

**Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique**

**Université Mohamed Boudiaf - M'sila**



**Faculté de Technologie**

**Département d'Hydraulique**

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du Diplôme**

**de MASTER**

**FILIERE : Hydraulique**

**Option : Ouvrages Hydrauliques et Aménagement**

**THEME**

**Etude du transport solide à l'estuaire du bassin versant de la  
Soummam par le logiciel HEC-RAS**

**Dirigé par :**

**Mr. MERZOUK Belkacem**

**Mr. MOKHTARI Elhadj**

**Présenté par :**

**TEBBANI Ridha**

**Promotion: 2015/2016**



# *Dédicace*

*A ma mère*

*A mon père*

*A mes frères*

*A mes sœurs*

*A toute ma grande famille TEBBANI*

*A tous mes amis*

*Je dédie ce travail*



## *Remerciements*

*Je tiens à exprimer tous mes remerciements et mes profondes gratitude  
à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de ce  
travail.*

*Au directeur principal de ce mémoire, **Mr MERZOUK BEL KACEM** et  
en plus **EL HADJ MOKHTARI** pour sa patience, ses directives  
enrichissantes et sa disponibilité ainsi que pour ses qualités humaines.*

*Enfin, j'adresse mes remerciements à toute l'équipe d'encadrement de  
département hydraulique de université de M'sila.*

---

## Chapitre I : Description de la zone d'étude

I.1.Historique et généralité .....	2
I.2.Situation géographique.....	2
I.3.Découpage administratif.....	3
I.4.Le relief.....	4
I.5.La géologie .....	5
I.6.Ecologie de la Soummam .....	6
I.7.Climatologie .....	7
I.7.1.Les précipitations .....	7
I.7.2.La température de l'air .....	8
I.8.Ressources et potentialités hydriques.....	9
I.8.1.Ressources sous terraines.....	9
I.8.2. Ressources superficielles .....	9
I.9.Le couvert végétal .....	11
I.10.Origine de la pollution de l'Oued Soummam.....	12
I.10.1. Pollution d'origine urbaine .....	12
I.10.2. Pollution d'origine industrielle.....	13
I.10.3.Pollution d'origine agricole .....	14
I.10.4.Pollution des eaux souterraines.....	14

## Chapitre II : Un aperçu sur le transport solide

II.1. Introduction .....	15
II.2. Le transport solide .....	15
II.2.1. Le transport solide par charriage.....	16
II.2.2. Le transport solide en suspension.....	16
II.3. Facteur influençant l'érosion .....	17
II.3.1. Influence du climat.....	17

II.3.2. Influence du sol .....	17
II.3.3. Facteurs topographiques.....	17
II.3.4. Facteurs géologiques et pédologiques.....	17
II.3.5. Le couvert végétal .....	18
II.3.6. Les labours inadaptés.....	18
II.4. Méthode de quantification de l'apport solide en Algérie.....	18
II.4.1. Formule de tixeront (1960).....	18
II.4.2. Modèle de Sougreah (1969).....	19
II.4.3. Formule de Fournier.....	19
II.4.4. Formule de l'ANRH.....	19
II.4.5. Formule de Gavrilovic .....	20
II.5. Autres formules du transport solide .....	21

## Chapitre III : Présentation du logiciel HEC-RAS

III.1. Introduction.....	26
III.2. Un aperçu rapide de HEC-RAS.....	26
III.2.1. Terminologie utilisée.....	26
III.2.2. Fonctionnement de HEC-RAS.....	28
III.3. étapes de la modélisation.....	32
III.3.1. Projet.....	32
III.3.2. Géométrie des sections.....	33
III.3.3. Débits et conditions limites.....	36
III.3.4. Simulation hydraulique.....	37
III.3.5. visualisation des résultats.....	38
III.4. Modélisation d'un écoulement non permanent.....	39
III.4.1. Définition de la géométrie.....	39
III.4.1.1. La description du logiciel WMS.....	39
III.4.1.2. Méthodologie suivie .....	40
III.4.1.3. Passage de WMS au HECRAS .....	41
III.5. Préparer un modèle conceptuel.....	44
III.5.1. Définition des conditions initiales.....	44

III.5.2. Définition des conditions aux limites.....	45
III.5.3.Simulation hydraulique.....	46
III.5.4. Visualisation des résultats.....	47
III.6.Conclusion partielle.....	48

## **Chapitre IV : Application du logiciel HEC-RAS**

IV.1.Introduction .....	48
IV.2. Les données nécessaires pour la simulation.....	48
IV.2.1. Coefficient de Manning-Strickler .....	48
IV.2.2. Les débits des crues .....	48
IV.2.3. La granulométrie.....	48
IV.3. Les étapes de la modélisation.....	49
IV.3.1. Création d'un MNT des lits de l'Oued.....	50
IV.3.2. Le passage de WMS au HEC-RAS .....	50
IV.4.Quelques sections sur fenêtre (Cross Section Data).....	51
IV.5.Visualisation des résultats .....	58
IV.5.1.Les résultats de simulation .....	58
IV.6. Comparaison des résultats obtenus .....	82

Figure I.1 1 : La situation de la zone d'étude par rapport au bassin hydrographique .....	3
Figure I.1 2 : Situation de la zone d'étude par rapport aux wilayas limitrophes.....	4
Figure I.1 3: Carte du relief du bassin versant de la Soummam .....	5
Figure I.1 4: Etages bioclimatiques du bassin de la Soummam.....	9
Figure I.1 6: Carte de répartition des associations forestières dans le bassin versant de Soummam .....	12
Figure I.1 1: Structure des fichiers d'un projet.....	27
Figure I.1 2: Fenêtre principale de HEC-RAS .....	28
Figure I.1 3: Menu dans HEC-RAS .....	29
Figure I.1 4: Barre d'outils dans HEC-RAS .....	31
Figure I.1 5: Fenêtre New Project .....	32
Figure I.1 6: Fenêtre de la géométrie .....	34
Figure I.1 7: Fenêtre cross section .....	34
Figure I.1 8: Fenêtre Steady Flow Data .....	36
Figure I.1 9: Fenêtre Steady Flow Analysis.....	37
Figure I.1 10: Fenêtre Profil d'eau.....	38
Figure I.1 11: Fenêtre Profil d'eau 3D.....	39
Figure I.1 12: Fenêtre géométrie (WMS projet géométrie) .....	44
Figure I.1 13: Fenêtre conditions initiales.....	45
Figure I.1 14: Fenêtre conditions aux limites (boundary condition).....	46
Figure I.1 15: Fenêtre Unsteady Flow Simulation .....	47
Figure I.1 16: Evolution de la hauteur d'eau maximale en fonction du débit .....	48
Figure I.1 1: MNT TIN du bassin versant.....	50
Figure I.1 2: La géométrie après l'exportation de WMS à HEC-RAS.....	50
Figure I.1 3: Variations Débits avec Tim.....	59
Figure I.1 4: Variations des Masses Out avec Tim .....	59
Figure I.1 7: Variations des Flow avec Tim.....	61
Figure I.1 8: Variations des Flow avec Tim.....	61
Figure I.1 9: Variations des Masses Out avec Débits .....	62
Figure I.1 10: Variations des Masses Out avec Débits .....	66
Figure I.1 11: Variations des Masses Out avec Débits .....	68
Figure I.1 12: Variations des Masses Out avec Débits .....	70
Figure I.1 13: Variations des Masses Out avec Tim .....	70
Figure I.1 16: Variations des Masses Out avec Débits .....	74
Figure I.1 17: Variations des Masses Out avec Tim .....	74
Figure I.1 18: Variations des Masses Out avec Débits .....	76
Figure I.1 19: Variations des Masses Out avec Tim .....	76
Figure I.1 20: Variations des Masses Out avec Débits .....	78
Figure I.1 21: Variations des Masses Out avec Tim .....	78
Figure I.1 22: Variations des Masses Out avec Débits .....	80
Figure I.1 23: Variations des Masses Out avec Tim .....	81
Figure I.1 24: Variations des Masses Out avec Débits .....	82
Figure I.1 25: Variations des Masses Out avec Tim .....	83
Figure I.1 26: Variations des Masses Out avec Débits .....	84

Tableau 1: Moyennes mensuelles des précipitations de la région de Bejaia en 2010 .....	8
Tableau 2: Températures minimales et maximales et leurs moyennes mensuelles de la région de Bejaia en 2010.....	8
Tableau 3: Principaux affluents de l'Oued Soummam.....	11
Tableau 1: Principales caractéristiques des formules de transport[24] .....	23
Tableau 1: Le coefficient de Manning de chaque matériau.....	48
Tableau 2: Les débits des crues utilisées.....	49
Tableau 3: Granulométrie de la rivière étudiée .....	49
Tableau 4: caractéristiques hydrauliques.....	58
Tableau 5: Valeurs Masse Out .....	62
Tableau 6: caractéristiques hydrauliques.....	63
Tableau 7.....	64
Tableau 8.....	66
Tableau 9: caractéristiques hydrauliques.....	67
Tableau 10: caractéristiques hydrauliques.....	68
Tableau 11: caractéristiques hydrauliques.....	69
Tableau 12: Valeurs Masse Out .....	69
Tableau 13.....	71
Tableau 14.....	72
Tableau 15: Valeurs Masse Out .....	73
Tableau 16: caractéristiques hydrauliques.....	75
Tableau 17.....	75
Tableau 18: caractéristiques hydrauliques.....	77
Tableau 19: Valeurs Masse Out .....	77
Tableau 20: caractéristiques hydrauliques.....	79
Tableau 21: Valeurs Masse Out .....	79
Tableau 22.....	81
Tableau 23: Valeurs Masse Out .....	82
Tableau 24: caractéristiques hydrauliques.....	83
Tableau 25: Valeurs Masse Out <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	

## **Résumé**

L'objectif de cette étude est de définir une méthodologie pour la quantification du transport solide dans un tronçon de rivière (Sidi Aich - Béjaia) du bassin versant de l'Oued Soummam par l'application du logiciel HEC-RAS.

Trois fonctions de transport (*Ackers-white*, *Engelund et Laursen*) en utilisant la fonction d'évolution du lit sédimentaire d'*Exner* et la fonction de vitesse de sédimentation de *Ruby* ont été testées pour différentes crues. Les résultats trouvés ont été comparés avec un autre travail dans la littérature et ceux observés par la station hydrométrique de Sidi Aich (ANRH).

*Mots clés* : Bassin versant Oued Soummam, Transport solide, HEC-RAS, WMS.

## **Abstract**

The aim of this study is to define a methodology for the quantification of the sediment transport in a reach of river (Sidi Aich - Béjaia) of the Soummam Wadi watershed by the application of HEC-RAS and WMS software.

Three functions of transport (*Ackers-white*, *Engelund and Laursen*) by using the function of evolution of the sedimentary bed of *Exner* and the function of sedimentation velocity of *Ruby* were tested for various floods. The found results were compared with an other work in the literature and those of the hydrometric station of Sidi Aich (ANRH).

*Keywords* : Soummam Wadi watershed, Sediment transport, HEC-RAS, WMS.

## **Introduction générale**

Les écoulements en rivière et le transport des sédiments qu'ils induisent ont fait l'objet de plusieurs recherches au cours des années. Dans la pratique, une grande variété de situations peut se présenter notamment la morphologie de chaque rivière, les crues, la quantité des sédiments, la différenciation entre les transports en charriage et en suspension.

D'après plusieurs études sur le transport solide, la matière première du débit solide dans les cours d'eau vient de l'érosion de surface, c'est-à-dire la désagrégation du sol suite aux diverses activités humaines, le vent, l'impact des gouttes de pluie, le ruissellement ... Lorsque les matériaux arrachés ont atteint le cours d'eau, ils sont alors transportés par le courant.

Les estuaires sont un enjeu touristique et économique important. Les matières en suspensions transportées de l'amont jusqu'à l'aval et qui constituent une importante source de pollution perturbant ainsi le milieu aquatique et estuarien.

L'estuaire du bassin versant de la Soummam reçoit une partie importante du volume des rejets urbains et industriels, en plus des eaux très chargées par les matières en suspension qui viennent de l'amont. C'est justement dans cette problématique d'estimation de flux sédimentaire charrié par l'Oued Soummam vers la mer méditerranée (Sidi Aich – Béjaia), que nous allons mener cette étude en utilisant le logiciel HEC-RAS.

Ce mémoire comprend quatre chapitres et une conclusion générale organisés de la manière suivante:

Le **chapitre I** sera consacré à la description de la zone d'étude. Un aperçu sur le transport solide sera développé dans le **chapitre II**. La présentation du logiciel HEC-RAS sera abordée dans le **Chapitre III**. L'application du logiciel HEC-RAS fera l'objet du **chapitre IV**. Enfin, une conclusion générale pour résumer le travail réalisé.



**Chapitre I : Description de la zone d'étude**

## **Chapitre I : Description de la zone d'étude**

### **I.1.Historique et généralité**

L'estuaire de la Soummam est la partie finale de l'Oued Soummam (coté de la mer) qui fait partie du bassin versant de la Soummam (Fig. I.1), en effet c'est le troisième grand cours d'eau en Algérie, et il résulte de la jonction en amont d'Akbou de deux Oueds importants : l'Oued Boussellam qui descend du plateau Sétifien (Fermatou) orienté vers l'Est et l'Oued Sahel formé par la confluence de l'Oued Ziane et l'Oued Ed-Dhous provenant de Bouira, orienté vers l'Ouest.

Actuellement les eaux de l'oued Soummam, qui se déversent dans le golf de Béjaia offrent le triste spectacle des rejets domestiques et industriels. L'Oued Soummam qui serpente à travers plusieurs villages de la Wilaya de Béjaia et qui est utilisé par certaines communes comme "fosse septique" n'est malheureusement pas isolé et il est devenu de nos jours un très bon réceptacle des eaux usées industrielles ainsi que d'eaux usées domestiques, même les décharges sauvages investissent la vallée [1].

### **I.2.Situation géographique**

D'une superficie de 9125Km<sup>2</sup>, le bassin versant de la Soummam est situé dans la partie Nord-est de l'Algérie à mi-chemin entre la ville d'Alger et la ville de Constantine, exactement entre les méridiens 3° 38' et 5° 38' et les parallèles 35° et 36° 45'. Il est limité au Nord par les chaînes montagneuses du Djurdjura et ses contreforts qui s'étendent jusqu'à la mer Méditerranée, au Sud par les contreforts des monts du Hodna, à l'Est par les chaînes des Babors et le plateau de Sétif et à l'Ouest par le plateau de Bouira.

Le bassin versant de la Soummam porte selon la codification de l'ANRH le N°15. Il est limitrophe de plusieurs bassins versants (Fig. I.1). Limité au Nord, par le bassin de l'Oued Sebaou(code 02b) et par celui du côtier Algérois (code 02a), au Nord-est par le bassin versant de l'Oued Kébir Rhumel (code 10) et par le bassin versant du côtier Constantinois (code 03), à l'Est par les basses hauts plateaux Constantinois (code 07) ; au Sud par le bassin de Chott El Hodna (code 05), et à l'Ouest par le bassin de l'Oued Isser (code 09) [2].

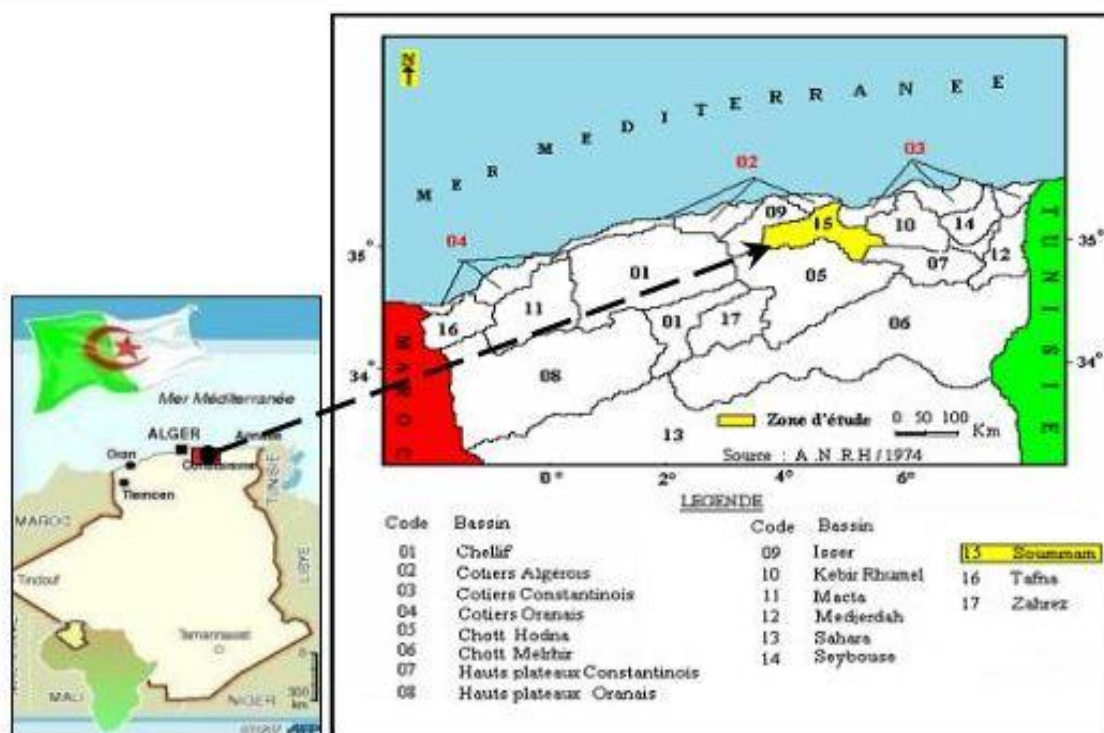


Figure I.1 1 : La situation de la zone d'étude par rapport au bassin hydrographique

### De l'Algérie du nord

Le bassin versant de l'Oued Soummam est dans ses grandes lignes constitué, sur la rive gauche, par de l'oligocène vers épar des formations du crétacé inférieur ; du miocène inférieur apparaît dans la partie aval, en bordure de l'Oued de terrasses alluviales importantes tapissent en générale pied des pentes sauf dans la région de Sidi-Aich où le crétacé apparaît jusque dans le lit. Le versant rive droite est en majeure partie formé de crétacé inférieur moyen et supérieur ; les terrasses alluviales sont beaucoup plus restreintes. Les terrains rencontrés sont généralement imperméables : argilo grès de l'oligocène, schistes de l'alboaptien, marno calcaires du crétacé [3].

### I.3. Découpage administratif

Selon le découpage administratif, la zone d'étude couvre quatre wilayas, Béjaïa, Bouïra, Sétif et Bordj Bou Arréridj (Fig. I.2) [2].



Figure I.1 2 : Situation de la zone d'étude par rapport aux wilayas limitrophes

#### I.4. Le relief

Le relief joue un rôle important sur le comportement hydrologique d'un bassin, il détermine en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement, l'infiltration et la vaporisation. Le relief de la Soummam présente une forme assez irrégulière ; au nord, le bassin est limité par les chaînes de Djurdjura, au sud par les montagnes de Bibans et des Djebels Mansourah, à l'Est par les montagnes de la petites Kabylie. En allant de Bouira vers Akbou, l'orographie du bassin est très prononcée, l'altitude n'est en aucun en droit inférieur à 1500m. C'est dans cette région, près de Maillot (M'Chedallah) qu'est situé le point culminant (Lalla Khedidja) de la Soummam (2308m). L'altitude diminue graduellement en avançant d'Akbou vers la mer. Les montagnes de la petite Kabylie sont également prononcées de point de vue altitude, leur plus haut sommet atteint 2004 m au Djebel Babor. De même les chaînes montagneuses du sud ne restent pas orthographiquement en arrière par rapport aux massifs cités précédemment, les pics sont atteint aux Bibans 1832 m et Djebel Mansourah 1836m [4].

La longueur de la vallée (longueur du lit majeur) est de 65 km pour une dénivellation de 166 m, soit une pente moyenne de 2,5‰. La longueur développée suivant le lit mineur (basses eaux) est de 90 km, soit une pente moyenne de 1,85‰. La pente varie de 3,0 ‰ à 3,5‰ entre Akbou et Takrietz. Puis l'on note au passage des gorges de Takrietz et de Sidi Aich un adoucissement

notable, la pente étant de l'ordre de 2 ‰. A l'aval de Sidi Aich, la rivière retrouve une pente plus forte, de l'ordre de 3‰ qui varie ensuite régulièrement jusqu'à l'embouchure où elle est de l'ordre de 0,2 ‰ [4].

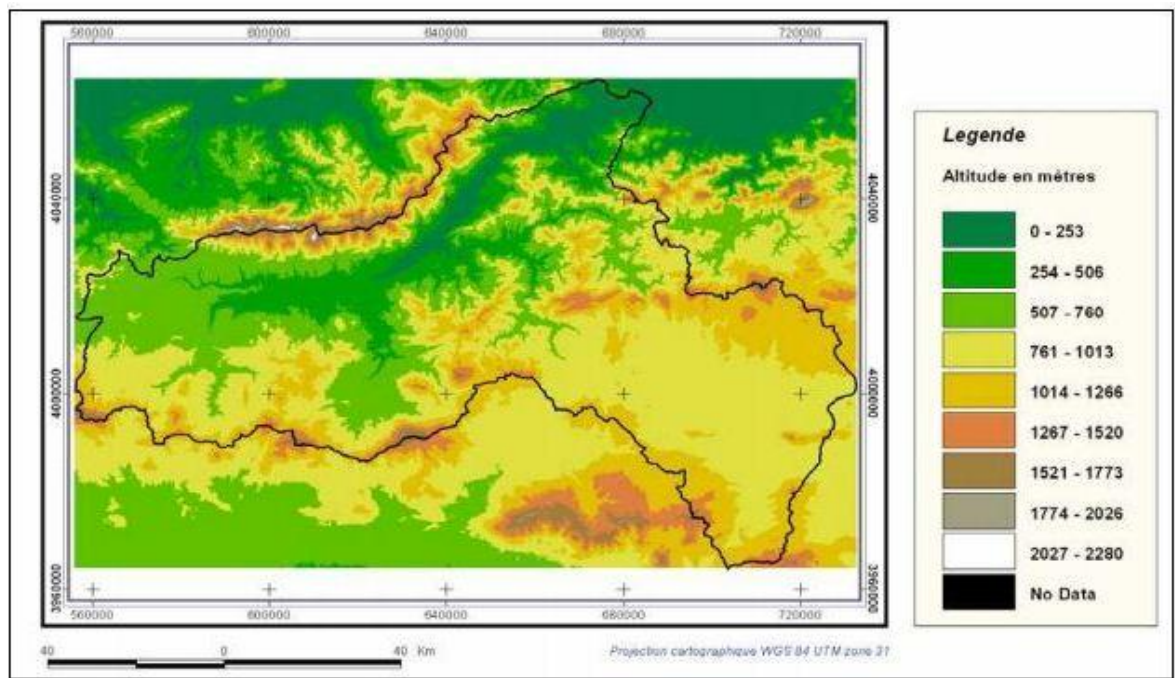


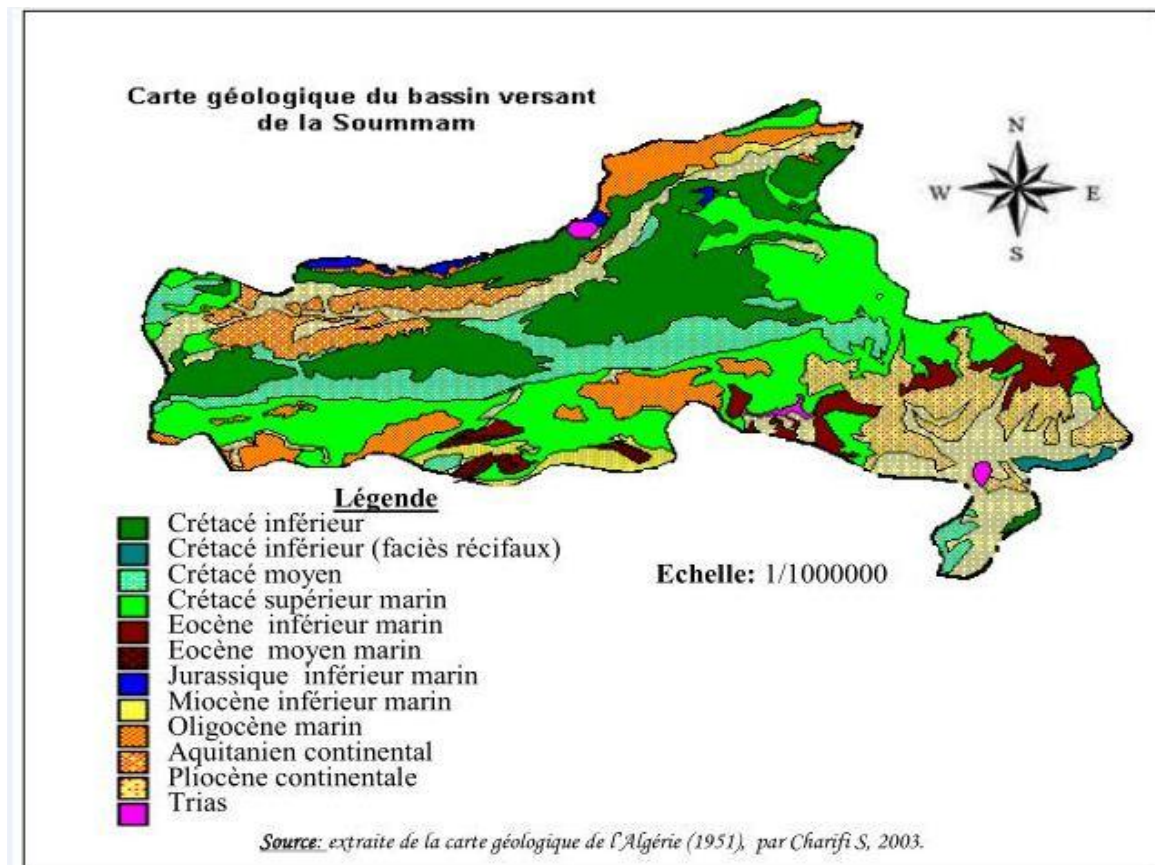
Figure I.1 3: Carte du relief du bassin versant de la Soummam

### I.5.La géologie

Il y a une complexité géologique des terrains formant le bassin versant de la Soummam, on distingue:

- **Le Quaternaire** : représenté par des alluvions le long des Oueds et au niveau des hautes plaines.
- **Le Pliocène Continental** : le coteau du Sahel est couronné par des graviers siliceux et fluviaux. Ailleurs, il est conglomératique sinon caillouteux.
- **Le Miocène** : il s'agit essentiellement du Miocène inférieur. Il est continu depuis l'ouest de Bejaia jusqu'aux environs de Sidi Aich. Il affleure également du côté de Djebel Mansourah sous forme de grés.
- **L'Oligocène** : il est généralement argilo-gréseux. Il affleure en abondance à partir de Tazmalt et de part et d'autre de la vallée de la Soummam, en allant vers l'ouest. On note également sa présence au niveau de la chaîne de Gouraya et de la région de Béni-Mansour.
- **L'Eocène** : il est quasiment marneux, parfois calcaro-marneux. Il affleure surtout au niveau des hautes plaines.

- **Le Crétacé** : se présente, en général, sous forma de flysch. Il est étendu, continu depuis la chaîne des Bibans jusqu'aux montagnes de la petite Kabylie. Le faciès est marneux au Crétacé supérieur (Sénonien). Il est schisteux, sous forme de bancs de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur avec quelques intercalations de grès au crétacé moyen (Albien) et apparaît dans la région de Béni-Mansour et la chaîne des Bibans. Il est gréseux pélitique, parfois carbonaté-gréseux au crétacé inférieur.
- **Le Jurassique** : il affleure surtout au niveau de la chaîne calcaire et le long de sa continuité vers l'est. Il est principalement calcaire-dolomitique.
- **Le Trias** : il est de faciès gypso-salin et apparaît le long de contacts anormaux (contact des nappes de charriage) dans le Tell méridional et est présenté par des conglomérats et des grès rougeâtres dans le Tell septentrional [5].



**Figure I.1 4 : Carte géologique du bassin versant de la Soummam**

### **I.6. Ecologie de la Soummam**

Le bassin de la Soummam est particulièrement varié au point de vue écologique (et donc agronomique) du fait de l'interférence entre l'accroissement de la sécheresse vers le sud d'une part et le compartimentage du relief de l'autre. Les chaînes constituent des obstacles au mouvement des masses d'air, qu'elles viennent du Sahara et soient des séchantes ou qu'elles

soient issues de la Méditerranée donc riches en vapeur d'eau. Les reliefs raides et élevés provoquent aussi une élévation des masses d'air favorable aux condensations, notamment aux averses violentes de connexion. Ils introduisent aussi un étagement qui permet à la neige de persister des semaines sur le flanc des hautes crêtes du Djurdjura, à quelques kilomètres des oranges de la vallée. Enfin, la lithologie, la nature des roches vient encore introduire des différences supplémentaires au niveau de la nature des sols [6].

## **I.7.Climatologie**

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

Une région de montagne ne subira pas le même climat qu'une plaine. Une vallée située sur le versant d'une montagne n'a pas le même climat qu'une autre vallée sur le versant opposé, même si les deux sont à la même altitude [7].

Le climat du bassin versant de la Soummam, montre une série de transition entre climat humide, dans les montagnes proches de la Méditerranée, et climat semi-aride des hautes-plaines (environ Sétif). Mais partout les averses sont fréquentes et règne aussi en été une sécheresse prolongée. Les argiles se dessèchent, se fendillent, ce qui favorisant certaines phénomènes (ruissellement, mouvement de masse et surtout nuit à la végétation) [8].

### **I.7.1.Les précipitations**

Selon la situation géologique et la saison, les précipitations se caractérisent par des intensités, une durée et une fréquence très différentes. Les pluies peuvent être de très fortes intensités, ou alors être très faibles et persister plusieurs jours durant [8]. La pluviométrie de la Wilaya dépasse généralement 600 mm/an. Dans les montagnes, elle atteint 1000 mm et ne descend en dessous de 600 mm que dans la vallée de la Haute-Soummam et les montagnes d'Ighil Ali [9]. En fait, plus on pénètre dans la vallée de la Soummam à partir de Béjaia, plus les précipitations diminuent. C'est la conséquence de l'effet de barrière de la chaîne de Djurdjura vis-à-vis des vents humides venant du nord-ouest, d'une part, et de l'effet de continentalité (la vapeur d'eau diminue si la distance de la mer augmente).

La part prépondérante des précipitations se limite aux mois d'hiver, les mois d'été sont secs (climat méditerranéen). Dans la vallée, il ne neige pratiquement jamais. Dans les montagnes, on

enregistre, en moyenne, un minimum de 5 jours/an et un maximum de 10 jours/an de précipitations neigeuses [10].

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations de la région de Bejaia sont représentées dans le tableau suivant.

**Tableau 1: Moyennes mensuelles des précipitations de la région de Bejaia en 2010**

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	AU	S	O	N	D	Total annuel moyen
Précipitation (mm)	53	55	107	44	57	38	1	6	39	135	162	70	63.92

*Source: Office National de la Météorologie Bejaïa, 2010.*

### I.7.2. La température de l'air

La température est un élément majeur dans les phénomènes de condensation et d'évaporation de l'eau, et constitue un terme essentiel dans la définition du déficit d'écoulement [11]. Au niveau des cours d'eau, les variations de températures suivent celle de l'air même si elles sont de plus faibles amplitudes. Les êtres vivants ne peuvent subsister que dans un intervalle de température comprise entre 0 et 50 °C en moyenne, ces températures étant compatibles avec une activité métabolique normale [12].

La région de la Soummam est sous la dépendance de trois types de climat : climat littoral tempéré sur le cours inférieur de l'Oued Soummam, climat de l'Atlas Tellien sur la moyenne Soummam et sur une partie du haut bassin de la Soummam (Oued Sahel - cours inférieur de l'Oued Boussellam) et climat des hautes plaines sur le haut bassin de l'Oued Boussellam. Une carte des étages bioclimatiques est représentée dans la figure (I.5).

Les vents dominants sont marins à dominance Nord-Ouest et s'engouffrent facilement dans la vallée de la Soummam durant toute l'année.

**Tableau 2: Températures minimales et maximales et leurs moyennes mensuelles de la région de Bejaia en 2010**

Période	Mois	J	F	M	A	M	J	JU	AU	S	O	N	D
2010	T	17	19	19	21	23	26	30	30	28	25	20	19
	T'	8	9	10	13	13	17	20	21	19	16	12	9
	Moy.	12.1	12.5	14.5	17	18	21.5	25	25.5	23.5	20.5	16	14

*Source: Office National de la Météorologie Bejaïa, 2010.*

**T** : Moyennes annuelles des maximas thermiques

**T'** : Moyennes annuelles des minimas thermiques

**Moy** : Températures moyennes mensuelles.

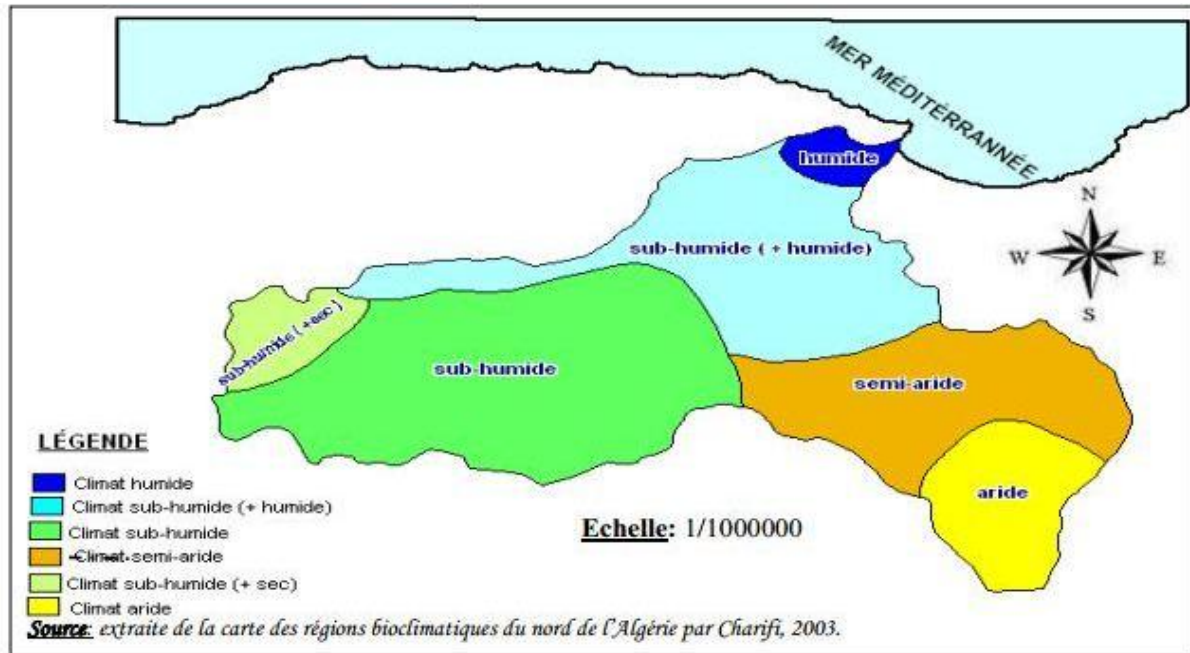


Figure I.1 4: Etages bioclimatiques du bassin de la Soummam

## I.8. Ressources et potentialités hydriques

Les eaux de l'oued Soummam sont d'origine diverses et les principales ressources sont les eaux souterraines et les eaux de surfaces.

### I.8.1. Ressources sous terraines

Il a été mis en évidence la présence sous les alluvions d'un réservoir s'étalant de Tazmalt à Sidi-Aich et de Sidi-Aich à Béjaia. La division en deux zones de cette réserve se justifie par la présence à Sidi-Aich d'un seuil géologique qui, de point de vue hydraulique, constitue en quelque sorte une barrière. L'alimentation des deux nappes se fait par l'oued Sahel, et l'Oued Boussellam qui sont les affluents les plus importants de l'Oued Soummam (Fig. I.6) [9].

### I.8.2. Ressources superficielles

Le bassin versant de l'oued Soummam est entaillé de nombreux cours d'eaux, dont le principal est l'Oued Soummam avec des débits qui montrent des grandes irrégularités inter-mensuelles et saisonnières. A son embouchure, il présente un apport annuel moyen de 700 m<sup>3</sup>/an qu'il déverse dans la méditerranée [9].

Les principaux affluents de l'Oued Soummam sont donnés par le tableau (I.3).

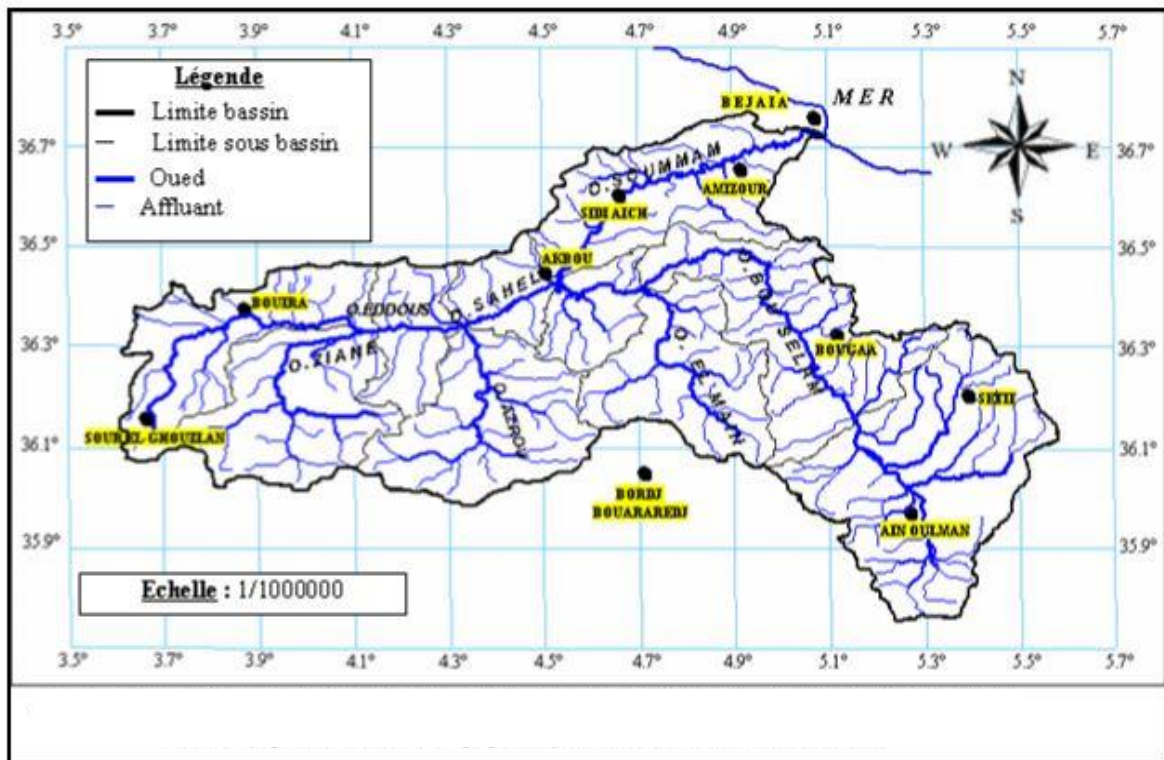


Figure I.1 5: Réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam

Tableau 3: Principaux affluents de l'Oued Soummam [9]

Affluents	Superficie du bassin versant (Km <sup>2</sup> )	Position par rapport à l'Oued	Quantité d'eau (m <sup>3</sup> /an)
Oued Sahel	3800	Amont	/
Oued Boussellam	4300	Amont	/
Oued Ighzer Amokrane	80	Rive droite	12.10 <sup>6</sup>
Oued R'mila	100	Rive droite	28.10 <sup>6</sup>
Oued El-kseur	55	Rive droite	12.10 <sup>6</sup>
Oued Ghir	50	Rive droite	12.10 <sup>6</sup>
Oued Amizour	55	Rive gauche	/
Oued Amassine	195	Rive gauche	15.10 <sup>6</sup>
Oued Imoula	40	Rive gauche	4.10 <sup>6</sup>
Oued Seddouk	125	Rive gauche	10.10 <sup>6</sup>

### I.9. Le couvert végétal

La végétation est un paramètre physique important des bassins. Suivant sa nature, sa diversité et sa densité, le couvert végétal influence directement sur le cycle de l'eau au sein des bassins versants. La végétation évolue en fonction des conditions climatologiques du milieu. Ainsi, la densité de la végétation diminue avec l'altitude du fait de l'évolution des conditions climatologiques. Si la densité de la végétation diminue, alors les pertes par évapotranspiration et par interception diminuent de l'aval vers l'amont.

Sur les massifs de l'Akfadou, de Chellata, de Timezrit et des Babors, la végétation est dense et variée ; elle forme de vastes forêts de chênes, de chênes le liège et de pin d'Alep. Par contre, elle est moins dense et localisée sur les reliefs intermédiaires voire absente sur les collines marneuses. Elle est représentée par des maquis de chêne nain et d'oliviers lentisques.

Dans la plaine, la végétation est dense mais essentiellement temporaire ; elle est formée par les grands et formidables champs de cultures maraîchères diverses. Autrefois, les forêts qui couvraient la région fournissaient le bois nécessaire à une industrie du bois florissante mais malheureusement ce capital tend à disparaître sous les feux qui ravagent chaque année des milliers d'hectares. À cela s'ajoute l'absence d'une politique claire de reboisement et de lutte contre les incendies [13].

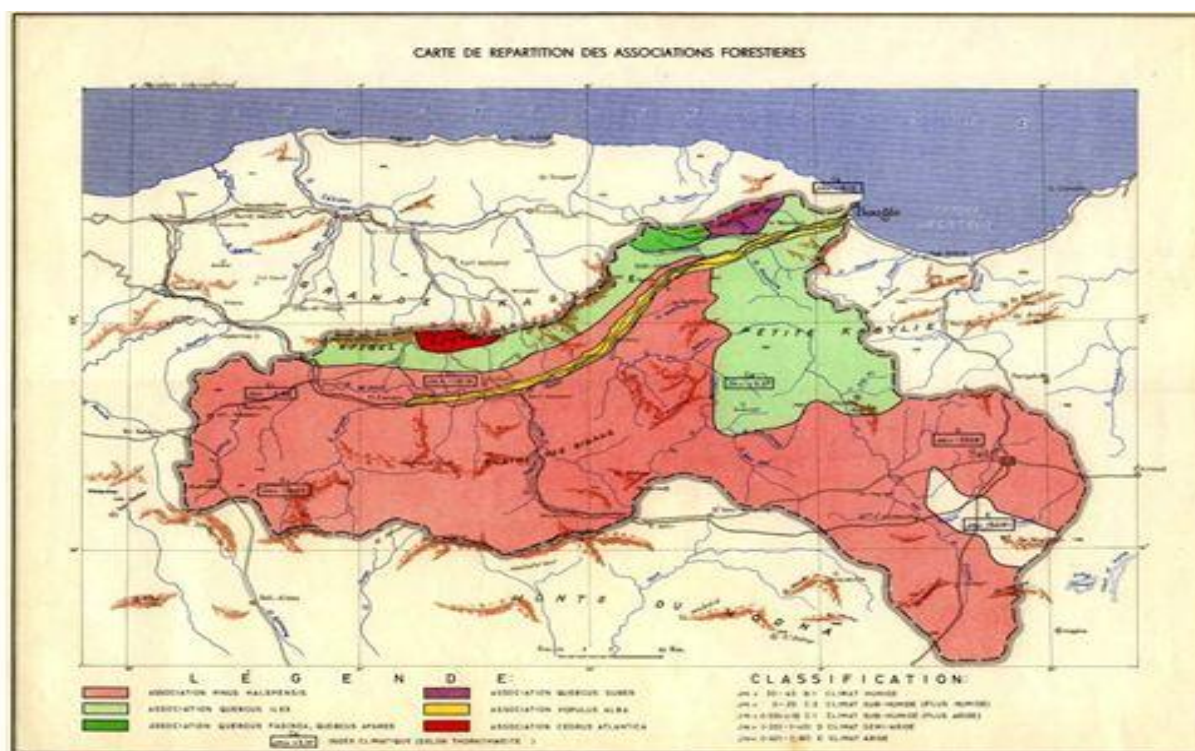


Figure I.1 6: Carte de répartition des associations forestières dans le bassin versant de Soummam

## I.10. Origine de la pollution de l'Oued Soummam

La pollution des eaux est variable, elle peut se manifester généralement sous deux formes principales : urbaine et industrielle.

### I.10.1. Pollution d'origine urbaine

#### a) Eaux usées urbaines

Les eaux domestiques, elles même divisées en eaux vannes qui comprennent les eaux des diverses toilettes et eaux ménagères qui englobent les autres eaux, notamment celles qui résultent des lavages. Les matières directement liées aux excréments humains sont en nature et en qualité relativement constantes. Elles fluctuent peu vis à vis des différents états de développement des populations concernées, avec cependant une tendance vers un en richissimes en matières azotées et en graisses pour les aux de vie les plus élevés [14].

#### b) L'assainissement

Les eaux usées de nature et d'origine diverses, produites dans l'espace vital de l'homme, doivent, à partir d'une certaine densité de population, être collectées et évacuées, du fait qu'elles répondent à une nécessité absolue aux plans de l'hygiène et de santé, les mesures prises dans ces domaines contribuent à élever le niveau et la qualité de vie des usagers [15]. La quantité d'eau usée domestique déversée dans l'Oued Soummam et ses affluents est importante et dépasse les 29810 m<sup>3</sup>/j. La commune de Bejaia à elle seule déverse 18000 m<sup>3</sup>/j, toute fois une quantité importante de ce volume d'eau est déversée directement dans la mer.

L'assainissement dans le bassin de l'Oued Soummam, accuse un retard notable; et le traitement des eaux usées est loin d'être satisfaisant. On note l'inexistence de stations d'épurations le long de la vallée excepté le chef-lieu de la wilaya de Bejaia, et la présence de 03 bassins de décantation en fonctionnement. Afin de faire face à cette pollution d'origine urbaine, il est prévu cinq (05) stations d'épuration d'eaux usées urbaines le long de la Soummam [16].

- Tazmalt : 30000 équivalent-habitant       $\Rightarrow Q = 6400 \text{ m}^3/\text{j}$
- Akbou : 80000 équivalent-habitant       $\Rightarrow Q = 19\,200 \text{ m}^3/\text{j}$
- Sidi-Aich : 40000 équivalent-habitant       $\Rightarrow Q = 6400 \text{ m}^3/\text{j}$
- El Kseur : 30000 équivalent-habitant       $\Rightarrow Q = 6400 \text{ m}^3/\text{j}$
- Amizour : 30000 équivalent-habitant       $\Rightarrow Q = 6400 \text{ m}^3/\text{j}$ .

#### c) Les rejets solides

La quantité globale de déchets ménagers dans la vallée de la Soummam est estimée à plus de 24000 m<sup>3</sup>/j et un habitant de la vallée produit quotidiennement en moyenne 0,8 Kg de déchets

solides [17]. En fait, les ordures ménagères rejetées anarchiquement dans l'environnement sans études au préalable du site, et de techniques de mises en décharge peuvent engendrer de graves problèmes de pollution portant atteinte même à l'esthétique du milieu, à la qualité de l'air, des eaux superficielles et souterraines. Les décharges de déchets solides se sont multipliées avec le développement urbain et le développement industriel. Si la collecte de ces déchets ménagers est relativement bien assurée dans la plupart des centres urbains et s'effectue dans des conditions plus ou moins acceptables, leur élimination pose un sérieux problème de protection de l'environnement dans la mesure où la mise en décharge de ces déchets s'effectue dans des conditions de précarité absolue.

### **I.10.2. Pollution d'origine industrielle**

#### **a) Déchets liquides**

La vallée de la Soummam est caractérisée par l'implantation des plus importantes unités industrielles de la wilaya de Bejaia. Notamment avec l'expansion des zones industrielles d'Akbou, d'El-kseur et de Bejaia ainsi que les grandes usines telles que ; Alphaditex à R'mila, Cevital, Sonatrach et Naftal à Bejaia et d'autres secteurs dont la majorité est spécialisée dans l'industrie alimentaire (Soummam, Danon, Eriad, Cojek ...) et le textile (Alcovel ...), en plus des huileries qui sont réparties tout au long des deux rives de l'Oued.

Pour toutes ces industries, l'eau est un facteur de production. Elle peut être utilisée comme matière première, et être incorporée au produit fini, ou intervenir comme auxiliaire au cours du processus de fabrication. Les utilisations industrielles de l'eau sont extrêmement diversifiées. Les propriétés physiques et chimiques très particulières de l'eau y sont évidemment mises à profit, mais c'est souvent sa relative abondance et son coût modique qui déterminent son usage pour des utilisations qui ne sont pas nécessairement spécifiques. En effet, les eaux industrielles sont extrêmement variées selon le genre d'industrie dont elles proviennent [15]. Les établissements industriels ont des productions très diverses (agroalimentaire, textile, pâtes à papier, produits chimiques, tanneries.... etc.) et rejettent plusieurs types d'eaux usées, dont le volume et le degré de contamination sont très variables [18].

### **I.10.3. Pollution d'origine agricole**

L'agriculture est entrée dans un stade d'industrialisation active, il ne semble pas que cette évolution se ralentisse et l'on observe chez les autres pays une tendance croissante à la spécialisation des cultures ; une recherche des hauts rendements, une mécanisation croissante et une modification profonde des mentalités paysannes [19]. Parmi les inconvénients qui en résultent pour le milieu aquatique, on peut mentionner :

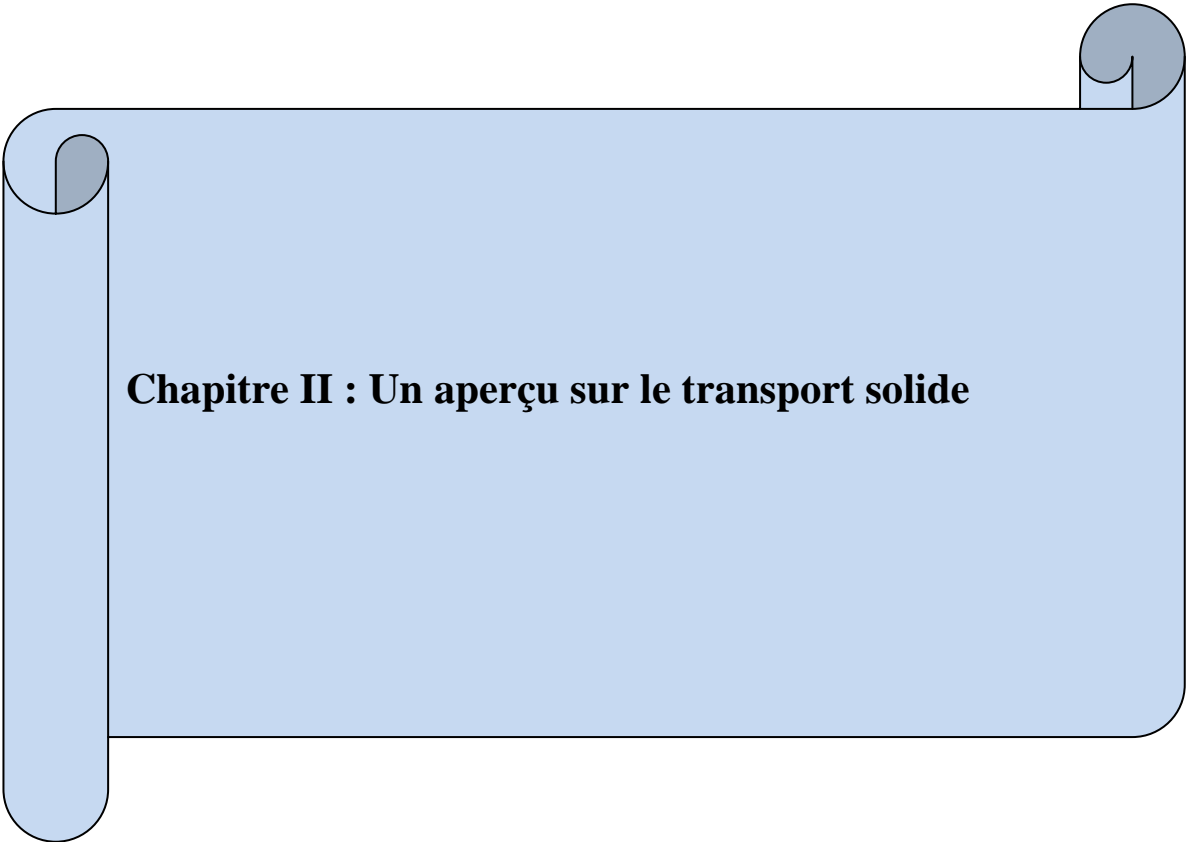
- L'érosion des sols par suite de monocultures trop étendues.
- L'usage des engrais chimiques au lieu des engrais naturels dont le recyclage est assuré par la nature.
- L'usage des pesticides, insecticides, fongicides et autres produits phytosanitaires

Quelle que soit la pollution, on distingue deux grandes classes :

- ***La pollution ponctuelle*** (rejets domestiques ou industriels, effluents d'élevage ...)
- ***La pollution diffuse*** (épandage de pesticides et d'engrais sur les terres agricoles...).

#### **I.10.4.Pollution des eaux souterraines**

Une eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle contient des substances autres que celles liées aux structures naturelles des terrains, où elle a séjourné. En particulier lorsque les concentrations des constituants dissous ou en suspension dépassent les concentrations maximales admissibles fixées par les normes nationales ou internationales [20].



## **Chapitre II : Un aperçu sur le transport solide**

## **Chapitre II : Un aperçu sur le transport solide**

### **II.1. Introduction**

Dans le but de déterminer les paramètres explicatifs du transport solide (ex : débits liquides, pluie, humidité du sol) et de comprendre le fonctionnement des bassins versants dans la production des sédiments, de nombreux auteurs en Algérie comme dans d'autres pays méditerranéens à travers plusieurs études basées sur l'analyse de l'évolution de la charge solide en suspension en fonction des débits liquides ont tenté une approche quantitative à différentes échelles temporelles du phénomène de l'érosion et de la sédimentation dans les bassins fluviaux. Des modèles plus généraux ont été développés sous d'autres climats. L'objectif de ces travaux étant de fournir d'une part, une description relativement exhaustive des processus qui influencent l'intensité des mécanismes d'érosion et de transport des sédiments, d'autre part chercher des modèles statistiques fiables et simples d'estimation et de prédiction des quantités de matières solides qui transitent à l'exutoire des bassins versants, pour enfin arriver à mettre en évidence des relations susceptibles d'être appliquées à des régions ou des bassins versants dans lesquels les mesures sont rares ou inexistantes.

### **II.2. Le transport solide**

Le transport solide représente l'entraînement de granulats sous l'action d'un écoulement fluide. Il existe dans différents phénomènes physiques, naturels ou industriels, et constitue un écoulement à surface libre ou en charge. Le transport solide dans les cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion. Il relève essentiellement du ruissellement et met en jeu diverses formes d'écoulement de l'eau dans la nature (Hug, M. 1975). Les matériaux alluvionnaires constituant le lit des cours d'eau proviennent de : (Probst, J.L. et al. 1992).

L'élaboration des éléments de surface, en général des matériaux meubles du bassin versant. Si l'on ne tient compte que de l'érosion en nappe évaluée au maximum à 20t/ha/an, cette ablation est de l'ordre de 1.3 mm/an (Chebbani, R. et al.1999).

L'érosion des berges du lit des cours d'eau et de leurs affluents. D'après les travaux effectués sur le fleuve du Sénégal, la Garonne et sur des rivières des Etats Unis, ce type d'érosion produit 20 à 30% du tonnage total des sédiments exportés (Probst, J.L. et al. 1989). Il est évalué à 32 % de la charge total pour la Haute Tafna en Algérie (Megnounif, A. et al. 2003). Ces sédiments localisés

dans les lits des oueds sont transportés par les crues pour être déposés soit sur des plaines à faible pente, soit dans des cuvettes de barrage ou encore en arrivant jusqu'à la mer.

Généralement deux modes de transport solide sont considérées : *le transport solide par charriage* et *le transport solide en suspension*. Les deux modes diffèrent par deux aspects essentiels : dans le premier cas, les particules se déplacent par roulement et glissent sur le fond et leurs vitesses est inférieure à celle de l'écoulement. Dans le deuxième cas, les particules se déplacent au sein de l'écoulement avec une vitesse de même ordre de grandeur que celle du fluide. Il n'existe pas de délimitation nette entre ces deux modes de transport. Il y a même des auteurs qui considèrent un troisième mode caractéristique intermédiaire, la saltation, où les particules se déplacent par des bonds, en alternant le charriage et la suspension (Probst, J.L. et al. 1989 et Cardoso, A.H. 1994). Le mode de transport dépend essentiellement d'un paramètre fondamental : la taille du sédiment transporté[18].

### II.2.1. Le transport solide par charriage

Le transport solide par charriage, représente la progression de sédiments grossiers (sables, gravier, galets et blocs), de diamètre supérieur à 1 mm, qui se déplacent par roulement ou Glissement, au voisinage immédiat du fond du cours d'eau, et parcourent des distances relativement petites et discontinues dans le temps et dans l'espace. Les mesures sur le terrain du transport solide par charriage sont très onéreuses à cause des perturbations de l'écoulement. De ce fait, les évaluations de ce type de transport son difficiles à mener en l'absence de bases de données. On se contente généralement d'études sur modèles réduits pour déterminer la proportion du charriage par rapport à la suspension ou au transport total (Couvert, B. 1994 et al ; Du voisin, J. 1989). Pour quelques bassins versants le taux de charriage a été estimé à 12.5 % de la suspension (Djebbi, M. 1990) [19].

### II.2.2. Le transport solide en suspension

Sédiments. Le transport solide en suspension représente le transport de sédiments fins (argiles, limons, sables fins), de taille macaronique, maintenues en suspension sur toute la hauteur de la masse liquide du cours d'eau, sous l'action des fluctuations turbulentes de l'écoulement. Les sédiments se déplacent sur des grandes distances et le débit solide croît de l'amont vers l'aval. Quelques valeurs indicatives, permettent de délimiter les deux modes de transport. Ces valeurs utilisent le rapport entre vitesse de l'écoulement  $V$  sur le lit du cours d'eau, et la vitesse  $W$  de chute des particules, (Graf, 1971)  $V/W > 0.10$  début de transport par charriage et  $V/W > 0.40$  début de transport en suspension [19].

### **II.3. Facteur influençant l'érosion**

Plusieurs agents influent directement ou indirectement sur le processus de l'érosion du bassin versant. La pluie torrentielle est l'agent principal du phénomène, l'irrégularité des pluies en Algérie du nord est liée à des intensités très élevées parfois et qui peuvent engendrer des pertes de terrains considérables. La multiplicité des facteurs qui causent l'érosion exigent une prise de connaissances de leurs effets directs sur le processus de l'érosion. Les facteurs géologiques et pédologiques, les facteurs topographiques et autres ont leur influence.

#### **II.3.1. Influence du climat**

Le climat est un facteur important qui influe sur l'érosion hydrique par la nature des précipitations et des températures. Un climat agressif comme celui des régions arides et semi-arides est caractérisé par des pluies de grandes intensités pendant un temps court et des longues périodes de sécheresse. Les deux éléments accentuent remarquablement l'érosion, les températures élevées permettent d'assécher et de fissurer le sol ce qui augmente sa vulnérabilité à l'érosion et les fortes pluies viennent avec des énergies cinétiques élevées pour détacher et emporter un maximum de sol déjà très faible.

#### **II.3.2. Influence du sol**

Il est caractérisé par son type, sa texture et son état. En saison sèche l'humidité du sol est presque nulle, dans cet état le sol perd toute sa cohésion, il présente a cet effet une texture détachée des grains. Ce qui favorisera l'érosion hydrique lors des premières pluies. Il influe de même sur le ruissellement par ses capacités d'infiltration et de rétention.

#### **II.3.3. Facteurs topographiques**

Les facteurs topographiques essentiels sont la pente du bassin versant, le relief, la densité du drainage, l'importance des vallées et des plaines d'inondation, l'orientation et la taille du bassin. Les fortes pentes avec un écoulement rapide sont généralement à l'origine d'une érosion excessive dont l'importance dépend de la géologie des sols et la protection du couvert végétal.

#### **II.3.4. Facteurs géologiques et pédologiques**

Ce sont les facteurs géologiques relatifs aux roches de surface ; si les roches sont exposées à la pluie, au vent et aux forces de gravité, il peut y avoir désagrégation. La répartition granulométrique des sols, leur perméabilité, la présence de certain élément chimique et matière organique conditionnent l'érodabilité des sols.

### II.3.5. Le couvert végétal

Un bon couvert végétal limite l'érosion en dissipe l'énergie de pluie, favorise l'infiltration et s'oppose à toute la forme d'érosions. L'occupation des terres est en rapport direct avec les activités humaines qui sont l'agriculture, l'élevage, les exploitations minières, l'abattage du bois, la construction des routes et l'urbanisation vu la suppression de la végétation, entourant sur le phénomène d'érosion.

### II.3.6. Les labours inadaptés

Le travail du sol présente deux effets antagonistes vis-à-vis de l'érosion hydrique; d'une part il limite l'érosion en augmentant la perméabilité et la capacité de rétention du sol, et d'autre part, il la favorise en diminuant la cohésion et la stabilité structurelle du sol. Pour les faibles pluies (ou les premières phases des grosses pluies), un labour bien fait limite considérablement le phénomène de l'érosion hydrique [20].

## II.4. Méthode de quantification de l'apport solide en Algérie

En Algérie, le problème de transport de solides a été l'objet de plusieurs recherches (Tixeront, 1960 ; Sogreah, 1969...). Les études de quantification traitent en général les différentes relations existantes, entre toutes les caractéristiques qui rentrent dans l'identification de la région étudiée.

### II.4.1. Formule de Tixeront (1960)

Cette formule est basée sur les données recueillies de 32 bassins d'Algérie et 9 bassins de Tunisie (dont 4 alimentant des barrages réservoirs). Les superficies varient de 890 à 22300  $\text{Km}^2$  et les observations portant sur une durée variant de 2 à 22 ans [25]. Après avoir regroupé les bassins en trois classes, suivant un critère régional, Tixeront propose trois relations [21] ;

$$A = 354 \times R^{0.15} \text{ (bassins Tunisiens)}$$

$$A = 92 \times R^{0.21} \text{ (bassins de l'Ast Algérienne)}$$

$$A = 2.000 \text{ (région centre Algérie)}$$

A : apports solides spécifiques moyens annuels ( $\text{T/Km}^2/\text{an}$ )

**R** : écoulement annuel total (mm)

#### II.4.2. Modèle de Sougreah (1969)

Cette étude est basée sur les données recueillies dans 27 bassins d'Algérie (dont 16 alimentant des barrages réservoirs) totalisant 282 années-station. Les superficies varient de 90 à 22300 Km<sup>2</sup>. Les relations de Sougreah, inspirées des relations Tixeront, donnent les apports perméabilité des bassins, elles s'écrivent comme suit [21] ;

Pour une perméabilité élevée  $A = 8.5 \times R^{0.15}$

Perméabilité moyenne à élever  $A = 350 \times R^{0.15}$

Perméabilité faible à moyenne  $A = 350 \times R^{0.15}$

Perméabilité faible  $A = 1.400 \times R^{0.15}$

Imperméables  $A = 3.200 \times R^{0.15}$

#### II.4.3. Formule de Fournier

Cette formule est basée sur les données recueillies dans 104 bassins de superficie supérieure à 2000 Km<sup>2</sup> appartenant à différentes régions du globe. La formule fait intervenir la notion de contraste et d'abondance pluviométrique ainsi que l'orographie des bassins [21].

$$E = \frac{1}{36} \left( \frac{P_m^2}{P_{an}} \right)^{2.65} \left( \frac{h^2}{S} \right)^{0.46}$$

Où :

**E** : Apports solides spécifiques moyens annuels (T/Km<sup>2</sup>/An)

**P<sub>m</sub>** : pluie mensuelle moyenne du mois le plus pluvieux (mm)

**P<sub>an</sub>** : Pluie moyenne annuelle (mm)

**h** : dénivelée moyenne =  $\bar{H} - H_{min}$  (m)

**S** : superficie du bassin (Km<sup>2</sup>).

#### II.4.4. Formule de l'ANRH

Cette formule est élaborée à partir des données recueillies dans 30 bassins versants d'Algérie, de superficie comprise entre 100 et 3000 Km<sup>2</sup>, soumise à une pluviométrie comprise entre 300 et 1000 mm [22].

$$\text{Tss (T/km}^2\text{/an)} = 26.62 \text{ IL} + 5.07 \text{ IP} + 9.77 \text{ CT} - 593.56$$

Où :

- **Tss** : transport solide spécifique moyen annuel (T/Km<sup>2</sup>/an)
- **IL** : indice lithologique = superficie des formations marneuses et argileuses du crétacé supérieur et tertiaire exprimé en pourcentage de la superficie totale du bassin
- **IP** : indice des précipitations érosives (fait intervenir le pourcentage des précipitations annuelles tombées sous forme des pluies journalières supérieures à 20 mm et le nombre annuel de ce type de précipitations)
- **CT** : coefficient de torrentialité =  $D_d * F_1$
- **D<sub>d</sub>** : densité de drainage (longueur du réseau fluvial par unité de surface)
- **F<sub>1</sub>** : fréquence des thalwegs élémentaires

#### II.4.5. Formule de Gavrilovic

Mise au point en Yougoslavie et utilisée en Algérie dans le cadre d'un projet régional. La formule est basée sur deux (2) fonctions :

\* *Une fonction* donnant la production annuelle de sédiment

$$P_e = T \cdot H_m \cdot \pi \sqrt{Z^3}$$

**P<sub>e</sub>** : production moyenne annuelle de sédiment, en suspension et de charriage (m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>/an)

**H<sub>m</sub>** : pluie moyenne annuelle (mm)

**T** : coefficient de température =  $\sqrt{\frac{t^\circ}{10}} + 0.1$

**t<sup>°</sup>** : température moyenne annuelle (°C)

**Z** : coefficient empirique lié à l'érosion du bassin :

- Érosion excessive                      *Z de 1.00 à 1.50*
- Erosion intense                         *Z de 0.70 à 1.00*
- Erosion moyenne                       *Z de 0.40 à 0.70*
- Erosion faible                          *Z de 0.20 à 0.40*
- Erosion très faible                     *Z de 0.70 à 1.00.*

\* **Une fonction** déterminant le taux de rétention ( $R_m$ ) des sédiments produits par le bassin en tenant compte des discontinuités spatio-temporelles dans le flux des matériaux arrachés.

$$R_m = \frac{\sqrt{P_e \bar{H}}}{0.2(L + 10)}$$

$P_e$  : périmètre du bassin versant (Km)

$\bar{H}$  : Altitude moyenne (Km)

$L$  : longueur du thalweg principal (km)

La dégradation spécifique est donnée ( $m^3/Km^2/an$ )

$$Ds = P_e \times R_m$$

L'intérêt de cette méthode est d'introduire la notion de transfert qui complète la notion de production prenant en charge, ainsi le phénomène de discontinuité, généralement passé sous silence [23]. On ignore cependant les conditions d'établissement de cette formule qui donne les apports solides en volume ( $m^3/Km^2/an$ ), ce qui rend difficile la comparaison avec les résultats des autres méthodes qui fournissent les apports solides en ( $T/Km^2/an$ ).

## II.5. Autres formules du transport solide

Plusieurs dizaines de formules ont été proposées pour prédire soit le charriage seul, soit le charriage et la suspension. La plupart d'entre elles ont été établies pour estimer le transport solide moyen, cependant, depuis quelques années, plusieurs auteurs ont cherché à établir des formules donnant le transport solide fractionné, c'est-à-dire les valeurs de transport associées à chaque diamètre en présence [24]. Ce type de formule est très compliqué à utiliser, et surtout, nécessite une analyse très fine de la granulométrie.

De ces formules on peut citer, *Meyer-Peter et Müller* (1948), *Einstein-Brown* (1950), *Schoklitsch*(1962), *Engelund et Hansen* (1967), *AckerssetWhite* (1973), *Mizuyama* (1977), *Bagnold* (1980), *Parker et al.*(1982), *Smart et Jaeggi* (1983), *Yang* (1984), *Rickenmann* (1991), *Van Rijn* (1984), *Recking et al.*(2006) [24].

- Ackersset White [1973]

Transport solide total  $q_{st}$ :

$$q_{st} [m^3/s/m] = \frac{qD_{35}}{H} \left[ \frac{F_{gr}}{0,17} - 1 \right]^{1,5}$$

Avec :

$$F_{gr} = \frac{1}{\sqrt{g(s-1)D_{35}}} \left[ \frac{U}{\sqrt{32 \log \left( \frac{10H}{D_s} \right)}} \right]$$

Cette formule s'applique pour des nombre de Froude  $F_r < 0.8$  (rivières de plaine).

- Einstein-Brown (1950)

Proposée par Brown (1950) à partir d'un lissage de l'abaque d'Einstein (1950)

$$q_v [m^3/s/m] = \sqrt{g(s-1)D^3} \left[ \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{g(s-1)D^3}} - \sqrt{\frac{36V^2}{g(s-1)D^3}} \right] f(\Theta)$$

$$f(\Theta) = 2.15 e^{-0.391/\Theta} \quad \text{si } \Theta < 0.18$$

$$f(\Theta) = 40 \Theta^3 \quad \text{si } \Theta > 0.18$$

$v$  est la viscosité cinématique du fluide ( $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  à  $20^\circ\text{C}$ ).

- Engelund et Hansen [1967]

Equation déduite du concept de puissance de l'écoulement de Bagnold (1966) et du principe de similarité :

$$q_s [m^3/s/m] = \frac{0.1}{f} \sqrt{g(s-1)D_{50}^3} \Theta^{5/2}$$

Le facteur de rugosité  $f$  étant défini par  $f = 2.g.R.S/U^2$

Cette formule peut s'écrire :

$$g_s = 0,05 \cdot \gamma_s \cdot v^2 [D / (g(\gamma_s / \gamma) - 1)]^{1/2} \cdot [\tau_0 / ((\gamma_s - \gamma) D)]^{3/2}$$

Où :

$g_s$ : Transport solide en  $kg/s^3$

$\gamma$ : Poids volumique de l'eau en  $N/m^3$

$\gamma_s$ : Poids volumiques des sédiments en  $N/m^3$

$v$ : Vitesse moyenne de l'écoulement en  $m/s$

$\tau$ : Contrainte de cisaillement au fond en  $N/m^2$

$D$ : Taille des particules en  $m$ .

- **Meyer-Peter et Mueller (1948)**

$$q_v [m^3/s/m] = 8 \sqrt{g(s-1)D_{50}^3} \left[ \left( \frac{k}{k'} \right)^{3/2} \theta - 0.047 \right]^{3/2}$$

Avec  $\rho_s = 2650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  et  $s = 2.65$ . Le ratio  $k/k'$  est le ratio entre le coefficient de *Strickler* de l'écoulement  $K$  et le *Strickler* du grain  $k'$ , et permet de corriger la contrainte totale pour ne tenir compte que de la contrainte appliquée au grain.

Le terme  $k$  est donné par  $k = U/S^{1/2} R^{2/3}$  et le terme  $k'$  est calculé avec l'équation de *Strickler*:  $k' = 26/D_{90}^{1/6}$ .

- **Parker (1979)**

$$q_v [m^3/s/m] = 11.2 \sqrt{g(s-1)D_{50}^3} \frac{(\theta - 0.03)^{4.5}}{\theta^3}$$

Le tableau suivant nous résume les formules les plus utilisées.

Tableau 1: Principales caractéristiques des formules de transport [24]

Formule	Calculs intermédiaires	Données nécessaires	Conditions expérimentales et domaine de validité
Meyer-Peter et Mueller, 1948	$\theta, k, k_r$	$U, R, D_{50}, D_{90}, S, L$	Données de laboratoire $0.4 < S < 2.4\%$ , $0.4 < D < 29\text{mm}$

Engelund et Hansen, 1967	$\theta, f$	<b>R, U, D50, S, L</b>	Transport total (Charriage+ suspension) Laboratoire, lit à sable, transport, important, lites plats et dunes, $0,15 < D < 1.6\text{mm}$ , Pentes faibles
Ackers et white, 1973		<b>R, D50, S, L</b>	Transport solide totale, Données de laboratoire, pour des $Fr < 0.8$ (rivières de plaine), $0,4 < D < 14$
Mizuyama, 1977	$\theta, \theta_c$	<b>R, D50, S, L</b>	Données de labo de terrain
Smart et Jeaggi, 1983	$\theta, \theta_c, f$	<b>R, D30, D50, D90, S, L</b>	Laboratoire, fortes pentes
Recking et al. 2008	$\theta, \theta_c$	<b>Q, D50, D84, S, L</b>	Données de laboratoire, $3 < S < 20\%$ . $2 < D < 44\text{mm}$
Van Rijn, 1984	$U^*$	U, R, D50, D90, S, L	Semi-empirique, validé pour des sables
Parker, 1979	$\theta$	<b>Q, U, D35, H, S, L</b>	Données laboratoire

Avec :

$D_i$  :Diamètre de grain (l'indice indique « en % plus fin que »)

$D_{50}$  :Diamètre médian

$D_m$  : Diamètre moyen arithmétique =  $\Sigma(d_i P_i) / P$  ( $d_i$  diamètre,  $P_i$  poids)

$f$  :Coefficient de frottement de Darcy Weisbach

$F_r$  :Nombre de Froude  $F_r = U / (gH)^{1/2}$

$H$  :Profondeur de l'écoulement

$K$  :Coefficient de résistance de Strickler de l'écoulement

$K'$  :Coefficient de résistance de Strickler pour les grains défini par  $K_s = 26 / D_{90}^{1/6}$

$L$  :Largeur du lit ou du canal

$Q$  :Débit

$q$ : Débit unitaire ( $Q/L$ )

$q_{sv}$ : Débit solide volumique unitaire ( $= Q_s/[\rho_s W]$ )

$Q_s$ : Débit solide à l'équilibre

$q_s$ : Débit solide unitaire ( $q_s = Q_s/W$ )

$R$ : Rayon hydraulique

$R_e$ : Nombre de Reynolds  $R_e = UR/\nu$

$R_e^*$ : Nombre de Reynolds particulaire  $R_e^* = u^*D/\nu$

$S$ : Pente

$s$ : Densité relative ( $s = \rho_s/\rho$ )

$\tan\alpha$ : Coefficient dynamique de frottement interne du sédiment

$U$ : Vitesse moyenne

$u^*$ : Vitesse de frottement:  $u^* = (\tau/\rho)$

$w$ : Vitesse de chute  $w = [gD(\rho_s - \rho)/\rho]^{0.5}$

$\Phi$ : Transport solide adimensionnel

$\kappa$ : Coefficient de Von Karman (0.4)

$\theta$ : Paramètre de Shields:  $\theta = \tau/[(\rho_s - \rho)gD]$

$\theta_c$ : Paramètre critique de Shields pour le début de mouvement

$\theta_l$ : Paramètre de Shields pour la transition du régime 2 au régime 3

$\rho$ : Masse volumique de l'eau

$\rho_s$ : Masse volumique du sédiment

$\nu$ : Viscosité cinématique

$\tau$ : Contrainte moyenne au fond:  $\tau = \rho g R S$ .





## **Chapitre III: Présentation du logiciel HEC-RAS**

## Chapitre III : Présentation du logiciel HEC-RAS

### III.1. Introduction

HEC-RAS est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre. Il a été conçu par le *Hydrologic Engineering Center* du *U.S Army Corps of Engineers*. Il s'agit d'une nouvelle version d'un modèle hydraulique auparavant nommé HEC-2, qui comporte maintenant une interface graphique permettant d'éditer, de modifier et de visualiser les données d'entrée, de même qu'observer les résultats obtenus. Il est présentement utilisé dans plusieurs firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux. La version 3.1.3 de HEC-RAS permet de simuler les écoulements permanents et non permanents, le transport de sédiments et certaines fonctions facilitant la conception d'ouvrages hydrauliques.

Toutefois, avant d'utiliser un logiciel de calcul des écoulements à surface libre, il est primordial de connaître certaines notions théoriques, sinon le logiciel deviendra une boîte noire [23].

### III.2. Un aperçu rapide de HEC-RAS

HEC-RAS utilise le concept de Projet afin de réaliser une simulation du comportement hydraulique d'un cours d'eau. Tel que défini par HEC-RAS, un projet est un ensemble de fichiers permettant de simuler le comportement hydraulique d'un cours d'eau pour diverses conditions [23].

#### III.2.1. Terminologie utilisée

Avec HEC-RAS, un ensemble de fichiers (que l'on nomme Projet) sont requis pour effectuer l'analyse hydraulique d'un cours d'eau. Une terminologie particulière est employée pour définir chacune de ces composantes. Les définitions sont présentées à la page suivante et la figure ci-dessous illustre la hiérarchie des fichiers d'un projet [23].

- **Projet (Project)** : Le fichier Projet contient le titre et la description du projet, le système d'unité utilisé et les liens vers tous les fichiers qui lui sont associés. Il contient aussi les variables par défaut qui peuvent être définies par l'utilisateur et une référence au dernier Plan utilisé (voir la description d'un Plan plus bas). Il comporte l'extension .PRJ.
- **Géométrie (Geometry)** : Ce fichier contient toutes les informations géométriques sur le cours d'eau analysé, soit le schéma arborescent, les sections transversales, la distance entre chaque

section, les coefficients de Manning et s'il y a lieu, les structures présentes (ponts, ponceaux). Un projet peut comporter plusieurs géométries afin d'analyser différentes variantes (par exemple avec ou sans obstruction dans la rivière). Les fichiers peuvent ainsi comporter l'extension .G01 à G.99.

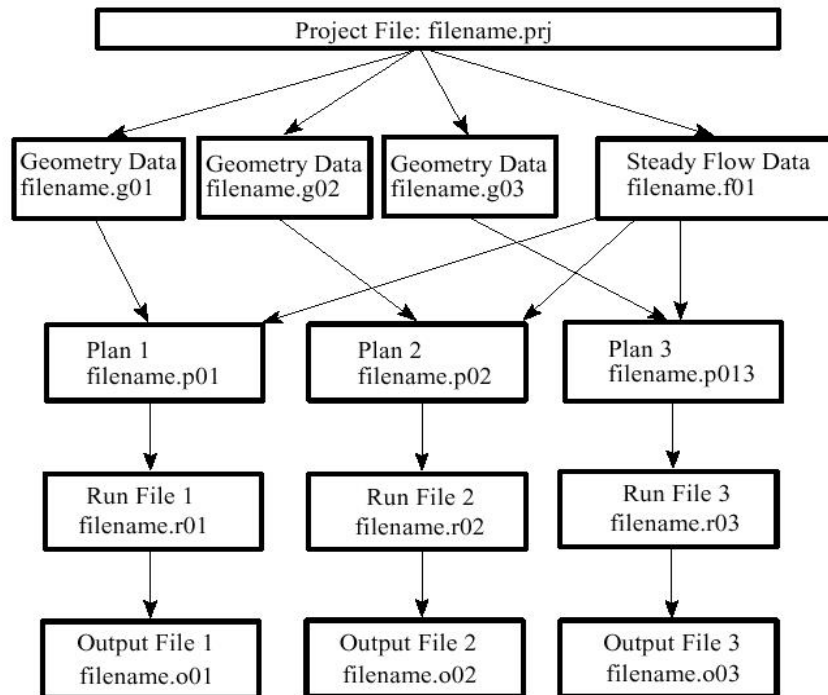


Figure I.1 1: Structure des fichiers d'un projet

- **Débit (Flow)** : Le fichier Débit est utilisé pour simuler les écoulements permanents. Il contient le nombre de Profile devant être calculés, les données de débit pour chacun d'eux et les conditions limites pour chaque tronçon. Un Profile désigne l'ensemble des niveaux d'eau calculés pour des conditions particulières de débit. De la même façon que précédemment, l'extension du fichier peut être de .F01 à .F99.
- **Plan (Plan)** : Un fichier Plan contient un titre et une description du plan, de façon similaire aux informations d'un Projet. Il contient de plus la référence aux fichiers Géométrie et Débit associés à ce Plan. Le concept de Plan permet ainsi de simuler différentes combinaisons de Géométrie et de débit qui peuvent être nécessaires dans le cadre d'une étude hydraulique. Il y a un fichier .P\*\* pour chaque Plan et ceux-ci peuvent comporter l'extension .P01 à .P99.
- **Simulation (Run)** : Le fichier simulation contient toutes les données nécessaires à l'exécution d'une simulation, définie à l'intérieur d'un Plan. Ce fichier est automatiquement créé par HEC-RAS lorsqu'une simulation est lancée. Son extension peut-être .R01 à .R99. Par exemple, le fichier .R01 correspond au Plan .P01

- **Résultats (Output)** : Tous les résultats d'une simulation sont contenus dans le fichier Output. Les fichiers de résultats possèdent l'extension O01 à O99 et leur numérotation est également associée à celle des fichiers Plan.

Tous les fichiers créés à l'intérieur d'un même projet comportent le même nom, soit celui défini au départ par l'utilisateur. Seule l'extension diffère et les différentes extensions des fichiers sont automatiquement créées par HEC-RAS et ne doivent pas être modifiées. Pour les fichiers dont l'extension inclut un nombre, celui-ci correspond à l'ordre dans lequel les fichiers ont été sauvegardés. La numérotation des fichiers Plan, Run et Output est également liée entre eux[23].

### III.2.2. Fonctionnement de HEC-RAS

#### Démarrage de HEC-RAS

Pour démarrer HEC-RAS, double-cliquez sur l'icône suivant placé sur le Bureau, ou bien allez dans le menu Démarrer et choisissez le programme HEC-RAS. Fait important à noter, HEC-RAS utilise comme symbole décimal le point, et non la virgule utilisée habituellement dans notre système d'unité. Un message d'erreur peut apparaître lors du démarrage de HEC-RAS si le symbole décimal spécifié pour votre ordinateur n'est pas le point. Vous pouvez changer ce symbole dans le Panneau de configuration de Windows, à l'item Paramètres régionaux, à l'onglet Nombre[23].

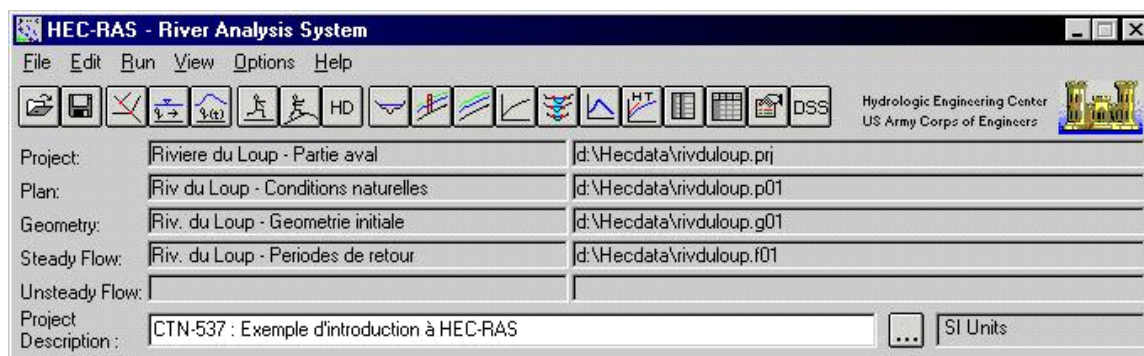


Figure I.1 2: Fenêtre principale de HEC-RAS

La barre de menu comprend toutes les fonctions disponibles de HEC-RAS et la figure de la page suivante présente son contenu. Le menu **File** permet d'ouvrir, de créer et de sauvegarder un Projet (fichiers avec l'extension .prj). Les autres options permettent de modifier le titre du Projet ou d'effacer tous les fichiers reliés à un projet. Utilisez cette dernière option avec précaution Outre le menu File, le menu **Edit** est également important et permet de spécifier les données de base décrivant le système hydrographique devant être modélisé ainsi que les conditions de débit dans ce système [23].

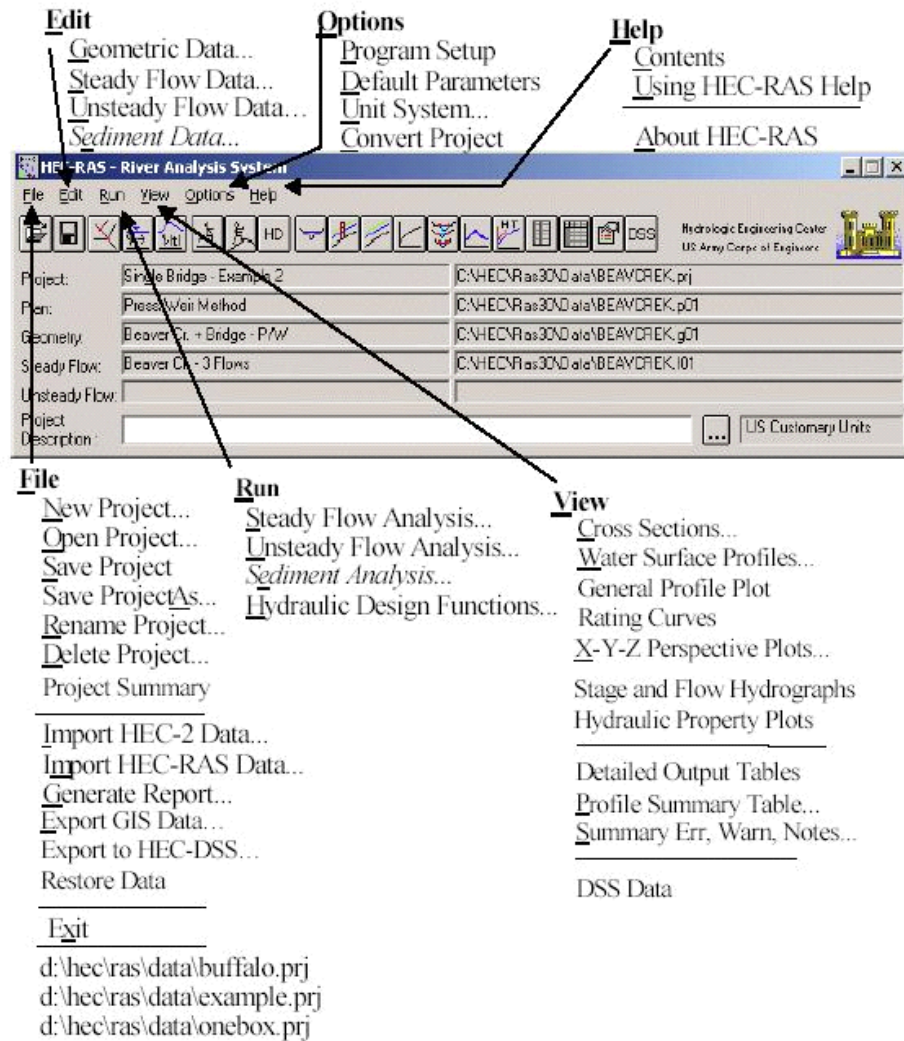


Figure I.1 3: Menu dans HEC-RAS

### Barre de menu HEC-RAS

La principale étape de la création d'un projet de modélisation avec HEC-RAS est de définir la géométrie de notre cours d'eau, au moyen de sections transversales. Cette étape est réalisée en choisissant l'option **Geometric Data**.

Toutes les données reliées à la géométrie du cours d'eau sont sauvegardées dans les fichiers dont l'extension est .G\*\* où \*\* désigne des chiffres représentant une numérotation séquentielle[23].

Une autre option disponible dans le menu Edit pour l'étude des écoulements permanents dans le cours d'eau est **Steady Flow Data**. Cette option permet de spécifier la ou les valeurs de débits dans le cours d'eau qui devront être modélisés, ainsi que les conditions aux limites de l'écoulement. Un Profile désigne l'ensemble des niveaux d'eau calculés pour des conditions particulières de débit. Les informations qui sont spécifiées avec cette option sont contenues dans les fichiers .F\*\*. L'option **Unsteady Flow Data** désigne l'écoulement non permanent et y contenu dans les fichiers .U\*\* [23].

L'autre élément important de la fenêtre principale pour la création d'un projet et la réalisation de simulations est le menu **Run**. Trois options y sont disponibles : **Steady Flow Analysis**, **Unsteady Flow Analysis** et **Hydraulic Design**. Les deux premières options permettent de définir le **Plan**, qui contient la référence au régime d'écoulement modélisé, à la géométrie du cours d'eau et aux débits simulés (écoulement permanent et non permanent).

Après avoir réalisé une simulation, vous pouvez consulter le menu **View**. Il permet de consulter les différents résultats obtenus, soit graphiquement avec les fonctions de la partie supérieure du menu, ou bien de façon tabulaire avec les autres [23].

Même s'il n'y a pas de résultats calculés, les fonctions graphiques peuvent être utilisées pour visualiser de façon schématique les données entrées et ainsi percevoir certaines incohérences, s'il y a lieu.

Le menu **Options** contient certains paramètres de fonctionnement de HEC-RAS. Dans **Program Setup**, allez à **Set Time for Automatic Backup**. Cette option permet de spécifier l'intervalle de temps qui sera utilisé pour la sauvegarde automatique des données de votre projet. Dans le même menu, vérifiez que **Automatically Backup Data** est coché [23].

Ainsi, par mesure de sécurité, toutes vos données seront sauvegardées dans le fichier **RasBackup.prj**, situé dans le répertoire d'installation de HEC-RAS. La fonction **Default Parameters** permet de spécifier les coefficients d'expansion et de rétrécissement utilisés par défaut pour chaque nouvelle section transversale. **Unit System** permet de spécifier quel système d'unité est utilisé pour le projet en cours (actuellement US customary) et permet aussi de changer le système d'unité utilisé par défaut pour chaque nouveau projet [23].

Enfin, la dernière fonction, **Convert Project Units**, permet de convertir un projet d'un système d'unité à un autre.

Le dernier item de la barre de menu, **Help**, peut être consulté pour obtenir de l'aide sur différents sujets d'intérêt

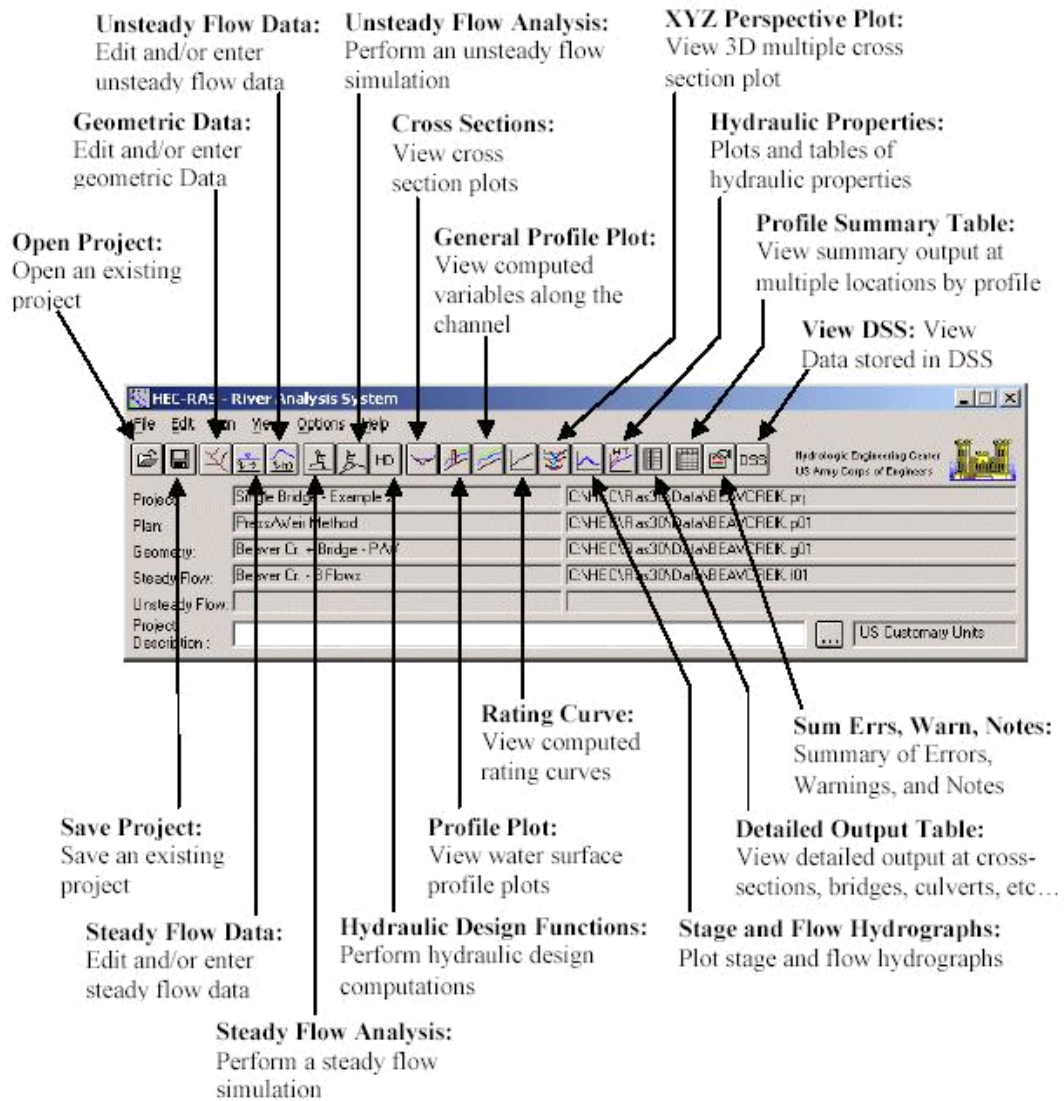


Figure I.1 4: Barre d'outils dans HEC-RAS

### Barre de bouton HEC-RAS

Finalement, la barre de bouton constitue un accès aux fonctions utilisées le plus couramment dans HEC-RAS. La figure ci-dessus présente leur description. En plaçant le curseur de la souris au-dessus d'un bouton, la description est affichée dans la barre de titre de la fenêtre ainsi que dans un élément textuel. L'icône utilisé est aussi représentatif de cette fonction. Elles ont pour la plupart été abordées précédemment. Fait à noter, les éléments de la barre de boutons sont placés dans un ordre logique de réalisation d'un Projet avec HEC-RAS, mais ce ne sont pas toutes ces fonctions qui doivent nécessairement être utilisées dans un projet [23].

### III.3.étapes de la modélisation (exemple d'un écoulement permanent)

Les principales étapes requises pour la création d'un projet avec HEC-RAS sont décrites ici à travers un cas simple (le bassin versant de la Rivière du Loup).

#### III.3.1.Projet

Dans le menu **File**, choisir l'option **New Project** pour obtenir une fenêtre similaire à celle illustrée plus bas. 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 Directory**. Le titre du projet sera par la suite spécifié dans la ligne du haut et un nom de fichier doit aussi être indiqué dans la case suivante, tout en conservant l'extension .prj [23].

Entrez les informations suivantes dans un dossier de votre choix :

Title : Rivière du Loup - partie aval ; File name : rivduloup.prj.

***Vous ne devez pas utiliser les accents lorsque vous indiquez un Titre*** car cette information n'apparaîtra pas la prochaine fois que vous ouvrirez le projet, même si toutes les autres informations seront présentes. Aussi, il ne faut pas utiliser les accents pour **un nom de fichier**.

Après avoir appuyé sur OK, un message apparaît pour confirmer les informations soumises. Appuyez à nouveau sur OK et les données seront sauvegardées dans le fichier et le répertoire indiqué. Au bas de la fenêtre principale de HEC-RAS, vous pouvez maintenant entrer des informations supplémentaires sur votre projet à l'item **Project Description**. Appuyez sur le bouton "... " à droite pour élargir cette fenêtre et indiquez des renseignements tels que le titre du cours, la date, les membres de votre équipe... [23].

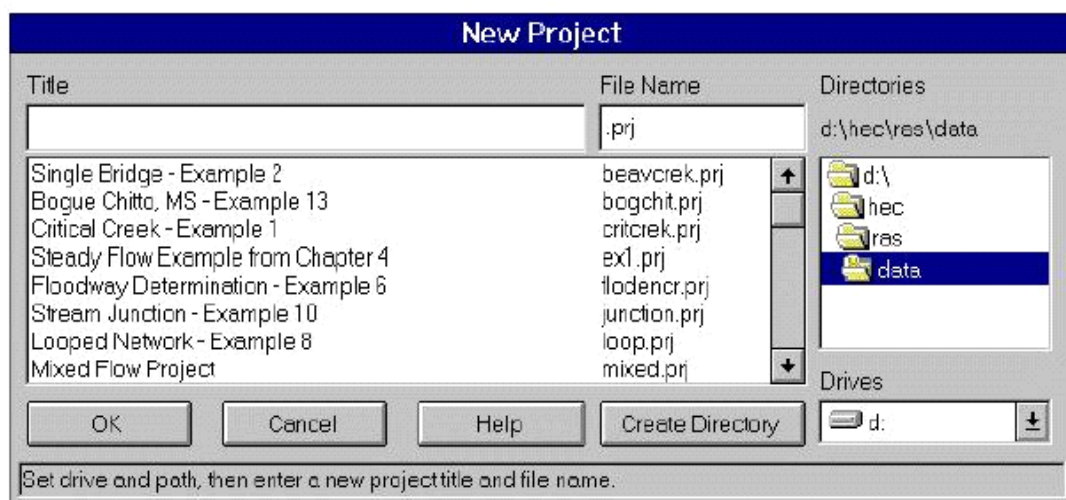


Figure I.1 5: Fenêtre New Project

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

(**Metric System**). Vous pouvez aussi indiquer que ce système d'unité sera utilisé par défaut pour tous les nouveaux projets. Également dans le menu **Options**, il peut également être utile de spécifier à ce stade-ci les coefficients d'expansion et de rétrécissement qui seront utilisés par défaut pour toutes les nouvelles sections, puisque pour la plupart des sections où il n'y a pas de changement brusque de géométrie, ces valeurs ne changent pas. Allez à **Default Parameters, Expansion and Contraction Coef.** pour entrer les valeurs à utiliser (N'oubliez pas, le symbole décimal utilisé est le point)[23].

Cross Section flow Contraction Coeff= 0.1 ; Cross Section flow Expansion Coeff = 0.3.

### III.3.2.Géométrie des sections

Après avoir défini les principaux paramètres du projet, la deuxième étape est de définir les caractéristiques géométriques du système modélisé. **Sélectionnez Edit / Geometric Data** et la fenêtre **Base Geometry Data** apparaît. Augmentez cette fenêtre à sa taille maximale.

Pour vous aider à tracer le tronçon de rivière à l'étude, vous pouvez ajouter une image de fond à cette fenêtre.

Appuyez sur le bouton **Add/Edit background pictures** et appuyez sur **Add** afin de sélectionner le fichier **rivduloup.jpg**. Après avoir appuyé sur Close, un message apparaît car la taille de l'image est plus grande que la taille actuelle de l'écran. Il est possible d'ajuster l'échelle en choisissant dans le menu **View** l'option **Full Plot** (Afficher l'image en entier). La fenêtre illustrée à la page suivante devrait correspondre à ce que vous obtenez, sans toutefois le tronçon de rivière qui y est dessiné.

Pour sauvegarder les étapes accomplies jusqu'à maintenant, allez à **File / Save Geometry Data as**. Sauvegardez les données de la géométrie avec les informations suivantes :

Title: Riv. du Loup - Géométrie initiale

La partie de la rivière qui sera étudiée est en effet représentée d'un trait fin sur cette figure; elle va du barrage de Rivière-du-Loup jusqu'au fleuve St-Laurent. Pour représenter ce tronçon, 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. Indiquez les informations suivantes :

River :Rivière du Loup; Reach: Aval

Dans un but de simplification, l'exemple présenté ici de même que le projet à réaliser ne comportent qu'un seul tronçon. En pratique, le système modélisé comporte bien souvent

plusieurs tronçons et parfois même plus qu'une rivière. Dans cette situation, les caractéristiques des points de confluence (bouton Junction) doivent être spécifiées.

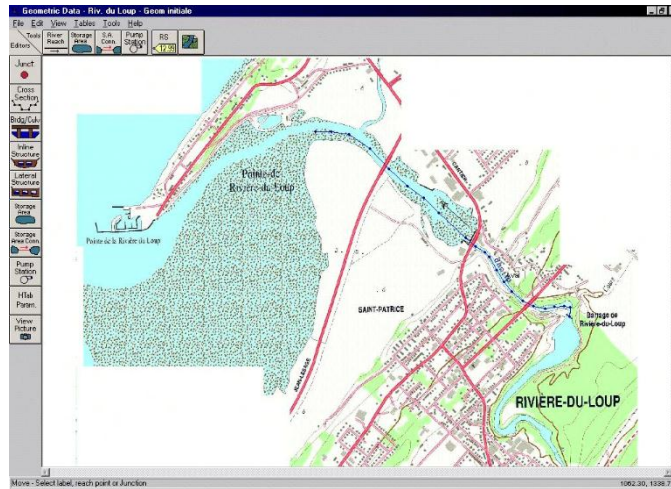


Figure I.1 6: Fenêtre de la géométrie

Les autres caractéristiques géométriques nécessaires à cette étape sont les sections transversales à différents endroits de la rivière. Les sections transversales sont représentées au moyen de points représentant des coordonnées X-Y, où X est la distance par rapport à un point de référence arbitraire placé sur la rive et Y est l'élévation du fond de la rivière.

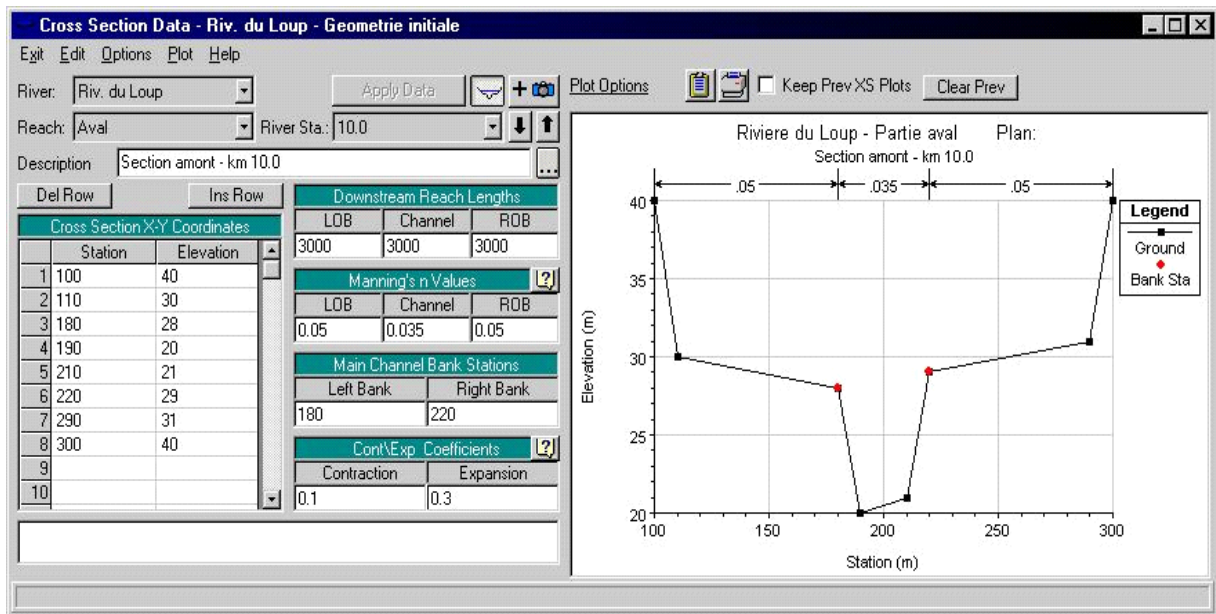


Figure I.1 7: Fenêtre cross section

Pour entrer les données, vous devez cliquer sur le bouton **Cross-Section** dans la partie gauche pour obtenir une fenêtre similaire à celle illustrée ci-haut, sans toutefois les données qui y sont

présentes. Dans le menu **Options**, choisissez **Adda 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.* Généralement, la distance depuis l'embouchure est utilisée comme station. Inscrivez donc ici 10.0 comme identificateur.

Inscrivez pour cette première section transversale les valeurs qui sont indiquées à la figure précédente. La signification de chacun des termes que l'on y retrouve est décrite ci-dessous.

**River:** Nom de la rivière sur laquelle la nouvelle section sera ajoutée.

**Reach:** Nom du tronçon de rivière sur laquelle la nouvelle section sera ajoutée.

River station: Identification numérique de la section transversale.

**Description:** Commentaires de l'utilisateur 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.

**Left Over banks (LOB)** signifie la partie gauche de la plaine inondable, **Right Overbanks (ROB)** sa partie droite, alors que **Channel** désigne le lit principal de la rivière.

**Manning's n values:** Coefficients de Manning de chaque portion de la section transversale.

**Main channel bank stations:** Coordonnées, dans le plan X seulement, des limites gauches et droites du lit principal (Channel) de la rivière. Les valeurs fournies doivent correspondre à une valeur déjà présente dans la partie Cross-section coordinats. Sinon, un message apparaîtra demandant si vous désirez que la valeur X spécifiée soit calculée par interpolation et ajoutée aux autres coordonnées.

Après avoir entré les données, cliquez sur **Apply Data**. Vous pourrez alors visualiser la section transversale que vous venez de définir dans la partie adjacente de la fenêtre. Vous devriez obtenir le même résultat qu'à la figure présentée plus haut. Certains des termes qui viennent d'être définis sont d'ailleurs illustrés. Les parties de la section transversale de la rivière, soit LOB, Channel et ROB sont délimitées dans le haut de la section, accompagnées de la valeur du coefficient de Manning correspondant à chacune d'elles.

Pour l'exemple vu ici, les prochaines sections seront basées sur une géométrie similaire, où huit points sont utilisés pour représenter de façon simplifiée la géométrie de chaque section transversale.

Dans la réalité, un plus grand nombre de points peuvent être nécessaires afin que les caractéristiques réelles de la section (Périmètre mouillé et aire de la section) soient bien

représentées dans le modèle.

On répétera alors l'étape **Adda new Cross Section** dans le menu **Options** à chaque reprise pour entrer le nom de chaque section (River station) et la géométrie de chacune d'elles.

Pour augmenter la stabilité des calculs de niveau par le modèle, il est recommandé d'avoir une distance raisonnable entre deux sections transversales. En assumant que la pente et les propriétés des sections varient de façon linéaire entre deux sections consécutives, la fonction **XS Interpolation** dans le menu **Tools** permet d'ajouter par interpolation de nouvelles sections entre deux sections existantes. Choisissez la fonction **Between 2 XS's**.

On choisit alors la section amont où débute l'interpolation ainsi que la section aval.

Cliquez sur **Interpolate** pour ajouter les nouvelles sections.

Avant de quitter la fenêtre Geometric Data, **sauvegardez** les informations que vous avez entrées.

### III.3.3. Débits et conditions limites

L'étape suivante de la modélisation hydraulique avec HEC-RAS est de spécifier les débits utilisés pour calculer les profils d'écoulement. Dans la fenêtre principale, cliquez sur le bouton **Steady Flow Data**. Les résultats d'une analyse de fréquence des débits maximums sont utilisés ici pour calculer les profils d'écoulement correspondants. Les valeurs obtenues sont tabulées à la figure suivante. Pour entrer ces valeurs de débits, indiquez d'abord **Number of Profiles: 4**. Par la suite, dans le menu Options, allez à **Edit Profile Names** et indiquez les noms de profils appropriés. Les valeurs de débit qui sont entrées aux cases correspondantes sont représentatives de la section amont (River Station 10.0) et sont considérés valides sur tout le tronçon de rivière, c'est à dire que le débit ne change pas dans le tronçon. HEC-RAS permet toutefois de représenter des changements de débits aux sections transversales, lorsqu'un affluent important entraîne un changement de débit dans le tronçon.

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates				
River	Reach	RS	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	
1	duloup	Aval	10	500	670	750	800

Figure I.1 8: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

**ReachBoundary Conditions.** Les conditions limites sont nécessaires pour calculer la hauteur d'eau initiale aux extrémités de chaque tronçon. Pour un écoulement infra critique (fluvial), seulement les conditions à la section aval sont nécessaires, tandis que pour un écoulement supercritique (torrentiel), les conditions limites à l'amont seulement sont utilisées. Selon le régime d'écoulement modélisé, une seule des deux conditions limites peut être indiquée.

Pour cet exemple, l'écoulement simulé est infra critique, c'est-à-dire qu'il y a une obstruction ou une perturbation dans la géométrie du cours d'eau, ou encore un niveau d'eau élevé à l'aval, qui provoque des ondes de gravité qui se propagent en partie vers l'amont. Pour la section aval (**Downstream**), sélectionnez la case appropriée et appuyez sur Known WS (Niveau d'eau connu) pour spécifier un niveau de 7,0 m. Ceci représente en fait le niveau approximatif du fleuve St-Laurent à cet endroit. C'est donc dire que le niveau du fleuve va influencer les niveaux d'eau qui seront calculés en rivière. Avant de passer à l'étape suivante, **sauvegardez** ces données avec **File / Save Flow Data As**. Entrez le titre : **Périodes de retour** et quittez cette fenêtre pour revenir au menu principal de HEC-RAS [23].

### III.3.4.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 Simulation** pour obtenir la fenêtre présentée plus bas. Le **Geometry File** et **Steady Flow File** 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 ci-dessous. Ce premier Plan sera sauvegardé dans le fichier rivduloup.p01, nom qui est déterminé par le logiciel [23].

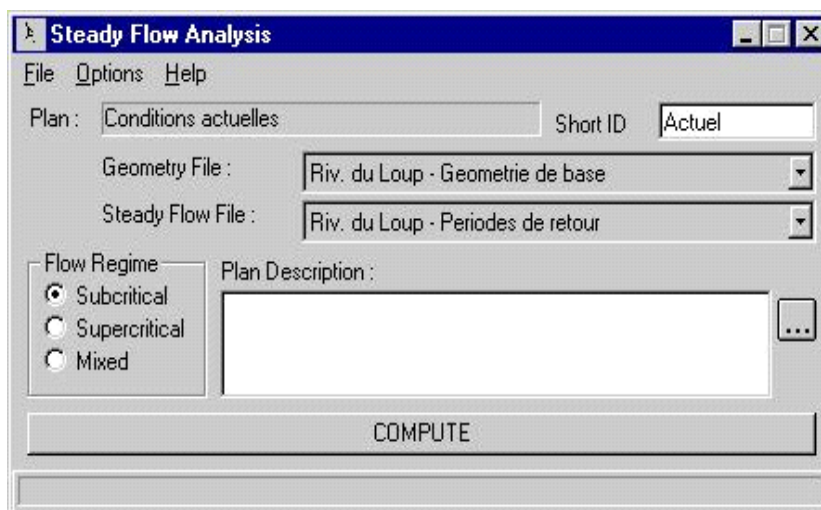


Figure I.1 9: Fenêtre Steady Flow Analysis

Choisissez le régime d'écoulement infra critique (**Subcritical**) et appuyez sur **Compute** pour

débuter la simulation. Une fenêtre montrant la progression de la simulation s'ouvrira et les calculs s'effectueront. Lorsque le programme a terminé, vous pouvez fermer la fenêtre Hydraulic Computation, ainsi que la fenêtre Steady Flow Analysis. Vous êtes maintenant de retour à la fenêtre principale de HEC-RAS. Pour visualiser les résultats obtenus, différentes fonctions seront présentées.

### III.3.5. visualisation des résultats

A la suite de la simulation, les résultats sont automatiquement sauvegardés dans le fichier rivduloup.o01. Un des résultats intéressant à consulter est la vue en profil du tronçon simulé. Cette fonction, **View Profiles**, est située dans la barre de boutons. La figure suivante montre un exemple de vue en profil des résultats. Allez également dans le menu Options de cette fenêtre. Vous y trouverez les options d'affichage, telles que Zoom et Pan.

Il y a également d'autres options qui permettent d'afficher les résultats d'un ou plusieurs Plans, d'ajouter ou supprimer l'affichage de certains Profiles, de changer le tronçon (Reaches) dont les résultats sont actuellement affichés. Ce menu Options est d'ailleurs similaire pour les différentes fenêtres graphiques permettant de visualiser les résultats.

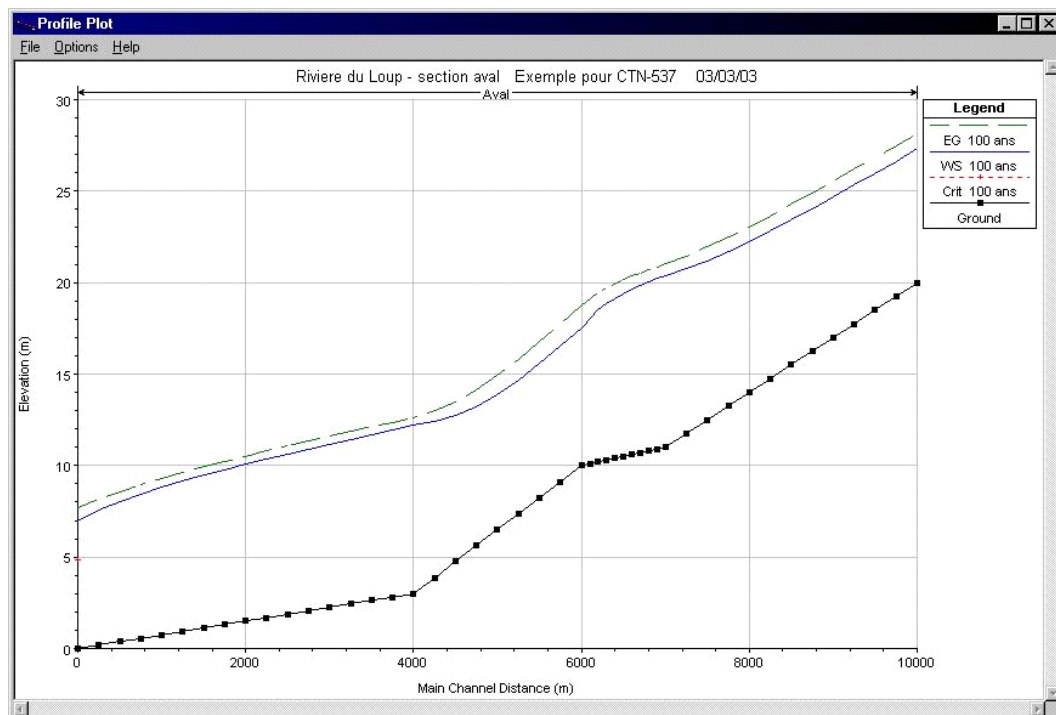


Figure I.1 10: Fenêtre Profil d'eau

Une autre option graphique intéressante est accessible via le bouton **View 3D multiple cross section plot**. Un exemple est montré à la figure suivante. Les sections transversales de début et de fin peuvent être modifiées pour n'afficher qu'une partie du tronçon à l'étude. Rotation et

Azimuth permettent quant à eux de modifier l'angle de vue. Pour ne voir qu'une seule section, il est préférable d'utiliser le bouton **View Cross Sections** qui a été utilisé précédemment. Vous retrouvez à nouveau le menu Options dans la fenêtre Cross Sections, même s'il diffère légèrement du précédent [23].

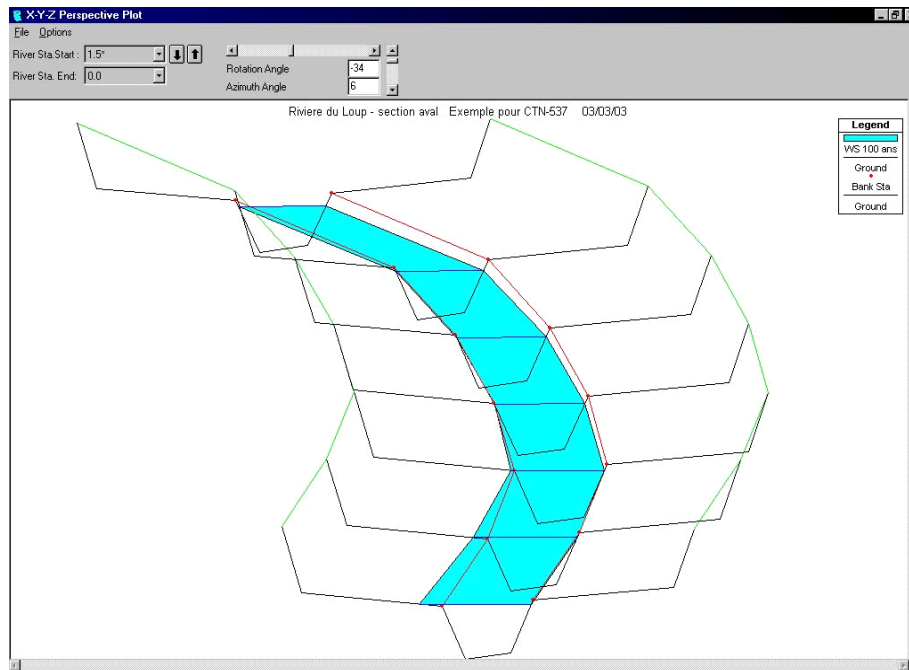


Figure I.1 11: Fenêtre Profil d'eau 3D

### III.4. Modélisation d'un écoulement non permanent

Pour les écoulements non permanents, la modélisation passe par les étapes suivantes :

#### III.4.1. Définition de la géométrie

La géométrie de la rivière est similaire à celle de l'écoulement permanent défini précédemment [23]. Mais dans notre étude on a utilisé le logiciel **WMS** pour définir la géométrie de la rivière par la création d'un modèle conceptuel.

##### III.4.1.1. La description du logiciel WMS

Le WMS est une plate-forme performante de modélisation hydrologique et hydraulique, créée pour la première fois par l'USACE en collaboration avec le laboratoire de recherche en modélisation environnementale installé au sein de l'université de Brigham Young (États Unis). Aujourd'hui, c'est l'Aquaveo LLC qui détient ses droits de développement.

Les tâches que ce logiciel peut aider à accomplir sont très diversifiées, mais ce qui l'a rendu sollicité par la DRPE c'est qu'il est apte à supporter la modélisation hydrologique et hydraulique

des modèles largement utilisés par les établissements publics et privés algérienne pour réaliser ou valider leurs études hydrologiques et hydrauliques, à savoir le HEC-1 et sa nouvelle forme HEC-HMS pour l'hydrologie et le HEC-RAS pour l'hydraulique.

Par ailleurs, la panoplie d'outils que possède le logiciel WMS permet d'effectuer avec excellence les opérations suivantes :

- Automatiser le processus de caractérisation physique des bassins (délimitation, morphométrie,...) ;
- Calcul et extraction des données d'entrée pour les modèles hydrologiques et hydrauliques à partir des cartes et donnée SIG (MNT, occupation du sol, Sols, Images,...) ;
- Interface graphique simple à manipuler pour une gamme de modèles hydrologiques et hydrauliques diversifiée, afin de préparer leurs fichiers de simulations ;
- Exécution des simulations de la majorité des modèles hydrologiques et hydrauliques qu'il contient [24].

### III.4.1.2.Méthodologie suivie


#### A. Géo-référencement des cartes topographiques (Travailler avec une carte topo)

Démarrer WMS ;

Ouvrir votre carte de la zone étudiée (sous forme d'image : .GPEG ou .GPG) ;

**1- File** ⇒ Open carte (Nom du fichier : Géologie Soummam)

*La carte de la zone est non géo-référencée, pour le géo-référencement on choisit deux ou trois points et on entre ses coordonnées réels ;*

**2- Calage** (des 3 points) : Zoomer et caler (placer le signe  à l'extrémité)

**3- Vérifier** les coordonnées (x, y, z) avec une carte non coupée (d'origine) en introduisant les coordonnées des 3 points (sans conversion vers autre unité)

*Après le géo-référencement de la carte, on passe à la définition des paramètres de la zone de projection*

**4- Open MNT** (photo satellitaire) ou données satellitaire [n36\_e004\_3arc\_v1.hdr](hdr) : Sélectionner les données (vérifier les valeurs des coordonnées) et OK ⇒ Un message : *voulez vous faire la conversion des unités* : **Non**

**5-Contour option**, coche l'onglet **specify a range** et entre les valeurs d'élévations min et max réelles de la région (0 – 2330), **Number of contours** : 10,

A Sidi-Aich : min = 80 et max= 2305

**Bold Option** → (Bold every) : 5 et 1 ⇒ Ok

**6-** Le système de projection du MNT téléchargé n'est pas défini, on doit le définir puis le convertir au système de projection de la carte de la zone étudiée ;

On fait un clic droit sur le **DEM** dans **project Explorer** et choisir **coordinate conversion (ou dans Edit : coord. Conv)**

- Dans la colonne **object projection**, on clique sur **set projection** et on définit les paramètres de la projection du MNT (Geographic (lat – long), North of sahara 1959 – Arc degrees)
- Dans la colonne **Project projection**, on coche **Specify** puis on clique sur **Set projection** et on définit les paramètres de la projection de la zone d'étude (UTM , NAD83, Meters, Zone : 31 (0°E – 6°E)

⇒ Enregistrer (save (wms-nom))

**7-** Le MNT téléchargé peut être plus grande que la carte donc pour l'ajuster à la taille de la carte on clique sur **DEM** puis **Trim** et choisit **polygone (interactively)** ensuite on délimite la carte et fait un double clic ;

Comme on a déjà noté le MNT peut contenir des erreurs, pour corriger ces erreurs, on clique sur **DEM Trim** et on choisit **elevation** puis on définit l'élévation maximale de la région, WMS va supprimer toutes les élévations supérieures de la valeur entrée ;

On clique sur **display, display option** et on coche **no data cells** pour afficher les points qui n'ont pas une valeur d'élévation

**8-** Pour corriger le MNT on fait une interpolation afin d'avoir les valeurs manquantes; on clique sur **DEM** puis **FILL**.

## B. Délimitation du bassin versant

WMS calcule les directions des écoulements et les accumulations pour créer des cours d'eau sur le MNT en utilisant un programme appelé TOPAZ ;

On clique sur l'icône **Hydrologic Modeling Wizard**, on choisit le chemin du projet, on clique sur suivant puis détermine les unités et enfin on clique sur **compute TOPAZ**

**Ouvrir le dossier** (sauvegardé déjà : **wms.nom**)

**Les unités (meters)**

**ComputeTopaz (suivant, suivant...) annuler ⇒ save**

### III.4.1.3. Passage de WMS au HECRAS

#### A. Chercher le fichier.tin

##### 1. Convertir au TIN

- Sélectionnez **DEM / Conversion / DEM->TIN / Filtered**
- Sélectionnez **OK**
- Faites un clic droit sur **New Tin** sous **Terrain Data** dans l'explorateur du projet et sélectionnez **Display Options**
- Sur l'onglet **TIN**, désactivez **Triangles** et activez **Boundaries**

- Sélectionnez *OK*
- Cachez le DEM en le désactivant

## 2. Créer le Fichier du Projet HEC-RAS

Maintenant que le modèle est mis en place, nous devons créer le fichier du projet HEC-RAS.

- Sélectionnez *HEC-RAS / Export GIS File*
- Nommez le fichier *hecra.prj*
- Sélectionnez *Save*
- Sélectionnez *Yes*
- Après avoir sauvegardé le fichier du projet HEC-RAS, WMS ouvrira automatiquement l'application HEC-RAS et ouvrira le projet.

## 3. Utiliser HEC-RAS

Dans HEC-RAS, nous allons mettre en place et exécuter la simulation et ensuite exporter les résultats pour post-traitement dans WMS. La mise en place sera composée de: entrer la longueur des jonctions, spécifier la valeur des débits et assigner les conditions des limites de la rivière.

- Sélectionnez *Edit / Geometric Data*
- Une fois terminé, sélectionnez *OK*  
Sélectionnez *File / Exit Geometry Data Editor*

L'étape suivante est pour définir le débit et conditions des limites pour les portées.

- Sélectionnez *Edit / Steady Flow Data*
- Pour Profile 1 (PF 1), entrez 4000 pour Upper Main; entrez 5000 pour Lower Main; entrez 1000 pour West Tributary
- Cliquez sur le bouton *Reach Boundary Conditions*

Pour notre analyse nous allons demander à HEC-RAS de calculer les profondeurs normales aux limites pour notre modèle.

- Pour chaque boîte vide du tableur, sélectionnez la boîte et cliquez sur le bouton *Normal Depth*. Dans le dialogue qui apparaîtra, entrez les valeurs suivants pour les pentes de chaque portée: 0.003 pour upperreach, 0.001 pour lowerreach, et 0.005 pour le tributaire.
- Sélectionnez *OK*
- Cliquez sur le bouton *Apply Data*
- Sélectionnez *File / Exit Flow Data Editor*


Nous sommes maintenant prêts à exécuter l'analyse du flux constant. Nous devons fixer une option pour fixer les locations de la distribution des flux afin que les profils de vitesses puissent être calculés.

- Sélectionnez *Run / Steady Flow Analysis*
- Sélectionnez *Options / Flow Distribution Locations*

- Changez les subsections Global à 3 dans les trois champs (LOB, Channel, et ROB)
- Sélectionnez *OK*
- Cliquez le bouton *Compute*. Cela exécute l'analyse 1D
- Fermez le dialogue *Steady Flow Analysis*
- Fermez HEC-RAS et sauvegardez si on vous demande

#### 4. Post-Traitement

Maintenant que HEC-RAS a calculé les élévations des surfaces des eaux, nous pouvons lire les solutions dans WMS. Les élévations des surfaces des eaux sont en Points Dispersés (scattered) 2D et peuvent être utilisés pour performer une délimitation des plaines d'inondations.

- Dans WMS, passez au module *River* 
- Sélectionnez **HEC-RAS / Read Solution**

Notez le nouveau fichier des points dispersés. Ces points contiennent les élévations des surfaces des eaux calculées par HEC-RAS. Nous avons 7 lignes transversales donc les 7 points dispersés avec quoi délimiter la plaine d'inondation.

- Sélectionnez la couverture 1D-Hyd Centerline
- Sélectionnez **River Tools / Interpolate Water Surface Elevations**
- Choisissez *At a specified spacing* pour l'option *Create a data point*
- Entrez 60 pour le spacing
- Sélectionnez *OK*
- Sélectionnez la couverture 1D-Hyd Cross Section
- Sélectionnez **River Tools / Interpolate Water Surface Elevations**
- Sélectionnez *OK*
- Passez au module *Terrain Data*
- Sélectionnez **Flood / Delineate**
- Activez la boîte *Search radius* et entrez 1000 pour le radius
- Activez la boîte *Quadrants*
- Entrez 4 pour number of stages dans un quadrant
- Sélectionnez *OK*
- Sélectionnez le data set nommé *W.S. Elev-PF 1 (FLOOD)*
- Sélectionnez **Display / Display Options**
- Choisissez *TIN Data*
- Activez *TIN Contours* et choisissez le bouton *Options*
- Choisissez *Colorfillsous Contour Method*
- Sous *Data Range*, sélectionnez *Specify a Range*
- Dé-sélectionnez *Fillbelowet Fillabove*
- Sélectionnez *OK* deux fois.

Cet exemple sur la dernière partie HEC-RAS est pour la détermination des élévations des surfaces des eaux d'une plaine d'inondation.

### III.5. Préparer un modèle conceptuel

La première étape pour créer un modèle HEC-RAS est de créer un modèle conceptuel qui définira les portées des fleuves (plans et attributs), la position des lignes transversales des portées (valeurs des orientations et stations), locations des rives, et les zones de matériaux[25]. Maintenant on va exporter et exécuter le modèle HEC-RAS. Après avoir sauvegardé le fichier du projet HEC-RAS, WMS ouvrira automatiquement l'application HEC-RAS et ouvrira le projet.

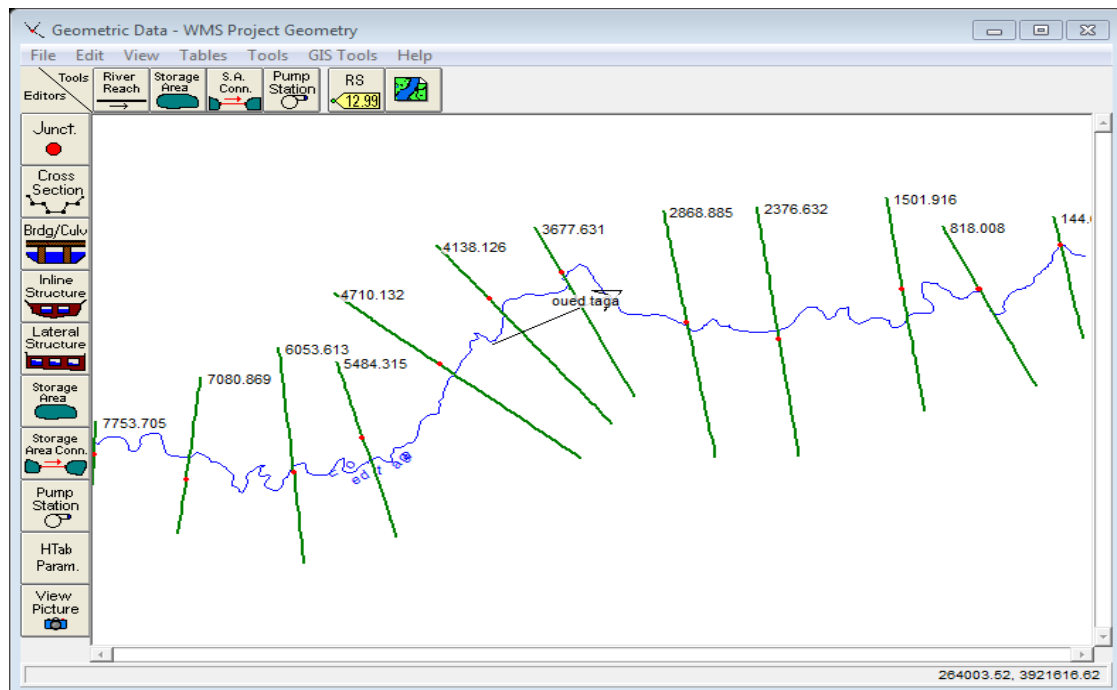


Figure I.1 12: Fenêtre géométrie (WMS projet géométrie)

#### III.5.1. Définition des conditions initiales

L'écoulement non permanent dépend du temps, donc il faut définir les conditions initiales au temps zéro.

Pour se faire, ouvrir la fenêtre **Unsteady Flow Data** et cliquer sur **Initial Conditions** (voir schéma suivant)

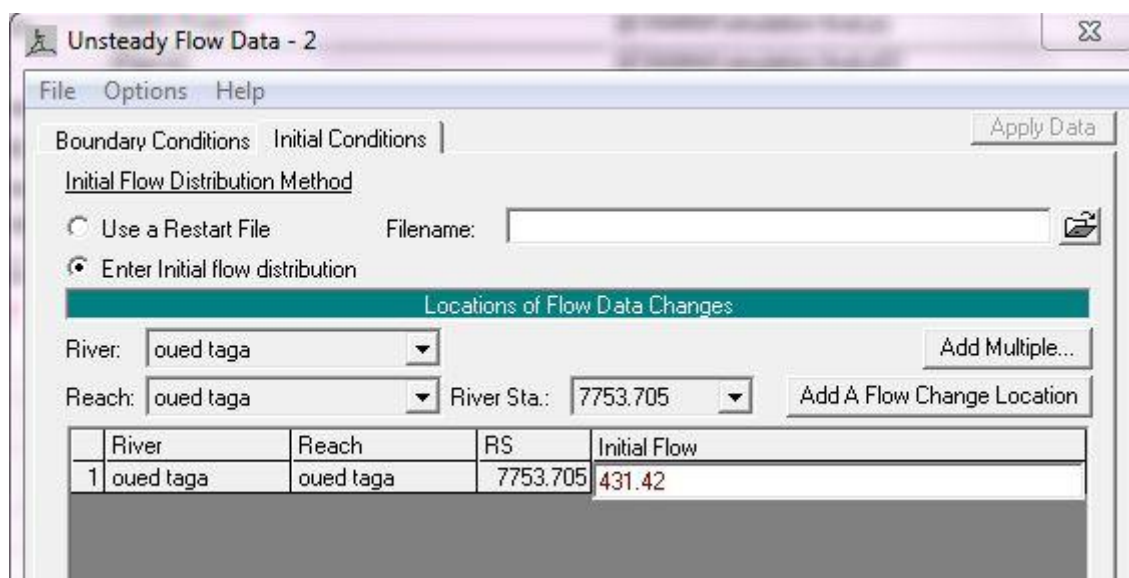


Figure I.1 13: Fenêtre conditions initiales

Si on a une seule branche dans notre rivière, HEC-RAS vous affichera le nom **River**, **Reach** et **RS** (la section à l'extrême amont de la rivière) et vous demandera de définir le débit initial au temps zéro dans **Initial Flow**.

Si la rivière possède plusieurs branches, il faut donner un débit initial de chaque branche. Pour cela, on peut sélectionner la branche dans Resch [23].

### III.5.2. Définition des conditions aux limites

Définir les conditions aux limites représente une étape fondamentale pour simuler un écoulement non permanent.

Ouvrir la fenêtre **Unsteady Flow Data** et cliquer sur **Boundary Conditions** [23].

HEC-RAS affichera automatiquement les noms (Station) de toutes les sections qui se trouvent aux frontières de la rivière. Il suffit alors de choisir le type de conditions aux limites pour chaque Station affichée.

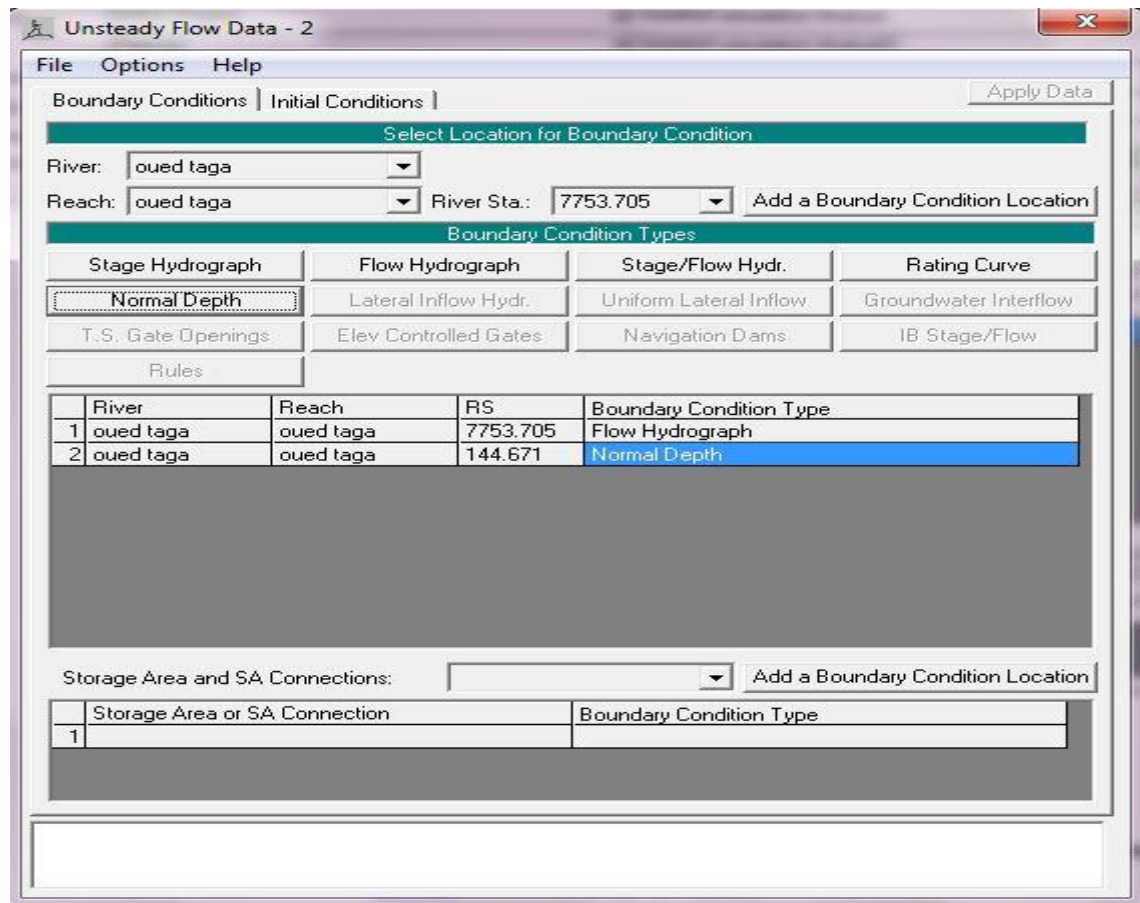


Figure I.1 14: Fenêtre conditions aux limites (boundary condition)

Les principaux types de condition aux limites sont les suivant :

**Stage Hydrographe :** représente la variation de la hauteur d'eau en fonction du temps et y utilisé en amont ou en aval de la rivière.

**Flow Hydrograph:** représente la variation du débit en fonction du temps (hydrogramme de crue) et y utilisé surtout en amont de la rivière

**Stage/Flow Hyd:** représente la variation de la hauteur d'eau en fonction du débit et y ut en général à l'aval de la rivière

**Normal Depth:** représente la pente de la ligne d'eau à l'endroit de la section (la pente du canal ou de la rivière peut être utilisée). Elle est utilisé en aval de rivière.

**T.S GateOpenings :** représente la hauteur d'ouverture de la vanne en fonction du temps (peut être utilisé pour simuler l'ouverture de la vidange de fond d'un barrage)[23].

### III.5.3.Simulation hydraulique

Après avoir entré toutes les données dans HEC-RAS, il reste à réaliser le calcul proprement dit.

Ouvrir la fenêtre **PerformanUnsteady Flow Simulation** [23]

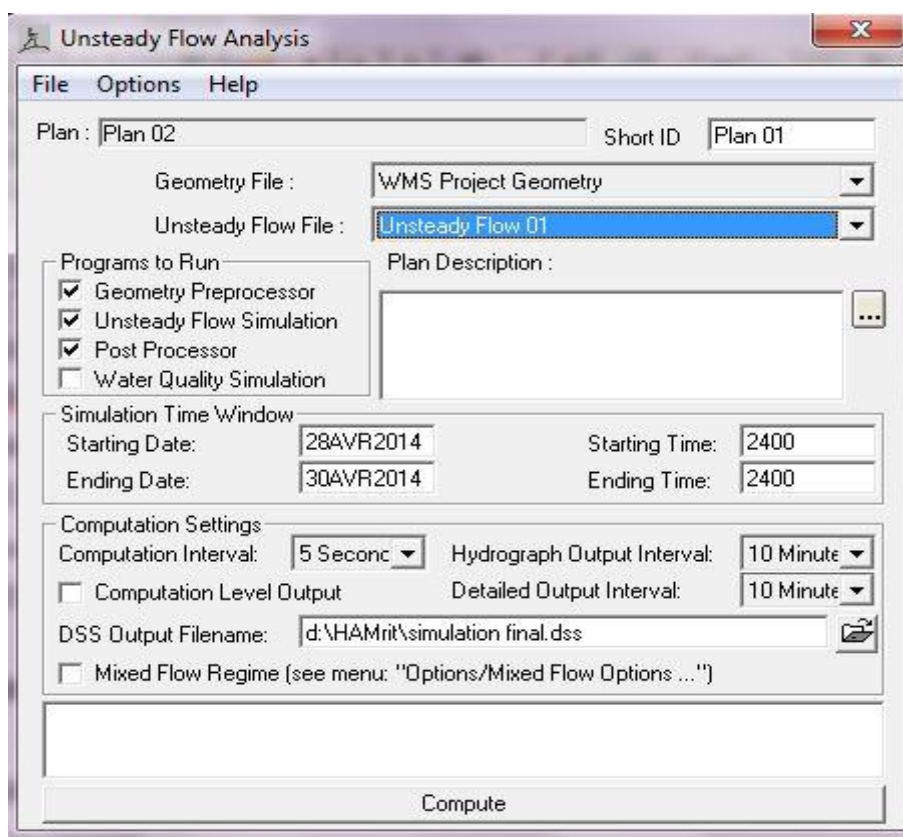


Figure I.15: Fenêtre Unsteady Flow Simulation

*Entrer les données suivantes :*

**Starting Date et Ending Date :** Elles représentent respectivement la date du début et de la fin de la simulation.

**Starting Time et Ending Time :** Elles représentent respectivement le temps du début et de la fin de la simulation.

**Computation Inteval :** C'est le pas du temps utilisé pour le calcul. Ce temps est très important car si la simulation ne réussit pas, il faut le diminuer[23].

Cliquer maintenant sur le bouton **Compute** est la simulation débutera.

### III.5.4. Visualisation des résultats

HEC-RAS possède beaucoup de moyens pour afficher les résultats. Les plus importants sont les suivants :

- **Profil en Long :** Cliquer sur **ViewProfiles** pour afficher la ligne d'eau en un temps voulu. On peut réaliser une animation de la ligne d'eau en utilisant le bouton **Animate the simulation results**.
- **Vue 3D (X-Y-Z) :** Cliquer sur **View3D multiple cross section plot** pour afficher la vue 3D de la rivière en un temps voulu. On peut réaliser une animation en utilisant le bouton **Animate the simulation results**.

On peut aussi étudier la variation de la hauteur d'eau en fonction de débit dans chaque section comme indiqué dans le schéma suivant :

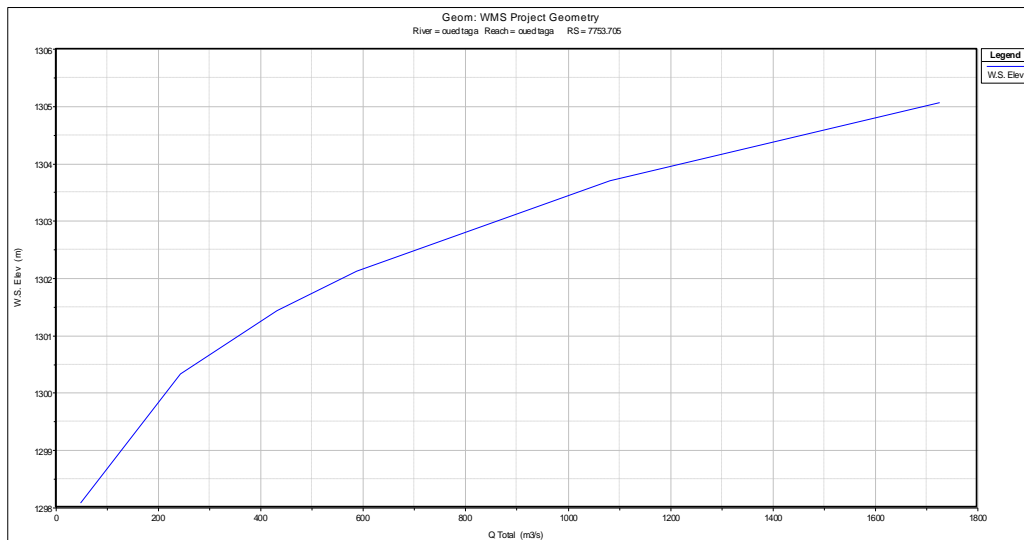


Figure I.1 16: Evolution de la hauteur d'eau maximale en fonction du débit

### III.6. Conclusion partielle

Dans ce chapitre nous avons présenté le mode de travail de logiciels HEC-RAS et WMS avec des exemples de simulation d'écoulement permanent et non permanent. La méthode utilisée par le logiciel HEC-RAS apporte des réponses face au risque d'inondations, en cas de rupture de barrage. Des renseignements complémentaires sont également fournis qui permettent d'estimer le débit maximal et la vitesse maximale de l'onde ainsi la hauteur d'eau maximale pour procéder à des résultats cartographiques facilement lisibles.



## **Chapitre IV : Application du logiciel HEC-RAS**

## Chapitre IV : Application du logiciel HEC-RAS

### IV.1.Introduction

Ce chapitre est consacré à l'application du logiciel HEC-RAS pour la simulation du niveau d'eau dans un tronçon de rivière de l'Oued Soummam et la quantification des apports solides. Dans notre étude nous allons faire une étude de quantification du transport solide annuel arrivant à l'estuaire de Béjaia (Sidi-Aich – Béjaia).

### IV.2. Les données nécessaires pour la simulation

#### IV.2.1. Coefficient de Manning-Strickler

Le coefficient de Manning-Strickler doit tenir compte de l'occupation du fond de la vallée au niveau de la section.

Tableau IV.1 : Le coefficient de Manning de chaque matériau

Matériel	Rugosité
jurassique-inferieur	0.033
calcaire	0.035
alluvions	0.03
trias	0.033
sols insaturés	0.033

#### IV.2.2. Les débits des crues

Les débits utilisés sont ceux des crues de Mai 1974, Mars 1976, Mars 1980, Décembre 1981 et Janvier 1982 (Tableau IV.2). Le choix de ces séries est motivé par le fait qu'elles sont continues et présentent moins de lacunes par rapport aux autres [26].

La pente du tronçon de la rivière étudiée (Sidi Aich - Béjaia) varie de 3.0 % à 0.2 %.

#### IV.2.4. La granulométrie

La granulométrie choisie est celle qui correspond au sable fin et à l'argile. Elle est présentée dans le tableau suivant

Tableau IV.2 : Les débits des crues utilisées

Débit (m <sup>3</sup> /s)				
Mai 1974	Mars 1976	Mars 1980	Décembre 1981	Janvier 1982
108	40.1	73.9	8.4	6.45588235
185	50.5	95.2	13.2	23.64
92.6	55.3	165.9	33.16	41.8
78	74.4	250	53.3	58.18
108	123.4	377	94	64.28
47.3	101.2	635	76.3	100
28.8	72.1	558.2	63.06	109
27.56	62.1	349.8	46.4	103
25.7	50.5	102.8	39.64	80.5
23.38	35.5	95.2	20.32	74.95
23.38		71.8	15.88	63.06
21.12		46.2	15.88	53.3
		37	15.14	
		29.8	14.4	
		24.84	13.8	
		21.68		

Tableau IV. 3 : Granulométrie de la rivière étudiée

Diamètre (mm)	Fine %
0.0625	45
0.125	60
0.25	70
0.5	80
1	100

### IV.3. Les étapes de la modélisation

Les étapes citées dans la section (III.4.3) du chapitre (III) ont été suivies et développées.

#### IV.3.1. Création d'un MNT des lits de l'Oued

#### IV.3.2. Le passage de WMS au HEC-RAS

Nous avons projeté 50 sections le long du tronçon d'étude sur une longueur de 45 km (Sidi Aich Bejaia)

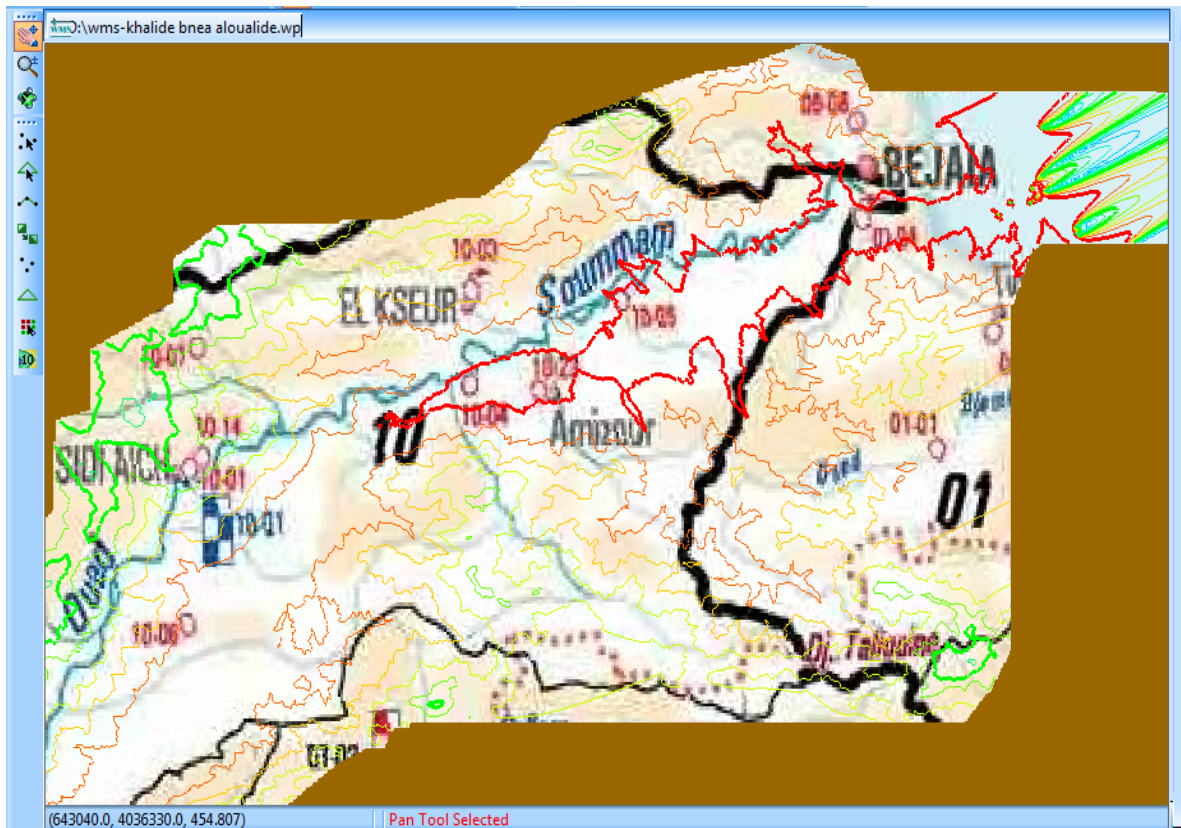


Figure I.1 1: MNT TIN du bassin versant

Géométrie des sections : fenêtre géométrique data Oued Soummam sur HEC-RAS

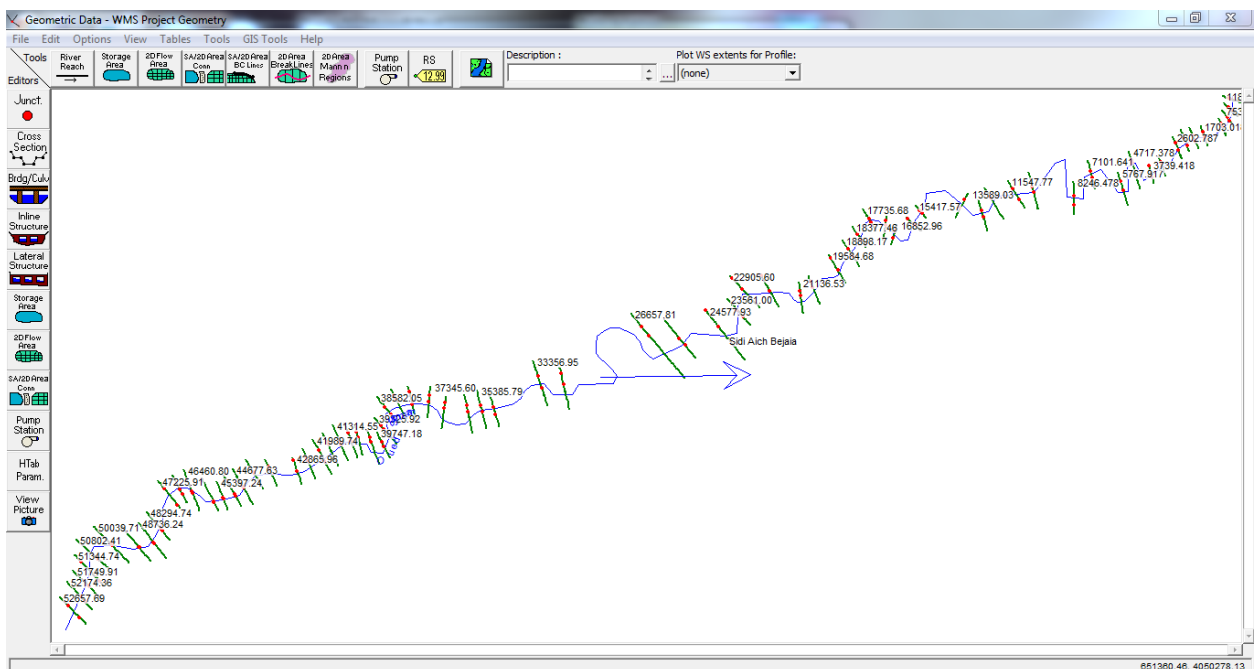
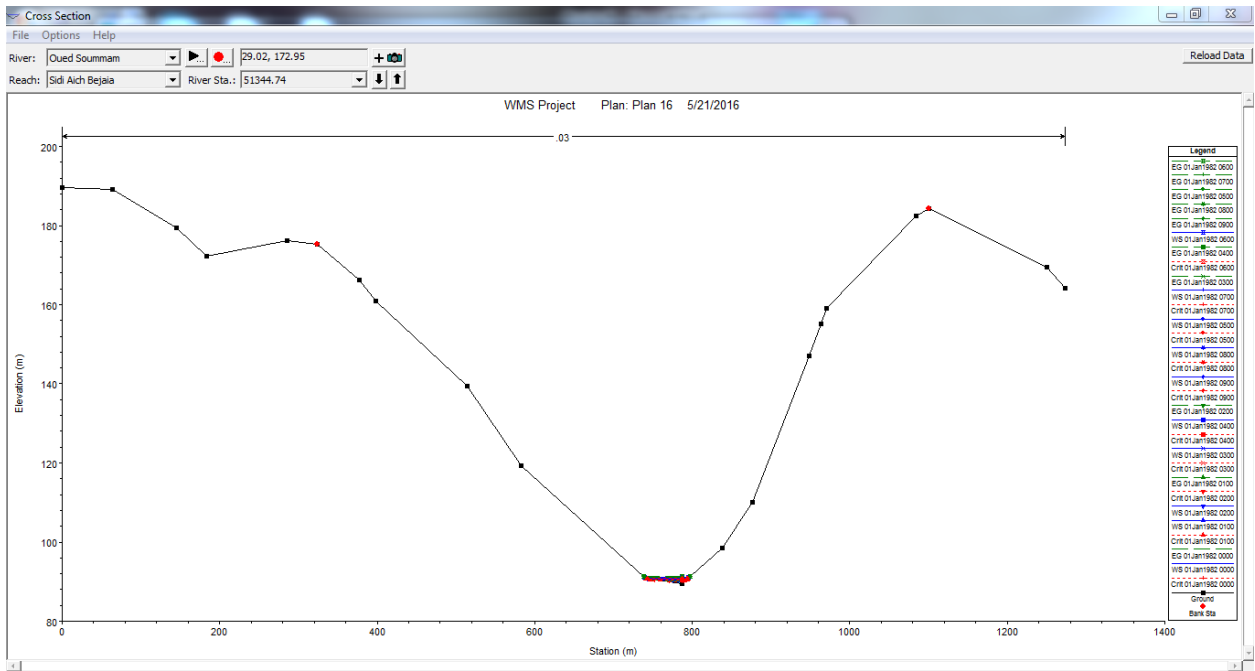


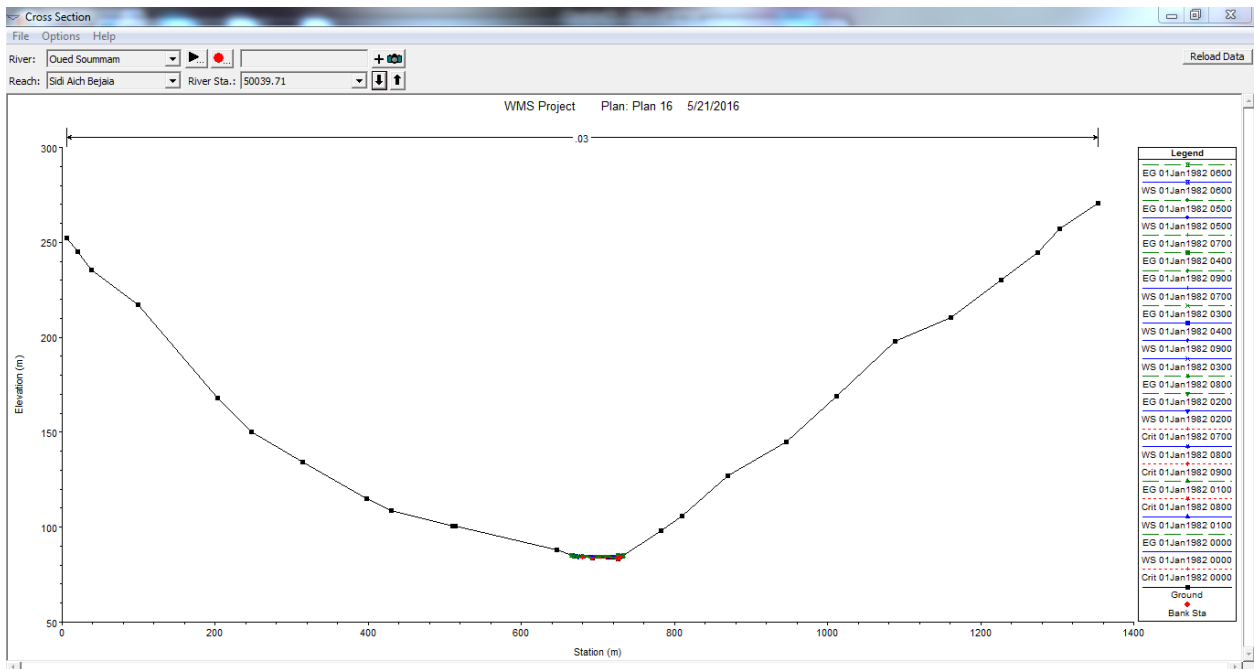
Figure I.1 2: La géométrie après l'exportation de WMS à HEC-RAS

### IV.4. Quelques sections sur fenêtre (Cross Section Data)

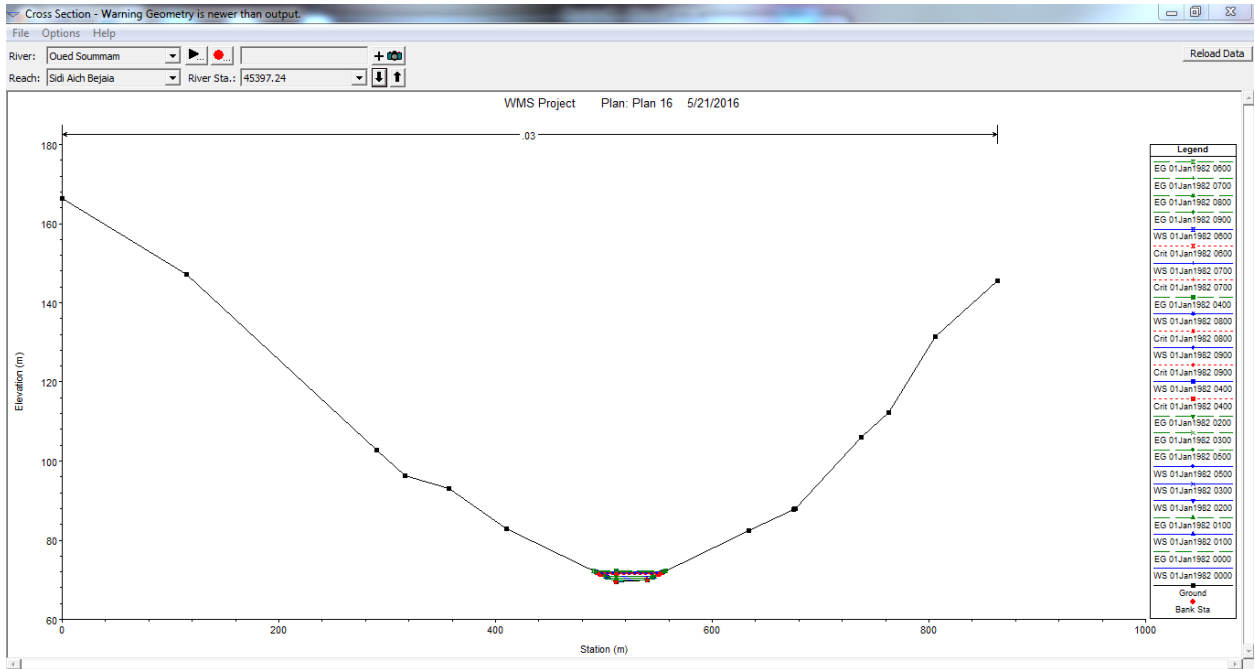
#### La section X = 51344.74



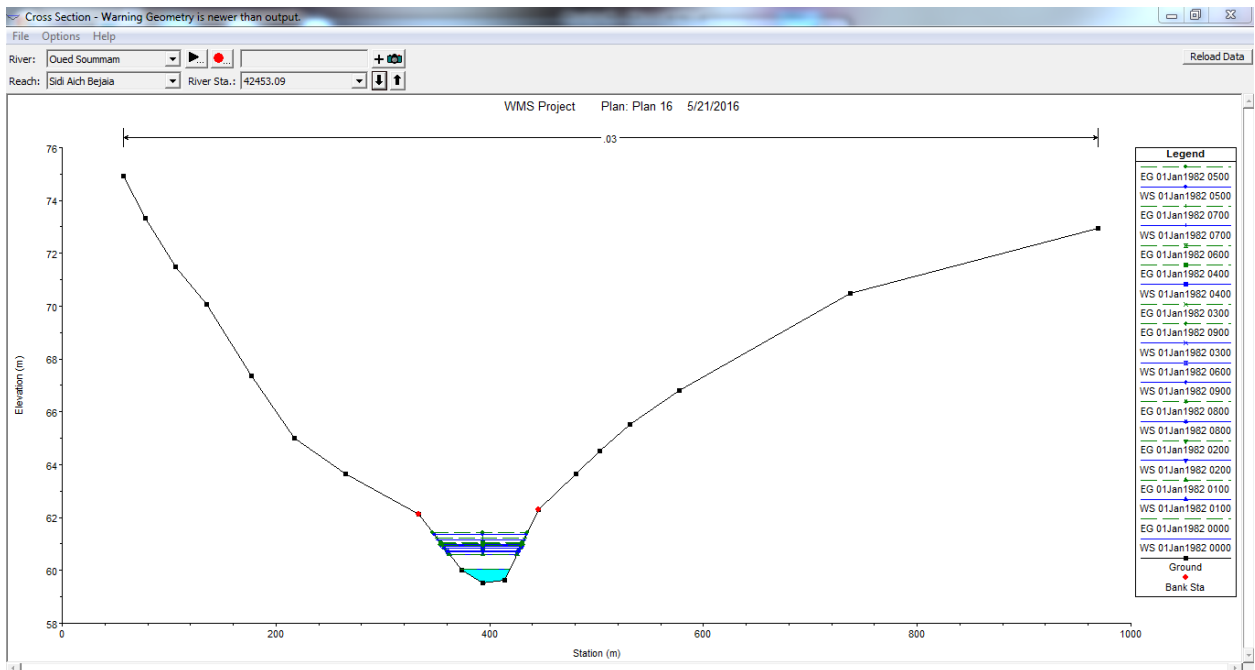
#### La section X = 50039.71



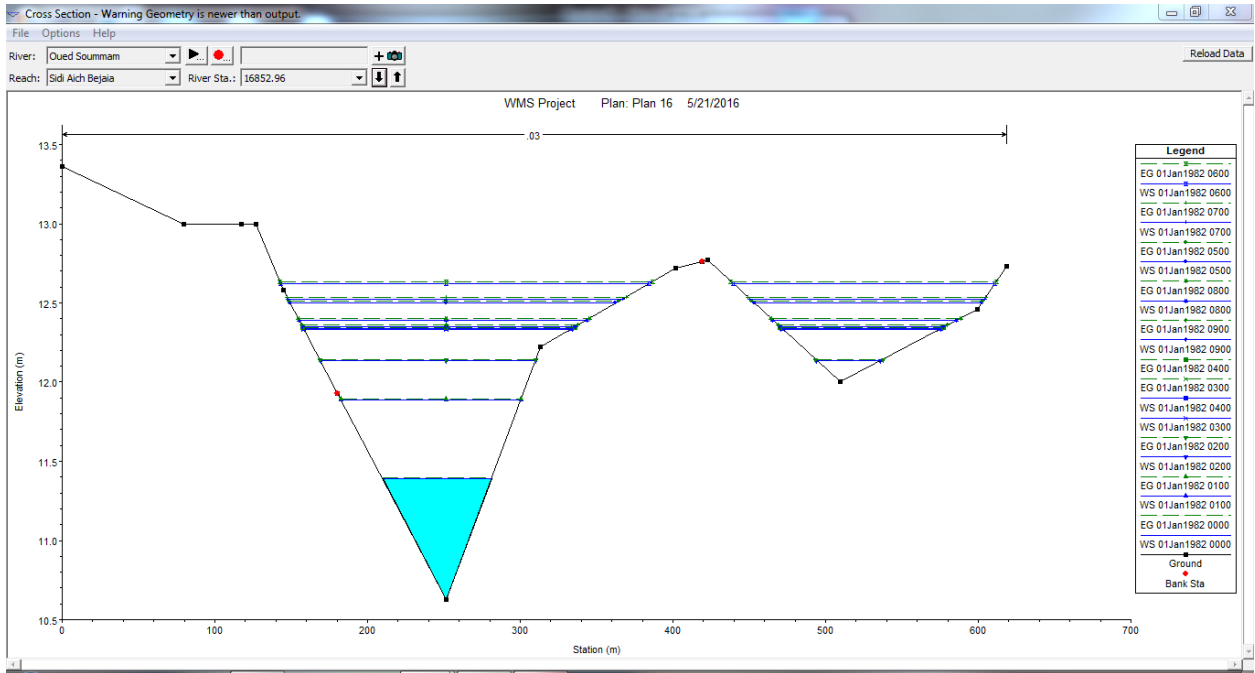
La section X = 45397.2



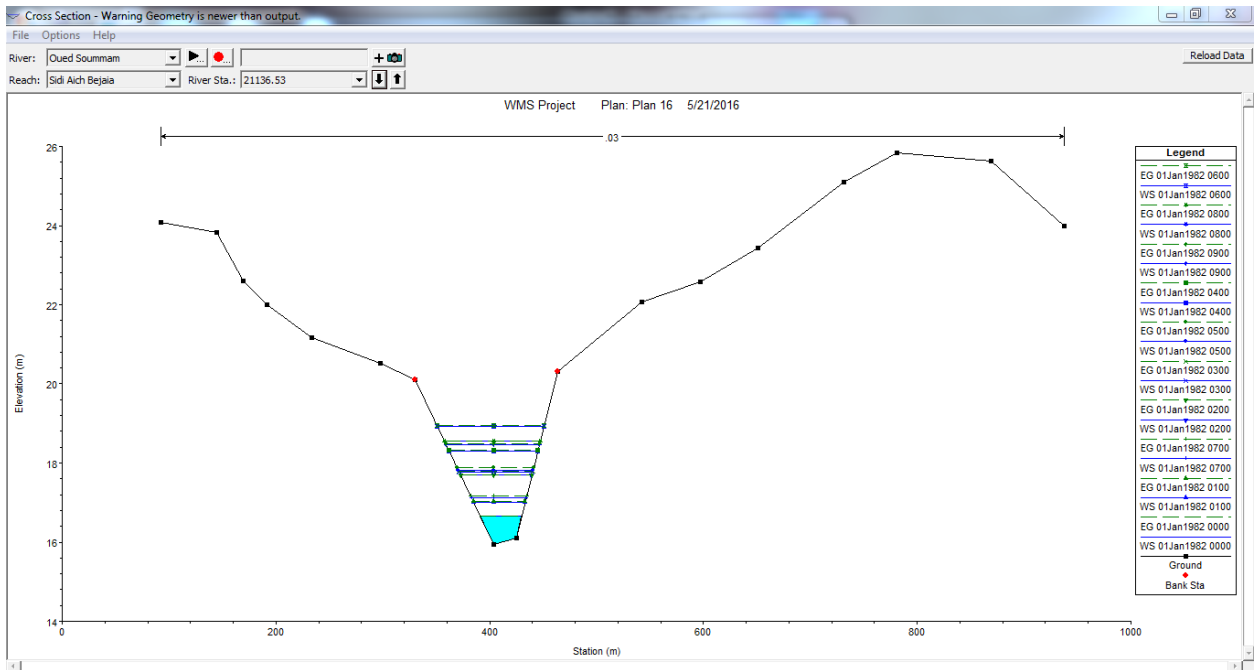
La section X = 42453.09



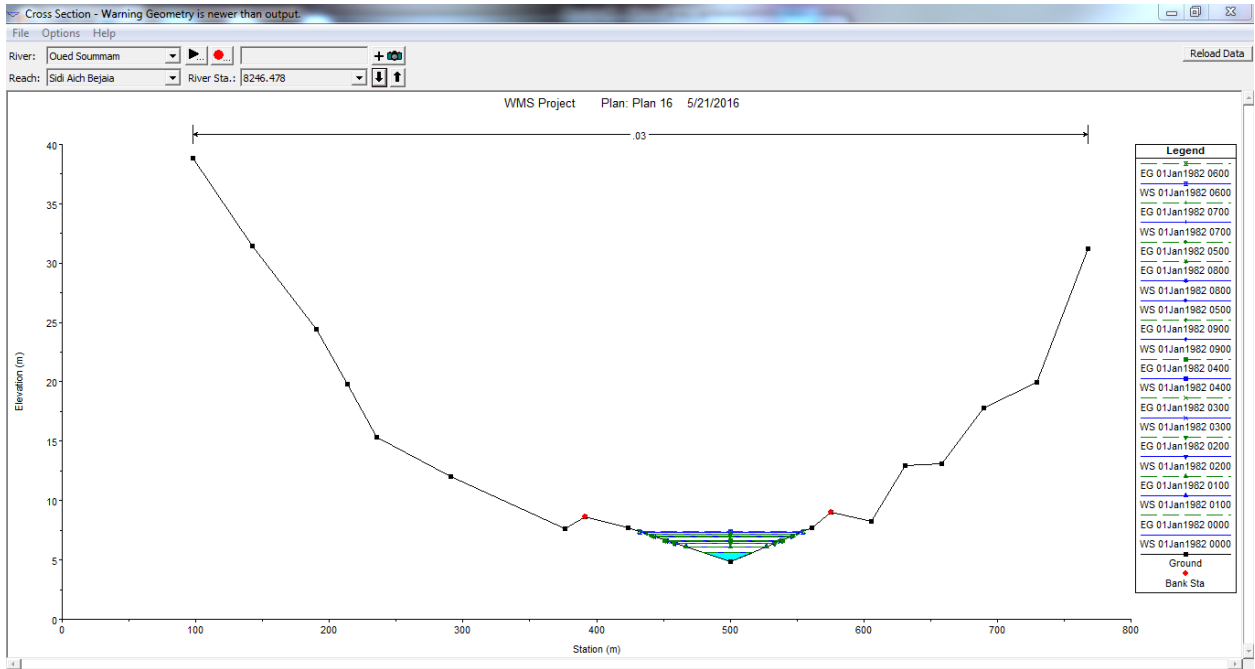
**La section X = 16852.96**



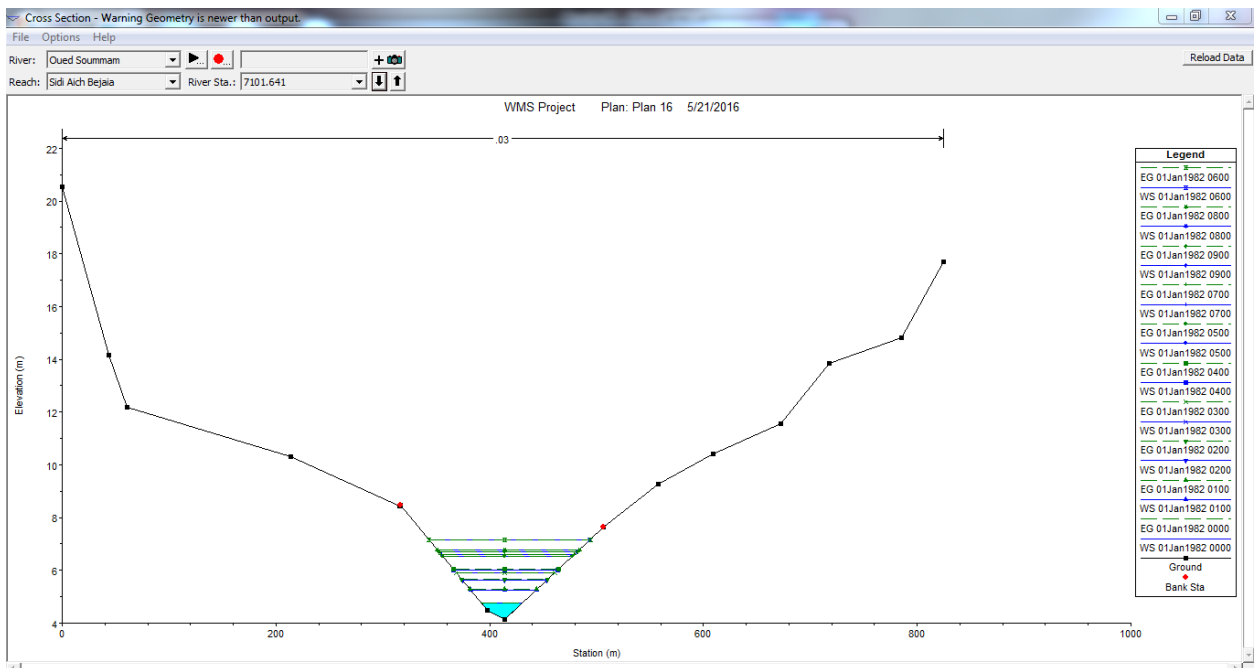
**La section X = 21136.53**



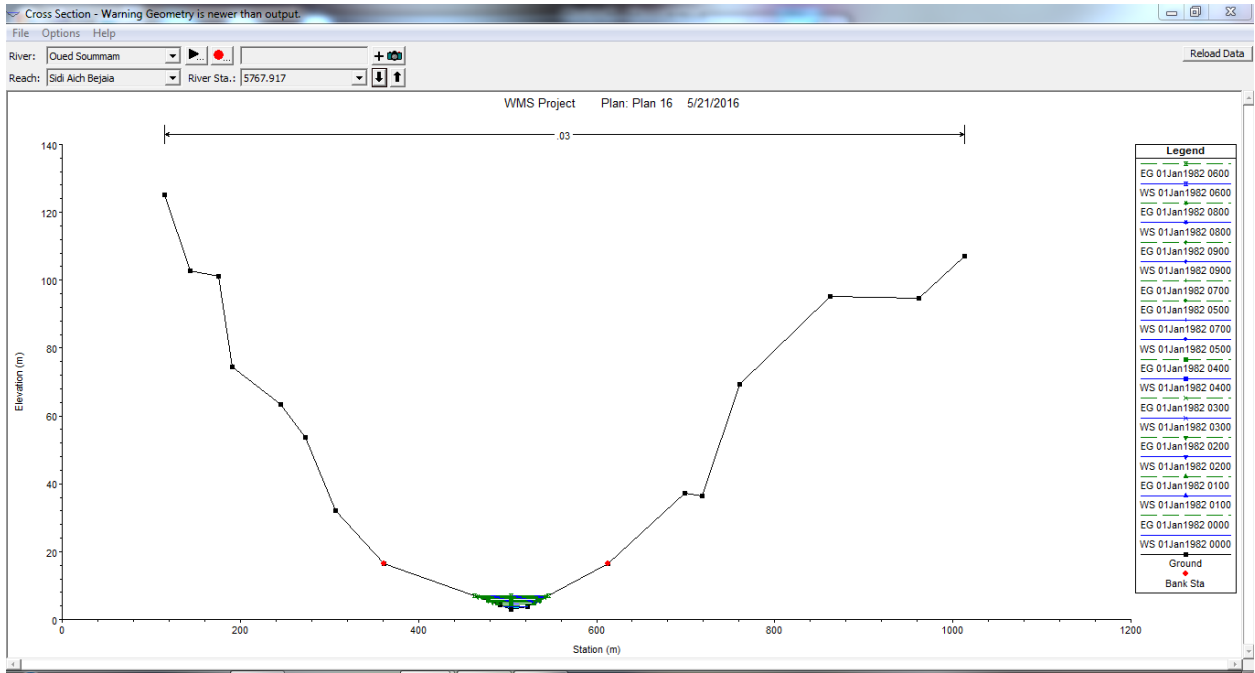
**La section X = 8246.478**



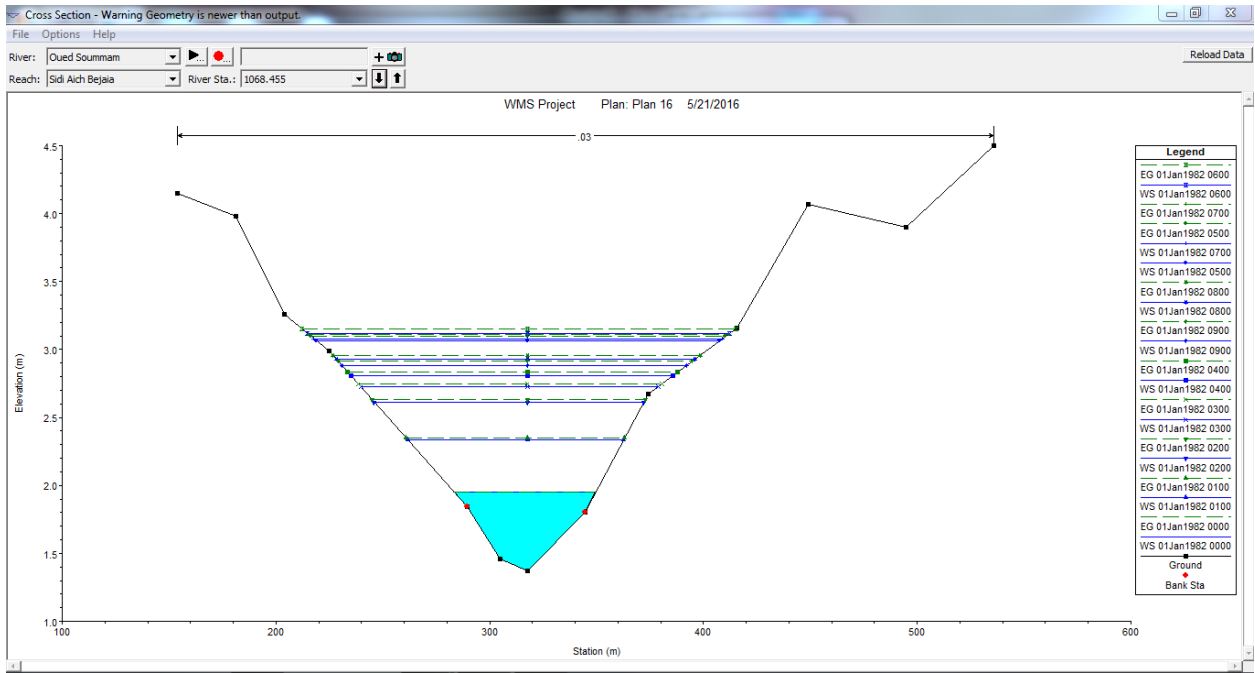
**La section X = 7101.641**



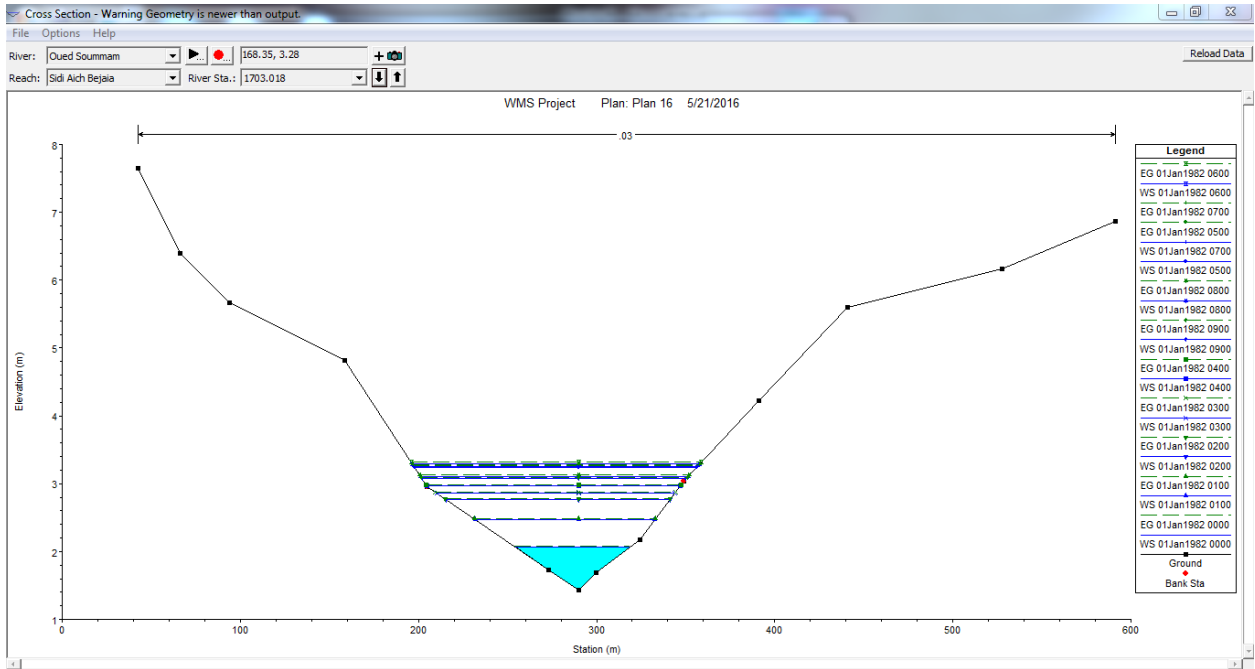
**La section X = 5767.917**



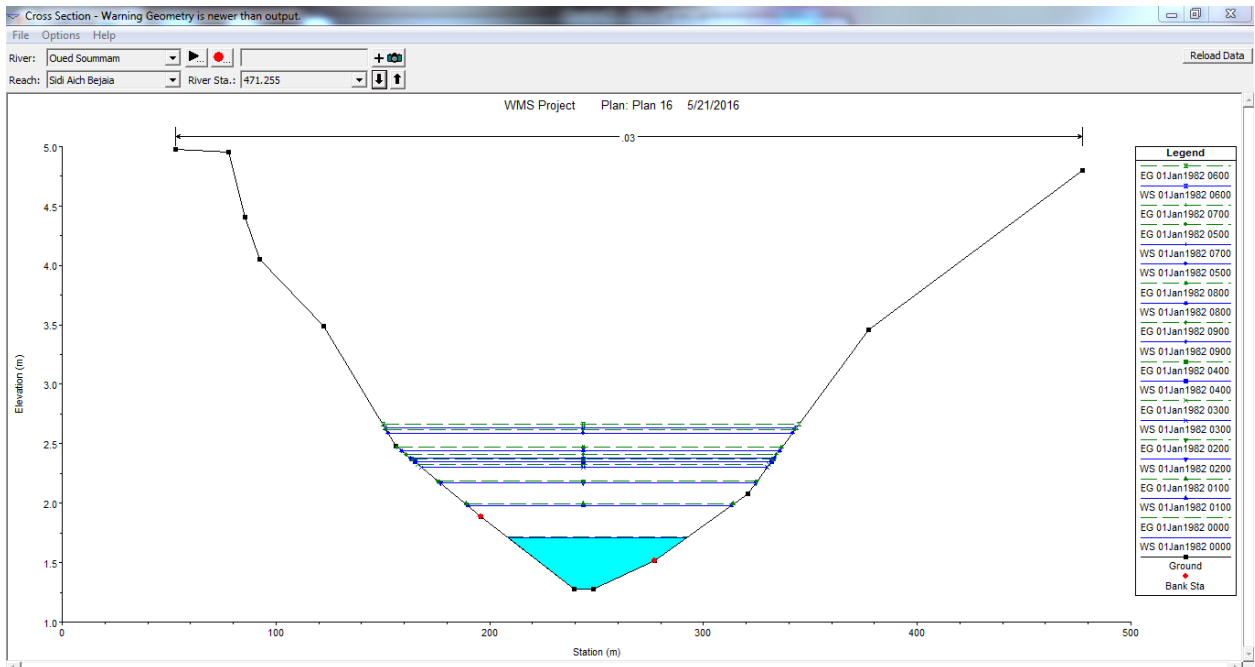
**La section X = 1068.455**



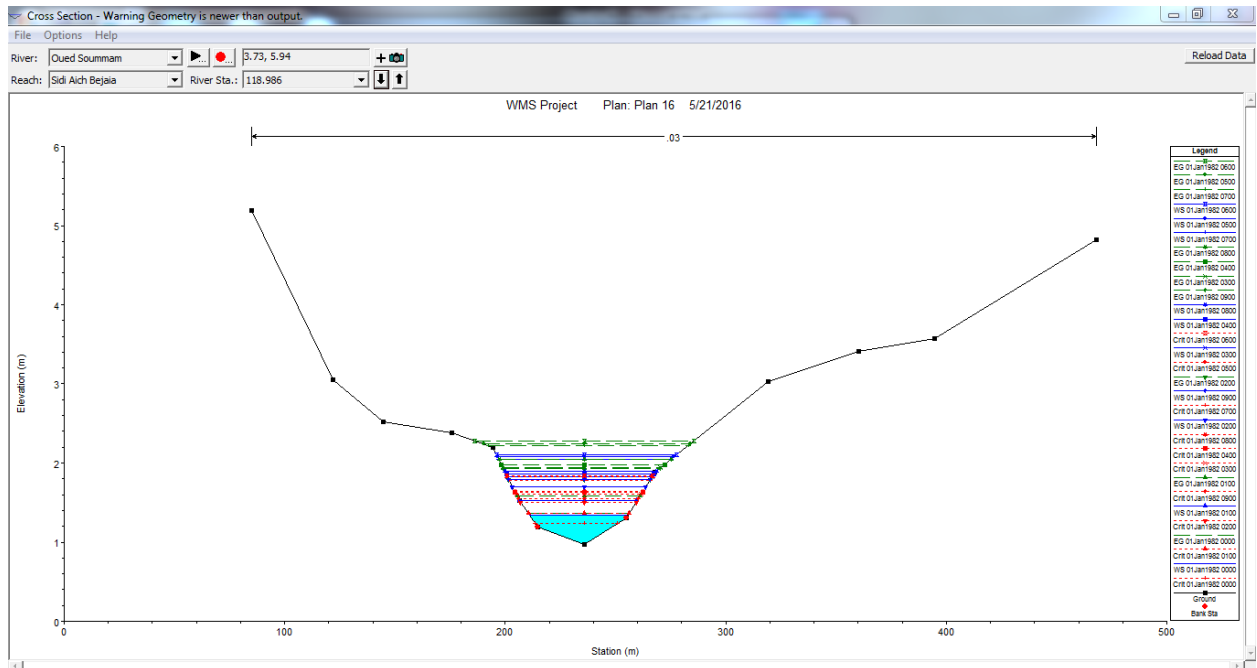
**La section X = 1703.018**



**La section X = 471.255**



La section X = 118.986



## IV.5. Visualisation des résultats

## IV.5.1. Les résultats de simulation

## Transport Fonction Ackers-white

Janvier 1982

Tableau IV. 4 : Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC- RAS Plan:Plan 16 River: OuedSoummam Reach: SidiAichBejaia											
Reach	Station	Q Total	Min Ch El	W.S.Elev	Crit W.S	E.G.Elev	E.G.Slope	VelChnl	Flow Area	Top Width	Froude#Chl
		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	
Sidi Aich B	118.986	6.46	0.97	1.34	1.24	1.36	0.003000	0.69	9.54	44.38	0.46
Sidi Aich B	118.986	23.64	0.89	1.52	1.36	1.58	0.003001	1.13	22.07	54.05	0.52
Sidi Aich B	118.986	41.8	0.89	1.70	1.51	1.79	0.003002	1.40	32.46	60.98	0.55
Sidi Aich B	118.986	58.18	0.88	1.82	1.60	1.94	0.003000	1.58	40.68	65.58	0.56
Sidi Aich B	118.986	64.28	0.87	1.86	1.63	1.98	0.003002	1.63	43.50	66.90	0.57
Sidi Aich B	118.986	100	0.86	2.08	1.82	2.24	0.003000	1.91	59.93	80.02	0.59
Sidi Aich B	118.986	109	0.84	2.10	1.84	2.28	0.003004	1.98	63.52	81.84	0.60
Sidi Aich B	118.986	103	0.81	2.05	1.78	2.22	0.003001	1.95	60.48	78.26	0.59
Sidi Aich B	118.986	80.5	0.79	1.89	1.65	2.04	0.003003	1.78	50.18	68.64	0.58
Sidi Aich B	118.986	74.95	0.72	1.79	1.54	1.94	0.003002	1.75	47.13	64.85	0.58

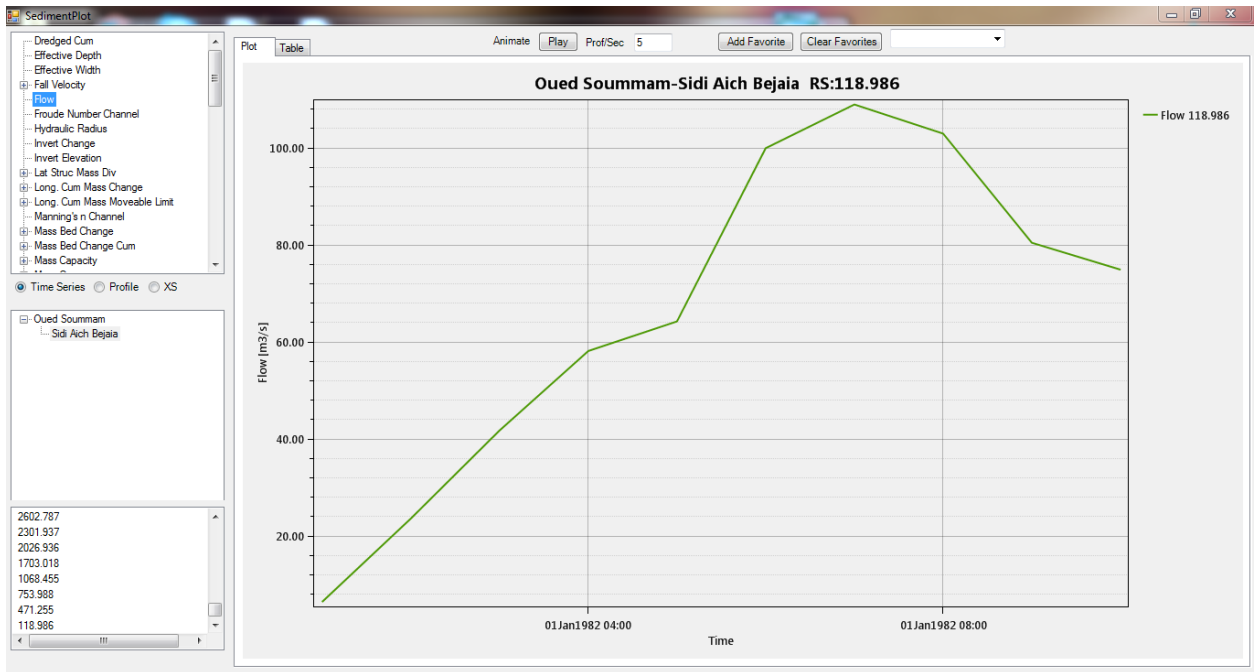


Figure I.1 3: Variations Débits avec Tim

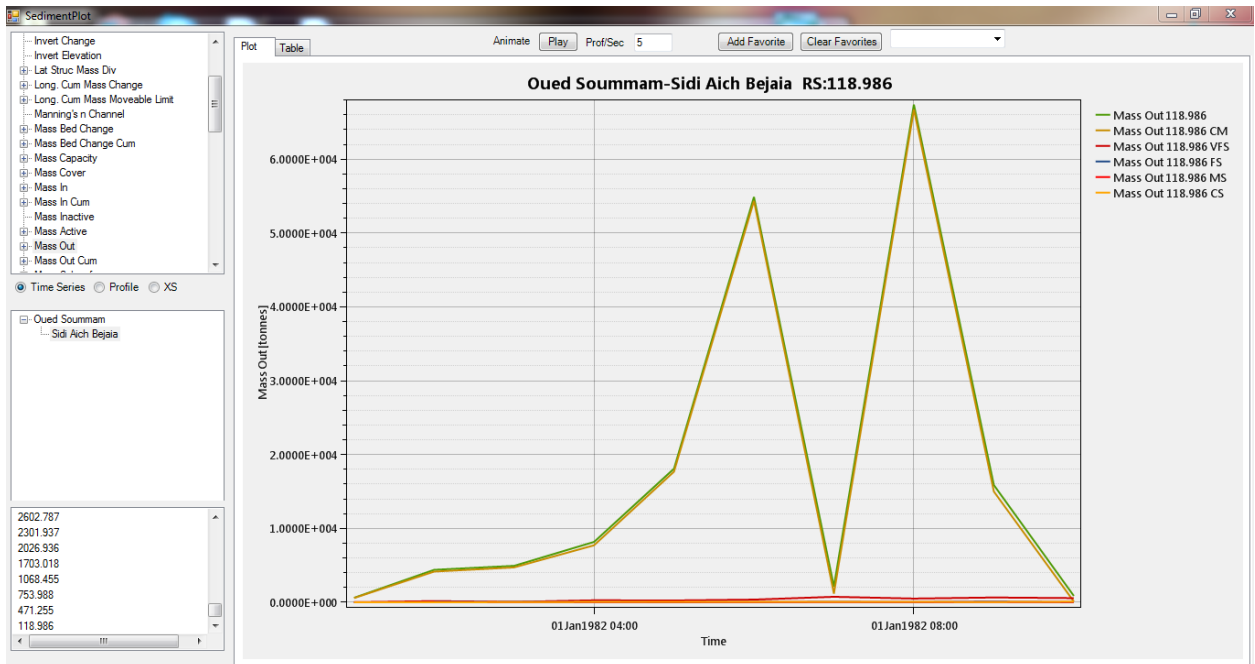


Figure I.1 4: Variations des Masses Out avec Tim

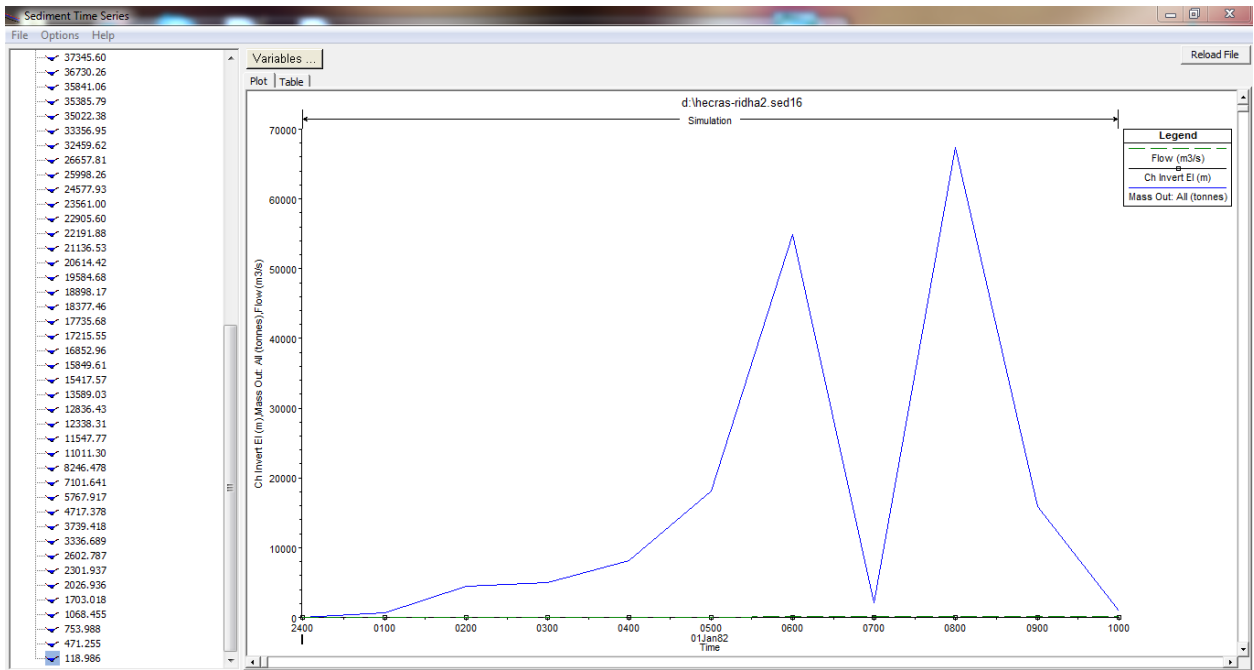


Figure I.1.5: Variations des Masses, Flow, Elévation avec Tim

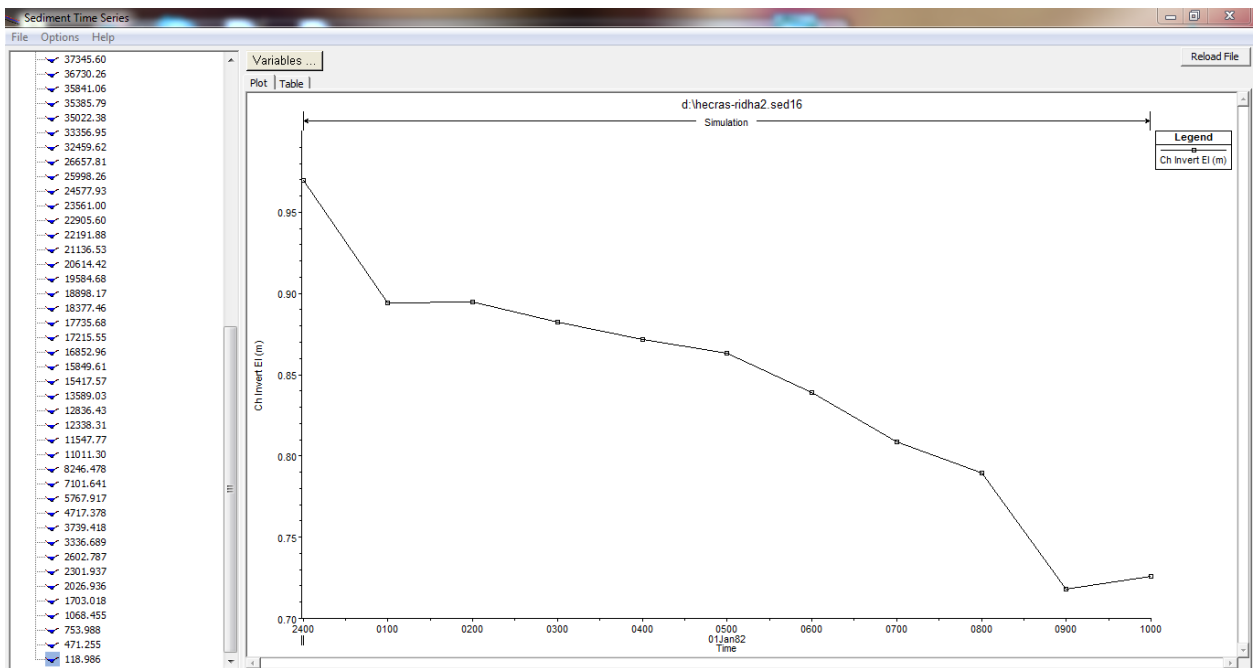


Figure I.1.6: Variations des ELévation avec Tim

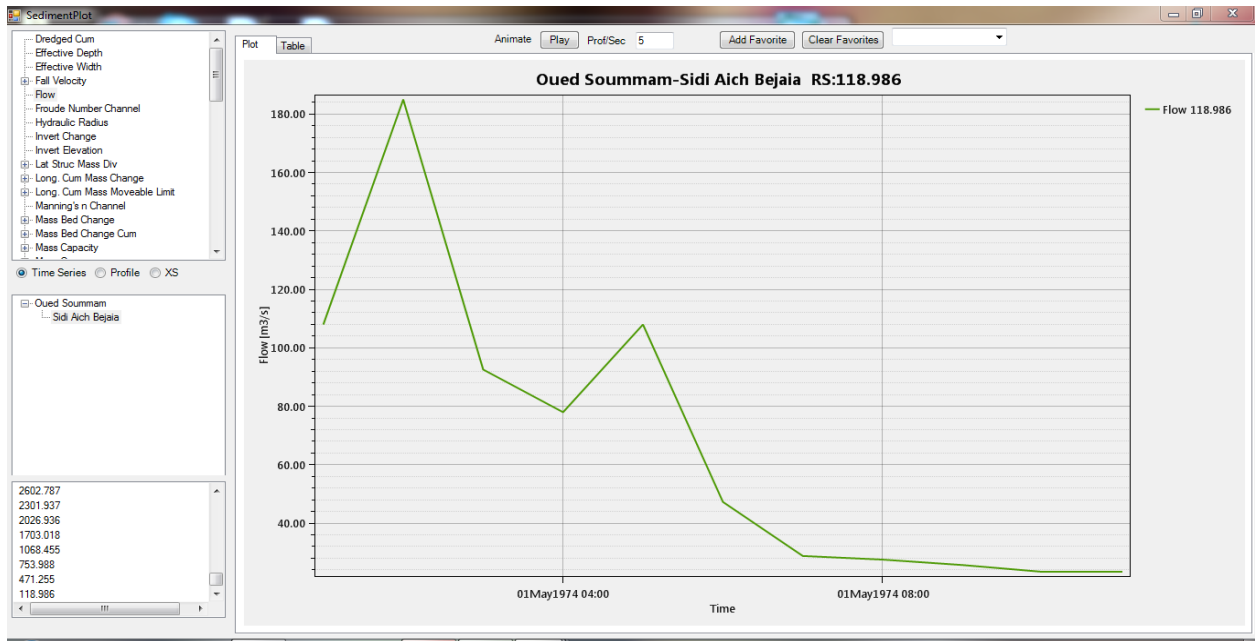


Figure I.1 7: Variations des Flow avec Tim

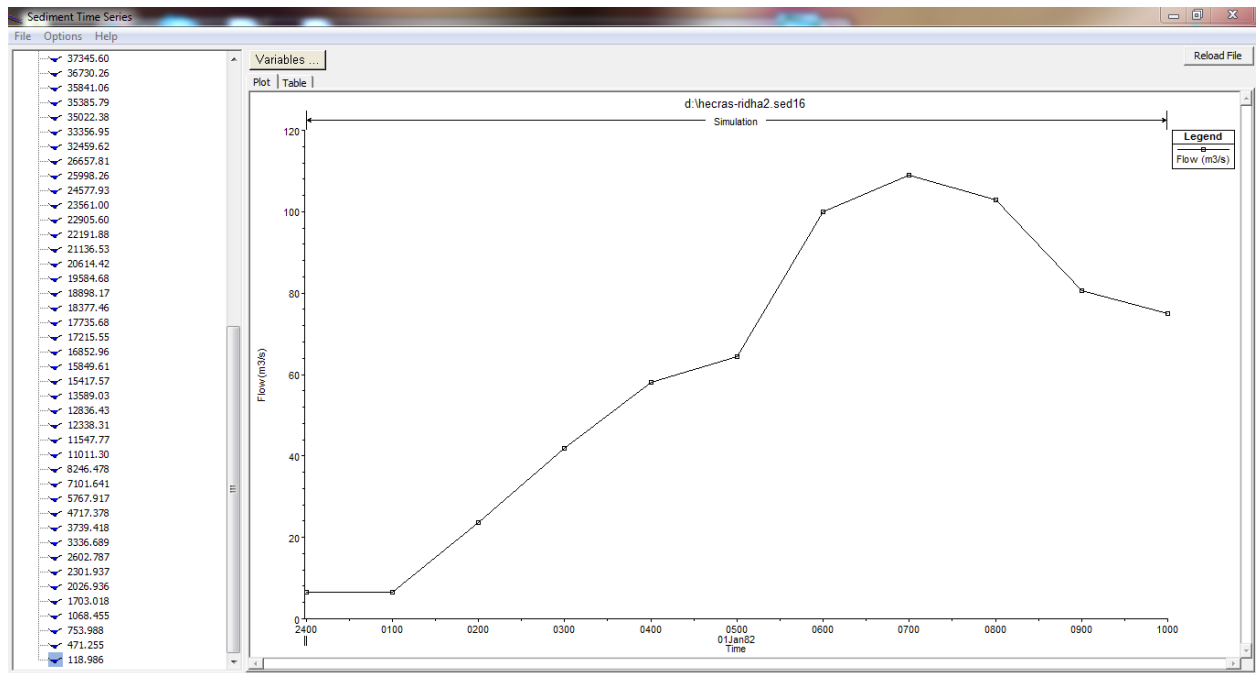


Figure I.1 8: Variations des Flow avec Tim

Tableau IV. 5 : Valeurs Masse Out

Section	Time(h)	ChInvert El(m)	Mass Out :All(tonnes)
118.986	01Jan1982 00 :00 :00	0.9698736	0
	01Jan1982 01 :00 :00	0.8491132	629.9567
	01Jan1982 02 :00 :00	0.8947781	4411.269
	01Jan1982 03 :00 :00	0.8821114	4950.606
	01Jan1982 04 :00 :00	0.8716428	8187.413
	01Jan1982 05 :00 :00	0.8635015	18106.49
	01Jan1982 06 :00 :00	0.8390884	54908.17
	01Jan1982 07 :00 :00	0.8089094	2147.813
	01Jan1982 08 :00 :00	0.7896391	67411.64
	01Jan1982 09 :00 :00	0.7182505	15894.79
01Jan1982 10 :00 :00	0.7258597	883.9327	

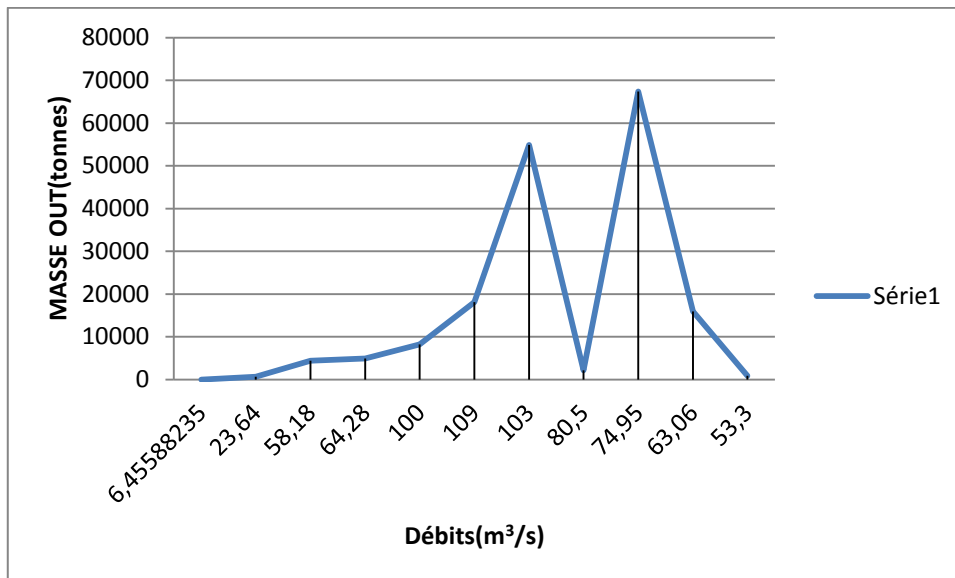


Figure I.1 9: Variations des Masses Out avec Débits

Décembre 1981

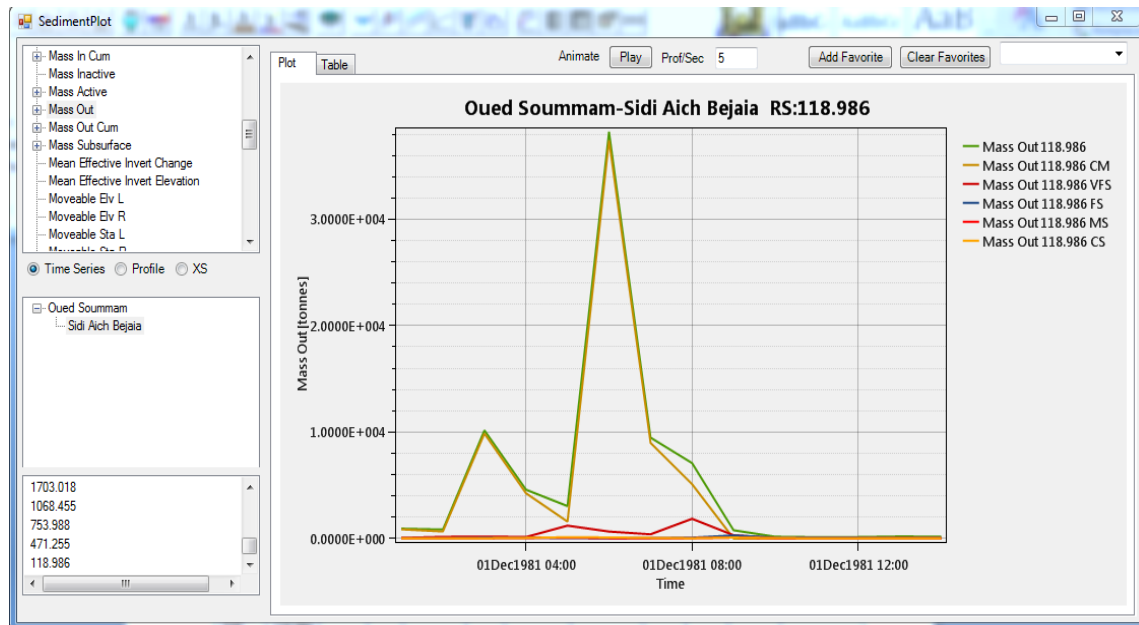


Figure I.1.9 : Variations des Masses Out avec Tim

Tableau IV. 6 : Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC- RAS Plan: Plan 16 River: Oued Soummam Reach: Sidi Aich Bejaia											
Reach	Station	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S.El ev (m)	Crit W.S (m)	E.G.Elev (m)	E.G.Slope (m/m)	VelC hnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude#Chl
Sidi Aich B	118.986	8.40	0.97	1.38	1.27	1.41	0.003002	0.76	11.28	46.21	0.47
Sidi Aich B	118.986	13.20	0.86	1.35	1.22	1.39	0.003001	0.91	14.97	47.95	0.49
Sidi Aich B	118.986	33.16	0.87	1.60	1.42	1.68	0.003006	1.29	27.62	57.37	0.53
Sidi Aich B	118.986	53.30	0.86	1.76	1.55	1.87	0.003000	1.53	38.12	63.46	0.56
Sidi Aich B	118.986	94.00	0.85	2.03	1.77	2.19	0.003002	1.88	56.98	76.95	0.59
Sidi Aich B	118.986	76.30	0.83	1.90	1.66	2.04	0.003004	1.75	48.68	69.03	0.58
Sidi Aich B	118.986	63.06	0.82	1.80	1.58	1.93	0.003001	1.63	42.54	64.99	0.57
Sidi Aich B	118.986	46.40	0.85	1.70	1.50	1.80	0.003001	1.46	34.60	61.13	0.55
Sidi Aich B	118.986	39.64	-0.01	0.80	0.59	0.90	0.003000	1.41	29.14	47.79	0.55

Tableau IV. 7 : Valeurs Masse Out

Section	Tim	Masse Out :All(tonnes)
118.986	01Dec 1981 00 :00 :00	0
	01Dec 1981 01 :00 :00	928.7021
	01Dec 1981 02 :00 :00	839.2607
	01Dec 1981 03 :00 :00	10164.15
	01Dec 1981 04 :00 :00	4596.204
	01Dec 1981 05 :00 :00	3045.854
	01Dec 1981 06 :00 :00	38244.1
	01Dec 1981 07 :00 :00	9485.876
	01Dec 1981 08 :00 :00	7089.697
	01Dec 1981 09 :00 :00	778.1268
	01Dec 1981 10 :00 :00	169.9659
	01Dec 1981 1100 :00	119.6925
	01Dec 1981 1200 :00	138.3959
	01Dec 1981 130 :00	192.0264
	01Dec 1981 14 :00 :00	175.3092

Mars 1976

Tableau IV. 8: Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC- RAS Plan: Plan 16 River: Oued Soummam Reach: Sidi Aich Bejaia											
Reach	Station	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S	E.G. Elev	E.G.Slope	VelChnl	Flow Area	Top Width	Froude #Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Sidi Aich B	118.986	40.10	0.97	1.76	1.57	1.84	0.003003	1.37	31.99	62.91	0.22
Sidi Aich B	118.986	50.50	0.28	1.19	0.95	1.30	0.003001	1.54	34.50	51.51	0.41
Sidi Aich B	118.986	55.30	0.42	1.37	1.13	1.49	0.003000	1.58	36.99	54.00	0.30
Sidi Aich B	118.986	74.4	0.39	1.48	1.22	1.63	0.003002	1.77	44.92	56.54	0.34
Sidi Aich B	118.986	123.4	0.37	1.77	1.46	1.98	0.003006	2.14	63.44	64.56	0.32
Sidi Aich B	118.986	101.20	0.31	1.59	1.30	1.78	0.003001	1.99	54.94	59.45	0.35
Sidi Aich B	118.986	72.10	0.29	1.38	1.11	1.52	0.003001	1.76	43.67	54.92	0.36
Sidi Aich B	118.986	62.10	0.28	1.29	1.04	1.42	0.003000	1.66	39.53	53.35	0.37
Sidi Aich B	118.986	50.50	0.27	1.18	0.95	1.30	0.003001	1.54	34.49	51.47	0.37

Tableau IV. 9 : Valeurs Masse Out

Section	Time(h)	Mass Out :All(tones)
118.986	01Mars1976 00 :00 :00	0
	01Mars1976 01 :00 :00	30589.9
	01Mars1976 02 :00 :00	27856.82
	01Mars1976 03 :00 :00	1149.553
	01Mars1976 04 :00 :00	5306.721
	01Mars1976 05:00 :00	4080.438
	01Mars1976 06 :00 :00	20370.08
	01Mars1976 07 :00 :00	2287.818
	01Mars1976 08 :00 :00	1491.089
	01Mars1976 09 :00 :00	1559.199
	01Mars1976 10:00 :00	1115.475

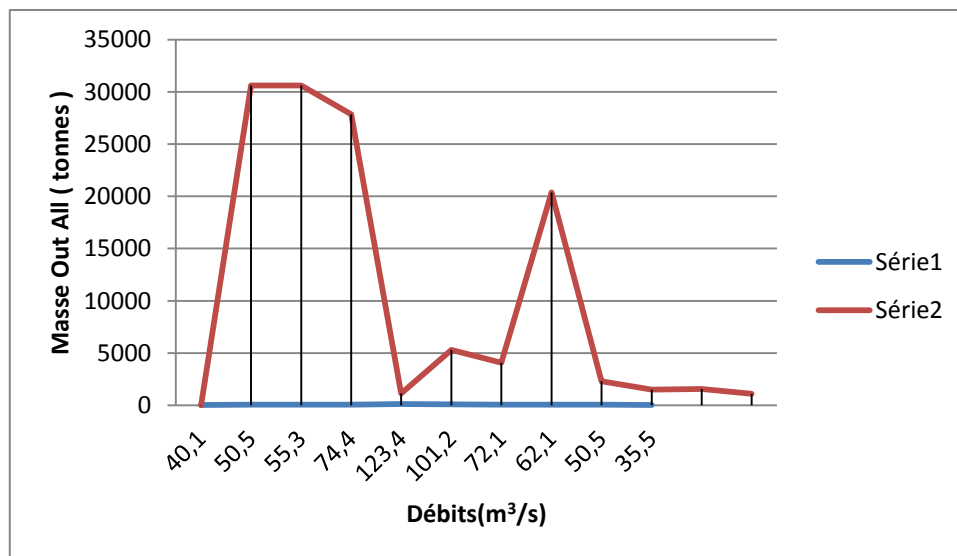


Figure I.1 10: Variations des Masses Out avec Débits

May 1974

Tableau IV. 10: Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC- RAS Plan:Plan 16 River: OuedSoummam Reach: SidiAichBejaia											
Reach	Station	Q Total	Min Ch El	W.S .Ele v	Crit W.S	E.G.Elev	E.G.Slope	VelC hnl	Flow Area	Top Width	Froude#Ch l
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Sidi Aich B	118.986	108	-0.75	1.04	0.65	1.35	0.003005	2.55	77.07	54.68	0.63
Sidi Aich B	118.986	185	-0.47	0.77	0.47	0.96	0.003001	1.96	49.55	50.74	0.59
Sidi Aich B	118.986	92.60	-0.53	0.62	0.33	0.79	0.003000	1.83	44.29	49.35	0.58
Sidi Aich B	118.986	78	-0.53	0.83	0.50	1.03	0.003002	2.08	54.66	51.59	0.60
Sidi Aich B	118.986	108	-0.56	0.34	0.10	0.45	0.003000	1.51	32.16	46.49	0.56
Sidi Aich B	118.986	47.3	-0.55	0.15	-0.04	0.23	0.003006	1.25	23.53	44.46	0.53
Sidi Aich B	118.986	28.8	-0.55	0.14	-0.05	0.21	0.003006	1.23	22.89	44.31	0.53
Sidi Aich B	118.986	27.56	-0.55	0.12	-0.07	0.19	0.003005	1.19	21.91	44.07	0.52
Sidi Aich B	118.986	25.7	-0.56	0.08	-0.09	0.14	0.003006	1.15	20.65	43.75	0.52
Sidi Aich B	118.986	23.38	-0.56	0.08	-0.09	0.14	0.003006	1.15	20.65	43.75	0.52

Tableau IV. 11: Valeurs Masse Out

Section	Time(h)	Mass Out :All(tonnes)
118.986	01May1974 00 :00 :00	0
	01May1974 01 :00 :00	133152
	01May1974 02 :00 :00	75960.1
	01May1974 03 :00 :00	3366.3
	01May1974 04 :00 :00	7590.656
	01May1974 05 :00 :00	4373.837
	01May1974 06 :00 :00	2154.144
	01May1974 07 :00 :00	880.5497
	01May1974 08 :00 :00	542.3791
	01May1974 09 :00 :00	378.7601
	01May1974 10 :00 :00	549.1431

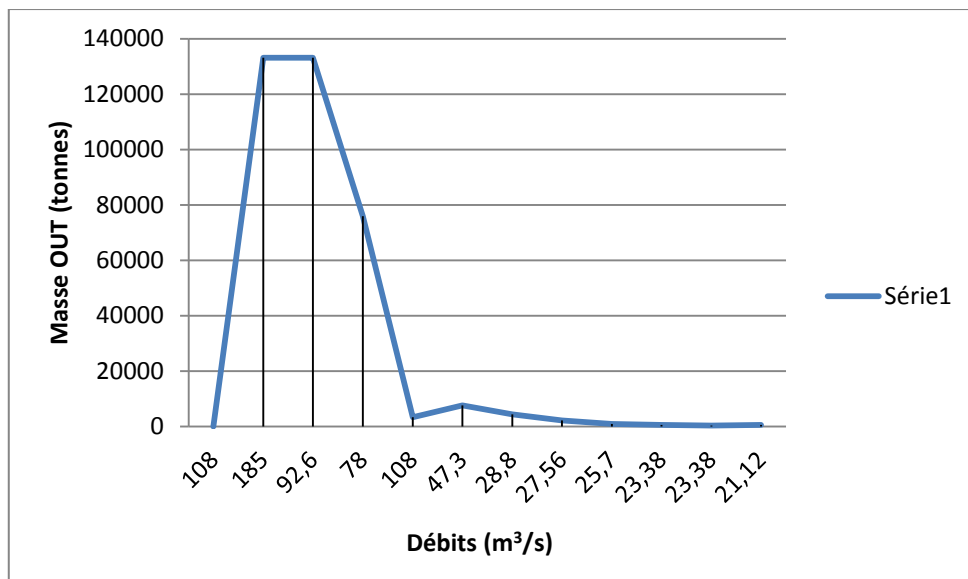


Figure 1.1 11: Variations des Masses Out avec Débits

Tableau IV. 12 : Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC- RAS Plan:Plan 16 River: OuedSoummam Reach: SidiAichBejaia											
Reach	Station	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S.E lev (m)	Crit W.S (m)	E.G.Ele v (m)	E.G.Slope (m/m)	VelC hml (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude#Ch l
Sidi Aich B	118.986	108	-0.75	1.04	0.65	1.35	0.003005	2.55	77.07	54.68	0.63
Sidi Aich B	118.986	185	-0.47	0.77	0.47	0.96	0.003001	1.96	49.55	50.74	0.59
Sidi Aich B	118.986	92.60	-0.53	0.62	0.33	0.79	0.003000	1.83	44.29	49.35	0.58
Sidi Aich B	118.986	78	-0.53	0.83	0.50	1.03	0.003002	2.08	54.66	51.59	0.60
Sidi Aich B	118.986	108	-0.56	0.34	0.10	0.45	0.003000	1.51	32.16	46.49	0.56
Sidi Aich B	118.986	47.3	-0.55	0.15	-0.04	0.23	0.003006	1.25	23.53	44.46	0.53
Sidi Aich B	118.986	28.8	-0.55	0.14	-0.05	0.21	0.003006	1.23	22.89	44.31	0.53
Sidi Aich B	118.986	27.56	-0.55	0.12	-0.07	0.19	0.003005	1.19	21.91	44.07	0.52
Sidi Aich B	118.986	25.7	-0.56	0.08	-0.09	0.14	0.003006	1.15	20.65	43.75	0.52
Sidi Aich B	118.986	23.38	-0.56	0.08	-0.09	0.14	0.003006	1.15	20.65	43.75	0.52

## Transport Fonction Engelund

Janvier 1982

Tableau IV. 13: Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC-RAS Plan :Plan 27 River :OuedSoummam Reach: Sidi Aich Bejaia											
Reach	River Sta	Q Total	Min ch El	W.S.Elev	Crit W.S.	E.G.Elev	E.G.Slope	VelChnl	Flow Area	Top Width	Froud #Chl
		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	
Sidi Aich B	118.986	6.46	0.97	1.34	1.24	1.36	0.003000	0.69	9.54	44.38	0.46
Sidi Aich B	118.986	23.64	0.94	1.57	1.41	1.63	0.003001	1.13	22.24	55.35	0.52
Sidi Aich B	118.986	41.80	0.94	1.75	1.56	1.84	0.003002	1.39	32.75	62.48	0.54
Sidi Aich B	118.986	58.18	0.94	1.87	1.66	1.98	0.003000	1.57	41.10	67.33	0.56
Sidi Aich B	118.986	64.28	0.91	1.89	1.67	2.01	0.003002	1.63	43.84	68.38	0.57
Sidi Aich B	118.986	100.00	0.88	2.09	1.84	2.25	0.003000	1.91	60.20	80.99	0.59
Sidi Aich B	118.986	109.00	0.84	2.11	1.84	2.28	0.003004	1.98	63.55	81.94	0.60
Sidi Aich B	118.986	103.00	0.79	2.03	1.77	2.20	0.003002	1.95	60.23	77.36	0.59
Sidi Aich B	118.986	80.50	0.75	1.86	1.61	2.00	0.003001	1.79	49.79	66.97	0.58
Sidi Aich B	118.986	74.95	0.71	1.79	1.54	1.93	0.003002	1.75	47.08	64.64	0.58

Tableau IV. 14: Valeurs Masse Out

Section	Tim	Masse Out :All(tonnes)
118.986	01Jan 1982 00 :00 :00	0
	01Jan 1982 01 :00 :00	371.5688
	01Jan 1982 02 :00 :00	1014.719
	01Jan 1982 03 :00 :00	3497.159
	01Jan 1982 04 :00 :00	3839.652
	01Jan 1982 05 :00 :00	6140.418
	01Jan 1982 06 :00 :00	9186.207
	01Jan 1982 07 :00 :00	8636.199
	01Jan 1982 08 :00 :00	8798.5
	01Jan 1982 09 :00 :00	10303.25
	01Jan 1982 10 :00 :00	8111.081

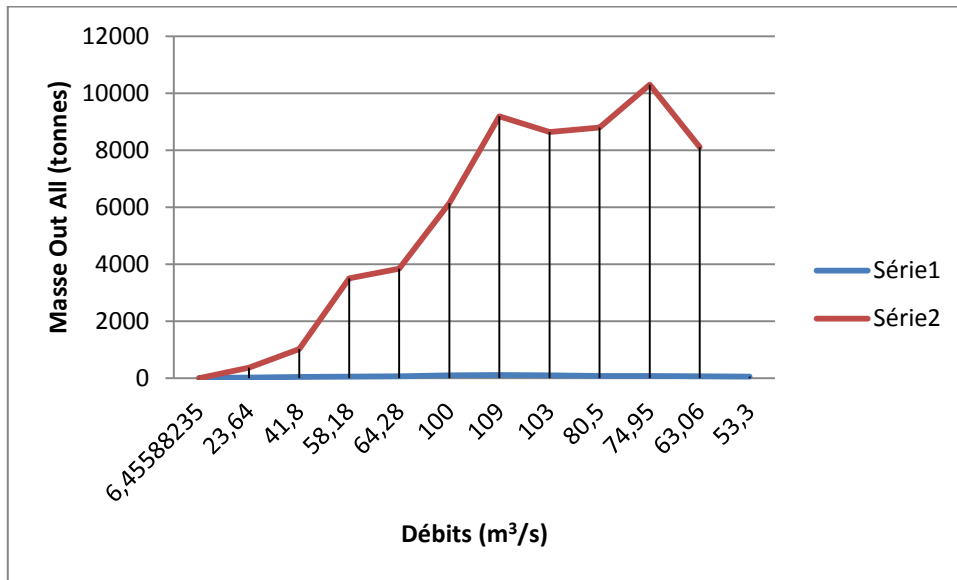


Figure I.112: Variations des Masses Out avec Débits

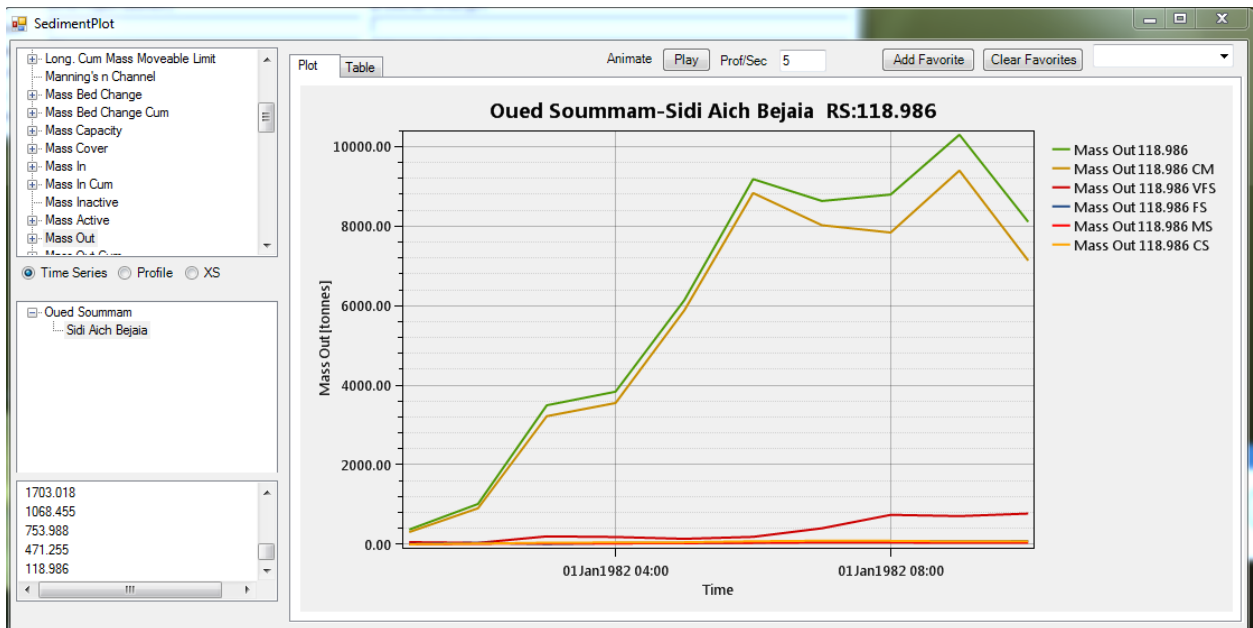


Figure I.113: Variations des Masses Out avec Tim

Décembre 1981

Tableau IV. 15: Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC-RAS Plan :Plan 27 River :Oued Soummam Reach: Sidi Aich Bejaia											
Reach	River Sta	Q Total	Min ch El	W.S.Elev	Crit W.S.	E.G.Elev	E.G.Slope	VelChnl	Flow Area	Top Width	Froud #Chl
		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	
Sidi Aich B	118.986	8.40	0.97	1.38	1.27	1.41	0.003002	0.76	11.28	46.21	0.47
Sidi Aich B	118.986	13.20	0.96	1.45	1.33	1.49	0.003002	0.91	15.13	49.88	0.49
Sidi Aich B	118.986	33.16	0.96	1.68	1.50	1.76	0.003000	1.28	28.03	59.71	0.53
Sidi Aich B	118.986	53.30	0.93	1.83	1.62	1.94	0.003000	1.52	38.64	65.73	0.56
Sidi Aich B	118.986	94.00	0.89	2.06	1.81	2.22	0.003001	1.87	57.54	79.03	0.59
Sidi Aich B	118.986	76.30	0.78	1.86	1.62	2.00	0.003002	1.75	48.23	67.02	0.58
Sidi Aich B	118.986	63.06	0.74	1.73	1.50	1.86	0.003001	1.64	41.96	62.61	0.57
Sidi Aich B	118.986	46.40	0.68	1.54	1.32	1.64	0.003001	1.47	33.71	56.45	0.55
Sidi Aich B	118.986	39.64	0.65	1.45	1.24	1.54	0.003003	1.39	30.23	54.13	0.54
Sidi Aich B	118.986	20.32	0.62	1.21	1.06	1.27	0.003002	1.08	19.47	48.16	0.51

Tableau IV. 16: Valeurs Masse Out

Section	Tim	Masse Out :All(tonnes)
118.986	01Dec 1981 00 :00 :00	0
	01Dec 1981 01 :00 :00	64.63341
	01Dec 1981 02 :00 :00	93.35345
	01Dec 1981 03 :00 :00	329.8152
	01Dec 1981 04 :00 :00	671.5265
	01Dec 1981 05 :00 :00	1793.969
	01Dec 1981 06 :00 :00	1246.634
	01Dec 1981 07 :00 :00	1162.497
	01Dec 1981 08 :00 :00	871.1302
	01Dec 1981 09 :00 :00	708.9656
	01Dec 1981 10 :00 :00	327.6726
	01Dec 1981 1100 :00	238.4565
	01Dec 1981 1200 :00	225.6586
	01Dec 1981 130 :00	212.3044
01Dec 1981 14 :00 :00	192.8273	

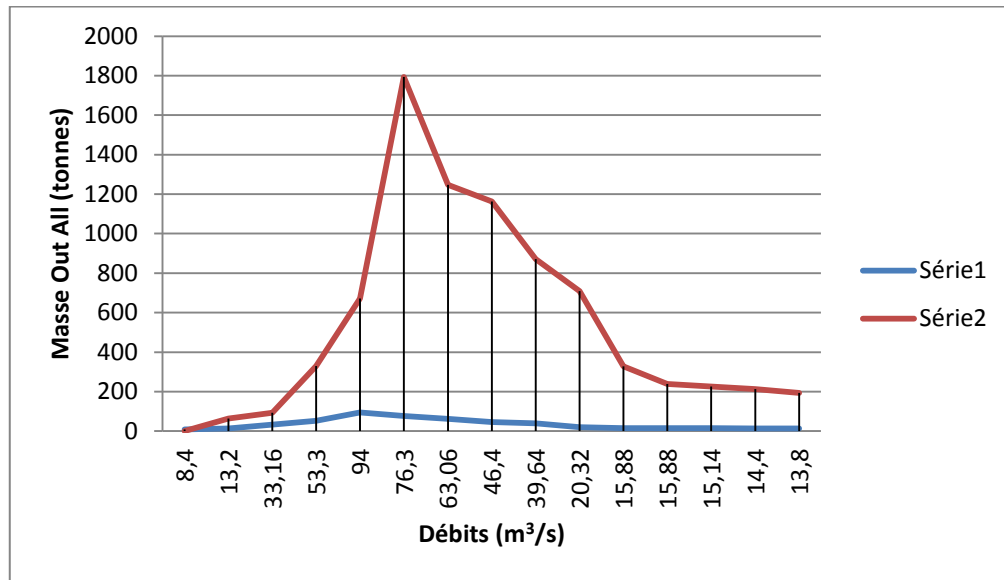


Figure I .14: Variations des Masses Out avec Débits

Mars 1976

Tableau IV. 17 : Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC-RAS Plan :Plan 27 River :OuedSoummam Reach: SidiAichBejaia											
Reach	River Sta	Q Total	Min ch El	W.S.Elev	Crit W.S.	E.G.Elev	E.G.Slope	VelChnl	Flow Area	Top Width	Froud #Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Sidi Aich B	118.986	40.10	0.97	1.76	1.57	1.84	0.003003	1.37	31.99	62.69	0.54
Sidi Aich B	118.986	50.50	0.92	1.80	1.60	1.90	0.003001	1.49	37.15	64.58	0.55
Sidi Aich B	118.986	55.30	0.89	1.81	1.60	1.92	0.003000	1.55	39.36	65.16	0.56
Sidi Aich B	118.986	74.40	0.85	1.91	1.67	2.05	0.003004	1.73	48.05	69.55	0.58
Sidi Aich B	118.986	123.40	0.78	2.13	1.84	2.32	0.003000	2.08	68.75	83.37	0.60
Sidi Aich B	118.986	101.20	0.63	1.88	1.61	2.06	0.003001	1.96	57.38	67.97	0.59
Sidi Aich B	118.986	72.10	0.54	1.61	1.36	1.75	0.003004	1.74	44.72	59.42	0.58
Sidi Aich B	118.986	62.10	0.50	1.49	1.25	1.62	0.003000	1.65	40.21	56.28	0.57
Sidi Aich B	118.986	50.50	0.42	1.33	1.10	1.44	0.003001	1.53	34.83	53.16	0.56

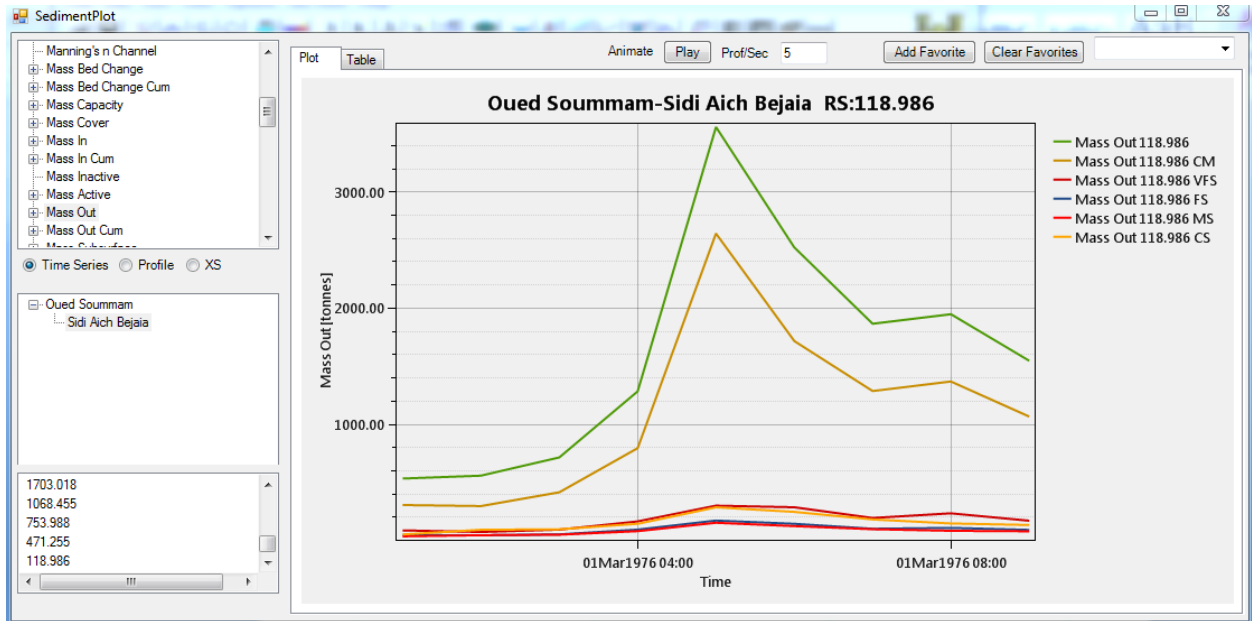


Figure I.1 15: Variations des Masses Out avec Tim

Tableau IV. 18: Valeurs Masse Out

Section	Tim	Masse Out :All(tonnes)
118.986	01Mar 1976 00 :00 :00	0
	01Mar 1976 01 :00 :00	534.6727
	01Mar 1976 02 :00 :00	559.8908
	01Mar 1976 03 :00 :00	716.8015
	01Mar 1976 04 :00 :00	1285.363
	01Mar 1976 05 :00 :00	3560.68
	01Mar 1976 06 :00 :00	2524.505
	01Mar 1976 07 :00 :00	1867.404
	01Mar 1976 08 :00 :00	1949..25
	01Mar 1976 09 :00 :00	1548.565
01 Mars 1976 10 :00 :00	985.1746	

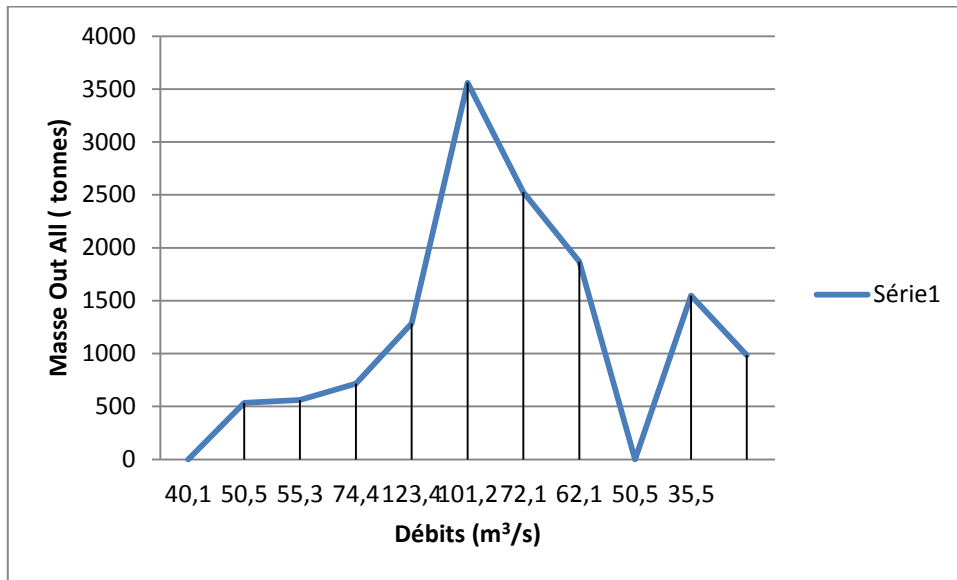


Figure I.1 14: Variations des Masses Out avec Débits

Mai 1974

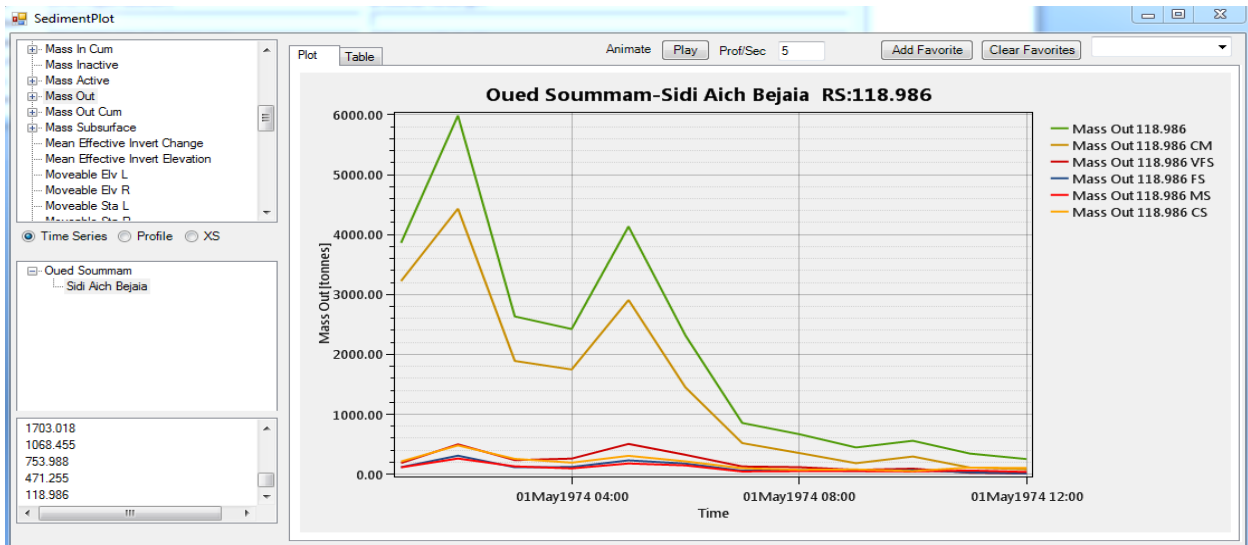


Figure I.1 15: Variations des Masses Out avec Tim

Tableau IV. 19: Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC-RAS Plan :Plan 27 River :Oued Soummam Reach: Sidi Aich Bejaia											
Reach	River Sta	Q Total	Min ch El	W.S.Elev	Crit W.S.	E.G.Elev	E.G.Slope	VelChnl	Flow Area	Top Width	Froud #Chl
		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	
Sidi Aich B	118.986	108.00	0.97	2.20	1.95	2.37	0.003001	1.94	65.15	88.11	0.59
Sidi Aich B	118.986	185.00	0.84	2.47	2.15	2.71	0.003001	2.38	101.10	138.86	0.62
Sidi Aich B	118.986	92.60	0.56	1.77	1.50	1.94	0.003001	1.91	53.35	64.30	0.59
Sidi Aich B	118.986	78.00	0.54	1.65	1.39	1.80	0.003003	1.79	47.21	60.72	0.58
Sidi Aich B	118.986	108.00	0.44	1.75	1.46	1.94	0.003001	2.03	58.39	63.89	0.60
Sidi Aich B	118.986	47.30	0.24	1.12	0.90	1.23	0.003002	1.50	32.99	50.69	0.56
Sidi Aich B	118.986	28.80	0.26	0.96	0.77	1.03	0.003001	1.24	23.97	47.48	0.53
Sidi Aich B	118.986	27.56	0.25	0.93	0.75	1.00	0.003001	1.22	23.29	47.15	0.53
Sidi Aich B	118.986	25.70	0.23	0.90	0.72	0.97	0.003001	1.19	22.27	46.70	0.52

Tableau IV. 19: Valeurs Masse Out

Section	Tim	Masse Out : All(tonnes)
118.986	01 May 1974 00 :00 :00	0
	01 May 1974 01 :00 :00	3863.053
	01 May 1974 02 :00 :00	5987.881
	01 May 1974 03 :00 :00	2634.727
	01 May 1974 04 :00 :00	2424.852
	01 May 1974 05 :00 :00	4135.919
	01 May 1974 06 :00 :00	2318.246
	01 May 1974 07 :00 :00	856.6857
	01 May 1974 08 :00 :00	669.6296
	01 May 1974 09 :00 :00	447.5467
	01 May 1974 10 :00 :00	559.3438

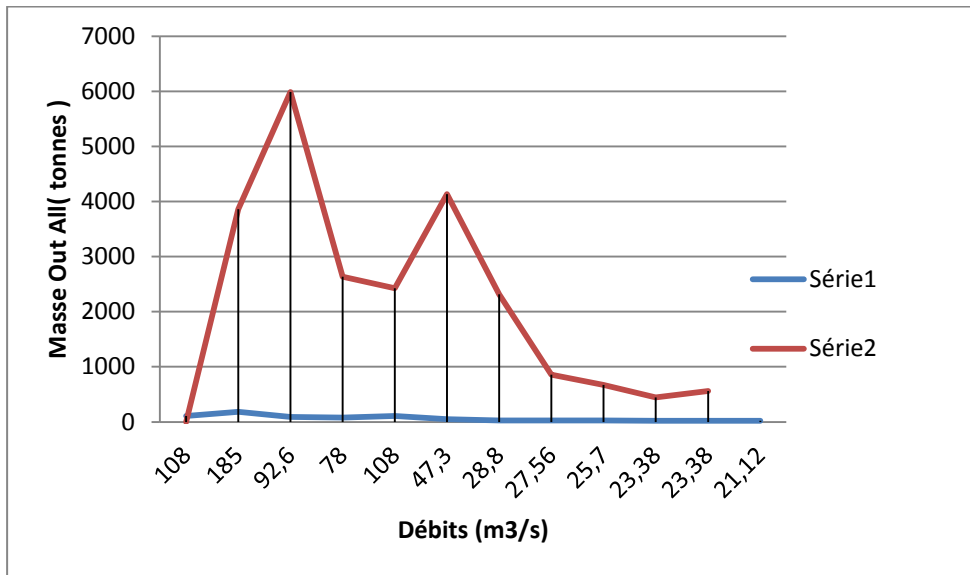


Figure 1.1 16: Variations des Masses Out avec Débits

### Transport Fonction Laursen

Janvier 1982

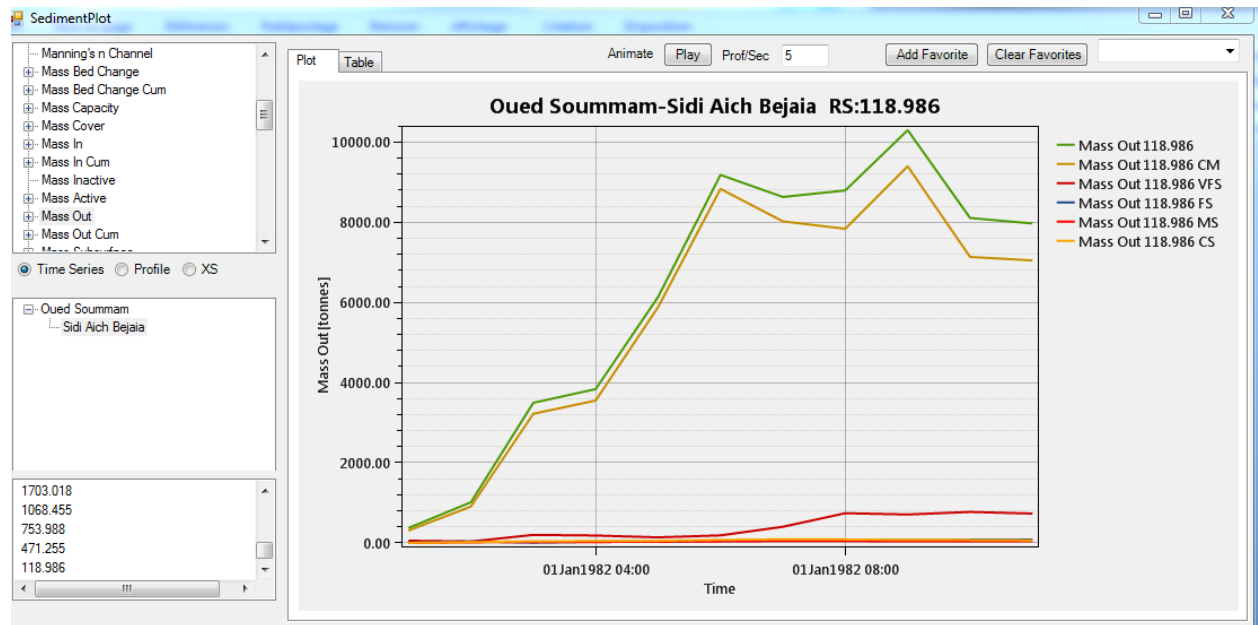


Figure 1.1 17: Variations des Masses Out avec Tim

Tableau IV. 21: Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC-RAS Plan :Plan 27 River :Oued Soummam Reach: Sidi Aich Bejaia											
Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min ch El (m)	W.S.Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G.Elev (m)	E.G.Slope (m/m)	VelChnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froud #Chl
Sidi Aich B	118.986	6.46	0.97	1.34	1.24	1.36	0.003000	0.69	9.54	44.38	0.46
Sidi Aich B	118.986	23.64	0.94	1.57	1.41	1.63	0.003001	1.13	22.24	55.35	0.52
Sidi Aich B	118.986	41.80	0.94	1.75	1.56	1.84	0.003002	1.39	32.75	62.48	0.54
Sidi Aich B	118.986	58.18	0.94	1.87	1.66	1.98	0.003000	1.57	41.10	67.33	0.56
Sidi Aich B	118.986	64.28	0.91	1.89	1.67	2.01	0.003002	1.63	43.84	68.38	0.57
Sidi Aich B	118.986	100.00	0.88	2.09	1.84	2.25	0.003000	1.91	60.20	80.99	0.59
Sidi Aich B	118.986	109.00	0.84	2.11	1.84	2.28	0.003004	1.98	63.55	81.94	0.60
Sidi Aich B	118.986	103.00	0.97	2.03	1.77	2.20	0.003002	1.95	60.23	77.36	0.59
Sidi Aich B	118.986	80.50	0.75	1.86	1.61	2.00	0.003001	1.79	49.97	66.97	0.58

Tableau IV. 22: Valeurs Masse Out

Section	Tim	Masse Out :All(tonnes)
118.986	01 Jan 1982 00 :00 :00	0
	01 Jan 1982 01 :00 :00	371.5688
	01 Jan 1982 02 :00 :00	1014.719
	01 Jan 1982 03 :00 :00	3497.159
	01 Jan 1982 04 :00 :00	3839.159
	01 Jan 1982 05 :00 :00	6140.418
	01 Jan 1982 06 :00 :00	9186.207
	01 Jan 1982 07 :00 :00	8636.199
	01 Jan 1982 08 :00 :00	8798.5
	01 Jan 1982 09 :00 :00	10303.25
	01 Jan 1982 10 :00 :00	8111.081
01 Jan 1982 11 :00 :00	7974.556	

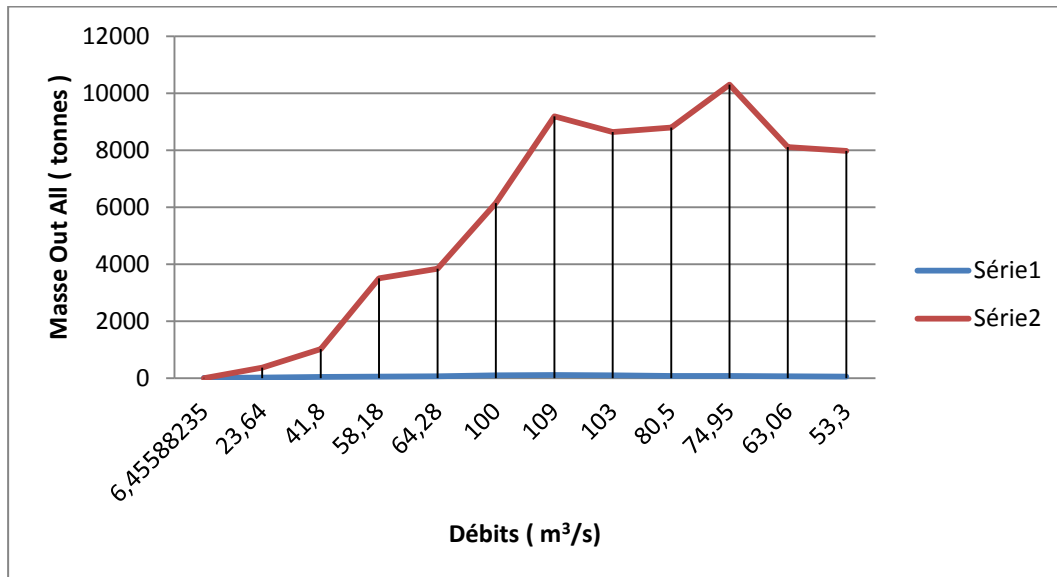


Figure I.1 18: Variations des Masses Out avec Débits

Décembre 1981

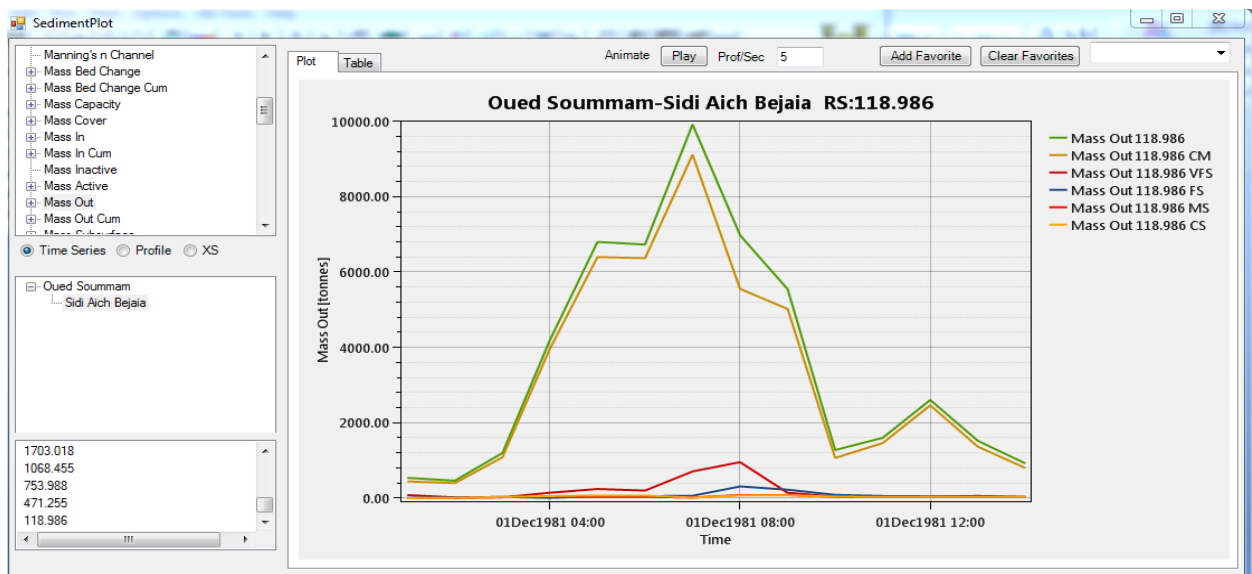


Figure I.1 19: Variations des Masses Out avec Tim

Tableau IV. 23: Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC-RAS Plan :Plan 27 River :Oued Soummam Reach: Sidi Aich Bejaia											
Reac h	River Sta	Q Total	Min ch El	W.S.Elev	Crit W.S.	E.G.Elev	E.G.Slope	VelChn l	Flow Area	Top Width	Froud #Chl
		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	
Sidi Aich B	118.986	8.40	0.97	1.38	1.27	1.41	0.003002	0.76	11.28	46.21	0.47
Sidi Aich B	118.986	13.20	0.93	1.42	1.29	1.46	0.003002	0.91	15.07	49.17	0.49
Sidi Aich B	118.986	33.16	0.94	1.66	1.48	1.74	0.003006	1.28	27.91	59.13	0.53
Sidi Aich B	118.986	53.30	0.93	1.83	1.62	1.93	0.003000	1.52	38.63	65.71	0.56
Sidi Aich B	118.986	94.00	0.92	2.09	1.84	2.24	0.003000	1.86	58.02	80.78	0.59
Sidi Aich B	118.986	76.30	0.88	1.94	1.70	2.08	0.003004	1.74	49.22	71.68	0.58
Sidi Aich B	118.986	63.06	0.87	1.84	1.62	1.97	0.003998	1.62	42.91	66.44	0.57
Sidi Aich B	118.986	46.40	0.33	1.20	0.98	1.31	0.003002	1.49	32.74	51.35	0.55
Sidi Aich B	118.986	39.64	0.38	1.19	0.98	1.29	0.003004	1.40	29.63	50.65	0.55

Tableau IV. 24: Valeurs Masse Out

Section	Tim	Masse Out : All(tonnes)
118.986	01Dec 1981 00 :00 :00	0
	01Dec 1981 01 :00 :00	538.3721
	01Dec 1981 02 :00 :00	463.7569
	01Dec 1981 03 :00 :00	1196.873
	01Dec 1981 04 :00 :00	4199.595
	01Dec 1981 05 :00 :00	6800.384
	01Dec 1981 06 :00 :00	6731.088
	01Dec 1981 07 :00 :00	9917.977
	01Dec 1981 08 :00 :00	6976.399
	01Dec 1981 09 :00 :00	5546.2
	01Dec 1981 10 :00 :00	1276.564
	01Dec 1981 11:00 :00	1601.642
	01Dec 1981 12 :00 :00	2606.219
	01Dec 1981 13 :00 :00	1522.4
	01Dec 1981 14 :00 :00	921.2454

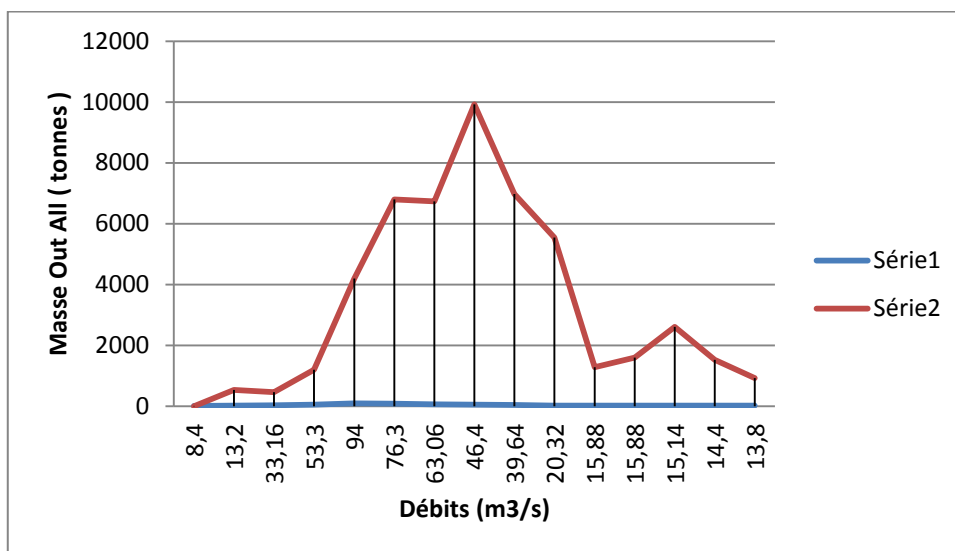


Figure 1.1 20: Variations des Masses Out avec Débits

Mars 1976

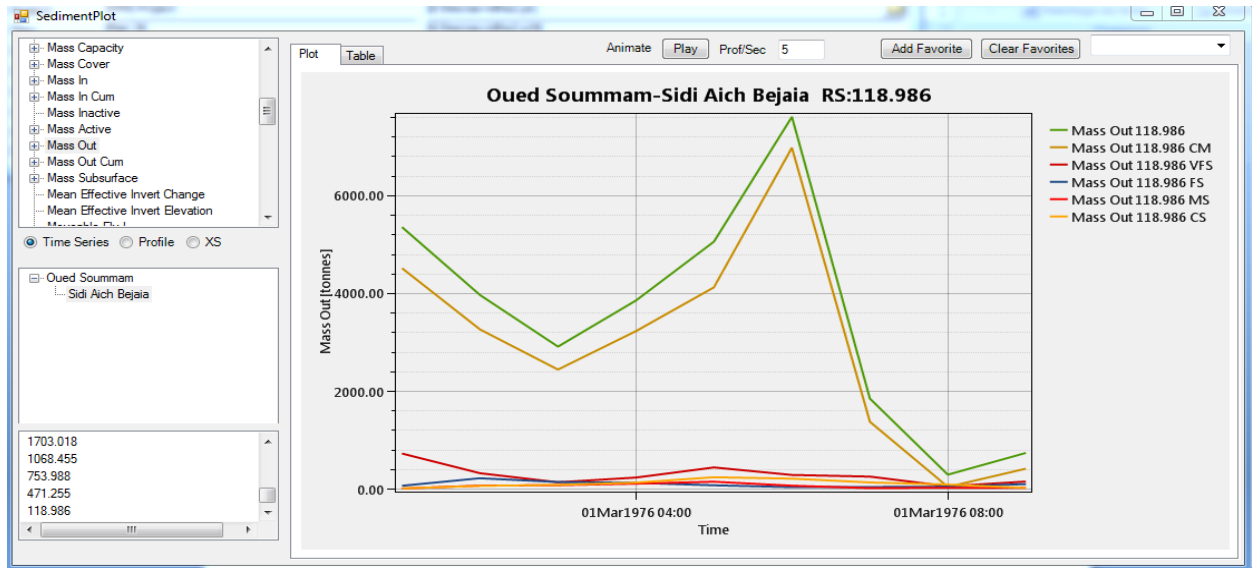


Figure I.1 21: Variations des Masses Out avec Tim

Tableau IV. 25: Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC-RAS Plan :Plan 27 River :Oued Soummam Reach: Sidi Aich Bejaia											
Reach	River Sta	Q Total	Min ch El	W.S.Elev	Crit W.S.	E.G.Elev	E.G.Slope	VelChnl	Flow Area	Top Width	Froud #Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Sidi Aich B	118.986	40.10	0.97	1.76	1.57	1.84	0.003003	1.37	31.99	62.69	0.54
Sidi Aich B	118.986	50.50	0.64	1.54	1.31	1.65	0.003000	1.52	35.53	56.62	0.56
Sidi Aich B	118.986	55.30	0.69	1.62	1.40	1.74	0.003000	1.57	38.05	59.22	0.56
Sidi Aich B	118.986	74.40	0.67	1.74	1.49	1.89	0.003002	1.75	46.51	63.24	0.58
Sidi Aich B	118.986	123.40	0.65	2.02	1.73	2.22	0.003001	2.10	66.76	76.64	0.60
Sidi Aich B	118.986	101.20	0.62	1.87	1.59	2.05	0.003000	1.96	57.21	67.37	0.59
Sidi Aich B	118.986	72.10	0.60	1.67	1.42	1.81	0.003003	1.74	45.08	60.99	0.58
Sidi Aich B	118.986	62.10	0.59	1.59	1.35	1.72	0.003002	1.64	40.65	58.44	0.57
Sidi Aich B	118.986	50.50	0.58	1.48	1.26	1.59	0.003000	1.52	35.31	55.51	0.56

Tableau IV. 26: Valeurs Masse Out

Section	Tim	Masse Out :All(tonnes)
118.986	01Mars 1976 00 :00 :00	0
	01Mars 1976 01 :00 :00	5361.567
	01Mars 1976 02 :00 :00	3973.007
	01Mars 1976 03 :00 :00	2917.439
	01Mars 1976 04 :00 :00	3860.252
	01Mars 1976 05 :00 :00	5063.676
	01Mars 1976 06 :00 :00	7616.822
	01Mars 1976 07 :00 :00	1855.482
	01Mars 1976 08 :00 :00	299.5143
	01Mars 1976 09 :00 :00	744.147

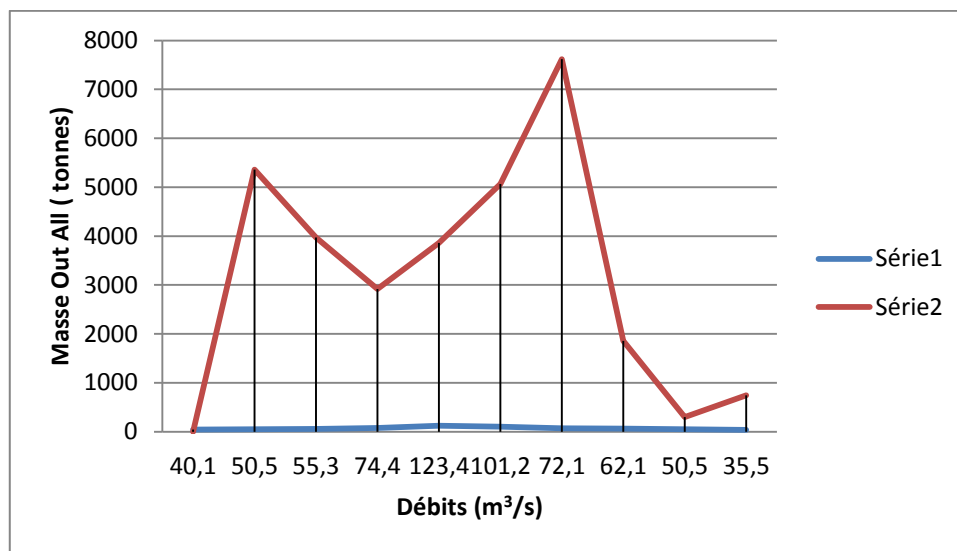


Figure 1.1 22: Variations des Masses Out avec Débits

Mai 1974

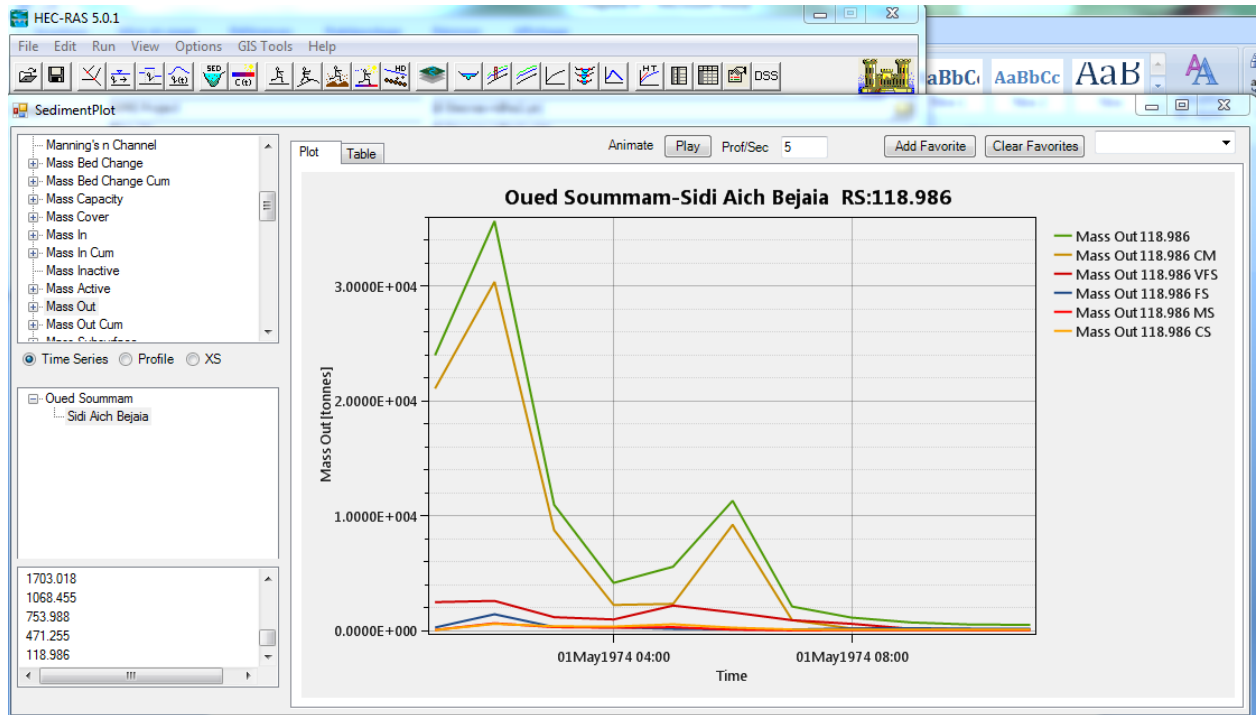


Figure I.1 23: Variations des Masses Out avec Tim

Tableau IV. 27: Les résultats des caractéristiques hydrauliques

HEC-RAS Plan :Plan 27 River :Oued Soummam Reach: Sidi Aich Bejaia											
Reach	River Sta	Q Total	Min ch El	W.S.Elev	Crit W.S.	E.G.Elev	E.G.Slope	VelChnl	Flow Area	Top Width	Froud #Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Sidi Aich B	118.986	108.00	0.97	2.20	1.95	2.37	0.003001	1.94	65.15	88.11	0.59
Sidi Aich B	118.986	185.00	-0.13	1.63	1.25	1.93	0.003003	2.52	79.78	61.23	0.63
Sidi Aich B	118.986	92.60	-0.05	1.18	0.89	1.37	0.003002	1.94	50.42	53.63	0.59
Sidi Aich B	118.986	78.00	-0.09	1.05	0.77	1.21	0.003003	1.82	44.98	51.93	0.58
Sidi Aich B	118.986	108.00	-0.13	1.21	0.89	1.41	0.003001	2.06	55.58	54.33	0.60
Sidi Aich B	118.986	47.30	-0.19	0.70	0.47	0.82	0.003004	1.51	32.44	47.93	0.56
Sidi Aich B	118.986	28.80	-0.20	0.50	0.32	0.58	0.003001	1.25	23.67	45.42	0.53
Sidi Aich B	118.986	27.56	-0.18	0.51	0.32	0.58	0.003002	1.22	23.03	45.29	0.53
Sidi Aich B	118.986	25.70	-0.19	0.48	0.30	0.55	0.003002	1.19	22.04	44.98	0.53

Tableau IV. 28: Valeurs Masse Out

Section	Tim	Masse Out :All(tonnes)
118.986	01May 1974 00 :00 :00	0
	01May 1974 01 :00 :00	23973.21
	01May 1974 02 :00 :00	35646.3
	01May 1974 03 :00 :00	10968.16
	01May 1974 04 :00 :00	4166.979
	01May 1974 05 :00 :00	5572.61
	01May 1974 06 :00 :00	11315.05
	01May 1974 07 :00 :00	2105.364
	01May 1974 08 :00 :00	1141.502
	01May 1974 09 :00 :00	720.3786
	01May 1974 10 :00 :00	540.808
	01May 1974 11 :00 :00	514.9986

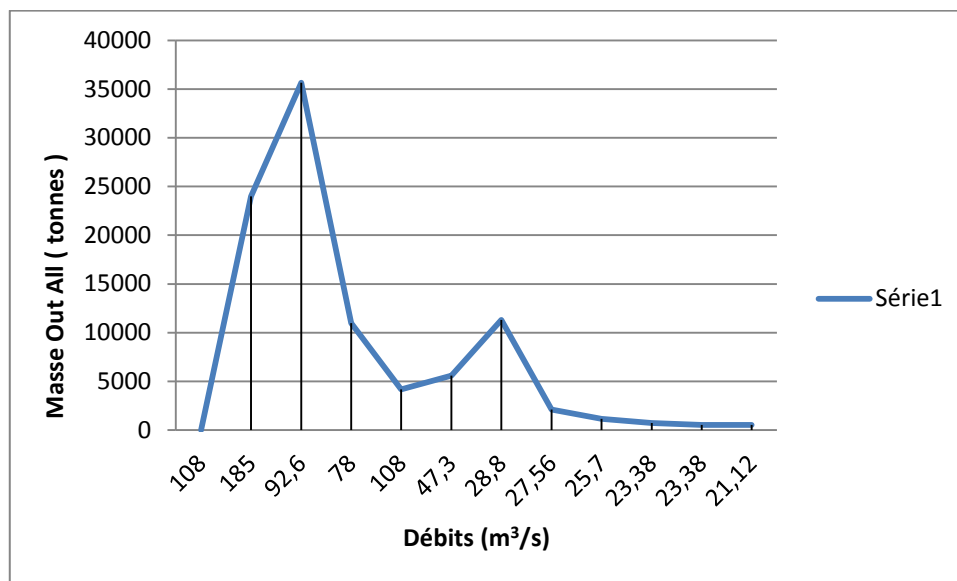


Figure 1.1 24: Variations des Masses Out avec Débits

#### IV.6. Comparaison des résultats obtenus

Le logiciel HEC-RAS utilise trois formules (une fonction de transport, une fonction d'évolution du lit sédimentaire et une fonction de vitesse de sédimentation) pour le transport solide.

Dans le but de voir la méthode ou le modèle qui est proche des résultats observés par la station hydrométrique de *Sidi-Aich* (ANRH) et une étude réalisée par *Allili et al.*, sur la quantification

du transport solide en utilisant l'étude statistique et la mesure des matières en suspension à l'estuaire de Béjaia pour les quatre saisons, on a utilisé pour :

- **Fonction de transport** : *Ackers-white, Englund, et Laursen.*
- **La fonction d'évolution du lit sédimentaire** : *Exner*
- **La fonction de vitesse de sédimentation** : *Ruby.*

D'après les résultats obtenus, on constate que les résultats trouvés ne sont pas compatibles avec ceux de l'ANRH. Ceci est du probablement au fait que la station hydrométrique se trouve à Sidi-Aich, à une cinquantaine de kilomètres de l'estuaire, et que nos résultats ne représentent pas une saison complète.

#### Station 118.986 (proche de l'estuaire)

**Tableau IV. 29 : Comparaison des résultats obtenus**

		Crue			
Fonction		Mai 1974	Mars 1976	Décembre 1981	Janvier 1982
Ackers-white	Q <sub>s</sub> (t/an)	20.05*10 <sup>8</sup>	83.93*10 <sup>7</sup>	66.55*10 <sup>7</sup>	15.55*10 <sup>8</sup>
Englund		20.93*10 <sup>7</sup>	83.93*10 <sup>7</sup>	59.41*10 <sup>6</sup>	52.47*10 <sup>7</sup>
Laursen		84.67*10 <sup>7</sup>	27.76*10 <sup>7</sup>	44.06*10 <sup>7</sup>	59.41*10 <sup>6</sup>
Allili et al.		1*10 <sup>6</sup>	31*10 <sup>6</sup>	4.45*10 <sup>6</sup>	
ANRH		3.9*10 <sup>6</sup>	2.79*10 <sup>6</sup>	5.015*10 <sup>6</sup>	24.94*10 <sup>6</sup>

## **Conclusion générale**

Cette étude menée sur un tronçon de rivière à l'estuaire d'un grand bassin versant du Nord algérien, nous a permis de conclure ce qui suit :

- L'application de trois fonctions de transport (*Ackers-white*, *Engelund et Laursen*) en utilisant la fonction d'évolution du lit sédimentaire d'*Exner* et la fonction de vitesse de sédimentation de *Ruby* a montré que le transport solide varie d'une fonction à une autre.
- La comparaison des résultats obtenus avec ceux de la station hydrométrique de *Sidi-Aich (ANRH)* et une étude réalisée par *Allili et al. (2015)* a montré que les résultats sont différents.

A titre de perspectives, d'autres travaux peuvent être réalisés :

- Changer les conditions limites et tester d'autres fonctions d'évolution du lit sédimentaire et de vitesse de sédimentation ;
- Etude d'impact de la pénétrante *Béjaia-Bouira* à l'autoroute *Est-Ouest* sur l'environnement.

## Références bibliographiques

- [1] **L. Mouni**, Etude et caractérisation physico-chimique des rejets dans l'oued Soummam, mémoire de magister, Université de Bejaia, 2004.
- [2] **M.-S. Bennabi**, Contribution à l'étude hydrologique de la vallée de l'oued de Sahel- Soummam (Algérie).Thèse Doctorat de troisième cycle de géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble
- [3] **L.Mouni**, Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'Oued Soummam (Algérie),Université de Bouira, 2009.
- [4] **A. Azzi**, Analyse des changements climatique dans le bassin versant de la Soummam : réflexion en termes des conséquences hydrologiques. Université Houari Boumedién de Bab Zouar, 2013.
- [5] **S. Charifi**, Application du modèle hydrologique GR2M sur les bassins versants de la Soummam et de l'Isser.Mémoire de magistère.Ecole National polytechnique, Alger, 2006
- [6] **CoyenBellier**, Etude de la régulation de la Soummam, bureau d'ingénieur, PARIS, 1973.
- [7] **A.Gilote-Peter**, La météo et ses secrets, Edition Fernand Nathan France, 1982
- [8] **Viziterv, Gauff**, Etude d'approvisionnement en eau potable et industrie des agglomérations du couloir AKBOU-BEJAIA à partir du Barrage Tichi-Haf, rapport de synthèse de la collecte des données, 1987.
- [9] Résultats météorologique, Station météorologique de Bejaia, 2002.
- [10] **F. Nalouf**, Estimation du bilan hydrologique à l'échelle du bassin versant du Soummam.
- [11] **A. Bessouh,S. Djadda**, Estimations du bilan particulaire en milieuestuarien du bassin versant de la Soummam. Mémoire de fin de cycle
- [12] **DHWP** : Etude de la protection de la ville de Bejaia contre les inondations. Bureau d'étude : INGEROP, 2006.
- [13] **C.Gomella, H.Guerree**, Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées, Edition EUROLLES 1978, p15-16.
- [14] Pollution de la Soummam, Rapport service d'environnement, 1977.

- [15] **S. Hebert, S.Legerf**, Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petit cours d'eau, Québec, Octobre 2000.
- [16] **J.Leroy**, La pollution des eaux, Edition Parise, 1999.
- [17] **G de Marsily**, Hydrogéologie Quantitative, Edition MASSON, 1981.
- [18] **S. Bouguerra**, Quantification et modélisation du transport solide dans un cours d'eau de l'Algérie septentrionale. Mémoire de magister en hydraulique option :Ecoulement et transport solide, Université AboubekerBelkaide - Tlemsen
- [19] **E. Mokhtari**, Contribution à l'étude du transport solide en suspension Bassin de l'Oued Cheliff – Ghrib, Mémoire de Magister, Option :Hydrologie et Construction Hydraulique, 2008/2009.
- [20] **A. HedjazI**, Quantification des apportes liquides et solides de l'Oued El-Ham. Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique : option hydraulique urbaine, Université de M'sila
- [21] **C. Lotti**, Guide maghrébin pour l'exécution des études et des travaux des retenues collinaires, P.N.U.D/O.P.E ,1987.
- [22] **A.Recking**, Evaluation des formules de transport solides en rivière avec prise en compte de l'échelle temporelle, rapport final, 2010.
- [23] HEC-RAS, Guide de laboratoire, Ecole de Technologie supérieure, Université de Québec, Mars 2005.
- [24] **A. Ahbari**, le bassin versant de Rhéraya; Modélisation pluie-débit et prédiction du comportement hydrologique, Département des Sciences de la Terre Master Eau et Environnement 2012-2013, Faculté des Sciences et Techniques, Guéliz-Marrakech.
- [25] WMS 8.4 Tutoriel : hydraulique et modélisation des plaines inondables, Analyse HEC-RAS.
- [26] Ch. Allili, B. Laignel, N. Adjeroud, H. Bir, K. Madani, Particulate Flow at the Mouth of the Soummam Watershed (Algeria), Environmental Progress & Sustainable Energy, N° xx (2015) xx – xx.