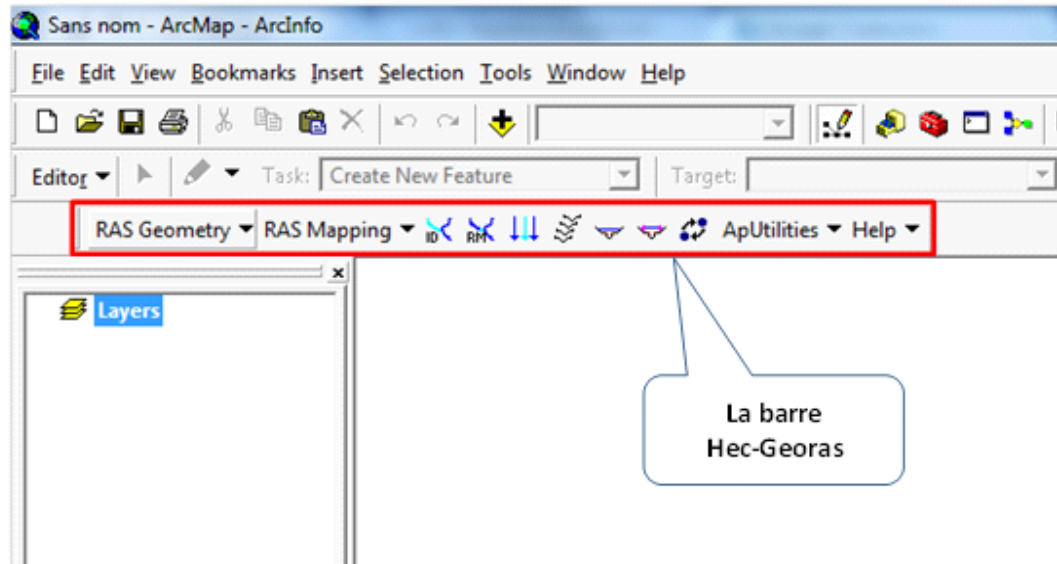


Figure 4.7. L'extension HecGeoRas sur l'interface ArcMap

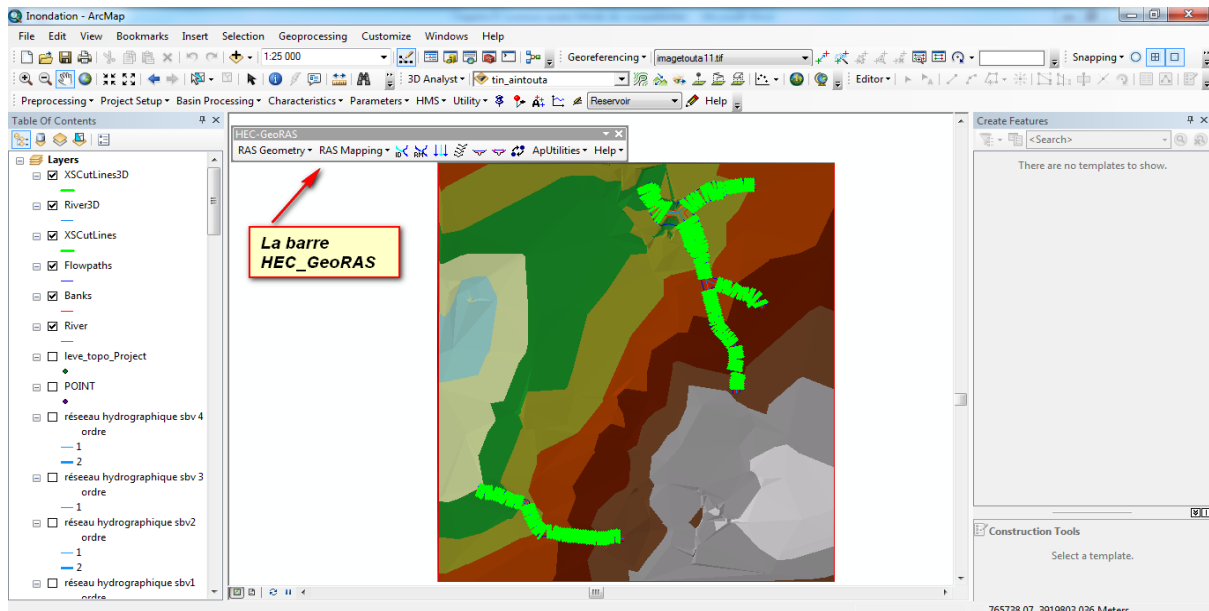


Figure 4.8 Quelques entités géométriques numérisées sur ArcMap à l'aide de l'extension Hec-GeoRas

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.

4.2.3. 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.

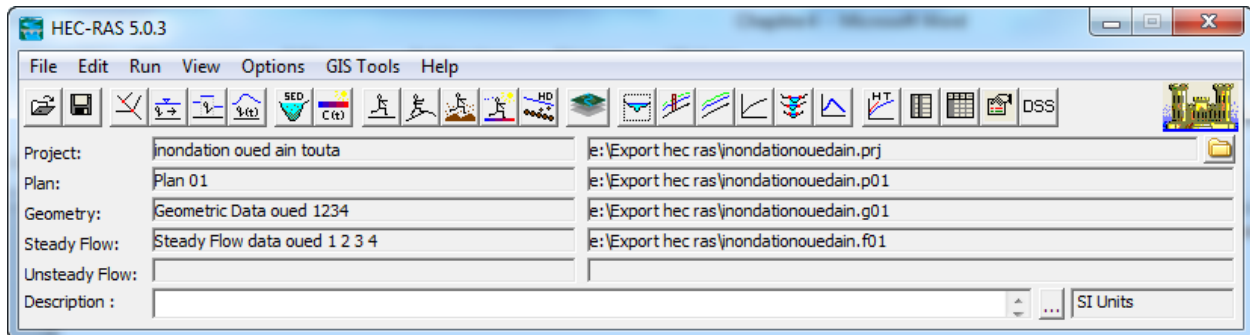


Figure 4.9. Interface de HEC-RAS 5.0.3

4.2.3.1. 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. Le modèle de la rivière nous a été fourni par les enseignants. 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. Le Lez comporte de nombreux seuils sur la partie que nous étudions et ces seuils sont également modélisés.

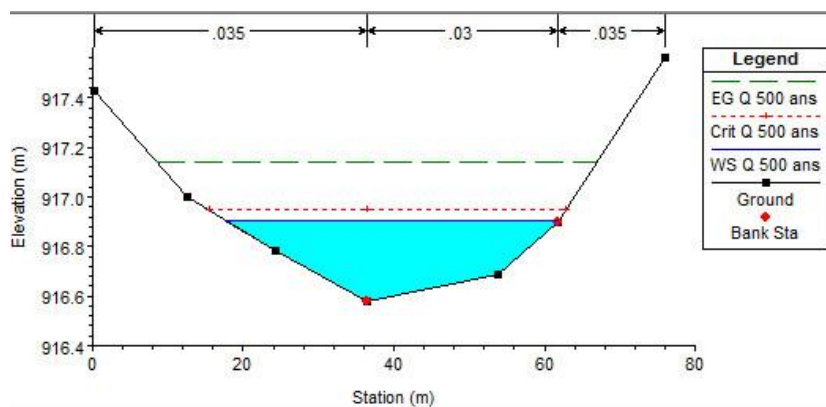


Figure 4.10. Exemple de section avec une hauteur d'eau

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 aval 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 utilisée puisque nous avons simulé des crues qui sont par définition 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 : Lavalette à l'amont car il y a une station de mesure des hauteurs d'eau et Garigliano à l'aval pour la même raison ce qui permet de comparer les résultats. Voyons à présent les équations utilisées par HEC-RAS.

4.2.3.1. 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 calcul 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).

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad 4.1$$

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 :

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (4.2)$$

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:

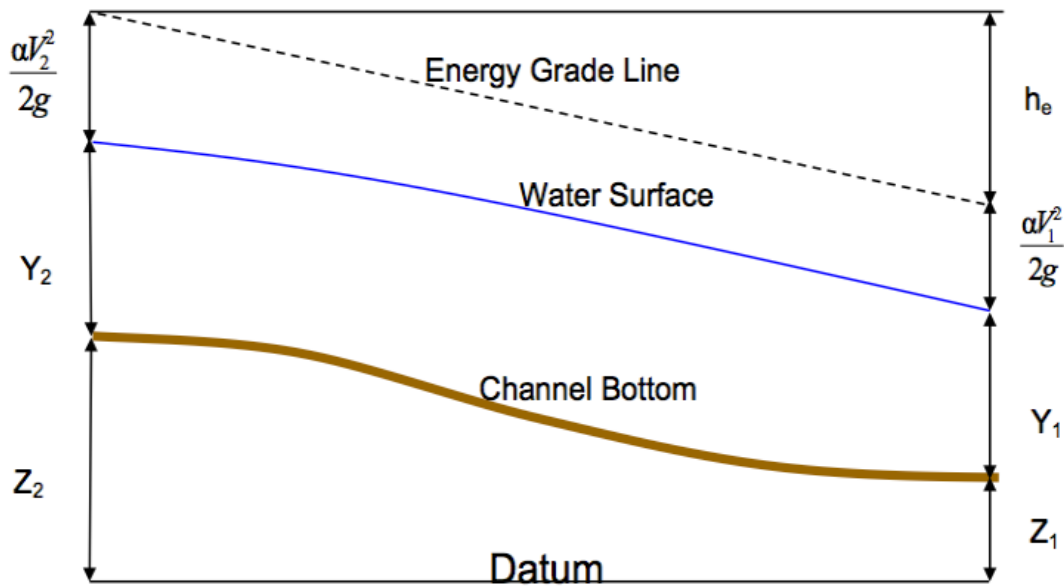


Figure 4.11. Conservation de la charge entre deux sections (source : HEC-RAS)

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 là même sur les bords, dans le lit majeur ou dans le lit mineur. Le découpage se fait comme sur l'image qui suit :

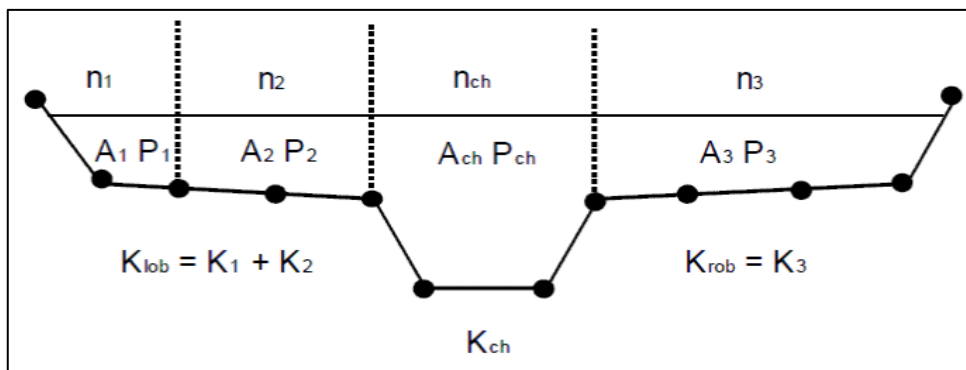


Figure 4.12. Découpage de la section pour le calcul du frottement (source : HEC-RAS)

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 :

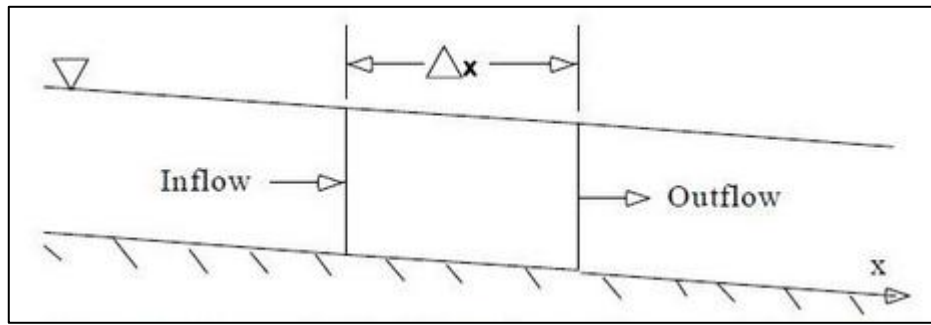


Figure 4.13. Petit volume de contrôle (source : HEC-RAS)

On obtient l'équation de conservation de la masse :

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad (4.3)$$

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

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (4.4)$$

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.

4.3. Application du logiciel HEC-RAS Cas régime permanente 1D:

4.3.1. 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.

4.3.2. 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 : [18]

Le traçage du schéma de système de rivières comme il est montré sur la figure (4.1). 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.

Les sections géométriques introduites dans le modèle HEC-RAS sont extraites du logiciel WMS land développement.

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 Ain touta en 1,2,4 section.

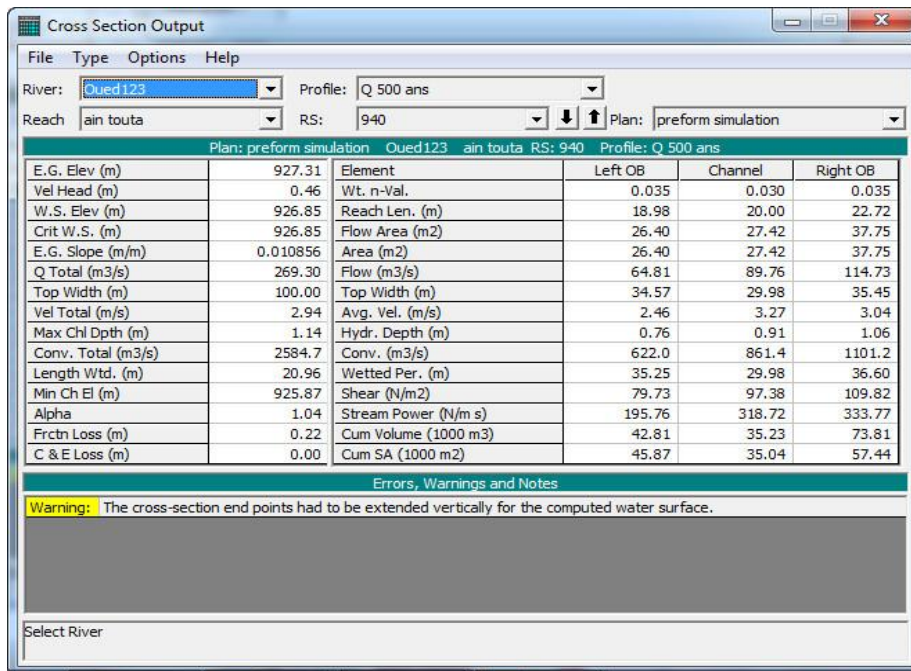


Figure 4.15. Données géométrique et hydraulique de la Section transversal à l'exutoire d'oueds 1,2,3

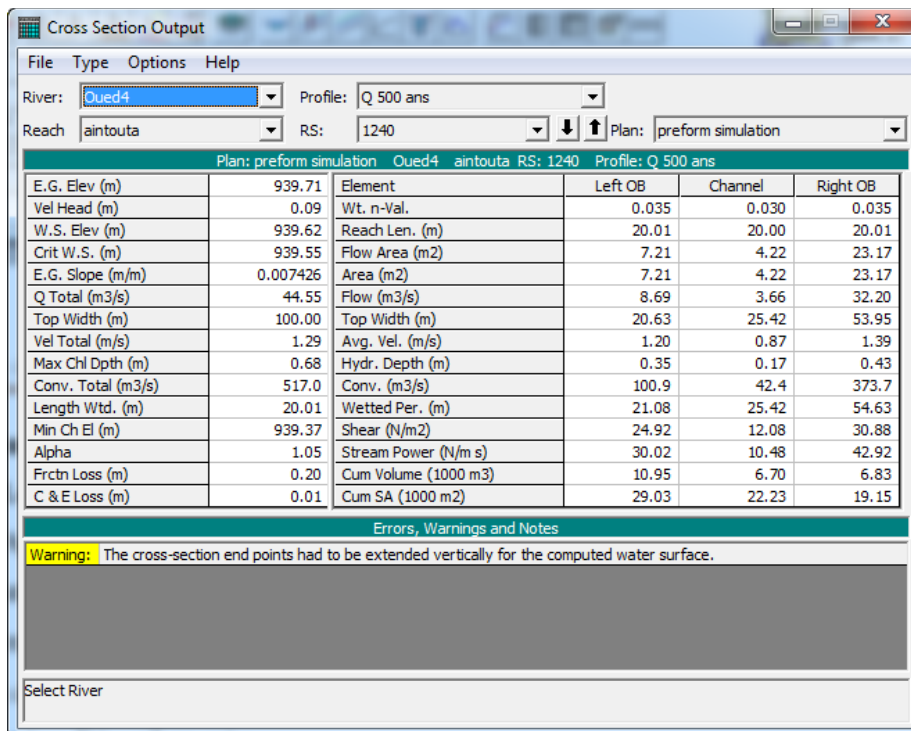


Figure 4.16. Données géométrique et hydraulique de la Section transversal à l'exutoire oued4

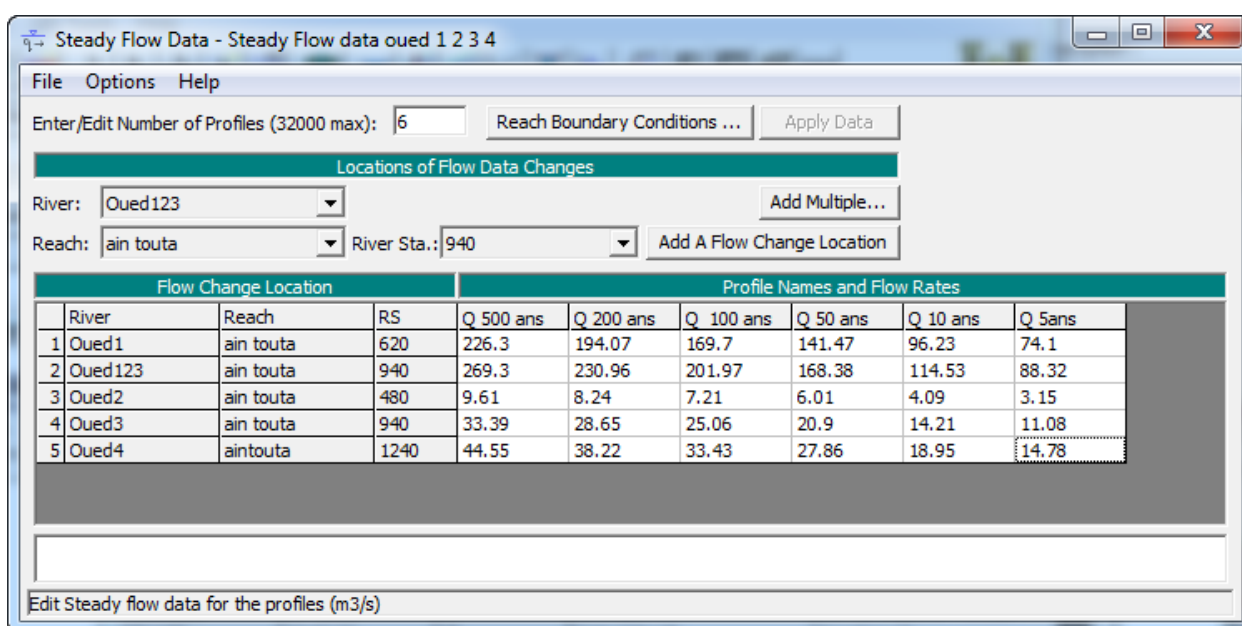
Pour les autres oued sont trouvées dans l'annexe 1.

4.3.3. 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. [18]

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 500 ans	Q 200 ans	Q 100 ans	Q 50 ans	Q 10 ans	Q 5ans	
1 Oued1	ain touta	620	226.3	194.07	169.7	141.47	96.23	74.1	
2 Oued123	ain touta	940	269.3	230.96	201.97	168.38	114.53	88.32	
3 Oued2	ain touta	480	9.61	8.24	7.21	6.01	4.09	3.15	
4 Oued3	ain touta	940	33.39	28.65	25.06	20.9	14.21	11.08	
5 Oued4	aintouta	1240	44.55	38.22	33.43	27.86	18.95	14.78	

Figure 4.17. Fenêtre représente les différents débits fréquents

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 0.014m/m et 0.008m/m comme une pente normale évaluée à la tête d'oued Ain touta.

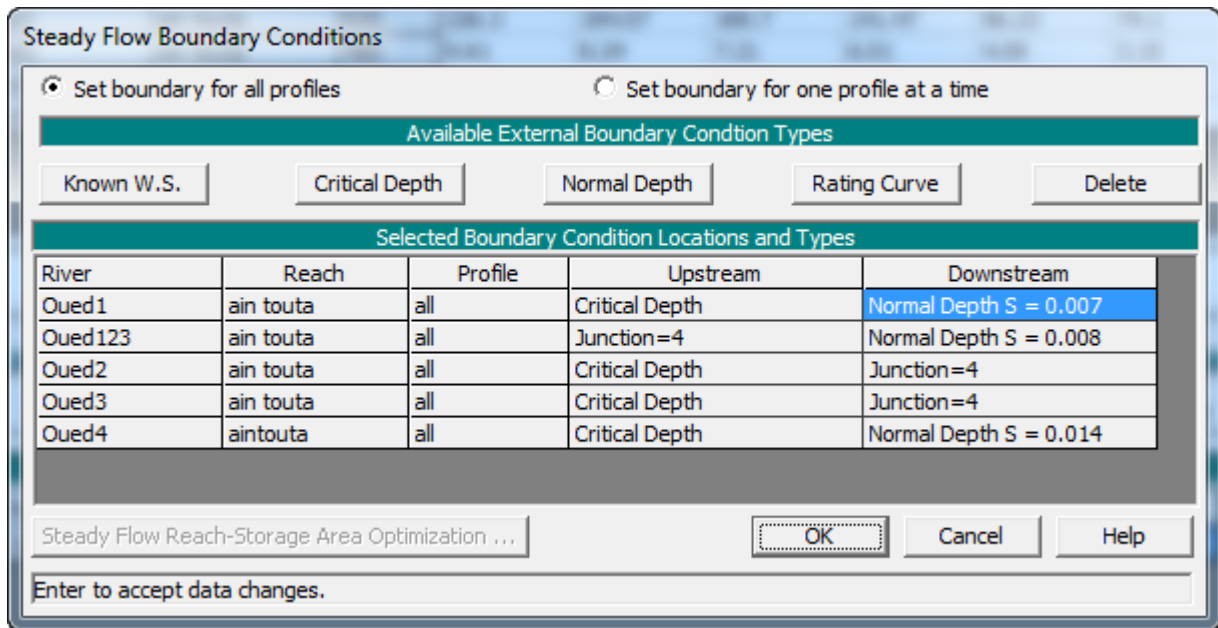


Figure 4.18. Fenêtres des conditions aux limites

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.

4.3.4. Résultats et analyse de la simulation

Dès que le modèle s'apprêtait à l'utilisation, nous avons commencé la phase d'exploitation. Nous avons adopté la simulation en régime permanent avec un écoulement fluviale vu que le modèle hydraulique est extrêmement sensible au moindre défaut, et présente des disfonctionnement en régime transitoire.

Les résultats de la simulation sont exportés vers ArcGis où ils seront exploités par Hec-GeoRas pour cartographier la surface inondée correspondante à chaque profil calculé par Hec-Ras.

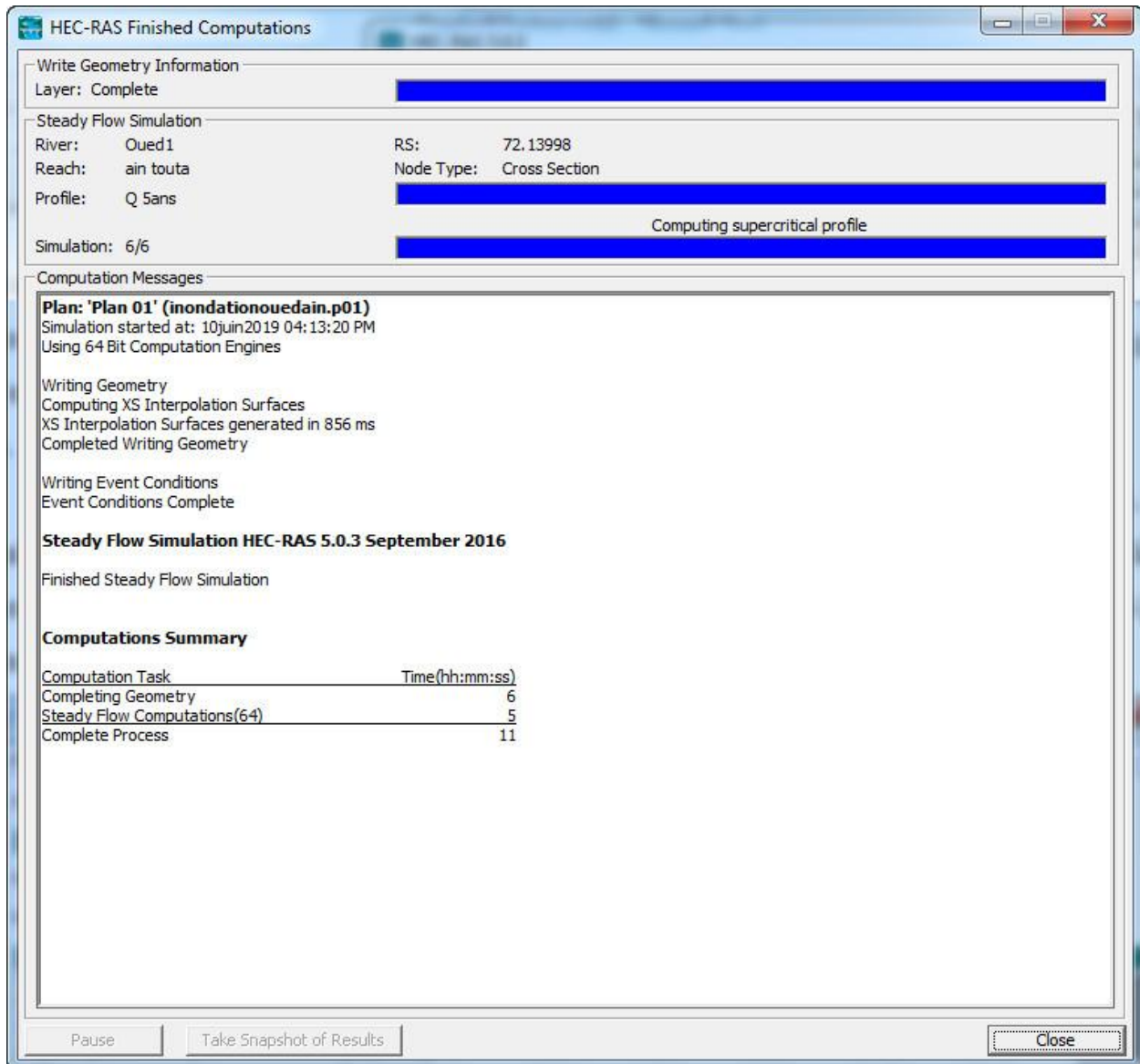


Figure 4.19. Fenêtre de la simulation

➤ Visualisation et discussion des résultats

La saisie des données géométriques concernant les profils des sections transversales et les débits de pointe de différentes périodes de retour, ainsi que les conditions limites dans le logiciel HEC-RAS a permis d'effectuer les calculs et d'extraire des résultats comme la vue en profil du tronçon simulé, le niveau d'eau de chaque période de retour sur les profils, une vue de trois dimensions du niveau d'eau dans le tronçon d'étude des tables descriptives.

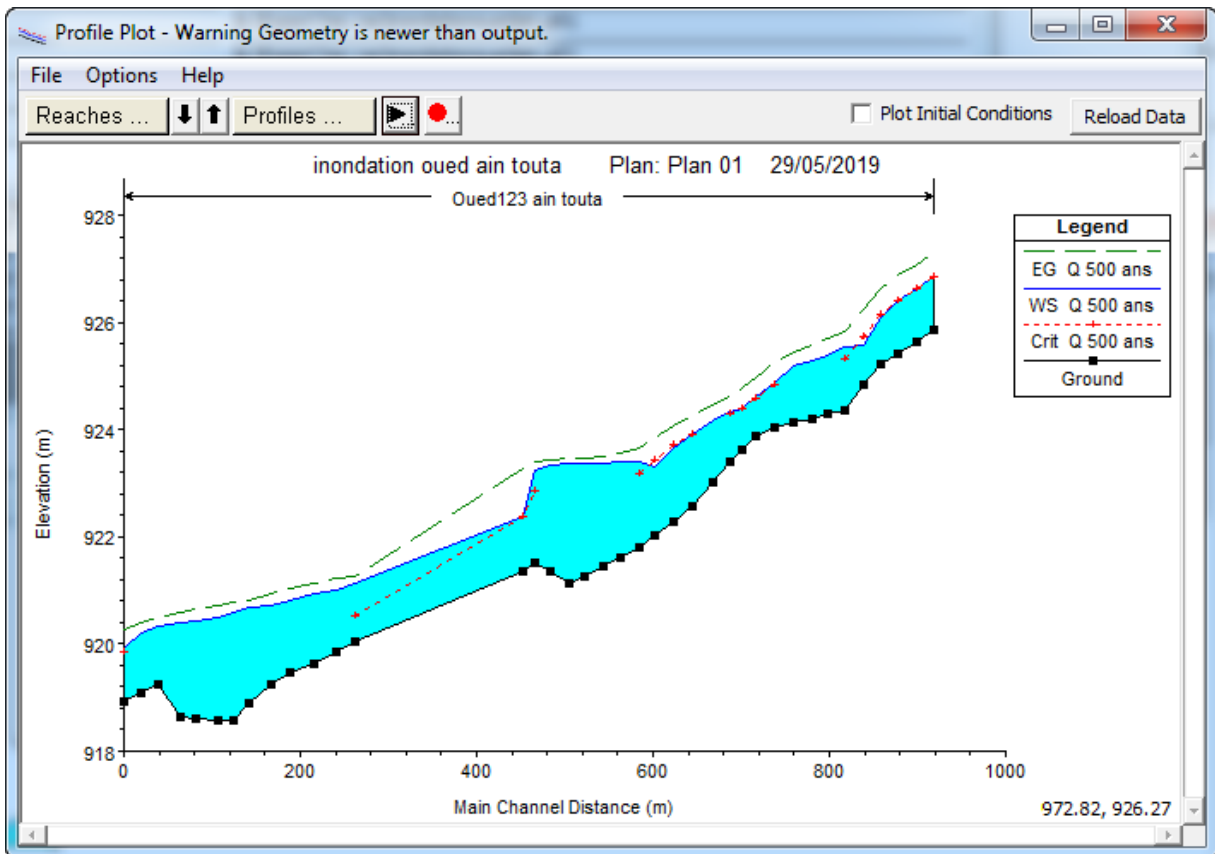


Figure 4.20. Profil en long de l'oued 1,2,3 Ain touda avec la ligne de surface pour T = 500 ans

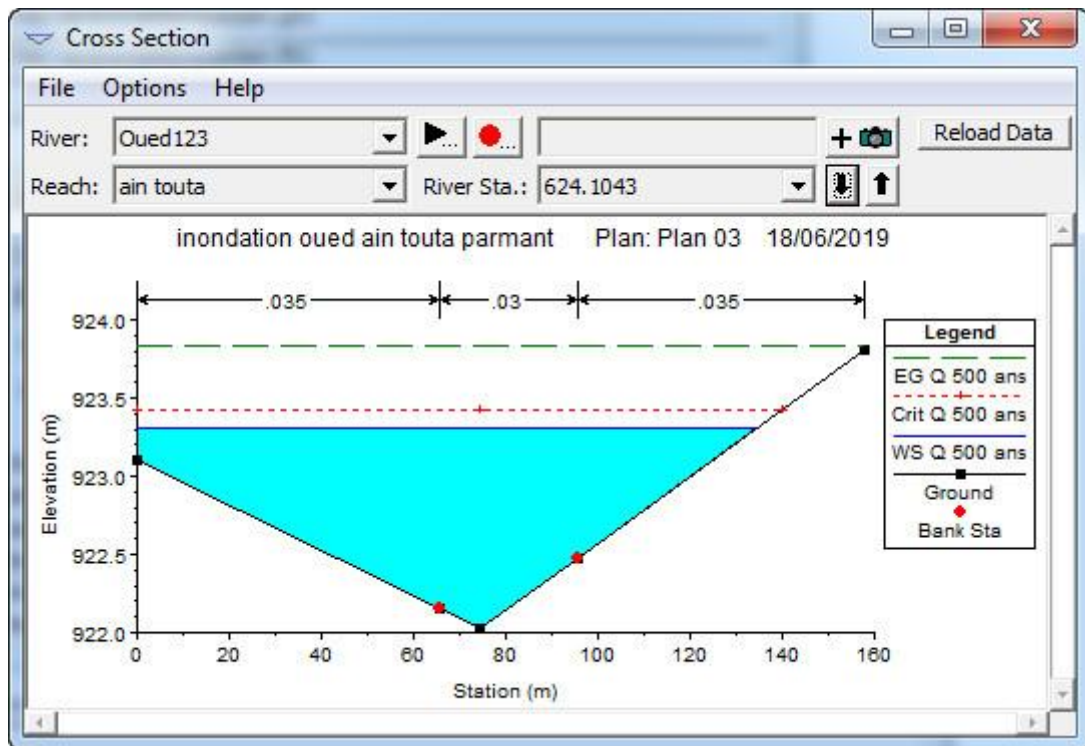


Figure 4.21. Section avec une hauteur d'eau oued 1,2,3 pour T = 500 ans

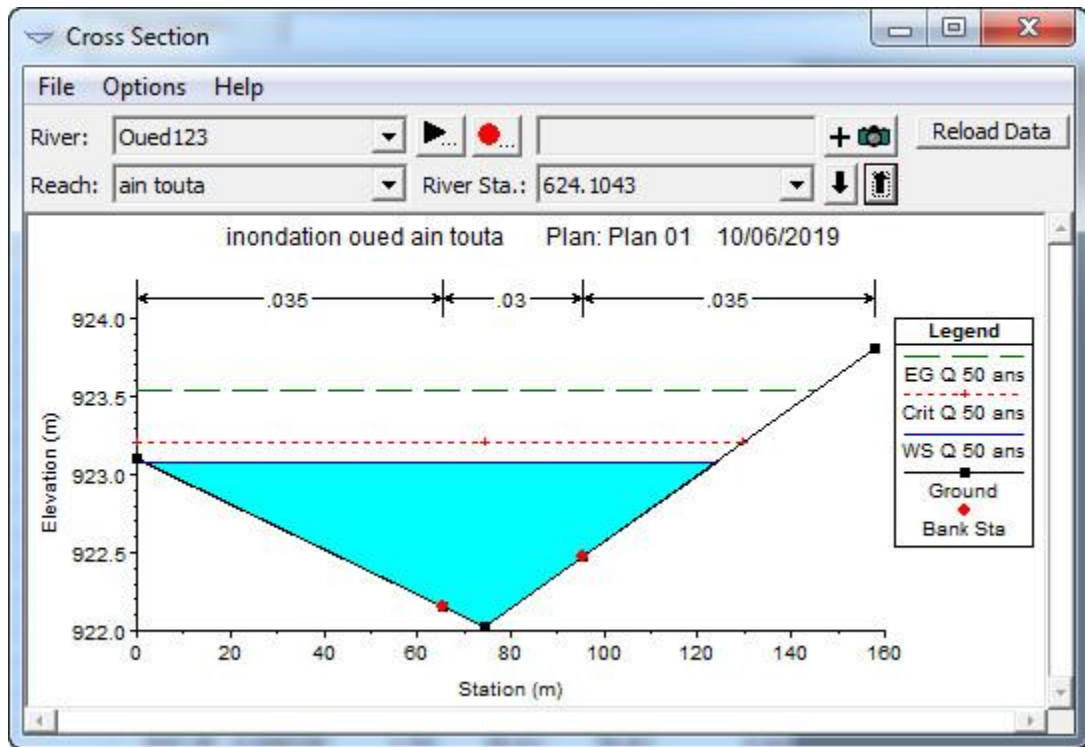


Figure 4.22. Section avec une hauteur d'eau oued 1,2,3 pour T = 50 ans

Pour les autres sections sont trouvées dans l'annexe 2.

Une vue 3D de ces résultats de simulation est représentée dans la figure 4.16.

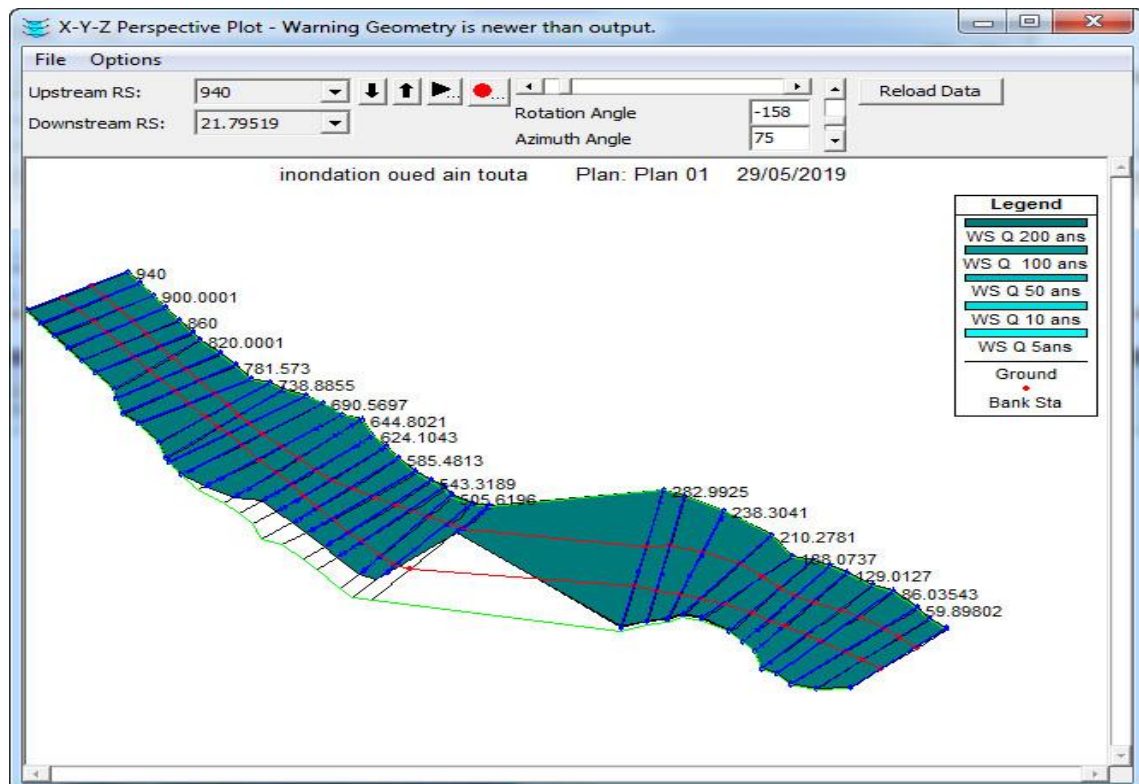


Figure 4.23. Vue en Plan en 3D de l'oued Ain Touta, après simulation oued1,2,3

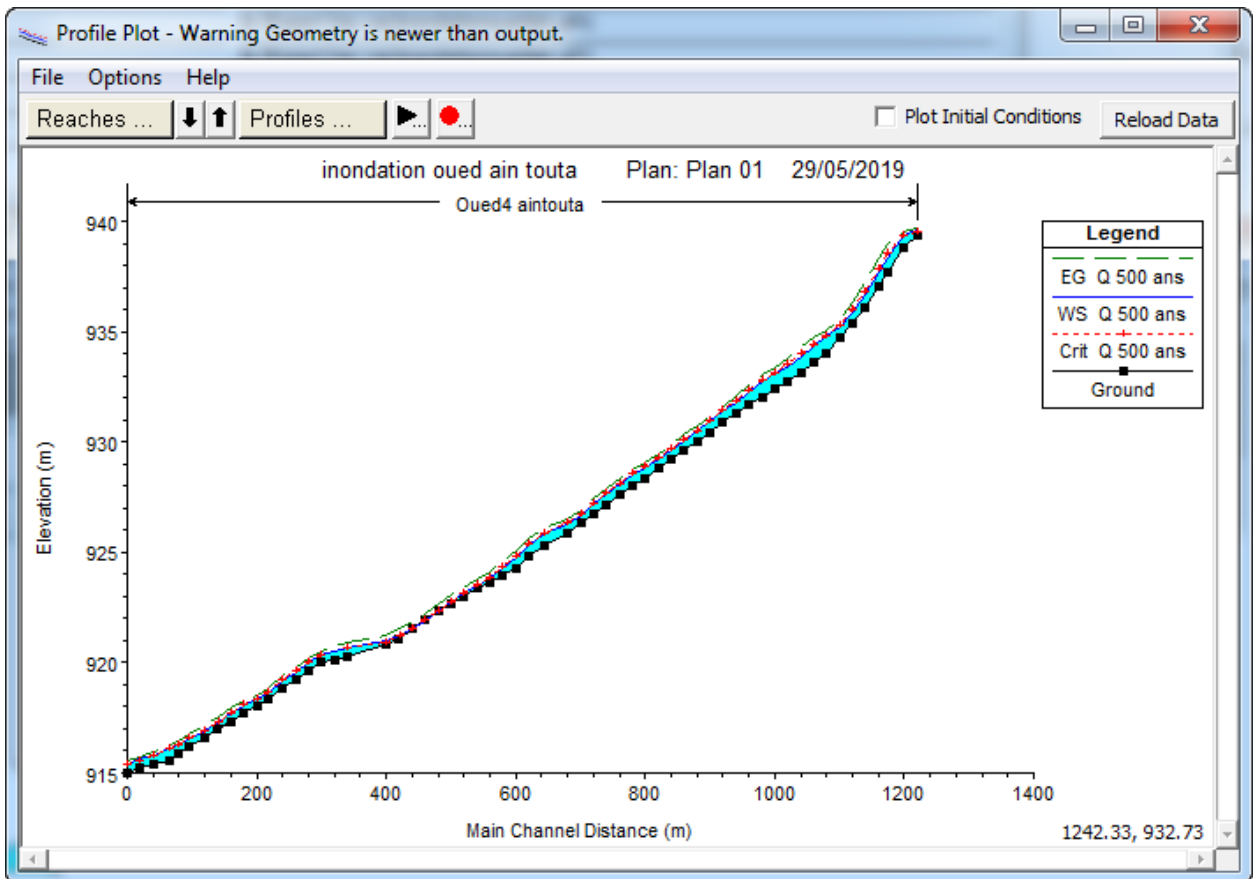


Figure 4.24. Profil en long de l'oued 4Ain touta avec la ligne de surface pour T = 500 ans

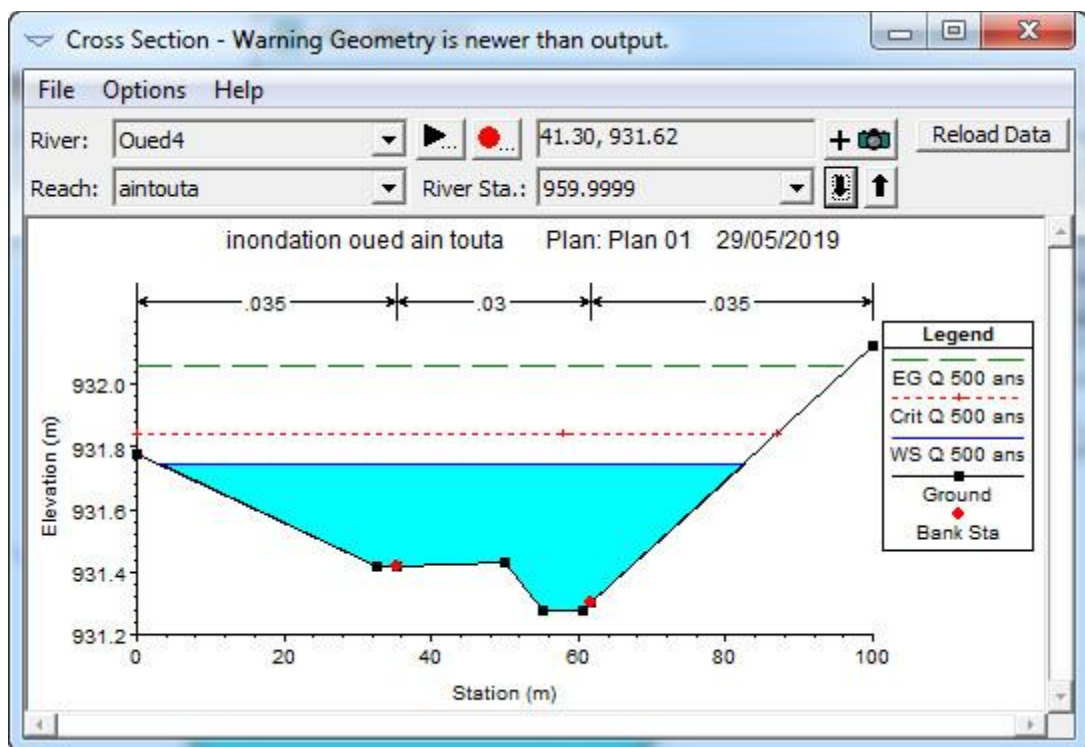


Figure 4.25. Section avec une hauteur d'eau oued 4 pour T = 500 ans

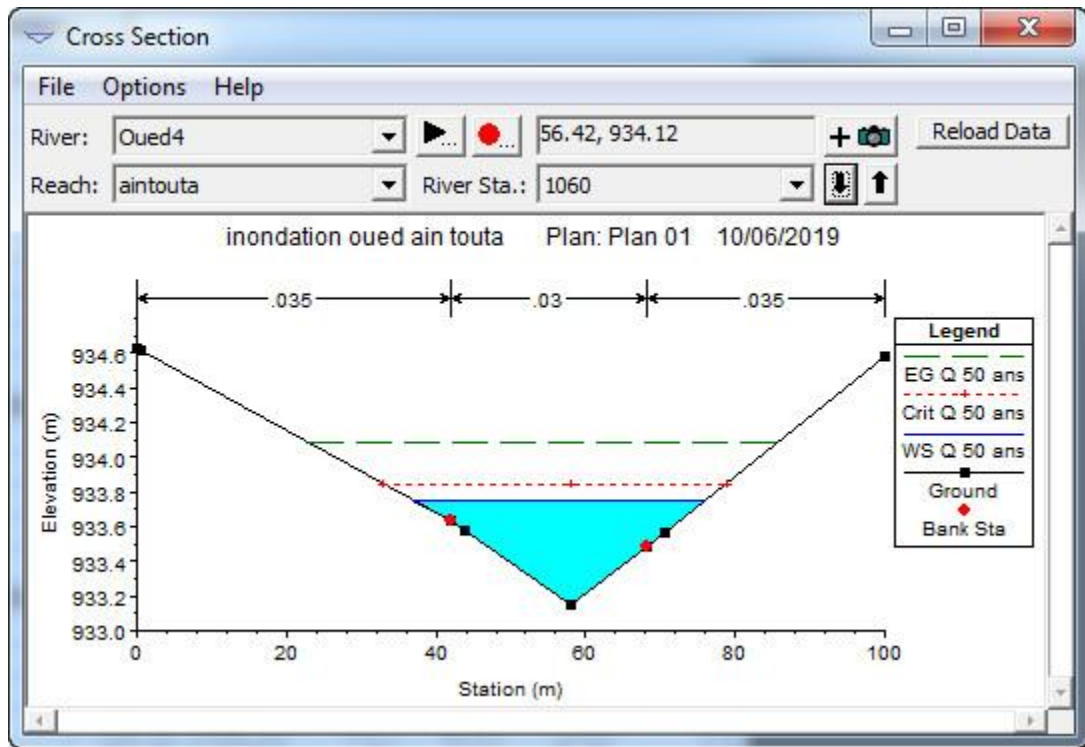


Figure 4.26. Section avec une hauteur d'eau oued 4 pour T = 50 ans

Pour les autres section sont trouvées dans l'annexe 2

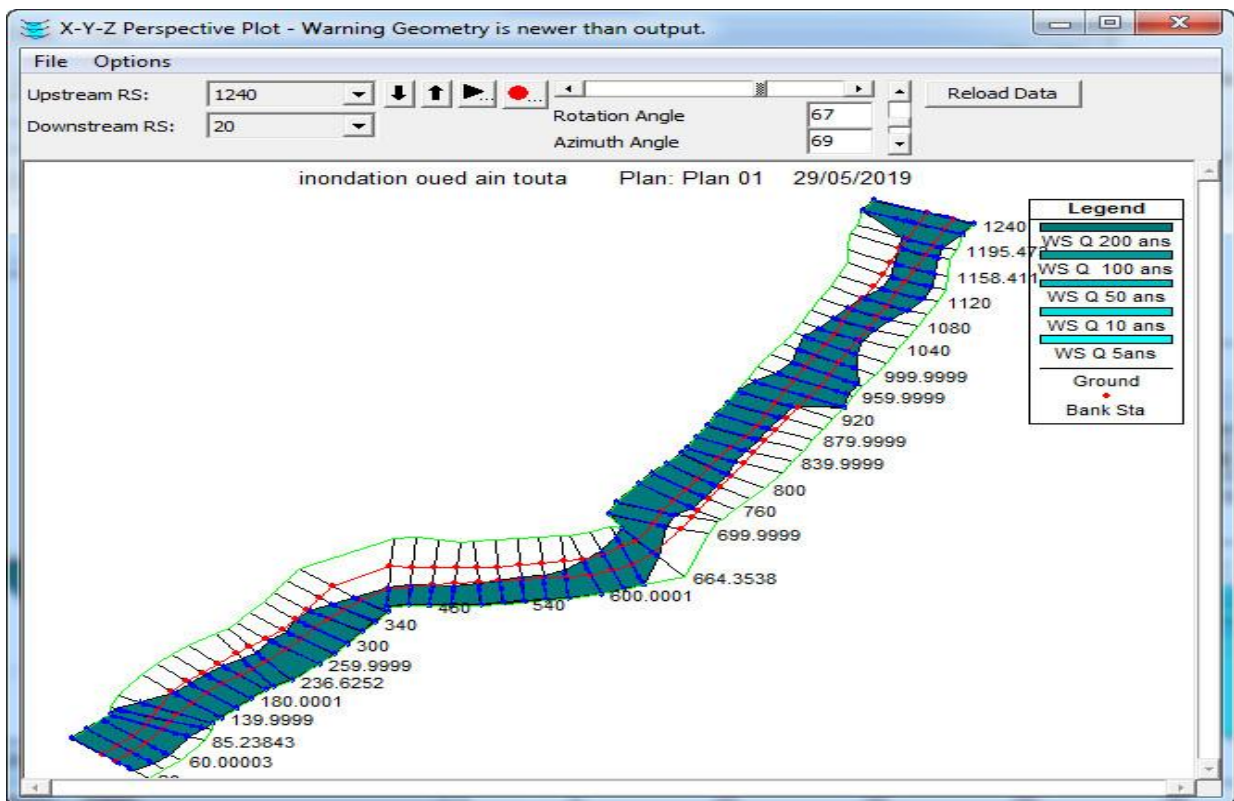


Figure 4.27. Vue en Plan en 3D de l'oued Ain touta, après simulation oued 4

Quant la simulation est effectuée, on peut, grâce à HEC GEO RAS, exporter les résultats de simulation afin de délimiter les zones inondables. La figure 4.19 représente la délimitation finale de la zone inondable après exportation du dossier de simulation.

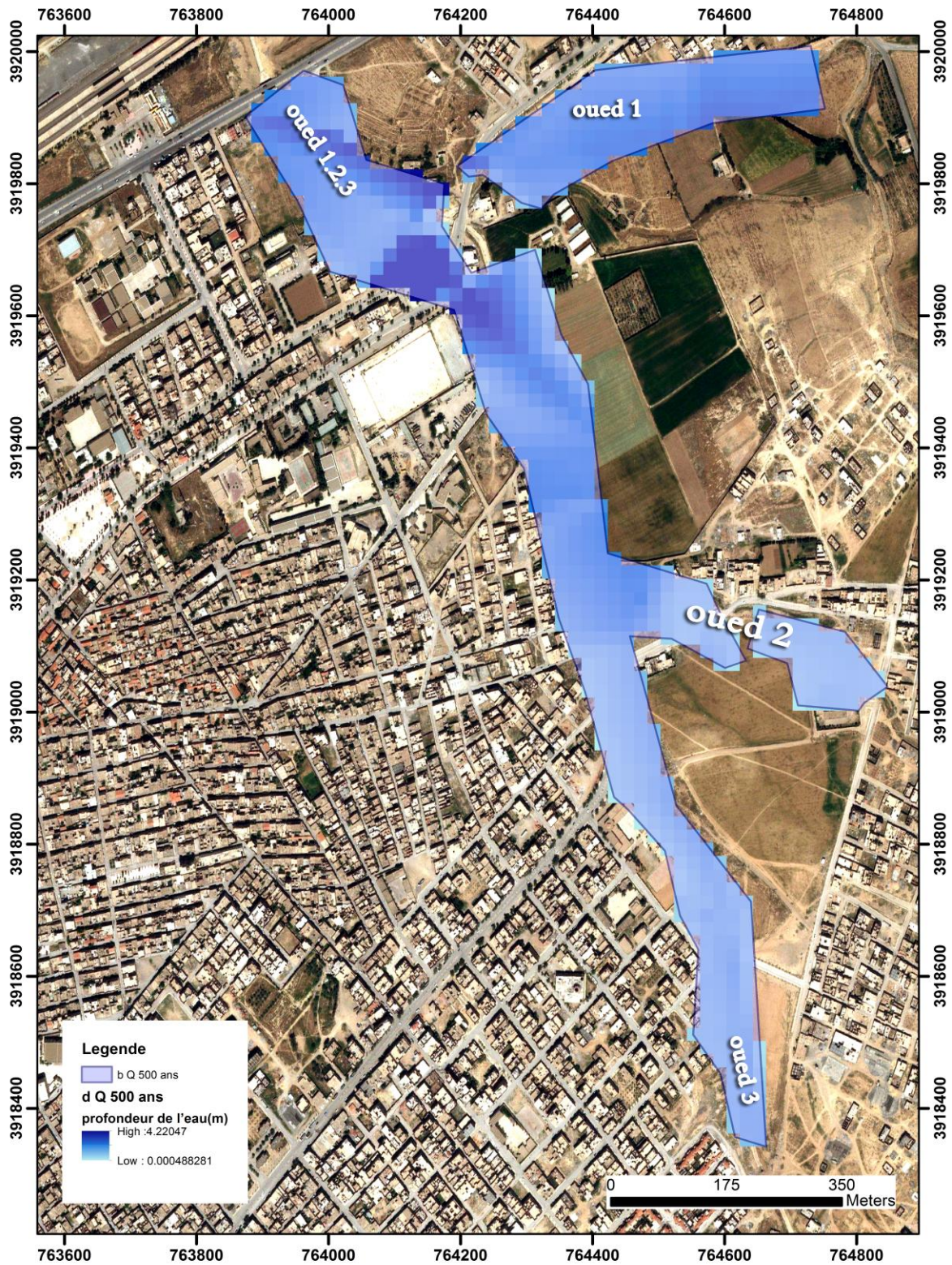


Figure 4.28. La zone inondable de la ville Ain touta oued 1,2,3 pour une période de retour de 500ans

Tableau 4. 1. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Ain touta 1,2,3 en régime permanent

La section	Période de retour	Q en (m ³ /s)	La profondeur normal(m)	La vitesse (m/s)	Top width (m)	Nombre de froud (m)
940	500 ans	269.3	0.98	3.27	100	1.09
	200 ans	230.96	0.9	3.07	100	1.08
	100ans	201.97	0.84	2.91	100	1.06
	50ans	168.38	0.76	2.7	100	1.04
	10ans	114.53	0.61	2.31	100	1
	5 ans	88.32	0.53	2.07	100	0.98
667.0519	500 ans	269.30	1.33	3.42	157.16	1.01
	200 ans	230.96	1.27	3.22	154.17	0.98
	100ans	201.97	1.21	3.09	151.43	0.97
	50ans	168.38	1.13	2.94	147.79	0.96
	10ans	114.53	0.92	2.87	115.42	1.06
	5 ans	88.32	0.84	2.63	104.71	1.03
543.3189	500 ans	269.30	1.93	1.47	141.37	0.38
	200 ans	230.96	1.71	1.43	131.23	0.41
	100ans	201.97	1.6	1.35	125.99	0.40
	50ans	168.38	1.49	1.21	120.94	0.37
	10ans	114.53	1.27	0.96	110.23	0.34
	5 ans	88.32	1.09	0.85	101.76	0.34
526.8025	500 ans	269.30	3.22	1.35	144.55	0.35
	200 ans	230.96	2.01	1.31	134.29	0.36
	100ans	201.97	1.89	1.23	129.03	0.35
	50ans	168.38	1.79	1.09	123.99	0.33
	10ans	114.53	1.56	0.86	113.28	0.29
	5 ans	88.32	1.38	0.75	104.75	0.28

Pour Les résultats des autres sections sont données dans l'**annexe 3**.

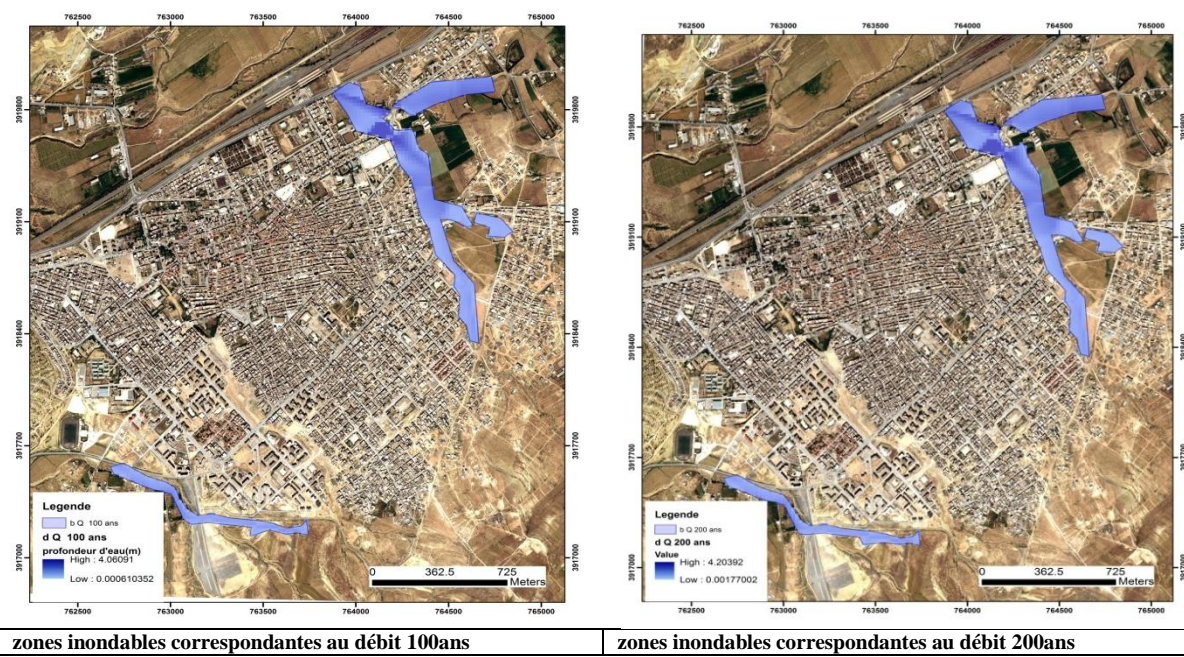
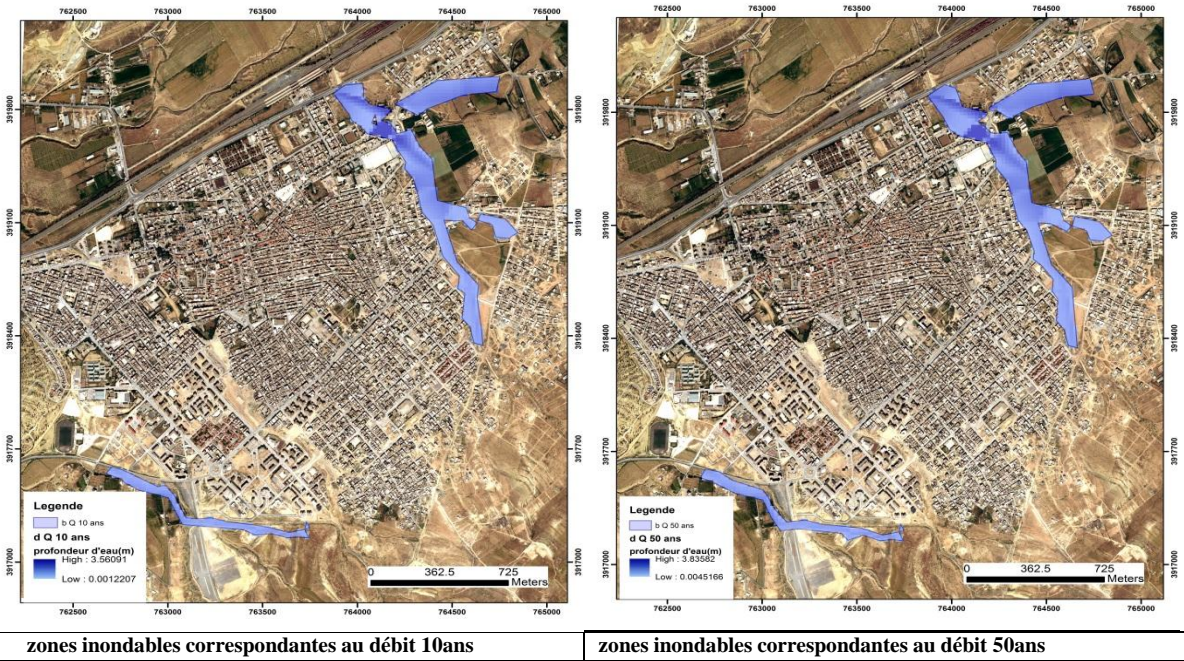


Figure 4.29. La zone inondable de la ville Ain Touta oued 4 pour une période de retour de 500ans

Tableau 4. 2. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Ain touta 4 en régime permanent

La section	Période de retour	Q en (m ³ /s)	La profondeur normal(m)	La vitesse (m/s)	Top width (m)	Nombre de froud (m)
1220	500 ans	44.55	0.54	1.97	100.00	1.07
	200 ans	38.22	0.5	1.95	97.91	1.12
	100ans	33.43	0.49	1.83	95.42	1.09
	50ans	27.86	0.45	1.75	91.08	1.10
	10ans	18.95	0.4	1.53	84.03	1.09
	5 ans	14.78	0.37	1.39	80.51	1.06
1181.058	500 ans	44.55	0.62	3.85	41.78	2.01
	200 ans	38.22	0.58	3.65	39.60	1.99
	100ans	33.43	0.56	3.49	37.79	1.96
	50ans	27.86	0.52	3.28	35.53	1.90
	10ans	18.95	0.46	2.88	31.12	1.78
	5 ans	14.78	0.42	2.63	28.68	1.70
1020	500 ans	44.55	0.7	2.58	59.21	1.17
	200 ans	38.22	0.67	2.41	56.36	1.13
	100ans	33.43	0.64	2.28	53.91	1.10
	50ans	27.86	0.6	2.11	50.73	1.07
	10ans	18.95	0.53	1.82	44.35	1.03
	5 ans	14.78	0.46	1.82	38.79	1.14
20	500 ans	44.55	0.36	1.65	83.26	0.98
	200 ans	38.22	0.32	1.54	78.66	0.98
	100ans	33.43	0.3	1.43	75.11	0.97
	50ans	27.86	0.26	1.29	70.57	0.95
	10ans	18.95	0.19	0.98	62.92	0.89
	5 ans	14.78	0.16	0.79	58.67	0.84

Pour Les résultats des autres sections sont données dans **l'annexe 3**



4.4. Application du logiciel HEC-RAS Cas Régime non permanent1D

L'introduction des données nécessaires pour la simulation en régime non permanent sont les données géométriques des cours d'eau saisies dans l'étape précédente (écoulement permanent), plus les conditions initiales et les conditions aux limites au niveau des extrémités amont qui sont représentées par les hydrogrammes de crue.

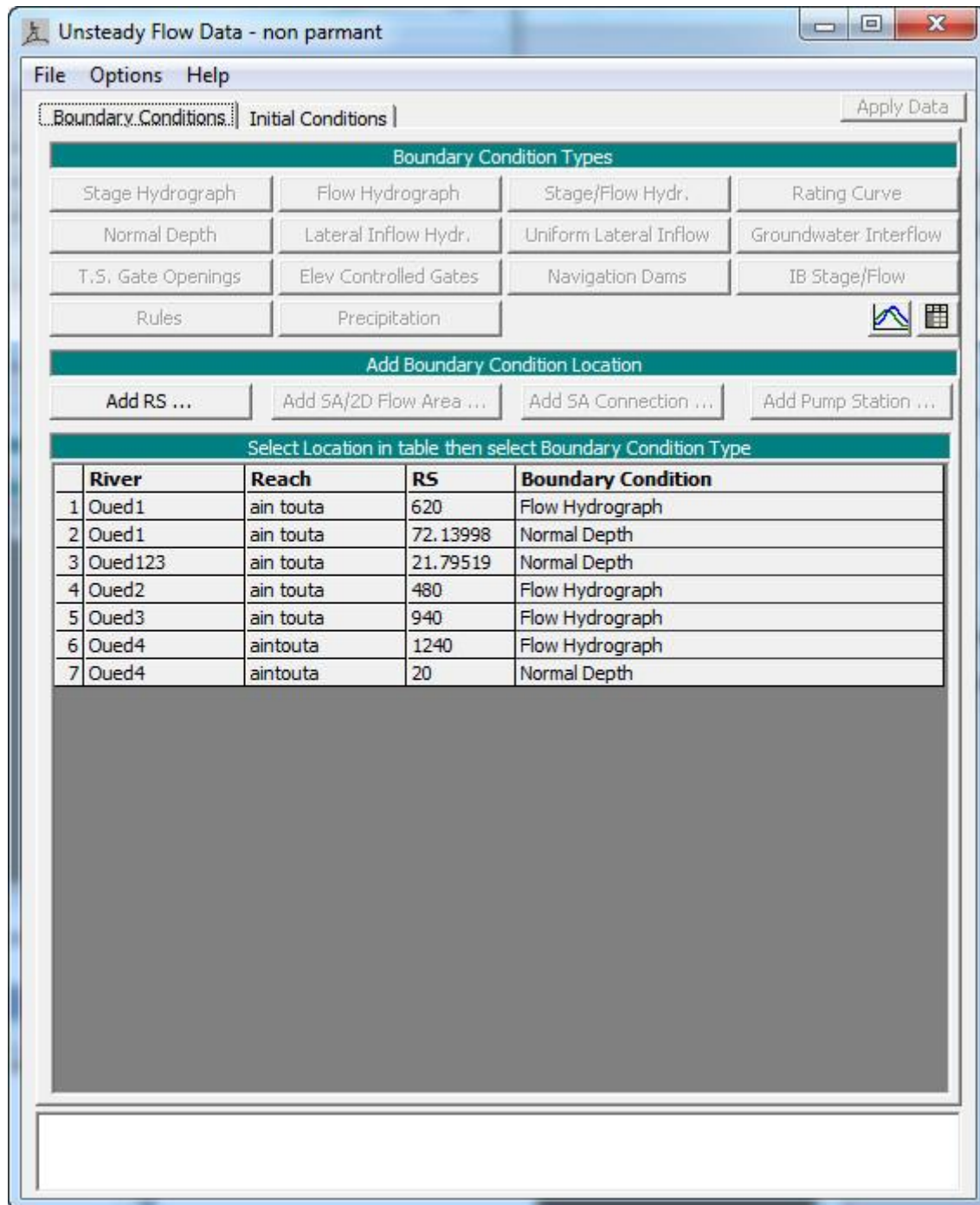


Figure 4.30. Les conditions aux limites pour un écoulement non permanent

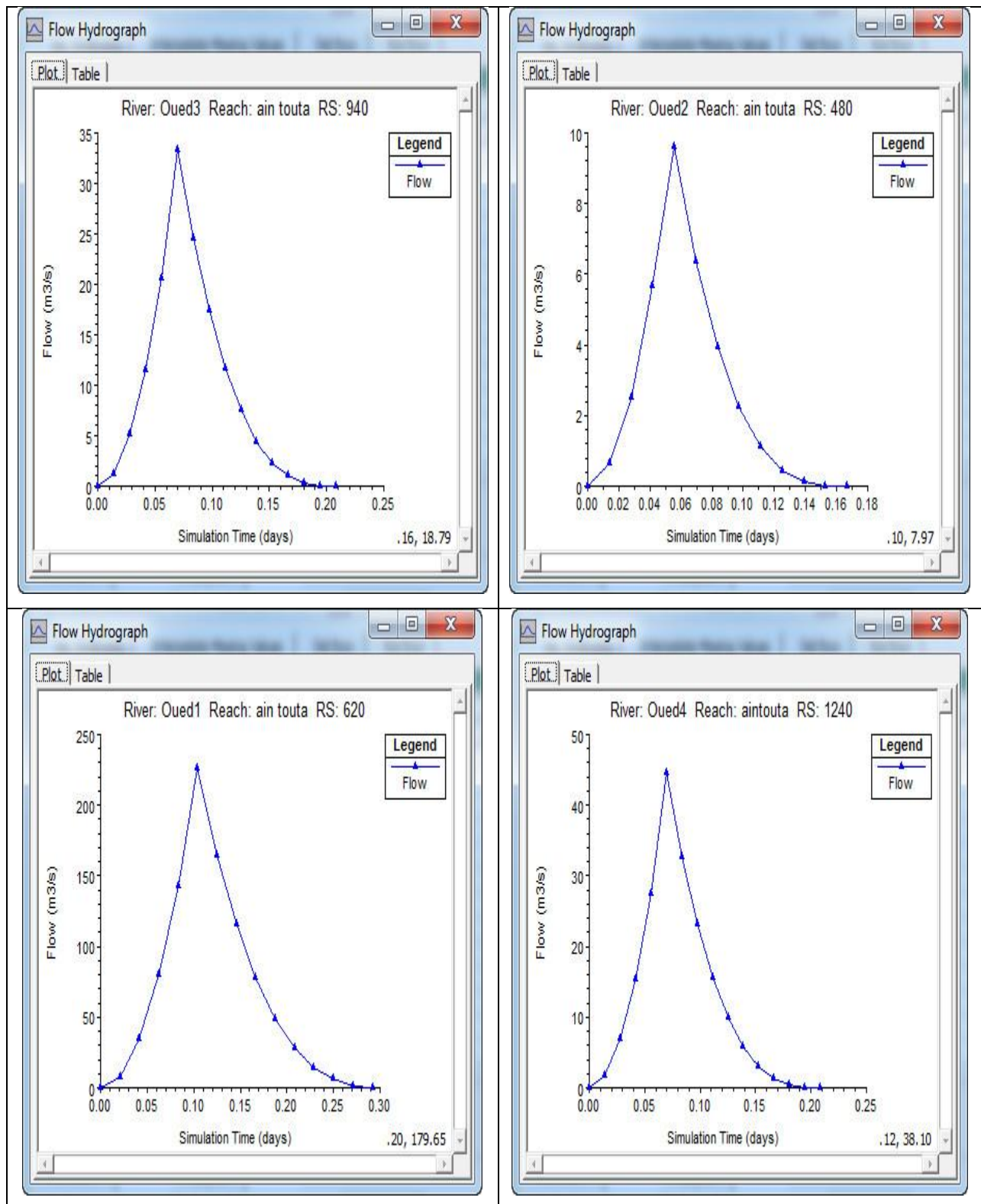


Figure 4.31. L'hydrogramme de crue de période 500 ans

➤ **Paramètres de la simulation :**

La dernière étape nécessaire à la modélisation avec HEC-RAS est de définir par le plan de simulation choisi.

La simulation numérique est faite pour un pas de temps de calcul : $\Delta t = 10$ Minute, les autres caractéristiques nécessaires pour le calcul d'écoulement non permanent sont :

- Début de la simulation : 10 Oct 2018 à 00:00.
- Fin de la simulation : 10 Oct 2018 à 03:00.

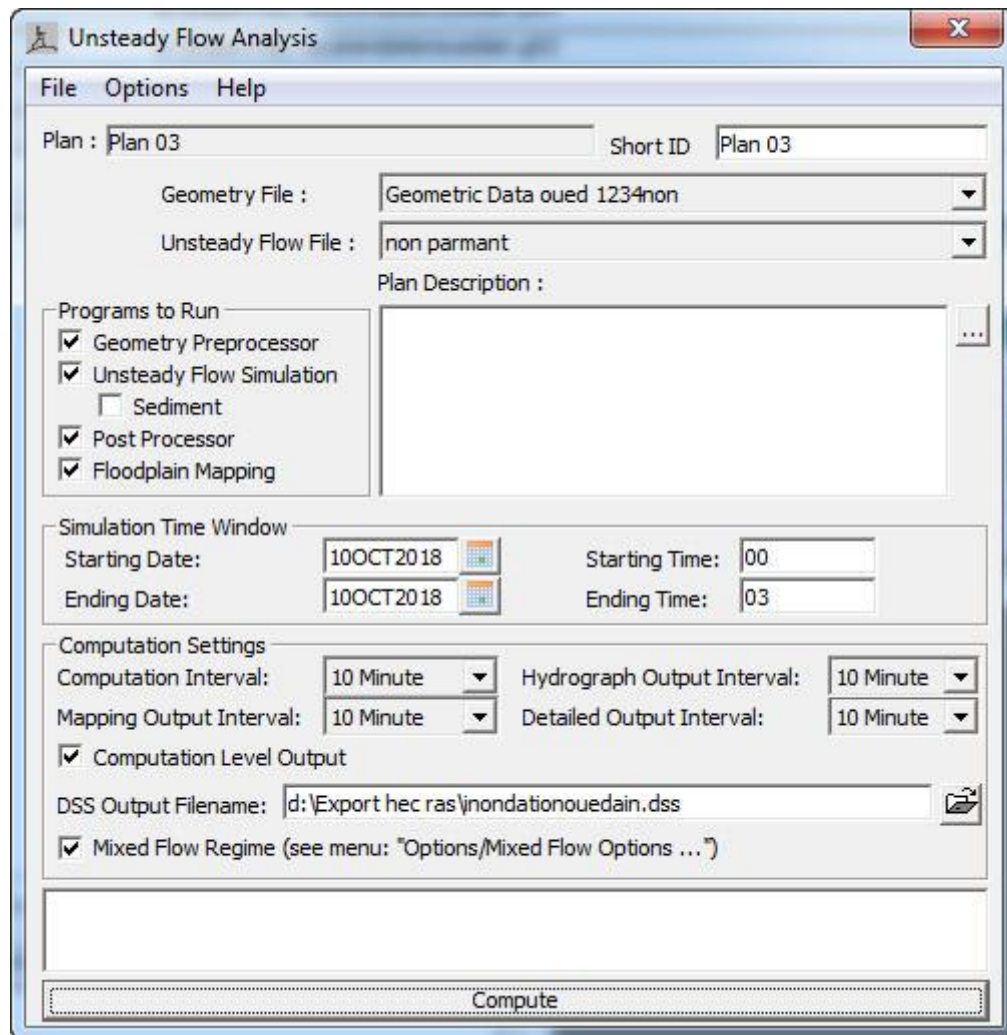


Figure 4.32. Caractéristiques de la simulation pour le cas d'un écoulement non permanent.

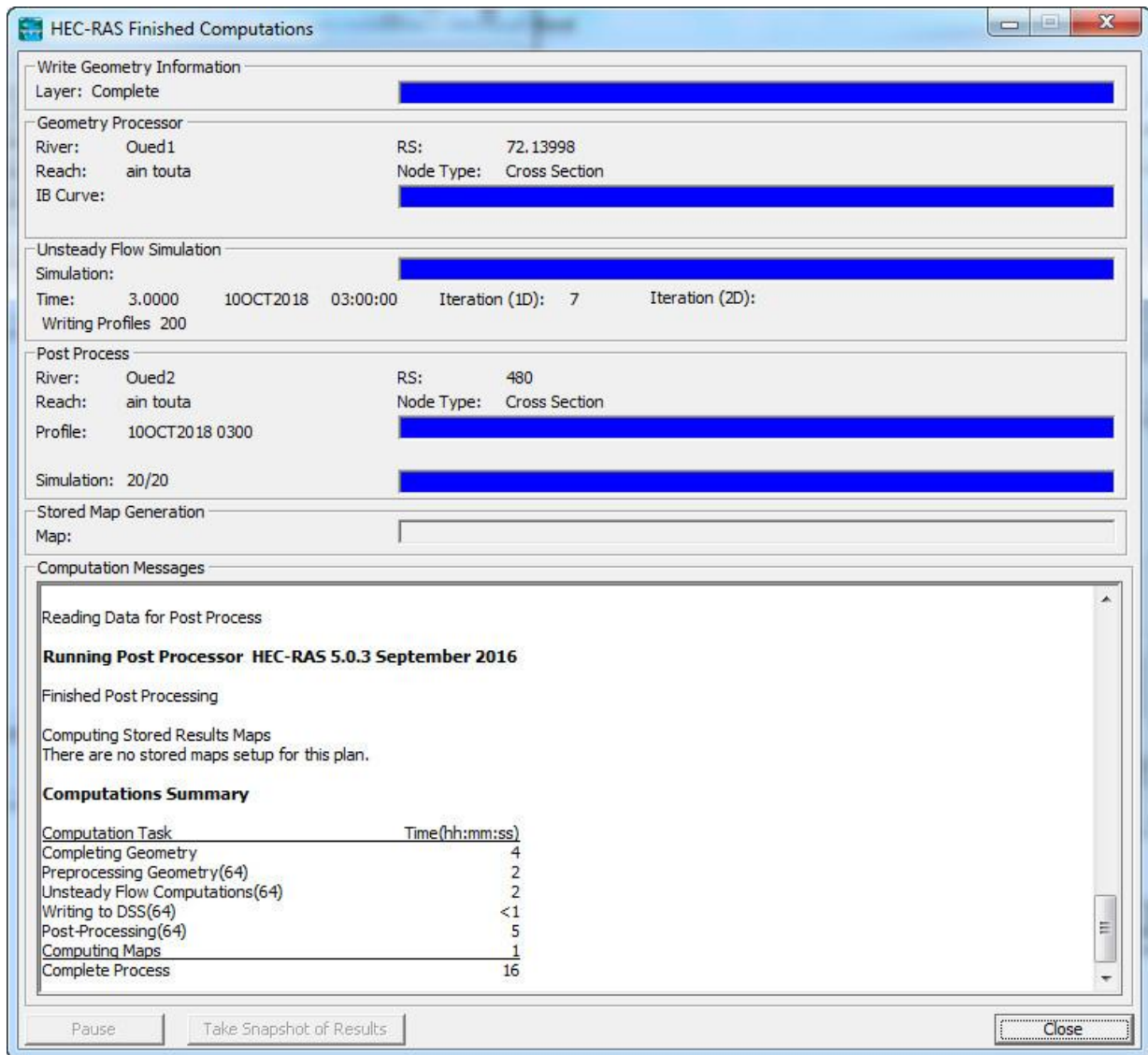


Figure 4.33. Fenêtre de la simulation le cas d'un écoulement non permanent

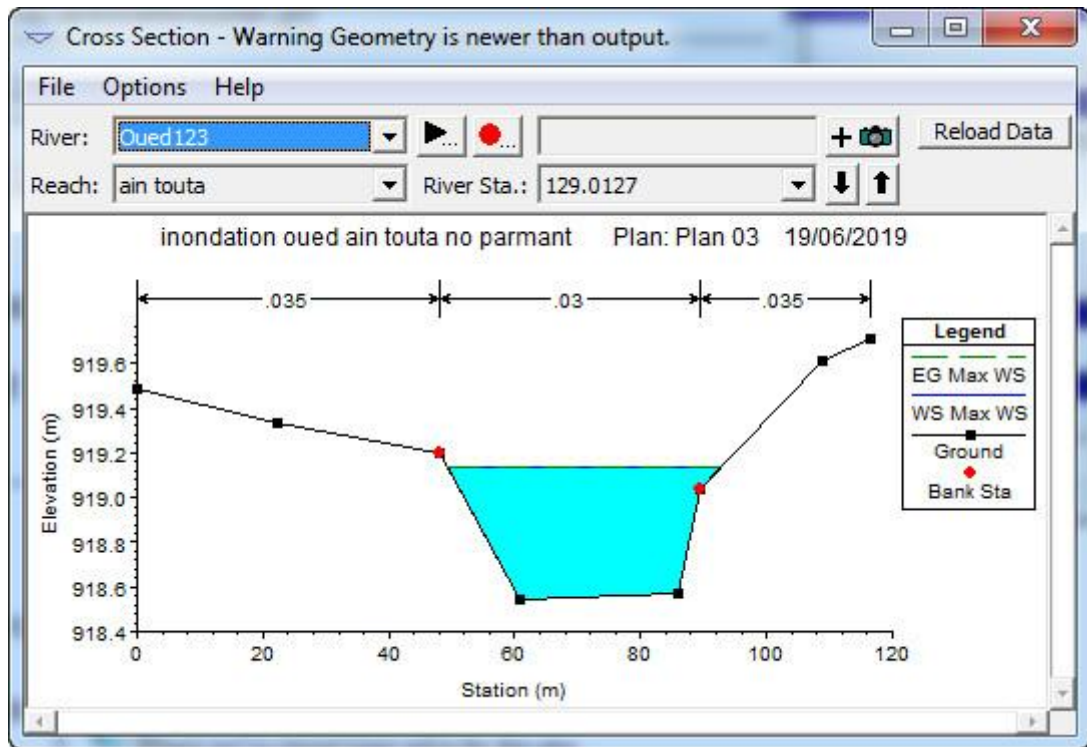


Figure 4.34. Section avec une hauteur d'eau en régime non permanent oued 1,2,3 pour T = 500 ans

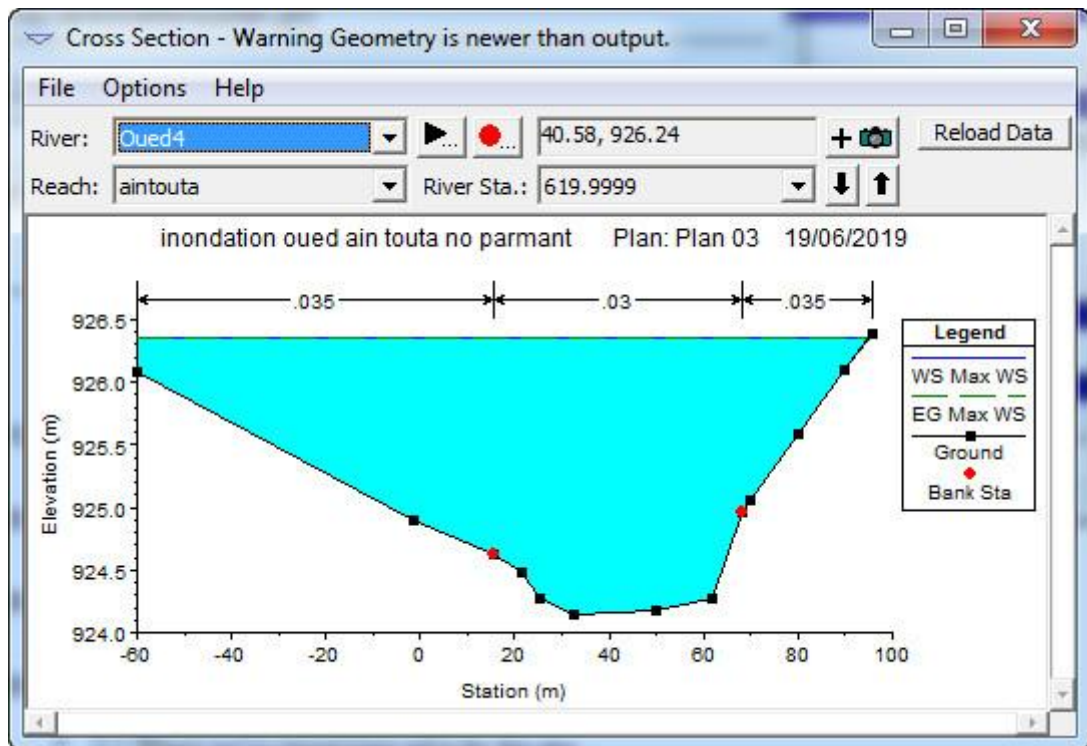


Figure 4.35. Section avec une hauteur d'eau en régime non permanent oued 4 pour T = 500 ans

Tableau 4. 3. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued 1,2,3 ain touta de régime non permanent pour quelques sections transversales.

La section	Période de retour	Q en (m ³ /s)	La profondeur normal(m)	La vitesse (m/s)	Top width (m)	Nombre de froud (m)
940	500 ans	15.07	2.38	0.07	100	0.02
667.05		8.14	0.26	1.59	35.25	1.40
585.48		5.93	3.3	0.02	164.44	0.01
21.79		4.75	0.75	0.07	114.92	0.03

Pour Les résultats des autres sections sont données dans **l'annexe 4**

Tableau 4. 4. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued 4 Ain Touta de régime non permanent pour quelques sections transversales.

La section	Période de retour	Q en (m ³ /s)	La profondeur normal(m)	La vitesse (m/s)	Top width (m)	Nombre de froud (m)
1220	500 ans	27.40	2.75	0.02	100	0.00
820		1.67	0.04	1.13	37.37	1.95
580		1.02	0.88	0.01	85.22	0.01
20		18.41	0.26	0.84	71.32	0.61

Pour Les résultats des autres sections sont données dans **l'annexe 4**

Selon les résultats du calcul hydrauliques d'oued Ain Touta oued 1,2,3 et oued 4 en régime non permanent, nous remarquons que la hauteur d'eau normale dans certaines sections est varié entre 0.004m à 3.3 m avec largeur maximale 164.44 m et un régime d'écoulement fluvial pour une période de retour de 500 ans

4.5. Interprétation des résultats

Il faut signaler qu'auparavant, on avait l'intention d'effectuer la cartographie des zones inondables dans la ville d'Ain Touta avant et après la réalisation des aménagements de protection de la ville (Canaux artificielles). Néanmoins, puisqu'on a que l'information topographique (levé topographique) avant aménagement des oueds, on a satisfait qu'avec la cartographie des zones inondables avant les aménagements de protection.

Encore, il faut connaître que la source du risque inondation dans la ville de Ain Touta provient principalement des crues des oueds 1,2,3 et l'oued 4. Pour cela, on a effectué que la cartographie due à ces oueds et l'oued 4. Par conséquent, le choix des sections en travers dans la modélisation hydraulique par Hec Ras est effectué avec prudence de manière que ses sections soient touchées que la tache inondable due aux crues des oueds.

Également dans la modélisation par Hec Ras, on a adopté l'écoulement permanent et non permanent. La cartographie des zones inondables par approche de modélisation hydraulique (Figure 4.28 et 4.29) montre que la tache inondable s'agrandit, depuis la crue de 50 ans jusqu'à la crue de 500 ans, auteur des différents lits des oueds 1,2,3 et 4 dans sa traversée de Ain Touta. A partir de la crue de 50 ans, elle commence à occuper le lit majeur des Oueds et pénétrer dans la partie Nord -est de la ville depuis l'intersection des oueds 1,2,3 jusqu'à la traversé de la route Nationale.

L'analyse de l'ensemble des cartes obtenues révèle l'existence de plusieurs points menacés par le débordement des eaux à partir des tronçons étudiés :

- Les oueds 1,2,3 : en intersection des oueds, un débordement est observé à partir de la rive gauche, menaçant des constructions dans le site Nord -est de la ville. La profondeur des eaux atteint 3.3 mètres au niveau du chenal.
- L'oued 4 : la profondeur des eaux atteint 2.75 m au niveau du chenal

4.6 Conclusion

La protection parfaite contre le risque inondation de toutes fréquences correspond en réalité à un coût infini. Quel que soit l'aménagement adopté pour ce fait, seulement la compréhension du fonctionnement de ce risque pour mieux le prévenir avec une gestion efficace qui assurent la protection optimum. Cette compréhension doit passer par l'identification des sites exposés à ce genre de phénomènes.

Dans ce sens, notre travail représenté par la cartographie des zones inondables par approche de modélisation hydraulique dans la ville d'Ain Touta, propose aux décideurs qui ne sont pas toujours spécialistes une vision claire et simple afin de comparer les différents projets et scénarios d'aménagement susceptibles à être réalisés et fournit un document de base aux autres planificateurs. Par conséquent, il met en œuvre une méthodologie consistante et validée de gestion intégré du risque inondation.

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.

Les méthodes d'approches traditionnelles de gestion des données du risque inondation (historique, hydrogéomorphologique ...) sont devenues de plus en plus inadaptées vu les rythmes des changements des indicateurs (occupation du sol, pluviométrie, etc.). Afin de combler cette déficience, l'utilisation de l'outil informatique a révélé un horizon très ambitieux de développement des nouvelles méthodologies à travers les données que peut fournir en matière de modélisation et de cartographie de l'inondation.

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'inondation.

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 sera améliorée beaucoup plus si elle utilise le logiciel de modélisation hydrologique HEC-HMS pour modéliser le débit à partir d'une station hydrométrique. Surtout qu'on connaît que ce logiciel, en plus qu'il est de la même famille des logiciels utilisés précédemment, il demande le minimum des données d'entrer pour faire la modélisation hydrologique (pluviométrie et morphométrie du bassin versant).

Conclusion générale

Les résultats de cette cartographie sont schématisés d'une manière simple permettant ainsi aux différents acteurs, dans un cadre de gestion du risque inondation, de les utiliser pour décider (c'est un outil d'aide à la décision).

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, je souhaite que je trouve l'occasion de travailler sur le même sujet dans une équipe afin de mettre en œuvre une méthodologie consistante de gestion du risque inondation.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

[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] BEN AMOR.M.F ; Etude de la protection de la commune de BOUARFA (Blida) contre les inondations, Projet de fin d'étude, ingénieur, ENSH, BLIDA, Algérie, 2010.

[4] www.wikipédia.org.

[5] LAHLAH.S ; Les inondations en Algérie, Actes des Journées Techniques/Risques Naturels :Inondation, Prévision, Protection/BATNA, 2004

[6] www.Google-Earth.com.

[7] www.asal.dz.

[8] LABORDE.J.P ; Eléments d'hydrologie de surface, Ecole Polytechnique de l'Université de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS, 2009.

[9] TOUAIBIA.B ; Manuel pratique d'hydrologie, ENSH, Blida, Algérie. 2004.

[10] TALATIZI.A ; Etude des infiltrations à travers une digue de barrage en terre, cas d'un barrage Algérien, Projet de fin d'étude, Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 2014.

[11] ANRH, Alger.

[12]ANRH. les données pluviométriques de la station d' Ain Touta

[13] : O.N.M (office nationale de météorologie).

[14]MEKKI ELYAKOUT, Etude de protection de ville Ain khadra contre inondation par logiciel HEC-RAS. Université Mohamed Boudiaf - M'sila ; Année universitaire ; 2016 /2017

[15]CTH. Organisme national de controle technique de la construction Hydraulique.

[16] ALLOUACHE.A ; Cours hydrologie 3, BENkadja, Université Mohamed Boudiaf,M'sila , 2018.

[17] : www.sigea.educagri.fr.

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

Annexe

Annexe

L'annexe 1: Données géométrique et hydraulique de la Section transversal à l'exutoire d'oueds 1.2.3

Cross Section Output

File Type Options Help

River: Oued1 Profile: Q 500 ans

Reach: ain toute RS: 620 Plan: preform simulation

Plan: preform simulation Oued1 ain toute RS: 620 Profile: Q 500 ans

Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	926.57		
Vel Head (m)	0.24		
W.S. Elev (m)	926.34		
Crit W.S. (m)	926.09		
E.G. Slope (m/m)	0.004376		
Q Total (m3/s)	226.30		
Top Width (m)	100.00		
Vel Total (m/s)	2.11		
Max Chl Dpth (m)	1.31		
Conv. Total (m3/s)	3421.1		
Length Wtd. (m)	20.14		
Min Ch El (m)	925.11		
Alpha	1.05		
Frctn Loss (m)	0.09		
C & E Loss (m)	0.00		
Element			
Wt. n-Val.	0.035	0.030	0.035
Reach Len. (m)	20.25	20.00	20.23
Flow Area (m2)	40.41	39.74	27.30
Area (m2)	40.41	39.74	27.30
Flow (m3/s)	87.36	93.24	45.70
Top Width (m)	31.79	36.20	32.01
Avg. Vel. (m/s)	2.16	2.35	1.67
Hydr. Depth (m)	1.27	1.10	0.85
Conv. (m3/s)	1320.7	1409.6	690.8
Wetted Per. (m)	33.03	36.20	32.75
Shear (N/m2)	52.50	47.10	35.77
Stream Power (N/m s)	113.50	110.52	59.87
Cum Volume (1000 m3)	24.14	23.20	21.25
Cum SA (1000 m2)	21.31	23.37	25.46

Errors, Warnings and Notes

Warning: The cross-section end points had to be extended vertically for the computed water surface.

Select Profile

Annexe

Cross Section Output

File Type Options Help

River: **Oued2** Profile: **Q 500 ans**

Reach: **ain touta** RS: **480** Plan: **preform simulation**

Plan: preform simulation Oued2 ain touta RS: 480 Profile: Q 500 ans

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	931.47	Wt. n-Val.	0.035	0.030	0.035
Vel Head (m)	0.02	Reach Len. (m)	19.56	20.00	18.05
W.S. Elev (m)	931.45	Flow Area (m2)	6.62	3.91	4.47
Crit W.S. (m)	931.40	Area (m2)	6.62	3.91	4.47
E.G. Slope (m/m)	0.005537	Flow (m3/s)	4.61	2.78	2.22
Q Total (m3/s)	9.61	Top Width (m)	35.13	25.47	39.40
Top Width (m)	100.00	Avg. Vel. (m/s)	0.70	0.71	0.50
Vel Total (m/s)	0.64	Hydr. Depth (m)	0.19	0.15	0.11
Max Chl Dpth (m)	0.21	Conv. (m3/s)	61.9	37.3	29.9
Conv. Total (m3/s)	129.2	Wetted Per. (m)	35.34	25.47	39.49
Length Wtd. (m)	19.37	Shear (N/m2)	10.17	8.33	6.15
Min Ch El (m)	931.28	Stream Power (N/m s)	7.08	5.92	3.06
Alpha	1.06	Cum Volume (1000 m3)	4.84	5.41	5.90
Frctn Loss (m)	0.11	Cum SA (1000 m2)	11.34	12.36	11.20
C & E Loss (m)	0.00				

Errors, Warnings and Notes

Warning: The cross-section end points had to be extended vertically for the computed water surface.

Select River

Cross Section Output

File Type Options Help

River: **Oued3** Profile: **Q 500 ans**

Reach: **ain touta** RS: **940** Plan: **preform simulation**

Plan: preform simulation Oued3 ain touta RS: 940 Profile: Q 500 ans

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	935.49	Wt. n-Val.		0.030	0.035
Vel Head (m)	0.11	Reach Len. (m)	20.03	20.00	20.16
W.S. Elev (m)	935.38	Flow Area (m2)		5.71	16.66
Crit W.S. (m)	935.31	Area (m2)		5.71	16.66
E.G. Slope (m/m)	0.009235	Flow (m3/s)		8.16	25.23
Q Total (m3/s)	33.39	Top Width (m)		19.13	40.57
Top Width (m)	59.70	Avg. Vel. (m/s)		1.43	1.51
Vel Total (m/s)	1.49	Hydr. Depth (m)		0.30	0.41
Max Chl Dpth (m)	0.59	Conv. (m3/s)		84.9	262.6
Conv. Total (m3/s)	347.5	Wetted Per. (m)		19.14	40.68
Length Wtd. (m)	20.11	Shear (N/m2)		26.99	37.09
Min Ch El (m)	934.95	Stream Power (N/m s)		38.58	56.17
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m3)	7.06	8.79	12.83
Frctn Loss (m)	0.16	Cum SA (1000 m2)	24.26	20.85	26.13
C & E Loss (m)	0.01				

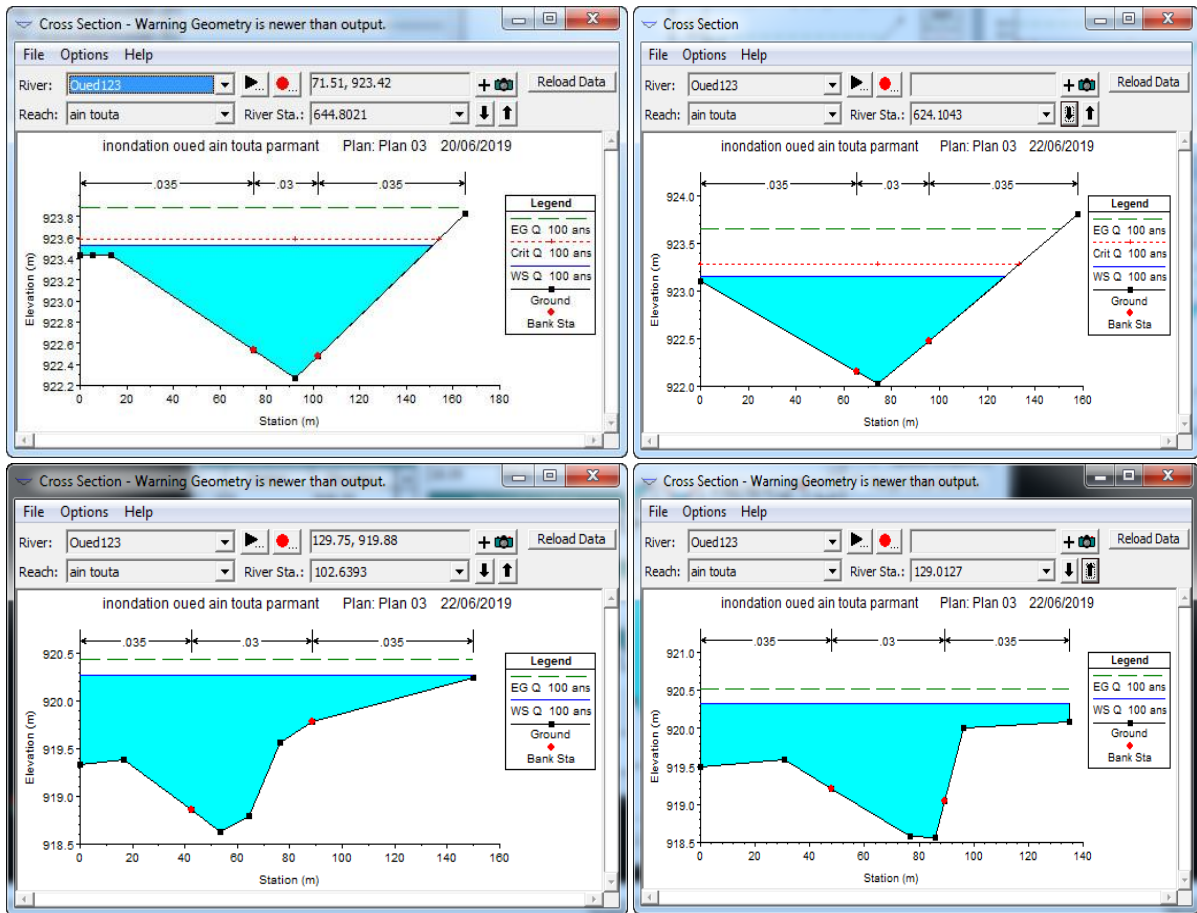
Errors, Warnings and Notes

Warning: The cross-section end points had to be extended vertically for the computed water surface.

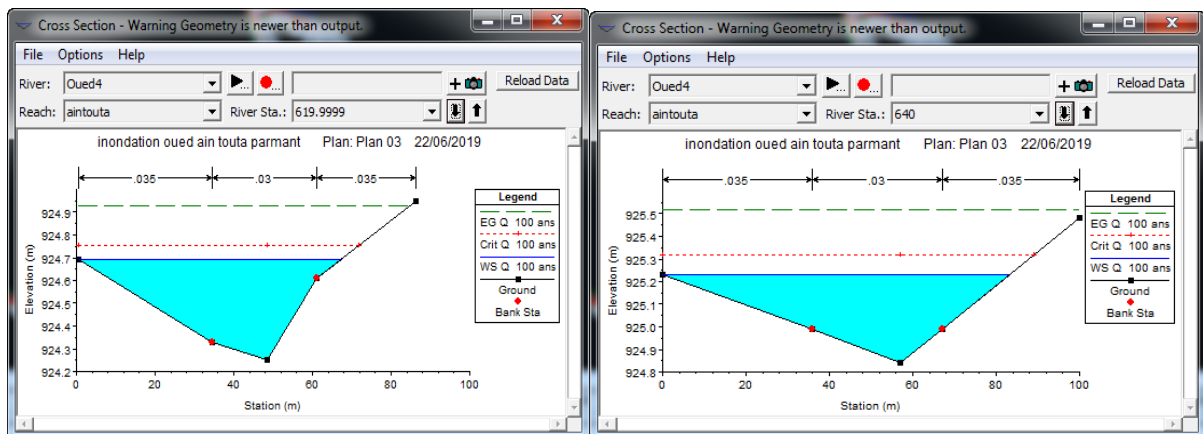
Select River

Annexe2

L'annexe 2 : les autre Section avec une hauteur d'eau en régime permanent oued 1.2.3 pour T=100 ans

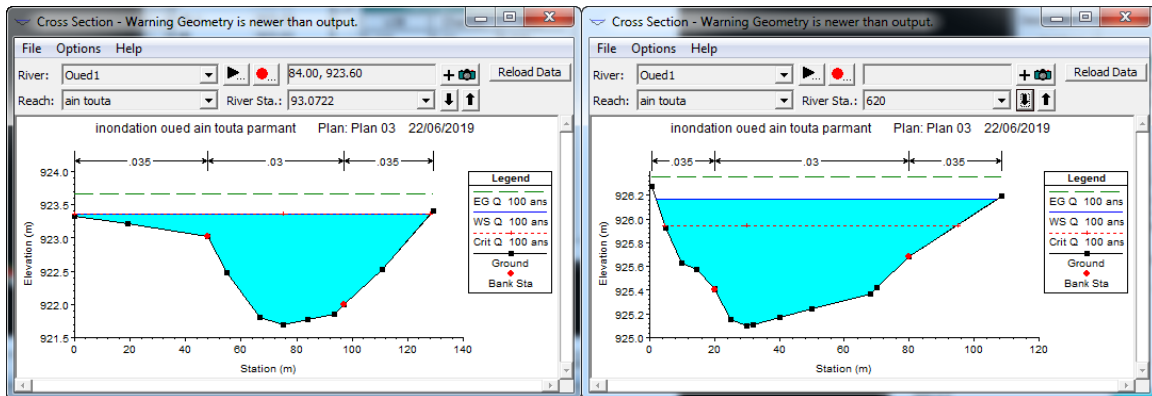


L'annexe 2 : les autre Section avec une hauteur d'eau en régime permanent oued 4 pour T=100 ans

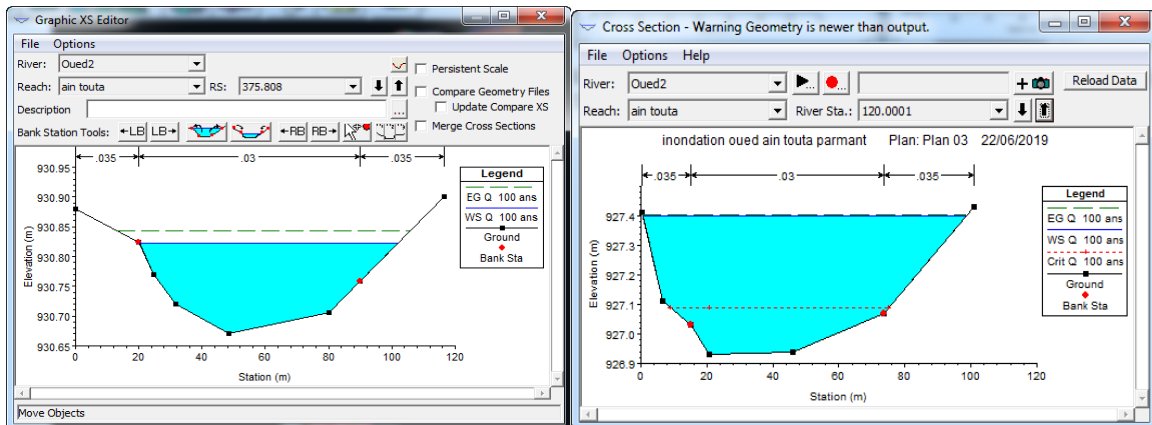


Annexe2

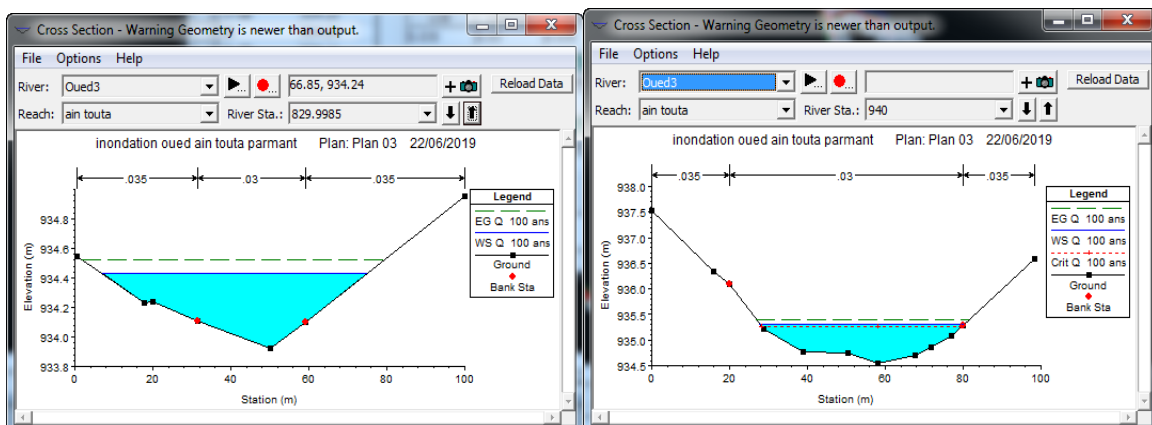
L'annexe 2 : les autre Section avec une hauteur d'eau en régime permanent oued 1 pour T=100 ans



L'annexe 2 : les autre Section avec une hauteur d'eau en régime permanent oued 2 pour T=100 ans



L'annexe 2 : les autre Section avec une hauteur d'eau en régime permanent oued 3 pour T=100 ans



Annexe

L'annexe 3: Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Ain touta en régime permanent pour quelques sections transversales

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: Oued123 Reach: ain touta												
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
ain touta	940	Q 500 ans	269.30	925.87	926.85	926.85	927.31	0.010856	3.27	91.57	100.00	1.09
ain touta	940	Q 200 ans	230.96	925.87	926.77	926.77	927.18	0.010852	3.07	83.37	100.00	1.08
ain touta	940	Q 100 ans	201.97	925.87	926.71	926.70	927.07	0.010876	2.91	76.74	100.00	1.06
ain touta	940	Q 50 ans	168.38	925.87	926.63	926.61	926.95	0.010865	2.70	68.65	100.00	1.04
ain touta	940	Q 10 ans	114.53	925.87	926.48	926.46	926.72	0.010914	2.31	54.00	100.00	1.00
ain touta	940	Q 5ans	88.32	925.87	926.40	926.38	926.60	0.010888	2.07	45.92	100.00	0.98
ain touta	920.0001	Q 500 ans	269.30	925.64	926.63	926.63	927.09	0.010560	3.24	92.31	100.00	1.08
ain touta	920.0001	Q 200 ans	230.96	925.64	926.56	926.54	926.95	0.010383	3.03	84.44	100.00	1.05
ain touta	920.0001	Q 100 ans	201.97	925.64	926.49	926.47	926.85	0.010463	2.87	77.57	100.00	1.04
ain touta	920.0001	Q 50 ans	168.38	925.64	926.41	926.39	926.72	0.010265	2.65	69.75	100.00	1.01
ain touta	920.0001	Q 10 ans	114.53	925.64	926.26	926.24	926.50	0.010041	2.24	55.24	100.00	0.97
ain touta	920.0001	Q 5ans	88.32	925.64	926.18	926.16	926.38	0.010027	2.00	46.89	100.00	0.94
ain touta	900.0001	Q 500 ans	269.30	925.42	926.41	926.41	926.87	0.010797	3.25	91.68	100.00	1.09
ain touta	900.0001	Q 200 ans	230.96	925.42	926.32	926.32	926.73	0.010934	3.07	83.09	100.00	1.08
ain touta	900.0001	Q 100 ans	201.97	925.42	926.26	926.26	926.63	0.010914	2.90	76.53	100.00	1.06
ain touta	900.0001	Q 50 ans	168.38	925.42	926.17	926.17	926.50	0.011306	2.71	67.61	100.00	1.06
ain touta	900.0001	Q 10 ans	114.53	925.42	926.02	926.02	926.28	0.011569	2.32	52.68	100.00	1.03
ain touta	900.0001	Q 5ans	88.32	925.42	925.94	925.94	926.16	0.011577	2.07	44.58	100.00	1.00
ain touta	880	Q 500 ans	269.30	925.21	926.09	926.16	926.61	0.014272	3.41	84.81	100.00	1.22
ain touta	880	Q 200 ans	230.96	925.21	926.01	926.06	926.48	0.014190	3.18	77.35	100.00	1.20
ain touta	880	Q 100 ans	201.97	925.21	925.95	926.00	926.37	0.014205	3.00	71.23	100.00	1.18
ain touta	880	Q 50 ans	168.38	925.21	925.87	925.91	926.25	0.014450	2.78	63.37	100.00	1.17
ain touta	880	Q 10 ans	114.53	925.21	925.74	925.76	926.02	0.014310	2.32	50.08	100.00	1.11
ain touta	880	Q 5ans	88.32	925.21	925.67	925.68	925.90	0.014049	2.04	42.81	100.00	1.07
ain touta	860	Q 500 ans	269.30	924.83	925.58	925.74	926.25	0.022022	4.03	74.70	100.00	1.50
ain touta	860	Q 200 ans	230.96	924.83	925.50	925.65	926.11	0.022799	3.83	67.39	100.00	1.50
ain touta	860	Q 100 ans	201.97	924.83	925.44	925.58	926.00	0.023642	3.66	61.48	100.00	1.50
ain touta	860	Q 50 ans	168.38	924.83	925.38	925.49	925.87	0.024308	3.43	54.64	100.00	1.50
ain touta	860	Q 10 ans	114.53	924.83	925.25	925.34	925.63	0.026432	3.00	42.25	100.00	1.49
ain touta	840	Q 500 ans	269.30	924.36	925.55	925.31	925.84	0.005236	2.66	115.07	100.00	0.79
ain touta	840	Q 200 ans	230.96	924.36	925.45	925.22	925.70	0.005175	2.49	105.22	100.00	0.77
ain touta	840	Q 100 ans	201.97	924.36	925.37	925.15	925.60	0.005117	2.36	97.33	100.00	0.76
ain touta	840	Q 50 ans	168.38	924.36	925.27	925.06	925.47	0.005039	2.18	87.58	100.00	0.74
ain touta	840	Q 10 ans	114.53	924.36	925.10	924.92	925.24	0.004890	1.85	69.97	100.00	0.70
ain touta	840	Q 5ans	88.32	924.36	925.00	924.83	925.11	0.004783	1.66	60.17	100.00	0.68
ain touta	820.0001	Q 500 ans	269.30	924.29	925.38		925.71	0.006741	2.86	106.68	100.00	0.88
ain touta	820.0001	Q 200 ans	230.96	924.29	925.29		925.58	0.006569	2.67	97.97	100.00	0.86
ain touta	820.0001	Q 100 ans	201.97	924.29	925.22		925.48	0.006425	2.51	90.95	100.00	0.84
ain touta	820.0001	Q 50 ans	168.38	924.29	925.13		925.35	0.006242	2.32	82.19	100.00	0.81
ain touta	820.0001	Q 10 ans	114.53	924.29	924.98		925.13	0.005872	1.95	66.32	100.00	0.76
ain touta	820.0001	Q 5ans	88.32	924.29	924.89		925.01	0.005643	1.73	57.37	100.00	0.73
ain touta	801.6122	Q 500 ans	269.30	924.20	925.28		925.57	0.006053	2.68	114.18	108.88	0.83
ain touta	801.6122	Q 200 ans	230.96	924.20	925.19		925.44	0.006024	2.51	104.20	108.88	0.82
ain touta	801.6122	Q 100 ans	201.97	924.20	925.11		925.34	0.005977	2.37	96.31	108.88	0.81
ain touta	801.6122	Q 50 ans	168.38	924.20	925.03		925.22	0.005905	2.20	86.59	108.88	0.79
ain touta	801.6122	Q 10 ans	114.53	924.20	924.87		925.01	0.005735	1.87	69.20	108.88	0.75
ain touta	801.6122	Q 5ans	88.32	924.20	924.78		924.89	0.005613	1.67	59.51	108.88	0.72
ain touta	781.573	Q 500 ans	269.30	924.12	925.18		925.43	0.005241	2.47	122.79	116.53	0.77
ain touta	781.573	Q 200 ans	230.96	924.12	925.08		925.31	0.005303	2.32	111.52	116.53	0.77
ain touta	781.573	Q 100 ans	201.97	924.12	925.01		925.21	0.005330	2.20	102.69	116.53	0.76
ain touta	781.573	Q 50 ans	168.38	924.12	924.92		925.09	0.005349	2.05	91.92	116.53	0.75
ain touta	781.573	Q 10 ans	114.53	924.12	924.75		924.88	0.005345	1.74	72.88	116.53	0.72
ain touta	781.573	Q 5ans	88.32	924.12	924.66		924.77	0.005300	1.56	62.47	116.53	0.69
ain touta	760.1868	Q 500 ans	269.30	924.03	924.86	924.84	925.26	0.010994	3.08	97.27	113.53	1.08
ain touta	760.1868	Q 200 ans	230.96	924.03	924.79	924.75	925.14	0.010727	2.87	89.33	113.53	1.05
ain touta	760.1868	Q 100 ans	201.97	924.03	924.73	924.69	925.04	0.010591	2.70	82.71	113.53	1.03
ain touta	760.1868	Q 50 ans	168.38	924.03	924.66	924.61	924.92	0.010418	2.49	74.50	113.53	1.00
ain touta	760.1868	Q 10 ans	114.53	924.03	924.53	924.47	924.72	0.010017	2.09	59.79	113.53	0.95

Annexe

ain touta	721.8536	Q 500 ans	269.30	923.62	924.40	924.40	924.77	0.011205	2.65	103.20	137.25	1.05
ain touta	721.8536	Q 200 ans	230.96	923.62	924.33	924.33	924.66	0.011215	2.47	93.78	137.25	1.03
ain touta	721.8536	Q 100 ans	201.97	923.62	924.28	924.28	924.58	0.011350	2.32	85.91	137.25	1.02
ain touta	721.8536	Q 50 ans	168.38	923.62	924.20	924.20	924.48	0.011630	2.12	76.02	137.25	1.01
ain touta	721.8536	Q 10 ans	114.53	923.62	924.09	924.09	924.30	0.011301	1.72	59.86	137.25	0.94
ain touta	721.8536	Q 5ans	88.32	923.62	924.02	924.02	924.20	0.010751	1.46	51.20	137.25	0.89
ain touta	709.1061	Q 500 ans	269.30	923.39	924.32	924.28	924.62	0.009216	2.71	112.47	147.52	0.98
ain touta	709.1061	Q 200 ans	230.96	923.39	924.25	924.21	924.52	0.009156	2.54	102.44	147.52	0.96
ain touta	709.1061	Q 100 ans	201.97	923.39	924.19	924.16	924.44	0.009077	2.40	94.46	147.52	0.95
ain touta	709.1061	Q 50 ans	168.38	923.39	924.13	924.09	924.35	0.008832	2.21	84.96	147.52	0.92
ain touta	709.1061	Q 10 ans	114.53	923.39	924.00	923.97	924.17	0.009199	1.91	65.48	147.52	0.90
ain touta	709.1061	Q 5ans	88.32	923.39	923.95	923.91	924.08	0.007852	1.63	58.11	147.52	0.81
ain touta	690.5697	Q 500 ans	269.30	923.03	924.18		924.45	0.007484	2.88	121.83	156.87	0.92
ain touta	690.5697	Q 200 ans	230.96	923.03	924.10	924.05	924.35	0.007888	2.79	108.85	156.87	0.93
ain touta	690.5697	Q 100 ans	201.97	923.03	924.03	924.00	924.27	0.008140	2.70	99.02	156.87	0.94
ain touta	690.5697	Q 50 ans	168.38	923.03	923.96	923.92	924.18	0.008407	2.59	87.25	156.78	0.94
ain touta	690.5697	Q 10 ans	114.53	923.03	923.84	923.80	924.01	0.007515	2.19	68.90	151.22	0.86
ain touta	690.5697	Q 5ans	88.32	923.03	923.72	923.72	923.90	0.009811	2.18	50.86	145.54	0.95
ain touta	667.0519	Q 500 ans	269.30	922.57	923.90	923.90	924.25	0.008615	3.42	114.44	157.16	1.01
ain touta	667.0519	Q 200 ans	230.96	922.57	923.84	923.84	924.15	0.008256	3.22	104.36	154.17	0.98
ain touta	667.0519	Q 100 ans	201.97	922.57	923.78	923.78	924.07	0.008169	3.09	95.32	151.43	0.97
ain touta	667.0519	Q 50 ans	168.38	922.57	923.70	923.70	923.97	0.008215	2.94	83.55	147.79	0.96
ain touta	667.0519	Q 10 ans	114.53	922.57	923.49	923.49	923.78	0.010810	2.87	54.92	115.42	1.06
ain touta	667.0519	Q 5ans	88.32	922.57	923.41	923.42	923.65	0.010663	2.63	45.21	104.71	1.03
ain touta	644.8021	Q 500 ans	269.30	922.27	923.67	923.71	924.06	0.008291	3.57	113.05	157.56	1.01
ain touta	644.8021	Q 200 ans	230.96	922.27	923.59	923.64	923.96	0.008402	3.44	100.85	153.90	1.01
ain touta	644.8021	Q 100 ans	201.97	922.27	923.53	923.58	923.88	0.008232	3.30	92.22	151.25	0.99
ain touta	644.8021	Q 50 ans	168.38	922.27	923.43	923.51	923.77	0.008675	3.19	77.40	134.84	1.00
ain touta	644.8021	Q 10 ans	114.53	922.27	923.26	923.29	923.55	0.008939	2.87	56.39	113.73	0.98
ain touta	102.6393	Q 200 ans	230.96	918.62	920.34		920.52	0.003145	2.14	133.60	150.44	0.62
ain touta	102.6393	Q 100 ans	201.97	918.62	920.27		920.43	0.003122	2.05	122.18	150.44	0.61
ain touta	102.6393	Q 50 ans	168.38	918.62	920.18		920.32	0.003045	1.91	108.45	150.44	0.59
ain touta	102.6393	Q 10 ans	114.53	918.62	920.01		920.13	0.002759	1.63	84.27	150.44	0.55
ain touta	102.6393	Q 5ans	88.32	918.62	919.93		920.01	0.002467	1.44	71.12	138.66	0.51
ain touta	86.03543	Q 500 ans	269.30	918.65	920.41		920.58	0.003028	1.96	154.11	151.85	0.60
ain touta	86.03543	Q 200 ans	230.96	918.65	920.31		920.46	0.003052	1.85	139.27	151.85	0.59
ain touta	86.03543	Q 100 ans	201.97	918.65	920.23		920.37	0.003057	1.75	127.56	151.85	0.58
ain touta	86.03543	Q 50 ans	168.38	918.65	920.14		920.27	0.003021	1.63	113.54	151.85	0.57
ain touta	86.03543	Q 10 ans	114.53	918.65	919.98		920.07	0.002837	1.37	88.98	151.85	0.53
ain touta	86.03543	Q 5ans	88.32	918.65	919.89		919.97	0.002642	1.20	75.49	151.85	0.50
ain touta	59.89802	Q 500 ans	269.30	919.25	920.32		920.49	0.003364	1.91	151.43	151.62	0.62
ain touta	59.89802	Q 200 ans	230.96	919.25	920.22		920.38	0.003504	1.80	135.72	151.62	0.62
ain touta	59.89802	Q 100 ans	201.97	919.25	920.13		920.28	0.003628	1.72	123.25	151.62	0.62
ain touta	59.89802	Q 50 ans	168.38	919.25	920.03		920.17	0.003764	1.60	108.32	151.62	0.61
ain touta	59.89802	Q 10 ans	114.53	919.25	919.86		919.98	0.003999	1.37	82.11	151.62	0.60
ain touta	59.89802	Q 5ans	88.32	919.25	919.77		919.87	0.004046	1.21	68.08	151.62	0.59
ain touta	41.62448	Q 500 ans	269.30	919.09	920.20		920.41	0.004509	2.27	134.16	136.56	0.72
ain touta	41.62448	Q 200 ans	230.96	919.09	920.10	919.89	920.29	0.004733	2.17	120.31	136.56	0.72
ain touta	41.62448	Q 100 ans	201.97	919.09	920.02	919.84	920.20	0.004934	2.09	109.39	136.56	0.73
ain touta	41.62448	Q 50 ans	168.38	919.09	919.92	919.77	920.08	0.005225	1.98	96.07	136.56	0.73
ain touta	41.62448	Q 10 ans	114.53	919.09	919.75	919.65	919.88	0.005918	1.77	72.66	136.56	0.75
ain touta	41.62448	Q 5ans	88.32	919.09	919.65	919.58	919.78	0.006418	1.63	60.03	136.56	0.75
ain touta	21.79519	Q 500 ans	269.30	918.92	919.92	919.84	920.26	0.008004	2.82	105.29	114.92	0.94
ain touta	21.79519	Q 200 ans	230.96	918.92	919.84	919.76	920.14	0.008004	2.65	95.88	114.92	0.92
ain touta	21.79519	Q 100 ans	201.97	918.92	919.77	919.69	920.05	0.008004	2.51	88.33	114.92	0.91
ain touta	21.79519	Q 50 ans	168.38	918.92	919.69	919.62	919.93	0.008004	2.33	79.02	114.92	0.90
ain touta	21.79519	Q 10 ans	114.53	918.92	919.55	919.48	919.73	0.008002	1.99	62.32	114.92	0.86
ain touta	21.79519	Q 5ans	88.32	918.92	919.46	919.41	919.62	0.008003	1.79	53.01	114.92	0.84

Annexe

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: Oued4 Reach: aintouta												
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
aintouta	1240	Q 500 ans	44.55	939.37	939.62	939.55	939.71	0.007426	0.87	34.60	100.00	0.68
aintouta	1240	Q 200 ans	38.22	939.37	939.60	939.52	939.67	0.006896	0.75	32.12	100.00	0.64
aintouta	1240	Q 100 ans	33.43	939.37	939.57	939.50	939.64	0.007109	0.65	29.16	100.00	0.62
aintouta	1240	Q 50 ans	27.86	939.37	939.53	939.46	939.60	0.006933	0.52	26.06	100.00	0.58
aintouta	1240	Q 10 ans	18.95	939.37	939.47	939.40	939.52	0.006885	0.33	19.94	88.49	0.52
aintouta	1240	Q 5ans	14.78	939.37	939.44	939.36	939.48	0.006743	0.28	16.88	79.90	0.49
aintouta	1220	Q 500 ans	44.55	938.82	939.36	939.36	939.50	0.014428	1.97	28.19	100.00	1.07
aintouta	1220	Q 200 ans	38.22	938.82	939.32	939.32	939.46	0.016464	1.95	24.33	97.91	1.12
aintouta	1220	Q 100 ans	33.43	938.82	939.31	939.31	939.43	0.015844	1.83	22.49	95.42	1.09
aintouta	1220	Q 50 ans	27.86	938.82	939.27	939.27	939.39	0.016970	1.75	19.40	91.08	1.10
aintouta	1220	Q 10 ans	18.95	938.82	939.22	939.22	939.31	0.017922	1.53	14.68	84.03	1.09
aintouta	1220	Q 5ans	14.78	938.82	939.19	939.19	939.27	0.017753	1.39	12.47	80.51	1.06
aintouta	1195.473	Q 500 ans	44.55	937.71	938.35	938.54	938.94	0.033694	3.50	14.03	43.65	1.70
aintouta	1195.473	Q 200 ans	38.22	937.71	938.31	938.49	938.86	0.036182	3.38	12.23	40.76	1.73
aintouta	1195.473	Q 100 ans	33.43	937.71	938.27	938.44	938.80	0.038715	3.29	10.85	38.40	1.76
aintouta	1195.473	Q 50 ans	27.86	937.71	938.23	938.39	938.72	0.041680	3.14	9.32	35.59	1.79
aintouta	1195.473	Q 10 ans	18.95	937.71	938.15	938.28	938.57	0.048428	2.89	6.73	30.28	1.86
aintouta	1195.473	Q 5ans	14.78	937.71	938.10	938.23	938.51	0.055510	2.82	5.33	26.96	1.94
aintouta	1181.058	Q 500 ans	44.55	937.05	937.67	937.88	938.35	0.049525	3.85	12.84	41.78	2.01
aintouta	1181.058	Q 200 ans	38.22	937.05	937.63	937.82	938.25	0.049976	3.65	11.54	39.60	1.99
aintouta	1181.058	Q 100 ans	33.43	937.05	937.61	937.78	938.17	0.049726	3.49	10.52	37.79	1.96
aintouta	1181.058	Q 50 ans	27.86	937.05	937.57	937.73	938.07	0.047598	3.28	9.29	35.53	1.90
aintouta	1181.058	Q 10 ans	18.95	937.05	937.51	937.63	937.90	0.043701	2.88	7.14	31.12	1.78
aintouta	1181.058	Q 5ans	14.78	937.05	937.47	937.58	937.80	0.040598	2.63	6.06	28.68	1.70
aintouta	1158.411	Q 500 ans	44.55	936.07	936.67	936.83	937.18	0.048511	3.28	14.04	43.62	1.92
aintouta	1158.411	Q 200 ans	38.22	936.07	936.64	936.78	937.10	0.046815	3.11	12.68	41.46	1.87
aintouta	1158.411	Q 100 ans	33.43	936.07	936.61	936.74	937.04	0.046579	2.99	11.50	39.47	1.84
aintouta	1158.411	Q 50 ans	27.86	936.07	936.57	936.70	936.97	0.047284	2.86	9.98	36.77	1.83
aintouta	1158.411	Q 10 ans	18.95	936.07	936.49	936.60	936.83	0.049454	2.62	7.36	31.57	1.82
aintouta	1120	Q 500 ans	44.55	934.70	935.19	935.30	935.56	0.030901	2.28	16.59	46.30	1.48
aintouta	1120	Q 200 ans	38.22	934.70	935.15	935.25	935.49	0.030500	2.15	14.86	43.82	1.45
aintouta	1120	Q 100 ans	33.43	934.70	935.12	935.21	935.44	0.030445	2.04	13.44	41.69	1.43
aintouta	1120	Q 50 ans	27.86	934.70	935.07	935.16	935.37	0.030331	1.90	11.74	38.95	1.40
aintouta	1120	Q 10 ans	18.95	934.70	934.99	935.06	935.24	0.030789	1.62	8.74	33.60	1.35
aintouta	1120	Q 5ans	14.78	934.70	934.94	935.01	935.17	0.031679	1.45	7.17	30.44	1.33
aintouta	1100	Q 500 ans	44.55	934.02	934.82	934.85	935.08	0.016175	2.48	20.21	50.69	1.18
aintouta	1100	Q 200 ans	38.22	934.02	934.77	934.79	935.01	0.016344	2.33	18.13	48.03	1.17
aintouta	1100	Q 100 ans	33.43	934.02	934.74	934.76	934.95	0.016338	2.20	16.58	45.94	1.15
aintouta	1100	Q 50 ans	27.86	934.02	934.69	934.71	934.89	0.016324	2.10	14.47	42.92	1.14
aintouta	1100	Q 10 ans	18.95	934.02	934.61	934.61	934.76	0.015998	1.90	10.91	37.27	1.10
aintouta	1100	Q 5ans	14.78	934.02	934.56	934.56	934.69	0.015606	1.77	9.14	34.10	1.07
aintouta	1080	Q 500 ans	44.55	933.59	934.33	934.44	934.72	0.018443	2.92	17.55	47.41	1.30
aintouta	1080	Q 200 ans	38.22	933.59	934.29	934.39	934.65	0.018911	2.79	15.53	44.59	1.29
aintouta	1080	Q 100 ans	33.43	933.59	934.25	934.34	934.59	0.019497	2.68	13.93	42.22	1.29
aintouta	1080	Q 50 ans	27.86	933.59	934.20	934.29	934.51	0.020636	2.55	11.99	39.15	1.31
aintouta	1080	Q 10 ans	18.95	933.59	934.12	934.18	934.37	0.022902	2.30	8.83	33.57	1.32
aintouta	1080	Q 5ans	14.78	933.59	934.06	934.13	934.30	0.024178	2.19	7.14	30.20	1.33
aintouta	1060	Q 500 ans	44.55	933.15	933.86	934.00	934.31	0.021889	3.10	16.31	46.96	1.40
aintouta	1060	Q 200 ans	38.22	933.15	933.82	933.95	934.23	0.022023	2.94	14.49	44.16	1.39
aintouta	1060	Q 100 ans	33.43	933.15	933.79	933.90	934.17	0.022051	2.80	13.11	41.89	1.37
aintouta	1060	Q 50 ans	27.86	933.15	933.75	933.85	934.08	0.021851	2.61	11.51	39.10	1.34
aintouta	1060	Q 10 ans	18.95	933.15	933.68	933.74	933.93	0.021508	2.25	8.81	33.89	1.29
aintouta	1060	Q 5ans	14.78	933.15	933.64	933.68	933.84	0.020802	2.02	7.54	31.14	1.24
aintouta	1040	Q 500 ans	44.55	932.73	933.38	933.51	933.81	0.028402	3.13	16.15	47.94	1.55
aintouta	1040	Q 200 ans	38.22	932.73	933.35	933.46	933.73	0.028340	2.95	14.51	45.48	1.53
aintouta	1040	Q 100 ans	33.43	932.73	933.32	933.42	933.66	0.027954	2.79	13.29	43.56	1.50
aintouta	1040	Q 50 ans	27.86	932.73	933.28	933.36	933.58	0.027684	2.58	11.79	41.07	1.46
aintouta	1040	Q 10 ans	18.95	932.73	933.21	933.27	933.44	0.026587	2.25	9.11	36.19	1.39

Annexe

aintouta	800	Q 500 ans	44.55	928.01	928.50	928.54	928.75	0.021853	2.06	20.21	58.27	1.27
aintouta	800	Q 200 ans	38.22	928.01	928.47	928.50	928.69	0.021458	1.96	18.39	56.94	1.24
aintouta	800	Q 100 ans	33.43	928.01	928.44	928.47	928.64	0.021767	1.90	16.78	55.74	1.24
aintouta	800	Q 50 ans	27.86	928.01	928.40	928.43	928.58	0.022633	1.83	14.72	54.16	1.24
aintouta	800	Q 10 ans	18.95	928.01	928.35	928.36	928.48	0.020526	1.60	11.86	51.88	1.16
aintouta	800	Q 5ans	14.78	928.01	928.31	928.32	928.42	0.020647	1.50	10.09	50.43	1.14
aintouta	779.9999	Q 500 ans	44.55	927.59	928.07	928.11	928.31	0.021505	2.02	20.74	61.03	1.25
aintouta	779.9999	Q 200 ans	38.22	927.59	928.04	928.07	928.25	0.021639	1.94	18.74	59.65	1.24
aintouta	779.9999	Q 100 ans	33.43	927.59	928.02	928.04	928.21	0.021178	1.86	17.31	58.63	1.22
aintouta	779.9999	Q 50 ans	27.86	927.59	927.99	928.00	928.15	0.020277	1.74	15.60	57.41	1.18
aintouta	779.9999	Q 10 ans	18.95	927.59	927.92	927.93	928.05	0.022090	1.63	11.86	54.61	1.20
aintouta	779.9999	Q 5ans	14.78	927.59	927.89	927.89	928.00	0.021886	1.53	10.16	53.29	1.17
aintouta	760	Q 500 ans	44.55	927.17	927.64	927.68	927.87	0.021847	2.04	21.06	63.95	1.26
aintouta	760	Q 200 ans	38.22	927.17	927.61	927.65	927.82	0.021441	1.95	19.19	62.70	1.24
aintouta	760	Q 100 ans	33.43	927.17	927.59	927.62	927.77	0.021916	1.89	17.48	61.54	1.24
aintouta	760	Q 50 ans	27.86	927.17	927.55	927.58	927.72	0.022270	1.82	15.47	60.15	1.23
aintouta	760	Q 10 ans	18.95	927.17	927.50	927.51	927.62	0.020373	1.59	12.44	57.98	1.16
aintouta	760	Q 5ans	14.78	927.17	927.47	927.47	927.57	0.020449	1.50	10.61	56.63	1.14
aintouta	740	Q 500 ans	44.55	926.75	927.22	927.26	927.44	0.020820	2.02	21.78	66.89	1.24
aintouta	740	Q 200 ans	38.22	926.75	927.19	927.22	927.39	0.021367	1.96	19.56	65.49	1.24
aintouta	740	Q 100 ans	33.43	926.75	927.17	927.19	927.34	0.020695	1.87	18.14	64.57	1.21
aintouta	740	Q 50 ans	27.86	926.75	927.14	927.15	927.29	0.020353	1.77	16.22	63.32	1.19
aintouta	740	Q 10 ans	18.95	926.75	927.08	927.09	927.20	0.022069	1.67	12.36	60.71	1.20
aintouta	740	Q 5ans	14.78	926.75	927.05	927.06	927.15	0.021752	1.57	10.60	59.48	1.18
aintouta	720	Q 500 ans	44.55	926.32	926.67	926.71	926.91	0.021691	1.78	20.65	59.81	1.22
aintouta	720	Q 200 ans	38.22	926.32	926.64	926.67	926.85	0.021631	1.68	18.74	58.74	1.20
aintouta	720	Q 100 ans	33.43	926.32	926.61	926.64	926.81	0.022451	1.62	17.01	57.74	1.20
aintouta	720	Q 50 ans	27.86	926.32	926.57	926.60	926.75	0.023179	1.53	15.00	56.57	1.20
aintouta	720	Q 10 ans	18.95	926.32	926.52	926.53	926.65	0.022257	1.30	11.92	54.73	1.14
aintouta	699.9999	Q 500 ans	44.55	925.90	926.28	926.31	926.51	0.018293	1.58	21.38	57.66	1.11
aintouta	699.9999	Q 200 ans	38.22	925.90	926.25	926.27	926.45	0.018511	1.49	19.30	56.45	1.10
aintouta	699.9999	Q 100 ans	33.43	925.90	926.22	926.23	926.40	0.017931	1.40	17.90	55.61	1.07
aintouta	699.9999	Q 50 ans	27.86	925.90	926.19	926.19	926.34	0.017552	1.30	16.04	54.49	1.04
aintouta	699.9999	Q 10 ans	18.95	925.90	926.13	926.12	926.24	0.016908	1.10	12.72	52.42	0.98
aintouta	699.9999	Q 5ans	14.78	925.90	926.06	926.08	926.19	0.025779	1.12	9.53	50.35	1.16
aintouta	664.3538	Q 500 ans	44.55	925.29	925.87	925.89	926.09	0.014763	2.10	22.11	61.49	1.10
aintouta	664.3538	Q 200 ans	38.22	925.29	925.84	925.84	926.03	0.014823	1.97	19.95	59.28	1.08
aintouta	664.3538	Q 100 ans	33.43	925.29	925.80	925.81	925.98	0.015800	1.89	17.92	57.12	1.10
aintouta	664.3538	Q 50 ans	27.86	925.29	925.76	925.77	925.92	0.016335	1.76	15.79	54.76	1.09
aintouta	664.3538	Q 10 ans	18.95	925.29	925.69	925.69	925.82	0.017345	1.54	12.12	50.45	1.08
aintouta	664.3538	Q 5ans	14.78	925.29	925.65	925.65	925.76	0.018119	1.47	10.12	47.93	1.08
aintouta	640	Q 500 ans	44.55	924.84	925.27	925.37	925.61	0.029917	2.90	19.66	86.04	1.55
aintouta	640	Q 200 ans	38.22	924.84	925.25	925.34	925.56	0.029624	2.76	17.66	84.47	1.53
aintouta	640	Q 100 ans	33.43	924.84	925.23	925.32	925.52	0.028195	2.60	16.31	83.39	1.48
aintouta	640	Q 50 ans	27.86	924.84	925.21	925.29	925.46	0.027261	2.43	14.33	78.51	1.43
aintouta	640	Q 10 ans	18.95	924.84	925.16	925.23	925.36	0.026232	2.11	10.77	67.99	1.36
aintouta	640	Q 5ans	14.78	924.84	925.13	925.18	925.30	0.025352	1.92	9.00	62.12	1.31
aintouta	619.9999	Q 500 ans	44.55	924.29	924.75	924.82	925.03	0.026767	2.57	19.70	70.56	1.44
aintouta	619.9999	Q 200 ans	38.22	924.29	924.72	924.78	924.97	0.027532	2.45	17.67	68.58	1.44
aintouta	619.9999	Q 100 ans	33.43	924.29	924.69	924.75	924.93	0.028932	2.36	15.96	66.85	1.45
aintouta	619.9999	Q 50 ans	27.86	924.29	924.66	924.72	924.87	0.029783	2.22	14.09	64.92	1.45
aintouta	619.9999	Q 10 ans	18.95	924.29	924.61	924.65	924.77	0.031274	1.95	10.93	61.52	1.43
aintouta	619.9999	Q 5ans	14.78	924.29	924.59	924.62	924.73	0.031804	1.85	9.23	59.61	1.42
aintouta	600.0001	Q 500 ans	44.55	923.92	924.29	924.34	924.55	0.019678	1.50	20.38	59.23	1.12
aintouta	600.0001	Q 200 ans	38.22	923.92	924.25	924.30	924.49	0.019583	1.40	18.34	56.79	1.10
aintouta	600.0001	Q 100 ans	33.43	923.92	924.22	924.26	924.44	0.019140	1.31	16.84	54.93	1.08
aintouta	600.0001	Q 50 ans	27.86	923.92	924.19	924.22	924.38	0.019106	1.20	14.86	52.37	1.05
aintouta	600.0001	Q 10 ans	18.95	923.92	924.12	924.13	924.27	0.019333	0.99	11.37	47.53	1.01

Annexe

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: Oued3 Reach: ain touta												Reload Da
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
ain touta	940	Q 500 ans	33.39	934.54	935.34	935.14	935.41	0.003202	1.22	27.36	53.17	0.54
ain touta	940	Q 200 ans	28.65	934.54	935.30	935.10	935.37	0.002944	1.12	25.52	52.33	0.51
ain touta	940	Q 100 ans	25.06	934.54	935.27	935.07	935.33	0.002749	1.05	23.94	51.60	0.49
ain touta	940	Q 50 ans	20.90	934.54	935.23	935.03	935.28	0.002499	0.95	21.93	50.66	0.46
ain touta	940	Q 10 ans	14.21	934.54	935.16	934.96	935.19	0.002012	0.78	18.20	48.20	0.41
ain touta	940	Q 5ans	11.08	934.54	935.11	934.92	935.14	0.001738	0.69	16.16	46.63	0.37
ain touta	920.0001	Q 500 ans	33.39	934.78	935.23		935.32	0.006961	1.46	26.12	72.84	0.76
ain touta	920.0001	Q 200 ans	28.65	934.78	935.20		935.28	0.007113	1.38	23.59	72.35	0.75
ain touta	920.0001	Q 100 ans	25.06	934.78	935.17		935.24	0.007127	1.30	21.51	70.54	0.74
ain touta	920.0001	Q 50 ans	20.90	934.78	935.13		935.20	0.007152	1.20	18.97	68.28	0.73
ain touta	920.0001	Q 10 ans	14.21	934.78	935.07		935.12	0.007167	1.00	14.54	64.13	0.70
ain touta	920.0001	Q 5ans	11.08	934.78	935.03		935.07	0.007213	0.88	12.19	61.82	0.68
ain touta	900	Q 500 ans	33.39	934.60	935.09		935.18	0.006985	1.52	26.09	73.13	0.76
ain touta	900	Q 200 ans	28.65	934.60	935.05		935.14	0.007095	1.43	23.35	70.74	0.76
ain touta	900	Q 100 ans	25.06	934.60	935.02		935.10	0.007209	1.36	21.18	68.79	0.75
ain touta	900	Q 50 ans	20.90	934.60	934.98		935.05	0.007352	1.26	18.57	66.37	0.74
ain touta	900	Q 10 ans	14.21	934.60	934.92		934.97	0.007527	1.07	14.11	62.01	0.72
ain touta	900	Q 5ans	11.08	934.60	934.88		934.93	0.007406	0.94	11.92	59.76	0.69
ain touta	880	Q 500 ans	33.39	934.39	934.97	934.86	935.05	0.005690	1.50	27.50	72.61	0.71
ain touta	880	Q 200 ans	28.65	934.39	934.93	934.83	935.01	0.005705	1.42	24.70	70.16	0.70
ain touta	880	Q 100 ans	25.06	934.39	934.90		934.97	0.005865	1.36	22.30	67.99	0.70
ain touta	880	Q 50 ans	20.90	934.39	934.85		934.92	0.006163	1.28	19.34	65.20	0.70
ain touta	880	Q 10 ans	14.21	934.39	934.77		934.82	0.006927	1.14	14.21	60.09	0.71
ain touta	880	Q 5ans	11.08	934.39	934.73		934.78	0.007437	1.04	11.64	57.35	0.71
ain touta	860.0001	Q 500 ans	33.39	934.17	934.72	934.72	934.88	0.012553	2.10	20.11	63.77	1.03
ain touta	860.0001	Q 200 ans	28.65	934.17	934.68	934.68	934.83	0.012702	2.00	17.98	61.65	1.02
ain touta	860.0001	Q 100 ans	25.06	934.17	934.66	934.65	934.80	0.012152	1.88	16.62	60.26	0.99
ain touta	860.0001	Q 50 ans	20.90	934.17	934.63	934.62	934.75	0.011299	1.72	15.00	58.56	0.94

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: Oued2 Reach: ain touta												Reload Da
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
ain touta	480	Q 500 ans	9.61	931.28	931.45	931.40	931.47	0.005599	0.71	14.95	100.00	0.58
ain touta	480	Q 200 ans	8.24	931.28	931.43	931.39	931.45	0.005689	0.67	13.52	100.00	0.58
ain touta	480	Q 100 ans	7.21	931.28	931.42	931.38	931.44	0.005759	0.64	12.39	100.00	0.57
ain touta	480	Q 50 ans	6.01	931.28	931.41	931.37	931.43	0.005813	0.60	11.01	100.00	0.56
ain touta	480	Q 10 ans	4.09	931.28	931.38	931.35	931.40	0.006076	0.51	8.47	100.00	0.55
ain touta	480	Q 5ans	3.15	931.28	931.37	931.34	931.38	0.006288	0.46	7.02	100.00	0.55
ain touta	460	Q 500 ans	9.61	931.17	931.34		931.36	0.005833	0.71	14.71	100.00	0.59
ain touta	460	Q 200 ans	8.24	931.17	931.33		931.35	0.005584	0.66	13.55	100.00	0.57
ain touta	460	Q 100 ans	7.21	931.17	931.32		931.33	0.005375	0.61	12.61	100.00	0.55
ain touta	460	Q 50 ans	6.01	931.17	931.30		931.32	0.005296	0.57	11.30	100.00	0.54
ain touta	460	Q 10 ans	4.09	931.17	931.28		931.29	0.005020	0.47	8.97	100.00	0.50
ain touta	460	Q 5ans	3.15	931.17	931.27		931.28	0.004701	0.41	7.70	100.00	0.48
ain touta	419.4255	Q 500 ans	9.61	930.93	931.09		931.11	0.006150	0.68	15.65	137.01	0.60
ain touta	419.4255	Q 200 ans	8.24	930.93	931.08		931.10	0.006347	0.65	13.91	137.01	0.60
ain touta	419.4255	Q 100 ans	7.21	930.93	931.06		931.09	0.006472	0.62	12.51	133.27	0.59
ain touta	419.4255	Q 50 ans	6.01	930.93	931.05		931.07	0.006536	0.57	10.86	124.04	0.58
ain touta	419.4255	Q 10 ans	4.09	930.93	931.03		931.04	0.007178	0.48	7.85	105.26	0.58
ain touta	419.4255	Q 5ans	3.15	930.93	931.01		931.02	0.007602	0.42	6.35	94.42	0.57
ain touta	401.4689	Q 500 ans	9.61	930.83	931.01		931.03	0.003166	0.55	19.15	131.40	0.44
ain touta	401.4689	Q 200 ans	8.24	930.83	931.00		931.01	0.003106	0.51	17.40	131.40	0.43
ain touta	401.4689	Q 100 ans	7.21	930.83	930.99		931.00	0.003034	0.48	16.02	131.40	0.42
ain touta	401.4689	Q 50 ans	6.01	930.83	930.98		930.99	0.003046	0.45	14.09	131.40	0.41
ain touta	401.4689	Q 10 ans	4.09	930.83	930.95		930.96	0.002961	0.37	10.67	117.31	0.39
ain touta	401.4689	Q 5ans	3.15	930.83	930.93		930.94	0.002842	0.32	8.91	107.16	0.37
ain touta	375.808	Q 500 ans	9.61	930.67	930.86		930.90	0.008374	0.87	11.83	102.22	0.71
ain touta	375.808	Q 200 ans	8.24	930.67	930.85		930.88	0.008918	0.84	10.36	94.01	0.72
ain touta	375.808	Q 100 ans	7.21	930.67	930.83		930.87	0.009120	0.80	9.37	88.07	0.72
ain touta	375.808	Q 50 ans	6.01	930.67	930.82	930.80	930.85	0.009651	0.76	8.14	81.16	0.73

Annexe

L'annexe4 : Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Ain touta de régime non permanent pour quelques sections transversales.

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: Oued123 Reach: ain touta Profile: Max WS												Reload D:
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
ain touta	940	Max WS	15.07	925.87	928.25		928.25	0.000002	0.07	230.65	100.00	0.02
ain touta	920.0001	Max WS	106.58	925.64	932.66		932.66	0.000002	0.18	694.85	100.00	0.02
ain touta	900.0001	Max WS	-9.62	925.42	929.66		929.66	0.000000	-0.03	417.34	100.00	0.00
ain touta	880	Max WS	4.82	925.21	928.25		928.25	0.000000	0.02	300.72	100.00	0.00
ain touta	860	Max WS	86.79	924.83	929.85		929.85	0.000004	0.20	501.96	100.00	0.03
ain touta	840	Max WS	6.57	924.36	926.64		926.64	0.000000	0.03	224.14	100.00	0.01
ain touta	820.0001	Max WS	40.86	924.29	947.25		947.25	0.000000	0.02	2293.95	100.00	0.00
ain touta	801.6122	Max WS	-0.57	924.20	924.53		924.53	0.000002	-0.02	33.05	108.88	0.01
ain touta	781.573	Max WS	1.07	924.12	924.44		924.44	0.000005	0.03	36.49	116.53	0.02
ain touta	760.1868	Max WS	2.51	924.03	924.92		924.92	0.000001	0.03	103.89	113.53	0.01
ain touta	738.8855	Max WS	0.27	923.89	924.06		924.06	0.000000	0.01	33.26	124.21	0.00
ain touta	721.8536	Max WS	0.70	923.62	925.42		925.42	0.000000	0.00	242.22	137.25	0.00
ain touta	709.1061	Max WS	-0.33	923.39	923.50		923.50	0.000007	-0.01	11.39	53.16	0.02
ain touta	690.5697	Max WS	2.23	923.03	926.53		926.53	0.000000	0.01	489.92	156.87	0.00
ain touta	667.0519	Max WS	8.14	922.57	922.83	922.87	922.96	0.033744	1.59	5.15	35.25	1.40
ain touta	644.8021	Max WS	0.12	922.27	923.42		923.42	0.000000	0.00	76.38	132.35	0.00
ain touta	624.1043	Max WS	-2.21	922.02	922.41		922.42	0.000476	-0.28	8.92	45.51	0.18
ain touta	605.3528	Max WS	2.73	921.80	922.43		922.43	0.000069	0.13	23.11	73.13	0.07
ain touta	585.4813	Max WS	5.93	921.62	924.92		924.92	0.000000	0.02	398.89	164.44	0.00
ain touta	564.8902	Max WS	1.16	921.44	922.16		922.16	0.000002	0.03	40.22	80.84	0.01
ain touta	543.3189	Max WS	-0.13	921.26	921.63		921.63	0.000000	-0.01	17.01	59.97	0.00
ain touta	526.8025	Max WS	-0.09	921.13	923.09		923.09	0.000000	0.00	169.68	132.31	0.00
ain touta	505.6196	Max WS	-0.43	921.36	921.90		921.90	0.000000	-0.01	47.22	77.75	0.00
ain touta	487.0249	Max WS	-7.92	921.51	922.23		922.24	0.000046	-0.07	42.64	71.20	0.05
ain touta	473.7367	Max WS	3.73	921.37	919.65	920.16	2041.35	58.259000		0.03	0.82	0.00
ain touta	282.9925	Max WS	0.63	920.04	919.13		919.13	0.000017		10.32	27.66	0.00
ain touta	262.8874	Max WS	0.38	919.84	919.13		919.13	0.000042		5.07	19.40	0.00
ain touta	238.3041	Max WS	-0.72	919.64	919.24		919.24	0.000096		6.08	21.66	0.00
ain touta	210.2781	Max WS	-0.13	919.46	919.13		919.13	0.000077		1.92	13.16	0.00
ain touta	188.0737	Max WS	4.09	919.26	921.55		921.55	0.000000	0.02	226.54	115.10	0.00
ain touta	164.0896	Max WS	0.75	918.91	919.85		919.85	0.000000	0.01	60.04	120.30	0.00
ain touta	146.2579	Max WS	-0.72	918.59	919.13		919.13	0.000011	-0.05	13.36	38.23	0.03
ain touta	129.0127	Max WS	-0.90	918.57	919.13		919.13	0.000017	-0.07	13.35	38.83	0.04

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: Oued4 Reach: aintouta Profile: Max WS												Reload D:
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
aintouta	1220	Max WS	12.86	938.82	941.58		941.58	0.000001	0.06	249.60	100.00	0.01
aintouta	1195.473	Max WS	2.31	937.71	941.58		941.58	0.000000	0.01	313.87	100.00	0.00
aintouta	1181.058	Max WS	-5.84	937.05	941.58		941.58	0.000000	-0.02	370.04	100.00	0.00
aintouta	1158.411	Max WS	31.96	936.07	939.23		939.23	0.000006	0.17	238.95	100.00	0.03
aintouta	1140	Max WS	21.25	935.39	939.14		939.14	0.000001	0.08	313.96	100.00	0.01
aintouta	1120	Max WS	7.22	934.70	939.14		939.14	0.000000	0.02	383.37	100.00	0.00
aintouta	1100	Max WS	14.95	934.02	938.81		938.81	0.000000	0.05	398.02	100.00	0.01
aintouta	1080	Max WS	12.30	933.59	938.81		938.81	0.000000	0.03	443.91	100.00	0.00
aintouta	1060	Max WS	9.63	933.15	938.81		938.81	0.000000	0.02	490.77	100.00	0.00
aintouta	1040	Max WS	7.03	932.73	938.80		938.80	0.000000	0.02	539.71	100.00	0.00
aintouta	1020	Max WS	4.55	932.39	938.80		938.80	0.000000	0.01	585.35	100.00	0.00
aintouta	999.9999	Max WS	1.97	932.04	938.80		938.80	0.000000	0.00	627.13	100.00	0.00
aintouta	979.9999	Max WS	16.21	931.68	941.60		941.60	0.000000	0.02	949.89	100.00	0.00
aintouta	959.9999	Max WS	1.23	931.28	933.34		933.34	0.000000	0.01	176.69	100.00	0.00
aintouta	939.9999	Max WS	1.18	930.86	934.43		934.43	0.000000	0.00	328.50	100.00	0.00
aintouta	920	Max WS	0.86	930.45	933.35		933.35	0.000000	0.00	257.03	100.00	0.00
aintouta	900	Max WS	-0.31	930.03	932.82		932.82	0.000000	0.00	240.03	100.00	0.00
aintouta	879.9999	Max WS	1.10	929.64	930.75		930.75	0.000000	0.02	69.10	100.00	0.01
aintouta	859.9999	Max WS	6.88	929.23	932.91		932.91	0.000000	0.03	321.14	100.00	0.00
aintouta	839.9999	Max WS	0.57	928.78	930.40		930.40	0.000000	0.01	107.01	100.00	0.00
aintouta	820.0001	Max WS	1.67	928.37	928.41	928.43	928.47	0.103127	1.13	1.52	37.73	1.95
aintouta	800	Max WS	0.93	928.01	928.83		928.83	0.000001	0.02	42.28	72.57	0.01
aintouta	779.9999	Max WS	-0.93	927.59	928.90		928.90	0.000000	-0.01	85.54	96.09	0.00
aintouta	760	Max WS	1.27	927.17	929.58		929.58	0.000000	0.01	199.05	100.00	0.00
aintouta	740	Max WS	-0.45	926.75	927.36		927.36	0.000001	-0.01	31.41	72.69	0.01
aintouta	720	Max WS	2.15	926.32	927.03		927.03	0.000005	0.04	44.50	71.89	0.02
aintouta	699.9999	Max WS	2.16	925.90	925.93		925.96	0.018234	0.36	3.24	46.00	0.76
aintouta	664.3538	Max WS	2.19	925.29	928.25		928.25	0.000000	0.01	255.09	104.06	0.00
aintouta	640	Max WS	-0.01	924.84	925.01		925.01	0.000000	0.00	3.06	35.92	0.00
aintouta	619.9999	Max WS	2.89	924.29	926.35		926.35	0.000000	0.02	174.02	100.00	0.00
aintouta	600.0001	Max WS	5.08	923.92	923.92	923.95	924.04	0.062526		3.34	33.82	0.00
aintouta	580	Max WS	1.02	923.66	924.54		924.54	0.000000	0.01	65.36	85.22	0.01
aintouta	560	Max WS	0.92	923.36	930.54		930.54	0.000000	0.00	690.44	100.00	0.00

Résumé

La problématique des risques naturels en général et des Inondations en particulier est un sujet d'actualité qui marque une action mémorable dans le monde et spécifiquement en Algérie, notamment au regard des dernières grandes crues catastrophiques. En effet, la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit inclure tous les acteurs et tous les moyens disponibles possibles.

Dans ce travail, on a exposé la cartographie de l'aléa inondation par l'approche de la modélisation hydraulique à travers l'exemple de l'Oued Ain touta Wilaya de BATNA et en appuyant sur la contribution du système d'information géographique (Arc Gis, Hec-Georas) et de la modélisation hydraulique (HEC RAS) .

Mot s clés : Cartographie, Inondation, Ain touta, Modélisation

Summary

The problem of the natural risks in general and the Floods in particular is a subject of topicality which marks a memorable action in the world and specifically in Algeria, in particular taking into consideration last great catastrophic risings. As a result, the management of this risk becomes more and more a need which must include all the actor s and all the means available possible.

In this work, I exposed the cartography of the risk flood by the approach of hydraulic modeling through the example of river Ain touta Wilaya of BATNA and the geographic information system (Arc Gis, Hec-Georas) and hydraulic modeling (HEC RAS).

Key words: Cartography, Flood, Ain touta , Modeling.

المخلص

إن مشكل الأخطار الطبيعية بشكل عام والفيضانات بشكل خاص قضية موضوعية تمثل حدثاً لا يُنسى في العالم وتحديداً في الجزائر ، وخاصة في ضوء آخر الفيضانات الكارثية الكبرى. في الواقع ، أصبحت إدارة هذه الأزمة ضرورة أكثر فأكثر والتي يجب أن تشمل جميع الجهات الفاعلة وجميع الوسائل المتاحة الممكنة .

في هذا العمل ، تم الكشف عن رسم خرائط لخطر الفيضان من خلال نهج النمذجة الهيدروليكية من خلال مثال وادي عين توتة بولاية باتنة ودعم مساهمة نظام المياه. المعلومات الجغرافية ، (Arc Gis ، Hec-Georas) و النمذجة الهيدروليكية (HEC RAS) .

الكلمات المفتاحية: رسم الخرائط ، الفيضان ، عين التوتة ، النمذجة