



Université Mohammed Premier Ecole Nationale des
Sciences Appliquées Al-Hoceima



Département : Génie Environnement & Génie Civil

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

En Génie Civil

Modélisation hydraulique et étude de détail du
Collecteur d'eau pluviale HA (Sidi Moumen Casablanca) et
ses ouvrages annexes.

Réalisé Par :

Mr. JIFER Soufiane

Effectué au bureau d'études :

C3E



Conseil Eau Environnement et Energie

Encadré à l'ENSAH par : MR. EL HAIM Mohamed

Encadré à C3E par : Mme. KDADRI Wafaa

Mr. BACHRI Abdelhadi

Soutenu le 20 juillet 2017

Devant le jury composé de :

Prof. El Haim Mohamed : Encadrant interne

Prof. Ikharazne Lmokhtar : Examinateur

Prof. Zerfaoui Mustapha : Examinateur

Année universitaire : 2016/2017

Dédicaces

*Aux deux êtres qui me sont les plus chers au monde
Qui ont fait de moi ce que je suis
Mes parents, vous qui m'avez élevé, qui m'avez toujours soutenu
Vous qui n'avez jamais cessé de croire en moi*

A ma sœur

A mon petit frère

A toute ma famille

*A tous mes amis et toutes mes amies pour leur disponibilité
inconditionnelle et amitié rare*

*A tous ceux qui ont contribué à ma formation, partant de mes
enseignants primaires et arrivant à mes professeurs au sein de
l'ENSAH*

*A tous ceux que je connais et qui m'ont fait honneur de leurs conseils
indéniables*

Je dédie ce modeste travail

JIFER Soufiane

Remerciements

Ce travail, ainsi accompli, n'aurait point pu arriver à terme, sans l'aide et le guidage d'Allah, louange au tout miséricordieux ; le Seigneur de l'univers.

La réalisation de ce travail aurait été plus ardue sans le concours de personnes à qui nous souhaitons exprimer ici ma reconnaissance.

Je tiens en premier lieu à exprimer toute ma gratitude à Monsieur LAHMINE Nouâmane Directeur General de C3E pour m'avoir ACCUEILLI comme stagiaire.

Nous adressons nos remerciements spécialement aux encadrants externes Mr. BACHRI AbdelHadi et Mme. KDADRI Wafaa Ingénieurs d'étude au sien de C3E, pour leur générosité, leur disponibilité, leurs savoirs qu'ils ont partagés avec toute spontanéité, leurs conseils, leurs critiques constructives, et leur patience.

Egalement, je remercie mon encadrant interne Monsieur EL HAIM Mohamed, Professeur à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Al Hoceima pour m'avoir encadré de près et pour les efforts qu'il a consentis et ses conseils précieux.

A la fin, nous tenons également à remercier les membres du jury qui ont accepté de juger mon modeste travail.

Résumé

Mon projet de fin d'études traite la réalisation d'une étude hydraulique de la zone Sidi Moumen situé dans la province de Casablanca. Cette dernière est une zone à haute risques d'inondation à cause de sa topographie et de son urbanisation non contrôlée.

Cette étude a pour objectifs de réaliser un diagnostic au niveau de la zone sidi Moumen afin de déterminer la zone inondable à l'aide du logiciel Arcgis, une modélisation hydraulique du réseau ainsi que l'étude de détail du collecteur et ses ouvrages annexes.

A l'issue de cette zone d'étude, il s'est avéré que la zone manque d'un réseau d'assainissement. Le dimensionnement de ce réseau révèle qu'il faut prévoir un réseau primaire d'une longueur de 2483m et qui sera posé en galerie vue les profondeurs observées, et 2447 m en tranchée n plus de ce réseau il faut prévoir des antennes secondaires permettant le raccordement du réseau existant à cette nouvelle infrastructure

Mots clés : Crues, Modélisation, sidi Moumen, Arcgis, inondation, Protection.

Table des matières

Introduction générale.....	10
1. Contexte du stage.....	10
2. Intérêts de l'assainissement pour une ville.....	10
3. Contexte de l'étude.....	11
4. Organisation du projet	11
5. Présentation des organismes.....	12
a. Présentation du Maître d'Ouvrage.....	12
b. Présentation du bureau d'études.....	13
Chapitre 1. Recherche bibliographique.....	15
Introduction.....	15
1. Les systèmes d'évacuation des eaux pluviales.....	15
2. Les analyses de sites	16
a. La morphologie du terrain et topographie	16
b. Pédologie et géotechnique.....	16
c. Perméabilité.....	16
d. Résistance des sols.....	16
3. Pluviométrie et précipitation	17
4. Occupation des sols	17
5. Les systèmes d'évacuations des eaux pluviales.....	18
a. Le système unitaire	18
b. Le système séparatif	18
6. Eaux pluviales : aspect quantitatif.....	19
a. La transformation pluie-débit.....	19
b. L'intensité courbe IDF.....	20
7. Choix des matériaux de conduite	20
8. Choix des collecteurs	22
9. Les éléments d'un réseau d'assainissement	22
a. Raccordement Collecteur Regards	22
b. collecteur.....	23
c. Boite de branchement	23
d. Exutoire.....	23

10.	Présentation des logiciels	23
a.	Arcgis.....	23
b.	Swercad (Stormcad) v8i.....	24
11.	PRINCIPE DE CONCEPTION.....	24
Chapitre2. La modélisation hydraulique		26
1.	Généralités.....	26
2.	Contexte et objectifs	26
3.	Objectifs de la modélisation dans le cadre de l'étude.....	27
3.1	Caractéristique de la zone d'étude.....	27
a.	Situation géographique.....	27
b.	Précipitation.....	28
3.2	Problèmes liés à l'assainissement zone sidi Moumen.....	29
3.3	Critères de conception	29
a.	Création d'un MNT sans dépression.....	29
b.	Identification des cuvettes.....	29
c.	Remplissage de cuvettes.....	29
d.	Direction de flux.....	30
e.	Accumulation de flux.....	30
f.	Bassin.....	31
g.	Topographie	32
4.	Délimitation des bassins versant sous swercad v8i.....	33
5.	Implantation des regards et de canalisations	34
6.	Résultat final	35
7.	Intégration des données hydrologiques	36
a.	Intensité hauteur de pluie courbe IDF.....	36
b.	Contraints.....	37
8.	Résultats et simulation	37
Chapitre 3 : Eléments de détails.....		41
1.	Principales caractéristiques des conduites.....	42
2.	Regards de visite sur collecteur réaliser en tranchée.....	42
3.	Description des puits d'accès sur la galerie.....	42
4.	Méthode de réalisation des travaux en tranchée.....	43
5.	Méthode de réalisation des travaux en galerie.....	43

Conclusion..... 42
Bibliographie.....43

Liste des figures

Figure 1: les activités de lydec sur la région du grand Casablanca	13
Figure 2 : prestation et métiers du bureau d'étude C3E	14
Figure 3: Rayon hydraulique	24
Figure 4: regard de visite.....	26
Figure 5: Exemple raccordement regard collecteur.....	26
Figure 6: boîte de branchement.....	26
Figure 7: la pente critique	36
Figure 8: situation géographique	39
Figure 9: Variations intra-annuelles des précipitations moyennes mensuelles.....	39
Figure 10: Variations interannuelles des précipitations totales annuelles	40
Figure 11: remplissage des cuvettes	41
Figure 12: générer la direction de flux et accumuler de flux sous arc-gis.....	42
Figure 13 : délimitation des bassin de la zone de sidi moumen sous arc-gis.....	42
Figure 14: simulation de l'inondation de la zone d'étude sous Arcgis.....	43
Figure 15: inondation à Sidi Moumen en 2017	43
Figure 16: délimitation des sous bassins versants	44
Figure 17: représentation des regard sous swercad	45
Figure 18: représentation des conduite sous swercad	46
Figure 19: représentation finale du plan de projet	46
Figure 20: la courbe pluie double triangle	47
Figure 21: la vitesse maximale et minimale	48
Figure 22: la pente maximale et minimale.....	48
Figure 23: couverture maximale et minimale	49
Figure 24: taux de remplissage.....	49
Figure 25: Regard de visite	50
Figure 26: puits d'accès sur la galerie	50

Liste des tableaux

Tableau 1 : différents types de conduites et leurs caractéristiques	21
Tableau 3: coefficient de Montana Casablanca	47
Tableau 4: Résultats final du projet	50

Abréviation

ONEE : Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable.

LYDEC : Lyonnaise Des Eaux de Casablanca

C3E : Conseil d'Eau Environnement et Energie.

BV : Bassin Versant.

PVC : Le polychlorure de vinyle.

PEHD : Polyéthylène Haute Densité.

PRV : polyester renforcé de verre.

MNT : model numérique de terrain.

1. Contexte du stage

Dans le cadre de ma formation en génie civil option hydraulique à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'AL-Hoceima, un stage de fin d'étude dans un bureau d'étude est nécessaire pour mettre en œuvre les connaissances acquises le long de cette formation et d'améliorer mes compétences techniques.

De ce fait, mon choix a été porté sur un travail s'intéressant à l'assainissement au sein d'un bureau d'étude. En effet, la problématique d'assainissement au Maroc revêt un intérêt majeur.

2. Intérêts et enjeux de l'assainissement au Maroc

L'assainissement des agglomérations a pour but d'assurer la collecte, le transport et la rétention et le traitement de l'ensemble des eaux polluées, pluviales et usées, avant leur rejet dans le milieu naturel par des modes compatibles avec les exigences de la santé publique et de l'environnement.

L'assainissement revêt donc des aspects très complexes à la fois technique sanitaire écologique législatif et économique.

Le Maroc a vu ses efforts de généralisation de l'accès à l'assainissement tant en milieu rural qu'urbain reconnus à l'échelle internationale. Les réalisations dans les secteurs de l'assainissement ont été marquées par un tournant majeur enregistré durant la dernière décennie 2001-2011 et qui ne cesse pas d'évoluer. En effet, et conformément aux orientations Royales formulées lors du Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat du 21 juin 2001 invitant les acteurs du secteur de l'eau à s'orienter vers l'amélioration et la protection de l'environnement, et l'adoption d'une stratégie basée sur la sécurisation et le renforcement des interventions actives dans le domaine de l'assainissement liquide et la préservation de l'environnement.

Les statistiques officielles révèlent que 85 % des centres urbains subissent des inondations dont 45% sont dues à des insuffisances du réseau d'assainissement classique.

Par ailleurs, la croissance urbaine au Maroc est de 4,5/an et le processus d'urbanisation est loin d'être terminé. Alors, face à cette situation, et compte tenu du retard à rattraper dans ce domaine, les enjeux pluviaux sont et seront d'une grande importance.

En se cantonnant dans la logique d'assainissement pluvial classique, cela nécessiterait la mobilisation de ressources financières de plus en plus considérable.

3. Contexte de l'étude

Notre sujet s'intéresse au domaine de l'assainissement pluvial et il traite le thème intitulé : Dimensionnement hydraulique et étude de détail d'un réseau l'assainissement des eaux pluviales, C'est un sujet a nécessité d'un travail de quatre mois près.

Le cas étudié est celui de la zone de Sidi Moumen qui fait partie du territoire de la Lydec. Cette dernière a chargé le bureau d'étude C3E pour mener cette étude.

La zone sidi Moumen connaît dernièrement un fort développement urbanistique ce qui a influencé sur l'augmentation du débit de pointe et le volume ruissellement due à l'imperméabilisation du sol de ce secteur mais aucun développement des réseaux existant n'a été suivi, ce qui a provoqué des inondations qui peuvent être plus fréquentes et plus importantes.

4. Organisation du projet

En incluant le présent chapitre d'introduction, les différentes parties suivantes du présent rapport comprend quatre chapitres.

- Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique sur l'information de base venant appuyer les techniques de gestion des eaux pluviales et qui décrit les différents types de système d'évacuation des eaux pluviales, et les éléments qui peuvent avoir un impact important sur les paramètres influençant le ruissellement, ainsi que les méthodes de dimensionnement des canalisations, les différents types de matériaux de conduite ; En fait, ce chapitre décrit de façon générale les systèmes de drainage, leurs différentes composantes ainsi que les approches à privilégier pour la conception. Une présentation des logiciels utilisé dans le présent projet sera détaillée à la fin de ce chapitre.

- Le deuxième chapitre traite les différentes étapes de la modélisation pour élaborer un modèle de simulation numérique à l'aide du logiciel approprié.
- Le troisième chapitre, on évoque les informations nécessaires pour la conception des systèmes de drainage des eaux pluviales, et on décrit les différentes étapes pratiques et techniques utilisées pour l'implantation des canalisations, puis on traite les critères de choix du type de la conduite.
- Le quatrième chapitre évoque les différentes caractéristiques des conduites, et les méthodes de réalisations des travaux en galerie et en tranchée.
- Une conclusion à la fin de ce travail permettra de synthétiser les éléments traités et les connaissances qui ont pu être acquies le long de ce stage.

5. Présentation des organismes

a. Présentation du Maître d'Ouvrage

Lydec est un opérateur de services publics qui gère la distribution d'eau et d'électricité, la collecte des eaux usées et pluviales et l'éclairage public pour 4,2 millions d'habitants de la Région du Grand Casablanca (Maroc). Ces missions lui ont été confiées dans le cadre d'un contrat de gestion déléguée signé en 1997 par l'Autorité Déléguante (Communes urbaines de Casablanca, Mohammedia et Aïn Harrouda), l'Autorité de Tutelle (Ministère de l'Intérieur) et le Déléguataire (Lydec).

Elles jouent un rôle majeur dans l'urbanisation à long terme et dans la conception de l'agglomération de demain. Des experts dans nos métiers, participent à la réalisation des schémas directeurs de la ville et à l'élaboration de standards (en termes de qualité d'installation, de technologies...).

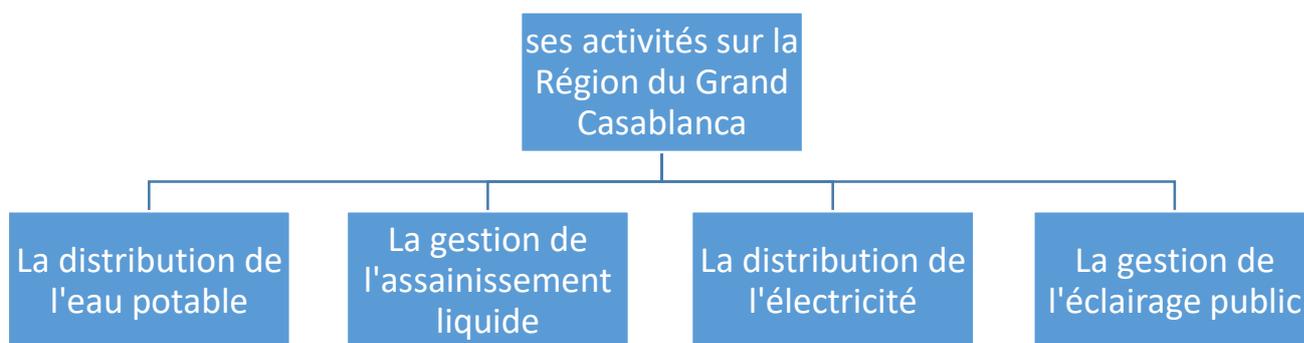


Figure 1: les activités de lydec sur la région du grand Casablanca

b. Présentation du bureau d'études

C3E, est une société anonyme de droit marocain filiale de la société SAFEGE, filiale Ingénierie de SUEZ ENVIRONNEMENT, leader français dans les domaines de l'hydraulique urbaine et du génie urbain.

Présente au Maroc depuis 1950, date de réalisation de l'adduction Oum Er R'biae, qui a renforcé l'amenée d'eau potable à la ville de Casablanca, SAFEGE connaît depuis un développement continu au Maroc. Au fil des années, le nom de SAFEGE a été associé aux plus grands Schémas Directeurs Eau et Assainissement non seulement des grandes villes marocaines (Casablanca, Rabat, Marrakech, Agadir, Fès) mais aussi à l'international (Abidjan, Bata, N'Djamena, Port au Prince).

En juin 2000, SAFEGE a créé sa filiale C3E pour être encore plus proches de ses clients et partenaires et leur garantir la qualité d'un service de proximité allié à la mobilisation des ressources d'un grand groupe.

Ainsi C3E hérite du passé de Safège au Maroc et s'ouvre vers l'avenir du Maroc avec un développement reposant sur une histoire de plusieurs décennies.

C3E réalise un chiffre d'affaire annuel moyen de 13 MDH HT réparti comme suit :

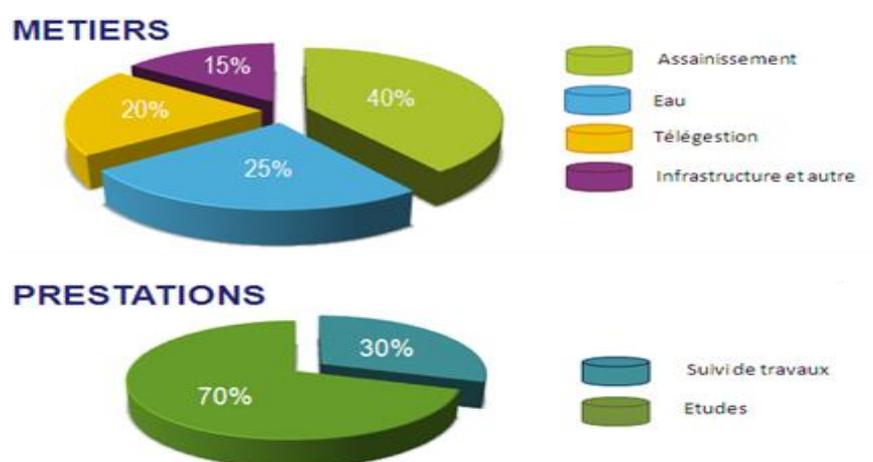


Figure 2 : prestation et métiers du bureau d'étude C3E

C3E compte 30 personnes, dont 60 % d'ingénieurs et 20 % de techniciens et projecteurs spécialisés.

Les ressources humaines jouent un rôle déterminant dans la stratégie et la réussite de l'entreprise. Les formations les plus représentées sont les suivantes : hydraulique, hydrogéologie, génie civil et travaux publics, génie urbain et rural.

Chapitre 1. Recherche bibliographique

Introduction

Ce travail de recherche bibliographique vise l'approfondissement des connaissances techniques dans le domaine de l'assainissement pluvial et permet également de donner les éléments de base qui serviront pour la suite de l'étude.

Cette recherche est subdivisée selon les six axes suivants et détaillés ci-après :

- *Les systèmes d'évacuation des eaux pluviales*
- *Eaux pluviales aspect quantitatif*
- *Dimensionnement des canalisations*
- *Choix des matériaux de conduite*
- *Identification des ouvrages sur un réseau d'assainissement*
- *Présentation des logiciels ^[1]*

1. Les systèmes d'évacuation des eaux pluviales

Le réseau d'assainissement d'une commune a pour rôle principal de collecter les eaux et de les acheminer jusqu'à une station d'épuration au moyen de collecteurs. Les canalisations en divers matériaux ou en ciment assurent le transport des eaux usées, soit naturellement soit sous l'effet de la pression.

On distingue deux systèmes collectifs de collecte et d'évacuation des eaux usées : les réseaux unitaires et les réseaux séparatifs.

Les réseaux unitaires permettent d'évacuer l'ensemble des eaux mais présentent un réel risque de débordement en cas de fortes pluies ou d'inondations. En cas de saturation, le débordement présente des risques pour la santé et l'environnement en raison de la nocivité du mélange. Les réseaux séparatifs quant à eux se divisent en deux réseaux : un réseau destiné à collecter les eaux pluviales et un second pour les eaux ménagères.

Ce dernier type de réseau permet de contrôler et de gérer au mieux les eaux pluviales en cas d'évènements exceptionnels comme les inondations ou les pluies intenses. ^[1]

2. Les analyses de sites

Chaque site dépendant d'un système de drainage ou de collecte, qu'il s'agisse d'un bassin versant d'un espace libre ou d'une zone d'extension à raccorder à l'existant, présente des spécificités. Il convient d'en analyser toutes les particularités touchant à l'assainissement, que ce soit la topographie, l'urbanisme, le climat, la qualité des sols, les variations des nappes, etc.

La sensibilité du milieu naturel doit aussi être prise en compte de façon précise, en termes de qualité et de quantité des rejets, qui ne doivent compromettre aucun des usages de l'eau. D'où l'intérêt d'une analyse fine des sites à travers les différents contextes. [1]

a. La morphologie du terrain et topographie

Le relief les chemins du ruissellement, les sens d'écoulement, etc. sont autant d'éléments topographique et morphologiques nécessaires à l'analyse hydrologique des bassins versants décomposés en éléments homogènes.

La topographie est imposée son rôle est essentiel en matière d'assainissement à écoulement gravitaire. [1]

b. Pédologie et géotechnique

En assainissement, le paramètre sol peut être appréhendé sous différents aspects, orientés selon les diverses études et travaux.

Les caractéristiques des sols sont liées à :

- ❖ La géométrie du site ;
- ❖ La pente ;
- ❖ Les couches de terrain rencontrées ;
- ❖ La nature la granulométrie ;
- ❖ L'état des sols en surface ;
- ❖ La perméabilité et leur comportement en ruissellement.

c. Perméabilité

La perméabilité se définit fondamentalement par la vitesse apparente de filtration

d. Résistance des sols

Nous voyons l'importance que revêtent la pente l'imperméabilité et la structure des sols, qui contribuent de façon prépondérante à la génération des apports pluvieux. Aux conditions d'écoulement et de sédimentation. Ainsi, toute analyse hydrologique nécessite d'appréhender la connaissance des sols et de leurs résistances mécaniques. [1]

3. Pluviométrie et précipitation

La pluviométrie constitue une donnée essentielle du cout du réseau. Or, il faut savoir que l'agglomération doit être protégée contre les inondations provoquées par les eaux d'orage. Pour une protection absolue, il conviendrait de construire des égouts de dimensions excessives qui entraîneraient des couts important d'investissement et d'entretien ce qui semble une solution utopique.

La pluie ne tombe pas par la même façon les hauteurs d'eaux précipitées des averses, les durées des évènements pluvieux sont tous différents.

La conception d'un réseau d'évacuation des eaux pluviales doit prendre en compte toutes ces particularités, de façon à dimensionner de manière optimale les ouvrages vis-à-vis des objectifs. ^[1]

4. Occupation des sols

Un plan d'occupation des sols est toujours accompagné d'annexes techniques, notamment pour les réseaux d'assainissement. Il localise les principaux équipements collectifs et, en particulier, les lieux de rejets des effluents d'eaux usées.

Au sens de l'assainissement le mode d'occupation des sols détermine :

- ❖ *La quantité d'eau ruissellement des voies publiques et de l'ensemble des surfaces urbanisées ou à urbaniser, parking, lotissements, quartiers nouveaux ;*
- ❖ *La quantité et la nature des eaux usées produites par la population et ses activités ;*
- ❖ *Le niveau acceptable des points de branchement des immeubles, compte tenu des équipements eaux usées et pluviales des sous-sols. ^[1]*

5. Les systèmes d'évacuations des eaux pluviales :

L'établissement du réseau d'assainissement d'une agglomération doit répondre à deux catégories de préoccupation à savoir, assurer :

- ❖ Le transit vers l'épuration des eaux usées et, le cas échéant, des eaux résiduaire industrielles ;
- ❖ L'évacuation des eaux pluviales, de manière à empêcher la submersion des zones urbanisées et éviter toute stagnation dans les points bas après les averses. ^[1]

Définition des divers systèmes

On distingue :

a. Le système unitaire :

L'évacuation de l'ensemble des eaux usées et pluviales par un unique réseau.

L'ensemble des eaux usées et pluviales est, en système unitaire, évacué par un réseau unique, généralement équipé par un réseau unique, généralement équipé de déversoirs d'orage, vannages, permettant en cas de pluies intenses le rejet surverse d'une partie des eaux, dirigées par un évacuateur vers le milieu naturel soit directement, soit après un traitement spécifique.

Le système unitaire s'impose de fait lorsqu'il n'y a plus de possibilité de concevoir économiquement un réseau séparatif et une reprise des branchements particuliers. Il serait également souhaitable lorsque l'urbanisation d'un secteur est en perpétuelle transformation.

[1]

b. Le système séparatif :

Le système séparatif consiste à spécialiser chaque réseau selon la nature des effluents. Un réseau est affecté à l'évacuation des eaux usées domestiques et des effluents industriels. Un autre réseau assure l'évacuation des eaux pluviales directement rejetés dans le milieu récepteur. L'origine du système séparatif est liée à la création des stations d'épuration : pour alimenter des seules eaux usées domestiques, sans eaux parasites et sans mauvais branchements.

Le recours à un assainissement séparatif peut être avantageux, en particulier pour l'équipement d'un quartier résidentiel on distingue :

- ❖ *Il est le seul concevable si la population est relativement dispersée ;*
- ❖ *Il permet recours à des postes de relèvement ou refoulement que la faiblesse du relief imposerait ;*
- ❖ *Il s'impose si le cours d'eau traversant l'agglomération est de faible importance*
- ❖ *Il assure à la station d'épuration qui traite les eaux collectées un fonctionnement régulier, puisque les eaux à traiter ont les débits les plus faibles et les plus réguliers ; la station finalement reçoit des eaux ayant un degré de pollution relativement uniforme et cette installation est économique en investissement comme en exploitation ;*
- ❖ *Il permet d'évacuer rapidement et efficacement les eaux les plus polluées, sans aucun contact avec l'extérieur, ce qui n'est pas le cas du mode unitaire qui nécessite, en cas d'orage le fonctionnement de déversoirs de surverse. [1]*

6. Eaux pluviales : aspect quantitatif

Dès le début d'une averse, les sols s'humidifient par rétention d'une partie de la pluie qu'ils reçoivent. Lorsque le phénomène de saturation apparaît, c'est-à-dire lorsque la vitesse de pénétration dans le sol tend vers zéro, il y a stockage de l'eau dans les dépressions du sol, ce qui se traduit par la formation de flaques avant la génération du ruissellement. ^[1]

a. La transformation pluie-débit

Les relations pluie-débit évoluent lors des différentes phases de l'averse :

- ❖ La vitesse d'infiltration d'une pluie est obtenue en se référant au coefficient K de la formule de darcy ;
- ❖ La phase transitoire correspond à la constitution d'un stock d'eau, qui peut être important sur un terrain plats (pente $< 1\%$) ;
- ❖ Le régime permanent est obtenu par une intensité, un ruissellement et un écoulement constants ;
- ❖ La vidange intervient à la fin de l'averse par un prolongement dans le temps des apports d'eau décroissants. Plus le parcours dans le bassin versant ne sera long et son relief faible, plus la phase de vidange sera long ;
- ❖ Le phénomène de saturation se manifeste après le début de l'averse, en un temps d'entrée dans le système qui varie de 2 à 20 minutes selon l'observation établies sur différents milieux urbains. Plusieurs formules qui intègrent plus ou moins de paramètres (pente, longueur, surface, nature des sols, etc.). ^[1]

b. Pluie double triangle

La pluie "double-triangle" symétrique est définie par les 5 paramètres suivants :

- ❖ *La durée totale t_3 ;*
- ❖ *La durée de la période de pluie intense t_1 ;*
- ❖ *La position de la pointe d'intensité par rapport au début de la pluie : rapport t_2 / t_3 , (t_2 définissant l'intervalle de temps entre le début de la pluie et le début de la période de pluie intense) ;*
- ❖ *L'intensité moyenne pendant la période de pluie intense i_1 ;*
- ❖ *L'intensité moyenne en dehors de la période de pluie intense i_2 ;*

Le seul paramètre temporel à fournir est la durée de la période de pluie intense t_1 , la durée t_3 est choisie automatiquement égale à $10 \times t_1$. Le fait que la pluie soit symétrique impose la relation : [2]

$$t_2 + t_1 / 2 = t_3 / 2, \text{ soit } t_2 = (t_3 - t_1) / 2$$

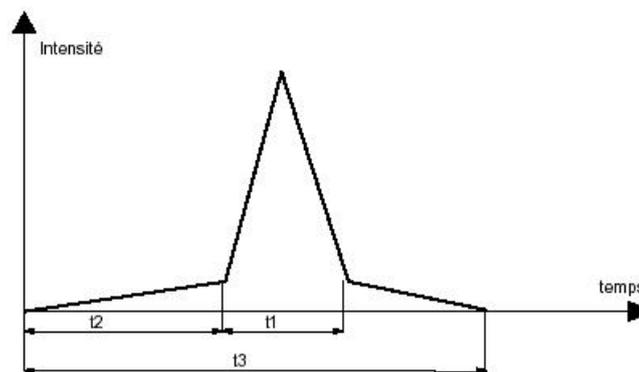
$$i_1 = (t_1)^b \frac{1 - (0,1)^{b+1}}{0,9 \times 0,1^b} \cdot 120. a. 2^b$$

$$i_2 = (t_1)^b \frac{(0,1)^b - 1}{0,9 \times 0,1^b} \times 120. a. 2^b$$

7. Choix des matériaux de conduite :

Le choix des matériaux de conduite est un point important dans le domaine de l'assainissement. En effet, le choix est basé sur différents critères qui sont liés à la spécificité de chaque projet. Parmi ces critères on peut citer : la rigidité, la résistance aux agressions, le coût des tuyaux, la facilité de réalisation des travaux....

Ci-après une présentation des matériaux les plus utilisés dans l'assainissement pluviale accompagnée d'un tableau récapitulatif des points fort et des points faibles de chaque matériau [3] :



Pluie de projet double - triangle symétrique

matériau		Caractère physique	
Conduite en PVC		<ul style="list-style-type: none"> ❖ Excellentes propriétés de résistance chimique et mécanique ❖ légères et sont faciles à poser 	
C.A.O		<ul style="list-style-type: none"> ❖ Très bonnes caractéristiques hydrauliques ❖ Bonne résistance à l'écrasement 60, 90 et 135 KN/m² ❖ L'étanchéité est assurée par des joints toriques jusqu'à 1bar ❖ La durabilité du béton ❖ performance mécanique 	
PRV		<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bonne rigidité, ❖ Caractériser par sa légèreté, ❖ Bonne étanchéité ❖ Long dure de vie estimée à 70 ans ; ❖ résistant à la corrosion 	
PEHD Polyéthylène haute densité		<ul style="list-style-type: none"> ❖ Une bonne résistance aux agressions chimiques ❖ Une bonne résistance au choc ❖ Il est Facilement recyclable 	
BUSE	Buse métallique	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Les buses métalliques peuvent avoir plusieurs m de diamètre ; ❖ Peut-être poser sur des fondation souple. 	
	Buse en béton	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Les buses en béton dépassent rarement les diamètres $\varnothing=1.20m$; ❖ nécessitent une fondation rigide en béton . 	
DALOT		<ul style="list-style-type: none"> ❖ Adoptés pour des débits $Q > 10 m^3/s$. ❖ Soit préfabriqué ou coulé sur place 	

Tableau 1 : différents types de conduites et leurs caractéristiques

8. Rayon hydraulique :

Ce paramètre peut être difficile à calculer lorsque la forme de la section de passage est géométriquement compliquée où lorsque la canalisation est circulaire et partiellement remplie.

a. Frottement

Le rayon hydraulique est le paramètre qui permet de prendre en compte l'influence du frottement du liquide sur les parois de la canalisation.

Plus il est grand plus la section de passage est grande par rapport au périmètre "frottant".

La perte de charge sera d'autant plus faible, que le rayon hydraulique sera grand.

Augmentation de la vitesse avec le diamètre - augmentation du débit

A débit constant, pour une même pente, dans le cas d'un écoulement gravitaire uniforme, si la section de passage dans un tube circulaire augmente (augmentation du diamètre), la vitesse d'écoulement augmente aussi.

En effet le rayon hydraulique augmentant (moins de frottements pour une même surface d'écoulement), la perte de charge linéique est moindre.

Ce résultat va à l'encontre de ce que l'on connaît, lors des écoulements en charge, où lorsque la section augmente, la vitesse diminue.

Cas d'une canalisation à section circulaire à 1/2 pleine

Dans le cas d'une conduite à section circulaire, le calcul est simple lorsque la canalisation est à demi pleine. En effet,

$$S_M = \pi \cdot \frac{D}{8}$$

$$P_M = \pi \cdot \frac{D}{2}$$

Il vient donc :

$$R_H = \frac{D}{2}$$

Cas d'une canalisation circulaire partiellement remplie de manière quelconque

Les formules sont données ci-dessous.

L'angle θ formé, côté liquide, par l'axe de la canalisation et les génératrices du tube en contact avec la surface libre du fluide, est en radian.

Le taux de remplissage de la canalisation est défini par le rapport :

$$T_{remplissage} = \frac{100 \times h}{D}$$

Avec :

h : hauteur de la surface libre par rapport à la génératrice "fil d'eau" en m

D : diamètre intérieur de la canalisation en m.

L'étude du rayon hydraulique en fonction de θ montre que le maximum est atteint pour un angle θ de 270° environ - cela correspond à un taux de remplissage h/D de 0,85.

Dans cette configuration, puisque le rayon hydraulique est maximal, alors pour une même pente, le débit et la vitesse seront maximaux.

Périmètre mouillé

$$P_M = \frac{\theta}{2\pi} \cdot \pi D = \frac{\theta}{2} \cdot D$$

Surface mouillée :

$$S_M = \left[\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{\theta}{2\pi} \right] - \left[\frac{1}{2} \cdot 2R \sin \frac{\theta}{2} R \cos \frac{\theta}{2} \right]$$

$$S_M = \left[\frac{D^2}{8} \cdot \theta \right] - \left[\frac{D^2}{4} \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \right]$$

$$S_M = \frac{D^2}{8} \cdot [\theta - \sin \theta]$$

b. Rayon hydraulique

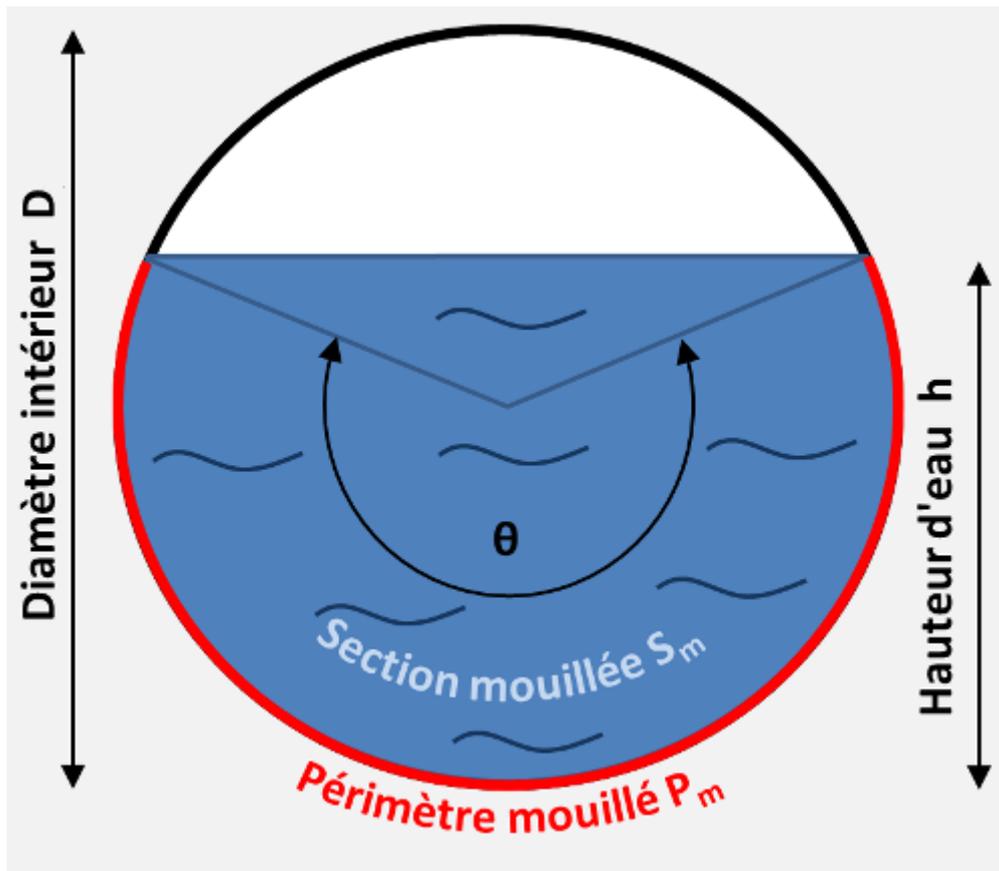


Figure 3: Rayon hydraulique

$$R_H = \frac{S_M}{P_M}$$

$$R_H = \frac{\frac{D^2}{8} \cdot [\theta - \sin \theta]}{\frac{\theta}{2} \cdot D}$$

$$R_H = \frac{D}{4} \left[1 - R \cos \frac{\theta}{2} \right]$$

Relation entre le taux de remplissage :

$$h = R - R \cos \frac{\theta}{2}$$

$$h = \frac{D}{2} \cdot \left[1 - \cos \frac{\theta}{2} \right]$$

$$\frac{h}{D} = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \cos \frac{\theta}{2} \right]$$

$$\theta = 2 \cdot \cos^{-1} \left(1 - 2 \frac{h}{D} \right)$$

9. Les éléments d'un réseau d'assainissement :

a. Collecteur

Le diamètre d'un collecteur principal ne pourra pas être inférieur à 200 mm pour les eaux usées et 300 mm pour un collecteur d'eaux pluviales. Dans les conditions normales de pose des conduites (couverture supérieure ou égale à 80 cm), pour un diamètre supérieur à 500 mm, on choisira du béton type B135A et pour un diamètre jusqu'à 500 mm, les conduites pourront être en PVC SN8.

b. Regards d'accès sur collecteur

Sur le collecteur, à chaque changement de section, de direction, de pente, à la jonction de plusieurs collecteurs et au minimum tous les 60 m sera réalisé un ouvrage d'accès (regard de visite préfabriqué), d'un diamètre minimum de 1000 mm Les regards de visite sont accessibles à tout moment par un camion hydro cureur 26 tonnes. Les regards présenteront les caractéristiques suivantes :

- ❖ Sur collecteur de diamètre inférieur ou égal à 800 mm, les regards seront préfabriqués de diamètre 1000 mm ;
- ❖ Sur collecteur supérieur à 800 mm, la confection du regard sera adaptée à la fonction (bétonné sur place, préfabriqué ou intégré au tuyau).

Pour les regards présentant plus de deux arrivées/départs. Pour les regards préfabriqués ou intégrés au tuyau en usine, une banquette en escalier sera mise en place pour faciliter l'accès au radier un collecteur si la hauteur est de 60 cm et la largeur supérieure ou égale à 40 cm. (voir figure 4) ^[4]

c. Boîte de branchement

La boîte de branchement est un regard de à pied d'immeuble à qui permet relier le branchement d'une conduite collective à une canalisation secondaire desservant un réseau privatif.

C'est le point d'accès qui permet les actions de contrôle et de test avec de nettoyage avec les hydro cureuses. (Voir figure 6)

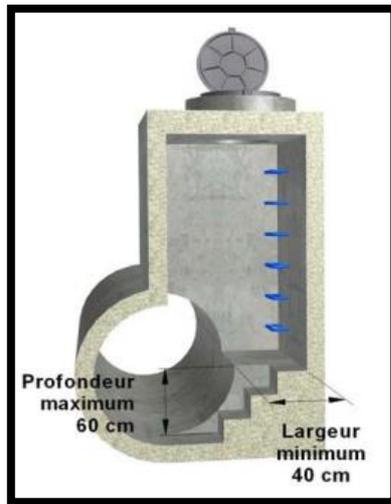


Figure 4: regard de visite

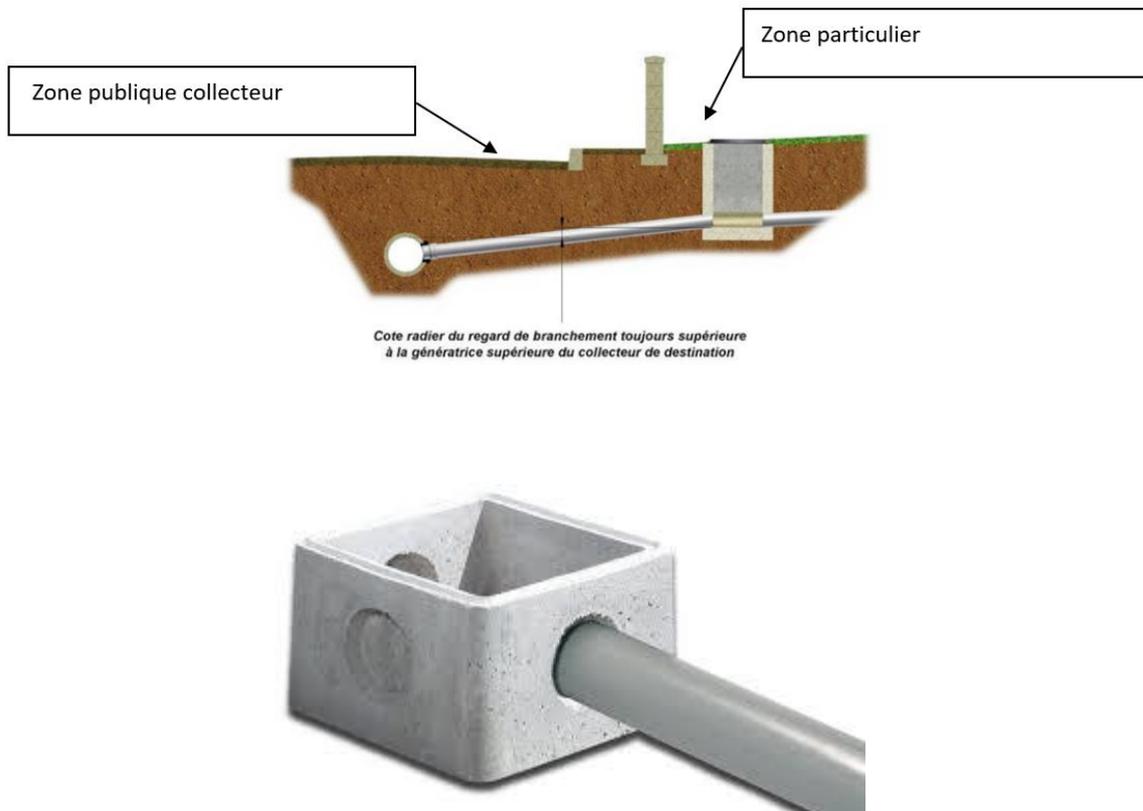


Figure 6: boîte de branchement

d. Exutoire

Un bassin de rétention des eaux pluviales est une zone de stockage des eaux pluviales, enterrée ou à ciel ouvert. Il est destiné à récupérer les eaux pluviales issues de surfaces non-absorbantes créées pour les besoins d'aménagement humains

- ✓ STEP
- ✓ Milieu naturel
- ✓ Alimentation des nappes

a) Conduites en PVC type assainissement :

Ce matériau présente d'excellentes propriétés de résistance chimique et mécanique.

Elles sont légères et sont faciles à poser. Les conduites en PVC sont utilisées largement en assainissement, en particulier pour les réseaux séparatif d'eaux usées.

Les diamètres usuels PVC série1 de type assainissement vont de 200 à 400 mm voir 500 mm sur commande spéciale.

b) Béton centrifugé armé (C.A.O) ou béton vibré armé

Ces canalisations présentent de très bonnes caractéristiques hydrauliques, elles sont fabriquées en différentes classes de résistance à l'écrasement : 60, 90 et 135 KN/m², l'étanchéité est assurée par des joints toriques pouvant résister jusqu'à une pression d'un bar.

La caractéristique fondamentale du béton est sa durabilité. Dans de nombreuses villes, des réseaux d'assainissement vieux fonctionnent encore parfaitement. La longévité du matériau validée en conditions réelles contrairement à celle des matériaux de synthèse utilisés depuis trois décennies, sa compacité notamment a été améliorée. D'où la meilleure performance mécanique des tuyaux et en étanchéité, les rendant parfaitement adaptable à n'importe quel chantier.

c) Le PRV : étanchéité, durabilité, insensibilité à la corrosion

Le PRV pour polyester renforcé de verre est un matériau composite caractérisé par sa rigidité, son faible coefficient de rugosité confortant son adéquation pour les poses à faible pente, sa légèreté, une étanchéité parfaite et une durée minimale estimée à 70 ans dans des environnements agressifs, le PRV est par nature résistant à la corrosion et donc à l'environnement dans lequel il peut être posé (terrains agressifs, nappes salines...)

d) PEHD

Le PEHD résiste aux eaux usées ménagères et chimiques, aux acides et aux eaux de lessive dans une large gamme de concentration et de température à des pH, il est le mieux adapté pour la résistance au H₂S, résiste bien aux chocs, même à basse température. C'est donc un matériau qui ne craint pas l'ambiance rude des chantiers, et des différents chocs dans les locaux techniques. D'autre part, il n'est pas sensible aux chocs thermiques.

Les tuyaux en PEHD sont employés pour le transport des fluides alimentaires et des eaux potables les tubes utilisés sont alors dits " organoleptiques ". Toutes les matières synthétiques sont mauvaises conductrices de chaleur et donc bonnes isolantes. Grâce à leur faible conductibilité thermique, les conduites en PEHD condensent moins que celles en acier ou en fonte.

Il est Facilement recyclable, le tube et les raccords peuvent être rebroyés. Certaines industries utilisent le polyéthylène ainsi récupéré pour leurs applications. En fin de cycle d'utilisation, la matière peut être brûlée sans résidu ou émanation nocif.

Le PEHD rigide réunit les caractéristiques idéales que l'on demande à des conduites pour véhiculer des fluides : Absence de rugosité Pas de gonflement (matériau hydrofuge).

e) Les buses

Il existe deux types de buses qui sont couramment utilisées de nos jours :

- _ les buses en béton ;
- _ les buses métalliques.

Le choix entre ces deux types d'ouvrages de sections circulaires dépend des critères économiques liés à la possibilité de fabrication locale ou non.

En raison des difficultés liées aux manutentions, les buses en béton dépassent rarement les diamètres $\varnothing=1.20\text{m}$ tandis que les buses métalliques peuvent avoir plusieurs m de diamètre. Les buses en béton nécessitent une fondation rigide (en béton) tandis que les buses métalliques sont posées sur une fondation souple et font corps avec le remblai qui doit être parfaitement compacté. Les deux types de buses sont utilisées exclusivement dans des sections où l'on dispose d'une hauteur suffisante de remblai pour avoir au-dessus de l'ouvrage : $H > \varnothing/2$ et $H \geq 0.80\text{m}$ Dans le cas des faibles hauteurs de remblai, on peut utiliser les buses arches qui ont des sections aplaties par le bas. Pour des raisons de nettoyage, la buse doit avoir une section minimale de $D \geq 0.80\text{m}$.

f) Les dalots

Les dalots sont des ouvrages transversaux comme les buses mais de section rectangulaire ou carrée et exécutés exclusivement en béton armé. Ce sont des ouvrages sous chaussée qui ne nécessitent aucun remblai ; une circulation à même la dalle peut être envisagée moyennant des précautions lors de la construction ; ils ne peuvent admettre qu'une faible épaisseur de remblai 1 à 2 m à moins d'être calculées spécialement pour les surcharges.

Les dalots ordinaires : constitués de pieds droits verticaux fondés sur semelle ou radier générale et sur lesquelles repose une dalle en béton armé ;

Les dalots cadres : dans lesquels la dalle, les pieds droits et le radier constituent une structure rigide en béton armé ;

Les dalots portiques ; analogues aux dalots cadres mais sans radier, les pieds droits étant fondés sur semelles

Les dalots sont en général adoptés pour des débits $Q > 10 \text{ m}^3/\text{s}$. Mais les débits admissibles sont variables et peuvent être très élevés et dans ce cas, on adopte une batterie de dalots ou de buses quand la topographie du site permet un tel dispositif.

10. Etapes d'une modélisation numérique

La réalisation d'une modélisation hydrogéologique comprend la réalisation de 5 étapes successives

Elaboration du modèle conceptuel

L'élaboration du modèle conceptuel consiste à synthétiser l'ensemble des informations nécessaires à la modélisation :

L'objectif du modèle : description de la problématique étudiée et des éléments recherchés les caractéristiques du site : contexte géologique et hydrogéologique détaillé les hypothèses retenues pour la modélisation : processus à modéliser (écoulement, transport de contaminant, ...), extension du modèle (horizontale et verticale), conditions aux frontières du modèle (frontière imperméable, rivière, ...), sollicitations (recharge, pompage, source de pollution, ...)

Sélection d'un logiciel et construction du modèle numérique

Le logiciel de modélisation est sélectionné en fonction de la problématique étudiée et des processus à modéliser. À l'aide de ce logiciel, le modèle numérique est construit sur base du modèle conceptuel en se rapprochant le plus possible de la réalité.

Simulation de différents scénarios et interprétation des résultats

Après validation, le modèle est utilisé pour la simulation de différents scénarios en fonction de la demande étudiée. L'interprétation des résultats des simulations permet d'apporter une réponse à cette demande.

a. Les modèles hydrologiques :

Un modèle est une représentation d'un phénomène physique, afin d'en avoir une meilleure compréhension ou d'analyser l'influence qu'il exerce. La représentation peut être physique, analogique ou mathématique.

Dans le premier cas, le modèle est une maquette qui reproduit d'une manière adéquate la réalité. Les modèles analogiques utilisent les similitudes qui existent entre le phénomène à étudier et un autre phénomène physique.

La méthode la plus utilisée est l'analogie entre le courant électrique et le flux d'eau. Dans ce cas, le modèle est le résultat de l'expression analytique de la complexité observée ou supposée et se présente généralement sous la forme d'un ensemble d'équations.

La modélisation mathématique est un outil essentiel pour la connaissance des phénomènes naturels, autre permettant d'établir un lien entre les variables d'entrée et de sortie par des relations mathématiques.

- La modélisation comme outil de recherche

La modélisation peut être utilisée pour interpréter des données mesurées. Différents scénarios de fonctionnement hydrologique des bassins versants peuvent être confrontés aux mesures.

- La modélisation comme outil de prévision :

Elle nous donne une anticipation des évolutions futures du débit d'un cours d'eau. Il s'agit de l'utilisation opérationnelle la plus courante des modèles hydrologiques. Dans la plupart des cas cependant, les modèles développés sont basés sur des régressions linéaires entre les variables indépendantes (pluie, débits amont) et les variables dépendantes (débits aval), et font peu appel aux connaissances sur les processus hydrologiques.

- La modélisation comme outil d'extrapolation :

Reconstitution de séries de débits plausibles. Dans certains cas, comme par exemple le dimensionnement de déversoirs de sécurité de barrages hydroélectriques ou encore la délimitation de zones inondables dans le cadre d'un Plan de prévention des risques, il est nécessaire de proposer des scénarios de crues, ou éventuellement d'étiages, de période de retour nettement supérieure à la durée d'observation des débits sur le site étudié.

La modélisation des phénomènes et comportements hydrologiques des bassins versants est incontournable dès lors qu'on s'intéresse à des problématiques relatives à la gestion des ressources en eau, à l'aménagement du territoire et aux différents risques hydrologiques (sécheresse, inondation. ...). Cette modélisation est sensée décrire de manière fidèle et réaliste les différentes étapes liées à la transformation de la pluie en débit. Elle est sensée fournir aussi des informations sur le dimensionnement des ouvrages hydrauliques (Barrages, retenues...)

11.Présentation des logiciels :Arcgis et Swercad

ArcGIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des smartphones et d'ordinateurs de bureau. ^[5]

Swercad Ce logiciel offre aux concepteurs de routes et de sites, aux planificateurs généraux pour les eaux de ruissellement et aux promoteurs immobiliers, des outils avancés pour leur permettre de réaliser des conceptions de qualité en limitant les investissements en capital.

- ❖ **Une conception d'égouts pluviaux sans efforts** : On Conserve de façon automatique des conduites et des structures gravitaires. Saisissez vos contraintes de conception afin que StormCAD définisse de façon automatique des tailles de conduite et des hauteurs de radier de façon à optimiser les coûts tout en limitant les cache-tubes pour éviter de creuser inutilement pour les conduites.
- ❖ **Une construction et une gestion du modèle facilité** : Importez et tirez profit de pratiquement tous les formats de données externes pour démarrer le modèle. Vous pouvez ensuite manipuler efficacement les données du modèle et utiliser une multitude de saisies de données et d'outils d'édition de modèles qui simplifient et écourtent le processus de modélisation.
- ❖ **Productivité de conception améliorée**: Grâce à la possibilité de lancer Storm CAD depuis Micro-Station ou AutoCAD, vous pouvez modéliser au sein d'une plateforme qui vous est plus familière tout en profitant d'environnements et d'outils de CAO (ex: meilleure configuration, fonctionnalités de dessin). Vous pouvez également choisir de modéliser des égouts pluviaux dans l'interface autonome de Storm CAD. ^[6]

12.Principe de conception :

La conception du réseau d'assainissement dont il y a différentes recommandations à respecter les contraintes de tracé par exemple Implantation des collecteurs :

- ❖ Doivent être implanté dans les axes des voies, pour que les riverains de chaque côté aient à supporter des dépenses équivalentes de branchement.
- ❖ Suivre les pentes du terrain naturel pour profiter de la collecte superficielle des eaux de ruissellement et minimiser les sur profondeurs.
- ❖ Emprunter des voies existantes, pour minimiser l'expropriation de terrain,
- ❖ Favoriser les tracés vers des ouvrages existants pour une meilleure valorisation du patrimoine existant.
- ❖ Favorisé les tracés qui passent par des zones, actuellement occupées, pour optimiser le phasage des travaux.

13.Conception des réseaux : principes hydrauliques fondamentaux

Pour aborder le dimensionnement des différents réseaux gravitaires ou sous pression, il est nécessaire de rappeler sommairement divers principes fondamentaux de l'hydraulique de l'hydraulique classique appliqués à l'assainissement :

Pour un liquide parfait, le théorème de bernouilli exprime la conservation de l'énergie, ou perte de charge, par la somme des énergies de trois quantités homogène et correspondant à des hauteurs du liquide exprimé en mètre

$$H = Z + h + E$$

Dans la quelle

Z : énergie de position, la cote de la particule par rapport à un plan de référence (cote radier) ;

H : énergie de pression égale à P/W, la pression ou la hauteur d'eau ;

E : énergie cinématique ou charge motrice.

Le théorème, appliqué entre deux points A et B, se traduit par l'égalité :

$$Z_A + h_A + \frac{v_A^2}{2g} = Z_B + h_B + \frac{v_B^2}{2g} + J_{AB} \quad (\text{Équation de Bernoulli})$$

Ou J_{AB} est la charge de A en B = $H_A - H_B$ et $\frac{v^2}{2g}$ la hauteur de laquelle une particule liquide, précédemment immobile, devrait tomber en chute libre pour atteindre la vitesse V.

Le théorème montre que, dans le cas d'une chute, en négligeant les pertes de charge ($J_{AB}=0$), cette quantité H vaut :

$0 + gh + 0$ au point haut ;

$0 + 0 + v^2/2$ au point bas ;

D'où $\frac{v^2}{2} = gh$, ou $h = \frac{v^2}{2g}$ et où $V = \sqrt{2gh}$.

Par suite le frottement, $J_{AB} \neq 0$ la vitesse acquise est $< \sqrt{2gh}$, donc $V = m\sqrt{2gh}$ avec $m < 1$

Donc :

$$h = \frac{1}{m^2} \times \frac{v^2}{2g} = k \frac{v^2}{2g} \quad \text{avec } k > 1$$

La relation fondamentale déterminant le débit Q est égale à : $Q = V \times S$

Elle donne, pour une section S rectangulaire : $Q = VLh$ avec $S = Lh$

Et on obtient alors la charge spécifique :

$$H_s = h + \frac{V^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2gL^2h^2}$$

Cette relation montre qu'il existe une hauteur d'eau critique qui permet d'évacuer un débit Q donné sous une charge H_s minimale

$$h_c = \left(\frac{Q^2}{gL^2} \right)^{1/3}$$

La vitesse critique correspondante est :

$$V_c = \sqrt{gh_c}$$

$$Q = \sqrt{2g(H_s - h)} \cdot L \cdot h$$

Avec l'influence de la pente, la relation devient :

$$H = Z + h + \frac{Q^2}{2gL^2h^2}$$

La vitesse peut alors être déterminée par différentes formules déduites de la formule de Chézy :

$$V = C\sqrt{R \cdot I}$$

Avec

C : coefficient de Manning est égale à :

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} = KR^{1/6}$$

K : coefficient de rugosité dont les valeurs usuelles sont données par le tableau 4.

R : rayon hydraulique égal à

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

S_m : Étant la section mouillée

P_m : Le périmètre mouillé ;

$$Q = k \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot S_m$$

a) La méthode rationnelle

La méthode rationnelle est un excellent outil pour la détermination d'un hydrogramme. En effet elle permet tout au long du développement du calcul, de rationaliser les résultats et de dégager ainsi les meilleures caractéristiques du projet à retenir.

L'expression de la formule rationnelle :

$$Q_p = K_1 C i A$$

Q_p : débit de pointe de l'hydrogramme en m³/s

K_1 : coefficient d'homogénéité de rapportant aux unités $K_1 = 1/360$;

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

I : l'intensité en mm/h ;

A : superficie du bassin en ha.

b) Temps de parcours

Pour le calcul du temps de parcours dans un émissaire ou une conduite, e, a tendance, pour simplifier à considérer comme représentative la vitesse d' pleine section ou à semi-section. On calculera V en fonction du rapport :

$$r_Q = \frac{Q_p}{Q_{ps}}$$

Q_p : le débit à transiter ;

Q_{ps} le débit à plein section.

$$T_1 = \frac{L}{60 \cdot r_V \cdot V_{ps}}$$

Dans laquelle :

t_1 : Temps de parcours dans le réseau en minutes ;

L : longueur de la conduite en mètre ;

r_V : Rapport en correspondance du rapport rQ des débits ;

V_{ps} : vitesse d'écoulement à pleine section en m/s.

Ainsi, à l'amont d'un nœud, le temps de concentration t_c est le suivant :

$$t_c = t_1 + t_2$$

c) Coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement C'est à déterminer comme un facteur de contraction du débit. Aussi dans l'application de la méthode rationnelle, C doit être évalué le plus justement possible, car il doit englober de nombreux paramètre : la perméabilité des sols, l'influence de la topographie et de l'urbanisation du bassin, etc.

14.La pente critique :

Dans un canal ou la pente du radier $I_r = 0$, l'écoulement du débit Q est subordonné à une pente motrice :

$$I_m > I_r$$

$$I_m = \frac{Q^2}{(K \cdot R^{2/3} S_m)^2}$$

Il faut comparer la pente du radier (considérée égale à la pente du sol) à la pente critique I_C dont l'expression est

$$I_C = \frac{gh}{K^2 \cdot R^{4/3}}$$

Si $I_C > I_r$, le canal est à écoulement rapide ;

Si $I_C < I_r$, le canal est à écoulement lent.

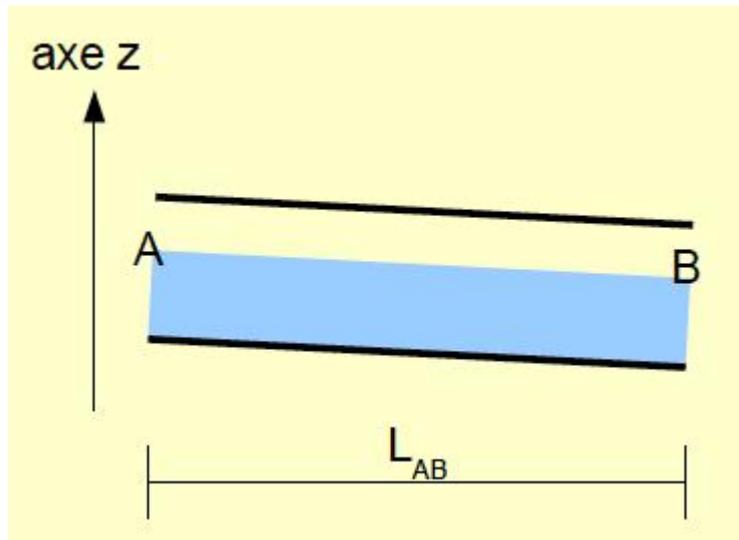


Figure 7: la pente critique

15. Etude hydrologique

a) Délimitation des bassins versants

Un bassin versant¹ ou bassin-versant est l'espace drainé par un cours d'eau et ses affluents. L'ensemble des eaux qui tombent dans cet espace convergent vers un même point de sortie appelé exutoire : cours d'eau, lac, mer, océan, etc.

Le bassin versant est limité par une ligne de partage des eaux qui correspond souvent aux lignes de crête mais pas toujours. Généralement un bassin versant se développe au-delà des lignes de crête. Une ligne de partage des eaux est une ligne de divergence de pentes.

b) Détermination des paramètres physiques du Bassin versant

Les paramètres physiques du bassin versant désignent un ensemble de caractéristiques physiographiques, obtenues à partir de données cartographiques ou de mesures de terrain et donnent un certain nombre d'information sur ce dernier :

Les paramètres physiques du Bassin versant sont :

- ❖ La superficie du BV (S) exprimée en km²
- ❖ Le périmètre du BV (P) exprimée en km
- ❖ La longueur du plus long cours d'eau du BV exprimée en km
- ❖ Indice de compacité (I_{comp}) appelé également coefficient de forme, correspondant au rapport du BV à celui d'un cercle de même superficie.

$$I_{comp} = 0,282 \times P \times S^{-1/2}$$

Avec

P : Paramètre stylisé du BV en km

S : Superficie du BV en km²

- ❖ Le rectangle équivalent (L) : C'est un rectangle qui a la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le BV. Sa longueur est donnée par l'expression suivante :

$$L = \sqrt{S} \times \left(\frac{I_{comp}}{1,128} \right) \times \left[1 + \sqrt{\left(1 - \left(\frac{1,128}{I_{comp}} \right)^2 \right)} \right]$$

Avec :

L : exprimé en km

I_{comp} : est l'indice de compacité, sans dimension

S : est la superficie du BV, exprimée en km²

L'indice global de pente (I_g) : c'est l'indice caractérisant le relief d'un bassin.

I_g : est défini par la formule suivante :

I_g : exprimé en m/km

D : représente la dénivelée, exprimée en m, séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin au-dessus d'elles ; ces altitudes sont déterminées sur la courbe hypsométrique.

L : longueur du rectangle équivalent, exprimée en km.

- ❖ La dénivelée spécifique (D_s) : c'est le produit de l'indice global de pente par la racine carrée de la superficie du BV. Elle s'exprime en m et est indépendante en théorie de l'aire du bassin. On peut distinguer différentes classes de relief en fonction de D_s

$$D_s = I_g \times \sqrt{S}$$

Relief faible	$D_s < 50m$
Relief modéré	$50 < D_s < 100m$
Relief fort	$100m < D_s$

Chapitre2. La modélisation hydraulique

1. Généralités

La résolution des problèmes liés à la gestion des bassins versants, la prévision des conséquences des inondations nécessite une parfaite connaissance de leurs étiages et de leurs crues. Dans cette optique, l'utilisation d'un modèle de calcul des débits et d'estimation des eaux à l'échelle d'un bassin versant devient nécessaire.

L'intérêt d'un modèle réside dans sa capacité à apporter une réponse « satisfaisante » aux questions que l'on se pose à propos de l'objet modélisé, ce qui nous renvoie à l'objet assigné au modèle qui doit bien entendu précéder et orienter la conception et la construction du modèle. Généralement les modèles sont utilisés pour la prévision, la prédétermination (évaluation de données d'un projet), la reconstitution ou l'extrapolation de données, etc.

La modélisation hydrogéologique est utilisée pour mieux comprendre le fonctionnement d'un système hydrogéologique. Elle sert notamment d'outil d'aide à la décision dans le cadre de la gestion, l'exploitation ou la préservation de ce système.

- ❖ La modélisation nécessite deux étapes, la modélisation hydrologique ayant pour but de définir les débits des BV.
- ❖ La modélisation hydraulique ayant pour but de définir les diamètres des conduites. ^[8]

2. Caractéristique de la zone d'étude

La modélisation hydrogéologique est un outil qui permet de représenter, de façon simplifiée, le fonctionnement d'un système hydrogéologique réel complexe et de simuler différents scénarios afin d'en évaluer les effets.

a. Situation géographique

Territoire de l'arrondissement sidi moumen qui s'étend sur 2.630 ha, abrite une population estimée à 454.778hab selon le dernier recensement 2014 dont 103.310 ménages, cet arrondissement est l'un des plus peuplés de casablanca.

Il est limité au nord par le RP 35 et l'arrondissement sidi Bernoussi au sud est par municipale TIT MLIL reliant Mohammedia à Marrakech et au sud-ouest par l'avenue okba bnou nafie.

Il abrite en effet quatre zones industrielles (Al Karia, Sidi Moumen, Ahl Loughlam et Beaulieu) totalisant 477 ha et plus de 10.640 emplois soit une densité moyenne de 22 emplois/ha. [9]

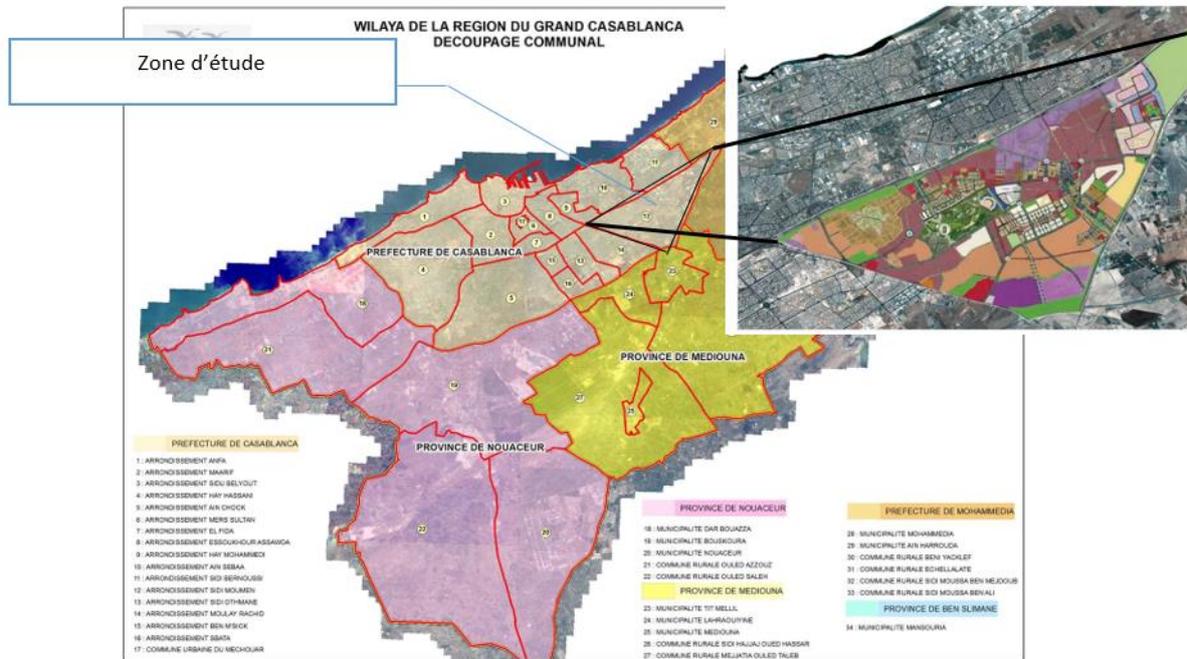


Figure 8: situation géographique

b. Précipitation

La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 417 mm/an. Les pluies sont caractérisées par une variabilité saisonnière. Les variations intra-annuelles des précipitations moyennes mensuelles sont présentées sur la figure suivant :

Ces précipitations se caractérisent également par une variabilité interannuelle importante [10]

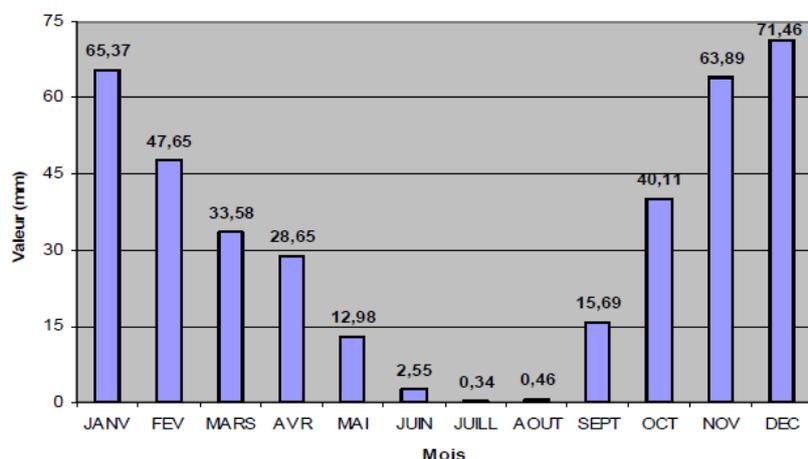


Figure 9: Variations intra-annuelles des précipitations moyennes mensuelles

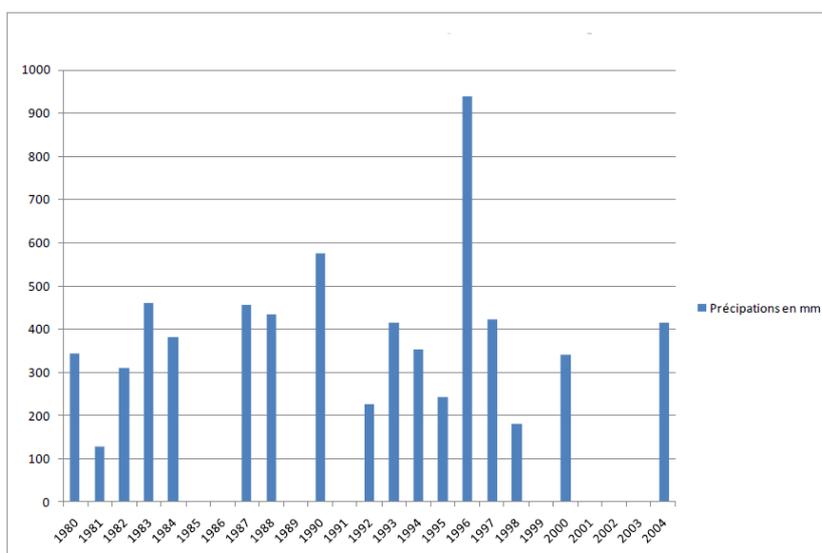


Figure 10: Variations interannuelles des précipitations totales annuelles

3. Problèmes liés à l'assainissement zone sidi Moumen

L'assainissement soulève plusieurs problèmes, parmi lesquels on peut citer :

- L'absence du réseau égouts dans certaines zones.
- L'incapacité des collecteurs existants de faire face à une pluie décennale, ce qui génère parfois des débordements en particulier le long du boulevard ahl-loughlam, et surtout au niveau de l'autoroute.
- La séparation entre eaux pluviales et eaux usées est très imparfaite ; certaines parcelles, occupées par des établissements industriels, disposent sans doute de systèmes in-sites de type unitaire ; par ailleurs, l'existence de multiples erreurs de branchement semble très probable.

4. Conception du projet

a. Création d'un MNT sans dépression

Un modèle numérique de terrain MNT sans dépression, la présence de ses derniers risques de générer un raster de direction de flux incorrect. Il est important de bien maîtriser la morphologie de la zone pour pouvoir déterminer les entités susceptibles de réellement être des cuvettes sur la surface de la Terre et celles qui sont de simples erreurs de données. Les outils du jeu d'outils Hydrologie de l'ArcGIS Spatial Analyst permettent de préparer une surface d'altitude sans dépression.

b. Identification des cuvettes

L'identification des cuvettes à l'aide de l'outil Cuvettes, requiert un raster de direction. Le résultat est un raster qui identifie tous les cuvettes existantes dans les données. Les cuvettes peuvent être remplies à l'aide de la fonction Remplissage

c. Remplissage de cuvettes

Pour créer un MNT sans dépression, la fonction Remplissage fait appel à différents outils de Spatial Analyst, notamment plusieurs des outils d'analyse hydrologique que nous avons abordés précédemment. Cet outil nécessite une surface en entrée, une limite de remplissage et un raster en sortie. Lorsqu'une cuvette est remplie, elle l'est jusqu'à son point d'écoulement, c'est-à-dire l'altitude minimale de la limite de son bassin-versant. (voir figure 11)

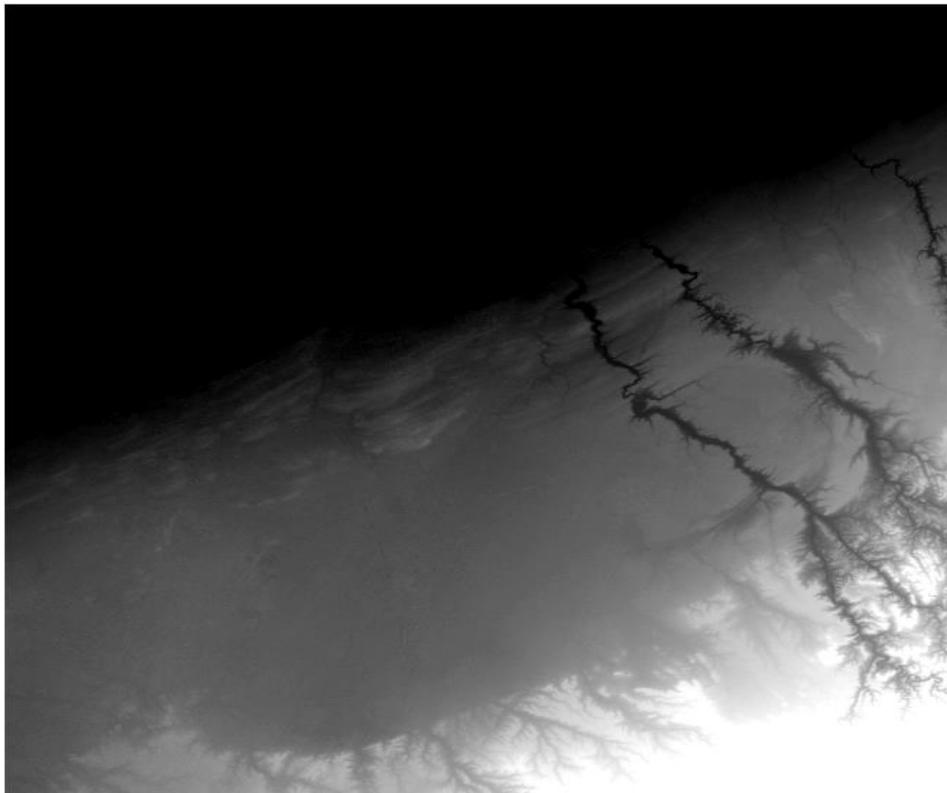


Figure 11: remplissage des cuvettes

d. Direction de flux

L'un des principaux aspects de la dérivation des caractéristiques hydrologiques d'une surface est la capacité à déterminer la direction du flux de chaque cellule d'un raster. Cette opération est possible grâce à l'outil Direction de flux.

e. Accumulation de flux

L'outil Accumulation de flux, permet d'obtenir un raster de flux cumulé relatif à chaque cellule, conformément à l'accumulation des pondérations de toutes ces cellules qui s'écoulent dans les cellules en pente descendante. (voir figure 12)



Figure 12: *génération de la direction de flux et accumulation de flux sous arc-gis*

f. Bassins versants

Nous pouvons créer des bassins de drainage en identifiant les points d'écoulement situés aux contours de la fenêtre d'analyse (là où l'eau est susceptible de s'écouler du raster), de même que des cuvettes. Ensuite, nous devons désigner la surface de captation au-dessus de chaque point. Nous obtenons un raster de bassins de drainage. (Voir figure 14)

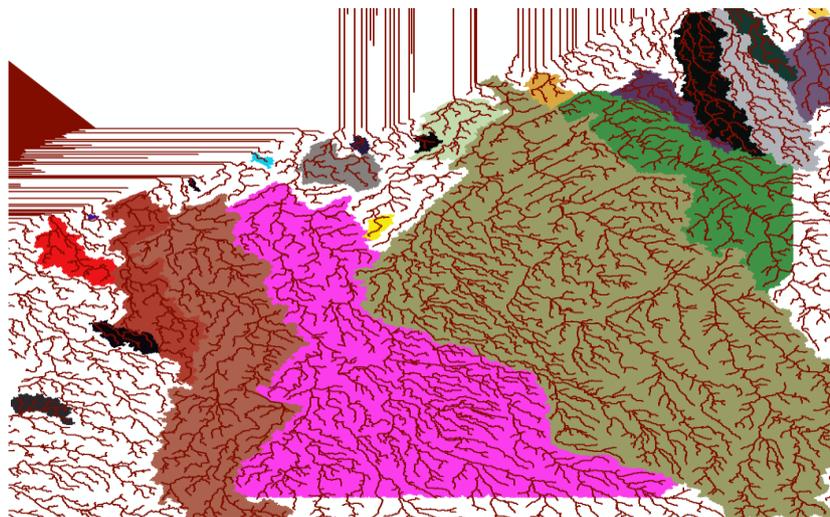


Figure 13 : *délimitation des bassins de la zone de Sidi Moumen sous arc-gis*

g. Topographie :

La figure ci-après réalisée à l'aide du logiciel Arcgis qui représente une simulation d'inondation de la zone en fonction de la topographie, montre l'état critique de la zone d'étude qui est due à la situation topographique de cette zone.

la figure ci-après montre l'état critique du point le plus bas situé sur l'autoroute casablanca rabat :

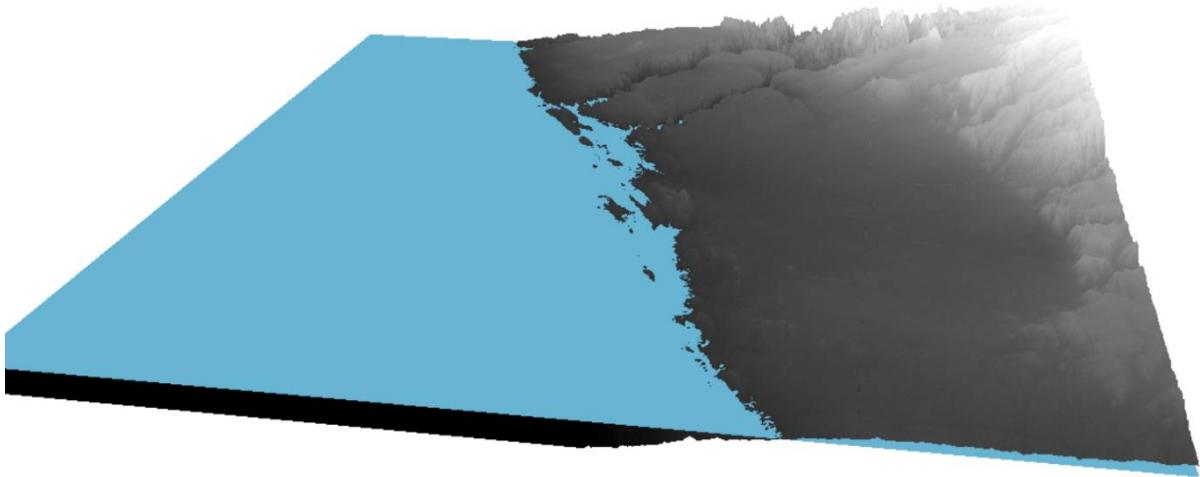


Figure 14: simulation de l'inondation de la zone d'étude sous Arcgis



Figure 15: inondation à Sidi Moumen en 2017

5. Délimitation des bassins versant sous swercad v8i :

La délimitation des sous bassins versant de la zone sidi Moumen basée sur le gradient de la pente la direction d'écoulement et les points d'injection des débits (voir figure 17)

NB :

Ce qui en rouge le réseau à modéliser

Ce qui est en vert le réseau existant

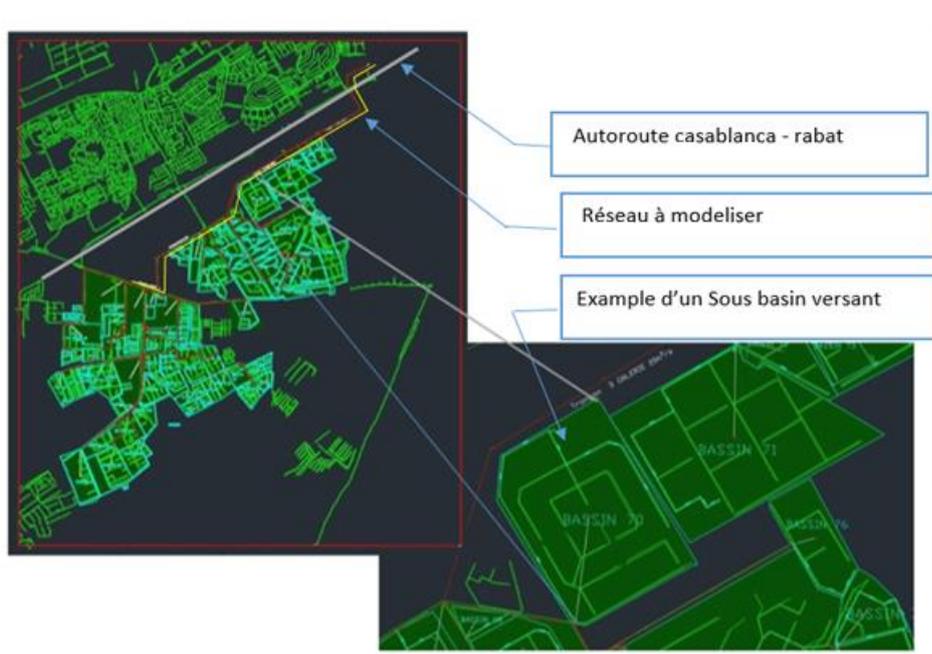


Figure 16: délimitation des sous bassins versants

6. Implantation des regards et de canalisations

Sous le logiciel swercad il a été procédé à intégrer le réseau existant de Sidi Moumen et le réseau projeté la figure ci-après représente un regard d'un sous bassin et ses caractéristiques géométriques (positionnement géographique), caractéristiques physiques (diamètre, type de structure, élévation du terrain ...)

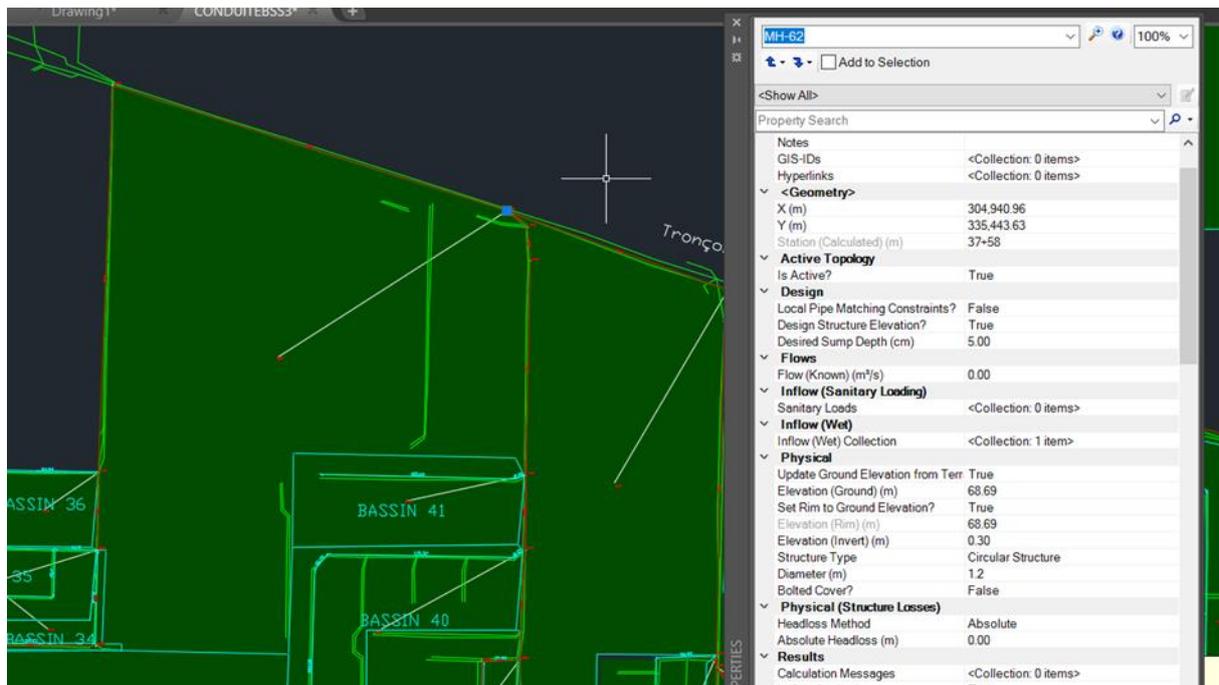


Figure 17: représentation des regard sous swercad

Les conduites en vert représentent le réseau existant et celles en rouge représentent les conduites projetées reliant chaque regard entre eux afin d'évacuer l'eau drainer par les sous bassin.

La figure suivante représente une conduite et les caractéristiques approprié tel que la longueur, nature de matériaux et type de section, les contraintes le taux de remplissage la vitesse maximale et minimale, la pente maximale et minimale.

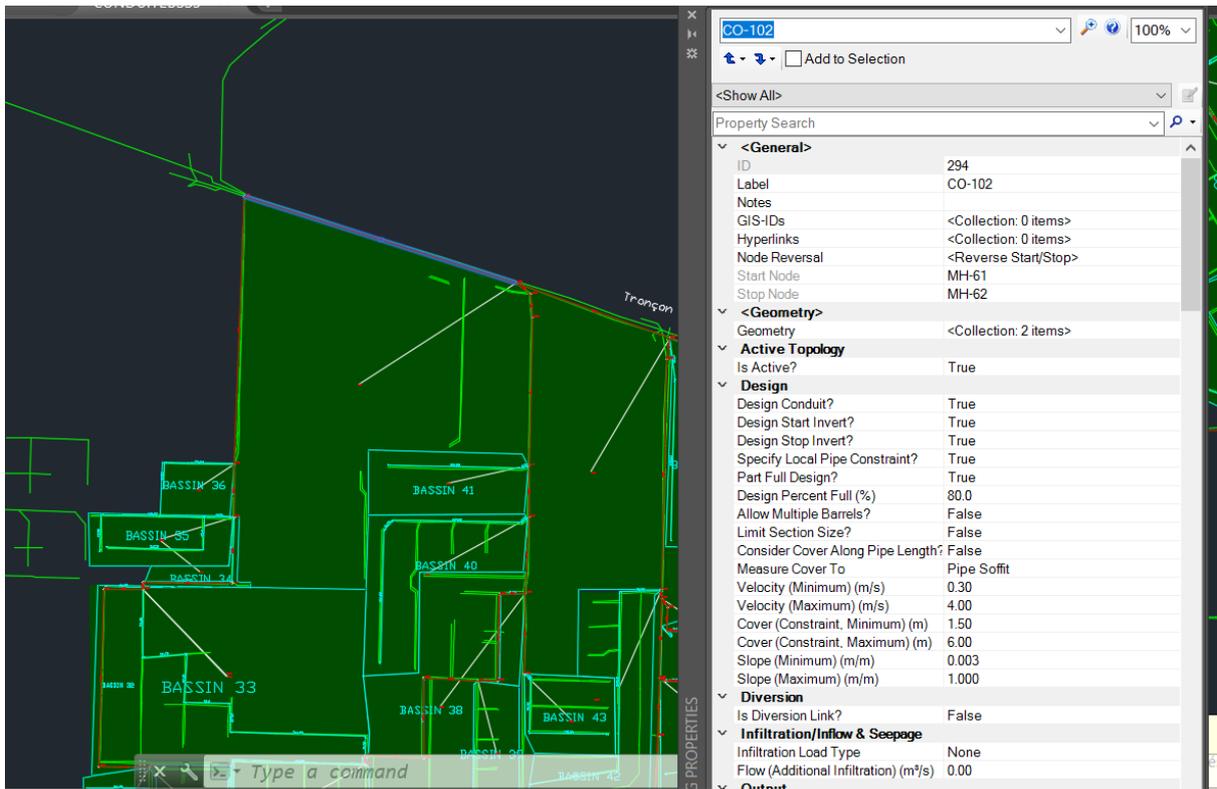


Figure 18: représentation des conduite sous swercad

7. Résultat final :

La figure suivante représente l'ensemble du réseau modélisé :

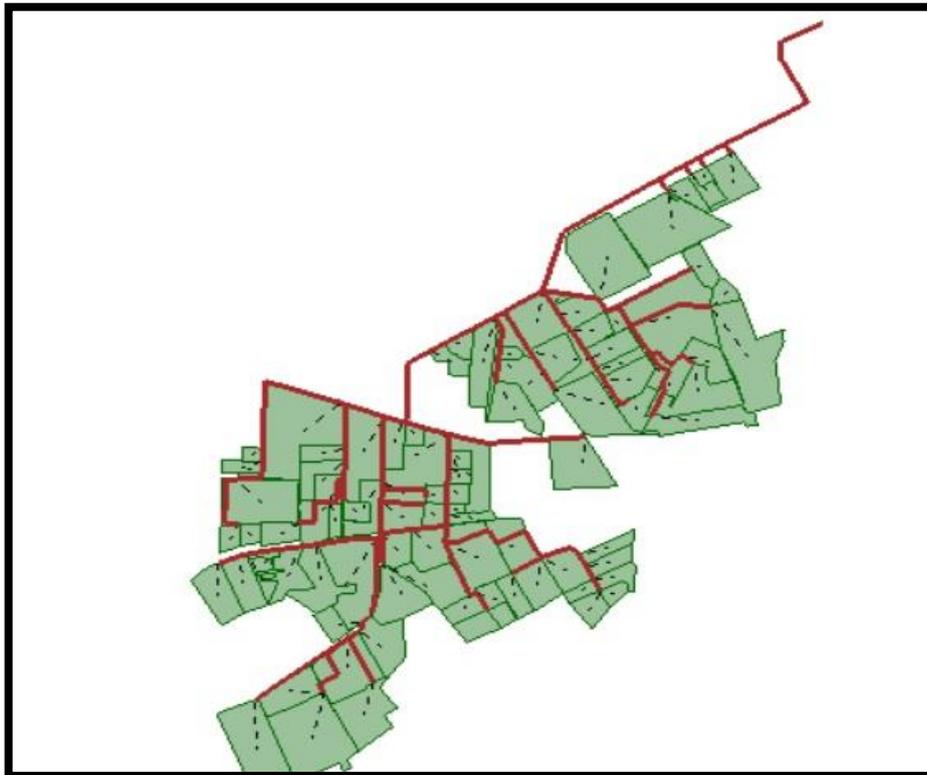


Figure 19: représentation finale du plan de projet

8. Intégration des données hydrologiques

a. Intensité hauteur de pluie double triangle

Le tableau suivant présente les différents coefficients de Montana en fonction de la période de retour de la zone Casablanca :

Période de retour			
	100 ans	50 ans	10 ans
a	7,782	6,997	5,136
b	-0,642	-0,642	-0,641

Tableau 2: coefficient de Montana Casablanca

Avec :

Pluie de projet décennale.

la durée de la période de pluie intense : $t_1 = 15 \text{ min}$

L'intervalle de temps entre le début de la pluie et le début de la période de pluie intense :

$$t_2 = \frac{9 \cdot t_1}{2} = 68 \text{ min}$$

la durée totale: $t_3 = 10 \cdot t_1 = 150 \text{ min}$

Après un simple calcul des intensités on se basant sur les formules empiriques on trouve les résultats suivants : $i_1 = 10 \text{ mm/min}$ et $i_2 = 60 \text{ mm/min}$

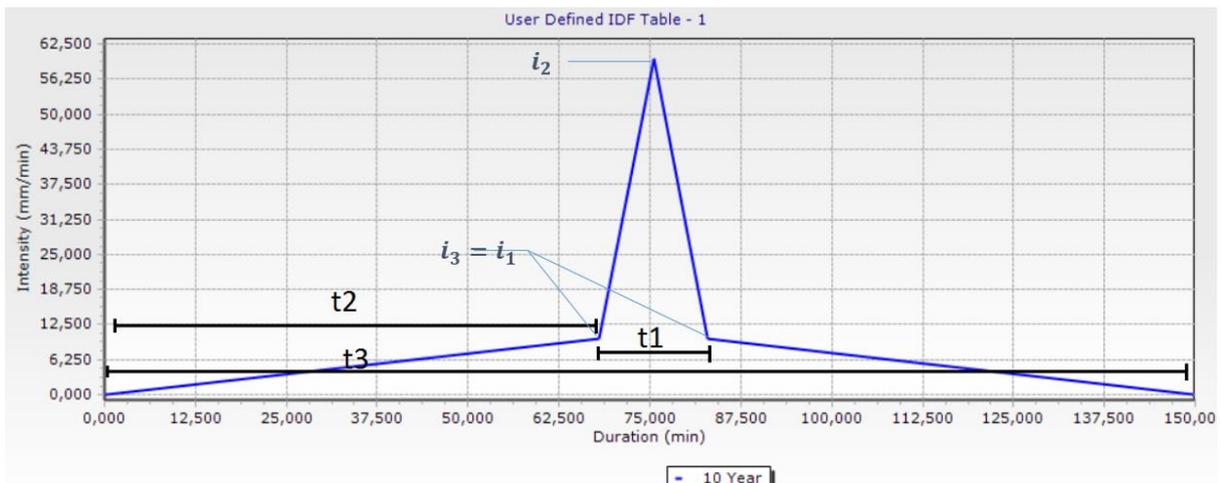


Figure 20: la courbe pluie double triangle

b. CONTRAINTES

a) La vitesse

Les vitesses à respecter dans un réseau d'assainissement soit :

- ❖ Vitesse minimale 0,6 m/s afin d'éviter stagnation des eaux ;
- ❖ Vitesse maximale 4m/s afin d'éviter l'abrasion des collecteurs.

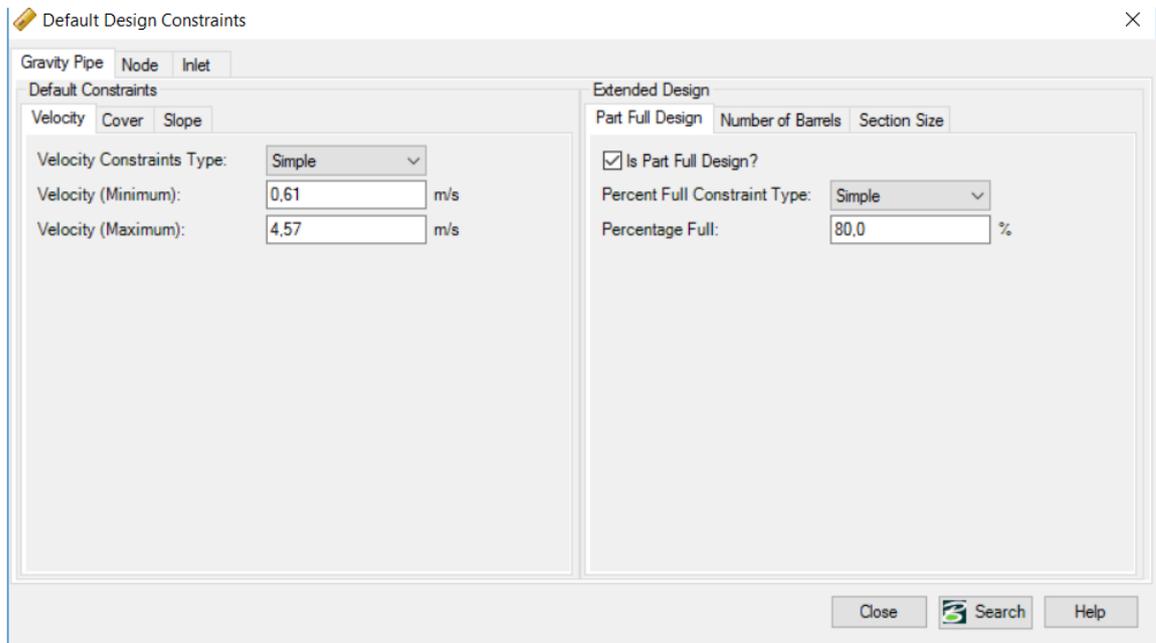


Figure 21: la vitesse maximale et minimale

b) La pente

La pente à respecter dans un réseau d'assainissement soit :

- ❖ La pente minimale 0,6 m/s ;
- ❖ La pente maximale 4m/.

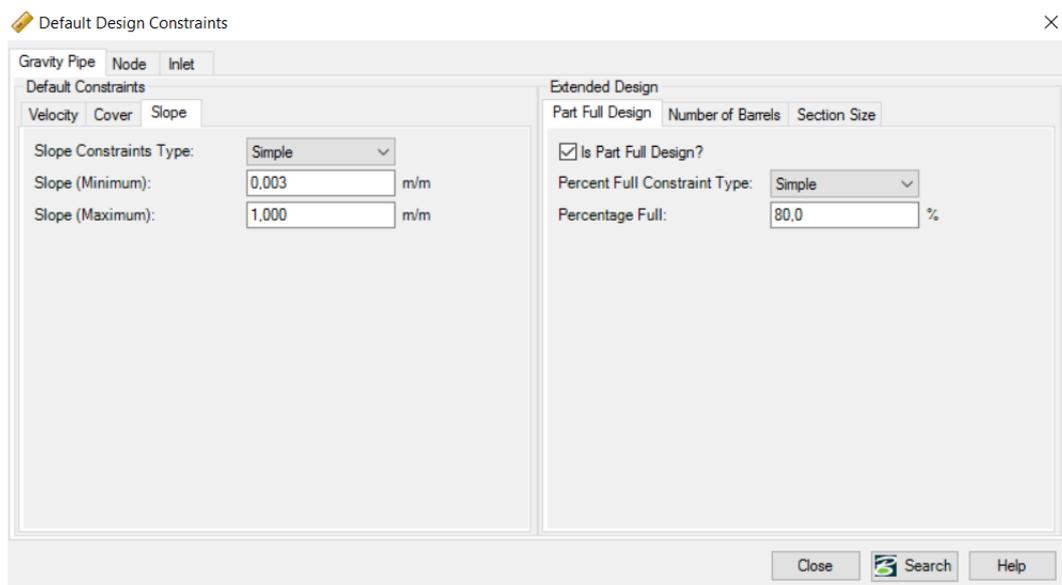


Figure 22: la pente maximale et minimale

c) Couverture

Les couvertures à respecter dans un réseau d'assainissement soit :

- ❖ Couverture minimale 0,6 m/s ;
- ❖ Couverture maximale 4m/s.

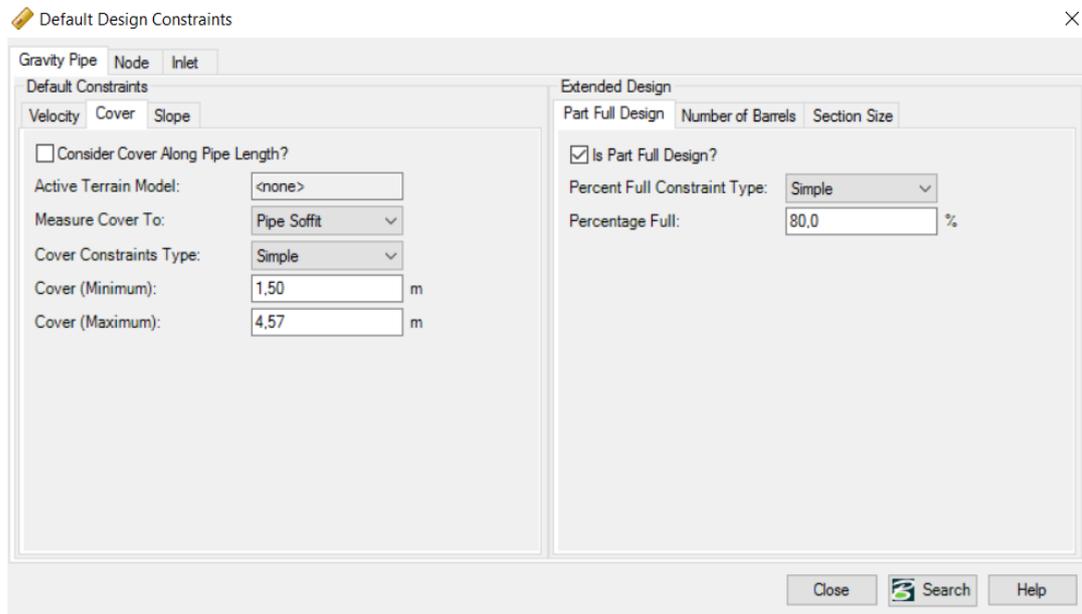


Figure 23: couverture maximale et minimale

Dès qu'on dépasse 6 m de couverture de linéaire important on passe en galerie

d) Taux de remplissage

Le dimensionnement a été réalisé en respectant un taux de remplissage de 80 pour cent.

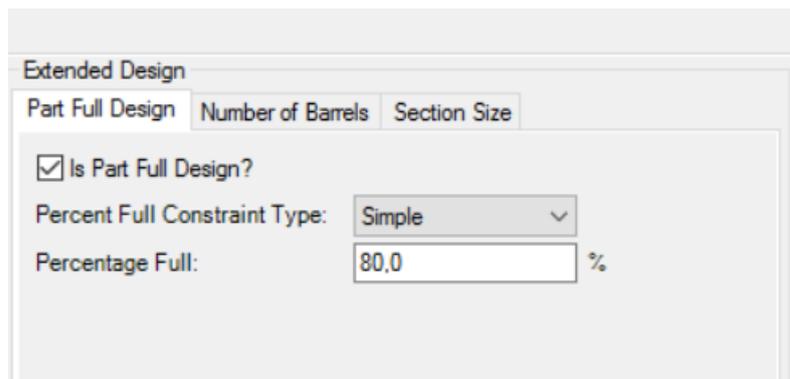


Figure 24: taux de remplissage

e) Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement pour une zone résidentielle, le cas de la zone d'étude celle de Sidi Moumen est de 0.7.

9. Résultats et simulation

Plusieurs scénarios pour le choix du diamètre en été modélisé, les résultats de cette modélisation est représenter dans la figure suivante :

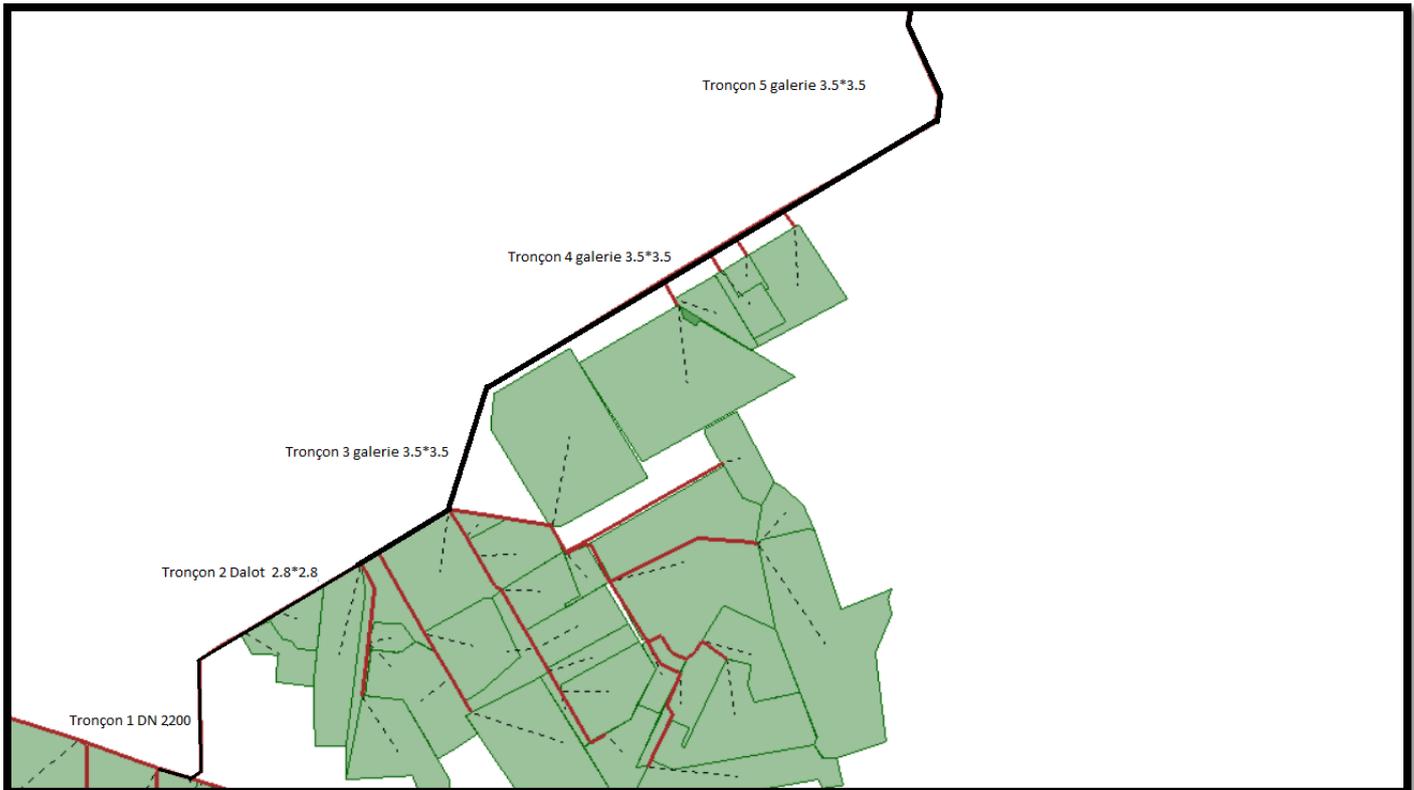


Figure 20 : Résultat de l'étude de modélisation

a. Bassins

Les résultats de calcul obtenus sont présentés dans les tableaux et plans en **annexes**, Voir *annexe 1*.

b. Conduites

Les résultats de calcul obtenus sont présentés dans les tableaux et plans en **annexes**, Voir *annexe 2*.

c. Regards

Les résultats de calcul obtenus sont présentés dans les tableaux et plans en **annexes**, Voir *annexe 3*.

d. Profils

Les résultats de calcul obtenus sont présentés dans les tableaux et plans en **annexes**, Voir *annexe 4*.

La simulation montre que :

Le réseau à modéliser est composé d'un collecteur HA ; un dalot et une galerie ce qui est présenté dans la figure suivante :

aménagement proposés	canalisation					montants d'investissements		
	longueur (ml)	section mode de réalisation	diamètre (mm) ou HxL(m)	profondeur moyenne (m)	rocher en %	Quantités	PU (DH/unité)	total(M DH)
collecteur HA EP								
tronçon 1	423	DN2200-Tranchée	2000	5	50	423	12 400	5245200
tronçon 2	498	dalot 2.2x2.2 - Tranchée	2.2x2.2	5	50	498	25 000	12450000
tronçon 3	337	fer à cheval 2.8x2.8 - Galerie	2.8x2.8	5	50	337	44 000	14828000
tronçon 4	1385	fer à cheval 3.6x3.6 - Galerie	3.6x3.6	5	50	1385	57 000	78945000
tronçon 5	594	fer à cheval 3.6x3.6 - Galerie	3.6x3.6	5	50	594	57 000	33858000
							Total arrondi	= 145 M DH

Tableau 3: Résultats final du projet

Chapitre 3 : Eléments de détails

1. Principales caractéristiques des conduites

La conduite réalisée en tranchée aura les caractéristiques suivantes :

- ✓ Longueur : 423 ml ;
- ✓ Dimensions : DN2000 ;
- ✓ Pente du radier : entre 1 et 3 ‰ ;
- ✓ Profondeur : entre 6 et 17 m.

La conduite réalisée en galerie aura les caractéristiques suivantes :

- ✓ Longueur : 2316 ml ;
- ✓ Dimensions : en fer à cheval ($h = 2.8 \text{ m}$ et $l = 2,80 \text{ m}$) et ($h = 3.6 \text{ m}$ et $l = 3,6 \text{ m}$) ;
- ✓ Pente du radier : 3 et 9 ‰ ;

Comme mentionné précédemment, le long des tronçons en galerie, la section sera conçue en forme de « fer à cheval » pour améliorer la résistance au poids des remblais et disposer de souplesse pendant l'exécution.

2. Regards de visite sur collecteur réaliser en tranchée

Les regards de visite seront des regards type LYDEC sur DN1200 de profondeur inférieure ou supérieure à 4 m. comme présenté sur la figure suivante :

1. Description des puits d'accès sur la galerie

Les puits d'accès seront placés tous les 100 m. Les regards de visite seront mis si possible à l'emplacement des puits de travail ou puits de sortie.

Les puits sont présentés sur la figure suivante :

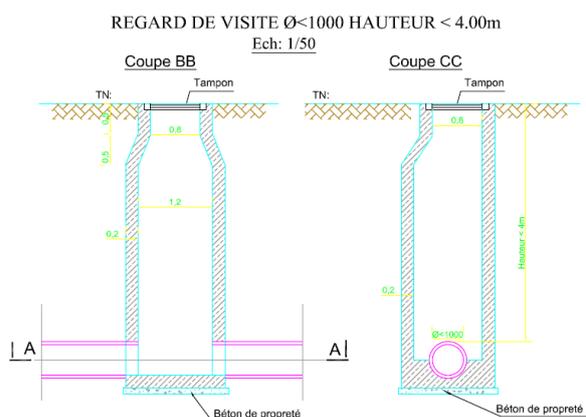


Figure 25: Regard de visite

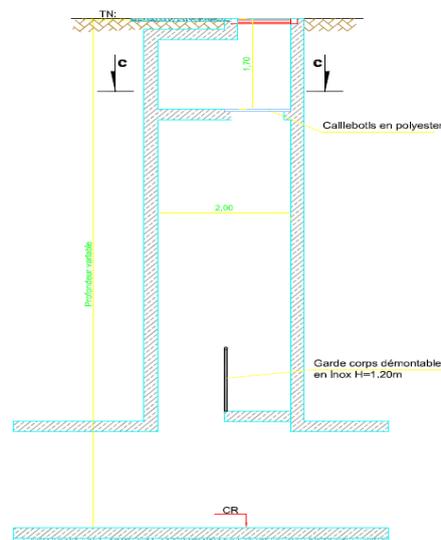


Figure 26: puits d'accès sur la galerie

Lydec prévoir sur ses ouvrages :

- ❖ Un palier intermédiaire afin d'éviter une chute accidentelle pour plus de sécurité de ses employés et les riverains.
- ❖ Un palier de repos en bas du puits qui permet à l'opérateur de s'assurer du niveau d'eau dans la galerie avant de descendre.
- ❖ Un garde-corps amovible

Aucune échelle n'est prévue, la descente se fait directement dans le puits via un harnais.

2. Méthode de réalisation des travaux en tranchée

Les principales interventions à effectuer pour cette opération sont les suivantes :

- Ouverture de fouilles sur et hors chaussée ;
- Terrassement et blindage en tranchée ;
- Mise en décharge de matériaux de déblais inutilisables ;
- Pose de la conduite en tranchée ;
- Réfections de certaines surfaces (enrobés, bordures, caniveaux, ...)
- Fourniture et mise en œuvre de matériaux de remblais pour tranchée ;
- Réfection des routes goudronnées selon l'existant.

3. Méthode de réalisation des travaux en galerie

La galerie sera réalisée par creusement traditionnel. Il s'agit de la méthode de réalisation des galeries souterraines la plus répandue au Maroc.

Cette méthode de construction se déroule en plusieurs phases. De manière générale les étapes sont comme suit et l'entreprise en charge des travaux affinera sa méthode.

Le creusement de la conduite est réalisé par passe avec blindage de la galerie au fur et à mesure de l'avancement du creusement. Le blindage est réalisé par des cintres en acier espacés en général de 1.50 m et des planches en bois entre chaque cintre en acier. La mise en place de cintres métalliques a pour but de permettre le passage d'un homme qui creusera la galerie.

Une galerie est creusée depuis un puits de travail vers un puits de sortie distants de 100 m. Ainsi, les puits de travail et de sortie alterneront. L'évacuation des gravats vers le puits de travail se fait par chariot.

Une fois le creusement achevé sur 100 m, l'équipe de mineurs passe à un autre creusement et l'équipe de maçons commence la réalisation du revêtement définitif au contact du blindage de la galerie creusée.

La dernière étape est le coulage du radier puis du piédroit et de la voûte une fois le creusement achevé.

Le revêtement définitif aura une section en fer à cheval et de dimension visitable.

Conclusion

Notre travail de fin d'étude, effectué au sein du bureau d'études C3E, avait pour principal objectif de réaliser les études du réseaux d'assainissement relatives au projet de la zone sidi Moumen à Casablanca.

Sur le plan technique, ce stage a été une expérience très enrichissante. Il m'a permis d'acquérir de nombreuses connaissances portant sur le domaine hydraulique, mettre en pratique les enseignements acquis pendant notre formation, approfondir les connaissances récoltées tout au long de mes précédents stages et bénéficier du savoir-faire et des compétences hautement pointues du département hydraulique.

Ce stage ma permet de manipuler de nouveaux logiciels tel que Arcgis et Sowercad.

Ce projet de grande envergure m'a permis de toucher les différents aspects de l'étude d'un projet, nous immerger au sein des vraies conditions de travail et me confronter aux différentes problématiques auxquelles doit faire face un ingénieur hydraulicien, soient-elles urbanistiques, réglementaires ou budgétaires.

En somme, ce projet a été une satisfaction totale personnelle. Il m'a permis de concrétiser l'ensemble des objectifs que nous nous étions fixés avant de débiter ce stage. À savoir, toucher et mettre en pratique un large spectre de connaissances acquises pendant ma formation, Palper la véritable nature d'un métier d'avenir et hautement technique et acquérir le savoir-faire nécessaire pour pouvoir débiter ma vie professionnelle sur des bases, on ne peut plus solides.

Bibliographie

- [1] Guide technique de l'assainissement/marc satin, béchir selmi. 2^{ème} Édition.
- [2] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0203/travaux/optsee/bei/7/rl021.html>.
- [3] <http://www.chartes-qualite-lr.org>.
- [4] http://www.besancon.fr/gallery_files/site_1/346/347/357/64928/20132referentiel2012.pdf.
- [5] <https://www.arcgis.com>.
- [6] <https://www.bentley.com/fr/products>.
- [7] Mémoire de Projet de Fin d'Etudes Master Science et Technique Eau et Environnement/
Hanane AIT HMEID.
- [8] <http://www.geolys.be/modelisation-hydrogeologique.html>.
- [9] MONOGRAPHIE DE LA REGION DU GRAND CASABLANCA / LA GRAND DU
REGIONALE.
- [10] Etude de la pluviométrie au Maroc/ Houda TAHIRI Directrice division étanchéité
« Derbigum »
Laboratoire Hydrologie et Aménagement (HYDRAM) Rapport de Master/ Modélisation de la
gestion des eaux de pluie en milieu urbanisé/ Dr Marc SOUTTER.