



Cours d'Hydrologie 3^{ème} Séance

**MODELE DE SIMULATION HYDROLOGIQUE
(HEC-RAS)**

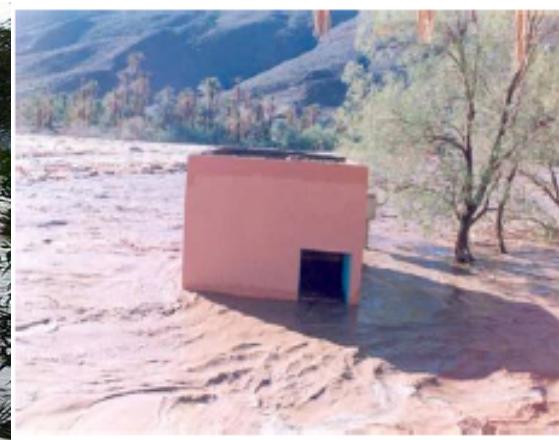
Présenté par :
Mohamed TAMMAL

Hydrologie appliquée : Etude des inondations

Problématique des inondations

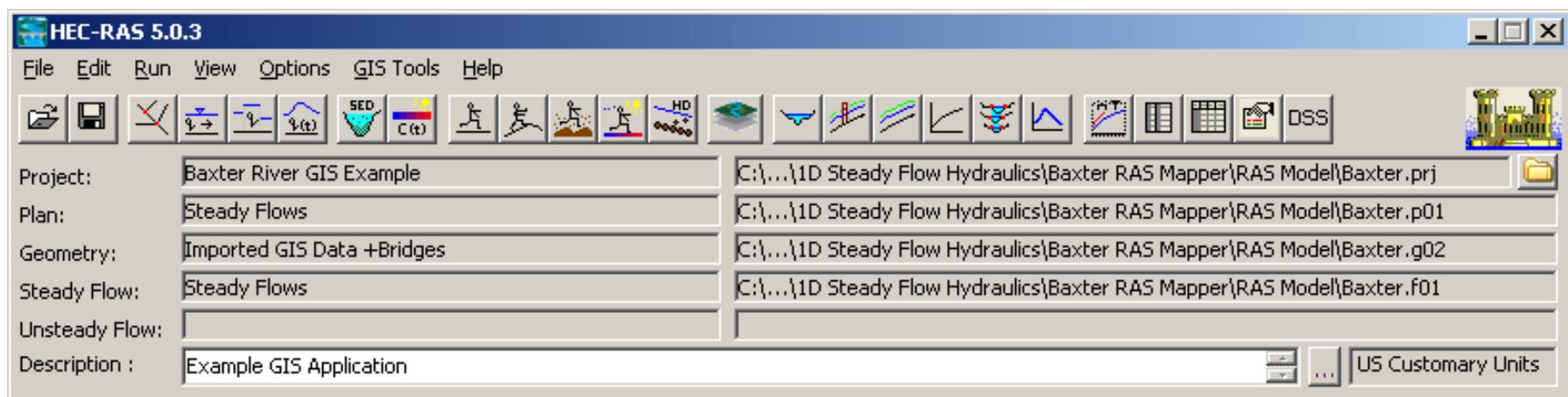
Le risque d'inondations se manifeste avec plus d'acuité dans les bassins versants. Outre l'aléa naturel, une série de facteurs vient aggraver la vulnérabilité aux inondations, en particulier :

- le changement climatique,
- Le développement non contrôlé de l'activité agricole, et plus particulièrement de l'urbanisation en zone inondable .



Le modèle de simulation : 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 Hydrologic Engineering Center du U.S Army Corps of Engineerings. basés sur un schéma de différence finie implicite(schéma de priessman)



l'Interface du modèle HEC-RAS

Équation de base de HEC-RAS

-cas régime graduellement varié

Le code 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.

$$ws_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = ws_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_e$$

Y: Hauteur d'eau (m).

Z:Côte du fond (m).

V:Vitesse moyenne sur une section (m/s).

g:Gravité (m/s²).

a:Coefficient de pondération.

h_e:Pertes de charge(m).

Niveau d'eau
 $ws = z + y$

Pertes de charge
 $h_e = h_f + h_s$

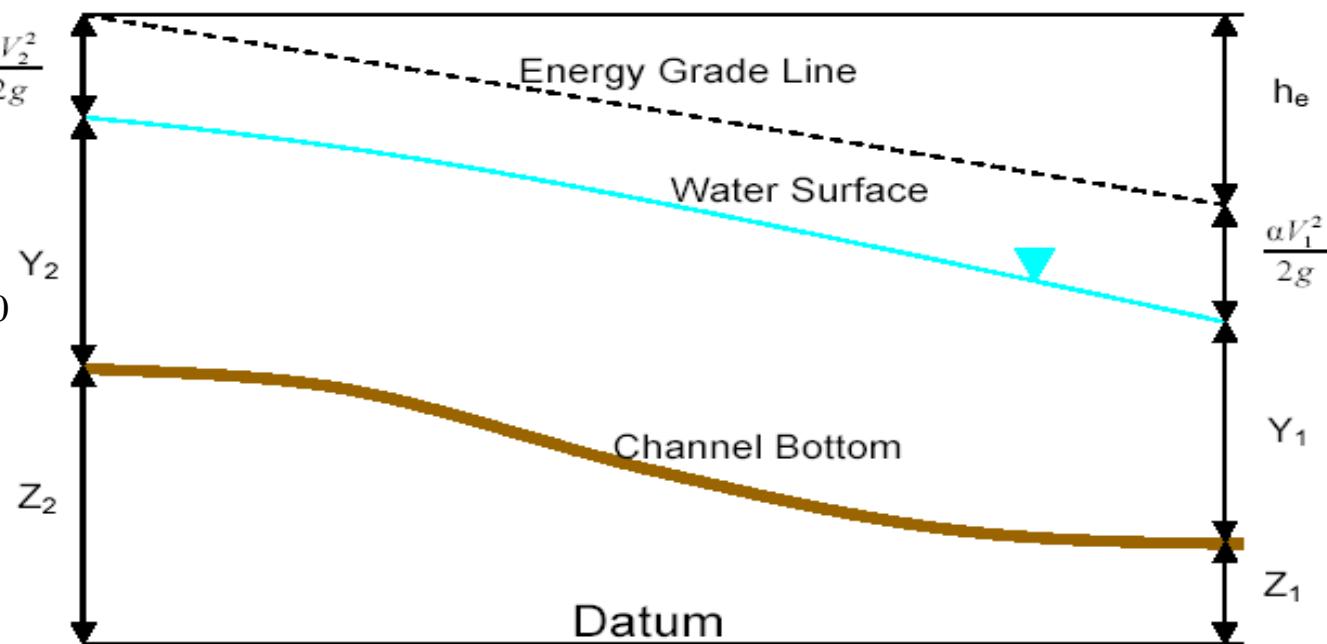
Équation de base de HEC-RAS

□ Debit uniforme

$$Q = \frac{1}{n} A R_H^{2/3} S_f^{1/2}$$

$$R_H = \frac{A}{P} \quad S_f = S_0^{Y_2}$$

Q : debit
n : coefficient de Manning
A : surface de la section
 R_H : rayon hydraulique
 S_f : pente de frottement
P : perimetre mouillé



Équation de base de HEC-RAS

Les pertes de charge:

h_f = pertes de charge par frottement

$$h_f = s_f L$$

s_f la pente de frottement et L pas d'espace

h_s = perte de charge singulière

Contraction ou expansions de l'écoulement:

$$h_s = C \left| \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} \right|$$

C : coefficient de contraction / expansion

Estimation du coefficient de Manning

Formule de cowan

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

Avec n_0 : facteur correctif de la granulométrie du lit de la rivière

n_1 : facteur correctif des irrégularités de la rivière.

n_2 : facteur correctif du type de la forme du profil en travers

n_3 : facteur correctif des effets des obstacles.

n_4 : facteur correctif de l'effet de la présence de la végétation sur les berges.

m_5 : facteur correctif du au degré de méandre dans la rivière.

coefficient Manning en fonction des terrains traversés



Table attributaire du coefficient Manning

CODE	Manning
Parcours et Incultes	0.100
Arganier	0.120
Cultures Irrigées	0.350
Oued	0.030
Terrain de Bour	0.100
Bati	0.200

Équation de base de HEC-RAS

-régimes rapidement variés

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} = -gAS + \varepsilon QU$$

1

2

3

4

L'étude des bilans et de quantité de mouvement conduit à un système de deux équations étudiées par Saint-Venant:

1

: L'inertie temporelle.

2

: L'accélération convective.

3

: Le terme de pression.

4

: perte de charge par frottement.

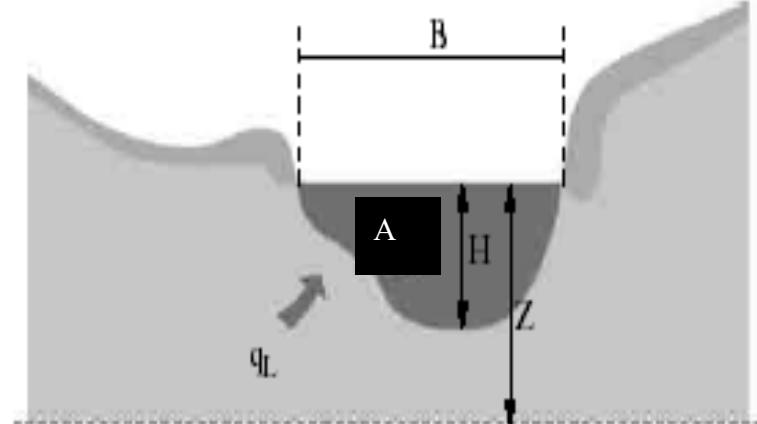
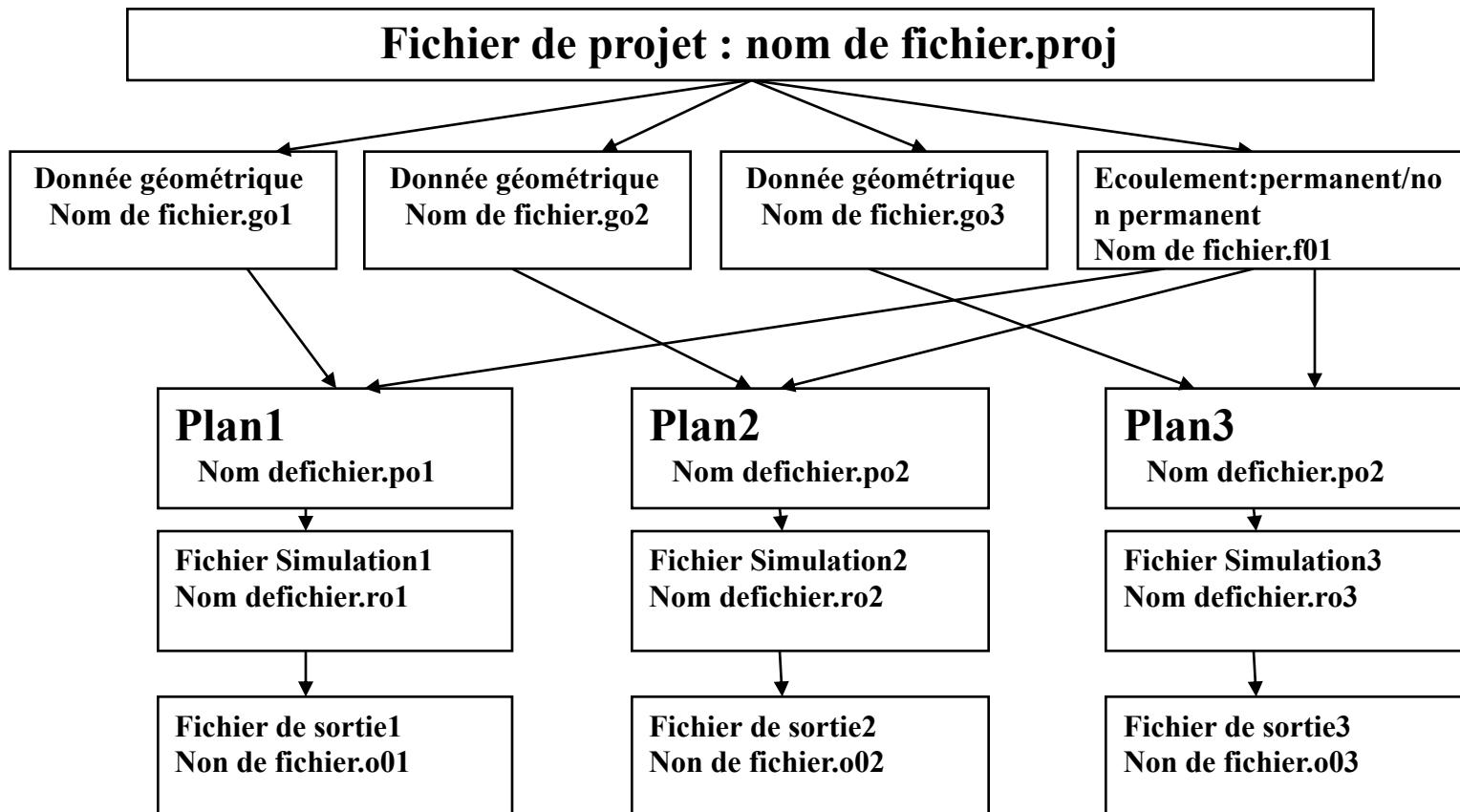


Figure : Les variables hydrauliques

Présentation du modèle de simulation (HEC-RAS)

HEC-RAS, un ensemble de fichiers, que l'on nomme Projet, sont requis pour effectuer l'analyse hydraulique d'un cours d'eau



Présentation du modèle de simulation (HEC-RAS)

- **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 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.
- **Débit (Flow)** : Le fichier Débit est utilisé pour simuler les écoulements permanents et transitoires. Il contient le nombre de Profile devant être calculés, les données de débit pour chacun d'eux et les conditions limites pour chaque tronçon. De la même façon que précédemment, l'extension du fichier peut être de .F01 à .F99.

Présentation du modèle de simulation (HEC-RAS)

- **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.

Présentation du modèle de simulation (HEC-RAS)

- **Résultats (Output)** : Tous les résultats d'une simulation sont contenus dans le fichier Output. Les fichiers de résultats possèdent l'extension. 001 à. 099 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'usager. Seule l'extension diffère et les différentes extensions des fichiers sont automatiquement créées par HEC-RAS et ne doivent pas être modifiés. Pour les fichiers dont l'extension inclus 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.

Les menus de HEC-RAS

- **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.
- **Edit** : permet de spécifier les données de base décrivant le système hydrographique devant être modélisé ainsi que les conditions de débit dans ce système. 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. Une autre option disponible dans le menu Edit pour l'étude des écoulements permanents dans le cours d'eau est Steady Flow Data et unsteadyflow 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 limites de l'écoulement.

Les menus de HEC-RAS

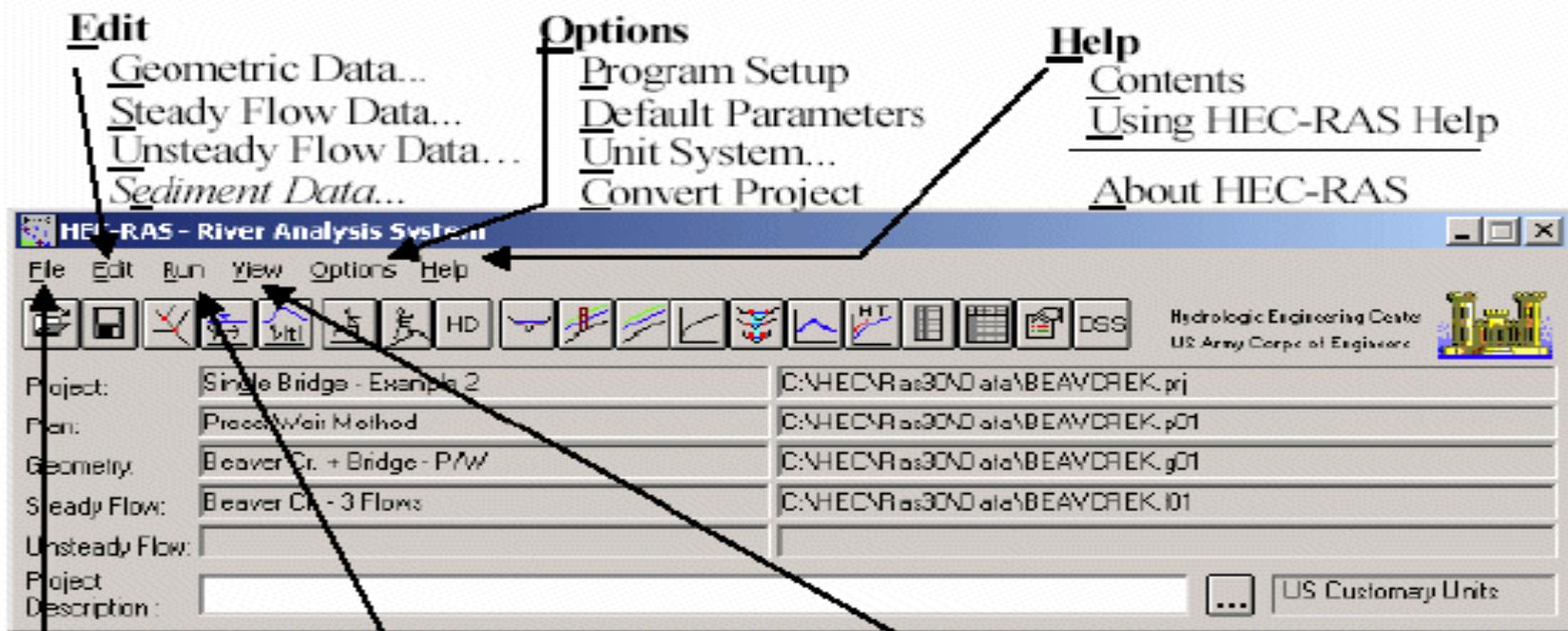


- L'autre élément important de la fenêtre principale pour la création d'un projet et la réalisation de simulations est le menu Run. Trois options y sont disponibles: Steady Flow Analysis, Unsteady Flow Analysis et Hydraulic Design... Cette option permet ici de définir le Plan, qui contient la référence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

Les menus de HEC-RAS



- **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 projet. Dans le même menu, on vérifie que Automatically Backup Data est coché. Ainsi, par mesure de sécurité, toutes les 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 et permet aussi de changer le système d'unité utilisé par défaut pour chaque nouveau projet. Finalement, la dernière fonction, Convert Project Units, permet de convertir un projet d'un système d'unité à un autre.



- File**
- New Project...
- Open Project...
- Save Project
- Save Project As...
- Rename Project...
- Delete Project...
- Project Summary
-
- Import HEC-2 Data...
- Import HEC-RAS Data...
- Generate Report...
- Export GIS Data...
- Export to HEC-DSS...
- Restore Data
-
- Run**
- Steady Flow Analysis...
- Unsteady Flow Analysis...
- Sediment Analysis...
- Hydraulic Design Functions...
- View**
- Cross Sections...
- Water Surface Profiles...
- General Profile Plot
- Rating Curves
- X-Y-Z Perspective Plots...
- Stage and Flow Hydrographs
- Hydraulic Property Plots
-
- Detailed Output Tables
- Profile Summary Table...
- Summary Err, Warn, Notes...
-
- DSS Data**

ETAPES DE MODELISATION

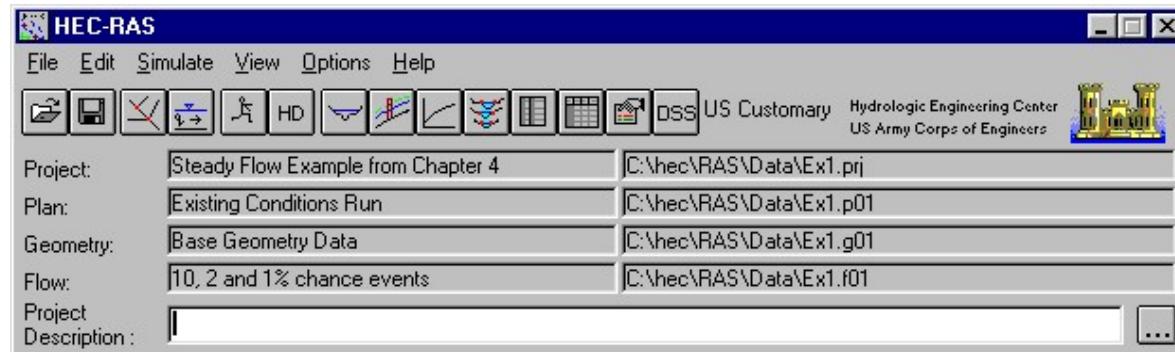


- Données d'entrés
- Resultas de sortie

Lancer un Projet sous HEC-RAS

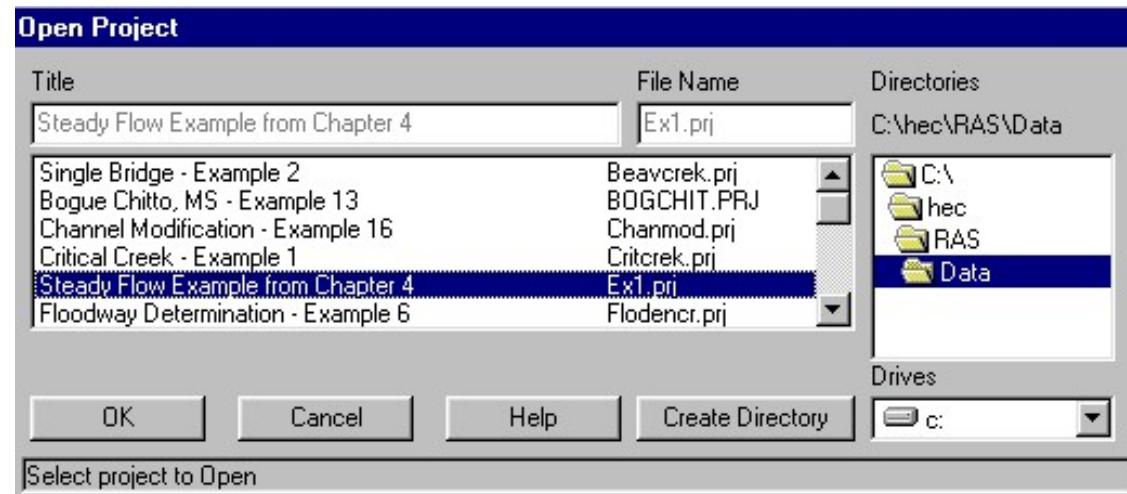
□ Fenêtre HEC-RAS (main)

- Plan
- Geometry
- Flow



□ ouvrir (New Project window)

- Title
- File name (.prj)
- Directory



Profile en long

- Rivers
- Reaches
- X sections at river stations
- Jonctions

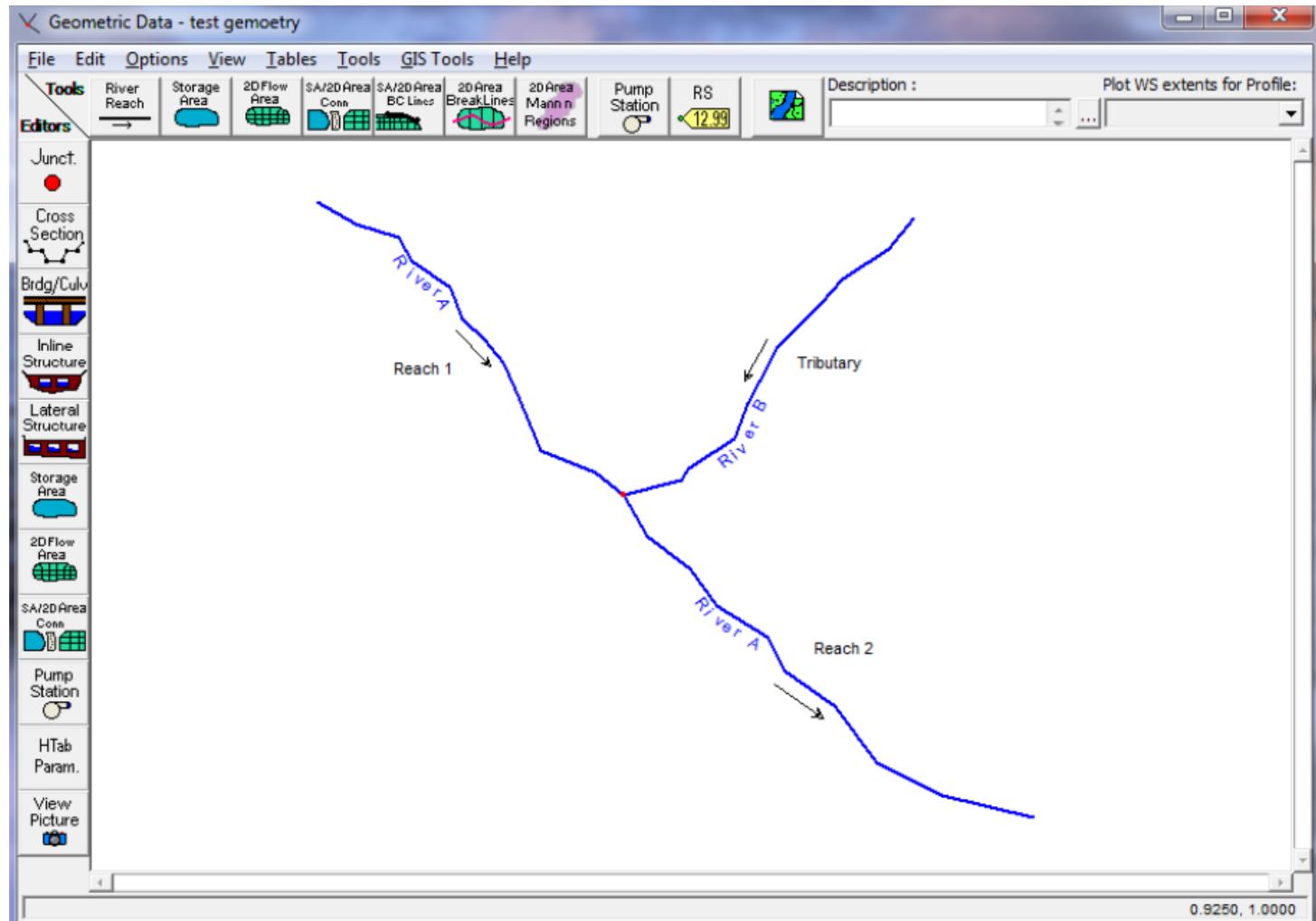


Table de donnée des Sections

- X-section
- Elevation de X-section stations
- Distance de la prochaine X-section en aval
- Valeur des coefficient de Manning
- X-section des banks
- coefficients de Contraction et expansion

The screenshot shows a software application window titled "Cross Section Data - base geo data". The interface includes a menu bar with Exit, Edit, Options, Plot, and Help. Below the menu are dropdowns for River (Fall River), Reach (Upper Reach), and River Sta. (10). A toolbar with icons for Apply Data, zoom, and other functions is visible. The main area contains several tables and input fields:

- Cross Section Coordinates:** A table with columns Station and Elevation, containing data from 1 to 12.
- Downstream Reach Lengths:** A table with columns LOB, Channel, and ROB, showing values 225, 250, and 275 respectively.
- Manning's n Values:** A table with columns LOB, Channel, and ROB, showing values 0.06, 0.035, and 0.05 respectively.
- Main Channel Bank Stations:** A table with columns Left Bank and Right Bank, showing values 200 and 240 respectively.
- Cont\Exp Coefficient (Steady):** A table with columns Contraction and Expansion, showing values 0.1 and 0.3 respectively.

At the bottom is a button labeled "Edit Station Elevation Data (ft)".

Station	Elevation
1	90
2	80
3	78
4	70
5	70
6	79
7	81
8	91
9	
10	
11	
12	

LOB	Channel	ROB
225	250	275

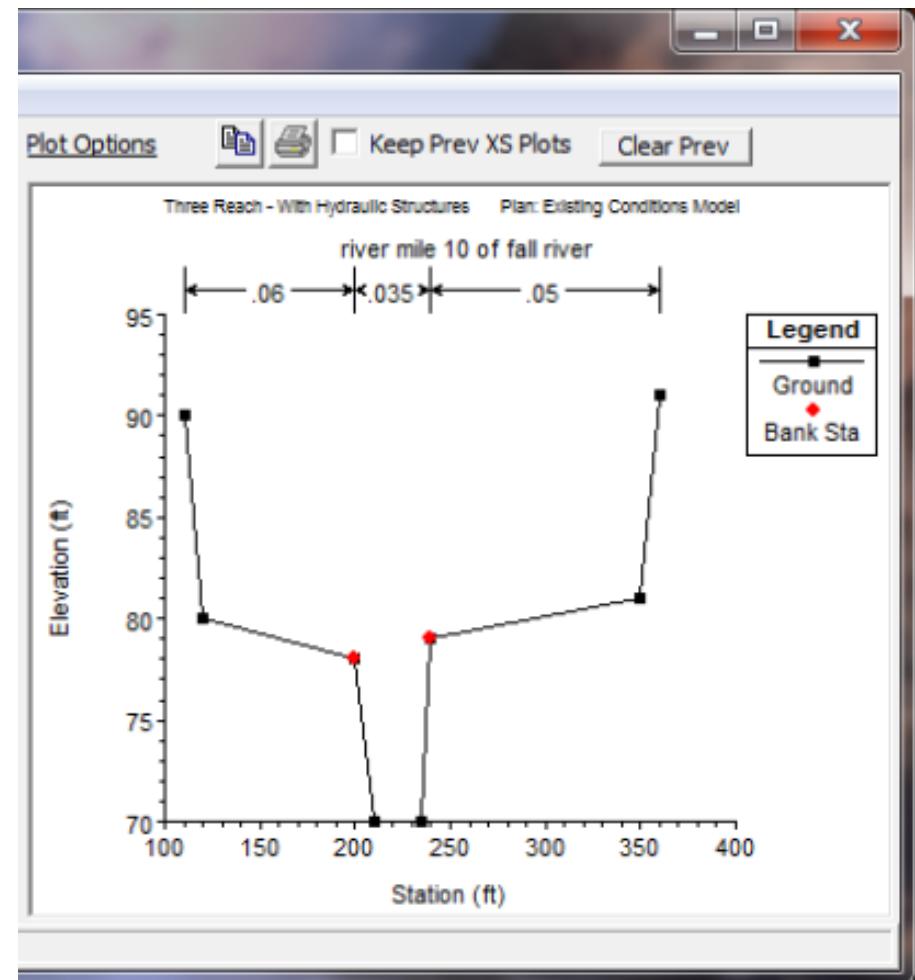
LOB	Channel	ROB
0.06	0.035	0.05

Left Bank	Right Bank
200	240

Contraction	Expansion
0.1	0.3

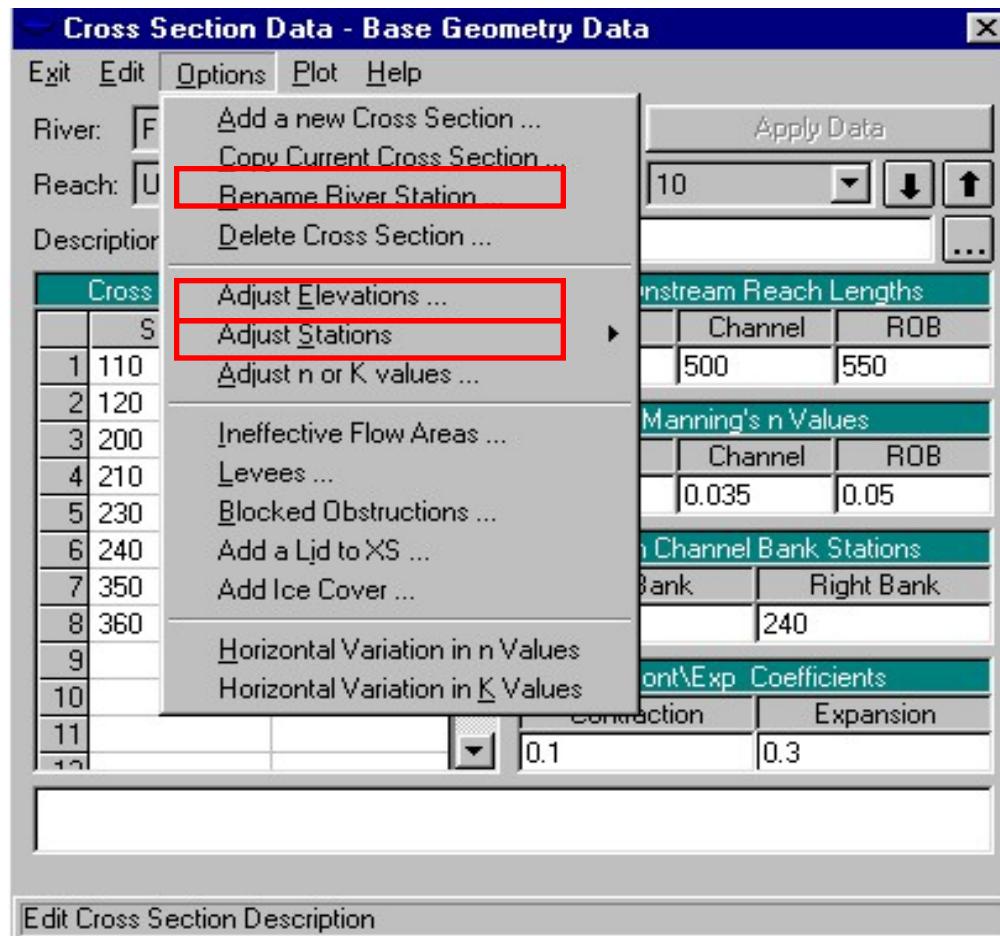
Donnée d'une section transversal

- X-section
- Elevation de X-section
- Distance to next downstream X-section
- Manning's coefficient values
- X-section stations of the main channel banks
- Les coefficients de Contraction et d'expansion



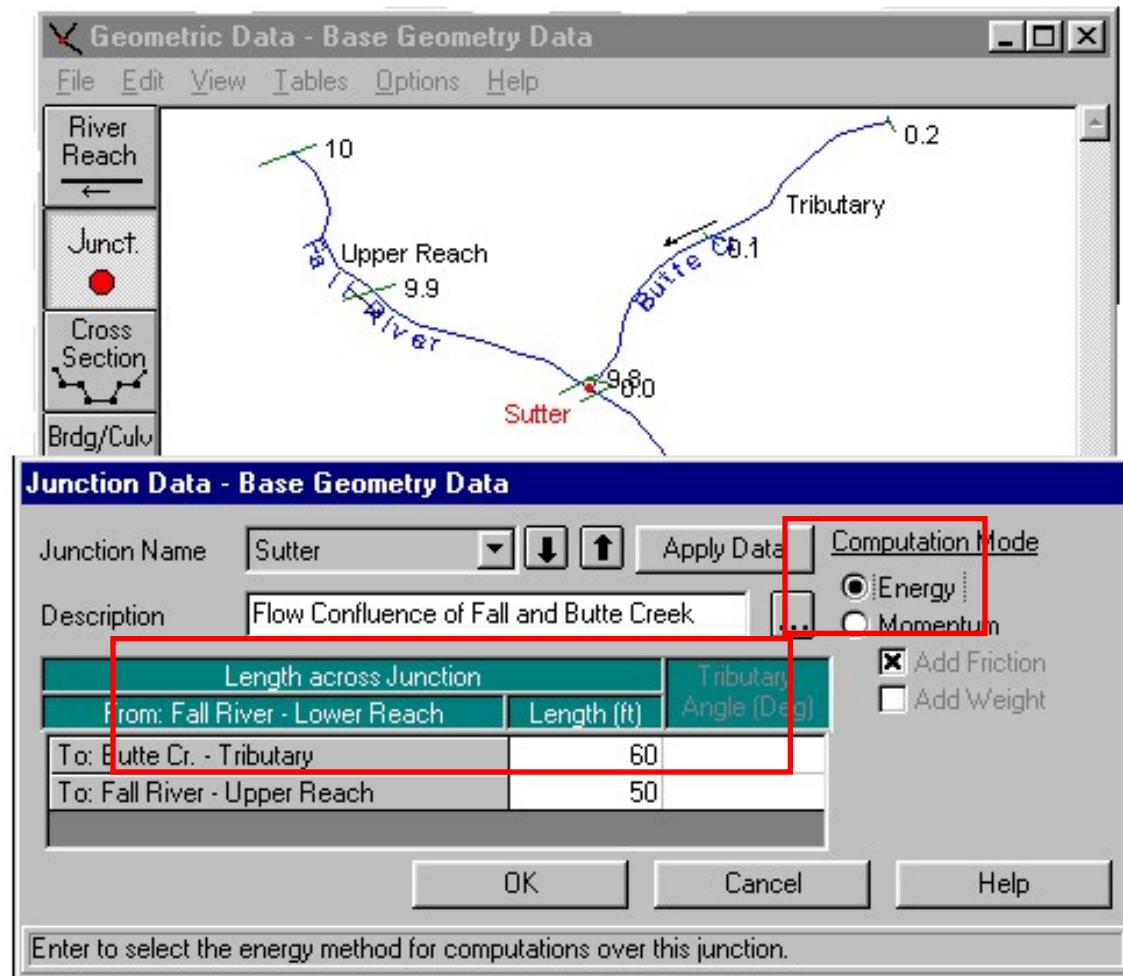
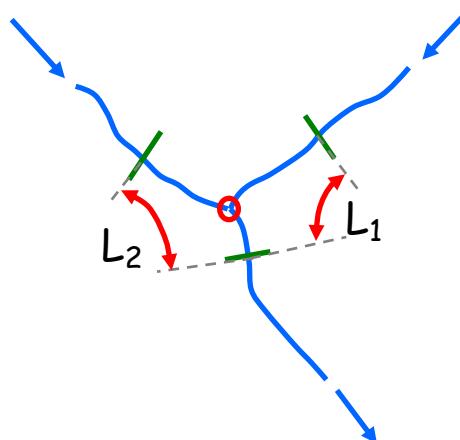
Donnée de section - Add/Edit

- Copier X-section et l'utiliser dans une autre station
- Adjust X-section station values by multiplying by a number, or adding a number
- Adjust X-section station elevations by adding a number

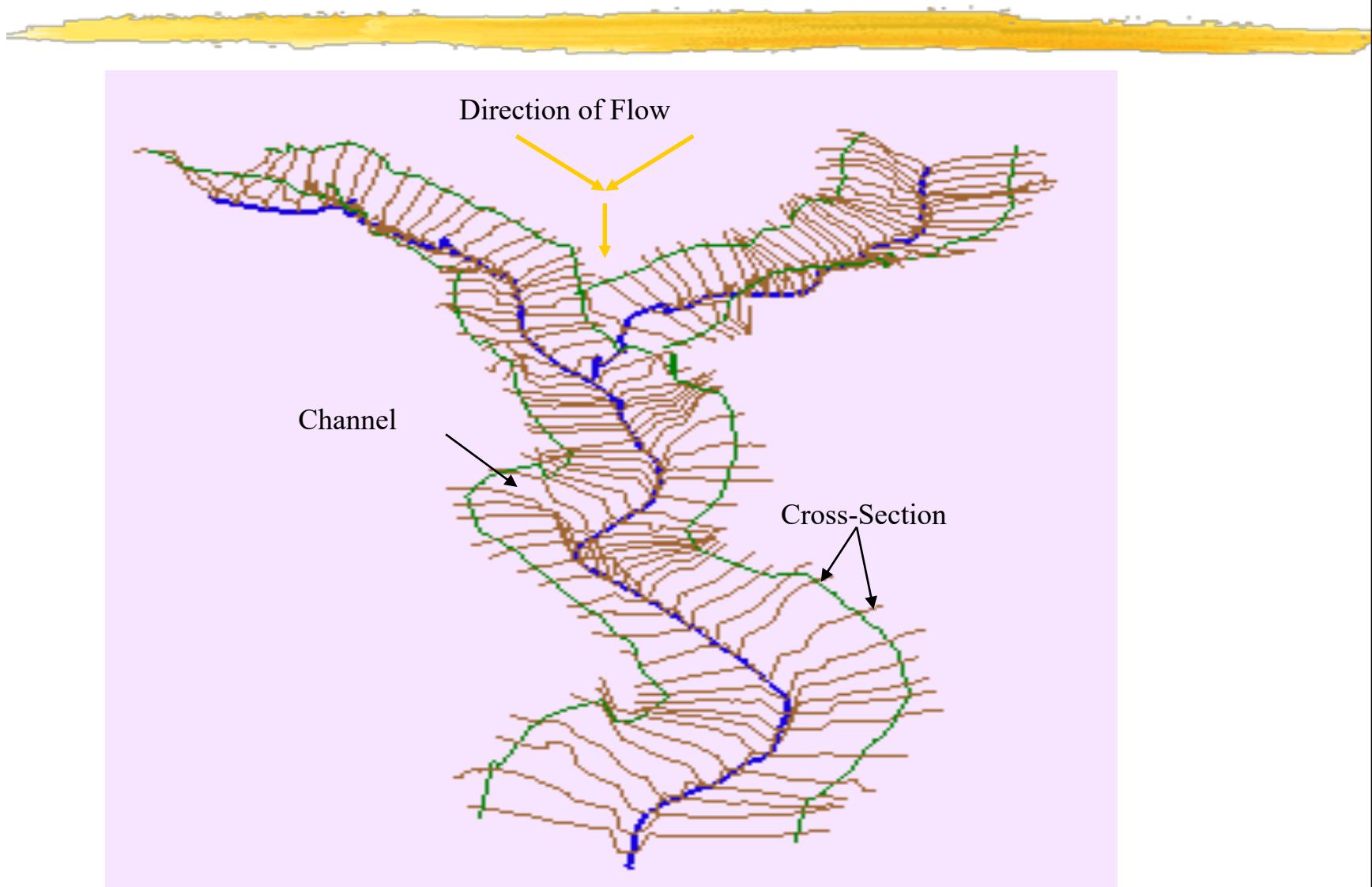


Donnée de la jonction

- Longueur de la jonction



Visualisation des données géométrique en 3D



Debit en régime permanent

Condition initial

Steady Flow Data - 10, 2 and 1% chance events

File Options Help

Enter/Edit Number of Profiles (100 max): Reach Boundary Conditions Apply Data

Locations of Flow Data Changes

River: Fall River

Reach: Upper Reach River Sta.: 10 Add A Flow Change Location

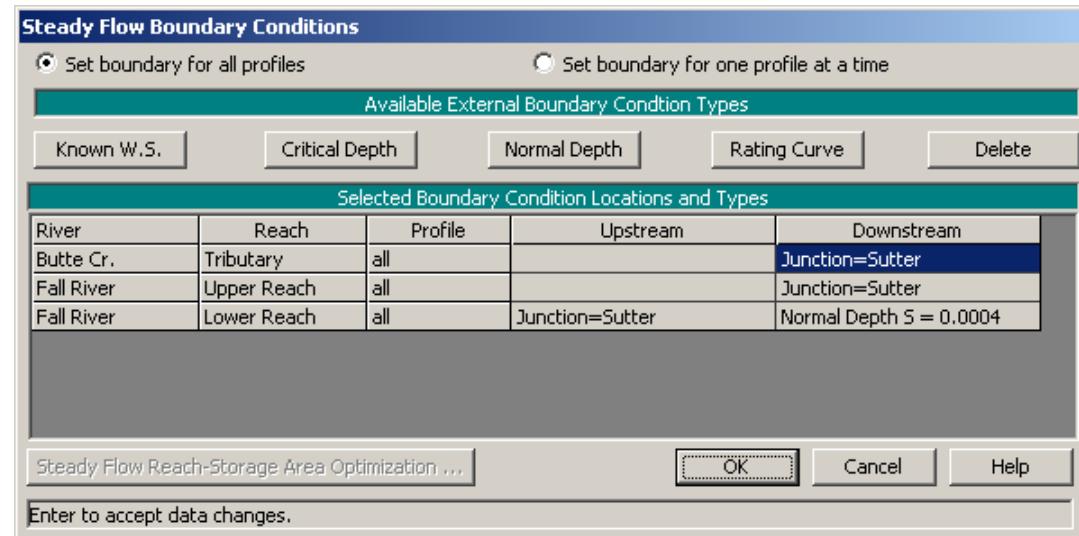
Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates			
	River	Reach	RS	10 yr	50 yr	100 yr
1	Butte Cr.	Tributary	0.2	100	500	1500
2	Fall River	Upper Reach	10	500	2000	5000
3	Fall River	Lower Reach	9.79	600	2500	6500
4	Fall River	Lower Reach	9.6	650	2700	7000

List of optional steady flow parameters set.

Les Conditions aux limites

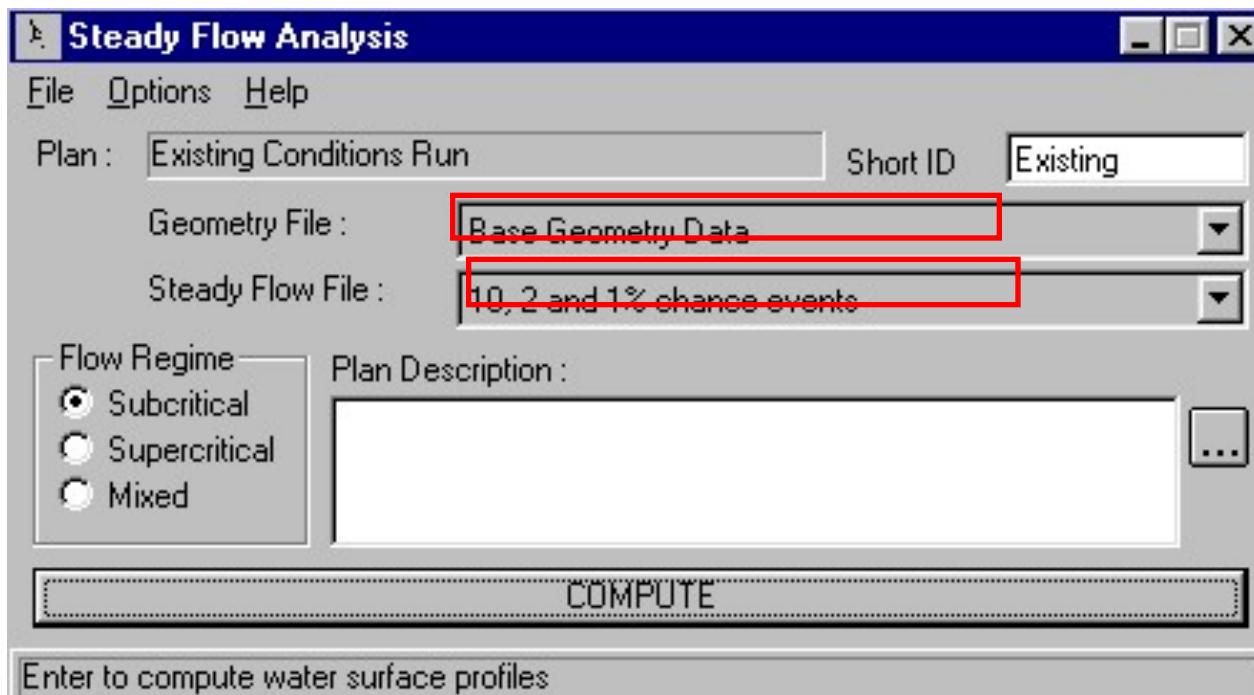
□ Types de condition aux limites

- Hauteur d'eau
- Débit
- Infiltration
- Débit lateral
- Pente de la ligne d'energie
- Courbe de tarage



Plan

- le **Plan** est la combinison de:
 - Fichier geometrie (reach network, X-sections and junctions).
 - Fichier de debit en permanent (flows and boundary conditions).



Overview

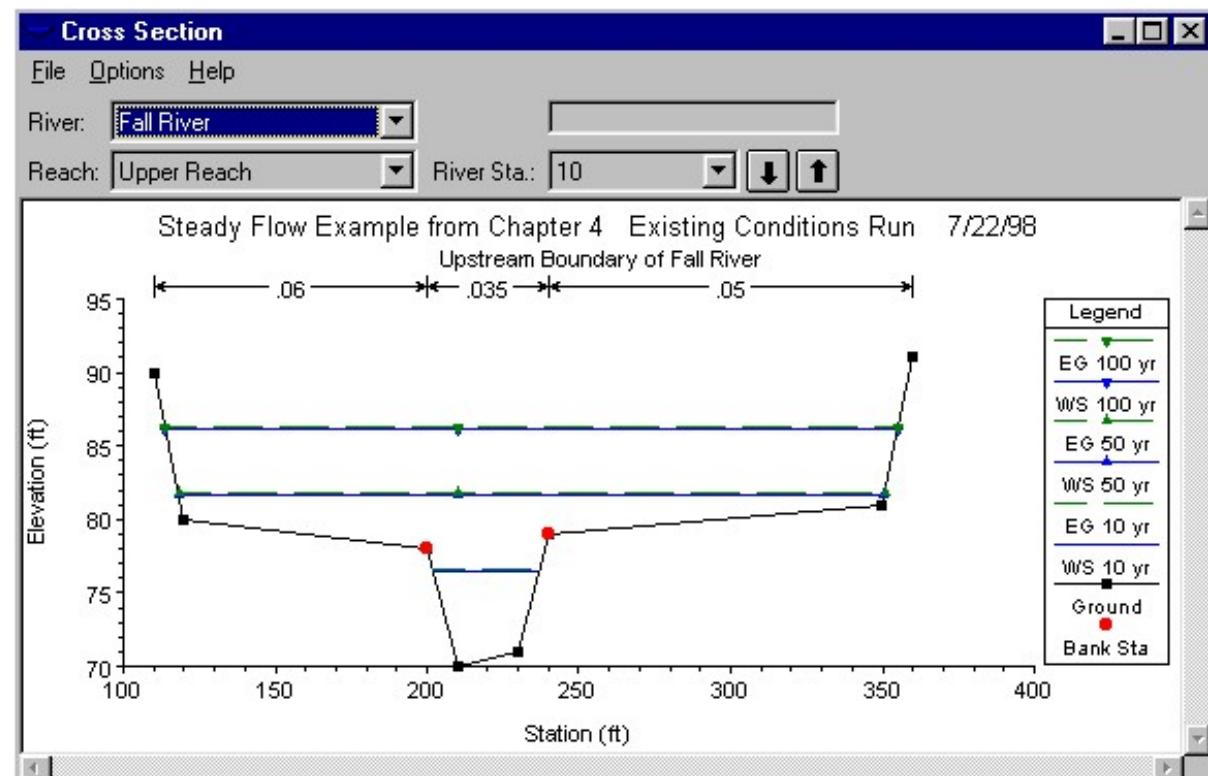


- Donnée d'entrer
- Sortie du modèle

Résultat - X-Section

□ Cross Section Plots:

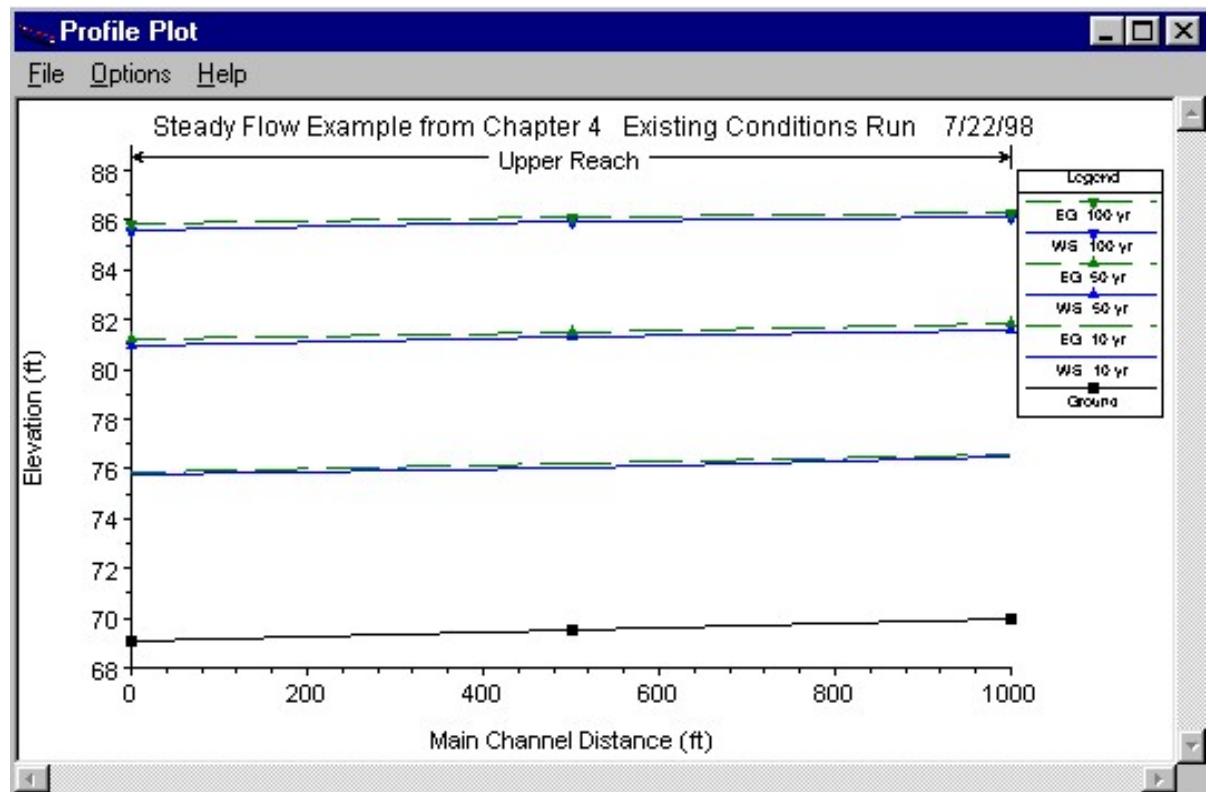
- Water Surface Elevation
- Energy Grade Line
- Floodplain Extent



Résultats - Profile Longitudinal

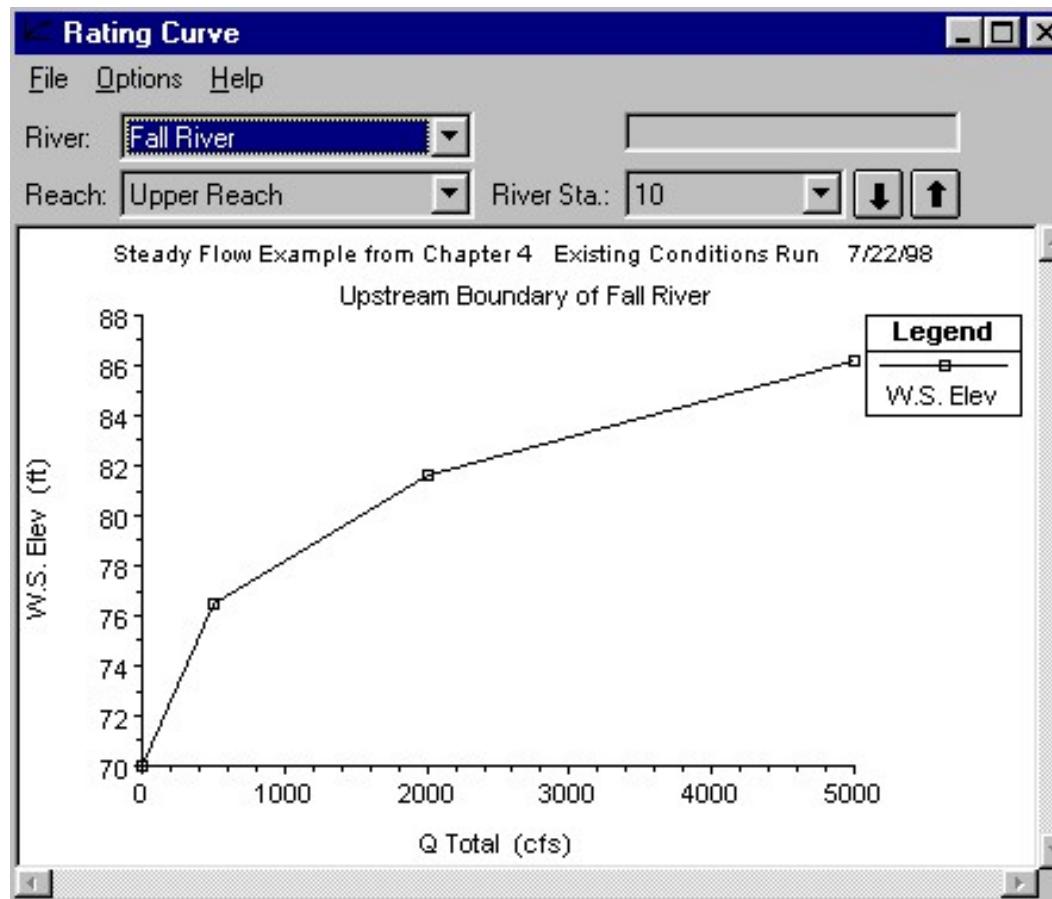
□ Profile Plots:

- Water Surface Elevation
- Energy Grade Line



Resultat – courbe de tarage

□ Courbe de tarage



Résultat en 3D

Représentation en 3D du réseau hydrographique:

- Water Surface Elevation
- Energy Grade Line
- Floodplain Extent

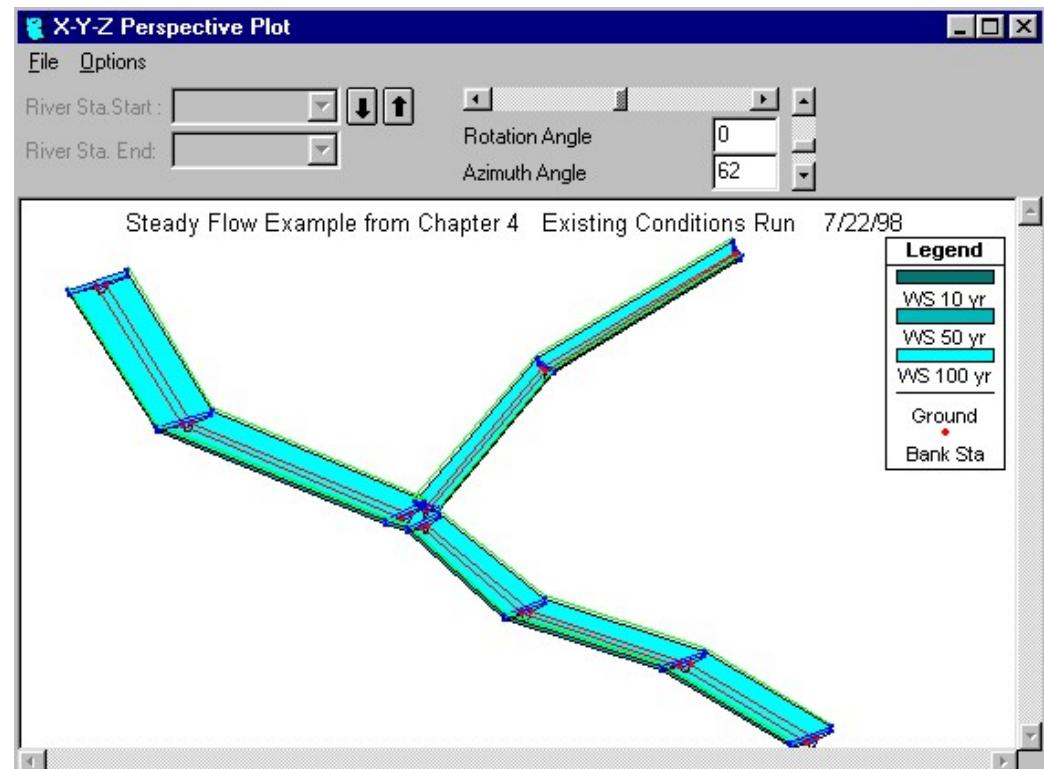


Table des résultats

□ Valeur hydraulique des différents sections

Cross Section Output				
File Type Options Help				
River:	Fall River	Profile:	10 yr	X
Reach:	Upper Reach	Riv Sta:	10	↓ ↑
Plan: Existing River: Fall River Reach:Upper Reach Riv Sta: 10 Profile: 10 yr				
E.G. Elev (ft)	76.59	Element	Left OB	Channel
Vel Head (ft)	0.15	Wt. n-Val.		0.035
W.S. Elev (ft)	76.44	Reach Len. (ft)	450.00	500.00
Crit W.S. (ft)		Flow Area (sq ft)		163.31
E.G. Slope (ft/ft)	0.000772	Area (sq ft)		163.31
Q Total (cfs)	500.00	Flow (cfs)		500.00
Top Width (ft)	34.86	Top Width (ft)		34.86
Vel Total (ft/s)	3.06	Avg. Vel. (ft/s)		3.06
Max Chl Dpth (ft)	6.44	Hydr. Depth (ft)		4.69
Conv. Total (cfs)	17997.4	Conv. (cfs)		17997.4
Length Wtd. (ft)	500.00	Wetted Per. (ft)		39.05
Min Ch El (ft)	70.00	Shear (lb/sq ft)		0.20
Alpha	1.00	Stream Power (lb/ft s)		0.62
Frctn Loss (ft)	0.37	Cum Volume (acre-ft)		4.21
C & E Loss (ft)	0.00	Cum SA (acres)		0.60
Errors, Warnings and Notes				

Résumé des résultat

□ Valeur hydraulique des different riviere

The screenshot shows a Windows application window titled "Profile Output Table - Standard Table 1". The menu bar includes "File", "Options", "Std. Tables", and "Help". The title bar has standard window controls. The main area is a table titled "HEC-RAS Plan: Existing". The columns are labeled: River, Reach, River Sta, Q Total (cfs), Min Ch El (ft), W.S. Elev (ft), Crit W.S. (ft), E.G. Elev (ft), E.G. Slope (ft/ft), Vel Chnl (ft/s), Flow Area (sq ft). The table contains data for Fall River's Upper Reach at River Station 10, with three rows showing different flow values: 500.00, 2000.00, and 5000.00 cfs. The table also includes a "Reload Data" button and navigation buttons (first, last, previous, next) at the bottom.

River	Reach	River Sta	Q Total (cfs)	Min Ch El (ft)	W.S. Elev (ft)	Crit W.S. (ft)	E.G. Elev (ft)	E.G. Slope (ft/ft)	Vel Chnl (ft/s)	Flow Area (sq ft)
Fall River	Upper Reach	10	500.00	70.00	76.44		76.59	0.000772	3.06	163.31
Fall River	Upper Reach	10	2000.00	70.00	81.61		81.84	0.000646	4.31	751.24
Fall River	Upper Reach	10	5000.00	70.00	86.15		86.35	0.000435	4.63	1826.65
Fall River	Upper Reach	9.9	500.00	69.50	76.08		76.22	0.000712	2.98	168.05
Fall River	Upper Reach	9.9	2000.00	69.50	81.31		81.53	0.000599	4.21	754.61
Fall River	Upper Reach	9.9	5000.00	69.50	85.92		86.13	0.000438	4.71	1757.63

Total flow in cross section.

Application et Résultat



➤ Préparation des données

- Création du cour d'eau principale (profil en long)
- Création des surfaces de stockage.
- Création des parcours de l'écoulement.
- Création des rives (banks).

Modélisation combinée 1D / 2D avec HEC-RAS



- A partir de la version 5 de HEC-RAS, ce modèle permet d'effectuer une modélisation 2D ou combiner une modélisation 1D / 2D, de façon très simple et rapide. Voici les étapes de base pour effectuer la modélisation 2D (ou combinée 1D / 2D) dans HEC-RAS:

La projection cartographique

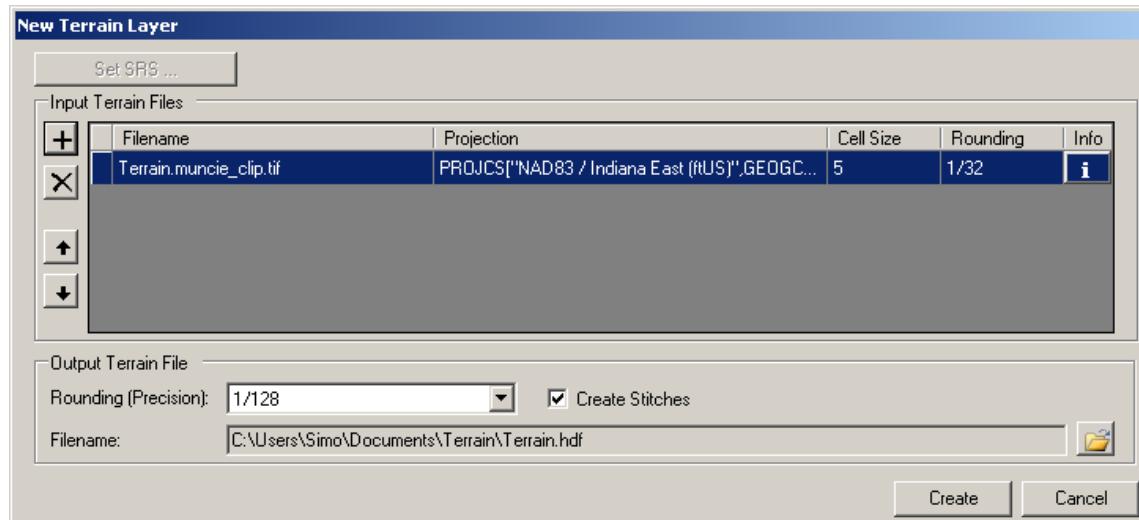


- Choisir une projection cartographique depuis HEC-RAS Mapper. Cela se fait en sélectionnant un fichier de projection existant dans un fichier de formes ESRI.



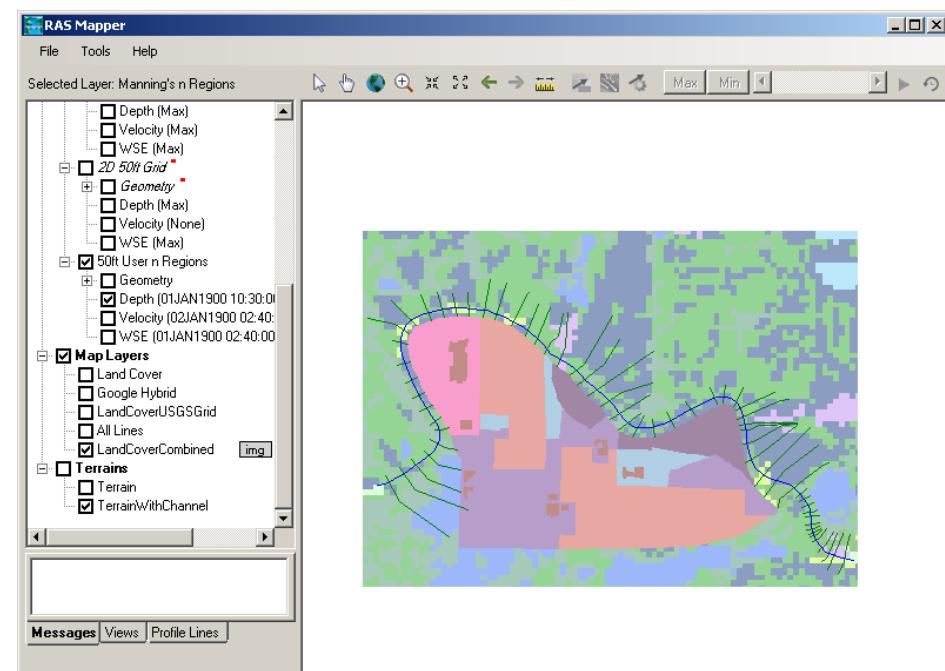
Données altimétriques

- Insérer un modèle de terrain dans HEC-RAS Mapper. Le modèle de terrain est une exigence pour une modélisation 2D. Il est également utilisé pour établir les géométries et les propriétés hydrauliques des cellules 2D et de leurs faces. Un modèle de terrain est également nécessaire pour effectuer la simulation des inondations dans HEC-RAS Mapper.



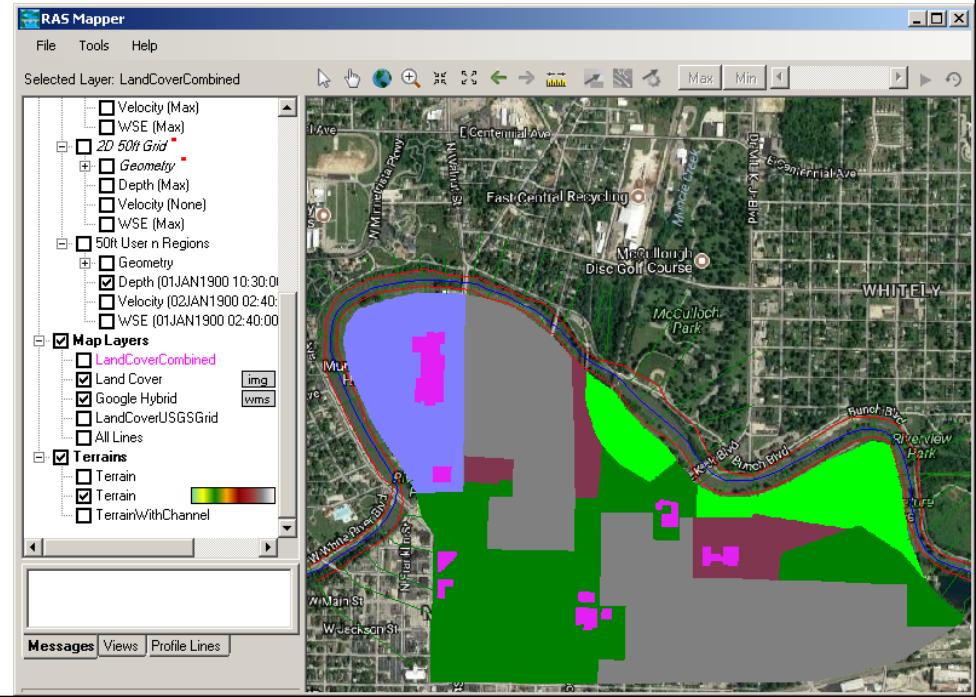
Coefficient de Manning

- Créez un ensemble de zones de classification de l'occupation du sol dans HEC-RAS Mapper afin caractériser les valeurs de Manning. HEC-RAS permet également le dessin des polygones qui peuvent être utilisés pour remplacer les données de l'occupation du sol ou les zones d'étalonnage.



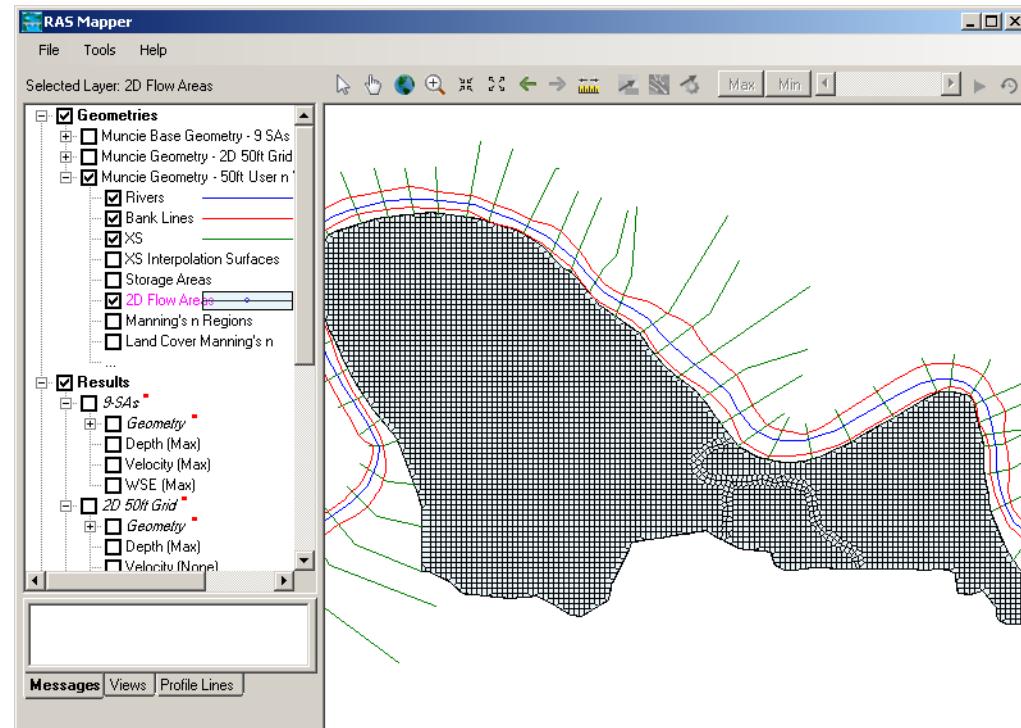
Habillage et visualisation

- Ajoutez les couches cartographiques supplémentaires éventuellement nécessaires pour une bonne visualisation, comme les images aériennes, emplacements des digues, réseaux routiers, etc ...



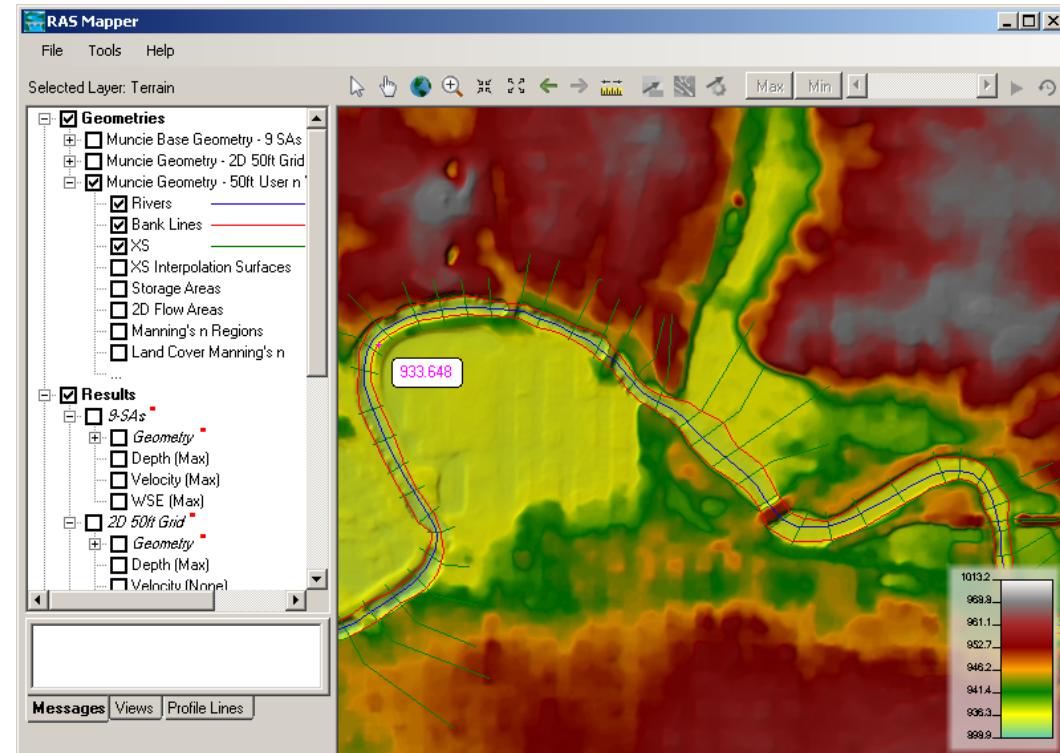
Edition de la géométrie

- Dans l'éditeur de géométrie, tracez un polygone de frontière pour chacune des zones de modélisation 2D. Une possibilité d'importer les coordonnées X et Y de la limite à partir d'une autre source est valable.



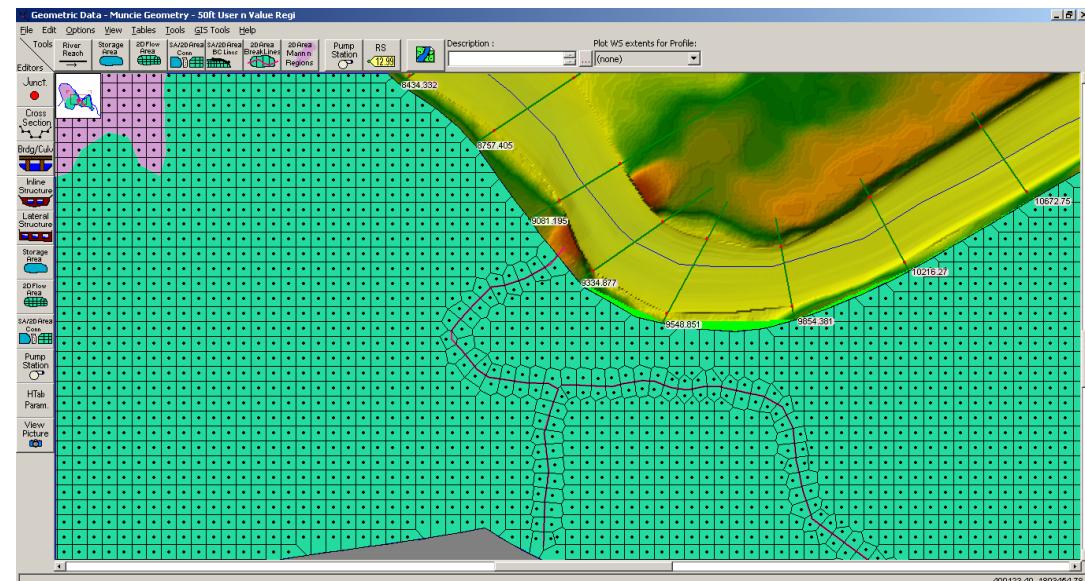
Géométrie : lignes de rupture

- Placez les lignes de rupture d'écoulement dans la zone 2D de manière à représenter des obstacles importants, tels que: digues, routes, remblais naturels, structures hydrauliques. etc...



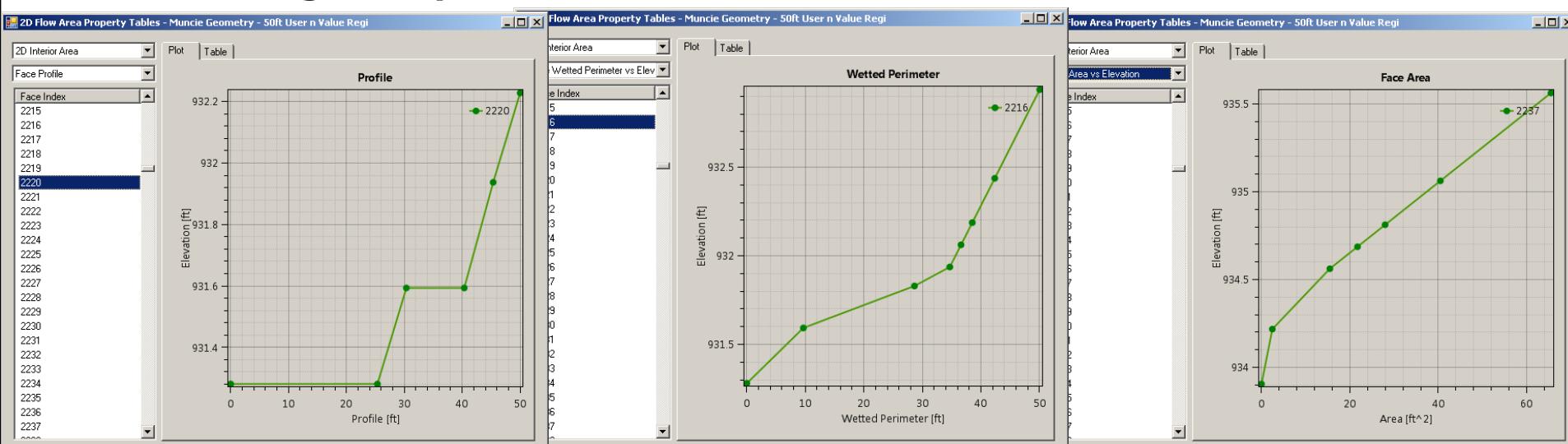
Création du maillage 2D

- Créer le maillage de calcul 2D pour chaque zone de modélisation 2D.
- Modifiez le maillage afin de l'améliorer, tels que : ajouter des lignes de rupture supplémentaires, augmenter ou diminuer la densité des mailles selon le besoin, Ajouter ou Supprimez les centres des mailles si nécessaire.



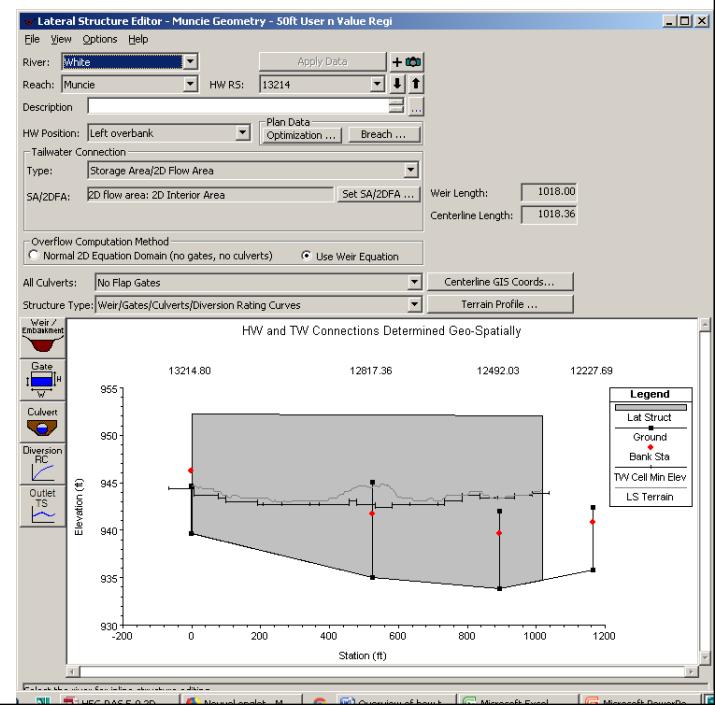
Pré-processing et combinaison avec modèle 1D

- Exécutez le pré-processing de la géométrie 2D dans le RAS Mappé afin de créer les tables de propriétés hydrauliques des mailles et de leurs faces.
- Connectez les zones de flux 2D aux éléments hydrauliques 1D (tronçons de rivière, structures latérales, connexions hydrauliques avec une zone de stockage 2D) selon les besoins.



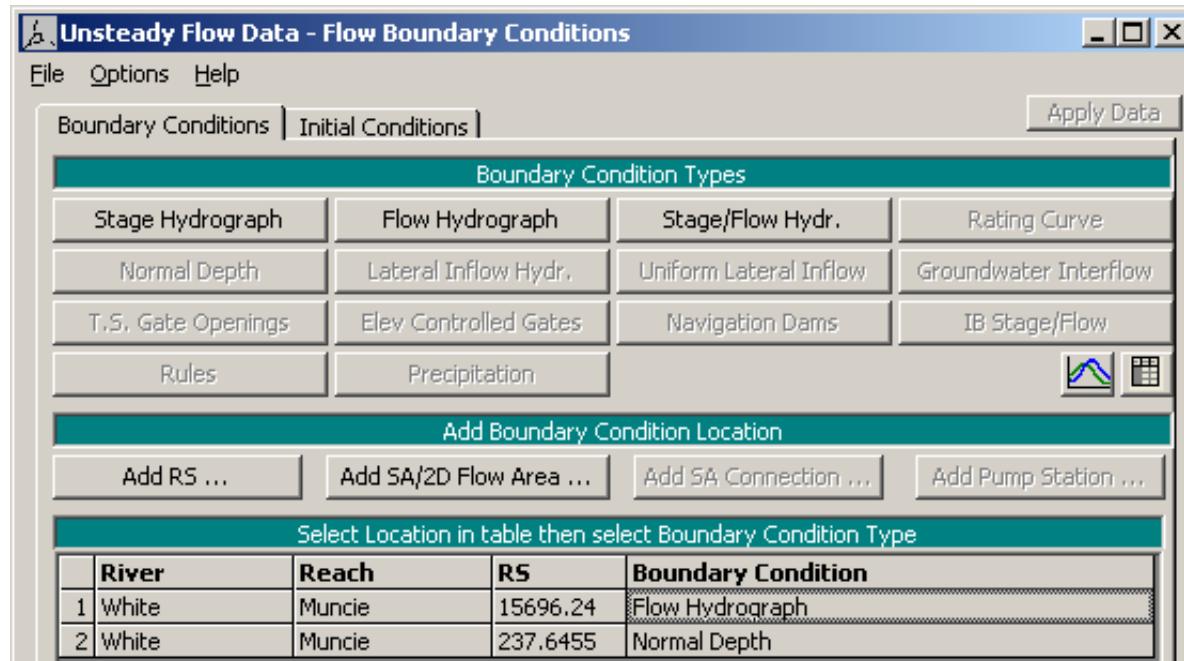
Modélisation des structures hydrauliques

- Ajoutez toutes les structures hydrauliques nécessaires à l'intérieur d'une zone d'écoulement 2D.
- Depuis l'éditeur de données de la géométrie, tracez les lignes de condition aux limites externes le long du périmètre des zones de flux 2D.



Conditions au limites et conditions initiales

- Entrez les données des conditions aux limites et conditions initiales nécessaires pour la modélisation 2D dans l'éditeur de données de flux transitoires.
- Dans la fenêtre de débit transitoire, définissez les options de calcul et les paramètres nécessaires pour les zones de flux 2D.



Exécution et exploitation des résultats



- Exécutez la simulation en régime transitoire.
- Examinez les résultats 2D et 1D combinée dans RAS Mapper, ainsi que l'utilisation des capacités d'affichage des résultats de la simulation existantes pour les parties 1D du modèle.

Merci

