

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

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

N° : .....



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

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master en Ressources Hydraulique**

Par :

- CHEBABHI RADHWANE
- DERADJI MOUSSA

**Intitulé du mémoire :**

**Etude hydrologique appliquée pour le dimensionnement  
des ouvrages hydrauliques sur oued. Cas d'un ouvrage sur  
oued sahel**

Dirigé par : Mr : SAHLI.Y

**Année universitaire : 2019 /2020**

# Remerciements

Au moment de clôturer ce mémoire, je remercie en premier lieu dieu de m'avoir donné la force et la patience de terminer ce travail, je souhaiterais apporter aussi ma vive reconnaissance à certaines personnes qui m'ont aidé et encouragé au cours de ces deux dernières années de Master.

Je voudrais remercier très chaleureusement Mr Youcef Sahli, mon promoteur, pour le temps qu'il a su me consacrer et les précieux conseils qu'il a pu me donner.

Je ne saurais oublier ma mère, mon père, mon frère et ma sœur.

Enfin, je tiens remercier tous les personnels techniques et administratifs de département d'hydraulique.

# Didicase

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

*A ma chère belle mère*

*Aux supports de mon âme, vous mes très chères frères : aed et baset, Badro et mes sœurs.*

*Et a mes amies : zakaria dahmani ,badreddine aouina ,bilal mezidi, , abdelbassit mekafes ,yaakoub hamoma,badre lahmar,basem haouchat ,*

*A Tous les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de loin pour être un jour un master hydraulique*

*A tous les étudiants master hydraulique de l'université de M'sila et surtout les étudiants de deuxième Année Master « **Resources Hydraulique** » promo 2019/2020*

*Je vous remercie tous la famille chebabhi*

# Sommaire

<b>Introduction Générale</b> .....	<b>2</b>
<b>Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude</b>	
1-1- Définitions du bassin versant .....	4
1-2- Situation géographique.....	5
1-3- Conditions climatiques.....	7
<b>1-3-1- Température</b> .....	7
1-4- Le couvert végétal.....	7
1-5- La <b>géologie</b> .....	8
1-6- Les sols.....	9
1-7- Les Vents.....	10
1-8- Précipitations.....	11
1-9- L'Humidité Relative.....	11
<b>1-10- Morphologie du bassin</b> .....	<b>11</b>
<b>1-11- Le réseau hydrographique</b> .....	<b>11</b>
<b>Chapitre 2 : Etude hydrologique</b>	
2-1- Introduction.....	14
2-2- Données topographique.....	14
2-3- Caractéristiques morphologiques du bassin versant d'Oued Sahel .....	14
2-4- Détermination de l'intensité moyenne des précipitations.....	15
2-5- Estimation du débit de crue .....	18
2-5-1- Formule Rationnelle .....	18
2-5-2- Formule Crupédix .....	19
2-5-3- Formule de Transition .....	19
2-5-4- Formule de Turazza .....	20
2-6- Temps de concentration.....	20
2-7- Coefficient de ruissellement « C ».....	21
2-8- Application avec Turazza .....	23
2-9- Conclusion.....	24
<b>Chapitre 3 : Etude Hydraulique</b>	
3-1- Introduction.....	26
3-2- Débit d'apport et débit capable de l'ouvrage hydraulique.....	26
3-2-1- Estimation du débit de crue (rappel) .....	26
3-2-2- Choix du coefficient de ruissellement.....	28
3-2-3- Choix du période de retour.....	28
3-3- Dimensionnement de l'ouvrage hydraulique.....	29
3-3-1- Calcul du débit de saturation.....	29
3-3-2- Conception des ouvrages hydrauliques.....	30
3-3-3- Protections des ouvrages hydrauliques.....	30
3-4- méthode de vérification hydraulique.....	31
3-4-1- méthode de vérification hydraulique.....	31
3-5- Application pour notre ouvrage (Oued SAHEL).....	33

3-6- Conclusion .....	35
-----------------------	----

## **Chapitre 4 : Présentation du logiciel HEC-RAS**

Introduction.....	37
4-1- Principe d'utilisation de logiciel HEC-RAS .....	37
4-2- Etapes de la modélisatio.....	38
4-2-1- Projet .....	38
4-2-2- Géométrie des sections.....	39
4-2-3- Débit et conditions aux limites.....	43
4-2-4- Simulation hydraulique .....	45
4-2-5- Visualisation des resultants.....	45
<b>4-3- Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS.....</b>	<b>47</b>
4-3-1- Les équations de Saint-Venant 1D .....	48
4-3-2- Le cas stationnaire ( <i>SteadyFlow</i> ) .....	48
4-3-3- Le cas instationnaire ( <i>Unsteady Flow</i> ).....	50
4-4- <b>Conclusion</b> .....	<b>51</b>

## **Chapitre 5 : Calcul de la PHE (Plus Haute Eau) par HEC-RAS**

5.1 Introduction .....	53
5.2 Le logiciel Hec Ras.....	53
5.3 Les étapes de développement du model HEC-RAS.....	53

### **Conclusion générale**

### **Bibliographie**

## LISTE DES Tableau

Numéro de la Tableau	Tableau de titre	page
Tableau 1.1	Superficie des sous bassins versants de l'oued sahel(A.N.R.H., 1979, 1980)	7
Tableau 1.2	Moyennes mensuelles des températures (max 'M' et min 'm') dans la région de la basse vallée de la Soummam (période de 1970 - 2011)	7
Tableau 1.3	Vitesse mensuelle moyenne du vent (1994-2003)	10
Tableau 1.4	Précipitations moyennes annuelles et mensuelles en mm	11
Tableau 1.5	Humidités relatives mensuelles en %(1994-2004)	11
Tableau 2.1	caractéristiques morphologiques du bassin versant	14
Tableau 2.2	Implantation et données pluviométriques de la station de TAZMALT	16
Tableau 2.3	Intensités obtenues en[ mm / heure] de la station de TAZMALT	17
Tableau 2.4.1	: Valeur du Coefficient « $C_1$ » pour diverses pentes	22
Tableau 2.4.2	Valeur du Coefficient « $C_2$ » par rapport à la nature du SolTableau	22
Tableau 2.4.3	Valeur du Coefficient « $C_3$ » relative à la couverture du sol	22
Tableau 2.5	Les caractéristiques des paramètres du bassin versant sont	23
Tableau 2.6	Résultats de calcul du débit de pointe de dimensionnement de l'ouvrage hydraulique	24
Tableau 3.1	(modèle) : Débit d'apport et débit capable de l'ouvrage hydraulique	31
Tableau 3.2	Résultats de calcul	34
Tableau 4.1	Valeurs estimées pour le coefficient de Manning en fonction de la nature des parois	42

## LISTE DES FIGURES

Numéro de la figure	Figure de titre	page
Figure I-1	Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique	5
Figure I.2	Localisation du bassin versant de l'oued sahel	6
Figure I.3	Les sous bassins versants de l'oued sahel	6
Figure I.4	Carte géologique du bassin versant de l'oued sahel	9
Figure I.5	Carte des sols du bassin versant de l'oued sahe	10
Figure I.6	Carte du réseau hydrographique du bassin de l'oued sahel	12
Figure 4-1	La fenêtre principale de HEC-RAS	37
Figure 4-2	Fenêtre New Project	39
Figure 4-3	Fenêtre <i>Geometric Data</i>	40
Figure 4-4	Fenêtre Cross Section Data	41
Figure 4-5	Fenêtre XS interpolation	43
Figure 4-6	Fenêtre <i>Steady Flow Data</i>	44
Figure 4-7	Fenêtre <i>Reach Bondary Conditions</i>	44
Figure 4-8	Fenêtre <i>Steady Flow Analysis</i>	45
Figure 4-9	Fenêtre de profil de surface de l'eau	46
Figure 4-10	Fenêtre de surface de l'eau 3D	46
Figure 4-11	Résumé des erreurs et des avertissements	47
Figure 4-12	Conservation de la charge entre deux sections (source: HEC-RAS)	49
Figure 4-13	Découpage de la section pour le calcul du frottement (source: HEC-RAS).	50
Figure 4-14	Volume de contrôle élémentaire de dérivation de la continuité et d'équations de moment (Inflow : débit entré et Outflow : débit sortie)	50

# Introduction Générale

---



## **Introduction Générale**

Le comportement hydrologique des bassins versants se traduit parfois par le phénomène des crues qui peut être la source de certaines catastrophes appelées : inondations.

Ces événements hydrologiques exceptionnels constituent l'un des plus importants risques naturels responsable parfois de la perte de vies humaines et de biens matériels.

L'étude hydrologique et hydraulique pour l'implantation d'un ouvrage routier traversant un oued du bassin versant de sahel est justement pour objectif de prendre en charge ce risque par quelques solutions qui seront dégagées dans notre étude.

L'objectif principal de notre étude est de déterminer la variation du niveau de remonté des eaux dans la section ou l'ouvrage sera réalisé sur oued Sahel. Autrement dit, l'objectif final de notre travail est de déterminer la plus haute eau (PHE) sur cette section de l'oued à fin de la comparer à la hauteur naturelle des berges correspondant à la même section.

Cet objectif de notre travail, sera fait pas deux manières à savoir : l'utilisation des formules de calcul avec les données hydrologique de la zone (étude hydrologique et hydraulique) et l'utilisation en deuxième lieu le logiciel HEC-RAS avec ARC GIS. Ces derniers nous permettent la simulation du niveau d'eau de l'oued du bassin versant de Sahel après le passage de la crue.

Ce travail sera reparti sur plusieurs chapitres qui sont présenté dans le sommaire.

# Chapitre 1 :



Présentation de la zone d'étude

**Introduction:**

L'étude détaillée du bassin versant d'un cours d'eau est indispensable avant le dimensionnement des ouvrages hydraulique situant dans ce bassin versant, ou étude d'impact sur l'environnemental. L'objet de ce chapitre est :

- Une connaissance générale des principales caractéristiques du bassin versant de l'oued Sahel. Cette partie sera donc avant tout descriptive et qualitative. Dans un premier temps, nous allons décrire globalement le bassin versant, en le situant géographiquement, en étudiant sa topologie et sa nature géologique. Ensuite, nous allons chercher à étudier plus précisément le cours d'eau qui sera traversé par notre ouvrage.

**1-1. Définitions du bassin versant:**

Le bassin versant est l'ensemble des territoires superficiels et souterrains qui se drainent vers le même exutoire.

On distingue habituellement:

- **Le bassin fonctionnel** : portion de l'espace géographique dont les eaux se drainent vers un même cours d'eau.
- **Le bassin topographique** : portion de l'espace géographique dont les pentes convergent vers un même cours d'eau. Il peut être identique au bassin fonctionnel ou différent selon la géologie ou la perméabilité du terrain.

Toutefois, la délimitation topographique nécessaire à la détermination en surface du bassin versant naturel n'est pas suffisante. Lorsqu'un sol perméable recouvre un substratum imperméable, la division des eaux selon la topographie ne correspond pas toujours à la ligne de partage effective des eaux souterraines (voir Figure 1-2). Le bassin versant est alors différent du bassin versant délimité strictement par la topographie. Il est appelé dans ce cas **bassin versant réel**.

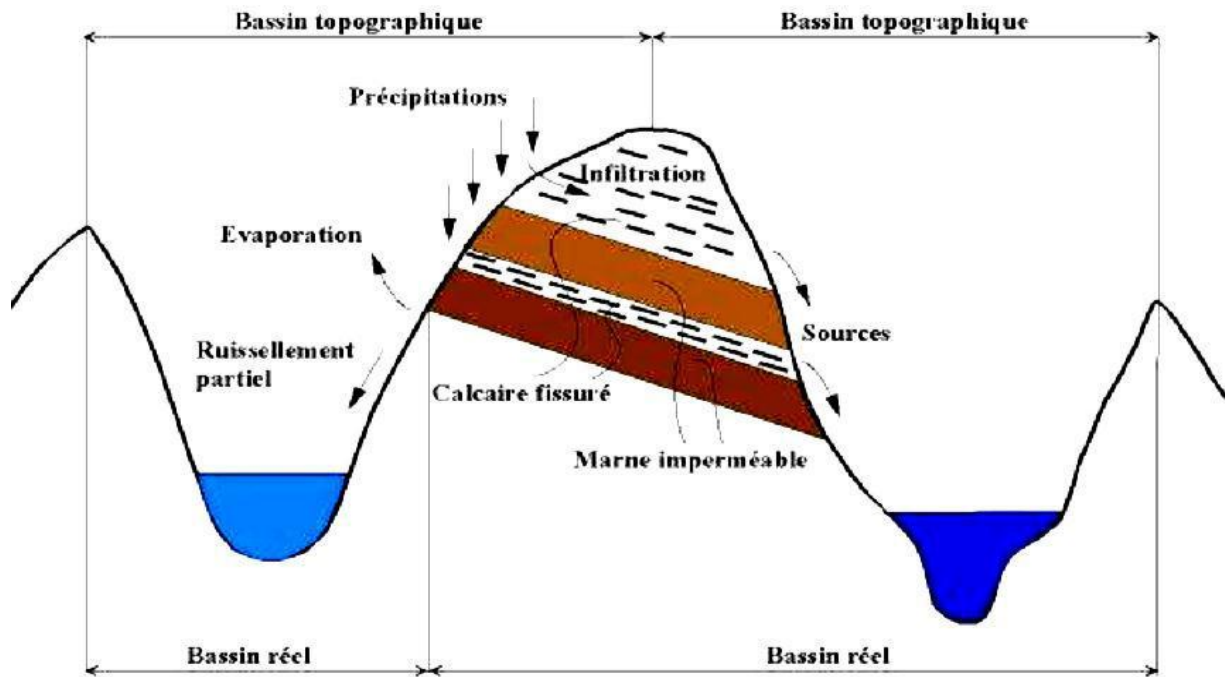


Figure 1-1: Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique.

## 1-2.Situation géographique

Le bassin versant de l'oued sahel est situé dans la partie Nord-est du pays entre  $3^{\circ} 60'$  et  $4^{\circ} 70'$  de longitude Est et entre  $36^{\circ} 00'$  et  $36^{\circ} 50'$  de latitude Nord.

Le bassin versant de l'oued sahel s'étendant selon un axe Nord -ouest. Il se compose de région:

les plateaux de Bouira. Il est limité:

- Au Nord : par les montagnes de la grande Kabylie (massif de Djurdjura).
- Au Sud : par les montagnes de Bibans et de Mansourah, au Sud-est par le contrefort des monts du Hodna.
- Et à l'Ouest : il est limité par les cours de l'Isser, et du Sébaou. IL présente une forme très irrégulière.

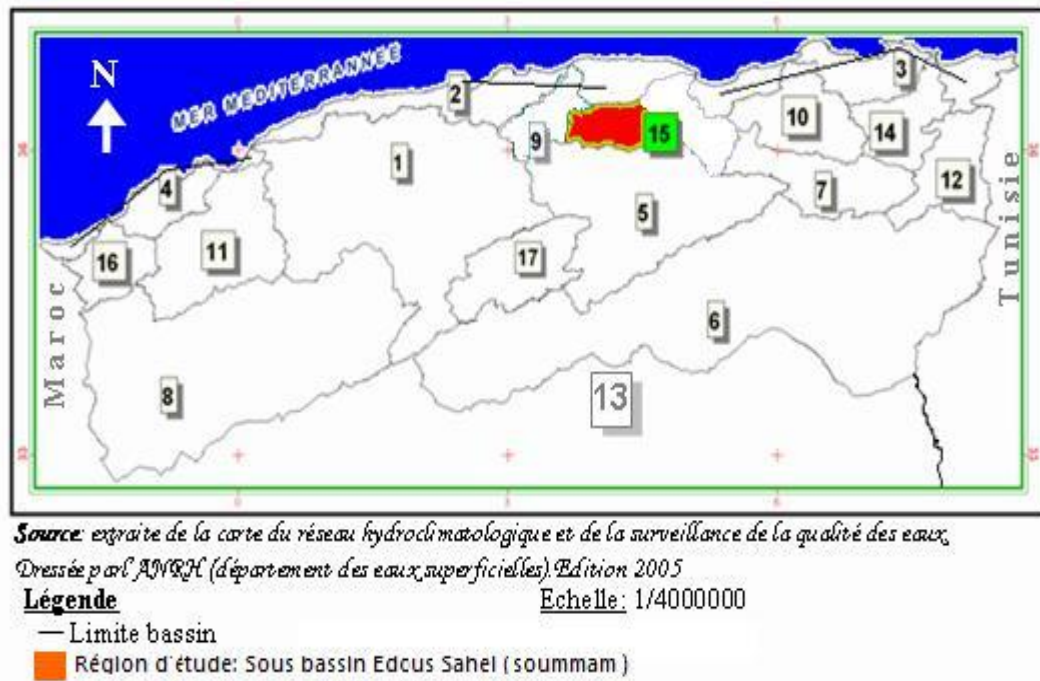


Figure 1-2. Localisation du bassin versant de l'oued sahel

Le bassin versant de l'oued sahel est subdivisé en 05 sous bassins versants (Fig. 1.3) et il couvre une superficie de 3750 km<sup>2</sup>.

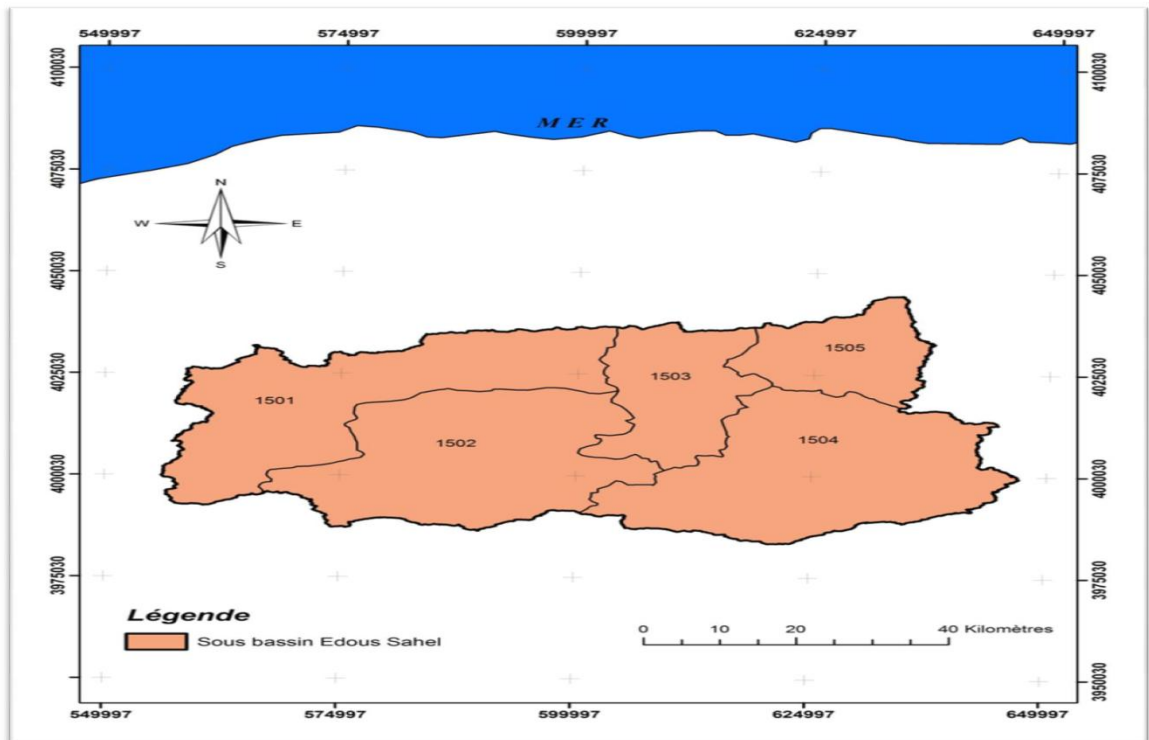


Figure I.3. Les sous bassins versants de l'oued sahel (extrait de la carte hydro-climatologique de surveillance de la qualité de l'eau dressée par l'ANRH, 2005)

**Tableau 1.1. Superficie des sous bassins versants de l'oued sahel  
(A.N.R.H., 1979, 1980)**

Sous bassin versant	Code	Superficie (km <sup>2</sup> )
Oued Eddous	1501	903.000
Oued Zaiane	1502	1012.00
Oued Sahel amont	1503	430.000
Oued Azerou	1504	1084.00
Oued Sahel Aval	1505	326.000

### 1.3- Conditions climatiques :

#### 1.3.1-Température :

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

**Tableau 1-2 : Moyennes mensuelles des températures (max 'M' et min 'm') dans la région de la basse vallée de la Soummam (période de 1970 - 2011)**

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

**m** : température moyenne minimale du mois

**M** : température moyenne maximale du mois

**Tmoy** : Température moyenne mensuelle

#### 1.4.Le couvert végétal

La végétation du bassin versant de l'oued sahel (Soummam) est de type méditerranéen et est très variée. Les régions alluvionnaires du haut sahel sont occupées par des chênaies. La basse et moyenne sahel sont occupées par des oliveraies et des vignobles. Dans la région de la moyenne sahel, le couvert végétal est moins dense.

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

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

### **1.5.La géologie**

On distingue au niveau du bassin versant de l'oued sahel différentes formations géologiques (Fig. I.4).

- Le Quaternaire : il s'agit 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.
- 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 sahel, en allant vers l'ouest. Il est présent au niveau de la chaîne de Gouraya et dans la région de Béni-Mansour.
- L'Eocène : il est complètement marneux, parfois calcaro-marneux. On le trouve surtout au niveau des hautes plaines.
- Le Crétacé : se présente, en général, sous forme de flysch. Il est étendu, continue 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 n'apparaît que

Dans la région de Béni-Mansour et la chaîne des Bibans. Il est grésopélimitique, 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 calcaro-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 Tell septentrional.

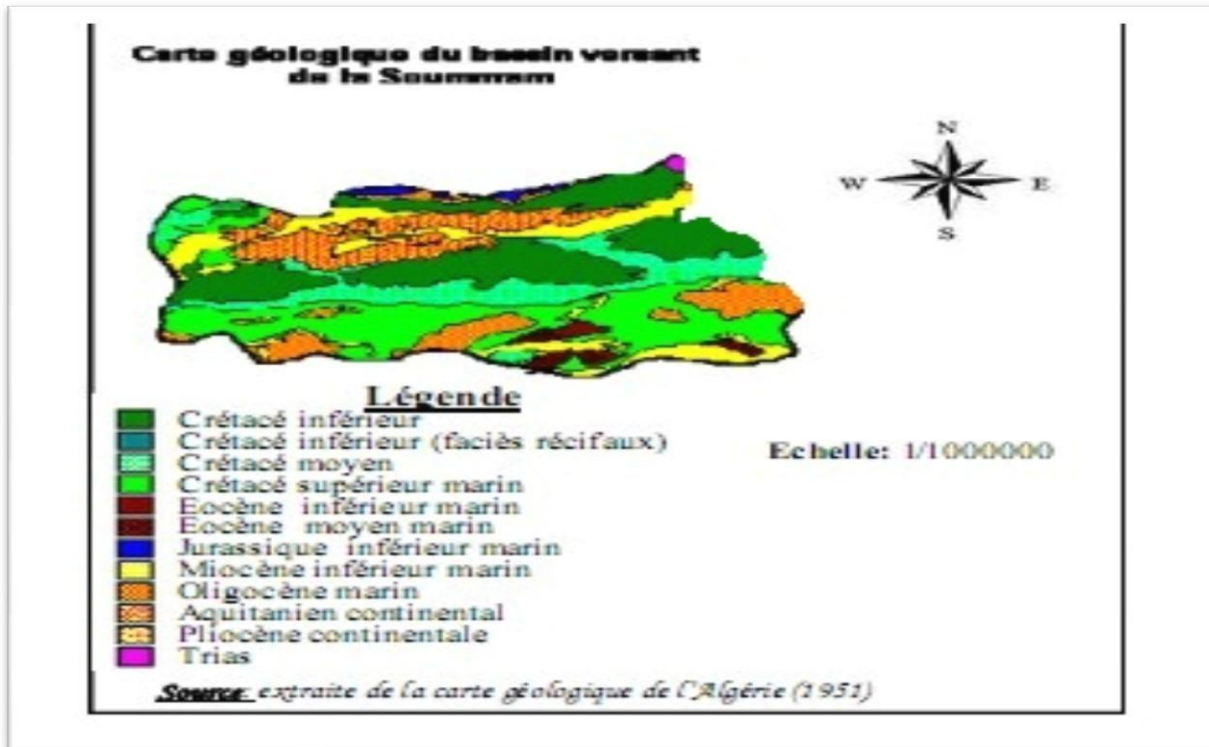


Figure 1.4. Carte géologique du bassin versant de l'oued sahel

### 1.6. Les sols

La majorité des sols dans le bassin de l'oued sahel sont des sols calcaires (riches en calcaire). Leur complexe absorbant est modifié par l'eau. Ces sols ont généralement une texture légère et sont donc perméables.

Au nord du bassin, on rencontre des sols insaturés qui ne contiennent pas de calcaire dont l'argile peut être plus abondante en surface qu'en profondeur ; leurs roches mères sont généralement imperméables ou donnent des produits de décomposition imperméables (Fig. I.5). Le long des Oueds, les sols sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux à profil indifférencié ou présentent une simple accumulation de matières organiques en surface. En plus on rencontre aussi des sols calciques.

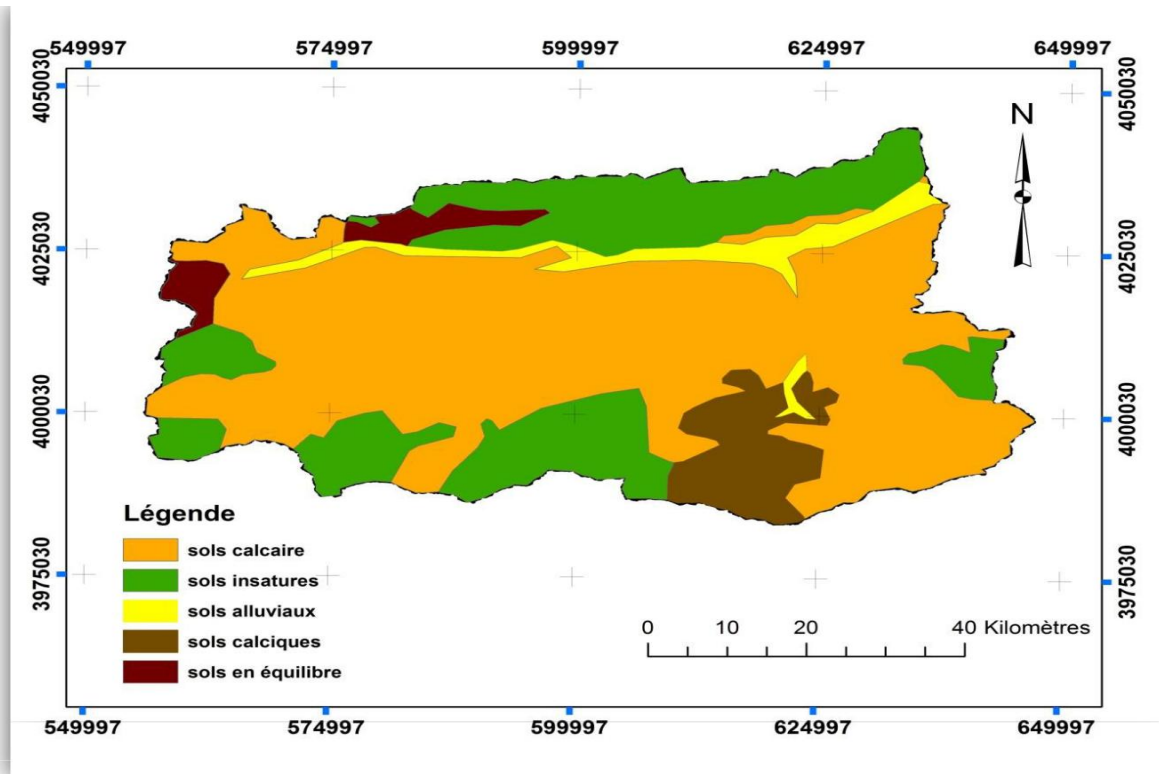


Figure 1.5. Carte des sols du bassin versant de l'oued sahel

1.7. Les Vents :

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

Les moyennes mensuelles des vitesses du vent moyen sur dix ans sont données par le Tableau suivant :

Tableau 1-3: Vitesse mensuelle moyenne du vent (1994-2003) [4]

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

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

**1.8-Précipitations :**

Les traitements statistiques des séries d'observations de ces stations donnent les résultats suivant :

**Tableau 1-4:** Précipitations moyennes annuelles et mensuelles en mm

Station Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Année
Akbou	29	40	48	83	74	67	54	56	37	13	5	7	<b>513</b>
Tazmalt	9,8	34,4	39,4	55,7	50,4	49,3	44,8	43,2	19,4	6,2	3,2	9,5	<b>365,3</b>

**1.9-L'Humidité Relative**

Le tableau suivant illustre les données relatives aux humidités moyennes mensuelles (moyennes mensuelles et annuelle de l'humidité) :

**Tableau 1-5:** Humidités relatives mensuelles en %(1994-2004)

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

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

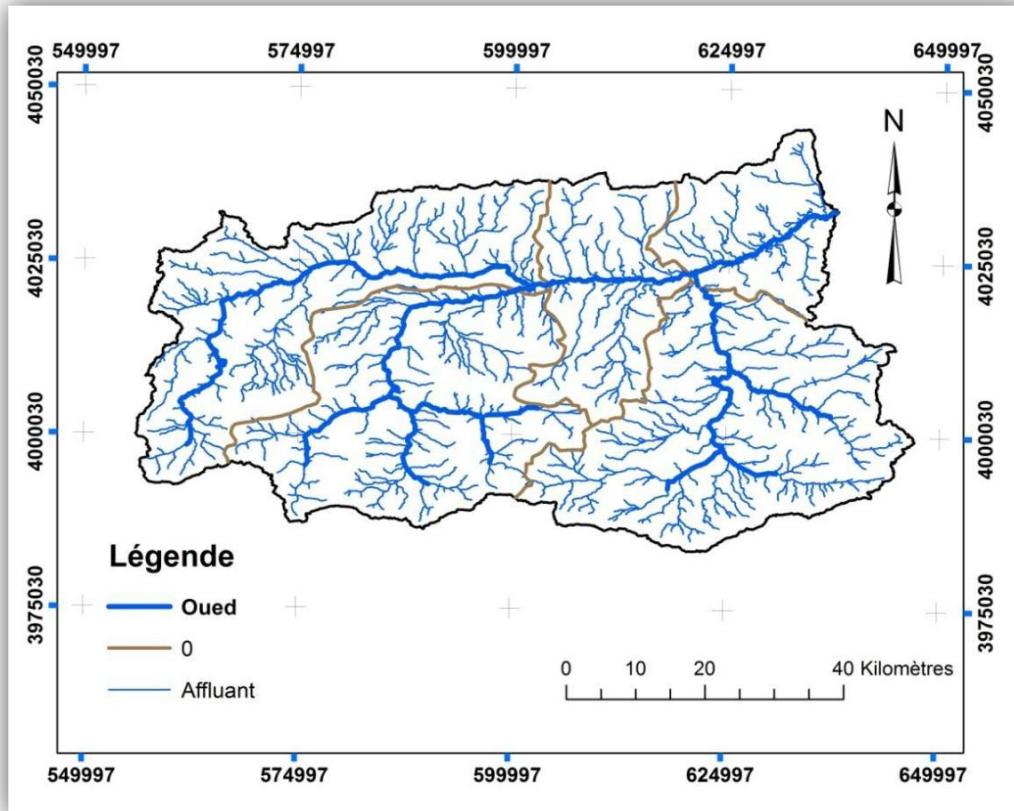
**1.10-Morphologie du bassin**

Le bassin versant de la Soummam se compose de dix sous bassins correspondant aux unités hydrologiques certaines sont contrôlées par des stations hydrométriques. Il a une forme irrégulière, étiré dans la direction Est-Ouest et accède a la méditerrané par le golf de Bejaia. Le bassin versant de la Soummam est limité par les chaînes du Djurdjura, à l'Est par les montagnes de la petite Kabylie et au Sud par les montagnes des Bibans et de Mansourah. Son orographie est très prononcé, aux environs de Bouira jusqu'à Akbou, la chaîne de Djurdjura n'est a aucun endroit inférieur a 1500 m. C'est dans cette partie que se situe le plus haut sommet D'Akbou en direction Nord-Est de la mer, la hauteur diminue graduellement.

Nous constatons ainsi, la présence d'un système de barrières naturelles représentée par les reliefs. Des chaînes de montagnes qui se dressent face aux vents pluviaux du littoral, il est en effet un bassin assez bien arrosé

**1.11. Le réseau hydrographique**

Le bassin versant de l'oued sahel possède un réseau hydrographique très développé. une seule rivière et leurs affluents constituent son réseau hydrographique principal : le Sahel, affluent venant du Nord-Ouest. (Figure 1.6)



**Figure 1-6.** Carte du réseau hydrographique du bassin de l'oued sahel

**Conclusion :**

Le bassin versant de Sahel, avec sa superficie de 3750 Km<sup>2</sup>, et un périmètre de 320 Km, a une forme allongée, ce qui lui donne un temps de concentration assez long, il est situé dans la zone Nord-est de l'Algérie qui est considérée comme la région la plus arrosée en Algérie; donc il est soumis à des fortes probabilités d'inondation

# Chapitre 2 :



---

# Etude Hydrologique

### 2.1 Introduction

L'étude hydrologique consiste à déterminer le débit de crue de l'oued ou écoulement qui est destiné à être franchit par un tracé routier. Par conséquent, l'écoulement doit être rétabli par ouvrage hydraulique (Pont, dalots ou buses) pour notre cas, il s'agit d'un pont. Les méthodes de calcul des débits de ruissellement utilisent généralement un modèle statique de la relation "pluie - ruissellement" ( $Q = f(I)$ ) et leur application présente la difficulté d'apprécier les caractéristiques physiques et géomorphologiques du bassin versant tels que forme, pente, superficie, longueur du cours d'eau principal, temps de parcours; coefficient de ruissellement, etc.

### 2.2. Données topographiques :

Les supports topographiques qu'on a utilisés dans ces types sont les cartes d'états majors qui sont scannées et numérisées.

Le bassin d'apports d'eaux pluviales a été délimité en fonction de la structure des talwegs et des lignes de crêtes sur ces cartes, leurs surfaces sont déterminées à l'aide du logiciel Autocad. La carte de ce bassin versant est jointe ci après à ce mémoire.

### 2.3 Caractéristiques morphologiques du bassin versant d'Oued Sahel :

La détermination des caractéristiques du bassin versant consiste à calculer, ou évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues. Les paramètres physiques peuvent être calculés, sans grandes difficultés, avec une précision satisfaisante.

Les paramètres suivants sont évalués et calculés.

- Surface
- Périmètre
- Longueur de l'oued
- Altitude max
- Altitude min
- Longueur du rectangle équivalent

Les caractéristiques des paramètres du bassin versant sont données dans le tableau suivant :

**Tableau 2.1 : caractéristiques morphologiques du bassin versant**

S (km <sup>2</sup> )	P (km)	L (km)	Kc	Lr (km)	TC	Hmax (m)	Hmin (m)	H .moy(m)	Ig (m/Km)	Ds	I(%)
3800	291,75	101,87	1,44	111,92	15,39	2305	200	1252,5	10,33	2105	2,07

**Avec :**

S (km<sup>2</sup>) : Surface (km<sup>2</sup>)

P (km) : Périmètre (km)

L (km) : Longueur du cours d'eau principal

Kc : Indice de compacité

Lr (km) : Longueur du rectangle équivalent

TC : Temps de concentration en heures

H.max(m) : Altitude max

H.min(m) : Altitude min

H.moy(m) : Altitude moyenne

Ig (m/Km) : Indice de pente globale

Ds : dénivelée spécifique

I (%) : pente du bassin versant

#### **2.4. Détermination de l'intensité moyenne des précipitations :**

##### **o Données pluviométriques**

Nous avons recueillis toutes les renseignements pluviométriques disponibles au niveau de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H.) Bir-Mourad-Rais (Alger) qui couvrent notre zone d'étude.

Les données hydrologiques existent souvent sous forme de courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) au niveau de certaines régions et sous forme d'un listing de pluies journalières mensuelles annuelles maximales dans d'autres régions.

##### **Les précipitations**

Les données pluviométriques se présentent sous forme de pluies journalières mensuelles annuelles maximales, existants au niveau du bassin versant étudié, concerne la station de TAZMALT. Cette station est située à l'intérieur du bassin versant concerné par l'étude dont ses informations sont :

Tableau 2.2 Implantation et données pluviométriques de la station de TAZMALT

Nom de la station	Code	X Lambert	Y Lambert	Altitude (m)	Nombre d'années	Pjmoy (mm)	Cv (mm)
TAZMALT	150501	652.75	344.25	324	39	450	0.4

o Intensités

La détermination de l'intensité de pluie relative à ces stations comprend différentes étapes de calcul qui sont :

a. Hauteur de la pluie journalière maximale annuelle

$$P_j = \frac{P_{jmoy}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} \cdot \exp\left(u \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}\right)$$

Pjmoy : pluie journalière moyenne (mm).

Cv : Coefficient de variation.

U : Variable de Gauss.

Ln : Log. Néperien.

b. Hauteur de la pluie de durée 't = tc'

$$P(t) = 1.13 \cdot p_j \cdot \left(\frac{t_c}{24}\right)^b$$

Pj : Hauteur de la pluie journalière maximale (mm).

b : Exposant climatique.

tc : Temps de concentration (heure).

c. L'intensité horaire

$$i = \frac{P(t)}{t_c}$$

i : Intensité de la pluie (mm/h).

tc : Temps de concentration (heure).

P(t) : Hauteur de la pluie de durée tc (mm).

### ❖ Courbe IDF (Intensité – Durée – Fréquence)

#### ○ Pluie moyenne dans la région :

La pluie annuelle moyenne dans la région est comprise entre 400 et 500mm d'après la carte des pluies de l'Algérie du nord de l'ANRH, nous prenons en considération la valeur de :

$$P_{\text{moy}} = 450 \text{ mm.}$$

#### ○ Pluies de courtes durées :

La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est de la forme :

$$I(t,T) = a(T)/t^b$$

$I(t,T)$  : Intensité de pluie en mm/h

$T$  : période de retour

$t$  : temps en heures.

$a$  et  $b$  : paramètres de Montana.

$$b = 0,65$$

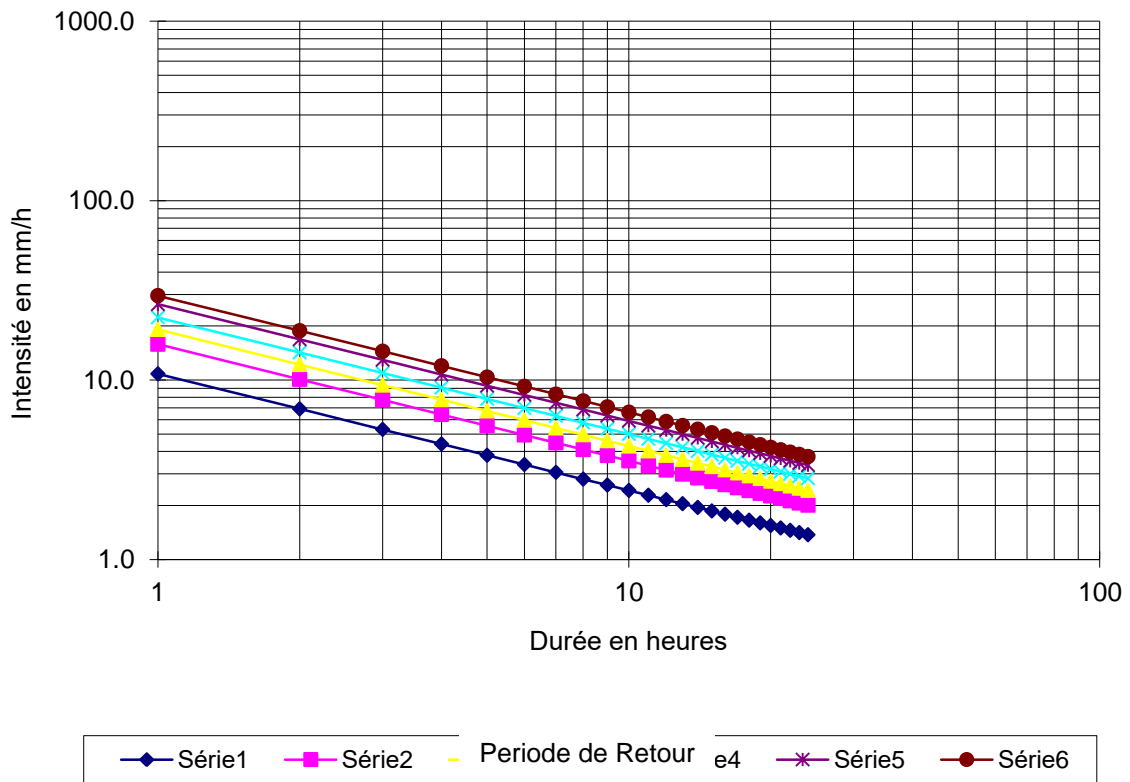
$$I(t,T) = a (T)/t^{0.7}$$

<b>T</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>a</b>	11,7	16,2	19,2	22,0	25,7	28,4

#### ○ Intensités obtenues en [ mm / heure ] de la station de TAZMALT

<b>I(t,T)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
15 mn	28,9	39,9	47,2	54,1	63,2	70,0
30 mn	18,4	25,4	30,1	34,5	40,3	44,6
1h	11,7	16,2	19,2	22,0	25,7	28,4
2h	7,5	10,3	12,2	14,0	16,4	18,1
3h	5,7	7,9	9,4	10,8	12,6	13,9
6h	3,7	5,1	6,0	6,9	8,0	8,9
12h	2,3	3,2	3,8	4,4	5,1	5,7
24h	1,5	2,1	2,4	2,8	3,3	3,6

**Courbes Intensité-Durée-Fréquence / Station de TAZMALT**



**2.5. Estimation du débit de crue :**

Le débit de projet correspond au débit de pointe pour une période de retour donnée, dimensionnant l'ouvrage hydraulique. Ce débit est calculé par les plusieurs méthodes (en fonction de la surface du bassin versant et sa situation géographique): Rationnelle, Crupédix, transition et Turazza.

Pour notre bassin versant d'une surface qui dépasse largement les 200 km<sup>2</sup>, nous avons opté pour la formule de Turazza.

**2.5.1 Formule Rationnelle :** Pour les bassins dont la surface ne dépasse pas 10km<sup>2</sup>, nous adoptons cette formule :

$$Q_{(T)} = K.C_{(T)}.I_{(T)}.A$$

Dont : Q(T) : Débit maximum d'eau pluviale de période de retour (m<sup>3</sup>/s).

C(T) : Coefficient de ruissellement pondéré pour la période de retour T.

I(T) : Intensité moyenne de pluie en mm/h pour la période de retour T

pendant

le temps de concentration tc.

K : Coefficient de conversion des unités.

A : Aire du bassin d'apport (km<sup>2</sup>).

**2.5.2 Formule Crupédix :** Pour les bassins versants de surfaces supérieures à 50km<sup>2</sup>, la formule de Crupédix sera retenue.

$$Q_{10} = R \cdot \left( \frac{P_{10}}{80} \right)^2 \cdot A^{0.8} \quad (2.6)$$

Dont : Q<sub>10</sub> : Débit décennal, en (m<sup>3</sup>/s).

R: Coefficient régional traduisant l'aptitude de ruissellement :

R=0.2 pour des terrains perméables

R=1.5 à 1.8 pour des terrains imperméables

R=1 pour des terrains intermédiaires

P<sub>10</sub> : Pluie journalière de période de retour décennale en (mm).

A : Aire du bassin d'apport (km<sup>2</sup>).

Le débit centennal est obtenu à partir de la corrélation :

$$Q_{100} = \bar{b} \cdot Q_{10} \quad \text{à priori :} \quad 1.4 \leq \bar{b} \leq 4$$

Jusqu'à 20km<sup>2</sup>,  $\bar{b}$  est déterminé en appliquant la formule rationnelle (calcul de Q<sub>10</sub> et Q<sub>100</sub> comme si la formule rationnelle était applicable).

Au-delà de 20km<sup>2</sup>,  $\bar{b}$  est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet. A défaut,  $\bar{b} = 2$  au minimum.

**2.5.3 Formule de Transition :** Entre les deux méthodes précédentes, une formule de transition est appliquée pour des surfaces comprises entre 10km<sup>2</sup> et 50km<sup>2</sup>.

$$Q_{Transition} = \left( \frac{50 - A}{40} \right) \cdot Q_{Rationnelle} + \left( \frac{A - 10}{40} \right) \cdot Q_{Crupédix}$$

**2.5.4 Formule de Turazza :**

Pour les bassins versants de superficie supérieure à 200 km<sup>2</sup> les temps de concentrations sont supérieure à 12 heures, la pluie continue de durée égale au temps de concentration présente une probabilité de retour quasi-nulle.

Le ruissellement est provoqué par une succession d’averses de plus en moins grande intensité. Les débits de crues sont alors fonction des rythmes de succession des averses continues.

Le calcul de débit est obtenu en majorant ; par un coefficient variant de 1.5 à 4, le débit moyen de la crue définie par la hauteur d’eau ruisselée sur le bassin versant, divisée par le temps dit de concentration Tc.

$$Q = \frac{P(t) \times Cr \times A \times Ka}{3.6 \times Tc} \quad (m^3/s)$$

Q : débit du bassin versant (m<sup>3</sup>/s) ;

P (t) : pluie tombée pour une durée égale au temps de concentration du bassin versant en (mm) ;

Cr : coefficient de ruissellement ;

A : superficie du bassin versant en (km<sup>2</sup>).

Ka : coefficient d’abattement égale du rapport de pluie moyenne sur la pluie maximale et varie de 0.5 à 0.9 ;

Tc : temps de concentration détermine par la formule de GIONDOTTI en heures.

**Temps de concentration**

Pour calculer le débit maximal (débit de projet), le temps de concentration (tc) est un facteur prépondérant, ainsi la durée de pluie utilisée sera égale à (tc) du bassin. Le temps de concentration du bassin versant est défini comme le temps nécessaire à une particule d’eau de parcourir le plus éloigné du bassin jusqu’à l’exutoire de ce bassin. Différentes types de formules expérimentales sont utilisées pour calculer (tc), tel que les formules de Ventura, Passini, Giandotti, Pezolli, Horton, Kirpich (1940) et Setra, etc.

❖ Pour S < 5 km<sup>2</sup>, on applique la formule de Ventura

$$t_{c10} = 0,127 \sqrt{\frac{S}{P}}$$

Avec : **t<sub>c10</sub>** : Temps de concentration en heure.

**S** : Surface du bassin versant en km<sup>2</sup>.

**P** : Pente moyenne du bassin versant en m/m.

❖ Pour  $5 < S < 25 \text{ km}^2$ , on applique la formule de Passini

$$t_{c10} = 0,11 \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{P}}$$

**Avec :** **L** : Longueur du bassin versant en km.

**S** : Surface du bassin versant en  $\text{km}^2$ .

**P** : Pente moyenne du bassin versant en m/m.

❖ Pour  $S > 25 \text{ km}^2$ , il est calculé à l'aide de la formule de Giandotti

$$t_{c10} = \frac{4 \sqrt{S} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{H}}$$

**Avec :** **S** : Surface du bassin versant en  $\text{km}^2$ .

**L** : Longueur du bassin versant en km.

**H** : Altitude moyenne du bassin versant.

Pour une période de retour supérieure à 10ans : le temps de concentration est déterminé par l'expression suivante :

$$tc_T = tc_{10} \cdot \left( \frac{P_{(T)} - P_0}{P_{10} - P_0} \right)^{-0.23}$$

**Avec :** **T<sub>ct</sub>** : Temps de concentration pour une période de retour T en mn

**T<sub>c10</sub>** : Temps de concentration décennal en mn.

**P<sub>(T)</sub>**: Pluie journalière de période de retour T en mm.

**P<sub>10</sub>** : Pluie journalière décennale, en mm.

**P<sub>0</sub>** : Rétenion initial, en mm.

## 2.6 Coefficient de ruissellement « C »

Le coefficient de ruissellement « C<sub>10</sub> », qui est un indicatif du pourcentage de l'eau ruisselée sur un sol saturé par les précipitations antérieures par rapport à la totalité de l'averse, sera estimé à partir de la méthode de Kenessey (Hongrie) où "C<sub>10</sub>" est la somme de trois coefficients partiels :

$$C_{10} = C_1 + C_2 + C_3$$

C<sub>1</sub> : dépend de la pente "p" du thalweg principal estimée comme étant égal au rapport de la dénivelée du talweg (falaises exclues) par sa longueur développée. Ces informations sont

obtenues généralement à partir des cartes topographiques disponibles. Les valeurs de «  $C_1$  » sont présentées dans le Tableau 2.4.1 ci-dessous.

$C_2$  : dépend de la perméabilité du sol, déterminée à partir des informations concernant la nature du sol et ses caractéristiques. Les valeurs du coefficient «  $C_2$  » sont présentées dans le Tableau 2.4.2 ci-après.

$C_3$  : dépend de la couverture végétale du bassin versant. Ces informations seront obtenues à partir d'une inspection visuelle des bassins versants, des photos prises du site et des photos aériennes. Les valeurs du coefficient «  $C_3$  » sont présentées dans le Tableau 2.4.3 ci-après

Tableau 2.4.1 : Valeur du Coefficient «  $C_1$  » pour diverses pentes

Pente (P) (%)	Coefficient ( $C_1$ )
$P \leq 3.5$	0,01 – 0,05
$3,5 \leq P \leq 11$	0,06 – 0,10
$11 < P \leq 35$	0,12 – 0,20
$35 < P$	0,22 – 0,30

Tableau 2.4.2 : Valeur du Coefficient «  $C_2$  » par rapport à la nature du Sol

Nature du Sol	Coefficient ( $C_2$ )
Imperméable	0,22 – 0,30
Peu perméable	0,10 – 0,20
Perméable	0,06 – 0,10
Très perméable	0,06 – 0,05

Tableau 2.4.3 : Valeur du Coefficient «  $C_3$  » relative à la couverture du sol

Couverture Végétale	Coefficient ( $C_3$ )
Rocheux	0,22 – 0,30
Prairie	0,17 – 0,25
Labours – Champs	0,07 – 0,15
Forêts et Terrains Sableux	0,03 – 0,05

**Remarque :**

Après analyse de la topographie du site, le couvert végétal ainsi que la pente moyenne du terrain, le coefficient de ruissellement  $C = C_1 + C_2 + C_3 = 0.20 + 0.25 + 0.25 = 0.70$

$$C = 0.7$$

Pour une période de retour supérieure à 10ans : le coefficient de ruissellement est déterminé par l'expression suivante :

$$C_T = 0.8 \cdot \left( 1 - \frac{P_{(0)}}{P_{(T)}} \right)$$

Avec : P(T): Pluie journalière de période de retour T en mm.

P0 : Rétention initial, en mm, donnée par les formules suivantes :

$$\text{Pour } C_{10} < 0.8, \quad P_0 = \left( 1 - \frac{C_{(10)}}{0.8} \right) \cdot P_{10}$$

Pour  $C_{10} \geq 0.8$  ;  $C(T) = C(10)$

**2.7 Application avec Turazza :**

Application de la formule de Turazza pour le bassin versant d'oued Sahel (calcul du débit max à son exutoire)

**✚ Caractéristiques morphologiques du bassin versant de Oued Sahel :**

La détermination des caractéristiques du bassin versant consiste à calculer, ou évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues. Les paramètres physiques peuvent être calculés, sans grandes difficultés, avec une précision satisfaisante.

Les paramètres suivants sont évalués et calculés .

- Surface
- Périmètre
- Longueur de l'oued
- Altitude max
- Altitude min
- Longueur du rectangle équivalent

**Tableau 2.5 : Les caractéristiques des paramètres du bassin versant sont données par le tableau suivant :**

S (km <sup>2</sup> )	P (km)	L (km)	Kc	Lr (km)	TC	Hmax (m)	Hmin (m)	H.moy (m)	Ig (m/Km)	Ds	I (%)
3800	291,75	101,87	1,44	111,92	15,39	2305	200	1252,5	10,33	2105	2,07

Le débit est calculé pour une période de retour de 100 ans.

**Tableau 2.6 : Résultats de calcul du débit de pointe de dimensionnement de l'ouvrage hydraulique**

<b>S (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Hmin (m)</b>	<b>Hmax (m)</b>	<b>L (km)</b>	<b>Cr</b>	<b>I (%)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
3800	200	2305	101,87	0.7	2,07	<b>Q100 = 1350</b>

**2.8 Conclusion :**

La méthode d'étude adoptée est française. Elle est utilisée pour les zones méditerranéennes.

Pour utiliser ces formules en dehors de la zone méditerranéenne, il suffit de changer les indices climatiques des stations utilisées qui change par rapport à celles des zones méditerranéennes.

# Chapitre 3 :



---

# Etude Hydraulique

### 3.1 Introduction :

L'étude hydraulique consiste à dimensionner les ouvrages hydrauliques nécessaires pour faire traverser les écoulements et les oueds en dehors des zones urbaines et dimensionner les ouvrages de drainage en zones urbaines après avoir déterminé le débit de crue de chaque oued ou écoulement consterné.

L'objectif principal de cette partie d'études est de déterminer la plus haute eau (PHE) d'un oued qui sera traversé par un ouvrage qui est un pont au niveau de oued Sahel, en utilisant les formules empiriques qui tiennent compte des données hydrologiques de la région et en utilisant les résultats de l'étude hydrologique (calcul du débit du bassin versant).

### 3.2 Débit d'apport et débit capable de l'ouvrage hydraulique

#### 3.2.1 Estimation du débit de crue (rappel) :

Le débit de projet correspond au débit de pointe pour une période de retour donnée, dimensionnant l'ouvrage hydraulique. Ce débit est calculé par les plusieurs méthodes méthodes (en fonction de la surface du bassin versant et sa situation géographique): Rationnelle, Crupédix, transition et Turazza.

Pour notre bassin versant d'une surface qui dépasse largement les 200 km<sup>2</sup>, nous avons opté pour la formule de Turazza expliqué en chapitre 2.

- a. Formule Rationnelle :** Pour les bassins dont la surface ne dépasse pas 10km<sup>2</sup>, nous adoptons cette formule :

$$Q_{(T)} = K \cdot C_{(T)} \cdot I_{(T)} \cdot A$$

Dont :  $Q_{(T)}$  : Débit maximum d'eau pluviale de période de retour (m<sup>3</sup>/s).

$C_{(T)}$  : Coefficient de ruissellement pondéré pour la période de retour T.

$I_{(T)}$  : Intensité moyenne de pluie en mm/h pour la période de retour T

pendant

le temps de concentration  $t_c$ .

K : Coefficient de conversion des unités.

A : Aire du bassin d'apport (km<sup>2</sup>).

- b. Formule Crupédix :** Pour les bassins versants de surfaces supérieures à 50km<sup>2</sup>, la formule de Crupédix sera retenue.

$$Q_{10} = R \cdot \left( \frac{P_{10}}{80} \right)^2 \cdot A^{0.8}$$

Dont :  $Q_{10}$  : Débit décennal, en (m<sup>3</sup>/s).

R: Coefficient régional traduisant l'aptitude de ruissellement :

R=0.2 pour des terrains perméables

R=1.5 à 1.8 pour des terrains imperméables

R=1 pour des terrains intermédiaires

$P_{10}$  : Pluie journalière de période de retour décennale en (mm).

A : Aire du bassin d'apport (km<sup>2</sup>).

Le débit centennal est obtenu à partir de la corrélation :

$$Q_{100} = \bar{b} \cdot Q_{10} \quad \text{à priori :} \quad 1.4 \leq \bar{b} \leq 4$$

Jusqu'à 20km<sup>2</sup>,  $\bar{b}$  est déterminé en appliquant la formule rationnelle (calcul de  $Q_{10}$  et  $Q_{100}$  comme si la formule rationnelle était applicable).

Au-delà de 20km<sup>2</sup>,  $\bar{b}$  est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet. A défaut,  $\bar{b} = 2$  au minimum.

**c. Formule de Transition :** Entre les deux méthodes précédentes, une formule de transition est appliquée pour des surfaces comprises entre 10km<sup>2</sup> et 50km<sup>2</sup>.

$$Q_{Transition} = \left( \frac{50 - A}{40} \right) \cdot Q_{Rationnelle} + \left( \frac{A - 10}{40} \right) \cdot Q_{Crupédix}$$

**d. Formule de Turazza :**

Pour les bassins versants de superficie supérieure à 200 km<sup>2</sup> les temps de concentrations sont supérieures à 12 heures, la pluie continue de durée égale au temps de concentration présente une probabilité de retour quasi-nulle.

Le ruissellement est provoqué par une succession d'averses de plus en plus grande intensité.

Les débits de crues sont alors fonction des rythmes de succession des averses continues.

Le calcul de débit est obtenu en majorant ; par un coefficient variant de 1.5 à 4, le débit moyen de la crue définie par la hauteur d'eau ruisselée sur le bassin versant, divisée par le temps dit de concentration  $T_c$ .

$$Q = \frac{P(t) \times Cr \times A \times Ka}{3.6 \times T_c} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

- Q : débit du bassin versant ( $m^3/s$ ) ;
- P (t) : pluie tombée pour une durée égale au temps de concentration du bassin versant en (mm) ;
- Cr : coefficient de ruissellement ;
- A : superficie du bassin versant en ( $km^2$ ).
- Ka : coefficient d'abattement égale du rapport de pluie moyenne sur la pluie maximale et varient de 0.5 à 0.9 ;
- Tc : temps de concentration détermine par la formule de GIONDOTTI en heures.

### 3.2.2. Choix du coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est défini comme le rapport de la hauteur d'eau ruisselée à la hauteur d'eau précipitée.

Il est choisit compte tenu de la nature du bassin versant en particulier de sa couverture du type de sol, de la pente, ainsi qu'en fonction du temps de retour de l'événement.

Le coefficient de ruissellement dépend des caractéristiques et conditions d'infiltration du sol, l'intensité de précipitation, de la proximité de la nappe phréatique, du degré de compactage du sol, de sa porosité, du couvert végétal, de la typologie d'occupation, de la pente du bassin, de la récurrence, etc....

Le coefficient de ruissellement est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

- C1 : dépendant de la pente du bassin versant.
- C2 : dépendant de la nature du sol (perméabilité).
- C3 : dépendant de la couverture végétale du bassin versant.

### 3.2.3 Choix du période de retour T

Pour chaque type d'infrastructure, les conditions d'écoulement et l'effet d'une crue exceptionnelle doivent être appréciés.

Pour les buses en à la période de retour de T= 10 ans

Pour les dalots en à la période de retour de T= 50 ans

Pour les ponts en à la période de retour de T= 100 ans

**3.3 Dimensionnement de l'ouvrage hydraulique**

**3.3.1 Calcul du débit de saturation**

Le calcul des ouvrages ne peut se faire qu'après avoir disposé des contraintes de l'écoulement naturel en aval recueillies jusqu'à au moins 100 m de l'ouvrage hydraulique.

Par ailleurs, les ouvertures des ouvrages hydrauliques de rétablissement sont généralement inférieures à la section courante du ruisseau ou du thalweg pour des raisons de coûts.

Ce rétrécissement hydraulique n'est pas neutre pour son fonctionnement et notamment en période d'évacuation du débit de crue.

L'écoulement est entièrement conditionné par les caractéristiques de l'oued.

Le débit est calculé par la formule de MANNING - STRICKLER.

$$Q = K \times S \times Rh^{2/3} \times I^{1/2}$$

$S_m$  : section mouillée en (m<sup>2</sup>) ;

$R_h$  : rayon Hydraulique en (m) ;

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

$P_m$  : périmètre mouillé en (m) ;

$I$  : pente moyenne de l'oued ;

$K$  : coefficient de rugosité de Strickler.

Voici quelques ordres de grandeur du coefficient de Strickler

Nature des parois	Valeur de $K$ en $m^{1/3} / s$
Béton lisse	75-90
Canal en terre, non enherbé	60
Canal en terre, enherbé	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	35-40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie	20-30
Lit majeur en vigne ou taillis	10-15
Lit majeur urbanisé	10-15
Lit majeur en forêt	<10

Nous avons adopté la valeur	30 pour les ponts
	70 pour les dalots
	80 pour les buses

De façon à contrôler les effets de l'érosion, la vitesse maximale de l'écoulement devra être limitée à 4.5 m/s.

Pour la hauteur utile, si la hauteur totale

- Pour  $H_t \leq 2,5$  m  $\rightarrow$  hauteur utile = 80 % hauteur totale.
- Pour  $H_t > 2,5$  m  $\rightarrow$  hauteur utile = hauteur totale - 0,50 m.

### 3.3.2 Conception des ouvrages hydrauliques

On distingue généralement 5 familles d'ouvrages :

Les buses circulaires, les dalots, les buses arches, les ouvrages à voûte cintrée, et les ouvrages d'art.

Dans la mesure du possible, les produits industrialisés seront à rechercher plutôt que des ouvrages coulés en place plus coûteux. Les ouvrages en béton armé, sous réserve de dispositions constructives soignées, présentent d'excellentes garanties de solidité et de longévité.

### 3.3.3 Protections des ouvrages hydrauliques

Il peut être envisagé de caler le radier de l'ouvrage hydraulique à au moins 0,30 m sous le fond du lit du cours d'eau pour permettre la reconstitution d'un fond naturel dans l'ouvrage.

La surélévation du niveau amont des écoulements et l'accroissement des vitesses en sortie d'ouvrage nécessitent le plus souvent des protections en amont et en aval des ouvrages.

Toute rectification du tracé nécessitera :

- la continuité de l'écoulement hydraulique ;
- la protection efficace des berges aux changements de direction par des techniques pérennes relevant prioritairement du génie végétal.

Les techniques de renforcement par enrochements et gabions devront être réservées aux sections fortement sollicitées par la vitesse de l'écoulement, si les enjeux sont importants en terme de sécurité des personnes et des biens à fortes valeurs ajoutées ;

Les écoulements en pente importante  $p = 4\%$  posent des problèmes spécifiques (détermination de la hauteur d'eau amont, vitesse dans les ouvrages...)

**Tableau 3.1 (modèle) :** Débit d'apport et débit capable de l'ouvrage hydraulique

Surface du B.V (Km <sup>2</sup> )	Débit de crue (m <sup>3</sup> /s)	Pente ouvrage (%)	Débit capable (m <sup>3</sup> /s)	Vitesse Max de L'ouvrage (m/s)	Type d'ouvrage	Dimension
3800	1350	1	1350	4.5	ponts	

**3.4 CALCUL HYDRAULIQUE DES OUVRAGES TRAVERSANTS**

Les ouvrages hydrauliques sont dimensionnés par la méthode citée ci-dessous avec la valeur Q<sub>100</sub>, pour ce débit le dimensionnement devra respecter la condition suivante :

$$\frac{Ham}{H} \leq 1.2$$

Avec : Ham : hauteur d'eau amont, H : hauteur de l'ouvrage

Il est souhaitable d'avoir une revanche de :

- R ≥ 0.3m pour des OH où H < 1.5m,
- R ≥ 0.5m pour des OH où 1.5 < H < 2m
- 0.7m < R < 1.5m au-delà.

**3.4.1 méthode de vérification hydraulique**

1. Le calcul de la section est effectué par la méthode de Manning Strickler :

$$Q_s = K.S.R_h^{2/3}.I^{1/2}$$

Avec :

I : Pente de pose de l'ouvrage (m/m).

S : Section mouillée (m<sup>2</sup>).

R<sub>h</sub> : Rayon hydraulique moyen (m) avec :

$$R_h = \frac{\text{Section mouillée}}{\text{Perimètre mouillé}}$$

Avec : K : Coefficient de Manning Strickler donné par :

- K = 60 pour les structures en béton coulées sur place
- K = 70 pour les structures préfabriquées en B.A. et pour les collecteurs circulaires.

2. Le calcul du remous amont est effectué grâce au théorème de Bernoulli :

On peut obtenir par la formule Manning Strickler la hauteur normale ( $H_n$ ) d'eau dans l'ouvrage ainsi que la hauteur critique ( $H_c$ ). En fonction de leur rapport, le régime d'écoulement peut être fluvial ou torrentiel.

Si  $H_n > H_c$ , le régime d'eau est fluvial. On peut calculer  $H_{am}$  comme suit :

$$H_{am} = H_n + \frac{V_N^2}{2g} (1 + Ke)$$

Si  $H_n < H_c$ , le régime d'eau est torrentiel ; la hauteur d'eau à l'entrée de l'ouvrage est critique

Selon le niveau d'eau et le régime d'écoulement en aval de l'ouvrage il peut y avoir formation d'un ressaut nécessitant une protection contre les affouillements (lit à enrocher par exemple).

La formule simplifiée fournissant la hauteur d'eau amont par excès s'écrit :

$$H_{am} = H_c + \frac{V_c^2}{2g} (1 + Ke)$$

Dont :  $Ke$  : Coefficient de perte de charge à l'entrée de l'ouvrage hydraulique (fonction du type de l'entée)

- $Ke=0.5$  pour l'extrémité avec mur de tête et murs en aile
- $Ke=0.7$  pour l'extrémité taillée en sifflet
- $Ke=0.9$  pour l'extrémité en saillie

$V_N$  : Vitesse d'écoulement correspondant à la hauteur d'eau normale dans l'ouvrage

$$V_N = \frac{Q}{S_N}, S_N \text{ est calculé par la formule de Manning Strickler}$$

$V_C$  : Vitesse d'écoulement correspondant à la hauteur d'eau critique dans l'ouvrage

$$V_C = \frac{Q}{S_C}, S_C \text{ est calculé par la formule de Manning Strickler}$$

3.  $V$  : Vitesse d'écoulement dans l'ouvrage hydraulique

$$V = \frac{Q}{S_N}$$

Dont :  $Q$  : Débit de charge ( $m^3/s$ )

$S_N$  : Surface mouillée ( $m^2$ )

### 3.5 Application pour notre ouvrage (Oued SAHEL)

**Remarque :** le résultat du débit de crue de notre projet est crue de projet pour une crue centennale de :  $Q_{100} = 1350 \text{ m}^3/\text{s}$  (voir chapitre 2 : Etude hydrologique)

#### a. Détermination de la cote des Plus Hautes Eaux :(P.H.E)

Pour un ouvrage hydraulique de type pont et pour une finition correcte de la ligne rouge, il faut déterminer la côte correspondant au débit de crue centennal. Pour ce faire un calcul dérivant de la formule de Manning Strickler  $V = K_{st} \times J^{1/2} \times R_h^{2/3}$ , et  $Q = V \times S$  permet d'obtenir avec une approximation acceptable, le niveau d'une crue, connaissant le débit hydrologique  $Q$  de la crue centennale et les caractéristiques géométriques du cours d'eau (section mouillée  $S$  et périmètre mouillé  $P$ ).

La formule la plus utilisée est celle de Manning Strickler.

$$V = K_{st} \times R_h^{2/3} \times J^{1/2} \quad \text{et} \quad Q = V \times S$$

Avec:

V: Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)

R: Est le rayon hydraulique (en m)

J : La pente de l'écoulement (m/m)

$K_{st} = 1/n$  est le coefficient de Rugosité, et  $n$  varie en fonction de plusieurs facteurs :

- Nature des parois (terre, rocher, gravier fin, gravier grossier)
- Influence des variations, forme et de dimension de la section mouillée
- Influence des obstructions
- Influence de la végétation
- Importance des méandres

Dans le cas du franchissement d'Oued Sahel, nous prenons une valeur du coefficient de rugosité à  $K_{st} = 30$ .

#### b. Calcul de la pente longitudinale J du lit l'oued :

On a pris au niveau du lit d'oued six (06) pentes J1, J2, J3, J4, J5 et J6

$$J1 = 168,63 - 168,28 / 38,40 = 0,009 \text{ m/m}$$

$$J2 = 168,28 - 168,14 / 32,52 = 0,004 \text{ m/m}$$

$$J3 = 168,14 - 167,72 / 28,63 = 0,014 \text{ m/m}$$

$$J4 = 166,49 - 166,02 / 41,59 = 0,011 \text{ m/m}$$

$$J5 = 166,49 - 165,71 / 93,80 = 0,008 \text{ m/m}$$

$$J_6 = 166,28 - 165,63 / 71,89 = 0.009 \text{ m/m}$$

$$J_{\text{moyen}} = (J_1 + J_2 + J_3 + J_4 + J_5 + J_6) / 6 = 0.009 \text{ m/m}$$

Calculs des vitesses et débits au site de franchissement sur Oued Sahel (pour  $K = 30$  et  $J = 0,009 \text{ m/m}$ )

**c. Résultats de calcul**

Côte (m)	Hauteur d'eau(m)	Pm (m)	Sm (m <sup>2</sup> )	Rh (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Vitesse d'écoulement (m/s)
168,24	0,50	83,672	27,752	0,332	37,826	1,363
168,74	1,00	98,640	71,485	0,725	164,130	2,296
169,24	1,50	112,171	119.621	1,066	364,844	3.050
169,74	2,00	123.480	172.119	1,394	611,022	3,550
170,24	2,50	133.480	224.716	1,684	904,931	4,027
170.74	3.00	143.480	277.283	1,933	1224,276	4,415
<b>170,94</b>	<b>3,20</b>	<b>147.480</b>	<b>297.693</b>	<b>2,019</b>	<b>1353,132</b>	<b>4,545</b>

**d. Choix du TIRANT D'AIR**

Un cours d'eau charrie souvent détritrus, corps flottants, branchages, etc... Au passage sous un pont ces derniers s'accrochent et bouchent peu à peu la section d'écoulement mettant ainsi l'ouvrage en risque d'être en charge .C'est pourquoi, il est obligatoire de prévoir un tirant d'air pour diminuer ce risque d'obstruction partielle ou totale du pont .Pour des ponts de grandes longueurs le tirant d'air varie de 1,00 m à 2,50 m .. Le tirant d'air considéré est de  $H = 1.20 \text{ m}$

Le gabarit de l'ouvrage (ouverture verticale) est de :  $3.20 + 1.20 = 4.40\text{m}$ .

**e. Détermination de la cote finale de la ligne rouge de l'ouvrage (pont):**

Si nous prenons la hauteur de construction de l'ouvrage  $h = 1,60 \text{ m}$ , la côte finie (de roulement) est de :  $170,94 + 1.20 + 1,60 = 173,74 \text{ m}$

**3.6 Conclusion :**

Le dimensionnement d'un ouvrage hydraulique en général et de drainage en particulier est une grande responsabilité pour l'hydraulicien dont l'erreur n'est pas permise afin d'éviter des défaillances après réalisation. Pour cela le choix de la méthode et les formules adéquates doivent se faire convenablement, sans oublier le choix des données à utiliser. Pour notre cas, le calcul des plus hautes eaux (PHE) nous permet de poser l'ouvrage de traversé sans aucun risque de débordement de l'eau ou de déstabilisation de l'ouvrage.

Selon le résultat trouvé, l'ouvrage de traversé (pont) doit être au dessus d'une hauteur de 4.40m à partir du lit de l'oued traverse.

# Chapitre 4 :



---

**Présentation des logiciels HEC-RAS**


**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 5.0.6 de HEC-RAS permet de simuler les écoulements permanents et non permanents

**4-1-Principe d'utilisation de logiciel HEC-RAS :**

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 de l'US Army Corps of Enginners.

La version 4.0 Beta de HEC-RAS que nous utiliserons dans notre travail, permet de simuler les écoulements à surface libre permanents et non permanents, le transport de sédiments, la qualité des eaux et certaines fonctions facilitant la Conception d'ouvrages hydrauliques.

Pour démarrer HEC-RAS, double-cliquez sur l'icône  placé sur le bureau, ou bien allez dans le menu Démarrer et choisissez le programme HEC-RAS4.0 Beta. 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 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. Suite au démarrage de HEC-RAS vous devez obtenir la fenêtre principale de HEC-RAS qui illu



**Figure 4-1 : La fenêtre principale de HEC-RAS.**

La barre de menu comprend toutes les fonctions disponibles de HEC-RAS. Le menu File permet d'ouvrir, de créer et de sauvegarder un projet (avec extension.prj). Les autres options permettent de modifier le titre du projet ou d'effacer tous les fichiers reliés à un projet. Cette dernière option est utilisée 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 du débit dans ce système.

La principale étape de la création d'un projet de modélisation avec HEC-RAS est de définir la géométrie du 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\*\* ou \*\* désigne les chiffres représentant une numérotation séquentielle.

Une autre option disponible dans le menu Edit est Steady Flow Data... Cette option permet de spécifier la ou les valeurs de débit dans le cours d'eau qui devront être modélisés, ainsi que les conditions limites de l'écoulement. Les informations qui sont spécifiées avec cette option sont contenues dans les fichiers .F\*\*.

#### **4-2-Etapes de la modélisation :**

##### **4-2-1-Projet :**

Dans le menu File, choisir l'option *New Projet* pour obtenir une fenêtre similaire à celle illustrée plus bas (Figure V-2).

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

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

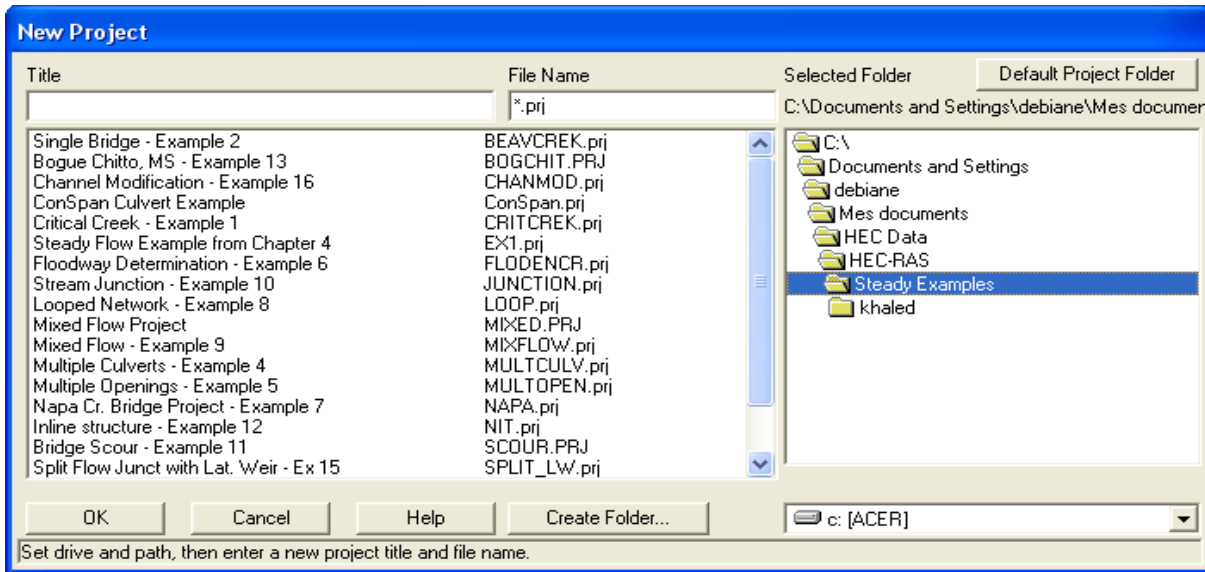


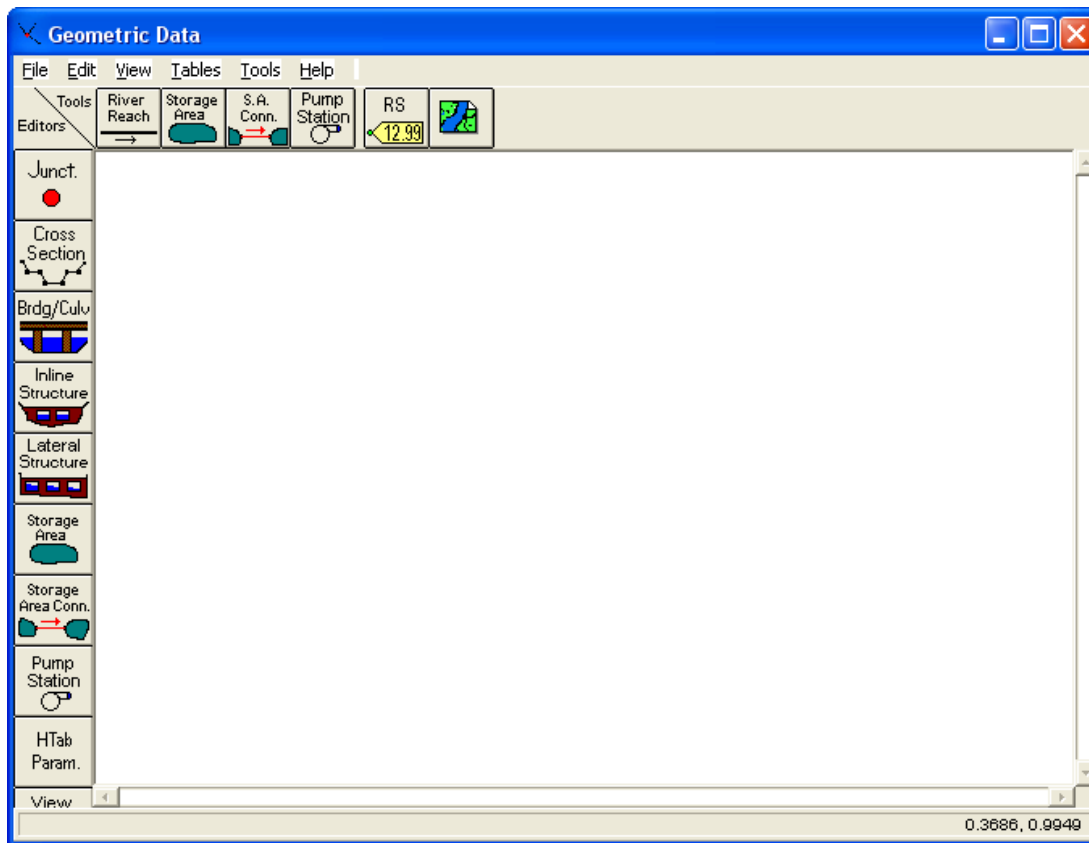
Figure 4-2: Fenêtre New Project.

#### 4-2-2-Géométrie des sections :

Après avoir défini les principaux paramètres du projet, la deuxième étape est de définir les caractéristiques géométriques du système modélisé. Sélectionnée Edit / Geometric Data.... et la fenêtre Base Geometric Data apparaît (Figure V-3).

Pour faciliter le tracé du tronçon de rivière d'étude, on peut 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 image.

Après avoir appuyé sur Close, un message apparaît car la taille de l'image est plus grande que la taille de l'écran. Il est possible d'ajuster l'échelle en choisissant dans le menu View l'option *Full Plot*. Pour sauvegarder les étapes accomplies, allez à *File / Save Geometric Data as...* Sauvegardez les données de la géométrie sous un fichier. Pour représenter le tronçon à étudier, cliquez sur le bouton *River Reach*. Le curseur se transforme en crayon et vous pouvez alors dessiner le tronçon de rivière à l'aide d'une suite de points qui vont de l'amont vers l'aval, en suivant le centre de la rivière sur l'image de référence. Vous double-cliquez pour indiquer la fin du tronçon. A ce moment, une fenêtre apparaît vous demandant d'indiquer le nom de la rivière et le nom du tronçon.



**Figure 4-3 : Fenêtre *Geometric Data*.**

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.

Pour entrer les données, vous devez cliquer sur le bouton *Cross-Section* dans la partie gauche pour obtenir une fenêtre similaire (Figure V-4). Dans le menu Option, choisissez *Add a new Cross Section...* Il vous est alors demandé de définir la station (*River Station*) de cette section transversale qui est en fait un identificateur numérique. HEC-RAS place sur un tronçon de rivière les stations en ordre décroissant de la partie amont ver la partie aval. La signification de chacun des termes que l'on y retrouve est décrite ci-dessous :

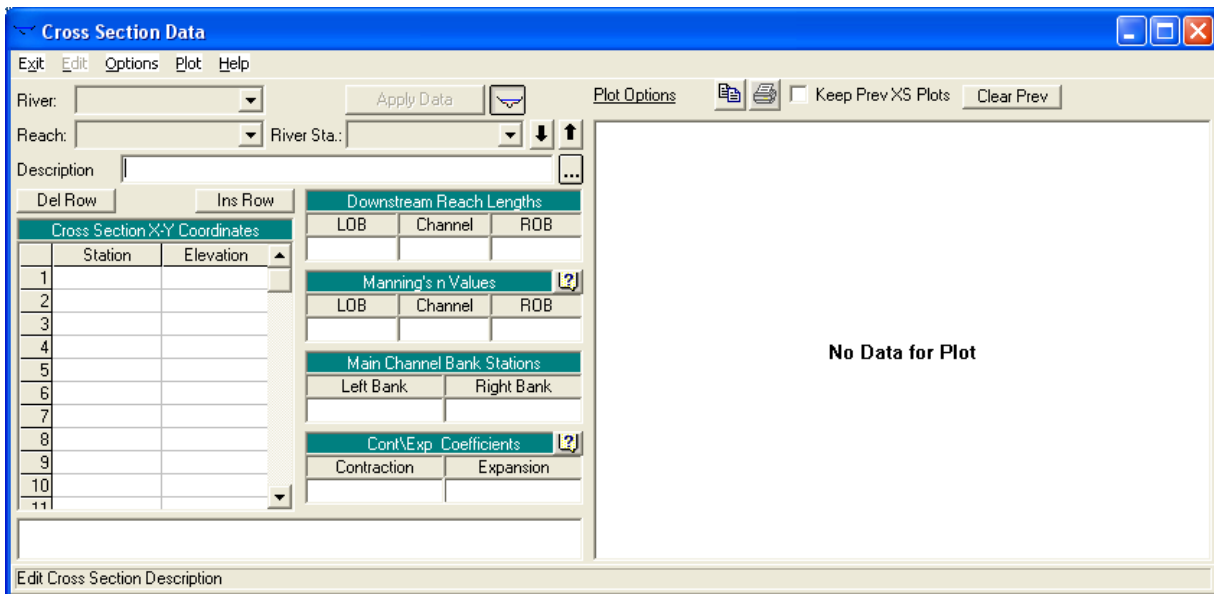


Figure 4-4 : Fenêtre Cross Section Data.

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

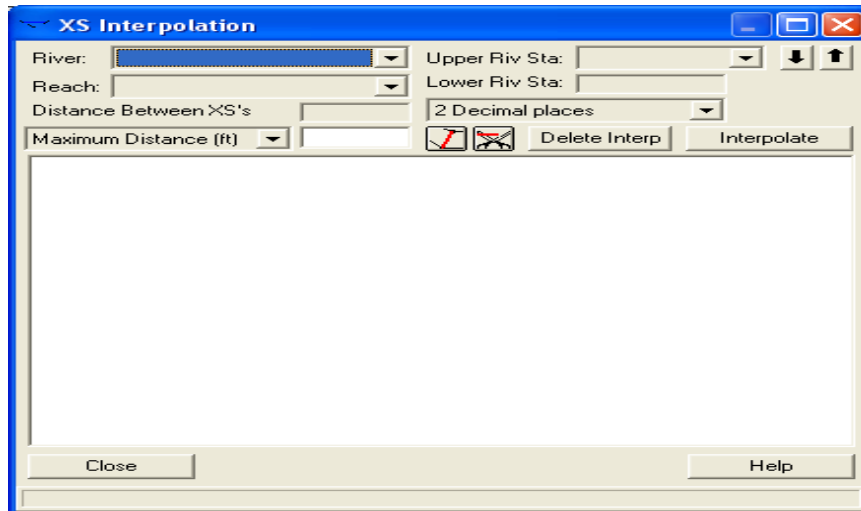
**Tableau 4-1 : Valeurs estimées pour le coefficient de Manning en fonction de la nature des parois.**

Nature des parois	n (Mannig) (s/m <sup>1/3</sup> )	K (Strickler) (m <sup>1/3</sup> /s)
Béton lisse	0.011 à 0.013	77 à 91
Béton brut	0.013 à 0.016	62 à 77
Canal en terre, non enherbé	0.017	60
Canal en terre, enherbé	0.02	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	0.025 à 0.029	35 à 40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	0.033	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	0.067 à 0.1	10 à 15
Lit majeur en prairie	0.033 à 0.05	20 à 30
Lit majeur en vigne	0.067 à 0.1	10 à 15
Lit majeur urbanisé	0.067 à 0.1	10 à 15
Lit majeur en forêt	>0.1	<10

- ✓ **Main channel bank stations** : Coordonnées, dans le plan X seulement, des limites gauches et droite du lit principal de la rivière. Les valeurs fournies doivent correspondre à une valeur déjà présente dans la partie *Cross-section coordinates*.

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

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 (Figure V-5).



**Figure 4-5 : Fenêtre XS interpolation.**

Pour terminer, vous pouvez vérifier les données spécifiées avec le menu *Tables*. Les mêmes paramètres pour toutes les sections y sont regroupés à l'intérieur d'un même tableau et peuvent y être modifiés. Avant de quitter la fenêtre *Geometric Data*, sauvegardez les informations que vous avez rentrées.

#### **4-2-3-Débit et conditions aux limites :**

L'étape suivante de la modélisation hydraulique sur 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* (Figure V-6). Pour entrer les valeurs des débits, indiquées d'abord *Number of Profiles*. Par la suite, dans le menu *Options*, allez à *Edit Profil Names...* et indiquez les noms de profils appropriés. Les valeurs de débit qui sont entrées aux cases correspondantes sont représentatives de la section amont et sont considérées valides sur tout le tronçon de rivière. 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.

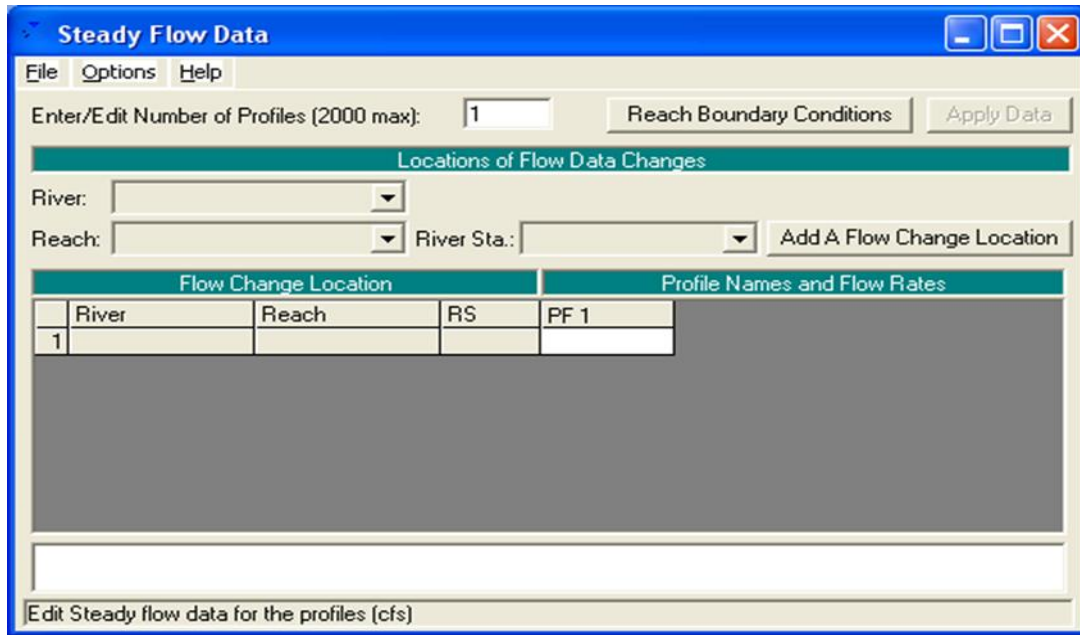


Figure 4-6: Fenêtre *Steady Flow Data*.

Lorsque les débits correspondants aux différents profils devant être calculés sont spécifiés, il faut par la suite définir les conditions limites de l'écoulement en cliquant sur le bouton *Reach Bondary Conditions* (Figure 4-7). Les conditions limites sont nécessaires pour calculer la hauteur d'eau initiale aux extrémités de chaque tronçon.

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

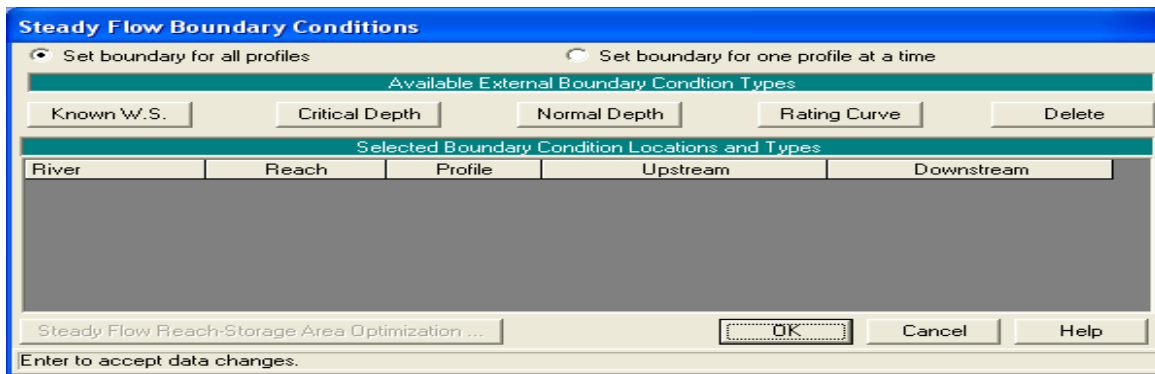


Figure 4-7: Fenêtre *Reach Bondary Conditions*.

#### 4-2-4-Simulation hydraulique :

La dernière étape nécessaire à la modélisation avec HEC-RAS est de définir le plan utilisé. Cliquez sur le bouton *Perform a Steady Flow 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 III-10.

Choisissez le régime d'écoulement et appuyez sur *Compute* pour débiter la simulation. Une fenêtre montrant la progression de la simulation s'ouvrira et les calculs s'effectueront (FigureV-8). Lorsque le programme a terminé, vous pouvez fermer la fenêtre *Hydraulic Computation*, ainsi que la fenêtre *Steady Flow Analysis*.

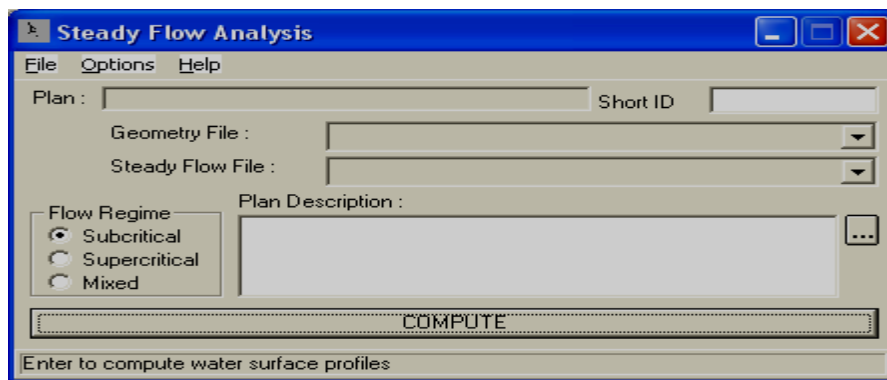


Figure 4-8: Fenêtre *Steady Flow Analysis*.

#### 4-2-5-Visualisation des résultats :

A la suite de la simulation les résultats sont automatiquement sauvegardés dans un fichier. 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. Allez également dans le menu *Option* de cette fenêtre. Vous y trouverez les options d'affichage, telles que *Zoom* et *Pan*. Il y a aussi d'autres options qui permettent d'afficher les résultats d'un ou plusieurs plans, d'ajouter ou supprimer l'affichage de certains profils, de changer le tronçon dont les résultats sont actuellement affichés. Ce menu Options est d'ailleurs similaire pour différentes fenêtre graphiques permettant de visualiser les résultats (Figure 4-9).

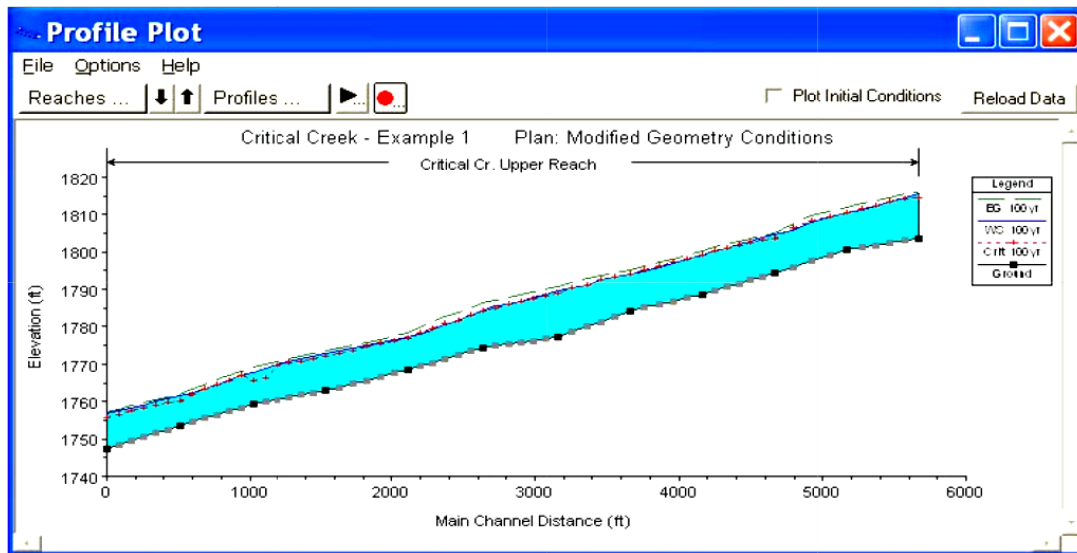


Figure 4-9. Fenêtre de profil de surface de l'eau.

Une autre option graphique intéressante est accessible via le bouton *View 3D multiple cross section plot...*. Les sections transversales de début et de fin peuvent être modifiées pour 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. Deux autres boutons, *View Detailed Output at XS* et *View Output at Multiple...*, permettent de voir les résultats sous forme tabulaire (Figure 4-10).

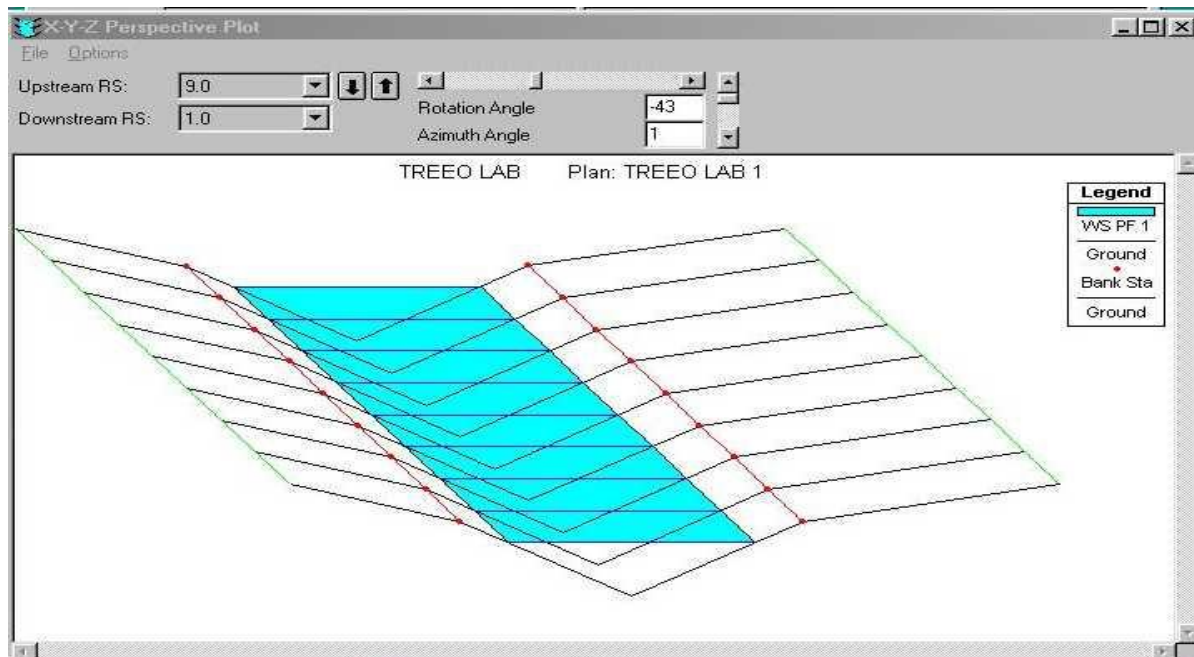


Figure 4-10 : Fenêtre de surface de l'eau 3D.

Finalement, comme on peut voir dans le tableau des résultats des sections transversales, il y a plusieurs variables qui sont calculées par HEC-RAS en plus des niveaux d'eau. Dans certains cas, on s'intéressera aux vitesses afin de quantifier par exemple les possibilités d'érosion.

Dans la fenêtre principale de l'HEC-RAS, sélectionnez erreur avertir les notes sommaires de vue tirer vers le bas menu est appuyez sur fermer lorsque terminer (Figure 4-11).

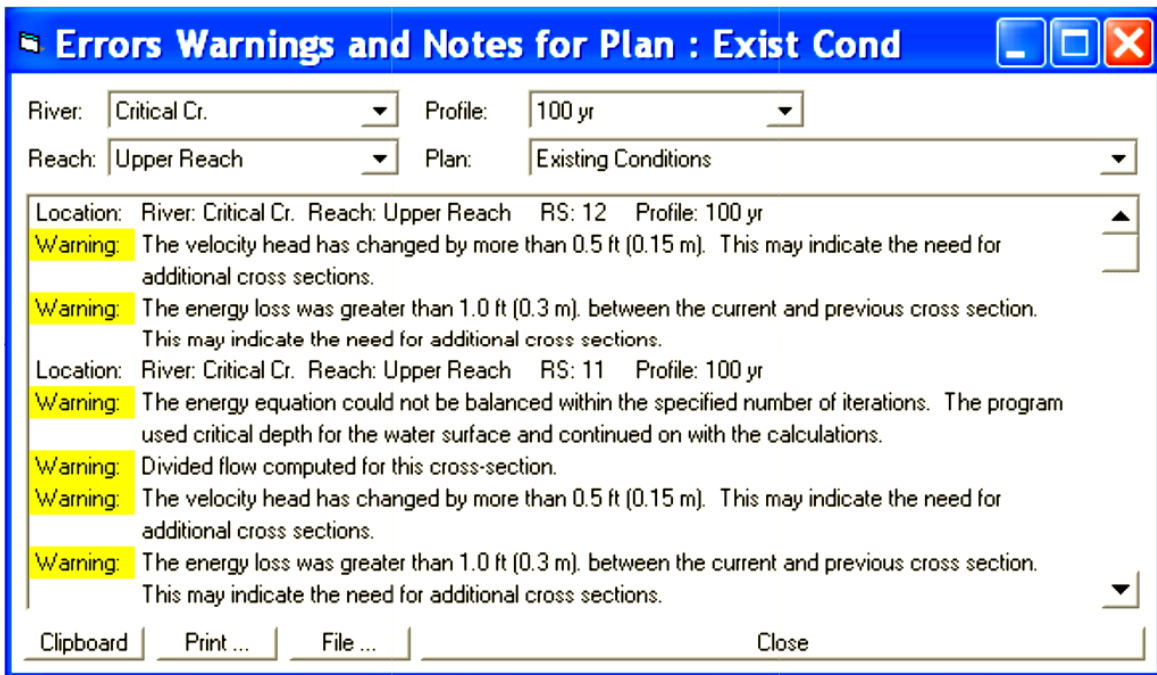


Figure 4-11 : Résumé des erreurs et des avertissements.

#### 4-3-Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS :

L'objectif principal de ce programme est tout à fait simple, il est conçu pour exécuter le calcul hydraulique unidimensionnel pour tous les réseaux de canaux naturels et artificiels par le calcul des hauteurs de la surface de l'eau en toute section d'intérêt pour un ensemble de données d'écoulement en régime permanent et par des hydrogrammes de propagation des crues pour la simulation de l'écoulement en régime non permanent.

HEC-RAS est un logiciel basé sur le modèle 1D de Saint Venant permanent ou non permanent de calcul de la ligne d'eau en graduellement varié. Il résout « l'équation de l'énergie unidimensionnelle », les pertes étant évaluées par la formule de frottement au fond de Manning-Strickler et par des formules de contraction/expansion de l'écoulement. Pour les situations rapidement variées telles que les ressauts hydrauliques, les écoulements à proximité

des ponts, et les confluences de rivière, l'équation de l'énergie est remplacée par l'équation de quantité de mouvement.

#### 4-3-1-Les équations de Saint-Venant 1D :

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

#### 4-3-2-Le cas stationnaire (*SteadyFlow*) :

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

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Avec :

$Z_1, Z_2$  : élévation du fond du canal ;

$Y_1, Y_2$  : hauteur normale de la section ;

$V_1, V_2$  : vitesse moyenne d'écoulement ;

$\alpha_1, \alpha_2$  : coefficients de pondération de vitesse ;

$g$  : accélération de gravité ;

$h_e$  : pertes de charge.

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

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

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

Pour calculer le débit on utilise l'équation de Manning :

$$Q = K \cdot S_f^{1/2} \quad \text{avec} \quad K = 1/n * A * R^{2/3}$$

Avec :

K : flux pour la subdivision.

n : coefficient de frottement de Manning.

A : section mouillée.

R : rayon hydraulique.

$S_f$  : pertes de charges entre les deux sections.

On voit donc que le débit sur chaque section est calculé à partir de la hauteur d'eau puisque le rayon hydraulique, la section mouillée ainsi que les pertes de charge dépendent de la hauteur d'eau. On peut visualiser cette conservation de la charge à l'aide de la figure 4-12.

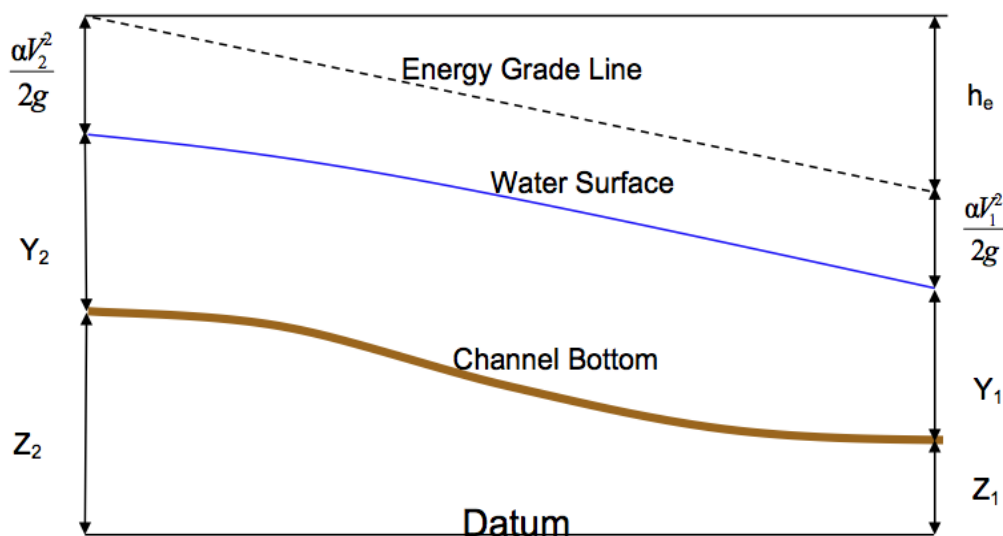
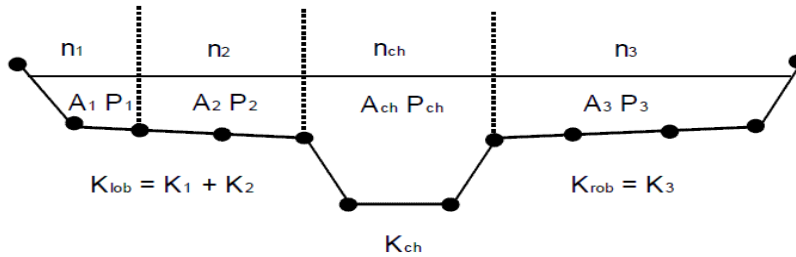


Figure 4-12 : Conservation de la charge entre deux sections (source: HEC-RAS).

Pour obtenir des résultats satisfaisants il est nécessaire d'évaluer correctement les pertes de charges, et donc le frottement. Pour cela HEC-RAS découpe chaque section en plusieurs domaines verticaux et évalue le frottement sur chacun de ces domaines. En effet le frottement dépend de la vitesse et on se doute bien que la vitesse n'est pas la même sur les bords, dans le lit majeur ou dans le lit mineur. Le découpage se fait comme sur la figure 4-13 qui suit:



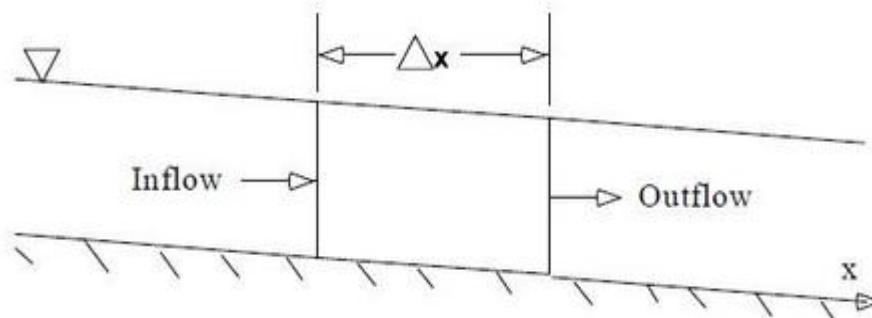
**Figure 4-13 : Découpage de la section pour le calcul du frottement (source: HEC-RAS).**

Pour faire les calculs lorsqu'il n'y a pas de stationnarité une première approche pourrait être de calculer les débits et les hauteurs pour chaque temps, et donc chaque débit d'entrée, à l'aide de l'étude stationnaire. Cependant une étude plus rigoureuse consiste à faire le calcul à l'aide d'équations qui prennent en compte le non stationnarité.

**4-3-3-Le cas instationnaire (Unsteady Flow) :**

Les lois physiques qui régissent l'écoulement d'eau dans un canal sont :

Le principe de la conservation de la masse et le principe de la conservation de la quantité de mouvement. Ces lois sont exprimées mathématiquement sous forme d'équations différentielles partielles, qui sont désigné ci-après sous le nom des équations de continuité et de la quantité de mouvement.



**Figure 4-14 : Volume de contrôle élémentaire de dérivation de la continuité et d'équations de moment (Inflow : débit entré et Outflow : débit sortie).**

On obtient l'équation de conservation de la masse:

$$\partial A / \partial t + \partial Q / \partial x - q_l = 0$$

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

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

$$\partial Q / \partial t + \partial QV / \partial x + gA(\partial z / \partial x + S_f) = 0$$

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

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

**4-4 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté le mode de travail de logiciels HEC-RAS 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, 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 5 :



---

**Calcul de la PHE (Plus Haute Eau) par HEC-RAS**

**5.1 Introduction :** L'objectif de ce chapitre est de déterminer la variation du niveau de remonté des eaux dans la section où l'ouvrage sera réalisé sur l'oued Sahel appelée la plus haute eau (PHE). Ce travail se fera en utilisant le logiciel HEC-RAS avec ARC GIS. Ces derniers nous permettent la simulation du niveau d'eau de l'oued du bassin versant de Sahel après le passage de la crue.

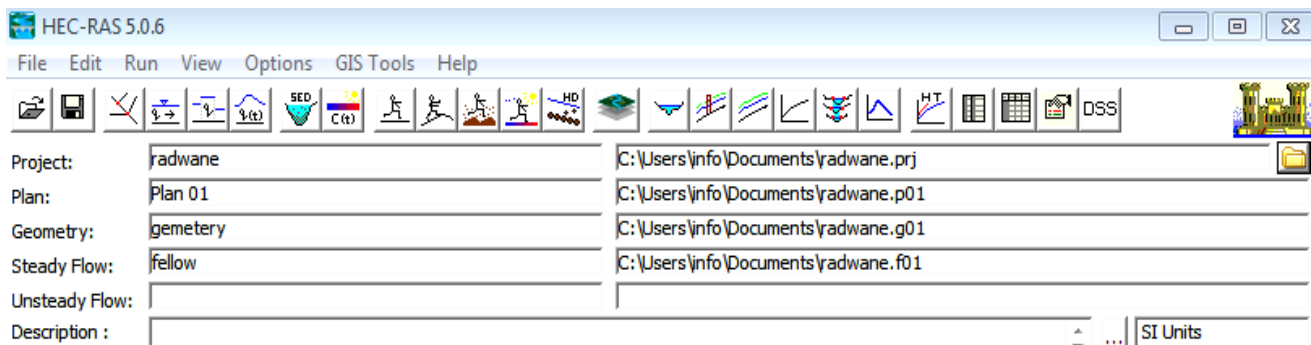
### 5.2. Le logiciel Hec Ras :

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 de l'US Army Corps of Engineers.

La version 5.0 Beta de HEC-RAS que nous utiliserons dans ce travail, permet de simuler les écoulements à surface libre permanents et non permanents, le transport de sédiments la qualité des eaux et certaines fonctions facilitant la conception d'ouvrages hydrauliques

### 5.3. Les étapes de développement du model HEC-RAS:

#### a. Ouvrir HEC-RAS



#### b Entrer les informations du projet, Sélectionnez File, New Project

Créer un répertoire de travail : **Create Folder**

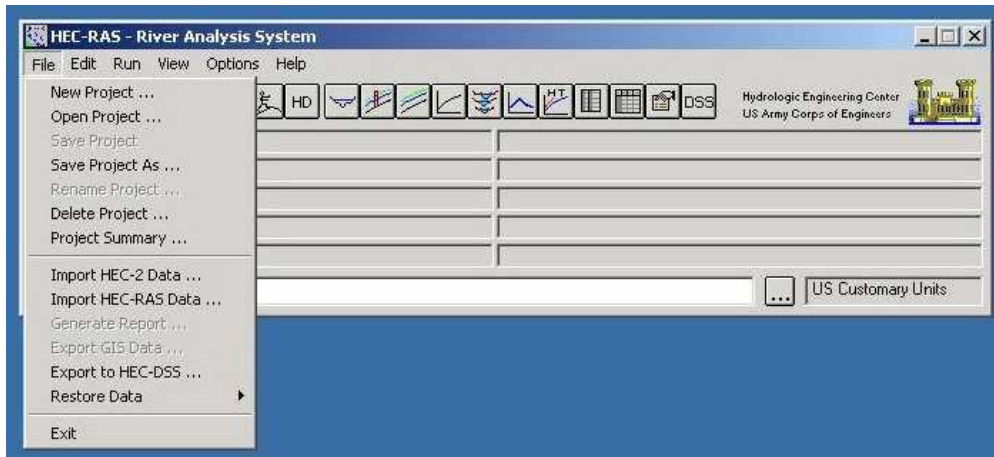
Ajouter Nom du fichier : **File Name**

Ajouter titre du projet: **Title**

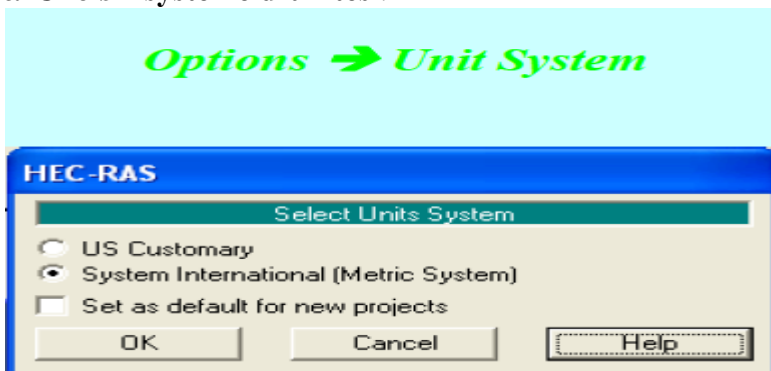
Cliquer **ok**

Ajouter la description du projet : **Description**

Enregistrer : **File, Save Project**



c. Choisir système d'unités :



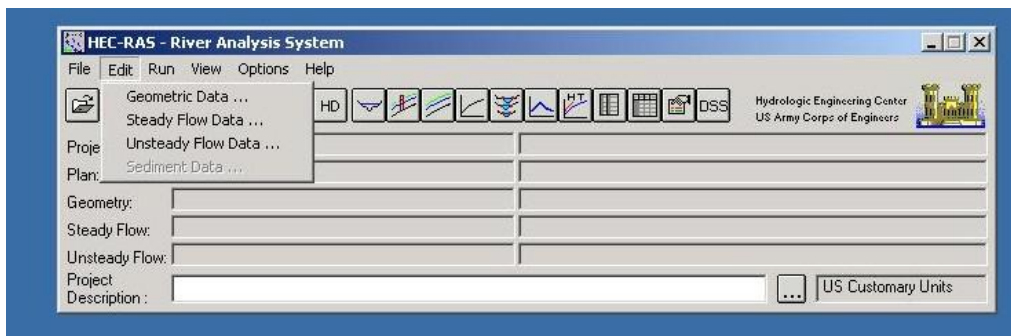
Options, Unit system, System International, Ok

Set as defaults for new projects

d. Introduire les données géométriques:



Sélectionner Edit, Geometric Data



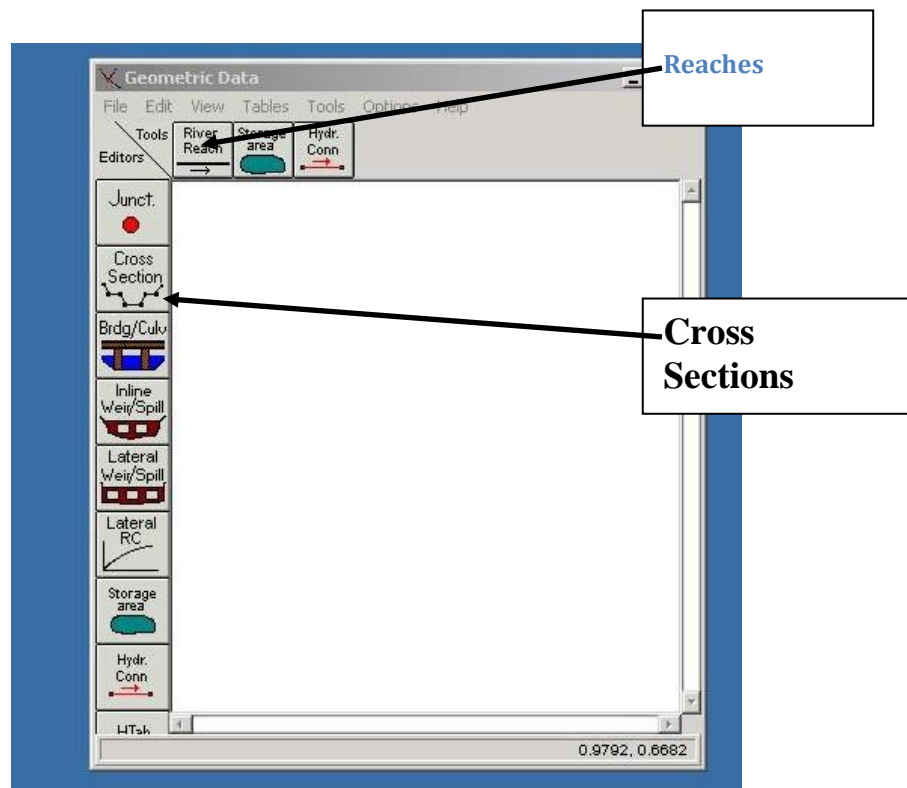
-Ajouter:

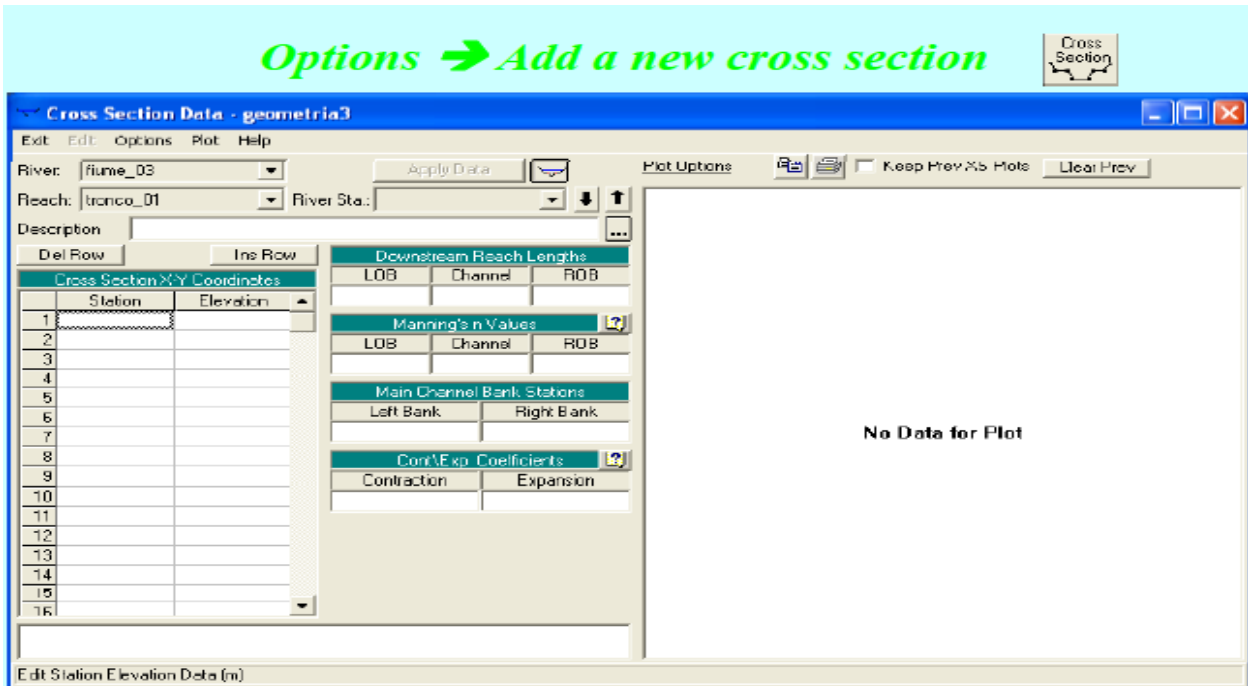
**Reaches** : tronçon

**Cross Sections** : Sections transversales

-Dessinez le tronçon en sélectionnant le bouton **Reach** (cliquez une fois)

- Déplacez la souris sur l'écran pour dessiner le tronçon
- Définir le tronçon en procédant d'amont en aval
- Avec le curseur dans fenêtre de dessin, cliquez une fois sur le bouton de la souris pour commencer
- Déplacez le curseur, cliquez sur le bouton de la souris une fois pour ajouter un point ou changer de direction
- Au point Aval, double clic sur la souris pour finir.
- Enter le nom de la rivière **River Name** et le nom du tronçon **Reach Name**





**e. Ajouter les sections transversales du tronçon choisi :**

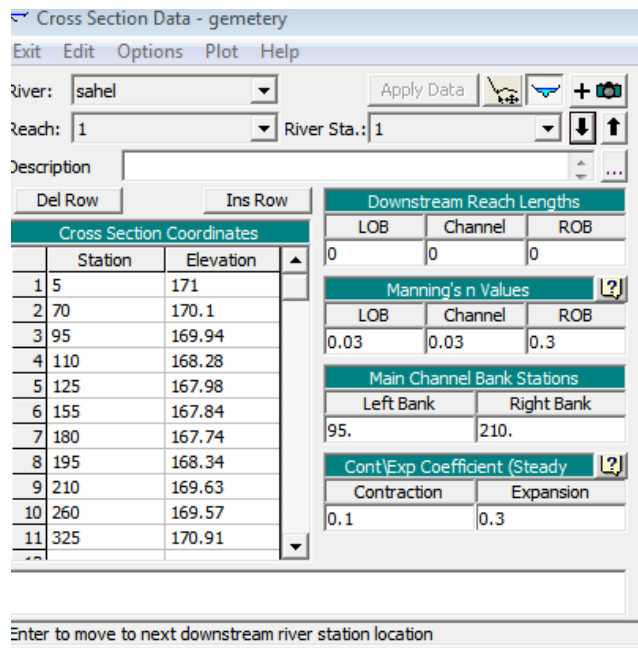
-Sélectionner le bouton Cross Section (un seul clic)

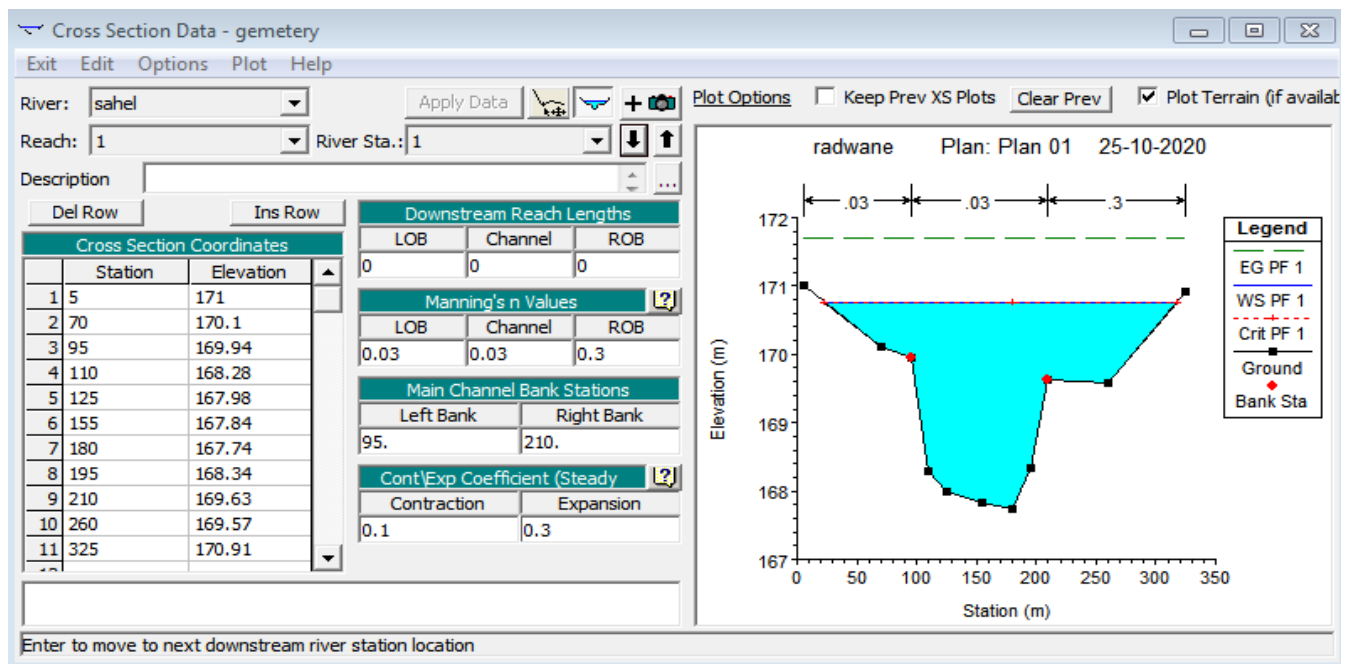
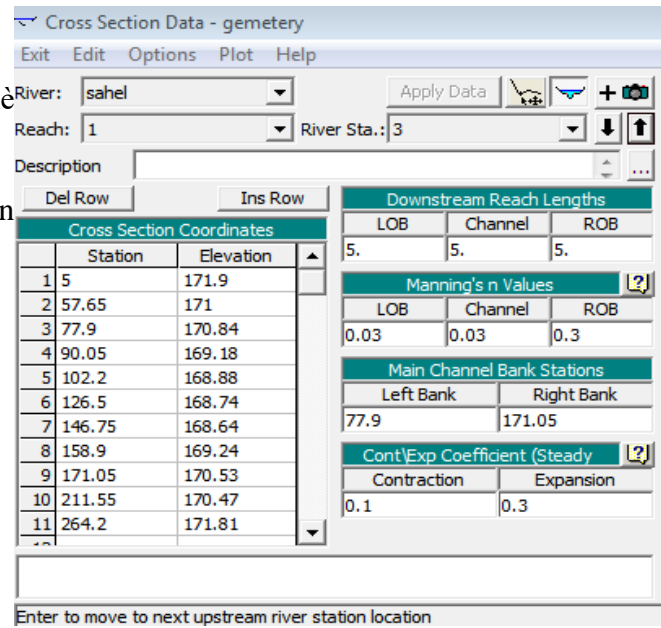
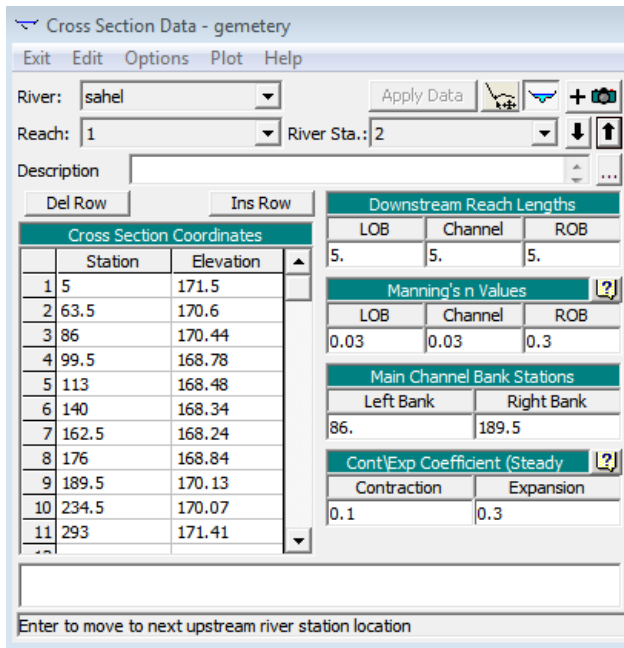
-Sélectionner: Options, Add a new Cross Section

-Enter le numéro d'emplacement de la station, saisir (1.0) dans River Sta

-La station doit être une valeur numérique et sont définis comme suit : Station inférieure aval, stations plus élevées en amont.

<u>Station</u>	<u>Elevation</u>
<b>5</b>	<b>171</b>
<b>70</b>	<b>170.10</b>
<b>95</b>	<b>169.94</b>
<b>110</b>	<b>168.28</b>
<b>125</b>	<b>167.98</b>
<b>155</b>	<b>167.84</b>
<b>180</b>	<b>167.74</b>
<b>195</b>	<b>168.34</b>
<b>210</b>	<b>169.63</b>
<b>260</b>	<b>169.57</b>
<b>325</b>	<b>170.91</b>



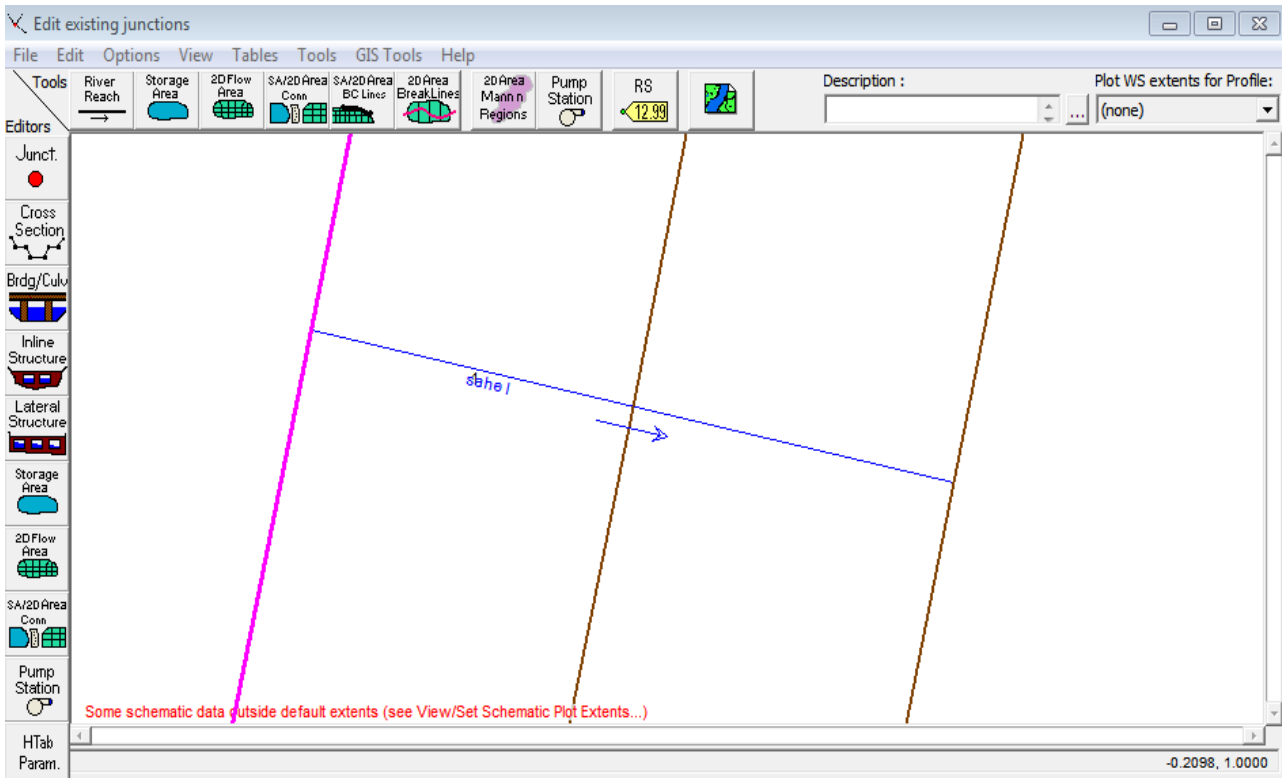


**f. Répéter pour les sections transversales supplémentaires**

Edit, Copy, Options Add a New Cross Section  
 Name 01  
 Downstream Reach Lengths:  
 Exit Cross Section Data Editor

**g. Répéter pour les sections transversales supplémentaires**

Tools, XS Interpolation, Within a Reach  
 Maximum distance:  
 Interpolate XSs, Close  
 Exit Cross Section Data Editor



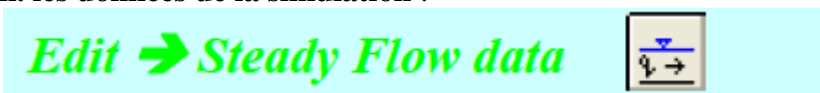
Les sections transversales interpolée ont "\*" par le nom de la station. On peut changer ce nom comme suit

Options, Rename River Station

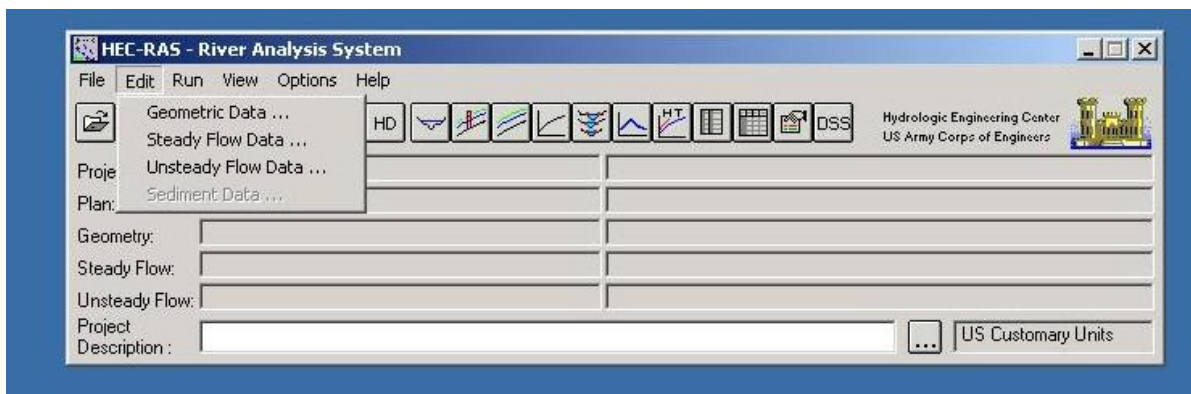
**Enregistrer les données géométriques :**

Save Geometric Data, donner le non du fichier

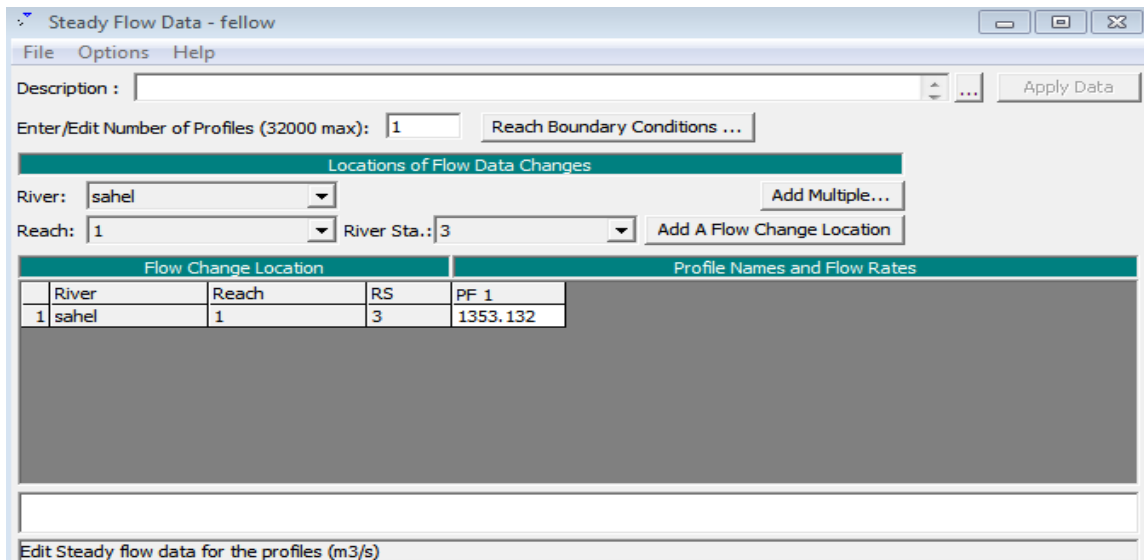
**h. les données de la simulation :**



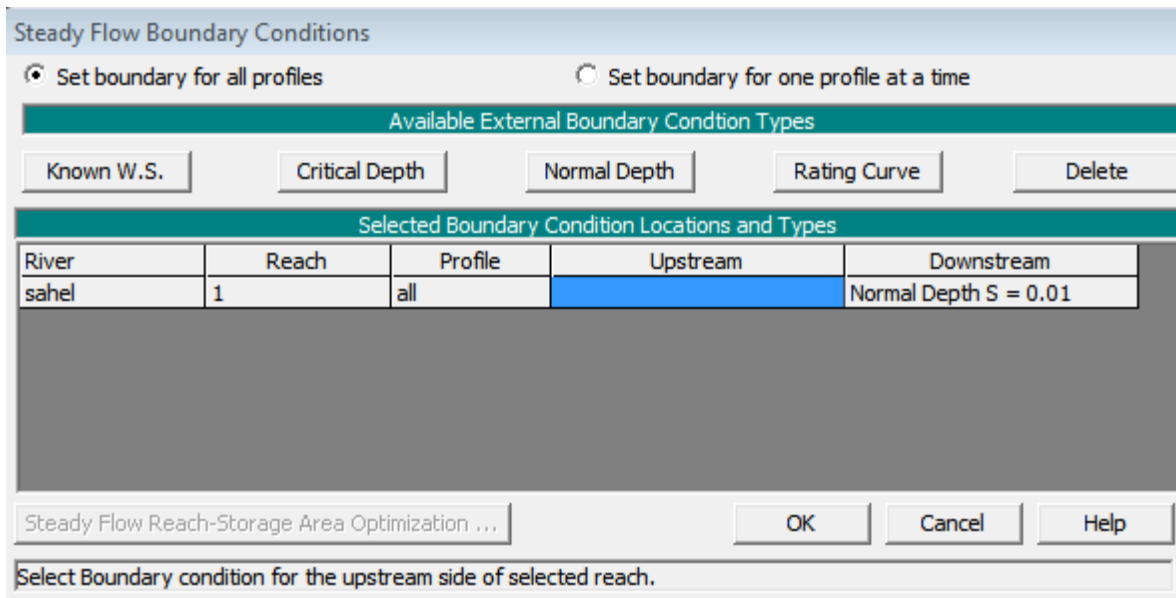
Démarrez **Edit - Steady Flow Data**



Entrez le débit de la rivière à la section transversale amont : 1353.132 m<sup>3</sup>/s



Enter les conditions aux limites : **Reach Boundary Conditions- Critical Depth**

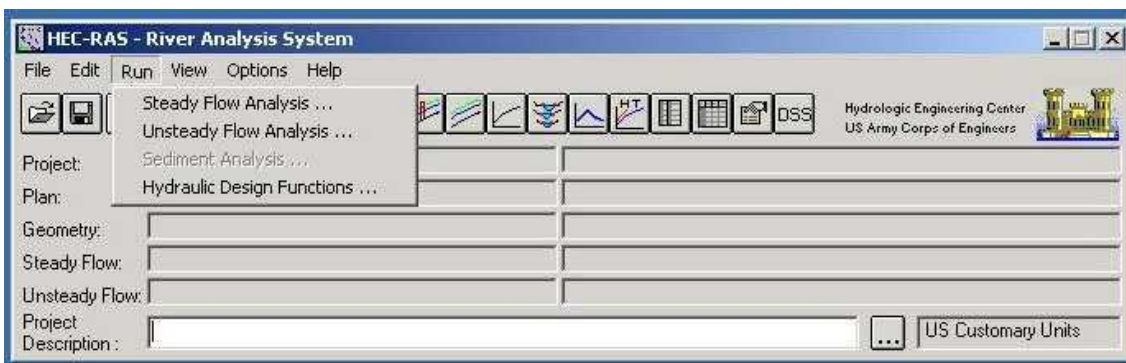


SAVE STEADY FLOW DATA, file name automatically assigned

**i. Simulation**



**Run – Steady Flow Analysis**

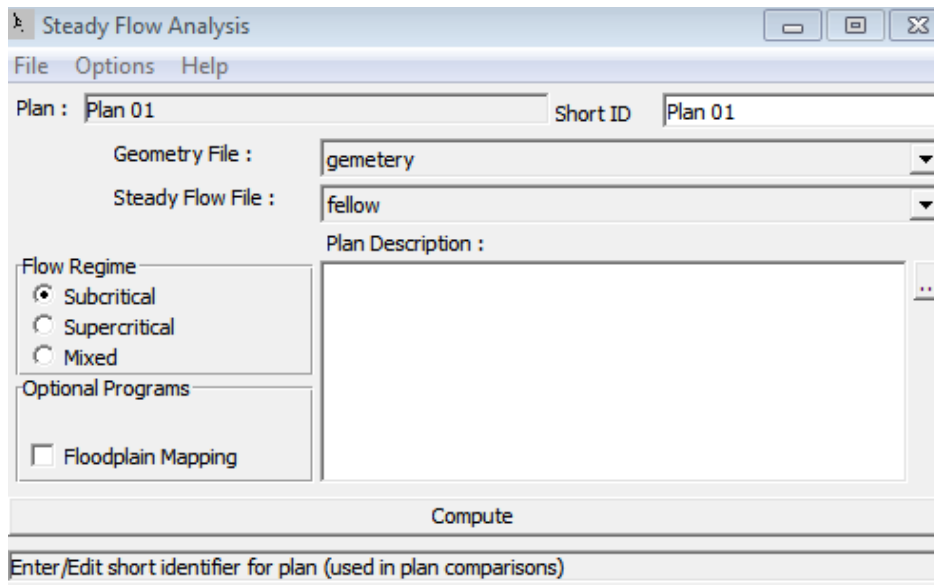


Select Geometry File

Select Steady Flow File

Flow Regime: Subcritical

Save Plan: donner nom fichier

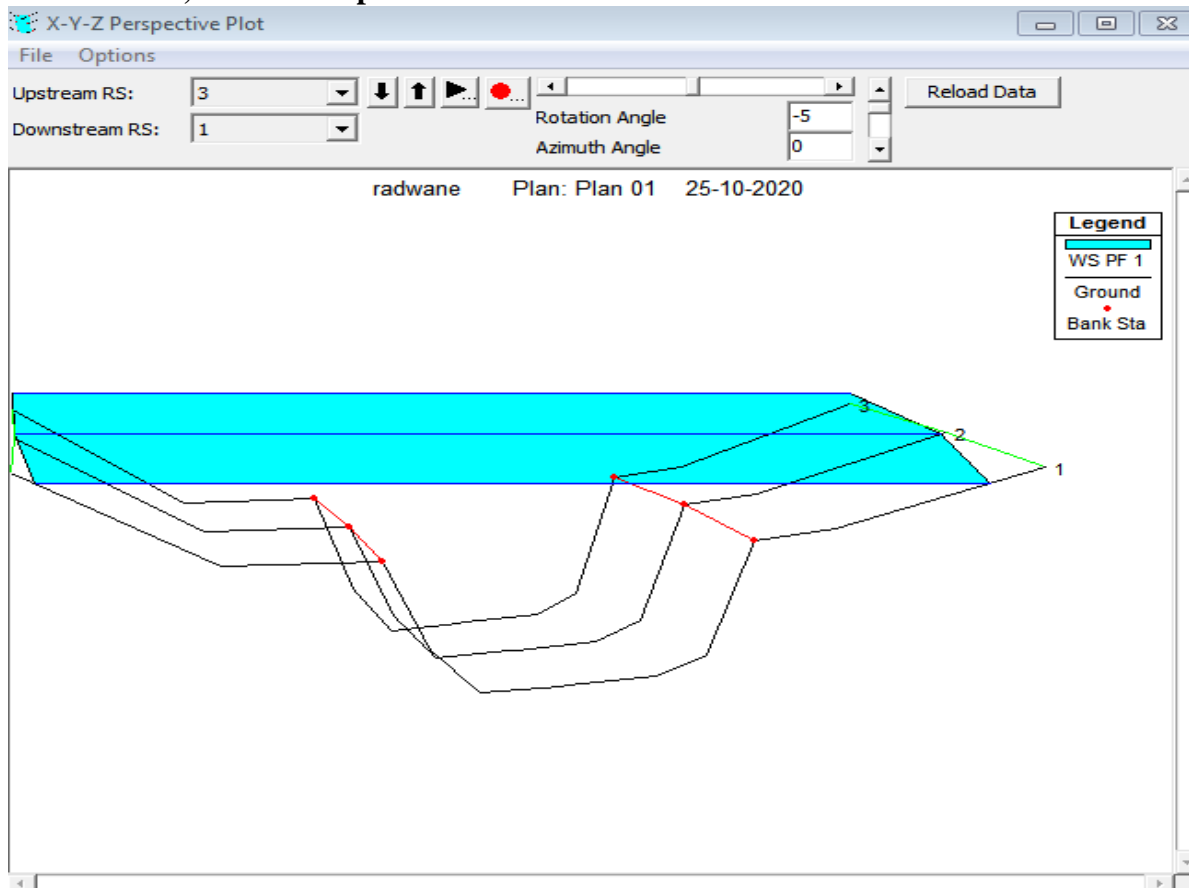


COMPUTE

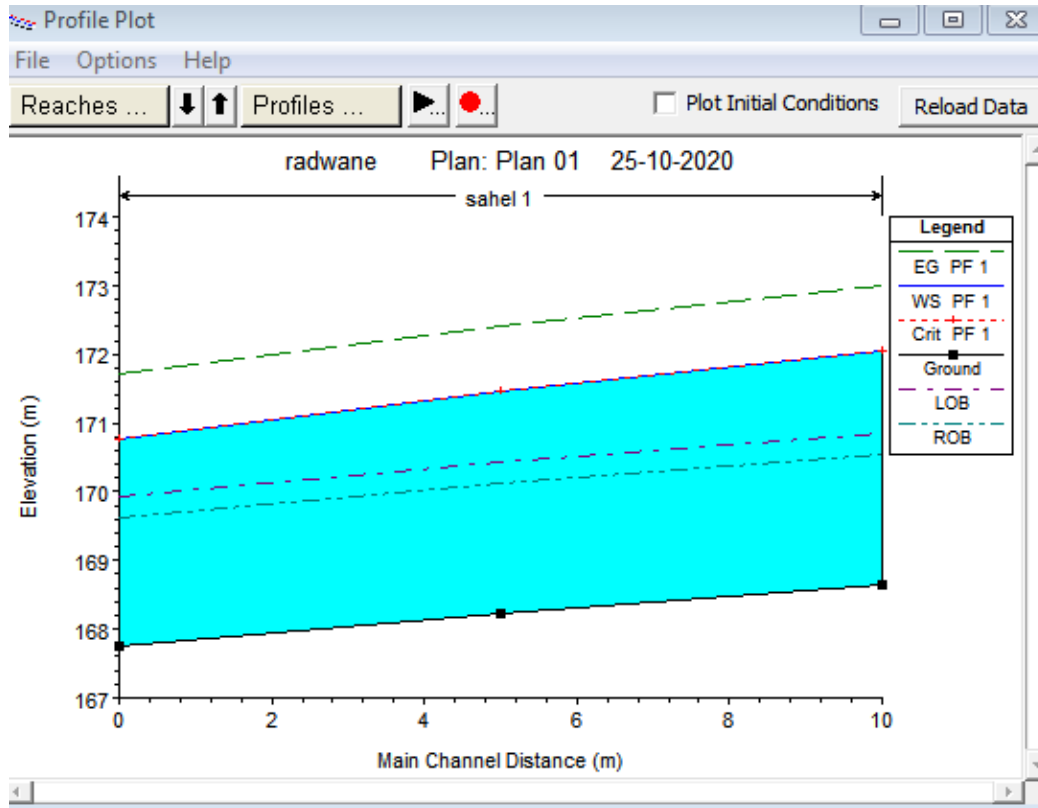
Steady Flow Analysis

10. Affichages des résultats:

View, X-Y-Z Perspective Plot



print using File, Print from screen or copy to Windows clipboard



Cross Section Output

River: sahel Profile: PF 1

Reach 1 RS: 1 Plan: Plan 01

Plan: Plan 01 sahel 1 RS: 1 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	171.70	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.94	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.300
W.S. Elev (m)	170.76	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	170.76	Flow Area (m <sup>2</sup> )	34.43	291.70	92.65
E.G. Slope (m/m)	0.005049	Area (m <sup>2</sup> )	34.43	291.70	92.65
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	1353.13	Flow (m <sup>3</sup> /s)	49.47	1283.83	19.83
Top Width (m)	295.73	Top Width (m)	72.86	115.00	107.87
Vel Total (m/s)	3.23	Avg. Vel. (m/s)	1.44	4.40	0.21
Max Chl Dpth (m)	3.02	Hydr. Depth (m)	0.47	2.54	0.86
Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	19043.0	Conv. (m <sup>3</sup> /s)	696.3	18067.7	279.1
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	72.87	115.16	107.88
Min Ch El (m)	167.74	Shear (N/m <sup>2</sup> )	23.40	125.42	42.53
Alpha	1.77	Stream Power (N/m s)	33.62	551.97	9.10
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> )			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )			

Errors, Warnings and Notes

**Cross Section Output**

File Type Options Help

River: sahel Profile: PF 1

Reach 1 RS: 2 Plan: Plan 01

Plan: Plan 01 sahel 1 RS: 2 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	172.40	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.93	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.300
W.S. Elev (m)	171.47	Reach Len. (m)	5.00	5.00	5.00
Crit W.S. (m)	171.47	Flow Area (m <sup>2</sup> )	46.20	284.25	104.65
E.G. Slope (m/m)	0.004584	Area (m <sup>2</sup> )	46.20	284.25	104.65
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	1353.13	Flow (m <sup>3</sup> /s)	72.76	1256.59	23.78
Top Width (m)	286.23	Top Width (m)	79.23	103.50	103.50
Vel Total (m/s)	3.11	Avg. Vel. (m/s)	1.57	4.42	0.23
Max Chl Dpth (m)	3.23	Hydr. Depth (m)	0.58	2.75	1.01
Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	19986.4	Conv. (m <sup>3</sup> /s)	1074.7	18560.5	351.2
Length Wtd. (m)	5.00	Wetted Per. (m)	79.24	103.68	103.58
Min Ch El (m)	168.24	Shear (N/m <sup>2</sup> )	26.21	123.23	45.41
Alpha	1.89	Stream Power (N/m s)	41.27	544.78	10.32
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> )	0.20	1.44	0.49
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )	0.38	0.55	0.53

Errors, Warnings and Notes

**Cross Section Output**

File Type Options Help

River: sahel Profile: PF 1

Reach 1 RS: 3 Plan: Plan 01

Plan: Plan 01 sahel 1 RS: 3 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	173.00	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.94	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.300
W.S. Elev (m)	172.06	Reach Len. (m)	5.00	5.00	5.00
Crit W.S. (m)	172.06	Flow Area (m <sup>2</sup> )	54.95	272.96	111.30
E.G. Slope (m/m)	0.004341	Area (m <sup>2</sup> )	54.95	272.96	111.30
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	1353.13	Flow (m <sup>3</sup> /s)	99.81	1225.85	27.47
Top Width (m)	259.20	Top Width (m)	72.90	93.15	93.15
Vel Total (m/s)	3.08	Avg. Vel. (m/s)	1.82	4.49	0.25
Max Chl Dpth (m)	3.42	Hydr. Depth (m)	0.75	2.93	1.19
Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	20536.9	Conv. (m <sup>3</sup> /s)	1514.9	18605.1	416.9
Length Wtd. (m)	5.00	Wetted Per. (m)	73.06	93.35	93.41
Min Ch El (m)	168.64	Shear (N/m <sup>2</sup> )	32.02	124.48	50.72
Alpha	1.95	Stream Power (N/m s)	58.16	559.04	12.52
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> )	0.45	2.83	1.03
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )	0.76	1.04	1.02

Errors, Warnings and Notes

**Profile Output Table - Standard Table 1**

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: sahel Reach: 1 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
1	3	PF 1	1353.13	168.64	172.06	172.06	173.00	0.004341	4.49	439.21	259.20	0.84
1	2	PF 1	1353.13	168.24	171.47	171.47	172.40	0.004584	4.42	435.10	286.23	0.85
1	1	PF 1	1353.13	167.74	170.76	170.76	171.70	0.005049	4.40	418.79	295.73	0.88

# Conclusion Générale

---



# Conclusion Générale

---

## Conclusion générale

Après une étude hydrologique et hydraulique comme première méthode, et étude de simulation par le logiciel HEC RAS, nous avons calculé la plus haute eau sur un tronçon de l'oued sahel qui sera traversé par un ouvrage de franchissement.

Avec les différentes étapes de notre étude, nous avons identifié le niveau de la remonté des eaux en période de crues pour différentes périodes de retour de 100ans .

La période de retour est celle qui convienne au dimensionnement des grands ouvrages hydrauliques.

D'après les résultats de simulation par HEC RAS et de calculs par des formules, le résultats de la PHE (plus haute eau) trouvé par deux méthodes sont proches et le résultat est satisfaisant.

Enfin, nous espérons avoir contribué avec ce modeste travail à donner un aperçu général sur les méthodes de calcul de remonté des eaux dans un tronçon et section d'un oued en périodes

# Bibliographie

---



## Bibliographie

- zouaoui abdelhamid. «étude faisabilité et d'exécution d'une retenue collinaire sur oued elkhaloua (m'sila) ».
- MokhtariChoayb, « modélisation Pluie débit par logiciel HEC-HMS de sous bassin versant l'oued SAHEL » Mémoire Master, Université Mohamed Boudiaf M'sila Juin 2016
- ould fah Mohamed Mahmoud : Etude hydrologique du bassin versant de la Soummam
- Mahfoud Baaidja: Evaluation des pertes en sols et leur identification dans le bassin versant d'Oued Azzerou (BBA (
- Guide technique Assainissement routier - Sétra - Service d'Études techniques des routes et autoroutes, octobre 2006.
- Manuel Pratique D'hydrologie Par Bénina Touaibia Mars 2004
- L'hydrologie de surface par sari AHMED 2002
- Ouvrages d'assainissement - Volume1: Mise en œuvre- Ouvrages annexes Normes applicables au fascicule 70 (AFNOR)
- Ouvrages d'assainissement - Volume2: Canalisations d'assainissement Normes applicables au fascicule 70 (AFNOR)
- Guide de conception des réseaux d'assainissement de la plate-forme autoroutière et des rétablissements des écoulements naturels.
- Cours .hydrologie ben kadja.
- Merrine –soikaichbach ;livre ,hydrologie et hydrolique ,2003-2004.

## **Study summary**

After a hydrological and hydraulic study as the first method, and a simulation study by HEC RAS software, we calculated the highest water on a section of the Sahel wadi which will be crossed by a crossing structure.

With the different stages of our study, we identified the level of upwelling during flooding for different return periods of 100 years.

The return period is that which is suitable for the sizing of large hydraulic structures.

According to the results of simulation by HEC RAS and calculations by formulas, the results of PHE (highest water) found by two methods are close and the result is satisfactory.

## **Résumé**

Après une étude hydrologique et hydraulique comme première méthode, et étude de simulation par le logiciel HEC RAS, nous avons calculé la plus haute eau sur un tronçon de l'oued sahel qui sera traversé par un ouvrage de franchissement.

Avec les différentes étapes de notre étude, nous avons identifié le niveau de la remonté des eaux en période de crues pour différentes périodes de retour de 100ans .

La période de retour est celle qui convienne au dimensionnement des grands ouvrages hydrauliques.

D'après les résultats de simulation par HEC RAS et de calculs par des formules, le résultats de la PHE (plus haute eau) trouvé par deux méthodes sont proches et le résultat est satisfaisant.

## **المخلص**

بعد دراسة هيدرولوجية وهيدروليكية كأول طريقة ، ودراسة محاكاة بواسطة برنامج HEC RAS ، قمنا بحساب أعلى مستوى للمياه في جزء من وادي الساحل الذي سيتم عبوره بواسطة هيكل معبر .

من خلال المراحل المختلفة لدراستنا ، حددنا مستوى ارتفاع المياه أثناء الفيضانات لفترات عودة مختلفة تبلغ 100 عام .

فترة الإرجاع هي تلك المناسبة لتحجيم الهياكل الهيدروليكية الكبيرة.

وفقاً لنتائج المحاكاة بواسطة HEC RAS والحسابات بواسطة الصيغ ، فإن نتائج PHE (أعلى

مستوى للمياه) التي تم العثور عليها بطريقتين متقاربة والنتيجة مرضية.