

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

## **Université de Bejaia**

**Faculté de Technologie**  
**Département d'Hydraulique**

**Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement**

# **Polycopié de Cours**

**Module**

# **LOGICIELS**

**Spécialité : Hydraulique**  
**Option : Hydraulique Urbaine**  
**Niveau : L3**

**Présenté par :**

**Dr. HAMCHAOUI Samir**

# Sommaire

Titre	Page
Introduction.....	1
PARTIE I : ALIMENTATION EN EAU POTABLE .....	2
I/ Epanet .....	3
I.1/ Environnement de travail Epanet.....	4
I.1.1/ Barre de menu .....	4
I.1.2/ Barres d'outils .....	5
I.1.3/ Barre d'état .....	7
I.1.4/ Schéma du réseau .....	7
I.1.5/ Navigateur des données.....	8
I.1.6/ Navigateur du schéma .....	8
I.1.7/ Editeur des propriétés.....	9
I.1.8/ Personnaliser Epanet .....	9
I.2/ Modélisation du réseau .....	10
I.2.1/ Composants physiques .....	10
I.2.1.1/ Nœuds de demande.....	10
I.2.1.2/ Bâches infinies.....	10
I.2.1.3/ Réservoirs .....	11
I.2.1.4/ Tuyaux .....	12
I.2.1.5/ Pompes.....	14
I.2.1.6/ Vannes .....	14
I.2.2/ Composants non physiques .....	14
I.2.2.1/ Courbes .....	14
I.2.2.2/ Courbes de modulation.....	15
I.2.2.3/ Commandes .....	15
I.3/ Modèle de simulation.....	15
I.3.1/ Hydraulique .....	15
I.3.2/ Qualité de l'eau .....	15
I.3.2.1/ Mélange dans les réservoirs.....	15
I.3.2.2/ Réactions modifiant la qualité de l'eau .....	156
I.3.2.3/ Temps de séjours .....	157
I.4/ Application sur un cas d'étude.....	18

I.4.1/ Importation du plan comme Fond d'écran sous Epanet .....	19
I.4.2/ Traçage des différents réseaux sous Epanet .....	21
I.4.2.1/ Réseau d'adduction.....	21
I.4.2.2/ Réseaux de distribution .....	22
I.4.3/ Modélisation du réseau.....	25
I.4.3.1/ Configuration du nouveau projet.....	25
I.4.3.2/ Tracé du réseau .....	26
I.4.3.3/ Saisie des Propriétés des Objets .....	27
I.4.3.4/ Sauvegarde du Projet .....	30
I.4.3.5/ Simulation.....	30
I.4.3.6/ Visualiser les résultats .....	33
PARTIE II : ASSAINISSEMENT .....	45
II/ SWMM.....	46
II.1/ Environnement de travail de SWMM.....	47
II.1.1/ Barre de menu .....	47
II.1.2/ Barres d'outils .....	49
II.1.3/ Barre d'état.....	50
II.1.4/ Schéma du réseau.....	51
II.1.5/ Navigateur de projet.....	52
II.1.6/ Navigateur de carte .....	53
II.1.7/ Editeur des propriétés.....	54
II.1.8/ Personnaliser SWMM .....	56
II.2/ Création de projet .....	56
II.2.1/ Définition des valeurs par défaut du projet.....	56
II.2.1.1/ Étiquettes d'identification par défaut.....	57
II.2.1.2/ Propriétés de sous-bassin par défaut .....	57
II.2.1.3/ Propriétés de nœud / Arcs par défaut .....	58
II.2.2/ Unités de mesure .....	59
II.2.3/ Conventions de décalage de liaison .....	59
II.3/ Modélisation du réseau.....	60
II.3.1/ Types d'objets.....	60
II.3.2/ Ajouter des objets.....	60
II.3.2.1/ Pluviométrie .....	60
II.3.2.2/ Sous-bassin.....	60
II.3.2.3/ Nœuds (jonctions, sorties, diviseurs de flux et unités de stockage).....	61

II.3.2.4/ Arcs (conduites, pompes, orifices, déversoirs et sorties) .....	61
II.4/ Exécuter une simulation .....	61
II.4.1/ Définition des options de simulation .....	61
II.4.1.1/ Options générales .....	61
II.4.1.2/ Options de date .....	63
II.4.1.3/ Options de pas de temps .....	63
II.4.2/ Démarrer une simulation .....	65
II.5/ Affichage des résultats .....	65
II.5.1/ Affichage d'un rapport d'état .....	66
II.5.2/ Résultats des séries chronologiques .....	66
II.5.3/ Visualisation des résultats à l'aide d'un graphique .....	67
II.5.4/ Personnalisation de l'apparence d'un graphique .....	68
II.5.5/ Visualisation des résultats à l'aide d'un tableau .....	69
II.6/ Application sur un cas d'étude .....	69
II.6.1/ Importation du plan comme Fond d'écran sous SWMM .....	71
II.6.2/ Conception du réseau sous SWMM .....	72
II.6.3/ Modélisation du réseau .....	73
II.6.3.1/ Configuration du nouveau projet .....	73
II.6.3.2/ Tracé du réseau .....	75
II.6.3.3/ Saisie des Propriétés des Objets .....	76
II.6.3.4/ Sauvegarde du Projet .....	79
II.6.3.5/ Simulation .....	79
Conclusion .....	87
Bibliographie .....	88

## **Préambule**

Le programme de formation Licence et Master des étudiants en Hydraulique est doté de modules d'initiation à certains Logiciels. Ces derniers, en relations avec leur métier d'avenir, sont devenus des outils indispensables pour une meilleure prise en charge des projets d'Hydraulique.

Ce polycopié de cours fera l'objet de la présentation des Logiciels Epanet 2.0 et SWMM 5.1. Le cours en question est dispensé aux étudiants qui préparent une Licence en Hydraulique, option Hydraulique Urbaine.

Ce cours sera un support pédagogique constitué d'explications sur l'aspect fonctionnel des deux Logiciels et d'exemples concrets sur l'étude d'un réseau d'Alimentation en Eau Potable et d'un réseau d'Assainissement. Les explications permettent aux étudiants et Ingénieurs d'augmenter leurs aptitudes et leurs compétences afin de mener à bien des études en Alimentation en Eau Potable et en Assainissement. Ce cours va permettre aux étudiants et Ingénieurs de se familiariser avec l'environnement Epanet et SWMM, de connaître les éléments constitutifs des deux Logiciels et maîtriser les différentes étapes à suivre dans le but de réaliser des études en Hydraulique. Le polycopié de cours va s'articuler autour de l'environnement des deux Logiciels.

**S. HAMCHAoui**

## **Introduction**

Le développement durable a défini dix sept objectifs pour sauver le monde. Ils répondent aux défis mondiaux auxquels nous sommes confrontés, notamment ceux liés à la pauvreté, aux inégalités, au climat, à la dégradation de l'environnement, à la prospérité, à la paix et à la justice. Le sixième objectif illustre l'importance de l'eau ; il a pour but de garantir un accès, à tous, à des services d'alimentation en eau et d'assainissement gérés d'une façon durable. En effet, l'accès à l'eau potable et à l'assainissement contribue à la vie, à l'hygiène et permet d'éviter les maladies hydriques. A cet effet, l'accès à l'eau potable et à l'assainissement est reconnu comme un droit fondamental et une nécessité absolue à la survie. Aussi, l'accès à ces deux services est un élément clé du développement humain et une condition sine qua non de développement durable et de croissance. Effectivement, l'inaccessibilité à l'eau a des conséquences sur la productivité des femmes et de la scolarisation des enfants car une partie de leur journée est consacrée à la collecte de l'eau ; ce qui les empêche de consacrer ce temps à d'autres activités.

Pour toutes ces raisons, l'accès à l'eau potable et à l'assainissement est depuis longtemps l'enjeu d'un combat mené par toutes les nations qui investissent dans la formation et dans la réalisation de projets afin de répondre à cette problématique.

Pour cela, les réseaux d'alimentation en eau potable et les réseaux d'assainissement doivent être bien conçus afin de satisfaire les besoins en eau potable des populations regroupées en villes ou villages, d'une part ; d'autre part, d'évacuer les eaux loin des populations qui permettent d'assurer une meilleure hygiène et éviter les inondations.

L'essor qu'a connu l'informatique a beaucoup épaulé les concepteurs en matière d'eau potable et d'assainissement. En effet, plusieurs Logiciels conviviaux ont vus le jour. Ils sont développés afin de subvenir aux besoins des concepteurs dans le domaine de l'Hydraulique capables de faire des modélisations et des simulations en un temps record.

Dans ce polycopié, un intérêt sera porté sur le Logiciel Epanet 2.0 en relation avec l'alimentation en eau potable et le Logiciel SWMM 5.1 en relation avec l'assainissement.

# **PARTIE I : ALIMENTATION EN EAU POTABLE**

## **Le Logiciel Epanet**

## **I/ Epanet**

Epanet est un logiciel de référence pour l'analyse et la conception de réseaux de distribution d'eau sous pression. Convivial, puissant et fiable, il est l'un des logiciels les plus utilisés pour la modélisation hydraulique des réseaux d'eau potable. Epanet est utilisé à des fins éducatives et de recherche. Plusieurs chercheurs ont exploité le logiciel afin d'analyser plusieurs questions. On citera : la simulation et la gestion des fuites ; l'utilisation de pompes à vitesse variable ; la comparaison entre les concentrations mesurées et simulées afin de prédire la propagation des désinfectants dans le système de distribution ; l'utilisation de l'application WaterNetGen en tant qu'extension du logiciel Epanet afin de générer des modèles synthétiques de réseaux de distribution d'eau ; le couplage entre SIG et Epanet ; l'évaluation de la performance technique des réseaux ; optimisation dans le remplacement des conduites, ...etc.

Epanet est développé par l'agence américaine pour la protection de l'environnement. À partir de la représentation du réseau de distribution, il permet de réaliser le balancement hydraulique du réseau par les calculs de pertes de charge, de vitesse d'écoulement, de débit dans les conduites et de pression aux nœuds. Des simulations d'injection de traceur et d'évolution de composés chimiques peuvent être réalisées. Epanet a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution. Il offre une aide à la recherche de stratégies alternatives pour gérer le réseau. Epanet fournit un environnement intégré pour l'édition de données, l'exécution des simulations et l'affichage des résultats sous plusieurs formats.

Son exploitation nécessite de l'utilisateur de capitaliser des notions fondamentales en Mécanique des fluides en particulier sur les définitions de bases (écoulement, caractéristiques physiques d'un fluide, vitesse et débit, type de mouvement, énergies spécifiques, ...etc.), les principes fondamentaux de l'écoulement permanent (équation de la continuité, équation de la conservation d'énergie, équation de la conservation de la quantité de mouvement) et le calcul des pertes de charge. Encore, des notions sur la conception et le dimensionnement des réseaux d'alimentation en eau potable. Aussi d'autres notions se rapportant à l'aspect qualitatif de l'eau.

Dans ce polycopié, on s'intéressera à l'aspect éducatif concernant l'utilisation d'Epanet. Pour cela, la modélisation d'un système de distribution d'eau sous Epanet nécessite le passage par six étapes. La première étape consiste à dessiner le réseau représentant le système de distribution. Dans la deuxième étape, toutes les propriétés des éléments du réseau doivent être saisies. La description du fonctionnement du système est effectuée dans la troisième étape. La sélection d'options de simulation est réalisée dans la quatrième étape. Le lancement de la simulation dans la cinquième étape. Dans la sixième étape, il sera question de visualiser les résultats de simulation sous plusieurs formats.

### I.1/ Environnement de travail Epanet

L'environnement de travail d'Epanet affiché dans la figure I.1 possède plusieurs éléments à savoir : Barre de Menu, Barres d'Outils, Barre d'État, Schéma du Réseau, une fenêtre de Navigateur et une fenêtre d'Éditeur des Propriétés.

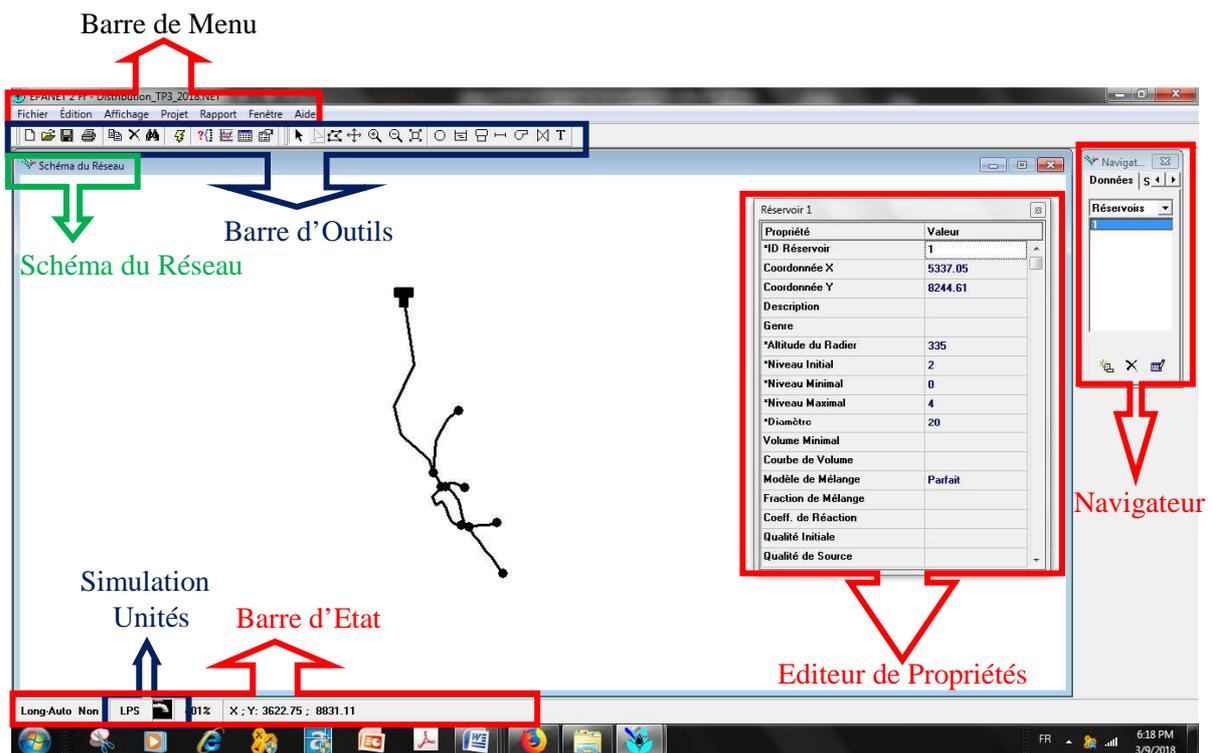


Figure I.1 : Environnement de travail d'Epanet.

#### I.1.1/ Barre de menu

La Barre de Menu est située dans la partie supérieure de l'environnement de travail d'Epanet. Elle contient un ensemble de menus utilisés pour contrôler le programme.

Elle propose les Menus : Fichier ; Édition ; Affichage ; Projet ; Rapport ; Fenêtre et Aide. Les commandes des différents menus sont récapitulées dans le tableau I.1.

*Tableau I.1 : Commandes des menus du logiciel Epanet.*

<b>Menu</b>	<b>Commande</b>	<b>Description</b>
<i>Fichier</i>	<b>Nouveau</b>	Crée un nouveau projet d'Epanet
	<b>Ouvrir</b>	Ouvre un projet existant
	<b>Enregistrer</b>	Sauvegarde le projet actuel
	<b>Enregistrer sous</b>	Sauvegarde le projet actuel en lui attribuant un nouveau nom
	<b>Importer</b>	Importe les données ou le schéma du réseau d'un autre fichier
	<b>Exporter</b>	Exporte les données ou le schéma du réseau dans un autre fichier
	<b>Mise en Page</b>	Accède aux paramètres de mise en page du document
	<b>Aperçu</b>	Affiche un aperçu de la fenêtre actuelle
	<b>Imprimer</b>	Imprime la fenêtre active
	<b>Préférences</b>	Établit les préférences pour l'environnement du travail du programme
<b>Quitter</b>	Quitte Epanet	
<i>Édition</i>	<b>Copier dans</b>	Copie le contenu de la fenêtre actuellement active dans un fichier
	<b>Sélectionner Objet</b>	Permet la sélection d'un objet sur le schéma
	<b>Sélectionner Sommet</b>	Permet la sélection des sommets intermédiaires d'un tuyau du schéma
	<b>Sélectionner Région</b>	Permet la sélection d'une région bornée sur le schéma
	<b>Sélectionner Tout</b>	Sélectionne le réseau entier
<i>Affichage</i>	<b>Éditer Groupe</b>	Permet l'édition d'une propriété des objets qui se trouvent dans la région
	<b>Dimensions</b>	Permet la modification des dimensions du schéma et des unités
	<b>Fond d'Écran</b>	Permet l'affichage d'un fond derrière le schéma
	<b>Déplacer</b>	Déplace le schéma du réseau
	<b>Approcher</b>	Permet de voir le schéma de plus près à l'aide du zoom
	<b>Éloigner</b>	Permet de voir le schéma de plus loin à l'aide du zoom
	<b>Pleine Échelle</b>	Redessine la carte à pleine échelle
	<b>Rechercher</b>	Localise un objet spécifique dans le réseau et le met au milieu de la fenêtre
	<b>Requête</b>	Cherche des éléments qui correspondent à des critères spécifiques
	<b>Vue d'Ensemble</b>	Active/Désactive la visualisation de la vue d'ensemble
	<b>Légendes</b>	Active/Désactive la visualisation des légendes et permet leur édition
<i>Projet</i>	<b>Barre d'Outils</b>	Active/Désactive la visualisation des Barres d'Outils
	<b>Options du Schéma</b>	Définit les options pour la visualisation du schéma
	<b>Résumé</b>	Fournit une description récapitulative des caractéristiques du projet
	<b>Par Défaut</b>	Édite les propriétés par défaut d'un projet
	<b>Données de Calage</b>	Déclare les fichiers contenant des données de calage
<i>Rapport</i>	<b>Options de Simulation</b>	Permet d'éditer les différentes options de simulation
	<b>Lancer la Simulation</b>	Exécute une simulation
	<b>État</b>	Rapport d'état de la simulation, s'il n'y a pas d'erreur, son contenu est vide
	<b>Énergie</b>	Affiche l'énergie consommée par chaque pompe
	<b>Calage</b>	Compare les résultats obtenus lors du calcul avec les valeurs mesurées
	<b>Réaction</b>	Affiche le taux de réaction moyen à travers le réseau
	<b>Complet</b>	Affiche un rapport complet des valeurs calculées en chaque point du réseau
<i>Fenêtre</i>	<b>Graphique</b>	Crée différents graphiques permettant de visualiser les résultats.
	<b>Tableau</b>	Crée un tableau reprenant les valeurs numériques des paramètres choisis
	<b>Options</b>	Contrôle le style de présentation des rapports
<i>Aide</i>	<b>Réorganiser</b>	Réorganise toutes les fenêtres filles sur la fenêtre principale
	<b>Fermer Tout</b>	Ferme toutes les fenêtres ouvertes (sauf le schéma et le navigateur)
	<b>Liste de fenêtres</b>	Présente une liste de toutes les fenêtres ouvertes actuellement
	<b>Sujets de l'Aide</b>	Propose une sélection de sujets de l'aide
<i>Aide</i>	<b>Unités</b>	Présente une liste de toutes les unités des paramètres qu'utilise Epanet
	<b>Nouveautés</b>	Informe sur les évolutions du logiciel Epanet
	<b>Prise en Main Rapide</b>	Propose une prise en main rapide du logiciel Epanet
	<b>À propos</b>	Affiche des informations sur la version d'Epanet utilisée

### **I.1.2/ Barres d'outils**

Les Barres d'Outils fournissent un accès rapide aux commandes les plus utilisées. Epanet dispose de la barre d'outils standard et de la barre d'outils du schéma.

**Barre d'outils standard** : elle contient des boutons pour l'accès aux commandes suivantes (Figure I.2 et Tableau I.2).



**Figure I.2** : Barre d'outils standard.

**Tableau I.2** : Explicatif de la Barre d'outils standard.

Numéro	Rôle
1	Création d'un nouveau projet
2	Ouverture d'un projet existant
3	Enregistrement en cours
4	Impression de la fenêtre active actuelle
5	Copier le contenu de la fenêtre actuellement active soit dans le presse papiers soit dans un fichier
6	Supprimer l'objet qui est sélectionné
7	Localisation d'un objet dans le réseau après recherche
8	Lancement de l'exécution de la simulation
9	Recherche d'éléments dans le réseau qui répondent à des critères bien spécifiques
10	Visualisation graphique des résultats
11	Visualisation sous forme de tableau des résultats numériques
12	Définition des options pour la visualisation du schéma, des rapports graphiques ou de tableaux

**Barre d'outils du schéma** : elle contient des boutons pour manipuler et modifier le schéma du réseau (Figure I.3 et Tableau I.3).



**Figure I.3** : Barre d'outils du schéma.

**Tableau I.3 : Explicatif de la Barre d'outils du schéma.**

Numéro	Rôle
1	La sélection d'un objet dans le schéma du réseau
2	La sélection des sommets du tracé
3	La sélection d'une région limitée
4	Le déplacement du schéma du réseau
5	Le zoom avant pour rapprocher les objets
6	Le zoom arrière pour éloigner les objets
7	Le redessinement de la carte en pleine échelle
8	L'ajout d'un Nœud de Demande au schéma du réseau
9	L'ajout d'une Bâche au schéma du réseau
10	L'ajout d'un Réservoir au schéma du réseau
11	L'ajout d'un Tuyau au schéma du réseau
12	L'ajout d'une Pompe au schéma du réseau
13	L'ajout d'une Vanne au schéma du réseau
14	L'ajout d'un Texte au schéma du réseau

### I.1.3/ Barre d'état

La Barre d'Etat se situe en bas de l'environnement de travail d'Epanet. Elle est divisée en cinq sections, qui offrent plusieurs renseignements (Figure I.4 et Tableau I.4).



**Figure I.4 : Barre d'état.**

**Tableau I.4 : Explicatif de la Barre d'état.**

Numéro	Rôle
1	Indique si le calcul automatique de la longueur des tuyaux est activé ou non.
2	Affiche les unités actuelles de débit exemple Litre Par Seconde (LPS).
3	Une icône représentant un robinet.
4	Affiche le niveau actuel du zoom. Il est à 100%.
5	Donne les coordonnées (X, Y) de la souris.

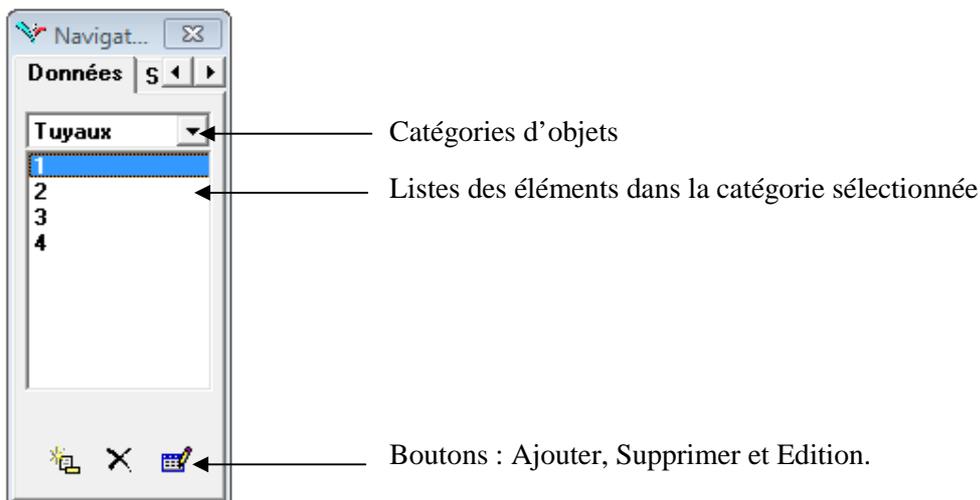
### I.1.4/ Schéma du réseau

C'est dans cet espace de travail que l'on peut schématiser en deux dimensions les éléments constitutifs du réseau d'AEP. Les propriétés sélectionnées des nœuds et des arcs, exemples la qualité de l'eau ou la vitesse, peuvent être affichées en utilisant des codes couleurs décrits dans une légende. De nouveaux éléments peuvent être ajoutés au schéma et les objets existants peuvent être modifiés, effacés ou repositionnés. Un fond d'écran peut être placé derrière le schéma du réseau comme référence. Le zoom permet de changer l'échelle et de se déplacer dans le schéma.

La taille des nœuds et des tuyaux peut être modifiée, des flèches de sens d'écoulement peuvent être créées, ainsi que des symboles représentant des objets, des étiquettes d'identification et des valeurs numériques caractérisant l'objet.

### I.1.5/ Navigateur des données

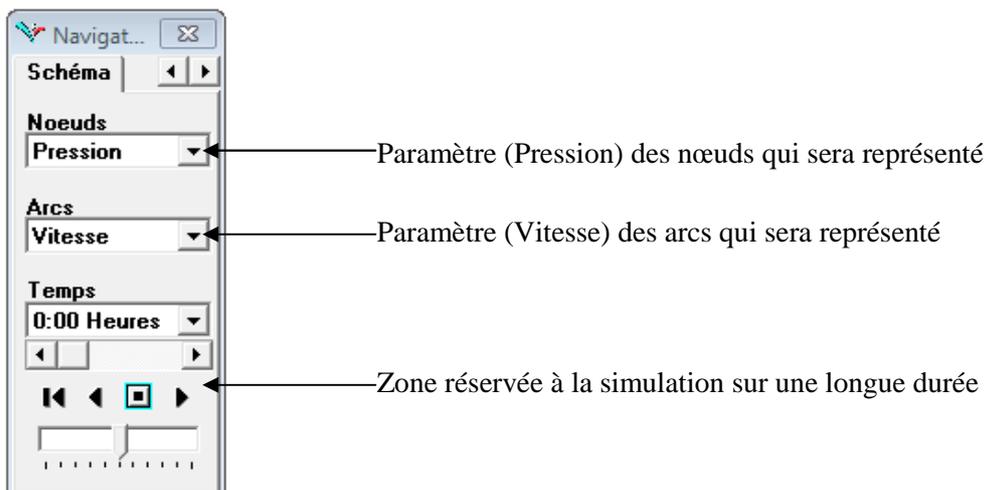
La rubrique Navigateur des Données permet l'accès aux différents objets du réseau classifiés par catégorie (nœuds de demande, tuyaux, ...etc.). Les boutons du bas de la fenêtre sont utilisés pour ajouter, supprimer ou modifier ces objets (Figure I.5).



*Figure I.5 : Navigateur de données.*

### I.1.6/ Navigateur du schéma

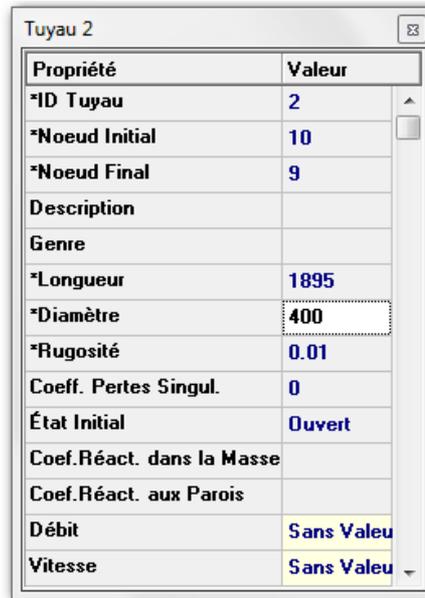
Il permet de sélectionner les paramètres représentés et l'instant auquel ils sont calculés. Il contient les boutons de contrôle pour afficher les résultats sur le schéma au moyen d'animation (Figure I.6).



*Figure I.6 : Navigateur du schéma.*

### I.1.7/ Editeur des propriétés

Il est utilisé pour éditer les propriétés des éléments constitutifs du réseau et des modalités de calcul (Figure I.7). Il s'active avec un double clic sur un des objets ou sur l'icône Editer du navigateur.



Propriété	Valeur
*ID Tuyau	2
*Noeud Initial	10
*Noeud Final	9
Description	
Genre	
*Longueur	1895
*Diamètre	400
*Rugosité	0.01
Coeff. Pertes Singul.	0
État Initial	Ouvert
Coef.Réact. dans la Masse	
Coef.Réact. aux Parois	
Débit	Sans Valeu
Vitesse	Sans Valeu

Figure I.7 : Editeur des propriétés.

### I.1.8/ Personnaliser Epanet

Il permet d'afficher certaines préférences du logiciel. Afin de parvenir, choisissez Préférences dans le menu Fichier. Il apparaît une boîte de dialogue Préférences avec deux rubriques. La première rubrique est dédiée aux Préférences Générales. La deuxième rubrique est dédiée aux Préférences Format (Figure I.8).

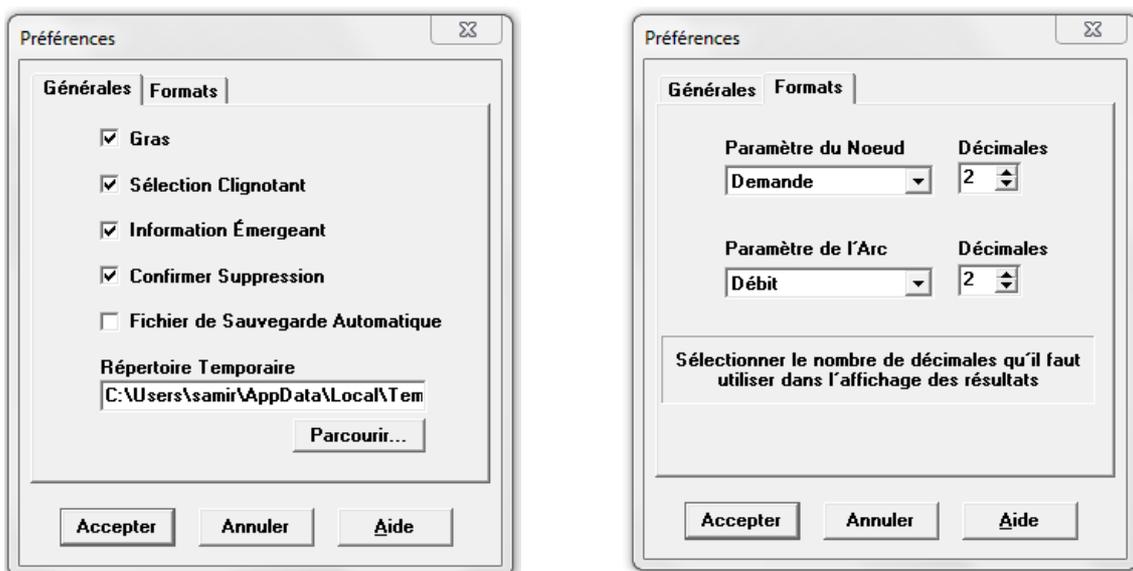


Figure I.8 : Préférence du programme.

## I.2/ Modélisation du réseau

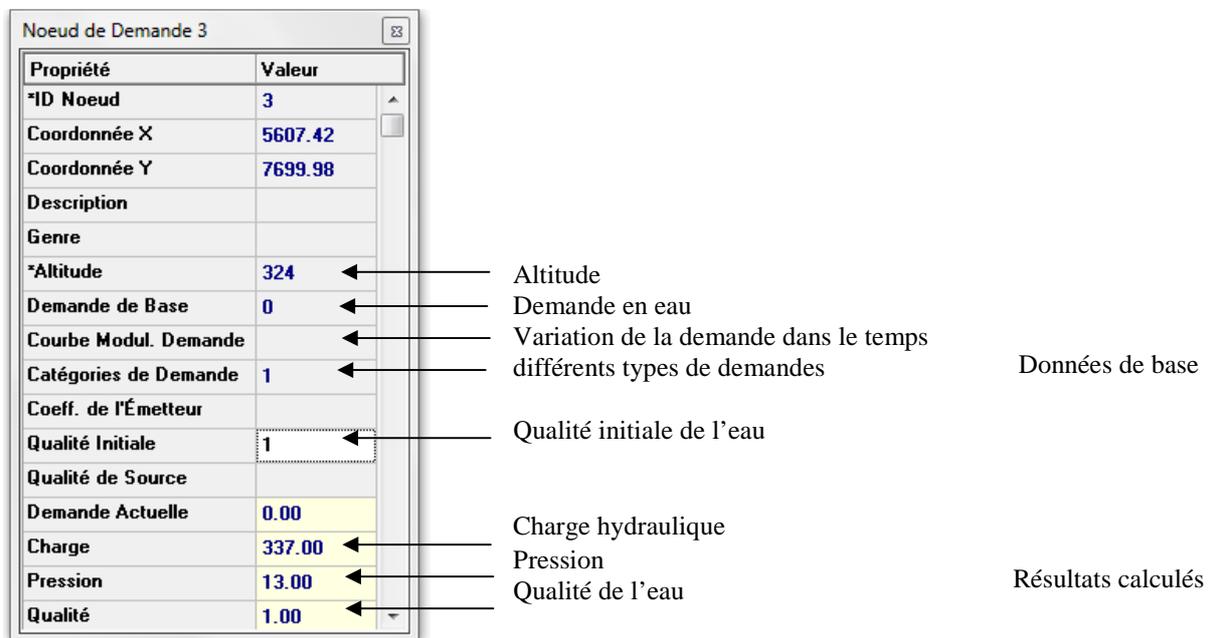
Epanet est doté de composants physiques et de composants non physiques.

### I.2.1/ Composants physiques

La modélisation d'un système de distribution d'eau se fait à travers des arcs reliés à des nœuds. Les arcs peuvent être des tuyaux, des pompes et des vannes. Les nœuds peuvent représenter des nœuds de demande, des réservoirs et des bâches.

#### I.2.1.1/ Nœuds de demande

Les Nœuds de Demande est le lieu où les arcs se rejoignent. Les données d'entrée (Données de base) et de simulations (Résultats calculés) pour les nœuds de demande sont mentionnées dans la Figure I.9 ci-après.



Propriété	Valeur	
*ID Noeud	3	
Coordonnée X	5607.42	
Coordonnée Y	7699.98	
Description		
Genre		
*Altitude	324	← Altitude
Demande de Base	0	← Demande en eau
Courbe Modul. Demande		← Variation de la demande dans le temps
Catégories de Demande	1	← différents types de demandes
Coeff. de l'Émetteur		
Qualité Initiale	1	← Qualité initiale de l'eau
Qualité de Source		
Demande Actuelle	0.00	
Charge	337.00	← Charge hydraulique
Pression	13.00	← Pression
Qualité	1.00	← Qualité de l'eau

Données de base

Résultats calculés

Figure I.9 : Editeur des propriétés du Nœud de demande.

#### I.2.1.2/ Bâches infinies

Le captage est une opération qui consiste à recueillir des eaux naturelles pour en alimenter les usagers. Cette eau peut être prélevée dans les nappes souterraines et les eaux de surface. Concernant les nappes souterraines, le puisage de l'eau s'effectue par des puits ou des forages. Par contre les eaux de surface sont soit des eaux courantes (fleuves, rivières), soit des eaux dormantes (barrages, lacs). Dans les pays bien pourvus en lacs et rivières, les municipalités recourent aux eaux de surface pour leur approvisionnement en eau. Les Bâches infinies peuvent représenter une source externe de capacité importante comme les barrages, les forages, les puits, ...etc. Les données

d'entrée (Données de base) et de simulations (Résultats calculés) pour une Bâche sont mentionnées dans la Figure I.10 ci-dessous.

Propriété	Valeur		
*ID Bâche	11		
Coordonnée X	8709.68		
Coordonnée Y	6553.48		
Description			
Genre	Forage	←	Description de la Bâche
*Charge Totale	150	←	Charge disponible
Courbe Modul. Charge			
Qualité Initiale	1	←	Qualité initiale de l'eau
Qualité de Source			
Débit Net d'Entrée	0.00		
Charge	150.00	←	Charge hydraulique
Pression	0.00	←	Pression
Qualité	1.00	←	Qualité de l'eau

Données de base

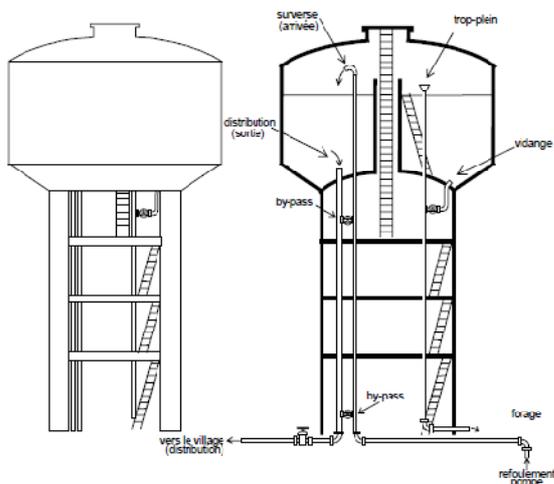
Résultats calculés

*Figure I.10 : Editeur des propriétés de la Bâche infinie.*

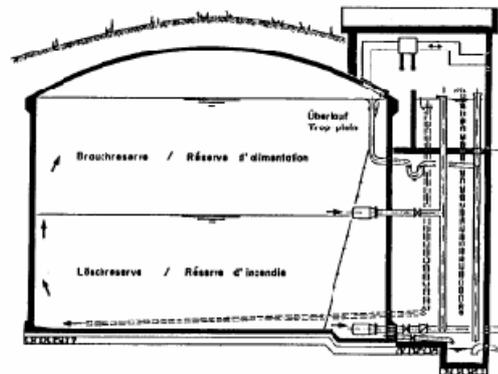
### I.2.1.3/ Réservoirs

Les Réservoirs sont des nœuds avec un volume de stockage qui peut varier au cours du temps. De ce fait, on est amené à faire plusieurs choix concernant le type de réservoir, son emplacement, sa capacité, son altitude et ses équipements. Les caractéristiques topographiques de la région ainsi que les conditions hydrauliques de la distribution seront des facteurs importants pour le choix de l'ouvrage.

La classification peut être faite sur la base de la technique de construction ou encore sur l'intégration au site soit surélevé (Figure I.11), enterré (Figure I.12) ou semi-enterré.



*Figure I.11 : Réservoir surélevé.*



*Figure I.12 : Réservoir enterré.*

Les réservoirs sont le plus souvent cylindriques. Le choix du site du réservoir est dicté essentiellement par des considérations de pression aux points d'alimentation. Il est recommandé que cette pression atteigne 10 m.c.e, et si possible 20 m. Il est souhaitable de ne pas dépasser 40 m, exceptionnellement 60 m car certains équipements ne peuvent pas supporter plus de 70 m. En alimentation urbaine, la capacité du réservoir doit être prise au minimum égale à 50 % de la plus forte consommation journalière. La réserve incendie n'est en principe pas comprise. Les données d'entrée (Données de base) et de simulations (Résultats calculés) pour les réservoirs sont mentionnées dans la Figure I.13 suivante.

Propriété	Valeur	
*ID Réservoir	1	
Coordonnée X	5337.05	
Coordonnée Y	8244.61	
Description		
Genre		
*Altitude du Radier	335	← Altitude du radier
*Niveau Initial	2	← Niveaux initial de l'eau
*Niveau Minimal	0	← Niveaux minimal de l'eau
*Niveau Maximal	4	← Niveaux maximal de l'eau
*Diamètre	20	← Diamètre
Volume Minimal		
Courbe de Volume		
Modèle de Mélange	Parfait	← Type de mélange d'eau dans le réservoir
Fraction de Mélange		
Coeff. de Réaction		
Qualité Initiale	1	← Qualité initiale de l'eau
Qualité de Source		
Débit Net d'Entrée	0.00	← Charge
Altitude Surface	337.00	← Niveau de l'eau (Pression)
Niveau	2.00	← Qualité de l'eau
Qualité	1.00	

Données de base

Résultats calculés

*Figure I.13 : Editeur des propriétés du Réservoir.*

#### **I.2.1.4/ Tuyaux**

Ils assurent le transport de l'eau depuis le point de captage jusqu'au réservoir de stockage. L'adduction peut avoir lieu avant ou après le traitement des eaux. En fonction de la position de la source d'eau, on distingue deux types d'adduction, l'adduction par refoulement et l'adduction gravitaire. Les données d'entrée (Données de base) et de simulations (Résultats calculés) pour les tuyaux sont mentionnées dans la Figure I.14 ci-après.

Propriété	Valeur		
*ID Tuyau	2		
*Noeud Initial	2		
*Noeud Final	3		
Description			
Genre			
*Longueur	1352	← Longueur	Données de base
*Diamètre	200	← Diamètre	
*Rugosité	0.01	← Rugosité	
Coeff. Pertes Singul.	0		
État Initial	Ouvert		
Coef.Réact. dans la Masse			
Coef.Réact. aux Parois			
Débit	10.00	← Débit	Résultats calculés
Vitesse	0.32	← Vitesse d'écoulement	
Perte Charge Unitaire	0.52	← Perte de charge unitaire	
Facteur de Friction	0.020		
Vitesse de Réaction	0.00		
Qualité	0.00	← Qualité moyenne de l'eau	
État	Ouvert		

**Figure I.14 :** Editeur des propriétés du Tuyau.

La perte de charge avec les parois du tuyau peut être calculée en utilisant l'une des trois formules suivantes :

Formule de Hazen-Williams (la formule la plus utilisée aux Etats-Unis).

Formule de Darcy-Weisbach (la formule la plus utilisée en Europe).

Formule de Chezy-Manning.

Chaque formule utilise l'équation suivante pour calculer la perte de charge :

$$h_L = A * q^B$$

$h_L$  est la perte de charge (en unité de longueur),  $q$  le débit (Volume/Temps),  $A$  le coefficient de résistance, et  $B$  l'exposant du débit. Le tableau I.5 donne une vue d'ensemble des expressions pour chacune des formules.

**Tableau I.5 :** Formules de perte de charge totale pour les canalisations en charge.

Formule	Perte de charge totale (A)	Exposant du débit (B)
Hazen-Williams	$10,674 * C^{-1,852} * d^{-4,871} * L$	1,852
Darcy-Weisbach	$0,0827 * f(\epsilon, d, q) * d^{-5} * L$	2
Chezy-Manning	$10,294 * n^2 * d^{-5,33} * L$	2

Avec :

- C : Coefficient de rugosité de Hazen-Williams.
- $\varepsilon$  : Coefficient de rugosité de Darcy-Weisbach.
- f : Facteur de friction en fonction de  $\varepsilon$ , d et q.
- n : Coefficient de rugosité de Manning.
- d : Diamètre du tuyau (m).
- L : Longueur du tuyau (m).
- q : Débit ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

Les pertes de charge singulières sont prises en considération en assignant au tuyau un coefficient de perte de charge singulière. Elles sont le produit de ce coefficient avec la

charge cinétique du tuyau :  $h_L = K \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$

K : coefficient de perte de charge singulière.

V : vitesse d'écoulement (distance/temps).

g : accélération de la pesanteur (distance/temps<sup>2</sup>).

#### ***1.2.1.5/ Pompes***

Les pompes sont des arcs. Les principaux paramètres d'entrée pour une pompe sont ses nœuds d'aspiration et de décharge et sa courbe caractéristique.

#### ***1.2.1.6/ Vannes***

Les vannes sont des arcs qui limitent la pression ou le débit en un point précis du réseau. Leurs principaux paramètres d'entrée sont le diamètre, la consigne de fonctionnement et l'état de la vanne. Les éléments calculés en sortie de simulation pour une vanne sont le débit et la perte de charge hydraulique.

### **1.2.2/ Composants non physiques**

Epanet utilise trois types d'objets non physiques à savoir les courbes, les courbes de modulation et les commandes de contrôle. Ils décrivent les aspects fonctionnels d'un système de distribution.

#### ***1.2.2.1/ Courbes***

Dans Epanet, il existe quatre types de courbes. Les courbes caractéristiques, les courbes de rendement, les courbes de volume et les courbes de perte de charge.

##### ***1.2.2.1.1/ Courbe caractéristique d'une pompe***

Elle représente le rapport entre la charge et le débit qu'une pompe peut fournir à sa vitesse nominale. La charge est représentée sur l'axe vertical (Y) de la courbe en

mètres. Le débit est représenté sur l'axe horizontal (X) dans les unités de débit sélectionné.

#### ***1.2.2.2/ Courbes de modulation***

Une courbe de modulation est un ensemble de multiplicateurs qui peuvent être appliqués à une valeur de base pour lui permettre d'évoluer au cours du temps.

On peut assigner des courbes de modulation à la demande d'un nœud, au niveau d'une bêche, à la vitesse de rotation d'une pompe, à la qualité de l'eau dans une source et au prix de l'énergie.

#### ***1.2.2.3/ Commandes***

Les commandes déterminent comment le réseau est géré pendant la simulation. A cet effet, deux catégories de commandes peuvent être utilisées, à savoir, les commandes simples et les commandes élaborées. Les mots-clefs des commandes sont toujours en anglais. Ces commandes peuvent par exemple, indiquer l'état d'un arc déterminé en fonction du temps, l'état des niveaux d'eau aux réservoirs, la valeur de la pression à certains points du réseau, ...etc.

### **I.3/ Modèle de simulation**

#### **I.3.1/ Hydraulique**

Le modèle de simulation hydraulique calcule l'évolution des charges hydrauliques dans les nœuds et l'écoulement dans les arcs, en fonction des niveaux initiaux des réservoirs, des variations dans le temps des niveaux des bêches et des demandes en eau aux nœuds de demande.

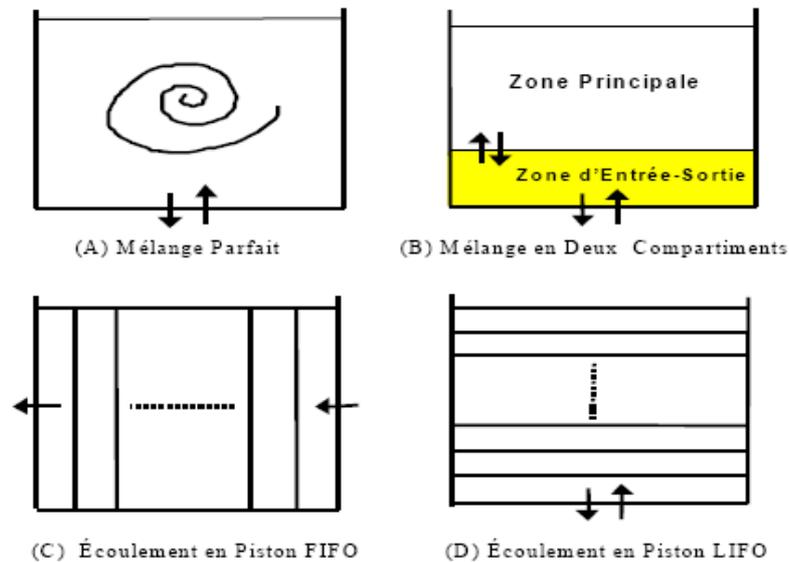
#### **I.3.2/ Qualité de l'eau**

En plus des simulations hydrauliques, Epanet peut modéliser la qualité de l'eau avec des possibilités très variées. En utilisant ces capacités, Epanet peut modéliser plusieurs phénomènes en rapport avec la qualité de l'eau, exemples : le mélange d'eau provenant de différentes sources; le temps de séjour de l'eau dans le réseau; la diminution du chlore résiduel ; la diffusion d'un polluant dans le réseau introduit en certains points ; le mélange d'eau dans les réservoirs.

##### ***1.3.2.1/ Mélange dans les réservoirs***

Epanet utilise quatre modèles différents pour caractériser le mélange dans les réservoirs. Il s'agit de modèle : Mélange parfait, Mélange en deux compartiments,

Mélange à écoulement en piston type FIFO (First Input is First Output) et Mélange à écoulement en piston type LIFO (Last Input is First Output) (Figure I.15).



**Figure I.15 :** Modèles de mélange dans un réservoir.

### ***1.3.2.2/ Réactions modifiant la qualité de l'eau***

Epanet peut suivre l'accroissement ou la décomposition d'une substance due à des réactions dans le système de distribution. Afin de pouvoir calculer celles-ci, il faut connaître la vitesse à laquelle la substance réagit et comment cette vitesse peut dépendre de la concentration de la substance. Les réactions peuvent se produire dans la masse d'eau et aux parois des tuyaux.

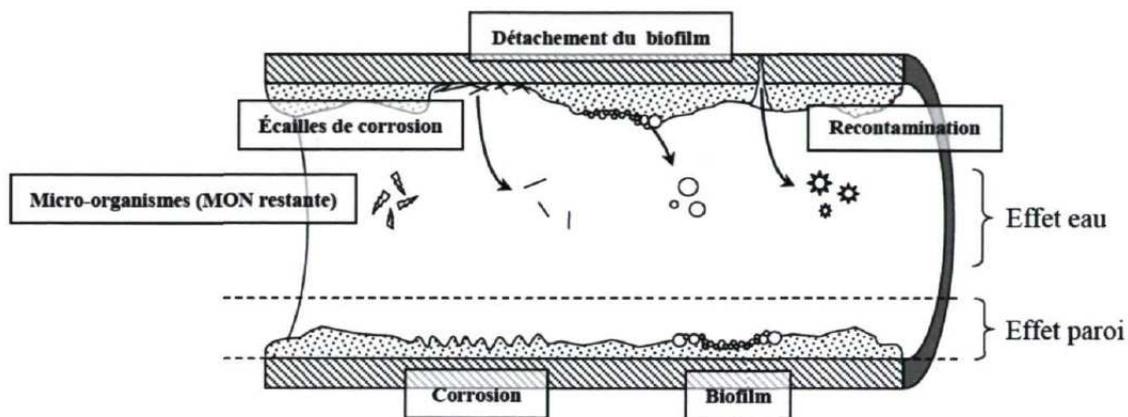
Un élément important a été pris comme exemple dans plusieurs études, il s'agit du chlore résiduel total. Le chlore est un désinfectant employé pour s'assurer de la qualité de l'eau depuis la source d'eau jusqu'au point de consommation. Le chlore, une fois introduit dans l'eau, est perdu par réaction avec des substances laissées dans l'eau après le traitement. Il permet de neutraliser de la matière qui relève particulièrement des substances organiques tel que les Bactéries et des substances inorganique tels que le fer, le manganèse ou de l'ammoniaque.

Afin de s'assurer que l'eau est suffisamment traitée dans le système de distribution entier, un excès de chlore est habituellement ajouté. La concentration de chlore diminuera avec la distance de la source, jusqu'au point où le niveau de chlore peut devenir inefficace comme désinfectant. Pour une eau potable, il est recommandé un taux de « chlore résiduel libre » minimum de 0.1 mg/l. Selon l'Organisation Mondiale

de la Santé, les niveaux de « chlore résiduel libre » au point où l'utilisateur collecte son eau doivent être compris entre 0.2 et 0.5 mg/l.

Concernant la norme Algérienne, elle fixe uniquement la concentration maximale du « chlore résiduel libre ». Cette concentration maximale est de 5 mg/l. Par contre, la concentration minimale souhaitable du « chlore résiduel libre » est de 0.1 mg/l.

En fait, la dégradation du chlore peut avoir lieu au niveau des parois en présence d'un biofilm ou bien de tubercules de corrosion qui subissent l'action oxydante du chlore. Aussi au niveau du volume principal d'eau de la conduite qui est associée aux Micro-organismes restants dans l'eau du réseau de distribution, des écailles de corrosion et le détachement du biofilm (Figure I.16).



**Figure I.16 :** Facteurs contrôlant l'effet eau et l'effet paroi.

De ce fait, la dégradation peut être caractérisée à l'aide de deux coefficients propres à chacun des deux types de dégradation. Ainsi, on considère un coefficient  $k_b$  pour la dégradation au sein du volume central représentant « l'effet eau » et un coefficient  $k_w$  représentant la dégradation au niveau des parois représentant « l'effet paroi ». Les valeurs des coefficients varient généralement de 0.01 à 0.074  $h^{-1}$  pour  $k_b$  et de 0 à 0.4  $h^{-1}$  généralement pour  $k_w$ , mais peuvent atteindre environ 1.6  $h^{-1}$  dans certains cas critiques.

### ***1.3.2.3/ Temps de séjour***

Epanet peut modéliser le temps de séjour de l'eau dans un système de distribution. Le temps de séjour de l'eau, ou âge de l'eau, est le temps passé par une particule d'eau dans le réseau. L'eau qui entre dans le réseau provenant de bâches ou de points

d'entrée d'eau a un temps de séjour égal à zéro. Le temps de séjour fournit une mesure simple et non spécifique de la qualité globale de l'eau potable livrée.

#### **I.4/ Application sur un cas d'étude**

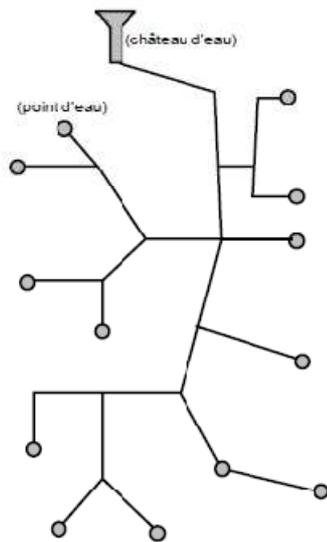
Cette partie sera consacrée à une application sur un cas d'étude. En effet, on va concevoir, dimensionner, modéliser et simuler le réseau d'alimentation en eau potable de deux villages sis à Bejaia en Kabylie. Ces deux villages seront alimentés par un forage situé au bord de la Soummam. Dans cette partie, on va expliquer les différentes étapes à suivre afin de modéliser les réseaux d'adduction et de distribution, simuler et enfin afficher les résultats obtenus.

La construction de l'ossature d'un réseau de distribution d'eau diffère d'une agglomération à une autre. Sa conception dépend de plusieurs paramètres en relation avec la trame urbanistique de l'agglomération, comme le plan de voirie, la répartition des bâtiments, la topographie, ...etc. On distingue principalement deux types de réseaux de distribution :

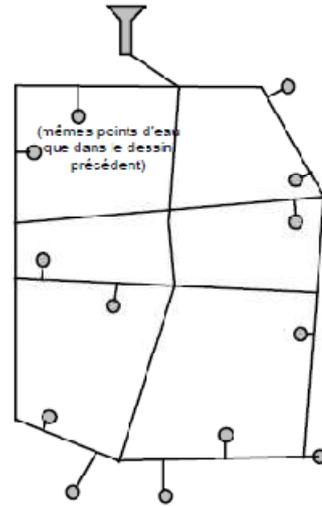
**Réseau ramifié** : cette ossature se caractérise par une alimentation à sens unique. Tout tronçon qui doit être mis hors service entraîne la mise hors service de toutes les conduites en aval (Figure I.17). Ce réseau présente l'avantage d'être économique, mais il manque de sécurité et de souplesse en cas de rupture.

**Réseau maillé** : ce type de réseau offre des avantages hydrauliques particulièrement intéressants puisqu'il permet l'alimentation en un point par plusieurs directions (Figure I.18). On peut ainsi isoler une conduite tout en maintenant l'alimentation dans les canalisations situées en aval de celle-ci réduisant ainsi au minimum la surface privée d'eau. Ce type de réseau est plus coûteux à l'installation, mais il apporte plus de sécurité en cas de rupture.

Dans notre cas, vu le relief qui est accidenté, le réseau ramifié est le plus adéquat à ce projet. En effet, on aura un réseau ramifié pour le village A et un réseau ramifié pour le village B. Concernant la partie adduction, un refoulement est nécessaire. De ce fait, l'adduction se fera par refoulement.

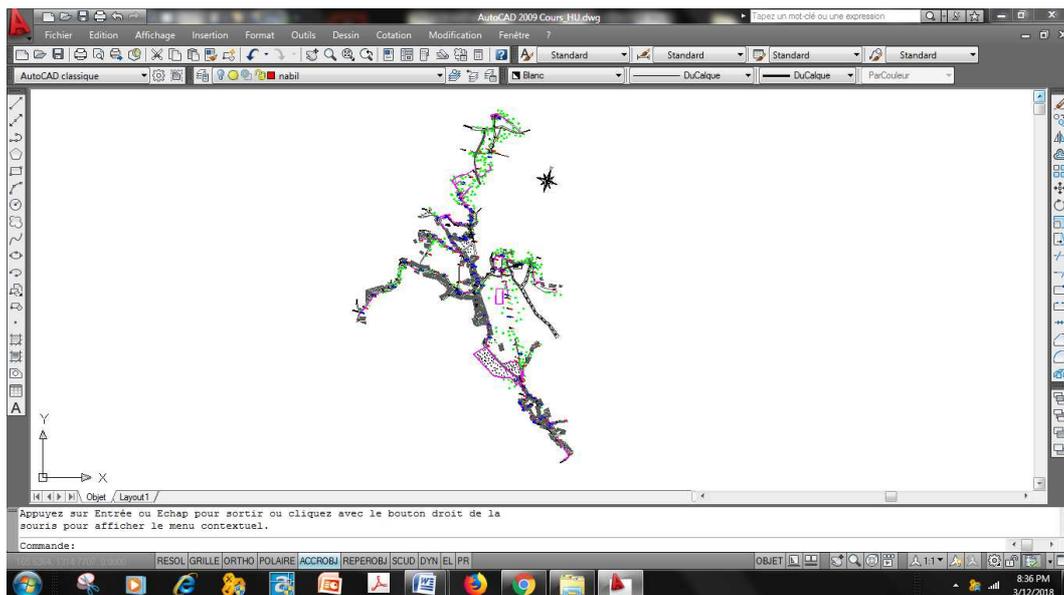


**Figure I.17 : Réseau ramifié.**



**Figure I.18 : Réseau maillé.**

L'étude des projets d'alimentation en eau potable nécessitent l'exploitation des plans topographiques et plans de masse. Concernant notre projet, le plan topographique et le plan de masse sont disponibles (Figure I.19).



**Figure I.19 : Plan de masse et topographique de la zone d'étude.**

Le plan de la figure I.19 sera exploité sous Epanet comme un arrière plan.

#### **I.4.1/ Importation du plan comme Fond d'écran sous Epanet**

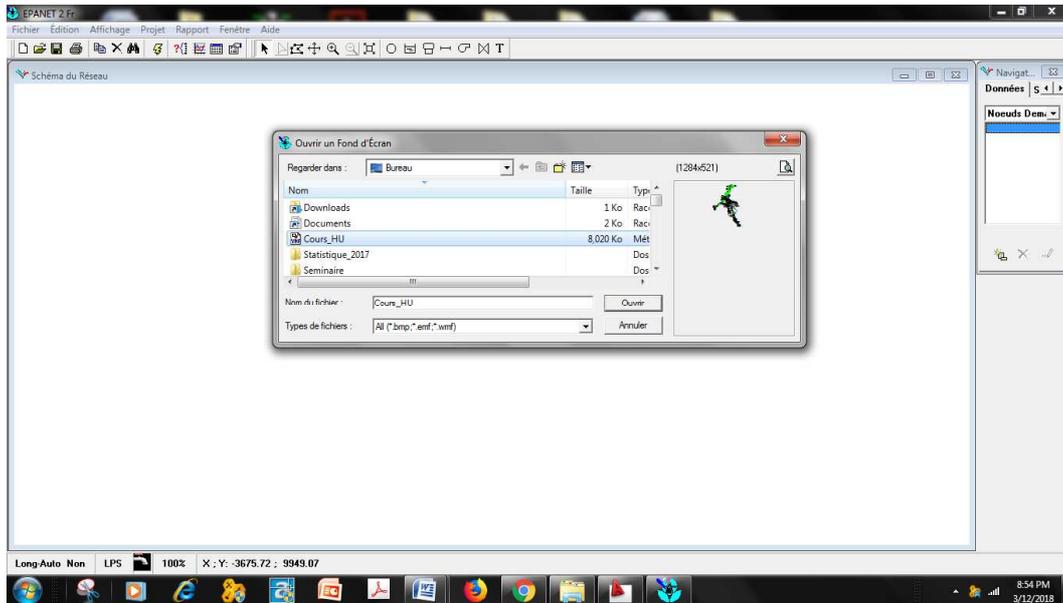
On clique sur Fichier dans la barre des menus et on sélectionne exporter.

En enregistrant le fichier sous le type Métafichier (Cours\_HU.wmf). La Figure I.20 va apparaitre dans le bureau de l'ordinateur.



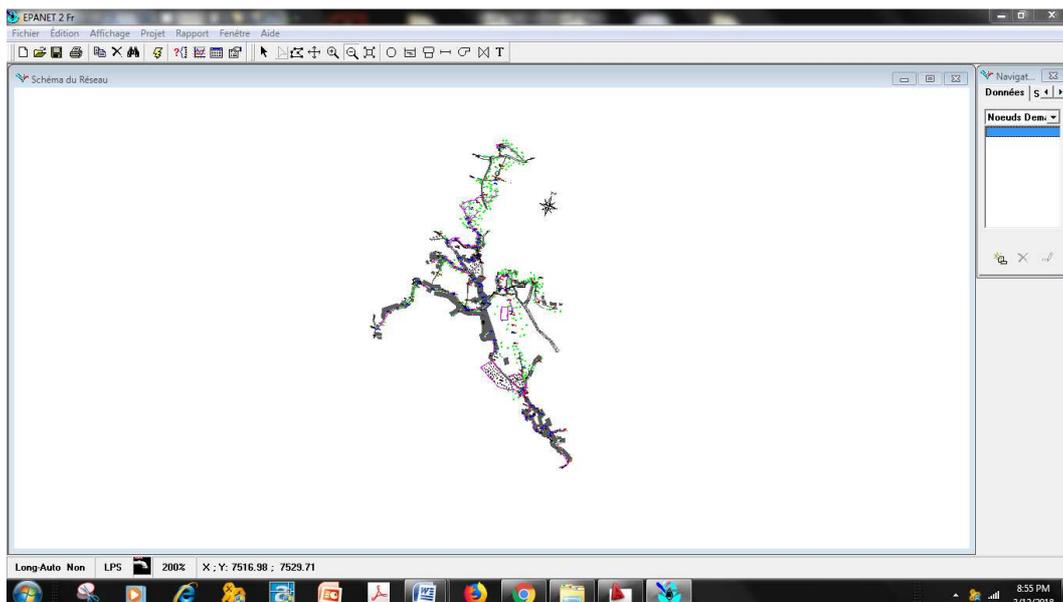
**Figure I.20 :** Icône du transfert du fichier \*.dwg vers \*.wmf.

Afin d'afficher le plan dans Epanet, on va vers Affichage – Importer – Fond d'écran. On doit par la suite vérifier l'affichage du nom du fichier (Figure I.21).



**Figure I.21 :** Importation du fichier \*.wmf vers Epanet.

Une fois le fichier sélectionné, on clique sur Ouvrir. Le plan s'affichera sous Epanet comme indiqué dans la Figure I.22.



**Figure I.22 :** Affichage du plan de masse et topographique de la zone d'étude sous Epanet.

## **I.4.2/ Traçage des différents réseaux sous Epanet**

### ***I.4.2.1/ Réseau d'adduction***

La partie adduction (Figure I.23) comporte un forage dont la charge disponible est de 130 m. L'eau sera élevée au moyen d'une pompe immergée vers le réservoir 1, de forme circulaire, situé à une altitude de 352.50 m. En outre, la pompe 1 peut débiter environ 13.95 l/s à 232.46 m.c.e de hauteur manométrique. La côte du trop plein du réservoir 1 est à 356.50 m ; sa hauteur est de 5 m et son diamètre est de 10 m. La conduite d'adduction 1 qui assure l'acheminement de l'eau du forage vers le réservoir 1 est en acier. La longueur de la conduite d'adduction est de 2604 m et son diamètre est de 150 mm.

A partir du réservoir 1, une partie de l'eau sera distribuée gravitairement vers les populations du village A et une autre quantité d'eau sera refoulée vers le réservoir 2. La pompe 2 peut débiter environ 9.5 l/s à 95.04 m.c.e de hauteur manométrique. Le réservoir 2, de forme circulaire, est situé à une altitude de 437.24 m. La côte du trop plein est à 441.24 m. La hauteur du réservoir 2 est 5 m et son diamètre est de 14 m. La conduite d'adduction 2 qui assure l'acheminement de l'eau du réservoir 1 vers le réservoir 2 est en acier, sa longueur est 534 m et son diamètre est de 125 mm.

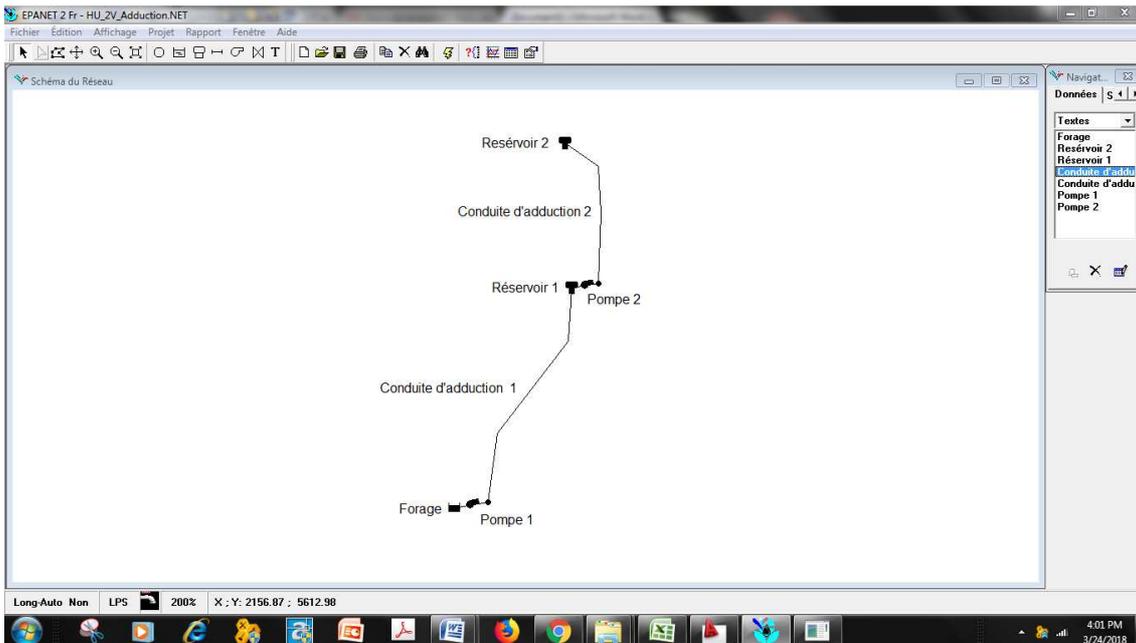
Les pompes vont fonctionner 22 heures sur 24 heures afin de faire des économies dans le coût énergétique. De ce fait, on prévoit un arrêt des pompes chaque jour de 18 heures à 20 heures.

Après avoir tracé le réseau d'adduction, on va introduire les caractéristiques des éléments qui composent le réseau d'adduction (Figure I.23).

Pour répondre à la norme exigée, il faut que les vitesses dans les conduites varient entre 0.5 et 1.5 m/s pour la distribution et peuvent atteindre 2.5 m/s pour l'adduction.

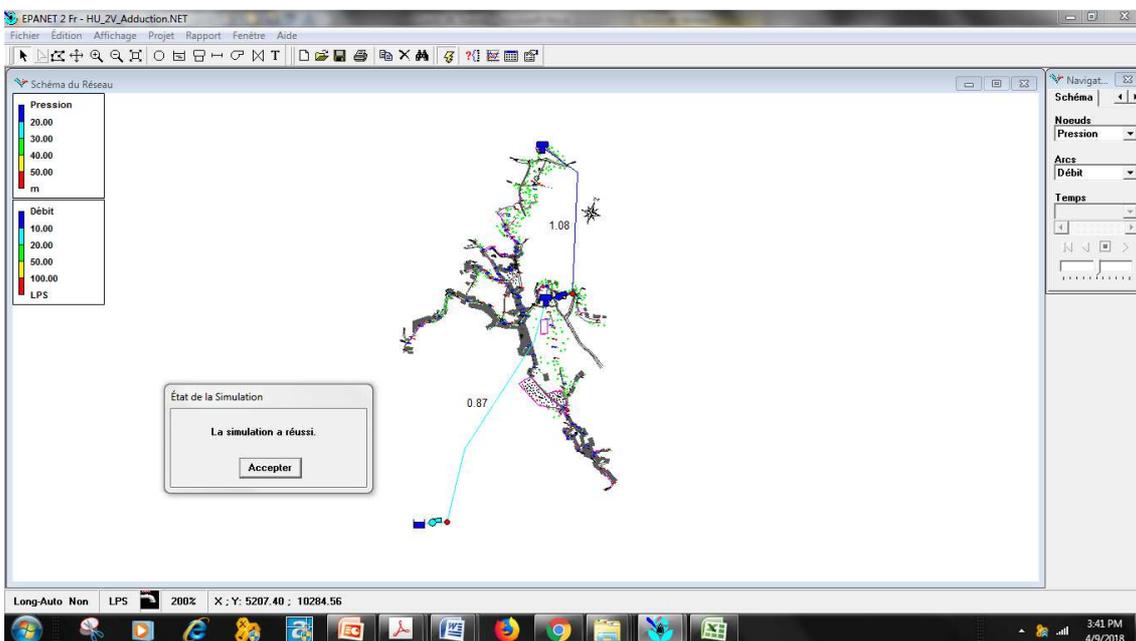
La limitation d'une vitesse minimale a pour objectif d'éviter la sédimentation de particules solides en suspension et d'éviter des temps de parcours élevés par la suite garantir des concentrations de chlore minimales.

La limitation de la vitesse maximale a pour objectif d'éviter les surpressions et les pertes de charge élevées.



**Figure I.23 :** Affichage du réseau d'adduction.

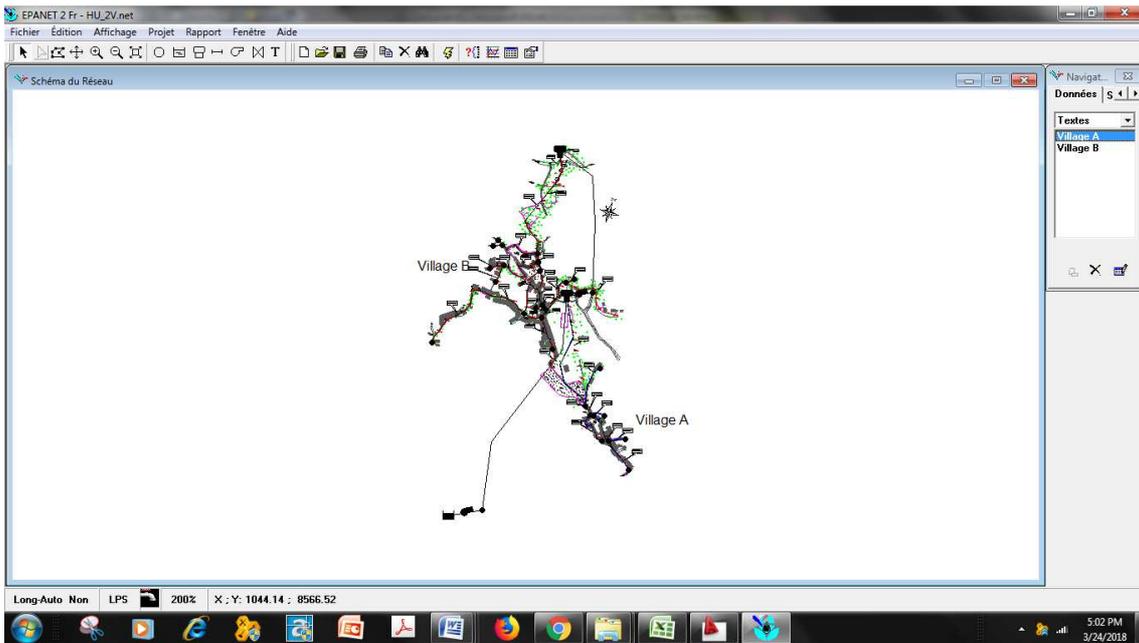
Après une première simulation, les résultats sont satisfaisants. En effet, les vitesses sont acceptables (Figure I.24), elle est de 0.87 m/s pour la conduite d'adduction 1 et 1.08 m/s pour la conduite d'adduction 2.



**Figure I.24 :** Simulation du réseau d'adduction sous Epanet.

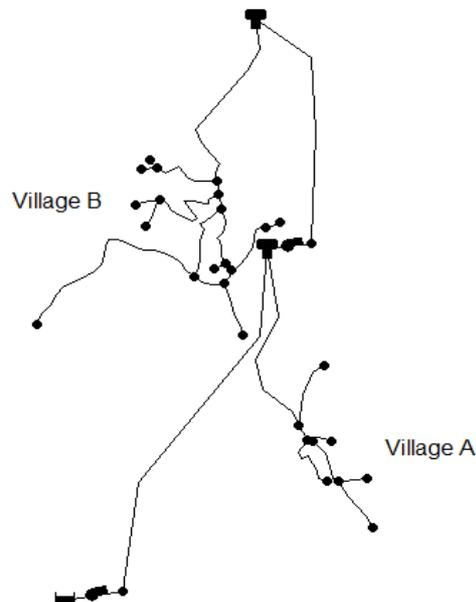
### **I.4.2.2/ Réseaux de distribution**

L'alimentation en eau potable englobe deux villages. De ce fait, on va concevoir et dimensionner deux réseaux de distribution l'un pour le village A et l'autre pour le village B (Figure I.25).



**Figure I.25 :** *Tracé des réseaux de distribution sous Epanet.*

En enlevant le fond d'écran, on aura les réseaux de distribution représentés dans la Figure I.26.



**Figure I.26 :** *Tracé du réseau d'alimentation en eau potable des deux villages.*

La partie distribution est composée de deux réseaux. L'ossature des deux réseaux sera ramifiée en PEHD PN 10. Les diamètres extérieurs disponibles en millimètre sont : 20, 25, 40, 50, 63, 75, 90, 110, 125, 160, 200, 250, ...etc.

#### ***I.4.2.2.1/ Dimensionnement des réseaux de distribution***

Le dimensionnement nécessite la collecte d'un ensemble de données indispensables. Ce travail nécessite la consultation des services techniques de la commune afin de définir le nombre d'habitants à alimenter et la dotation à prendre en considération. En plus, la consultation du Plan Directeur de l'Aménagement et de l'Urbanisme s'avère important.

L'accomplissement du travail de terrain à permis de définir le nombre de ménage à alimenter pour chaque tronçon. Le débit de consommation journalier de pointe du village A est estimé à 10.43 l/s et le débit de consommation journalier de pointe du village B est estimé à 32.27 l/s.

Le réseau de distribution du village A comporte un ensemble de nœuds et d'arcs dont les caractéristiques sont mentionnées dans le Tableau I.6.

***Tableau I.6 : Caractéristiques du réseau de distribution du village A.***

<b>Tronçons</b>	<b>Côte nœuds avals (m)</b>	<b>Longueur des tronçons (m)</b>	<b>Nombre ménage</b>	<b>Débit nœuds aval (l/s)</b>	<b>Débit tronçon (l/s)</b>	<b>Diamètre Ext commercial (mm) Après simulation</b>
R1-N1	324.59	496.47	00	0,00	10,43	110
N1-N2	302.71	185.84	04	0,48	0,48	40
N1-N3	321.46	042.16	01	0,12	9,95	110
N3-N4	315.25	163.84	20	2,40	1,71	63
N3-N5	319.32	011.41	03	0,36	7,43	90
N5-N6	313.10	056.55	04	0,48	0,34	40
N5-N7	309.33	125.89	17	2,04	6,59	90
N7-N8	289.66	074.35	07	0,84	0,6	40
N7-N9	286.97	147.30	31	3,72	2,65	63
<b>Total</b>		<b>1303.81</b>	<b>87</b>			

Le réseau de distribution du village B comporte un ensemble de nœuds et d'arcs dont les caractéristiques sont mentionnées dans le Tableau I.7.

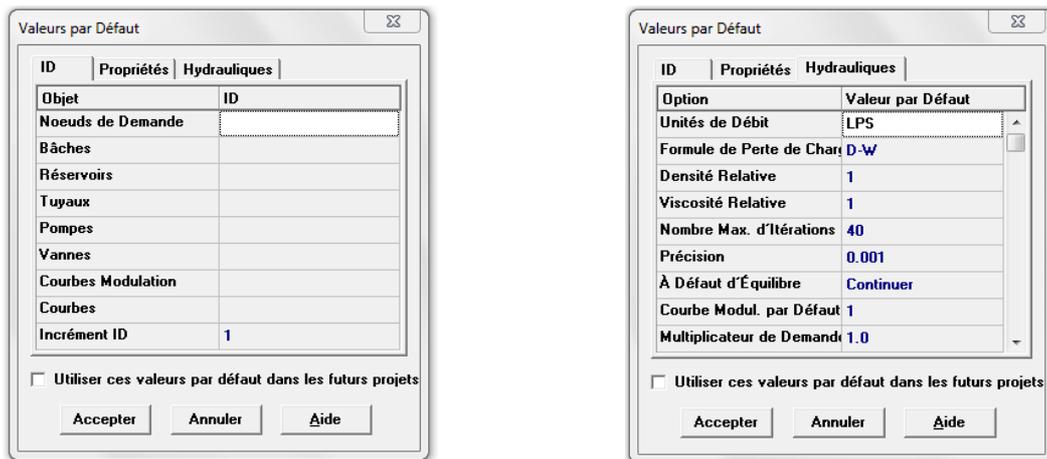
**Tableau I.7 : Caractéristiques du réseau de distribution du village B.**

Tronçons	Côte nœuds avals (m)	Longueur des tronçons (m)	Nombre ménage	Débit nœuds aval (l/s)	Débit tronçon (l/s)	Diamètre Ext commercial (mm) Après simulation
R2-N1	405.65	483.87	25	3,19	32,27	200
N1-N2	409.60	164.92	10	1,28	2,30	63
N2-N3	413.31	025.51	05	0,64	0,64	40
N2-N4	408.21	042.83	03	0,38	0,38	40
N1-N5	401.45	029.37	04	0,51	26,79	200
N5-N6	385.98	256.34	20	2,55	3,57	75
N6-N7	386.71	061.63	02	0,26	0,26	40
N6-N8	375.96	082.09	06	0,77	0,77	40
N5-N9	397.51	034.71	03	0,38	22,70	160
N9-N10	374.44	154.12	18	2,30	5,99	90
N10-N11	376.06	032.16	20	2,55	2,55	63
N10-N12	370.10	021.32	09	1,15	1,15	40
N9-N13	364.00	212.18	16	2,04	16,33	160
N13-N14	343.13	531.32	30	3,83	3,83	90
N13-N15	366.57	076.17	12	1,53	10,46	125
N15-N16	358.98	183.49	16	2,04	2,55	75
N16-N17	364.49	038.26	04	0,51	0,51	40
N15-N18	346.81	221.14	50	6,38	6,38	110
<b>Total</b>		<b>2651.42</b>	<b>253</b>			

### **I.4.3/ Modélisation du réseau**

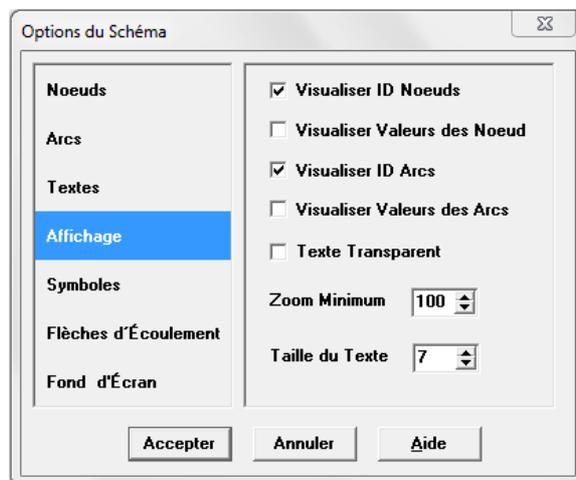
#### ***I.4.3.1/ Configuration du nouveau projet***

Elle s'effectue en exécutant les étapes suivantes. En démarrant Epanet, on va choisir le Menu Fichier. Par la suite, on clique sur Nouveau pour la création du nouveau projet. En sélectionnant Projet - Par Défaut, la boîte de dialogue présentée dans la Figure I.27 va s'ouvrir. C'est à travers cette fenêtre de dialogue que l'on peut numéroté les nouveaux objets. La numérotation va se faire d'une manière automatique c-à-d avec des nombres consécutifs en amorçant par le chiffre 1. En effet, sous la rubrique Étiquettes d'Identification (ID) de la boîte de dialogue, on inscrit le chiffre 1 comme Incrément ID, d'une part. D'autre part, dans la rubrique Hydraulique, on va sélectionner les unités de débit. Dans notre cas, le choix s'est porté sur le litre par seconde (LPS) comme unité de débit. Le choix de cette unité implique que ce sont les unités métriques SI qui seront utilisées pour les autres paramètres : longueurs en mètres, diamètres en millimètres, pressions en mètres,...etc. Dans la même rubrique Hydraulique, la formule de perte de charge pourra être sélectionnée. Dans notre cas, le choix de la formule de calcul des Pertes de Charge s'est porté sur la formule de Darcy-Weisbach (D-W). On valide les choix en cliquant sur Accepter.



*Figure I.27 : Boite de dialogue Valeurs par défaut du projet.*

L'affichage est d'une importance cruciale dans la lisibilité des objets et des chiffres. De ce fait, plusieurs options d'affichage du schéma peuvent être sélectionnées. Pour accéder, on sélectionne Affichage - Options du Schéma dans le menu principal pour visualiser la boîte de dialogue Options du Schéma. Par la suite, on sélectionne la rubrique Affichage et on coche les cases comme représentées dans la Figure I.28.



*Figure I.28 : Boite de dialogue Options du Schéma.*

Dans l'exemple de la Figure I.28, on a sélectionné l'affichage des identificateurs des nœuds et des arcs.

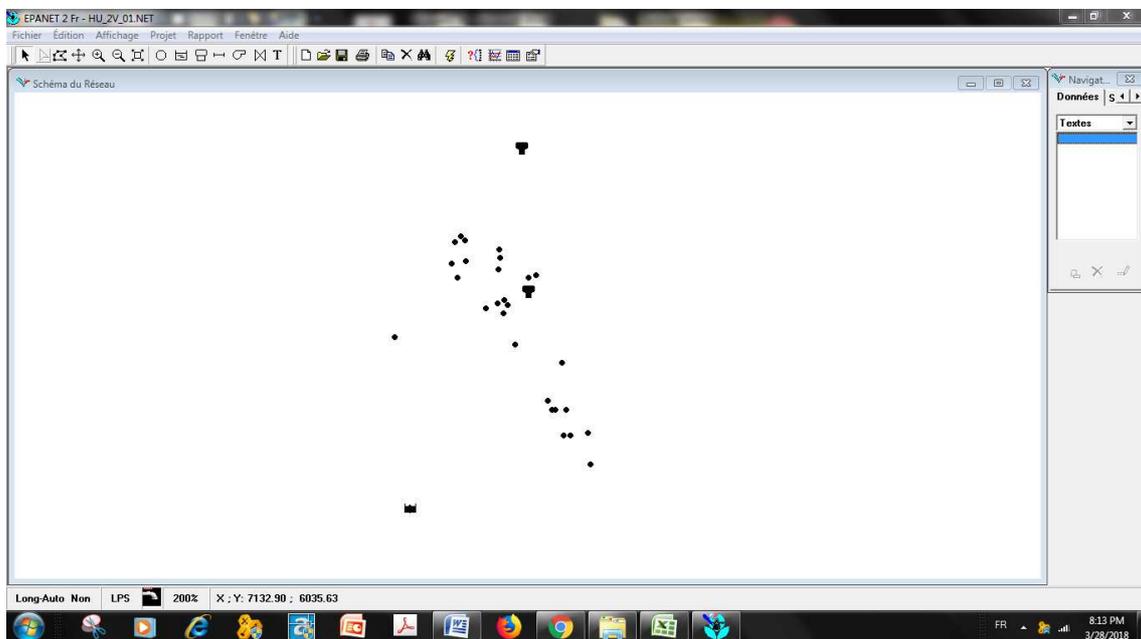
### ***1.4.3.2/ Tracé du réseau***

Afin de tracer les réseaux de distribution, on va exploiter la barre d'outil Schéma.

Dans la première étape, on va placer les nœuds des réseaux de distribution. Tout d'abord, on va positionner la Bâche infinie qui représente le forage. Pour y parvenir, on clique sur le bouton Ajouter Bâche 

Ensuite, on va ajouter les nœuds de demande  et indiquer la position des nœuds. Au total, il existe 9 nœuds dans le village A et 17 nœuds dans le village B.

On ajoute les deux réservoirs en cliquant sur le bouton Ajouter Réservoir . Le schéma du réseau du village A pourrait alors ressembler à la Figure I.29.



*Figure I.29 : Schéma du réseau après ajout des nœuds.*

Dans la deuxième étape, on va ajouter les arcs. On commence par les tuyaux en cliquant sur le bouton Ajouter Tuyau  dans la Barre d'Outils et on répète l'opération pour tous les tuyaux. Au total, on va créer 09 tuyaux dans le village A et 18 tuyaux dans le village B. Par la suite, on va ajouter deux pompes. Pour cela, on clique sur le bouton Ajouter Pompe .

Dans la troisième étape, on va nommer les objets sur le schéma du réseau. Pour cela, on va sélectionner le bouton Ajouter Texte . Cette étape permet d'ajouter les noms de certains objets tels que la bâche, les réservoirs, les pompes et les réseaux.

Le schéma du réseau va ressembler à celui de la Figure I.26.

#### ***1.4.3.3/ Saisie des Propriétés des Objets***

On va assigner à chaque élément un ensemble de propriétés ceci en affichant l'Éditeur de Propriétés. Pour cela, il existe plusieurs manières d'y parvenir. Si l'éditeur est déjà visible, on peut cliquer sur l'objet ou le sélectionner dans le Navigateur des Données. Si l'éditeur n'est pas visible, on peut le faire apparaître soit en Double-cliquant sur l'objet dans le schéma soit en cliquant sur l'objet avec le bouton droit de la souris et

choisir Propriétés dans le menu contextuel qui apparaît soit en sélectionnant l'objet dans le Navigateur des Données.

On va maintenant introduire les propriétés des éléments en commençant par les nœuds. On va saisir l'Altitude et la Demande de Base pour les nœuds aval (Tableau I.6 et Tableau I.7) dans les champs appropriés.

La Figure I.30 est un exemple d'édition de propriétés. Dans ce cas, il s'agit d'édition de propriétés du nœud de demande 3 du village A.

Propriété	Valeur
*ID Noeud	3
Coordonnée X	5607.42
Coordonnée Y	7699.98
Description	
Genre	
*Altitude	324
Demande de Base	0
Courbe Modul. Demande	
Catégories de Demande	1
Coeff. de l'Émetteur	
Qualité Initiale	
Qualité de Source	
Demande Actuelle	Sans Valeur
Charge	Sans Valeur
Pression	Sans Valeur
Qualité	Sans Valeur

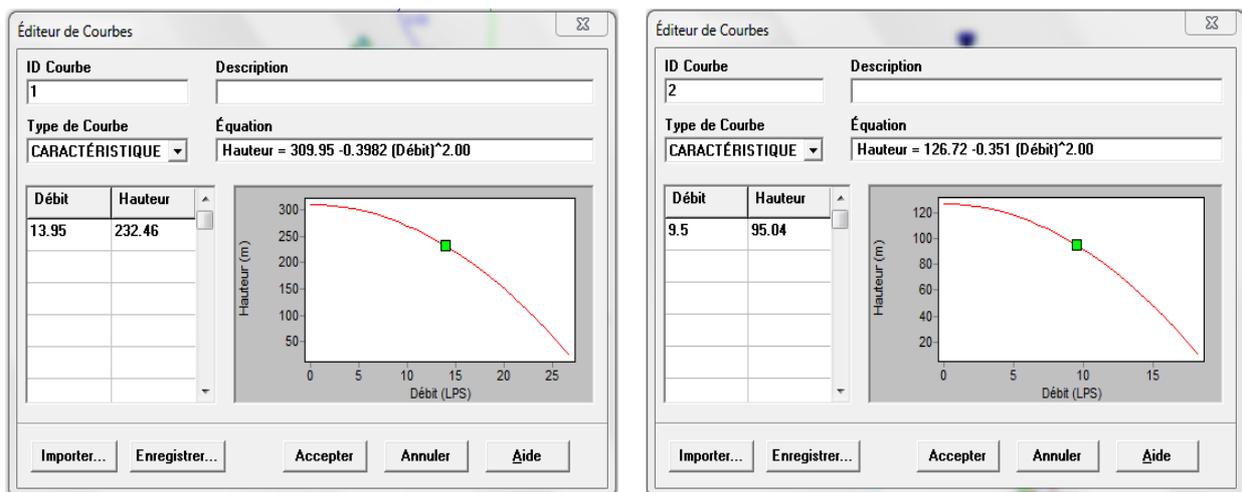
**Figure I.30:** Exemple d'édition des propriétés du nœud de demande 3 du village A.

Pour la Bâche, on va saisir la charge disponible qui est de 130 m ceci dans le champ de Charge Totale.

Pour le réservoir 1, on va introduire sa côte radié qui est à une hauteur de 352.50 m, le Niveau Initial à 1 m, le Niveau Minimal 0 m, le Niveau Maximal 5 m et le Diamètre 10 m. Pour le réservoir 2, on va introduire sa côte radié qui est à une hauteur de 437.24 m, le Niveau Initial à 1 m, le Niveau Minimal 0 m, le Niveau Maximal 5 m et le Diamètre 14 m. Le dimensionnement des réservoirs est calculé sur la base de la consommation journalière de chaque village.

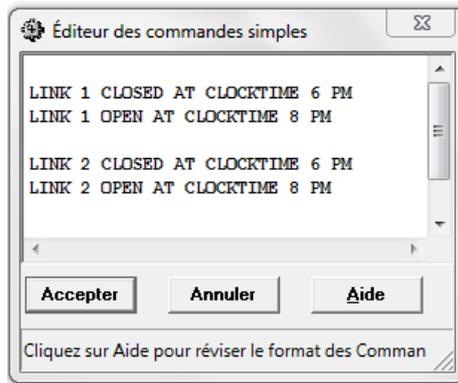
Une fois les nœuds achevés, on passe aux arcs. Dans cet exemple les arcs sont représentés par les conduites et les pompes. En commençant par les tuyaux, de la même façon, on clique sur chacun des tuyaux pour faire apparaître ses propriétés dans l'Éditeur des Propriétés. On va introduire la Longueur, le Diamètre et la Rugosité.

Concernant les pompes, on va leur associer des courbes caractéristiques. Pour cela, on va sélectionner la pompe dans l'éditeur des propriétés et lui assigner l'étiquette d'identification 1 dans le champ de Courbe Caractéristique pour la Pompe 1 et assigner l'étiquette d'identification 2 dans le champ de Courbe Caractéristique pour la Pompe 2. Ensuite on va créer les courbes caractéristiques des pompes 1 et 2. Pour y parvenir, on va sélectionner Courbes dans le menu déroulant du Navigateur des Données. Cliquer sur le bouton Ajouter . La fenêtre de l'Éditeur de Courbe apparaît. Dans cette fenêtre, on va introduire le Débit de 13.95 l/s et la Hauteur Nominale de 232.46 m.c.e de la pompe 1 et introduire le Débit de 9.5 l/s et la Hauteur Nominale de 95.04 m.c.e de la pompe 2. Les courbes caractéristiques seront créées automatiquement à partir d'un seul point. L'équation de la courbe caractéristique et sa forme graphique sont représentées dans la même fenêtre (Figure I.31).



**Figure I.31** : Edition des courbes caractéristiques des pompes 1 et 2.

Pour intégrer la période de fonctionnement des pompes qui est de 22 heures par jour, on va ajouter une commande. Dans le navigateur, on sélectionne commande. En choisissant une commande simple, la fenêtre de dialogue en relation avec la commande s'affiche. On écrit alors la commande voulue. La commande est affichée dans la Figure I.32.



**Figure I.32 :** *Commandes simples pour la période de fonctionnement des pompes 1 et 2.*  
 Dans cette commande, on a demandé à Epanet de fermer (CLOSED) les pompes 1 et 2 à 6 heures de l'après midi (PM) et de les ouvrir (OPEN) à 8 heures de l'après midi (PM), ceci quotidiennement (CLOCKTIME).

#### ***1.4.3.4/ Sauvegarde du Projet***

Il est important de sauvegarder le projet dans un fichier. Pour cela, on clique sur le menu **Fichier** puis choisir **Enregistrer Sous**. Une boîte de dialogue va apparaître avec le titre **Enregistrer le Projet Sous**. On va choisir un répertoire et un nom de fichier. On clique sur **Accepter** pour enregistrer le projet. L'extension (**.net**) sera ajoutée au nom de fichier par défaut.

Les données du projet sont enregistrées dans le fichier. Si on souhaite enregistrer les données du réseau au format texte, on utilise **Fichier - Exporter - Réseau**.

#### ***1.4.3.5/ Simulation***

##### ***1.4.3.5.1/ Simulation sur l'aspect hydraulique***

##### ***1.4.3.5.1.1/ Simulation à écoulement Permanent***

On va maintenant exécuter une simulation sur l'aspect hydraulique. On suppose que l'écoulement est permanent sur notre modèle. Pour exécuter la simulation, on va choisir **Projet - Lancer la simulation** ou cliquez sur le bouton **lancer la simulation** de la barre standard. 

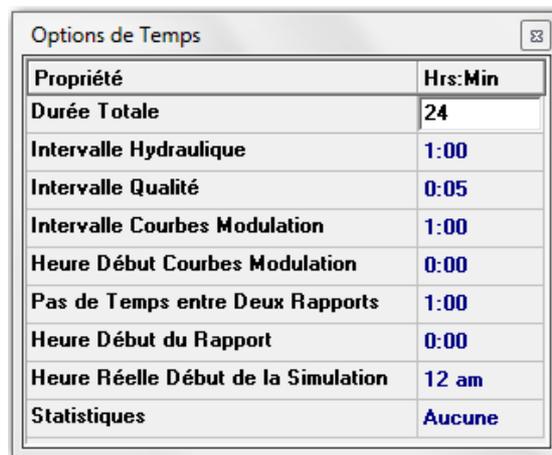
Deux messages peuvent apparaitre. Simulation a échoué c-à-d le calcul n'a pas réussi et un rapport d'état sera donné précisant les anomalies détectées. Simulation réussie, le calcul a été effectué avec succès.

##### ***1.4.3.5.1.2/ Simulation de longue durée***

Pour avoir une simulation sur une longue période, on doit créer une Courbe de Modulation de la consommation. Cette courbe va dépendre du régime de

consommation de la région étudiée. La courbe de Modulation permet de préciser les variations de la demande aux nœuds au cours de la journée. Cette demande change périodiquement pendant la journée. Elle entraîne aussi la variation du niveau d'eau dans le réservoir pendant la journée.

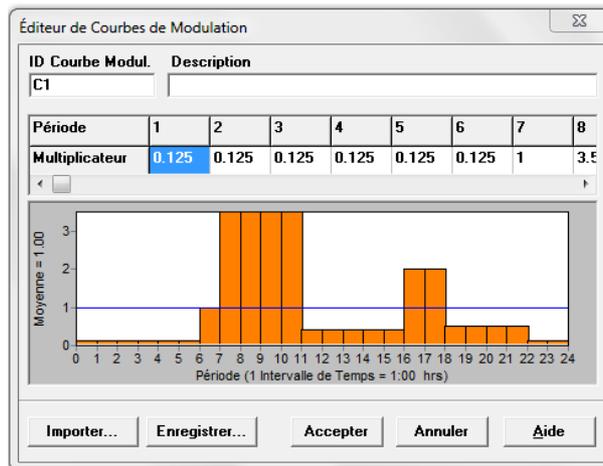
Dans ce projet, on va prendre un pas de temps de 01 heure et une demande en eau changeant 24 fois dans une même journée. Afin de fixer la durée de l'intervalle, on sélectionne Options puis Temps dans le Navigateur des Données. On clique sur le bouton Édition du navigateur pour faire apparaître l'Éditeur des Propriétés. On va saisir 1 comme valeur d'Intervalle des Courbes de Modulation (Figure I.33) et on va fixer la durée totale de la période de la simulation qui sera de 24 heures.



Propriété	Hrs:Min
Durée Totale	24
Intervalle Hydraulique	1:00
Intervalle Qualité	0:05
Intervalle Courbes Modulation	1:00
Heure Début Courbes Modulation	0:00
Pas de Temps entre Deux Rapports	1:00
Heure Début du Rapport	0:00
Heure Réelle Début de la Simulation	12 am
Statistiques	Aucune

*Figure I.33 : Ajustement des paramètres temporels.*

Pour la création de la courbe de modulation de la demande, on sélectionne Courbes Modulation dans le navigateur. Une nouvelle courbe de modulation, portant l'Identification C1 sera créée et la boîte de dialogue s'ouvre. On va introduire les multiplicateurs : 0.125 – 0.125 – 0.125 – 0.125 – 0.125 – 0.125 – 1 – 3.50 – 3.50 – 3.50 – 3.50 – 0.40 – 0.40 – 0.40 – 0.40 – 0.40 – 2 – 2 – 0.50 – 0.50 – 0.50 – 0.50 – 0.125 – 0.125, pour une durée de 24 heures. On va Cliquer sur Accepter pour fermer l'éditeur. Les multiplicateurs sont les valeurs avec lesquelles il faut multiplier la demande moyenne de base pour obtenir la demande dans chaque période (Figure I.34).



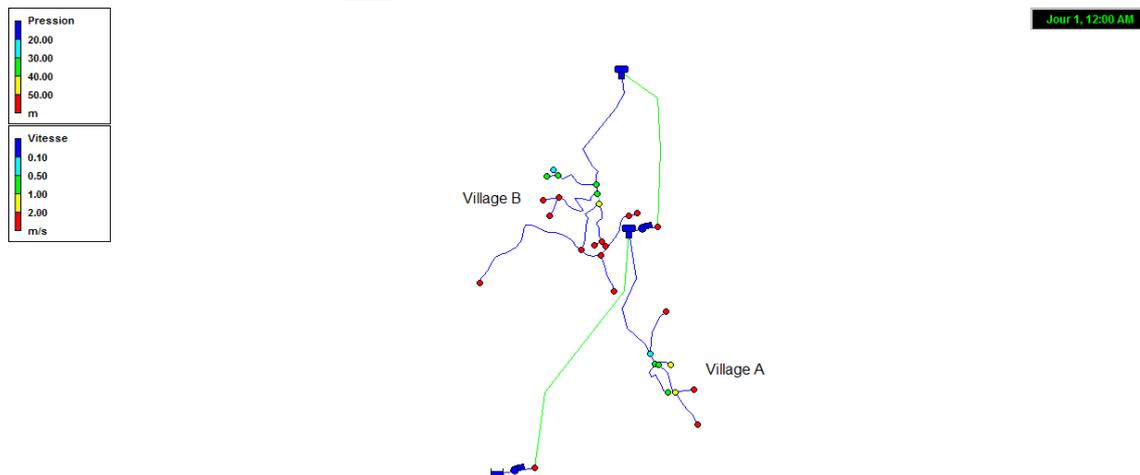
**Figure I.34 :** Editeur de courbes de modulation de la demande d'une zone rurale.

Les multiplicateurs correspondent aux variations horaires de consommation dans le cas d'une petite agglomération.

Dans notre cas, la demande en eau moyenne du village A est de 2.98 l/s et la demande en eau moyenne du village B est de 9.22 l/s.

En supposant une variation de consommation identique à tous les nœuds des deux villages, on va assigner la courbe de modulation C1 à tous les nœuds de demande des réseaux de distribution.

Pour terminer, on enregistre puis on exécute la simulation en lançant la Simulation ou en cliquant sur le bouton  de la barre d'outils standard (Figure I.35).



**Figure I.35 :** Résultats de simulation sur l'aspect hydraulique du modèle.

Après simulation, on doit vérifier les conditions de vitesses et de pression. Dans le cas d'une simulation sur une longue période, on aura trois paliers différents :

- Distribution pendant les heures creuses : on constate une forte pressions et les vitesses sont faibles.
- Distribution pendant les heures moyennes : on constate une répartition des débits.
- Distribution pendant les heures de pointes : on constate des faibles pressions et des fortes vitesses.

#### ***1.4.3.5.2/ Simulation sur l'aspect Qualité***

Afin de simuler la qualité de l'eau, on va prendre le chlore comme exemple. On va simuler le transport et la consommation du chlore dans les réseaux de distribution.

Pour commencer, on va sélectionner Options - Qualité dans le Navigateur des Données. On ouvre l'éditeur des propriétés correspondant. Dans le champ Paramètre, on tape le mot Chlore.

On affiche maintenant la fenêtre Options - Réactions dans le Navigateur des Données. Pour le coefficient de réaction dans la masse d'eau on saisi  $-0.5 \text{ h}^{-1}$  et pour le coefficient de réaction dans la paroi  $-1 \text{ h}^{-1}$ . Cette vitesse sera la même dans tous les tuyaux du réseau (Figure I.36).

Propriété	Valeur
Paramètre	Chlore
Unités de Masse	mg/l
Diffusivité Relative	1
Noeud de Dépistage	
Tolérance de Qualité	0.01

Propriété	Valeur
Ordre Réaction Masse	1
Ordre Réaction Parois	Un
Coeff. Global Réact. dans la Masse	-0.5
Coeff. Global Réact. aux Parois	-1
Concentration Limite	0
Coeff. Correlation Parois	0

**Figure I.36 :** Option qualité et Option de Réaction (Chlore).

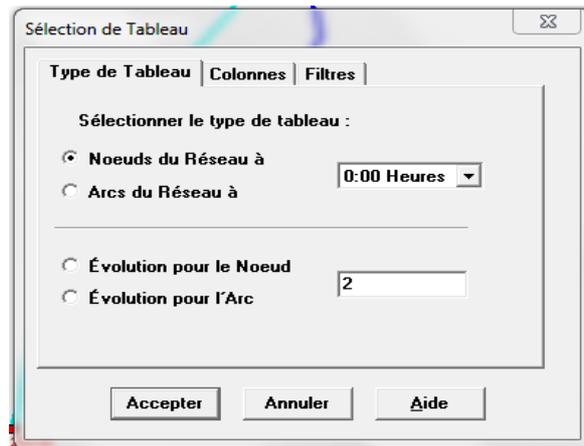
Cliquez maintenant sur le nœud de la Bâche et introduisez 1 (1 mg/l) comme Qualité Initiale. Ceci représente la concentration de chlore qui entre dans le réseau de manière continue.

#### ***1.4.3.6/ Visualiser les résultats***

Les résultats peuvent être visualisés soit sous forme de tableau ou de graphe. On a le choix entre la barre de menu en sélectionnant **Rapport – Tableau (Graphe)** et la barre d'outils standard.

##### ***1.4.3.6.1/ Création de tableau***

Le choix des nœuds ou des arcs se fait à travers la fenêtre affichée dans la Figure I.37.



*Figure I.37 : Sélection de tableau.*

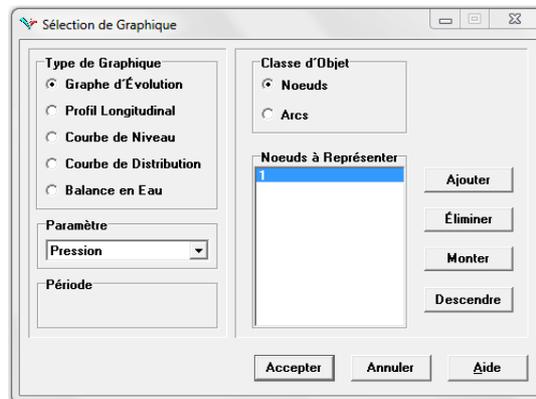
Dans le Tableau I.8, on va afficher les résultats de calcul dans les nœuds spécialement le nœud 4. Les paramètres affichés sont la demande et la pression à ce nœud.

*Tableau I.8 : Résultats de simulation au nœud 4 du village A.*

Instant (heure)	Demande (l/s)	Pression (m)
0:00	0.09	38.18
1:00	0.09	38.34
2:00	0.09	38.50
3:00	0.09	38.66
4:00	0.09	38.82
5:00	0.09	38.98
6:00	0.69	36.10
7:00	2.41	09.56
8:00	2.41	09.26
9:00	2.41	08.95
10:00	2.41	08.65
11:00	0.28	37.41
12:00	0.28	37.53
13:00	0.28	37.65
14:00	0.28	37.77
15:00	0.28	37.89
16:00	1.38	27.89
17:00	1.38	27.79
18:00	0.34	37.52
19:00	0.34	37.45
20:00	0.34	37.38
21:00	0.34	37.48
22:00	0.09	38.44
23:00	0.09	38.59
24:00	0.09	38.75

#### ***I.4.3.6.2/ Création de Graphe***

La représentation graphique des variations d'une variable en fonction du temps pour n'importe quels nœuds ou arc peut se faire à travers la boîte de dialogue affichée dans la Figure I.38.



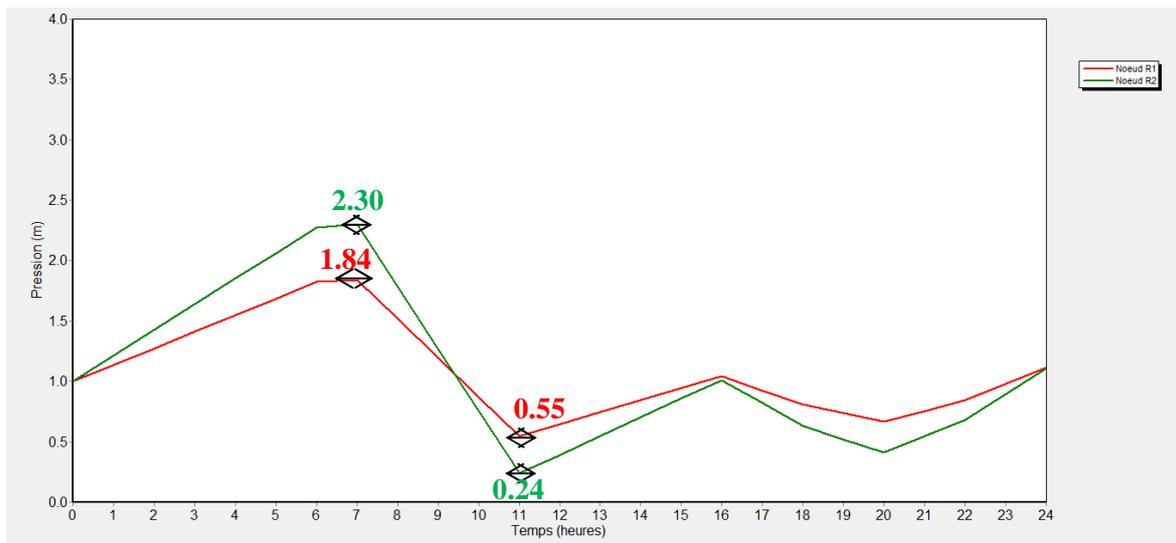
***Figure I.38 : Sélection de Graphique.***

Comme exemples, on va afficher les :

- Variation de niveau de l'eau dans les réservoirs 1 et 2 (Figure I.39).
- Variation des vitesses dans les conduites d'adduction 1 et 2 (Figure I.40).
- Variation des vitesses dans les conduites 1 à 5 du réseau de distribution du village A (Figure I.41).
- Variation de la vitesse et du débit dans la conduite 1 du réseau de distribution du village A (Figure I.42).
- Variation des vitesses dans les conduites 1 à 5 du réseau de distribution du village B (Figure I.43).
- Variation des vitesses dans les conduites 14 à 18 du réseau de distribution du village B (Figure I.44).
- Variation des pressions aux nœuds 1 à 5 du réseau de distribution du village A (Figure I.45).
- Variation des pressions aux nœuds 6 à 9 du réseau de distribution du village A (Figure I.46).
- Variation des pressions aux nœuds 1 à 5 du réseau de distribution du village B (Figure I.47).
- Variation des pressions aux nœuds 6 à 9 du réseau de distribution du village B (Figure I.48).

- Variation des pressions aux nœuds 10 à 13 du réseau de distribution du village B (Figure I.49).
- Variation des pressions aux nœuds 14 à 18 du réseau de distribution du village B (Figure I.50).
- Variation des pressions après l'installation du réducteur de pression au niveau de la conduite 10 (Figure I.51).
- Variation des pressions après l'installation du réducteur de pression au niveau de la conduite 13 (Figure I.52).
- Concentration du Chlore aux nœuds 1-3-5-7-9 du village A (Figure I.53).
- Concentration du Chlore aux nœuds 1-13-14-17-18 du village B (Figure I.54).

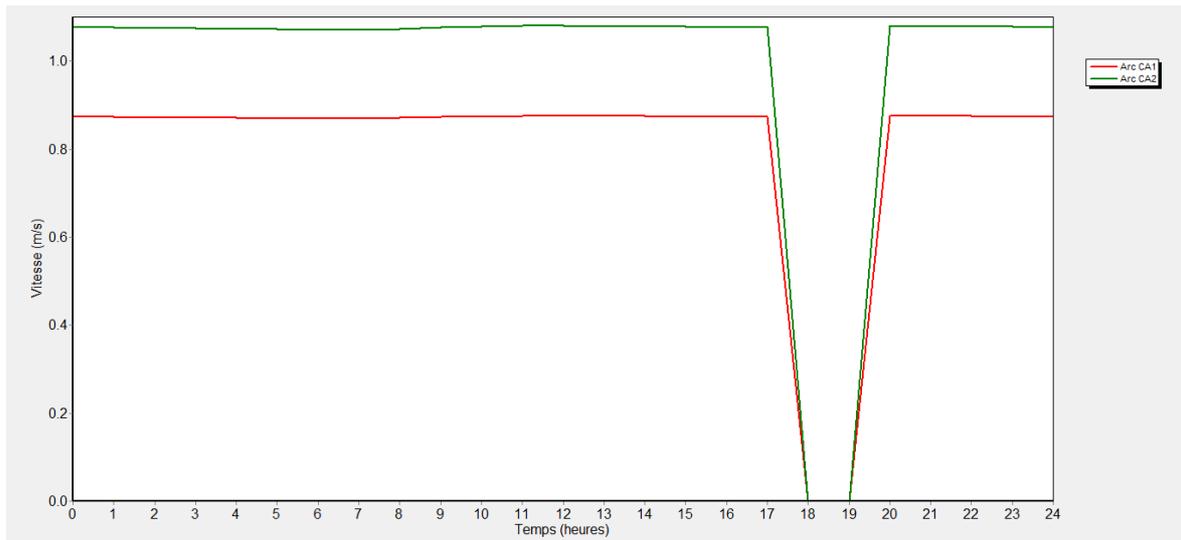
Les variations du niveau de l'eau dans les deux réservoirs 1 et 2 au cours du temps sont données dans la Figure I.39 ci-après.



**Figure I.39 :** Variation de niveau de l'eau dans les réservoirs 1 et 2.

Le niveau de l'eau varie de 0.54 m à 1.84 m dans le réservoir 1. Par contre dans le réservoir 2, le niveau de l'eau varie entre 0.24 m et 2.30 m.

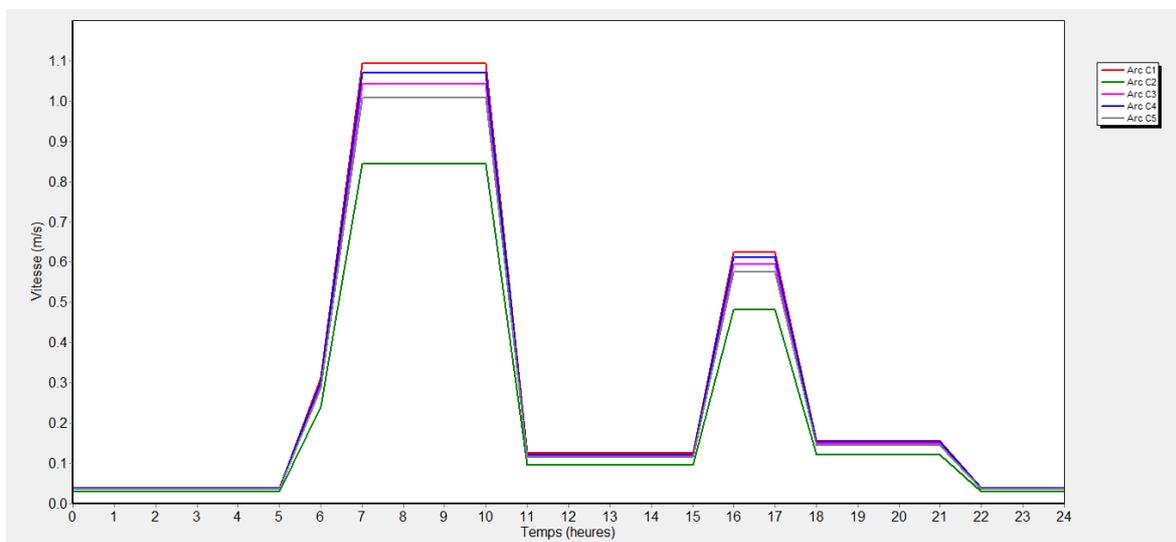
Dans la Figure I.40, on a représenté la variation de la vitesse au cours du temps pour les deux conduites d'adduction.



**Figure I.40 :** Variation des vitesses dans les conduites d'adduction 1 et 2.

La vitesse dans la conduite d'adduction 1 est de 0.87 m/s. Elle est de 1.08 m/s dans la conduite d'adduction 2. Les vitesses répondent à la norme. La cassure indique le temps d'arrêt des deux pompes qui intervient entre 18 heures et 20 heures.

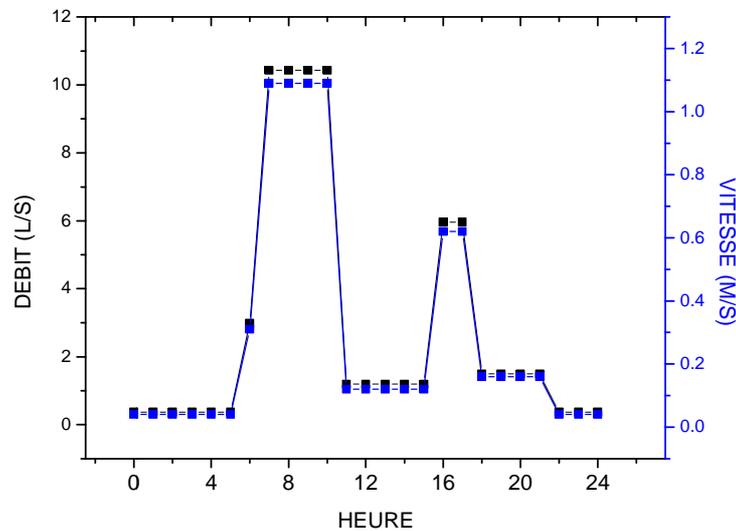
Dans la Figure I.41, on a représenté les variations au cours du temps des vitesses dans les conduites 1 à 5 du réseau de distribution du village A.



**Figure I.41 :** Variation des vitesses dans les conduites 1-5 du réseau de distributions du village A.

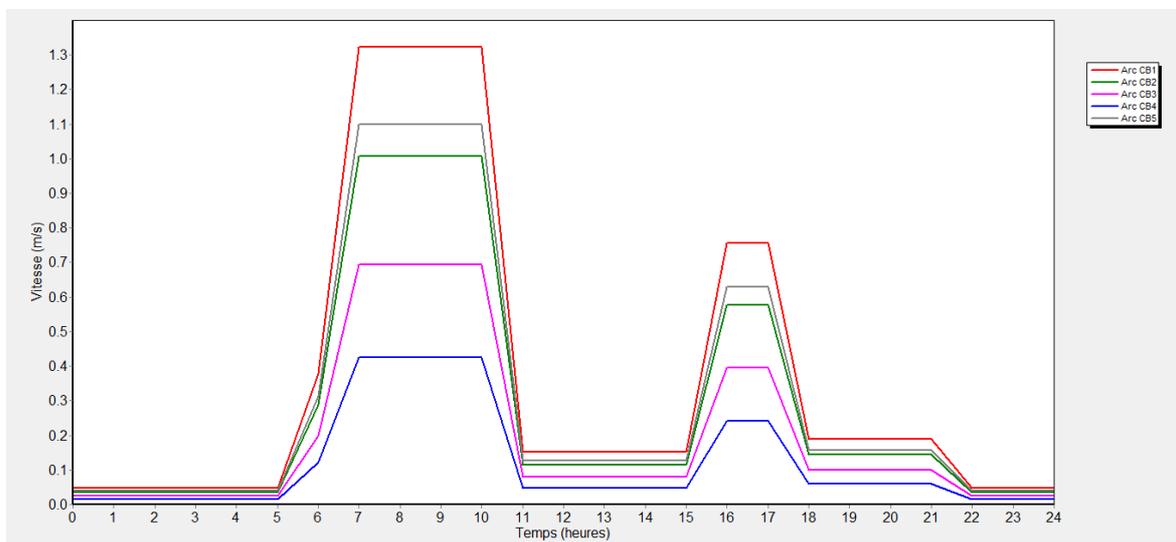
L'analyse du paramètre vitesse montre qu'elle est dans la norme. En prenant la conduite 1 du village A comme exemple, on remarque que la vitesse moyenne journalière pendant les heures de pointe est de 1.09 m/s ; les heures moyennes est de 0.62 m/s et les heures creuses la moyenne est de 0.10 m/s. Les faibles vitesses sont dues aux faibles débits qui transitent durant cette période de la journée. Ceci est

occasionné par la faible consommation d'eau durant cette période de la journée (Figure I.42).



**Figure I.42 :** Variation de la vitesse et du débit dans la conduite 1 du réseau de distribution du village A.

Dans la Figure I.43, on va représenter les variations au cours du temps des vitesses dans les conduites 1 à 5 du réseau de distributions du village B.

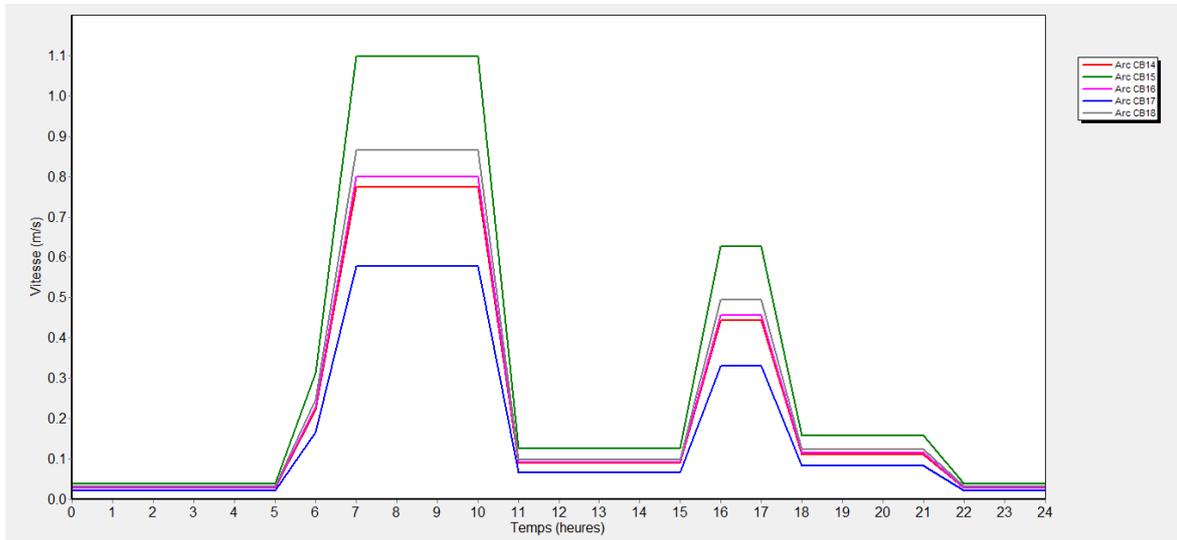


**Figure I.43 :** Variation des vitesses dans les conduites 1-5 du réseau de distributions du village B.

Le même constat est réalisé concernant les vitesses dans les conduites assurant le transport de l'eau dans le village B. En prenant la conduite 1 comme exemple dans le village B, on remarque que la vitesse moyenne journalière pendant les heures de pointe est de 1.32 m/s ; les heures moyennes est de 0.76 m/s et les heures creuses est de 0.12

m/s. Les faibles vitesses sont dues aux faibles débits qui transitent durant cette période de la journée. Ceci est occasionné par la faible consommation d'eau durant cette période de la journée.

Dans la Figure I.44, on va représenter les variations au cours du temps des vitesses dans les conduites 14 à 18 du réseau de distributions du village B.

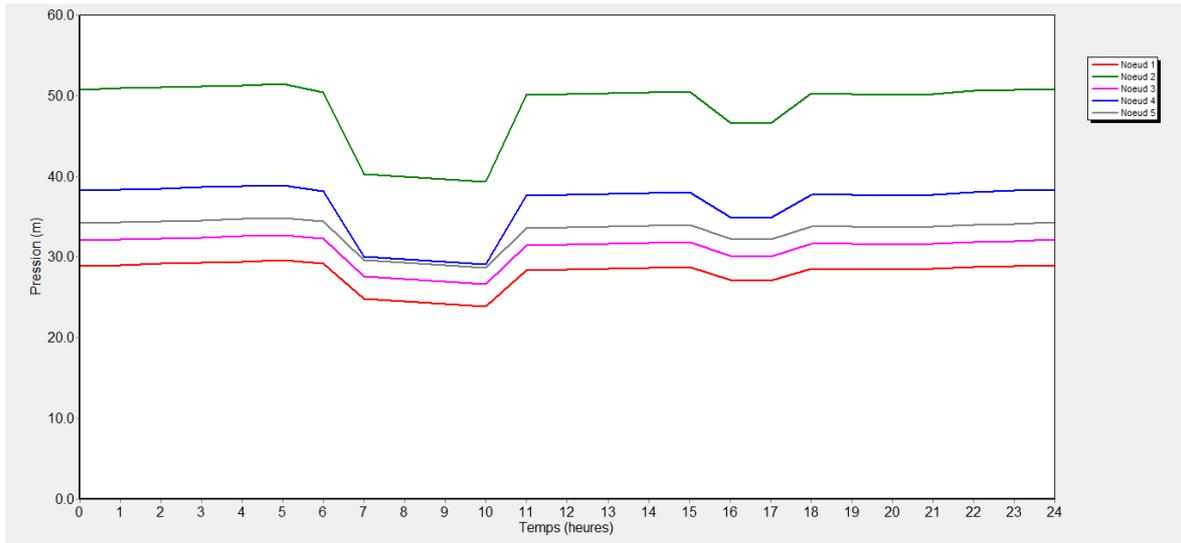


**Figure I.44 :** Variation des vitesses dans les conduites 14-18 du réseau de distribution du village B.

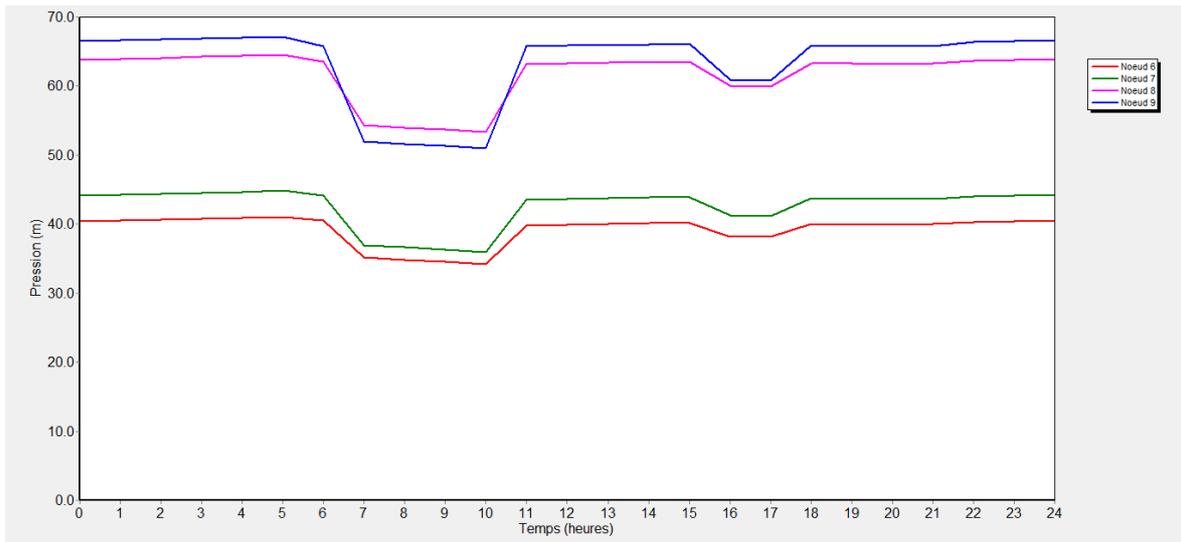
En prenant la conduite 15 comme un autre exemple du village B, on remarque que la vitesse moyenne journalière pendant les heures de pointe est de 1.10 m/s ; les heures moyennes est de 0.63 m/s et les heures creuses est de 0.10 m/s. Les faibles vitesses sont dues aux faibles débits qui transitent durant cette période de la journée. Ceci est occasionné par la faible consommation d'eau durant cette période de la journée.

On remarque que les conditions de vitesses sont satisfaisantes.

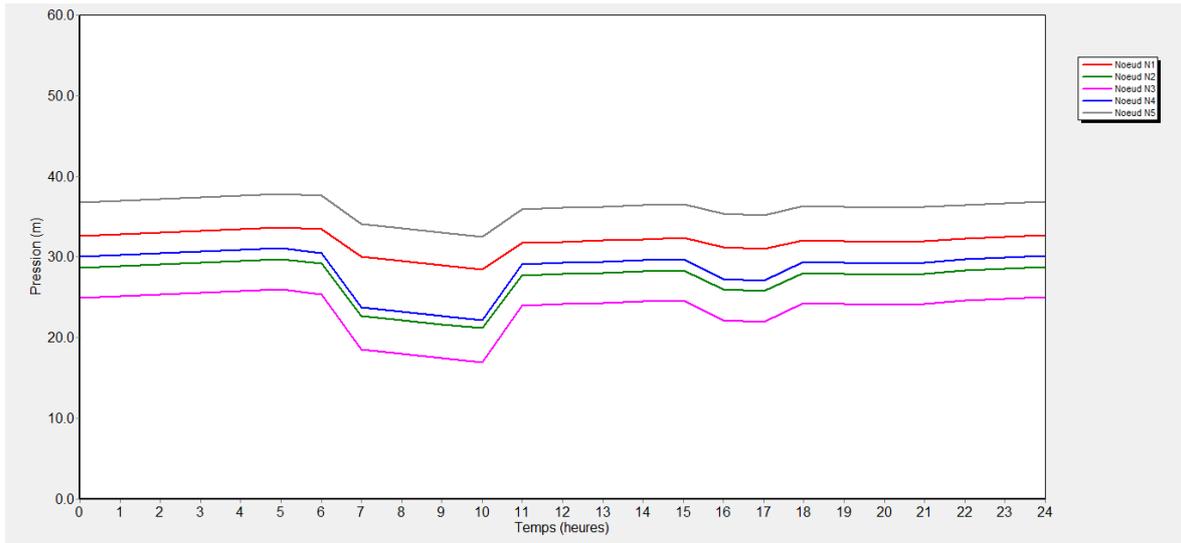
Maintenant on va analyser un autre paramètre. Il s'agit de la variation au cours du temps des pressions au niveau des nœuds 1 à 5 du réseau de distribution du village A (Figure I.45).



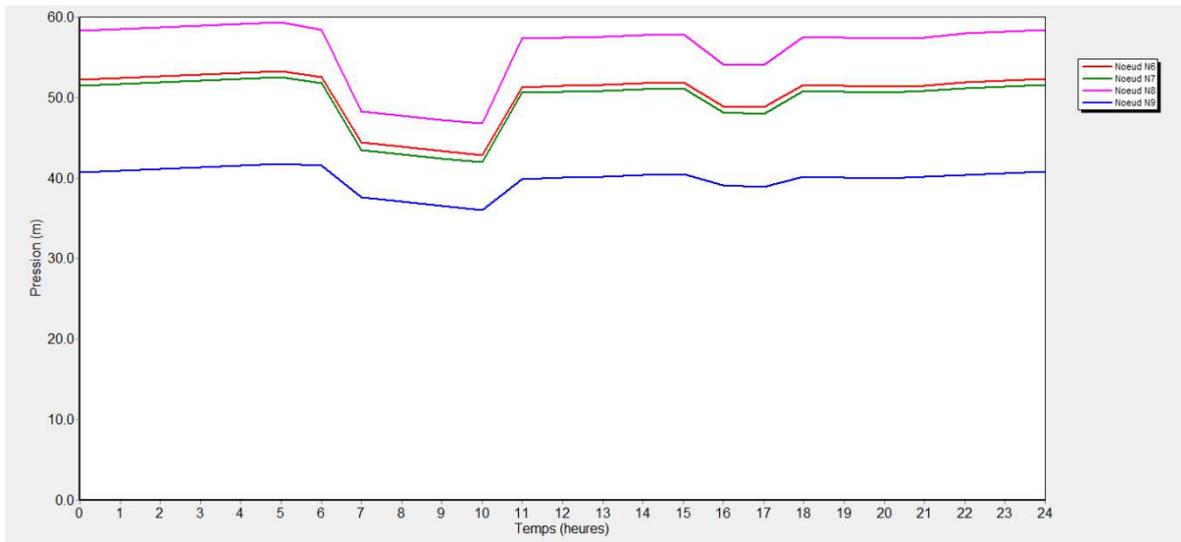
**Figure I.45 :** Variation des pressions aux nœuds 1-5 du réseau de distributions du village A. Les variations au cours du temps des pressions au niveau des nœuds 6 à 9 du réseau de distributions du village A sont données dans la Figure I.46.



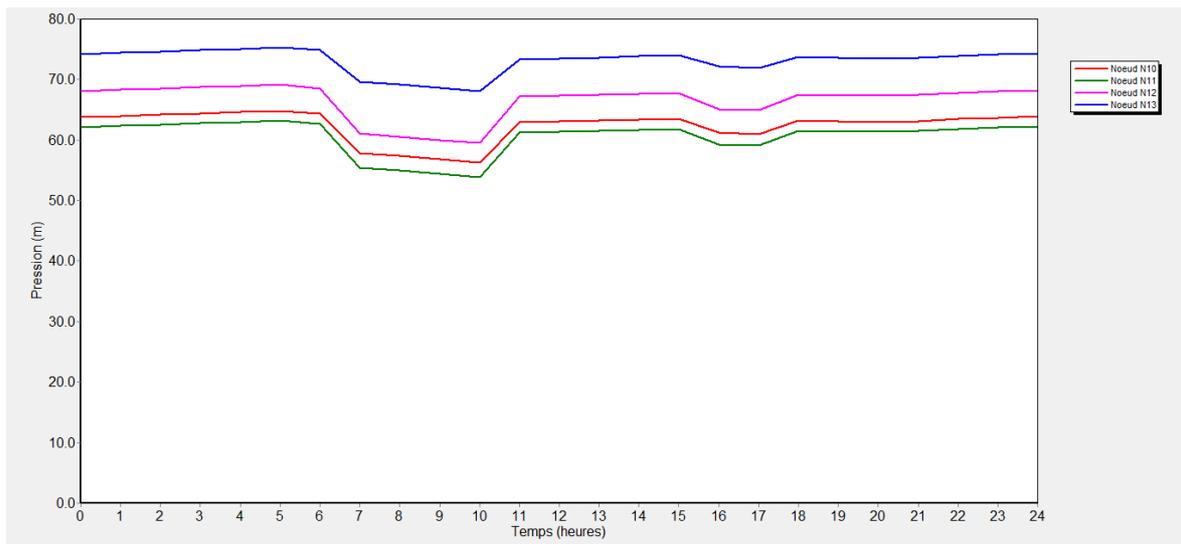
**Figure I.46:** Variation des pressions aux nœuds 6-9 du réseau de distributions du village A. Les variations au cours du temps des pressions au niveau des nœuds 1 à 5 du réseau de distributions du village B sont illustrées dans la Figure I.47.



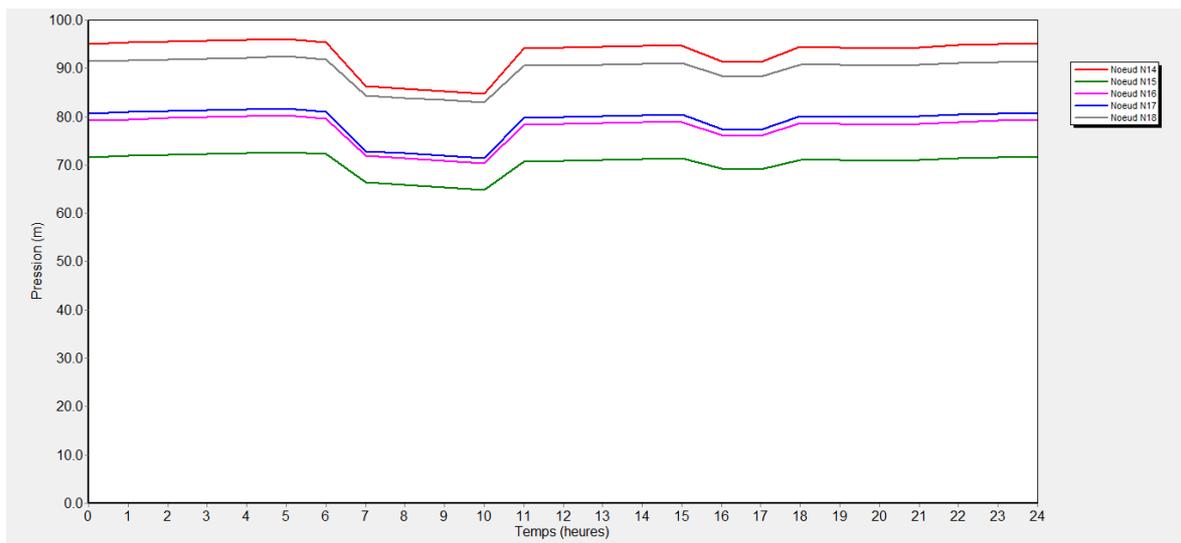
**Figure I.47 :** Variation des pressions aux nœuds 1-5 du réseau de distributions du village B. Les variations au cours du temps des pressions au niveau des nœuds 6 à 9 du réseau de distributions du village B sont données dans la Figure I.48.



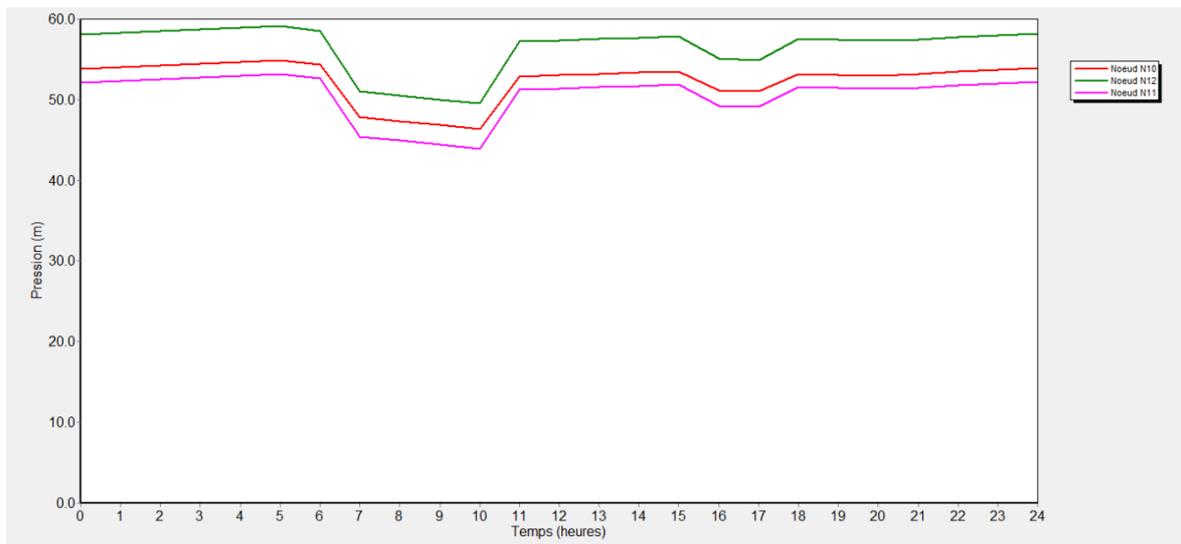
**Figure I.48 :** Variation des pressions aux nœuds 6-9 du réseau de distributions du village B. Les variations au cours du temps des pressions au niveau des nœuds 10 à 13 du réseau de distributions du village B sont illustrées dans la Figure I.49.



**Figure I.49 :** Variation des pressions aux nœuds 10-13 du réseau de distributions du village B. Les variations au cours du temps des pressions aux niveaux des nœuds 14 à 18 du réseau de distributions du village B sont représentées dans la Figure I.50.

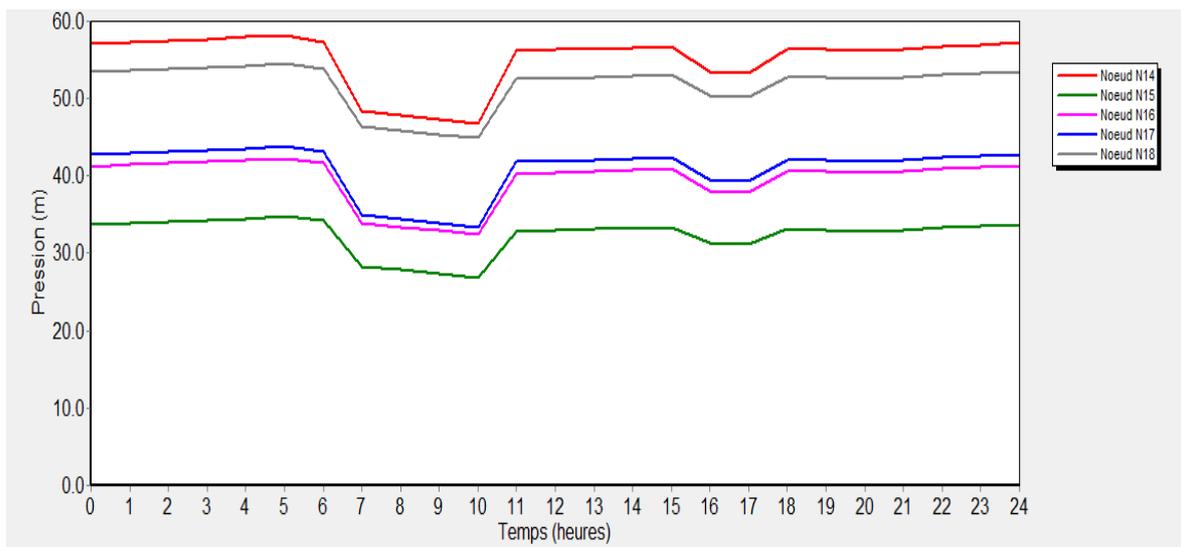


**Figure I.50 :** Variation des pressions aux nœuds 14-18 du réseau de distributions du village B. On remarque que les conditions de pressions ne sont pas satisfaisantes dans certains nœuds du réseau de distribution du village B. En effet, les nœuds 11-12-13-14-15-16-17-18 présentent des pressions qui dépassent largement les 6 bars. De ce fait, on va remédier à cela en plaçant deux réducteurs de pression. Le premier au niveau du tronçon 10 et le deuxième au niveau du tronçon 13. Après une nouvelle simulation, on a obtenus les variations des pressions au niveau de la conduite 10 représentées dans la Figure I.51.



**Figure I.51 :** Variation des pressions après l'installation du réducteur de pression au niveau de la conduite 10.

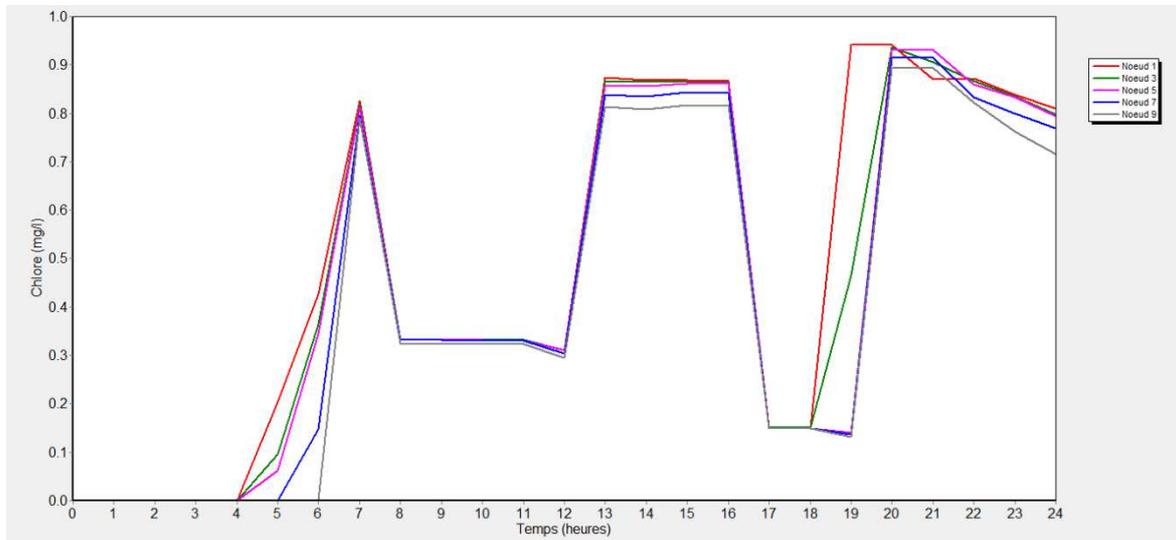
Après une nouvelle simulation, on a obtenus les variations des pressions au niveau de la conduite 13 représentées dans la Figure I.52.



**Figure I.52 :** Variation des pressions après l'installation du réducteur de pression au niveau de la conduite 13.

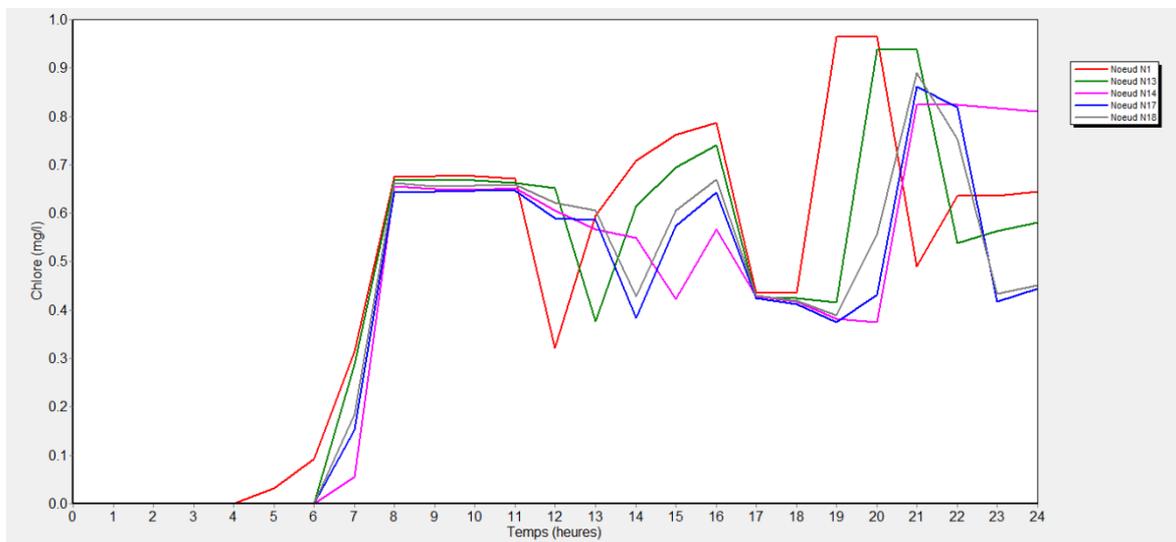
Maintenant, les exigences en relation avec le paramètre pressions est pris en charge dans l'ensemble du réseau de distribution du village B. En effet, le réseau subit des pressions minimales qui dépassent les 10 m. La pression minimale 16.98 m est enregistré au niveau du nœud 3. Concernant la pression maximale (59.32 m), elle est enregistrée au niveau du nœud 8. Dans la totalité de ce réseau, la différence des pressions au niveau de chaque nœud ne dépasse pas les 30 mètres.

On va exécuter la simulation d'un autre paramètre en relation avec l'aspect qualitatif de l'eau. Le paramètre analysé est le Chlore. On va afficher la concentration du Chlore aux nœuds 1-3-5-7-9 du village A (Figure I.53).



**Figure I.53 :** Concentration du Chlore aux nœuds 1-3-5-7-9 du village A.

En exécutant la simulation, on va afficher la concentration du Chlore aux nœuds 1-13-14-17-18 du village B (Figure I.54).



**Figure I.54 :** Concentration du Chlore aux nœuds 1-13-14-17-18 du village B.

On remarque que la concentration du chlore répond à la norme. En prenant en considération la concentration minimale du chlore, 0.1 mg/l, recommandée par l'OMS et en analysant les concentrations minimales, cette norme est vérifiée. La concentration maximale est aussi vérifiée car elle est en dessous de la valeur maximale exigée par la norme Algérienne qui est de 5 mg/l.

## **PARTIE II : ASSAINISSEMENT**

### **Le Logiciel SWMM**

## II/ SWMM

SWMM (Storm Water Managment Model) est un logiciel de référence qui permet la simulation du comportement des réseaux d'assainissement tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif. Il est particulièrement bien adapté au bassin urbain pour le calcul des réseaux d'assainissement simples ou complexes et s'applique soit pour des évènements ponctuels ou pour des simulations continues. Le modèle de gestion de SWMM est utilisé dans le monde entier pour la planification, l'analyse et la conception des eaux de ruissellement et d'autres systèmes d'assainissement dans les zones urbaines. SWMM est un modèle dynamique de simulation Hydrologique - Hydraulique de l'eau. Il est utilisé pour la simulation à un seul événement ou à long terme, en continu, de la quantité et de la qualité des eaux de ruissellement provenant principalement des zones urbaines.

SWMM 5.1 présente plusieurs avantages, à savoir, sa gratuité et son interface graphique conviviale facile à exploiter. La façon d'éditer les objets est similaire à celle du Logiciel Epanet. Contrairement à Epanet, SWMM est disponible uniquement en version anglaise. SWMM est très utilisé pour la modélisation et la simulation Hydraulique des réseaux d'assainissement. Il est utilisé à des fins éducative et de recherche et plusieurs chercheurs ont exploité le Logiciel afin d'analyser plusieurs questions.

SWMM est développé par l'agence gouvernementale Environmental Protection Agency (EPA). Initialement développé en 1971, par la suite de nombreuses mises à jour et améliorations ont été apportées.

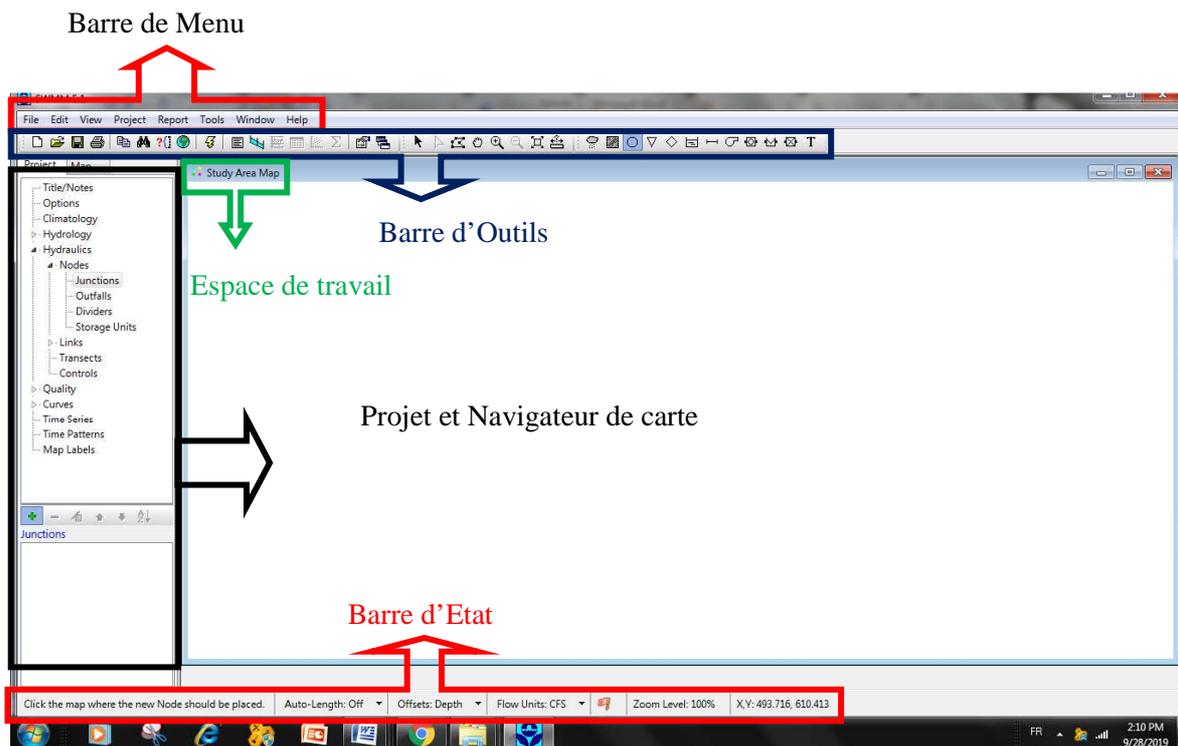
SWMM permet de dessiner et modéliser les bassins versants et sous-Bassins élémentaires d'une zone d'étude. Il permet de dessiner et de modéliser le réseau d'assainissement en conduites ainsi que l'ensemble des ouvrages hydrauliques. Il permet de réaliser un diagnostic hydraulique du réseau d'assainissement et d'étudier les flux de polluants dans le réseau. Son interface ergonomique permet de visualiser facilement les résultats des calculs et de les exporter vers d'autres applications.

L'exploitation de SWMM permet de réaliser plusieurs objectifs, à savoir, le diagnostic et le dimensionnement des réseaux d'assainissement et la connaissance des évolutions éventuelles futures des réseaux d'assainissement urbains.

Dans cette partie du polycopié, l'intérêt sera porté sur l'aspect pédagogique. En effet, la modélisation d'un réseau d'assainissement avec SWMM 5.1 requiert le passage par plusieurs étapes. La première étape nécessite la création des objets sur le plan Study Area Map. Dans la deuxième étape, toutes les propriétés des éléments du réseau doivent être saisies. La description du fonctionnement du système est effectuée dans la troisième étape. La sélection d'options de simulation est réalisée dans la quatrième étape. Le lancement de la simulation dans la cinquième étape. Dans la sixième étape, il sera question de visualiser les résultats de simulation sous plusieurs formats.

## II.1/ Environnement de travail de SWMM

L'environnement de travail SWMM affiché dans la Figure II.1 possède plusieurs éléments, à savoir : Barre de Menu, Barres d'Outils, Barre d'État, Schéma du Réseau, une fenêtre de Navigateur et une fenêtre d'Éditeur des Propriétés.



*Figure II.1 : Environnement de travail de SWMM.*

### II.1.1/ Barre de menu

Elle est située dans la partie supérieure de l'environnement de travail de SWMM. Elle propose les menus : Fichier ; Édition ; Affichage ; Projet ; Rapport ; Outils, Fenêtre et Aide. Les commandes des différents menus sont récapitulées dans le Tableau II.1.

*Tableau II.1 : Commandes des menus du logiciel SWMM.*

<b>Menu</b>	<b>Commande</b>	<b>Description</b>
<i>Fichier</i>	<b>Nouveau</b>	Crée un nouveau projet SWMM
	<b>Ouvrir</b>	Ouvre un projet existant
	<b>Réouverture</b>	Réouverture d'un projet récemment utilisé
	<b>Enregistrer</b>	Sauvegarde le projet actuel
	<b>Enregistrer sous</b>	Sauvegarde le projet actuel en lui attribuant un nouveau nom
	<b>Exporter</b>	Exporte les données ou le schéma du réseau dans un autre fichier
	<b>Combinaison</b>	Combine deux fichiers d'interface de routage ensemble
	<b>Mise en Page</b>	Accède aux paramètres de mise en page du document
	<b>Aperçu</b>	Affiche un aperçu de la fenêtre actuelle
	<b>Imprimer</b>	Imprime la fenêtre active
	<b>Quitter</b>	Quitte SWMM
<i>Edition</i>	<b>Copier dans</b>	Copie le contenu de la fenêtre actuellement active dans un fichier
	<b>Sélectionner Objet</b>	Permet la sélection d'un objet sur le schéma
	<b>Sélectionner Sommet</b>	Permet la sélection des sommets intermédiaires d'un tuyau du schéma
	<b>Sélectionner Région</b>	Permet la sélection d'une région bornée sur le schéma
	<b>Sélectionner Tout</b>	Sélectionne tous les objets
	<b>Trouver Objet</b>	Localiser un objet spécifique par son nom sur la carte
	<b>Éditer Objet</b>	Éditer les propriétés de l'objet sélectionné
	<b>Supprimer Objet</b>	Supprimer l'objet actuellement sélectionné
	<b>Groupe Modifier</b>	Éditer une propriété pour le groupe d'objets compris dans la zone délimitée
	<b>Groupe Supprimer</b>	Supprime un groupe d'objets appartenant à la région délimitée de la carte
<i>Affichage</i>	<b>Dimensions</b>	Définit les coordonnées de référence et les unités de distance pour la carte
	<b>Fond d'Écran</b>	Permet l'ajout d'une image de fond comme fond d'écran
	<b>Déplacer</b>	Déplace le schéma du réseau
	<b>Approcher</b>	Permet de voir le schéma de plus près à l'aide du zoom
	<b>Éloigner</b>	Permet de voir le schéma de plus loin à l'aide du zoom
	<b>Pleine Échelle</b>	Redessine la carte à pleine échelle
	<b>Requête</b>	Cherche des éléments qui correspondent à des critères spécifiques
	<b>Vue d'Ensemble</b>	Active/Désactive la visualisation de la vue d'ensemble
	<b>Objets</b>	Bascule l'affichage des classes d'objets sur la carte
	<b>Légendes</b>	Contrôle l'affichage des légendes de la carte
	<b>Barre d'Outils</b>	Active/Désactive la visualisation des Barres d'Outils
<i>Projet</i>	<b>Résumé</b>	Fournit une description récapitulative des caractéristiques du projet
	<b>Détails</b>	Affiche une liste détaillée de toutes les données du projet
	<b>Par Défaut</b>	Édite les propriétés par défaut d'un projet
	<b>Données de Calage</b>	Déclare les fichiers contenant des données de calage
	<b>Ajouter un nouvel objet</b>	Ajouter un nouvel objet au projet
	<b>Lancer la Simulation</b>	Exécute une simulation
<i>Rapport</i>	<b>État</b>	Rapport d'état de la simulation
	<b>Résumé</b>	Affiche les résultats sommaires sous forme de tableau
	<b>Graphique</b>	Crée différents graphiques permettant de visualiser les résultats.
	<b>Tableau</b>	Crée un tableau reprenant les valeurs numériques des paramètres choisis
	<b>Statistiques</b>	Affiche une analyse statistique des résultats de la simulation
	<b>Options</b>	Contrôle le style de présentation des rapports
	<b>Préférences du programme</b>	Définit les préférences du programme, telles que la taille de la police, nombre de décimales, ... etc.
	<b>Options d'affichage de la carte</b>	Définit les options d'apparence de la carte telles que la taille de l'objet, la couleur d'arrière-plan, ...etc.
	<b>Configurer les outils</b>	Ajoute, supprime ou modifie des outils de complément externes
<i>Fenêtre</i>	<b>Cascade</b>	Organise les fenêtres en cascade, la carte de la zone d'étude remplissant toute la zone d'affichage.
	<b>Carreau</b>	Réduit au minimum la carte de la zone d'étude et met en mosaïque les fenêtres restantes verticalement dans la zone d'affichage
	<b>Fermer Tout</b>	Ferme toutes les fenêtres ouvertes à l'exception de la carte de la zone d'étude
	<b>Liste de fenêtres</b>	Présente une liste de toutes les fenêtres ouvertes actuellement
<i>Aide</i>	<b>Sujets de l'Aide</b>	Propose une sélection de sujets de l'aide
	<b>Prise en Main Rapide</b>	Affiche une liste de rubriques couvrant les opérations les plus courantes
	<b>Unités</b>	Présente une liste de toutes les unités des paramètres qu'utilise par SWMM
	<b>Messages d'erreur</b>	Répertorie la signification de tous les messages d'erreur
	<b>Tutoriel</b>	Présente un court tutoriel présentant l'utilisateur EPA SWMM
	<b>À propos</b>	Affiche des informations sur la version SWMM utilisée

## II.1.2/ Barres d'outils

SWMM dispose de trois barres d'outils : Barre d'outils standard, Barre d'outils carte et Barre d'outils d'objet. Les barres d'outils peuvent être activées ou désactivées en sélectionnant *Affichage >> Barres d'outils* dans le menu principal.

**Barre d'outils standard** : elle contient des boutons pour l'accès aux commandes mentionnées dans la Figure II.2 et le Tableau II.2.



*Figure II.2 : Barre d'outils standard.*

*Tableau II.2 : Explicatif de la Barre d'outils standard.*

Numéro	Rôle
1	Création d'un nouveau projet (File >> New)
2	Ouverture d'un projet existant (File >> Open)
3	Enregistrement en cours (File >> Save)
4	Impression de la fenêtre active actuelle (File >> Print)
5	Copier le contenu de la fenêtre actuellement active soit dans le presse papiers soit dans un fichier (Edit >> Copy To)
6	Recherche un objet spécifique sur la carte de la zone d'étude (Edit >> Find Object)
7	Effectue une interrogation visuelle de la carte de la zone d'étude (View >> Query)
8	Bascule l'affichage de la carte d'ensemble (View >> Overview)
9	Lancement de l'exécution de la simulation
10	Affiche les rapports d'état ou de synthèse d'une exécution (Report >> Status and Report >> Summary appear in a dropdown menu)
11	Crée un profil en long d'après les résultats de la simulation (Report >> Graph >> Profile)
12	Visualisation graphique des résultats
13	Visualisation sous forme de tableau des résultats numériques
14	Crée un nuage de points des résultats de la simulation (Report >> Graph >> Scatter)
15	Effectue une analyse statistique des résultats de la simulation (Report >> Statistics)
16	Modifie les options d'affichage de la vue actuellement active (Tools >> Map Display Options or Report >> Customize)
17	Organise les fenêtres en cascade, la carte de la zone d'étude remplissant l'ensemble de la zone d'affichage (Window >> Cascade)

**Barre d'outils carte** : elle contient des boutons pour manipuler et modifier le schéma du réseau mentionnées dans la Figure II.3 et le Tableau II.3.

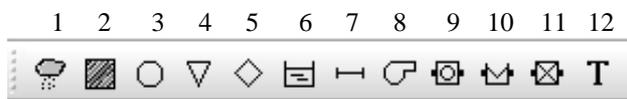


*Figure II.3 : Barre schéma.*

**Tableau II.3 : Explicatif de la Barre d'outils du schéma.**

Numéro	Rôle
1	Sélection d'un objet sur la carte (Edit >> Select Object)
2	Sélection des sommets du tracé (Edit >> Select Vertex)
3	Sélection d'une région sur la carte (Edit >> Select Region)
4	Panoramique sur la carte (View >> Pan)
5	Zoom avant pour rapprocher les objets (View >> Zoom In)
6	Zoom arrière pour éloigner les objets (View >> Zoom Out)
7	Présentation de la carte en pleine échelle (View >> Full Extent)
8	Mesure une longueur ou une zone sur la carte

**Barre d'outils objets :** elle contient des boutons pour l'accès aux commandes suivantes mentionnées dans la Figure II.4 et le Tableau II.4.



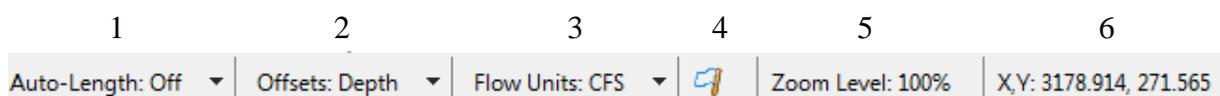
**Figure II.4 : Barre d'outils objets.**

**Tableau II.4 : Explicatif de la Barre d'outils objets.**

Numéro	Rôle
1	Ajout d'un enregistreur de pluie à la carte
2	Ajout d'un sous-bassin à la carte
3	Ajout d'un nœud de jonction à la carte
4	Ajout d'un exutoire à la carte
5	Ajout d'un nœud diviseur de flux à la carte
6	Ajout d'une unité de stockage à la carte
7	Ajout d'une conduite à la carte
8	Ajout d'une pompe à la carte
9	Ajout d'un orifice à la carte
10	Ajout d'un seuil à la carte
11	Ajout d'un lien de sortie à la carte
12	L'ajout d'un texte à la carte

### II.1.3/ Barre d'état

La Barre d'Etat se situe en bas de l'environnement de travail SWMM. Elle est divisée en six sections, qui offrent plusieurs renseignements représentées dans la Figure II.5 et le Tableau II.5.



**Figure II.5 : Barre d'état.**

**Tableau II.5 : Explicatif de la Barre d'état.**

Numéro	Rôle
1	<b>Longueur automatique</b> : indique si le calcul automatique des longueurs de conduite est activé ou désactivé.
2	<b>Compensations</b> : indique si les positions des liens au-dessus du nœud sont exprimées en tant que profondeur ou en tant qu'élévation.
3	<b>Unités de débit</b> : affiche les unités de débit.
4	<b>Statut d'exécution</b> : 1/ les résultats ne sont pas disponibles car aucune simulation n'a encore été exécutée. 2/ les résultats sont à jour. 3/ les résultats sont obsolètes car les données du projet ont changé. 4/ les résultats ne sont pas disponibles car la dernière simulation comportait des erreurs.
5	Affiche le niveau actuel du zoom. Il est à 100%.
6	Donne les coordonnées (X, Y) de la souris.

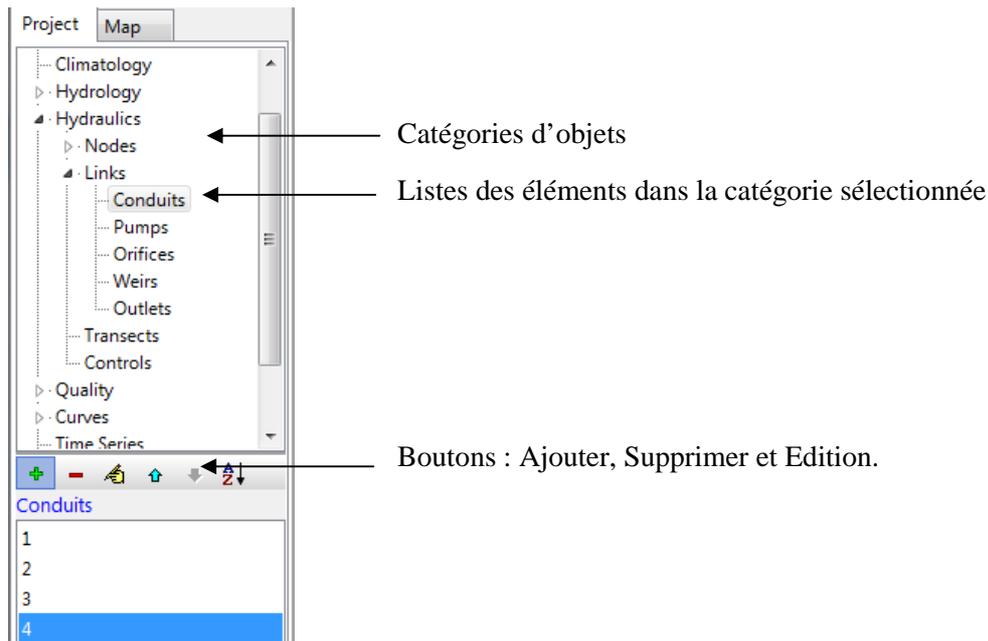
### **II.1.4/ Schéma du réseau**

La carte de la zone d'étude est l'espace de travail où l'on peut schématiser les éléments constitutifs d'un réseau d'assainissement. Ses caractéristiques pertinentes sont les suivantes :

- L'emplacement des objets et les distances qui les séparent ne doivent pas nécessairement être conformes à leur échelle physique réelle.
- Les propriétés sélectionnées de ces objets, telles que la qualité de l'eau aux nœuds ou la vitesse d'écoulement dans les liens, peuvent être affichées à l'aide de couleurs différentes. Le codage couleur est décrit dans une légende que vous pouvez modifier.
- De nouveaux objets peuvent être directement ajoutés à la carte et les objets existants peuvent être sélectionnés pour être édités, supprimés et repositionnés.
- Un dessin en arrière-plan (une carte de rue ou topographique, par exemple) peut être placé derrière la carte du réseau pour référence.
- La carte peut être agrandie à n'importe quelle échelle et balayée d'une position à l'autre. Les nœuds et les liens peuvent être dessinés de différentes tailles, des flèches de sens de flux ajoutées et des symboles d'objet, des étiquettes ID et des valeurs de propriétés numériques affichés.
- La carte peut être imprimée, copiée dans le presse-papier de Windows ou exportée sous forme de fichier DXF ou de métafichier Windows.

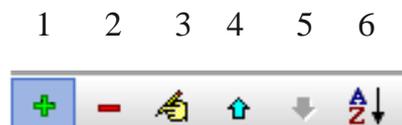
### II.1.5/ Navigateur de projet

Le panneau Navigateur de projet apparaît lorsque l'onglet Projet du panneau de gauche de la fenêtre principale de SWMM est sélectionné. Il permet d'accéder à tous les objets de données d'un projet. Les tailles verticales des listes de sélection dans le navigateur peuvent être ajustées à l'aide de la barre de division située juste en dessous de la liste de sélection supérieure. La largeur du panneau Navigateur peut être ajustée à l'aide de la barre de division située le long de son bord droit (Figure II.6).



*Figure II.6 : Navigateur de données.*

La zone de liste supérieure affiche les différentes catégories d'objets de données disponibles pour un projet SWMM. La zone de liste inférieure répertorie le nom de chaque objet individuel de la catégorie de données actuellement sélectionnée. Les boutons situés entre les deux zones sont utilisés comme suit (Figure II.7 et Tableau II.6):



*Figure II.7 : Barre d'outils modification du schéma.*

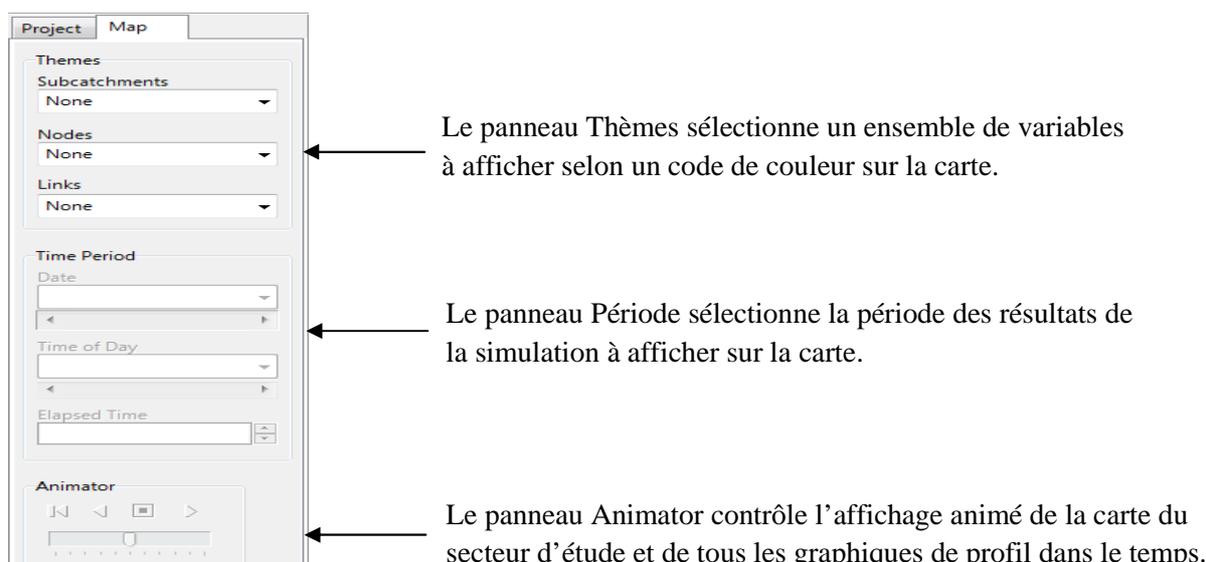
**Tableau II.6 : Explicatif de la Barre d'outils modification du schéma.**

Numéro	Rôle
1	Ajoute d'un nouvel objet
2	Supprime l'objet sélectionné
3	Édite l'objet sélectionné
4	Déplace l'objet sélectionné d'une position vers le haut
5	Déplace l'objet sélectionné d'une position vers le bas
6	Trie les objets par ordre croissant

Les sélections effectuées dans le navigateur de projet sont coordonnées avec les objets mis en surbrillance sur la carte de la zone d'étude, et inversement. Par exemple, si vous sélectionnez un conduit dans le navigateur, ce dernier sera mis en surbrillance sur la carte. Si vous le sélectionnez sur la carte, il deviendra l'objet sélectionné dans le navigateur.

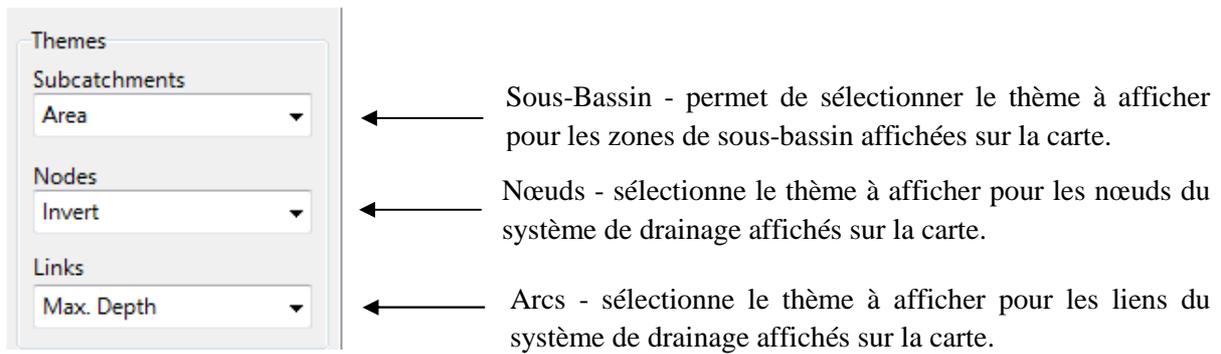
### II.1.6/ Navigateur de carte

Le panneau Navigateur de carte apparaît lorsque l'onglet Carte du panneau de gauche de la fenêtre principale du SWMM est sélectionné. Il contrôle les thèmes de cartographie et les périodes affichées sur la carte de la zone d'étude. La largeur du panneau Navigateur de carte peut être ajustée à l'aide de la barre de division située le long de son bord droit. Le navigateur de carte comprend trois panneaux qui contrôlent les résultats affichés sur la carte (Figure II.8).



**Figure II.8 : Navigateur de carte.**

Le panneau Thèmes du navigateur de carte (Figure II.9) permet de sélectionner une variable thématique à afficher selon un code couleur sur la carte de la zone d'étude.

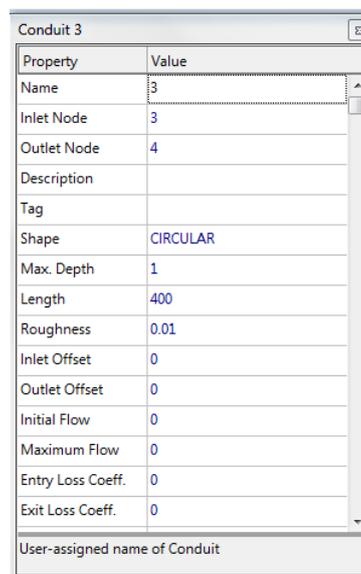


**Figure II.9 :** Thèmes du navigateur de carte.

Le panneau Période du navigateur de carte permet de sélectionner une période dans laquelle on peut afficher les résultats calculés de manière thématique sur la carte de la zone. Le panneau Animateur du navigateur de carte contient des commandes permettant d'animer la carte de zone d'étude et toutes les courbes de profil dans le temps, c'est-à-dire mettre à jour le codage des couleurs de la carte et les profondeurs des profils des lignes de nivellement hydrauliques lorsque l'horloge de la simulation est automatiquement avancée ou reculée.

### II.1.7/ Editeur des propriétés

L'éditeur de propriétés permet d'éditer les propriétés des objets de données pouvant apparaître sur la carte de la zone d'étude. Il est appelé lorsque l'un de ces objets est sélectionné (sur la carte ou dans le navigateur de projet) et que vous double-cliquez dessus ou lorsque vous cliquez sur le bouton Modifier  du navigateur de projet (Figure II.10).



**Figure II.10 :** Editeur des propriétés.

Les principales caractéristiques de l'éditeur de propriétés incluent:

L'éditeur est une grille avec deux colonnes - une pour le nom de la propriété et l'autre pour sa valeur.

Les colonnes peuvent être redimensionnées en exploitant l'en-tête en haut de l'éditeur avec la souris.

Une zone de conseil s'affiche en bas de l'éditeur avec une description détaillée de la propriété en cours de modification. La taille de cette zone peut être ajustée en faisant glisser la barre de division située juste au-dessus de celle-ci.

La fenêtre de l'éditeur peut être déplacée et redimensionnée via les opérations Windows normales. Selon la propriété, le champ de valeur peut être l'un des suivants:

- une zone de texte dans laquelle vous entrez une valeur ;
- une liste déroulante dans laquelle vous sélectionnez une valeur dans une liste de choix ;
- une liste déroulante dans laquelle vous pouvez entrer une valeur ou sélectionner dans une liste de choix ;
- un bouton points de suspension sur lequel vous cliquez pour afficher un éditeur spécialisé.

Le champ de l'éditeur qui a actuellement le focus est entouré d'un rectangle de focus.

On peut utiliser la souris et les flèches haut et bas du clavier pour vous déplacer entre les champs de propriété.

La touche **Page précédente** peut être utilisée pour sélectionner l'objet précédent du même type (comme indiqué dans l'arborescence du projet) dans l'éditeur, tandis que la touche **Page suivante** sélectionnera le prochain objet du même type dans l'éditeur.

Pour commencer à modifier la propriété avec le focus, commencez à taper une valeur ou appuyez sur la touche **Entrée**.

Pour que le programme accepte les modifications apportées dans un champ de propriétés, appuyer sur la touche **Entrée** ou passer à une autre propriété. Pour annuler les modifications, appuyez sur la touche **Echap**.

L'éditeur de propriétés peut être masqué en cliquant sur le bouton dans le coin supérieur droit de sa barre de titre.

## II.1.8/ Personnaliser SWMM

Il permet d'afficher certaines préférences du logiciel. Afin de parvenir, sélectionnez Préférences du programme dans le menu Outils. Un formulaire de dialogue de préférences contenant deux onglets apparaît: un pour les préférences générales et un pour la précision numérique (Figure II.11).

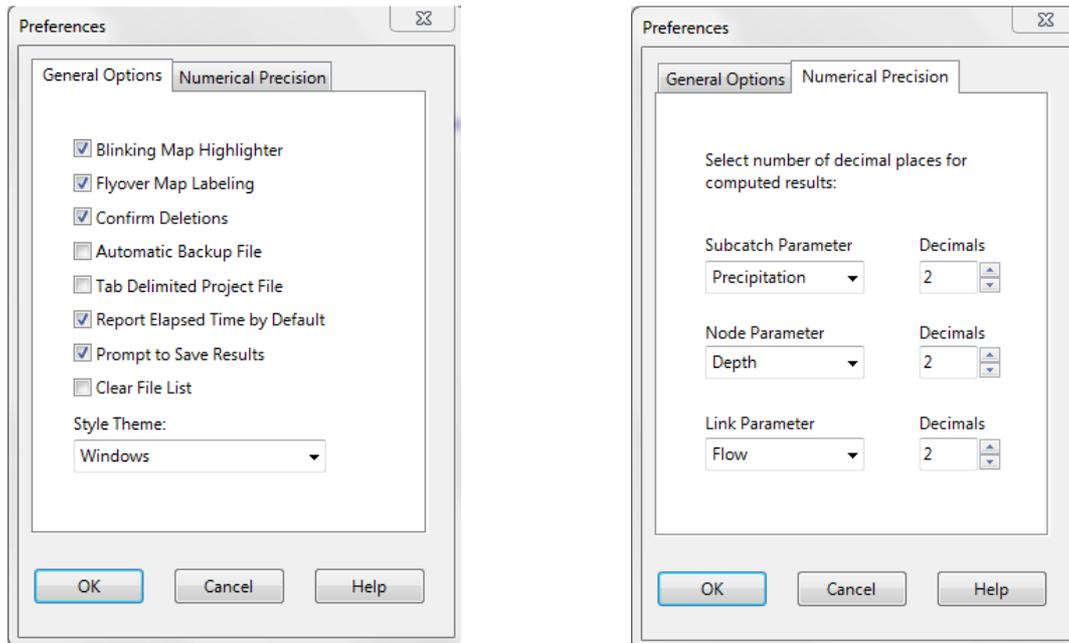


Figure II.11 : Préférence du programme.

Des préférences peuvent être définies sur la page Préférences générales de la boîte de dialogue Préférences.

## II.2/ Création de projet

Cette partie sera consacrée à la création, l'ouverture et enregistrement de projet sous SWMM. Chaque projet créé sera nommé avec une extension **\*.Inp**.

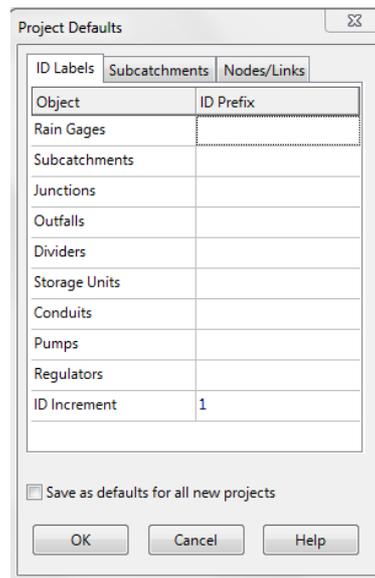
### II.2.1/ Définition des valeurs par défaut du projet

Chaque projet a un ensemble de valeurs par défaut qui sont utilisées sauf si écrites par l'utilisateur SWMM. Ces valeurs se répartissent en trois catégories:

- Etiquettes d'identification par défaut ;
- Propriétés de sous-bassin par défaut ;
- Propriétés de nœud/Jonction par défaut.

Pour définir les valeurs par défaut, on va vers **Project >> Default** dans le menu principal. Une boîte de dialogue Projet par défaut apparaît avec trois pages, une pour chaque catégorie énumérée dans la Figure II.12.

On coche la case en bas à gauche du formulaire de boîte de dialogue si on souhaite enregistrer ces choix pour les utiliser dans tous les nouveaux projets. On termine par un clique sur OK pour accepter ce choix de valeurs par défaut.



**Figure II.12 :** Fenêtre Project Defaults.

Les éléments spécifiques à chaque catégorie de valeurs par défaut seront abordés dans ce qui suit.

### **II.2.1.1/ Étiquettes d'identification par défaut**

La page Étiquettes d'ID permet de déterminer la manière dont SWMM affectera les étiquettes d'ID par défaut aux composants visuels du projet lors de leur création. Pour chaque type d'objet, on peut saisir un préfixe d'étiquette dans le champ correspondant ou laisser le champ vide si le nom par défaut d'un objet est simplement un nombre. Dans le dernier champ, on peut saisir un incrément à utiliser lors de l'ajout d'un suffixe numérique à l'étiquette par défaut. Exemple : C est utilisé comme préfixe pour Conduites.

### **II.2.1.2/ Propriétés de sous-bassin par défaut**

La page de sous-bassins comprend les propriétés suivantes:

- Surface du BV ;
- Longueur du BV ;
- Pente moyenne du BV ;
- Pourcentage de surface imperméable du BV ;
- Coefficient de Manning-Strickler pour les surfaces imperméables ;
- Coefficient de Manning-Strickler pour les surfaces perméables ;

- Hauteur d'eau stockée sur les surfaces imperméables du BV ;
- Hauteur d'eau stockée sur les surfaces perméables du BV ;
- Pourcentage de la surface imperméable dépourvue de stockage dans les dépressions du sol ;
- Méthode d'infiltration.

### ***II.2.1.3/ Propriétés de nœud / Arcs par défaut***

La page **Nodes/Links** définit les valeurs de propriété par défaut pour les nouveaux nœuds et jonctions. Ces propriétés comprennent:

- Côte inférieure du nœud (côte du radier du regard de jonction) ;
- Profondeur maximale du nœud : distance verticale entre le radier du regard de jonction et le terrain naturel ;
- Zone pondérée de nœud : surface d'eau stockée au dessus du nœud après débordement. Si l'option de calcul correspondante est activée, le volume de débordement est stocké puis évacué par le réseau lorsque celui-ci en a retrouvé la capacité ;
- Longueur de la conduite ;
- Géométrie de la conduite ;
- Rugosité de la conduite ;
- Unités de débit ;
- Convention sur les compensations de liens ;
- Modèle de cheminement. Trois modèles sont disponibles : Steady Flow : Écoulement permanent et uniforme dans chaque tronçon et à chaque pas de temps (Translation simple des hydrogrammes) ; Kinematic Wave : Modèle de l'onde cinématique ; Dynamic Wave : Modèle de l'onde dynamique (Résolution des équations de Barré de Saint Venant) ;
- Force de l'équation principale : sélection de l'équation utilisée pour le calcul des pertes de charges lors de l'écoulement dans les tuyaux. Deux choix : Hazen-Williams, Darcy-Weisbach. Par défaut c'est H-W.

Les valeurs par défaut attribuées automatiquement à des objets individuels peuvent être modifiées à l'aide de l'éditeur de propriétés de l'objet. Le choix des unités

d'écoulement et de la convention de décalage de liaison peut être modifié directement dans la barre d'état de la fenêtre principale.

### II.2.2/ Unités de mesure

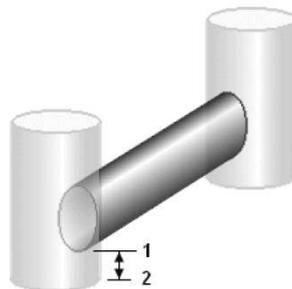
Le choix des unités de débit détermine le système d'unités utilisé pour les autres quantités:

- La sélection de CFS (pieds cubes par seconde), de GPM (gallons par minute) ou de MGD (millions de gallons par jour) pour les unités de débit implique que des unités américaines seront utilisées.
- La sélection de CMS ( $m^3/s$ ), de LPS (l/s) ou de MLD ( $10^3$  l/j) en tant qu'unités de débit implique que les unités SI seront utilisées dans l'ensemble.

Les unités de flux peuvent être sélectionnées directement dans la barre d'état ou en définissant les valeurs par défaut d'un projet. Dans ce dernier cas, la sélection peut être enregistrée afin que tous les nouveaux projets utilisent automatiquement ces unités.

### II.2.3/ Conventions de décalage de liaison

Les conduites et les régulateurs de débit (orifices, déversoirs et sorties) peuvent être décalés à une certaine distance comme illustré dans la Figure II.13 suivante :



*Figure II.13 : Convention de décalage.*

Il existe deux conventions différentes permettant de spécifier l'emplacement de ces décalages.

- La convention **Depth** utilise la distance de décalage par rapport au nœud inverse (distance entre 1 et 2).
- La convention **Elevation** utilise l'altitude absolue de l'emplacement du décalage (élévation du point 1).

Le choix de la convention peut être effectué dans la barre d'état ou dans la page Propriétés du **Node/Links**. Lorsque cette convention est modifiée, une boîte de

dialogue apparaît permettant de recalculer automatiquement tous les décalages de lien existants dans le projet en cours à l'aide de la nouvelle convention sélectionnée.

## **II.3/ Modélisation du réseau**

### **II.3.1/ Types d'objets**

SWMM contient à la fois des objets physiques pouvant apparaître sur la zone d'étude et des objets non physiques qui incluent des informations de conception, de chargement et d'exploitation. Ces objets sont les suivants:

Project Title/Notes	Nodes
Simulation Options	Links
Climatology	Transects
Rain Gages	Control Rules
Subcatchments	Pollutants
Aquifers	Land Uses
Snow Packs	Curves
Unit Hydrographs	Time Series
LID Controls	Time Patterns
	Map Labels

### **II.3.2/ Ajouter des objets**

Pour ajouter un nouvel objet à un projet, sélectionnez le type d'objet dans le volet supérieur du navigateur de projet, puis sélectionnez **Project >> Add New ...** dans le menu principal ou cliquez sur le bouton  du navigateur. Si l'objet comporte un bouton dans la barre d'outils, on peut cliquer sur le bouton de la barre d'outils.

Si l'objet est un objet visuel qui apparaît sur la carte de la zone d'étude (pluviomètre, sous-bassin, nœud, ...etc), il recevra automatiquement un nom d'ID par défaut. Les étapes utilisées pour dessiner chacun de ces objets sur la carte sont détaillées ci-dessous:

#### **II.3.2.1/ Pluviométrie**

On déplace la souris à l'emplacement souhaité sur la carte et cliquez avec le bouton gauche.

#### **II.3.2.2/ Sous-bassin**

On utilise la souris pour dessiner un contour de polygone du sous-bassin sur la carte :

clic gauche à chaque sommet et faites un clic droit ou appuyez sur **Entrée** pour fermer le polygone. On appuie sur la touche **Echap** si on souhaite annuler l'action.

#### ***II.3.2.3/ Nœuds (jonctions, sorties, diviseurs de flux et unités de stockage)***

On déplace la souris à l'emplacement souhaité sur la carte de la zone d'étude et on clique avec le bouton gauche de la souris.

#### ***II.3.2.4/ Arcs (conduites, pompes, orifices, déversoirs et sorties)***

On clique avec le bouton gauche de la souris sur le nœud d'entrée (en amont) du lien.

On déplace la souris dans la direction du nœud de sortie (en aval) du lien, en cliquant sur tous les points intermédiaires nécessaires pour définir l'alignement du lien.

On clique une dernière fois avec le bouton gauche de la souris sur le nœud de sortie (en aval) du lien (Appuyez sur le bouton droit de la souris ou sur la touche **Echap** tout en traçant un lien pour annuler l'opération).

### **II.4/ Exécuter une simulation**

Une fois que la zone d'étude décrite, sa réponse à l'écoulement, son acheminement et son comportement en matière de qualité de l'eau peuvent être simulés. Cette section décrit comment : spécifier les options, exécuter et résoudre les problèmes pouvant survenir.

#### **II.4.1/ Définition des options de simulation**

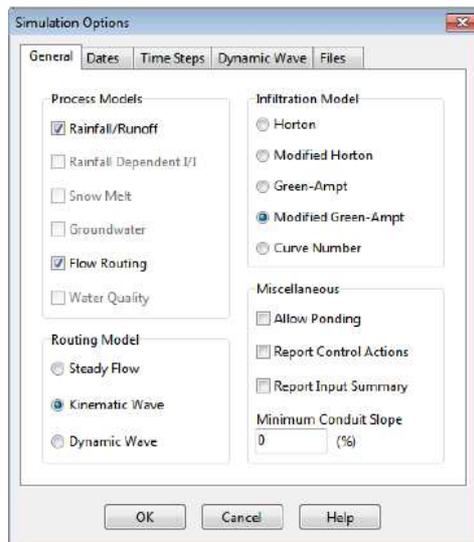
SWMM dispose d'options qui contrôlent la manière dont la simulation d'un système de drainage des eaux pluviales est réalisée. Pour définir ces options, on sélectionne la catégorie **Options** dans l'arborescence du projet et on sélectionne l'option à modifier : **General ; Date ; Time Steps ; Dynamic Wave ; Interface File and Reporting**.

La boîte de dialogue **Simulation Options** contient une page à onglet distincte comme suit.

##### ***II.4.1.1/ Options générales***

La page Générale (Figure II.14) définit les valeurs des options suivantes.

**Process Models** : permet de sélectionner les modèles à appliquer.



**Figure II.14 :** Fenêtre *Simulation Options*.

***Infiltration Model*** : elle contrôle la modélisation de l'infiltration des précipitations dans la zone de sol supérieure des sous-bassins en proposant cinq choix. Si on modifie cette option, on doit ressaisir les valeurs des paramètres d'infiltration dans chaque sous-bassin.

***Routing Model*** : elle détermine la méthode utilisée pour acheminer les flux dans le système de transport. Les choix se font entre : Débit régulier ; Onde cinématique ; Onde dynamique.

***Allow Ponding*** : cocher cette option permettra à l'excès d'eau de s'accumuler sur les nœuds et d'être réintroduit dans le système si les conditions le permettent. Pour que la réintroduction se produise sur un nœud particulier, une valeur non nulle pour son attribut **Ponded Area** doit être utilisée.

***Report Control Actions*** : si on souhaite que le rapport d'état de la simulation répertorie toutes les actions de contrôle effectuées dans un projet. Cette option ne doit être utilisée que pour une simulation à court terme.

***Report Input Summary*** : si on souhaite que le rapport d'état de la simulation répertorie un résumé des données d'entrée du projet.

***Minimum Conduit Slope*** : la valeur minimale autorisée pour la pente d'un conduit (%). Si cette valeur est vide ou égale à zéro (valeur par défaut), aucun minimum n'est imposé (bien que la SWMM utilise une limite inférieure pour une baisse d'altitude de 0,00035 m lors du calcul de la pente d'une conduite).

#### **II.4.1.2/ Options de date**

La page Dates détermine les dates / heures de début et de fin d'une simulation.

**Start Analysis** : on fait entrer la date (mois/jour/année) et l'heure du début de la simulation.

**Start Reporting** : on fait entrer la date et l'heure du début des rapports sur les résultats de la simulation. L'utilisation d'une date antérieure à la date de début est identique à l'utilisation de la date de début.

**End Analysis** : on fait entrer la date et l'heure de fin de la simulation.

**Commencez à balayer (Start Sweeping)**: on fait entrer le jour de l'année (mois / jour) au début des opérations de balayage des rues. La valeur par défaut est le 1<sup>er</sup> janvier.

**End Sweeping**: on fait entrer le jour de l'année (mois / jour) à la fin des opérations de balayage des rues. La valeur par défaut est le 31 décembre.

**Antecedents Dry Days** : on fait entrer le nombre de jours sans précipitations avant le début de la simulation. Cette valeur est utilisée pour calculer une accumulation initiale de charge polluante sur la surface des sous-bassins.

#### **II.4.1.3/ Options de pas de temps**

Elle détermine la longueur des pas de temps utilisés pour le calcul de l'écoulement, le calcul de l'acheminement et le rapport des résultats. Les pas de temps sont spécifiés en jours, heures et minutes.

**Reporting** : on fait entrer l'intervalle de temps pour le rapport des résultats calculés.

**Ruissellement - en temps humide** : on fait entrer la longueur du pas de temps utilisé pour calculer le ruissellement à partir des sous-bassins pendant les périodes de pluie, ou lorsque de l'eau accumulée reste en surface, ou lorsque les contrôles du LID infiltrent ou évaporent les eaux de ruissellement.

**Ruissellement – en temps sec** : on fait entrer la longueur du pas de temps utilisé pour les calculs de ruissellement (consistant essentiellement en une accumulation de polluants) pendant les périodes sans précipitations, sans eau accumulée et où les contrôles LID sont secs. Ceci doit être supérieur ou égal au pas de temps en temps humide.

**Acheminement** : on fait entrer la durée du pas de temps en secondes utilisée pour acheminer les flux et les constituants de la qualité de l'eau à travers le système de

transport. L'onde dynamique nécessite un pas de temps beaucoup plus petit que les autres méthodes.

**Périodes d'écoulement régulier** : cet ensemble d'options indique comment identifier et traiter les périodes pendant lesquelles le système hydraulique ne change pas.

#### **II.4.1.4/ Options onde dynamique**

Elle permet de définir plusieurs paramètres qui contrôlent la manière dont les calculs de l'acheminement de l'onde dynamique sont effectués. Ces paramètres n'ont aucun effet sur les autres méthodes d'acheminement de flux.

**Inertial Terms** : indique comment les termes d'inertie de l'équation de mouvement de Saint Venant seront traités.

**KEEP** maintient ces termes à leur pleine valeur dans toutes les conditions.

**DAMPEN** réduit les termes lorsque le flux devient plus critique et les ignore lorsque le flux est supercritique.

**IGNORE** supprime complètement les termes de l'équation de quantité de mouvement, produisant ce qui est essentiellement une solution **Diffusion Wave**.

**Normal flow Criterion** : sélectionne la base utilisée pour déterminer quand un écoulement supercritique se produit dans un conduit. Les choix sont:

- Pente de la surface de l'eau (pente de la surface de l'eau > pente de la conduite) ;
- Nombre Froude uniquement (nombre Froude > 1.0) ;
- Pente de la surface de l'eau et le nombre de Froude.

Les deux premiers choix ont été utilisés dans les versions précédentes de SWMM. Le troisième choix, qui vérifie l'une ou l'autre de ces conditions, est désormais recommandé.

**Force Main Equation** : sélectionne l'équation utilisée pour le calcul des pertes de charge lors de l'écoulement. Deux choix : Hazen-Williams, Darcy-Weisbach. Par défaut c'est Hazen-Williams.

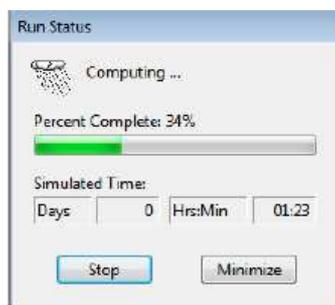
**Use variable time steps** : on coche la case si un pas de temps variable calculé en interne doit être utilisé à chaque période d'acheminement et on sélectionne un facteur d'ajustement (sécurité). Le pas de temps variable est calculé de manière à satisfaire la condition de Courant dans chaque conduite. Un facteur d'ajustement typique serait de 75%. Le pas de temps variable calculé ne sera pas inférieur au pas de variable

minimum, ni supérieur au pas de temps fixe spécifié sur la page Pas de temps de la boîte de dialogue.

En cliquant sur l'étiquette **Apply default**, toutes les options de **Dynamic Wave** seront définies sur leurs valeurs par défaut.

#### II.4.2/ Démarrer une simulation

Pour démarrer une simulation, on sélectionne **Project >> Run simulation** ou on clique sur l'icône . Une fenêtre **Run Status** (Figure II.15) apparaît pour afficher la progression de la simulation.



*Figure II.15 : Fenêtre Run Status.*

Pour arrêter une exécution avant sa fin normale, on clique sur le bouton **Stop** ou appuie sur la touche **Échap**. Les résultats de la simulation jusqu'à ce que l'heure de l'arrêt de l'analyse soit disponible seront affichés. Pour réduire le programme SWMM pendant l'exécution d'une simulation, cliquez sur le bouton **Minimise** de la fenêtre Statut d'exécution.

Si l'analyse aboutit, l'icône  apparaît dans la section État d'exécution de la barre d'état. Tout message d'erreur ou d'avertissement apparaîtra dans une fenêtre de rapport d'état. Si on modifie le projet après une exécution réussie, l'indicateur  d'état indique que les résultats actuellement calculés ne s'appliquent plus au projet modifié.

#### II.5/ Affichage des résultats

Cette partie décrit les différentes manières de visualiser les résultats d'une simulation. Ils peuvent être sous forme de rapport d'état, rapport de synthèse, diverses vues de carte, des graphiques, des tableaux et rapport de fréquence statistique.

### **II.5.1/ Affichage d'un rapport d'état**

Un rapport d'état peut être visualisé après chaque simulation. Il contient:

- un résumé des principales options de simulation en vigueur ;
- une liste de toutes les conditions d'erreur rencontrées lors de l'exécution ;
- un résumé des données lues à partir de chaque fichier de précipitations utilisé ;
- une description de chaque action de règle de contrôle effectuée pendant la simulation ;

Pour afficher le rapport d'état, on sélectionne **Report >> Status** dans le menu principal.

Pour copier le texte sélectionné du rapport d'état dans un fichier ou dans le Presse-papiers Windows, on sélectionne d'abord le texte à copier avec la souris, puis on appuie sur le bouton  de la barre d'outils Standard.

Pour enregistrer l'intégralité du rapport d'état et du rapport récapitulatif dans un fichier, on sélectionne **File >> Export >> Status / Summary Report**.

### **II.5.2/ Résultats des séries chronologiques**

Les résultats calculés à chaque étape pour les variables énumérées dans le Tableau II.7 sont disponibles pour visualisation sur la carte, tabulés et analysés statistiquement.

*Tableau II.7 : Résultats des séries chronologiques.*

<b>Variable</b>	<b>Paramètres</b>
<b>Sous-Bassin</b>	taux de précipitation (mm/hr) épaisseur de neige (mm) perte par évaporation (mm/jour) perte par infiltration (mm/h) débit de ruissellement (unités de débit) écoulement des eaux souterraines dans le réseau de drainage (unités de débit) élévation de la nappe phréatique (m) humidité du sol dans la zone non saturée des eaux souterraines (fraction volumique) concentration de chaque polluant (masse/litre)
<b>Nœud</b>	profondeur de l'eau (m au-dessus de l'élévation de l'inversion du nœud) hauteur de chute hydraulique (m, altitude absolue par référence verticale) volume d'eau stocké (y compris l'eau en bassin, m <sup>3</sup> ) flux latéral (ruissellement + tous les autres flux externes, en unités de débit) flux total (flux latéral + flux amont, en unités de débit) inondation de surface (débordement excessif lorsque le nœud est à pleine profondeur, en unités de débit) concentration de chaque polluant après tout traitement appliqué au nœud (masse/litre)
<b>Arc</b>	débit (unités de débit) profondeur moyenne de l'eau (m) vitesse d'écoulement (m/sec) volume d'eau (m <sup>3</sup> ) capacité (fraction de la surface totale remplie par le débit pour les conduites ; réglage de contrôle pour les pompes et les régulateurs) concentration de chaque polluant (masse/litre)
<b>Système-Wide</b>	température de l'air (degrés C) évaporation potentielle (mm/jour) évaporation réelle (mm/jour) précipitations totales (mm/h) épaisseur totale de neige (mm) pertes moyennes (mm/hr) débit total des eaux de ruissellement (unités de débit) total des apports par temps sec (unités de débit) débit total des eaux souterraines (unités de débit) total des flux RDII (unités de flux) total des entrées directes (unités de débit) total des entrées externes (unités de débit) inondation externe totale (unités de débit) débit total des sorties (unités de débit) volume total de stockage nodal (m <sup>3</sup> )

### **II.5.3/ Visualisation des résultats à l'aide d'un graphique**

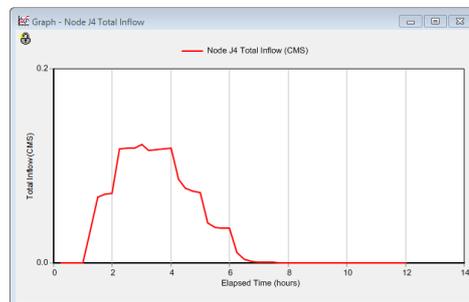
Les résultats de l'analyse peuvent être visualisés à l'aide de graphiques différents. Ils peuvent être imprimés, copiés, ou enregistrés dans un fichier texte ou métafichier. Les trois types de graphiques (Figure II.16) peuvent être créés à partir des résultats de simulation disponibles.

On peut effectuer un zoom avant ou arrière sur un graphique en maintenant la touche **Shift** enfoncée tout en dessinant un rectangle avec le bouton gauche de la souris enfoncé. Dessiner le rectangle de gauche à droite permet d'effectuer un zoom avant, de droite à gauche permet d'effectuer un zoom arrière.

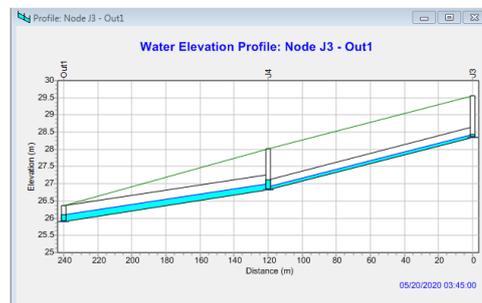
Le tracé peut également être déplacé dans n'importe quelle direction en déplaçant la souris sur le tracé tout en maintenant le bouton gauche de la souris enfoncé.

Un graphe ouvert sera normalement redessiné lorsqu'une nouvelle simulation est exécutée. Pour empêcher la mise à jour automatique d'un graphique, on peut verrouiller le graphique actuel en cliquant sur l'icône dans le coin supérieur gauche du graphique. Pour déverrouiller le graphique, on clique à nouveau sur l'icône.

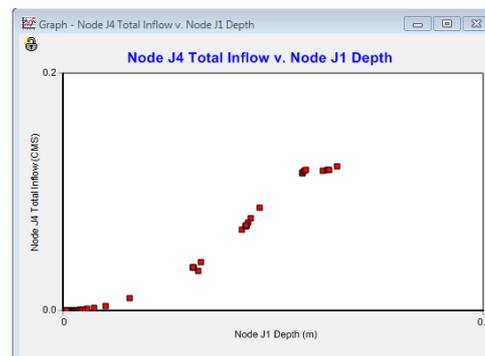
### Série chronologique



### Profil



### Dispersion



*Figure II.16 : Trois types de graphiques.*

## II.5.4/ Personnalisation de l'apparence d'un graphique

Pour personnaliser l'apparence d'un graphique :

On clique sur sa barre de titre pour que le graphique devienne une fenêtre active.

On clique sur le graphique avec le bouton droit de la souris et on utilise la boîte de dialogue pour personnaliser l'apparence du graphique.

### II.5.5/ Visualisation des résultats à l'aide d'un tableau

Les résultats des séries chronologiques pour les variables et les objets sélectionnés peuvent également être visualisés sous forme de tableau (Tableau II.8). Deux types de formats sont disponibles :

**Tableau par objet :** présente sous forme de tableau les séries chronologiques de plusieurs variables pour un seul objet (Exemple : le débit et la profondeur de l'eau pour une conduite).

**Tableau par variable :** totalise les séries chronologiques d'une seule variable pour plusieurs objets du même type (Exemple : le ruissellement pour un groupe de sous-bassins versants).

**Tableau II.8 : Tableau par Objet et par Variable.**

Days	Hours	Depth (m)	Total Inflow (CMS)
0	00:15:00	0.00	0.00
0	00:30:00	0.00	0.00
0	00:45:00	0.00	0.00
0	01:00:00	0.00	0.00
0	01:15:00	0.09	0.03
0	01:30:00	0.14	0.07
0	01:45:00	0.14	0.07
0	02:00:00	0.14	0.07
0	02:15:00	0.19	0.12

Days	Hours	Subcatch S3	Subcatch S1
0	00:15:00	0.00	0.00
0	00:30:00	0.00	0.00
0	00:45:00	0.00	0.00
0	01:00:00	0.00	0.00
0	01:15:00	0.01	0.02
0	01:30:00	0.01	0.03
0	01:45:00	0.01	0.03
0	02:00:00	0.01	0.03
0	02:15:00	0.03	0.06
0	02:30:00	0.03	0.06

### II.6/ Application sur un cas d'étude

Cette partie sera consacrée à un cas d'étude. En effet, on va concevoir, dimensionner, modéliser et simuler le réseau d'assainissement d'une zone urbaine sise à Bejaia ville. Dans cette partie, on va expliquer les différentes étapes à suivre afin de modéliser le réseau de drainage des eaux de pluie, simuler et enfin afficher les résultats obtenus.

La construction de l'ossature d'un réseau d'assainissement diffère d'une agglomération à une autre. Sa conception dépend de plusieurs paramètres en relation avec la trame urbanistique de l'agglomération, comme le plan de voirie, la répartition des bâtiments, la topographie, le choix du type de réseau, ...etc. En assainissement, on distingue principalement trois types de réseaux.

**Réseau unitaire :** un seul collecteur assure le transport des eaux usées et des eaux pluviales. Ces eaux sont acheminées vers une station d'épuration qui reçoit un effluent

de quantité et de qualité variables. Des ouvrages de déviation sont répartis sur le réseau pour permettre à la station de ne pas recevoir un débit supérieur à sa capacité. Ce système est intéressant par sa simplicité car il suffit d'une canalisation dans chaque voie publique et d'un seul branchement pour chaque immeuble.

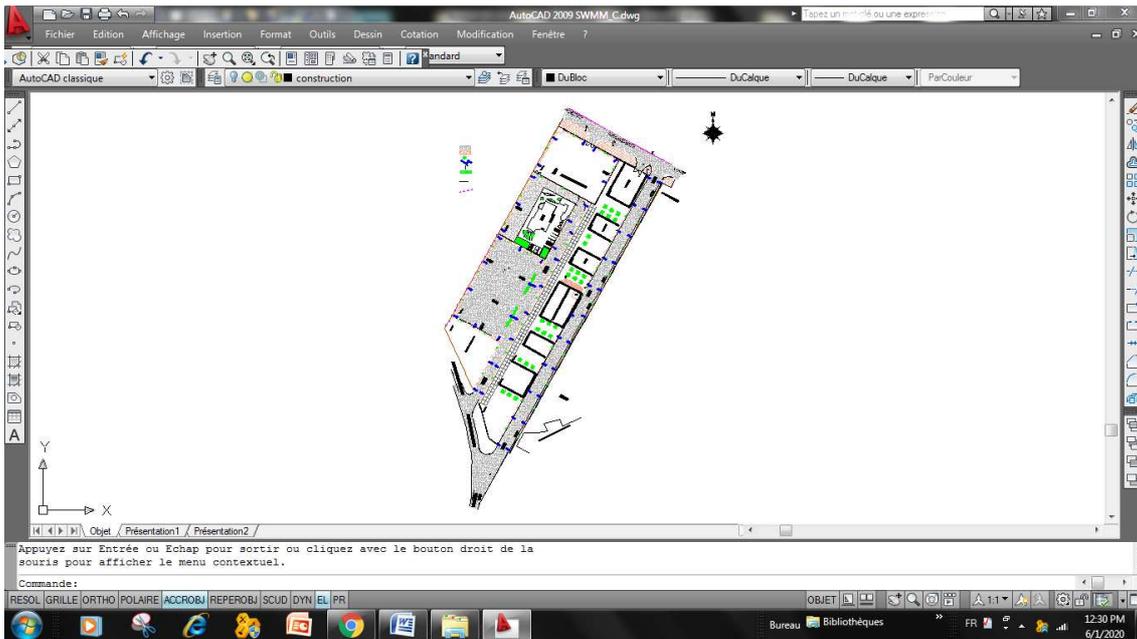
**Réseau séparatif** : deux réseaux sont mis en place. Un réseau pluvial conçu pour évacuer les eaux d'origine pluviales et transite l'eau vers les cours d'eaux les plus proches. Un réseau d'eaux usées conçu pour évacuer les eaux usées d'origine domestique et industrielle jusqu'à la station d'épuration.

Le tracé du réseau d'eaux usées est en fonction de l'implantation des différentes entités qu'il dessert. Le tracé du réseau d'eaux pluviales dépend de l'implantation des espaces producteurs du ruissellement des eaux pluviales et sont rejetées directement dans le cours d'eau.

**Système pseudo séparatif** : ce système permet de diviser les apports d'eaux pluviales en deux parties. La première provenant uniquement des surfaces de voirie qui s'écoule par des ouvrages particuliers des services de la voirie municipale. La deuxième provenant des toitures et cours intérieures qui sont raccordées au réseau d'assainissement à l'aide des mêmes branchements que ceux des eaux usées domestiques. Le réseau prend fin obligatoirement à la station d'épuration qui se trouve en général à la sortie de l'agglomération.

**NB** : dans notre cas, le réseau unitaire est le plus adéquat. Pour cela, le dimensionnement se fera uniquement pour les eaux pluviales. Une seule conduite sera nécessaire pour assurer un écoulement gravitaire vers l'exutoire.

Pour mener à bien cette étude, on a exploité le plan topographique et plan de masse de la zone d'étude. Les plans sont disponibles dans le fichier suivant (Figure II.17).

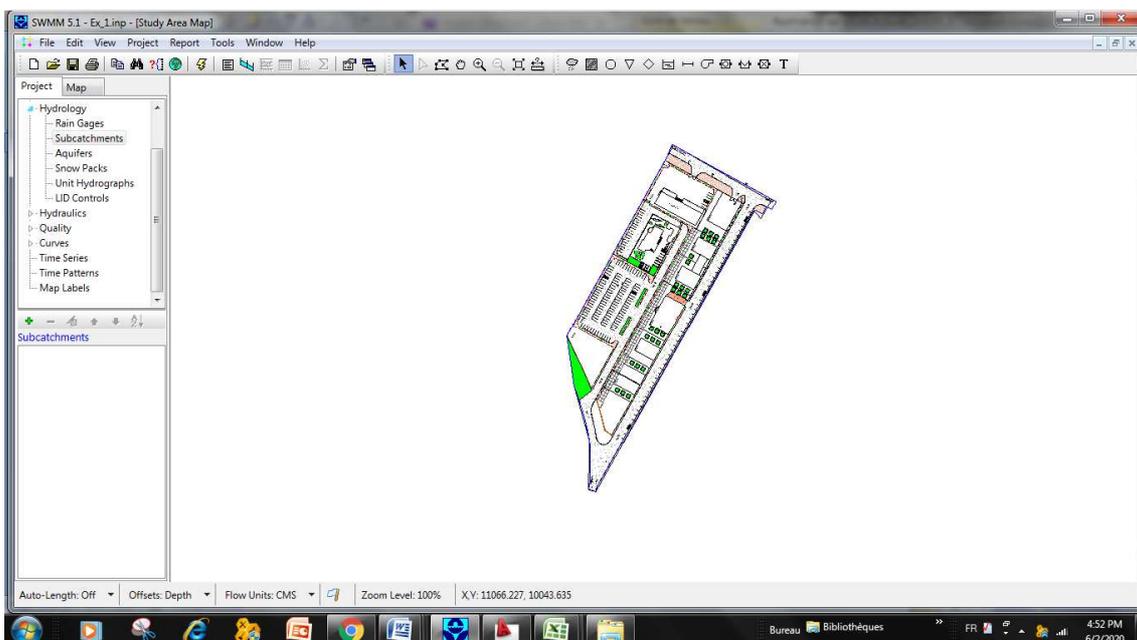


*Figure II.17 : Plan de masse et topographique de la zone d'étude - Bejaia.*

Le plan de la figure II.17 sera exploité sous SWMM comme un arrière plan.

### II.6.1/ Importation du plan comme Fond d'écran sous SWMM

On va enregistrer ce plan dans un Métafichier avec le nom : **SWMM\_C.wmf**. Afin d'afficher le plan dans SWMM, on suit le chemin suivant : **View >> Backdrop >> Load** et on sélectionné le fichier **SWMM\_C.wmf** à partir de la boîte de dialogue qui s'affiche. Le plan s'affichera sous SWMM comme indiqué dans la Figure II.18.



*Figure II.18 : Affichage du plan de masse et topographique de la zone d'étude sous SWMM.*

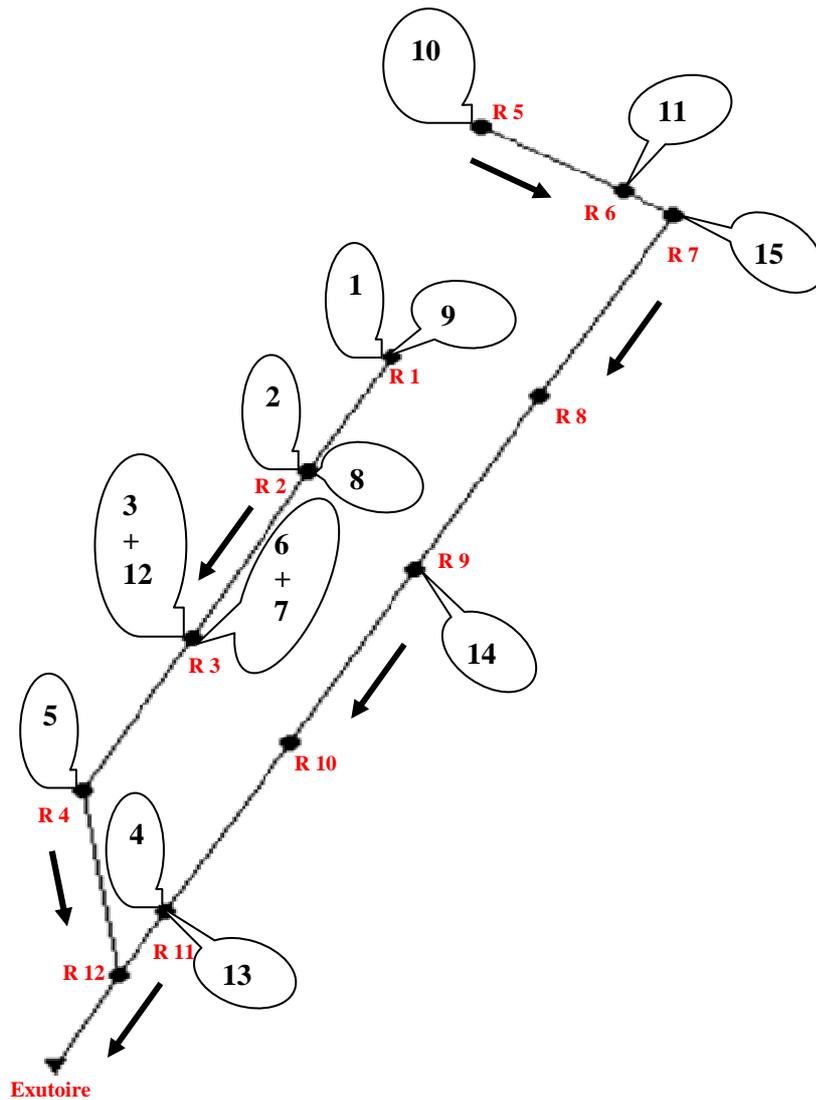
## **II.6.2/ Conception du réseau sous SWMM**

La zone d'étude est une cité appartenant à la ville de Bejaia. Cette cité a bénéficié d'un budget alloué aux travaux de VRD et une partie sera consommée dans la réalisation du réseau d'assainissement. La cité compte des : immeubles, espaces verts, routes, trottoirs, parking, ...etc.

L'estimation des eaux pluviales nécessite au préalable la délimitation du bassin versant global. Par la suite, le bassin versant global sera à son tour découper en un ensemble de sous-Bassin. Enfin, on détermine les paramètres nécessaires à prendre pour chaque sous-Bassin. Ces paramètres sont : la surface, la pente moyenne, le coefficient de ruissellement pondéré en fonction de la nature du sol drainé.

En délimitant le bassin versant global, sa surface est évaluée à 26189.1781 m<sup>2</sup>. Toutes les eaux de cette zone seront collectées et acheminées gravitairement par un réseau unitaire vers un seul exutoire situé au niveau de la rue menant vers les quatre chemins.

En divisant la zone d'étude, on a obtenu 15 sous-Bassins. Par la suite, on a positionné les regards dont le nombre est de 12. Aussi 12 conduites sont nécessaires pour acheminer toutes les eaux vers l'exutoire. La longueur du réseau d'assainissement est de 599.8 m pour des diamètres variant de 300 mm à 600 mm. En finalisant la conception du réseau, le schéma d'ossature obtenu est mentionné dans la Figure II.19 suivante.



*Figure II.19 : Ossature du réseau d'assainissement.*

Cette étape a permis de définir le nombre de Sous-Bassins, nœuds et conduites nécessaires pour assurer la collecte et le transport de l'eau jusqu'à l'exutoire. Aussi de calculer les paramètres de chaque élément composant le réseau d'assainissement.

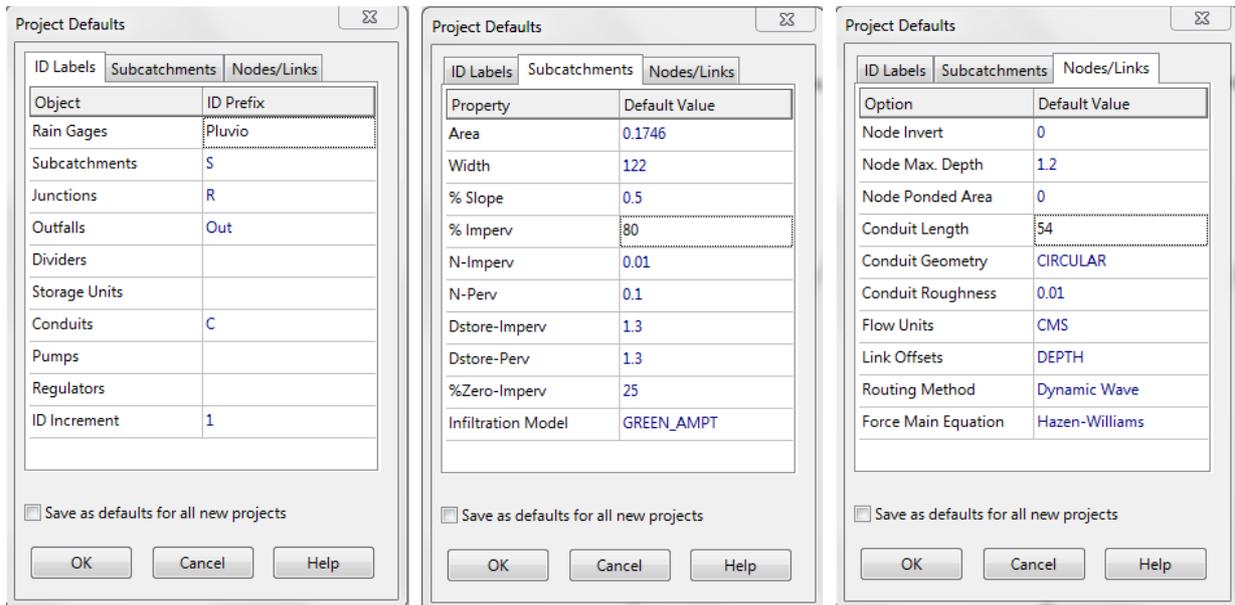
Au total, on a 15 sous-Bassins, 12 regards, un exutoire, 12 conduites et une station de mesure pluviométrique.

## **II.6.3/ Modélisation du réseau**

### ***II.6.3.1/ Configuration du nouveau projet***

Elle s'effectue en exécutant les étapes suivantes. En démarrant SWMM, on va choisir le Menu **File**. Par la suite, on clique sur **New** pour la création du nouveau projet. En sélectionnant **Project >> Défaut**, la boîte de dialogue, présentée dans la Figure II.20, va s'ouvrir.

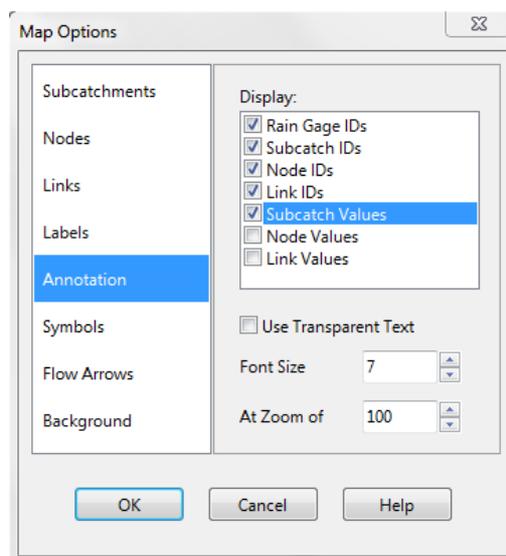
La boîte de dialogue Projet par défaut apparaît avec trois pages, une pour chaque catégorie énumérée ci-dessus.



**Figure II.20 : Fenêtre Project Defaults.**

Les éléments spécifiques à chaque catégorie de valeurs par défaut seront abordés dans ce qui suit. On termine par **OK** pour accepter ce choix de valeurs par défaut.

L'affichage est d'une importance cruciale dans la lisibilité des objets et des chiffres. De ce fait, plusieurs options d'affichage du schéma peuvent être sélectionnées. Pour accéder, on clique avec l'icône **Select Viewing Option** pour visualiser la boîte de dialogue **Map Options**. Par la suite, on sélectionne la rubrique **View** et on coche les cases comme représentées dans la Figure II.21.



**Figure II.21 : Boite de dialogue Map Options.**

Dans cet exemple, on a sélectionné l'affichage des identificateurs des pluviomètres, des bassins versants, des nœuds et des arcs.

Afin de visualiser toutes les données du projet, une liste de données peut être affichée dans une fenêtre non modifiable. Pour afficher cette liste, on sélectionne **Project >> Details** dans le menu principal.

### ***II.6.3.2/ Tracé du réseau***

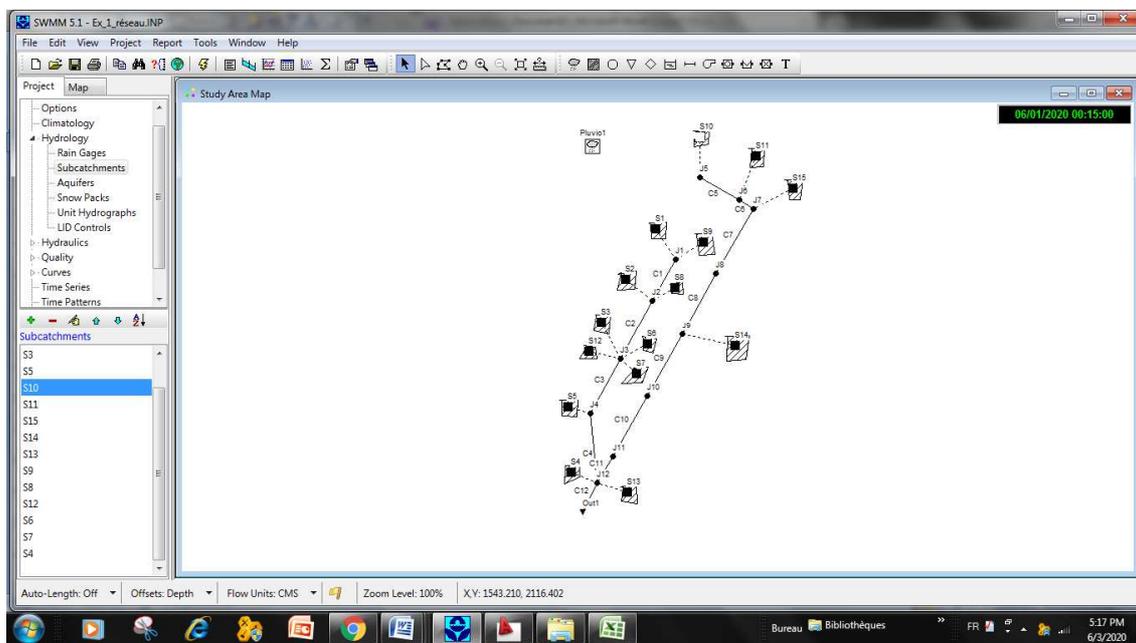
Afin de tracer le réseau d'assainissement, on va exploiter la barre d'outil Schéma.

Nous allons ajouter des éléments au plan du projet comme suit :

- On commence par les sous-Bassins. On clique sur le bouton  de la barre à outils des objets pour dessiner les sous-Bassins. On déplace le pointeur de la souris, sous forme de crayon, sur le plan jusqu'à l'emplacement d'un des sommets du périmètre du sous-Bassin et clic gauche de la souris. De la même manière avec les autres sommets et faire un clic droit (ou appuyer sur Entrée) pour fermer le périmètre. On va créer ainsi le bassin versant S1 et répéter l'opération pour les 14 autres sous-Bassins.
- Par la suite, on va positionner les 12 regards (nœuds de jonctions) et l'exutoire du réseau. On clique sur le bouton  de la barre à outils des objets pour positionner les nœuds. On déplace le pointeur de la souris sur le plan jusqu'à l'emplacement du nœud R1 et clique sur le bouton gauche de la souris. De la même manière on positionne les autres regards R2 à R12.
- Pour ajouter l'exutoire Out1, on clique sur le bouton , déplacer le pointeur de la souris sur le plan jusqu'à l'emplacement de l'exutoire et clic sur le bouton gauche de la souris.
- On va créer les arcs (conduites) qui relient les nœuds. Commençons par la conduite C1 qui relie les nœuds R1 et R2. On clique sur le bouton . Le pointeur de la souris prend la forme d'une croix. En cliquant sur le nœud R1, le pointeur prend la forme d'un crayon. On déplace la souris jusqu'au nœud R2. Une ligne se dessine entre les deux nœuds. On répète la procédure pour les conduites C2, ..., C12.

- La création de la station de mesure pluviométrique se fait en cliquant sur  . On déplace la souris sur la carte jusqu'à l'emplacement souhaité pour la station pluviométrique et on clique avec le bouton gauche de la souris.

A ce stade, le dessin de tous les composants du système est terminé. Le schéma du réseau est donné dans la Figure II.22.



*Figure II.22 : Schéma du réseau d'assainissement sous SWMM.*

### **II.6.3.3/ Saisie des Propriétés des Objets**

A mesure que les objets sont dessinés, SWMM leur affecte des propriétés par défaut. Pour modifier le contenu ou la valeur d'une propriété spécifique d'un objet, il faut appeler l'éditeur de propriétés de cet objet.

**Bassin versant** : plusieurs propriétés doivent être renseignées.

1. Chaque sous-Bassin a un nœud exutoire différent. On doit procéder pour chaque sous-Bassin de la façon suivante. On double clique sur sous-Bassin S1 pour faire apparaître l'éditeur de propriétés. On tape R1 dans la rubrique **Outlet** et **Entrée**. Une ligne en pointillés s'est dessinée entre le sous-Bassin et son exutoire.
2. Si on souhaite considérer un sous-Bassin moins urbanisé que les autres, on sélectionne par exemple le S3 dans l'éditeur de propriétés pour lui affecter un coefficient d'imperméabilisation (% Imperv) de 30%.
3. La station de mesure pluviométrique qui décrit les précipitations sur le bassin versant ainsi que le nœud du réseau qui reçoit l'eau ruisselant sur le sous-Bassin.

Dans ce cas, tous les sous-Bassins utilisent la même station pluviométrique. Pour cela, on va affecter cette propriété à tous les sous-Bassins à la fois.

Les propriétés des sous-Bassins sont récapitulées dans le Tableau II.9.

**Tableau II.9 : Caractéristiques des sous-Bassins.**

Sous-Bassin	Surface (ha)	Coefficient de ruissellement (%)	Longueur (m)	Pente moyenne (%)
SB01	0.2607	90	42.26	1.09
SB02	0.3506	92	45.54	1.60
SB03	0.1767	70	46.17	1.39
SB04	0.1151	95	127.51	1.20
SB05	0.1219	95	46.40	1.62
SB06	0.1138	90	31.54	1.93
SB07	0.0918	95	31.75	0.85
SB08	0.1597	92	32.14	0.25
SB09	0.1857	91	32.06	0.41
SB10	0.2389	95	41.92	0.26
SB11	0.1163	95	42.06	0.33
SB12	0.1857	95	135.58	0.30
SB13	0.1900	95	161.66	1.13
SB14	0.1523	95	130.99	0.19
SB15	0.1595	95	105.26	0.62
<b>Total</b>	2.6189			

**Regard :** on introduit et enregistre les côtes du radier (**Invert Elevation**) des regards et de l'exutoire. On sélectionne individuellement les différents nœuds du système et entrer les données du Tableau II.10.

**Tableau II.10 : Caractéristiques des regards du réseau d'assainissement.**

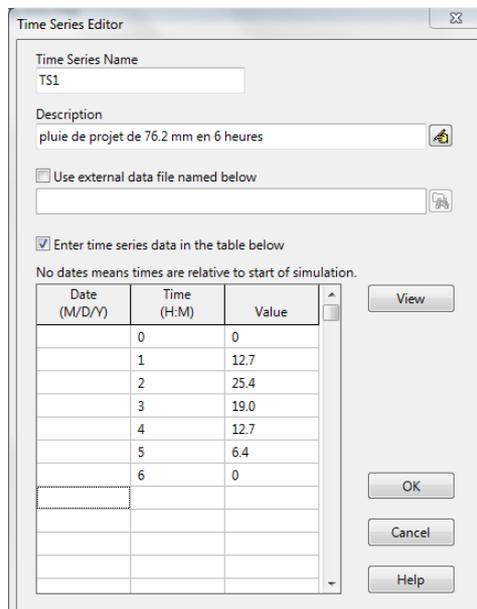
Tronçons	Côte (m)	Cote radié (m)	Sous-Bassin associé
R1	10.14	8.94	(1+9) = A
R2	09.92	8.72	(2+8 série A) = B
R3	09.78	8.58	((3+6+7+12) série B) = C
R4	09.35	8.15	(5 série C) = D
R5	10.49	9.29	(10)
R6	10.00	8.80	(11 série 10) = E
R7	09.88	8.68	(15 série E) = F
R8	09.99	8.59	F
R9	09.70	8.50	(14 série F) = G
R10	08.95	7.75	G
R11	08.73	7.53	G
R12	08.20	7.00	(13 série G) + (4 série D) = H
Out	08.00	6.80	H

**Conduite :** dans un premier temps, toutes les conduites auront un diamètre de 300 mm (Tableau II.11). Après simulation, on va identifier les conduites nécessitant un changement de diamètre.

*Tableau II.11: Caractéristiques des conduites.*

Tronçons	Longueur (m)	Pente (%)	Diamètre (mm)
R1-R2	45.14	0.49	300
R2-R3	61.34	0.23	300
R3-R4	61.07	0.70	300
R4-R12	67.23	1.71	300
R5-R6	43.51	1.13	300
R6-R7	17.87	0.67	300
R7-R8	68.02	0.13	300
R8-R9	66.82	0.13	300
R9-R10	67.06	1.12	300
R10-R11	65.82	0.33	300
R11-R12	23.92	2.22	300
R12-Out	12.00	1.67	300
<b>Total</b>	599.8		

**Pluviométrie** : on va renseigner les propriétés de la station pluviométrique. On sélectionne l'objet **Pluvio1** dans la liste des données et on édite ses propriétés. Pour faire apparaître la fenêtre de l'éditeur de série temporelle, on fait entrer **TS1** dans le champ **Time Series Name** (Figure II.23). Par la suite, on fait entrer les valeurs de la pluie dans les colonnes **Time** et **Value**. On clique sur le bouton **View** pour visualiser le graphique correspondant, puis on clique sur **OK** pour valider.



*Figure II.23 : Editeur de séries temporelles (Time Series)*

Toutes les données du projet ayant été renseignées, on enregistre les dernières modifications.

Les données du projet ont été enregistrées dans un fichier au format texte. Il est possible de visualiser son contenu en sélectionnant la commande **Project >> Details** dans le menu principal.

Pour ouvrir, lors d'une prochaine session de travail, un projet préalablement enregistré, il suffit de sélectionner la commande **File >> Open** dans le menu principal.

#### ***II.6.3.4/ Sauvegarde du Projet***

Il est important de sauvegarder le projet dans un fichier. Pour enregistrer un projet sous un nom, on sélectionne **File >> Save** dans le menu principal.

Pour enregistrer un projet sous un nom différent, on sélectionne **File >> Save As** dans le menu principal. Un formulaire de dialogue de sauvegarde de fichier standard apparaît et dans lequel on peut sélectionner le dossier et le nom dans lequel le projet doit être enregistré. On clique sur **Accepter** pour enregistrer le projet. L'extension **(.inp)** sera ajoutée au nom de fichier par défaut.

#### ***II.6.3.5/ Simulation***

Une fois que la zone d'étude décrite, sa réponse à l'écoulement, l'acheminement de l'eau peut être simulés. Dans cette section, on va décrire comment spécifier les options et exécuter la simulation.

On sélectionne la catégorie **Options** dans l'arborescence du projet et on sélectionne l'option à modifier : **General ; Date ; Time Steps ; Dynamic Wave ; Interface File and Reporting**.

La boîte de dialogue **Simulation Options** contient une page à onglet distincte permettant de modifier les options de simulation.

SWMM propose trois procédés de simulation, pour le même phénomène pluviométrique, à savoir :

1. écoulement permanent et uniforme ;
2. écoulement généré par une onde Cinématique ;
3. écoulement généré par une onde Dynamique.

Dans ce document, on va présenter les résultats d'un acheminement avec onde dynamique. Avant de simuler le fonctionnement du réseau, il faut fixer un certain nombre de paramètres qui détermineront la façon dont sera conduite la simulation. Dans l'onglet **General** de la fenêtre qui apparaît, on vérifie que les cases **Rainfall/Runoff** et **Flow Routing** de la rubrique **Process Models** sont cochées.

Dans la rubrique **Routing Model**, on va cocher la case **Kinematic Wave** pour simuler l'écoulement dans le réseau selon le modèle de transfert de l'onde cinématique. Dans la rubrique **Infiltration Model**, la case **Green Ampt** va être cochée et dans la rubrique **Miscellaneous**, toutes les cases vont être décochées.

On va maintenant lancer une simulation en cliquant sur le bouton . En cas de problèmes lors de la simulation, un rapport de simulation apparaîtra à l'écran, décrivant les erreurs rencontrées.

La simulation a abouti et l'icône  apparaît dans la section État d'exécution de la barre d'état.

L'analyse des rapports fait ressortir des débordements au niveau des regards R2 et R12. Pour cela, il est nécessaire de revoir les diamètres des conduites C2, C3, C4 et C12, ceci en leur affectant un autre diamètre qui sera de 350 mm chacune.

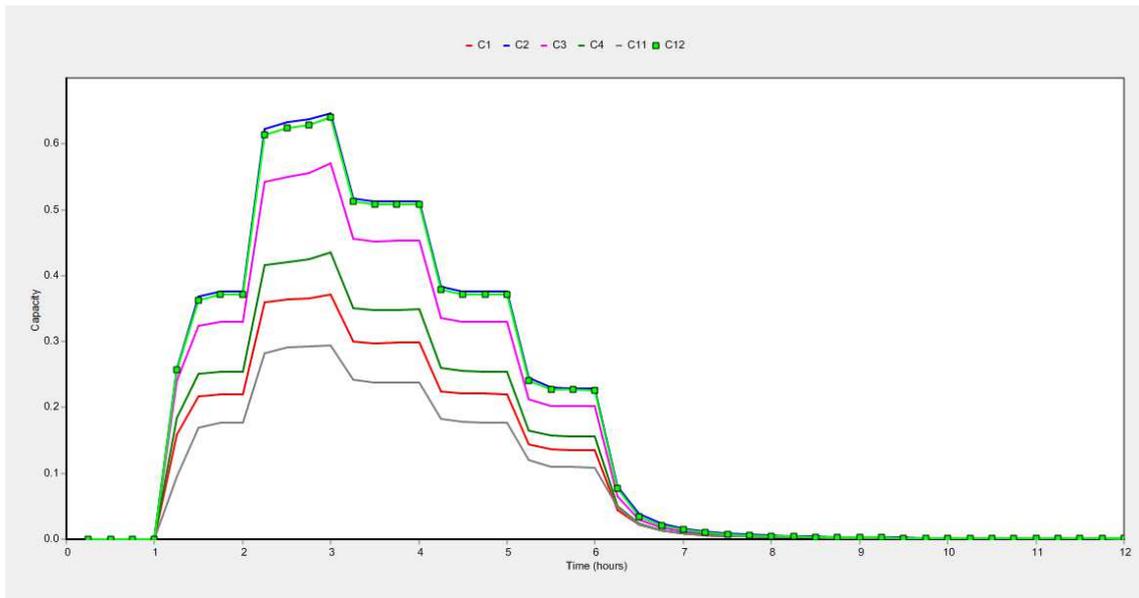
En effectuant une deuxième simulation et après vérification, les résultats indiquent qu'il n'y a plus de débordement au niveau du réseau.

En réalisant tous ce travail et après avoir effectué avec succès la simulation, on va passer à une autre étape. C'est l'étape de la visualisation des résultats qui peut se faire sous forme de graphe et sous forme de tableaux.

#### ***II.6.3.5.1/ Résultats sous forme de graphe***

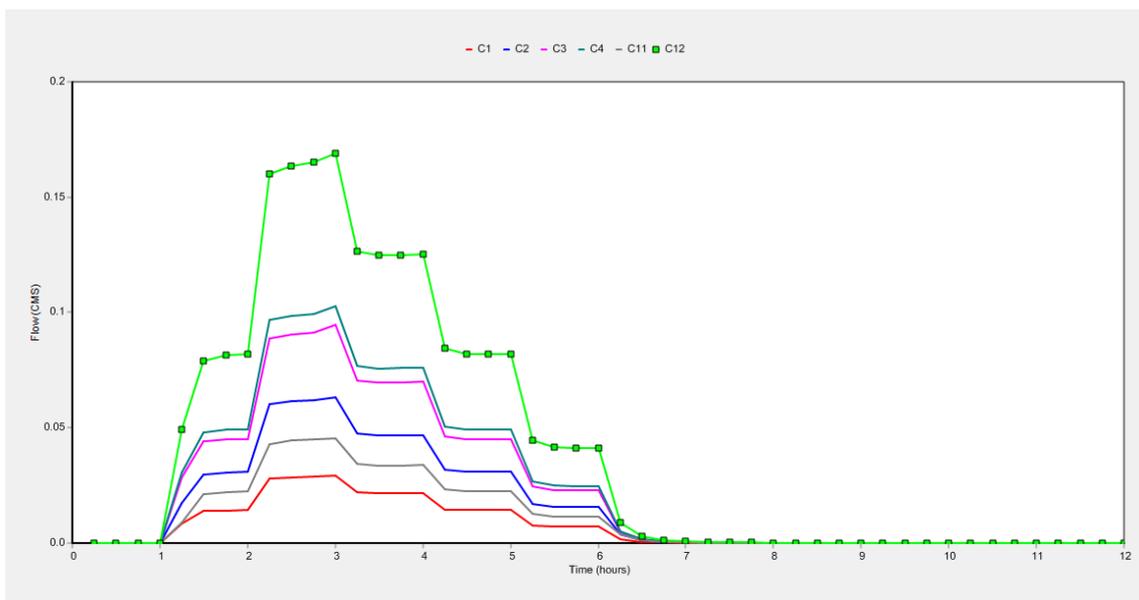
SWMM permet d'analyser le réseau d'assainissement sous différents angles. En effet, à travers la présentation de différents critères on peut vérifier la capacité hydraulique du réseau de pouvoir véhiculer la pluie de projet en toute sécurité. Certains critères seront présentés dans ce qui suit.

**Capacité du réseau** : l'analyse du réseau d'assainissement va se faire au préalable par la vérification de la capacité du réseau qui est un critère très important. Ce critère va permettre de vérifier la capacité hydraulique du réseau en fonction de l'averse par laquelle il est sollicité. La capacité de transfère de flux de chaque conduite du réseau d'assainissement sera traduite par le rapport du débit véhiculé au débit admissible de chaque conduite. La Figure II.24 illustre bien la capacité maximale de six conduites du réseau.



**Figure II.24 :** Capacité des conduites C1, C2, C3, C4, C11 et C12.

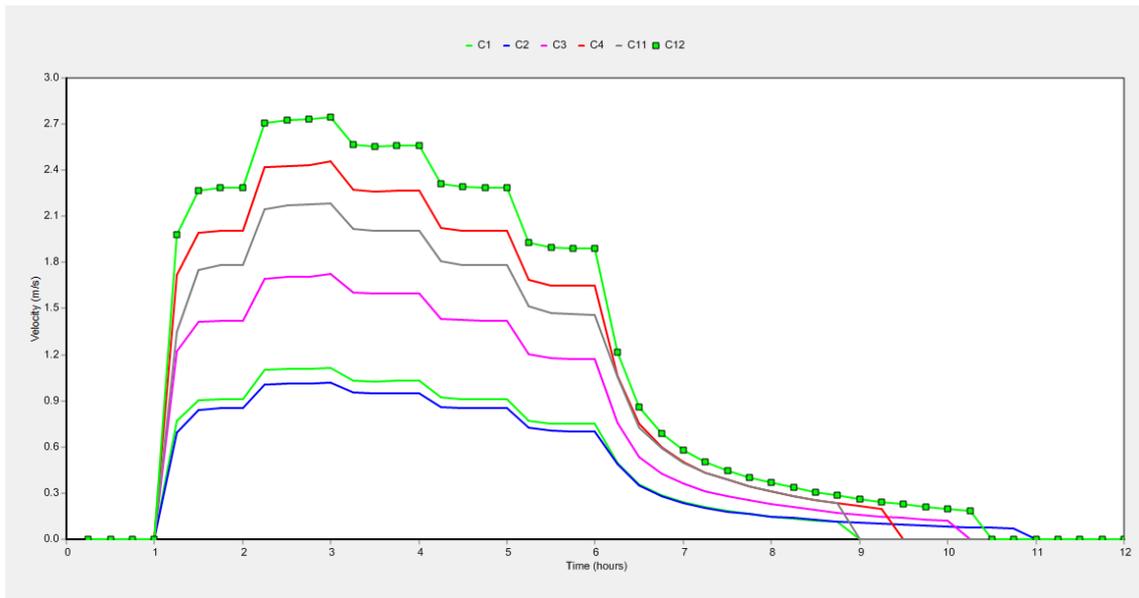
**Hydrogramme des débits :** on va choisir six conduites pour représenter les hydrogrammes des débits (Figure II.25).



**Figure II.25 :** Débit véhiculé par les conduites C1, C2, C3, C4, C11 et C12.

Le débit de pointe est obtenu au niveau de la conduite C12. Il est de  $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$  atteint à 3 heures après le début de l'averse.

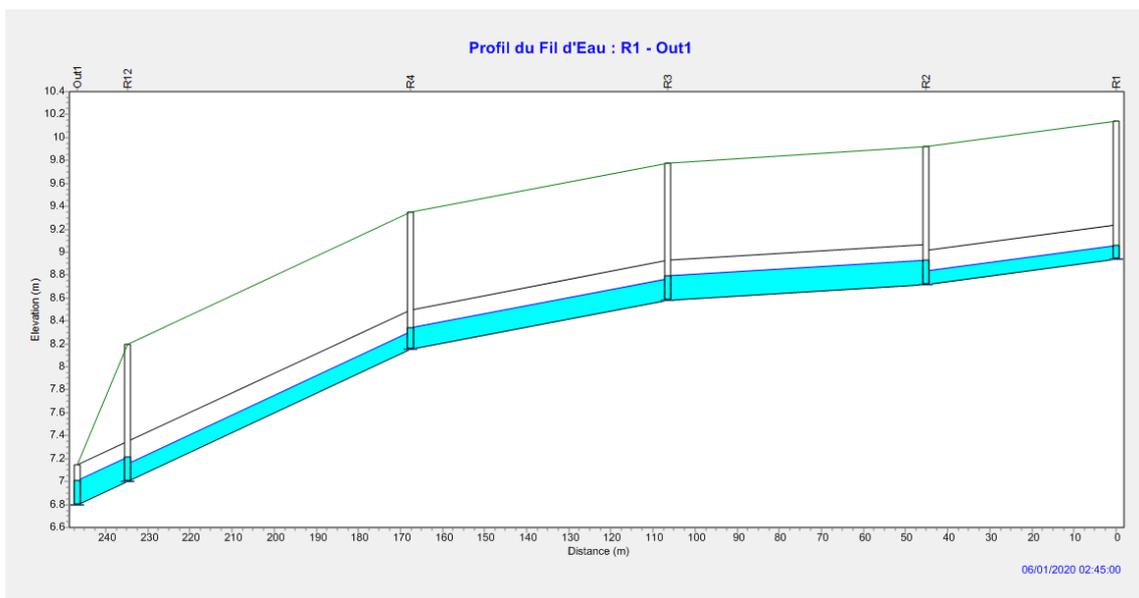
**Vitesses d'écoulement :** on va choisir six conduites pour représenter les vitesses d'écoulement dans les conduites (Figure II.26).



**Figure II.26 :** Vitesse d'écoulement dans les conduites C1, C2, C3, C4, C11 et C12.

Pendant l'averse, toutes les vitesses dans les six conduites sont supérieures à 0.6 m/s et inférieures à 3 m/s. Donc, les seuils de vitesses d'écoulement sont acceptables. La vitesse maximale est de 2.74 m/s obtenue au niveau de la conduite C12 à 3 heures.

**Ligne d'eau ou Profil en long :** la représentation du fil d'eau et de la visualisation de la variation de la ligne d'eau permet de mieux comprendre le phénomène de transfert pluie-débit et par conséquent une meilleure conception du réseau d'assainissement. Comme exemple, on va représenter le profil du fil d'eau depuis R1 jusqu'à l'exutoire dans la Figure II.27.

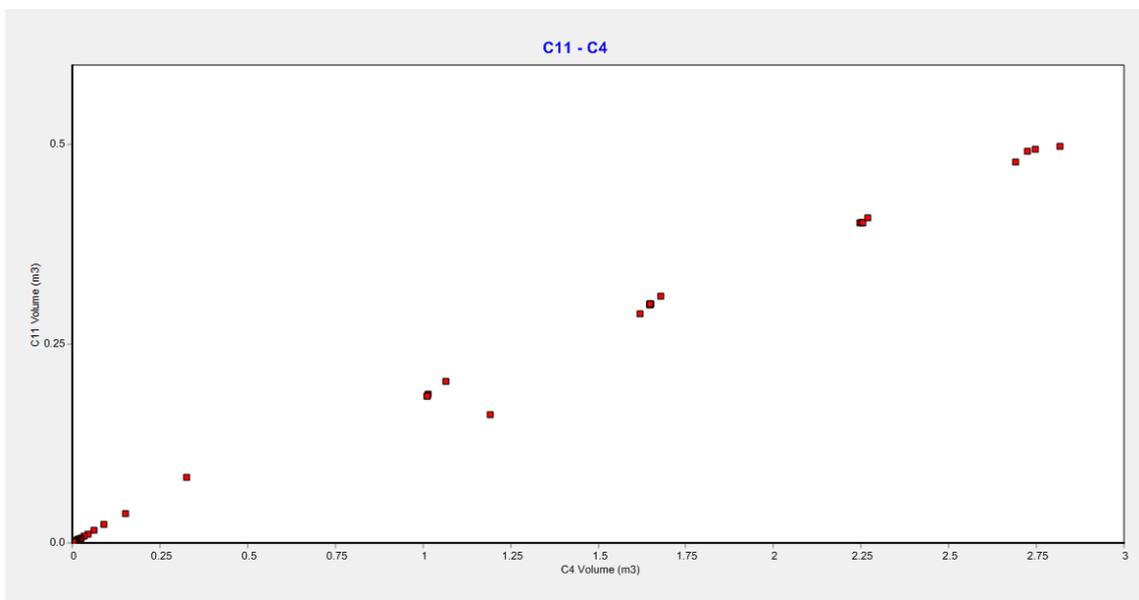


**Figure II.27 :** Profil du fil d'eau le long de R1 – Out 1.

En effectuant une animation de la variation du fil d'eau le long de la ligne R1-Out1, on constate qu'il n'y a pas de conduites en surcharge et il n'y a pas de débordements au niveau des regards.

On observe la même chose sur la variation du fil d'eau le long de la ligne R5-Out1

**Analyse de la dispersion :** cette représentation permet d'effectuer une comparaison d'un même paramètre observé dans des lieux différents. Exemple : le paramètre volume d'eau (m<sup>3</sup>) qui transite au niveau de la conduite C4 comparé au volume d'eau (m<sup>3</sup>) qui transite au niveau de la conduite C11 (Figure II.28).



**Figure II.28 :** Profil du fil d'eau le long de R1 – Out 1.

On constate que le volume d'eau qui transite le long de la ligne R1 - Out 1 est plus important que le volume d'eau transitant le long de la ligne R5 - Out1.

#### **II.6.3.5.2/ Résultats sous forme de tableau**

Les résultats des séries chronologiques pour les variables et les objets peuvent être visualisés sous forme de tableau. Ils peuvent être affichés sous deux formats.

**Tableau par objet :** on va présenter les paramètres : Flow, Depth, Velocity, Volume et Capacity pour la conduite C12 (Tableau II.12).

*Tableau II.12 : Tableau par Objet.*

Days	Hours	Flow (CMS)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Volume (m <sup>3</sup> )	Capacity
0	0:15:00	0	0	0	0	0
0	0:30:00	0	0	0	0	0
0	0:45:00	0	0	0	0	0
0	1:00:00	0	0	0	0	0
0	1:15:00	0.05	0.11	1.98	0.3	0.26
0	1:30:00	0.08	0.14	2.27	0.42	0.36
0	1:45:00	0.08	0.14	2.29	0.43	0.37
0	2:00:00	0.08	0.14	2.29	0.43	0.37
0	2:15:00	0.16	0.21	2.71	0.71	0.61
0	2:30:00	0.16	0.21	2.72	0.72	0.62
0	2:45:00	0.17	0.21	2.73	0.73	0.63
0	3:00:00	0.17	0.21	2.74	0.74	0.64
0	3:15:00	0.13	0.18	2.57	0.59	0.51
0	3:30:00	0.12	0.18	2.56	0.59	0.51
0	3:45:00	0.13	0.18	2.56	0.59	0.51
0	4:00:00	0.13	0.18	2.56	0.59	0.51
0	4:15:00	0.08	0.14	2.31	0.44	0.38
0	4:30:00	0.08	0.14	2.29	0.43	0.37
0	4:45:00	0.08	0.14	2.29	0.43	0.37
0	5:00:00	0.08	0.14	2.29	0.43	0.37
0	5:15:00	0.04	0.1	1.93	0.28	0.24
0	5:30:00	0.04	0.1	1.9	0.26	0.23
0	5:45:00	0.04	0.1	1.89	0.26	0.23
0	6:00:00	0.04	0.1	1.89	0.26	0.23
0	6:15:00	0.01	0.05	1.21	0.09	0.08
0	6:30:00	0	0.03	0.86	0.04	0.03
0	6:45:00	0	0.02	0.69	0.02	0.02
0	7:00:00	0	0.01	0.58	0.02	0.01
0	7:15:00	0	0.01	0.5	0.01	0.01
0	7:30:00	0	0.01	0.44	0.01	0.01
0	7:45:00	0	0.01	0.4	0.01	0.01
0	8:00:00	0	0.01	0.37	0.01	0
0	8:15:00	0	0.01	0.34	0	0
0	8:30:00	0	0.01	0.31	0	0
0	8:45:00	0	0.01	0.28	0	0
0	9:00:00	0	0	0.26	0	0
0	9:15:00	0	0	0.24	0	0
0	9:30:00	0	0	0.23	0	0
0	9:45:00	0	0	0.21	0	0
0	10:00:00	0	0	0.2	0	0
0	10:15:00	0	0	0.19	0	0
0	10:30:00	0	0	0	0	0
0	10:45:00	0	0	0	0	0
0	11:00:00	0	0	0	0	0
0	11:15:00	0	0	0	0	0
0	11:30:00	0	0	0	0	0
0	11:45:00	0	0	0	0	0
0	12:00:00	0	0	0	0	0

*Tableau par variable* : on va présenter un paramètre vitesse pour l'ensemble des conduites C1, ..., C12 (Tableau II.13).

*Tableau II.13 : Tableau par Variable.*

<b>Days</b>	<b>Hours</b>	<b>Link C1</b>	<b>Link C2</b>	<b>Link C3</b>	<b>Link C4</b>	<b>Link C12</b>
0	0:15:00	0	0	0	0	0
0	0:30:00	0	0	0	0	0
0	0:45:00	0	0	0	0	0
0	1:00:00	0	0	0	0	0
0	1:15:00	0.16	0.26	0.24	0.18	0.26
0	1:30:00	0.22	0.37	0.32	0.25	0.36
0	1:45:00	0.22	0.38	0.33	0.25	0.37
0	2:00:00	0.22	0.38	0.33	0.25	0.37
0	2:15:00	0.36	0.62	0.54	0.42	0.61
0	2:30:00	0.36	0.63	0.55	0.42	0.62
0	2:45:00	0.37	0.64	0.56	0.42	0.63
0	3:00:00	0.37	0.65	0.57	0.44	0.64
0	3:15:00	0.3	0.52	0.46	0.35	0.51
0	3:30:00	0.3	0.51	0.45	0.35	0.51
0	3:45:00	0.3	0.51	0.45	0.35	0.51
0	4:00:00	0.3	0.51	0.45	0.35	0.51
0	4:15:00	0.22	0.38	0.34	0.26	0.38
0	4:30:00	0.22	0.38	0.33	0.25	0.37
0	4:45:00	0.22	0.38	0.33	0.25	0.37
0	5:00:00	0.22	0.38	0.33	0.25	0.37
0	5:15:00	0.14	0.24	0.21	0.16	0.24
0	5:30:00	0.14	0.23	0.2	0.16	0.23
0	5:45:00	0.14	0.23	0.2	0.16	0.23
0	6:00:00	0.14	0.23	0.2	0.16	0.23
0	6:15:00	0.05	0.08	0.06	0.05	0.08
0	6:30:00	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03
0	6:45:00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
0	7:00:00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
0	7:15:00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0	7:30:00	0	0.01	0.01	0.01	0.01
0	7:45:00	0	0.01	0.01	0	0.01
0	8:00:00	0	0.01	0	0	0
0	8:15:00	0	0	0	0	0
0	8:30:00	0	0	0	0	0
0	8:45:00	0	0	0	0	0
0	9:00:00	0	0	0	0	0
0	9:15:00	0	0	0	0	0
0	9:30:00	0	0	0	0	0
0	9:45:00	0	0	0	0	0
0	10:00:00	0	0	0	0	0
0	10:15:00	0	0	0	0	0
0	10:30:00	0	0	0	0	0
0	10:45:00	0	0	0	0	0
0	11:00:00	0	0	0	0	0
0	11:15:00	0	0	0	0	0
0	11:30:00	0	0	0	0	0
0	11:45:00	0	0	0	0	0
0	12:00:00	0	0	0	0	0

**Récapitulatif** : les résultats obtenus lors de cette application font ressortir que le réseau est d'une longueur de 599.8 m et les diamètres varient de 300 mm à 350 mm. Le réseau compte 12 regards, un exutoire et 12 conduites.

En vérifiant certains critères, il ressort pendant l'averse que :

- la capacité de transfère de flux de chaque conduite du réseau d'assainissement est bonne.
- le débit de pointe est évalué à  $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$ , obtenu au niveau de la conduite C12 ;
- les seuils des vitesses d'écoulement dans les conduites sont acceptables. La vitesse maximale est de  $2.74 \text{ m/s}$  obtenue au niveau de la conduite C12 ;
- la variation du fil d'eau le long des deux lignes R1-Out1 et R5-Out1 montre qu'il n'y a pas de conduite en surcharge et il n'y a pas de débordement au niveau des regards ;
- l'analyse de la dispersion peut nous renseigner sur plusieurs détails, exemple : le volume d'eau transitant le long de la ligne R1 - Out 1 est plus important que le volume d'eau transitant le long de la ligne R5 - Out1.

SWMM est un Logiciel attractif. A travers la présentation et l'analyse des différents critères, il permet de vérifier la capacité hydraulique du réseau et peut véhiculer une pluie de projet en toute sécurité.

## **Conclusion**

Ces dernières années, notre pays à beaucoup investi dans le domaine de l'Hydraulique. La réalisation des projets l'Alimentation en Eau Potable et d'Assainissement a nécessité l'engagement de beaucoup d'études. Ces dernières sont accomplies par des Ingénieurs spécialisés dont la formation est assurée en général par l'Université. De ce fait, il est important d'assurer une formation très qualifiante afin d'aboutir à des études parfaites. Au niveau du département d'Hydraulique, il a été jugé utile d'intégrer des Logiciels de spécialité afin de former des cadres qui vont exploiter l'outil informatique pour mener à bien les études dans leur métier d'avenir.

Le Logiciel Epanet a été proposé pour les études d'Alimentation en Eau Potable et le Logiciel SWMM a été proposé pour les études d'assainissement. Un choix motivé par la gratuité et l'utilisation de ces Logiciels dans le cadre pédagogique et de recherche.

Depuis l'entame de la formation en LMD en Hydraulique au niveau de l'Université, le module Logiciels est enseigné à chaque promotion spécialement en 3<sup>ème</sup> année Licence Hydraulique, option Hydraulique Urbaine. Ces Logiciels peuvent être exploités dans les Projets de Fin d'Etudes en Licence et en Master. Ils peuvent être aussi utilisés par les étudiants de la spécialité Ouvrages et Aménagements Hydrauliques. En plus, ces Logiciels peuvent être utilisés par les étudiants dans leur vie professionnelle.

Au préalable, dans ce polycopié de cours et en introduction, on a donné un aperçu de l'importance de ces Logiciels et qui sont très utilisés dans le monde. Par la suite, on à présenté les Logiciels Epanet 2.0 et SWMM 5.1. La présentation s'est faite au début sur leurs environnements. Par la suite, des explications ont été données sur les étapes à suivre afin de réaliser des études en Alimentation en Eau Potable et en Assainissement. Ce cours sera un support pédagogique important aux étudiants et Ingénieurs qui seront appelés à concevoir des réseaux dédiés à l'Alimentation en Eau Potable et à l'Assainissement.

## Bibliographie

- Abdelbaki, C. (2014). *Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG - Cas du Groupement Urbain de Tlemcen*. Thèse de Doctorat en sciences. Université ABOU BAKR Belkaid Tlemcen. 208 p.
- Agarwal, S., & Kumar, S. (2019). Applicability of SWMM for semi Urban Catchment Flood modeling using extreme Rainfall Events. *Int. J. Recent Technol. Eng*, 8(2), 245-251.
- Bai, Y., Zhao, N., Zhang, R., & Zeng, X. (2019). Storm water management of low impact development in urban areas based on SWMM. *Water*, 11(1), 33.
- Blokker, M., Vreeburg, J., & Speight, V. (2014). Residual chlorine in the extremities of the drinking water distribution system: the influence of stochastic water demands. *Procedia Engineering*, 70, 172-180.
- Bonvin, J. (2005). *Hydraulique urbaine I. Captages, réseaux d'adduction, réservoirs, réseaux de distribution, équipements, pompes, petites centrales hydrauliques*. Haute école spécialisée de suisse. 110 p.
- Brière, F. G. (2012). *Distribution et collecte des eaux*. Presses inter Polytechnique.
- Candelieri, A., Conti, D., & Archetti, F. (2014). A graph based analysis of leak localization in urban water networks. *Procedia Engineering*, 70, 228-237.
- Chen, W., Huang, G., & Zhang, H. (2017). Urban stormwater inundation simulation based on SWMM and diffusive overland-flow model. *Water Science and Technology*, 76(12), 3392-3403.
- Cobacho, R., Arregui, F., Soriano, J., & Cabrera Jr, E. (2015). Including leakage in network models: an application to calibrate leak valves in EPANET. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 64(2), 130-138.
- Darweesh, M. S. (2018). Assessment of variable speed pumps in water distribution systems considering water leakage and transient operations. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 67(1), 99-108.
- DUPONT, A (1979). *Hydraulique urbaine. Tome 2. Ouvrage de transport. Elévation et distribution des eaux*. Edition Eyrolles. Paris. 397 p.
- Fléchais, S. (2011). *Modélisation des effets de la végétalisation en milieu urbain sur les eaux de ruissellement dirigées à l'égout* (Doctoral dissertation, École de technologie supérieure). Université de Québec Canada, 136 p.
- Giangola-Murzyn, A. (2013). *Modélisation et paramétrisation hydrologique de la ville, résilience aux inondations*. Sciences de la Terre. Université Paris-Est. 260 p.
- Gómez, E., Cabrera, E., Soriano, J., & Balaguer, M. (2016). On the weaknesses and limitations of EPANET as regards energy. *Water Science and Technology: Water Supply*, 16(2), 369-377.
- Julien, B. (2008). *Modélisation de la gestion des eaux de pluie en milieu urbanisé : Méthodologie de construction d'un modèle en vue d'une application avec le logiciel PCSWMM.net*. Laboratoire Hydrologie et Aménagement (HYDRAM). Rapport de Master, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Suisse, 31p.

- Kim, S. E., Lee, S., Kim, D., & Song, C. G. (2018). Stormwater inundation analysis in small and medium cities for the climate change using EPA-SWMM and HDM-2D. *Journal of Coastal Research*, (85), 991-995.
- Leutnant, D., Döring, A., & Uhl, M. (2019). swmmr-an R package to interface SWMM. *Urban Water Journal*, 16(1), 68-76.
- Lyonnaise des eaux (1994). *Mémento du gestionnaire de l'Alimentation en Eau et de l'assainissement. Tome I. Technique et Documentation* - Lavoisier Paris. 435 p.
- Muranho, J., Ferreira, A., Sousa, J., Gomes, A., & Sá Marques, A. (2012). WaterNetGen: an EPANET extension for automatic water distribution network models generation and pipe sizing. *Water science and technology: water supply*, 12(1), 117-123.
- Naoum-Sawaya, J., Ghaddar, B., Arandia, E., & Eck, B. (2015). Simulation-optimization approaches for water pump scheduling and pipe replacement problems. *European Journal of Operational Research*, 246(1), 293-306.
- Perin, R., Trigatti, M., Nicolini, M., Campolo, M., & Goi, D. (2020). Automated calibration of the EPA-SWMM model for a small suburban catchment using PEST: a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-17.
- Robert, J.L. (2004). *Hydraulique urbaine*. Université Laval. 168 p.
- Rossman, L. A. (2003). Epanet2-Manuel de l'utilisateur. *Générale des Eaux, US Environmental Protection Agency Cincinnati USA*.
- Rossman, L. (2015). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1—Manual. *US EPA Office of Research and Development, EPA: Washington, DC, USA*.
- Sorlini, S., Biasibetti, M., Gialdini, F., & Muraca, A. (2016). Modeling and analysis of chlorine dioxide, chlorite, and chlorate propagation in a drinking water distribution system. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 65(8), 597-611.
- Telliez, M., & SWMM, E. 5-Manuel d'initiation (Traduction et adaptation libres du tutoriel du manuel de l'utilisateur:" Storm Water Management Model—User's Manuel"). 2010.
- Valiron, F., & Bernard, J. (1989). *Gestion des eaux: Alimentation en eau, assainissement*. Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées.
- Walski, T. M., Chase, D. V., & Savic, D. A. (2001). Water distribution modeling. 441 p.
- Xu, Z., Xiong, L., Li, H., Xu, J., Cai, X., Chen, K., & Wu, J. (2019). Runoff simulation of two typical urban green land types with the Stormwater Management Model (SWMM): sensitivity analysis and calibration of runoff parameters. *Environmental monitoring and assessment*, 191(6), 343.