

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

FACULTE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

N° :



DOMAINE : HYDRAULIQUE
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : O. H

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

Par: RAACHI Taieb

BENDIB Adel

Intitulé

**Simulation des inondations par un modèle combiné
1D/2D à l'aide du logiciel HECRAS.
Cas de la ville d'El kseur (W. Bejaia)**

Soutenu devant le jury composé de:

M ^r	Université	M. Boudiaf - M'sila	Président
M ^r	Université	M. Boudiaf - M'sila	Examineur
M ^r . HAMIDOU Mohamed	Université	M. Boudiaf - M'sila	Encadreur
M ^r	Université	M. Boudiaf - M'sila	Co-Encadreur

Année universitaire : 2019 /2020.

Dédicace

On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination. Les cinq années d'étude m'ont permis de bien comprendre la signification de cette phrase toute simple. Ce parcours, en effet, ne s'est pas réalisé sans défis et sans soulever de nombreuses questions pour lesquelles les réponses nécessitent de longues heures de travail.

Je veux remercier Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné Faith et laissez-moi y accéder.

- *Je dédie ces notes à toute ma famille, à mon père et à ma mère, pour tous leurs sacrifices*

M'élever dignement, dans le meilleur des cas, auprès de ma fille Noor et de ma femme

Et à tous mes amis. ' BENDIB ADEL '

- *Je dédie ces notes à toute ma famille, pour tous leurs sacrifices*

Élevez-moi avec dignité, au mieux, et en particulier, ma mère, que Dieu prolonge sa vie, et mon père, que Dieu ait pitié de lui

Et à tous mes amis. ' RAACHA TAIEB '

Remerciements

Avant tout, nous remercions le Dieu qui a illuminé notre chemin et qui nous a donné la force et la sagesse, ainsi la bonne volonté pour achever ce modeste travail.

On adresse tous nos respects et nos remerciements à ceux qui nous ont aidés de Près ou de loin pour l'élaboration de cette étude et particulièrement :

On tient à remercier notre Encadreur Mr. HAMDOU Mohamed, de nous avoir encadrés, orientés et encouragés durant toute la période de réalisation de ce travail.

Toutes reconnaissances à nos professeurs et enseignants qui nous ont guidés au Cours de cette formation, nos respects aussi aux membres de jury qui nous feront l'honneur d'apprécier ce travail.

ملخص

تعد الفيضانات من المخاطر الطبيعية الأكثر شيوعا في العالم بما في ذلك الجزائر وذلك راجعا لي المخلفات الناتجة عنها وبالخصوص في المدن والتجمعات السكانية.

الوقاية من مخاطر الفيضانات أصبح ضرورة حتمية تتضمن استعمال جميع الوسائل المتوفرة

ان تطور النماذج التجريبية لاستقراء نتائج تقييم التدفقات للتعريف بالفيضانات كدراسة الاحتمالات و الترددات و التدفقات القصوى المسجلة وتحليل معطيات الفيضانات التاريخية تسمح بإقامة مخططات الوقاية من مخاطر الفيضان على مستوى المناطق المدروسة .

مفاتيح الكلمات الفيضان . تسيير الاخطار . الفيضانات التاريخية

Résumé :

Les inondations sont parmi les risques naturels les plus courants dans le monde, y compris en Algérie, en raison des déchets qu'elles produisent, en particulier dans les villes et les communautés.

La prévention des risques d'inondation est devenue un impératif qui inclut l'utilisation de tous les moyens disponibles

Le développement de modèles expérimentaux pour extrapoler les résultats de l'évaluation des débits pour identifier les crues, comme l'étude des probabilités, des fréquences et des débits maximum enregistrés et l'analyse des données historiques des crues, permet la mise en place de plans de prévention des risques d'inondations au niveau des zones étudiées.

Mots clés:l'inondation. Gestion des avis. Crue historique

Abstract:

Floods are among the most common natural hazards in the world, including Algeria, due to the waste they produce, especially in cities and communities.

Prevention of flood risks has become an imperative that includes the use of all available means

The development of experimental models to extrapolate the results of assessing flows to identify floods, such as studying the probabilities, frequencies, and maximum recorded flows and analyzing historical flood data, allow the establishment of flood risk prevention plans at the level of the studied areas

Key words:the flood. Notice management. Historical flood

Liste des tableaux

Tableau II -1: Le débit moyen annuel des affluents de l'oued Soummam (Visiterv, 1987).....	21
Tableau II -2: Classes d'occupation du sol selon leurs protections du sol.....	22
Tableau II-3:Moyennes mensuelles des températures (maximas 'M' et minimas'm') dans la région de la basse vallée de la Soummam (période de1970 – 2005).....	23
Tableau II-4: Précipitations moyennes 'P' dans la région de la basse vallée de la Soummam (période de1970 – 2005).....	23
TableauII-5 : La vitesse moyenne des vents dominants (m/s) période (1994-2003).....	23
Tableau II-6:Le tableau suivant montre les valeurs liées à l'humidité mensuelle moyenne.....	24
Tableau II-7:Caractéristiques générales des stations pluviométriques.....	24
Tableau II-09: Découpage hydrographique du bassin versant de l'oued Soummam soit un bassin d'une superficie de 9125 km.....	26
Tableau II -10:tableau définissant l'hypsométrie du bassin de la Soummam.....	28
Tableau II -11 : Classifications (O.R.S.T.O.M. actuellement IRD) pour des bassins versants dont la surface est de l'ordre de 25 km ²	32
Tableau III.1:Chronologie annuelle desQjmax.....	35
Tableau III.2:Débit-fréquence (formules du HAZEN).....	38
Tableau III.3:Estimation des paramètres de la loi de GUMBEL et GALTON	39
Tableau III.4:Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL.....	40
Tableau III.5:Résultats du test Khi carré.....	41
Tableau III.6:Résultats du test Khi carré.....	42
Tableau III.7:Estimation des débits de pointe correspondants Hydro grammes de crues fréquentielles du sous BV Oued Soummam.....	43
Tableau V.1.: cordonnée des stations de mesure.....	72

Liste des figures

Figure 1.1. Exutoire d'un bassin versant	03
Figure 1.2. Lit majeur et mineur d'un cours d'eau.....	03
Figure 1.3.Eléments descriptif d'une crue.....	04
Figure 1.4. Inondation de plaines.....	06
Figure 1.5. Inondation par remontées des nappes phréatiques.....	07
Figure 1.6. Inondation par ruissellement.....	08
Figure 1.7.Inondations marines	09
Figure 1.8.Inondation du Camps des réfugiés sahraouis.....	11
Figure I.9. Inondation du Bechar.....	12
Figure I.10. Inondation du Ghardaïa.....	13
Figure I.11.Inondation du Bejaïa.....	14
Figure I.12. Exemple d'une carte d'extension spatiale d'une inondation en zone côtière.....	16
Figure I.13.Modèle 3D.....	17
Figure I.14.Modèle 2D.....	18
Figure I.15.Modèle 1D.....	19
Figure II-1: Les grands bassins versants d'Algérie.....	20
Figure II-2: Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Soumma.....	22
Figure II-3:carte de situation des sous bassins versant de la Soummam(charifi s. 2006).....	25
Figure II-4:Courbe hypsométrique	28
Figure II-5 : Carte des pentes du sous bassin versant de la Soummam.....	30
Figure II-6 : Réseau hydrographique et ses ordres d'un bassin versant	33
Figure II-7: Réseau hydrographique du sous bassin versant de la Soummam.....	34
Figure III.1.Variabilité chronologique des débits annuels.....	36
Figure III.2. Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL.....	40
Figure III.3. Ajustement à une loi de GALTON.....	41
Figure III.4. Hydrogramme de crue fréquentielle du sous BV Soummam.....	46
Figure IV -1:Fenêtre New Project.....	48
Figure IV -2:Fenêtre Geometric Data.....	49
Figure IV -3: Fenêtre Cross Section Data.....	50
Figure IV -4:Fenêtre Steady Flow Data.....	51
Figure IV -5:Fenêtre Reach Bondary Conditions.....	52
Figure IV -6:Fenêtre Unsteady Flow Data.....	52

Figure IV -7: Fenêtre flow hydrograph.....	53
Figure IV -8:Fenêtre Steady Flow Analysis.....	53
Figure IV -9:Fenêtre Unseady Flow Analysis.....	54
Figure IV-10: fenêtre système de référence spatiale.....	56
Figure IV-11: fenêtre de l'option Create a new terrain.....	56
Figure IV-12: fenêtre de choisir le fichier w001001.adf.....	57
Figure IV-13: fenêtre de RAS Mapper.....	57
Figure IV-14: fenêtre de Géométrie data.....	59
Figure IV.15: fenêtre du maillage.....	59
Figure IV.16: Fenêtre du maillage.....	59
Figure IV.17: fenêtre de (Run/Unsteady flow analysis).....	60
Figure IV.18: profondeur d'eaux instantanées.....	61
Figure IV.19: vitesse d'eaux instantanées.....	61
Figure IV.20: Création des domaines géométriques 1D et 2D.....	62
Figure IV.21: couplage rivière 1D à la zone 2D	
Figure IV.22:Tableau Latéral Structure Centerlines	64
Figure IV.23 : Les coordonnés de profile line	65
Figure IV.24: fenêtre Latéral Structure Editor.....	67
Figure IV.25: Table Centre line Terrain Profile.....	68
Figure IV.26: Fenêtre Latéral Weir/Emmancement.....	69
Figure V.1 :hydrogramme de crue T=100 ans.....	70
Figure V.2 :Profondeur H (max) de l'eau T= 100 ans.....	71
Figure V.3.: vitesse V (max) de l'eau T=100ans.....	71
Figure V.4.: positions des stations des mesures dans l'oued.....	72
Figure V.5 : Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans les moulins de Soummam (sidi aich).....	73
Figure V.6. Variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 les moulins de Soummam (sidi aich).....	73
Figure V.7. Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Libererie karim takhlidht).....	74
Figure V.8. Variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 (Libererie karim takhlidht...)	74
Figure V.9.Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Château d'eau).....	75
Figure V.10.Variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100(Château d'eau).....	75
Figure V.11.Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Site de tiklat... ..)	76

Figure V.12.Variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 (Site de tiklat).....	76
Figure V.13.Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Gare ferroviare d'Elkseur).....	76
FigureV.14.Variationtemporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 (Gare ferroviare d'Elkseur).....	77
Figure V.15. Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Centrale TG Amizour).....	78
Figure V.16.Variation temporelle de la vitessedel'eau pour T=100 (Centrale TG Amizour).....	78
Figure V.17. Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Mercerie yessad).....	79
Figure V.18.Variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 (Mercerie yessad).....	79
Figure V.19.Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Supérette Family Market, Amizour).....	80
FigureV.20.variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 (Supérette Family Market, Amizour).....	80
Figure V.21.Coupe type de digue.....	83
Figure V.22.Positionnement de la digue par rapport au cours d'eau.....	84

Sommaire

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

Chapitre 1 : généralité

Introduction	02
1.1. Définition	02
1.1.1. Inondation	02
1.1.2. Crue	02
1.1.3. L'étiage	02
1.1.4. Le débit	02
1.1.5. Bassin versant	03
1.1.6. L'exutoire	03
1.1.7. Le lit de la rivière	03
1.1.7.2. Le lit majeur	04
1.1.8. Éléments descriptifs d'une crue	04
1.1.8.1. Temps de concentration	04
1.1.8.2. Pointe de crue	04
1.1.8.3. Courbe de tarissement	04
1.1.8.4. Fréquence de retour.....	04
1.2. Principaux paramètres nécessaires pour évaluer la catastrophe	04
1.3. Mécanismes de l'inondation	05
1.3.1. Les facteurs physiques	05
1.3.2. Les facteurs aggravants le risque d'inondation	05
1.4. Type d'inondation	05
1.4.1. Inondation de plaines	05
1.4.2. Inondation par remontées des nappes phréatiques	06
1.4.3. Inondations par crues torrentielles	07
1.4.4. Inondation par ruissellement en secteur urbain	08
1.4.5. Inondation par rupture d'ouvrage ou d'embâcle	08
1.4.6. Inondation marines	09
1.5. Les inondations en Algérie	09
1.6. Causes et types de crues catastrophiques en Algérie	10
1.7. historique des inondations en Algérie	11

1.7.1. Les inondations du Sud	11
1.7.2. Les inondations a Bejaia14	14
1.8. Introduction à la modélisation hydraulique 1D et 2d.....	15
1.8.1. Les enjeux de la modélisation.....	15
1.8.2. Les différents types de modèles généraux.....	16
1.8.3. Critères de choix.....	17
1.8.3.1. Modèle 3D.....	17
1.8.3.2. Modèle 2D.....	17
1.8.3.3. Modèle 1D.....	18
1.9. Conclusion.....	19

Chapitre 2 : présentation de la région d'étude

Introduction.....	20
II.1. Situation géographique du bassin versant de la Soummam.....	20
II.2. Hydrologie du bassin versant de la Soummam.....	21
II.3. L'occupation du sol (C).....	21
II.4. Situation climatique du bassin versant de Soummam.....	22
II.4.1. Climat général.....	22
II.4.2. Température.....	23
II.4.3. Précipitations.....	23
II.4.4. Vent.....	23
II.4.5. L'humidité relative.....	24
II.4.6. Réseau pluviométrique.....	24
II.5. Morphologie du bassin.....	25
II.6. Caractéristique géomorphologique de bassin versant.....	26
II.6.1. définition du bassin versant.....	26
II.7. Caractéristique morpho-métriques.....	26
II.7.1. Les caractéristiques de la disposition dans le plan.....	26
II.7.1.1. La surface (A).....	26
II.7.1.2. Le périmètre (P).....	27
II.7.1.3. La forme(KG).....	27
II.7.1.4. Le rectangle équivalent.....	28
II.8. Caractéristiques Hypsométriques (Altitudes).....	28
II.8.1. Les altitudes maximale et minimale (H max et H min).....	28

II.8.2.Courbe hypsométrique.....	28
II.8.3.L'altitude moyenne (H moy).....	29
II.8.4.L'altitude médiane (H50%).....	30
II.9.Les indice des pentes.....	30
II.9.1.La pente moyenne du bassin versant (Im).....	31
II.9.2.L'indice de pente Roche (Ip).....	31
II.9.3.Indice de pente globale (Ig).....	31
II.9.4.Dénivelée spécifique (Ds.....	31
II.9.5.La densité de drainage.....	32
II.10.Caractéristiques du réseau hydrographique.....	32
II.10.1Hiérarchisation du réseau (Ordre du bassin versant).....	33
II.10.2Rapport de confluence.....	34
II.11. Temps de concentration.....	34
Conclusion.....	34

Chapitre 3 : Etude hydrologique du bassin versant

III.1.Introduction.....	35
III.2.Données disponibles des débits.....	35
III.3. Ajustement de la série des débits de pointe enregistrée à la station de Sidi Aich suivant les lois de distribution.....	36
III.3.1. Ajustement suivant la loi de GUMBEL.....	36
III.3.1.1.Description théorique.....	36
III.3.1.2.Résultats pratiques.....	38
III.3.1.3.Tests d'adéquation de la loi de GUMBEL.....	40
III.3.2. Ajustement suivant la loi de GALTON (Log Normale).....	41
III.3.2.1.Description théorique.....	41
III.3.2.2.Résultats pratiques.....	41
III.3.2.3.Tests d'adéquation de la loi Log –Normal.....	41
III.4. Hydro gramme de crue.....	42
III.5. Conclusion.....	46

Chapitre 4 : Présentation des logiciels utilisés et préparation des données géométriques

Introduction.....	47
IV.1. Présentation du logiciel Arc Gis 10.3.....	47
IV.2. Principe d'utilisation du logiciel HEC-RAS.....	48
IV.2.1. Projet.....	48
IV.2.2. Géométries des sections.....	49
IV.2.3. Débit et conditions aux limites.....	51
IV.2.4. Simulation hydraulique.....	53
IV.3. Description du fonctionnement du logiciel HEC-GeoRAS.....	54
IV.4. Description de la version 2D du logiciel HEC-RAS 5.0.3).....	55
IV.4.1. Préparation du model terrain.....	55
IV.4.2. création du maillage.....	58
IV.4.4. Exécution du model instationnaire.....	59
IV.4.5. Visualisation des résultats.....	60
IV.5. Connexion des zones d'écoulement 2D aux éléments hydrauliques 1D.....	62
IV.5.1. Modes de connexion 2D /1D dansHEC-RAS.....	63
IV.5.2 Connexion d'une zone d'écoulement 2D à un tronçon de rivière 1D avec une structure latérale.....	63
Conclusion.....	69

Chapitre 5 : simulations d'inondations et moyens de protection

V.1. Simulation et résultats	70
V.1.1. données de simulation.....	70
V.1.2. Délimitation de zone inondable.....	71
V.1.3. Variation temporelle de la profondeur et de la vitesse a défiants stations de l oued.....	72
V.2. les aménagements de protection contre les inondations.....	81
V.2.1. Protection directe (Rapprochées).....	81
V.2.2. protection indirecte (Eloignées).....	82
V.3 les digues de protection contre les inondations.....	83
V.3.1. Définition.....	83
V.3.2. Typologie des digues de protection contre les inondations.....	83
Conclusion.....	84
Conclusion générale.....	85

Introduction générale

Introduction générale

Les inondations représentent l'une des catastrophes les plus destructives dans le monde. Elles résultent de la conjonction de plusieurs facteurs naturels et anthropiques dont les principaux sont liés aux climats et aux caractéristiques édaphiques du milieu. Comme l'homme est attiré vers les zones fertiles au voisinage des cours d'eau, le risque d'inondation l'accompagne.

Ce problème se pose sérieusement en Algérie dans le bassin versant de la Soummam qui était envahie par les eaux plusieurs fois au cours des dernières années. Cette région où les extensions urbaines ont été amplifiées avec un rythme accéléré ces dernières années au dépend des terres agricoles, est de plus en plus soumise à des ruissellements intenses qui génèrent des inondations provoquant des importants dégâts au niveau des zones urbaines et des terres agricoles.

La pluviométrie est très variable dans l'espace et dans le temps à l'échelle mensuelle et annuelle.

Dans ce contexte, s'intègre cette étude portant sur la délimitation et la cartographie des inondations dans l'oued Soummam avec le modèle Hec-Ras (couplage 1D et 2D).

L'objectif principal de cette étude est de concevoir un modèle hydraulique permettant d'exploiter aux mieux toutes les informations disponibles, pour parvenir à une cartographie de quelques événements étudiés et une cartographie des zones à risque d'inondation.

Chapitre I : Généralités sur les inondations

Introduction :

Une inondation est un fléau naturel qui affecte plusieurs pays du monde. Elle est due à de nombreux facteurs et aggravée par d'autres 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 des statistiques lourdes.

I.1.Définitions

I.1.1. 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. [4]

I.1.2. Crue :

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière (débit) et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. L'importance de l'inondation dépend de trois paramètres : la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée de la crue. Ces paramètres sont conditionnés par les précipitations, l'état du bassin versant bassin versant et les caractéristiques du cours d'eau et les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur de la vallée, etc.). Ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par la présence d'activités humaines

I.1.3. Le débit :

Le débit (Q) d'un cours d'eau en un point donné est le volume d'eau passant en ce point pendant une unité de temps ; il s'exprime en m^3/s ou en l/s .

I.1.4. Le débit d'étiage:

Le débit d'étiage est le débit minimum d'un cours d'eau, observé sur un temps donné en période de basses eaux.

I.1.5. Bassin versant :

Le bassin versant d'une rivière est son aire géographique d'alimentation en eau.

I.1.6. L'exutoire :

L'exutoire est le point le plus en aval du réseau hydrographique, par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin versant.

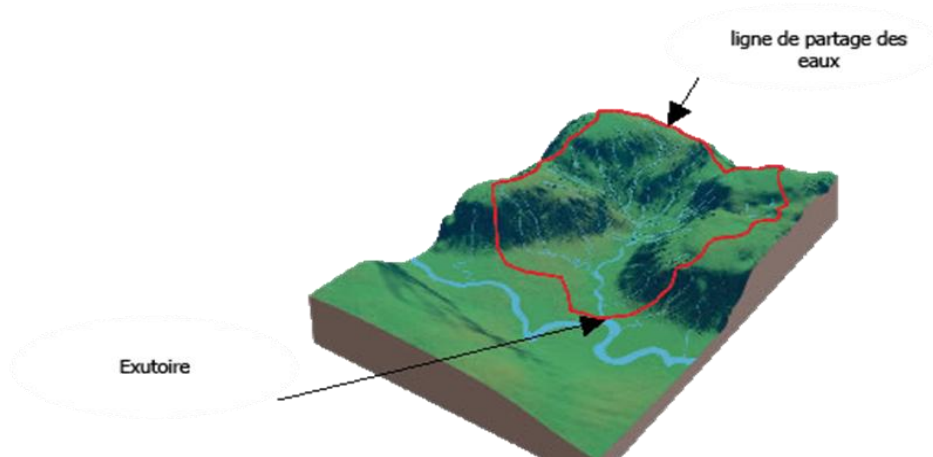


Figure I.1. Exutoire d'un bassin versant

I.1.7. Le lit de la rivière :

En hydrologie, le lit est l'espace occupé par un cours d'eau, de façon permanente ou temporairement. Il regroupe deux entités distinctes :

I.1.7.1. Le lit mineur :

Lit ordinaire ou « lit apparent », est le chenal où l'eau s'écoule avant débordement. Il peut être occupé en permanence ou de manière saisonnière



Figure I.2. Lits majeur et mineur d'un cours d'eau

I.1.7.2. Le lit majeur :

Appelé aussi « plaine d'inondation » ou « lit d'inondation », est la partie adjacente au lit mineur, inondée seulement en cas de crue. La bordure extérieure du lit majeur correspond au niveau de la plus grande crue historique enregistrée

I.1.8. Éléments descriptifs d'une crue :

Une crue est décrite par quatre éléments (**Figure I-3**), qui sont :

I.1.8.1. Temps de concentration : durée nécessaire à la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire.

I.1.8.2. Pointe de crue: puissance de la crue et durée de la période critique.

I.1.8.3. Courbe de tarissement : retour de la rivière au niveau antérieur à la crue.

I.1.8.4. Fréquence de retour : une crue centennale à chaque année, une chance sur cent (1/100) de se produire

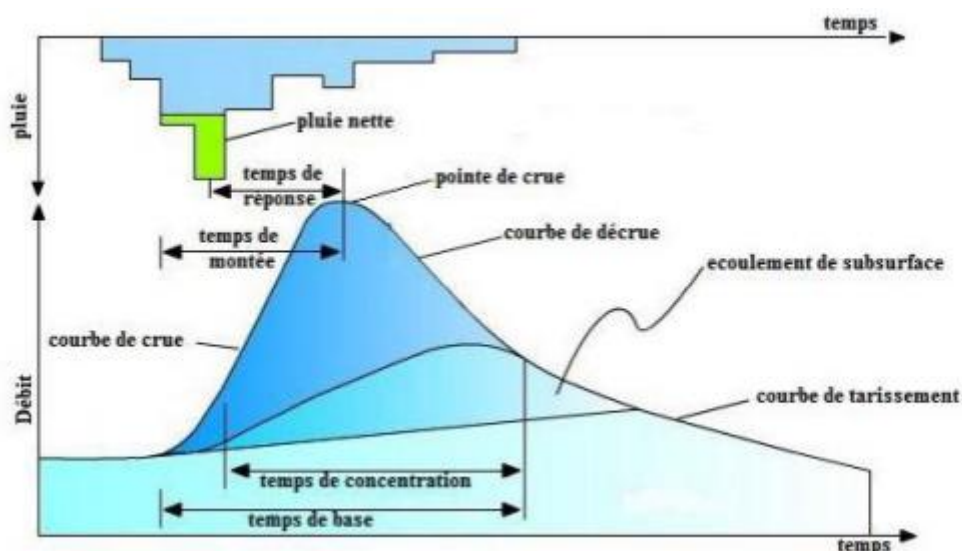


Figure I.3.Éléments descriptif d'une crue [4]

I.2. Principaux paramètres nécessaires pour évaluer la catastrophe : [2]

Les principaux paramètres nécessaires pour évaluer la catastrophe sont :

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

La possibilité d'apparition d'une crue dépend de nombreux paramètres autres que les quatre précédemment cités, exemple : **répartition spatiale** et **temporelle** des **pluies** par rapport au bassin versant, évaporation et consommation d'eau par les plantes, absorption d'eau par le sol, infiltration dans le sous-sol ou ruissellement, ... etc.

I.3. Mécanismes d'inondations :

I.3.1. Les facteurs physiques qui influencent les inondations sont :

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

I.3.2. 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.

I.4. Types d'inondations : [1]

En fonction de l'événement créateur de la catastrophe, on peut distinguer plusieurs types d'inondation : inondations de plaine, par remontée de nappe, par crues torrentielles, par ruissellement en secteur urbain ou rural, inondation par rupture d'une digue et inondations marines.

Dans les quatre premiers cas, le phénomène générateur est la pluie et l'inondation engagera à partir des fleuves et des rivières ; la classification consiste donc à distinguer les inondations provoquées par des crues à cinématique lente (inondations de plaine, remontée de nappe) de celles générées par des crues à cinématique rapide (crues torrentielles, ruissellement). Tandis que dans les deux derniers cas ; le premier c'est les circonstances locales qui jouent pour faire d'une inondation d'événement particulier et le deuxième c'est l'action de la mer qui est le facteur principal déterminant la survenance des désordres.

I.4.1. Inondation de plaines :

Les inondations de plaine se produisent à la suite d'épisodes pluvieux prolongés mais d'intensités modérée, s'abattant sur des sols où le ruissellement est long à déclencher, sur des bassins versants moyens à grands (supérieur à 500 km²). Le cours d'eau sort lentement de son lit ordinaire pour occuper son lit majeur et inonder la plaine pendant une période relativement

longue. Ces phénomènes concernent particulièrement les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines.

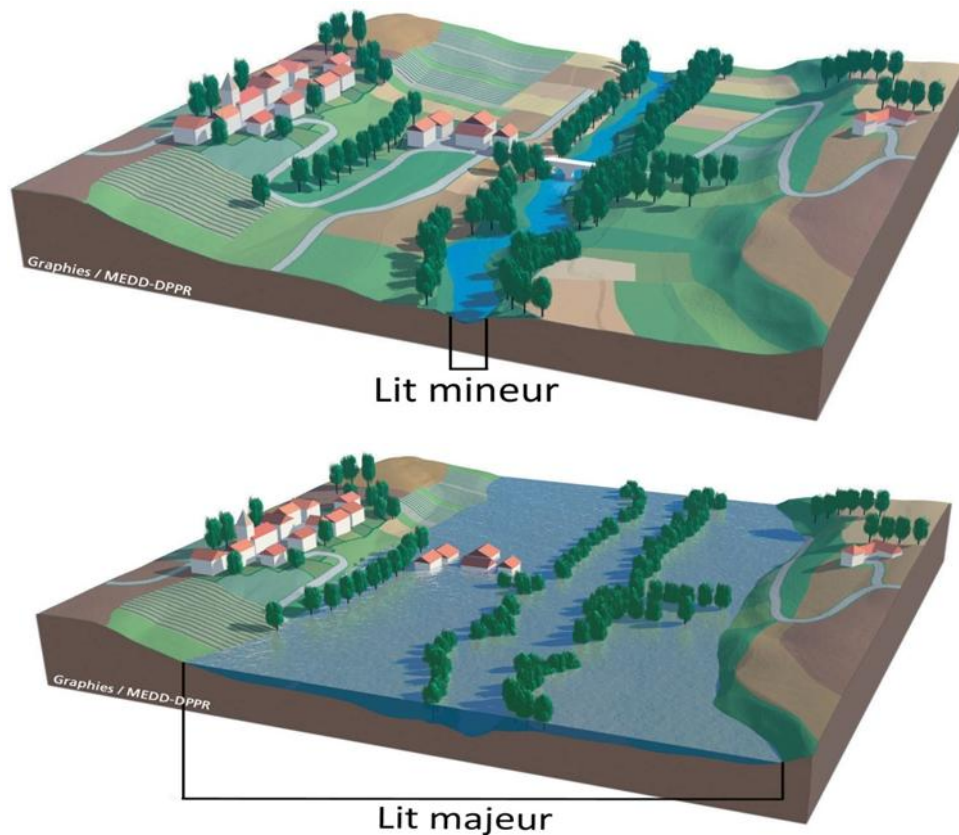


Figure I.4.Inondation de plaines

Les dommages que provoque ce type d'inondation sont imputables aux hauteurs et durées de submersion. [15]

I.4.2. Inondation par remontées des nappes phréatiques :

Elles correspondent à des inondations par débordement indirect qui se manifestent par la remontée de la nappe phréatique qui affleure en surface et/ou par l'intrusion d'eau dans les différents réseaux d'assainissement. [1]



Figure I.5. Inondation par remontées des nappes phréatiques.

Les désordres liés à ce type d'inondation se traduisent par des remontées sous bâtisses, l'ennoyage des ouvrages souterrains, déstabilise les tassements de remblai, des glissements de terrain, des perturbations sur les réseaux publiques, des pressions sous les constructions, etc. [1]

I.4.3. Inondations par crues torrentielles :

Les crues torrentielles sont des phénomènes brusques et violents résultant d'épisodes pluvieux intenses et localisés, du type orages convectifs. De manière un peu conventionnelle, on parle de crues torrentielles lorsque la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau tombant sur le point « hydrologiquement » le plus éloigné atteigne l'exutoire est inférieure à 12 heures (ou 24 h pour certains auteurs). Les spécialistes retiennent cinq critères pour définir la crue torrentielle : la rapidité de la réponse du cours d'eau, sa pente, le nombre de Froude, le transport solide et les effets de ces crues.

Ces crues touchent principalement les zones de montagne et les cours d'eau du pourtour méditerranéen, elles ont des vitesses d'écoulement importantes, même dans le lit majeur. Les bassins versants qui peuvent être affectés par ces phénomènes sont celles qui ont de petite à moyenne superficie et une forte pente moyenne. Les crues torrentielles se caractérisent par un très fort transport solide et une profonde modification du lit à l'occasion de l'événement. Les dommages imputables à ces phénomènes sont avant tout liés à la vitesse du courant, renforcés par les matériaux que peuvent charrier les rivières générant de telles crues. [1]

I.4.4. Inondation par ruissellement en secteur urbain :

Les inondations par ruissellement recouvrent des phénomènes physiques différents selon qu'elles se produisent en milieu rural, périurbain ou urbain. Mais ces phénomènes se caractérisent par leur soudaineté et leur courte durée, ce qui les rend peu prévisibles et difficilement maîtrisables en période de crise. Il s'agit de phénomènes très locaux, intéressant les petits bassins versants.

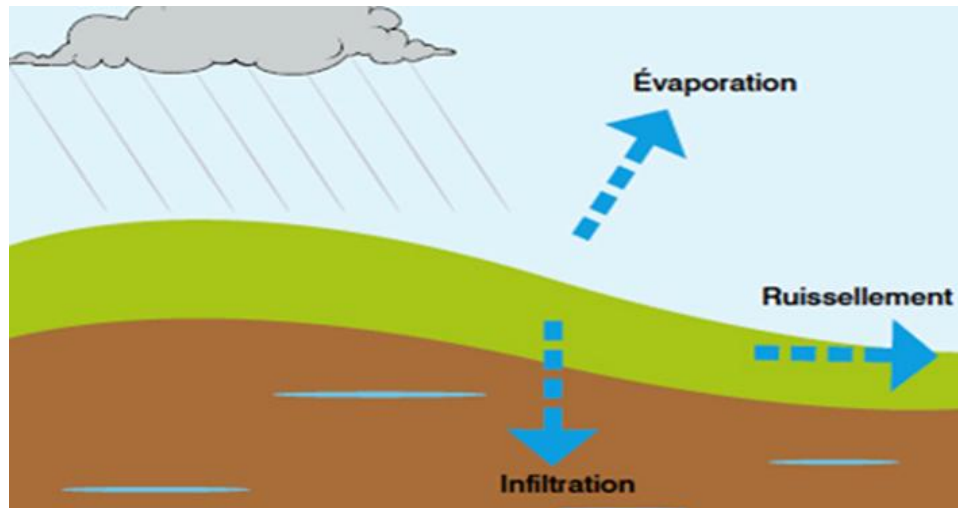


Figure I.6. Inondation par ruissellement

Le ruissellement pluvial urbain provoque d'importantes inondations lorsque les terrains sont plus imperméables, le tapis végétal plus faible, la pente plus forte et les précipitations plus violentes et il demeure un phénomène naturel que l'on ne peut pas empêcher. Malheureusement, l'intervention humaine est parfois source d'aggravation de ce phénomène. Ce fut le cas des inondations de Bab El Oued du 10 novembre 2001 à Alger, des pluies exceptionnelles et intenses, sur une étendue de 40 km², de l'ordre de 214 mm pendant 24h, ont causé 750 morts et 120 personnes disparues et plus de 10000 familles sinistrées. [1]

I.4.5. Inondation par rupture d'ouvrage ou d'embâcle :

Dans le cas de rivières endiguées, l'inondation survient brutalement soit par débordement au-dessus de la digue, soit par rupture de la digue. Le phénomène peut être très brutal et d'autant plus dommageable que le site est proche de la digue. Le fait d'être derrière un ouvrage de protection dimensionné pour un certain niveau de crue peut donc rehausser le seuil de risque en cas de rupture ou dépassement de ce dernier. Des secteurs habituellement hors de l'eau

peuvent se trouver brutalement inondés. Un embâcle consiste en l'obturation d'un cours d'eau par la constitution d'une digue naturelle entraînant une retenue d'eau importante.

La digue peut être constituée par des éléments solides arrachés à l'amont et charriés par le cours d'eau ou par un glissement de terrain. La rupture d'embâcle peut se produire plusieurs jours après une période de pluies exceptionnelles ou l'apparition d'un mouvement de terrain [1]

I.4.6. Inondation marines :

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques (fortes dépressions et vents de mer) et forts coefficients de marée. Elles se traduisent par l'invasion par des eaux salées particulièrement agressives. Elles se manifestent soit lors d'un raz de marée ou de tsunami (occurrence très faible, mais phénomène dévastateur), soit Lors d'une tempête (surcote marine, vents et précipitations importants) ou en cas de rupture des défenses contre la mer (dans ce cas, les risques se concentrent le long du boulevard de littoral dans les secteurs dépressionnaires).



Figure I.7.Inondations marines

I.5. 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 [4], 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.

I.6. 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 un 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 Deffla, 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. [10]

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 m^3/s à des milliers de m^3/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. [20]

I.7. Historique des inondations en Algérie :

I.7.1. Les inondations du Sud :

Des inondations plus isolées ou de grandes envergures ont également marqué le Sud du pays; c'est ce qui s'est produit dans les régions d'Illizi, Adrar et Tamanrasset en Mars 2005, à Tindouf en Février 2006, à Béchar en Octobre 2007 et 2008 et à Ghardaïa en Octobre 2008. Des averses torrentielles et brèves engendrent une concentration des eaux ruisselées dans les lits d'oueds et torrents, le plus souvent à sec (flash flooding), et peuvent provoquer des débordements particulièrement destructeurs. A titre d'exemple, il a suffi d'une pluie quotidienne de 79 mm (soit la quantité enregistrée en deux ans) pour détruire 50 à 60% des infrastructures aux camps des réfugiés sahraouis à Tindouf entre le 9 et 11 février 2006. D'après l'évaluation de l'agence du Haut-Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés (HCR) à Tindouf, au moins 70% des stocks de la nourriture des familles ont été ruinés. Le Croissant Rouge Sahraoui (CRS) a lancé un appel à la communauté internationale pour des dons en tentes, médicaments, nourriture et couvertures.



Figure I.8. Inondation du Camps des réfugiés sahraouis [20]

Suite à de très fortes intempéries qui ont duré plus de 3 jours (oueds Mâadar, Zouzfana et Bechar en crues), la wilaya de Bechar a subi le 18 Octobre 2007 des dommages Considérables. En plus des deux victimes emportées par les eaux, les infrastructures de base ont été fortement endommagées (lignes téléphoniques coupées, circulation automobile arrêtée, routes bloquées suite à l'effondrement de plusieurs dalots et ponts, infiltrations des eaux dans plusieurs habitations). L'inondation du 10 Octobre 2008 causant la mort de 8 personnes et des dommages importants. Cette dernière a été la plus grande depuis 1959.



Figure I.9. Inondation du Bechar[source Google]

Ces pluies 'diluviennes' ont également provoqué un arrêt de l'approvisionnement des produits alimentaires à partir du Nord pendant plusieurs jours, ce qui a engendré un renchérissement sur les prix de ces produits alimentaires, notamment les légumes. Dans la majorité des cas, la

météorologie est un facteur déterminant dans la genèse des crues. En effet, ces inondations sont, en général, engendrées par des épisodes pluvieux généralisés (pluies orageuses) longs (plusieurs heures, voire plusieurs jours) ou spontanées ; vingt minutes seulement ont suffi aux pluies ‘diluviennes’ du 01-10-2008 pour causer la mort de plus de 34 personnes et transformer en ruines la vallée du M’Zab à Ghardaïa, totalement inondée par des eaux boueuses (El Watan, Edition du 04-10-2008).



Figure I.10. Inondation du Ghardaïa (source Google)

Le cumul pluviométrique atteint lors de ces événements est très supérieur aux capacités de stockage des obstacles à l'écoulement (barrages, retenues collinaires et bassins de rétention), aux capacités de rétention des sols et aux capacités d'évacuation des oueds ; le débit de l'oued M'Zab, enregistré le 1er Octobre 2008, a été de l'ordre de 900 m³/s (crue centennale) et la hauteur de submersion a atteint par endroits les 8m. Les dommages aux personnes et aux biens surviennent lorsque l'occupation du sol et le type de construction en zone inondable ne sont pas adaptés aux submersions. Ces dommages sont en augmentation en Algérie et cela n'est pas imputable au seul changement climatique ou à l'aménagement des bassins versants. Le développement inconsidéré de l'urbanisation dans les zones inondables a mené à la situation délicate dans laquelle se trouvent de nombreux quartiers. A titre d'exemple, le tableau 2, qui présente le nombre de constructions en zones inondables dans quelques wilayas de l'Est Algérien, fournit une idée de la gravité de la situation que peut générer le double phénomène des inondations et de l'urbanisation incontrôlée.

I.7.2. Les inondations à Bejaia :

La ville de Bejaïa n'est pas loin d'une catastrophe similaire à celle qui a touché Bab El-Oued en octobre 2001. Les inondations qui ont touché la ville l'année 2008 et l'avaient bloquée pendant trois jours, provoquant de sérieux dégâts, les infrastructures de base ont été fortement endommagées (lignes téléphoniques coupées, circulation automobile arrêtée, routes bloquées suite à l'effondrement de plusieurs dalots et ponts, infiltrations des eaux dans plusieurs habitations).



Figure I.11.Inondation du Bejaïa [source Google]

I.8. Introduction à la modélisation hydraulique 1D et 2d: [8]

I.8.1 Les enjeux de la modélisation

Si nous prenons par exemple les écoulements en rivières, la connaissance des ces écoulements consiste à estimer en tout point d'un cours d'eau de l'espace et au court du temps les grandeurs hydraulique principales, tels que par exemple :

- **Les débits** et leurs répartitions entre les différents lits majeur et mineur
- Les distributions des **hauteurs d'eau** sur l'ensemble de la largeur du lit
- L'extension spatiale des écoulements et des **vitesses** liées

L'estimation de ces grandeurs passe par une étape indispensable à tous les projets.

❖ **Les mesures sur le terrain :**

Ces mesures peuvent présenter certaines limites, en effet, il est couteux en terme de **temps** et surtout d'**argent** d'aller se rendre sur le terrain pour effectuer l'ensemble des mesures nécessaire à la caractérisation d'un cours d'eau en tout point du temps et de l'espace. Sans compter sur les nombreuses difficultés techniques qui peuvent s'ajouter, notamment lorsqu'on s'intéresse aux phénomènes extrêmes comme les crues par exemple, qui sont par définition des phénomènes qui sont rares et intenses. D'autre part ces mesures sont généralement ponctuelles c.-à-d. qui représentent l'écoulement à un instant donné et à un endroit localisé du cours d'eau.

A défaut de pouvoir avoir des appareils de mesure le long de la cours d'eau, il faudrait pouvoir interpoler ou extrapoler les mesures que l'on a déjà, notamment dans certains cas spécifique, par exemple des situations de débit non observé, comme une crue de période de retour 100 ans ou à d'autres conditions topographique dans le cas d'un nouvel aménagement. On doit alors faire appel à des modèles mathématique "modèle hydraulique".

Interpolation/extrapolation+ Modèles mathématique = modèles hydrauliques

❖ **Modèle hydraulique**

Les modèles hydrauliques permettent de donner une représentation simplifiée des écoulements. Comme par exemple sur carte ci-dessous issue d'une modélisation hydraulique

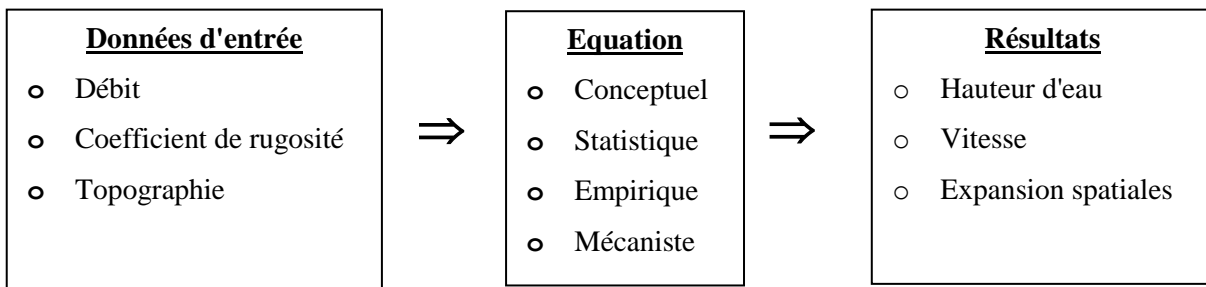
de surface, il a été possible d'extrapoler l'extension spatiale d'une inondation en zone côtière à partir des données de débit d'entrée et des données topographiques. Cette information est très précieuse, car il permet de réaliser des études de vulnérabilité et de prévention, ainsi que des cartes des risques.



Figure I.12.Exemple d'une carte d'extension spatiale d'une inondation en zone côtière

I.8.2 Les différents types de modèles généraux

- **Structure générale commune**



- **Comparaison entre les modèles conceptuels et mécanistes**

Modèles conceptuels	Modèles mécanistes
<ul style="list-style-type: none"> • Sous forme de compartiment 	<ul style="list-style-type: none"> • principes de conservations universels + • lois empiriques (Formule Manning)
Ces compartiments échange des flux	Les paramètres et les variables sont des fonctions de l'espace et du temps

I.8.3 Critères de choix

- Qualité / quantité des données d'entrée
- Les variables hydrauliques à estimer
- La complexité hydraulique du site d'étude.

I.8.3.1 Modèle 3D

- Basé sur les équations d'écoulement de Navier Stokes.
- Bien adapté aux échelles très locales de quelques mètres à une dizaine de mètres
- Pour des écoulements principalement transitoires

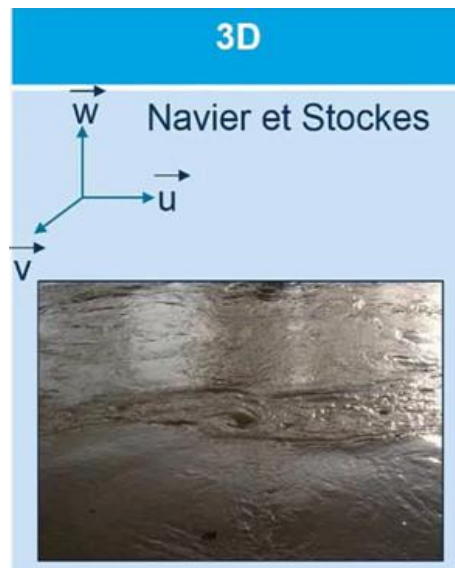


Figure I.13. Modèle 3D

I.8.3.2 Modèle 2D

- Echelles plus large (par exemple problème d'inondations)
- On simplifie les équations d'écoulement de N. S. on néglige la vitesse d'écoulement w devant u et v (EQ. Saint Venant)
- Calcul des inondations dans une ville
- Connaissance fine de la distribution 2D du champ de vitesse dans le plan XY
- Qualité / quantité des données d'entrée :
 - Une grande quantité (MNT, occupation des sols...)
- Les variables hydrauliques à estimer :
 - Répartition des débits/hauteurs d'eau
 - Champ d'expansion de crues/débordement
 - Champ de vitesses
- La complexité hydraulique du site du site d'étude.
 - Grande échelle

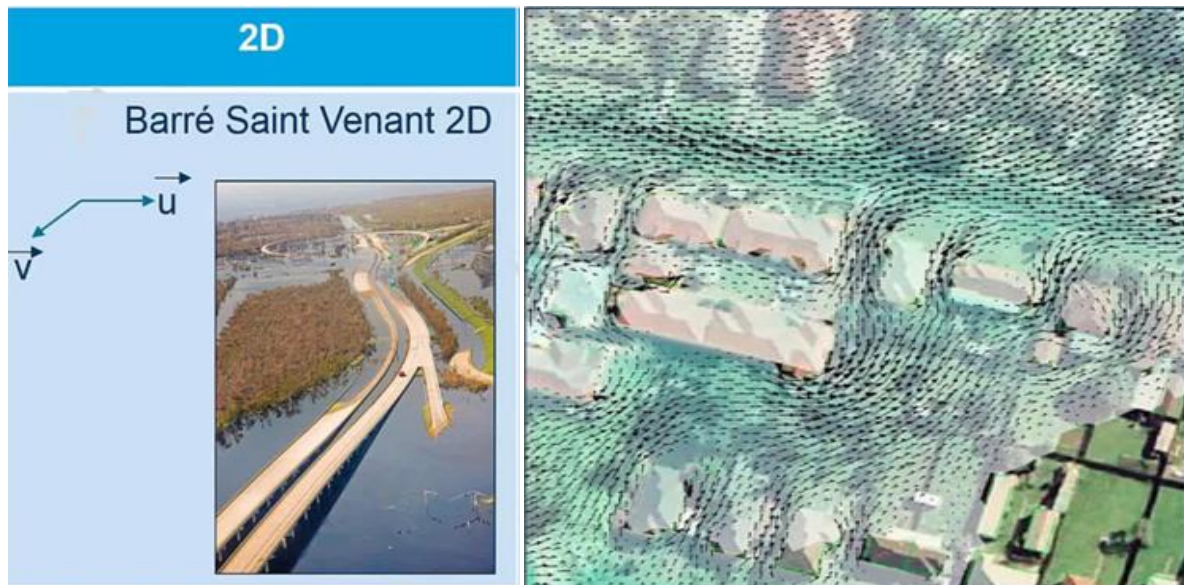


Figure I.14. Modèle 2D

Avantages :

- Variation des vitesses d'écoulement.
- Carte des risques et des hauteurs d'eau directement modélisée sur un plan horizontal.
- Permet de prendre en compte des bâtiments.

Inconvénients :

- Temps de calcul long
- Nécessite une grande quantité de données d'entrée
- Mauvaise de gestion des structures complexes (Ponts, buses et autres structures ponctuelles)
- Besoin d'une grille plus fine au niveau du cours d'eau

I.8.3.3 Modèle 1D

- Une seule et même direction privilégiée de l'écoulement
- Prévise des crues (temps de calcul beaucoup plus rapide en 1D)
- Qualité / quantité des données d'entrée :
 - Peut se faire à partir d'un nombre limité de données
- Les variables hydrauliques à estimer :
 - Bathymétrie et débits au sein du cours d'eau/conduite
 - Impacte des structures hydrauliques
- La complexité hydraulique du site d'étude.
 - Géométrie simple



Figure I.15. Modèle 1D

Avantages :

- Lit mineur mieux représenté
- Temps de calcul rapide
- Très rapide à mettre en place dans le cas de géométrie simple
- Prise en compte des seuils et des réservoirs.

Inconvénients :

- Besoin d'identifier les directions majeures pour construire un modèle
- Les systèmes complexes peuvent mettre du temps à être monté
- Ne prend pas bien en compte les écoulements en zone urbaine

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 moindres 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 produisent.

Malgré cela l'importance des enjeux (populations, habitations et équipement...) n'explique pas à elle seule la gravité potentielle de la catastrophe. Celle-ci est également tributaire de la vulnérabilité de ces enjeux, c'est -à-dire leur propension à subir des dommages. La plupart des experts définissent le risque comme « Risque = aléa + l'enjeu », alors que d'après cette formule, un même risque peut-être le produit d'un aléa fort avec une vulnérabilité faible, d'un aléa moyen et une vulnérabilité moyenne ou d'un aléa faible et une vulnérabilité forte.

Chapitre II: Présentation de la région d'étude

Introduction

Avant tout projet de protection contre les inondations, l'étude du site est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques du lieu et les facteurs influençant sur la conception du projet. Cette étude consiste à analyser les caractéristiques physiques de la région de la Soummam (relief, climat, ...).

II.1. Situation géographique la zone d'étude " bassin versant de la Soummam" :

La région d'étude qui est le bassin versant de la Soummam est limitée :

- ❖ Au nord, les monts de Djurdjura.
- ❖ Au sud, les monts du Honda et le plateau Sétifien.
- ❖ A l'ouest, le plateau de bouira.
- ❖ A l'Est, la méditerranée.

La superficie du bassin-versant de la Soummam est d'environ 9125 Km², avec le numéro 15 dans le répertoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) [11].

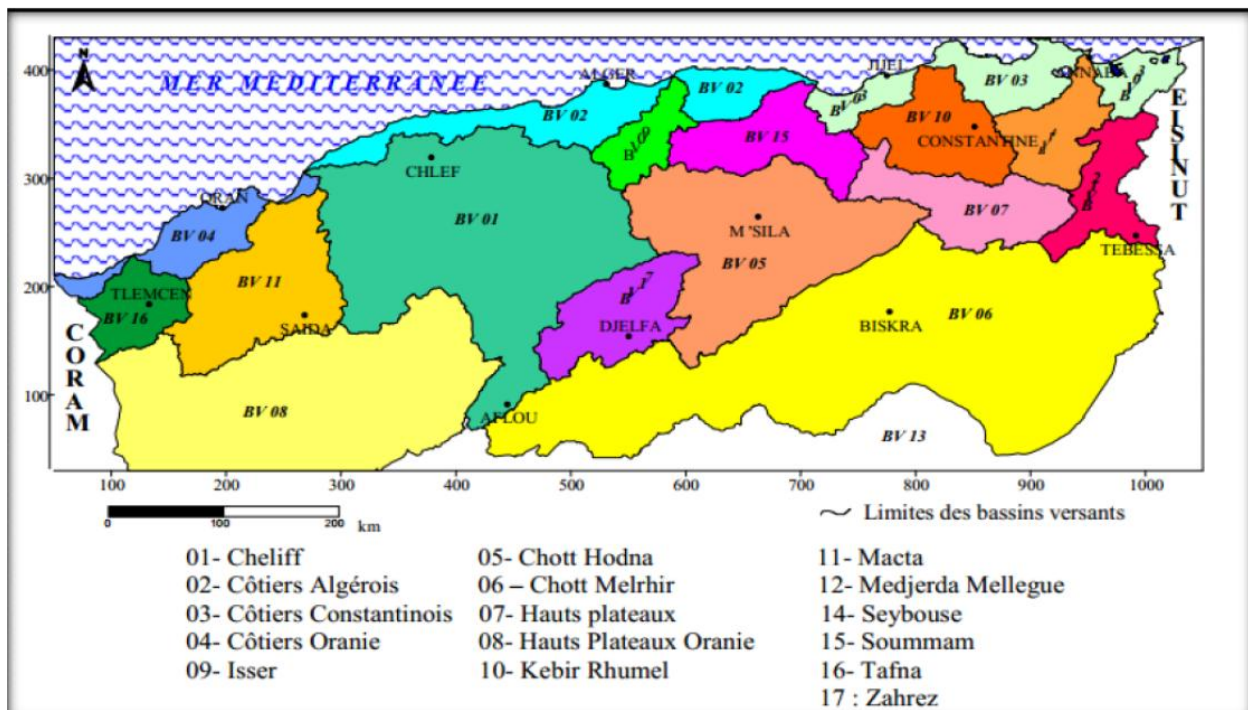


Figure II-1: Les grands bassins versants d'Algérie.

II.2. Hydrologie du bassin versant de la Soummam

La vallée de l'oued Soummam est drainée par un réseau hydrographique dense, composé de nombreux cours d'eau permanents et intermittents dont l'oued Soummam qui représente le collecteur principal. Suivant les données hydrologiques recueillies entre 1961 et 1971 (Viziterv, 1987), le débit moyen de l'oued Soummam est de 25 m³/s. Durant la période de crue de 1970, le débit maximal enregistré était de 115,9 m³/s et le débit d'étiage (durant les mois de juillet et août) descend à 0,6 m³/s. Ces débits montrent en effet de grandes irrégularités interannuelles, donc saisonniers irrégularités interannuelles, donc saisonniers. [7]

	Affluents de l'oued Soummam	Superficie du bassin versant (km²)	Débits moyens (m³/ans)
Rive gauche	Oued Sahel	38	-
	Oued Illoula	40	4 x 10 ⁶
	Oued Ighzer Amokrane	80	12 x 10 ⁶
	Oued Remila	100	28 x 10 ⁶
	Oued El Kseur	55	12 x 10 ⁶
	Oued Ghir	50	12 x 10 ⁶
Rive droite	Oued Boussellam	4300	-
	Oued seddouk	125	10 x 10 ⁶
	Oued Amassine	195	15 x 10 ⁶
	Oued Amizour	55	-

Tableau II -2: Le débit moyen annuel des affluents de l'oued Soummam (Viziterv, 1987)

II.3. Facteur d'occupation du sol (C) :

Dans le modèle de Wischmeier ce facteur incorpore les effets du couvert végétal et l'influence des méthodes culturales sur l'érosion des sols [18]. La carte d'occupation du sol est dressée à partir des cartes d'occupation du sol des wilayas composant le bassin versant de la Soummam (wilayas de Bejaia, Bouira, Tizi Ouzou et Bordj Bou Arreridj). Ces cartes sont établies par l'institut national des sols, de l'irrigation et de drainage (INSID) en collaboration avec le bureau national d'études pour le développement rural (BNEDER), au 1/25 000 [3]. Après la construction de la mosaïque, les différentes occupations du sol ont été classifiées en quatre classes par ordre de protection du sol (**Tableau II-3**).

Type d'occupation du sol	Classe selon la protection du sol	Surface Km ²	Surface %
foret maquis	Classe protectrice	2857	43
Oléiculture	1077	-	-
Cultures Maraichères	Classe moyennement protectrice	325	36
Cultures en sec	2981	-	-
Parcours	Classe non protectrice	1508	17
Sol nu	67	-	-
Plan d'eau	Apport (nul)	69	4
Espace bâti	241	-	-

Tableau II --3 : Classes d'occupation du sol selon leurs protections du sol

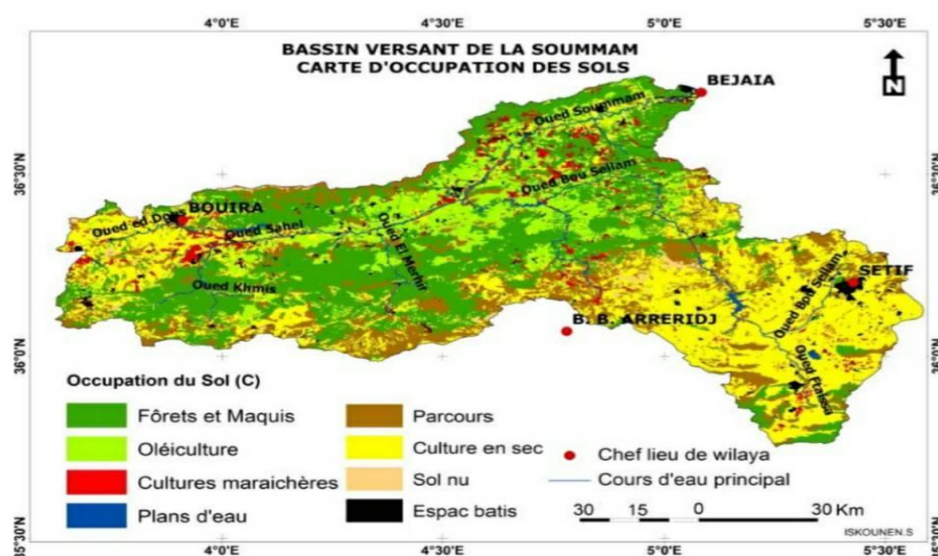


Figure II.2.: Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Soummam

II.4. Situation climatique du bassin versant de Soummam

II.4.1. Climat général :

Le territoire de la vallée de la Soummam est caractérisé par un climat de type méditerranéen. Du littoral vers les zones d'intérieur, trois étages bioclimatiques ont été distingués (Benha miche, 1997) ;

- Etage Humide, sur le bassin versant nord avec des précipitations supérieures à 900 mm par an,
- Etage subhumide entre El Kseur et Sidi Aich, avec une pluviométrie moyenne de 600 à 900 mm par an,
- Etage semi-aride, le long de la vallée de Sidi Aich à Taz malt, avec une pluviométrie relativement faible allant de 400 à 600 mm par an et des *températures* légèrement plus élevées allant de 26 à 30°C. Pour la partie littorale, les données climatiques recueillies sur la période de 1970 à 2005 au niveau de la

station météorologique sise à l'aéroport de Bejaia, ont permet de calculer les moyennes maximales et minimales des températures et les moyennes mensuelles des précipitations [7]

II.4.2 Température :

Les températures moyennes mensuelles relevées sur 35 ans de 1970 à 2005 sont représentées par le tableau suivant:

Tableau II.4 Moyennes mensuelles des températures (maximas 'M' et minimas 'm') dans la région de la basse vallée de la Soummam (période de 1970 – 2005)

Mois	Janv.	Fev.	Mars	Av.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov	Déc.
M (°C)	16,7	17,0	18,7	20,4	23,1	26,6	29,8	30,3	28,7	25,5	20,9	17,7
m (°C)	7,4	7,9	9,0	10,6	13,8	18,5	20,3	21,4	19,4	15,8	11,6	8,7
Tmoy	12,0	12,4	13,8	15,5	18,4	22,5	25,0	25,8	24,0	20,6	16,2	13,2

m : température moyenne minimales du mois,

M : température moyenne maximales du mois,

Tmoy: Température moyenne mensuelle.

II.4.3 Précipitations: [17]

Les précipitations moyennes 'P' dans la région de la de la Soummam (période de 1970 – 2005) sont représentées par le tableau suivant:

Tableau II.5: Précipitations moyennes 'P' dans la région de la basse vallée de la Soummam (période de 1970 – 2005)

Mois	Janv.	Fev.	Mars	Av.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov	Déc.
P (mm)	116	114	86	72	43	14	8	11	48	88	96	135

II.4.4 Vent:

Le vent est un air en mouvement qui se déplace des zones de haute pression vers les zones de basse pression. Le tableau suivant représente la vitesse moyenne mensuelle des vents durant la période (1994-2003) [17]

Tableau-II.6 : La vitesse moyenne des vents dominants (m/s) période (1994-2003)

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

II.4.5 Humidité relative :

L'humidité mensuelle moyenne en % pendant la période (1994-2004) est représentée dans le tableau suivant [17]

Tableau II.7: Le tableau suivant montre les valeurs liées à l'humidité mensuelle moyenne

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Humidité (%)	74,9	77,0	76,8	78,20	78,5	77,0	72,7	75,5	75,4	74,2	76,3	75,50

De janvier à décembre, le pourcentage d'humidité varie de 72et 78 %

Valeur minimale au mois de juillet 72.7 %

Valeur maximale au mois de mai 78.5%

II.4.6. Réseau pluviométrique :

Neuf stations pluviométriques ont été prise en considération dans cette étude elles sont bien réparties sur l'ensemble du bassin versant et dont les mesures des différents paramètres climatiques nécessaires dans l'estimation de chaque processus hydrologique sont disponibles à des échelles temps pas tout à fait identiques leurs caractéristiques topographique et climatique sont insérées dans le tableau ci-dessous [21]

Tableau II.8 - Caractéristiques générales des stations pluviométriques

Station	Code	X (Km)	Y (Km)	Altitude (m)	Pluviométrie (mm)
Maillot	15 03 01	640.90	341.70	465	422
Tazmalt	15 05 01	652.70	344.20	350	427
Ighil Ali	15 05 03	658.90	338.90	650	467
Akbou	15 10 02	665.40	353.00	240	481
EL Kseur	15 10 03	692.90	377.75	85	717
Seddouk	15 10 06	678.00	362.10	484	520
Tifra	15 10 07	678.70	375.70	450	891
Sidi Aich	15 10 14	678.60	370.15	95	595
Béjaia Aéroport	15 10	712.75	386.55	02	761

II.5 Morphologie du bassin:

Le bassin versant de la Soummam se compose de dix sous bassins correspondant aux unités hydrologiques (Figure II.3), certaines sont contrôlées par des stations hydrométriques. Il a une forme irrégulière, étiré dans la direction Est-Ouest et accède à la méditerranée par le golfe de Bejaia. Le bassin versant de la Soummam est limité par les chaînes du Djurdjura, à l'Est par les montagnes de la petite Kabylie et au Sud par les montagnes des Bibans et de Mansourah. Son orographie est très prononcée, aux environs de Bouira jusqu'à Akbou, la chaîne de Djurdjura n'est à aucun endroit inférieure à 1500 m. C'est dans cette partie que se situe le plus haut sommet D'Akbou en direction Nord-est de la mer, la hauteur diminue graduellement. Nous constatons ainsi, la présence d'un système de barrières naturelles représentée par les reliefs. Des chaînes de montagnes qui se dressent face aux vents pluviaux du littoral, il est en effet un bassin assez bien arrosé [5]

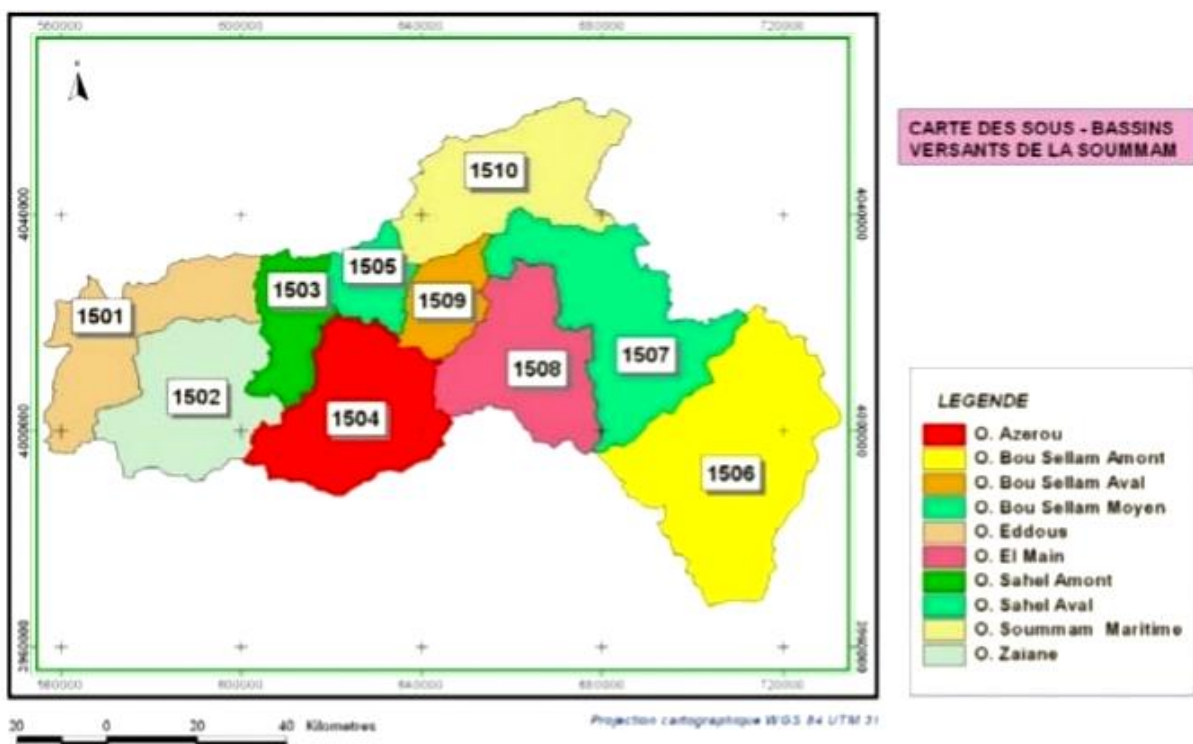


Figure II.3.: carte de situation des sous bassins versant de la Soummam (charifi s. 2006).

Tableau II.09 - Découpage hydrographique du bassin versant de l'oued Soummam soit un bassin d'une superficie de 9125 km [21]

N° d'ordre	Code	Nom de cours d'eau principal	Superficie
1	1501	Edous	903
2	1502	Zaine	1012
3	1503	Sahel amont	430
4	1504	Azerou	1084
5	1505	Sahel aval	326
6	1506	Bou sellam amont	1785
7	1507	Bou sellam moyen	1234
8	1508	EL main	930
9	1509	Bou sellam aval	360
10	1510	Soummam maritime	1061

II.6. Caractéristique géomorphologique de bassin versant:

II.6.1. Définition du bassin versant :

Le bassin versant est une unité géographique définie à partir d'une section droite d'un cours d'eau et qui comprend toute la surface en amont de cette section de telle sorte que toute l'eau qui arrive sur cette surface, forme un point unique de l'espace qu'on appelle l'exutoire [18].

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

➤ **Bassin versant topographique:** il est limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente.

➤ **Bassin versant hydrogéologique:**

On ajoutera aux considérations topographiques des considérations hydrogéologiques définies par les eaux souterraines.

II.7. Caractéristique morpho-métriques

II.7.1. Les caractéristiques de la disposition dans le plan

II.7.1.1. La surface (A)

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

II.7.1.2. Le périmètre (P) :

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

II.7.1.3. La forme (KG) :

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

Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration et de la vitesse de concentration à l'exutoire

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

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

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

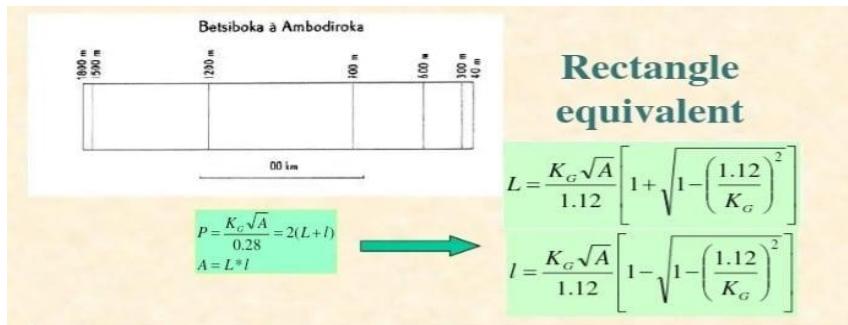
P : Périmètre du bassin versant.

S : Surface du bassin versant.

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

II.7.1.4. Le rectangle équivalent :

Le bassin versant rectangulaire 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 au petit côté du rectangle. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau.



II.8. Caractéristiques Hypsométriques (Altitudes) :

II.8.1. Les altitudes maximale et minimale (Hmax et Hmin)

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

$$H \text{ min} = 2 \text{ m} ; H \text{ max} = 2308 \text{ m}$$

II.8.2. Courbe hypsométrique :

Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude elle exprime ainsi la superficie du bassin au delà d'une certaine altitude (représentée en ordonnée) et porte en abscisse les pourcentages cumulés des superficies obtenues par carroyage Lambert :

Tableau II -10: tableau définissant l'hypsométrie du bassin de la Soummam. [8]

Classe des altitudes	Ai (cm ²)	Hi	Ai Hi	Ac (%)	Ac (km ²)
2-200	15	100	1500	100.00	9125.00
200-400	29	300	8700	95.88	8749.05
400-600	57	500	2800	87.91	8021.79

600-800	73	700	55100	72.25	6592.81
800-1000	125	900	112500	52.19	4762.34
1000-1200	44	1100	48400	17.86	1629.73
1200-1400	11	1300	14300	5.77	526.51
1400-1600	7	1500	10500	2.73	249.11
1600-1800	2	1700	3400	0.82	74.83
1800-2000	0	1900	0	0.27	24.64
2000-2200	0	2100	0	0.27	24.64
2200-2400	1	2300	2300	0.27	24.64
Somme	364		285200		

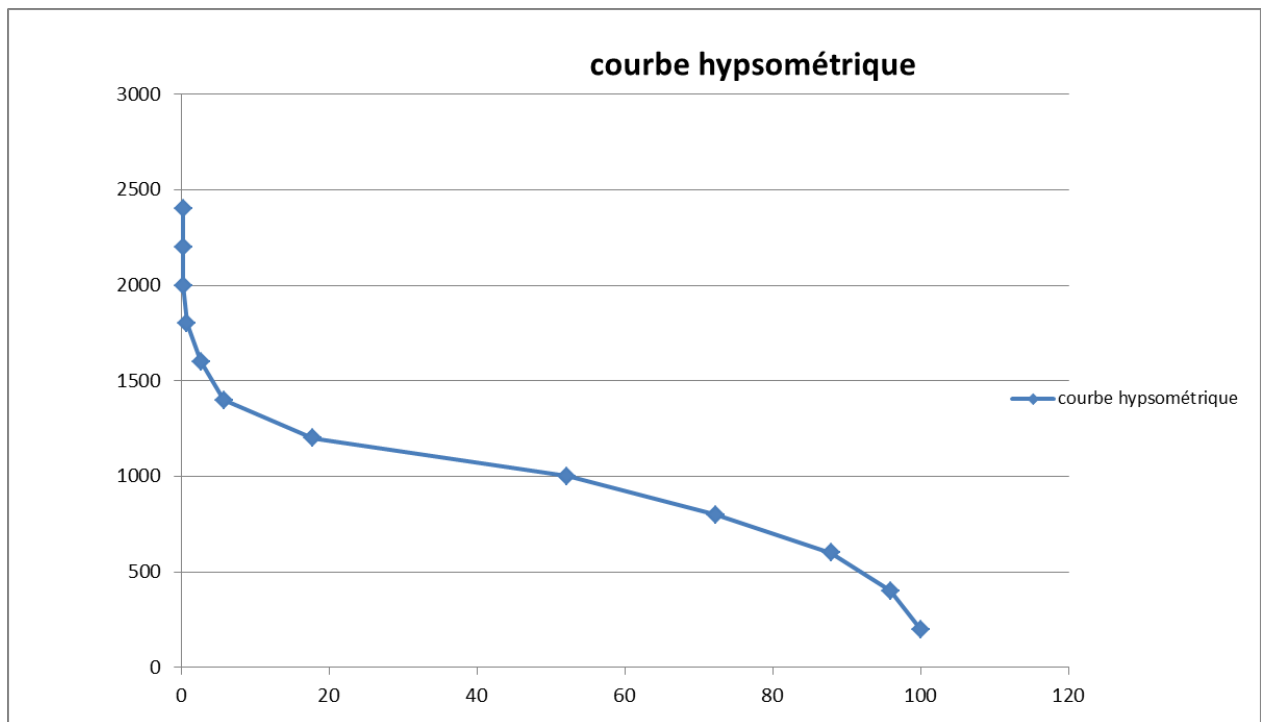


Figure II.4.: Courbe hypsométrique

II.8.3. L'altitude moyenne (H_{moy}) :

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

$$H_{moy} = \frac{\sum A_i \cdot h_i}{A}$$

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].

Hmoy = 785 m

II.8.4. L'altitude médiane (H50%) :

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

Hm = 900 m

II.9. Les indices des pentes :

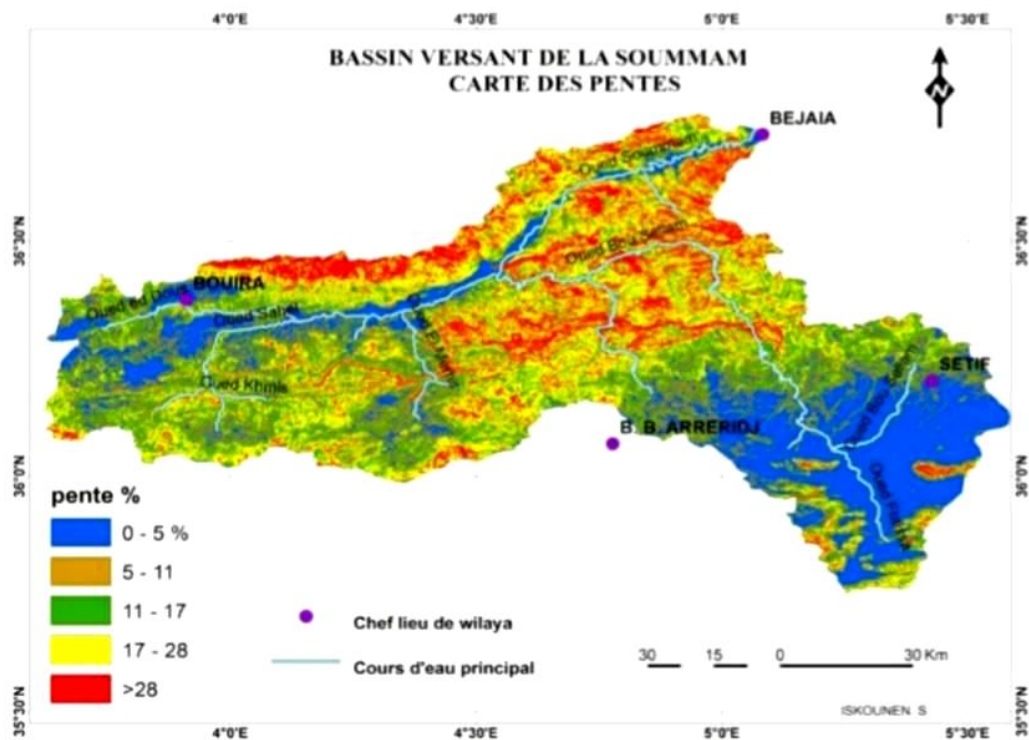


Figure II.5. : Carte des pentes du sous bassin versant de la Soummam

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

II.9.1. La pente moyenne du bassin versant (I_m) :

Paramètre important pour la détermination du temps de parcours de ruissellement, c'est à dire le temps de concentration, la pente moyenne du bassin versant a été déterminée par la relation suivante :

$$I_m = D \cdot L / A$$

Avec : L, longueur totale de courbes de niveau (km)

D, équidistance entre deux courbes de niveau (m)

A, surface du bassin versant (km²)

II.9.2. L'indice de pente Roche (I_p) :

Il a été déterminé par la formule suivante :

$$i_p = \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^n \left(x_i \times \sqrt{\frac{d}{x_i}} \right)$$

Avec :

I_p : indice de pente (%)

L : longueur du rectangle (m)

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

d : distance entre deux courbes de niveau successives (peut être variable) (m)

d/ x_i : pente moyenne d'un élément (%).

II.9.3. Indice de pente globale (I_g) :

L'indice global de pente. Sur la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de A. On déduit les altitudes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ entre lesquelles s'inscrit 90% de l'aire du bassin et la dénivelée $D = H_5 - H_{95}$.

L'indice global est égal à:

$$I_g = D/L$$

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 1300 - 300 = 1000 \text{ m}$$

$$I_g = 4.16 \text{ m / Km soit } 0.42 \%$$

II.9.4. Dénivelée spécifique (D_s) :

La dénivelée spécifique peut servir pour comparer le relief des bassins versants de superficies différentes

Tableau II -11 : Classifications (O.R.S.T.O.M. actuellement IRD) pour des bassins versants dont la surface est de l'ordre de 25 km²

Classe de relief	Type de relief	Ig (m/km)	DS (m)
R1	très faible	< 2	< 10
R2	Faible	2-5	10-25
R3	assez faible	5-10	25-50
R4	Modéré	10-20	50-100
R5	assez fort	20-50	100-250
R6	Fort	50-100	250-500
R7	très fort	> 100	> 500

II.9.5. La densité de drainage :

La densité de drainage, est définie comme étant le rapport de la longueur totale de tous les talwegs L_i du bassin, et la surface totale S . Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en Km / Km².

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{s}$$

Avec :

- Dd : densité de drainage [km/km²];
- Li : Somme des longueurs de tous les thalwegs y compris le thalweg principal [km];
- S : superficie du bassin versant [km²];

La densité de drainage sera donc : **Dd = 0.62 Km/Km²**

II.10. Caractéristiques du réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux qui sont :

La géologie : par sa grande sensibilité à l'érosion, la nature du substratum influence sur la forme du réseau hydrographique.

Le climat: le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.

La pente du terrain : détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones de pente plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

La présence humaine : le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Afin de caractériser le réseau hydrographique, il est souvent utile de reporter son tracé en plan sur une carte à une échelle adéquate. L'utilisation de l'imagerie spatiale est utile à cette identification. Divers paramètres descriptifs sont utilisés pour définir le réseau hydrographique.

II.10.1 Hiérarchisation du réseau (Ordre du bassin versant):

La ramification d'un cours d'eau est établie en affectant un système de numérotation à chaque tronçon du cours d'eau en fonction de son importance. Selon la classification de Strehler(1957).

Tout cours d'eau dépourvu d'affluent est d'ordre 1 au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultante d'ordre $n+1$ le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux.

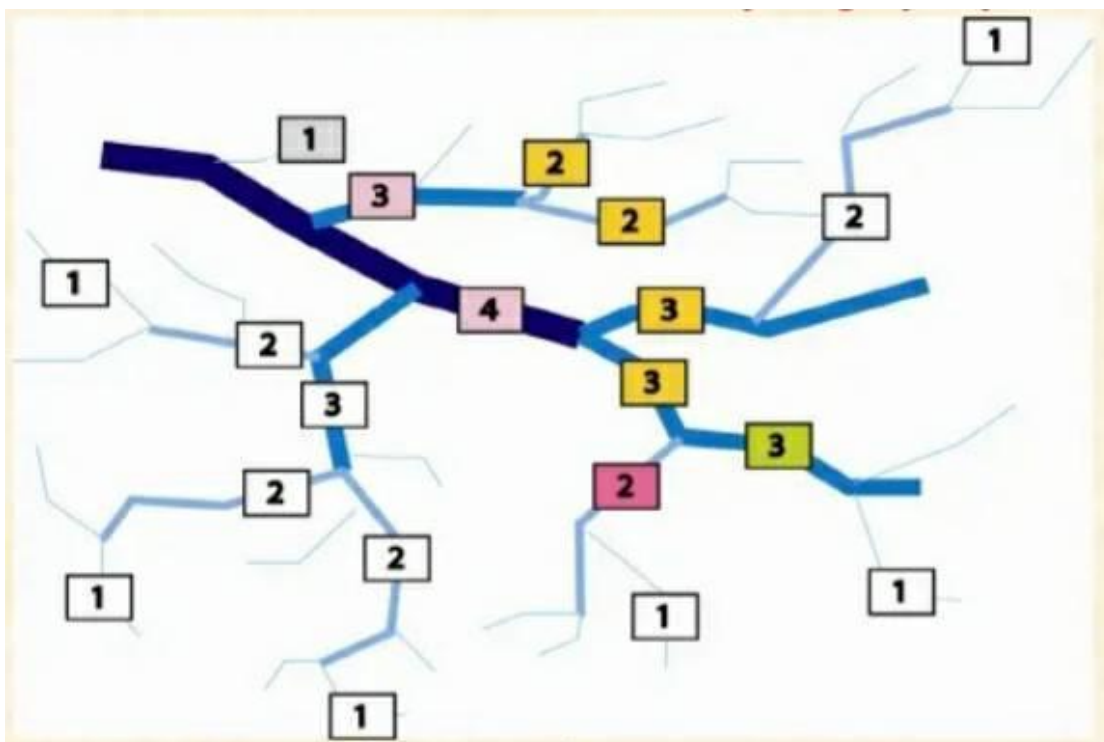


Figure II.6. : Réseau hydrographique et ses ordres d'un bassin versant
(Source cours hydrologie)

II.10.2 Rapport de confluence :

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

$$R_c = \frac{N_x}{N_{x+1}}$$



Figure II.7.: Réseau hydrographique du sous bassin versant de la Soummam

II.11. Temps de concentration :

C'est le temps mis par la première goutte de pluie tombée sur le point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire. Ce paramètre ; exprimé en heures dans l'équation ci dessous; peut être estimé par la formule de Giandotti, applicable pour les bassins étendus à pentes plus ou moins uniformes:

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 \times L_p}{0.8\sqrt{Z_{moy} - Z_{min}}}$$

Dans laquelle L_p est la longueur (en km) du thalweg principal et Z_{moy} et Z_{min} sont, respectivement, les altitudes moyenne et minimale du bassin (en m).

On remarque que le temps de concentration est d'autant plus élevé que l'allongement du bassin est marqué. La lithologie et le couvert végétal influe également sur le temps de concentration en jouant le rôle d'entrave empêchant l'eau de s'écouler.

Conclusion :

A travers ce chapitre, nous avons montré les données concernant notre agglomération de point de vue géologique, topographique, géographique, lithologique, climatologique.

Chapitre III : Etude hydrologique du bassin versant

Introduction:

L'objectif de l'étude effectuée dans ce chapitre est de déterminer pour un bassin versant donné les hydrogrammes des crues à différentes périodes de retour et détermination des débits maximaux potentiels, qu'on utilisera dans la simulation des inondations dans zone de l'étude.

III.2. Données disponibles des débits:

Les données ANRH de la station de Sidi Aich ont été utilisées. La série de débit maximale annuelle étudiée s'étend de 1953 à 1973, soit 39 années hydrologiques ce qui permet une plus adéquate analyse statistique des débits maximaux annuelle génératrices de crues.

Tableau III.1.: Chronologie annuelle des Q_{jmax}

Station	Sidi Aich		
Code	151001		
Année	Q max(m ³ /s)	Année	Qmax (m ³ /s)
1953 - 1954	416.1	1973 - 1974	1820
1954 - 1955	228.2	1974 - 1975	324.27
1955 - 1956	457.5	1975 - 1976	500
1956 - 1957	137.12	1976 - 1977	170.8
1957 - 1958	790	1977 - 1978	259.76
1958 - 1959	638.96	1978 - 1979	77.96
1959 - 1960	363.8	1979 - 1980	452
1960 - 1961	797.6	1980 - 1981	754
1961 - 1962	130.2	1981 - 1982	424.4
1962 - 1963	320	1982 - 1983	626.92
1963 - 1964	658	1983 - 1984	464.14
1964 - 1965	350	1984 - 1985	371.6
1965 - 1966	626	1985 - 1986	1046.44
1966 - 1967	350	1986 - 1987	247.5
1967 - 1968	2700	1987 - 1988	224.94

1968 - 1969	518	1988 - 1989	309.16
1969 - 1970	1026	1989 - 1990	171
1970 - 1971	518.28	1990 - 1991	170
1971 - 1972	1429	1991 - 1992	424.4
1972 - 1973	730		

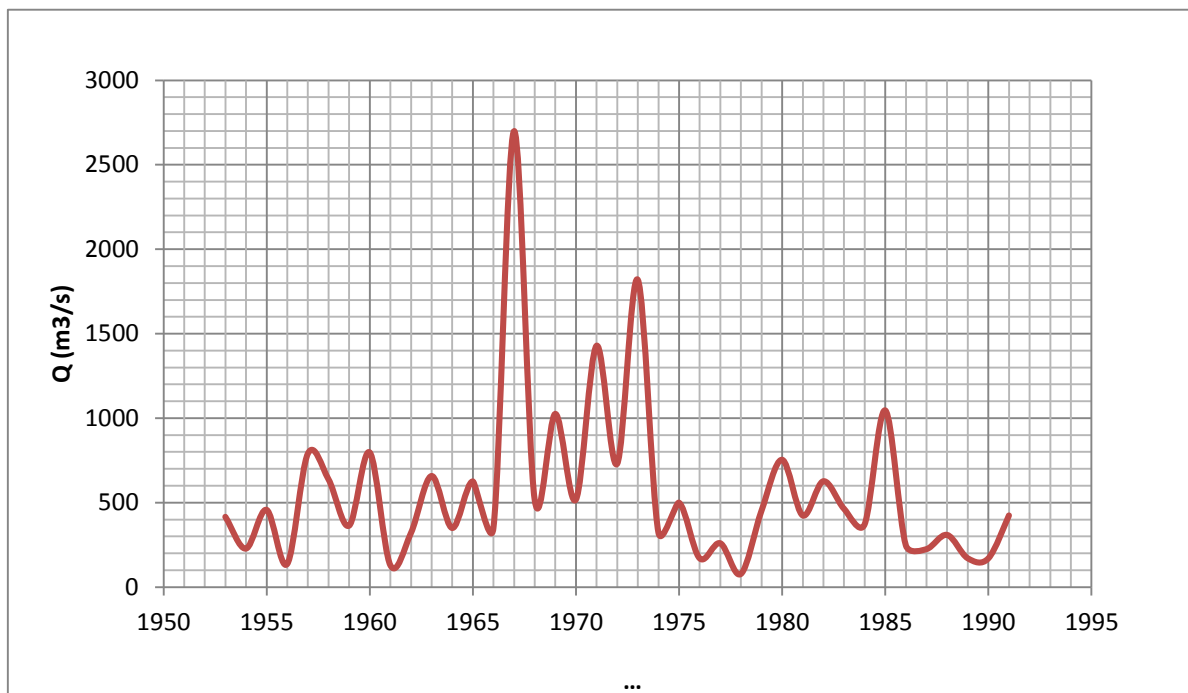


Figure III.1. Variabilité chronologique des débits annuels

III.3. Ajustement de la série des débits de pointe enregistrée à la station de Sidi Aich suivant les lois de distribution

III.3.1. Ajustement suivant la loi de GUMBEL

III.3.1.1. Description théorique :

La loi de Gumbel est très utilisée en hydrologie et en climatologie pour estimer les valeurs extrêmes de phénomènes.

La fonction de répartition $F(Q_p)$ s'exprime de la manière suivante :

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

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

$$\alpha = \frac{1.2825}{\delta_{Q_p}}$$

$$u = \overline{Q_p} + 0.45\delta_{Q_p} \quad (\text{III.2})$$

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

$$Q_{p_i} = \overline{Q_p} + K\delta_{Q_p} \quad (\text{III.3})$$

Avec K est la variable réduite de Gumbel :

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[0.5772 + \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \quad (\text{III.4})$$

$$T = \frac{1}{1-F}$$

La démarche suivie est organisée comme suite :

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

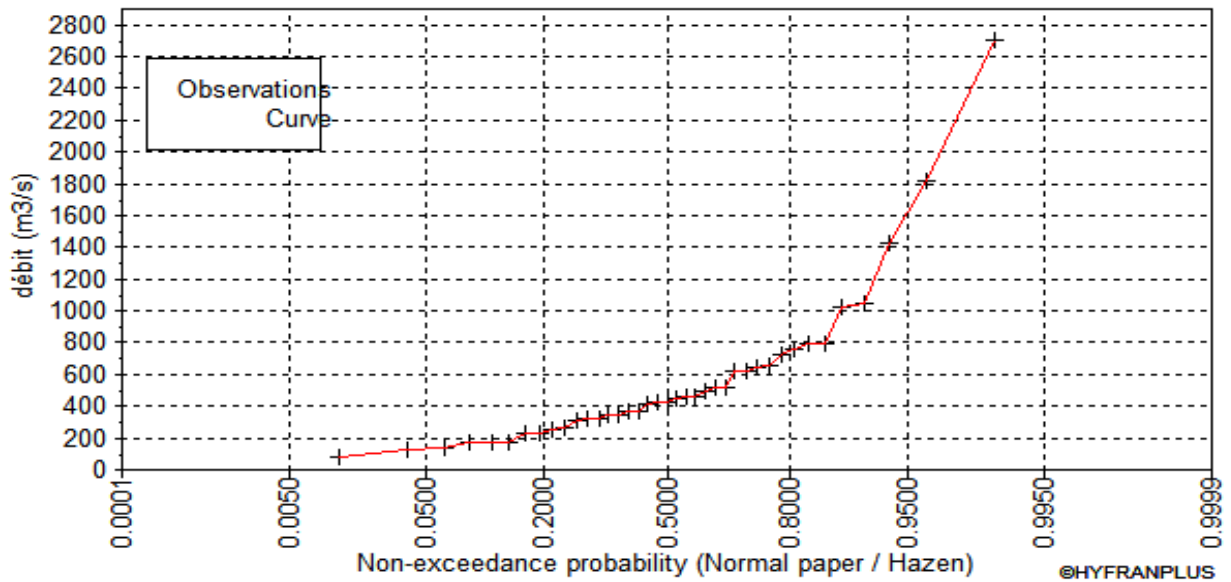
- Comme un test graphique d'adéquation, tracer les deux courbes des débits de pointes observés en fonction de la variable réduite théorique et expérimentale de Gumbel et voir est ce que la série suit la droite théorique d'Henry.
- Confirmer l'adéquation de la loi par le test de χ^2 .

III.3.1.2. Résultats pratiques :

Les informations qu'on retire lors de l'application de la loi Gumbel sont représentées dans les tableaux III.2 et III.3

Tableau III.2. Débit-fréquence (formules du HAZEN)

N°	Qm ³ /s	Fréq	N°	Qm ³ /s	Fréq
1	78	0.0128	21	452	0.5256
2	130	0.0385	22	458	0.5513
3	137	0.0641	23	464	0.5769
4	170	0.0897	24	500	0.6026
5	171	0.1154	25	518	0.6282
6	171	0.141	26	518	0.6538
7	225	0.1667	27	626	0.6795
8	228	0.1923	28	627	0.7051
9	248	0.2179	29	639	0.7308
10	260	0.2436	30	658	0.7564
11	309	0.2692	31	730	0.7821
12	320	0.2949	32	754	0.8077
13	324	0.3205	33	790	0.8333
14	350	0.3462	34	798	0.859
15	350	0.3718	35	1030	0.8846
16	364	0.3974	36	1050	0.9103
17	372	0.4231	37	1430	0.9359
18	416	0.4487	38	1820	0.9615
19	424	0.4744	39	2700	0.9872
20	424	0.5			

Teste graphique :**Tableau III. 3.** Estimation des paramètres de la loi de GUMBEL et GALTON

Statistique de bas	Données
Nombre d'observations	39
Minimum	78
Maximum	700
Moyenne	565
Ecart-type 499	499
Médiane	424
Coefficient de variation (Cv)	0.884
Coefficient d'asymétrie (Cs)	2.66
Coefficient d'aplatissement (Ck)	9.99

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

a. Test graphique:

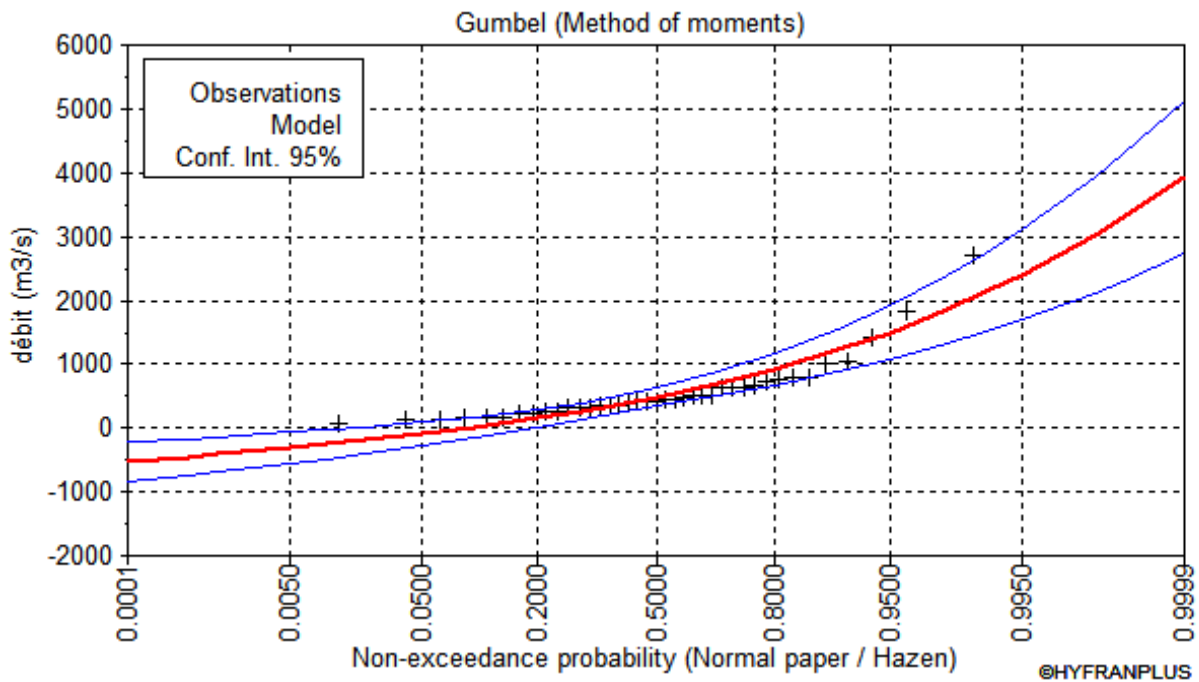


Figure III.2. Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL

Tableau III.4.: Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL

T (ans)	Q	Xt	Ecart type	Les intervalles de confiance
10	0.9	1220	167	889-1540
20	0.95	1500	211	1080-1910
100	0.99	2130	314	1330-2390
200	0.995	2400	358	1700-3100
1000	0.999	3030	462	2120-3930

b. Test du Khi carré (χ^2) :

Hypothèses :

H0 : L'échantillon provient d'une loi GUMBEL

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

Résultats :

Tableau III.5. Résultats du test Khi carré

Valeur de la statistique	$X^2 = 14.13$
P-value	$P = 0.0148$
Degrés de liberté	5
Nombre de classes	8

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5%

III.3.2. Ajustement suivant la loi de GALTON (Log Normale)

III.3.2.1. Description théorique

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

$$F(Q_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad \text{Avec : } U = \left(\frac{\log(Q_p) - M}{\delta_{Q_p}} \right) \quad (\text{III.5})$$

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

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

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

III.3.2.2. Résultats pratiques

Les paramètres qu'on peut les tirer à partir de cette série lorsqu'on applique la loi de GALTON, sont représentés dans le tableau **III.3.**

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

a. Test graphique :

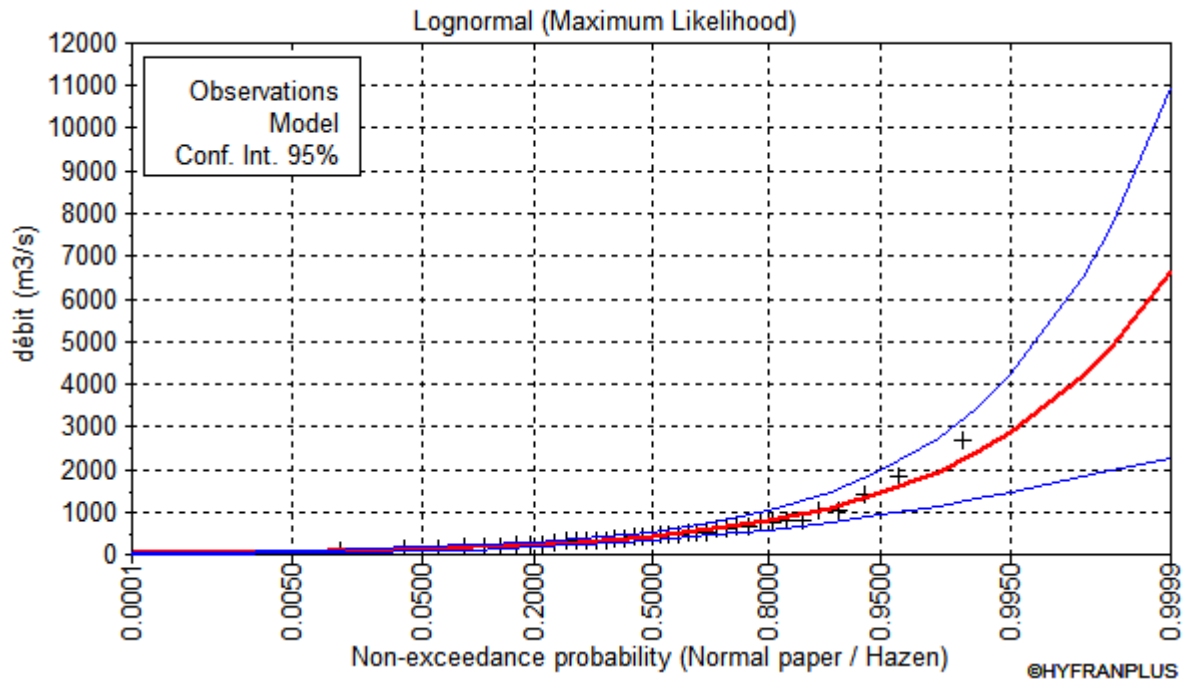


Figure III.3. Ajustement à une loi de GALTON

Quand on compare la figure III.3 de l'ajustement suivant la loi Log-Normale à la figure III.2 de l'ajustement suivant la loi GUMBEL, il ressort clairement que la loi Log-Normale s'ajuste mieux que la loi GUMBEL aux valeurs des débits de pointe.

b. Test du Khi carré (χ^2)

Hypothèses :

H0 : L'échantillon provient d'une loi Log-Normale

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Log-Normale

Résultats :

Tableau III.6. Résultats du test Khi carré

Valeur de la statistique	$X^2 = 10.13$
P-value	$P = 0.0148$
Degrés de liberté	5
Nombre de classes	8

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%.

III.4. Hydro gramme de crue:

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

➤ **Branche de crue (Montée) :**

$$Q(t) = Q_{\max} \left[\frac{t}{T_m} \right]^n \quad (\text{III.6})$$

➤ **Branche de crue (Descente) :**

$$Q(t) = Q_{\max} \left[\frac{(T_d + T_c - t)}{T_d} \right]^m \quad (\text{III.7})$$

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

Qt: débit instantané au moment (t).

tm, td: temps de montée et de décrue.

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

Temps de base : **tb= tm+ td.**

On considère généralement que : **td =4 tm, et tc = tm.**

Tableau III.7. Estimation des débits de pointe correspondants Hydrogrammes de crues fréquentielles du sous BV Oued Soummam

Temps (h)	Q (10) ans	Q(20) ans	Q(100) ans	Q(200) ans	Q(1000) ans
0	0	0	0	0	0
1	3.03625	3.7375	4.65	6	151.25
2	12.145	14.95	18.6	24	302.5
3	27.32625	33.6375	41.85	54	453.75
4	48.58	59.8	74.4	96	605
5	75.90625	93.4375	116.25	150	756.25
6	109.305	134.55	167.4	216	907.5
7	148.77625	183.1375	227.85	294	1058.75
8	194.32	239.2	297.6	384	1210
9	245.93625	302.7375	376.65	486	1361.25
10	303.625	373.75	465	600	1512.5
11	367.38625	452.2375	562.65	726	1663.75
12	437.22	538.2	669.6	864	1815

13	513.12625	631.6375	785.85	1014	1966.25
14	595.105	732.55	911.4	1176	2117.5
15	683.15625	840.9375	1046.25	1350	2268.75
16	777.28	956.8	1190.4	1536	2420
17	877.47625	1080.1375	1343.85	1734	2571.25
18	983.745	1210.95	1506.6	1944	2722.5
19	1096.08625	1349.2375	1678.65	2166	2873.75
20	1214.5	1495	1860	2400	3025
21	1169.52317	1439.63536	1791.11824	2311.12031	2912.97456
22	1125.67071	1385.65477	1723.95844	2224.4625	2803.74961
23	1082.92838	1333.04069	1658.49879	2139.99844	2697.2897
24	1041.28194	1281.77563	1594.7175	2057.7	2593.55938
25	1000.71716	1231.84204	1532.59277	1977.53906	2492.52319
26	961.21982	1183.22242	1472.10281	1899.4875	2394.1457
27	922.775677	1135.89925	1413.22582	1823.51719	2298.39146
28	885.3705	1089.855	1355.94	1749.6	2205.225
29	848.990058	1045.07216	1300.22355	1677.70781	2114.61089
30	813.620117	1001.5332	1246.05469	1607.8125	2026.51367
31	779.246446	959.220615	1193.4116	1539.88594	1940.8979
32	745.854813	918.116875	1142.2725	1473.9	1857.72813
33	713.430983	878.204463	1092.61559	1409.82656	1776.9689
34	681.960727	839.465859	1044.41906	1347.6375	1698.58477
35	651.42981	801.883545	997.661133	1287.30469	1622.54028
36	621.824	765.44	952.32	1228.8	1548.8
37	593.129065	730.117705	908.373867	1172.09531	1477.32847
38	565.330773	695.899141	865.800938	1117.1625	1408.09023
39	538.414892	662.766787	824.579414	1063.97344	1341.04985
40	512.367188	630.703125	784.6875	1012.5	1276.17188
41	487.173429	599.690635	746.103398	962.714063	1213.42085
42	462.819383	569.711797	708.805313	914.5875	1152.76133
43	439.290817	540.749092	672.771445	868.092188	1094.15786
44	416.5735	512.785	637.98	823.2	1037.575

45	394.653198	485.802002	604.40918	779.882813	982.977295
46	373.51568	459.782578	572.037188	738.1125	930.329297
47	353.146712	434.709209	540.842227	697.860938	879.595557
48	333.532063	410.564375	510.8025	659.1	830.740625
49	314.657499	387.330557	481.896211	621.801563	783.729053
50	296.508789	364.990234	454.101563	585.9375	738.525391
51	279.0717	343.525889	427.396758	551.479688	695.094189
52	262.332	322.92	401.76	518.4	653.4
53	246.275456	303.155049	377.169492	486.670313	613.407373
54	230.887836	284.213516	353.603438	456.2625	575.080859
55	216.154907	266.077881	331.040039	427.148438	538.38501
56	202.062438	248.730625	309.4575	399.3	503.284375
57	188.596194	232.154229	288.834023	372.689063	469.743506
58	175.741945	216.331172	269.147813	347.2875	437.726953
59	163.485458	201.243936	250.37707	323.067188	407.199268
60	151.8125	186.875	232.5	300	378.125
61	140.708839	173.206846	215.494805	278.057813	350.468701
62	130.160242	160.221953	199.339688	257.2125	324.194922
63	120.152478	147.902803	184.012852	237.435938	299.268213
64	110.671313	136.231875	169.4925	218.7	275.653125
65	101.702515	125.19165	155.756836	200.976563	253.314209
66	93.2318516	114.764609	142.784063	184.2375	232.216016
67	85.2450908	104.933232	130.552383	168.454688	212.323096
68	77.728	95.68	119.04	153.6	193.6
69	70.6663467	86.9873926	108.225117	139.645313	176.011279
70	64.0458984	78.8378906	98.0859375	126.5625	159.521484
71	57.8524229	71.2139746	88.6006641	114.323438	144.095166
72	52.0716875	64.098125	79.7475	102.9	129.696875
73	46.68946	57.4728223	71.5046484	92.2640625	116.291162
74	41.6915078	51.3205469	63.8503125	82.3875	103.842578
75	37.0635986	45.6237793	56.7626953	73.2421875	92.3156738
76	32.7915	40.365	50.22	64.8	81.675

77	28.8609795	35.5266895	44.2004297	57.0328125	71.8851074
78	25.2578047	31.0913281	38.6821875	49.9125	62.9105469
79	21.9677432	27.0413965	33.6434766	43.4109375	54.7158691
80	18.9765625	23.359375	29.0625	37.5	47.265625
81	16.2700303	20.0277441	24.9174609	32.1515625	40.5243652
82	13.8339141	17.0289844	21.1865625	27.3375	34.4566406
83	11.6539814	14.3455762	17.8480078	23.0296875	29.027002
84	9.716	11.96	14.88	19.2	24.2
85	8.0057373	9.85473633	12.2607422	15.8203125	19.9401855
86	6.50896094	8.01226563	9.9684375	12.8625	16.2121094
87	5.21143848	6.41506836	7.98128906	10.2984375	12.9803223
88	4.0989375	5.045625	6.2775	8.1	10.209375
89	3.15722559	3.88641602	4.83527344	6.2390625	7.86381836
90	2.37207031	2.91992188	3.6328125	4.6875	5.90820313
91	1.72923926	2.12862305	2.64832031	3.4171875	4.30708008
92	1.2145	1.495	1.86	2.4	3.025
93	0.81362012	1.0015332	1.24605469	1.6078125	2.02651367
94	0.51236719	0.63070313	0.7846875	1.0125	1.27617188
95	0.29650879	0.36499023	0.45410156	0.5859375	0.73852539
96	0.1518125	0.186875	0.2325	0.3	0.378125
97	0.0640459	0.07883789	0.09808594	0.1265625	0.15952148
98	0.01897656	0.02335938	0.0290625	0.0375	0.04726563
99	0.00237207	0.00291992	0.00363281	0.0046875	0.0059082

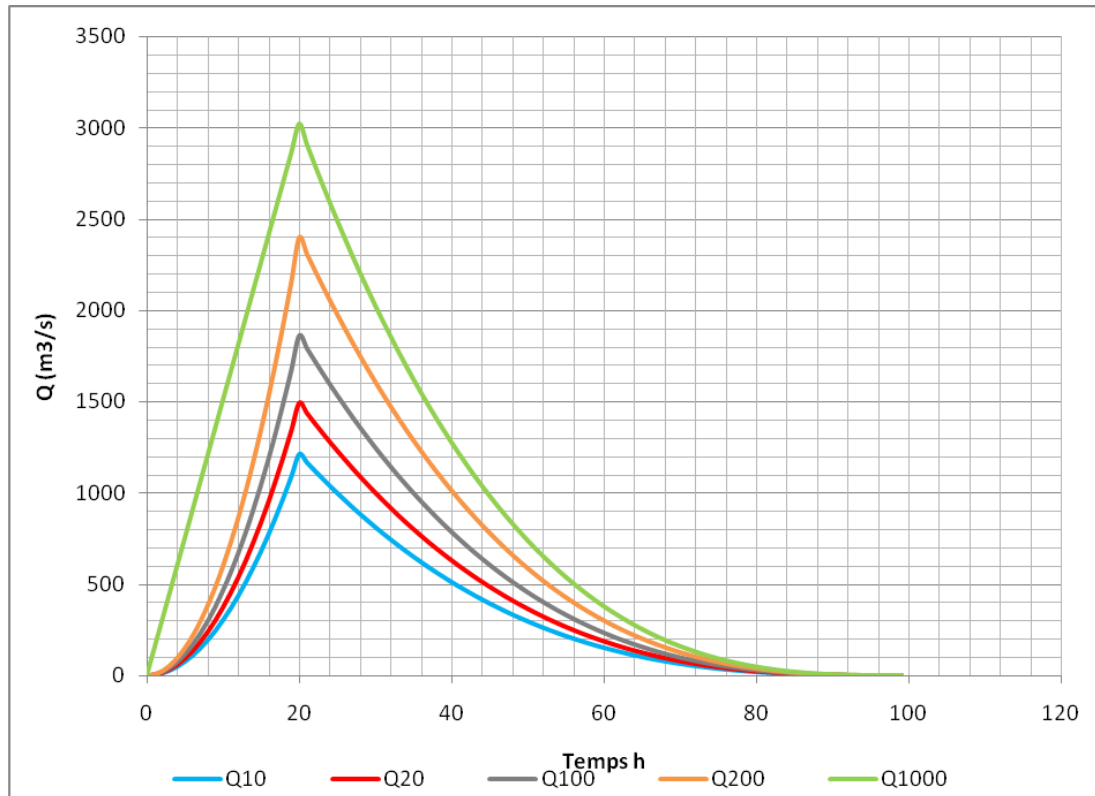


Figure III.4. Hydrogramme de crue fréquentielle du sous BV Soummam

Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté la théorie de l'analyse statistique des données et son utilisation avec les différentes lois de probabilité théoriques pour l'ajustement des débits maxima instantanés fréquentiels dans le but de déterminer le débit caractéristique de la crue du bassin versant de la Soummam.

Chapitre IV : Présentation des logiciels utilisés et préparation des données géométriques

Introduction :

Dans ce chapitre nous allons décrire le fonctionnement des différents logiciels qu'on utilisera dans nos simulations. Le logiciel Arc Gis 10.3 sera utilisé la préparation des données géométriques 1D nécessaire pour réaliser des simulations sur HEC-RAS. Ces données seront préparées et exportées vers HEC-RAS importées par le logiciel HEC-GeoRAS 10.3. Nous allons ensuite présenter le module RAS Mapper de la version (5.0.3) de HEC-RAS, qu'on utilisera pour réaliser des simulations combinées 2D/1D.

IV.1 Présentation du logiciel Arc Gis 10.3: [12]

L'ArcGIS est l'un des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) les plus utilisés. 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. 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...).

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 Arc GIS).

Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées.

Les différentes couches d'informations sont descriptives d'un espace géographique terrestre déterminé. Elles peuvent correspondre à des documents cartographiques représentant des objets thématiques géographiquement identifiés (carte de type IGN, photographies aériennes, images satellitaires, etc.) ou issus des analyses et des procédures de spatialisation (carte de la teneur en eau du sol, carte topographique, carte de la hauteur des obstacles, forêts, etc.).

IV.2. Principe d'utilisation du logiciel HEC-RAS : [13]

IV.2.1. Projet :

Dans le menu File, choisir l'option *New Projet* pour obtenir une fenêtre similaire à celle illustrée plus bas (Figure IV-1).

La première étape est de choisir le dossier de travail où le projet sera sauvegardé. Un nouveau répertoire peut d'ailleurs être créé avec le bouton *Create Folder*. Le titre du projet sera par la suite spécifié dans la ligne haute et un nom de fichier doit aussi être indiqué dans la case suivante, tout en conservant l'extension *.prj*.

Avant d'entrer les informations reliées à la géométrie et aux débits, il faut spécifier le système d'unité utilisé. Dans le menu Option, allez à *Units System* et choisissez *System International (Metric System)*.

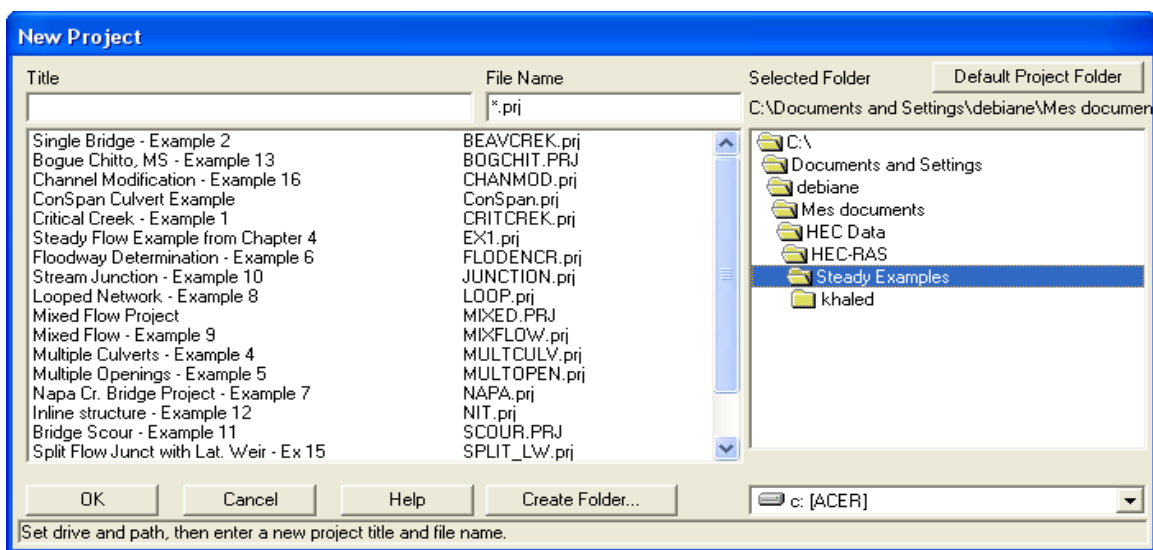


Figure IV -1: Fenêtre New Project.

IV.2.2. Géométrie des sections:

Sélectionnée Edit/Geometric Data....et la fenêtre Base Geometric Data apparaît (Figure IV-2).

Pour représenter le tronçon à étudier, cliquez sur le bouton *River Reach*. Le curseur se transforme en crayon et vous pouvez alors dessiner le tronçon de rivière à l'aide d'une suite de points qui vont de l'amont vers l'aval, en suivant le centre de la rivière sur l'image de référence. Vous double-cliquez pour indiquer la fin du tronçon. A ce moment, une fenêtre apparaît vous demandant d'indiquer le nom de la rivière et le nom du tronçon.

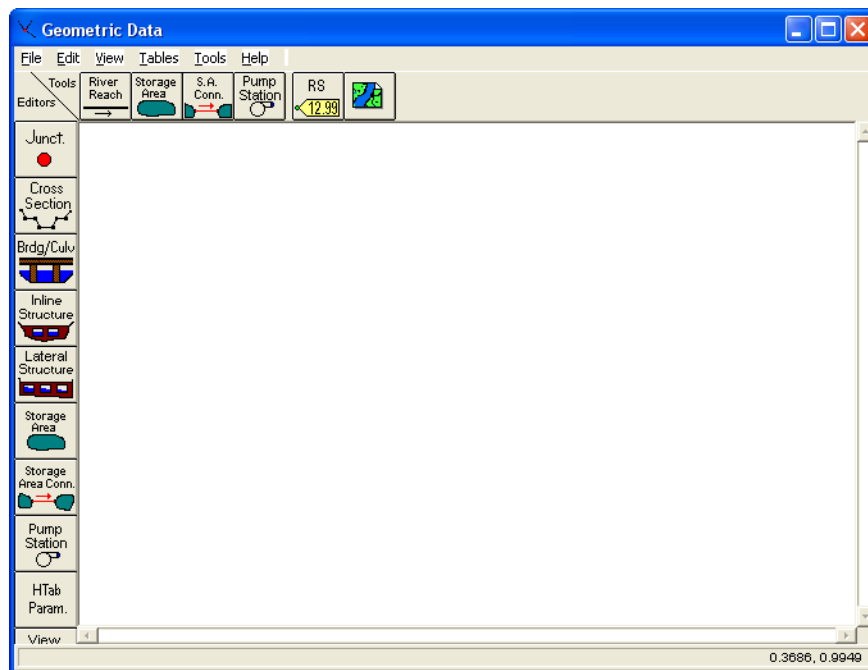


Figure IV -2: Fenêtre Geometric Data.

Pour entrer les données, vous devez cliquer sur le bouton *Cross-Section* dans la partie gauche pour obtenir une fenêtre similaire (Figure IV-3). Dans le menu Option, choisissez *Add a new Cross Section...* Il vous est alors demandé de définir la station (*River Station*) de cette section transversale qui est en fait un identificateur numérique. HEC-RAS place sur un tronçon de rivière les stations en ordre décroissant de la partie amont vers la partie aval. La signification de chacun des termes que l'on y retrouve est décrite ci-dessous :

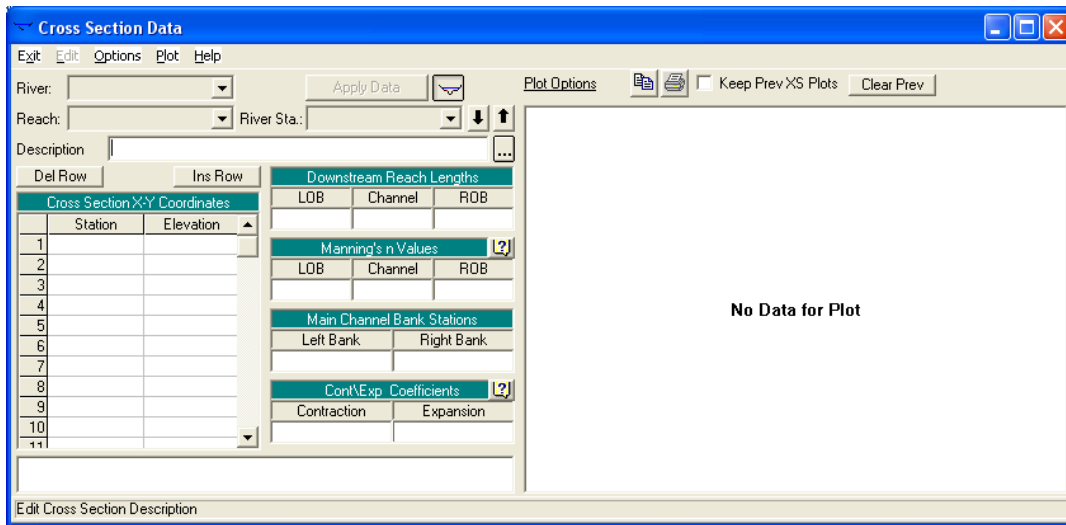


Figure IV -3 : Fenêtre Cross Section Data.

- ✓ **River** : Nom de la rivière sur laquelle la nouvelle section sera ajoutée ;
- ✓ **Reach** : Nom du tronçon de la rivière sur laquelle la nouvelle section sera ajoutée ;
- ✓ **River station** : Identification numérique de la section transversale ;
- ✓ **Description** : Commentaire de l'utilisation sur cette section ;
- ✓ **Cross-section coordinates** : Coordonnées relatives dans le plan X-Y des points définissant la section transversale ;
- ✓ **Downstream Reach Lengths** : Distance en mètres jusqu'à la prochaine section transversale située en aval. LOB signifie la partie gauche de la plaine inondable et ROB sa partie droite, alors que Channel désigne le lit principal de la rivière ;
- ✓ **Manning's n values** : Coefficient de Manning de chaque portion de la section transversale ;
- ✓ **Main channel bank stations** : Coordonnées, dans le plan X seulement, des limites gauches et droite du lit principal de la rivière. Les valeurs fournies doivent correspondre à une valeur déjà présente dans la partie *Cross-section coordinates*.

Après avoir entré les données, cliquez sur *Apply Data*. Vous pouvez alors visualiser la section transversale que vous venez de définir dans la partie adjacente de la fenêtre

IV.2.3. Débit et conditions aux limites :

Dans la fenêtre principale, cliquez sur le bouton *Steady Flow Data* (Figure IV-4). Pour obtenir une fenêtre similaire à celle illustrée plus bas. Pour entrer les valeurs des débits, indiquées d'abord *Number of Profiles*. Par la suite, dans le menu *Options*, allez à *Edit Profil Names...* et indiquez les noms de profils appropriés.

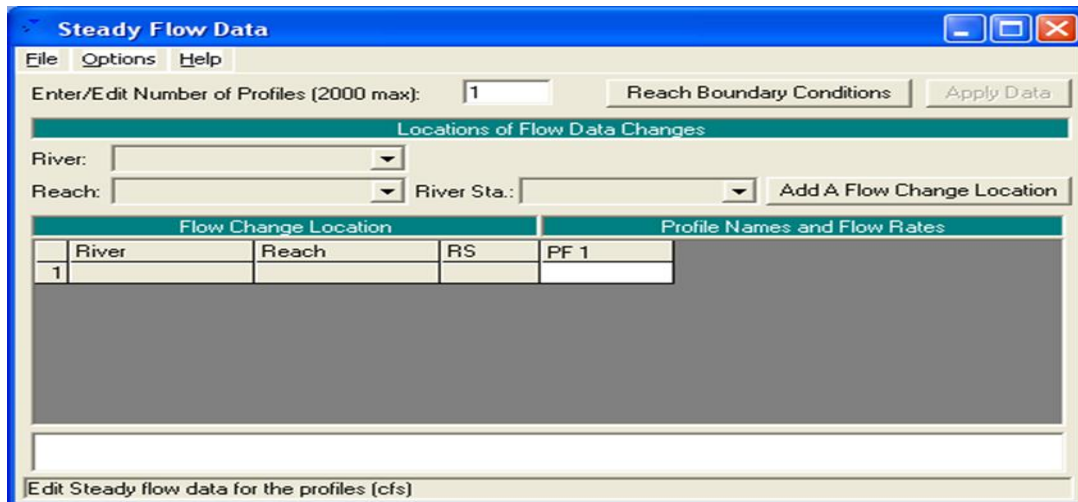


Figure IV -4: Fenêtre Steady Flow Data.

Lorsque les débits correspondants aux différents profils devant être calculés sont spécifiés, il faut par la suite définir les conditions limites de l'écoulement en cliquant sur le bouton *Reach Bondary Conditions* (Figure IV-5). Les conditions limites sont nécessaires pour calculer la hauteur d'eau initiale aux extrémités de chaque tronçon.

Pour un écoulement fluvial, seulement les conditions à l'aval sont nécessaires, tandis que pour un écoulement torrentiel, les conditions à l'amont seulement sont nécessaires. Selon le régime d'écoulement modélisé, une seule des deux conditions limites peut être indiquée. On a le choix entre trois conditions aux limites : hauteur critique, hauteur normale et hauteur connue. Avant de passer à l'étape suivante, sauvegardez ces données avec *File / Save Flow Data as...* Entrez le titre et quittez cette fenêtre pour revenir au menu principal de HEC-RAS.

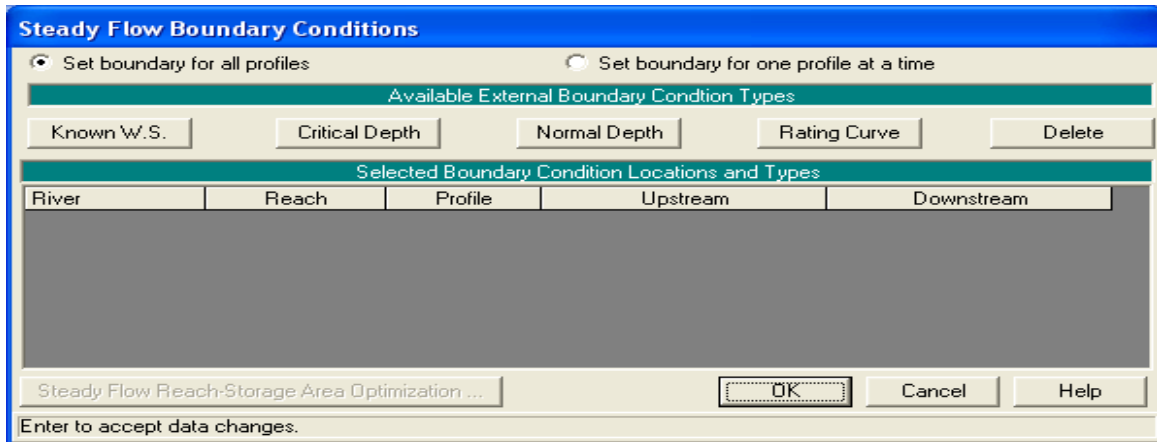


Figure IV -5: Fenêtre Reach Bondary Conditions.

Dans le cas instationnaire *Unsteady flow*, on utilise la fenêtre *flow hydrograph* pour saisir l'hydrographe de crue (Figures IV-6 et IV-7) .

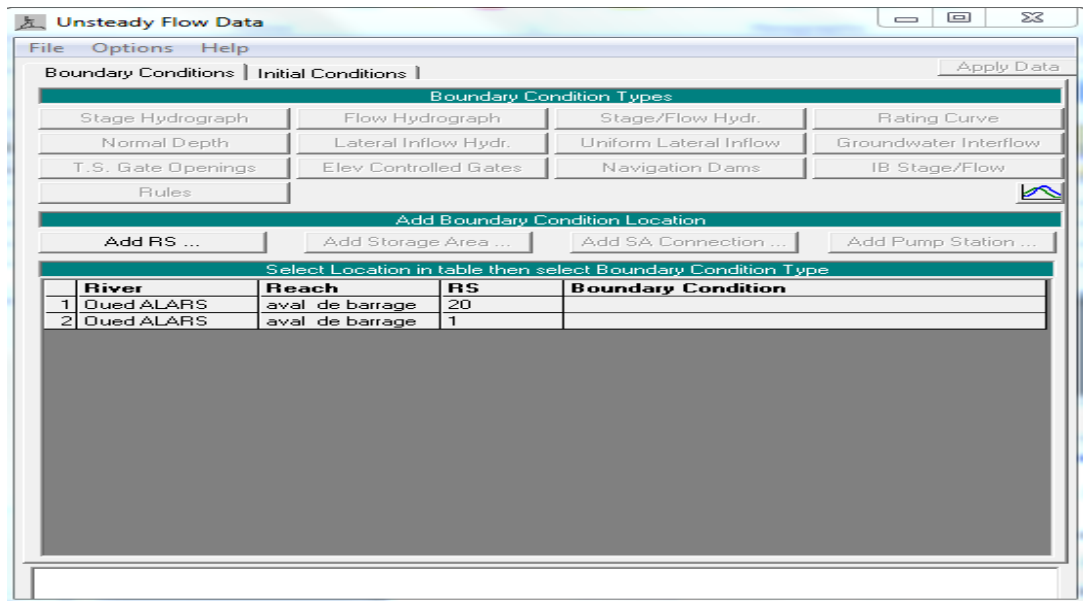


Figure IV -6: Fenêtre Unsteady Flow Data.

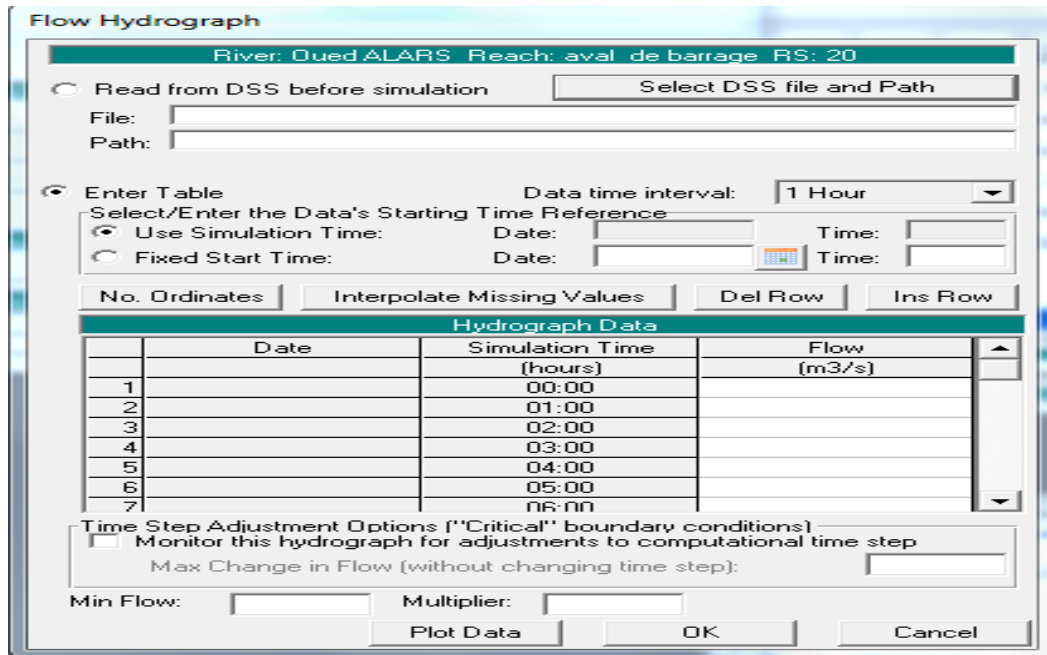


Figure IV -7 : Fenêtre flow hydrograph.

IV.2.4. Simulation hydraulique :

La dernière étape nécessaire à la modélisation avec HEC-RAS est de définir le plan utilisé. Cliquez sur le bouton *Perform a Steady Flow Analysis* pour obtenir la fenêtre présentée plus bas. Les fichiers *Geometry File* et *Steady Flow Analysis* que vous avez créés y sont indiqués. Dans le menu File, choisissez *New Plan*. Lorsque requis, entrez le titre et l'identificateur indiqué sur la figure IV-8.

Choisissez le régime d'écoulement et appuyez sur *Compute* pour débiter la simulation. (Figure IV-8).

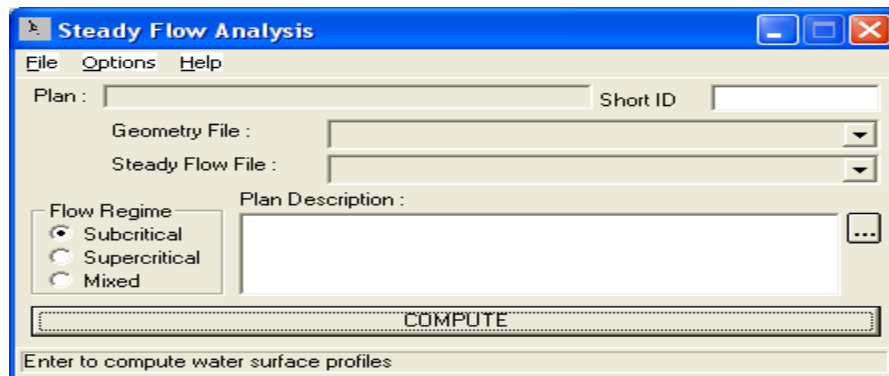
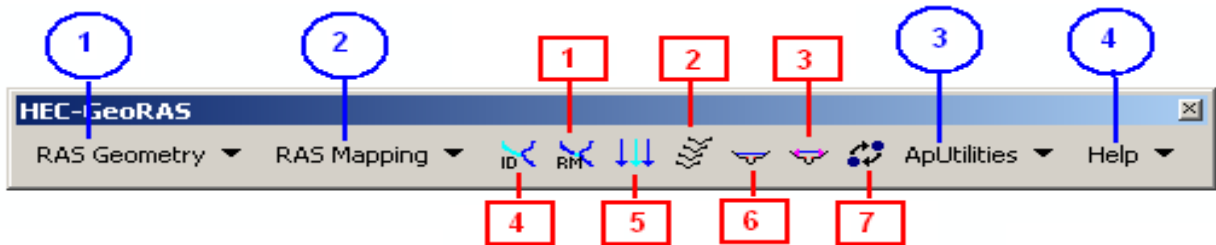


Figure IV -8: Fenêtre Steady Flow Analysis.

La barre outils de HEC-GeoRAS a quatre menus (RAS Géométrie, RAS Mapping, ApUtilities, help) et sept outils/boutons (Assign RiverCode/ReachCode, Assign FromStation/ToStation, Assign Ligne Type, Construct XS Cutlines, Plot Cross Section et Assign Levee Elevation) comme montrées respectivement en des cercles et des boîtes, dans la figure ci-dessous :



- Le menu de la de *RAS Geometry* contient des fonctions pour le prétraitement des données de GIS pour l'entrée de HEC-RAS.
- Le menu *RAS Mapping* contient des fonctions pour le post-traitement des résultats de HEC-RAS pour produire la carte d'inondation.
- Le menu *ApUtilites* contient des fonctions principalement pour des données gestion.
- Le menu *Help* représente les indications d'aide.

IV.4 Description de la version 2D du logiciel HEC-RAS 5.0.3) : [22]

IV.4.1. Préparation du model terrain

D'abord, créer un nouveau projet HEC-RAS. Cliquer ensuite sur l'icône *RAS Mapper*. Dans la fenêtre *RAS Mapper*, cocher l'option *Terrains* et faire un clic droit. Choisir l'option *Create a new terrain*. Ceci apportera une fenêtre pour créer un système de référence spatiale comme suit (Figure IV-10) :

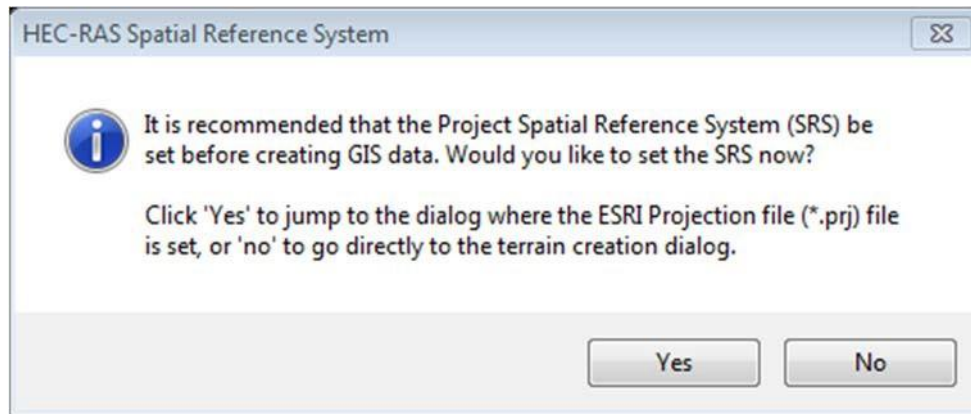


Figure IV.10: fenêtre système de référence spatiale

Choisir l'option **No**. Ceci fait apparaître la fenêtre suivante :

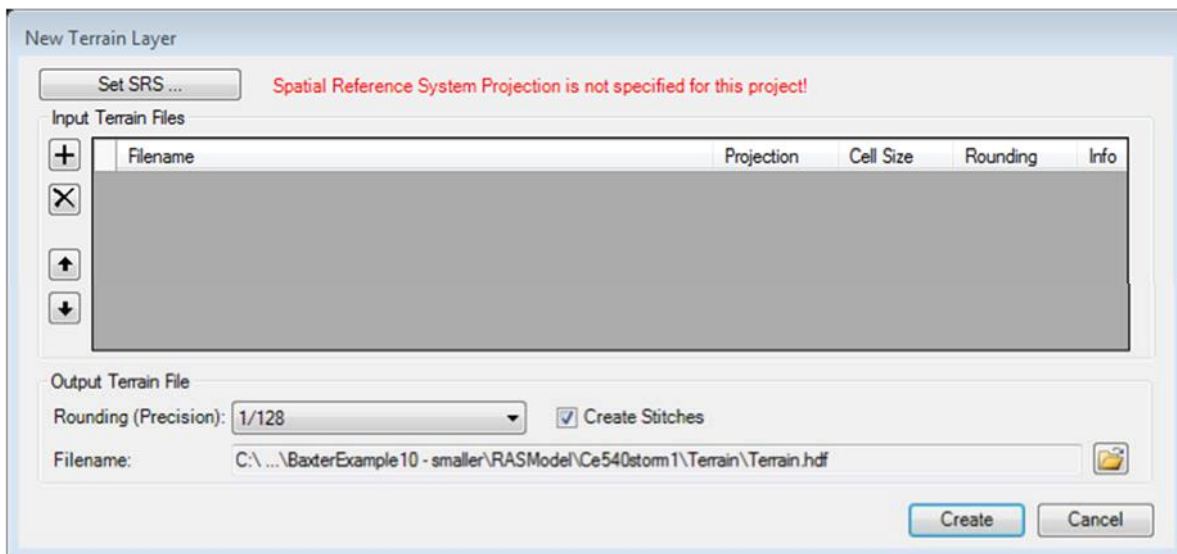


Figure IV.11: fenêtre de l'option **Create a new terrain**

Dans la fenêtre ci-dessus (Figure IV-11) cliquer dessus l'icône plus (+) et ouvrir le répertoire terrain et cliquer sur le fichier w001001.adf. Pour créer un *Spatial Reference System*, choisir maintenant **Yes**. Noter que sur la fenêtre ce fichier raster a une projection liée à lui. Cliquer maintenant sur le bouton *Create* comme suit (Figure IV-12):

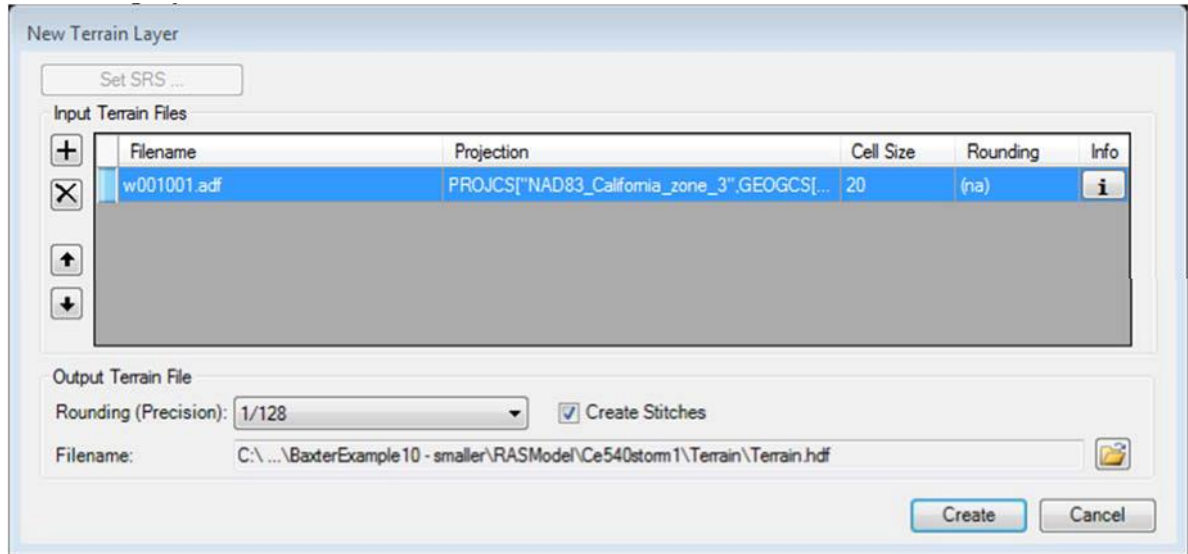


Figure IV.12: fenêtre de choisir le fichier w001001.adf

Ceci créera le terrain. Fermer la fenêtre en résultant et ne pas oublier d'enregistrer votre projet HEC- RAS.

Ouvrir maintenant *RAS Mapper* encore et cocher la boîte de *Terrain* pour visualiser le terrain. Si le terrain n'apparaît pas sur la fenêtre, choisir l'option *Zoom to Layer* et ceci devrait montrer le terrain comme suit (Figure IV-13) :

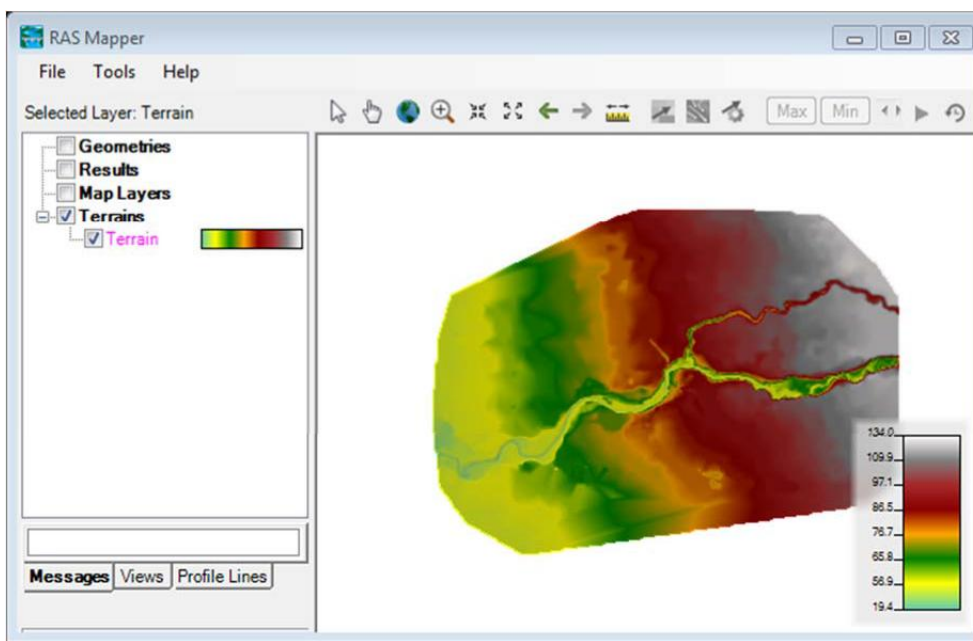


Figure IV.13: fenêtre de RAS Mapper

IV.4.2. création du maillage

Enregistrer votre projet HEC-RAS et ouvrir *View /Edit Geometric data* et vous devriez pouvoir voir le terrain comme suit (Figure IV-14):

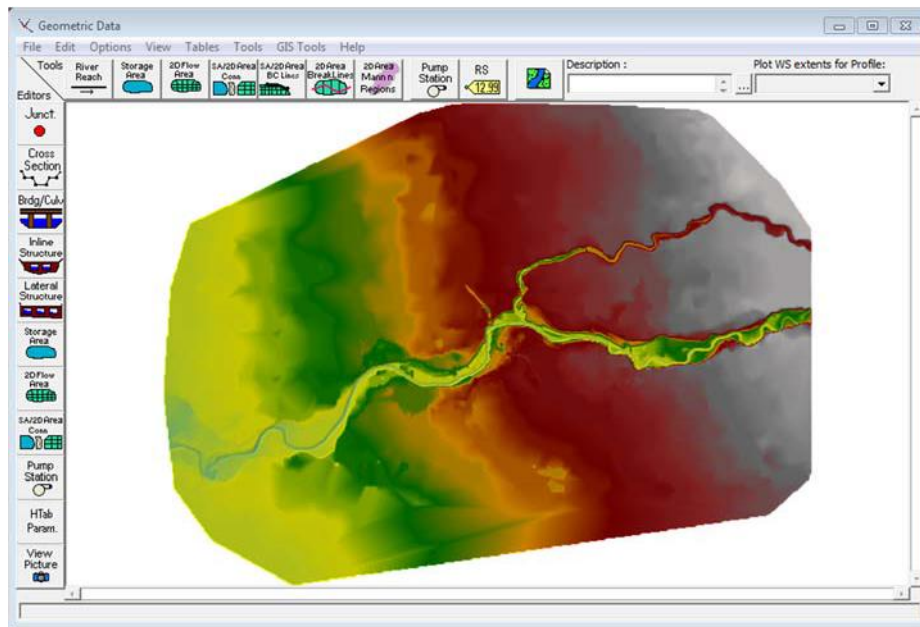


Figure IV.14: fenêtre de Géométric data

Utilisez l'icône *2DFlow Area*, qui est située au-dessus de la fenêtre de la géométrie (Figure IV-15). Sélectionner la surface de votre domaine et lui donner un nom. Cliquer OK et vous avez maintenant la surface 2DFlow qui sera le domaine pour la simulation en 2D. Après, sélectionnez la surface 2D que vous avez créé et faites un clic droit, puis choisir *Edit 2DFlow Area*. Puis, cliquer sur *Generate Computation Points On regular Interval...* et choisir un Dx et un Dy égaux à 200 ou à 500. Cliquer sur *Generate Points in 2D Flow Area* et le maillage sera créé.

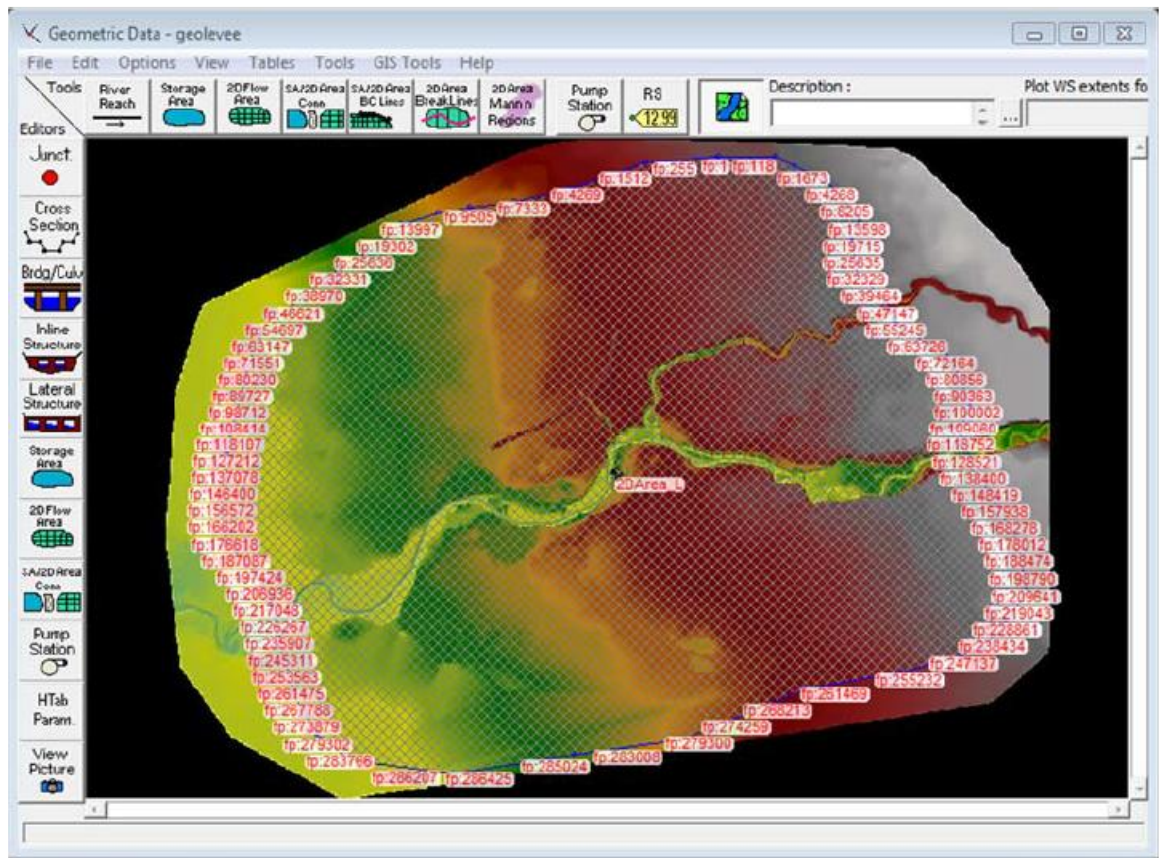


Figure IV.15: Fenêtre du maillage

Créer, maintenant les lignes de frontières à l'amont et l'aval des cours d'eaux, en utilisant l'icône SA/2D Area BC Lines (Figure IV-16).

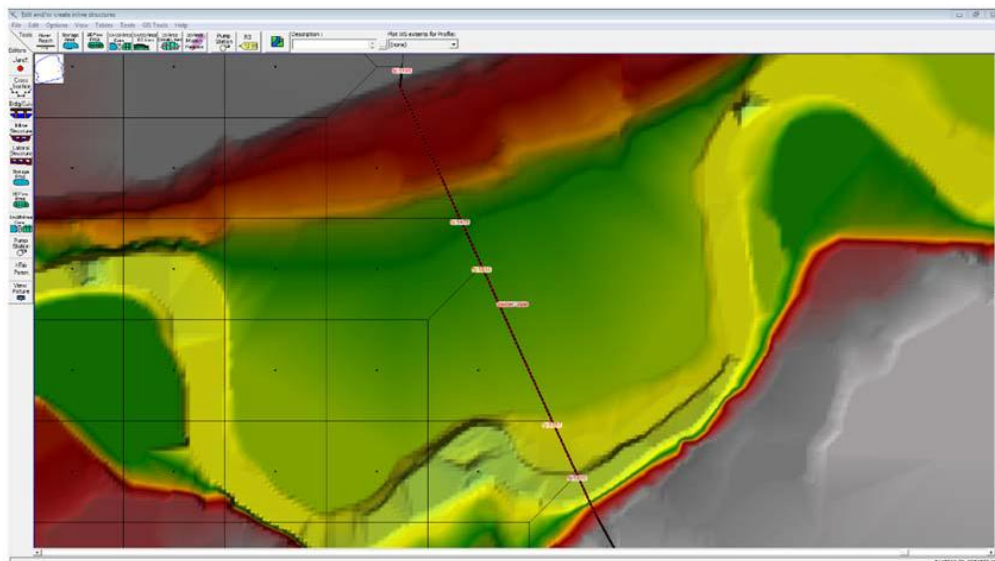


Figure IV.16: Fenêtre du maillage

Une fois que vous éditez les lignes de frontière, vous pouvez reconstruire votre maillage.

IV.4.4. Exécution du model instationnaire

Enregistrez les données géométriques et ajouter les conditions de frontière comme d'habitude (*Edit/Unsteady Flow Data*) puis lancer la simulation instationnaire (*Run/Unsteady flow analysis*) (Figure IV-17).

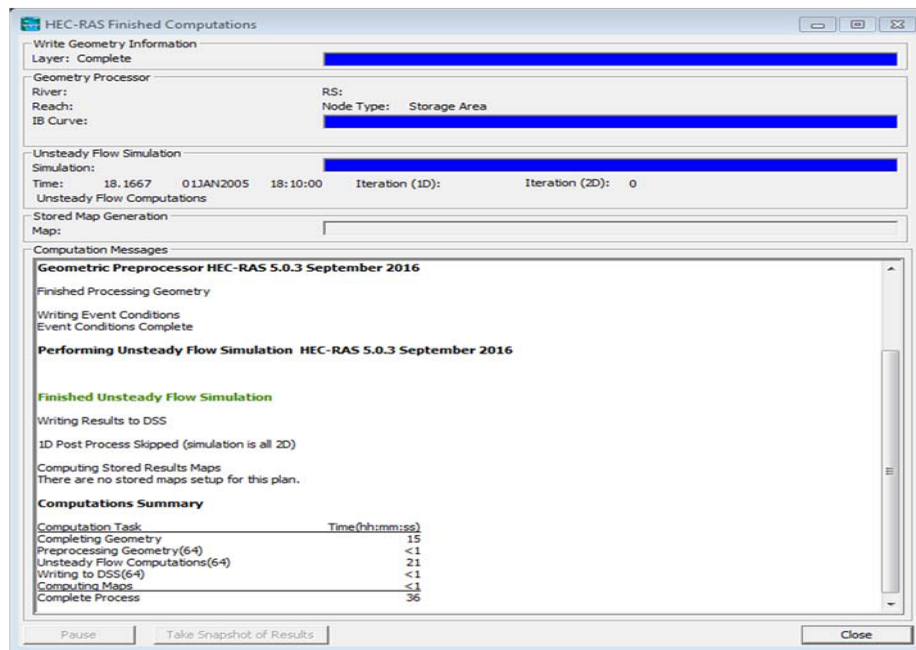


Figure IV.17: fenêtre de (Run/Unsteady flow analysis)

IV.4.5. Visualisation des résultats

Après que le modèle soit exécuté, la visualisation est faite dans le de *RAS Mapper* en choisissant la boite *Results*. Voici comment vous pouvez visualiser l'animation de la profondeur d'eau, la vitesse ou l'élévation de surface de l'eau. Les résultats à différentes temps peuvent être visualisés en déplaçant le lecteur vers le gauche ou droit.



Les deux figures au-dessous (Figures IV-18 et IV-19) montrent respectivement la profondeur et la vitesse d'eaux instantanées.

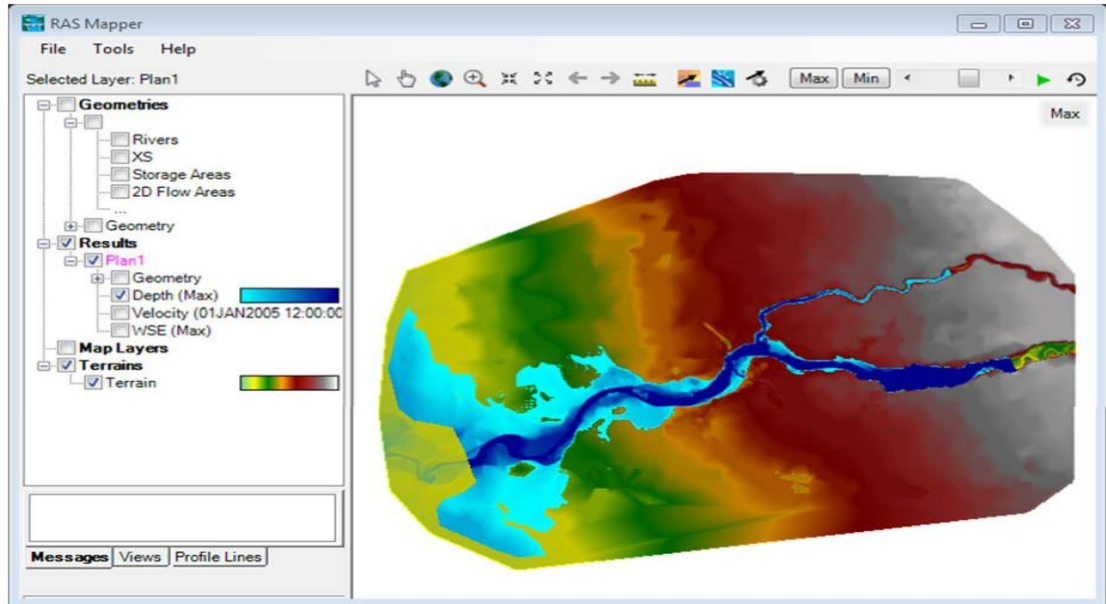


Figure IV.18: profondeur d'eaux instantanées

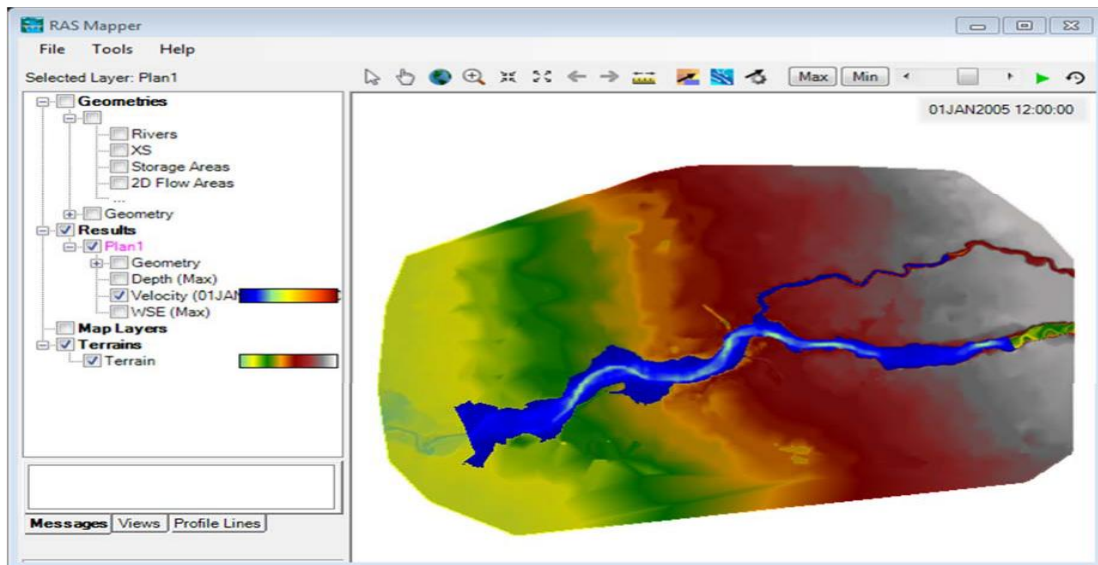


Figure IV.19: vitesse d'eaux instantanées

IV.5 Connexion des zones d'écoulement 2D aux éléments hydrauliques 1D [24]

Les données géométriques (1D) du tronçon de l'oued s'étendant de Sidi Aich à la sortie d'El kseur ont été extraites et préparées à partir du MNT du bassin de la Soummam à l'aide du logiciel ArcGis associé au module a HEC-GeoRAS en suivant les étapes décrites dans les paragraphes précédents dédiés à ces logiciels.

Une fois que ces données ont été importées vers HEC-RAS, on passe ensuite à la préparation des données géométriques du domaine 2D qui représente les zones d'écoulements des deux rives de l'oued au niveau d'El kseur. Les étapes de préparation de ces données sont décrites dans les paragraphes précédents consacrés au module RAs Mapper de HEC-RAS 5.0.3 (figure IV.20).

Dans ce qui suit nous allons décrire la méthode utilisée pour combiner les deux modèles 1D et 2D.

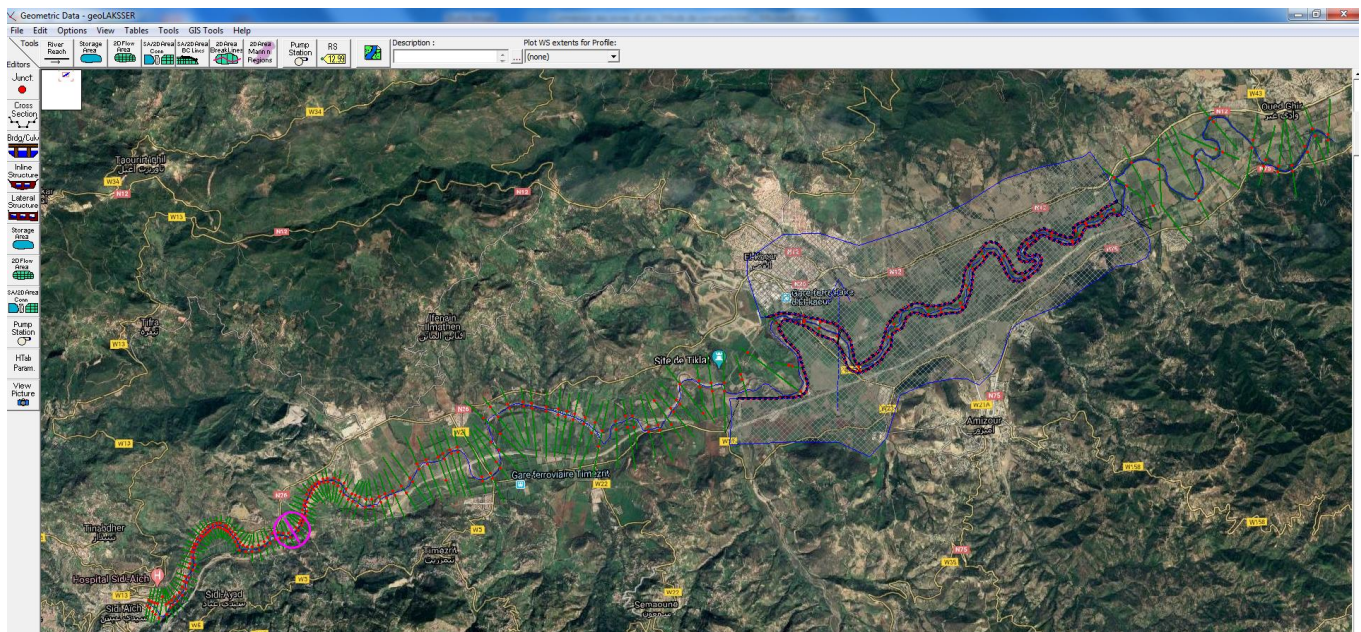


Figure IV.20: Création des domaines géométriques 1D et 2D

IV.5.1 Modes de connexion 2D /1D dans HEC-RAS

Les éléments d'aire d'écoulement 2D peuvent être connectés aux éléments 1D de plusieurs manières : directement à l'extrémité aval ou à l'extrémité amont d'un tronçon d'une rivière; latéralement aux tronçons fluviaux 1D en utilisant une ou plusieurs structures latérales; et / ou directement à une autre zone 2D ou zone de stockage en utilisant la connexion de zone SA/2D. Le processus de connexion d'une zone d'écoulement 2D à d'autres éléments hydrauliques est réalisé dans l'éditeur de données géométriques HEC-RAS.

IV.5.2 Connexion d'une zone d'écoulement 2D à un tronçon de rivière 1D avec une structure latérale.

Les zones d'écoulement 2D peuvent être utilisées pour modéliser des zones derrière des digues en connectant un tronçon de rivière 1D à la zone 2D à l'aide d'une structure latérale (Figure IV.21).

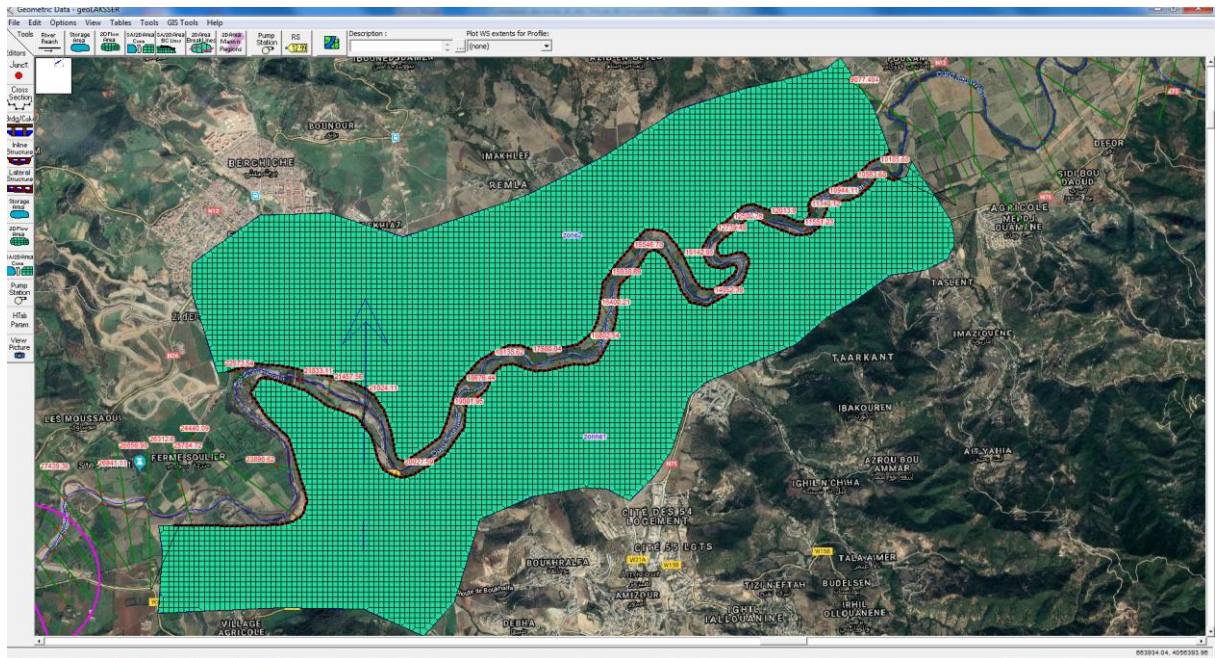


Figure IV.21: couplage rivière 1D à la zone 2D

Lorsqu'une structure latérale est ajoutée à un tronçon de rivière 1D, l'utilisateur peut choisir de la lier à un autre un tronçon de rivière 1D, à une zone de stockage ou à une zone d'écoulement 2D.

Si l'utilisateur choisit de lier la structure latérale à une zone d'écoulement 2D, les points de la structure latérale seront automatiquement liés aux points de la face de la zone 2D. La digue connectée est illustrée à la figure IV.22.

Cette structure latérale (digue) est utilisée pour modéliser l'écoulement passant au-dessus de la digue, ainsi qu'une brèche de digue qui sera ajoutée ultérieurement.

HEC-RAS a désormais la possibilité d'avoir des structures latérales géoréférencées. Sous l'élément de menu intitulé **GIS Tools**, il y a maintenant une option de tableau appelée **Lateral Structure Centerlines Table**.

Names (Select one or Many)	X (m)	Y (m)
Soummam Lakser 26300	664780.902209738	4057676.92612558
Soummam Lakser 22573	665164.686355575	4057672.14872957
Soummam Lakser 21000	665944.994369934	4057684.88845225
Soummam Lakser 20033	666115.388160825	4057726.29255098
	666223.675803634	4057793.17609506
	666279.412090374	4057968.34728196
	666224.34	4058191.55
	666116.98062616	4058526.76336729
	666069.206666097	4058692.37976218
	666007.63	4058769.45
	665780.6	4058986.16
	665615.49	4059233.83
	665729	4059398.94
	665883.79	4059388.62
	666265.62	4059254.46
	666526.650925147	4059073.83581544
	666750.63	4058996.48
	666852.699611127	4058963.0988692
	667005.83819339	4058760.98910558

Figure IV.22: Tableau Lateral Structure Centerlines

L'utilisateur peut utiliser **Measure Tool** pour dessiner une ligne qui représenterait les coordonnées géospatiales X et Y de la structure latérale, puis coller ces coordonnées dans le tableau **Lateral Structure Centerline**.

Pour dessiner une ligne géospatiale à partir de **Geometric Data editor**, utilisez l'option d'outil de mesure. Ceci est accompli en maintenant la touche **Ctrl** enfoncée, puis en utilisant le pointeur de la souris et le bouton gauche de la souris pour tracer la ligne. Cliquez sur le bouton gauche de la souris pour commencer la ligne, puis déplacez la souris et continuez avec le clic gauche pour ajouter des points supplémentaires dans la ligne. Pour terminer la ligne, faites un clic gauche sur le dernier point puis relâchez la touche **Ctrl**. Une fois que vous relâchez la touche **Ctrl**, une fenêtre apparaîtra comme illustré dans la Figure IV.23.

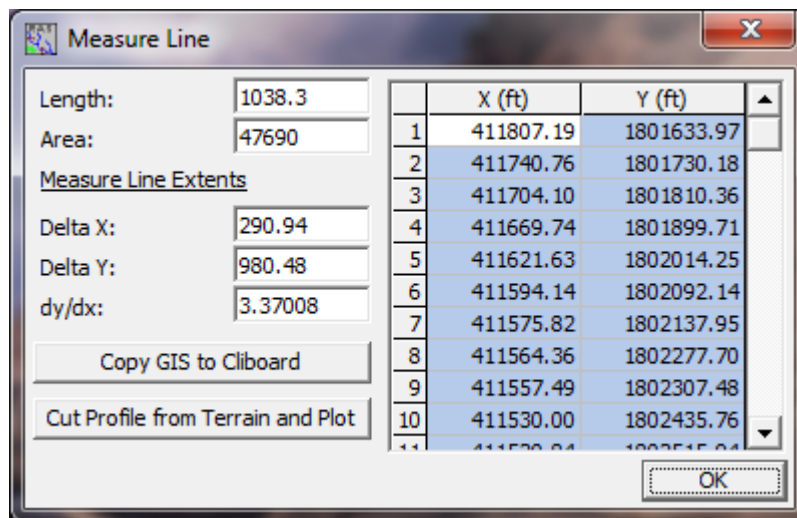


Figure IV.23: Les coordonnées de profile line

Comme le montre la Figure 3-30, l'outil de mesure vous montrera les coordonnées géospatiales X et Y de la ligne dans un tableau. Pour envoyer ces coordonnées dans le presse-papiers Windows (afin que vous puissiez ensuite les coller dans le tableau des traits d'axe de la structure latérale), appuyez simplement sur le bouton intitulé: **Copy GIS to Clipboard**.

Ces coordonnées peuvent être collées dans le tableau **Lateral Structure Centerline** pour géoréférencer une structure latérale.

La fenêtre de l'outil de mesure vous montre également la longueur de la ligne; l'aire d'un polygone si le premier et le dernier point étaient connectés; Delta X; Delta Y; et dy / dx .

De plus, vous pouvez tracer les données de terrain sous cette ligne en appuyant sur le bouton intitulé: **Cut Profile from Terrain and Plot** (cela ne fonctionne que si vous avez un jeu de données de terrain dans **RAS Mapper** et que vous l'avez associé au fichier de géométrie actuellement ouvert). Cette ligne peut être utilisée comme première coupe pour les données de station de déversement et d'élévation entrées par l'utilisateur pour le profil de déversoir de structure latérale. Ceci est particulièrement utile si la structure latérale est utilisée pour représenter la barrière de sol élevée entre le lit principal (1D river reach) et la zone de banquette (2D Flow Area).

Processus de connexion

Le processus de connexion d'une structure latérale à une zone d'écoulement 2D est décrit ci-dessous:

- 1.** Ajouter la structure latérale comme cela se ferait normalement dans HEC-RAS (c'est-à-dire créer la structure latérale; définir la station fluviale en amont de la structure; entrer la station / les points d'élévation qui représentent le déversoir / remblai du haut de la structure; et ajouter des données géospatiales pour la structure latérale comme décrit ci-dessus).
- 2.** Pour l'option **Tailwater Connection** de l'éditeur de **Lateral Structure**, sélectionnez le **Type** comme **Storage Area/2D Flow Area**. Ensuite, dans le champ **SA/2D FA**, sélectionnez le nom de la zone de d'écoulement 2D à connecter à la structure latérale en appuyant sur le bouton **Set SA/2DFA** et en sélectionnant le nom de la zone d'écoulement 2D. Dans cet exemple, le nom de la zone d'écoulement 2D est "zonne 1" (Figure IV.24).

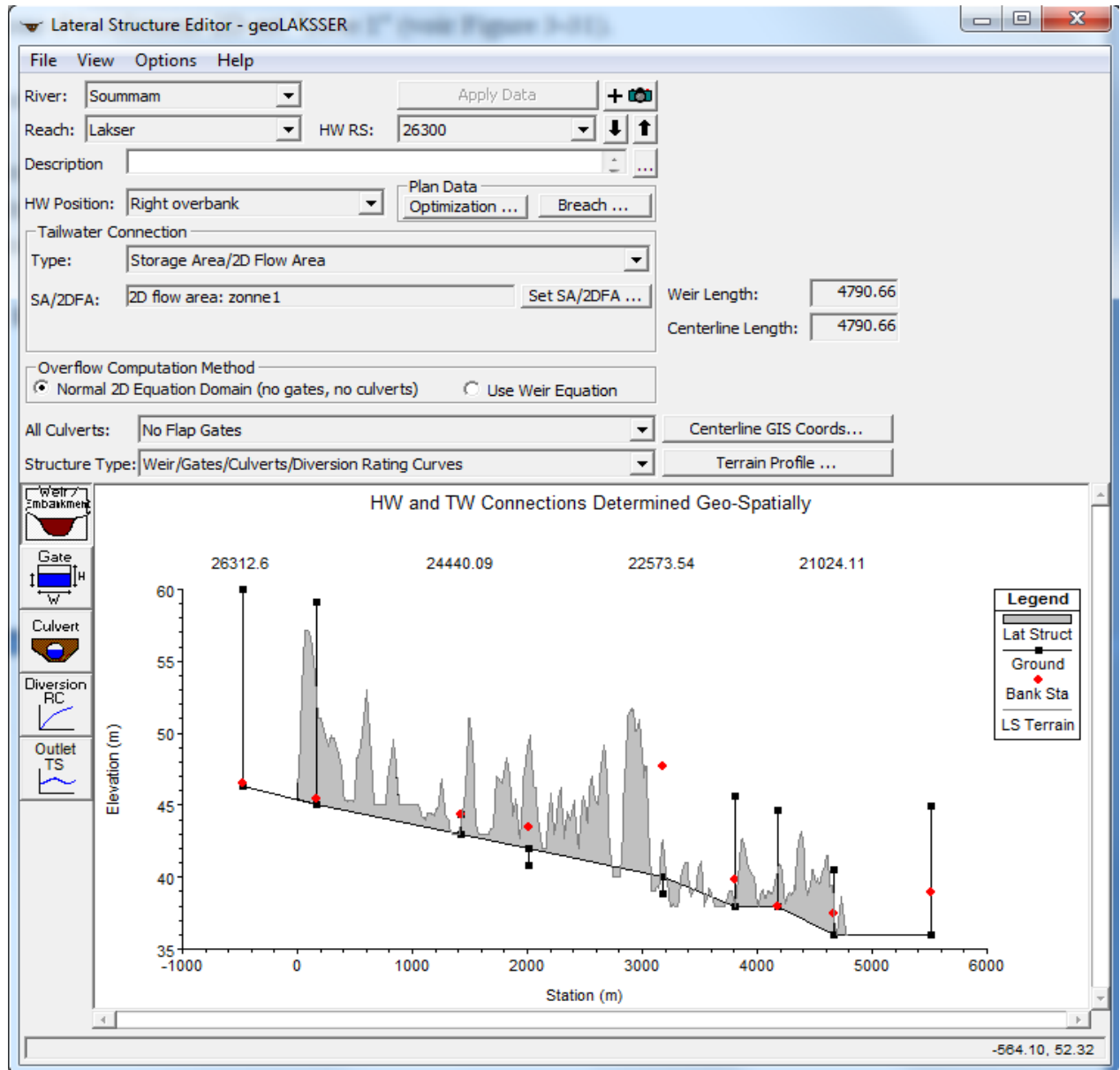


Figure IV.24: fenêtre **Latéral Structure Editor**

3. Cliquez sur **Terrain Profile** dans la fenêtre **Lateral Structure Editor**, puis copiez les données de la table **Centre line Terrain Profile** (Figure IV.25).

	Terrain Station (m)	Terrain Elevation (m)
1	0.000	46.615
2	10.635	46.998
3	39.219	53.082
4	66.475	56.976
5	67.143	57.120
6	67.829	57.097
7	94.381	57.144
8	95.398	57.109
9	96.440	57.000
10	122.288	56.097
11	123.652	55.951
12	125.050	55.876
13	150.195	54.091
14	151.906	54.000
15	180.161	51.000
16	210.881	51.000
17	233.916	50.195
18	236.669	50.197

Figure IV.25: Table Centreline Terrain Profile

4. Sélectionnez le bouton **Weir/Embankment** sur le côté gauche de la fenêtre graphique(Figure IV.26).. Cela fera apparaître l'éditeur qui vous permettra de coller le profil supérieur du remblai copié dan l'étape 3. Ensuite, introduire une valeur de la largeur du profil dans le champ **Weir Width**.

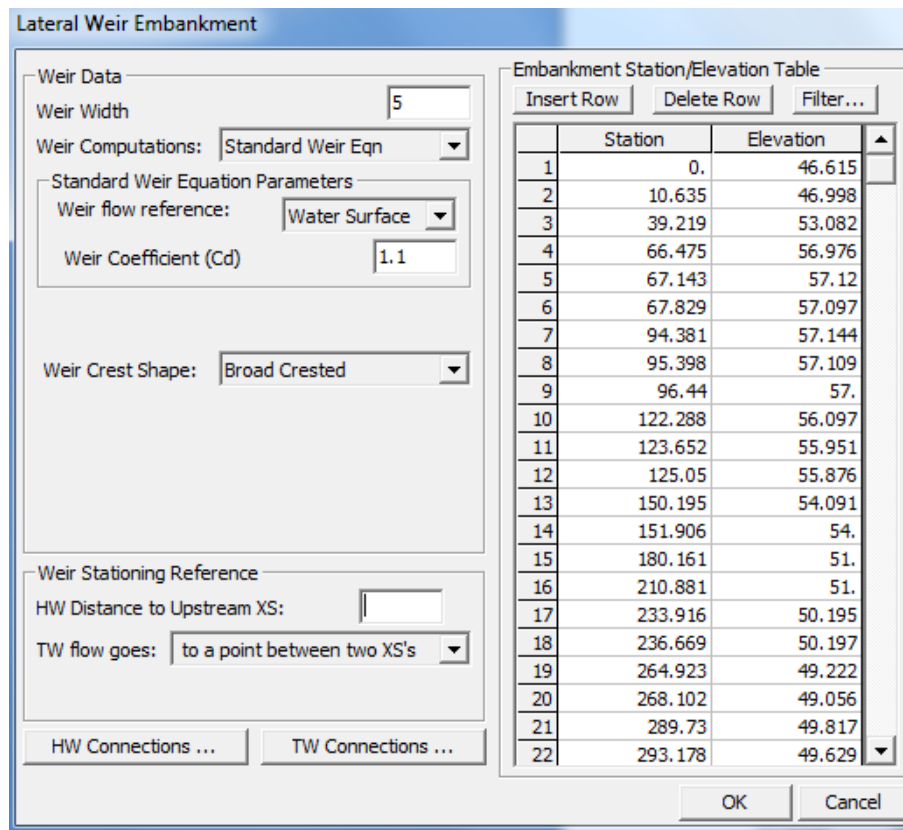


Figure IV.26: Fenêtre Lateral Weir/Embankment

5. Dans la fenêtrer **Lateral Structure Editor**, choisissez **Normal 2D Equation Domain (no gattes, no colverts)** pour l'option **Over flow Computation Method**

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents outils que qu'on a utilisé pour réaliser la simulation de propagation de l'onde de cure dans la zone d'El kseur. Le logiciel ArcGis 10.3 associé au module HEC-GeoRAS 10.3 nous ont permet de d'extraire les données géométrique du modèle de rivière 1D à partir d'un MNT de bassin de la Soummam et de les exportées vers HEC-RAS 5.0.3. Ces données sont ensuite combinées dans HEC-RAS avec les données géométriques du domaine 2D qui représente la zone d'écoulement au niveau de la région d'El kseur. Pour réaliser cette combinaison nous avons choisi l'option structure latérale "Lateral Structure" où la structure est remplacée par un profil de terrain naturel au niveau de la frontière de contacte 1D/2D.

Chapiter V : Simulation d'inondations et moyens de protection**Introduction:**

Dans ce chapitre, nous étudierons les résultats de la simulation d'inondations au niveau de oued el-Soummam et découvrirons les points les plus touchés par cette crue, pour période de retour de 100 ans d'autant qu'elle touche de nombreux habitants qui vivent le long de la vallée.

V.1.simulation et résultats :**V.1.1. données de simulation :**

Dans notre cas nous avons choisi un hydrogramme de crue (figure V.1) de période T 100 ans que applique à l'entrée du domaine d'étude au niveau de sidi aiche, la durée de simulation s'tale de 01-sept-2008 a 06-sept-2008, avec un pas de temps de 6 min

Les résultats de simulation seront enregistrés en déférentes stations de mesure localisées le long de la zone d'étude

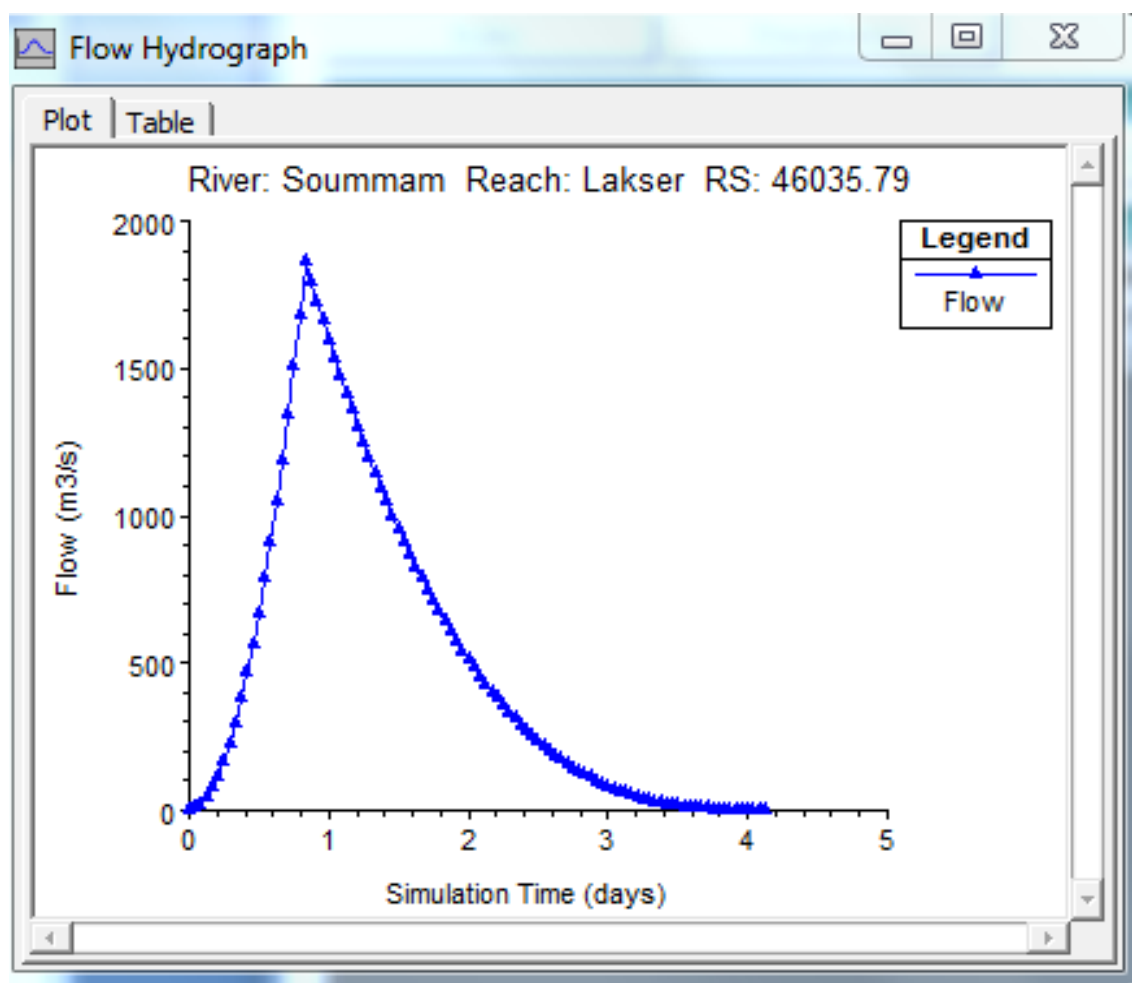


Figure V.1 :hydrogramme de crue T=100 ans

V.1.2 Délimitation de zone inondable:

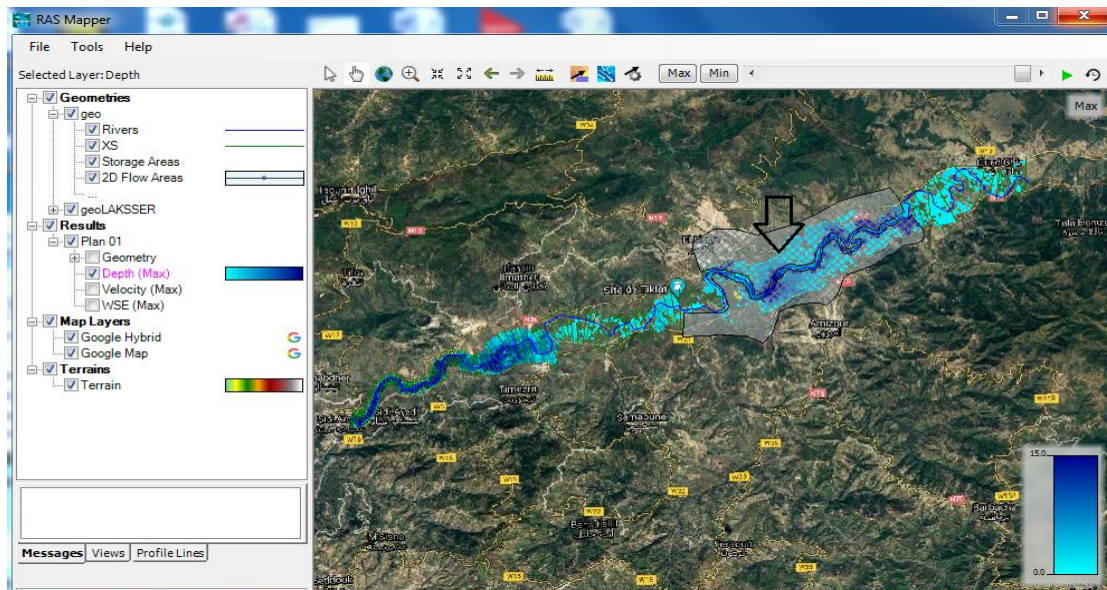


figure V.2: Profondeur H (max) de l'eau T=100ans

- l'image montre la hauteur maximale de l'eau T=100 ans le long de la vallée, ce qui a conduit à l'apparition du phénomène d'inondation et à l'arrivée d'eau dans les zones résidentielles et agricoles

H (max)=15m

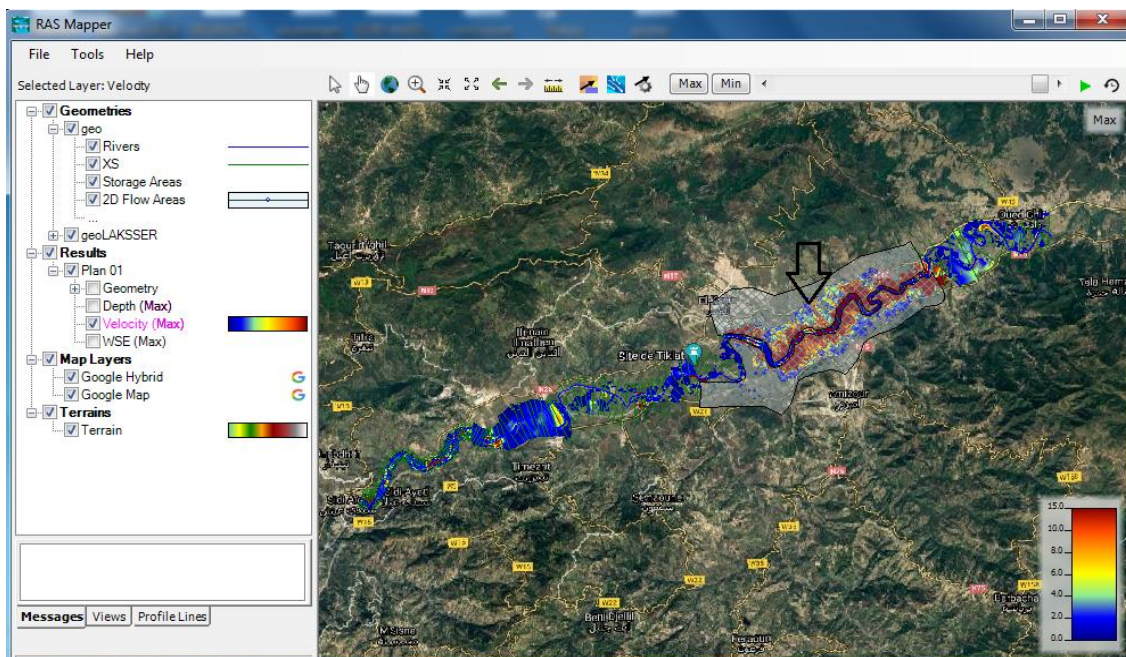


Figure V.3.: vitesse V (max) de l'eau T=100ans

- L'image montre la vitesse maximale de l'eau le long de la vallée, qui a conduit à la survenue de l'inondation et à son arrivée dans les zones résidentielles et agricoles

V.1.3. Variation temporelle de la profondeur et de la vitesse a défiants stations de l'oued :

On a choisi 8 stations de mesures répartie_long_de l'oued (voir figure)

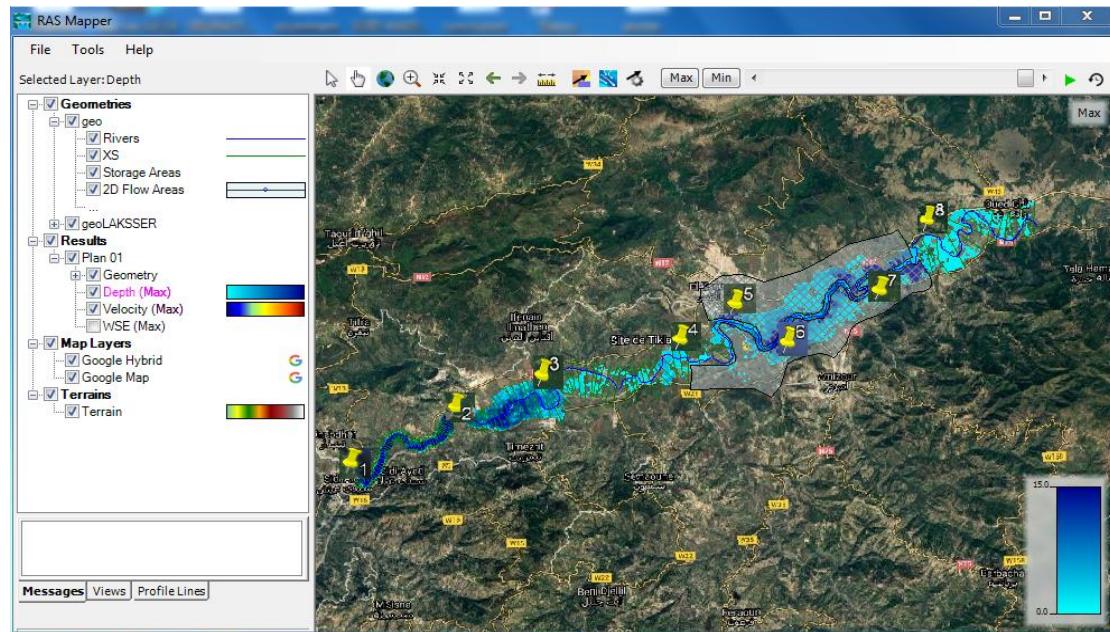


Figure V.4.:positions des stationsdes mesures dans l'oued

Tableau V.1.: cordonnée des stations de mesure

station	Zone	les coordonnées
1	les moulins de Soummam (sidi aich)	N°33.12'36°36 E°44.68'41°4
2	Libererie Karim takhlicht	N°40.43'37°36 E°33.25'44°4
3	chateau d'eau, Ifenain Ilmathen	N°0.24'39°36 E°21.39'46°4
4	Site de tiklat	N°21.17'39°36 E°18.53'50°4
5	Gare ferroviare d elkseur	N°12.28'40°36 E°19.71'51°4
6	Centrale TG Amizour	N°7.53'39°36 E°41.53'52°4
7	Mercerie yessad	N°15.66'40°36 E°20.27'55°4
8	Supérette Family Market, Amizour	N°55.98'40°36 E°58.03'56°4

Station (01): les moulins de Soummam (sidi aich)

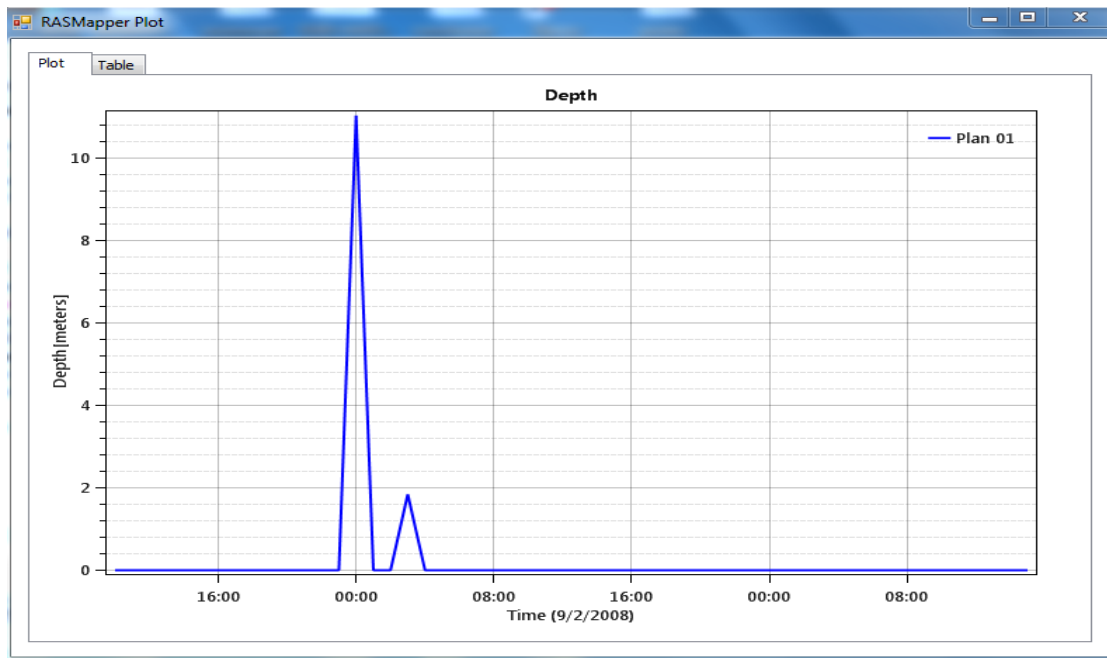


Figure V.5: Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans les moulins de Soummam (sidi aich)

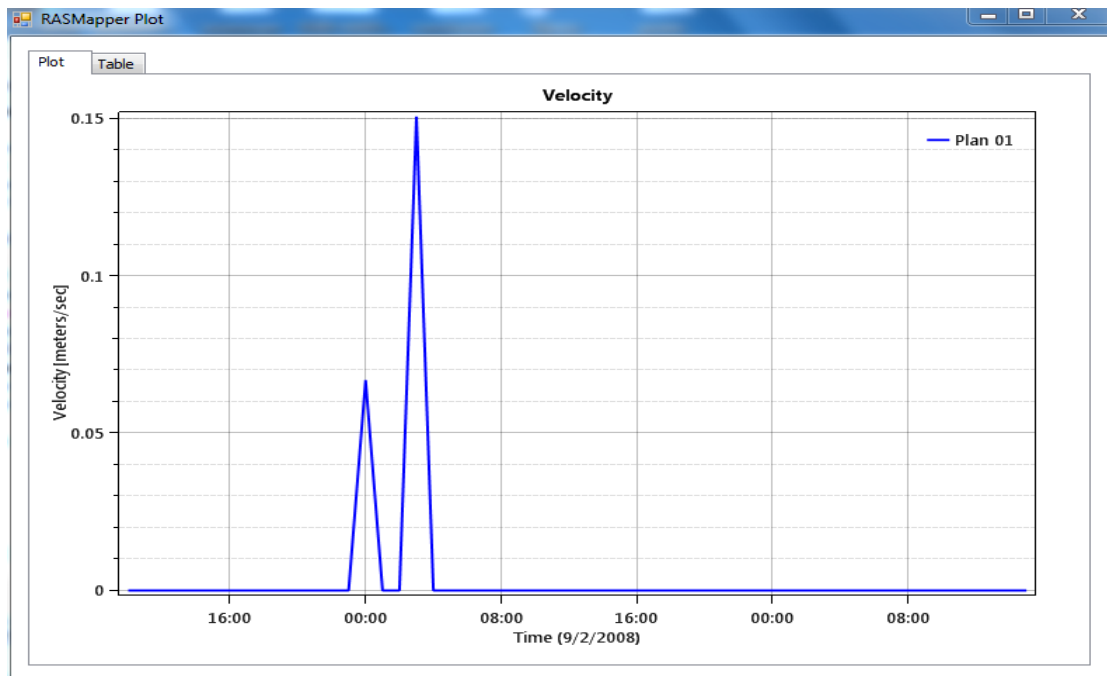


Figure V.6. Variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 les moulins de Soummam (sidi aich)

Station (02): libererie Karim takhlidht

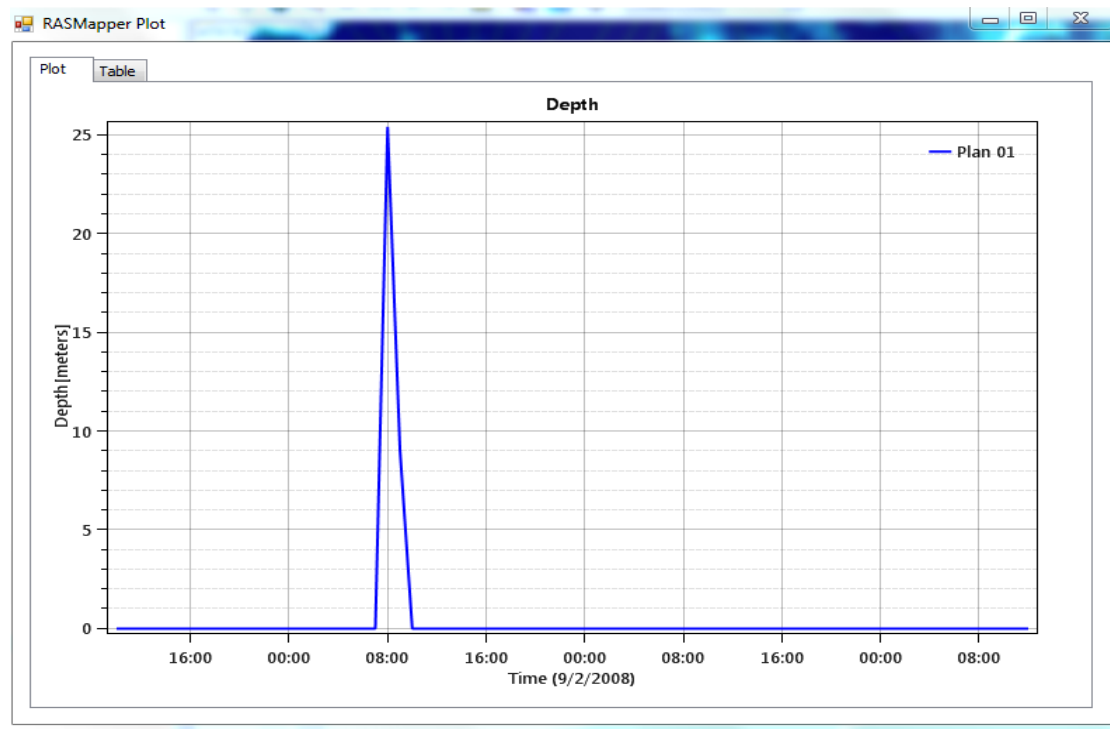


Figure V.7. Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Libererie karim takhlidht)

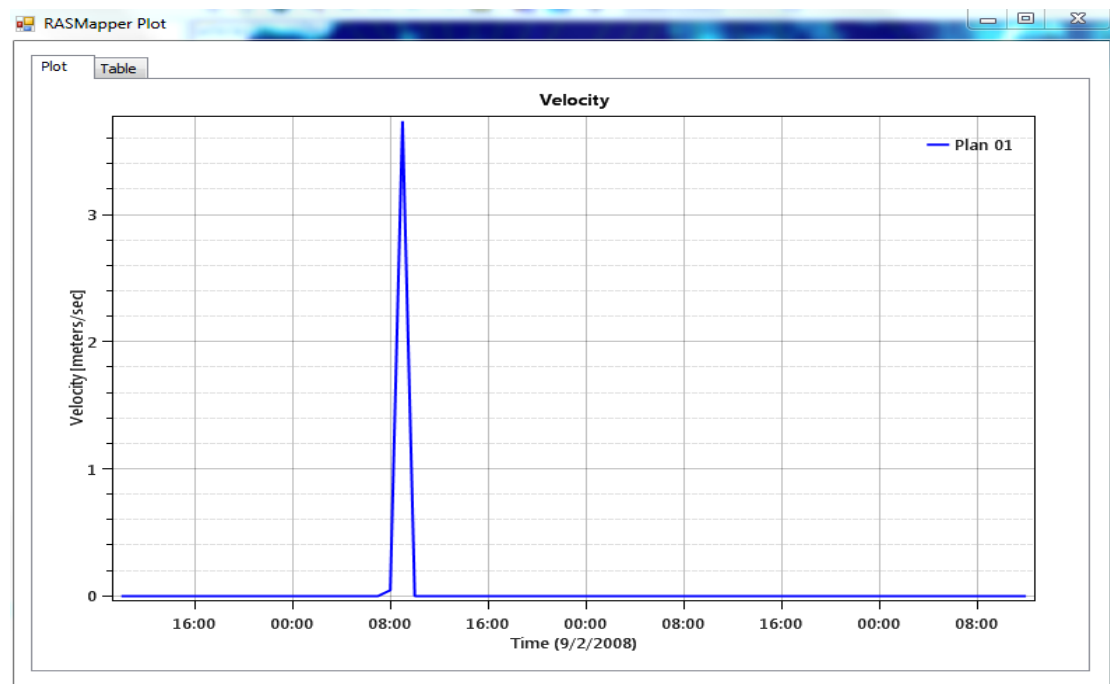


Figure V.8. Variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 (Libererie karim takhlidht)

Station(03) :Château d'eau

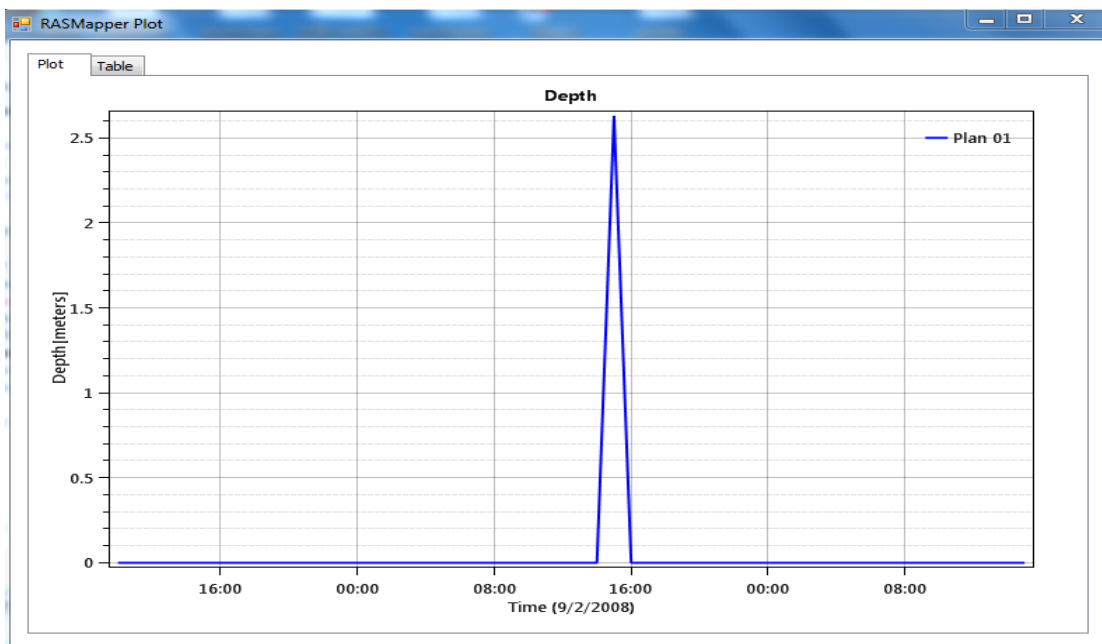


Figure V.9. Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Château d'eau)

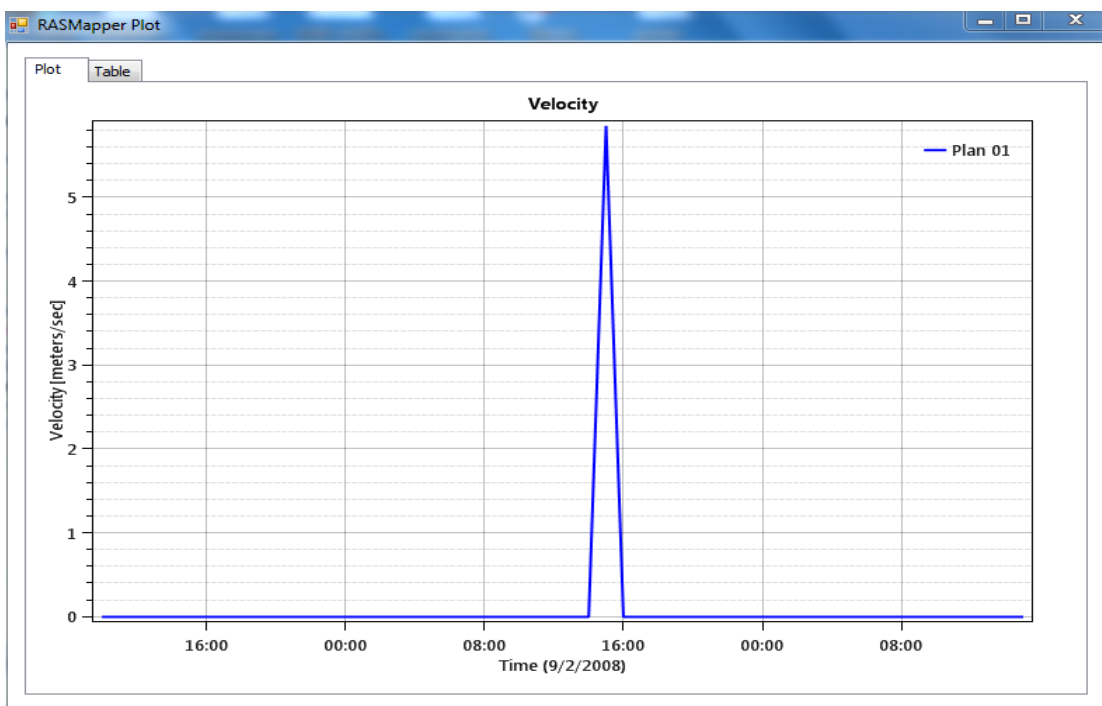


Figure V.10. Variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 (Château d'eau)

Station (04):Site de tiklat

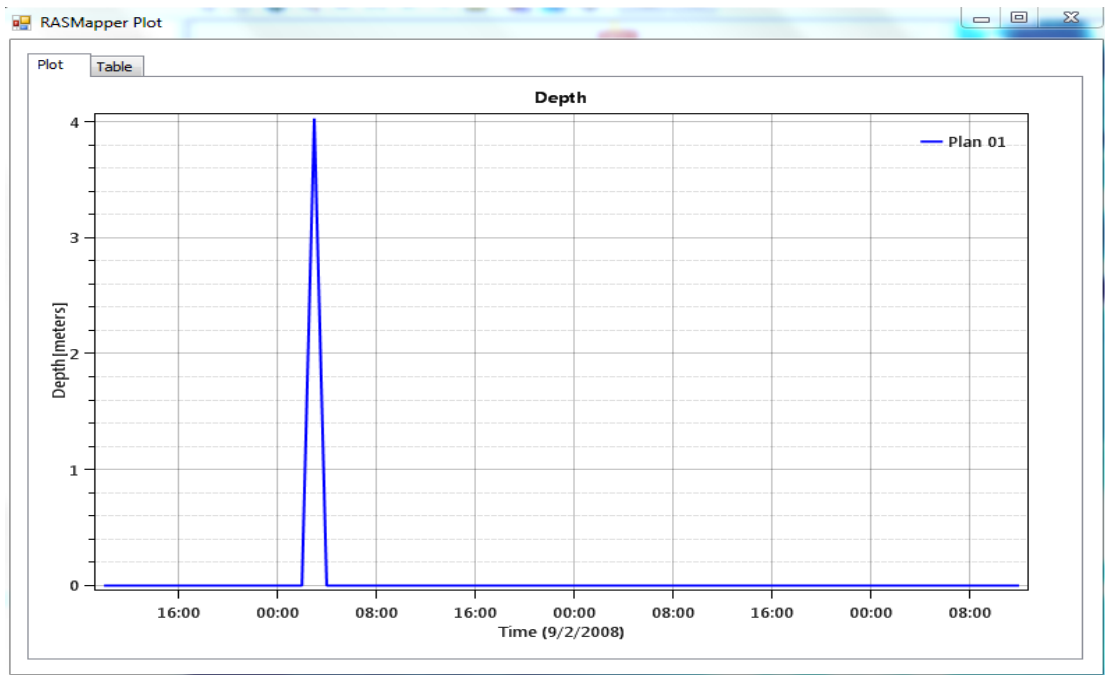


Figure V.11. Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Site de tiklat)

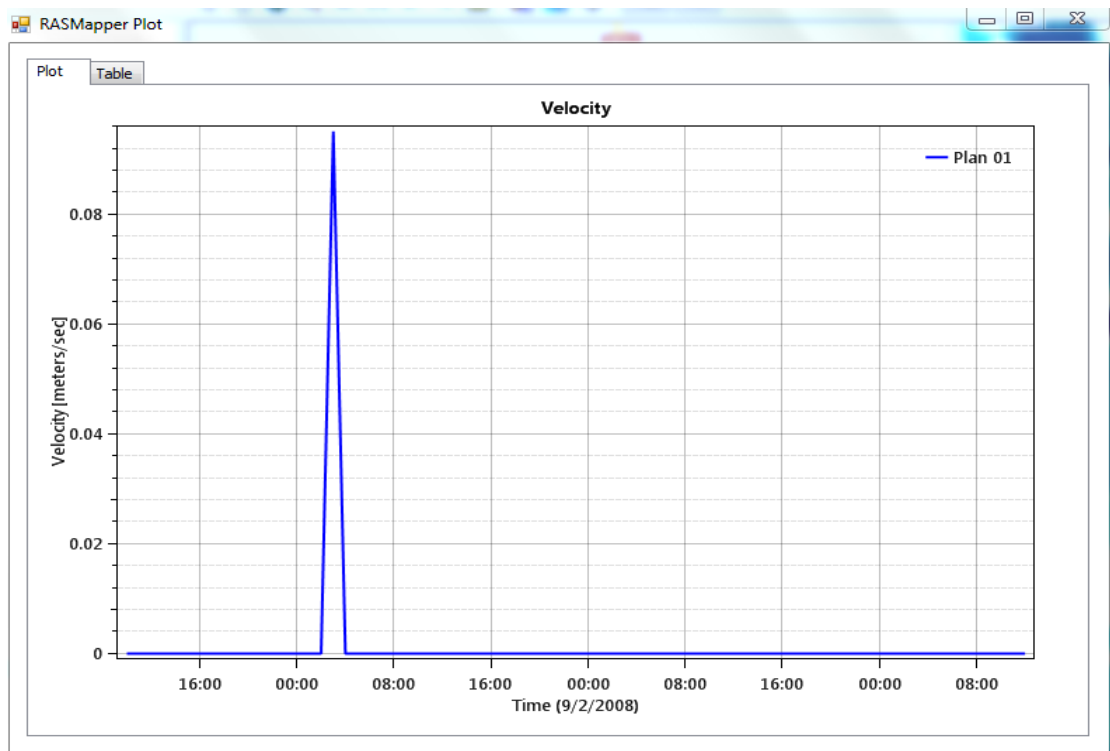


Figure V.12. Variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 (Site de tiklat)

Station(05) : Gare Ferroviare d'el Kseur

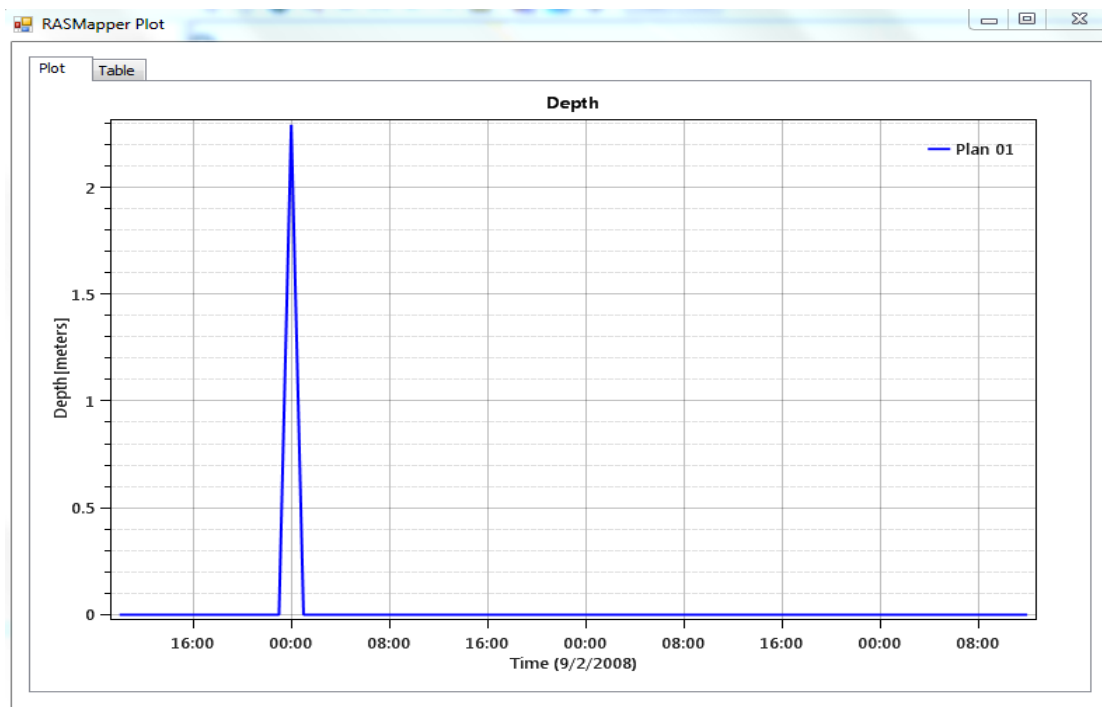


Figure V.13. Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Gare ferroviare d Elkseur)

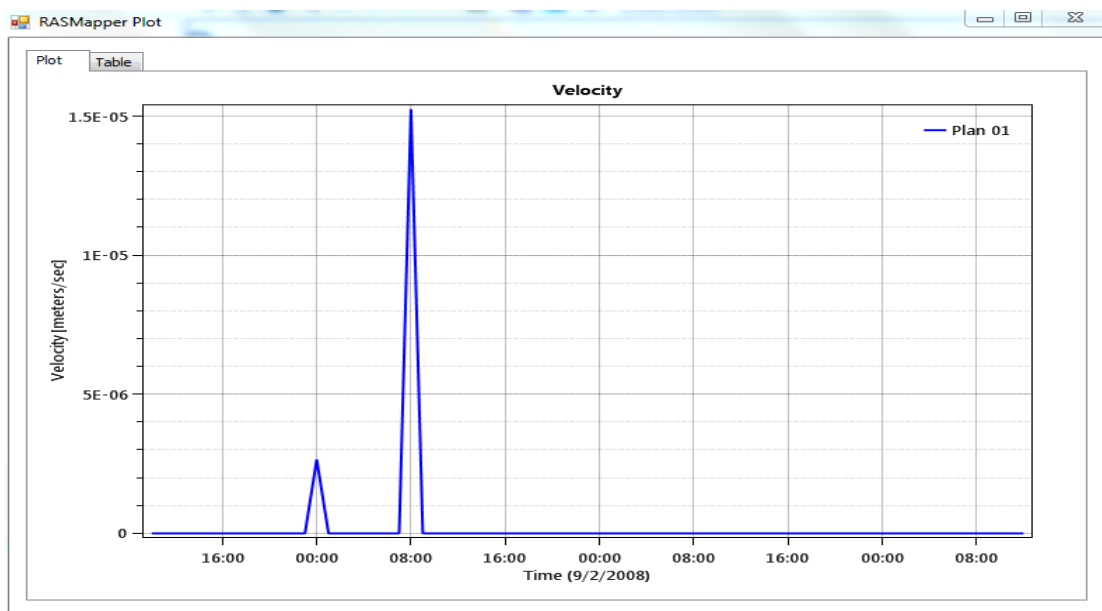


Figure V.14. Variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 (Gare ferroviare d Elkseur)

Station (06) : Centrale TG Amizour

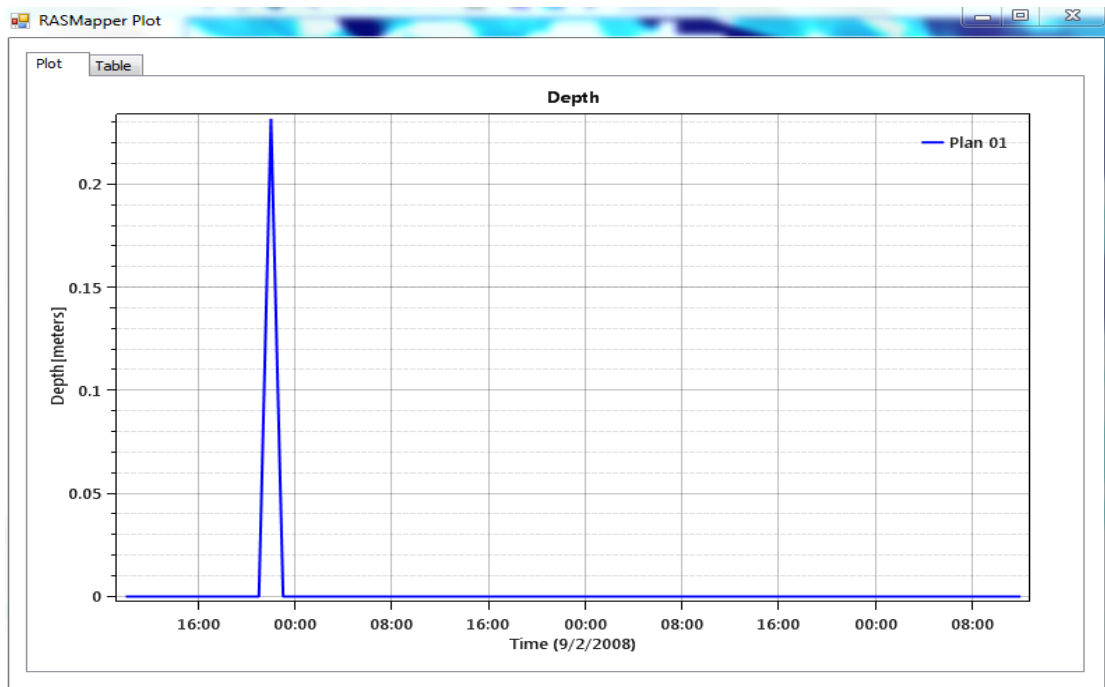


Figure V.15. Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Centrale TG Amizour)

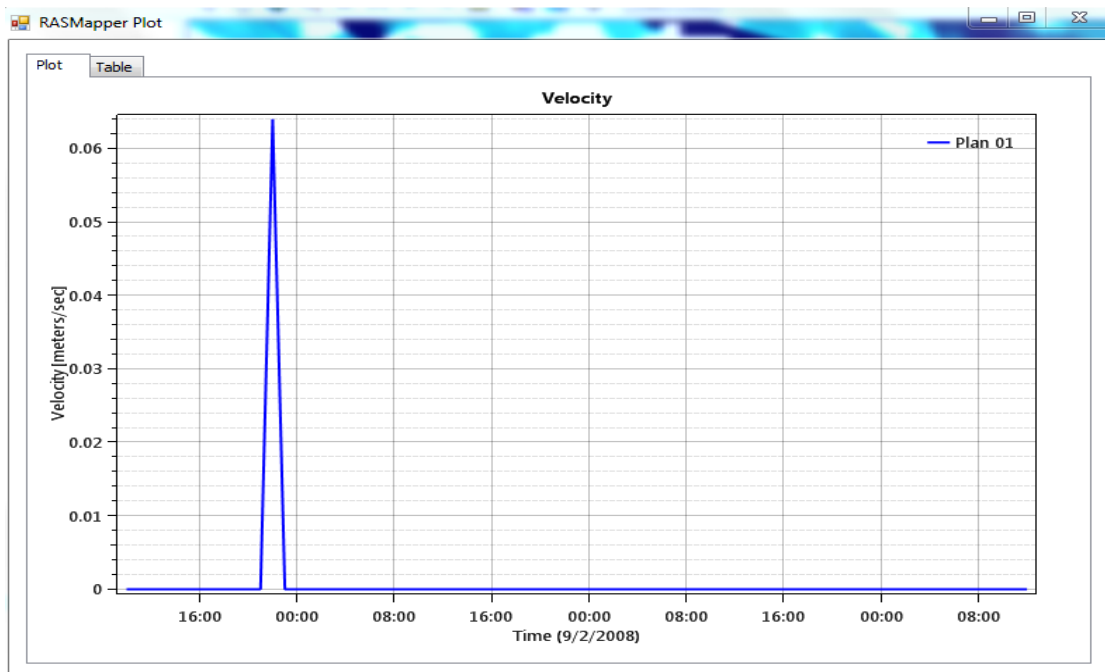


Figure V.16. Variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 (Centrale TG Amizour)

Station (07): Mercerie yessad

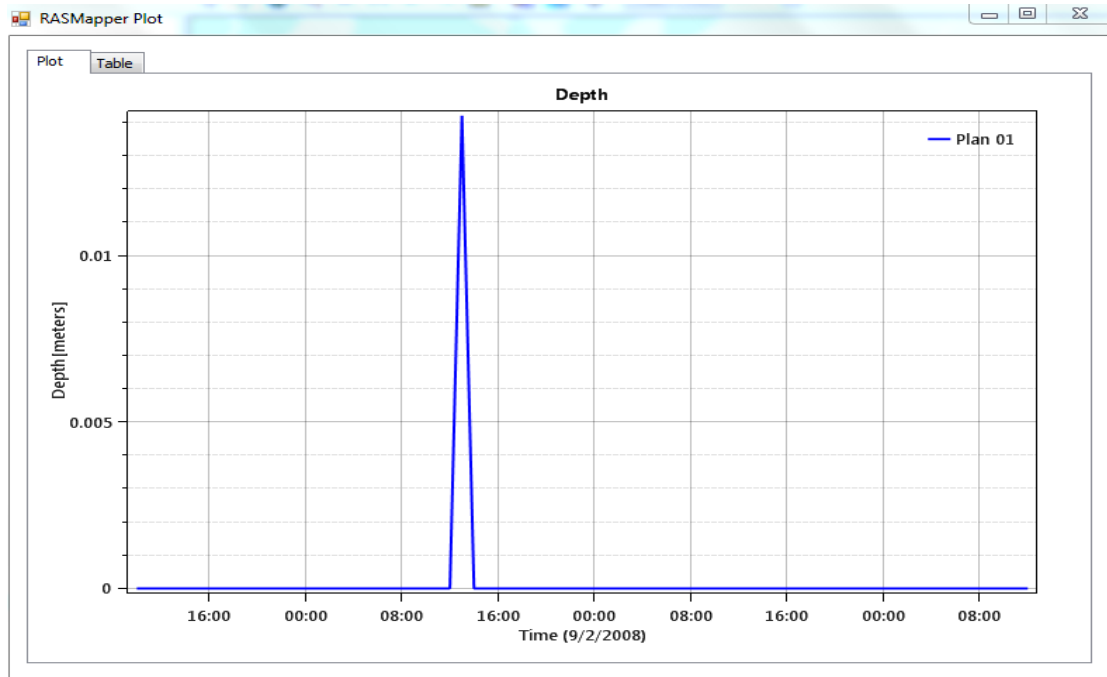


Figure V.17. Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans (Mercerie yessad)

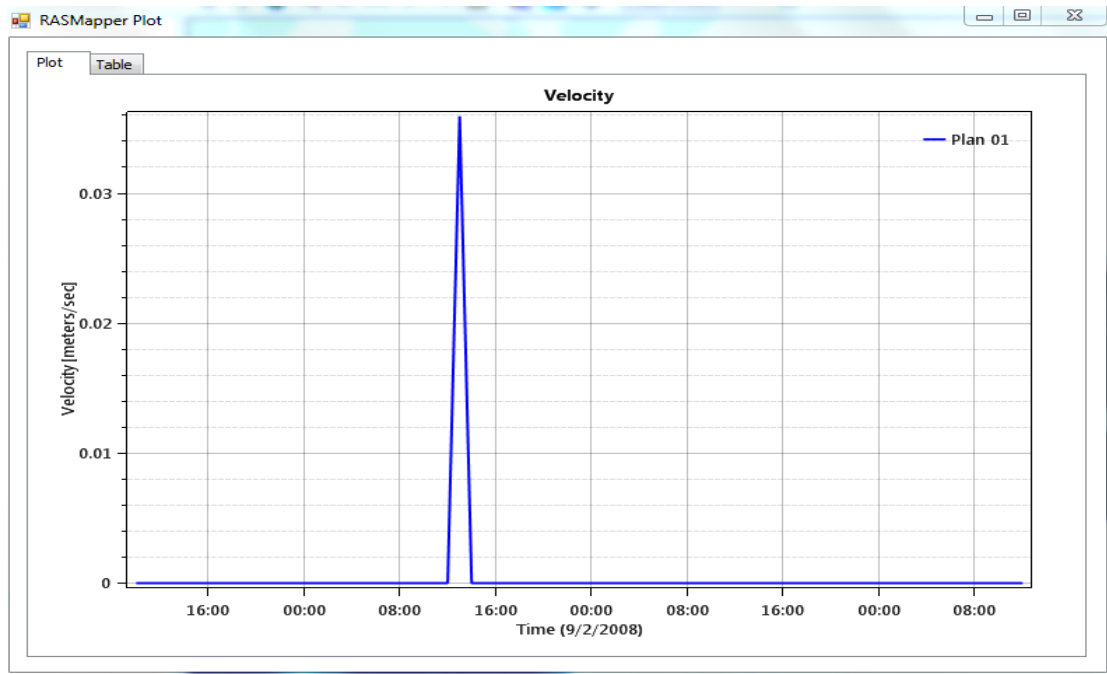


Figure V.18. Variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 (Mercerie yessad)

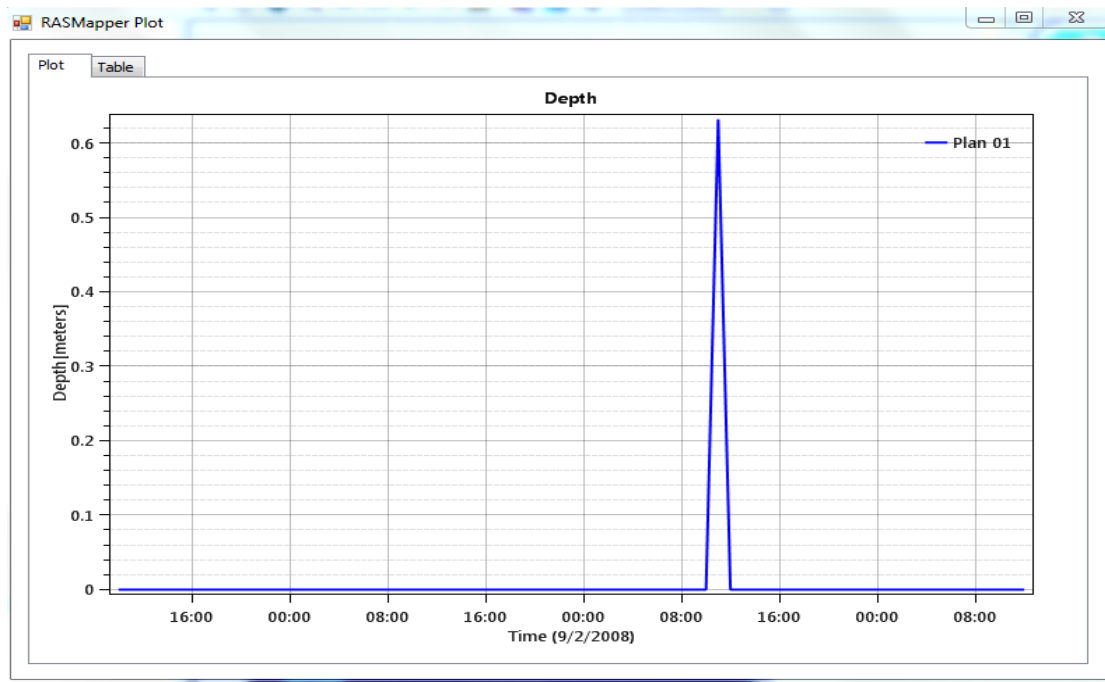
Station (8) : Sup reterie Family Market, Amizour

Figure V.19. Variation temporelle des profondeurs de l'eau pour T=100 ans
(Sup reterie Family Market, Amizour)

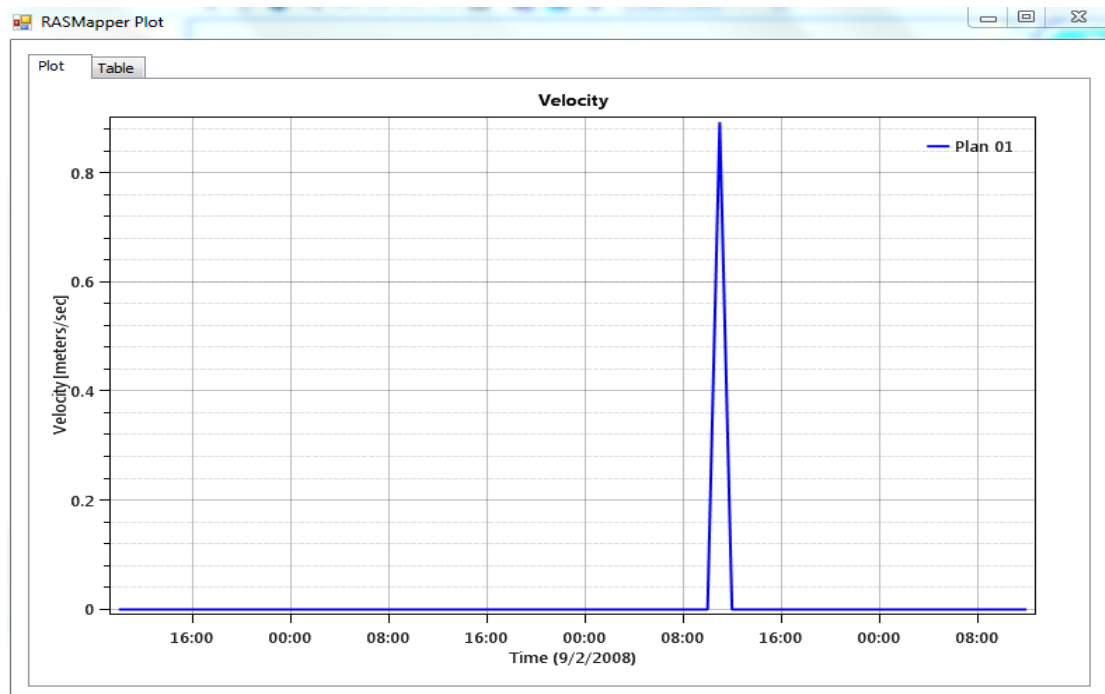


Figure V.20. variation temporelle de la vitesse de l'eau pour T=100 (Sup reterie Family Market, Amizour)

On récapitule dans le tableau N° V.2.: les valeurs maximales de la profondeur et la vitesse des différentes stations des mesures

Zone	Profondeur(max) h=m	vitesse (max) v=m/s
les moulins de Soummam (sidi aich)	11.2	0.15
Libererie Karim takhlicht	25	3.8
chateau d'eau, Ifenain Ilmathen	2.6	5.9
Site de tiklat	4	0.1
Gare ferroviare d Elkseur	2.4	1.5E – 0.5
Centrale TG Amizour	0.13	0.064
Mercerie yessad	0.015	0.036
Supérette Family Market, Amizour)	0.64	0.92

V.2.1. les aménagements de protection contre les inondations

Les ouvrages de génie civil constituent un patrimoine qu'il est nécessaire de ce qui permet maintenant d'assurer la sécurité des biens et des personnes aussi garantir le fonctionnement et la pérennité des ouvrages sur le long terme sont les priorités.

Il est donc essentiel de s'intéresser à la performance de ces ouvrages.

Les ouvrages de protection peuvent être répartis en deux groupes : directes et indirectes.

V.2.1. Protection directe (Rapprochées)

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

- **Curage** : qui permet une nette amélioration des conditions d'écoulement suite à l'élimination de tous les obstacles et les dépôts entravant l'écoulement des eaux dans le cours d'eau. Le débroussaillage est également nécessaire à la traversée des agglomérations pour des raisons sanitaires et en sections courantes pour diminuer la rugosité et accroître la débitance.
- **Recalibrage** : qui permet d'élargir et d'approfondir les sections des cours d'eau pour augmenter leur capacité d'évacuation des eaux et assurer une section mouillée répondant aux critères de protections désirées.
- **Renforcement des ouvrages** : de franchissements des Oueds et modification de leurs caractéristiques et des systèmes existants en cas de leur insuffisance (ponts, dalots, buses...).

Réalisation des canaux : permettant de régénérer le couloir initial de l'oued. Cette solution est indispensable dans le cas où le lit de l'oued et son domaine hydraulique ont été complètement occupé par des bâtiments ou par la voirie.

- **Protection des berges :** qui comprend tout ouvrage visant à maintenir la stabilité des terres en dépit de l'action de l'eau. Les berges sont en effet attaquées par des courants perturbateurs générés par les crues. De même, les terres glissent par suite de l'infiltration de l'eau après le retrait de la crue. La protection des berges est également nécessaire au voisinage de certains ouvrages tels que les ponts.

- **Endiguement des oueds :** par la réalisation de digues qui longent le cours d'eau sur ses deux berges. Cette opération est aisément réalisable par les ressources locales en main-d'œuvre et en matériaux. Par ailleurs, ce type de protection permet en outre de réaliser une protection sélective. Il peut en effet être établi graduellement en commençant par mettre à l'abri, de la plupart des crues, la partie la plus riche et la plus peuplée des zones exposées. En contrepartie on notera que ce procédé de protection présente l'inconvénient de provoquer une surélévation souvent notable du niveau des eaux et rend en outre plus difficile le drainage des terrains bas.

V.2.2 Protection indirecte (Eloignées)

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

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

L'ouvrage d'aménagement qui doit être mis en étude pour protéger la ville de Kseur contre le débordement de l'Oued Soummam est l'endiguement de ce dernier par la réalisation d'une digue. La figure (1) donne une section transversale d'une digue type

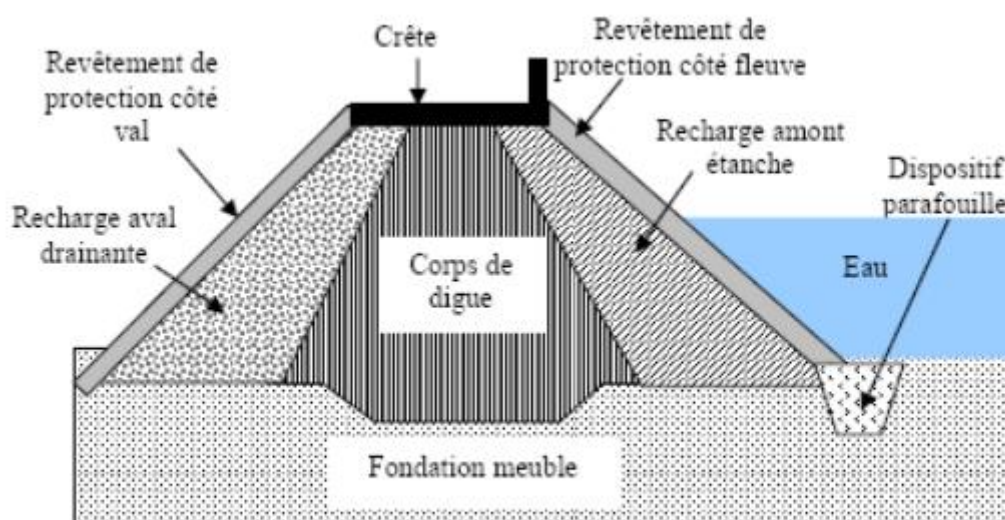


Figure V.21. Coupe type de digue

V.3 les digues de protection contre les inondations

V.3.1 Définition

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

V.3.2 Typologie des digues de protection contre les inondations

On trouve ces digues essentiellement le long des cours d'eau, parfois positionnées directement en contact avec la berge, ou éloignées de plusieurs mètres, ou plus (quelques centaines de mètres), de celle-ci, voir figure (-2)

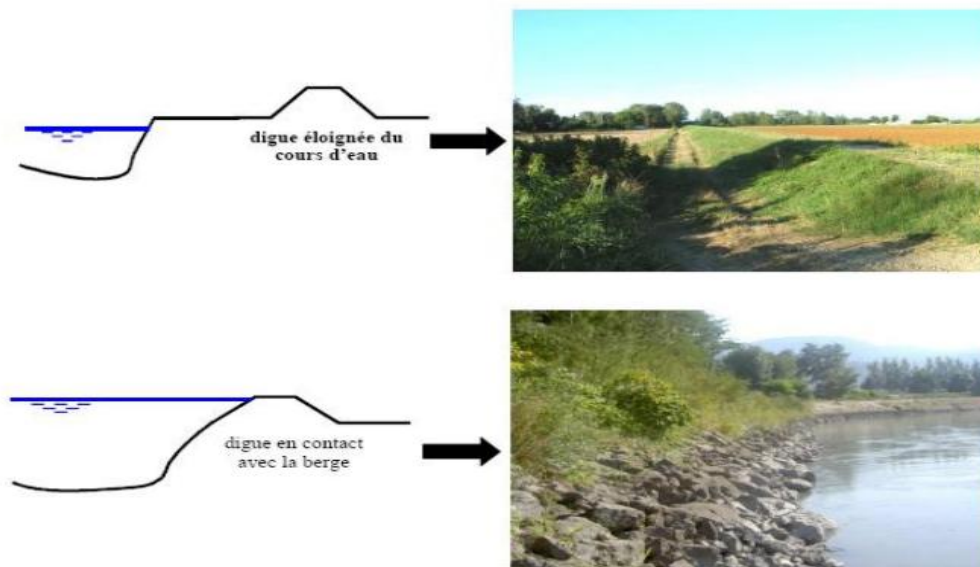


Figure V.22.Positionnement de la digue par rapport au cours d'eau

Conclusion :

Après l'étude des résultats de la simulation des crues de la vallée de la Soummam et le choix des zones les plus touchées par la crue, il était nécessaire de conclure à la nécessité de protéger les résidents de la vallée du danger d'inondation et de trouver des solutions appropriées, qui consiste à construire une diguette ou un mir de protection.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude de protection contre les inondations est un travail méthodique, qui consiste à suivre une procédure bien déterminée. Elle commence par le diagnostic du site d'étude dans le but de dégager l'ensemble des informations et caractéristiques nécessaires. Ensuite, une étude hydrologique est envisagée pour décrire le transfert pluie-débit au sein des bassins concernés, et dont le fruit correspond aux débits de différentes fréquences ou périodes de retour. L'exploitation des débits de pointe obtenus dans une étude hydraulique permet de décrire la propagation des crues dans les tronçons concernés sous différents aspects : hauteur, débit, vitesse... ces informations constituent la base de la délimitation des zones menacées par le risque d'inondation. Sur la base des résultats issus des études précédentes, la phase finale consiste à prendre les mesures adéquates pour la protection de la localité étudiée contre les débordements lors des crues. Pour notre cas, les études réalisées ont permis de délimiter les zones inondables au niveau de la ville Kseur. Nous avons déterminé les zones menacées fortement par le risque d'inondation, Les cartes obtenues ont permis aussi de visualiser la répartition de la profondeur des eaux, ce qui nous a aidés à proposer des aménagements adéquats (digette, murs de protections).

Bibliographie

- [1] : BACHI.M;problématique du risque inondation en milieu urbain ; cas de l'agglomération de Sidi Bel Abbès, Mémoire Pour l'Obtention du Diplôme de Magister en Hydraulique, Université Aboubakr Belkaïd –Tlemcen (2010/2011)
- [2] : BEN AMOR.M.F ; Etude de la protection de la commune de BOUARFA (Blida) contre les inondations, Projet de fin d'étude, ingéniorat, ENSH, BLIDA, Algérie, 2010.
- [3] : Carte d'occupation du sol 1/25 000 des wilayas : Bejaia, Bouira, Tizi Ouzou et Bordj Bou Arreridj) *l'institut national des sols, de l'irrigation et de drainage(INSID)*
- [4] : CHABANE.R, LABBAOUI.T ; étude de protection contre les inondations de la ville d'el bayadh (oued deffa) ; mémoire fin d'étude vue de l'obtention du diplôme de MASTER en Hydraulique
- [5] : Charifi S, 2006 : Application du modèle hydrologique GR2M sur les bassins versants de la Soummam et de l'Issir. Mémoire de magistère. Ecole National polytechnique. Alger.
- [6] : DHWB, 2006 : Etude de la protection de la ville de Bejaia contre les inondations (Rapport de la mission C « Hydrologie »).Bureau d'étude : INGEROP.
- [7] : Fiche Descriptive Ramsar de la Vallée de l'oued Soummam. (FDR- version 2006-2008)
- [8] : Jennifer Granja, cours modélisation hydraulique 1D/2D
- [9]: HEC-GeoRAS (User's Manuel version 10- May 2012)
- [10] : LABORDE.J.P ; Eléments d'hydrologie de surface, Ecole Polytechnique de l'Université de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS, 2009.
- [11] : Ladjal, R. (2013). Problématique de la mobilisation et de la préservation des ressources hydriques dans le Sersou (Bassin Cheliff amont Boughzoul) (Doctoral dissertation).
- [12]: Manuel ArcGIS Help Library 10.3
- [13]: Manuel HECRAS 5.0.3 (1D)
- [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] : MERABET Abbés (2006) : «Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbés contre les inondations», Mémoire de Magister, Université de Djilali Liabe-Sidi Bel Abbés.
- [16] : Mounir, L., Merabet, D., Arkoub, H., & Moussaceb, K. (2009). Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie). Science et changements plané-taires / sécheresse, 20(4), 360-366
- [17] : O.N.M (office nationale de météorologie).

[18]: Pham. T.G. 2018. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. International Soil and Water Conservation Research

[19] : site internet <https://www.unhcr.org/fr/>

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

[21] : Université des sciences de la terre de la géographie et de l'aménagement du territoire

[22]: 2D Modeling User's Manuel, version 5.0 (Februarys 2016)