

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**

Spécialité : HYDRAULIQUE

Option : OUVRAGE HYDRAULIQUE

Par : ABDESSELAM IBRAHIM ET AMIRI ADEL

Sujet

**Etude l'effet des toits verts sur l'assainissement des eaux pluviales par EPA
SWMM 5**

Soutenu publiquement, le 09 / 11 / 2021, devant le jury composé de :

MmeBELARBI Fadila

Président du jury

Mme LALLAM Faiza

Examinatrice

Mr BENTALHA Chakib

Encadreur

DEDICACE

Pour m'avoir permis d'accéder au savoir et d'être ce que je suis devenue aujourd'hui, je voudrais remercier DIEU le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force, la patience et la persévérance pour accomplir ce modeste travail.

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère, ma confidente mesamies.et mon cher père

A toute la famille ABDESSELAM, et la famille AMERI.

A tous mes amis avec lesquels j'ai partagé des moments de joie et de bonheur,

À tous ceux qui ont été à mes côtés jusqu'à aujourd'hui.

A tous les honorables enseignants qui ont contribué à ma formation.

Enfin, toute personne m'ayant aidé de près ou de loin dans ce travail.

REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu mon dieu qui m'a donné le courage et la volonté .

*Je tiens à adresser mes sincères remerciements et grand respect à mon
encadreur Monsieur BENTALHA Chakib et le chef de
département d'hydraulique Monsieur BOUCHELKIA Hamid*

*Je remercie tous mes collègues et amies qui m'ont soutenue et m'ont encouragé
pour accomplir ce travail.*

*Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon
travail et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.*

*Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'université d'ABOU
BEKR BELKAID*

Mes parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Nous remercions également :

*M r Mohammed nahad ingénieur en hydraulique au niveau de DRE : A
NEDROMA Tlemcen ;*

Les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail .

ملخص:

نحن نعلم جيدا أن العالم يشهد العديد من الفيضانات ، وخاصة في المدن ، بسبب إهمال شبكة الصرف الصحي . ولكن مع وجود وكالة حماية البيئة SWMM أصبح من الأسهل التحكم في تدفق مياه الأمطار بوظيفة مراقبة المياه الجوفية. واتخذنا أيضا نموذجا لمنطقة H'RAIK . حيث أضفنا السقف الأخضر ولاحظنا الفرق. كما تحدثنا قليلا عن المياه المستعملة بشكل عام ، ونحن نقدم منطقة الحريق من جميع الجوانب ، ومن الجانب الآخر نقوم بمحاكاة هيدروليكية لشبكة المجاري مع البنية التحتية LID.

Résumé

Nous savons très bien que le monde connaît de nombreuses inondations, notamment dans les villes, à cause de la négligence du réseau d'égouts, mais avec la présence de EPA SWMM Il est devenu plus facile de contrôler le débit d'eau de pluie avec une fonction LID CONTROL. Nous avons également pris un modèle pour la région d'Al-H'RAIK. Où nous avons ajouté le toit vert et remarqué la différence.

Nous avons également parlé un peu des eaux usées en général, , comme nous présentons la zone des incendies de tous côtés et de l'autre on à fait lasimulation hydraulique du réseau d'assainissement avec les infrastructures LID .

Abstract

We know very well that the world experiences a lot of flooding, especially in cities, due to neglect of the sewage system, but with the presence of EPA SWMM It has become easier to control the flow of rainwater with a LID CONTROL function We also took a model for the Al-Harayek region. Where we added the green roof and noticed the difference.

We also talked a bit about wastewater in general, and we were familiar with the SWMM program, as we present in the fire zone on all sides and on the other we did hydraulic simulation of the sanitation network with LID infringements.

Les mots clés : EPA SWWM, LES INFRACTEUR LID, ASSAINISSEMANT

LISTE DES FIGURES

Figure II.1 Schéma de la fondation granulaire du pavé perméable Inflo.....	20
Figure II.2: Fenêtres principales du logiciel SWMM.....	22
Figure II.3: Objets physiques utilisés pour.....	23
Figure II.4: un ponceau.....	30
Figure II.5: Différents type de courbes de pompe qui sont pris en charge.....	32
Figure II.6: Évolution générale du régime d'infiltration et de l'infiltration cumulative au cours.....	33
Figure II.7: schéma du modèle d'infiltration de Green Ampt	36
Figure II.8: Schéma du modèle de ruissellement de l'onde cinématique	38
Figure IV.1 : la zone d'étude el haïk	47
Figure IV.2 : Boite de Dialogue Valeurs par Défaut du Projet.....	48
Figure IV.3 : Boite de Dialogue options du Schéma.....	48
Figure IV.4 : montrant la direction sur les conduits	49
Figure IV.5 : après le dessin final	49
Figure IV.6 : écriture des données des profondeurs sur les nœuds.....	50
Figure IV.7 : écriture des données des conduits.....	50
Figure IV.8 : écriture des données des sous bassins versants.....	51
Figure IV.9 : la saisie des données de station pluviométrique.....	51
Figure IV.10: Photo montrant le choix du toit vert.	52
Figure IV.11 : modification des dimensions et l'épaisseur des espaces verts.....	52
Figure IV.12: Une photo montrant l'ajout de la surface verte dans les bassins.....	53
Figure IV.13: Une photo montrant la sélection de toute de la surface verte dans les bassins.....	53
Figure IV.14 : Profile en long nœud [N6-O1] de la première simulation.....	54
Figure IV.15 : Profile en long nœud [N1-O1] de la première simulation.....	55

LISTE DES FIGURES

Figure IV.16 : Profile en long nœud [N6-O1] de la simulation avec LID control.....	56
Figure IV.17 : Profile en long nœud [N1-O1] de la simulation avec LID control.....	56
Figure IV.18 : Hydrogrammes du débit dans la conduite C8 sans LID control	57
Figure IV.19 : Hydrogrammes du débit dans la conduite C8 avec LID control	57
Figure IV.20: la profondeur dans la conduite C11 sans LID control	58
Figure IV.21: la profondeur dans la conduite C11 avec LID control	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : les avantages et les inconvénients des systèmes d'évacuation	4
Tableau I.2 : Coefficient de ruissellement selon le type de surface.....	11
Tableau I.4: Coefficients de ruissellement en fonction de la catégorie d'urbanisation	12
Tableau I.3 : Coefficient de ruissellement en fonction de la densité de population	12
Tableau II.1: Formes de sections transversales disponibles pour conduits.....	29
Tableau II2: Evaluation des paramètres de Horton.....	58
Tableau II 3 : paramètres de Green Ampt.....	60
Tableau II4: coefficient de rugosité de Manning-Strickler	62
Tableau III.1 : la moyenne du nombre des jours d'orages par mois	39
Tableau III.2 : la population future Pn	40

SIGNES ET ABREVIATION

LID : Low impact développement

V : Vitesse d'écoulement de l'eau (m/s)

H : Hauteur de remplissage dans la conduite (m)

Qps : Débit de pleine section (m³ /s)

Vps : Vitesse à pleine section (m/s)

Dnor : Diamètre normalisé de la conduite

K : coefficient de Manning

I : la pente

P : puissance totale consommée [Wh]

ρ : masse volumique [kg/m³]

ANRH : agence national desressources en eau

PPAB : pavés autobloquants de béton

C T N : cote des terrains naturel en (m)

Cr : coefficient de ruissellement

EPA SWMM: Environmental Protection Agency Storm Water Management Model

m : mètre unité de longueur

m/s : mètre par seconde unité de vitesse

m³/s : mètre cube par seconde unité de débit

Q : le débit généralement en (m³/s)

Q_{eu} : débit des eaux usées (m³/s)

Q_{sp} : débit spécifique (l/s.ml)

Q_(p eu) : Débit de pointe des eaux usées en (m³/s)

Q_{eu (équi)} : Débit moyen rejeté quotidiennement des équipements en (m³/j)

Q_{eu d} : rejet domestiques journalier (m³/j)

SIGNES ET ABREVIATION

Qps : débit à pleine section (m³/s)

Vc : vitesse d'auto curage en (m/s)

Vps : vitesse à pleine section (m/s)

Vr : vitesse réelle en (m/s)

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
Chapitre I : Généralité sur l’assainissement	
I.1. Nature des eaux à collecter	3
I.2. Systèmes d’évacuation	3
I.2.1. Avantages et inconvénients des systèmes d’évacuation	4
I.3.Choix du système d’évacuation	5
I.4. Tracé du réseau	5
I.5. Eaux usées	5
I.5.1 Eaux usées d’origine domestique	5
I.5.2 Nombre de la population.....	5
I.5.3 Les eaux usées des équipements	6
I.5.4 Débit de pointe des eaux usées.....	6
I.6. Eaux pluviales	7
I.6.1. Méthode superficielle	7
I.6.2. Méthode rationnelle	8
I.7.L’effet de l’imperméabilisation sur les inondations.....	13
I-7-1 Effet sur les quantités.....	13
I-7-2 Effet sur la qualité.....	14
I-8Gestion urbaine de l’eau.....	14
I-9. L’Élément Hydrologique Urbain (EHU).....	15
I-10.Choix du logiciel.....	15
I-11 Présentation de l’approche LID.....	16
Chapitre II : Présentation du logiciel SWMM	
II.1. Description du logiciel SWMM	18
II-1-1 Pavage perméable et autres surfaces infiltrantes.....	19
II-1-2 Jardin de pluie ou bio rétention.....	20
II-1-3 Toit vert	20
II-1-4 Baril de pluie.....	21

TABLE DES MATIERES

II-1-5 Végétaux	21
II.2.Fenêtre principale du SWMM.....	21
II.3. Objets visuels (Visual Objects)	23
II.3.1.Générateurs de pluie (Rain Gages)	23
II.3.2. Sous-bassins(Subcatchments)	24
II.3.3.Nœuds de jonction: (Junction Nodes)	25
II.3.4.Nœuds de sortie: (OutfallNodes)	26
II.3.5.Nœuds de diviseur de flux: (Flow DividerNodes)	26
II.3.6.Unités de stockage: (Storage Units)	27
II.3.7.Conduits.....	27
II.3.8.Pompes: (Pumps)	30
II.3.9Régulateurs de débit: (Flow Regulators)	32
II.3.10.Étiquettes de carte: (Map Labels)	32
II.4.Objets non visuel: (Non-Visual Objects)	32
II.5.Capacité de SWMM.....	33
II.6. Modélisation dans SWMM.....	33
II.7. Différents modèles de calcul par logiciel SWMM	34
II.7. 1 Modèle d'infiltration d'Horton.....	34
II.7. 2 Modèle d'infiltration de Green Ampt.....	36
II.8.Modèles hydrauliques.....	38
II.9. Le régime uniforme.....	39
II.10. Avantages du logiciel	40

Chapitre III : présentation de la zone d étude

III .1 .Situation géographique.....	41
III .1.2.Caractéristiques hydrographiques.....	41
III .1.3.Géologie de la région.....	41

TABLE DES MATIERES

III .1.4.L'unité de djebala et Souahlia	42
III .1.5.Le jurassique supérieur	42
III .1.6.Le Crétacé inférieur	43
III .2.Caractéristiques climatiques	43
III .2.1.Carecteristiquepluviométriques.....	43
III .2 .2.Précipitations annuelles	44
III .2.3.Précipitationsmensuelles	44
III .2.4.Pluiés maximales journalières	44
III .2.5.Températures	44
III .2.6.Vents	44
III .3.Etudetopographiques de la zone d'étude	45
III .4.Evolution de la population	45
III .4.1.Les orages	45
III .4.2.Population future	45
III .4.2.1.Calcul de la population future Pn	46
III .4.2.2.Les besoins en eau potable	46

CHAPITR IV : Simulation hydraulique duréseaud'assainissement avec les infracteurs LID

IV.1. Introduction.....	47
IV.2. Simulation hydraulique de réseau sans les infracteur LID	47
IV.2.1 La conduite (Links)	50
IV.2.2 Le Bassin Versant ou sous bassin versant (Subcachment)	51
IV.4. 3. Profondeur d'eau dans les conduites.....	51
IV .3.Simulation de réseau avec LID control.....	52

TABLE DES MATIERES

IV.4 Résultats et discussion.....	53
IV .4.1.Le profil en long	54
IV.4.2. Débit sur les conduites	57
IV.2.3 Les données pluviométriques (Rain gage)	58
CONCLUSION GENERAL.....	60

INTRODUCTION

Les questions de gestion de l'eau en milieu urbain sont au centre de notre attention. en effet, l'urbanisation a eu un impact majeur sur la gestion des ressources en eau pluie. La proportion de surface imperméable en milieu urbain est particulièrement importante par rapport à l'environnement naturel. Le toit de l'immeuble, rues et trottoirs, tout en béton, asphalte ou La route goudronnée limite la pénétration de l'eau dans le sol. Le cycle de l'eau est alors perturbé. Toutes les eaux de ruissellement sont dirigées vers le réseau de drainage urbain, causant des inondations.

Une gestion des eaux de ruissellement avec les infrastructures LID sont perçues comme un moyen d'adaptation à ces nouvelles conditions.

Cette approche offre une alternative intéressante à l'utilisation des réseaux de drainage urbain traditionnel. Il contient des mesures de contrôle à la source relativement étendues. Leur utilisation réduira la quantité d'eau livrée au réseau de drainage urbain et réduira le débit de pointe et quantité de polluants transportés avec les eaux de ruissellement. Ces mesures comprennent des zones de rétention biologique, Bandes filtrantes, fossés de végétation, collecteurs d'eau de pluie, et autres marais filtrants. Ils comprennent également le développement de toits verts, et forcer la construction de forêts urbaines.

L'objectif de cette étude est de quantifier les effets des aménagements Low Impact Développement (LID) sur les eaux de ruissellement en milieu urbain par logiciel EPA SWMM..

Chapitre I :

Généralité sur l'assainissement

L'eau est un élément essentiel pour tous les êtres vivants sur terre, mais peut devenir nuisible (nocif) et dangereux après son utilisation.

L'assainissement est donc une technique qui permet la protection contre ce danger public et naturel [1].

I.1. Nature des eaux à collecter :

- Eaux de ruissellement : Les eaux de ruissellement comprennent les eaux de la pluie, les eaux de lavage et les eaux de drainage. La pollution des eaux de ruissellement est variable dans le temps, plus forte au début d'une précipitation qui à la fin par suite de nettoyage des aires balayées par l'eau.
- Eaux usées, d'origine domestique: Les eaux ménagères (eaux de cuisine, de lessive, de toilette, ...), Les eaux vannes (en provenance des WC, matières fécales et urines).
- Eaux industrielles : Les eaux industrielles sont celles en provenance des diverses usines de fabrication ou de transformation.[1].

I.2. Systèmes d'évacuation :

En assainissement il existe trois types de systèmes d'évacuation, les plus utilisés sont :

- ✓ Système unitaire : il consiste à évacuer l'ensemble des eaux usées et pluviales dans une seule canalisation
- ✓ Système séparatif : consiste à évacuer les eaux usées dans une canalisation et les eaux pluviales dans une autre
- ✓ Système pseudo séparatif : c'est un système séparatif particulier dans lequel il est admis que le réseau d'évacuation des eaux usées peut recevoir certaines eaux pluviales (toitures, cours) en provenance des propriétés riveraines. Le réseau d'eaux pluviales reçoit seulement les eaux qui ruissellent sur les chaussées et trottoirs. Alors il a même caractéristique que le système séparatif [1].

I.2.1. Avantages et inconvénients des systèmes d'évacuation :

Le tableau I.1 montre les avantages et les inconvénients des systèmes d'évacuation :

Tableau I.1 : les avantages et les inconvénients des systèmes d'évacuation [1].

Les systèmes :	Avantages	Inconvénients
Unitaire	<ul style="list-style-type: none">-Seule canalisation-Moins cher-Pas d'erreur de branchement	<ul style="list-style-type: none">-Auto curage n'est pas assuré.-Traitement des eaux usées est très difficile.
Séparatif	<ul style="list-style-type: none">-Auto curage est assuré.-Facilité de traitement des eaux usées.-Rejet possible des eaux de Ruissellement dans divers exutoires.	<ul style="list-style-type: none">-Erreur de branchement.-Réseau coûteux
Pseudo-séparatif	<ul style="list-style-type: none">-Eaux usées et eaux de ruissellement des habitations combinées-pas de risques d'erreurs de branchement	<ul style="list-style-type: none">-investissement important pour mise en place de deux réseaux

I.3.Choix du système d'évacuation :

Le choix du système d'évacuation se fait selon les critères suivants :

- Le type du système s'il existe ;
- Moyens d'investissements disponibles ;
- La manière de traitement des eaux usées ; [1]

I.4. Tracé du réseau :

Pour le dimensionnement d'un réseau d'assainissement il faut tracer selon la carte topographie de la zone d'étude.

I.5. Eaux usées :

C'est l'ensemble des eaux usées domestiques et les eaux des équipements publics

I.5.1 Eaux usées d'origine domestique :

Les eaux usées d'origine domestique sont les eaux de consommation après usage, on les désigne souvent par l'expression de retour à l'égout. Ces eaux sont de provenance différente :

- Eaux vannes.
- Eaux de ménage, de bains et de douches.
- Eaux des cours.

Ces eaux sont d'une extrême pollution et la fréquence de leur rejet suit le mode de vie des habitants [2].

I.5.2 Nombre de la population :

Avant d'évaluer les débits des eaux usées domestiques, il faut estimer le nombre de population à l'horizon future par la formule de TABARASSAN (in [3]) :

$$P_f = P_a \cdot (1 + T_x)^N \dots\dots\dots (I.1)$$

Où :

P_f : Population future (habitants)

P_a : la population actuelle ;

T_x : Le taux d'accroissement en % ;

N : nombre d'année (la différence entre année actuelle et année de l'horizon).

I.5.3 Les eaux usées des équipements :

Les équipements de différents services publics : éducatifs, sanitaires, touristiques, administratifs et différents autres services d'utilité publique. L'estimation se fait à base du nombre de personnes qui fréquentent le lieu et sur la dotation requise pour chaque activité, Le débit des eaux usées des équipements est évalué par la formule (in [3]) suivante :

$$Q_{eu}(\text{équi}) = D \cdot k_r \cdot N_{bre} \dots \dots \dots (I.2)$$

Q_{eu}(équi) : Débit moyen rejeté quotidiennement des équipements en (m³/j)

D : dotation AEP journalière par habitant (150 l/j/hab.) ;

K_r : Coefficient de rejet pris égal à 80% de la quantité d'eau potable consommée ;

N_{bre} : Nombre d'habitant (capacité) par hab.

Après on calcule le débit d'eaux usées domestique par la formule :

$$Q_{eud} = K_r \cdot \frac{pf \cdot D}{1000} \dots \dots \dots (I.3)$$

Avec :

Q_{eud} : rejet domestiques journalier (m³/j) ;

K_r : Coefficient de rejet pris égal à 80% de la quantité d'eau potable consommée ;

D : dotation AEP (alimentation en eau potable) journalière par habitant

A la fin on estime le débit d'eau usée par la formule suivante (in [3]) :

$$Q_{eu} = Q_{eu}(\text{équi}) + Q_{eud} \dots \dots \dots (I.4)$$

Q_{eu} : débits d'eaux usées en (m³/j) ;

Q_{eu} (équi) : Débit moyen rejeté quotidiennement des équipements en (m³/j) [3].

I.5.4 Débit de pointe des eaux usées:

Avant d'estimer les débits de pointe il est nécessaire de calculer les paramètres suivants :

1. Débit spécifique (Q_{sp}) en (l/s.ml):

$$Q_{sp} = \frac{Q_{eu}}{LT} \dots\dots\dots (I.5)$$

LT : la longueur totale de réseau (m)

2. Débit moyen en route (Q_{mr}) en (l/s) :

$$Q_{mr} = Q_{sp} \cdot L_{Tr} \dots\dots\dots (I.6)$$

L_{Tr} : la longueur du tronçon (m) [13].

3. Débit moyen entrant et débit moyen sortant (Q_{me}) et (Q_{ms}) en (l/s) :

$$Q_{ms} = Q_{me} + Q_{mr} \dots\dots\dots (I.7)$$

Q_{me} : c'est le débit entrant dans le tronçon [3].

4. Le coefficient de pointe des débits :

K: coefficient de pointe de débits entrant et sortant (**K_e** et **K_s**) ; est définie par la formule suivante (in [3])

$$K_e = 1.5 + \frac{25}{\sqrt{Q_{me}}} ; K_s = 1.5 + \frac{25}{\sqrt{Q_{ms}}} \dots\dots\dots (I.8)$$

5. Débit de pointe entrant et sortant (Q_e et Q_s) respectivement définie comme suit (in [13]) :

$$Q_e = K_e \cdot Q_{me} \text{ et } Q_s = K_s \cdot Q_{ms} \dots\dots\dots (I.9) \text{ (in [3])} :$$

$$Q_{peu} = \frac{Q_e + Q_s}{2} \dots\dots\dots (I.10)$$

Q_{peu} : Débit de pointe des eaux usées en (m³/s).

I.6. Eaux pluviales :

L'estimation des débits des eaux pluviales se fait par l'une des méthodes classiques « Méthode rationnelle » ou par « la méthode superficielle ».

I.6.1. Méthode superficielle :

Cette méthode proposée par Caquot, est une variante de la méthode rationnelle [4], donnée par la relation suivante :

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ASSAINISSEMENT

$$Q(f) = K^{\frac{1}{U}} \cdot I^{\frac{V}{U}} \cdot Cr^{\frac{W}{U}} \dots \dots \dots (I.11)$$

Q (f) : débit pluvial en (m³ / s)

I : pente moyenne du collecteur du sous bassin considéré (m/m)

Cr : coefficient de ruissellement

K : coefficient d'expression,

U : coefficient d'expression : $1 + 0.287 \cdot b (f)$

V : coefficient d'expression : $- 0.41 \cdot b (f)$

W : coefficient d'expression : $0.95 + 0.507 \cdot b (f)$ [4]

Remarque :

Q (f) donné par l'expression précédente correspond à une valeur brute, celle – ci doit tenir compte d'un coefficient m d'où :

$$Q(F)_{\text{corrig}} = m(f)_{\text{brute}} \dots \dots \dots (I.12)$$

Avec :

m : coefficient (correcteur) d'influence [4].

• Hypothèse de la méthode superficielle :

La méthode est fondée sur trois hypothèses qui sont :

- ❖ Le débit de pointe ne peut être observé à l'exutoire que si l'averse a une durée au moins égale au temps de concentration.
- ❖ Le débit de pointe est proportionnel à l'intensité moyenne de l'averse au cours du temps de concentration.
- ❖ Le débit de pointe de la même période de retour que l'intensité qui le provoque [4].

• Validité de la méthode superficielle :

Elle est valable pour les limites d'application suivantes :

- ✓ Une superficie totale < 200 ha

- ✓ La pente doit être comprise entre $(0.2 < I < 5) \%$
- ✓ Le coefficient de ruissellement $(0.2 < Cr < 1)$
- ✓ Le coefficient d'allongement $(M > 0.8)$ [4].

I.6.2. Méthode rationnelle :

La méthode rationnelle consiste à estimer les débits à partir d'un découpage du bassin versant en secteurs, le débit résultant du ruissellement sur un secteur de superficie « A » ayant un coefficient de ruissellement « C » s'exprime par la formule ci-dessous

(In [15]) :

$$Q = K \cdot CR \cdot i \cdot A \dots\dots\dots(I.13)$$

Q:débit d'eau ruisselée (m³/s)

K : coefficient correcteur tenant compte de la répartition spatiale de la pluie, sa détermination est fonction de l'allongement du bassin ($K= 0.167$) ;

Cr : coefficient de ruissellement ;

i : intensité moyenne des précipitations (mm/heure) ;

A : surface de l'aire d'influence (ha) [5].

Cette méthode, malgré sa précision, est loin de donner les bonnes estimations pour des bassins de grandes surfaces [5].

•Temps de concentration :

C'est une caractéristique du bassin, définie comme étant le temps mis par la pluie tombée au point le plus éloigné en durée de l'écoulement, pour atteindre l'entrée du collecteur qui doit évacuer l'apport de la surface considérée. Ce dernier est exprimé par la formule de **KIRPISH** (in [5]);

$$tc = 0.0195 \cdot L \text{ hyd}^{0.77} \cdot I_{bv}^{-0.385} \dots\dots\dots (I.14)$$

tc : le temps de concentration (min) ;

L : longueur hydraulique (maximale) parcourue par l'eau sur la surface (m) ;

I_{bv}:Pente moyenne du bassin versant (m/m).

Et on a : $tc = t1 + t_{aval}$ (I.15)

Avec :

t1 : le temps mis par l'eau ruisselant des toits et les différentes aires pour atteindre la bouche d'égout la plus proche.

$$t1 = \frac{L_{tr}}{60V_r} \dots\dots\dots (I.16)$$

Et :

L_{tr} : la longueur du tronçon en (m) ;

V_r : la vitesse réelle d'écoulement en (m/s) [5].

Alors :

$$t_{aval} = tc + t1 \dots\dots\dots(I.17)$$

•Calcul de la pente moyenne du bassin versant :

La pente moyenne d'un sous bassin est calculée comme étant le rapport entre la différence des cotes amont et aval sur la longueur de ce parcours (longueurhydraulique) [4] :

$$I_{bv} = \frac{Dh}{L_{hyd}} = \frac{CTN_{am} - CTN_{av}}{L_{hyd}} \dots\dots\dots(I.18)$$

I_{bv}: pente moyenne du bassin versant

CTN_{av}: la cote de terrain naturel aval (m) ;

CTN_{am}: la cote de terrain naturel amont (m) ;

L_{hyd}: la longueur hydraulique (bassin versant) (m) [4].

•Averse du projet:

L'averse utiliser dans nos calculs est relative à 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 [16].

Dont l'intensité est définie par l'équation suivante :

$$i = 4 \cdot tc^{-0.5} \dots\dots\dots (I.19)$$

Avec:

i : intensité moyenne maximale en (mm/heure)

tc : temps de concentration en min. [7]

● Coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement se définit comme le rapport du volume d'eau qui ruisselle au volume d'eau tombée sur le bassin considéré. [8].

Les tableaux I.2, I.3, et I.4 sont respectivement montre la variation du coefficient de ruissellement en fonction : du type de surface, densité de population, et catégorie d'urbanisation ;

Tableau I.2 : Coefficient de ruissellement selon le type de surface [7]

Nature de la surface	Coefficient de ruissellement
Pavage, chaussées revêtues, pistes ciment	$0.70 < C < 0.95$
Toitures et terrasses	$0.75 < C < 0.95$
Sols imperméables avec végétation :	
I (pentes) < 2%	$0.13 < C < 0.18$
I (pente) # 2 à 7%	$0.18 < C < 0.25$
I (pente) > 7%	$0.25 < C < 0.35$
Sols perméables avec végétation :	
I (pentes) < 2%	$0.05 < C < 0.10$
I (pente) # 2 à 7%	$0.10 < C < 0.15$
I (pente) > 7%	$0.15 < C < 0.20$

Tableau I.3 : Coefficient de ruissellement en fonction de la densité de population [8]:

Densité de la population (habitants / ha)	Cr
20	0.20
30 – 80	0.20 – 0.25
60 – 150	0.25 – 0.30
150 – 200	0.30 – 0.45
200 – 300	0.45 – 0.60
300 – 400	0.60 – 0.80
400 et plus	0.80 – 0.90

Tableau I.4: Coefficients de ruissellement en fonction de catégorie d'urbanisation [8].

Catégorie d'urbanisation	Cr
Habitations très denses	0.90
Habitations denses	0.60 – 0.70
Habitations moins denses	0.40 – 0.50
Quartiers résidentiels	0.20 – 0.30
Square – garde – prairie	0.05– 0.20

●Limite de la méthode rationnelle :

Elle présente néanmoins des inconvénients et des limites majeurs :

- ✓ L'estimation du temps est souvent laborieuse ;
- ✓ Elle ne tient pas compte de la distribution spatiale des pluies (variation de l'intensité) ; [9]

●Validité de la méthode rationnelle :

Cette méthode est utilisée pour des surfaces limitées (< 10 ha) le résultat est encore plus fiable du fait de la bonne estimation du coefficient de ruissellement, ainsi elle est applicable pour des zones où le temps de concentration ne dépasse pas 30 minutes. Par contre, elle n'est pas susceptible d'être utilisée que pour les zones étendues, car les calculs deviendraient fastidieux [10].

I.7.L'effet de l'imperméabilisation sur les inondations

L'urbanisation est un phénomène de société qui consiste à densifier les villes. Ce phénomène a de nombreuses conséquences, dont deux qui affectent plus particulièrement le cycle urbain de l'eau : d'une part, la construction des habitations et la création des voies de circulation (routes, trottoirs, parkings aériens, etc.) qui accroissent les surfaces imperméables ; d'autre part, une augmentation constante de la consommation de l'eau qui est corrélative de l'accès des populations urbaines à un certain confort (salles de bains suréquipées, piscines, arrosage des jardins, etc.). L'accélération de l'urbanisation de ces dernières décennies a donc eu un impact important sur le cycle de l'eau, et de ce fait sur l'environnement en général.

L'hydrologie urbaine est apparue comme une science à part entière à partir des années 1970. Elle étudie l'impact de la ville et des activités humaines sur le cycle urbain de l'eau. Elle développe des applications dans le but d'améliorer la gestion des eaux superficielles et d'assurer une protection sanitaire, une protection contre les inondations et, plus globalement, la protection de l'environnement.[11].

I-7-1 Effet sur les quantités

L'imperméabilisation du sol conduit à une augmentation du volume des ruissellements superficiels au détriment de la recharge des nappes phréatiques. Elle se traduit également par une diminution du temps de réponse des bassins versants et une augmentation des débits de ruissellement superficiel.. On assiste donc à une augmentation de la fréquence des crues exceptionnelles. L'accroissement de la population urbaine entraîne une surconsommation de

l'eau potable qui, combiné avec le déficit de la recharge des nappes, entraîne un abaissement de leur niveau. La réponse d'un bassin versant à une pluie varie selon le degré d'urbanisation du bassin. Un bassin rural produit une réponse beaucoup plus lente qu'un bassin très urbanisé, ce qui se traduit par un décalage dans le temps (Δt) du pic de la crue entre les deux milieux.

L'évapotranspiration, dont on estime qu'elle génère de 60 à 95 p. 100 de la pluie annuelle dans les régions à dominante forestière, est très fortement diminuée en milieu urbain. Cette diminution est provoquée par la disparition de la végétation et l'imperméabilisation du sol, ce qui accélère le phénomène de ruissellement au détriment de celui d'évapotranspiration.[12].

I-7-2 Effet sur la qualité

Les grandes villes sont en majorité équipées de réseaux unitaires qui évacuent tout à la fois eaux de pluie et eaux usées. Dans le cas de ces réseaux unitaires, on assiste, lors d'événements exceptionnels de pluie, à un dépassement de la capacité des stations d'épuration. Dans beaucoup de cas, cet excédent est malheureusement rejeté directement dans le milieu récepteur, ce qui provoque une dégradation de ce dernier.[13].

I-8 Gestion urbaine de l'eau

Les impacts décrits précédemment sont liés à la mauvaise gestion des eaux urbaines. En effet, sous l'impulsion des hygiénistes, la loi du tout-à-l'égout a été adoptée et appliquée pour Paris dès 1894. Cette loi a été rapidement appliquée à toutes les autres villes afin d'évacuer le plus rapidement possible, par souci d'hygiène, les eaux de ruissellement et les eaux usées à la sortie des villes. La gestion des eaux urbaines a été pendant longtemps centrée sur l'aspect quantitatif uniquement.

Ces dernières décennies, on assiste au développement d'approches intégrées qui portent des noms tels que « sustainable urban drainage Systems » au Royaume-Uni, water sensitive urban design en Australie, low impact développement au Canada et aux États-Unis, ou « gestion intégrée de l'eau en milieu urbain » en France. Malgré des appellations différentes, ces approches ont toutes le même objectif : une gestion quantitative et qualitative des eaux urbaines.

En France, en ce qui concerne la gestion intégrée de l'eau en milieu urbain, avec le souci de préserver l'environnement et la ressource en eau, les objectifs des approches intégrées peuvent être de plusieurs types :

- amélioration du paysage urbain et du cadre de vie en proposant des aménagements qui offrent des bénéfices multiples ;
- préservation de la ressource en eau en considérant les eaux de pluie comme une ressource et non plus comme une nuisance ;

- protection du milieu récepteur ;
- maintien du régime hydraulique du milieu récepteur le plus proche possible du régime naturel ;
- protection et restauration de la qualité de l'eau des ruissellements superficiels et des réseaux souterrains ;
- gestion durable des eaux urbaines prenant en compte à la fois les eaux de surface et les eaux souterraines, ainsi que les inondations et l'impact sur l'érosion des cours d'eau.[14].

I-9. L'Élément Hydrologique Urbain (EHU)

La plupart des modèles modélise le ruissellement par la simulation des surfaces imperméables. Ils ne prennent pas en compte l'influence réelle du sol. Les surfaces perméables saturées contribuent aussi au ruissellement (Berthier, 2001). Le sol joue donc un rôle central, et d'autant plus avec les techniques de gestion intégrée des eaux pluviales, qui mettent à profit la capacité d'infiltration du sol. Le laboratoire des Ponts et Chaussées de Nantes a ainsi développé un modèle tenant compte des caractéristiques du sol (Berthier, 1999). L'Élément Hydrologique Urbain (EHU) modélise une parcelle unitaire et la voirie adjacente. Le EHU est composé de quatre éléments : voirie, bâtiment, sol et évacuation des eaux pluviales [16].

Le bassin versant sera décrit comme un ensemble de EHU relié entre eux par un système de drainage. Il simule trois composantes du débit : le ruissellement des surfaces imperméables, le ruissellement des surfaces naturelles et le drainage d'eau par le sol. Un bilan hydrologique est calculé pour chaque composante : interception, infiltration et évapotranspiration [16].

I-10.Choix du logiciel:

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 payant, par contre le logiciel SWMM est disponible sur le net gratuitement. Pour notre projet, nous avons utilisé le logiciel SWMM qui au stade de ce travail a permis d'atteindre nos objectifs. Ce logiciel utilise les équations de Barré De Saint Venant pour simuler les écoulements à surface libre. Les modèles basés sur ces équations permettent de bien décrire le comportement hydraulique.

Leur utilisation est très recommandée pour les études de diagnostic du réseau existant. Notre choix s'est porté sur le logiciel SWMM basé sur le modèle SWMM est une des nombreuses interfaces qui ont été créées pour rendre l'entrée des données et l'utilisation plus conviviales. On trouve une description détaillée dans les manuels d'utilisation. Au départ, ce logiciel a été développé pour l'Agence de Protection de l'Environnement des États Unis (USEPA, 1971). Depuis cette date, plusieurs améliorations et ajustements ont été apportés à sa première version. Bien qu'à l'origine ce modèle fût développé pour la simulation des polluants dans les eaux de ruissellement, c'est dans ses applications de drainage urbain qu'il est actuellement le plus utilisé. [15]

Le logiciel EPA-SWMM a été principalement choisi pour deux raisons :

- a. Sa puissance et sa rapidité de convergence:** La propagation de l'écoulement dans les conduites est représentée par le système complet des équations de Barré De Saint Venant et des schémas de calcul performants sont utilisés ;
- b. Sa popularité:** Une large proportion des municipalités et des consultants est très familière avec SWMM ou l'une de ses interfaces. [15]

I-11 Présentation de l'approche LID

Dans les vingt dernières années, de nouvelles approches de gestion des eaux urbaines ont été développées pour apporter des améliorations environnementales, mais aussi économiques, sociales et culturelles. Les procédés LID sont conçus pour retenir, stocker, infiltrer, ou traiter les eaux de ruissellement, et donc réduire les impacts du développement urbain. L'approche LID inclut les mesures structurelles telles que les marais, mares, fossés, réservoirs d'eau de pluie, aires de biorétention, bandes de filtration ou bien des tranchées d'infiltration. Elle inclut aussi des mesures non structurelles visant à réduire l'imperméabilité des nouvelles constructions, à prôner l'utilisation de sols perméables et de la végétation, à réduire les sources de contamination dès la source et à développer des programmes d'éducation. La démarche LID se focalise sur le contrôle à petite échelle des eaux de ruissellement. En réalité, elle considère les eaux de ruissellement comme une ressource plutôt que comme une nuisance [17]

Tandis que la plupart des réseaux de drainage urbain classiques utilisent des réseaux de conduites afin d'acheminer l'eau de pluie le plus rapidement possible, le LID utilise des techniques simples à petites échelles pour traiter le problème localement. Ainsi, c'est une démarche sur mesure, chaque équipement s'adaptant aux conditions présentes sur le site. La

construction d'un équipement a toujours pour premier objectif la réduction du débit de ruissellement par l'infiltration de l'eau pluviale ou sa réutilisation *in situ*. Le résultat obtenu est un environnement reproduisant les conditions hydrologiques pré-urbanisation [18]. L'approche LID offre une très grande variété de techniques constructives et non constructives. Les infrastructures LID peuvent être pensées sur des terrains contraignants ou libres, sur un équipement existant ou en début de projet. Les opportunités d'appliquer les principes LID sont infinies : la quasi-totalité des caractéristiques d'un aménagement peut être modifiée pour contrôler le ruissellement (bâtiments, routes, trottoirs, cours, espaces verts) [19].

L'approche LID est particulièrement adaptée à la rénovation urbaine. Les aménagements demandent peu d'espaces et sont facilement intégrables aux infrastructures existantes [19].

Chapitre II :

Présentation du logiciel SWMM

SWMM (Storm Water Management Model) est un programme de simulation hydrologique développé par l'Agence de la Protection de l'Environnement aux Etats-Unis (USEPA) en collaboration avec un groupe de recherche situé à l'université de Floride et à l'université de l'état d'Oregon. Depuis son premier développement en 1971, ce modèle a suivi des évolutions successives et en est actuellement à sa cinquième version. [16]

Ce programme permet la simulation du comportement des eaux pluviales tant d'un point de vue qualitatif. Il est particulièrement bien adapté au bassin urbain pour le calcul des réseaux d'assainissement simples ou complexes et s'applique soit pour des événements ponctuels ou pour des simulations continues. [16]

II.1. Description du logiciel SWMM

Le modèle de gestion des eaux pluviales de l'EPA (SWMM) est utilisé dans le monde entier pour la planification, l'analyse et la conception des eaux de ruissellement, des égouts combinés et sanitaires et d'autres systèmes d'assainissement dans les zones urbaines. Il existe de nombreuses applications pour les systèmes d'assainissement dans les zones non urbaines. SWMM est un modèle dynamique de simulation hydrologique-hydraulique. Il est utilisé pour la simulation à un seul événement ou à long terme (continu) de la quantité et de la qualité des eaux de ruissellement provenant principalement des zones urbaines. La composante de ruissellement fonctionne sur un ensemble de sous-bassins hydrographiques qui reçoivent des précipitations et génèrent des charges de ruissellement et de polluants. La partie d'acheminement transporte ce ruissellement à travers un système de tuyaux, canaux, dispositifs de stockage / traitement, pompes et régulateurs. SWMM effectue le suivi de la quantité et de la qualité du ruissellement effectué dans chaque sous-captage. Il suit le débit, la profondeur d'écoulement et la qualité de l'eau dans chaque tuyau et canal pendant une période de simulation composée de plusieurs pas de temps. Le SWMM 5 a récemment été étendu pour modéliser les performances hydrologiques de certains types de contrôles de faible impact (LID). Les contrôles LID que l'utilisateur peut choisir comprennent les sept pratiques d'infrastructure verte suivantes:[20]

- Pavé perméable

- Jardins de la pluie
- Les toits verts
- Jardinières
- Barils de pluie
- Tranchées d'infiltration
- Végétaux

II.1.1 Pavage perméable et autres surfaces infiltrantes

Il existe plusieurs types de pavage perméable (PP) classés selon 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, construits de manière à avoir un volume de vides continu laissant passer l'eau et les pavés autobloquants de béton (PPAB) décrits plus en détails au paragraphe suivant. Le type ouvert comprend les dalles ajourées, dalles constituées d'ouvertures parfois munies de végétation et laissant s'infiltrer l'eau, et les géogrilles. Enfin, le type en vrac comprend les graviers poreux et la pelouse infiltrant. Tous les types de PP permettent de remplacer des surfaces imperméables par des surfaces perméables sans sacrifier l'utilisation du terrain. [24]. Le PP est approprié pour les stationnements publics et résidentiels ainsi que pour les routes à trafic faible. Il est très adapté pour les secteurs urbains à densité élevée. La conception d'un PP dépend du type d'usage prévu, du climat, de l'hydrologie et des caractéristiques du sol en place. Ce type de pavage n'est pas approprié là où la nappe phréatique pourrait être contaminée par l'eau infiltrée. Ainsi, l'installation près d'une source d'eau potable ou d'une source de contaminants est à éviter. De plus, l'entretien hivernal doit être adapté afin d'éviter la contamination du sol en place par les sels de déglacage et le colmatage de la surface du PP par le sable abrasif [25].

Le pavage perméable à pavés autobloquants de béton (PPAB) est un type particulier de PP constitué de blocs en béton imperméable qui sont conçus pour s'emboîter les uns aux autres. Ils sont séparés de matériel d'empli-joint ayant une porosité suffisamment élevée pour permettre l'infiltration rapide de l'eau à travers la surface [25]. Après avoir pénétré, l'eau se dirige ensuite dans une couche réservoir ayant un volume de vide élevé permettant une accumulation et une rétention de l'eau. Si le sol en place est trop imperméable pour permettre à toute l'eau de s'infiltrer, un drain perforé est ajouté dans la couche de stockage afin de permettre au surplus d'eau de s'évacuer vers le réseau pluvial [26]. La conception de ces pavés autobloquants rend ce système très durable. Ce type de pavage est moins susceptible au

colmatage que les pavages composés de pavés poreux, de béton poreux ou d'enrobé bitumineux poreux.

La compagnie Techo-Bloc construit un pavage perméable de type PPAB nommé Inflo. C'est ce pavage en particulier qui sera caractérisé dans la présente étude. Le schéma présenté à la Figure 2.1 présente la conception de la fondation de ce pavage. [27]

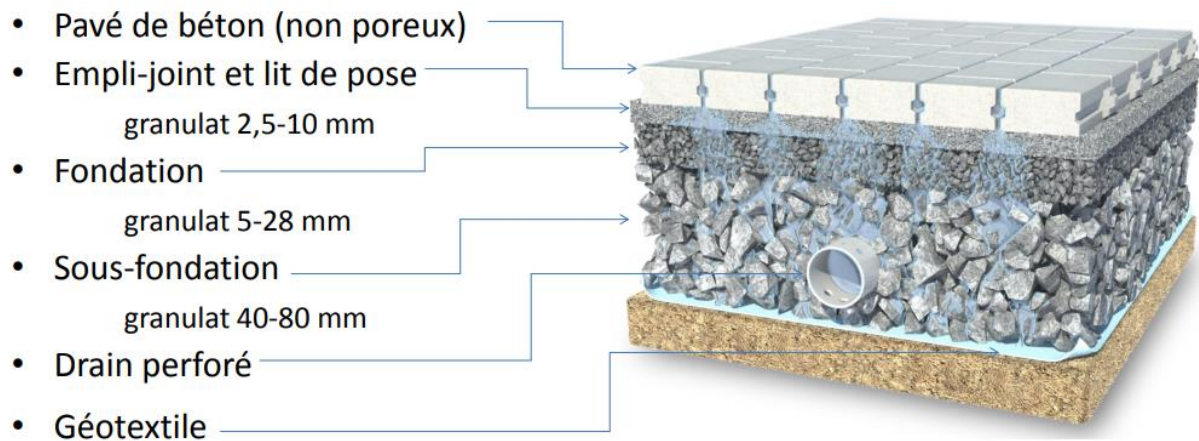


Figure II.1 Schéma de la fondation granulaire du pavé perméable Inflo (Source : [27])

II .1.2 Jardin de pluie ou biorétention

Les jardins de pluie sont constitués d'une dépression dans le sol comprenant des plantes, des arbres et/ou des arbustes aménagés sur un sol amendé. Conçu pour recevoir les eaux pluviales d'une petite surface, le système racinaire maximise l'infiltration de l'eau dans le sol, où une filtration des eaux recueillies est réalisée et où les polluants restent captés [28]. Le surplus d'eau qui n'a pas pu s'infiltrer peut-être relâcher lentement par des drains. Cette approche peut facilement être utilisée sur les terrains privés et publics et servir d'élément d'aménagement paysager. [28]

II.1.3 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, soit l'intensif et l'extensif. Afin de maximiser son effet bénéfique, le toit vert intensif est à privilégier. Cette installation est caractérisée par un sol profond et un système d'irrigation, qui permettent une grande diversité de plantes. Par contre, ce type de toit vert nécessite généralement que la structure du bâtiment soit prévue à cet effet. Une version plus légère, mais moins efficace, soit les toits verts extensifs, peut être installée sur presque tout type de toit plat. Ce type de toiture

comprend un substrat plus mince et 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, en plus de protéger la toiture et de procurer divers avantages liés à la présence de végétaux : biohabitat, réduction des îlots de chaleur et captage du CO₂ [28].

II.1.4 Baril de pluie

Cette approche consiste à rediriger l'eau, provenant des gouttières de toit, afin de l'accumuler dans un baril de pluie. Une fois cette eau stockée, elle peut être réutilisée par la suite pour divers usages tels que l'arrosage de la pelouse, des plates-bandes ou d'un potager [29]. Pour être efficace, le baril de pluie doit être vidé entre les événements pluvieux.

II.1.5 Végétaux

La végétation d'un aménagement de biorétention peut être composée d'arbres et de plantes. Les végétaux ont comme fonctions principales de réduire les volumes d'eau de ruissellement par évapotranspiration, de d'éliminer certains polluants. De plus, les racines et la production de matière organique associée aux plantes aident à préserver une bonne porosité du sol à long terme [30].

II.2 Fenêtre principale du SWMM:

Le Storm Water Management modèle (SWMM) est un modèle de simulation pluie-débit utilisé pour un événement particulier ou à long terme (continue) dans les zones urbaines. Le composant de ruissellement de SWMM opère sur une collection de zones de sous-bassins qui reçoivent des précipitations et génèrent des charges de polluants et de ruissellement. SWMM suit le transport de ce ruissellement grâce à un système de tuyaux, canaux, dispositifs de stockage et de traitement, pompes et régulateurs. SWMM suit la quantité et la qualité des eaux de ruissellement générées. [16]

✓ Vue d'ensemble:

La fenêtre principale EPA SWMM représentée à la Figure II.5 est composée 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 propriétés [23]. Une description de chacun de ces éléments est fournie dans les sections qui suivent.

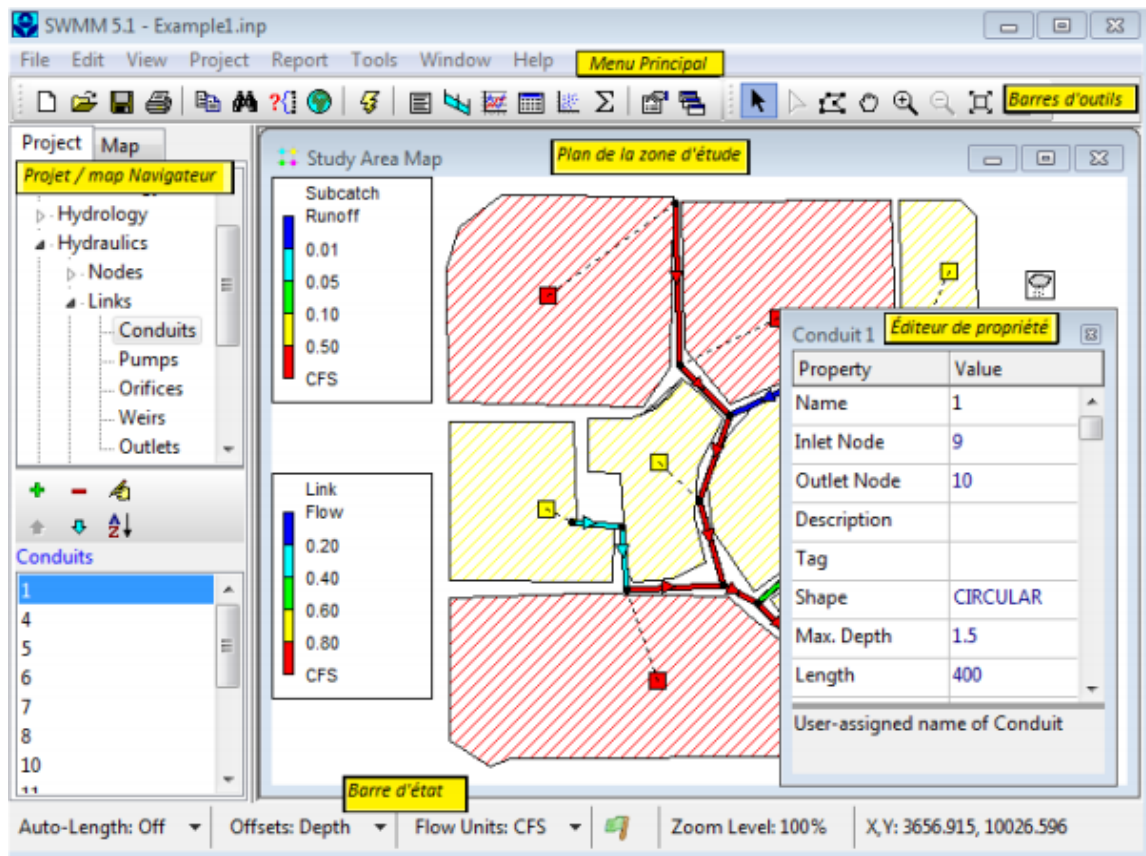


Figure II.2: Fenêtres principales du logiciel SWMM. [23]

Menu principal: Le menu principal situé en haut de la fenêtre principale EPA SWMM contient une collection de menus utilisés pour contrôler le programme. Ceux-ci inclus

- 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 d'étude et les outils complémentaires externes.
- Help Menu : Le menu d'aide contient des commandes pour obtenir de l'aide pour utiliser EPA SWMM. [17]

✓ **L'utilisation de SWMM est guidée généralement par les étapes suivantes :**

1. Spécifier un ensemble par défaut des options et l'objet des propriétés à utiliser ;
2. Dessiner une représentation du réseau des composantes physiques de la zone d'étude ;
3. Modifier les propriétés des objets qui composent le système ;
4. Sélectionnez un ensemble d'options d'analyse ;
5. Exécuter une simulation ;
6. Afficher les résultats de la simulation ;
 - I. Les écoulements superficiels;
 - II. L'évacuation (propagation) des écoulements superficiels à travers réseau d'assainissement et ses ouvrages hydrauliques. [16]

II.3 Objets visuels (Visual Objects):

La figure II.2. montre comment une collection d'objets visuels de SWMM pourrait être agencée ensemble pour représenter un système d'assainissement des eaux pluviales. Ces objets peuvent être affichés sur une carte dans l'espace de travail SWMM. [17]

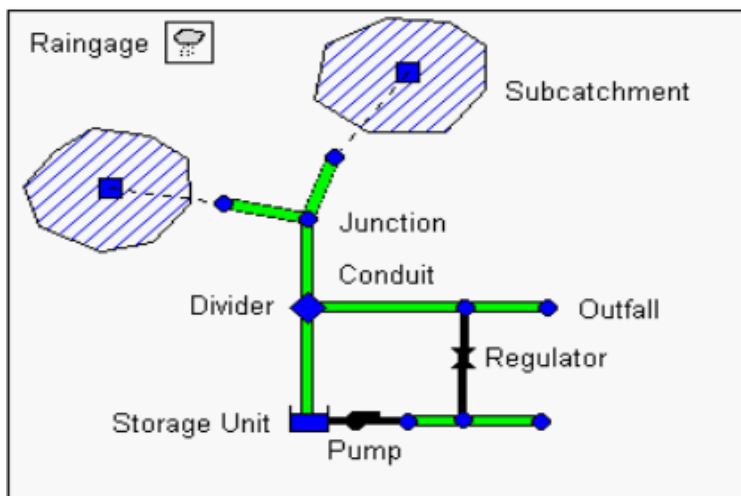


Figure II.3: Objets physiques utilisés pour

II.3.1. Générateurs de pluie (Rain Gages):

Les pluviomètres fournissent des données sur les précipitations pour une ou plusieurs zones de sous-ensemencement dans une région étudiée. Les données pluviométriques peuvent être soit une série temporelle définie par l'utilisateur, soit proviennent d'un fichier externe. Plusieurs formats populaires de fichiers pluviométriques populaires actuellement utilisés sont pris en charge, ainsi qu'un format standard défini par l'utilisateur. [17] 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. [17]

II.3.2. Sous-bassins(Subcatchments) :

Les Sous-bassins sont des unités hydrologiques de terrain dont la topographie et les éléments du système d'assainissement dirigent le ruissellement vers un seul point de rejet. L'utilisateur est responsable de diviser une zone d'étude en un nombre approprié de sous-ensembles et d'identifier le point de sortie de chaque sous-traitance. Les points de sortie de décharge peuvent être soit des nœuds du système d'assainissement, soit d'autres sous-ensembles. Les sous-bassins sont divisés en sous-zones perméables et imperméables. Le ruissellement de surface peut s'infiltrer dans la zone de sol supérieure de la sous-zone perméable, mais pas à travers la sous-zone imperméable. Les zones imperméables sont elles-mêmes divisées en deux sous-zones - une qui contient le stockage de la dépression et une autre qui ne le fait pas. Le débit de ruissellement d'une sous-zone d'un sous-traitant peut être dirigé vers l'autre sous-zone ou les deux sous-zones peuvent s'écouler vers la sortie du sous-traitant.

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 :

- Modèle d'infiltration d' Horton
- Modèle d'infiltration d'Horton modifié
- Modèle d'infiltration Green-Ampt
- Modèle d'infiltration Green-Ampt modifié

Pour modéliser l'accumulation, la redistribution et la fonte des précipitations qui tombent sous forme de neige sur un sous-traitant, il faut lui attribuer un objet paquet de neige. Pour modéliser le débit de l'eau souterraine entre un aquifère sous le sous-traitant et un nœud du système d'assainissement, il faut attribuer au sous-bassin un ensemble de paramètres de l'eau souterraine. L'accumulation de polluants et les déchets des sous-ensembles sont associés aux utilisations des terres affectées au sous-bassin. La capture et la rétention des précipitations et

des ruissellements en utilisant différents types de pratiques de développement à faible impact (comme les cellules de rétention biologique, les tranchées d'infiltration, les chaussées poreuses, les fouilles végétatives et les fûts de pluie) peuvent être modélisées en assignant un jeu de contrôles LID préconçus au sous-bassin. [17]

Les autres principaux paramètres d'entrée pour les sous-bassins comprennent:

- Indicateur de pluie assigné
- Nœud de sortie ou sous-traitance
- Les utilisations foncières assignées
- Surface tributaire
- Imperméabilité
- Pente
- La largeur caractéristique du flux terrestre
- Stockage de la dépression dans les zones perméables et imperméables
- Pourcentage d'aire imperméable sans dépression. [17]

II.3.3.Nœuds de jonction: (Junction Nodes)

Les jonctions sont des nœuds de système d'assainissement où les liens se rejoignent. Physiquement, ils peuvent représenter la confluence des canaux de surface naturels, des regards d'homme dans un système d'égout ou des raccords de tuyauterie. Les entrées externes peuvent entrer dans le système aux carrefours. L'excès d'eau à une jonction peut être partiellement pressurisé tandis que les conduits de raccordement sont surchargés et peuvent être soit perdus du système, soit être autorisés à s'accumuler au sommet de la jonction et ensuite refouler dans la jonction. [17]

Les principaux paramètres d'entrée d'une jonction sont:

- Inverser (élévation de canal)
- Surface en étang lorsqu'elle est inondée (facultatif)

- Données d'afflux externes (facultatif). [17]

II.3.4.Nœuds de sortie: (OutfallNodes)

Les écoulements sont des nœuds terminaux du système d'assainissement utilisé pour définir les limites en aval sous l'écoulement d'écoulement Dynamique. Pour d'autres types d'acheminement de flux ils se comportent comme une jonction. Seul un seul lien peut être connecté à un nœud d'émission, et l'option existe pour que le déversoir se décharge sur la surface d'un sous-traitant. [17]

Les conditions aux limites d'un émissaire peuvent être décrites par des relations de phase suivantes:

- La profondeur d'écoulement critique ou normale dans le conduit de raccordement.
- Une élévation de niveau fixe.
- Une marée décrite dans un tableau de la hauteur des marées par rapport à l'heure du jour.
- Une série temporelle définie par l'utilisateur de l'étape par rapport au temps.
- Les principaux paramètres d'entrée pour les émissaires sont les suivants.
- Inverser l'élévation.
- Type d'état des limites et description du stade.
- Présence d'une porte à lamelles pour empêcher le reflux à travers l'émissaire. [17]

II.3.5.Nœuds de diviseur de flux: (Flow DividerNodes)

Il existe quatre types de diviseurs de flux, définis par la manière dont les flux entrants sont détournés:

- ❖ Diviseur tabulaire: Utilise une table qui exprime le débit détourné en fonction de l'afflux total.
- ❖ Diviseur de déversoir: Utilise une équation de déversoir pour calculer le débit dérivé

Les principaux paramètres d'entrée pour un diviseur de flux sont:

- Les paramètres de jonction (voir ci-dessus)

- Nom du lien recevant le flux détourné
- Méthode utilisée pour calculer la quantité de flux détourné. [17]

II.3.6. Unités de stockage: (Storage Units):

Les principaux paramètres d'entrée des unités de stockage sont les suivants:

- Inverser (en bas) l'élévation
- Profondeur maximale
- Les données de profondeur de surface
- Potentiel d'évaporation
- Paramètres d'infiltration (facultative)
- Données d'afflux externes (facultatif). [17]

II.3.7. Conduits:

La plupart des canaux ouverts peuvent être représentés avec une forme de section transversale irrégulière, trapézoïdale ou définie par l'utilisateur. Pour ce dernier, un objet Transept est utilisé pour définir la variation de la profondeur avec la distance à travers la section transversale. La plupart des nouveaux tuyaux d'assainissement et d'égout sont circulaires tandis que les ponceaux ont généralement des formes elliptiques ou arquées. Les tuyaux elliptiques et en arc se présentent sous la forme de tailles standard qui a une forme circulaire remplie permet au fond d'un tuyau circulaire d'être rempli de sédiments et donc de limiter sa capacité d'écoulement. [17]

Permet de définir une forme géométrique fermée symétrique par rapport à la ligne médiane en fournissant une courbe de forme pour la section transversale. SWMM utilise l'équation de Manning pour exprimer la relation entre le débit (Q), la section transversale (A), le rayon hydraulique (R) et la pente (S) dans tous les conduits. [17]

$$Q = \frac{1.49}{n} AR^{2/3} \cdot S^{1/2} \dots\dots\dots \text{II.1}$$

Où

n: est le coefficient de rugosité Manning.

S : la pente du conduit ou la pente de frottement (c'est-à-dire la perte de charge par unité de longueur), Pour les tuyaux avec sections transversales de forme circulaire, soit la formule de Hazen-Williams ou de Darcy-Weisbach est utilisée à la place de l'équation de Manning la formule de Hazen-Williams est: [17]

$$Q = 1.318CAR^{0.63}S^{0.54} \dots\dots\dots \text{II.2}$$

Où :

C : Le facteur de Hazen-Williams qui varie inversement avec la rugosité de surface et est fourni comme l'un des paramètres de la section transversale. La formule de Darcy-Weisbachest:

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{f}}AR^{1/2}S^{1/2} \dots\dots\dots \text{II.3}$$




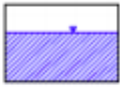
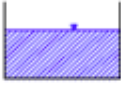


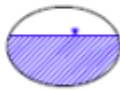




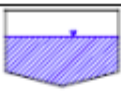
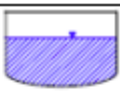
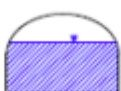









Où : [17]

g : L'accélération de la pesanteur

f : Le facteur de frottement de Darcy-Weisbach.

Pour un écoulement turbulent, ce dernier est déterminé à partir de la hauteur des éléments de rugosité sur les parois du tuyau (fournie en tant que paramètre d'entrée) et du nombre de Reynolds du courant en utilisant l'équation de Colebrook-White. Le choix de l'équation à utiliser est une option fournie par l'utilisateur. Une conduite n'a pas besoin d'être affecté à une forme principale pour qu'il soit mis sous pression. L'une quelconque des formes de section transversale fermée peut potentiellement être mise sous pression et donc fonctionner comme un réseau de force qui utilise l'équation de Manning pour calculer les pertes par friction. Un débit constant d'exfiltration d'eau le long de la longueur du conduit peut être modélisé en fournissant une valeur de taux de pénétration (en / h ou mm / h). Cela ne tient compte que des pertes d'infiltration et non de l'infiltration des eaux souterraines dépendantes des précipitations. Ce dernier peut être modélisé à l'aide de la fonction de SWMM .

Tableau II.1: Formes de sections transversales disponibles pour conduits [17]

Nom	Paramètre	Forme	Nom	Paramètre	Forme
Circulaire	Pleine hauteur		Forme circulaire principale	Hauteur totale, rugosité	
Circulaire remplie	Hauteur totale, profondeur remplie		Rectangulaire fermé	Hauteur totale, largeur	
Rectangulaire ouvert	Hauteur totale, largeur		Trapézoïdale	Hauteur totale, largeur de base, pentes latérales	
Triangulaire	Hauteur totale, Max. Largeur		Trapézoïdale Ellipse	Hauteur totale, Max. Largeur	
Vertical Ellipse	Hauteur totale, Max. Largeur		Cambre	Hauteur totale, Max. Largeur	
Parabolique	Hauteur totale, Largeur supérieure		puissance	Hauteur totale, Largeur supérieure, Exponent	
Rectangulaire Triangulaire	Hauteur totale, largeur supérieure, hauteur triangulaire		Rond rectangulaire	Hauteur totale, largeur supérieure, rayon inférieur	
Maillot modifié	Hauteur totale, largeur inférieure, rayon supérieur		Oeuf	Pleine hauteur	
Fer à cheval	Pleine hauteur		gothique	Pleine hauteur	
Caténaire	Pleine hauteur		Semi-elliptique	Pleine hauteur	
Maillot de plateau	Pleine hauteur		Semi-circulaire	Pleine hauteur	
Chaîne irrégulière Naturel	Transect Coordonnées		Forme fermée sur mesure	Coordonnées en hauteur complète et en courbe de forme	

Une conduite peut également être désignée pour agir comme un ponceau (Figure II.4). Les conduits de ponceaux sont contrôlés en continu pendant l'acheminement dynamique des vagues pour voir s'ils fonctionnent sous le contrôle d'admission tel que défini dans la publication de l'administration fédérale des autoroutes intitulée *Hydraulique Design of Highway Culverts*, troisième édition (publication no FHWA-HIF-12-026, avril 2012). Sous le contrôle d'entrée, un ponceau obéit à une courbe d'écoulement particulier par rapport à la profondeur d'entrée dont la forme dépend de la forme, de la taille, de la pente et de la géométrie de l'entrée du ponceau. [17]



Figure II.4: un ponceau [17]

Les principaux paramètres d'entrée des conduits sont:

- Les noms des nœuds d'entrée et de sortie
- La hauteur ou l'élévation décalée au-dessus du nœud d'entrée et de sortie inverse
- Longueur du conduit
- La rugosité de Manning
- Géométrie transversale
- Pertes d'entrée / sortie (facultatif)
- Taux d'infiltration (facultatif)
- Présence d'un volet à rabat pour éviter le retour (optionnel)
- Numéro de code de géométrie d'entrée si le conduit agit comme un ponceau (facultatif). [17]

II.3.8.Pompes: (Pumps)

CHAPITRE I I : PRESENTATION DU LOGICIEL SWMM

Les pompes sont des liaisons utilisées pour soulever l'eau à des élévations plus haute Une courbe de pompe décrit la relation entre le débit et les conditions d'une pompe à ses nœuds d'entrée et de sortie. Cinq types différents de courbes de pompe sont pris en charge (Figure II.5). [17]

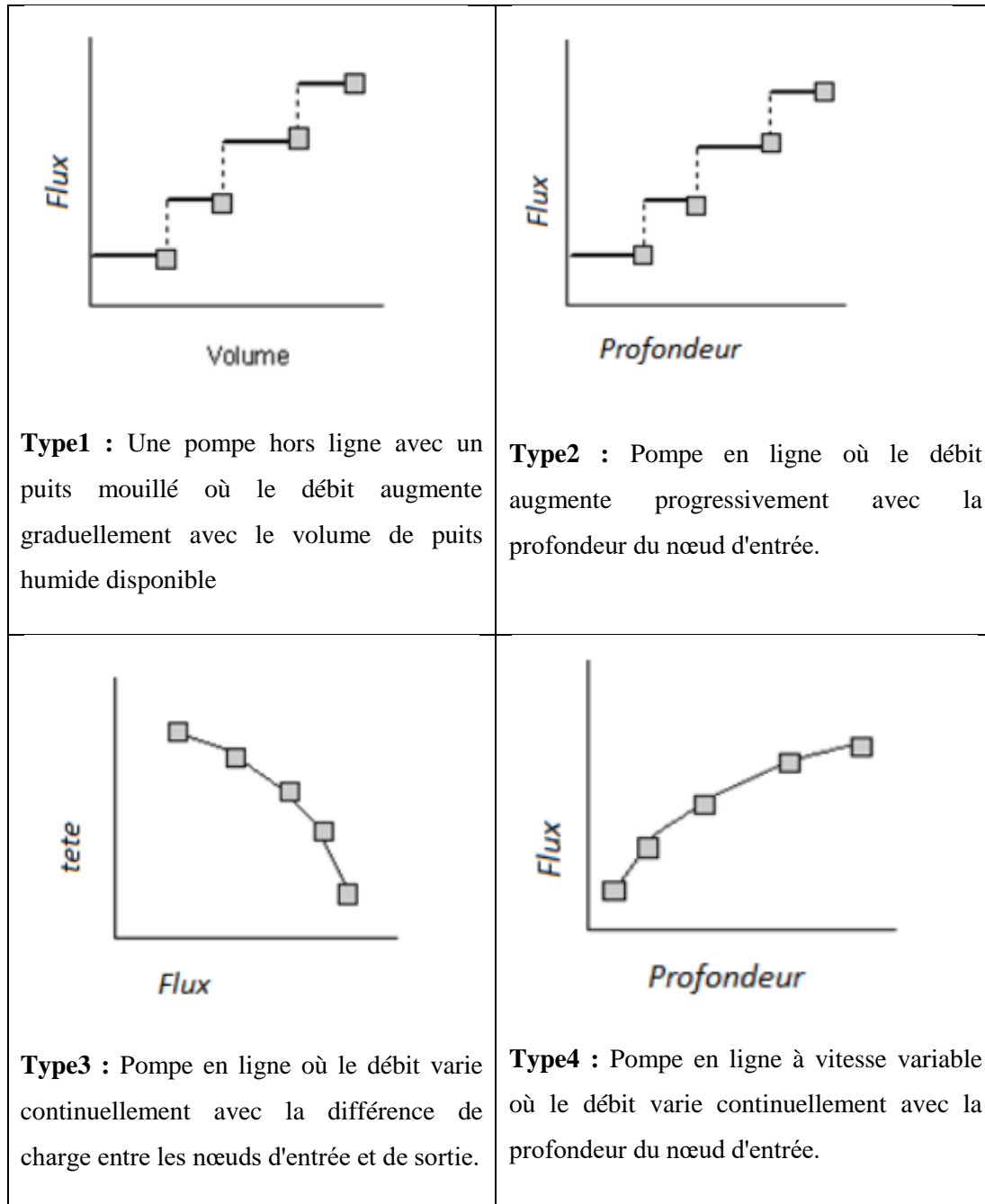


Figure II.5: Différents type de courbes de pompe qui sont pris en charge[17]

L'état marche / arrêt des pompes peut être contrôlé dynamiquement en spécifiant les profondeurs d'eau de démarrage et d'arrêt au niveau du nœud d'entrée ou à travers des règles

de contrôle définies par l'utilisateur. Les règles peuvent également être utilisées pour simuler des variateurs de vitesse qui modulent le débit de la pompe.

Les principaux paramètres d'entrée d'une pompe sont les suivants:

- Les noms de ses nœuds d'entrée et de sortie
- Nom de sa courbe de pompe (ou pour une pompe idéale)
- Etat initial marche / arrêt
- Profondeurs de démarrage et d'arrêt. [17]

II.3.9 Régulateurs de débit: (Flow Regulators)

Les régulateurs de débit sont des structures ou des dispositifs utilisés pour contrôler et détourner les écoulements dans un système de transport. Ils sont habituellement utilisés pour:

- Contrôler les rejets des installations de stockage.
- Empêcher les surcharges inacceptables.
- Détourner le débit vers les installations de traitement et les intercepteurs.

SWMM peut modéliser les types de régulateurs de débit suivants: orifices, déversoirs et sorties. [11]

II.3.10. Étiquettes de carte: (Map Labels)

Les étiquettes de carte sont des étiquettes de texte facultatives ajoutées à la carte de zone d'étude de SWMM pour aider à identifier des objets ou des régions particuliers de la carte. Les étiquettes peuvent être dessinées dans n'importe quelle police de Windows, éditées librement et être traînées à n'importe quelle position sur la carte. [17]

II.4. Objets non visuel: (Non-Visual Objects)

Parmi les objectifs non visuels on peut citer (la Climatologie, Paquets de neige, Aquifères, Hydrographes unitaires, Traitement, Modèles de temps, Commandes LID [17])

II.5. Capacité de SWMM:

SWMM intègre une grande quantité de processus hydrologiques afin de simuler le ruissellement du bassin urbain, on peut citer :

- ✓ Pluie variable dans le temps ;
- ✓ Evaporation des surfaces d'eau ;
- ✓ Accumulation et fonte des neiges ;
- ✓ Interception et stockage dans les dépressions ;
- ✓ Infiltration dans le sol non saturé ;

- ✓ Percolation et écoulement souterrain ;
- ✓ Echange entre les eaux souterraines et le système d'assainissement ;
- ✓ Transport par réservoir non-linéaires de l'écoulement.

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

- De manipuler des réseaux de taille illimitée ;
- D'utiliser une grande variété de conduite à section standard ainsi que des canaux naturels ;
- De modéliser des ouvrages hydrauliques tels que des unités de rétention/traitement,
- Des pompes, des ouvrages de diversions, des déversoirs et des orifices ;
- D'utiliser l'onde cinématique ou l'onde dynamique comme méthode de routage ;
- D'appliquer des écoulements externes tels que des débits d'eaux usées par temps sec ;
- De simuler le fonctionnement des pompes, orifices et déversoirs en fonction de lois définies par l'utilisateur. [20]

II.6. Modélisation dans SWMM:

Dans SWMM, la réalité est simplifiée à l'aide de quatre compartiments entre lesquels il simule les échanges et transferts.

❖ Le compartiment « atmosphérique »

Compartiment qui contient les données des précipitations qui vont tomber dans le compartiment surface de terrain.

❖ Le compartiment « surface de terrain »

Il est représenté par un ou plusieurs bassins de drainage qui reçoivent les précipitations du compartiment atmosphérique sous forme de pluie ou de neige. Ces précipitations sont alors infiltrées dans le sous-sol ou transformées en ruissellement introduit dans le compartiment transport. [22]

❖ Le compartiment « souterrain »

Il reçoit les infiltrations et transfère une partie de ses écoulements dans le compartiment transport[22]

❖ Le compartiment « transport »

Il est représenté par un réseau d'éléments de transport (canaux, conduites, pompes, etc.) et d'unité de stockage/traitement. Les apports proviennent du ruissellement du compartiment « Surface de terrain », des écoulements du compartiment « Souterrain », et d'hydrographes définis par l'utilisateur (eaux usées par temps sec par exemple).

Tous ces compartiments sont construits avec l'aide d'une palette d'objets disponibles dans SWMM. Ces objets sont caractérisés par des paramètres (surface, pourcentage imperméable, pente rugosité géométrie de la canalisation, etc.) qui vont permettre de représenter au mieux le bassin hydrologique modélisé. [22]

II.7. Différents modèles de calcul par logiciel SWMM :

II.7.1 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[15]

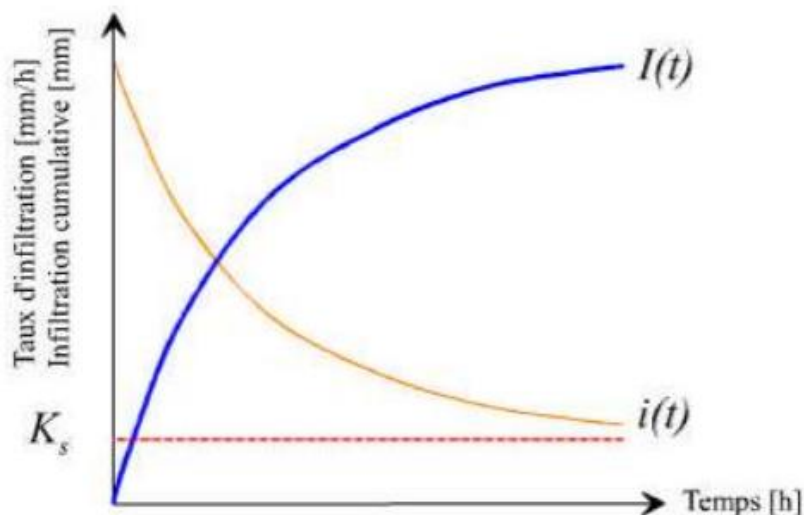


Figure II.6: Évolution générale du régime d'infiltration et de l'infiltration cumulative au cours du temps (K_s = conductivité hydraulique à saturation [15])

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

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 : $i_{min}=Ks$ [23]

Le **Tableau II 2** représente la variation de l'infiltration en fonction du type de sol

TableauII2: Evaluation des paramètres de Horton: [23]

Type de sol	imax : (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)

II.7. 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]

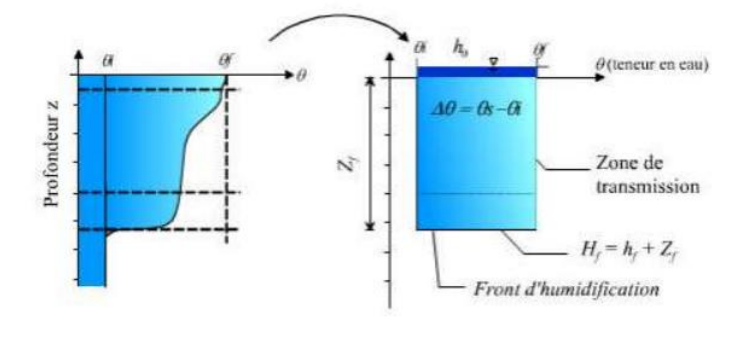


Figure II.7: schéma du modèle d'infiltration de Green Ampt [23]

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) ($hf < 0$)

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:

CHAPITRE I I : PRESENTATION DU LOGICIEL SWMM

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 II 3 : paramètres de Green Ampt [15]

Texture du sol	K_s : conductivité hydraulique du sol saturé (mm/h)	h_f : potentiel de succion (mm)	θ_f : 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

II.8.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. [23]

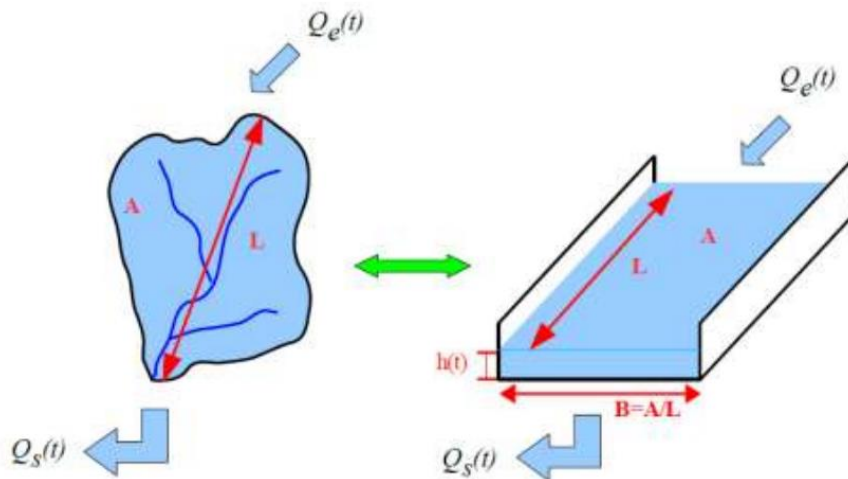


Figure II8 : Schéma du modèle de ruissellement de l'onde cinématique [23]

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 :*

CHAPITRE I I : PRESENTATION DU LOGICIEL SWMM

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

Tableau II4: 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

✓ **Modèle de transfert**

Il ya Trois modèles sont disponibles :

- Steady Flow : Écoulement permanent et uniforme dans chaque tronçon et à chaque pas de temps (Translation simple des hydrogrammes)
- KinematicWave : Modèle de l'onde cinématique
- Dynamic Wave : Modèle de l'onde dynamique (Résolution des équations de Barré de Saint Venant) [23]

II.9. Le régime uniforme:

Modèle de la translation simple en régime permanent uniforme C'est le modèle le plus simple possible. Il considère à chaque pas de temps de calcul, que l'écoulement est permanent et uniforme. Pour relier à chaque pas de temps, le débit et hauteur d'eau dans chaque tronçon, il utilise l'équation de Manning-Strickler. Les hydrogrammes entre l'entrée et la sortie des conduites, ne subissent ni décalage dans le temps, ni amortissement. Ce type de modèle ne peut représenter ni les effets de stockage de l'eau dans les réseaux, ni les phénomènes d'influences aval, ni les inversions du sens de l'écoulement, ni les écoulements en charge. De plus son utilisation est restreinte aux réseaux ramifiés (non maillés). [16]

II.10. Avantages du logiciel :

L'utilisation du modèle offre plusieurs avantages :

1. Les paramètres utilisés sont physiques (surface, pourcentage imperméable, pente, rugosité, géométrie de la canalisation ...);
2. Amélioration continue du modèle et vérifications très fréquentes;

3. Simulations des surcharges et usage très versatile du modèle;
4. Possibilité d'utilisation pour les études d'impact;
5. Documentation complète et détaillée. [16]

Chapitre III :

Présentation de la zone d'étude

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.

III .1 .Situation géographique:

Le centre de H'RAIK est situé sur deux versants, il est attaché administrativement à la commune de Djebala, daïrade Nedroma , le centre est caractérisé par un relief excessivement montagneux.

Cette configuration spatiale dominante de la zone d'étude a conditionné dans une large mesure l'occupation totale du sol disponible.

La population est répartie sur les deux versants Nord et Sud.

Le centre de H'RAIK est limité :

- Au Nord par la ville de Ghazaouet
- Au Sud par les Monts de Hammam Chiguer
- A l'Est par la ville de Maghnia et Nedroma
- A l'Ouest par la ville de Djebala

Le centre de H'RAIK est relié par deux chemins de wilaya [31]

III .1.2. Caractéristiques orohydrographiques:

Le centre de H'RAIK fait partie des Monts des Traras qui sont caractérisés par un relief montagneux très accidenté. On observe le même relief dans les autres parties avoisinantes. Tandis que les parties inférieures, le relief est plus ou moins plat.[31]

III .1.3. Géologie de la région:

La région de H'RAIK se trouve sur le prolongement Est du socle primaire des monts des TRARAS, ces derniers constituent eux aussi le prolongement Ouest des monts de Tlemcen.

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Géologiquement, le paléozoïque affleure suivant une bande depuis la frontière marocaine, ainsi que le jurassique où ses affleurements dominent la région.

L'agglomération de H'RAIK se trouve dans le bassin géographique qui se développe dans le grand massif montagneux. Ces reliefs atteignent des cotes assez élevées.

Du point de vue géologique, tout le massif montagneux est constitué par des formations du Quaternaire et Miocène. Cette constitution géologique de ce relief n'assure pas une bonne alimentation quasi-permanente de ces affluents.

Le lit de l'oued est formé par des dépôts alluvionnaires dans le lit mineur.

La géologie de la région d'étude fait partie des diverses unités tello-rifaines qui sont regroupées en quatre ensembles :

- L'autochtone et le para-autochtone
- L'allochtone à affinités rifaines
- L'allochtone à affinités Téliennes
- L'unité numidienne

Le Para-autochtone des lambeaux de poussées qui frange le bord méridional de l'allochtone dans les Msirda, Souahlia et Djebala. [31]

III .1.4.L'unité de djebala et Souahlia :

Elle affleure dans la région des Souahlia, Msirda, Nedroma et Djebala sous l'unité métamorphique du Tadjera, les faciès de cette unité sont à rapprocher de ceux de l'autochtone Tello-rifain. [31]

III .1.5.Le jurassique supérieur :

Il est constitué par des pyélites et des grés, affleure en particulier sur le flanc Nord du Djebel Zandal. Il s'agit surtout de pyélites brunes, se débitant en plaquettes et contenant des bancs fins à minces des grés à grains fins.

Trois niveaux de calcaires en gros bancs centimétriques à métriques qui sont intercalés sur une dizaine de mètres dans la série grésopélique ; ces calcaires sont des micrites

ferrugineuses, plus ou moins silicifiées ou dolomitiques et parfois riches en matières argilo-pélimitique. [31]

III .1.6.Le Crétacé inférieur :

Calcaire argileux : affleure sous forme de calcaires argileux clairs et des pélimites, ces calcaires forment des bancs décimétriques attribués au crétacé inférieur.

Pélimites litées à niveaux conglomératiques et quartzites mouchetés [31]

III .2.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 marquée 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. [31]

III .2.1.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

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

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. [31]

III .2 .2. Précipitations 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. [31]

III .2.3.Précipitations mensuelles :

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. [31]

III .2.4.Pluies maximales journalières :

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. [31]

III .2.5.Températures :

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 de 14 à 24 °c.

La température moyenne mensuelle décroît à partir des ces mois, jusqu'au mois de Janvier ou elle atteint sa valeur moyenne minimale de 2 à 6.5 °c. [31]

III .2.6.Vents :

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

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. [31]

III .3.Etude topographique de la zone d'étude :

L'étude topographique a fait l'objet d'un levé topographique des habitations concernées par cette étude d'assainissement ainsi que le levé topographique des tracés des rejets. Des plans et profils en long ont été dressés à différentes échelles permettant ainsi de déterminer les caractéristiques techniques et hydrauliques des différents réseaux. [31]

III .4.Evolution de la population :

Le centre de H'RAIK comprend :

- Une école
- Un dispensaire de santé
- 40habitations avec une famille moyenne de 07personnes.

Le R.G.P.H 2008 a montré l'existence d'une population constituée de 280habitants. [31]

III .4.1.Lesorages :

La zone d'étude enregistre en moyenne un nombre de 10,6 jours par an d'orages [31]

Tableau III.1 : la moyenne du nombre des jours d'orages par mois [31]

Mois	sept	oct	nov	déc	janv	fev	mars	avr	mai	juin	juill	aout	année
moyenne du nombre des jours d'orages	1.3	1	0.5	0.6	0.3	0.4	0.8	0.9	1	1.5	1	1.3	10.6

III .4.2.Population future :

A cet effet, la population P_n est calculée suivant la formule :

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

$$P_n = P_o (1 + 2,7\%)^n$$

Où : $t_x = 2,7\%$ (Taux d'accroissement démographique moyen)

P_o : population initiale

n = Nombre d'années.

P_n : population à l'horizon n [31]

III .4.2.1.Calcul de la population future P_n :

Tableau III.2 : la population future P_n [31]

ANNEES HORIZON (n)	2013	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045
N	n=5	n=7	n=12	n=17	n=22	n=27	n=32	n=37
P_n	320	337,4	385,48	440,41	503,16	574,86	656,76	750,35

III .4.2.2.Les besoins en eau potable :

- La dotation hydrique moyenne pour le centre de H'RAIK est considérée de 200l/j/hab.
[31]

Chapitre IV :

Simulation hydraulique du réseau d'assainissement avec les infrastructures LID

IV.1. Introduction

Les réseaux d'assainissement urbains constituent des systèmes complexes regroupant des bassins versants et différents éléments structurels permettant l'évacuation des charges hydrauliques générées (eaux de ruissellement, eaux usées, infiltration). Dans ce chapitre, nous avons étudiée l'effet des toitures verts sur la diminution des eaux de ruissellement.



Figure IV.1 : la zone d'étude H'RAIK [32]

IV.2. simulation hydraulique de réseau sans les infrastructures LID

Nous avons inséré l'image prise par google earth dans le logiciel EPA SWMM, Ensuite, nous donnons des symboles aux éléments qui nous intéressent, comme le symbole C pour les conduits, N pour les noueux, et B pour les sous bassin versants .

Ensuite on met cet extracteur pour qu'il apparaisse à l'écran avec le nom de l'élément par la méthode montrée dans les Figure IV.2 Figure IV.3 Figure IV.4 suivante :

CHAPITRE IV : SIMULATION HYDRAULIQUE DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT AVEC LES INFRASTRUCTURES LID

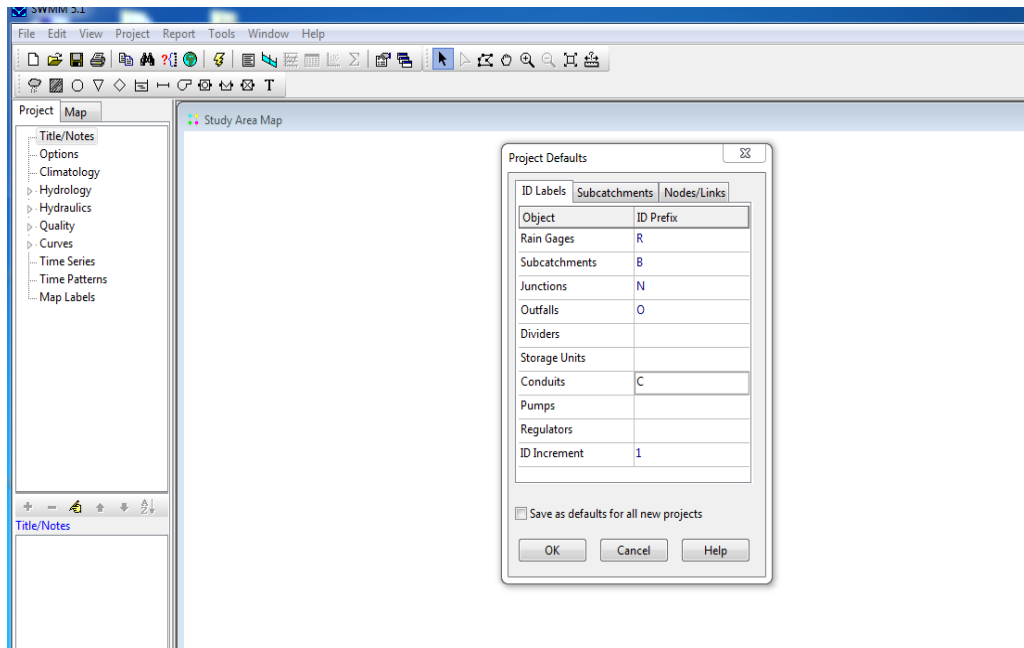


Figure IV.2 : Boite de Dialogue Valeurs par Défaut du Projet.

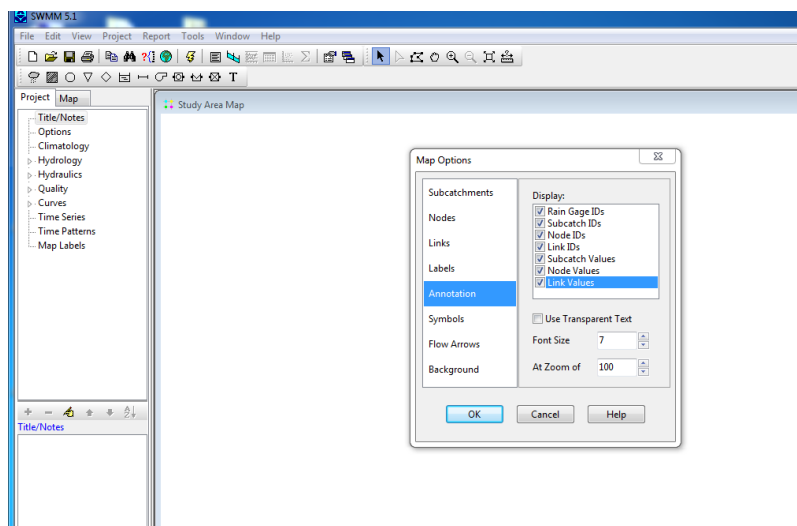


Figure IV.3 : Boite de Dialogue options du Schéma.

CHAPITRE IV : SIMULATION HYDRAULIQUE DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT AVEC LES INFRASTRUCTURS LID

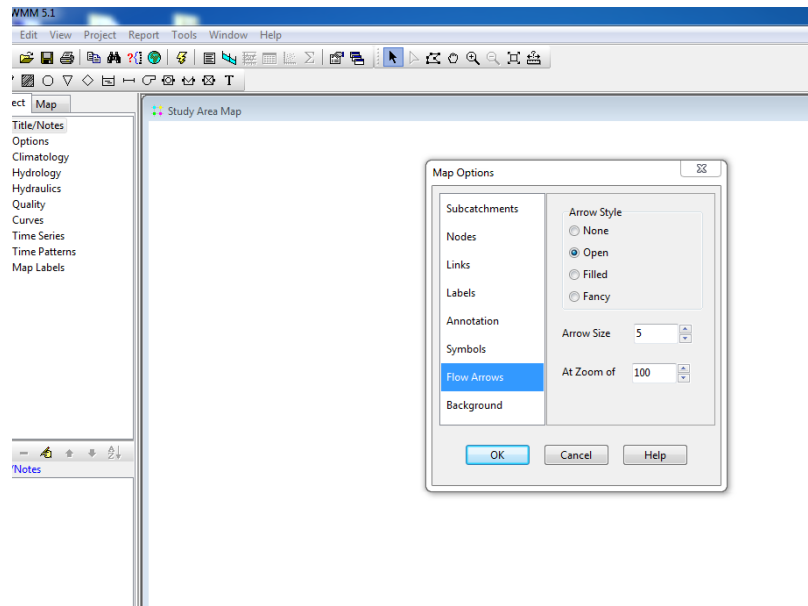


Figure IV.4 :Détermination la direction sur les conduits .

Nous avons tracé un réseau d'égouts à partir des données que nous avons apportées de la Direction des ressources en eau, comme le montreFigure IV.5 :

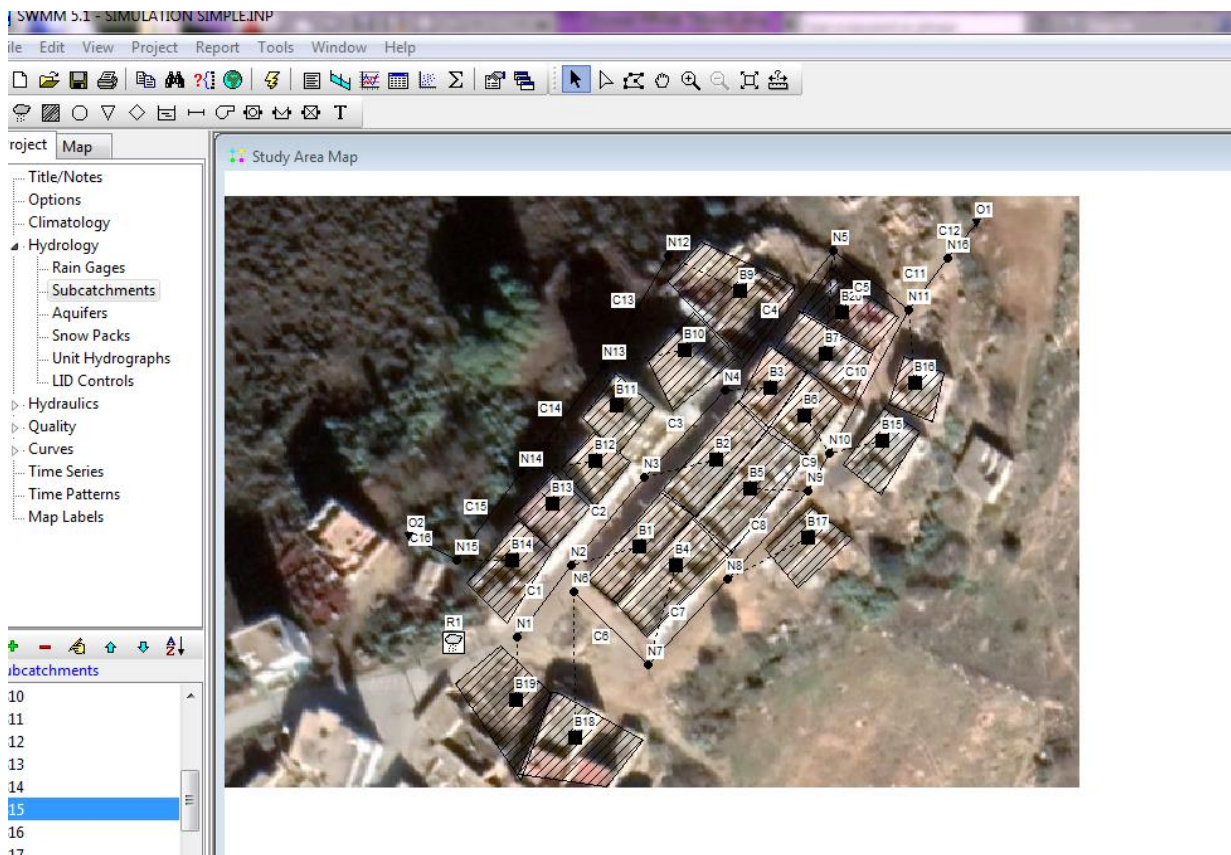


Figure IV.5 :Le découpage la zone d'étude en sous bassin versants .

Ona proposé une station pluviométrique R1 et deux exutoires O1 et O2

CHAPITRE IV : SIMULATION HYDRAULIQUE DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT AVEC LES INFRASTRUCTURS LID

Après avoir terminé le dessin, nous entrerons les données en fonction de la capacité de ce que nous avons apporté pour chaque élément, comme le montre la Figure IV.6 ;

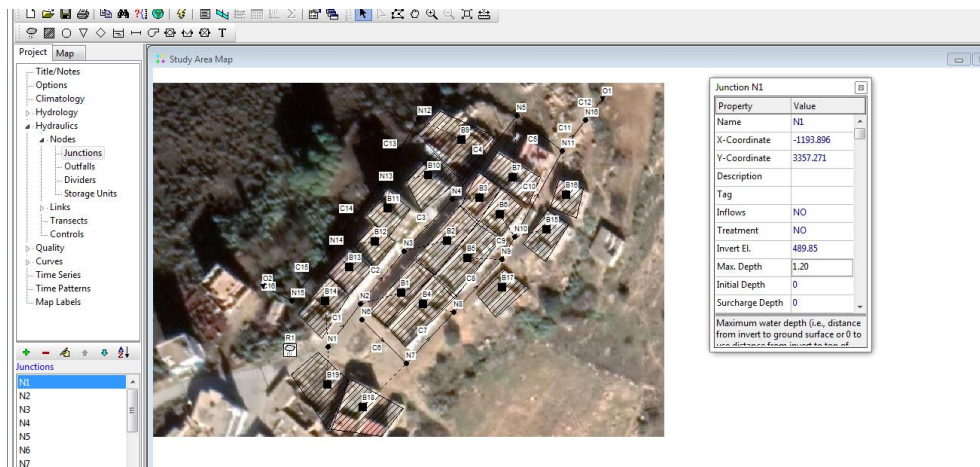


Figure IV.6 : Ecriture des données des profondeurs

IV.2.1 La conduite (Links)

La conduite ou tronçon, compris entre deux nœuds, est composée de plusieurs données importantes :

- Le diamètre
- La longueur
- La rugosité

Comme ce qui est représenté dans la Figure IV.7 ;



Figure IV.7 : Ecriture des données des conduits

CHAPITRE IV : SIMULATION HYDRAULIQUE DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT AVEC LES INFRASTRUCTURS LID

IV.2.2 Le Bassin Versant ou sous bassin versant (Subcatchment)

Le bassin regroupe les paramètres morphologiques, hydrologiques et hydrogéologiques tels que :

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

Comme ce qui est représenté dans Figure IV.8 ;



Figure IV.8 :Ecriture des données des sous bassins versants

IV.2.3 Les données pluviométriques (Rain gage) :

Pour la station pluviométrique R1 nous avons entrés les mesures de la Pluies de projet de la zone d'étude (Donnée de DRE nedroma) avec temps en heures (6 heures) et intensité en millimètres comme indiqué dans Figure IV.9 ;

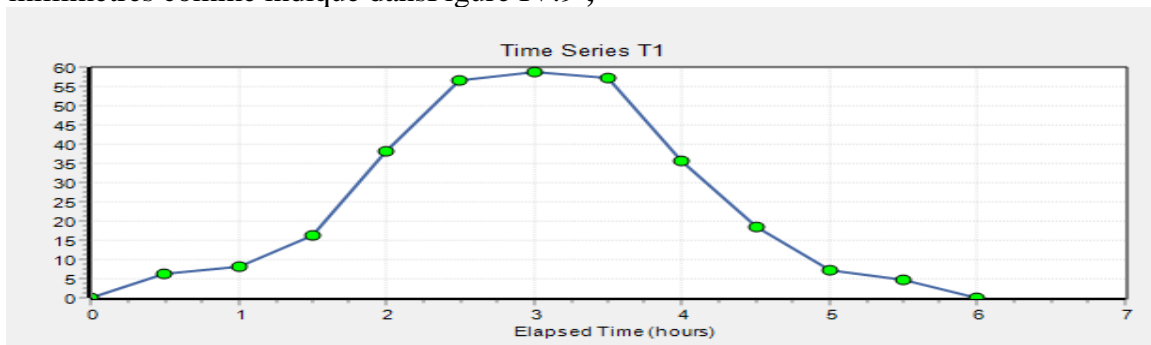


Figure IV.9 : la saisie des données de station pluviométrique. Donnée de DRE nedroma

CHAPITRE IV : SIMULATION HYDRAULIQUE DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT AVEC LES INFRASTRUCTURES LID

Après toutes ces étapes que nous avons effectuées, nous cliquons sur l'icône de la simulation.

IV .3.Simulation de réseau avec LID control

Nous mettons une surface verte « L1 » dans chaque zone des bassins, puis nous faisons la simulation finale. Pour plus d'explications voir (Figure IV.10, Figure IV.11) ;

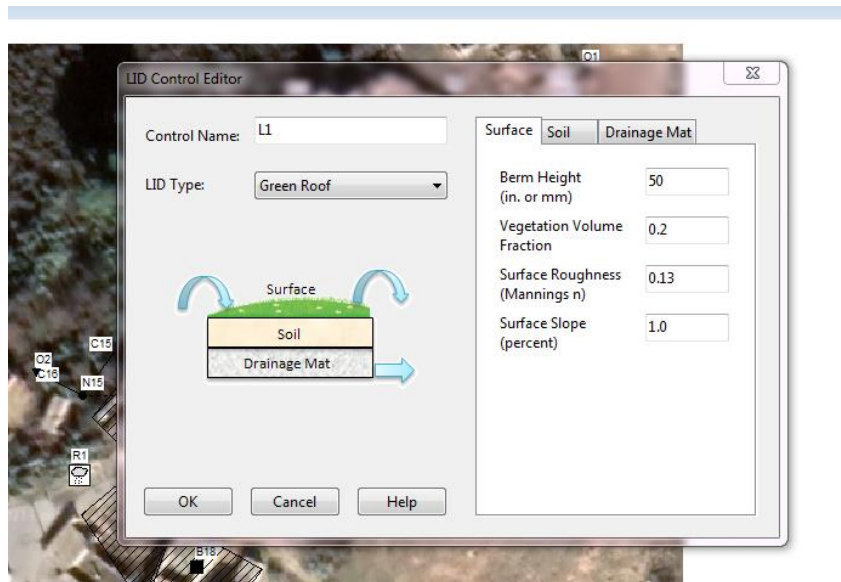


Figure IV.10: Photo montrant le choix du toit vert.

Nous modifions les dimensions et l'épaisseur des espaces verts, voir Figure IV.16

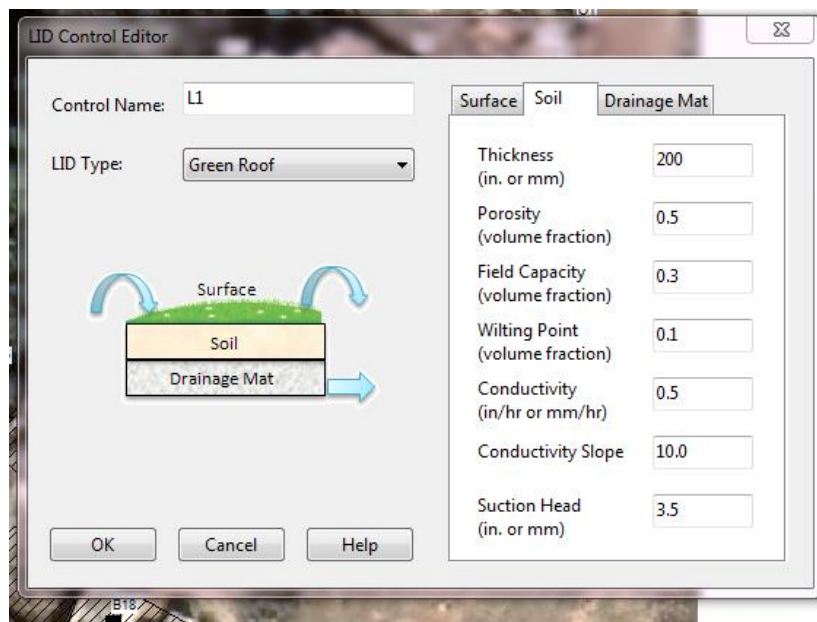


Figure IV.11 : modification des dimensions et l'épaisseur des espaces verts.

En ajoute LID L1 sur tous les sous bassins versants, voir Figure IV.17 ;

CHAPITRE IV : SIMULATION HYDRAULIQUE DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT AVEC LES INFRASTRUCTURES LID

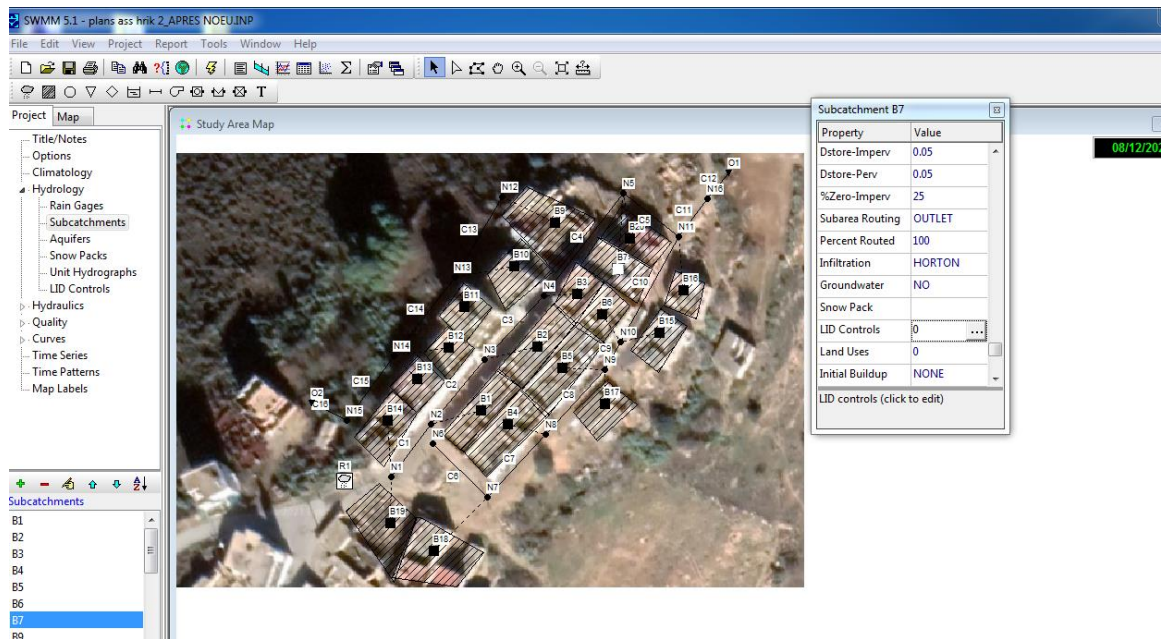


Figure IV.12: Une photo montrant l'ajout de la surface verte dans les bassins.

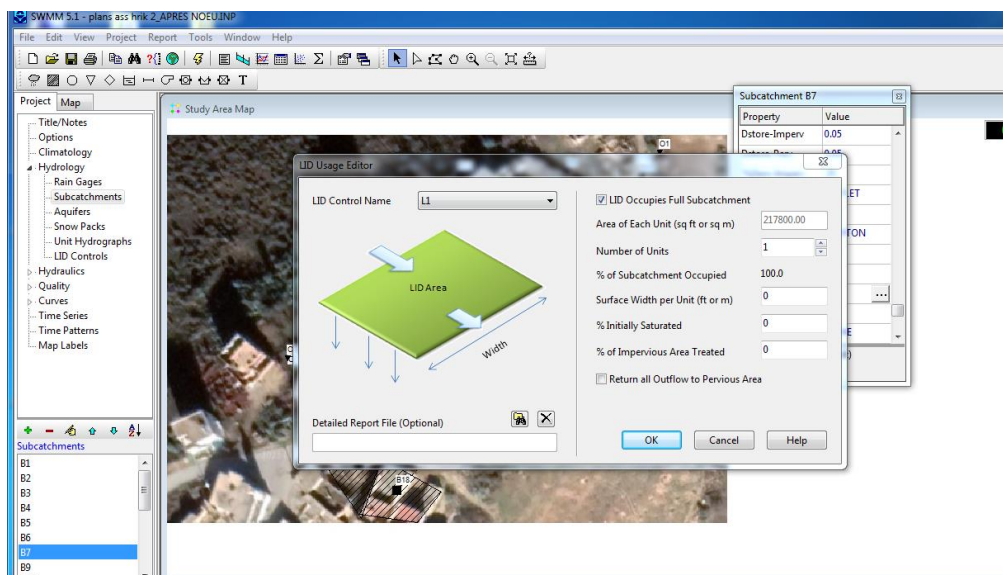


Figure IV.13: Une photo montrant la sélection de toute de la surface verte dans les bassins.

Comme vous pouvez le voir sur les Figures précédemment, nous avons choisi la toiture végétalisée parmi de nombreuses options, en fonction de la zone étudiée.

IV.4 Résultats et discussion

Cette partie présente les résultats de la simulation du réseau d'assainissement de la zone ELHraik avec SWMM 5.1 dans le but de montrer l'efficacité des toitures verts sur la diminution des eaux de ruissellement.

IV .4.1.Le profil en long :

Le profil en long est utilisé pour spécifier un chemin d'accès des liaisons du système de drainage urbain connecté, sur lequel un profil de profondeur d'eau par rapport à la distance doit être dessiné. Pour définir un chemin à l'aide de la boîte de dialogue:

1. Nous avons tout d'abord entrer l'ID du nœud en amont du premier lien dans le champ d'édition du nœud de départ ;
2. Nous avons entrer l'ID du nœud en aval du dernier lien dans le chemin dans le champ de l'édition du nœud final ;
3. en Cliquant sur le bouton rechercher un chemin, pour que le programme identifie automatiquement le chemin avec le plus petit nombre de liens entre les nœuds de début et de la fin. Ceux-ci sont répertoriés dans la zone Liens dans le profil.

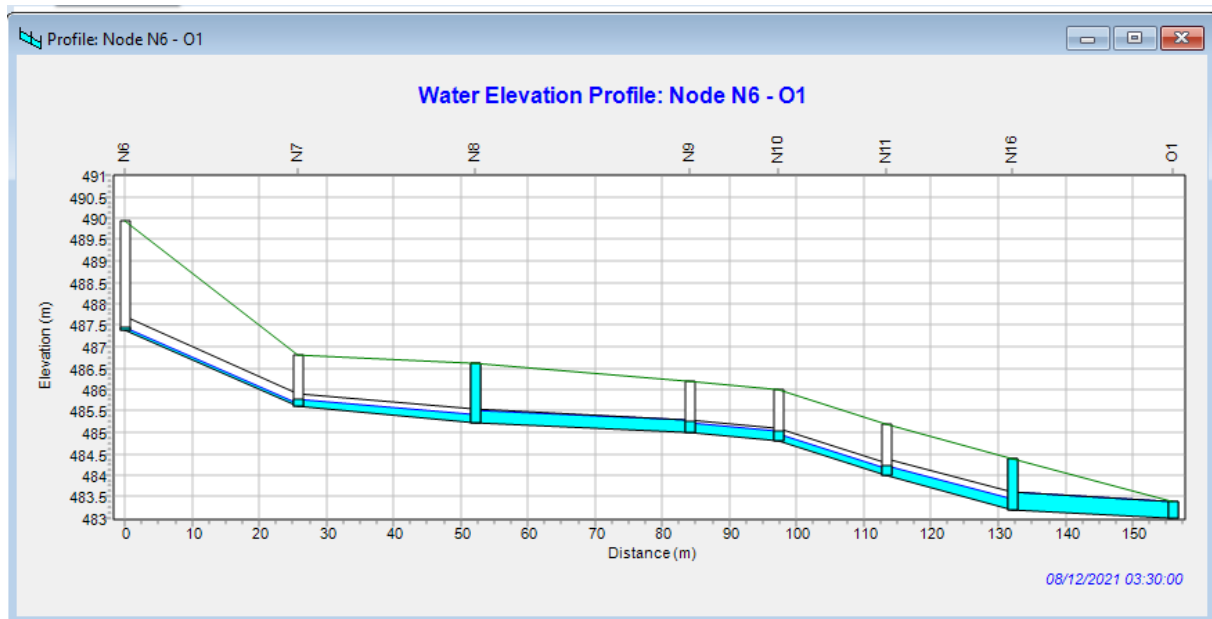


Figure IV.14 :Profile en long nœud [N6-O1] de la première simulation.

La figure IV.14 présente le profil en long dans la conduite [N6-O1] de la première simulation. Cette figure montre qu'il y a une surcharge dans les tronçons [N8- N9] et [N16-O1]. Même remarque dans la figure IV.15 où il y a une surcharge dans le tronçon [N16-O1].

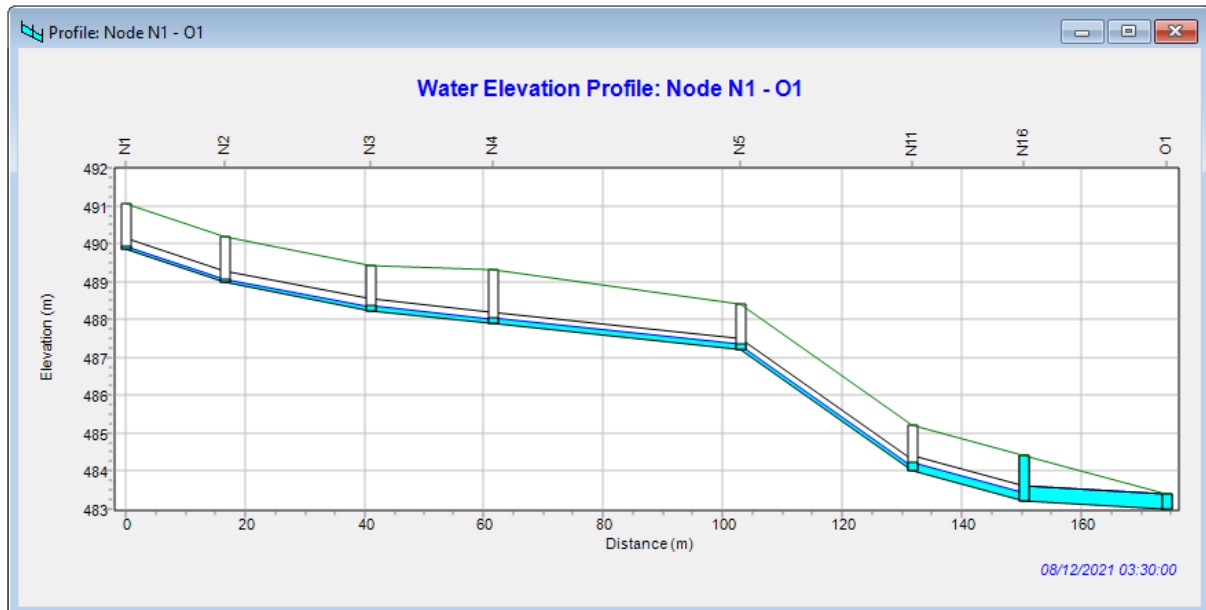


Figure IV.15 : Profile en long nœud [N1-O1] de la première simulation.

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 dans les nœuds N8– N9-N16 et O1 qui est provoqué par la surcharge des conduites. A terme de cette première simulation, il est clair qu'à ce stade notre réseau est mal dimensionné ; ce qui peut engendrer des dysfonctionnements et des inondations lors d'évènements pluvieux importants, ce qui nous oblige à procéder à des modifications sur le réseau. Nous allons ajouter une fonctionnalité LID CONTROL et de vérifier le fonctionnement du réseau par d'autres simulations.

CHAPITRE IV : SIMULATION HYDRAULIQUE DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT AVEC LES INFRASTRUCTURS LID

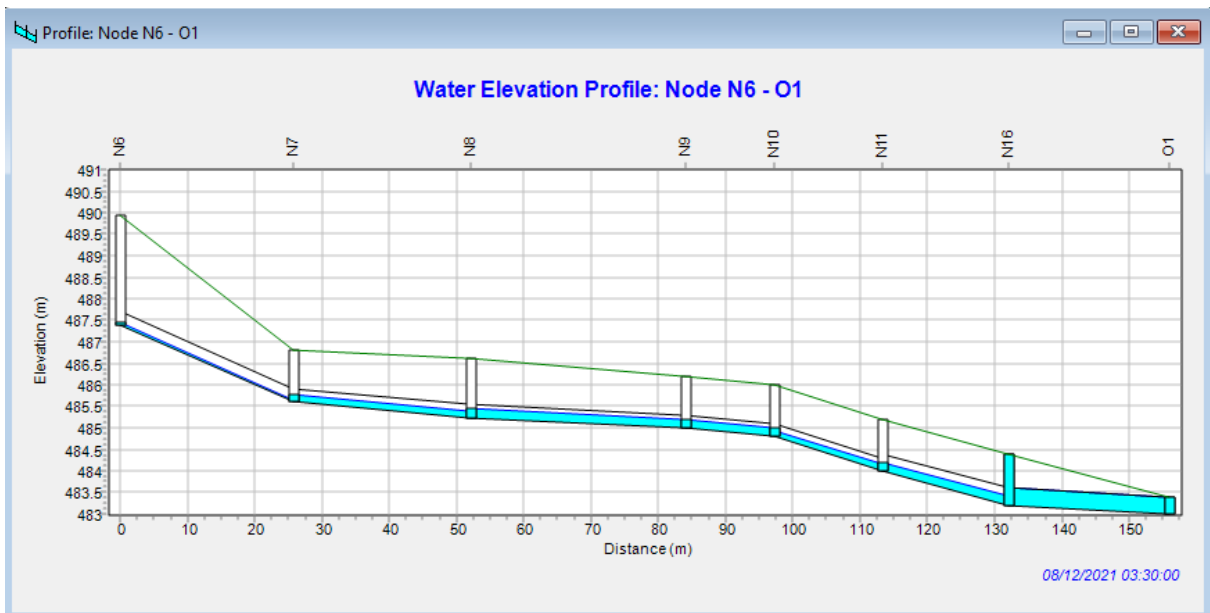


Figure IV.16 : Profile en long nœud [N6-O1] de la simulation avec LID control.

La figure IV.16 présente le profile en long dans la conduite [N6-O1] après l'utilisation des toits verts. Cette figure montre qu'il y a une surcharge seulement dans le tronçon [N16-O1]. Même remarque dans la figure IV.17 où il y a une surcharge dans le tronçon [N16-O1].

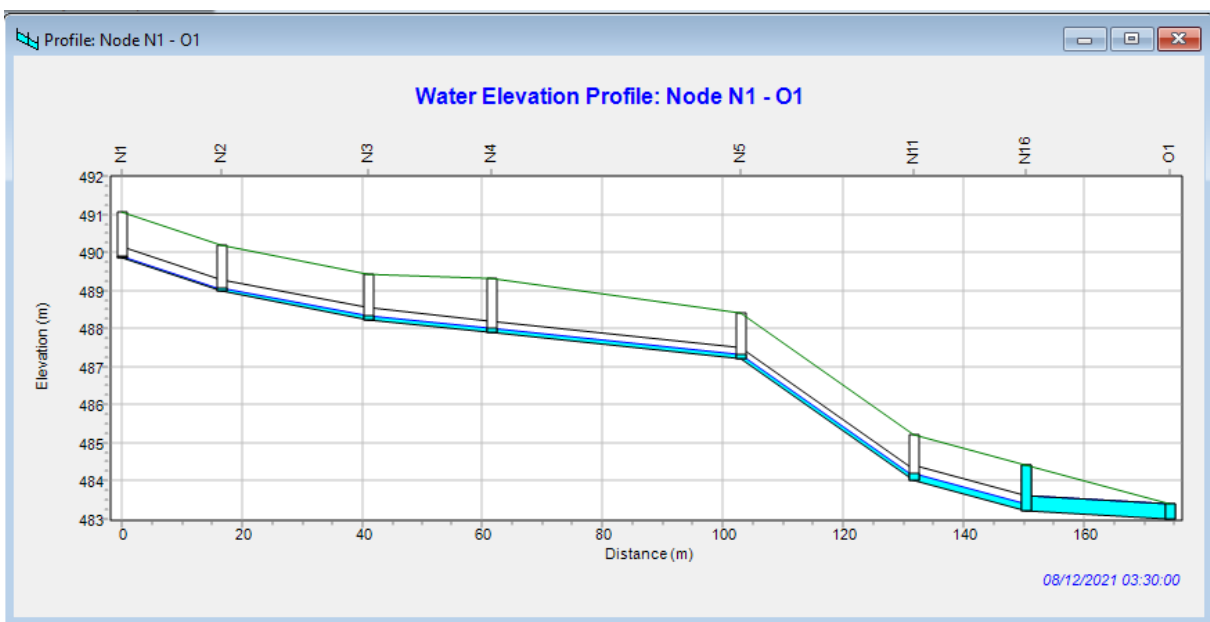


Figure IV.17 : Profile en long nœud [N1-O1] de la simulation avec LID control.

La comparaison entre la figure 14 et 16 montre qu'il n'y a pas de surcharge dans le tronçon [N8-N9] donc les toitures vertes peuvent réduire les volumes des eaux pluviales. On remarque aussi qu'il y a un abaissement du niveau d'eau dans les tronçons [N11-N16] (voir les figures IV.15 et IV.17).

IV.4.2. Débit sur les conduites

Afin de montrer l'efficacité des toitures vertes sur l'assainissement des eaux pluviales, nous avons présenté l'hydrogrammes du débit dans le tronçon C8 [N8-N9] qui subit un débordement avant et après l'utilisation des toitures vertes. Dans la figure IV.18 le débit de pointe atteint 0,11m³/s mais dans la figure IV.19 le débit de pointe est 0,1 m³/s. Cette diminution du débit est due par les toitures vertes.

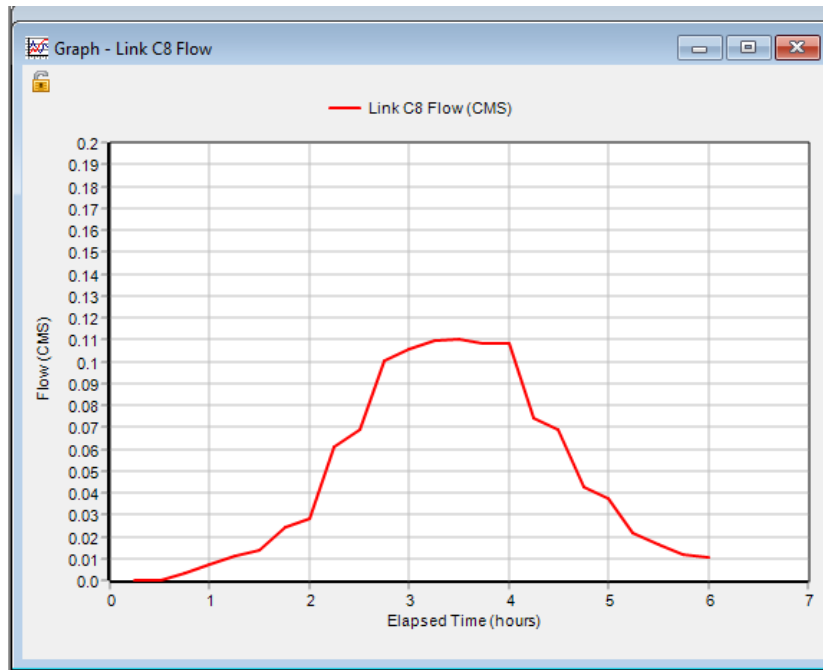


Figure IV.18 : Hydrogrammes du débit dans la conduite C8 sans LID control .

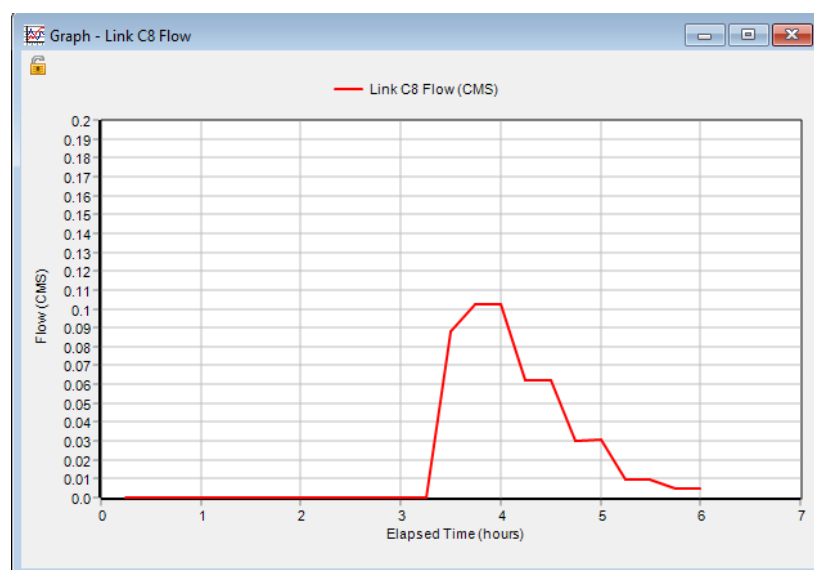


Figure IV.19 :Hydrogrammes du débit dans la conduite C8 avec LID control.

CHAPITRE IV : SIMULATION HYDRAULIQUE DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT AVEC LES INFRASTRUCTURES LID

IV.4. 3. Profondeur d'eau dans les conduites :

A titre représentatif, nous avons choisi le tronçon C11 [N11-N16] dans lequel nous avons constaté un abaissement du niveau d'eau par l'utilisation des toitures vertes. Dans la figure IV.20 la profondeur maximale atteinte est 0,24 m mais dans la figure IV.21 la hauteur d'eau maximale est environ 0,225 m. Cette diminution de la profondeur est due par les toitures vertes.

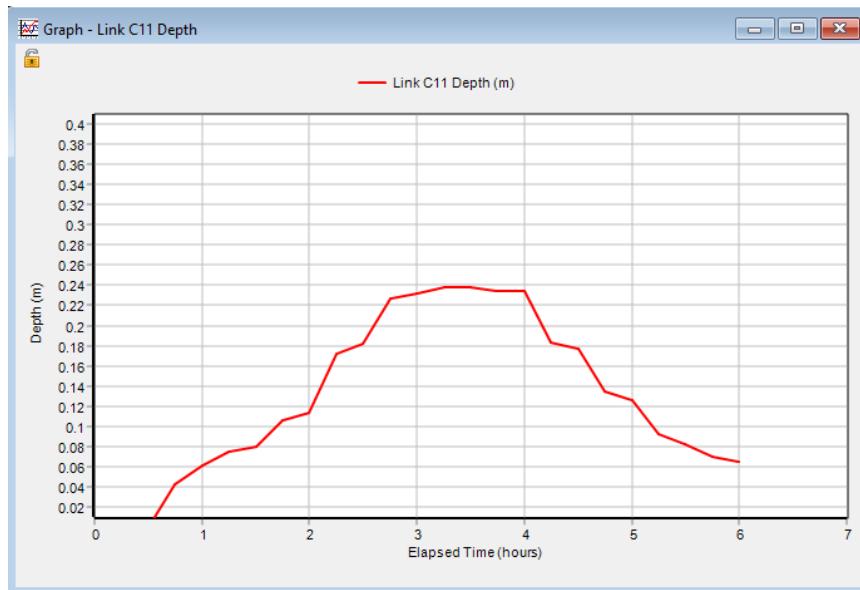


Figure IV.20: la profondeur dans la conduite C11 sans LID control .

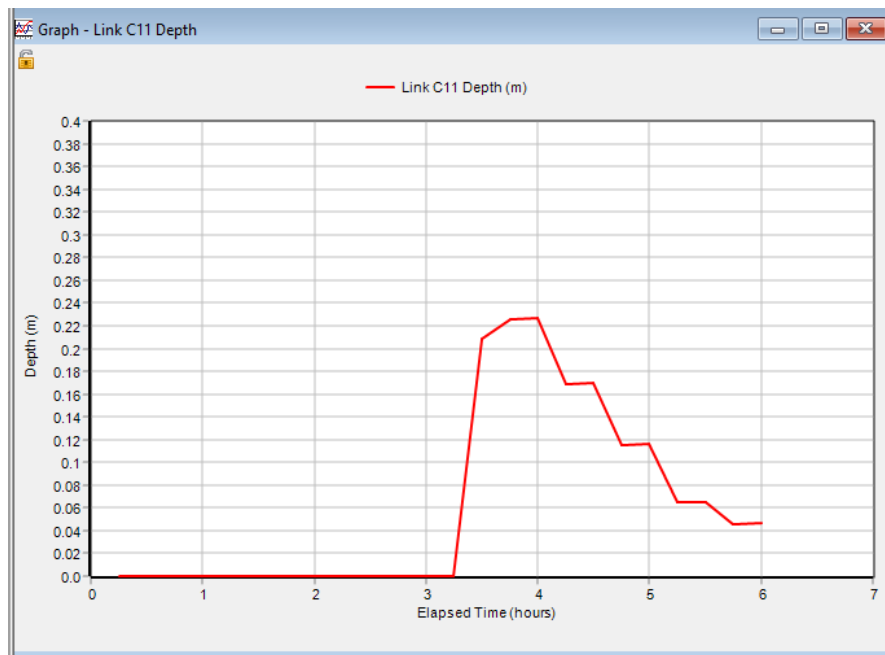


Figure IV.21: la profondeur dans la conduite C11 avec LID control .

CONCLUSION GENERALE

La question de la gestion de l'eau en milieu urbain est au centre des préoccupations de notre société. En effet, l'urbanisation a des impacts significatifs sur la gestion des eaux pluviales. Toutes les eaux ruisselantes sont dirigées vers le réseau de drainage urbain menant parfois à des dépassements de la capacité du réseau et, conséquemment, à des problèmes d'inondations et de refoulements d'égout. Les changements climatiques ont pour conséquence de bouleverser les conditions pluviométriques actuelles. Une fréquence accrue des averses est prévue. De nombreuses villes auront à faire face à ces changements qui accroissent la nécessité d'avoir recours à une gestion des eaux de ruissellement.

Le *Low Impact Development*(LID) ou *Gestion Durable des Eaux de Pluie* (GDEP) constituerait une approche efficace pour contrôler les nuisances associées aux eaux de ruissellement et protéger le développement des bassins versants.

Le programme SWMM aide grandement à contrôler et à faire fonctionner correctement l'eau de pluie, surtout dans les grandes villes qui ont une densité de population importante et des surfaces non épuisables pour éviter les inondations.

L'objectif de cette étude est de quantifier les effets des aménagements Low Impact Development (LID) sur les eaux de ruissellement en milieu urbain. Pour cela, nous avons choisi la région d'Al-Haraïk comme une zone d'étude.

Ce travail a montré que les toitures vertes peuvent réduire les volumes des eaux pluviales. Elles ont supprimé une surcharge et ont abaissé le niveau d'eau dans quelques conduites.

Références bibliographiques

- [1]Kerboussa.N., 1992 : étude de VRD du lotissement AMAGGARINE, mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'étatDes travaux géodésiques Genie Civil. Centre national des techniques spatiales àARZIO – wilaya de BLIDA.
- [2] Derias.S ., 2005 :«Etude de rénovation et d'extension du réseau. d'assainissement de la ville de chebli Blida» ; mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique wilaya de Blida de Ecole nationale supérieure de l'hydraulique Arbaoui Abdallah; Département des spécialités-wilaya de BLIDA.
- [3] 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.
- [4] Abdel Aziz.S. ,2003 : Etude de diagnostic du réseau d'assainissement de la ville de Cheréa (w. Blida)».Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique. Ecole nationale supérieure de l'hydraulique Arbaoui Abdallah; Département des spécialités ; wilaya de Blida.
- [5]Azira. K., Juin 2005 : Etude de la réhabilitation du réseau d'assainissement de La ville de Boughzoul (Wilaya De Médéa) ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique option : Conception des Systèmes d'assainissement, Ecole nationale supérieur de l'hydraulique ENSHBLIDA.
- [6] Chibane.Farhat., 2011 : « Etude du réseau d'assainissement de la localité de TAGMA commune de Ain Fezza », projet de fin d'études pour l'obtention de master en hydraulique urbaine, Département hydraulique- Université de Tlemcen.
- [7]Marc S et Bechir S., 2006 : Guide technique d'assainissement, Edition le Moniteur. Paris.
- [8] Ghali S., 2012. «Etude d'un schéma directeur d'assainissement de la ville Marsa Ben M'hidi» ; Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en hydraulique; Université Abou BekrBelkaid; Tlemcen.
- [9] Ndiaye Ousmane et Sarr Abdou Gaye; 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.

- [10] Haddad.A. 2005 :« Diagnostic et extension du réseau d’assainissement de la ville de HADJOUT (Wilaya de TIPAZA) » projet de fin d’étude pour l’obtention du diplôme d’ingénieur d’état en hydraulique Option: Conception Des Systèmes d’Assainissement- école nationale supérieur de l’hydraulique ENSH. Wilaya de BLIDA.
- [11] Girard M.-C., Schwartz C., Jabiol B., 2011. Etude des sols, Description, cartographie, utilisation. Collection: Sciences Sup, Dunod, 2ème édition, Paris, 432 p.
- [12] Girard M.-C., Walter C., Rémy J.-C., Berthelin J., Morel J.L., 2011. Sols et environnement. Cours, exercices corrigés et études de cas. Collection: Sciences Sup, Dunod, 2ème édition, Paris, 896 p.
- [13] De Marsily G., 1981. Hydrogéologie quantitative. Masson, Paris.
- [14] Casenave A., Valentin C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne : influence sur l’infiltration. Didactiques, Orstom, Paris, 229 p.
- [15] Bouhant C., 2012, Diagnostic du Réseau d'Assainissement de La ville AHMEDRACHDI, Wilaya de Mila via SWMM, Mémoire d'Ingénieur d'État en Hydraulique école nationale polytechnique d’Alger.
- [16] Lewis A. Rossman., 2015, Environmental Scientist, Emeritus U.S.
- [17] Lewis A. Rossman (Environmental Scientist, Emeritus U.S.), 2015: Environmental Protection Agency, Storm Water Management Model User's Manual, Office of Research and Development Water Supply and Water Resources Division. Version 5.1.
- [18] 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.
- [19] Wood-Ballard, B., R. Kellagher, P. Martin, C. Jefferies, R. Bray et P. Shaffer. 2007. The SUDS manual. London: CIRIA.
- [20] <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>. (Consulté le 23/07/2021).
- [21] <https://www.usherbrooke.ca/cufc/pour-votre-perfectionnement/offre-detail/offredetail/203/modelisation-a-laide-du-logiciel-d-hydraulique-swmm>. (consulté le 25/07/2021).

[22]Laboratoire Hydrologie et Aménagement (HYDRAM).,2008 : Modélisation de la gestion des eaux de pluie en milieu urbanisé, méthodologie de construction d'un modèle en vue d'une application avec le logiciel PCSWMM.net. Rapport de master.

[23]Marion .Telliez., 2010 :Manuel d'initiation EPA SWMM5.

[24]Drake J, Bradford A, Marsalek J (2013) Review of environmental performance of permeable pavement systems: state of the knowledge. Water Quality Research Journal of Canada. 48(3):203-222.

[25]ICPI (2007) The Role of Joint Filling Materials in Permeable Interlocking Concrete Pavements. Interlocking Concrete Pavement Magazine. (May 2007): 16-18.

[26]Eisenberg B, Collins K, Smith D (2015) Permeable Pavements. ASCE, États-Unis, 262 p

[27]Paiva L, Grenier J (2015). Le pavé perméable et la qualité des eaux pluviales. Congrès Infra 2015 (Québec, 30 novembre - 2 décembre 2015).

[28]Peck S, Kuhn M (2001) Lignes directrices de conception de toits verts. Ottawa, Ontario Association of Architects, Société canadienne d'hypothèque et de logement, 22 p.

[29]MddepetMamrot(2011) Guide de gestion des eaux pluviales. Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, 386 p.

[30]Mailhot A, Talbot G, Panthou G (2014). Mise à jour de certains paramètres du Manuel de conception des ponceaux et des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF). Québec, Institut national de la recherche scientifique. 102 pp (INRS - Centre Eau Terre Environnement, rapport de recherche; 1505).

[31]DRE,2014, AssainissementHRIK , NEDROMA TLEMCEN

[32]<https://earth.google.com/web/@34.99313994,-1.78296486,593.31318333a,232.02712289d,35y,0h,0t,0r>(consulté le 07/08/2021)

