

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

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

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -  
Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Hydraulique

**Spécialité** : Hydraulique Urbaine

**Par** : GHEZOUANE BADREDDINE

### **Sujet**

EVALUATION DE L'EFFICACITE DES TOITURES VERTE ET LES  
BRIQUES PERMEABLE SUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES VIA  
LE LOGICIEL EPA SWMM

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

MrDebbal Mohammed Zakaria  
MrBenmansourAbdelhalim  
Mr BENTALHA Chakib

Université de Tlemcen  
Université de Tlemcen  
Université de Tlemcen

Président  
Examineur  
Encadreur

Année universitaire : **2022 /2023**

## **REMERCIEMENT**

Nous remercions sincèrement Dieu pour nous avoir accordé les forces, la volonté et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nos remerciements les plus chaleureux vont à notre encadreur, M. BENTALHA Chakib, pour ses précieux conseils et son accompagnement tout au long de ce projet.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers les membres du jury, M. Debbal Mohammed Zakaria et M. Benmansour Abdelhalim, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant de l'examiner et pour leurs suggestions enrichissantes.

Nos remerciements vont également à nos amis qui nous ont soutenus et encouragés tout au long de la réalisation de ce travail.

Enfin, nous voulons exprimer notre profonde gratitude envers nos familles pour leur soutien constant, ainsi qu'à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

## ملخص

أحد الأخطار التي تواجهها الجزائر اليوم هي الفيضانات التي تنجم بسبب زيادة الأسطح غير النفاذة وكذلك عدم قدرة شبكات صرف الصحي من تصريف مياه الأمطار. تركز هذه الدراسة على تقييم تأثير الأسطح الخضراء و الطوب النفاذي في تقليل من جريان مياه الأمطار في مدينة بوجليدة المتواجدة ببلدية شتوان-ولاية تلمسان- عن طريق استخدام

برنامج الحاسوب EPA SWMM 5

**كلمات البحث:** شبكة الصرف الصحي, برنامج المحاكاة EPA SWMM 5 ، الأسطح الخضراء، الطوب النفاذي

## RESUME

L'un des dangers auxquels l'Algérie est confrontée aujourd'hui est les inondations qui résultent de la multiplication des toitures imperméables ainsi que de l'incapacité des réseaux d'égouts à évacuer les eaux de pluie.

Cette étude porte sur l'évaluation de l'effet des toits verts et des briques perméables dans la réduction du ruissellement des eaux pluviales dans la ville de Boujlida située dans la commune de Chetouane - Wilaya de Tlemcen - en utilisant le logiciel informatique EPA SWMM 5.

**Mots clés :** Réseau d'assainissement, logiciel EpaSwmm 5, toiture verte, brique perméable

## ABSTRACT

One of the dangers that Algeria faces today is the floods that result from the increase in impermeable roofs as well as the inability of the sewage networks to drain the rain water.

This study focuses on evaluating the effect of green roofs and permeable bricks in reducing rainwater runoff in the city of Bujlida located in the municipality of Chetouane - Tlemcen Province - by using the EPA SWMM 5 computer program.

**Keywords:** sewer network, SWMM model, green roof, permeable bricks

# TABLE DES MATIERE

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	14
<b>CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'ASSAINISSEMENT ET LA GESTION DES EAUX PLUVIALES</b>	
<b>I.1 L'ASSAINISSEMENT :</b> .....	16
I.1.1 Classification des eaux : .....	16
I.1.2 Différents systèmes d'assainissement :.....	17
I.1.3 Les critères de choix d'un système d'assainissement : .....	19
I.1.4 Facteurs influents sur la conception d'un projet d'assainissement:.....	20
.....	
I.1.5 Schémas Types Des Réseaux D'évacuation : .....	20
I.1.6 Choix D'un Schéma D'assainissement :.....	23
I.1.6.1 L'enquête préalable :.....	23
I.1.6.2 Etudes préalables : .....	24
I.1.7 Dimensionnement Du Réseau D'assainissement :.....	24
I.1.7.1 Formules de l'écoulement :.....	25
I.1.7.2 Mode De Calcul :.....	26
I.1.8 Méthode De Calcul Les Débits Des Eaux usées : .....	28
<b>I.2 NOTION D'HYDROLOGIE:</b> .....	30

I.2.1 Précipitations : .....	30
I.2.2 Notion d'averses et d'intensités : .....	31
I.2.3 Notion de période de retour : .....	32
I.3 PROBLEMATIQUE DE L'IMPERMEABILISATION DANS UNE ZONE URBAINE : .....	33
I.3.1 La perméabilité urbaine : .....	33
I.3.2 L'imperméabilisation dans une zone urbaine : .....	33
I.3.3 Les causes de l'imperméabilisation : .....	33
I.3.4 Conséquences de l'imperméabilisation : .....	34
I.4 GESTION DES EAUX PLUVIALES (LES CONTROLES LID) : .....	35
I.4.1 Pavage perméable et autres surfaces infiltrâtes : .....	35
I.4.2 Jardin de pluie ou bio rétention : .....	37
I.4.3 Toit vert : .....	37
I.4.4 Baril de pluie : .....	37
I.4.5 Végétaux : .....	37

## **CHAPITR II : PRESENTATION DU LOGICIEL EPA SWMM 5**

II.1 DEFINITION : .....	39
II.1.1 Historique : .....	40
II.2 OBJECTIFS : .....	40
II.3 UTILITE : .....	41
II.4 LES AVANTAGES DE LOGICIEL EPA SWMM : .....	41

II.4.1	Précision de la modélisation : .....	41
II.4.2	Évaluation des scénarios : .....	41
II.4.3	Amélioration de la planification : .....	41
II.4.4	Facilité d'utilisation : .....	41
II.4.5	Flexibilité : .....	41
II.4.6	Intégration avec d'autres systèmes : .....	41
II.4.7	Économies de temps et d'argent : .....	41
II.5	DESCRIPTION DU LOGICIEL : .....	42
II.6	OBJETS VISUELS (VISUAL OBJECT): .....	44
II.7	MODELES HYDRAULIQUES : .....	45
II.8	EXECUTER UNE SIMULATION .....	45
II.9	VISUALISER LES RESULTATS SOUS FORME DE GRAPHES TEMPORELS : .....	46
II.10	CREER UN PROFIL EN LONG : .....	46
 <b>CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE : .....</b>		
III.1	SITUATION GEOGRAPHIQUE ET TOPOGRAPHIE : .....	49
III.1.1	Description géographique de la zone d'étude Boujlida : .....	49
III.1.2	Description topographique de Boujlida : .....	50
III.2	L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE ET LES OUVRAGES HYDRAULIQUES: .....	51
III.2.1	Ouvrages hydrauliques : .....	51

III.2.2 Le réseau d'AEP de la zone d'étude : .....	51
III.3 DESCRIPTION DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT : .....	52
III.4 CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES : .....	53
III.4.1 Caractéristique pluviométriques:.....	54
III.5 TEMPERATURES : .....	56
III.6 VENTS : .....	56
III.7 GEOLOGIE : .....	57
III.8 HYDROGEOLOGIE : .....	58
 <b>CHAPITRE IV: ETUDE L'EFFICACITE DES TOITURES VERTES ET LES PAVE PERMEABLE SUR LE SYSTEME L'ASSAINISSEMENT VIA LE LOGICIEL EPA SWMM.</b>	
IV.1 SIMULATION SUR LE LOGICIEL EPA SWMM 5 .....	61
IV.2INSERTION LES DONNEES DU RESEAU SUR LE LOGICIEL EPASWMM.....	65
IV.2.1Les conduites : .....	65
IV.2.2Les bassins versant : .....	65
IV.2.2.1 La largeur de bassin (width) : .....	66
IV.2.2 .2 La pente (% Slope) : .....	67
IV.2.2.3 Pourcentage de surface imperméable (% Imperv) : .....	67
IV.2.3Les nœuds : .....	68
IV.2.4 Les données pluviométriques (Rain gage) : .....	69

IV.3 SIMULATION AVEC LID CONTROLE : .....	69
IV.3.1 Les toitures vertes .....	69
IV.3.2 Les pavés perméables.....	71
IV.4 RESULTAT ET DISCUSSIONS : .....	72
IV.4.1 Le profil de vitesse : .....	72
IV.4.2 Profil en long : .....	73
IV.5 RESULTAT DES DEBITS ET PROFONDEUR D'EAU DANS LES CONDUITS..	76
IV.6 Résultat des débits de ruissellement dans les bassins (Totale Runoff) .....	78
CONCLUSION GENERALE .....	80
ANNEXE.....	81
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE .....	87

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1</b> : Schéma des réseaux en système unitaire et en séparatif .....	18
<b>Figure I.2</b> : Schéma type perpendiculaire .....	21
<b>Figure I.3</b> : Schéma type latéral .....	21
<b>Figure I.4</b> : Schéma type collecteur transversal .....	22
<b>Figure I.5</b> : Schéma type Zones Etagées .....	22
<b>Figure I.6</b> : Schéma type centre collecteur unique.....	23
<b>Figure I.7</b> : schéma du Pluviomètre et du pluviographe à siphon .....	31
<b>Figure I.8</b> : Exemple de Courbe des pluies cumulées et hyétogramme .....	32
<b>Figure I.9</b> : Schéma de la fondation granulaire du pavé perméable .....	36
<b>Figure II.1</b> : model de logiciel de simulation SWMM5.....	39
<b>Figure II.2</b> : Développement du modèle SWMM en fonction du temps .....	40
<b>Figure II.3</b> : Fenêtre principale du logiciel SWMM .....	42

<b>Figure II.4:</b> Objets physiques utilisés pour .....	44
<b>Figure III.1 :</b> Boujlida photo satellite pris par Google Earth.....	50
<b>Figure III.3 :</b> l'alimentation de notre zone d'étude .....	51
<b>Figure III.2</b>	
<b>Figure III.4 :</b> Les diamètres des conduites du réseau.....	52
<b>Figure III.5 :</b> réseau d'assainissement de Boujlida .....	53
<b>Figure III.6:</b> répartition mensuelle des précipitations de la station de hennaya .....	55
<b>Figure III.7:</b> Répartition mensuelle de la température de la station Hennaya (1990-2011) .....	56
<b>Figure III.8 :</b> carte géologie de TLEMEN.....	58
<b>Figure IV.1:</b> Identification des objets.....	62
<b>Figure IV.2:</b> Les options d'affichage .....	63
<b>Figure IV.3:</b> Sélection le sens de l'écoulement.....	63
<b>Figure IV.4:</b> La numérotation des nœuds et des conduites du réseau modélisée.....	64
<b>Figure IV.5:</b> inséré les données du conduit.....	65
<b>Figure IV.6:</b> inséré les données de bassin versant .....	66
<b>Figure IV.7:</b> Insertion les données des nœuds .....	67
<b>Figure IV.8 :</b> Editeur de propriétés pour Rain Gage .....	68
<b>Figure IV.9 :</b> courbe Double triangle de la station pluviométrique .....	69
<b>Figure IV.10 :</b> Editeur de propriétés pour la pluie de projet (Time Séries) .....	69

<b>Figure IV.11:</b> la sélection des toitures vertes et la modification des dimensions et l'épaisseur .....	70
<b>Figure IV.12 :</b> la sélection des surfaces vertes dans le bassin.....	70
<b>Figure IV.13:</b> la sélection pavée imperméable .....	71
<b>Figure IV.14:</b> la sélection pavée imperméable dans le bassin .....	71
<b>Figure IV.15 :</b> le profil de vitesse de la première simulation.....	72
<b>Figure IV.16 :</b> le profil de vitesse après l'utilisation les toitures vertes et les pavés perméable .....	73
<b>Figure IV.17:</b> Profil en long [N1-O1] sans LID contrôle .....	74
<b>Figure IV.18 :</b> Profil en long [N7-O1] sans LID contrôle .....	74
<b>Figure IV.19:</b> profil en long [N7-O1] avec LID contrôle .....	75
<b>Figure IV.20 :</b> Histogramme des débits avant et après l'implantation des toitures verts et les pavés perméables.....	78
<b>Figure IV.21 :</b> Histogramme des débits de ruissèlement avant et après l'implantation des toitures verts et les pavés perméables.....	79

## LISTE DES TABLEAU

<b>Tableau I.1</b> : La pollution journalière produite par une personne.....	16
<b>Tableau I.2</b> : Classes des eaux industrielles.....	17
<b>Tableau I.3</b> : la consommation moyenne et ces Cp .....	29
<b>Tableau III.1</b> : Caractéristiques du réservoir .....	51
<b>Tableau III.2</b> : les Précipitation moyennes année 1990-2011 station Hennaya .....	54
<b>Tableau III.3</b> : Série des pluies max journalières (station Hennaya).....	55
<b>Tableau III.4</b> : Température moyennes mensuelles station de Tlemcen .....	56
<b>Tableau III.5</b> : Moyenne mensuelles des vents de la station de Tlemcen .....	57
<b>Tableau IV.1</b> : Représente les résultats des largeurs équivalentes de chaque bassin.....	67
<b>Tableau IV.2</b> : Avant l'implantation des toitures vertes et le pavé perméable .....	75

**Tableau IV.3 :** Après l'implantation des toitures verte et l'emplacement du pavé perméable .....75

**Tableau IV.4 :** le taux de diminution après l'emplacement de pavé perméable et les toitures vertes ..... 76

**Tableau IV.5 :** Avant l'implantation des toitures vertes et le pavé perméable.....77

**Tableau IV.6 :** Après l'implantation des toitures vertes et l'emplacement du pavé perméable.....78

**Tableau IV.7 :** le taux de diminution de débite de ruissellement après l'emplacement de pavé perméable et les toitures vertes .....78

# INTRODUCTION GENERALE

Les inondations représentent les catastrophes naturelles les plus fréquentes et dévastatrices en Algérie, entraînant des contraintes majeures sur le développement économique et social. Avec le changement climatique et l'urbanisation croissante, le risque d'inondation en zones urbaines est en augmentation. Les surfaces imperméables, telles que les toits des bâtiments, les parkings, les rues et les trottoirs, limitent l'infiltration de l'eau dans le sol, aggravant ainsi les problèmes de gestion des eaux pluviales.

Face à ces défis et aux impacts des changements climatiques, de nombreuses villes dans le monde ont adopté des infrastructures vertes. Ces aménagements visent à gérer le ruissellement à la source en captant les précipitations avant qu'elles n'atteignent le système d'égout. Les infrastructures vertes incluent des éléments tels que les fossés végétalisés, les bandes filtrantes, les pavés perméables, les toits verts et les jardins de pluie, favorisant l'infiltration, la filtration et la rétention des eaux pluviales. En plus de leurs bénéfices fonctionnels, ces infrastructures contribuent à l'esthétique urbaine.

L'objectif de cette étude est de quantifier l'effet des toitures vertes sur la réduction du ruissellement des eaux, via logiciel EPA SWMM 5.

Pour atteindre cet objectif, notre travail se concentre sur la modélisation du système d'assainissement de Boujlida, située dans la commune de Chetouane (wilaya Tlemcen), en utilisant le logiciel open source SWMM5 développé par l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA). Notre mémoire est organisé en quatre chapitres et une conclusion :

1. Le premier chapitre présente une revue bibliographique sur l'assainissement.
2. Le deuxième chapitre aborde les outils de simulation utilisés.
3. Le troisième chapitre présente la zone d'étude.
4. Le quatrième chapitre se concentre sur l'étude de l'efficacité des toitures vertes sur le système d'assainissement, en utilisant le logiciel EPA SWMM.

**CHAPITRE I**

**REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR  
L'ASSAINISSEMENT ET LA GESTION DES  
EAUX PLUVIALES**

## CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'ASSAINISSEMENT ET LA GESTION DES EAUX PLUVIALES

L'assainissement est un processus par lequel des personnes peuvent vivre dans un environnement plus sain. Elle est fortement liée à la santé publique en raison des nombreuses maladies liées à un milieu pollué.

L'assainissement est l'ensemble des moyens de collecte, de transport et de traitement d'épuration des eaux usées et des eaux pluviales avant leur rejet dans le milieu naturel ou réutilisation.

### I.1 L'assainissement

L'assainissement a pour objectif d'assurer l'évacuation et le traitement des eaux usées et des eaux pluviales le plus rapidement possible en minimisant les risques pour la santé et pour l'environnement ; ainsi assurer la protection des biens et des personnes (pour une intensité de pluie choisie). [1]

#### I.1.1 Classification des eaux

- **Les eaux usées domestiques :**

Après utilisation de l'eau par les consommateurs, les eaux usées domestiques sont évacuées. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent :

- en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées en détergents, de graisses, de solvants, de déchets organiques,...
- en eaux de vannes : il s'agit de rejets de toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

La pollution journalière, produite par une personne utilisant, en moyenne, 150 litres d'eau par jour, est donnée par le tableau I.1.[2]

**Tableau I.1 :** La pollution journalière produite par une personne

Paramètres	Quantité (g)
MES	90
DBO5	120
DCO	60
Matières Azotées (MA)	15
Matières Phosphorées (MP)	4

- **Les eaux usées industrielles**

Les caractéristiques des eaux usées industrielles varient d'une industrie à l'autre.

En plus de matières organiques (MO), matières Azotées et phosphorées peuvent également contenir des produits toxiques, des métaux lourds, des hydrocarbures.

Les eaux industrielles sont classées dans le tableau I.2 ci-après :

**Tableau I.2** : Classes des eaux industrielles

Classes ou catégories	Types d'industrie
1. Les eaux à pollution minérales	Industrie minière, fonderie.
2. Les eaux à pollution organique	Industrie agro-alimentaires.
3. Les eaux à pollution mixte	Industrie du papier, de textiles.
4. Les eaux à pollution radioactives	Industrie nucléaire.
5. Les eaux à pollution d'origine accidentelles	Fuites d'hydrocarbures.

- **Les eaux pluviales**

Les eaux de pluies se chargent d'impuretés au contact de fumées industrielles puis des résidus comme les carburants, métaux lourds, huiles...pendant leur ruissellement sur les toits et chaussées. En plus de leurs pollutions, les eaux de pluies présentent des risques d'inondation et débordement dans les milieux urbains et perturbent le fonctionnement de la STEP pendant les orages dans le cas des systèmes unitaires.

### **I.1.2 Différents systèmes d'assainissement**

Il existe deux types d'assainissement :

1. **L'assainissement autonome** : ou appelé individuel, il est conçu pour les habitations éloignés difficile ou impossible de les reliés aux réseaux public. Dans ce cas les eaux usées sont récupérées par une fosse septique.
2. **L'assainissement collectif** : il est assuré par un réseau de collecte qui recueillent les eaux usées et les acheminent vers la STEP.

Il existe trois types de réseaux de collecte :

- **Système unitaire**

L'évacuation des eaux (EU et EP) est assurée par un réseau unique (figure I.1).

#### **Avantage :**

- économique (coût plus bas)
- facilite de branchement et de mise en œuvre.

**Inconvénients :**

- pollution relative du milieu récepteur
- Sédimentation par temps sec
- perturbation du fonctionnement de la station d'épuration

- **Système séparatif**

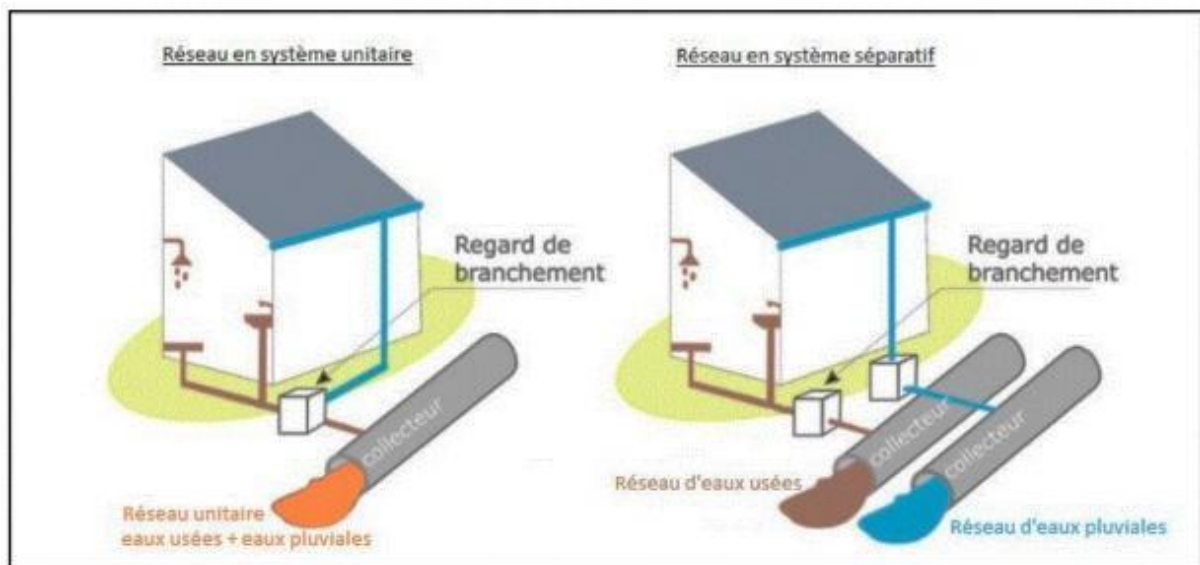
Il est composé de deux conduites distinctes, l'une collecte les eaux pluviales et l'autre les eaux usées (figure I.1).

**Avantage :**

- la station d'épuration est simplement dimensionnée (faible)
- fonctionnement efficace de la station d'épuration.

**Inconvénients :**

- mise en œuvre du système séparatif (coût élevé)
- problème de raccordement
- pollution des eaux des premières pluies subsistent dans le milieu d'habitation récepteur. [4]



**Figure I.1 :** Schéma des réseaux en système unitaire et en séparatif [3]

- **Système pseudo- séparatif**

Le système pseudo-séparatif est constitué, selon les zones d'habitation, en partie système unitaire et en partie système séparatif.

Ce système consiste à réaliser un réseau séparatif particulier dans lequel il est admis que le réseau d'évacuation des eaux usées reçoit une fraction d'eau pluviale des toitures et des cours intérieurs et le réseau d'évacuation d'eau pluviale sera réservé uniquement à la collecte des eaux de ruissellement sur les chaussées et du bassin versant. [6]

- **Systèmes spéciaux**

Un système d'assainissement spécial est généralement un système qui se diffère du système classique par un écoulement en charge des eaux usées, ils en existent deux :

1. Système sous pression sur la totalité du parcours : Le réseau fonctionne en charge de façon permanente sur la totalité du parcours.
2. Système sous dépression : Le transport de l'effluent s'effectue par mise des canalisations en dépression.

### **I.1.3 Les critères de choix d'un système d'assainissement :**

Aucun critère ne permet, à lui seul, de choisir un système d'assainissement ; différents critères d'ordre environnemental, économique, technique et financier doivent être examinés ; Un ensemble équilibré de critères combinant quatre dimensions fondamentales doit être pris en compte :

#### **A. Le respect des contraintes physiques et environnementales**

Le choix d'une solution technique d'assainissement doit d'abord, bien entendu, intégrer au mieux les contraintes physiques et respecter l'environnement : qualité des sols, réseau hydrographique, nappe phréatique, altitude, topographie, pluviométrie, température, vent...etc

#### **B. L'adaptation aux besoins de l'économie et du cadre de vie**

Les activités humaines, génératrices de pollution, peuvent être permanentes ou saisonnières, domestiques ou industrielles, concentrées en une zone agglomérée ou éclatées en plusieurs secteurs géographiques.

L'examen de ce critère doit être réalisé en prenant en compte tant la situation actuelle que son évolution prévisible. [2]

#### **C. La cohérence par rapport aux règles de l'art et aux ressources humaines disponibles**

La cohérence des solutions proposées au regard de la réglementation technique et des pratiques habituellement admises ("règles de l'art").

La solution cohérente retenue sur la base de cette appréciation doit permettre le meilleur fonctionnement possible des installations.

Toutefois, cette cohérence ne saurait s'apprécier indépendamment de l'environnement humain dans lequel les installations auront à fonctionner. [3]

### **D. L'optimisation des couts les critères financiers doit bien entendu entreprise en compte**

Il permet d'analyser l'impact des différentes solutions en termes de coût d'investissement mais aussi de fonctionnement.

#### **I.1.4 Facteurs influents sur la conception d'un projet d'assainissement:**

##### **➤ Données naturelles:**

- pluviométrie
- Topographie
- Hydrographie
- Géologie

##### **➤ Caractéristiques de l'agglomération:**

- Importance et nature
- Mode d'occupation du sol
- Réseau existant
- Développement futur de l'agglomération

##### **➤ Contraintes liées à l'assainissement:**

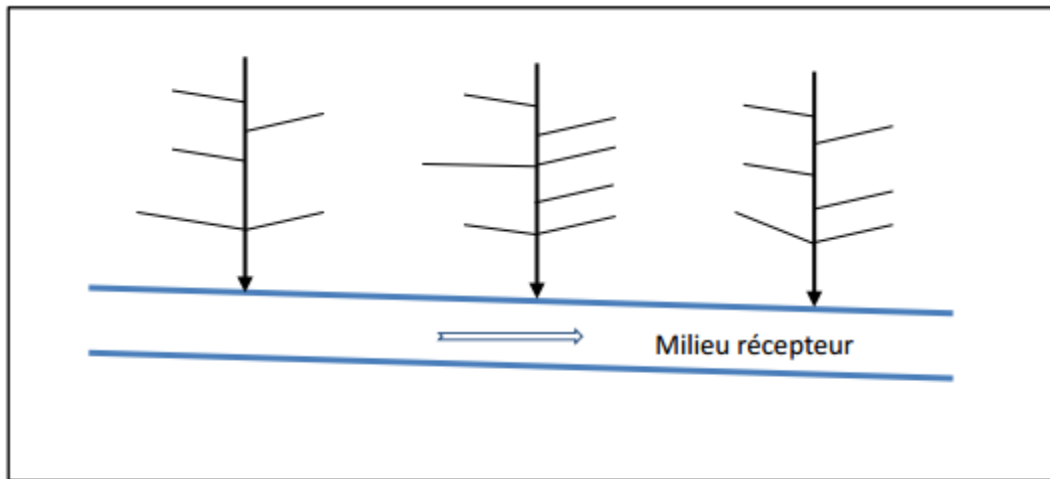
- Conditions de transports des eaux usées
- Facilités d'exploitation
- Réduction des nuisances [3]

#### **I.1.5 SCHEMAS TYPES DES RESEAUX D'EVACUATION**

Bien que les réseaux d'évacuation revêtent des dispositions très diverses selon le système choisi, leur schéma se rapproche le plus souvent de l'un des cinq types décrits ci-après :

##### **a) le schéma perpendiculaire au cours d'eau**

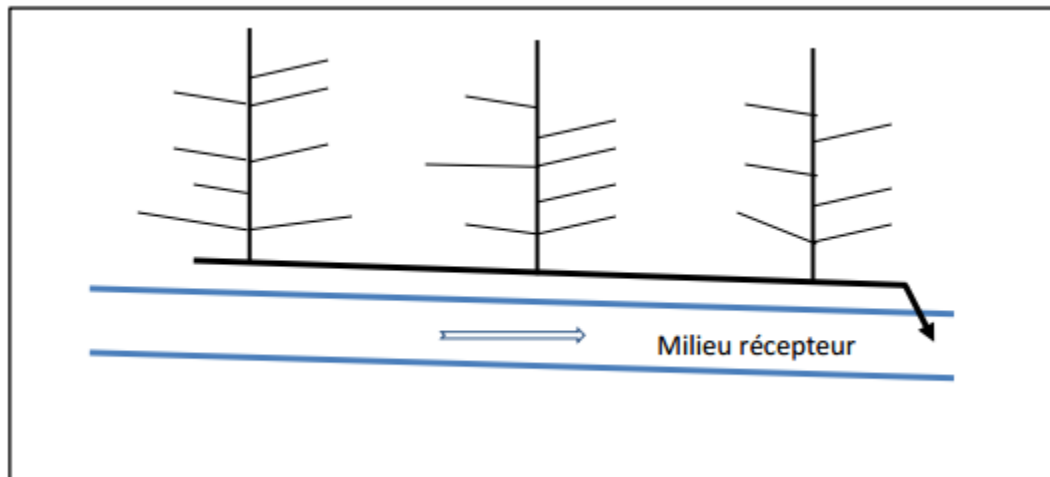
On le trouve souvent dans les villes ou les communes rurales qui ne se préoccupent que de l'évacuation par les voies les plus économiques et les plus rapides sans avoir un souci d'un assainissement efficace des eaux rejetées. [3]



**Figure I.2** : Schéma type perpendiculaire [3]

**b) le schéma type « collecteur latéral »**

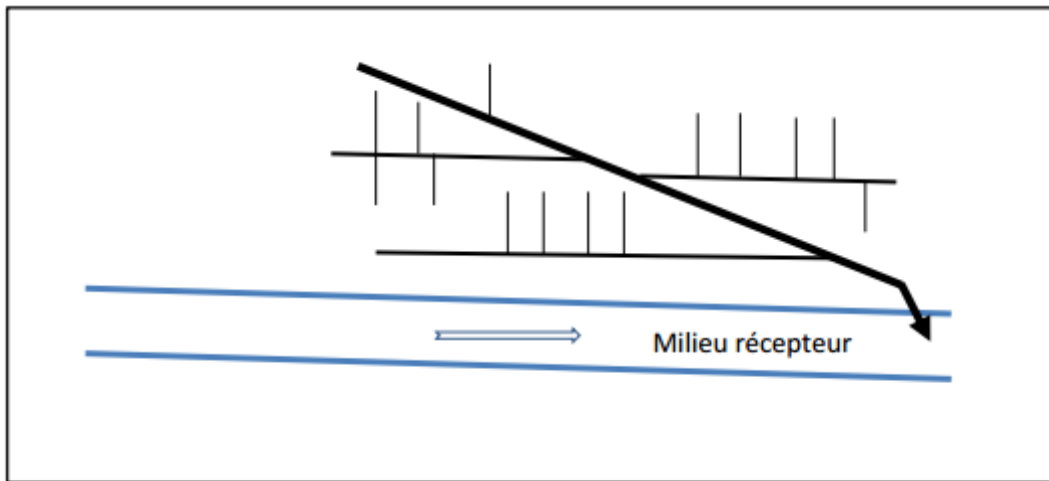
Ce schéma oblige parfois à prévoir des stations de relèvement.



**Figure I.3** : Schéma type latéral [3]

**c) Le schéma type « collecteur transversal »**

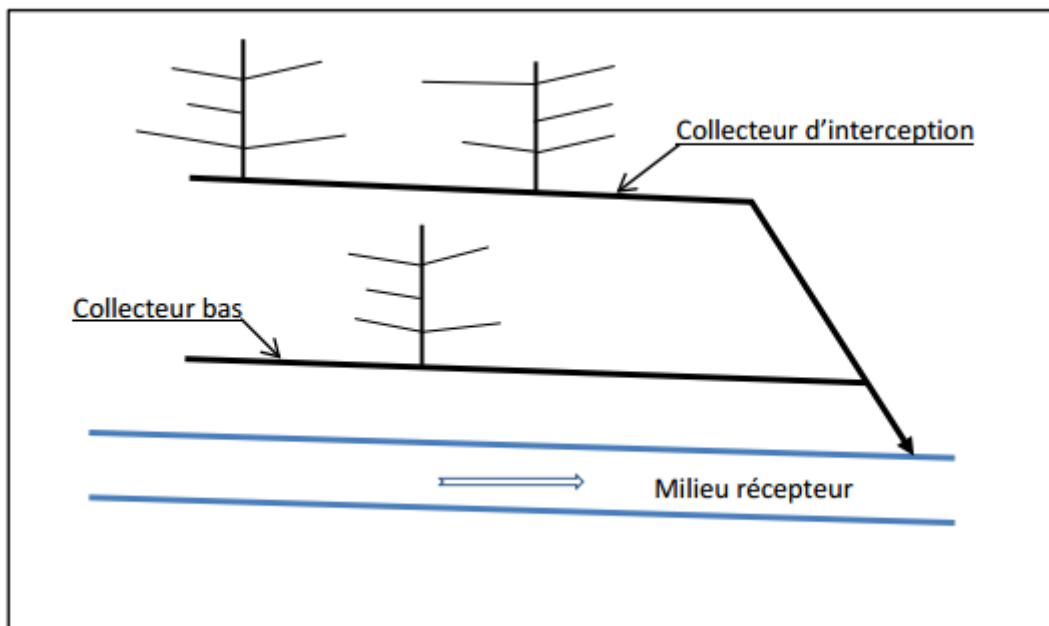
Ce schéma permet de reporter par simple gravité l'ensemble des effluents plus loin à l'aval par rapport au schéma précédent.



**Figure I.4** : Schéma type collecteur transversal [3]

**d) Le schéma type « par zones étagées »**

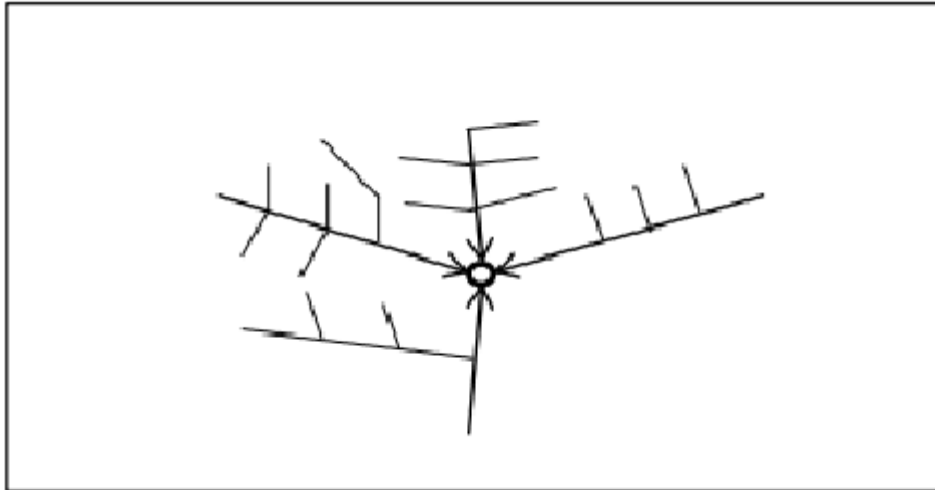
Ce schéma s'apparente au schéma précédent. Le collecteur bas qui doit souvent faire l'objet de relèvement, se trouve soulagé des apports des bassins dominants qui peuvent être évacués gravitairement.



**Figure I.5** : Schéma type Zones Etagées [3]

**e) Le schéma type « centre collecteur unique » et le schéma type radial**

Selon que le réseau converge vers un ou plusieurs points bas où l'on peut reprendre l'effluent pour le relever, on utilise ce type de schéma.



**Figure I.6** : Schéma type centre collecteur unique [3]

### **I.1.6 CHOIX D'UN SCHEMA D'ASSAINISSEMENT**

Le choix d'un schéma d'assainissement se repose généralement sur les critères suivants:

1. Proximité d'un exutoire naturel
2. Sensibilité du milieu récepteur
3. Existence d'un réseau ancien
4. Pente du terrain

#### **I.1.6.1 L'enquête préalable**

L'enquête préalable est concrétisée en pratique par la phase de reconnaissances avec des visites des lieux et la collecte des données, elle a pour objet de fournir les informations suivantes :

##### **a) Informations relatives à l'urbanisation**

- prévision de l'évolution de l'urbanisation,
- existence des projets d'urbanisations futures devant transiter à travers la zone étudiée,
- répartition des zones en fonctions des exutoires et de leur capacité d'évacuation,
- aménagements particuliers à la charge des propriétaires pour leur raccordement.

##### **b) Informations sur les équipements existants**

Caractéristiques du réseau existant : sa nature (unitaire ou séparatif), les conditions de rejets dans ce réseau (faisant l'objet d'une autorisation), les débits admissibles au droit du rejet de l'opération, la cote de mise en charge du réseau pour connaître les répercussions éventuelles, la profondeur du collecteur, les raccordements futurs provenant d'autres opérations.

##### **c) Informations sur le milieu naturel**

La création d'un réseau collectif nous oblige à rechercher l'existence d'exutoires naturels ainsi que la charge de pollution qu'ils peuvent admettre. Pour cela, il convient de contacter l'agence nationale des ressources hydrauliques ainsi que l'agence du bassin hydrographique (ABH) afin de connaître les caractéristiques du réseau hydrographique, les activités qui y sont attachées ainsi que les objectifs de qualité fixés. Il importera également de connaître la vulnérabilité des nappes souterraines.

#### **I.1.6.2 Etudes préalables**

Une étude préalable s'avère nécessaire pour répondre aux questions suivantes :

1. quel est le devenir des eaux de ruissellement pluviales recueillies ?
2. comment limiter tout risque de dommage par inondations ?
3. est-il possible de choisir une solution alternative mieux adaptée, plus économique que la mise en place de canalisations ?

L'étude portera sur :

- La connaissance du terrain et des pratiques du voisinage,
- La connaissance du fonctionnement hydrologique du bassin (pluviométrie, localisation des écoulements des débits attendus, topographie, taux d'imperméabilisation),
- L'existence et la capacité de l'exutoire (débit maximum de rejet),
- La recherche des zones où il est possible d'infiltrer ou de prévoir des équipements de rétention (perméabilité des sols et sous-sols, propriétés mécaniques du sol sous l'influence de l'eau, fluctuation de la nappe, risque de pollution de la nappe),
- La qualité des eaux de ruissellement (si rejet dans un milieu naturel de bonne qualité)

#### **I.1.7 Dimensionnement du réseau d'assainissement :**

L'écoulement en assainissement est gravitaire dans la mesure du possible, donc tributaire de la topographie du terrain naturel, en plus cet écoulement doit avoir une vitesse qui permet l'auto curage, et ne détériore pas les conduites. [6]

La vitesse d'auto curage : comme les eaux usées sont des eaux chargées, qui contiennent du sable, facilement décantable. Pour empêcher ce phénomène il faut avoir une vitesse d'écoulement qui satisfait les conditions suivantes :

- Une vitesse minimale de 0.6 m /s pour le (1/10) du débit de pleine section.
- Une vitesse de 0.3 m / s pour le (1/100) de ce même débit [10].

Si ces vitesses ne sont pas respectées, il faut prévoir des chasses automatiques ou des curages périodiques.

A l'opposé des considérations relatives à l'auto curage, le souci de prévenir la dégradation des joints sur les canalisations circulaires et leur revêtement intérieur, nous conduit à poser des limites supérieures aux pentes admissibles. Donc, il est déconseillé de dépasser des vitesses de l'ordre de (4 à 5) m / s à pleine section.

Si la vitesse du flot est > à 5m/s, des chutes seront prévues

### I.1.7.1 Formules de l'écoulement :

Dans le calcul des canalisations on utilise les différentes formules d'écoulement qui ont été développé par des chercheurs scientifique parmi ses formules on a :

#### ❖ Formule de CHEZY:

$$V = C\sqrt{Rh} \times I \quad (I.1)$$

Ou :

I : pente du collecteur (m/m)

Rh : rayon hydraulique(m)

C : coefficient de CHEZY il dépend des paramètres hydrauliques et géométriques de l'écoulement. Le coefficient « C » est donné à son tour par la formule de BAZIN :

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{Rh}}} \quad (I.2)$$

$\gamma$  : Coefficient de BAZIN qui varie suivant les matériaux employés et la nature des eaux transportées. Dans laquelle :

1.  $\gamma = 0.06$  pour les collecteurs d'eaux pluviales.
2.  $\gamma = 0.16$  pour les collecteurs d'eaux usées.

#### ❖ Formule de MANNING:

$$V = \frac{\alpha}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \quad (I.3)$$

Ou :

$\alpha$  : est un coefficient d'unité qui vaut 1 en système international et 1,486 en système anglo-saxon.

n : coefficient de MANNING, il dépend des parois de la conduite.

Rh : Rayon hydraulique (m).

I : Pente du collecteur (m/m).

#### ● Formules de MANNING-STRICKLER :

$$V = Ks * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{I} \quad (I.4)$$

Avec :

$Ks$  : coefficient de rugosité de MANNING-STRICKLER

### I.1.7.2 Mode de calcul

Avant de procéder au calcul hydraulique du réseau d'assainissement en gravitaire, on considère les hypothèses suivantes :

- L'écoulement est uniforme à surface libre, le gradient hydraulique de perte de charge est égal à la pente du radier.
- La perte de charge engendrée est une énergie potentielle égale à la différence des côtes du plan d'eau en amont et en aval.

Les canalisations d'égouts dimensionnées pour un débit en pleine section  $Q_{ps}$  ne débitent en réalité et dans la plupart du temps que des quantités d'eaux plus faibles que celles pour lesquelles elles ont été calculées. Avant tout on définit les paramètres suivants :

- Périmètre mouillé (P) : c'est la longueur du périmètre de la conduite qui est en contact avec l'eau (m).
- Section mouillée (S) : c'est la section transversale de la conduite occupée par l'eau ( $m^2$ ).
- Rayon hydraulique ( $R_h$ ) : c'est le rapport entre la section mouillée et le périmètre mouillé. (m).
- Vitesse moyenne (v) : c'est le rapport entre le débit volumique ( $m^3/s$ ) et la section mouillée ( $m^2$ ) [10].

L'écoulement dans le collecteur est un écoulement à surface libre régi par la formule de la continuité :

$$Q = v * s$$

Avec :

Q : Débit ( $m^3/s$ )

V : vitesse d'écoulement (m/s)

S : section mouillée ( $m^2$ )

- **Les méthodes de calcul les débits pluviales :**

Les ouvrages d'assainissement doivent assurer un degré de protection suffisant contre les inondations causées par la pluie. Le caractère plus ou moins exceptionnel d'un événement pluvieux (h millimètres pendant une durée de t minutes) s'apprécie par sa fréquence de dépassement « F » ou sa période de retour qui est obtenu par la formule. [11]

$$T = \frac{1}{F} \text{(I.5)}$$

- **La méthode de M. Caquot :**

L'expression littérale du débit provenant d'un bassin versant urbanisé pour une fréquence « F » donnée a été établie à partir des travaux de M. Caquot.

Les études les plus récentes, confirmées par des vérifications expérimentales, ont permis de fixer la valeur numérique des coefficients de cette expression.

La formule superficielle du débit de fréquence de dépassement « F » prend l'aspect suivant :

$$Q = K\bar{u} * I\bar{u} * C\bar{u} * A\bar{u} \quad (I.6)$$

Dans laquelle les divers paramètres sont des fonctions de a (F) et (ou) de b (F) qui sont eux-mêmes les paramètres de la relation :

$$i(t,F) = a(F) * t^{b(F)} \quad (I.7)$$

Où  $i(t,F)$  est l'intensité maximale de la pluie de durée  $t$ , de fréquence de dépassement  $F$ ;  $i$  est exprimé en millimètres par minute et  $t$  en minutes est compris entre 5 minutes et 120 minutes  $Q(F)$  est le débit de fréquence de dépassement  $F$  exprimé en mètres cubes par seconde. [11]

- **La méthode rationnelle :** [12]

Cette méthode permet de calculer le débit maximum (de pointe) à l'exutoire d'un bassin versant soumis à une précipitation donnée.

La formule rationnelle implique la constance et la répartition uniforme de la pluie sur le bassin versant elle suppose également l'homogénéité spatiale de la nature de la surface réceptrice permettant la définition d'un coefficient de ruissellement  $C$  pour le bassin versant considéré.

Les hypothèses de base de la méthode rationnelle sont les suivantes :

- $I_m$  : Intensité de l'averse en mm/h est uniforme dans le temps et dans l'espace sur l'ensemble du bassin drainé.
- Le débit de pointe  $Q_p$  en m<sup>3</sup>/s
- L'intervalle de récurrence du débit de pointe  $Q_p$  est le même que celui de l'averse de l'intensité uniforme  $i$

Enfin le coefficient de ruissellement est invariable d'une averse à une autre et l'on a :

$$Q_p = Q(n\Delta t) = \sum_{k=1}^n C_k i A_k = i \sum_{k=1}^n C_k A_k$$

$A_k$  : Air (surface) élémentaire délimité par des lignes délimité par des lignes isochrone de ruissellement

$C_k$  : Coefficient de ruissellement correspondant  $A_k$

En posant :

$$CA = \sum_{k=1}^n C_k A_k \quad (I.8)$$

On obtient finalement l'expression de la formule rationnelle :

$$Q_p = K * C * I * A \quad (I.9)$$

K : coefficient se rapportant aux unités  $k=1/36$

C : coefficient de ruissellement dans la limite  $0 < C < 1$

I : intensité en mm/h

A : superficie du bassin en hectare [20].

### I.1.8 Méthode de calcul les débits des eaux usées :

Les débits d'eaux usées sont estimés en général d'après les consommations moyennes par habitant pour les eaux d'origines domestiques ou par activité pour les effluents industriels. Ces calculs sont simples et leur programmation ne nécessite pas des algorithmes complexes. Le calcul des réseaux d'eaux usées suppose une procédure en 3 étapes :

- a) calcul des débits permettant de déterminer les caractéristiques dimensionnelles du réseau
- b) calcul des sections d'ouvrages
- c) résolution proprement dite du projet [13]

- **Les débits d'eau usée domestique :**

On détermine une consommation journalière de l'année se situant dans la fourchette de 100 à 250 l/j/hab. (la dotation variable en fonction du contexte local : 200 à 250 l/j/hab dans les habitats nouveaux ou rénovés et dans les grandes villes, 100 l/s pour des communes rurales).

On calcule le débit moyenne  $Q_m$  avec :

$$Q_m = \text{DOTATION} * \text{NOMBRED'HABITANT} \quad (I.10)$$

La dotation en l/j/hab.

$Q_m$  en l/j

On calcule le débit de point  $Q_p$  avec :

$$Q_p = Q_m * C_p \quad (I.11)$$

Avec :

$C_p$  : coefficient de point

Si des zones comportent des établissements ayant des activités particulières (hôpital, cantine, école, caserne, etc...), le projeteur pourra se référer au tableau ci-après où figurent des valeurs moyennes de consommation journalière et des coefficients de pointe d'établissements courants:

**Tableau I.3** : la consommation moyenne et ces Cp [13]

Activité	Consommation journalière	Coefficient de point
Cantines	10L par rationnaire	10
Internat	150L par élever	6
Ecole	60L par élever	6
Atelier et bureau	60L par personne	4
Casernes	90L par soldats	3
Hôpitaux	400L par lit	3
Hôtel	500L par chambre	4
Gymnase	20L Par usage	2
Centre commerciaux	5L par $m^2$	2.5

- **Débit d'eau usée industriel :**

Pour l'évaluation des débits d'eaux usées industrielles, le projeteur peut distinguer trois cas :

- Industrie existante : Un bilan de la consommation et de l'usage permet d'évaluer le débit à évacuer.
- Création de zone industrielle : Il faut recourir à des données empiriques pour situer les débits des rejets. L'Instruction Technique préconise la prise en compte d'un débit de 30 à 60 m<sup>3</sup>/jour/hectare loti suivant le caractère de la zone industrielle concernée.
- L'implantation d'industrie connue : Dans ce cas, il sera possible de déterminer les débits à évacuer en fonction du type et de la quantité de la production envisagée.
- **Débit d'eau claire parasite :**

Ce sont les eaux d'origine naturelle (captage de source, drainage de nappes etc.).

Les eaux claires parasites correspondent aux inversions de branchement (raccordement des eaux pluviales sur le réseau d'eaux usées) ou au drainage de la nappe (du fait d'une canalisation comportant des fissurations). A défaut d'éléments quantifiés sur les débits d'eaux parasites, on peut évaluer le débit moyen des eaux parasites à l'exutoire du bassin élémentaire par le produit du débit moyen des eaux usées au centième du taux de dilution.

$$Q_{ecp} = Q_m * \frac{T_{dilu}}{100} \quad (I.12)$$

Avec :

Q<sub>ecp</sub> : Débit des eaux claires parasites en l/s

Q<sub>m</sub> : Débit moyenne des eaux usées en l/s

T<sub>dilu</sub> : Taux de dilution en %

## I.2 NOTION D'HYDROLOGIE:

### I.2.1 PRECIPITATIONS :

Les précipitations sont des processus hydrologiques les plus variables. D'une part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans l'espace et ceci quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte (régionale, locale, etc.)

D'autre part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans le temps, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à celle d'un événement pluvieux.

Les précipitations sont exprimées généralement en hauteur ou lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm) On définit aussi son intensité (mm/h) comme la hauteur d'eau précipitée par unité de temps. [3]

Les précipitations sont mesurées par les deux appareils de mesures fondamentaux que sont :

- **Le pluviomètre** : instrument de base de la mesure des précipitations liquides ou solides. Il indique la quantité d'eau totale précipitée et recueillie à l'intérieur d'une surface calibrée dans un intervalle de temps séparant deux relevés.
- **Le pluviographe** : instrument captant la précipitation de la même manière que le pluviomètre mais avec un dispositif permettant de connaître, outre la hauteur d'eau totale, leur répartition dans le temps, autrement dit les intensités.

Les mesures ponctuelles acquises au niveau des pluviomètres ou des pluviographes sont analysées et soumises à différents traitements statistiques. [3]

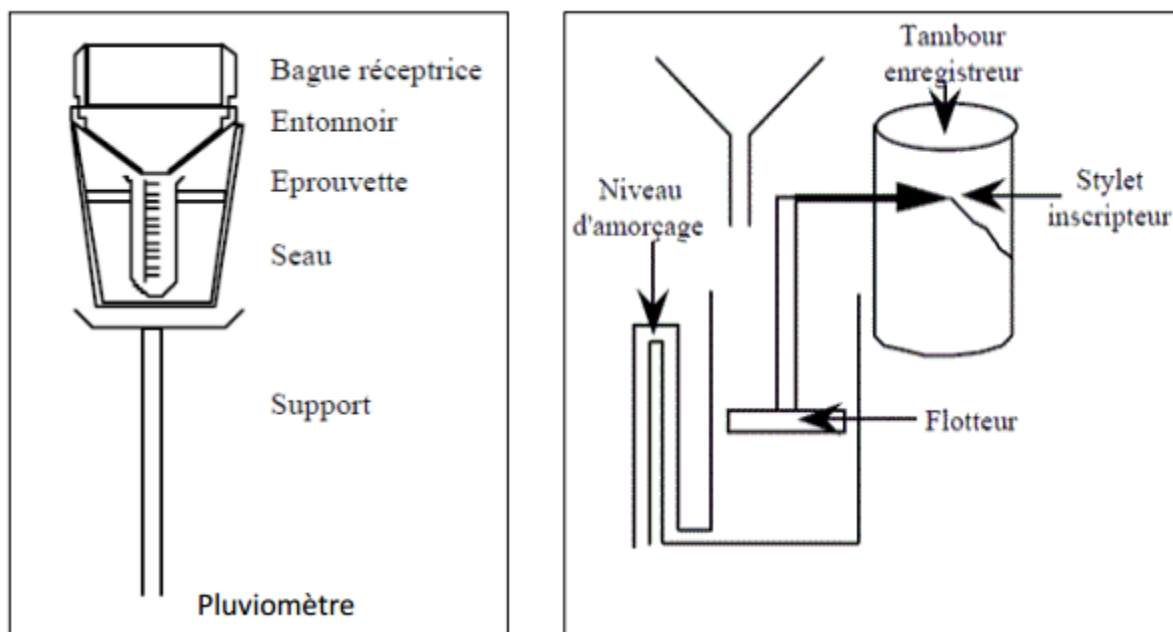


Figure I.7 : schéma du Pluviomètre et du pluviographe à siphon [3]

### I.2.2 NOTION D'AVERSES ET D'INTENSITES :

- On désigne en général par "averse" un ensemble de pluies associé à une perturbation météorologique bien définie.
- La durée d'une averse peut donc varier de quelques minutes à une centaine d'heures et intéresser une superficie allant de quelques kilomètres carrés (orages) à quelques milliers (pluies cycloniques).
- On définit finalement une averse comme un épisode pluvieux continu, pouvant avoir plusieurs pointes d'intensité.
- L'intensité moyenne d'une averse s'exprime par le rapport entre la hauteur de pluie observée et la durée  $t$  de l'averse :

$$i_m = h/t$$

**$I_m$**  : intensité moyenne de la pluie [mm/h, mm/min] ou ramenée à la surface [l/s.ha],

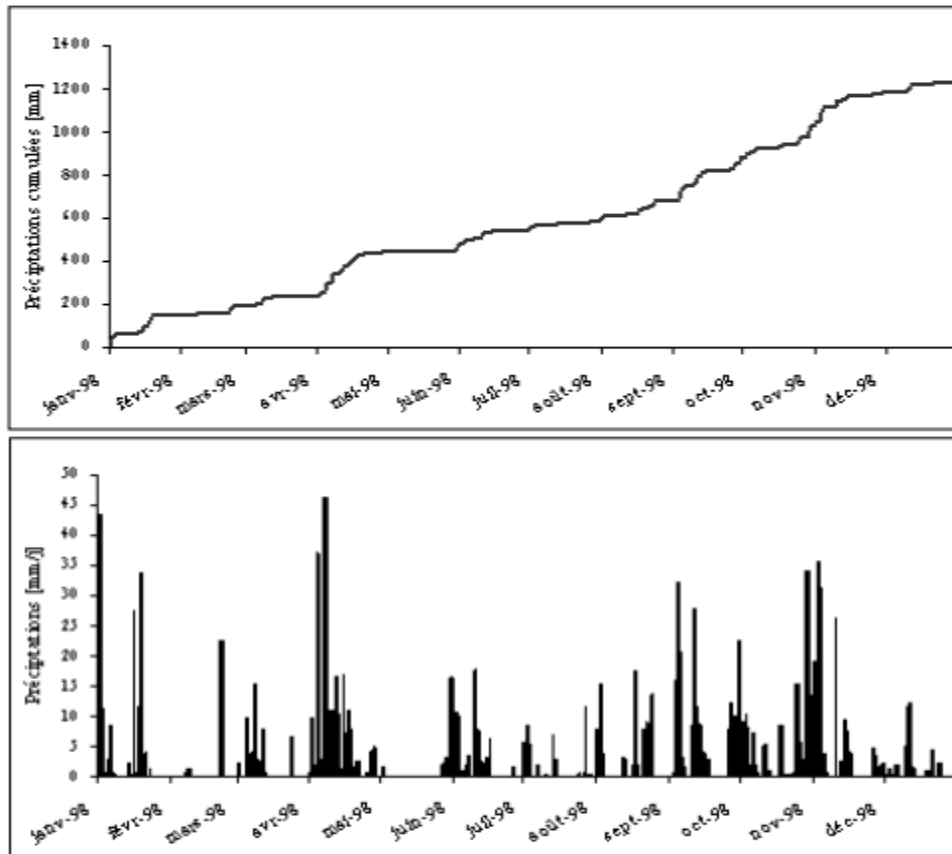
**$h$**  : hauteur de pluie de l'averse [mm],

**$t$**  : durée de l'averse [h ou min].

L'intensité des précipitations varie à chaque instant au cours d'une même averse suivant les caractéristiques météorologiques de celle-ci. Plutôt que de considérer l'averse entière et son intensité moyenne, on peut s'intéresser aux intensités observées sur des intervalles de temps au cours desquels on aura enregistré la plus grande hauteur de pluie: intensité maximale.

Deux types de courbes déduites des enregistrements d'un pluviographe (pluviogramme) permettent d'analyser les averses d'une station :

- La courbe des hauteurs de pluie cumulée, le hyétogramme.
- La courbe des hauteurs de pluie cumulées représente en ordonnée, pour chaque instant  $t$ , l'intégrale de la hauteur de pluie tombée depuis le début de l'averse. [3]



**Figure I.8 :** Exemple de Courbe des pluies cumulées et hyétogramme. [3]

### I.2.3 NOTION DE PERIODE DE RETOUR

**Définition 1:** PERIODE DE RETOUR = durée théorique moyenne, exprimée en année, qui sépare deux occurrences d'un phénomène donné, si l'on considère une période de temps suffisamment longue.

Par exemple :

Une crue qui correspond à une PERIODE DE RETOUR  $T=100$  (centennale :  $Q_{100}$ ) est une crue théorique calculée à partir de l'analyse des crues passées et qui a une (01) chance sur 100 de se produire chaque année. On peut aussi dire que la crue centennale se produit en moyenne dix fois par millénaire.

**Définition 2 :** PERIODE DE RETOUR = Pour les événements rares, la période de retour est l'inverse de la probabilité d'occurrence de l'événement considéré au cours d'une année quelconque.

## I.3 Problématique de l'imperméabilisation dans une zone urbaine

### I.3.1 La perméabilité urbaine :

La perméabilité urbaine désigne la capacité d'un sol ou d'un sous-sol urbain à absorber et à retenir l'eau de pluie. La perméabilité est généralement mesurée en termes de taux d'infiltration, qui mesure la quantité d'eau qui est absorbée par le sol à une certaine profondeur.

L'imperméabilisation des sols dans les zones urbaines peut réduire considérablement la perméabilité naturelle du sol. L'imperméabilisation peut se produire en raison de la construction de bâtiments, de routes et de trottoirs, qui couvrent le sol et réduisent la capacité du sol à absorber l'eau.

La réduction de la perméabilité urbaine peut avoir des impacts négatifs sur l'environnement, tels que la rétention des eaux de pluie et le ruissellement, la pollution de l'eau et l'augmentation des risques d'inondation. Les stratégies de gestion de l'eau pluviale urbaine peuvent inclure l'utilisation de toits verts, de bassins de retenue d'eau et de systèmes de filtration pour améliorer la perméabilité urbaine et gérer les eaux pluviales de manière efficace.

### **I.3.2 L'imperméabilisation dans une zone urbaine :**

L'imperméabilisation désigne le processus d'enrobage des sols naturels d'une zone urbaine avec des matériaux tels que l'asphalte, le béton, les toits d'immeubles, etc., qui rendent la surface imperméable à l'eau. Cela signifie que l'eau de pluie ne peut plus s'infiltrer dans le sol et est dirigée vers les égouts pluviaux pour être évacuée.

L'imperméabilisation peut avoir un impact négatif sur la qualité de l'eau, le climat et l'environnement en général. Elle peut entraîner des inondations, une dégradation de la qualité de l'eau, un épuisement des nappes phréatiques et des changements climatiques. Il est donc important de minimiser l'imperméabilisation dans les zones urbaines.

### **I.3.3 Les cause de l'imperméabilisation**

L'imperméabilisation dans une zone urbaine est généralement causée par le développement urbain et les activités humaines. Cela peut inclure la construction de bâtiments, de routes, de parkings, etc., qui recouvrent le sol naturel avec des matériaux imperméables tels que l'asphalte, le béton, les toits d'immeubles, etc.

En outre, les activités humaines telles que l'agriculture intensive, la déforestation et l'urbanisation peuvent également entraîner une augmentation de la surface imperméable. Cela peut entraîner un impact négatif sur le cycle naturel de l'eau, ce qui peut entraîner des problèmes d'inondation, une dégradation de la qualité de l'eau et des changements climatiques.

Il est donc important de prendre des mesures pour minimiser l'imperméabilisation dans les zones urbaines et de travailler pour augmenter la perméabilité du sol pour gérer les volumes d'eau de pluie de manière efficace.

### **I.3.4 Conséquences de l'imperméabilisation**

L'imperméabilisation des surfaces telles que les toits, les routes et les parkings peut avoir un impact significatif sur les eaux pluviales. Lorsqu'une surface est imperméabilisée, l'eau de pluie ne peut plus pénétrer dans le sol, ce qui entraîne une augmentation du débit d'eau superficiel et une réduction de l'infiltration. Cela peut entraîner des conséquences négatives telles que:

- **Inondations:**

Lorsque le débit d'eau est augmenté, les systèmes de drainage peuvent devenir débordés, ce qui peut entraîner des inondations dans les zones basses.

- **Pollution:**

L'eau de pluie peut être contaminée par les polluants tels que les hydrocarbures, les métaux lourds et les produits chimiques, ce qui peut affecter la qualité de l'eau des rivières et des lacs en aval.

- **Érosion:**

L'augmentation du débit d'eau superficiel peut entraîner une augmentation de l'érosion des berges et des canaux, ce qui peut affecter la stabilité des structures

- **Perturbation des écosystèmes aquatiques:**

La qualité et la quantité d'eau disponible pour les écosystèmes aquatiques peuvent être perturbées, ce qui peut affecter la biodiversité et les processus écologiques tels que la reproduction et la croissance des plantes et des animaux.

- **Perturbation des cycles hydrologiques naturels:**

L'imperméabilisation peut altérer les cycles hydrologiques naturels en modifiant la quantité d'eau infiltrée dans le sol et en augmentant le volume d'eau dans les rivières et les lacs en aval.

- **Perturbation des ressources en eau:**

Les réserves d'eau souterraines peuvent être affectées par la réduction de l'infiltration, ce qui peut entraîner une réduction de la disponibilité d'eau pour l'irrigation, la consommation humaine et les usages industriels.

Il est important de prendre en compte ces conséquences lors de la planification urbaine et de la gestion des eaux pluviales. Des mesures telles que la promotion de la perméabilité du sol, la construction de toits verts et la planification de bassins de retenue d'eau peuvent aider à minimiser les impacts négatifs de l'imperméabilisation sur les eaux pluviales. [3]

### **I.4 Gestion des eaux pluviales (les contrôles lid)**

Le logiciel SWMM 5 a récemment été étendu pour permettre la modélisation des performances hydrologiques de certains types de contrôles de faible impact (LID). Les contrôles LID disponibles pour l'utilisateur incluent les sept pratiques d'infrastructure verte suivantes :

- Pavé perméable
- Jardins de pluie
- Toitures vertes
- Jardinières
- Barils de pluie
- Tranchées d'infiltration
- Végétaux.[19]

#### **I.4.1 Pavage perméable et autres surfaces infiltrantes :**

Il existe différents types de pavage perméable (PP) classés en fonction de leur surface. Le type continu comprend le béton perméable, l'asphalte poreux et les surfaces en matériaux recyclés. Le type discontinu comprend les pavés poreux qui sont conçus avec un volume de vides permettant le passage de l'eau, ainsi que les pavés autobloquants en béton (PPAB) qui seront décrits plus en détails dans le paragraphe suivant. Le type ouvert comprend les dalles ajourées avec des ouvertures parfois végétalisées pour permettre l'infiltration de l'eau, ainsi que les géogrilles. Enfin, le type en vrac comprend les graviers poreux et les pelouses infiltrantes. Tous ces types de PP permettent de remplacer les surfaces imperméables par des surfaces perméables sans compromettre l'utilisation de l'espace. [14]

Le pavage perméable est adapté pour les parkings publics et résidentiels, ainsi que pour les routes à faible trafic. Il convient particulièrement aux zones urbaines à haute densité. La conception d'un pavage perméable dépend du type d'utilisation prévu, du climat, de l'hydrologie et des caractéristiques du sol local. Toutefois, il est déconseillé d'installer ce type de pavage près d'une source d'eau potable ou d'une source de contaminants afin d'éviter la contamination de la nappe phréatique. De plus, il est important d'adapter l'entretien hivernal afin d'éviter la contamination du sol par les sels de déglacage et le colmatage de la surface perméable par le sable abrasif. [15]

Le pavage perméable à pavés autobloquants en béton (PPAB) est un type spécifique de pavage perméable constitué de blocs en béton imperméable conçus pour s'emboîter les uns dans les autres. Ces blocs sont séparés par un matériau de jointoiement ayant une porosité suffisamment

élevée pour permettre une infiltration rapide de l'eau à travers la surface. Une fois infiltrée, l'eau se dirige vers une couche de stockage ayant un volume de vide élevé pour l'accumulation et la rétention de l'eau. Si le sol en place est trop imperméable pour permettre une infiltration complète, un drain perforé peut être ajouté dans la couche de stockage pour évacuer l'excès d'eau vers le réseau pluvial. La conception de ces pavés autobloquants les rend très durables et moins sujets au colmatage que d'autres types de pavages perméables.

1. Pavé Perméable

Conçu avec un joint élargi entre les pavés afin de permettre l'infiltration des eaux pluviales.

2. Petit Granulat (2,5-10 mm)

Il filtre les contaminants et les débris provenant du ruissellement des eaux de pluie.

3. Moyen Granulat (5-28 mm)

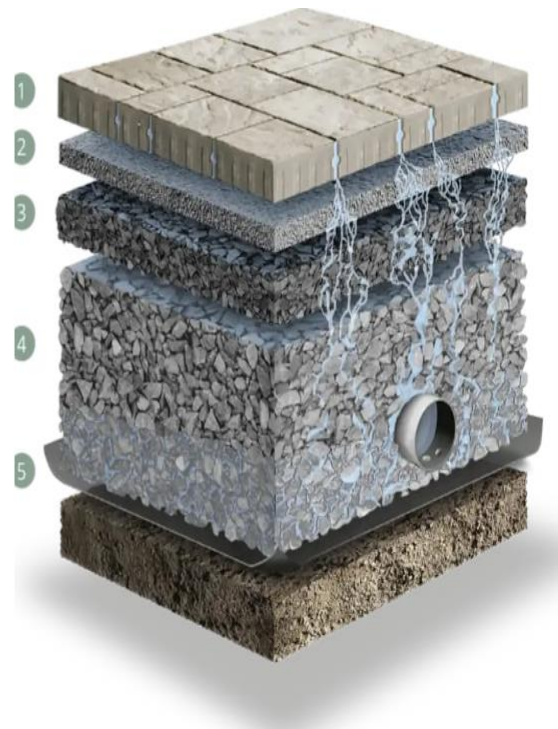
Couche de transition continuant à filtrer les polluants.

4. Grand Granulat (40-80 mm)

Couche réservoir pour la récupération de l'eau de pluie et contenant un tuyau de drainage pour évacuer l'eau excédentaire.

5. Géotextile

Toile filtrante qui sépare le grand granulat du sol sous-jacent.



**Figure I.9:** Schéma de la fondation granulaire du pavé perméable [19]

#### I.4.2 Jardin de pluie ou biorétention :

Les jardins de pluie sont des dépressions aménagées dans le sol, contenant des plantes, des arbres et/ou des arbustes, sur un sol amendé. Ils sont conçus pour recevoir les eaux pluviales d'une petite surface. Le système racinaire des plantes favorise l'infiltration de l'eau dans le sol, où une filtration des eaux est effectuée et les polluants sont captés [18]. L'excès d'eau qui ne peut pas s'infiltrer peut être évacué lentement par des drains. Cette approche peut être utilisée facilement sur des terrains privés et publics et peut servir d'élément d'aménagement paysager.

#### I.4.3 Toit vert :

Les toits verts sont généralement constitués d'une couche de substrat sur un toit plat qui permet la croissance des plantes. Il existe deux types de toits verts : intensif et extensif. Pour maximiser leur effet bénéfique, il est recommandé d'opter pour un toit vert intensif. Ce type de toit se caractérise par un sol profond et un système d'irrigation, ce qui permet une grande diversité de

plantes. Cependant, ce type de toit nécessite généralement une structure de bâtiment adaptée. Une version plus légère, mais moins efficace, est le toit vert extensif, qui peut être installé sur presque tous les types de toits plats. Ce type de toit comprend un substrat plus mince et nécessite peu ou pas d'irrigation. Les toits verts permettent de retarder le débit de pointe, de réduire le ruissellement et d'améliorer la qualité de l'eau ruisselée. Ils offrent également des avantages tels que la protection de la toiture, la création d'un habitat naturel, la réduction des îlots de chaleur et la captation du CO<sub>2</sub>. [19]

#### **I.4.4 Baril de pluie :**

Cette approche consiste à collecter l'eau provenant des gouttières de toit et à la stocker dans un baril de pluie. Une fois stockée, cette eau peut être réutilisée ultérieurement pour divers usages tels que l'arrosage de la pelouse, des parterres de fleurs ou d'un potager [20]. Pour être efficace, le baril de pluie doit être vidé entre les événements pluvieux.

#### **I.4.5 Végétaux :**

La végétation dans un aménagement de bio-rétention peut être composée d'arbres et de plantes. Les végétaux ont pour principales fonctions de réduire les volumes d'eau de ruissellement par évapotranspiration et d'éliminer certains polluants. De plus, les racines et la matière organique produite par les plantes contribuent à maintenir une bonne porosité du sol à long terme. [21]

**CHAPITR II**  
**PRESENTATION DU LOGICIEL**  
**EPA SWMM 5**

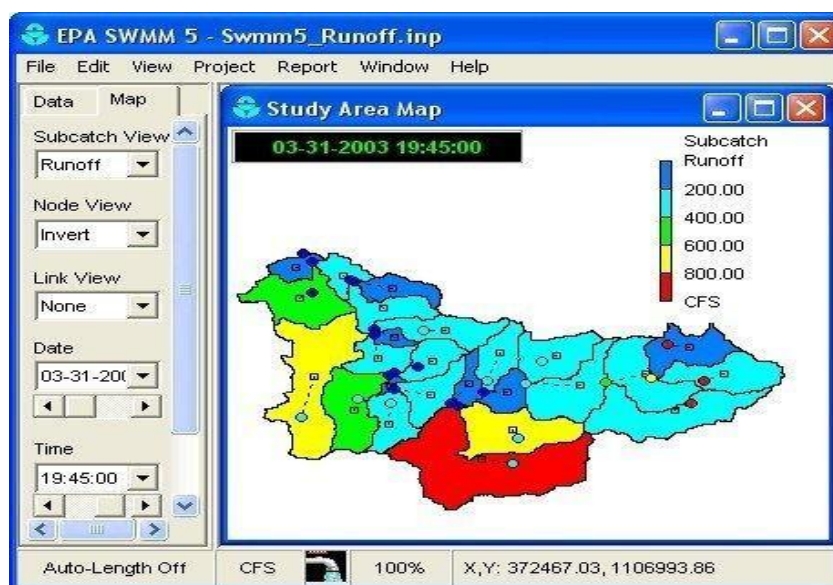
## CHAPITRE II : PRESENTATION DU LOGICIEL EPA SWMM 5

Pour réaliser la modélisation des réseaux d'assainissements, il existe plusieurs logiciels qui ont été développés dans différents pays, les plus utilisés sont : CANOË (modèle Français), MOUSE (modèle danois) et SWMM (modèle américain). Ces trois logiciels présentent beaucoup de ressemblance en ce qui concerne leurs bases théoriques physiques et mathématiques, les deux premiers logiciels (CANOË et MOUSE) sont payants, par contre le logiciel SWMM est disponible sur le net gratuitement. Pour notre projet, nous avons utilisé le logiciel SWMM

### II.1 DEFINITION :

SWMM 5.1 (Storm Water Management Model version 5.1) est un logiciel de modélisation pluie-ruissellement. Il peut être utilisé pour modéliser la quantité et la qualité du ruissellement pour un événement ponctuel ou de longue durée, principalement en milieu urbain. Il a été développé par l'agence américaine EPA (Environmental Protection Agency). Il aide les ingénieurs, les urbanistes et les décideurs à prendre des décisions éclairées sur la conception, la planification et la gestion des systèmes d'assainissement des eaux pluviales.

Le logiciel EPA SWMM est facile à utiliser et dispose d'une interface graphique conviviale pour la saisie de données et la visualisation des résultats [6].

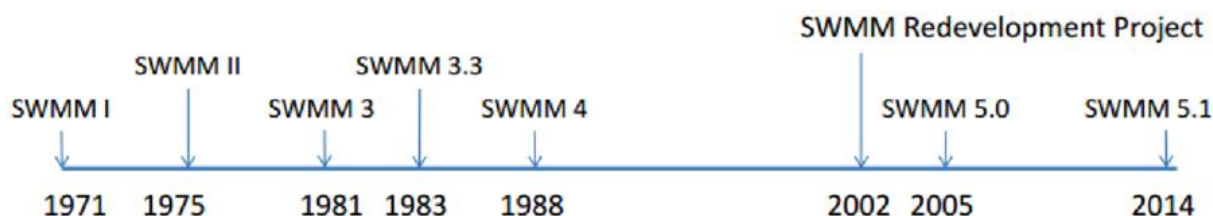


**Figure II.1:** model de logiciel de simulation SWMM5

### II.1.1 Historique :

Le logiciel EPA SWMM a été initialement développé dans les années 1970 par le Water Quality Office de l'EPA, dans le but de fournir un outil de modélisation pour les planificateurs urbains et les ingénieurs environnementaux. Depuis sa première publication en 1971, il a subi plusieurs mises à jour et améliorations pour tenir compte des avancées technologiques et des besoins en matière de gestion des eaux pluviales.

En 2005, une version améliorée du logiciel, nommée SWMM 5, a été publiée, incluant de nouvelles fonctionnalités telles que la simulation en temps réel, la prise en compte des effets de la qualité de l'eau sur les écoulements souterrains, et une interface utilisateur graphique. Le logiciel a continué à évoluer pour inclure des fonctionnalités telles que la simulation des impacts climatiques sur les systèmes de gestion des eaux pluviales, la simulation des débits de pointe, et l'intégration avec d'autres systèmes de modélisation environnementale. Aujourd'hui, EPA SWMM est largement utilisé dans le monde entier pour planifier, concevoir et gérer des systèmes durables de gestion des eaux pluviales. Il est considéré comme l'un des outils de modélisation les plus fiables et les plus complets pour la gestion des eaux pluviales urbaines [6].



**Figure II.2:** Développement du modèle SWMM en fonction du temps

### II.2 OBJECTIFS :

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Être en mesure d'utiliser le logiciel de modélisation des réseaux d'assainissement pluvial ou unitaire SWMM 5 pour le diagnostic et le dimensionnement des réseaux.
- Savoir modéliser un réseau d'assainissement urbain, y compris ses évolutions futures éventuelles, et comprendre les étapes et les limites de cette modélisation.
- Pouvoir simuler le fonctionnement d'un réseau d'assainissement urbain afin de réduire le débit de ruissellement atteignant les conduites d'assainissement. [7]

### **II.3 Utilité**

Le logiciel SWMM permet d'évaluer différentes caractéristiques quantitatives et qualitatives liées au ruissellement au sein de chaque sous-bassin, tels que le débit, la profondeur du courant et la qualité de l'eau dans chaque conduit et canal. [8]

### **II.4 Les avantages de logiciel EPA SWMM**

Il y a plusieurs avantages à utiliser le logiciel EPA SWMM pour la planification, la conception et la gestion des systèmes de gestion des eaux pluviales. Voici quelques-uns des avantages les plus importants :

#### **II.4.1 Précision de la modélisation :**

Le logiciel peut simuler de manière précise les événements de pluie, les flux de surface et les écoulements souterrains, en prenant en compte les caractéristiques topographiques, les caractéristiques des sols et les conditions météorologiques.

#### **II.4.2 Évaluation des scénarios :**

Le logiciel permet de tester et d'évaluer différents scénarios de gestion des eaux pluviales pour établir le meilleur plan d'action.

#### **II.4.3 Amélioration de la planification :**

Le logiciel peut aider les planificateurs urbains et les ingénieurs environnementaux à prendre des décisions informées sur la planification et la conception de systèmes durables de gestion des eaux pluviales.

#### **II.4.4 Facilité d'utilisation :**

Le logiciel est doté d'une interface utilisateur graphique conviviale, ce qui facilite la compréhension et l'utilisation du logiciel.

#### **II.4.5 Flexibilité :**

Le logiciel peut être utilisé pour des projets de toutes tailles, des petits quartiers aux grandes villes, et peut être adapté pour répondre aux besoins spécifiques de chaque projet.

#### **II.4.6 Intégration avec d'autres systèmes :**

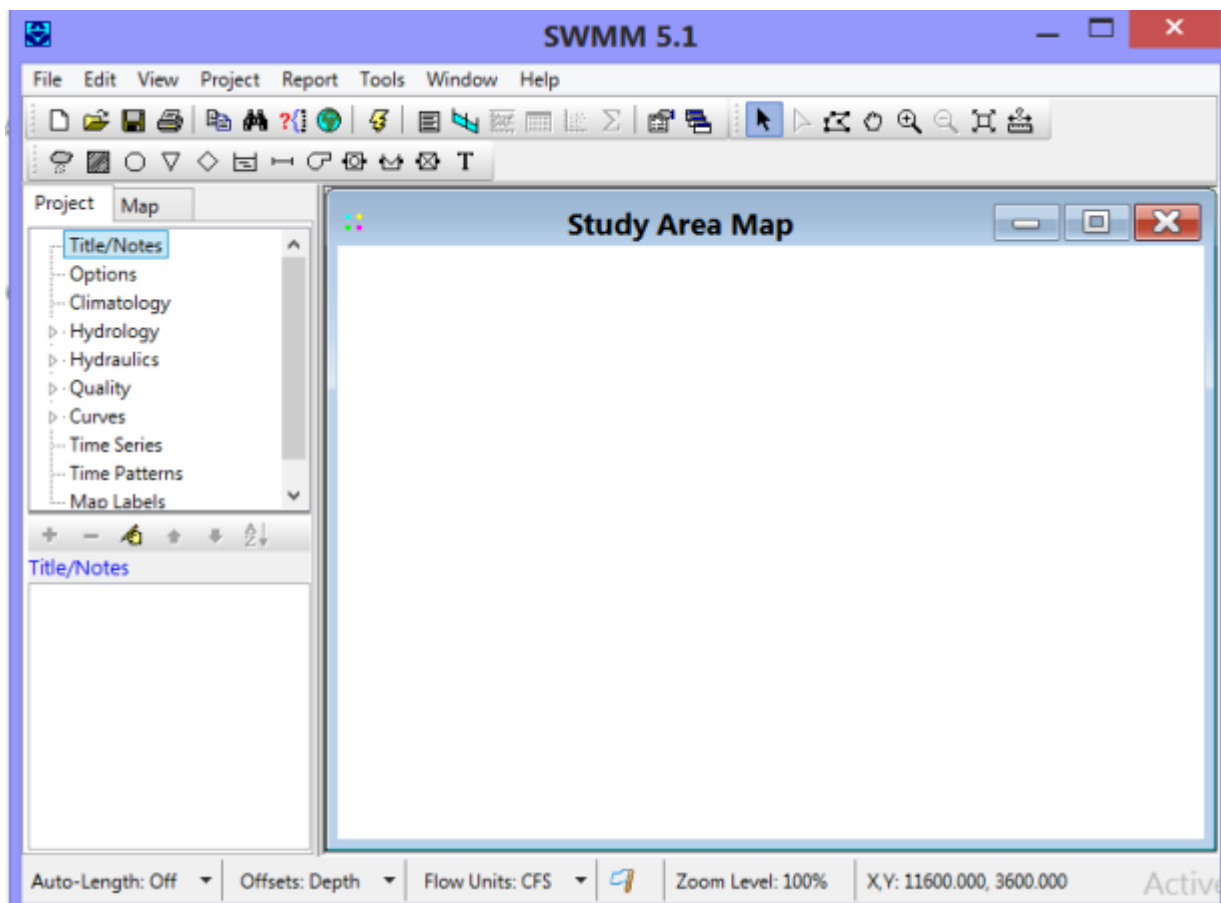
Le logiciel peut être intégré à d'autres systèmes de modélisation environnementale pour une analyse plus complète et détaillée.

#### **II.4.7 Économies de temps et d'argent :**

En utilisant le logiciel pour évaluer les différents scénarios de gestion des eaux pluviales, les coûts peuvent être réduits et les erreurs peuvent être évitées, ce qui peut entraîner une économie de temps et d'argent.[11]

## II.5 DESCRIPTION DU LOGICIEL :

La fenêtre principale SWMM représentée à la Figure II-3; se compose des éléments d'interface utilisateur suivants: un menu principal, plusieurs barres d'outils une barre d'état, la fenêtre Carte de zone d'étude, un panneau de navigation et une fenêtre de l'éditeur de propriété.



**Figure II.3 :** Fenêtre principale du logiciel SWMM

Le menu principal situé en haut de la fenêtre principale SWMM contient une collection de menus utilisés pour contrôler le programme.

- **File :** Le menu Fichier contient des commandes pour ouvrir et enregistrer des fichiers de données et pour l'impression
- **Edit menu :** Le menu Edition contient des commandes d'édition et de copie ;
- **View menu :** Le menu Affichage contient des commandes permettant d'afficher la carte de la zone d'étude ;
- **Report menu:** Le menu Rapport contient des commandes utilisées pour signaler les résultats d'analyse dans différents formats ;

- **Tools menu** : Le menu Outils contient les commandes utilisées pour configurer les préférences de programme, les options d'affichage de la carte de zone.
- **Help menu** : Le menu d'aide contient des commandes pour obtenir de l'aide pour utiliser EPA SWMM.

SWMM fournit un environnement intégré pour la modification des données d'entrée de la zone d'étude; Exécution de simulations hydrologiques, hydrauliques et de qualité de l'eau; Et visualisation des résultats dans une variété de formats.

SWMM prend en compte divers processus hydrologiques qui produisent le ruissellement des zones urbaines. Ceux-ci inclus

- ❖ Les précipitations variables dans le temps
- ❖ Évaporation des surfaces d'eau
- ❖ Accumulation de neige et fonte
- ❖ L'interception et stockage dans les dépressions
- ❖ Infiltration dans les sols non saturés
- ❖ Percolation de l'eau infiltrée dans les couches d'eau souterraine
- ❖ Echange entre les eaux souterraines et le système d'assainissement

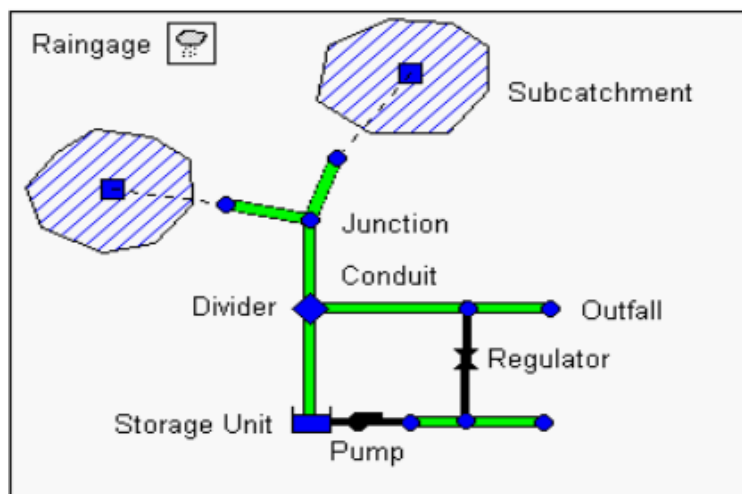
Il dispose également d'une palette variée de fonctions hydrauliques afin de transférer les débits à travers un réseau d'assainissement de conduite, chenaux, unité de traitement, de stockage et ouvrage de diversion. Ainsi, SWMM permet :

- ❖ Gérer des réseaux d'assainissement de taille illimitée
- ❖ Utiliser une grande variété de formes de conduit et canaux naturels
- ❖ Modéliser des ouvrages hydrauliques tels que les pompes, les déversoirs et les orifices
- ❖ Utiliser des méthodes d'onde cinématique ou d'onde dynamique
- ❖ Modéliser divers régimes d'écoulement

SWMM peut estimer la production de charges polluantes associées au ruissellement des eaux pluviales[5]

## **II.6 OBJETS VISUELS (Visual Objects):**

Au sens de modélisation sous SWMM, un système d'assainissement est représenté par différents éléments physiques mis en relation : nœuds, tronçons, bassins versants, exutoires, pompes, bassins de rétention, orifices (voir la figure II-3)[5]



**Figure II.4:** Objets physiques utilisés pour

1. Un nœud du réseau « junction » est un objet ponctuel, repéré par sa position dans l'espace et jouant un rôle dans la description ou dans le fonctionnement du système d'assainissement.
2. Un tronçon de réseau « conduit » est une partie du réseau dont les caractéristiques géométriques (pente, rugosité, forme de la section) restent constantes, de même que les caractéristiques fonctionnelles (pas d'apport latéral de débit). Un tronçon de réseau est limité à l'amont et à l'aval par un nœud.
3. Un bassin versant « subcatchement » est une portion de surface, produisant de l'eau en temps sec et/ou en temps de pluie et telle que toute l'eau produite puisse être supposée et introduite dans le réseau en un même point particulier appelé exutoire du bassin versant. En identifiant cet exutoire à un nœud du réseau, on crée une relation entre le bassin versant (la surface) et le système d'assainissement. On peut décrire l'infiltration des précipitations provenant de la zone perméable d'un sous bassin dans la zone de sols supérieurs en utilisant quatre modèles différents (voir annexe ):
  - Modèle d'infiltration d' Horton
  - Modèle d'infiltration d'Horton modifié
  - Modèle d'infiltration Green-Ampt
  - Modèle d'infiltration Green-Ampt modifié
4. Un exutoire « outfall » est également un ouvrage ponctuel associé à un nœud. L'exutoire permet d'établir une relation entre le système d'assainissement et le milieu naturel.

5. Générateurs de pluie (Rain Gages): Les données pluviométriques peuvent être soit une série temporelle définie par l'utilisateur, soit proviennent d'un fichier externe. Les principales propriétés d'entrée des pluviomètres comprennent:


- Type de données pluviométriques (par exemple intensité, volume ou volume cumulatif)
- Intervalle de temps d'enregistrement (par exemple, horaire, 15 minutes, etc.)
- Source des données pluviométriques (saisie des séries temporelles ou fichier externe)
- Nom de la source de données pluviométriques.

## II.7 MODELES HYDRAULIQUES :

SWMM nous offre de choisir trois modèles

- ❖ Le premier (**Steady Flow**) est basé sur l'hypothèse que l'écoulement de l'eau est permanent et uniforme dans chaque tronçon et à chaque pas de temps. (utiliser l'équation de Manning) ;
- ❖ Le deuxième modèle qui est basé sur l'onde cinématique (**kinematicWave**) ne doit être utilisé qu'en écoulement à surface libre en absence de toute influence aval.
- ❖ Le troisième modèle (**DynamicWave**) est le plus complet. C'est un modèle de l'onde dynamique basé sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant.[6]

## II.8 EXECUTER UNE SIMULATION

Pour lancer une simulation, sélectionner **Project>>Run Simulation** dans le menu principal ou cliquer sur le bouton.  En cas de problèmes lors de la simulation, un rapport de simulation apparaîtra à l'écran, décrivant les erreurs rencontrées. Une fois que la simulation s'est effectuée avec succès, il y a plusieurs manières d'en visualiser les résultats.

## II.9 VISUALISER LES RESULTATS SOUS FORME DE GRAPHES TEMPORELS :

Pour créer un graphe temporel à partir d'un résultat de simulation :

- ❖ Sélectionner **Report>>Graph>>Time Series** ou cliquer sur le bouton  dans la barre d'outils standard.

- ❖ La boîte de dialogue qui apparaît, permet de choisir les variables à représenter en fonction du temps.

Pour exemple, pour représenter le débit dans les collecteurs:

- ❖ Sélectionner "**Links**" dans "**Object Category**"
- ❖ Cocher "**Flow**" comme variable à représenter
- ❖ Cliquer sur la conduite C1 (soit sur la carte soit dans l'explorateur d'objet) et cliquer sur le bouton pour ajouter cette conduite à la liste des conduites concernées par le graphe.
- ❖ Faire de même avec la conduite C2.
- ❖ Cliquer sur **OK** pour créer le graphique.

Une fois le graphique créé, il est possible de :

- Modifier son apparence en sélectionnant **Report>>Customize** ou en faisant un clic droit sur le graphique.
- Le copier dans le presse papier et de le coller dans un autre logiciel en sélectionnant **Edit>>Copy** ou en cliquant sur le bouton de la barre d'outils standard.
- L'imprimer en sélectionnant **File>>Print** ou **File>>PrintPreview** (utiliser au préalable **File>>Page Setup** pour définir les marges, l'orientation de la page, etc.)

## II.10 CREER UN PROFIL EN LONG :

SWMM permet de générer des profils en long montrant comment varie la ligne d'eau dans une succession de tronçons du réseau. Créons par exemple un tel profil pour les collecteurs reliant le nœud J1 à l'exutoire général du réseau (Out1).

- ❖ Sélectionner **Report>>Graph>>Profile** ou cliquer sur le bouton de la barre d'outils standard.
- ❖ Dans la fenêtre qui apparaît (cf. figure 8), entrez J1 dans le champ "**Start Node**" pour indiquer le point de départ du profil, ou bien cliquer sur le nœud J1 sur la carte ou dans l'explorateur
- ❖ Faire de même avec le nœud Out1 dans le champ "End Node"
- ❖ Cliquer sur "**FindPath**". Une liste ordonnée des conduites reliant le nœud de départ au nœud d'arrivée s'affiche alors dans la rubrique "**Links in Profile**". Il est possible si nécessaire d'éditer cette liste pour la modifier.

- ❖ Cliquer sur **OK** pour créer le profil montrant la position de la ligne d'eau à l'instant indiqué dans l'onglet "**Map**" de l'explorateur, à gauche de l'écran.

Lorsque que l'on évolue dans le temps en utilisant les boutons de contrôles de l'onglet "**Map**" de l'explorateur, ou en lançant une animation avec l'"**Animator**", on voit évoluer la forme et la position de la ligne d'eau.

L'apparence du profil en long peut être modifiée et il peut être copié et imprimé, selon les mêmes procédures que pour les graphes temporels.

**CHAPITRE III**  
**PRESENTATION DE LA ZONE**  
**D'ETUDE**

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Avant tout, dans les projets d'assainissement, l'étude du site est nécessaire pour connaître toutes les caractéristiques du lieu et les facteurs qui influent sur la conception du projet, parmi ces facteurs nous citons : les données relatives à l'agglomération ; les données propres au réseau d'assainissement ainsi que les caractéristiques géologiques.

La zone de Boujlida constitue un nouveau pôle urbain implanté sur une superficie globale de 105 hectares et doté d'importants projets d'habitats, de commodités nécessaires et d'espaces verts. Un pôle urbain qui est une expansion de la ville de Tlemcen.

Dans ce chapitre, nous présentons notre zone d'étude par le biais des facteurs suivants :

- L'alimentation en eau potable et les ouvrages hydrauliques
- Description du réseau d'assainissement
- La climatologie, la géologie et la topographie de la zone

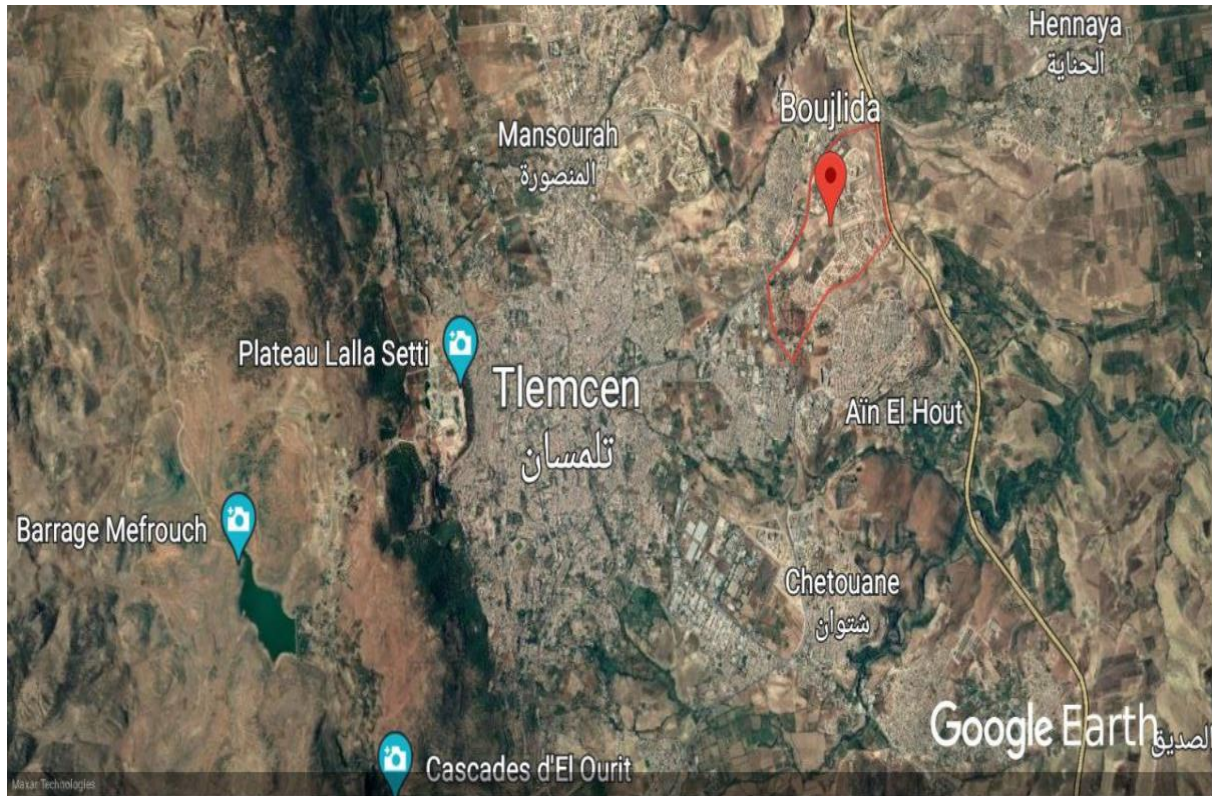
### III.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET TOPOGRAPHIE :

La wilaya de Tlemcen située à l'extrémité Nord-ouest de l'Algérie, entre le 34° et 35° 40' de latitude Nord et le 0° 30' et 2° 30' de longitude.

Géographiquement, Elle est limitée au Nord par la mer méditerranéenne, au Nord-Est par la Wilaya de Ain Temouchent, à l'Est par la Wilaya de Sidi Bel-Abbes, à l'Ouest par la frontière Algéro-Marocaine et au Sud par la Wilaya de Naâma. La wilaya de Tlemcen occupe une superficie de 9017 km<sup>2</sup>, elle comprend 20 daïras subdivisées en 53 communes y compris notre zone d'étude les communes de Tlemcen, Mansourah et chetouane.[18]

#### III.1.1 Description géographique de la zone d'étude Boujlida

La zone d'étude Boujlida est attachée administrativement à la wilaya de Tlemcen. Notre zone d'étude se situe au nord de Kudia, au sud d'Ain El Hadjar, et à l'est d'Oujlida. Elle est représentée dans la figure III.1[18]



**Figure III.1** : Boujlida photo satellite pris par Google Earth

### III.1.2 Description topographique de Boujlida

La région de Boujlida est une région assez accidentée avec des pentes très importantes allant jusqu'à 20% (ADE Tlemcen), ses altitudes varient entre 550 m à 620 m. la figure III.2 donne Aperçus des dénivelés dans la zone de Boujlida



**Figure III.2** : Aperçus des dénivelés dans la zone de Boujlida

### III.2 L'alimentation en eau potable et les ouvrages hydrauliques :

L'alimentation du réseau d'AEP de Boujlida se fait au niveau d'un picage du réservoir 10000 m<sup>3</sup> avec une conduite 400 mm en fonte jusqu'à l'entrée de Koudia où cette dernière s'emboîte avec une conduite en PEHD, fil 315 mm. Le réservoir 10000 m<sup>3</sup> est alimenté par : La SDEM de Honaïn avec une conduite en fonte ductile de 200 mm de diamètre dans la majorité du temps. Le barrage Sekak avec une conduite en fonte ductile de diamètre 400 mm quand la SDEM de Honaïn est à l'arrêt.

L'alimentation de notre zone d'étude, est schématisée par la figure

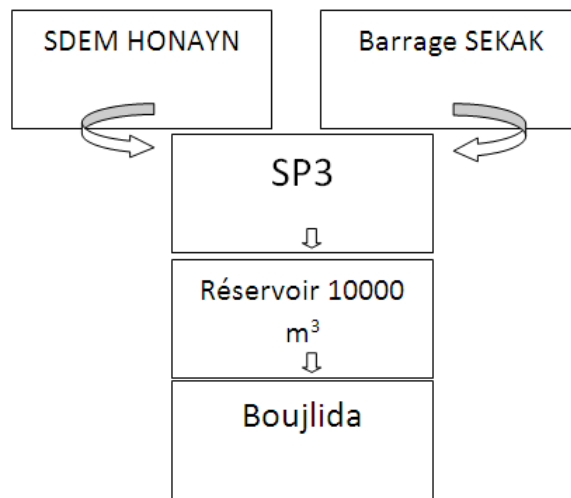


Figure III.3 : l'alimentation de notre zone d'étude

#### III.2.1 Ouvrages hydrauliques :

Le réseau de Boujlida est alimenté par le réservoir 10000 m<sup>3</sup> représenté sur la figure. Le tableau 1 représente les caractéristiques du réservoir qui alimentent notre zone d'étude.

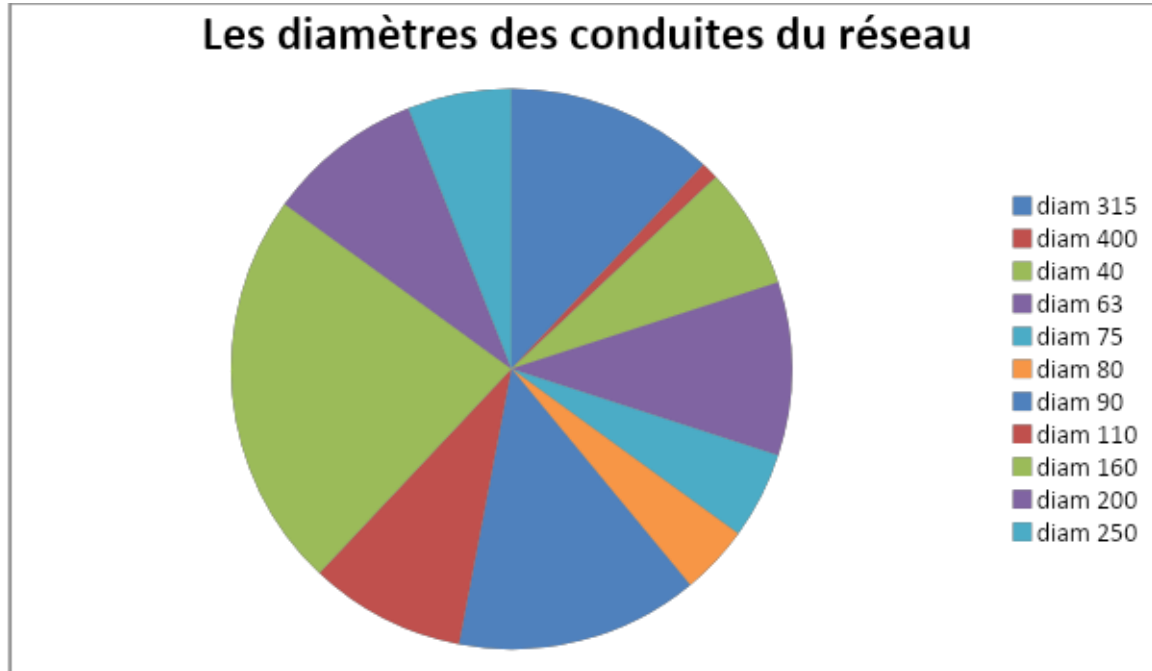
Tableau III.1 : Caractéristiques du réservoir

Réservoir	Altitude (m)	H (m)	V (m3)	Forme
Réservoir 10000	<b>760</b>	<b>8</b>	<b>10000</b>	Rectangulaire

#### III.2.3 Le réseau d'AEP de la zone d'étude

Le réseau de notre zone d'étude est un réseau mixte, avec les particularités suivantes : réseau primaire déjà existant en PEHD auquel sont rattachés plusieurs réseaux secondaires en PEHD aussi (la zone est en pleine expansion).

Sa longueur totale s'élève aux environs des 20 Km (réseaux secondaires y compris). Tout le réseau est construit en PEHD avec des diamètres normalisés différents allant de 40 mm jusqu'à 400 mm, tel que c'est représenté sur la figure



**Figure III.4** : Les diamètres des conduites du réseau

Le réseau souffre de plusieurs problèmes de pression dus au fait que la zone est formée de plusieurs pentes très importantes et donc il existe une grande différence d'altitudes entre les nœuds du réseau. Le réseau est régulé à l'aide d'un réducteur de pression à l'amont de Boujlida,

### **III.3 Description du réseau d'assainissement :**

Le réseau d'assainissement du chef-lieu de Boujlida est en totalité unitaire avec des collecteurs principaux d'un diamètre de 315 mm et d'une longueur moyenne de 2092 m. Le taux de raccordement est estimé à 80%. Les rejets sont déversés vers Chaabet El Horra qui se connecte avec l'oued Saf-Saf. Cette commune en extension permanente revêt une importance capitale en matière de développement urbain. L'ossature du réseau est tracée sur le plan de masse à échelle 1/500 (voir figure III.5).

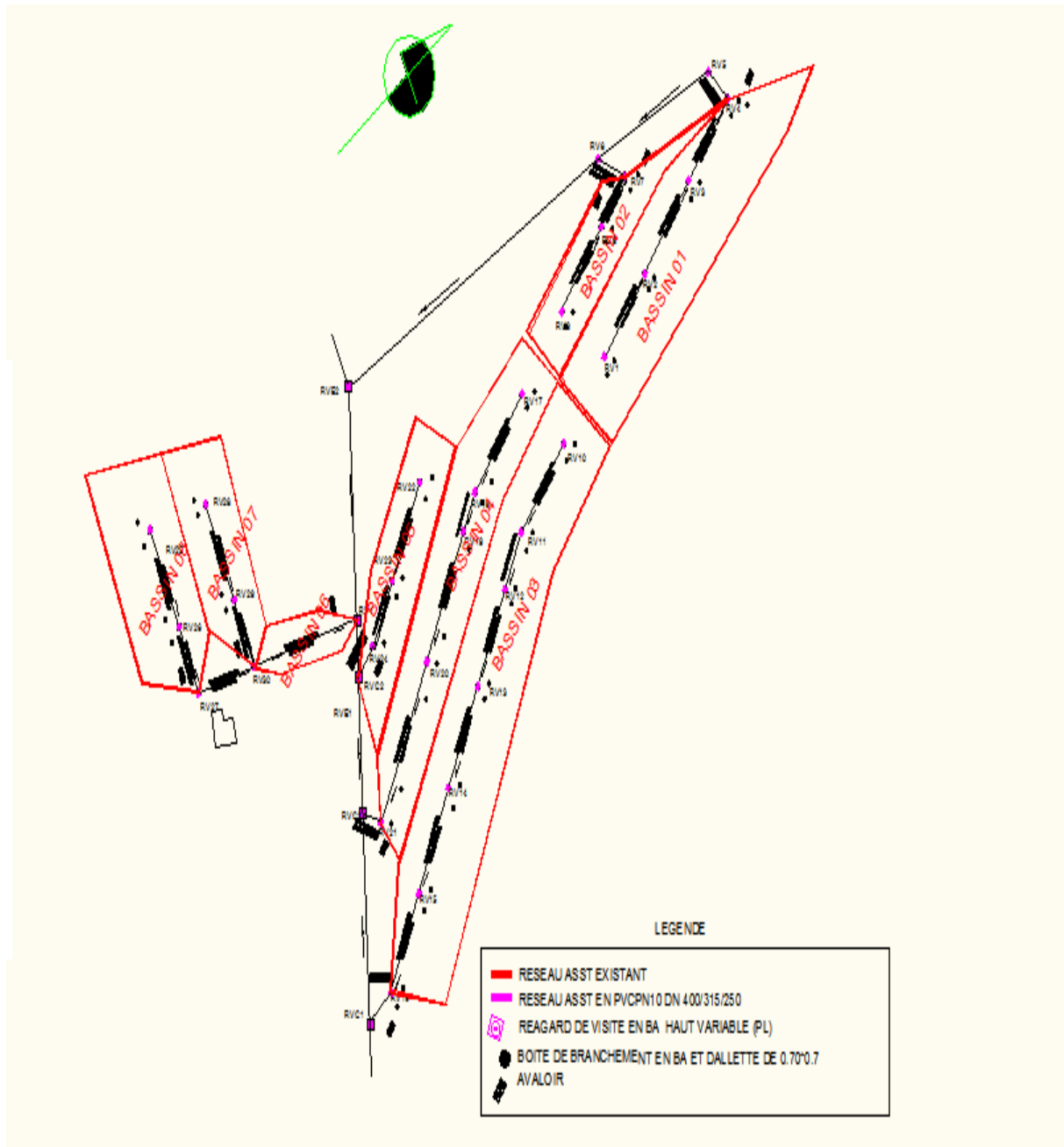


Figure III.5 : réseau d'assainissement de Boujlida

#### III.4 Caractéristiques climatiques :

La climatologie de la zone d'étude s'est basée essentiellement sur les données climatiques. Ces données sont surtout celles de la pluviométrie qui sont régulières et s'étalent sur une période assez longue pour des pluies mensuelles. Le secteur étudié n'est pas couvert par l'observation hydrométrique au niveau du réseau hydrographique de la zone étudiée. La région d'étude fait partie du bassin de la Méditerranée avec un climat méditerranéen caractérisé par un été chaud et un hiver doux. La période allant du mois d'Octobre à Mars est marqué par des précipitations,

le printemps s'étale du mois d'Avril à juin et se caractérise par des pluies locales. La période sèche s'étale de Juillet à Septembre. L'examen des données climatologiques met en évidence deux maxima de pluies moyennes, l'un au printemps, l'autre en automne. Ils sont séparés par deux minima, l'un en été (Juillet) et l'autre en hivers (Février). Les régimes pluviométriques mensuels se distinguent par deux maxima pluviométriques, le premier en Mars provoqué par le passage de dépressions des fronts polaires. Le second intervient au début de l'hiver (Décembre). Le climat de la région est de type méditerranéen caractérisé par des étages bioclimatiques subhumides.[15]

#### III.4.1 Caractéristique pluviométriques:

Le climat de la région en générale est de type méditerranéen du point de vue température moyenne, pluviométrie annuelle et répartition saisonnière des précipitations. L'analyse climatique du secteur étudié s'est basée sur les travaux et les données de Seltzer (1946), Chaumont et Paquin qui ont établi en 1971 la carte pluviométrique de l'Algérie.[15]

##### ● PRECIPITATIONS ANNUELLES :

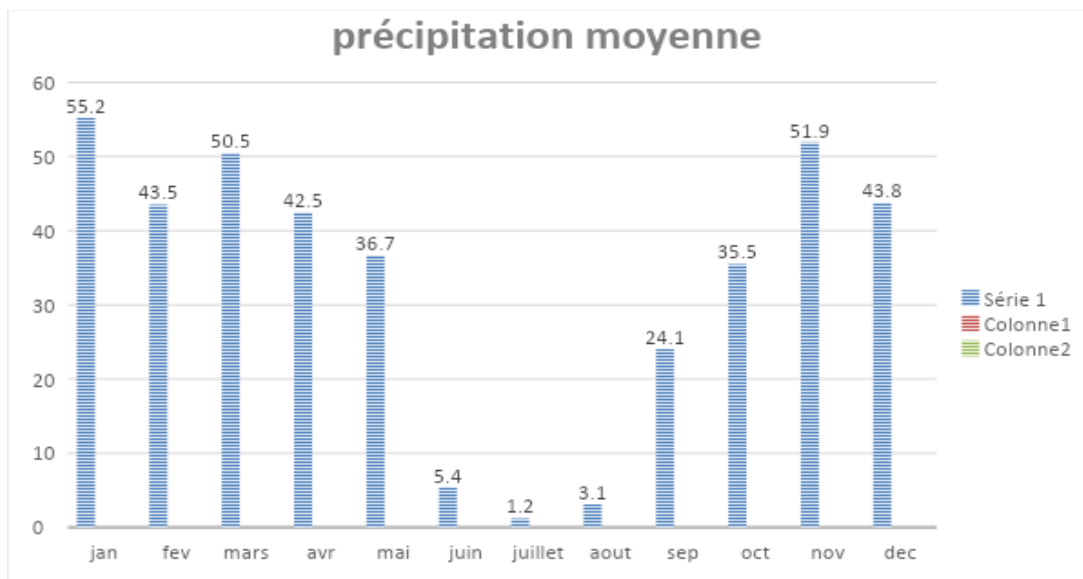
Les précipitations moyennes annuelles sur une longue période pour la zone d'étude sont en moyennes de 306 à 424 mm. Les valeurs extrêmes des pluies annuelles se situent dans les intervalles 87-174mm pour les années de sécheresse et 522-696mm pour les années humides, caractérisant une légère asymétrie positive.

**Tableau III.2** : les Précipitation moyennes année 1990-2011 station Hennaya

Mois.	jan	Fev.	mars	avr.	mai.	juin	Juil	aout	sep	oct	nov	dec	Total
Pluviaux mm	55.2	43.5	50.5	42.5	36.7	5.4	1.2	3.1	24.1	35.5	51.9	43.8	393.4
Nombre de jours de pluie	12	7	9	8	3	2	2	2	5	6	8	8	72

##### ● PRECIPITATIONSMENSUELLES :

L'histogramme montre la variation mensuelle des précipitations moyenne .On note une augmentation des pluies mensuelles de Septembre à Février, suivie d'une diminution des normes mensuelles des pluies jusqu'aux mois de juillet –Août. Cette variation mensuelle est très accentuée en été (juin –juillet –Août) .La variation est quasi stable pour les autres mois de l'année.



**Figure III.6:** répartition mensuelle des précipitations de la station de hennaya

● **PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES :**

Les pluies maximales journalières varient dans un large diapason, avec une forte probabilité dans l'intervalle 25-50mm. La moyenne est située dans cet intervalle (48,9mm). La moyenne annuelle est estimée à 324mm .L'histogramme montre une forte probabilité pour une pluviométrie annuelle dans l'intervalle se situe entre 261-348mm. Cette distribution se caractérise par une forte asymétrie.

**Tableau III.3 :** Série des pluies max journalières (station Hennaya)

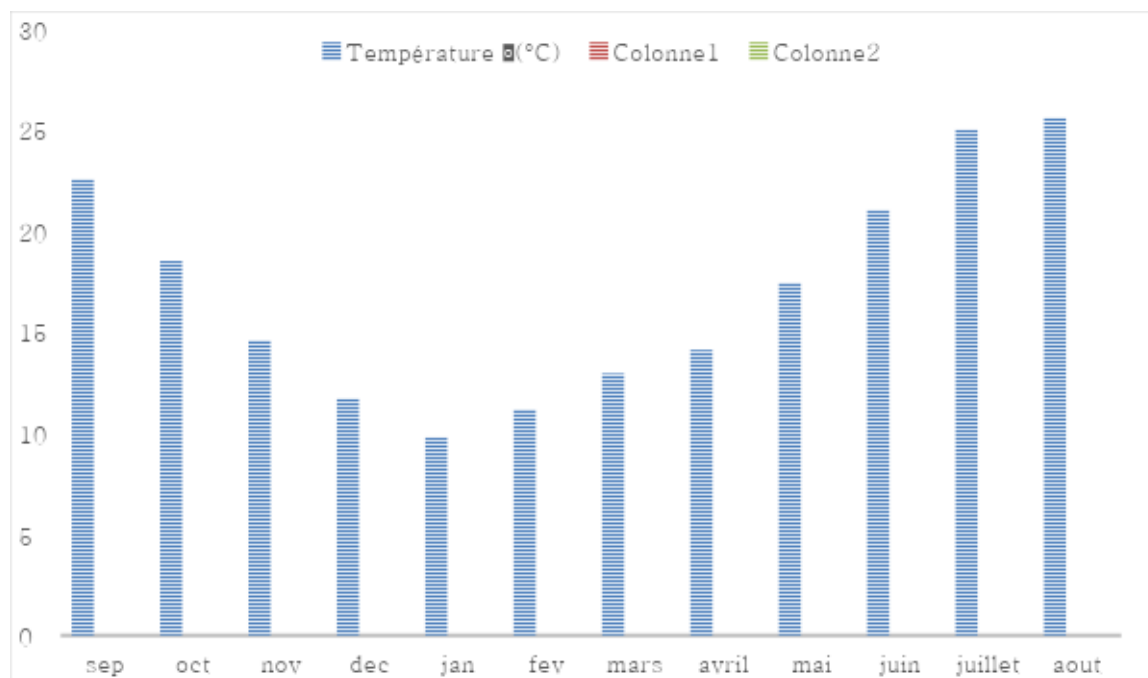
années	P <sub>jmax</sub> (mm)	années	P <sub>jmax</sub> (mm)
1985	38.4	1998	43.2
1986	35.8	1999	28.5
1987	19.9	2000	26.7
1988	129	2001	82
1989	38.5	2002	43
1990	35.5	2003	54.1
1991	59.5	2004	32.7
1992	69	2005	18
1993	67	2006	40.2
1994	72.3	2007	30.9
1995	45	2008	31
1996	74.2	2009	31.1
1997	48.7	2010	69.6

### III.5 TEMPERATURES :

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17,7°C. La température moyenne mensuelle maximale est observée aux mois de Juillet –Août, variée 14 à 24 °c. La température moyenne mensuelle décroît à partir de ces mois, jusqu'au mois de Janvier ou elle atteint sa valeur moyenne minimale de 2 à 6.5 °c.

**Tableau III.4:** Température moyennes mensuelles station de Tlemcen

station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	AT	An
Température (°C)	22.5 6	18.5 1	14.6 2	11.7 3	9.8 7	11. 2	12.9 6	14.1 1	17.4 5	21.0 3	2 5	25.6 99	17.0 9



**Figure III.7:** Répartition mensuelle de la température de la station Hennaya (1990-2011)

### III.6 VENTS :

Les données se rapportant aux vents ont été extraites du rapport «climat de l'Algérie». Les vitesses moyennes mensuelles du vent montrent que les vents prédominants dans la région sont de direction Sud, Sud – Ouest et Sud Est pendant les heures matinales. Pendant le reste du jour les vents prédominants sont de direction Nord – Ouest, Ouest, Sud- Ouest et Nord – Est

**Tableau III.5:** Moyenne mensuelles des vents de la station de Tlemcen [14]

Mois	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juillet	Aout	sep	oct	nov	dec	moy
V (km/h)	2.16	2.28	2.32	2.7	2.42	2.56	2.51	2.48	2.28	2.01	2.4	2.37	2.37

### III.7 GEOLOGIE :

Deux grandes formations géologiques conditionnent le comportement du substrat du groupement en matière de construction. En effet, cet espace diversifié constitue la zone de contact entre les formations géologiques assez tendres au nord constituées par les marnes du bassin marins du miocène et des formations beaucoup plus résistantes au Sud représentées par les calcaires et les dolomies jurassiques des monts de Tlemcen. Le contact entre ces formations se situe justement au niveau du groupement ce qui explique notamment la complexité de sa géologie et ses implications sur l'urbanisation d'une manière générale

- **Le jurassique**

On distingue :

- **Le jurassique inférieur (Lias) :**

Il est constitué successivement et de bas en haut de rubanés, de calcaire à silex et d'alternances de calcaires gris et de marnes

- **Le jurassique moyen (Dogger) :**

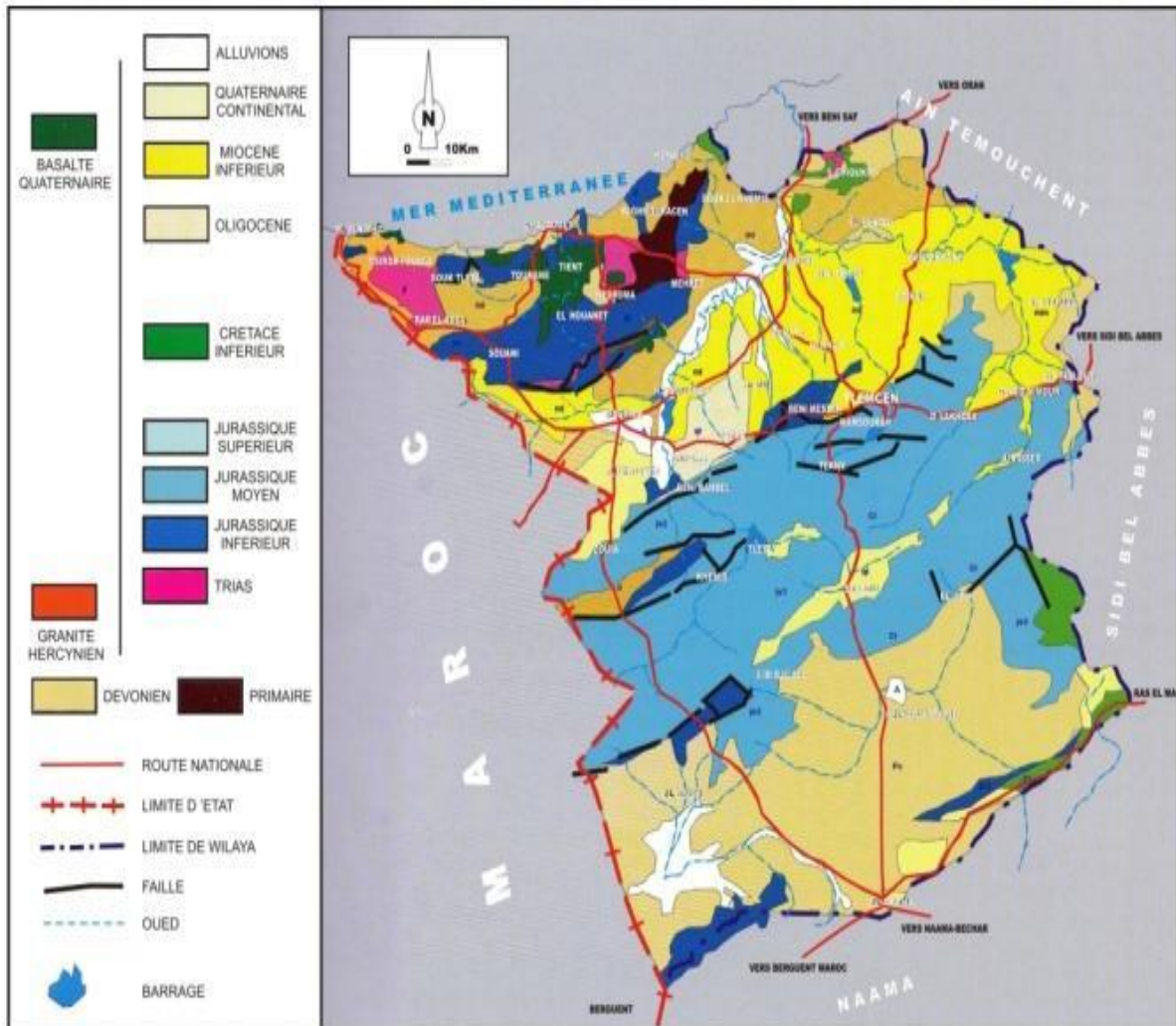
Formé par un ensemble de calcaire surmonté par une épaisse série argilo-calcaire et enfin des calcaires micros gréseux.

- **Le jurassique supérieur.**

Il offre la gamme de roches suivantes

- Zagla A** : Calcaires et Marno-calcaires (100 à 150 m)
- Dolomies de Terni** : Dolomies massives avec de nombreux bancs et lentilles calcaires (100 à 120 m).
- Marno-calcaire de Raourai** : A une épaisseur de 60 à 120 m, cette formation est une alternance de calcaires et de marnes jaunes.
- Les dolomies de Tlemcen** : Dolomies massive avec de rares bancs et lentilles calcaires (250 à 350 m).
- Grés de Boumediene** : Formé de grés intercalés de marnes calcaires.

**Callovo-oxfordien** : (les argiles de Saida) ; argiles et marnes avec de rares passés gréseuses (300 à 500 m). [15]



**Figure III.8** : carte géologique de TLEMCEN

### III.8 HYDROGÉOLOGIE :

Les monts de Tlemcen et leurs piémonts constituant le principal relief montagneux dans l'Ouest Algérien qui est assez bien exposé aux influences maritimes.

Leurs surfaces sont constituées en grande partie par des affleurements de calcaires et surtout de dolomies du jurassique supérieur.

Ces formations sont largement karstifiées et constituent les aquifères les plus importants de la wilaya de Tlemcen.

Les ressources en eau karstiques des Monts de Tlemcen constituent la ressource en eau la plus mobilisée et qui alimentent pour une grande part la population de Tlemcen. En effet, Les communes les mieux dotées en alimentation en eau potable sont celle alimentées à partir des ressources karstiques en question.

Les communes de la partie centrale de la wilaya à titre d'exemple, le groupement urbain de Tlemcen qui comprend une population de plus de 260.000 hab, était alimentée par des ressources en eau qui étaient à 65% d'origine karstique.

Du point de vue hydrogéologie, il apparait l'existence de trois types de nappes : Nappe perchée, nappe libre et captive. [15]

## **CHAPITRE IV**

**ETUDE L'EFFICACITE DES TOITURES VERTES  
ET LES PAVE PERMEABLE SUR LE SYSTEME  
D'ASSAINISSEMENT VIA LE LOGICIEL EPA  
SWMM.**

## **CHAPITRE IV: ETUDE L'EFFICACITE DES TOITURES VERTES ET LES PAVE PERMEABLE SUR LE SYSTEME L'ASSAINISSEMENT VIA LE LOGICIEL EPA SWMM.**

Les réseaux d'assainissement urbains sont des systèmes complexes qui comprennent des bassins versants et différents éléments structurels permettant l'évacuation des charges hydrauliques générées, telles que les eaux de ruissellement, les eaux usées et les infiltrations. Dans ce chapitre, nous avons examiné l'effet des toitures vertes et les pavés perméables sur la réduction des eaux de ruissellement en utilisant le logiciel EPA SWMM5.

### **IV.1 Simulation sur le logiciel EPA SWMM 5**

La première étape consiste à importer le plan de masse de la zone d'étude dans le logiciel EPA SWMM. Ensuite, nous attribuons des symboles aux éléments du projet, tels que le symbole C pour les conduits, N pour les nœuds et B pour les sous-bassins (Figure IV.1). Dans l'étape suivante, nous activons les options d'affichage pour que les symboles et les noms des objets s'affichent automatiquement sur le plan au fur et à mesure de la création des objets (Figure IV.2), et pour que les conduites soient indiquées par des flèches indiquant le sens de l'écoulement (Figure IV.3)

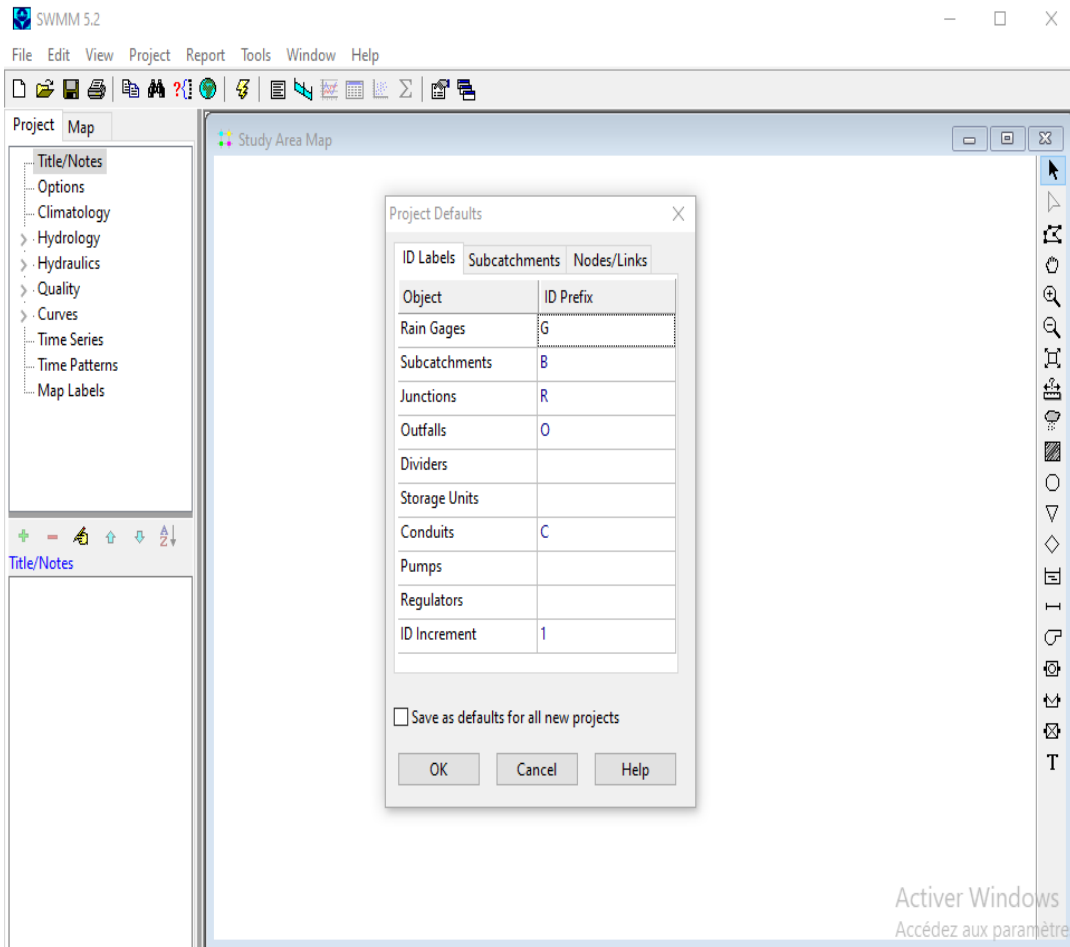


Figure IV.1: Identification des objets.

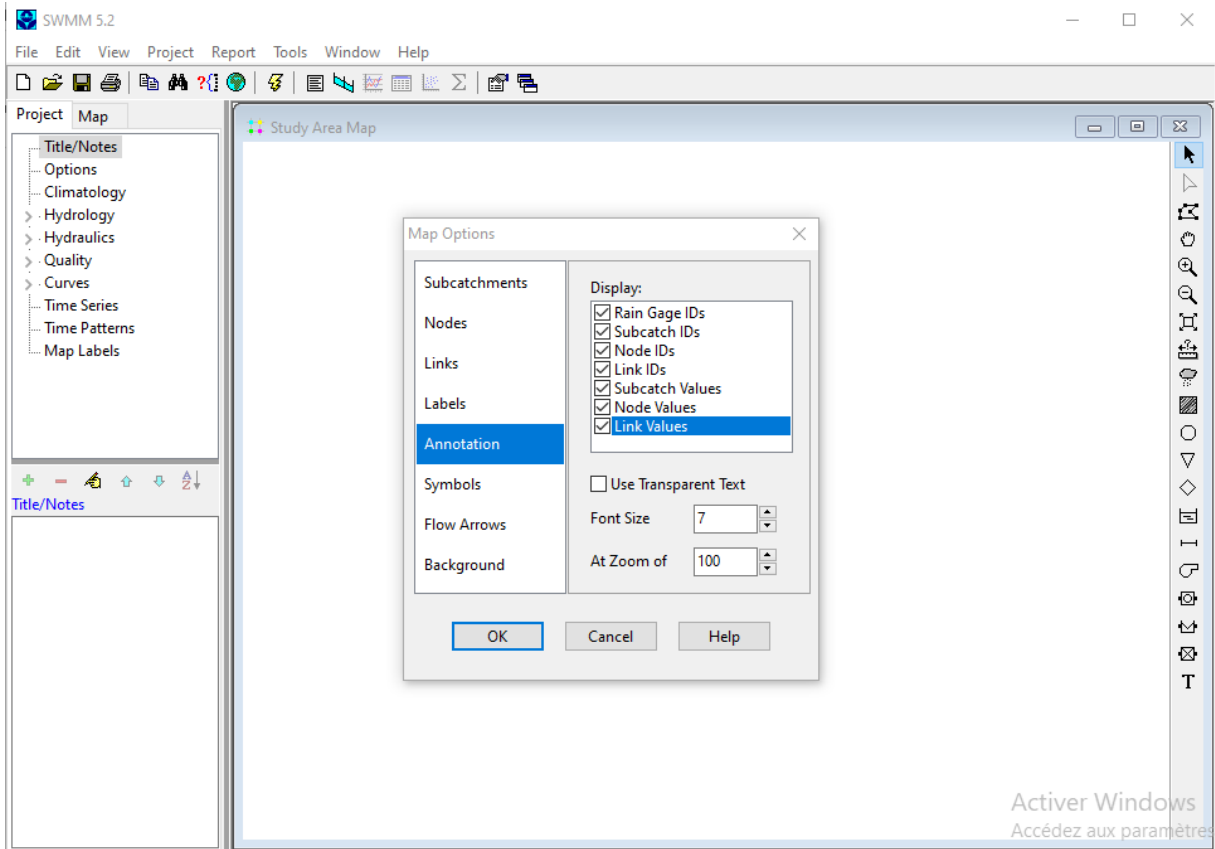
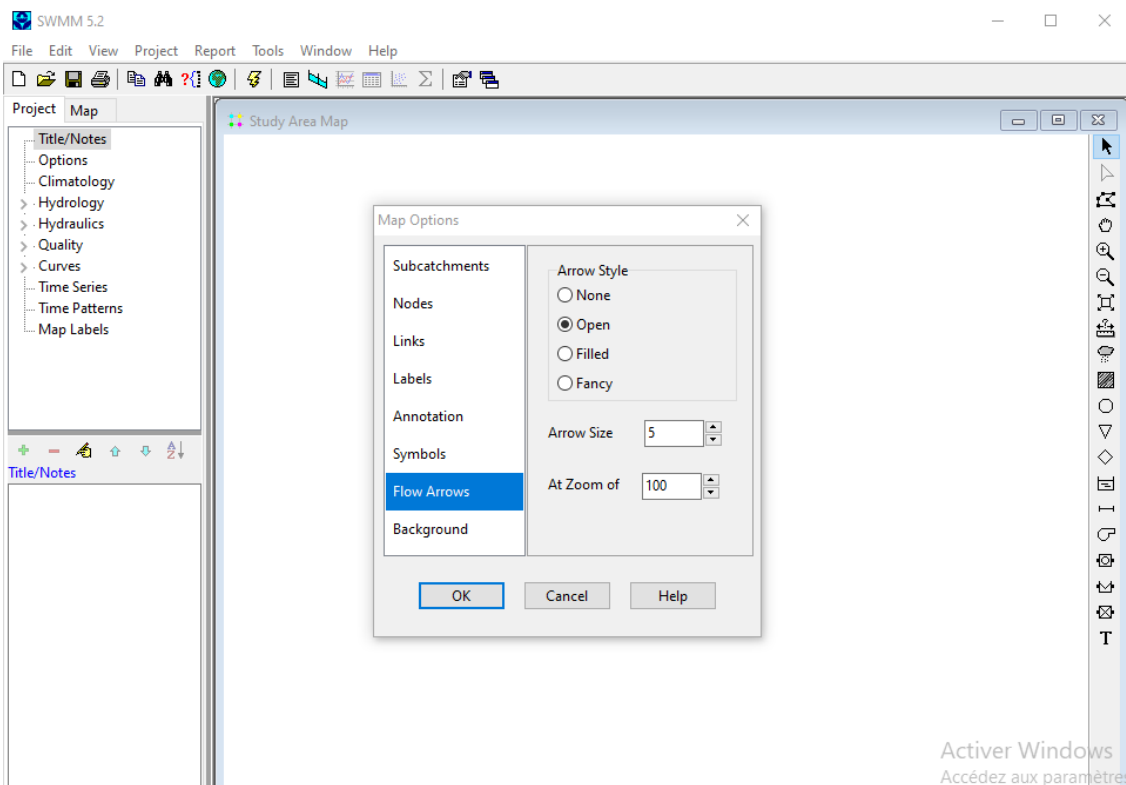
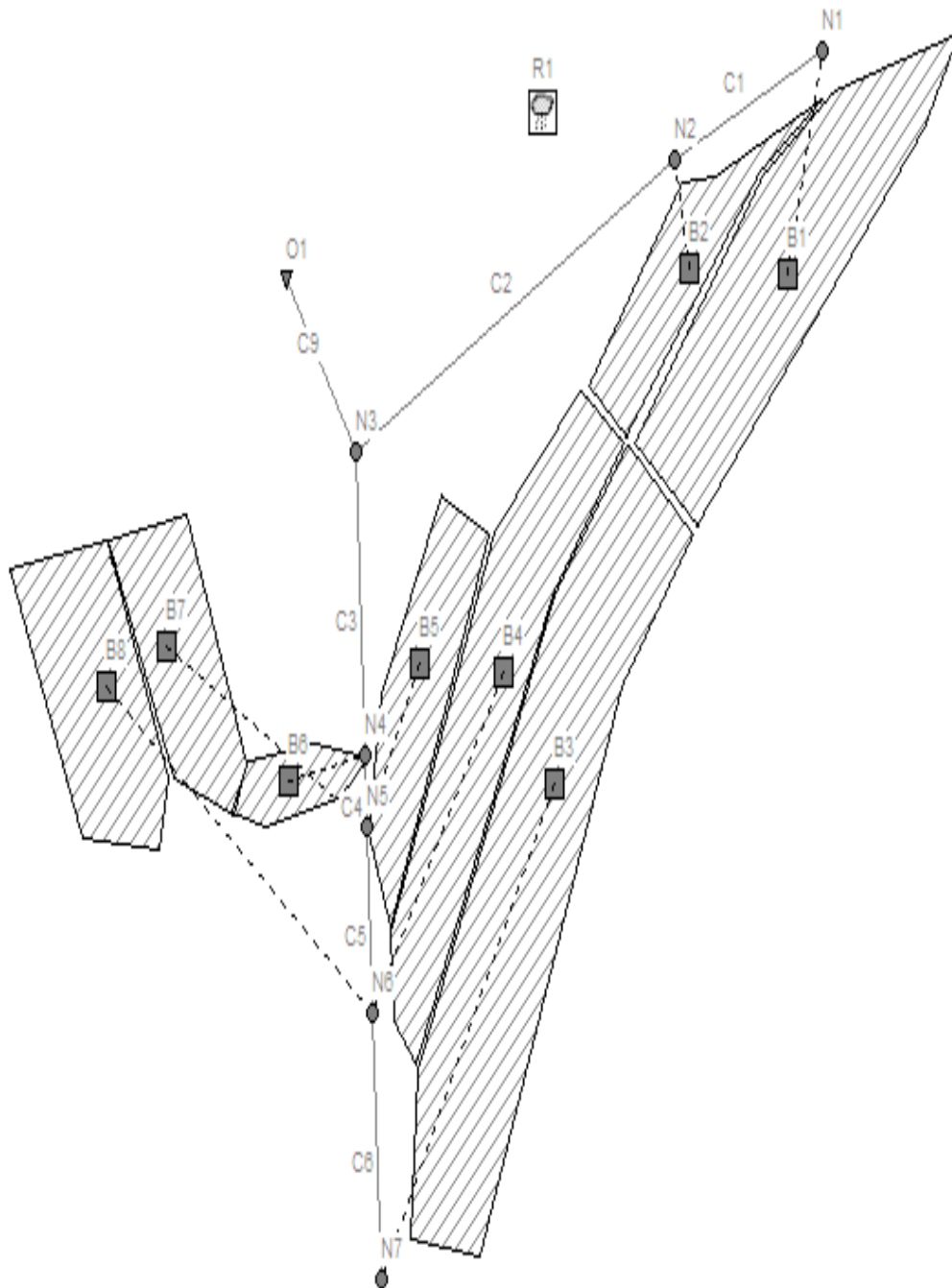


Figure IV.2: Les options d'affichage



**Figure IV.3:** Sélection le sens de l'écoulement

La Figure IV.4 présente le réseau modélisé sous le logiciel SWMM avec la numérotation des nœuds et des conduites du réseau.



**Figure IV.4:** La numérotation des nœuds et des conduites du réseau modélisée

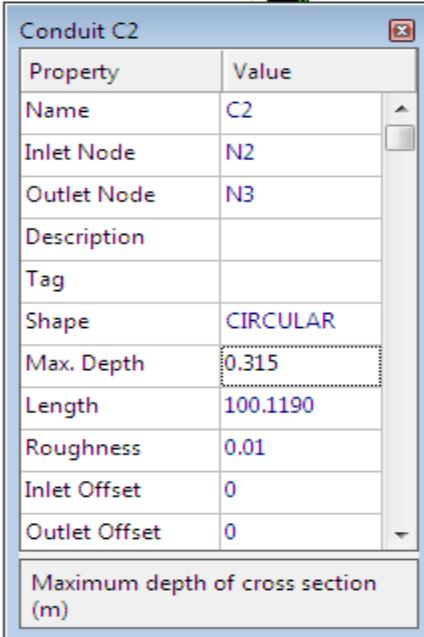
## IV.2 Insertion les données du réseau sur le logiciel EPASWMM :

Après avoir terminé le dessin, on passe à saisir les données pour chaque élément

### IV.2.1 Les conduites :

Elle est composé de plusieurs paramètre les plus important sont :

- La longueur
- Le diamètre
- La rugosité



Property	Value
Name	C2
Inlet Node	N2
Outlet Node	N3
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.315
Length	100.1190
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0

Maximum depth of cross section (m)

Figure IV.5: inséré les donnes du conduit

### IV.2.2 Les bassins versant :

Dans la rubrique du bassin versant « subcatchement », il faut entrer les données des paramètres suivantes :

- La surface du bassin :
- La largeur de bassin
- La pente
- Imperméabilité

Property	Value
Name	B1
X-Coordinate	8361.416
Y-Coordinate	8090.354
Description	
Tag	
Rain Gage	R1
Outlet	N1
Area	0.246675
Width	23.304737
% Slope	4
% Imperv	75

Name of node or another subcatchment that receives runoff

Figure IV.6: inséré les données de bassin versant

#### IV.2.2.1 La largeur de bassin (width) :

C'est la largeur équivalente, déterminé en fonction de la surface et le périmètre avec la formule du coefficient de compacité [36]:

$$K_C = 0,28 \times \left( \frac{P}{\sqrt{S}} \right) \quad (\text{IV.1})$$

$$l = \frac{K_C \sqrt{S}}{1,12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12^2}{K_C} \right)} \right) \quad (\text{IV.2})$$

Avec

l: largeur du rectangle équivalent (m)

$K_C$  : Indice de compacité de Graveleuse

S : L'aire du bassin en  $m^2$

P : Le périmètre du bassin en (m)

**Tableau IV.1** : Représente les résultats des largeurs équivalentes de chaque bassin

Bassin	Surface (m <sup>2</sup> )	Périmètre (m)	K <sub>C</sub>	Largeur (m)
B1	2466,75	245,7654	1,39542751	23,30473751
B2	814,5	186,611	1,843914605	9,01658
B3	1402,5	325,7475	2,452893908	8,445812483
B4	1122	265,2614	2,233195465	8,406439998
B5	420,75	167,2707	2,299624465	4,977183217
B6	313,19	81,2324	1,29441772	9,519343691
B7	561	134,848	1,60550694	8,984277609
B8	561	134,848	1,60550694	8,984277609

**IV.2.2.2 La pente (% Slope) :**

C'est la pente moyenne de bassin en (%), la région de Boujlida est une région assez accidentée avec des pentes très importantes allant jusqu'à 20%.

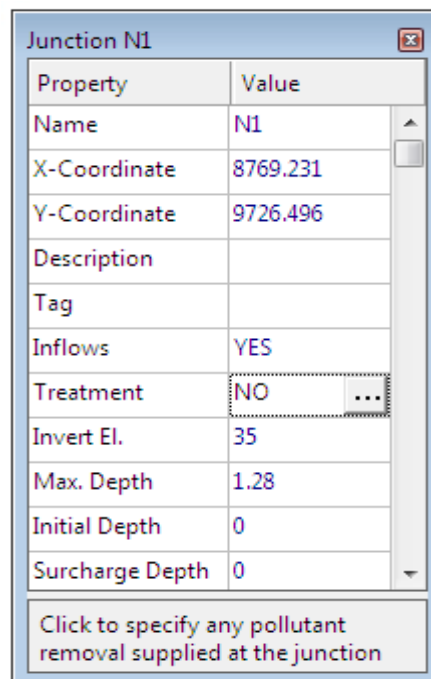
**IV.2.2.3 Pourcentage de surface imperméable (% Imperv) :**

Elle est Exprimée en (%), la région de Boujlida varie entre 70% à 90%.

**IV.2.3 Les nœuds :**

Dans cette rubrique, il faut insérer les données suivantes :

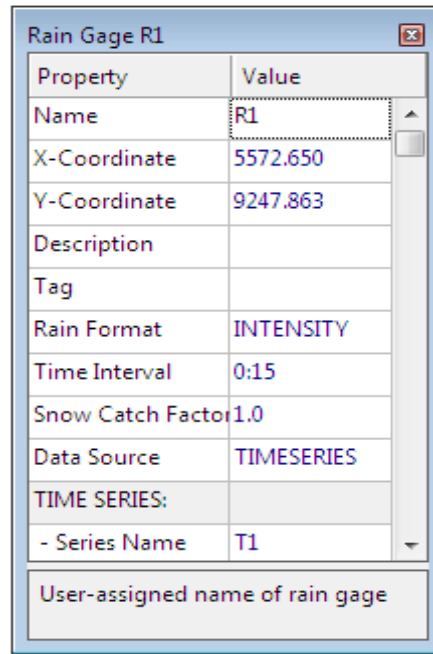
- L'altitude
- La hauteur max entre le terrain et le conduit



**Figure IV.7:** Insertion les données des nœuds

### IV.2.3 Les données pluviométriques (Rain gage) :

Dans cette étapes on peut introduire les données pluviométrique pour chaque bassin sous forme lame d'eau précipité (mm ou on in), ou bien sous forme intensité.



**Figure IV.8** : Editeur de propriétés pour Rain Gage

La pluie de projet est une pluie synthétique largement utilisée en hydrologie pour la conception des réseaux d'assainissement. Elle est construit à partir d'une courbe IDF (intensité durée fréquence) pour une période de retour de 10ans , ajusté à une loi de Mantana et applicable en Algérie cité par Marc Satin et Béchir Selmi dans leurs ouvrage "Guide technique de l'assainissement dont l'intensité est définie par l'équation suivante[10] :

$$i = 4. tc^{-0.5} \quad (IV.3)$$

Avec:

$i$  : intensité moyenne maximale en (mm/min)

$tc$  : temps de concentration en min

Pour la simulation de notre réseau d'assainissement, on utilisera la pluie de projet de type double triangle symétrique [23]. Elle est présentée dans la figure IV.6

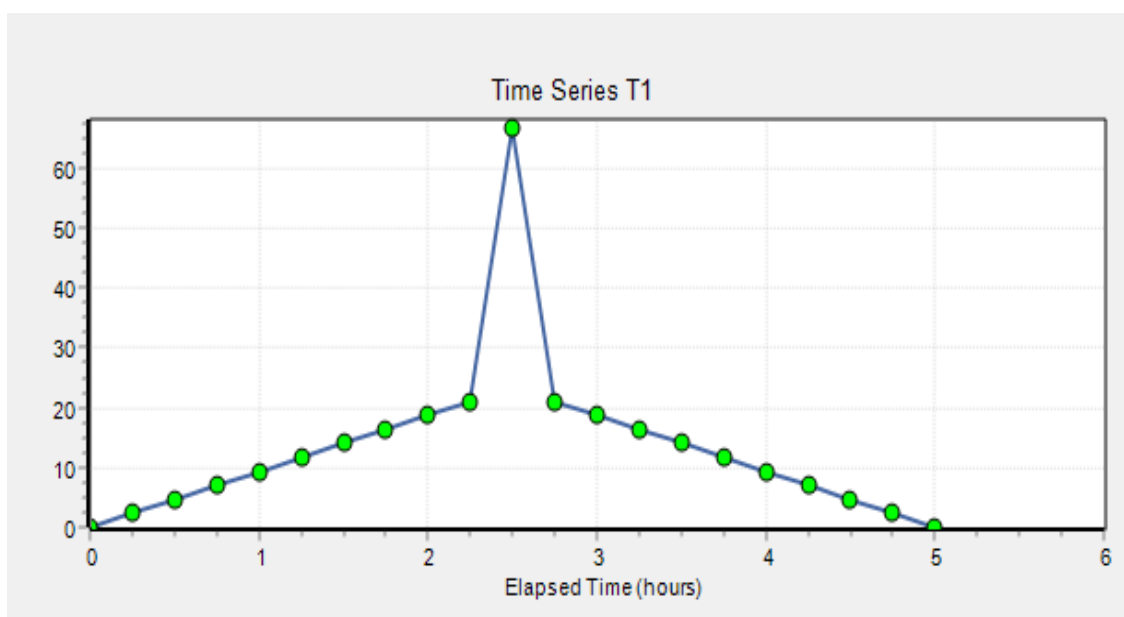


Figure IV.9 : courbe Double triangle de la pluie de projet

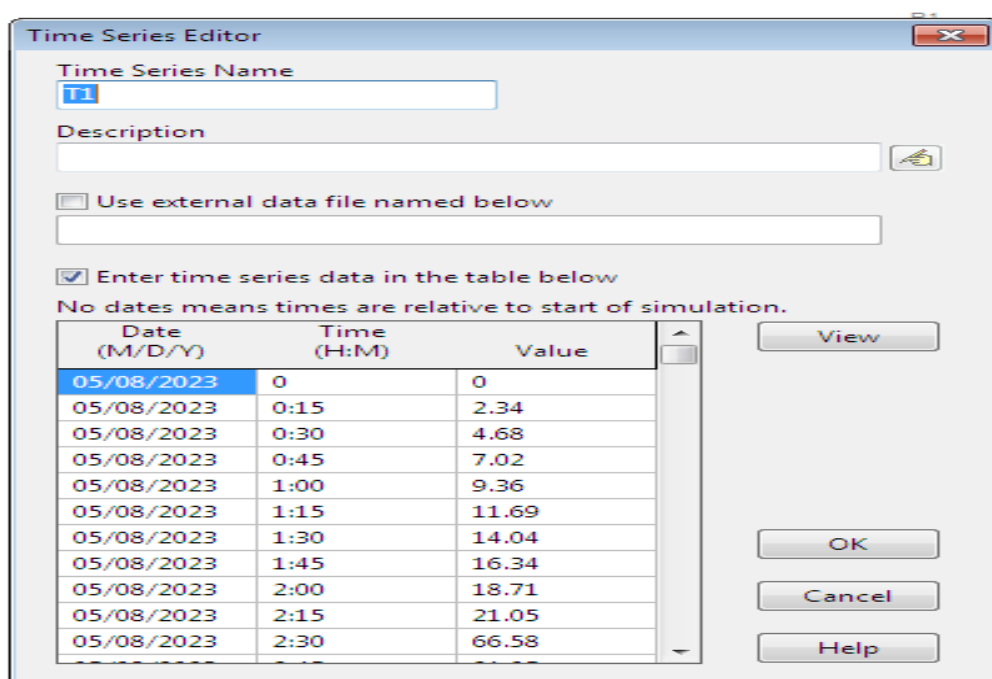


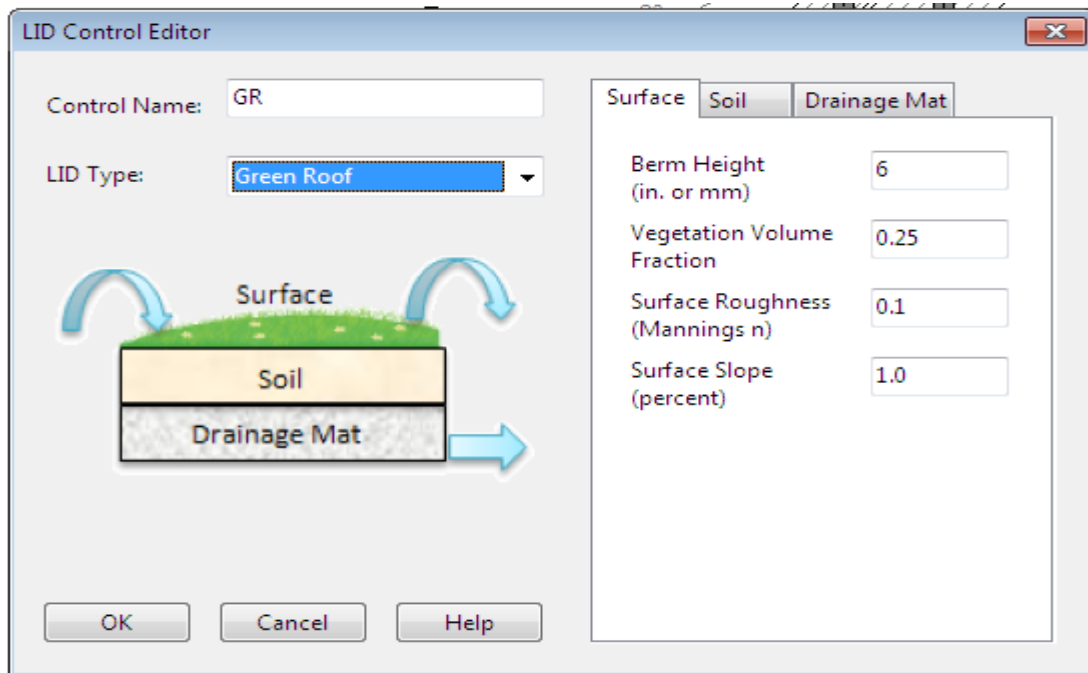
Figure IV.10 : Editeur de propriétés pour la pluie de projet (Time Séries)

### IV.3 Simulation avec LID contrôle :

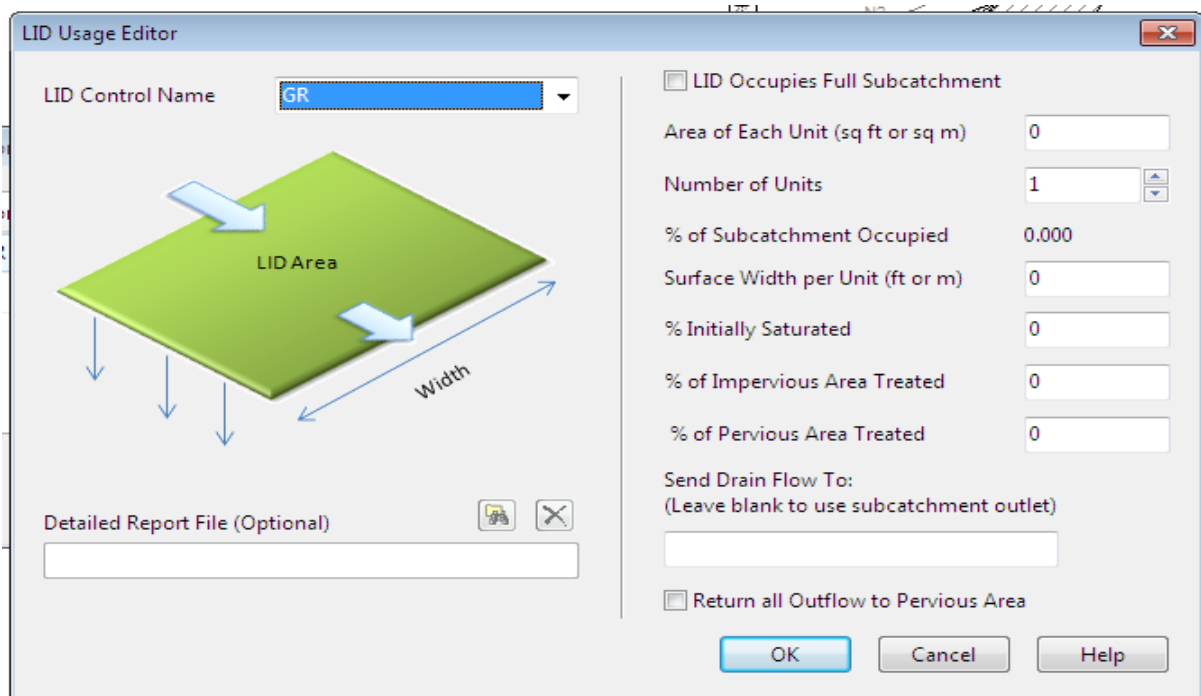
Les LID contrôle utilisée dans notre simulation est les toitures verts et les pavés perméable.

#### IV.3.1 Les toitures vertes

On ajoute les surfaces vertes (GR) dans chaque zone des bassins B, pour le faire il nous faut sélectionner les toitures végétalisé comme un type de LID. Cette étape de simulation est présentée dans les **figures (IV.11) et (IV.12)**.



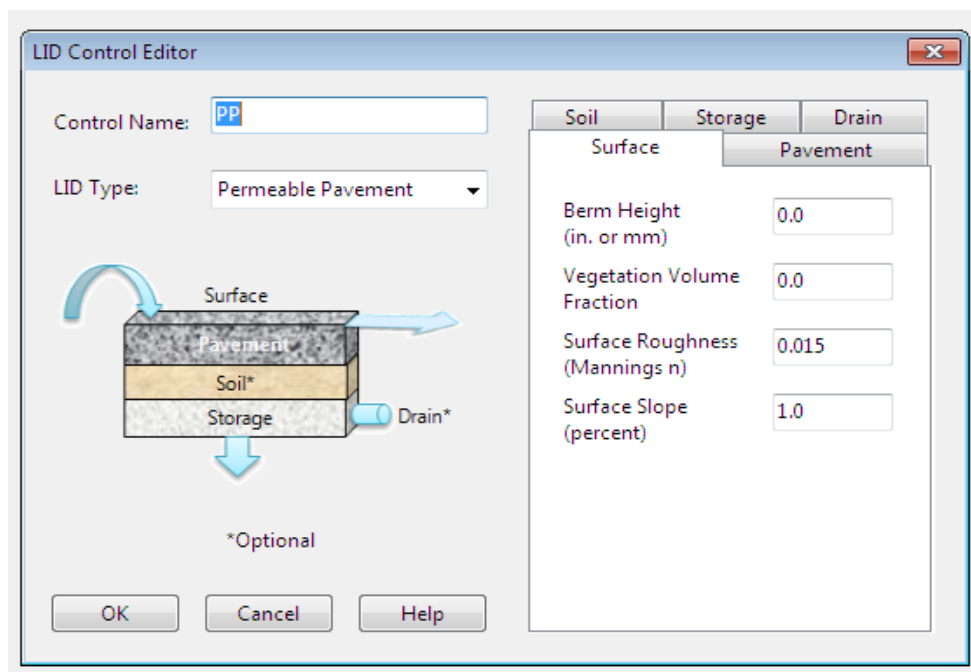
**Figure IV.11:** la sélection des toitures vertes et la modification des dimensions et l'épaisseur



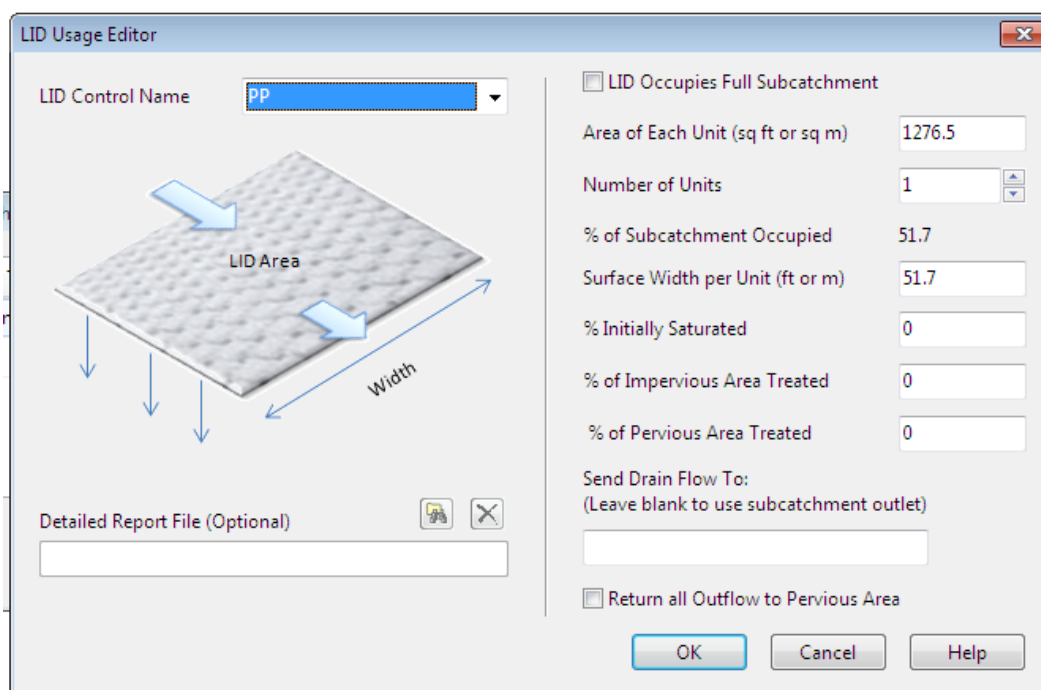
**Figure IV.12 :** la sélection des surfaces vertes dans le bassin

### IV.3.2 Les pavés perméables

On ajoute les surfaces en pavé perméable (PP) dans chaque zone des bassins B, pour le faire il nous faut sélectionner les pavés perméables comme un type de LID. Cette étape de simulation est présentée dans les **figures (IV.13) et (IV.14)**.



**Figure IV.13:** la sélection pavée imperméable



**Figure IV.14:** la sélection pavée imperméable dans le bassin

#### IV.4 Résultat et discussions :

##### IV.4.1 Le profil de vitesse :

La figure IV.15 montre le profil de vitesse avant l'implantation des LID contrôle. On remarque que la vitesse a dépassé 2 m/s dans le tronçon C3, C4, C5 et C9. Après l'application des toitures vertes et des pavés perméables, la vitesse est diminuée dans tous les conduites (voir la figure IV.16). La diminution de la vitesse est due par l'abaissement des débits du ruissellement entrant dans les conduites. Une partie des eaux pluviales est infiltrée dans le sol après l'utilisation des pavés perméables et absorbée par les toitures vertes

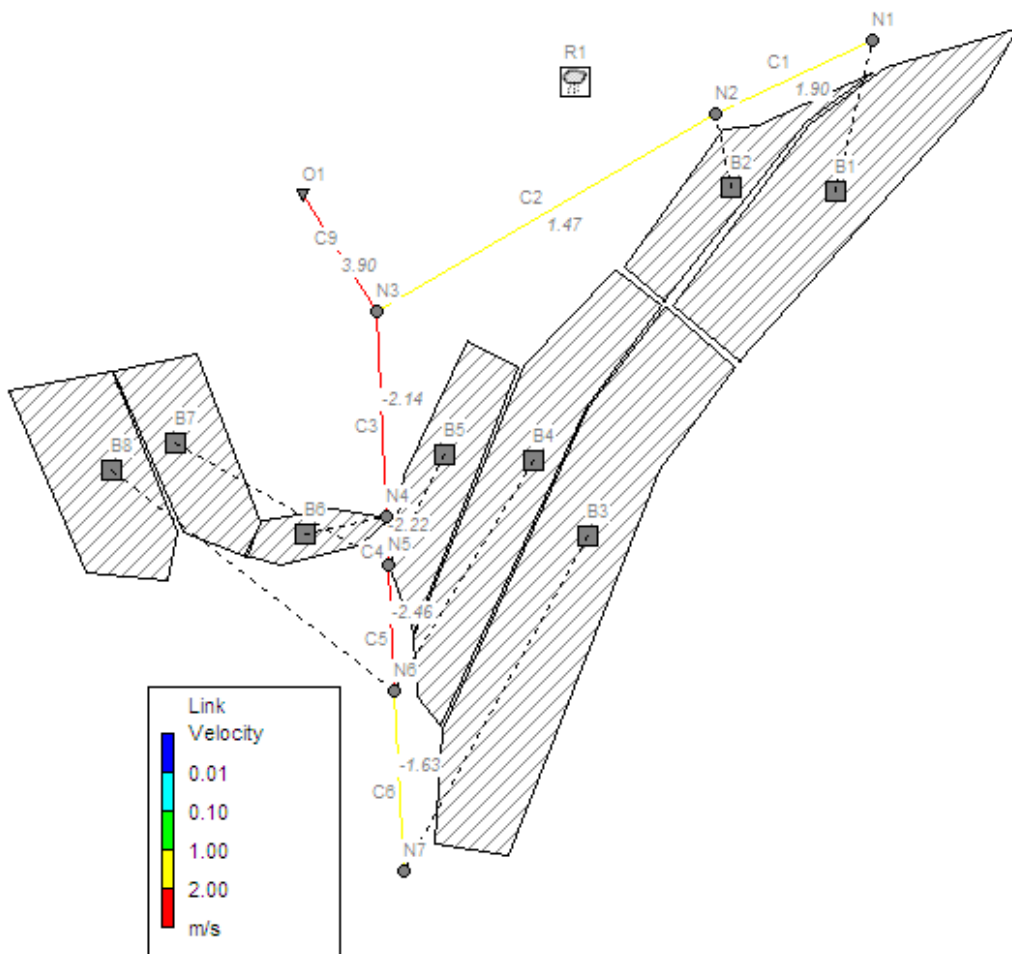
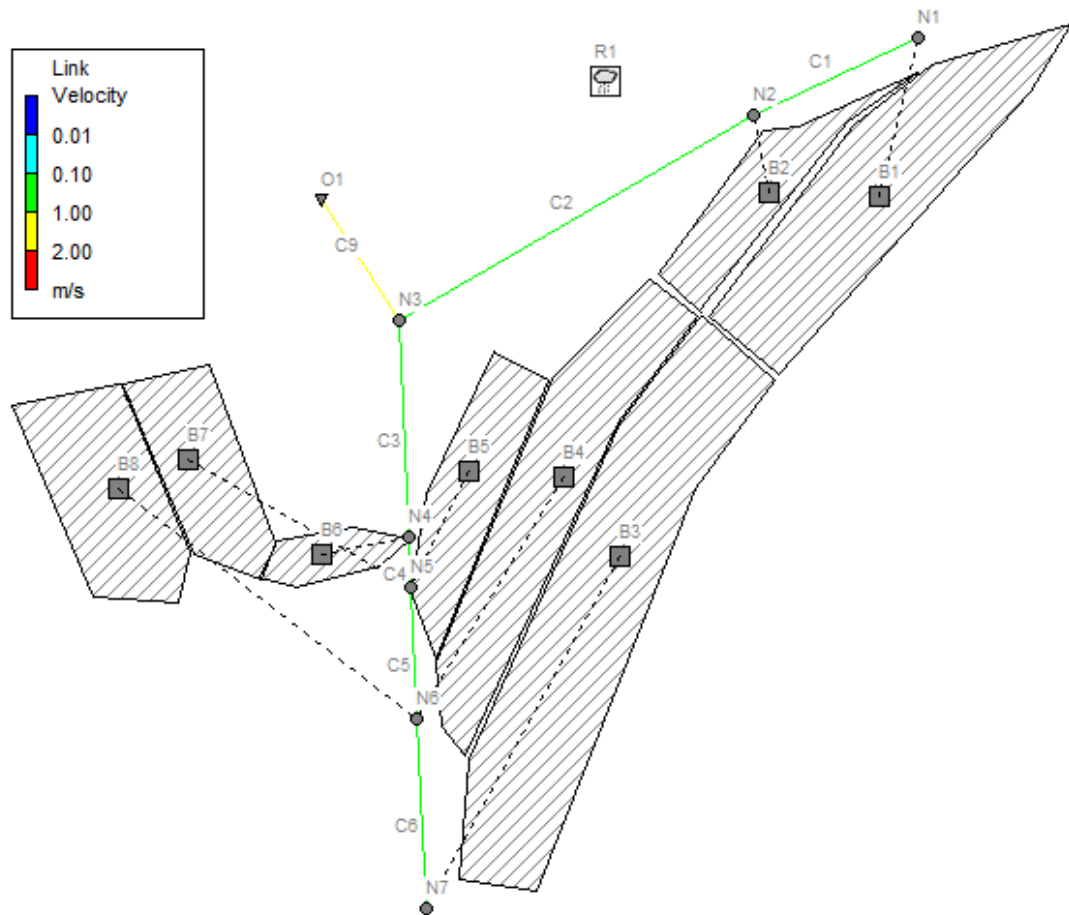


Figure IV.15: le profil de vitesse de la première simulation



**Figure IV.16:** le profil de vitesse après l'utilisation des toitures vertes et des pavés perméables

#### IV.4.2 Profil en long :

Le profil en long est utilisé pour déterminer la ligne d'eau tout long des conduites du système de drainage connecté, en indiquant le profil de la profondeur de l'eau en fonction de la distance.

Pour définir un tracé à l'aide de la boîte de dialogue :

1. Tout d'abord, saisissez l'identification (ID) du nœud en amont de la première conduite dans le champ d'édition du nœud de départ.
2. Ensuite, saisissez l'ID du nœud en aval de la dernière conduite du tracé dans le champ d'édition du nœud final.
3. Cliquez sur le bouton "Rechercher un tracé" afin que le programme puisse identifier automatiquement les conduites entre les nœuds de départ et d'arrivée. Ces conduites sont répertoriées dans la zone "Conduites" du profil.

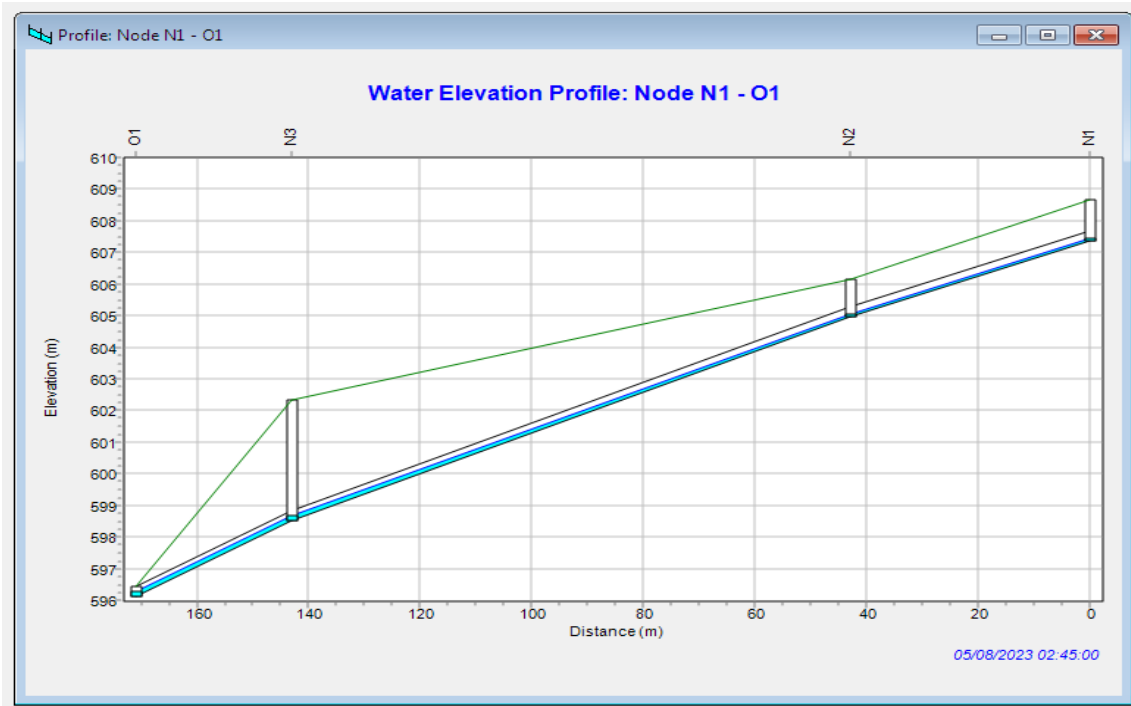


Figure IV.17: Profil en long [N1-O1] sans LID contrôle

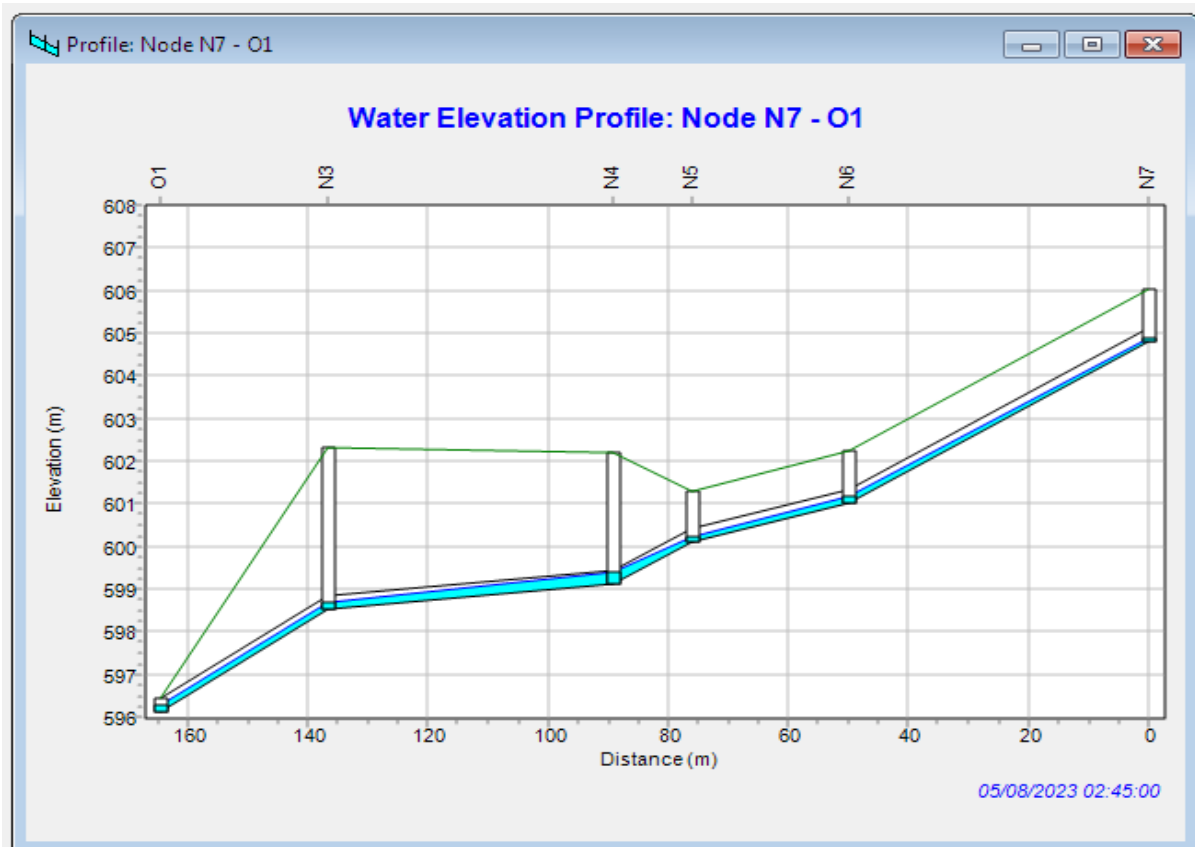
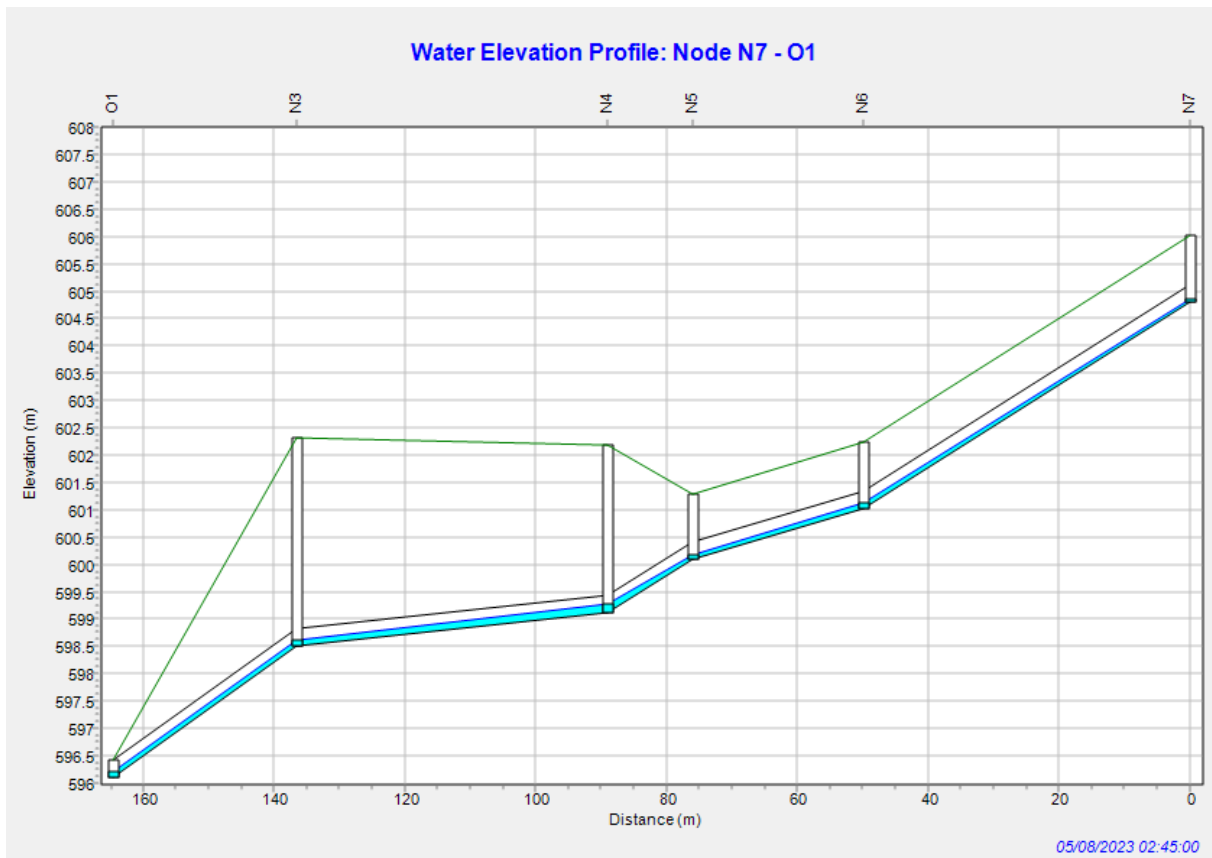


Figure IV.18 : Profil en long [N7-O1] sans LID contrôle

Cela permet de définir le chemin spécifique emprunté par les conduites du système de drainage et d'afficher le profil en long correspondant, montrant la variation de la profondeur de l'eau le long de ce chemin.

Les figures IV.16 et IV.17 montre le profil en long dans le réseau d'assainissement de la zone d'étude .D'après la figure IV.17, on remarque qu'il y a une surcharge dans les tronçons [N4-N5] et [N3-N4].

Pour une durée totale de pluie, la réponse hydraulique du réseau n'est pas parfaite. Le logiciel SWMM5 a fait ressortir certain nombre d'insuffisance de capacité, donc débordement provoqué par la surcharge des conduites. A terme de cette première simulation, il est claire qu'à ce stade notre réseau est mal dimensionné ; ce qui peut engendrer des dysfonctionnements et des inondations lors d'évènements pluvieux importants. Après l'utilisation des LID contrôle, on voit qu'il n'y a pas de surcharge sur les conduits donc les toitures vertes et les pavés perméables sont efficaces pour réduire les volumes des eaux pluviales (voir la figure IV .19).



**Figure IV.19:** profil en long [N7-O1] avec LID contrôle

#### IV.5 Résultat des débits et profondeur d'eau dans les conduits:

Les résultats obtenus par la modélisation de notre réseau d'assainissement par SWMM sont présentés dans les tableaux suivants :

**Tableau IV.2 :** Avant l'implantation des toitures vertes et le pavé perméable

Link	Type	Maximum [Flow] LPS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum [Velocity] m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
C1	CONDUIT	45.36	0	02:45	2.78	0.13	0.26
C2	CONDUIT	61.78	0	02:45	2.12	0.17	0.40
C3	CONDUIT	164.45	0	02:45	2.90	1.01	0.69
C4	CONDUIT	158.65	0	02:45	2.96	0.41	0.65
C5	CONDUIT	123.06	0	02:45	3.52	0.45	0.46
C6	CONDUIT	61.23	0	02:45	2.32	0.16	0.37
C7	CONDUIT	226.25	0	02:45	5.49	0.54	0.52

**Tableau IV.4 :** Après l'implantation des toitures vertes et l'emplacement du pavé perméable

Topic: Link Flow <span style="float: right;">Click a column header to sort the column.</span>							
Link	Type	Maximum [Flow] LPS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum [Velocity] m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
C1	CONDUIT	21.93	0	02:40	2.17	0.06	0.20
C2	CONDUIT	38.26	0	02:40	2.00	0.11	0.30
C3	CONDUIT	86.84	0	02:40	2.51	0.53	0.46
C4	CONDUIT	86.33	0	02:40	2.70	0.22	0.43
C5	CONDUIT	62.77	0	02:40	2.91	0.23	0.32
C6	CONDUIT	28.79	0	02:45	1.92	0.07	0.26
C9	CONDUIT	124.83	0	02:40	4.70	0.30	0.37

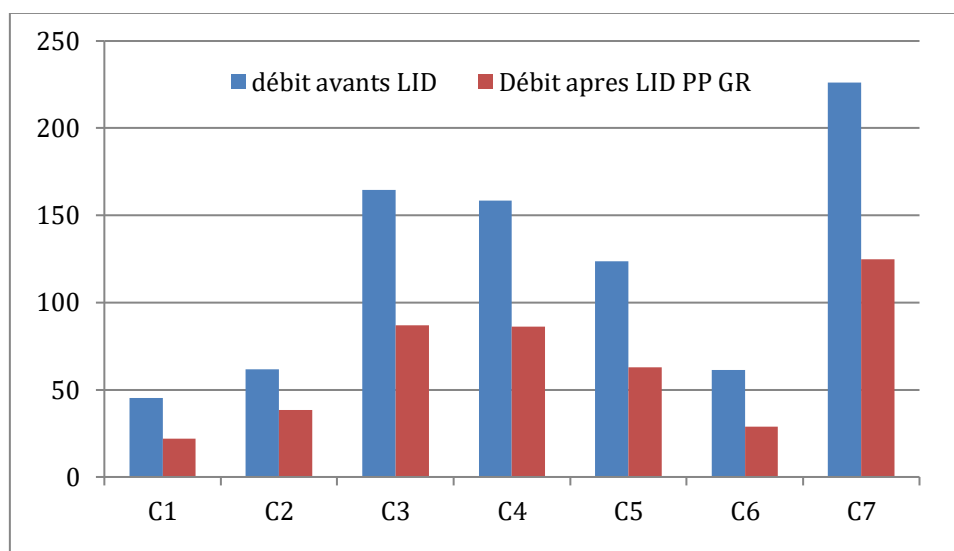
D'après les résultats présentes dans les tableaux IV.2 et IV.3 nous remarquons que les débits, les profondeurs et les vitesses sont diminués après l'utilisation des LID contrôle.

Pour mieux voir l'effet des toitures vertes et les pavés perméables, nous allons calculer le taux de diminution du débit avec l'équation suivante :

$$T = \frac{Q_{av} - Q_{ap}}{Q_{av}} * 100 \quad (IV.4)$$

**Tableau IV.4 :** le taux de diminution après l'emplacement de pavé perméable et les toitures vertes

Conduit	Qav (l/s)	Qap (l/s)	Taux (%)
C1	45,36	21,93	51,65343915
C2	61,78	38,26	38,070573
C3	164,45	86,84	47,19367589
C4	158,65	86,33	45,58462023
C5	123,6	62,77	49,21521036
C6	61,23	28,79	52,98056508
C7	226,25	124,83	44,82651934



**Figure IV.20 :** Histogramme des débits avant et après l'implantation des toitures vertes et les pavés perméables

Le tableau IV.4 et la figure IV.20 montrent que le taux de diminution est atteint jusqu'à 53% dans la conduite C6 ce qui prouve l'efficacité des LID contrôlés à la protection des villes contre les inondations.

#### IV.6 Résultat des débits de pointe du ruissellement dans les bassins (Peak Runoff) :

Les résultats obtenus par la modélisation de notre réseau d'assainissement par SWMM sont présentés dans les tableaux suivants :

**Tableau IV.5 :** Avant l'implantation des toitures vertes et le pavé perméable

Topic: Subcatchment Runoff <span style="float: right;">Click a column header to sort the column.</span>					
Subcatchment	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
B1	16.13	68.14	0.17	45.25	0.984
B2	16.16	68.17	0.06	16.33	0.984
B3	16.07	68.07	0.23	61.13	0.983
B4	16.10	68.11	0.14	37.02	0.983
B5	16.00	67.96	0.07	18.39	0.981
B7	16.12	68.14	0.06	17.11	0.984
B8	16.14	68.15	0.09	24.75	0.984
B6	16.25	68.23	0.02	5.77	0.985

**Tableau IV.6 :** Après l'implantation des toitures vertes et l'emplacement du pavé perméable

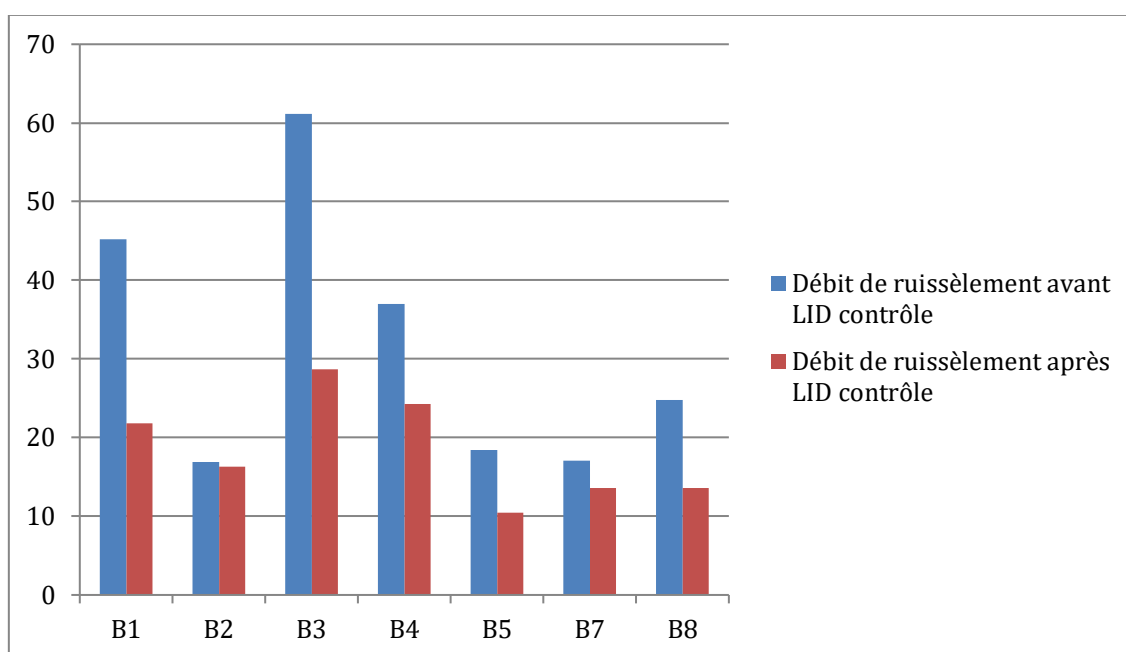
Topic: Subcatchment Runoff <span style="float: right;">Click a column header to sort the column.</span>					
Subcatchment	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
B1	0.00	28.77	0.07	21.82	0.415
B2	0.00	44.66	0.04	16.87	0.645
B3	0.00	28.14	0.09	28.67	0.406
B4	0.00	35.15	0.07	24.24	0.507
B5	0.00	23.37	0.02	10.42	0.337
B7	0.00	34.02	0.03	13.63	0.491
B8	0.00	23.50	0.03	13.61	0.339
B6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000

D'après les résultats présentes dans les tableaux IV.5 et IV.6 nous remarquons que les débits de ruissellement (Peak Runoff) sont diminués après l'utilisation des LID contrôle.

Nous allons calculer le taux de diminution du débit avec l'équation (IV.4) :

**Tableau IV.7 :** le taux de diminution du débit de pointe de ruissellement après l'emplacement de pavé perméable et les toitures vertes

Bassin	Qav (l/s)	Qap (l/s)	Taux (%)
B1	45,25	21,82	51,77900552
B2	16,87	16,33	3,200948429
B3	61,13	28,67	53,09995092
B4	37,02	24,24	34,52188006
B5	18,39	10,42	43,33877107
B7	17,11	13,63	20,33898305
B8	24,75	13,61	45,01010101



**Figure IV.21 :** Histogramme des débits de ruissèlement avant et après l'implantation des toitures vertes et les pavés perméables

Le tableau IV.7 et la figure IV.21 montrent que le taux de diminution débits de ruissèlement est atteint jusqu'à 52% dans le bassin B1 ce qui prouve aussi l'efficacité les LID contrôle à la protection les villes contre les inondations.

## CONCLUSION GENERALE

L'un des dangers auxquels l'Algérie est confrontée aujourd'hui est les inondations qui résultent de la multiplication des surfaces imperméables ainsi que de l'incapacité des réseaux d'égouts à évacuer les eaux de pluie.

L'objectif de cette étude est de quantifier l'effet des toitures vertes les briques perméable sur la diminution des eaux du ruissellement par le logiciel EPA SWMM 5.

SWMM est un logiciel de modélisation pluie-ruissellement. Il peut être utilisé pour modéliser la quantité et la qualité du ruissellement pour un événement ponctuel ou de longue durée.

Au cours de ce mémoire, nous avons étudié le fonctionnement du réseau d'assainissement de la localité Boudjlida qui se situe dans la commune de Chetwouane-wilaya de Tlemcen- avant et après l'implantation les toitures vertes et les pavés perméable.

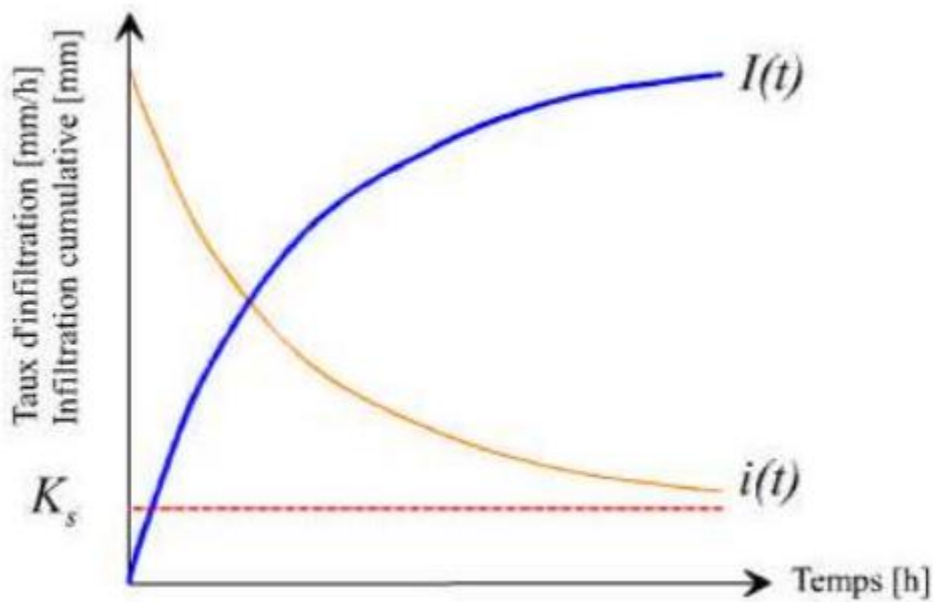
Nous avons trouvé que les débits, les profondeurs et les vitesses sont diminués après l'utilisation les toitures vertes et les pavés perméables. Avec ces LID contrôle, le taux de diminution est atteint jusqu'à 53% et il n'y a pas des surcharges dans les conduites.

Pour mieux gérer les eaux pluviales, cette étude peut être étendue à d'autre réseau d'assainissement en Algérie.

## ANNEXE

### 1) Modèle d'infiltration d'Horton

C'est un modèle empirique qui exprime la décroissance exponentielle, au cours d'une averse, de la capacité d'infiltration du sol  $i(t)$  depuis une valeur initiale  $i_{max}$  jusqu'à une valeur limite  $i_{min}$  qui exprime le potentiel d'infiltration à saturation



**Figure 1:** Évolution générale du régime d'infiltration et de l'infiltration cumulative au cours du temps ( $K_s$  = conductivité hydraulique à saturation [15])

$$i(t) = i_{min} + (i_{max} - i_{min})e^{-kt} \dots\dots\dots \text{II.10}$$

Où  $k$  est une constante de temps

$i_{max}$ : capacité d'infiltration maximale du sol : (**Max. Infil. Rate**)

$i_{min}$ : Capacité d'infiltration minimale du sol (mm/h).

A partir de la figure 1 on observe en effet que la capacité d'infiltration d'un sol diminue très rapidement au début de l'infiltration mais par la suite, la décroissance est plus progressive et

tend en règle générale vers un régime constant, proche de la valeur de la conductivité hydraulique à saturation :  $i_{min}=K_s$ [23]

Le **Tableau 1** représente la variation de l'infiltration en fonction du type de sol

**Tableau 1:** Evaluation des paramètres de Horton: [23]

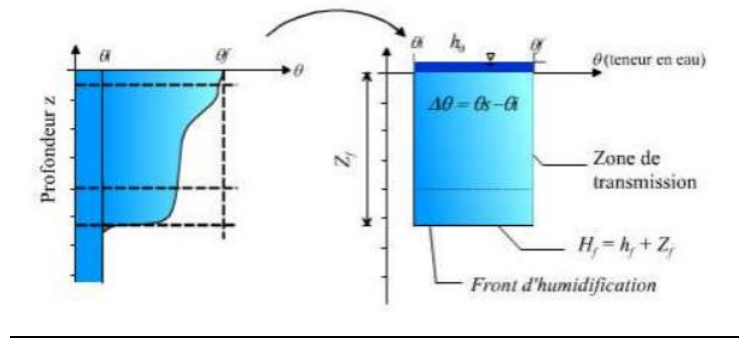
Type de sol	$i_{max}$ : (Max. Infil. Rate)
A) Sol SEC avec peu ou pas de végétation	
Sableux	125 mm/h
Limoneux	75 mm/h
Argileux	25 mm/h
B) Sol SEC avec végétation dense	Multiplier par 2 les valeurs de A)
C) Sol HUMIDE	
Drainé (A la capacité au champ)	Diviser par 3 les valeurs de A) ou B)
Proche de la saturation	Choisir une valeur proche de $i_{min}$
Partiellement drainé	Diviser par 3 les valeurs de A) ou B)

## 2) Modèle d'infiltration de Green Ampt:

Il s'agit d'un modèle décrit d'une manière simplifiée le mouvement de l'eau dans le sol, en fonction de certains paramètres physiques du sol :

Le processus d'infiltration de l'eau dans le sol est le suivant : la pluie qui arrive sur le sol y pénètre régulièrement selon un front d'humidification qui progresse en profondeur sous l'effet des forces de gravité et de succion.

Le modèle de Green Ampt, représente ce processus de manière simplifiée selon le schéma suivant (Figure 2). [23]



**Figure 2:** schéma du modèle d'infiltration de Green Ampt [23]

Paramètres du modèle :

**zf:** hauteur d'eau infiltrée depuis le début de l'alimentation (mm)

**hf :** potentiel de succion au niveau du front d'humidification (mm) ( $h_f < 0$ )

**h0 :** hauteur d'eau au niveau de la surface du sol (mm)

**qi:** teneur en eau initiale du sol (en %)

**qf :** teneur en eau finale du sol (à saturation) (en %)

**Ks:** conductivité hydraulique du sol saturé (mm/h)

**Hf :** charge hydraulique (potentiel total) au niveau du front d'humidification (mm)

**Remarque:**

Nous avons utilisé le modèle de Green Ampt car c'est une méthode Il s'agit d'un modèle décrit d'une manière simplifiée le mouvement de l'eau dans le sol, en fonction de certains paramètres physiques du sol Le processus d'infiltration de l'eau dans le sol est le suivant :

La pluie qui arrive sur le sol y pénètre régulièrement selon un front d'humidification qui progresse en profondeur sous l'effet des forces de gravite et de succion.

Le modèle de Green-Ampt, représente ce processus de manière simplifiée le tableau suivant [23]

**Tableau 2** : paramètres de Green Ampt [15]

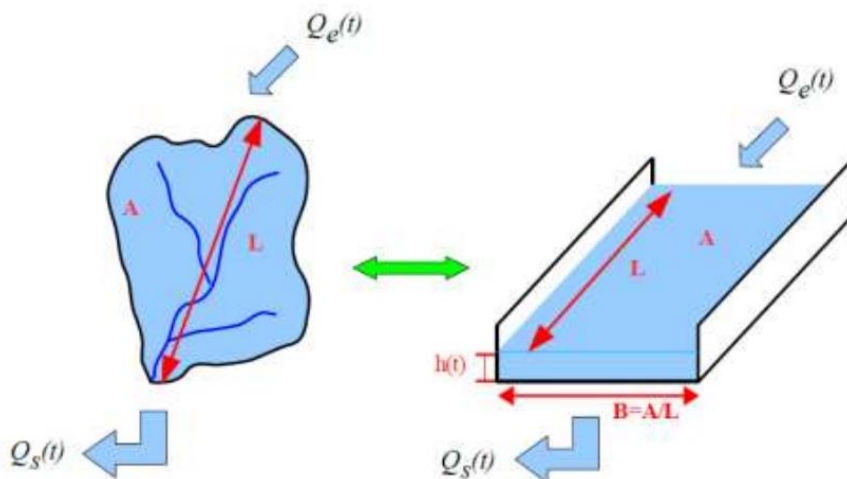
Texture du sol	$K_s$ : conductivité hydraulique du sol saturé (mm/h)	$h_r$ : potentiel de succion (mm)	$\theta_r$ : teneur en eau à saturation (en %)	Capacité de rétention (%) (capacité au champ)
Sable	120.4	49	44	0.06
Sable limoneux	30.0	61	44	11
Limon Sableux	10.9	110	45	19
Limon	3.3	89	46	23
Limon fin	6.6	170	5	28
Limon Argilo-Sableux	1.5	220	4	24
Limon Argileux	1.0	210	46	31
Limon fin Argileux	1.02	270	47	34
Argile sableuse	0.51	240	43	32
Argile limoneuse	0.51	290	48	37
Argile	0.25	320	48	38

### 3) Modèles hydrauliques:

Parmi les modèles hydrauliques on peut citer :

✓ **Modèle de ruissellement de l'onde cinématique:**

Il s'agit d'un modèle conceptuel qui représente le bassin versant comme un canal rectangulaire à surface libre.



**Figure 3** : Schéma du modèle de ruissellement de l'onde cinématique [23]

Le débit entrant  $Q_e(t)$  correspond à l'excès de précipitations (précipitations – infiltration – évaporation – interception par la végétation ou les dépressions à la surface du BV).

Le débit sortant  $Q_s(t)$  est calculé à chaque pas de temps grâce à la formule de Manning-Strickler équation II.10 à partir des caractéristiques du canal (largeur et rugosité) et de la hauteur  $h(t)$  de la lame d'eau qui ruisselle dans le canal :

$$Q_s(t) = S_H(t) * R_H(t)^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i} \dots \dots \dots (1)$$

Avec

$$S_H(t) = B * h(t)$$

$$R_H(t) = \frac{B * h(t)}{B * 2h(t)} \cong h(t) \text{ Car } h(t) \ll B$$

Enfin une équation de conservation du volume (ou loi de stockage) relie à chaque pas de temps, la Hauteur de la lame d'eau qui ruisselle  $h(t)$ , aux débits entrants  $Q_e(t)$  et sortants  $Q_s(t)$  :

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t) \text{ ou } V(t) \text{ est le volume d'eau dans le canal soit}$$

$$V(t) = A * h(t)$$

Ce modèle fait partie des modèles réservoirs non linéaires

- ***Coefficients de rugosité de Manning-Strickler pour le modèle de Ruissellement :***

Les coefficients de rugosité de Manning-Strickler sont déterminés à partir du tableau suivant [15]

**Tableau 3:** coefficient de rugosité de Manning-Strickler [23]

Surface	N
Asphalte lisse	0.01
Béton lisse	0.012
Béton ordinaire	0.013
Bois en bon état	0.014
Brique avec mortier de ciment	0.014
Grès, terre cuite vitrifiée	0.015

Fonte	0.015
Conduites en métal ondulé	0.024
Enduit de ciment	0.024
Sols non cultivés, jachère (sans résidus de culture)	0.05
Sols cultivés	0.06
Résidus de culture < 20%	0.06
Résidus de culture > 20%	0.17
Prairie (naturelle)	0.013
Herbe	
Rase, prairie	0.15
Dense, touffue	0.24
Gazon	0.41
Forêt	
Avec sous bois peu dense	0.40
Avec sous bois dense	0.80

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Maksimovic.C,Tejada-Guibert.J.A, 2001, «Les nouvelles frontières de la gestion urbaine de l'eau». Edition: Roche Pierre-Alain, Paris
- [2] Ndiaye.O et Sarr.AG, 2007, «Etude du plan directeur d'assainissement de Touba». Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception. Département génie civil. Université Cheikh ANTA DIOP de Dakar. Sénégal
- [3] Dr MOKADEM Maamar, Assainissement Urbain et initiation au logiciel, Université des sciences de la technologie d'Oran, faculté d'architecture et de génie civil, département d'hydraulique
- [4] «égout unitaire » [archive], sur [gdt.oqlf.gouv.qc.ca](http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca) (consulté le 16 mars 2023)
- [5] <https://www.rapport-gratuit.com/simulation-dun-reseau-deau-pluviale-a-l'aide-du-logiciel-swmm-storm-water-mangement-model/>visité le (13/3/2023).
- [6] Brahmi M et Zilal M. 2018,« Dimensionnement et simulation d'un réseau d'assainissement à l'aide de logiciel SWMM (Storm Water Management Model) : Cas delocalité de SOUAFLIA wilaya de Mostaganem ».projet de fin d'études pour l'obtention de master en hydraulique urbaine, Département hydraulique- Université de Tlemcen.
- [7] Lilian.Berterreche et Renaud Champredonde (2008). «Etude de la génération de crues rapides par la confrontation de deux logiciels». Rapport de stage INP, France .
- [8] BOUHANT. CHOUAIB., 2012 .« Diagnostic du Réseau d'Assainissement de La ville AHMEDRACHDI, Wilaya de MilaviaSWMM »,Mémoire de fin d'étude pour L'obtention du Titre d'Ingénieur d'État en Hydraulique école nationale polytechnique
- [9] <https://www.usherbrooke.ca/cufc/pour-votre-perfectionnement/offre-detail/offredetail/203/modelisation-a-laide-du-logiciel-d-hydraulique-swmm>.
- [10] MARC S et BECHIR S., 1999 « Guide technique d'assainissement », (deuxième édition ». Edition le Moniteur. Paris,
- [11] JEAN. CLAUDE., 2002 : Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations. ENPC. Ecole nationale de ponts et chaussées. CERREVE. Centre d'enseignement et de recherche eau ville environnement. France), p6-18
- [12] LAAZIZA. LAMRAOUI., 2009 , « Modélisation du réseau d'assainissement unitaire : cas de la ville de boujaad ».Mastère spécialisé en management et ingénieries des services d'eau

d'assainissement et déchet (misead) ,école nationale de génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg .p3.

- [13] Tourabi. R., 2015 . « Etude d'un réseau d'assainissement de l'UC 08 flanc nord Chetouane » ; Mémoire de fin d'étude de pour l'obtention un diplôme en master option traitement et technologie des eaux-Département de l'hydraulique- Faculté de technologie- Université de Tlemcen
- [14] H.P.O, (2015) : «Etude d'un système épuratoire du groupement urbain de Tlemcen».
- [15] A.N.R.H. TLEMCCEN : «Agence nationale des ressources hydrauliques».
- [16] source ANAT, 2005
- [17] CTH Tlemcen
- [18] C. Abelbaki, L. Harbouche et F. Hadj Attou,2004 « Application des Systèmes d'Information Géographique dans l'Evaluation de la Qualité Eaux Souterraines – Cas du Moyen Chellif », Colloque Euro-Méditerranéen sur les Espaces Montagnards, Tlemcen, Algérie
- [19] Lehner, P. H., G. P. Aponte Clarke, D. M. Cameron et A. G. Frank. 1999. “Stormwater Strategies: Community responses to runoff pollution”. Natural Resources Defense Council.
- [20] Wood-Ballard, B., R. Kellagher, P. Martin, C. Jefferies, R. Bray et P. Shaffer. 2007. «The SUDS manual». London: CIRIA.ISBN 978-0-86017-697-8
- [21] <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>. (Consulté le 23/03/2023)
- [22] Google Earth
- [23]Fandi. H,Benazza.F 2017 ,« Simulation d'un réseau d'eau pluviale à l'aide du logiciel SWMM » .projet de fin d'études pour l'obtention de master en hydraulique option hydro-informatique, Département hydraulique- Université de Tlemcen.