

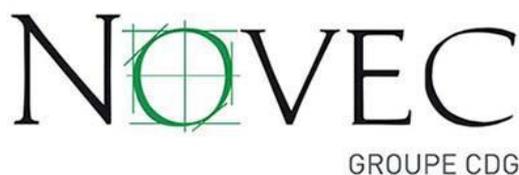


**Département: Génie Energétique et énergies renouvelables
& Génie Civil**

**Mémoire de Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en Génie Civil**

**Etude de voirie et d'assainissement du lotissement
quartier sud Zenata et application des principes
de développement durable**

Réalisé Par :
BELKHADRI Sara
Effectué à
NOVEC.SA RABAT



Membres de jury :

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

Encadré à NOVEC par :
Mr. BENNOUNA Yassine

Soutenu le 20/07/2017 devant le jury composé de :
Pr. Mr. EL HAIM Mohamed..... Président (ENSAH)
Pr. Mr . IKHARRAZEN Lmokhtar..... Examineur(ENSAH)
Pr. Mr. ZERFAOUI Mustapha.....Examineur (ENSAH)
Mr. BENNOUNA YassineIngénieur à NOVEC

Année Académique: 2016-2017

Dédicaces :

A l'éclat de ma vie, la lumière de mon existence, mes chers parents qui ont été là pour moi tout au long de mes études et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail tout ma reconnaissance et tout mon amour.

A mon frère et mes sœurs, qui je le sais ma réussite est très importante pour vous

A tous mes amis et toutes mes amies pour leur disponibilité inconditionnelle, leur aide inestimable et amitié rare

A tous ceux qui ont contribué à ma formation, partant de mes enseignants du primaire 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.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma vive reconnaissance envers toute personne ayant participé de près ou de loin dans le bon déroulement de notre stage de projet de fin d'étude.

Je remercie très particulièrement M. BENNOUNA, mon encadrant au sein de NOVEC, pour sa disponibilité et son encadrement qui m'ont été d'une grande utilité.

Je tiens à remercier également mon encadrant interne Professeur Mr. EL HAIM, pour son encadrement spécial, sa disponibilité permanente et les efforts qu'il a déployés afin de pousser à l'avant mon projet.

J'adresse ma sincère reconnaissance à Monsieur Mohammed Adil FAOUZI et Madame Hiba LAHLALI, ingénieurs et cadres techniques à NOVEC pour leurs conseils très enrichissants. Et à toute personne du personnel de NOVEC ayant contribué de près ou de loin à la réussite de mon travail.

Je désire aussi adresser notre gratitude à M. ELAMRANI, qui m'a prêté main-forte et a facilité mon insertion au sein du bureau d'études.

Je tiens aussi à remercier tous mes enseignants pour tous ce qu'ils m'ont appris durant ma formation.

Je remercie les membres du jury qui ont bien voulu juger ce rapport

Résumé

Déclarée d'utilité publique en mars 2006, l'Eco-Cité Zenata a été conçue dans la perspective d'offrir une qualité de vie optimale à ses habitants actuels et futurs.

Dans ce cadre, un Protocole d'Accord a été signé sous la Haute Présidence de Sa Majesté le Roi Mohammed VI et a mandaté le Groupe Caisse de Dépôt et de Gestion (CDG), à travers sa filiale dédiée la Société d'Aménagement Zenata (SAZ) pour la conception et l'aménagement de la Ville Nouvelle ZENATA, cette conception doit prendre en compte la préservation des ressources naturelles ainsi que le respect et la valorisation de l'authenticité socioculturelle de la région, En plaçant le développement durable au cœur de ses priorités .

Mon travail est scindé en deux parties :

➤ La première consiste en la réalisation des études d'aménagement en voiries et réseaux divers du quartier sud ZENATA.

Pour effectuer ce travail, une étude détaillée, a été réalisée, allant de la conception jusqu'au détail estimatif de chacun des lots de voirie, d'assainissement.

- Pour la voirie : on a effectué le tracé des axes des différentes voies du projet selon le plan de masse donné par l'architecte. Le calage du profil en long et du profil en travers type de la chaussée ainsi que le calcul métré et l'estimation financière du projet.

- Pour l'assainissement : on a effectué le tracé en plan du réseau d'assainissement de type séparatif. Ensuite, nous avons entamé le calage des profils en long des canalisations en se servant du logiciel Covadis, puis nous avons réalisé le dimensionnement et l'estimation financière de ce réseau séparatif.

➤ La deuxième partie consiste en l'application des principes de développement durable sur le présent projet et la définition des différentes variantes liées à ce concept suivie d'une analyse détaillée des contraintes technico-économiques.

Table des matières:

Introduction :	11
Chapitre 1 : présentation de l'environnement du projet	12
1. Présentation de la société d'accueil	13
1.1. Présentation générale	13
1.2. Les missions de NOVEC	13
1.3. NOVEC en chiffre	14
1.4. Organisation de l'entreprise	14
2. Situation du projet	15
2.1. Situation du projet	15
2.2. Plan d'aménagement	15
2.3. Caractéristiques naturelles de la zone du projet	16
Chapitre 2 : Etude voirie	20
1. Introduction :	21
2. Présentation générale sur la voirie	21
2.1. Eléments constitutifs de la voirie [1]	21
2.2. Les caractéristiques géométriques [1]	22
2.3. Les différentes structures de chaussées	22
3. Norme et réglementation en vigueur pour la voirie urbaine [5]	24
3.1. Tracé en plan	24
3.2. Le profil en long	24
4. Conception et dimensionnement des voies :	25
4.1. Conception de la voirie :	25
4.2. Profil en long	25
4.3. Coordination du Tracé en Plan et du Profil en Long	25
4.4. Profils en travers :	27
4.5. Dimensionnement des voies	28
4.6. Bordures et caniveaux :	31
5. Métré et estimation des travaux de voirie :	32
Chapitre 3 : Assainissement	33
1. Introduction :	34
2. Accessoires du réseau d'assainissement [3]	34

2.1.	Regards	34
2.2.	Les collecteurs [3]	35
3.	Différents systèmes des réseaux d'assainissement :	35
3.1.	Système unitaire	35
3.2.	Systèmes séparatifs.....	36
3.3.	Système Pseudo-séparatif (mixte)	36
3.4.	Comparatif entre les systèmes fondamentaux.....	37
4.	Evaluation des débits	37
4.1.	Calcul des débits de pointe des eaux pluviales [2]	37
4.2.	Choix de la période de retour.....	39
4.3.	Validité de la formule [2]	40
4.4.	Les coefficients de Montana	40
4.5.	Analyse et calcul des coefficients de ruissellement	40
4.6.	Assemblage des bassins élémentaires	41
5.	Calcul des débits de pointe des eaux usées	42
5.1.	Taux de retour à l'égout :	42
5.2.	Taux de raccordement au réseau des eaux usées :	42
5.3.	Débit des eaux parasites : [2].....	42
5.4.	Coefficients de pointes :	43
5.5.	Eaux usées domestiques [2].....	43
6.	Critère de dimensionnement des collecteurs :	44
6.1.	Calcul des sections.....	44
6.2.	Vitesse à pleine section :	44
6.3.	Débit à pleine section :	45
6.4.	Vitesse d'écoulement et hauteur de remplissage : [2].....	45
6.5.	Vitesse d'écoulement.....	46
6.6.	Conditions d'auto-curage.....	46
7.	Spécifications techniques	46
7.1.	Choix des diamètres.....	46
7.2.	Matériaux des conduites	47
7.3.	Implantation des ouvrages annexes	47
7.4.	Implantation des collecteurs :	47

7.5.	Implantation des grilles :	47
7.6.	Pente min de calage :	47
7.7.	Découpage des bassins versants EP	47
7.8.	Hypothèses de base.....	48
8.	Conception et dimensionnement des ouvrages d'assainissement	48
8.1.	Tracé en plan :	48
8.2.	Tracé du profil en long	48
8.3.	Zone de rejet :	49
8.4.	Détermination des débits	49
8.5.	Dimensionnement des collecteurs EP	50
8.6.	Modalités d'exécution des travaux de terrassement	50
8.7.	L'estimation financière des travaux d'assainissement.....	52
Chapitre 4 : Aménagement durable.....		53
1.	Introduction.....	54
2.	Finalité du développement durable : [9]	54
3.	Certification HQE aménagement : [10]	54
3.1.	Les objectifs de la certification HQE Aménagement.....	55
3.2.	Les Bénéfices.....	55
4.	Objectif Eco-cité Zenata :	55
5.	Application et analyse.....	56
5.1.	Voirie.....	56
5.2.	Assainissement :	62
5.3.	Exemples de villes durables :	69
Conclusion :		71
Bibliographie.....		72
WEBOgraphie.....		72
Les dates de consultation		72
Annexe		73

Liste des figures

Figure 1: Organigramme de NOVEC.....	14
Figure 2: Plan de situation du projet	15
Figure 3: Plan d'aménagement du projet	15
Figure 4: Diagramme des températures maximales-minimales-moyennes	16
Figure 5: Variations intra-annuelles des précipitations moyennes mensuelles	17
Figure 6: Carte représentative des unités litho-structurales de la région de ZENATA et de ses environs (1/1000 000)	18
Figure 7: Eléments constitutifs de la voirie.....	21
Figure 8: Structure type d'une chaussée souple.....	22
Figure 9: Structure type d'une chaussée semi-rigide	23
Figure 10: Structure type d'une chaussée rigide	23
Figure 11: Dessin des axes de la voirie sur le plan.....	25
Figure 12: Coordination du Tracé en Plan et du Profil en Long pour angle sillant	26
Figure 13: Coordination du Tracé en Plan et du Profil en Long pour angle rentrant	26
Figure 14: Profil en travers type de la chaussée (16m)	27
Figure 15: Profil en travers type de la chaussée (24m)	27
Figure 16: Structure de la chaussée.....	31
Figure 17: Dimension d'un bordure T4 et d'un caniveau CS1	32
Figure 18: Schéma de principe d'un réseau unitaire	35
Figure 19: Schéma de principe d'un réseau séparatif.....	36
Figure 20: Schéma de principe d'un réseau pseudo-séparatif	36
Figure 21: Variations des débits et des vitesses en fonction du remplissage	45
Figure 22: Coupe tranchée type pour conduite circulaire	51
Figure 23: Niveau Eco-cité Zenata.....	56
Figure 24 : Conception durable de la voie(16m).....	58
Figure 25: Conception durable de la voie(24m).....	58
Figure 26: Schéma de fonctionnement structure à réservoir	60
Figure 27: Bassin sec revêtu	63
Figure 28: Bassin en eau Quartier Augustenborg, Malmö, Suède Sources 2002	63
Figure 29: Bassin enterré	64
Figure 30: Bassin d'infiltration strict	65
Figure 31: Bassin de rétention infiltrant.....	66
Figure 32: Noue	67
Figure 33: REYKJAVIK, ISLAND	69
Figure 34: CURITIBA, BRÉSIL.....	69
Figure 35: HAMBOURG, ALLEMAGNE	70

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les températures maximales-minimales-moyennes	16
Tableau 2:Dimensions des différentes voies du projet.....	28
Tableau 3:classe des trafics (catalogue marocain des chaussées)	29
Tableau 4:limite supérieure de trafic cumulé (catalogue marocain des structures type chaussées)	29
Tableau 5:Dénomination de l'environnement climatique	30
Tableau 6:Catégorie du sol.....	30
Tableau 7: Estimation des travaux de voirie	32
Tableau 8:Comparatif entre les réseaux fondamentaux	37
Tableau 9:Décomposition du CUS.....	40
Tableau 10:Coefficient de ruissellement de base	41
Tableau 11:Formules d'assemblages des bassins versants élémentaires.....	41
Tableau 12:Relation du diamètre nominal et largeur de tranche.....	50
Tableau 13:Estimation des travaux d'assainissement EU et EP.....	52
Tableau 14: Analyse technico-économique des différentes variantes de traitement de chaussées.....	61
Tableau 15: Analyse technico-économique des techniques alternatives ou compensatoire.....	68

Liste des abréviations, sigles et acronymes

- COS : Coefficient d'occupation du sol
- CUS : Coefficient d'utilisations du sol
- REFT : Routes Economiques à Faible Trafic
- CDG : Groupe Caisse de Dépôt et de Gestion
- SAZ : Société d'Aménagement Zenata
- VNZ : ville nouvelle de Zenata
- SDAL : Schéma Directeur National d'assainissement liquide
- CBR: "California Bearing ration"
- PVC : Polychlorure de vinyle
- PEHD : polyéthylène haute densité
- CAO : Béton Centrifugé Armé Ordinaire
- EU : Eau usée
- EP : Eau pluvial
- BV : Bassin versant
- DN : Diamètre nominal
- GMTR : Guide marocain pour les terrassements routiers.
- GNA : Grave non traitée de type A
- GNF : Grave non traitée pour couche de fondation
- TV : Tout venant
- PMR : Personne à mobilité réduite
- HQE : Haute qualité environnementale

Introduction :

Dans un contexte mondial de mutations climatiques et de défis socio-économiques, les villes portent une responsabilité majeure : lieux de vie sociale et de création de valeurs, elles sont à la fois source de richesses et de défis. La réflexion sur la conception et le développement des villes est donc primordial.

Au Maroc, l'Eco-Cité Zenata a adopté une démarche d'éco-conception se basant sur un ensemble de réflexions pour réduire ou limiter les impacts environnementaux tout au long de son cycle de vie et favoriser son développement socio-économique.

Des études stratégiques, urbanistiques, environnementales et techniques ont contribué à l'élaboration d'un Plan d'Aménagement répondant au mieux aux besoins socio-économiques et environnementaux de la région.

Mon projet de fin d'étude, intitulé « Etude de voirie et assainissement du lotissement quartier sud de la nouvelle ville Zenata et application des principes de développement durable » s'inscrit dans cette optique et s'articule autour des deux missions suivantes :

- Réalisation des études détaillées pour l'aménagement en voirie et assainissement du projet.
- L'application des principes de développement durable sur ce projet

Chapitre 1 : présentation de l'environnement du projet

Le présent chapitre porte sur la description des différents paramètres liés au projet et son environnement, à savoir l'entreprise où on a mené ce projet de fin d'étude et le milieu naturel.

1. Présentation de la société d'accueil

1.1. Présentation générale

NOVEC est une entreprise à conseil d'administration, constituée d'une direction générale, de 4 pôles métier et un de support, de 12 départements et 8 services techniques.

NOVEC est le fruit de la fusion entre les sociétés Ingema et Scet-Scom, dont CDG Développement est l'actionnaire de référence.

NOVEC regroupe désormais les activités des deux bureaux d'étude, dont il convient de rappeler les plus importantes :

➤ **Scet-Scom (fondée en 1958)** : Bâtiment, Aménagements urbains, Agriculture et développement rural, Alimentation en eau et Assainissement.

➤ **Ingéma (fondée en 1973)** : Grandes infrastructures (Barrages, Autoroutes, Ouvrages d'art, Ports, Tunnels), Ressources en eau, Energie et Environnement.

NOVEC emploie près de 600 collaborateurs, intervient dans des domaines d'activité variés et dispose de nombreuses implantations régionales. Ainsi, NOVEC, dont le siège social est à Rabat, est également présente à l'échelle régionale à travers ses agences. Elle opère également à l'international, où elle est appelée à devenir l'un des bureaux de référence, notamment en Afrique et au Moyen-Orient.

A travers la création de NOVEC, CDG Développement ambitionne de doter le pays d'une ingénierie d'excellence, offrant des services de haut niveau dans les métiers en rapport avec le développement territorial durable, tant à l'intérieur du Royaume qu'à l'international.

1.2. Les missions de NOVEC

NOVEC assure l'ensemble des processus des métiers d'ingénierie, depuis les études de faisabilité jusqu'à l'assistance à la réalisation et à l'exploitation.

➤ **Les études générales** : plans et schémas directeurs, études stratégiques, évaluations environnementales...

➤ **Les prestations de maîtrise d'œuvre** : études de conception et de réalisation des ouvrages, suivi et contrôle des travaux...

➤ **Les prestations d'assistance à maîtrise d'ouvrage** : montage et définition des projets, organisation et gestion des projets et assistance technique.

- **Audit et conseil** : audit environnemental et évaluation technique
- **Formation et accompagnement** : diagnostic participatif, accompagnement des projets d'infrastructures...
- Ordonnancement, pilotage et coordination

1.3. NOVEC en chiffre

- **Capital** : 50.000.000 DH
- **Collaborateurs** : 600 dont 202 ingénieurs, 227 techniciens et 103 administratifs.
- **Nombre de références** : plus de 300 projets réalisés au Maroc et à l'international

1.4. Organisation de l'entreprise

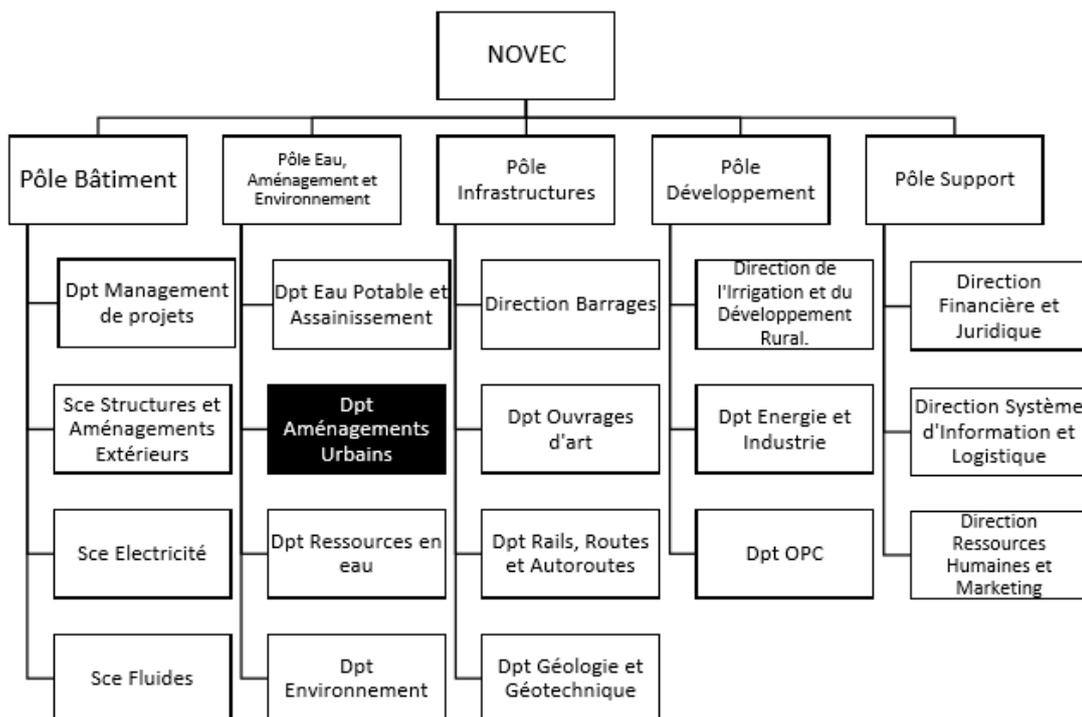


Figure 1: Organigramme de NOVEC

2. Situation du projet

2.1. Situation du projet

Le projet objet de la présente étude, se situe dans le sud de la nouvelle ville ZENATA, et s'étend sur une superficie de 450291m



Figure 2: Plan de situation du projet

2.2. Plan d'aménagement

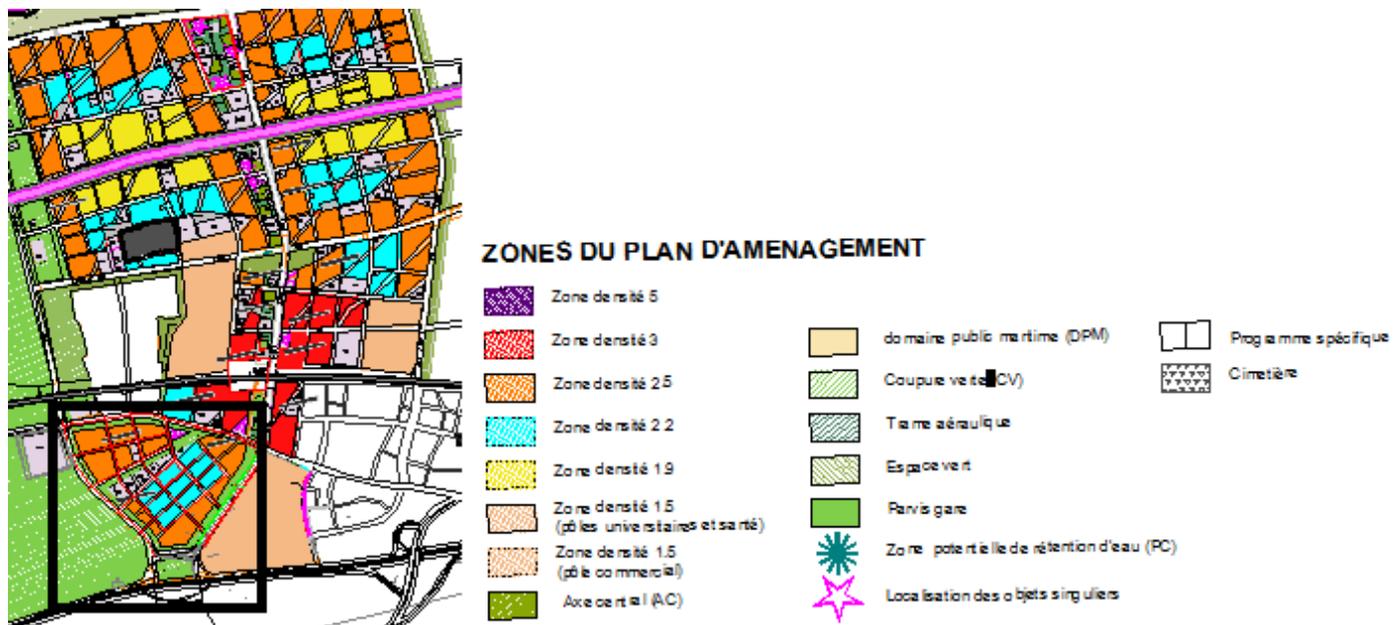


Figure 3: Plan d'aménagement du projet

Le programme d'aménagement de la partie nord (ou sera située la voie côtière) de la 1^{ère} zone de développement prévoit principalement la création de :

- Zones mixtes (70% Logement et 30% bureau) avec un COS moyen de 2,5.
- Espace vert.
- Equipements public.(voit figure3)

2.3. Caractéristiques naturelles de la zone du projet

2.3.1. Climatologie

2.3.1.1. Températures

Le paramètre température présente une variabilité intra-annuelle, et peu variable d'une année à l'autre. Le tableau et la figure ci-dessous présentent les Tmax., Tmin. et Tmoy. de la période allant de 1991 à 2009.

	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
Max.	16,8	17,3	18,7	19,7	21,9	23,9	25,4	<u>25,8</u>	24,7	22,8	20,0	18,1
Min.	<u>9,8</u>	10,7	12,4	13,7	16,1	19,1	20,6	21,1	19,5	17,0	13,4	11,5
Moy.	13,3	14,0	15,6	16,7	19,0	21,5	23,0	23,5	22,1	19,9	16,7	14,8

Tableau 1 : Les températures maximales-minimales-moyennes

La température moyenne de l'année est de l'ordre de 18,3° avec un maximum de 25,8° et un minimum de 9,8°.

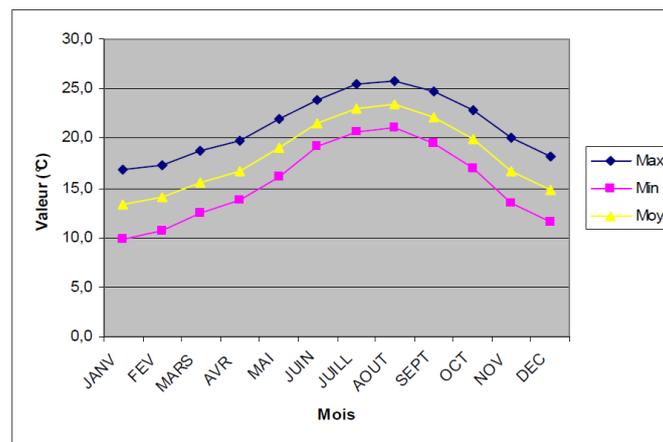


Figure 4: Diagramme des températures maximales-minimales-moyennes

2.3.1.2. Précipitations

La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 377 mm/an. Les pluies sont caractérisées par une variabilité saisonnière.

Les variations intra-annuelles des précipitations moyennes mensuelles sont présentées sur la figure suivante:

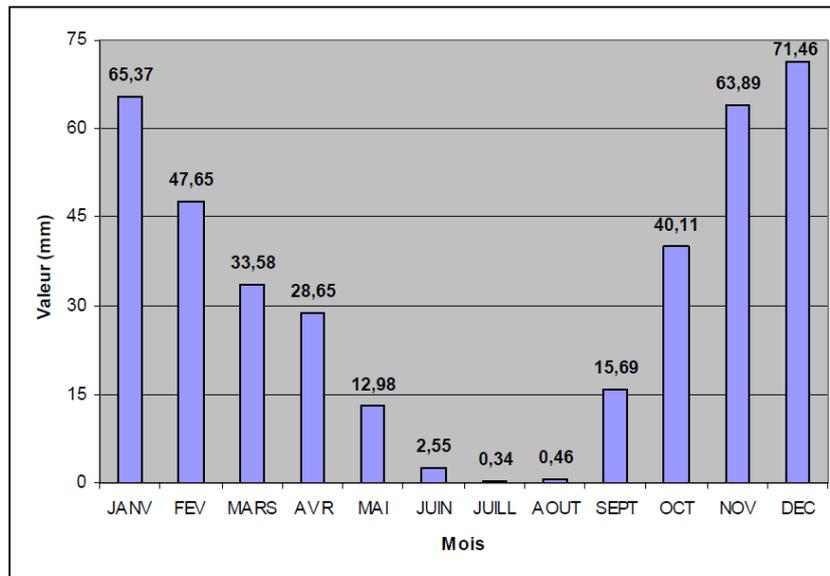


Figure 5: Variations intra-annuelles des précipitations moyennes mensuelles

2.3.1.3. Vents

Au niveau de la zone d'étude, le vent calme souffle 6,1% de l'année, alors que 54,3% des vents ont une force de 2 à 4 m/s, 27% sont entre 4 et 9 m/s, 18% sont entre 0 et 2 m/s et seulement 0,7% des vents dépasse les 9 m/s.

Les vents en provenance du Nord et du Nord - Est sont prédominants, suivis par les vents des secteurs Ouest.

2.3.2. Topographie

La topographie de la zone présente une topographie plane ondulée caractérisée par de basses altitudes et une alternance de lignes de crêtes. Les altitudes sont comprises entre le niveau 56 m et 27 m.

2.3.3. Contexte géologique :

La région de ZENATA fait partie de la grande unité géologique connue sous le nom de la Meseta Côtière marocaine s'étendant entre l'Atlantique et l'ensemble des massifs et plaines du Maroc Central. Elle est constituée d'un relief presque parfaitement pénéplaine de plateaux schisteux et quartzitiques et d'un relief dunaire consolidé (Figure6). Ce système de cordons dunaires, aligné parallèlement au rivage actuel, rompt la monotonie des zones tabulaires de la chaîne hercynienne et confère au paysage un aspect largement ondulé. Ainsi, l'ensemble de cette série de plateaux se trouve incliné en pente douce vers la mer.

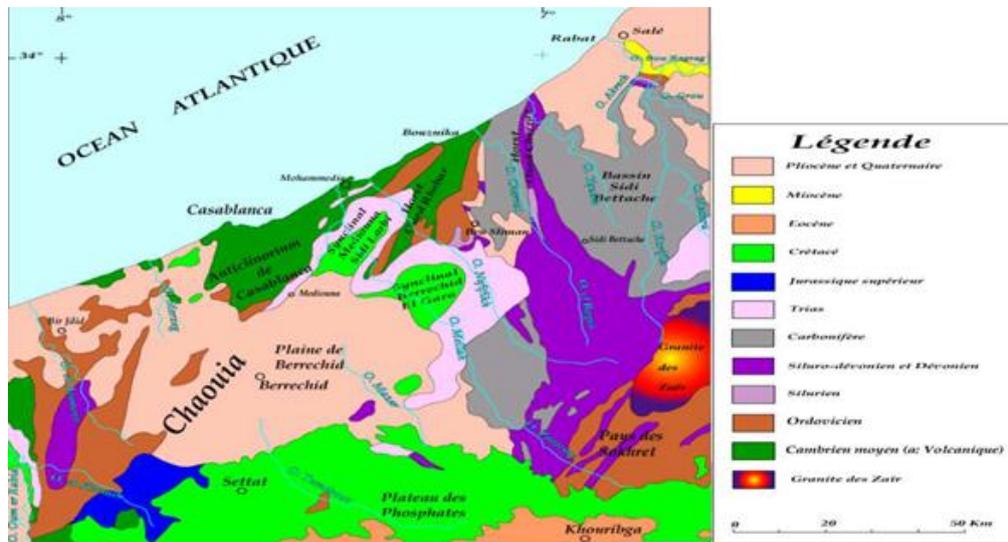


Figure 6: Carte représentative des unités litho-structurales de la région de ZENATA et de ses environs (1/1000 000)

2.3.4. Géotechnique

Des prélèvements d'échantillons de tuf ont été effectués au niveau des sondages et ont fait l'objet d'essais de laboratoire visant à définir leurs caractéristiques physiques, mécaniques et rhéologiques.

Ainsi les échantillons ont été soumis aux essais suivants :

- Essais d'identification des sols :
 - Essai d'analyse granulométrique ;
 - Mesure de l'indice de plasticité par la méthode des limites d'ATTERBERG ;
- Essais mécaniques :
 - Essais Proctor
 - Essais de portance CBR

Les résultats des essais

Essais d'identification :

Cette famille de Tuf présente un pourcentage des fines de 26 à 31% pour des passants à 2 mm de 73 à 93%, avec un indice de plasticité non mesurable. Ce sol est classé en B5 selon la classification GMTR.

Essais mécaniques :

Les échantillons de Tuf prélevés sur site ont fait l'objet d'essais type Proctor Modifié, en plus des essais de portance CBR. Les poinçonnements ont été effectués sur des éprouvettes moulées à la teneur en eau optimale Proctor Modifié et dont l'énergie de compactage est de 25 et 50 coups de dame Proctor. Ces poinçonnements ont été réalisés directement après moulage et également après imbibition à l'eau pendant 4 jours.

2.3.5. Aspect hydrogéologique

Le bassin des oueds côtiers Atlantique et de la Chaouia s'étend sur des terrains primaires, caractérisés par un contexte hydrogéologique défavorable à la présence de nappes d'eau souterraine. Sur le plan hydrogéologique, la province de Mohammedia ne présente pas de nappe généralisée. Les ressources en eau souterraines sont rares au niveau de cette province.

Chapitre 2 : Etude voirie

Ce chapitre portera sur l'étude technique de la voirie de la présente projet (calage des voies, dimensionnement de la structure des chaussées, Métré...).

1. Introduction :

Les travaux de voirie portent sur l'ensemble des ouvrages réservés à la circulation de tous les véhicules (voitures, poids lourds, transports en commun), des deux roues et des piétons, ainsi que sur les aires de stationnement.

Les voies en zones urbaines peuvent se décomposer en plusieurs catégories :

- les voies à fort trafic : routes nationales, départementales, rocares, boulevards, etc. ;
- les voies à trafic moyen : routes de liaison, routes de desserte, etc. ;
- les voies à faible trafic (lotissement) ;
- les voies réservées aux transports en commun, qui font l'objet des sollicitations importantes ;
- les voies-engins pour l'accès des secours incendie, qui dépendent de la nature du bâtiment desservi.

2. Présentation générale sur la voirie

2.1. Eléments constitutifs de la voirie [1]

Chaussée : la ou les parties de la route normalement utilisées pour la circulation des véhicules, situées dans l'emprise.

Piste cyclable : voie exclusivement réservée aux cycles à deux ou à trois roues.

L'emprise : partie du terrain qui appartient à la collectivité et affectée à la route ainsi qu'à ses dépendances.

L'assiette : surface du terrain réellement occupée par la route

Plate-Forme : surface de la route qui comprend la chaussée et les accotements.

Chaussée : surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.

Accotements : zones latérales de la PLATE-FORME qui bordent extérieurement la chaussée.

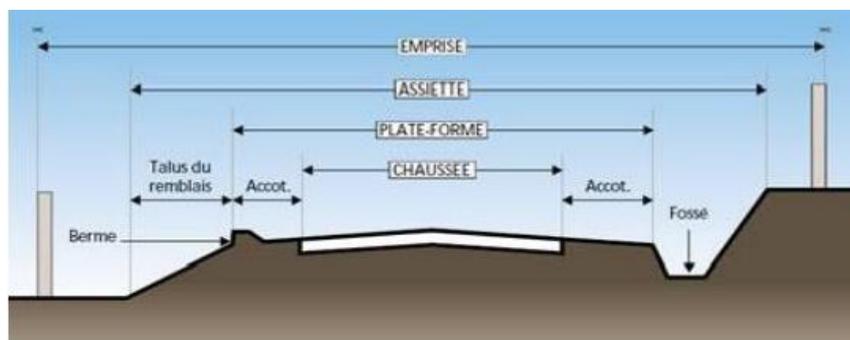


Figure 7:Eléments constitutifs de la voirie

2.2. Les caractéristiques géométriques [1]

Les caractéristiques géométriques d'une voie sont illustrées par le tracé en plan, les profils en long, et les profils en travers.

2.2.1. Le tracé en plan :

Il met en évidence les longueurs des sections rectilignes et la valeur des rayons de courbure et des virages.

2.2.2. Le profil en long :

Il met en évidence les longueurs des sections rectilignes et la valeur des rayons de courbure et des virages.

2.2.3. Le profil en travers

Il illustre essentiellement la largeur de la chaussée et celle des accotements. Il indique aussi les pentes transversales.

2.3. Les différentes structures de chaussées

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue généralement les trois types de structures suivantes :

2.3.1. Les chaussées souples

C'est une structure de chaussée dans laquelle l'ensemble des couches liées qui la constituent, sont traitées aux liants hydrocarbonés.

La couche de fondation et/ou la couche de base peut être constituée de grave non traitée

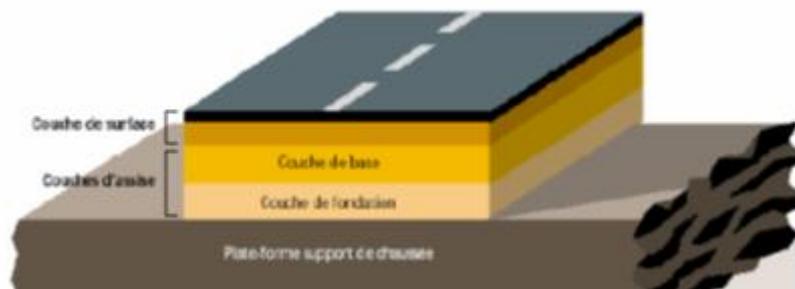


Figure 8: Structure type d'une chaussée souple

2.3.2. Les chaussées semi-rigides

Elles comprennent une couche de surface bitumineuse reposant sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une couche (base) ou deux couches (base et fondation).

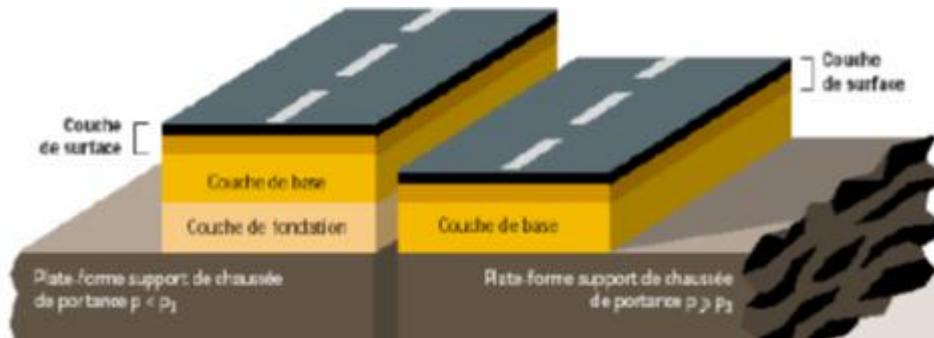


Figure 9: Structure type d'une chaussée semi-rigide

2.3.3. Les chaussées rigides

Une chaussée rigide est constituée d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide.

En règle générale ; une chaussée en béton comporte à partir du sol, les couches suivantes :

- Une couche de forme
- Une couche de fondation
- Une couche de roulement en béton de ciment.

Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic, la couche de fondation n'est pas nécessaire.

La dalle en béton de ciment peut être ainsi réalisée directement sur l'arase terrassement ou sur la plate-forme support de la chaussée.

Dans la chaussée rigide, la couche de surface et la couche de base sont confondues.

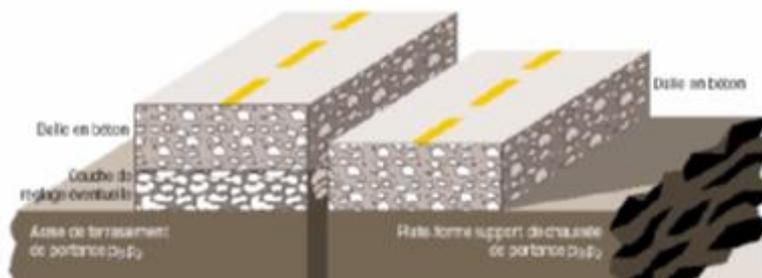


Figure 10: Structure type d'une chaussée rigide

3. Norme et réglementation en vigueur pour la voirie urbaine [5]

Pour le tracé des voies du projet, on aura recours aux instructions sur les caractéristiques géométriques du REFT (Routes économiques à faible trafic).

3.1. Tracé en plan

Le traitement en tracé en plan des axes des voies projetées est fait conformément aux normes d'aménagement en vigueur. A cet effet, tous les axes sont traités en succession d'alignements droits et courbes.

La valeur limite du tracé en plan est la suivante :

- Rayon minimal : 30m (REFT).

3.2. Le profil en long

Le profil en long des axes des voies est une courbe continue, composée de segments de droite raccordés par des arcs de cercle.

Les principaux paramètres du choix des profils en long sont conditionnés par les facteurs suivants :

- Le type de voie (distribution, desserte...);
- Un bon écoulement des eaux pluviales ;
- Un rayon de courbure minimum respectant les normes en vigueur.

Les pentes maximales retenues, au niveau des profils en long sont :

- Pente de 7% comme maximum normal ;
- Pente de 12% comme maximum absolu.

La valeur minimale des rayons de raccordement est généralement prise égale à :

- 1000m (Angle saillant).
- 500m (Angle rentrant).

4. Conception et dimensionnement des voies :

4.1. Conception de la voirie :

La conception des axes des voies du projet est effectuée selon le plan de masse donné par l'architecte.

La linéarité totale de la voirie projetée est d'environ 5111.032m

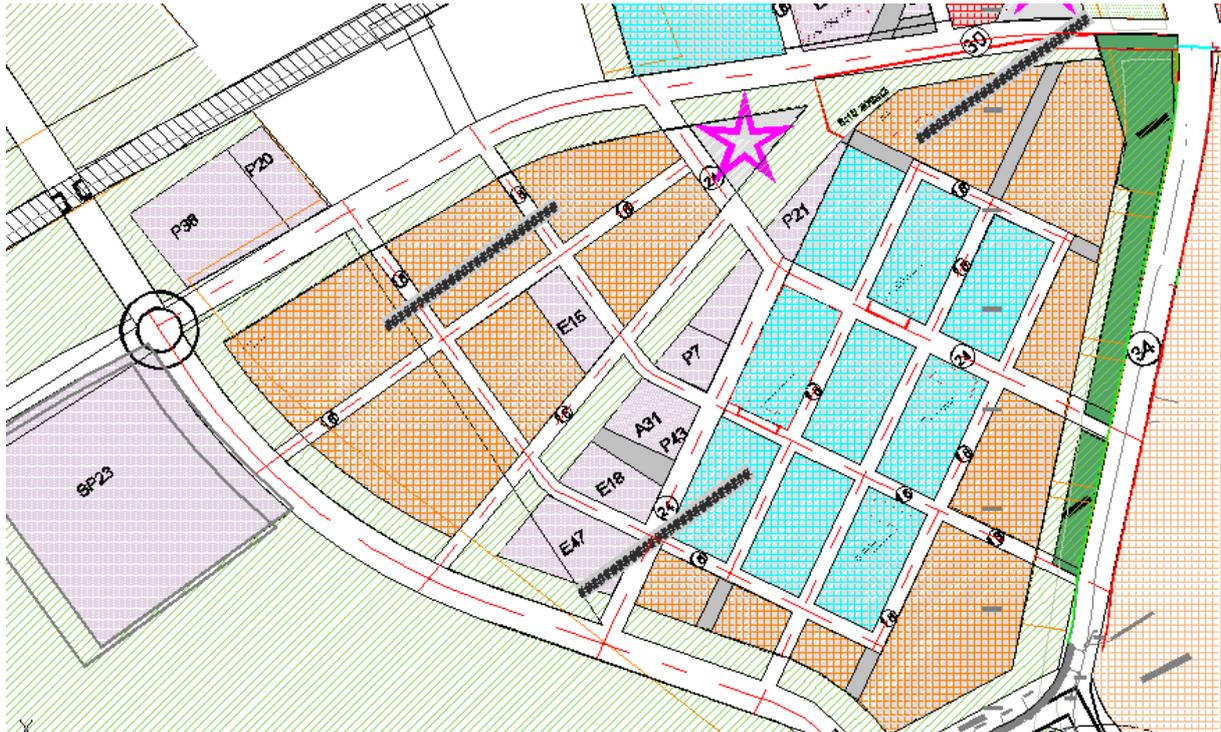


Figure 11: Dessin des axes de la voirie sur le plan

4.2. Profil en long

Le profil en long des axes des voies est une courbe continue, composée de segments de droite raccordés par des arcs de cercle.

Le calage du profil en long des différentes voies a été effectué à l'aide du logiciel Covadis, tout en respectant les normes mentionnées ci-dessus. (Voir annexe 1.2) .

4.3. Coordination du Tracé en Plan et du Profil en Long

En angle saillant :

Règle : Il ne faut pas coïncider le sommet de la parabole (PL) avec l'origine de la courbe en TP.

Objectif : Eviter que le virage soit masqué par le sommet de la parabole.

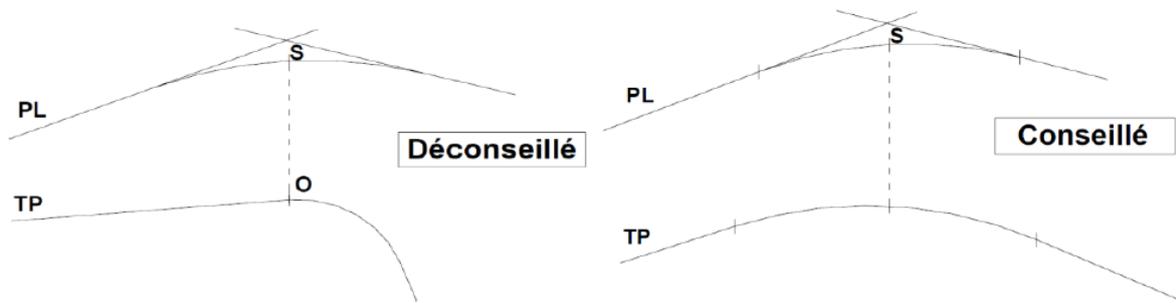


Figure 12:Coordination du Tracé en Plan et du Profil en Long pour angle sillant

Coïncider la courbe en plan avec celle du PL dans la mesure du possible.

Angle rentrant :

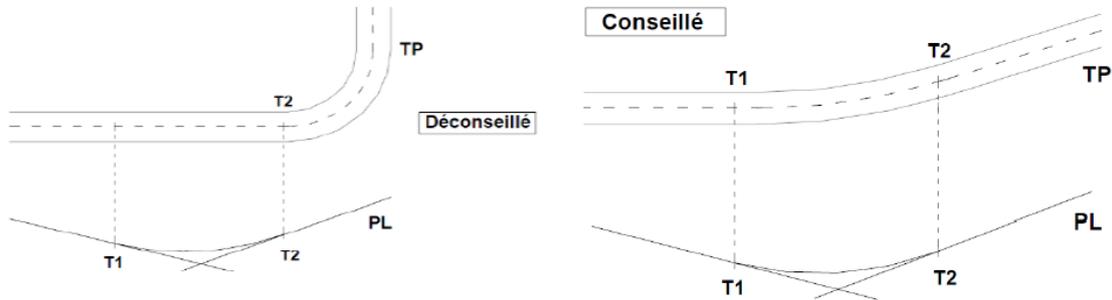


Figure 13:Coordination du Tracé en Plan et du Profil en Long pour angle rentrant

4.4. Profils en travers :

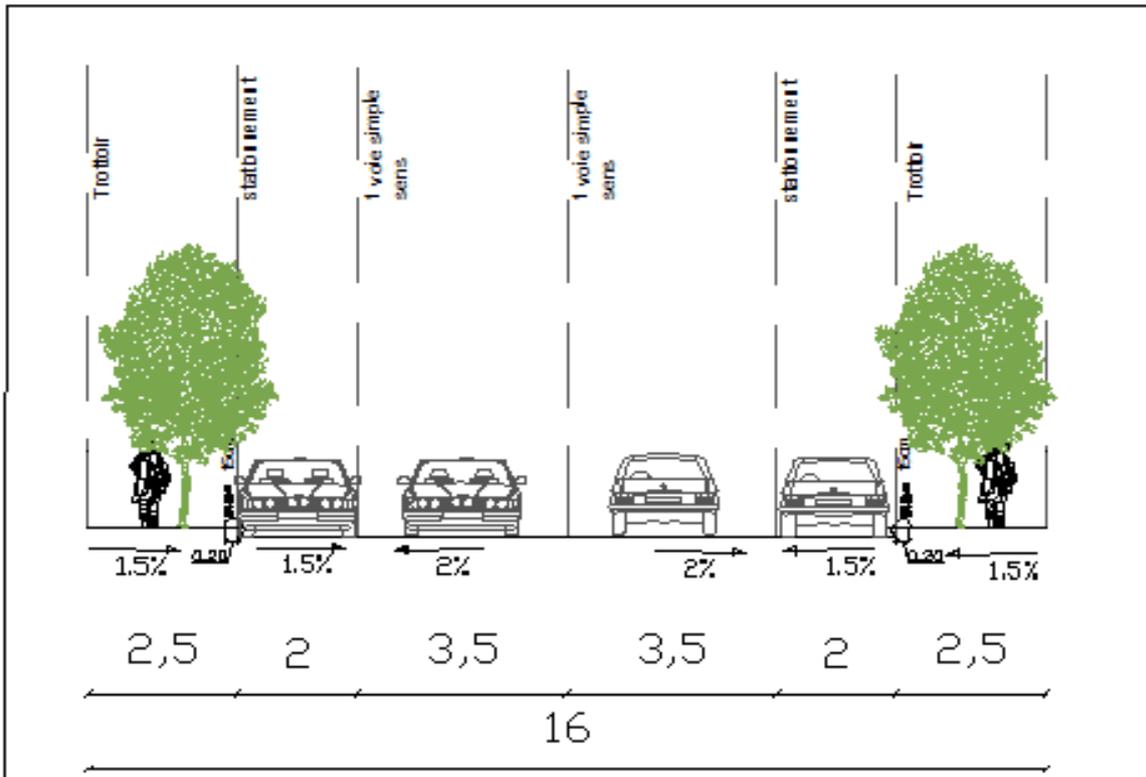


Figure 14: Profil en travers type de la chaussée (16m)

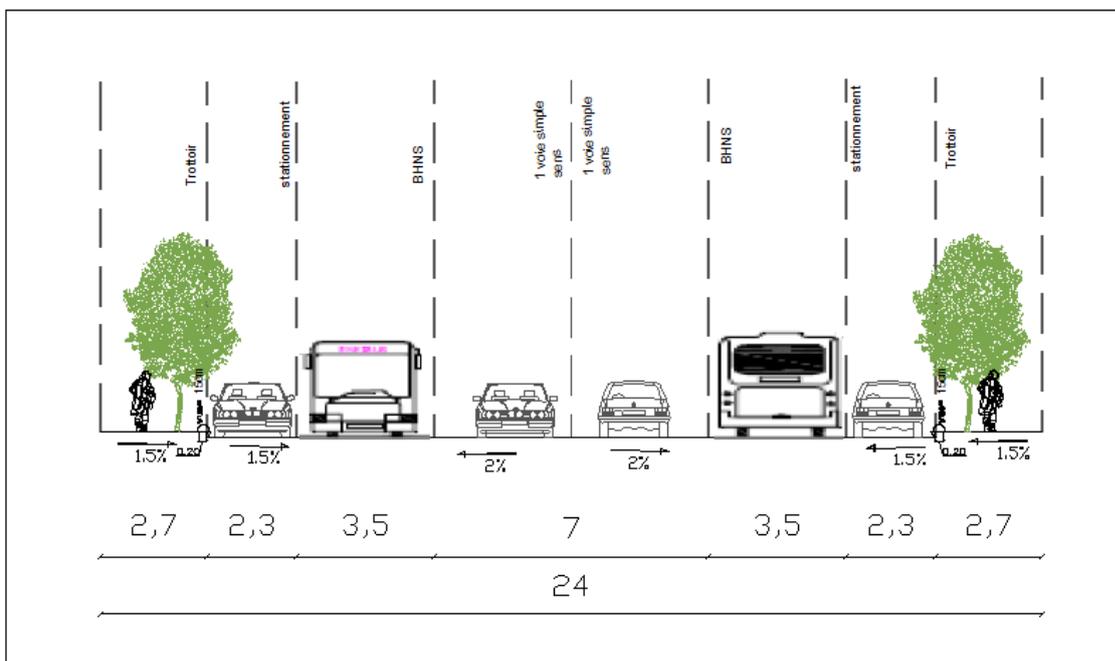


Figure 15: Profil en travers type de la chaussée (24m)

Un projet routier comporte le dessin d'un grand nombre de profils en travers.

Pour éviter de rapporter sur chaque constituant du projet routier ses dimensions, on a établi un profil unique appelé **profil en travers type** contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs de (voir annexe 1.1).

Largeurs des voies, largeurs des chaussées et autres bandes, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure, système d'évacuation des eaux, etc.

Caractéristique des axes			
	Longueur en m	Emprise en m	Surface en m²
Voie 1	722.74	16	11563.84
Voie 2	814.13	16	13026.08
Voie 3	639.13	24	15339.12
Voie 4	178.02	16	2848.32
Voie 5	461.99	16	7391.84
Voie 6	570.64	16	9130.24
Voie 7	461.99	16	7391.84
Voie 8	441.54	24	10740.96
Voie 9	480.69	16	7691.04
Voie 10	532.74	16	8532.84

Tableau 2:Dimensions des différentes voies du projet

4.5. Dimensionnement des voies

Le dimensionnement de la chaussée est basé sur le catalogue marocain des chaussées neuves, il servira à définir les hypothèses nécessaires pour déterminer les différentes couches constituant le corps de la chaussée.

4.5.1. TRAFIC [6]

Le trafic est exprimé en nombre moyen journalier de poids lourds de plus de 8 tonnes en charge sur les deux sens de circulation.

Il est réparti en six classes :

Nbre. Journalier de PL >8T	0 à 5	5 à 50	50 à 125	125 à 250	250 à 325	325 à 450
Classe	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6

Tableau 3:classe des trafics (catalogue marocain des chaussées)

Certaines hypothèses ont été utilisées concernant :

- la largeur de la chaussée ;
- l'agressivité du trafic ;
- le taux d'accroissement des poids lourds ;
- le type de structure (souple et semi-rigide ou rigide).

Dans le cas où des données de trafic s'éloigneraient de ces hypothèses, on peut calculer le trafic cumulé en essieu équivalent de 13 T prévu par sens sur la période choisie et le comparer à celui présenté dans le tableau ci-joint (limite supérieure de trafic cumulé indiqué dans chaque classe).

Structure	Durée de vie	TPL 1	TPL 2	TPL 3	TPL 4	TPL 5	TPL 6
Souple ou semi rigide	Courte	$8,8.10^3$	$4,5.10^4$	$1,4.10^5$	$3,8.10^5$	$5,7.10^5$	1.10^6
	Longue	$2,2.10^5$	$1,1.10^5$	$3,5.10^5$	$9,5.10^5$	$1,4.10^6$	$2,5.10^6$
Rigide	Longue	4.10^4	$2,7.10^5$	$6,1.10^6$	$1,6.10^6$	$2,3.10^6$	$3,7.10^6$

Tableau 4:limite supérieure de trafic cumulé (catalogue marocain des structures type chaussées)

Pour notre projet, Le trafic considéré est de 30 équilibré entre les deux sens avec un taux de croissance normal, donc il s'agit bien d'un TPL2.

4.5.2. Environnement : [6]

➤ **Environnement climatique**

Quatre zones sont considérées en fonction de la précipitation annuelle moyenne

Exprimée en mm et déterminée sur une période de récurrence longue (30 ans environ).

Code	Dénomination	Précipitations(mm/an)
H	Humide	600
h	Semi humide	250à600
a	Aride	50à250
d	Désertique	<50

Tableau 5:Dénomination de l'environnement climatique

La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 377 mm/an, donc nous sommes dans une zone semi humide « h ».

➤ **Environnement géotechnique**

Les données ressorties de la présente étude et relatives à ce dimensionnement indiquent que nous sommes dans la zone, où les problèmes de stabilité de plate-forme sont réglés ou ponctuels.

4.5.3.Sols [6]

Catégorie de sol		Description	Classification R.T.R
N°	Désignation		
I	Sols très sensibles à l'eau	Dont la consistance varie très rapidement en présence d'eau	A1, A2, A3, A4, TfAi
II	Moyennement à faiblement sensibles à l'eau	Dont la consistance varie plus lentement en présence d'eau	B2, B4, B5, B6, C1Ai, C1B5, C1B6, C2Ai, C2B5, C2B6, TcAi, TfBi, TcB6
III	Non sensibles à l'eau	Dont les éléments fins sont insensibles à l'eau	B1, D1, TcB1, TcB2, TcB4, TcB5, D2, B3, TcB3
IV	Grossiers ou graveleux	Dont les éléments fins sont peu à non argileux ou en proportion très réduite	D3, C1B1, C1B2, C1B3, C1B4, C2B1, C2B2, C2B3, C2B4.
V	Sols volumétriquement instables	Sols tirseux qui présentent de très forts retraits (fissuration) lorsque la teneur en eau diminue).	TxA3, TxA4

Tableau 6:Catégorie du sol

La classification des sols utilisée est le classement RTR, définissant :

- les classes A, B, C, D pour les sols ;
- la classe R pour les matériaux d'origine rocheuse ;
- la classe F pour les sols organiques et sous-produits industriels.

Elle est complétée par l'introduction :

- des sols tirseux TxA3 et TxA4 ;
- des sols tuffacés faiblement carbonatés Tf ou fortement carbonatés Tc.

En se basant sur le rapport géotechnique de la zone étudiée, nous admettons que le sol dans cette zone d'étude est très sensible à l'eau « catégorie II »

4.5.4. Résultats :

Le résultat obtenu est représenté dans la (**figure 16**), la structure reste la même pour les 11 voies.

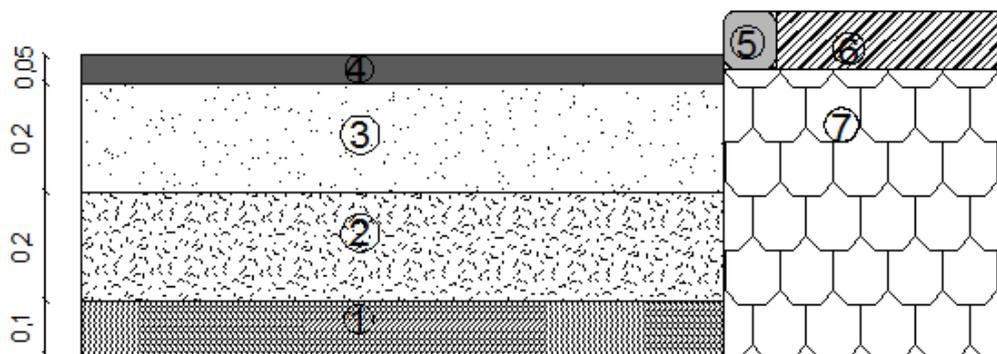


Figure 16: Structure de la chaussée

- | | | |
|---------------------------------|-----------------------|----------------|
| 1 : couche anti-contaminante | 4 : enrobé bitumineux | 5 : bordure T4 |
| 2 : couche de fondation en GNf2 | 6 : dallage | |
| 3 : couche de base en GNB | 7 : TV sous dallage | |

4.6. Bordures et caniveaux :

Les bordures et les caniveaux assurent des fonctions multiples :

- Le traitement des emprises et des tracés.
- Le contour des ilots directionnels.
- Les traversées piétonnes et les passages pour PMR.

Les voies de ce projet seront abordées par des bordures de type T4, et les caniveaux seront de types Cs1. Les dimensions adoptées pour ce type de bordure et caniveau sont représentées dans le schéma suivant (**figure 17, figure18**)

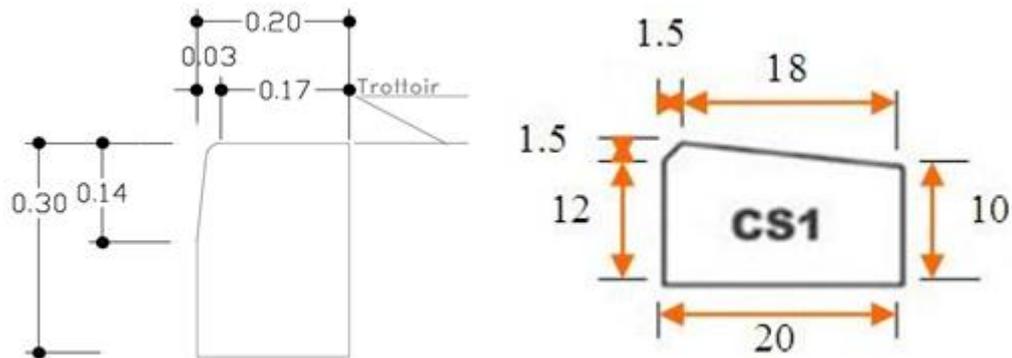


Figure 17: Dimension d'un bordure T4 et d'un caniveau CS1

5. Métré et estimation des travaux de voirie :

Le tableau suivant (**tableau 7**) présente une étude quantitative et économique des travaux de voirie, l'estimation financière des travaux de voirie de la zone d'étude est estimée à environ 36 MDH.

Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	Prix U.	Montant
			DH-HT	DH-HT
Travaux de terrassements sur emprise des voies				
Déblais en terrain de toute nature	m3	32526.64	35	1 138 432.4
Terrassement en remblai	m3	3127.75	80	250 220.00
Volume de décapage sur une épaisseur de 0.20 m	m3	17989.73	35	6 296 175.55
Fourniture de bordure de trottoir				
Fourniture et pose de bordure de trottoir type T4	ml	583.47	125	72 933.75
Fourniture de caniveau				
Fourniture et pose de caniveau de type CS1	ml	407.67	132	53 812.44
Réalisation des couches de la voirie				
Couche de fondation en GNF1	m3	23 328.81	170	3 965 897.7
Couche de base en GNB	m3	12508	190	2 376 520
Revêtement en enrobés bitumineux	m3	3691.7	1 500	5 537 550
Béton pour trottoir	m3	7175.83	1800	12 916 494
Total - Voirie - H.T				36 573 933.54

Tableau 7: Estimation des travaux de voirie

Chapitre 3 : Assainissement

Ce chapitre est consacré à représenter les différentes phases de conception et de dimensionnement des ouvrages d'assainissement, à savoir le calcul de débit des eaux usées et pluviales, le dimensionnement des conduites, le calage des réseaux et le métré des EP et EU ;

1. Introduction :

L'assainissement est l'ensemble des techniques qui permettent l'évacuation par voie hydraulique des eaux usées d'une communauté.

Les eaux sont recueillies à l'intérieur des propriétés par un réseau de canalisations puis évacuées gravitairement vers un égout collecteur qui en assure le rejet dans un exutoire étudié à ne pas nuire à l'hygiène publique.

2. Accessoires du réseau d'assainissement [3]

2.1. Regards

Ce sont des compartiments en maçonnerie ou préfabriqué munis d'un couvercle amovible, ils permettent l'accès aux canalisations pour d'éventuels branchements, et notamment pour le curage de ces derniers. Ils existent plusieurs types de regards :

1. Regard de visite : ils permettent la surveillance et le curage des égouts ainsi que leur aération qui est assurée grâce à une fonte sur le couvercle du regard, ce type de regard est prévu dans les cas suivants :

- au niveau de chaque branchement avec un autre collecteur
- à chaque changement de direction (horizontale ou verticale)
- entre 40 et 50 m d'alignement droit

2. Regard chute : ce sont des regards analogues aux regards de visite, seulement la chute est plus importante, ce type de regard est prévu lorsque les canalisations sont disposées en forte pente, ce qui entraîne des vitesses très importantes, la chute des effluents dans ces regards permet de briser la vitesse d'écoulement.

3. Bouche d'égout : destinées à recueillir les eaux usées de la chaussée, elles doivent être sélectives pour permettre la retenue du maximum de déchets, elles sont généralement disposées sous le trottoir

4. Regard avaloir : ils sont généralement placés aux points bas des caniveaux destinés à la collecte des eaux de ruissellement depuis le caniveau jusqu'à l'égout.

5. Regards à grille : ce sont des regards de petites dimensions, couverts par une grille en fonte, il sert à évacuer les eaux de ruissellement des parcs, allées piétonnes et des pelouses.

6. Regards de façade : ils sont utilisés pour les branchements particuliers, disposés plus près de la façade de la propriété à raccorder.

7. Regards de branchement : servent au branchement du réseau sanitaire d'un immeuble au réseau d'assainissement, les regards siphonides sont conseillés pour éviter les relents des mauvaises odeurs.

8. Déversoirs d'orage : c'est un ouvrage en béton arme de section rectangulaire, sa fonction est d'évacuer les pointes exceptionnelles de débit d'orage vers un milieu récepteur, en d'autres termes, il est prévu pour soulager le réseau sanitaire en période d'orage.

2.2. Les collecteurs [3]

Ils sont constitués par des tuyaux (canalisations) enterrés alignés allons de regard en regard avec un diamètre et une pente suffisante pour éviter toutes les stagnations des liquides chargés.

3. Différents systèmes des réseaux d'assainissement :

Un réseau d'assainissement a pour but d'évacuer les eaux usées et les eaux pluviales des bâtiments vers l'égout public. Celui-ci peut être établi selon l'un des systèmes suivants :

3.1. Système unitaire

Le système unitaire est l'héritage du (tout-à-l'égout) né vers 1830 à la suite des épidémies et du mouvement hygiéniste, c'est à dire l'évacuation de l'ensemble des eaux usées et pluviales par un unique réseau pourvu de déversoir permettant en cas d'orage le rejet d'une partie des eaux par surverse directement dans le milieu naturel. **(Figure 18).**

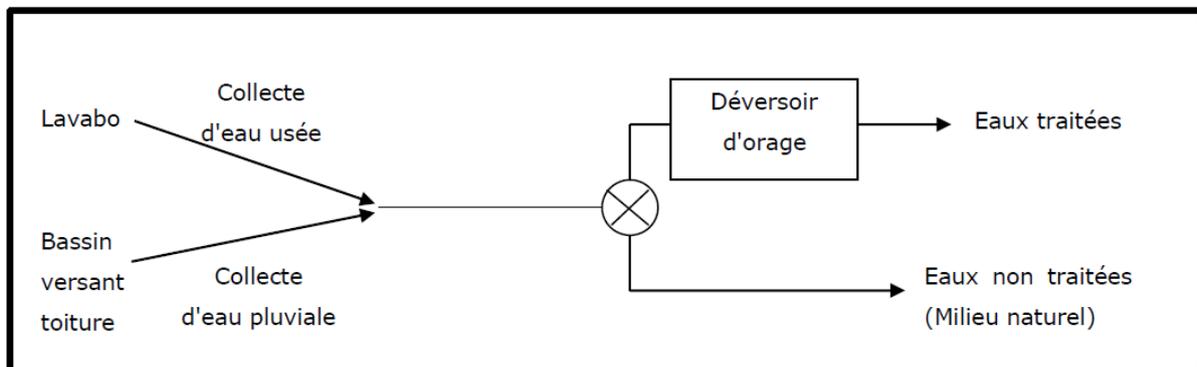


Figure 18:Schéma de principe d'un réseau unitaire

3.2. Systèmes séparatifs

Ils sont destinés à l'évacuation des eaux usées domestiques (eaux des vannes, eaux ménagères et avec réserve certains effluents industriels). Alors que l'évacuation de toutes les eaux pluviales est assurée par un autre réseau (**Figure 19**).

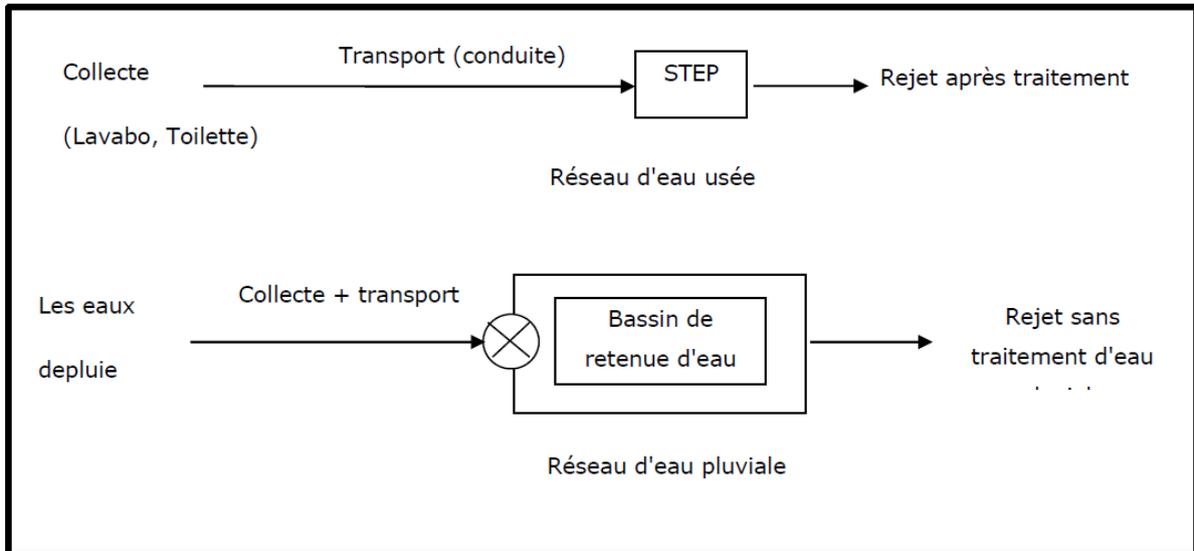


Figure 19: Schéma de principe d'un réseau séparatif

3.3. Système Pseudo-séparatif (mixte)

Ce système consiste à réaliser un réseau séparatif particulier dans lequel il est admis que le réseau d'évacuation des eaux usées reçoit une fraction d'eau pluviale, à savoir les eaux de toiture et cours intérieurs et le réseau d'évacuation d'eau pluviale sera réduit à la collecte des eaux de ruissellement sur les chaussées et du bassin versant par drainage. (**Figure 20**).

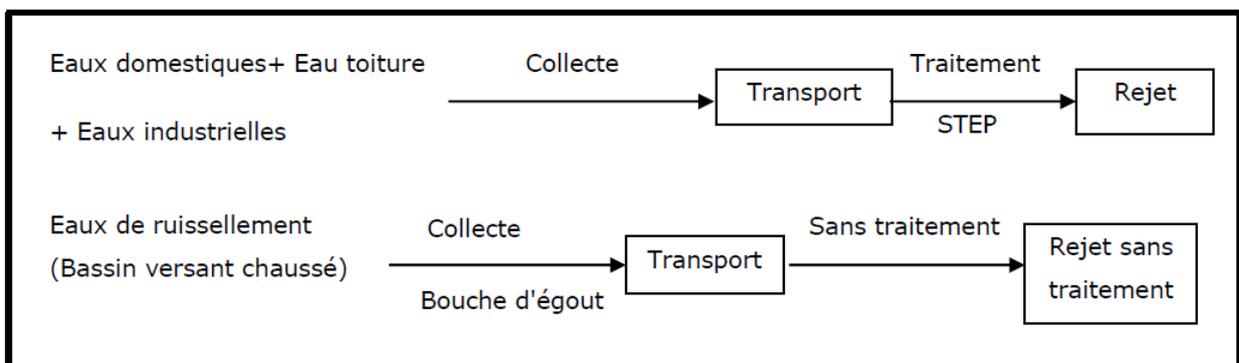


Figure 20: Schéma de principe d'un réseau pseudo-séparatif

3.4. Comparatif entre les systèmes fondamentaux

La comparaison entre les différents réseaux d'assainissement est donnée dans le (Tableau 8).

Systemes	Avantages	Inconvénients
Unitaire	<p>Système simple et moins coûteux.</p> <p>L'auto curage est vérifiée lors des orages</p> <p>Il n'y a pas d'erreur de branchement</p> <p>Facilité de réalisation.</p> <p>Facilité de branchement et de mise en œuvre.</p>	<p>⊗ Risque de dépôt par temps sec.</p> <p>⊗ Fonctionnement de la station d'épuration perturbé vu la variation du débit.</p> <p>⊗ Lors des orages, une partie de l'effluent pollué peut être rejetée dans le milieu naturel à l'aide des déversoirs d'orage.</p> <p>⊗ Pollution relative du milieu récepteur</p>
Séparatif	<p>⊗ Les EU sont traités par la station d'épuration.</p> <p>⊗ Rejet possible des eaux pluviales dans divers exutoires (utilisation pour l'irrigation).</p> <p>⊗ Il permet une meilleure protection de l'environnement</p>	<p>⊗ Coût plus élevé que l'unitaire.</p> <p>⊗ Risque de commettre des erreurs de branchement.</p> <p>⊗ En milieu rural, les eaux de ruissellement sont fortement polluées d'où le risque de contamination des cours d'eau.</p> <p>⊗ Problème de raccordement</p>
Pseudo-séparatif	<p>Même avantage avec le système séparatif</p>	<p>⊗ Risque de commettre des erreurs de branchement.</p> <p>⊗ cout un peu élevé</p>

Tableau 8:Comparatif entre les réseaux fondamentaux

4. Evaluation des débits

4.1. Calcul des débits de pointe des eaux pluviales [2]

Méthode superficielle

Selon que l'on est dans un bassin versant urbain ou extérieur, les lois qui régissent l'estimation des débits sont légèrement différentes.

Dans notre cas, zone urbaine, le calcul des débits de ruissellement résultant d'une averse en un point d'un bassin versant sera réalisé par la formule de Caquot qui se base essentiellement sur les résultats des études statistiques des pluies. Elle permet, à partir d'hypothèses sur le stockage d'une certaine quantité d'eau dans le réseau ainsi que sur les écoulements en conduites, d'aboutir à une formule simple ne contenant que trois paramètres morphologiques du bassin considéré, à savoir la superficie (A), la pente (I) et le coefficient de ruissellement (C).

Outre les paramètres morphologiques, la méthode de Caquot utilise les coefficients $a(T)$ et $b(T)$ de la formule de Montana « $i(t,T) = a(T).t^{b(T)}$ », obtenus à partir des courbes IDF (intensités- durée - fréquence), pour aboutir à la formule applicable au niveau de chaque zone

Formule de calcul

L'expression générale de la formule de Caquot s'écrit comme suit :

$$Q_p(T) = K.C^U.I^V.A^W$$

$Q_p(T)$ est le débit de pointe considéré correspondant à la fréquence de dépassement T.

Dans ces formules :

$Q_p(T)$ est exprimé en m³/s, il représente le débit de fréquence de dépassement T ;

I= pente moyenne des plus grands parcours de l'eau en m/m ;

C= coefficient de ruissellement ;

A= superficie du bassin versant en hectares ;

K, u, v et w sont les coefficients numériques de la formule de Caquot.

On note que l'expression précédente de la formule de Caquot est valable pour les bassins versants dont le coefficient de l'allongement M est égal à 2.

$$M = \frac{L}{\sqrt{A}}$$

Avec :

L = Longueur du plus long cheminement hydraulique en hectomètre

A = Surface du bassin versant (en m²).

Dans le cas où M est différent de 2, il est nécessaire de procéder à la correction du débit calculé par la formule précédente. Cette correction est réalisée en appliquant un coefficient correcteur

[$m = (4A/L^2)^z$], La formule ainsi corrigée dans ce cas est la suivante :

$$Q_p(T) = K.C^U.I^V.A^W.(4A/L^2)^z$$

Détermination des coefficients numériques

Le coefficient k ainsi que les exposants u, v, w, et t sont déterminés à partir des coefficients $a(T)$ et $b(T)$ des courbes IDF de la zone d'étude. Ils sont aussi relatifs à la probabilité de retour choisie.

Ces coefficients numériques révisés en 1976 sont définis comme suit :

$$K = \left[\frac{a(T) * \mu^{b(T)}}{6(\beta + \delta)} \right]^{\left(\frac{1}{1-b(T)*f} \right)}$$

$$z(t) = \frac{-0.42 * b(T)}{1 - b(T) * f}$$

$$U = \frac{1}{1 - b(T) * f}$$

$$W = \frac{b(T) * d + 1 - \varepsilon}{1 - b(T) * f}$$

$$V = \frac{b(T) * c}{1 - b(T) * f}$$

Avec :

L : longueur du BV (hm)

Les valeurs des paramètres μ , c , d , f , ε , $\beta + \delta$ sont données par l'instruction technique Française (1977) :

$\mu = 0,5$; $c = -0,41$; $d = 0,507$; $f = -0,287$; $\varepsilon = 0,05$; $\beta + \delta = 1,1$

4.2. Choix de la période de retour

Pour un bassin versant déterminé, les débits dont il convient de se préoccuper sont ceux engendrés par les événements pluvieux contre lesquels on désire se protéger. Une protection totale contre les inondations causées par la pluie serait excessive, compte tenu des investissements lourds qu'il faudrait consentir pour satisfaire des besoins de caractère exceptionnel. On est donc amené à admettre des insuffisances de réseaux pour des événements pluvieux présentant une fréquence de dépassement ou une période de retour T déterminée.

Le degré de protection à assurer résultera d'un nécessaire compromis entre l'aspiration à une protection efficace et le souci de limiter tant le coût d'investissement que les charges d'exploitation. En bonne doctrine économique, un accroissement du coût global du projet ne serait justifié que s'il était inférieur au montant des dommages qu'il permet d'éviter. Il est souvent admis qu'il est de bonne gestion de se protéger du risque de fréquence décennale pour les collecteurs principaux et quinquennale pour les collecteurs secondaires et tertiaires.

Pour l'étude du réseau in-site, on adopte la période de retour de 10 ans .

4.3. Validité de la formule [2]

Les conditions de validation du modèle de Caquot sont satisfaites dans notre projet à savoir :

- $0,2 \% \leq I \leq 5\%$;
- $0,2 \leq C \leq 1$;
- $A \leq 200$ ha ;
- $0,8 \leq (4A/L^2)^{0,30} \leq 1,73$

4.4. Les coefficients de Montana

Les paramètres a et b encore appelés coefficients de Montana sont en corrélation directe avec l'intensité maximale de la pluie dans une région.

Dans notre cas, les valeurs de ces paramètres sont préconisées par le Schéma Directeur National d'assainissement liquide (SDAL) pour une période de 10ans.

On note : a=5.136 et b=-0.641

4.5. Analyse et calcul des coefficients de ruissellement

Les lots possèdent globalement un CUS de 0,6 et sa décomposition peut être évaluée comme suit :

	Lots avec CUS = 0,6
% Bâtis	60
% Espace vert	20
% Espace minéral	20

Tableau 9: Décomposition du CUS

En considérant un coefficient de ruissellement de :

- 0,9 pour les bâtis et l'espace minérale.
- 0,2 pour l'espace vert
- On récapitule dans le tableau suivant les diverses valeurs du coefficient de ruissellements adoptés pour le présent projet.

Typologie	Coefficient de ruissellement
Lots	0.70
Voirie et espace minérale	0.90
Espace vert	0.20

Tableau 10: Coefficient de ruissellement de base

En pondérant les coefficients de ruissellement avec la décomposition des lots, on obtient un coefficient de ruissellement moyen de 0.7

4.6. Assemblage des bassins élémentaires

La formule de CAQUOT constitue un modèle global qui reflète les phénomènes d'écoulement pour un bassin homogène. L'application du modèle à un groupement de sous-bassins hétérogènes de paramètres individuels A_j , C_j , I_j L_j (longueur du drain principal), Q_{pj} (débit de pointe du bassin considéré seul), nécessite l'emploi de formules d'équivalence pour les paramètres "A, C, I et M" du groupement selon qu'ils soient en séries ou en parallèles.

Désignation	Bassins en parallèle	Bassins en série
Superficie équivalente (A_{eq})	$\sum A_j$	$\sum A_j$
Coefficient de ruissellement équivalent (C_{eq})	$\sum C_j A_j / \sum A_j$	$\sum C_j A_j / \sum A_j$
Pente équivalente (I_{eq})	$\sum I_j Q_{pj} / \sum Q_{pj}$	$\left\{ \sum L_j / \sum (L_j / \sqrt{I_j}) \right\}^2$
Allongement équivalent (M_{eq})	$L(Q_{pmax}) / \sqrt{\sum A_j}$	$\sum L_j / \sqrt{\sum A_j}$

Tableau 11: Formules d'assemblages des bassins versants élémentaires

Avec :

- L_i : longueur hydraulique du bassin versant i
- I_i : Pente du tronçons i
- Q_i : débit du tronçon i
- N : nombre des tronçons
- C_i : coefficient de ruissellement du bassin versant i
- A_i : surface du bassin versant i
- M_{eq} : coefficient correcteur d'allongement
- Q_p : débit de pointe

5. Calcul des débits de pointe des eaux usées

Les débits d'eaux usées seront calculés sur la base des paramètres suivants :

- Consommations en eau potable
- Taux de raccordement à l'égout.
- Coefficient de rejet dans l'égout.
- Coefficients de pointes.

5.1. Taux de retour à l'égout :

Le taux de retour à l'égout permet d'évaluer le volume d'eau rejeté dans les égouts, à partir de la consommation en eau.

Le coefficient de restitution à l'égout est pris égal à 80 %.

5.2. Taux de raccordement au réseau des eaux usées :

Pour les besoins de dimensionnement du réseau des eaux usées on considère que toutes les constructions seront raccordées au réseau d'assainissement, soit un taux de 100%.

5.3. Débit des eaux parasites : [2]

Le réseau d'assainissement peut recevoir, en plus des eaux usées, des eaux parasites en provenance des eaux pluviales, et du réseau d'eau potable (fuites, casses de conduites). Pour tenir compte de ces infiltrations, on utilise la formule de calcul suivante pour le calcul du débit des eaux claires parasites :

$$Q_{ECPP} = (T_e * Q_m) / (1 - T_e)$$

Avec:

- $T_e = 20\%$
- $Q_m = \text{Débit moyen des eaux usées}$

5.4. Coefficients de pointes :

Le débit d'eaux usées varie d'un jour à l'autre et d'une saison à l'autre. Il varie même considérablement en 24 heures. Pour cela on prend en en considération les pointes suivantes :

- Pointe journalière.
- Pointe horaire.

5.5. Eaux usées domestiques [2]

- Le débit moyen journalier

Le débit de moyen journalier est donné par la formule suivante :

$$Q_{\text{moy}} = Q_{\text{AEP}} \times T_r \times T_b$$

Avec:

QAEP : Le débit moyen d'eau potable consommé en m^3/j ;

Tr : Le taux de restitution à l'égout (80 %) ;

Tb: Le taux de branchement au réseau d'assainissement (100 %).

Le débit des eaux usées rejeté, est calculé sur la base du débit d'eau consommé, par l'application du taux de retour à l'égout, du taux de raccordement au réseau d'assainissement et du taux des eaux parasites.

- Le débit de pointe

Le débit de pointe est calculé sur la base du débit moyen par application des coefficients de pointe.

Il est donné par la formule suivante :

$$Q_p = C_{pj} \times C_{ph} \times (Q_m + Q_{ECPP})$$

Avec :

- Cph coefficient de pointe horaire donné par la formule
$$C_{ph} = 1.80 + \frac{2}{\sqrt{1.2 \cdot Q_m}}$$

- CPJ Le coefficient de pointe journalière est pris égale à 1.2 (CPJ = 1,20)
- Avec Qm = débit moyen des eaux usées en (l/s).

Il convient de limiter les valeurs de ce coefficient dans la fourchette de 1,70 à 4.

6. Critère de dimensionnement des collecteurs :

6.1. Calcul des sections

Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques se fait au moyen de la formule de Manning Strickler, qui s'écrit comme suit :

$$Q = K \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{0,5} \cdot S$$

- Q : Débit en m³/s;
- S : Section pleine en m².
- h : Rayon hydraulique en m
- I : Pente en m/m
- K : Coefficient de Manning Strickler

Le coefficient de Manning Strickler considéré est de 80 pour l'ensemble des types de matériau.

Les conduites et ouvrages hydrauliques d'eaux pluviales sont dimensionnés pour fonctionner avec un taux de remplissage de 80%.

6.2. Vitesse à pleine section :

Pour le calcul de la vitesse a pleine section on utilise la formule suivante de Manning Strickler.

$$V_{ps} = K \times R_h^n \times I^{1/2}$$

avec Vps : vitesse à pleine section en (m/s)

K : coefficient de rugosité

Rh : rayon hydraulique en (m) tel que :

Rh= D/4 pour une section circulaire

I : pente hydraulique de l'ouvrage tel que

$$I = \frac{C_{av} - C_{am}}{L}$$

Avec Cam cote en amont et Cav cote en aval.

Remarque :

Pour les eaux pluviales : $K=60$ $n = 3/4$ (réseau unitaire)

Pour les eaux usées : $K=70$ $n = 2/3$ (réseau séparatif)

6.3. Débit à pleine section :

Le débit à pleine section est déterminé par la formule de base de l'écoulement.

$$Q_{ps} = V_{ps} \times S = \frac{V_{ps} \times \pi \times D^2}{4}$$

Avec :

Q_{ps} : débit plein section dans la conduite en (m³/s) ;

S : section de la conduite en (m²).

6.4. Vitesse d'écoulement et hauteur de remplissage : [2]

En connaissant le rapport des débits calculer par la formule :

$$r_q = \frac{Q}{Q_{PS}} \quad \text{Avec } Q \text{ le débit réel en l/s}$$

On détermine le rapport des vitesses (R_v) et le rapport des hauteurs (R_h) sur l'abaque (Figure 21)

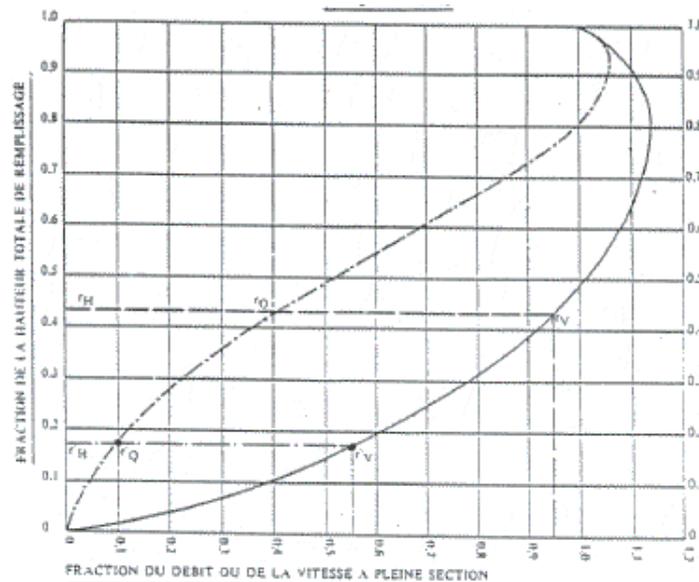


Figure 21: Variations des débits et des vitesses en fonction du remplissage

La vitesse d'écoulement est déterminée à partir du rapport de vitesse tel que :

$$V = R_v \times V_{PS}$$

Avec v la vitesse d'écoulement

La hauteur de remplissage est déterminée à partir du rapport des hauteurs (remplissage et totale) :

$$H = r_v \times D$$

Avec :

H : hauteur de remplissage en (m)

D : diamètre de la conduite en (m)

6.5. Vitesse d'écoulement

Afin d'éviter les dépôts des matériaux solides d'une part et d'éviter la dégradation des joints et l'abrasion des canalisations d'autre part, les vitesses devront être comprises entre les valeurs limites suivantes :

$$0.7m/s \leq V \leq 4m/s$$

6.6. Conditions d'auto-curage

La vitesse des eaux usées et pluviales dans un réseau d'assainissement est limitée inférieurement pour éviter les stagnations susceptibles de provoquer des dépôts et supérieurement pour éviter l'érosion des canalisations par les matières solides charriées par les eaux.

Il faut donc assurer une vitesse minimale dite « vitesse d'auto-curage » qui doit être :

- $V \geq 0,3$ avec V la vitesse qui correspond au 1/100 du débit de projet.
- $V \geq 0,5$ avec V la vitesse qui correspond au 1/10 du débit de projet.
- La vitesse à pleine section doit être supérieure à 1m/s.
- La vitesse maximale ne doit pas dépasser 4m/s.

7. Spécifications techniques

7.1. Choix des diamètres

Pour des considérations d'exploitation et pour éviter les risques d'obstruction, les limites inférieures des diamètres étant fixées à DN 300 mm pour les eaux usées et DN 400 mm pour les eaux pluviales.

7.2. Matériaux des conduites

Les conduites eaux pluviales seront en PEHD CR8 Double paroi jusqu'au diamètre 600mm, et au-delà de ce diamètre on optera pour des conduites en béton armé.

Les conduites eaux usées seront en PVC série 1.

7.3. Implantation des ouvrages annexes

Les regards de visite sont implantés dans les singularités suivantes :

- Changement de direction ou de pente des collecteurs ;
- Changement de diamètre des collecteurs ;
- Intersection des collecteurs.

En alignement droit, la distance moyenne entre les regards de visite est d'environ 50 m et dans le cas où les hauteurs de chute dépassent 0,80 m, des regards de visite doubles seront prévus.

7.4. Implantation des collecteurs :

Les collecteurs d'assainissement EP primaires seront prévus à l'axe de la voie.

7.5. Implantation des grilles :

Les grilles sont implantées à une inter-distance de 40m en moyenne

7.6. Pente min de calage :

Les pentes min adoptées pour le réseau d'assainissement d'eaux usées et pluviales sont respectivement :

- 0,5% pour le réseau des eaux usées.
- 0,5% pour le réseau des eaux pluviales ($DN \leq 600\text{mm}$).
- 0,3% pour le réseau des eaux pluviales ($DN > 600\text{mm}$).

7.7. Découpage des bassins versants EP

La zone du projet a été découpée en plusieurs bassins versants compte tenu de :

- Tracés des collecteurs ;
- Limite des crêtes naturelles ;
- Limites de chaque lot du projet.

7.8. Hypothèses de base

- Le réseau projeté est de type séparatif
- La récurrence retenue pour le dimensionnement des collecteurs est la décennale.
- La zone d'étude est protégée contre tout apport extérieur.

8. Conception et dimensionnement des ouvrages d'assainissement

8.1. Tracé en plan :

Le tracé en plan du réseau d'assainissement du projet « Zenata : quartier sud » a été réalisé à l'aide des Logiciels **COVADIS** et **AUTOCAD** d'une façon à :

- Eviter les chevauchements et l'encombrement des conduites
- Assainir le plus rapidement possible en empruntant les plus courts cheminements
- Prévoir des pentes pour les collecteurs qui justifient :
 - La garantie d'auto curage (vitesse minimum)
 - La sécurité de l'ouvrage pendant les périodes d'orage (vitesse maximum)
- Eviter les ouvrages spéciaux (regard de chute, poste relèvement, poste de refoulement)
- Assurer l'enterrement des conduites à une profondeur minimum 0.9m

En ce qui concerne la pose des conduites :

- Le réseau d'assainissement des eaux usées doit être placé au-dessous du réseau EP
- La distance minimale horizontale entre les canalisations EP et EU devra être de 0.40 m.
- Le fond de la tranchée doit être réglé et débarrassé de toutes pierrailles
- Un mortier de sable d'une épaisseur de 5 à 10 cm utilise en béton de propreté pour protéger le bas de la conduite et établir la pente prévue.

8.2. Tracé du profil en long

Le profil en long nous permet de déterminer la pente hydraulique, il représente :

- Les cotes (projet, radié, terrain, naturel)
- Profondeur.
- Les distances (partielle, cumulée)
- Pente et diamètre.

Les profils en long doivent être tracés de façon à :

- minimiser les problèmes d'auto curage en choisissant des pentes convenables.
- minimiser de l'importance de la profondeur des tranchées en tenant compte de 80cm du dessus de la canalisation ainsi que les points obligés.
- ne pas dépasser la vitesse 4 m/s et cela en jouant sur la pente de l'ouvrage.
- la pente de l'ouvrage doit être comprise entre 0.3% et 5% les fortes pentes engendrent la dégradation du réseau.
- prévoir un espace de décantation d'une profondeur de 10cm dans tous les regards.

Nous avons tracé les profils en longs de ce projet à l'aide du logiciel COVADIS voir annexe 2.6 pour les EP et annexe 2.13 pour les EU.

8.3. Zone de rejet :

Les eaux usées et les eaux pluviales seront rejetées dans une canalisation hors site, La gestion des eaux intervient à ce niveau pour collecter et évacuer ce rejet dans des conditions convenables vers :

- La mer pour les eaux pluviales
- Les STEP pour les eaux usées

8.4. Détermination des débits

Compte tenu du tracé du réseau d'assainissement et des divers critères de délimitation des bassins cités précédemment, nous avons découpé la zone d'étude en plusieurs bassins.

Le calcul du débit d'eaux pluviales se base sur les caractéristiques géométriques des bassins versants élémentaires ainsi que leur coefficient de ruissellement pondéré.

Le calcul du débit d'eaux usées se fait sur la base des formules explicitées précédemment, Le débit moyen total des eaux générées par le quartier sud de la 2ème zone de développement de la ville nouvelle de Zenata est de l'ordre de 2412 m³/j, celui de pointe journalière a été estimé à 115 l/s.

Le résultat de calcul des débits des BV élémentaires ainsi que les assemblages sont présenté respectivement en annexe n°2.4/2.5 pour les EP et annexe n° 2.11/2.12 pour les EU.

8.5. Dimensionnement des collecteurs EP

Comme énoncé précédemment, le réseau d'assainissement sera dimensionné pour transiter

Les eaux pluviales via des conduites en PEHD jusqu'au diamètre 600mm et au-delà en CAO, avec un taux de remplissage avoisinant 80

En outre, les eaux usées sera dimensionné pour transiter les effluents à mi-section via des conduites en PVC « DN 315mm »

8.6. Modalités d'exécution des travaux de terrassement

La conduite sera posée en tranchée (**figure 22**), dont la largeur nominale sera comme suit

(Tableau 12) :

DN	Largeur de la tranchée
$DN \leq 200 \text{ mm}$	LT = 0,60 m
$200 \leq DN \leq 400 \text{ mm}$	LT = 0,90 m
$400 \leq DN \leq 600 \text{ mm}$	LT = 1.20 m
$DN \leq 600\text{mm}$	LT = DN + (2 x 0,40) m

Tableau 12:Relation du diamètre nominal et largeur de tranchée

Les principales recommandations du laboratoire pour les travaux d'assainissement sont comme suit :

- Un blindage des tranchées jusqu'aux formations Gréseuses est obligatoire vue la nature meuble et affouillable des terrains superficiels.
- Commencer les terrassements au fur et à mesure en distinguant les déblais pour éventuelles réutilisation ;
- Procéder aux pompages des eaux des fouilles si elles existent.
- A l'exception de la couverture de terre végétale et l'argile noire, les terrains meubles rencontrés sur site (Tuf calcaire, tuf sableux et sable limoneux) sont généralement réutilisables comme matériaux de remblais pour les tranchées d'assainissement.

Pour le phasage des travaux, on recommande de réaliser d'abord le remblaiement de la plateforme de la voirie afin d'assurer au préalable une bonne assise pour la voirie (en réalisant une purger : pour éliminer la couche végétale et les éventuels matériaux pouvant nuire aux remblais futurs et les remplacer par un matériau d'apport en bon uniforme) puis exécuter les travaux de terrassement et pose des conduites du réseau d'assainissement une fois on atteint le niveau du corps de chaussée.

Dans le cas où les cotes radier et la conduite sont au même niveau, cette dernière sera enrobée en gravette et entourée par un géotextile pour éviter la flottaison et assurer l'étanchéité de la conduite.

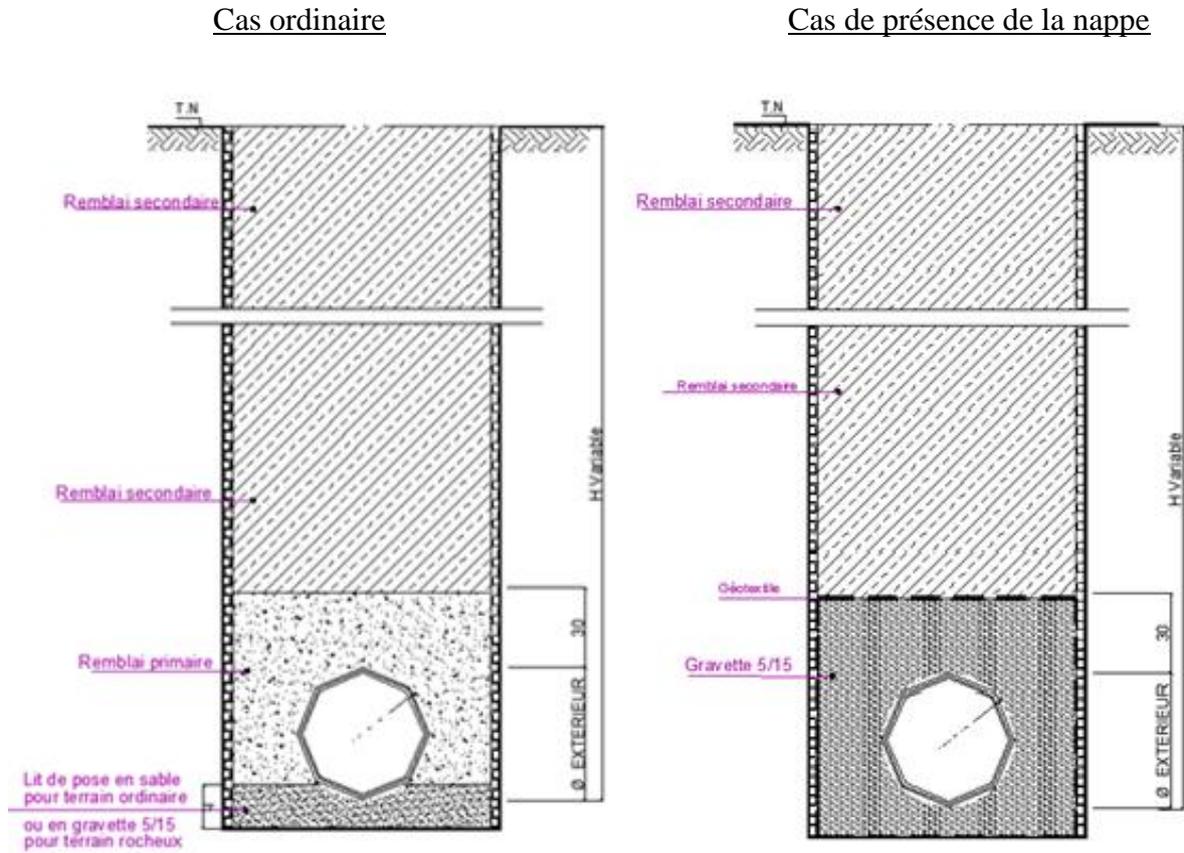


Figure 22: Coupe tranchée type pour conduite circulaire

8.7. L'estimation financière des travaux d'assainissement

Le détail estimatif des travaux d'assainissement est récapitulé dans le tableau suivant :

Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	Prix U.	Montant
			DH-HT	DH-HT
Déblai en tranché	m3	13 748.9	75	1 031 174.25
Remblais des fouilles				
Lit de pose	m3	390.6	180	70 304.40
Enrobage	m3	2006.8	300	602 037.00
Remblais	m3	11041.06	30	331 231.80
Canalisations pour Eaux pluviales				
Canalisations pour Eaux pluviales en PEHD 500 mm	ml	202.8	193	39 104.4
Canalisations pour Eaux usées				
Canalisations pour Eaux usées en PVC S1 DN 315mm	ml	1537	290	445 730.00
Regards de visite simple				
Regards de visite simple sur conduite inférieure à 800mm	U	18	7000	126 000.00
Regard de chute double	U	28	12000	336 000.00
Raccordement sur regard de visite existant	U	6	20000	120 000.00
Total - Assainissement EU - H.T				3 773 922.85

Tableau 13: Estimation des travaux d'assainissement EU et EP

Le métré détaillé et globale des réseaux EP et EU est représenté dans l'annexe 2.15.

Chapitre 4 : Aménagement durable

Ce chapitre sera consacré à l'application des principes de développement durable sur le projet objet de la présente étude et à définir les différentes contraintes technico-économiques qui s'opposent à la mise en évidence de cette action.

1. Introduction

L'aménagement durable et les quartiers durables, quelle que soit l'échelle d'intervention, ne peut plus s'opérer dans l'ignorance des principes du développement durable qui est devenu incontournable et s'impose à tout projet d'aménagement. L'urbanisme concentre en effet la plupart des défis à relever : étalement urbain, mobilités, besoins et consommations d'énergie, qualité des relations sociales et du cadre de vie... Dans ce contexte, les projets d'urbanisme ont besoin d'être appréhendés de façon raisonnée, globale, intégrée à leur environnement. Il s'agit de s'approprier la « nouvelle sagesse » du développement durable : enjeux environnementaux (émissions de gaz à effet de serre, effets des changements climatiques, préservation des ressources naturelles, etc.) ; enjeux sociaux (mixité, équité) ; enjeux sociétaux (développement de nouvelles activités, de solidarités, de proximités).

2. Finalité du développement durable : [9]

Cinq finalités ont été reconnues et mises en avant dans un certain nombre de textes et de déclarations internationaux, fondateurs du développement durable, Chaque projet de développement durable doit être examiné au regard de sa contribution à l'ensemble de ces finalités, qui sont :

- **Climat** : La lutte contre l'effet de serre et la protection de l'atmosphère ;
- **Ressources – biodiversité** : La préservation de la biodiversité, des milieux et des ressources naturelles ;
- **Besoins essentiels** : L'épanouissement de chacun dans un cadre de vie satisfaisant ;
- **Cohésion sociale** : L'emploi et la cohésion sociale entre les territoires et les générations ;
- **Consommation et production** : Une dynamique de développement selon des modes de production et de consommation responsables.

3. Certification HQE aménagement : [10]

Le référentiel a été revu afin d'apporter aux aménageurs et collectivités une meilleure lisibilité et compréhension des exigences demandées pour certifier son opération et mieux harmoniser les pratiques lors des audits de certification : introduction d'exigences sur le périmètre de la certification et sur l'adéquation entre les éléments de conception et les objectifs de l'opération, renforcement et clarification des éléments liés à la hiérarchisation des enjeux et déclinaison en objectifs, précisions sur les éléments **attendus** dans la charte d'objectifs.

3.1. Les objectifs de la certification HQE Aménagement

Le but de la certification HQE Aménagement est d'aider les collectivités et les aménageurs à gérer leur projet d'aménagement durable en fixant des objectifs cohérents prenant en compte le contexte de leur opération et en organisant leur bon déroulement pour les atteindre

Cette certification est un outil pratique pour la mise en œuvre du management d'un projet d'aménagement durable, permettant de mettre en place une organisation structurée et de valider les bonnes pratiques pour au final sécuriser et valoriser les opérations des aménageurs.

3.2. Les Bénéfices

HQE Aménagement apporte de nombreux bénéfices aux aménageurs :

- Etre assuré d'une réelle prise en compte contextualisée des finalités des politiques d'aménagement durable dans leurs projets.
- Disposer d'un véritable outil de gestion opérationnel de leurs projets d'aménagement durable qui les aidera à progresser.
- Suivre une véritable démarche de projet qui définit le rôle et les objectifs de chacun en faisant en sorte de ne rien oublier.
- Structurer et suivre leurs projets de la phase amont jusqu'à l'évaluation des résultats
- Utiliser un formidable outil de dialogue entre le politique et la technique tout au long de l'opération
- Optimiser la compréhension entre les différents intervenants d'un projet et s'assurer que leurs contributions soient cohérentes avec les ambitions.
- Valoriser leurs projets et se différencier par une reconnaissance officielle fiable et reconnue, délivrée par un tiers de confiance totalement indépendant.

4. Objectif Eco-cité Zenata :

Basé sur des principes de développement durable, le Référentiel Eco-Cité permet d'établir un aménagement durable et résilient avec les enjeux locaux pour préparer la vie dans la ville. Inclusif et évolutif, il constitue également un cadre global pour l'évolution de l'Eco-Cité Zenata pour permettre à la communauté d'atteindre les objectifs qualitatifs et quantitatifs en maintenant une ambition certaine.

Ainsi, le Référentiel Eco-Cité constitue le cadre de référence pour un plan d'actions concrètes et mesurables qui permet le pilotage de la ville à travers des indicateurs identifiés tout au long de son cycle de vie, de sa conception à l'installation des habitants.

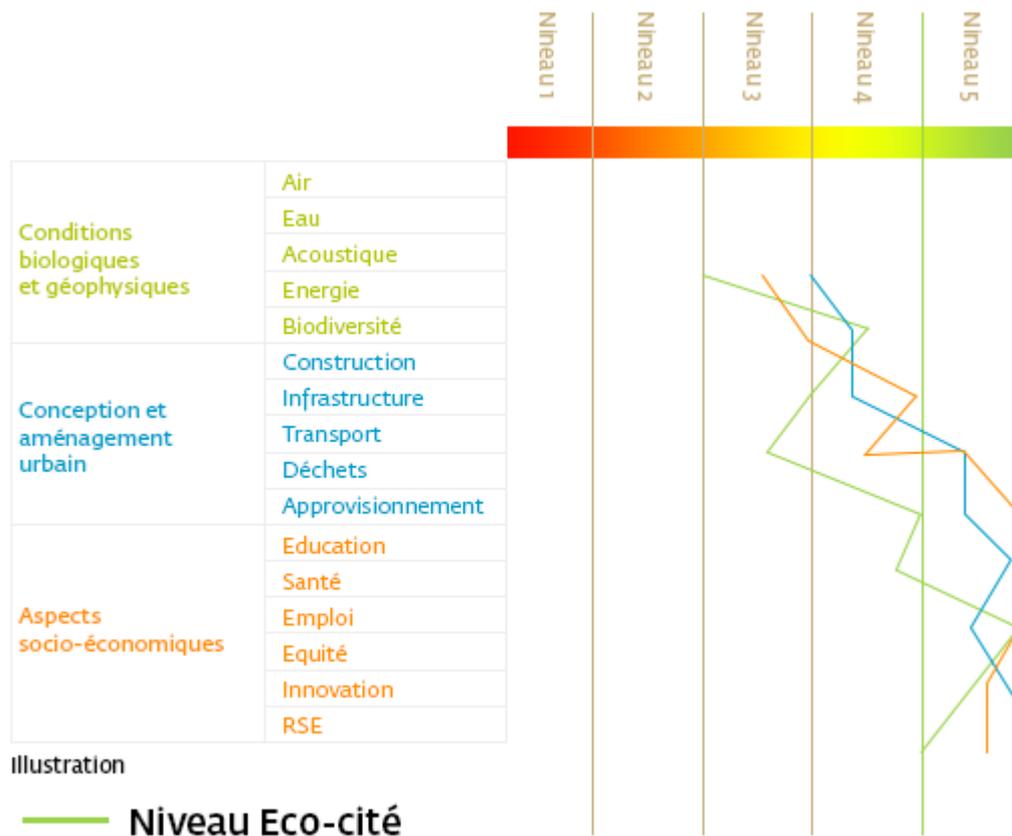


Figure 23: Niveau Eco-cité Zenata

5. Application et analyse

5.1. Voirie

Loin de constituer un simple canal de circulation assurant la desserte d'une zone résidentielle, une voie est un véritable lieu de vie pour les habitants des agglomérations et se doit de répondre à une variété de besoins. C'est dire si la conception avisée des routes participe de façon importante à la convivialité et à la fonctionnalité des zones résidentielles.

En effet, pour assurer une desserte adéquate de ces zones, il faut que celles-ci présentent une certaine capacité de transport. Or chaque fois que des flux de trafic importants traversent une zone résidentielle, le trafic motorisé influe lourdement sur la planification urbaine et celle des transports, induisant qui plus est de fréquents dépassements des valeurs limites d'émissions définies pour les oxydes d'azote et les poussières fines, ainsi que pour le bruit. La conception des espaces de vie et des espaces dédiés aux transports dans les zones résidentielles de grande taille exige d'appréhender une réalité complexe, faite de besoins souvent difficiles à concilier

5.1.1. Terrassement

Dans une opération de construction, les terrassements constituent un lot très important et peuvent dans quelques cas engager des moyens très importants même si la construction projetée reste modeste, des machines de chantier sont indispensables pour la réalisation de toutes les travaux liés à ce lot, pour diminuer les émissions du CO₂ et les autres polluants atmosphériques générés par ces machines, il est souvent recommandé de :

- Limiter les terrassements, qui génèrent une quantité importante de gravats et de terre à faire évacuer : le plan-masse doit prendre finement en compte la topographie originelle du terrain.
- Réutiliser les gravats et la terre dans le projet si possible

Application au projet :

La terre végétale et remblai qui figure en surface et le limon argile en place ne sont pas réutilisables comme remblai, à l'exception les déblais issus des formations tuffacées et gréseuse qui peuvent être réutilisés en remblai courant moyennement la réalisation des planches d'essais pour la détermination des modalités de compactage et de mise en œuvre.

5.1.2. Conception des voies

Pour assurer une mobilité durable, Les priorités à se fixer sont une mise en œuvre continue, le confort, l'accessibilité et la sécurité pour les usagers. Il est préconisé de favoriser une bonne desserte en transports en commun, Limiter l'emprise de la voirie et du stationnement dans le plan masse et aménager des cheminements piétons et cyclistes au sein du tissu urbain, pour faciliter l'usage des modes doux dans les déplacements de proximité.

En ce qui concerne le projet objet de la présente étude, nous avons opter pour des nouvelles profils types respectant les recommandations citées ci-dessous. « **Figures 24 &25** »

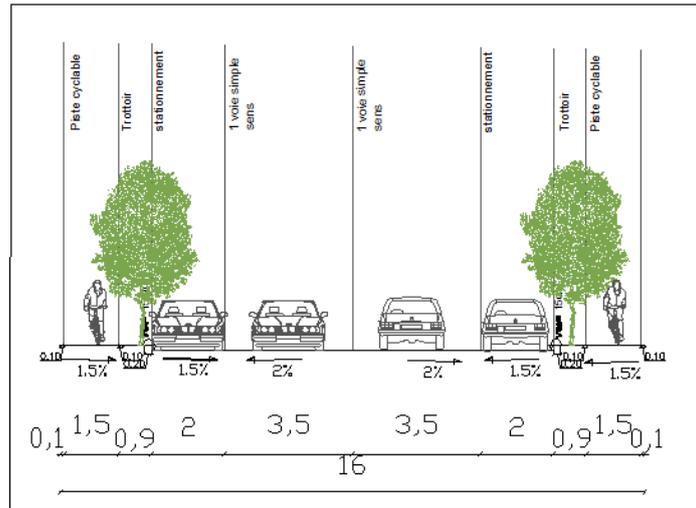


Figure 24 : Conception durable de la voie(16m)

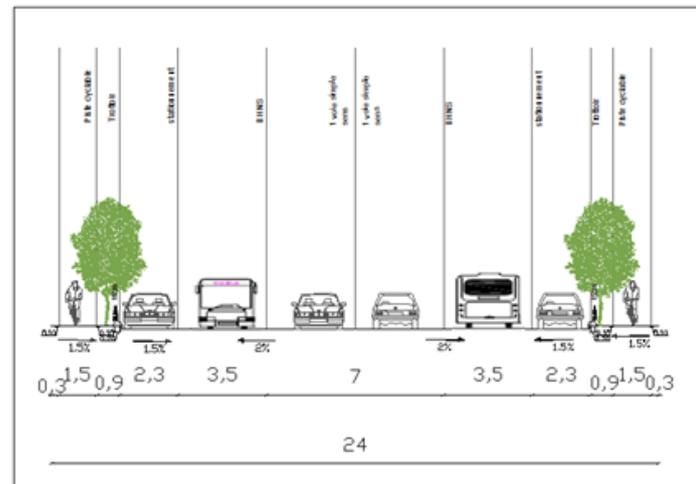


Figure 25: Conception durable de la voie(24m)

5.1.3. Corps de la chaussée

Contrairement aux chaussées classiques, les chaussées durables permettent de limiter les problèmes liés à l'émission du bruit et des gaz polluants d'une part et économiser l'énergie liées à la mise en œuvre de la couche d'enrobé d'autre part.

Pour concevoir une chaussée durable, il faut penser à :

- Réaliser des aménagements antibruit : façades végétalisées, couverture d'axes routiers, revêtements limitant l'émission de bruit...

- Réaliser des revêtements de voirie permettant un retour dans le sol et le sous-sol des eaux pluviales, éventuellement après pré-traitement (utilisation de mélange terre-pierre ou de dalles alvéolaires par exemple).

5.1.3.1. Variante de traitement de chaussée :

5.1.3.1.1. Les Chaussées drainantes [1]

Une structure drainante est assimilable à un bassin de rétention enterré rempli de matériaux poreux.

On distingue deux grandes familles en fonction des matériaux les constituant :

- ✓ Les matériaux naturels,
- ✓ Les matériaux préfabriqués.

Leur fonctionnement est simple. L'eau est stockée dans le volume vide des matériaux. Le mode d'évacuation des eaux diffère selon le type de structure et la nature du sol.

Elles peuvent être évacuées :

- ✓ à débit régulé, par un drain vers un exutoire classique (réseau public, milieu hydraulique superficiel ou un système d'infiltration),
- ✓ par infiltration directe si le sol présente des horizons géologiques favorables.

Ainsi, on distingue différents modes de vidange définissant leur fonction :

- ✓ En rétention seule : la structure ne fait que de la rétention, l'évacuation se fait à débit régulé vers un exutoire.
- ✓ En infiltration seule : la structure est l'exutoire du réseau pluvial, les eaux de pluie et de ruissellement collectées sont infiltrées.
- ✓ En rétention et infiltration couplée : Infiltration + évacuation à débit régulé vers un exutoire. Une partie du volume des eaux de pluie et de ruissellement est infiltrée (réduisant la dimension de la structure réservoir) et l'autre est retournée à l'exutoire selon un débit de fuite.

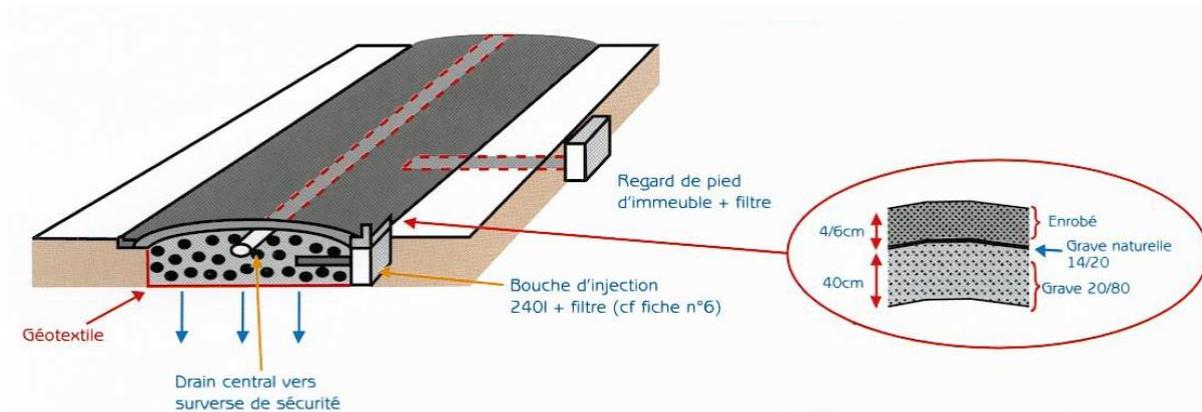


Figure 26:Schéma de fonctionnement structure à réservoir

5.1.3.1.2. Enrobé dense à froid : [1]

L'Enrobé Dense à Froid est un enrobé stockable, il est composé de sable 0/2 et de granulats 2/6 à 2/10 qui sont enrobés avec une émulsion spécifique.

Le choix de ce liant et la technique d'enrobage unique, améliore la sécurité et garantit un meilleur respect de l'environnement avec un faible impact carbone.

Sa composition est adaptée aux granulats et est ajustée en fonction de la saison. Ce liant permet d'allier : maniabilité lors de la mise en œuvre et résistance aux déformations du produit fini.

5.1.3.1.3. Enrobé tiède : [1]

L'enrobé tiède rencontre toutes les spécifications de l'enrobé à chaud, il est utilisé en couche de roulement et de liaison, soit en construction ou en entretien. Il répond à tous les types de trafic, au même titre que les enrobés à chaud, mais il est produit et mis en œuvre à une température inférieure de 30° à 60°C par rapport à l'enrobé à chaud, cet abaissement de la température aux conséquences multiples, allant de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, aux économies d'énergies sur la centrale d'enrobé jusqu'à un confort accru pour les équipes, notamment celles situées derrière le finisseur, qui sont fortement exposées aux fumées.

5.1.3.1.4. Bitume à base végétale : [1]

Le futur nous promet des routes plus vertes, préférant comme revêtement routier un bitume végétal à base de microalgues plutôt qu'un bitume pétrolier. Ces techniques à base de liants végétaux présentent un intérêt tant pour l'économie d'énergie et d'émission de gaz à effet de serre que pour la substitution de matières premières renouvelables, son coût est toutefois significativement plus élevé, environ cinq fois plus cher qu'un enrobé classique.

5.1.3.2. Analyse technico-économique

Le tableau ci-dessous présente une comparaison technico-économique entre les différentes variantes de traitement des chaussées :

Variantes	Classique	Les chaussées drainantes	Enrobé dense à froid	Enrobé tiède	Bitume à base végétale
Avantages	Très bonnes qualités d'adhérence	Surface au sol reste disponible et permet d'autres usages (parking, voirie, espace vert..)	Fabrication aisée : épargne les contraintes de température de l'enrobé chaud.	Augmentation de la durée de vie du revêtement	-Moins d'émission de fumées -Moins de température -Moins Consommation énergie - Odeur du liant agréable Ressource renouvelable
			Facilite le transport	Diminution des émissions de gaz à effet de serre	
	Faible coût	Amortissement des bruits de roulement	Respectueux de l'environnement : économie d'énergie, pas de CO2, aucune fumée ni odeur lors de la fabrication, pas de gaz à effet de serre	Réduction de la consommation énergétique	
Inconvénients	-Bilan carbone défavorable	Nécessite parfois des actions très spécifiques (déverglaçage, décolmatage, etc.)	Qualité souvent médiocre : peu de résistance, marque facilement, mauvaise élasticité, faible cohésion de surface	Baisse uniquement de 30°C la fabrication des enrobés	-surcoût : presque 5fois plus cher qu'un enrobé classique
	-nuisance sonore	Surcoût important par rapport à un ouvrage traditionnel peut-être dégradé par les racines de plantes trop proche	Faible maniabilité Stockage possible sur un court laps de temps uniquement.	Surcoût par rapport à un ouvrage classique	
Coût	Entre 88 et 143 Dh/m ²	Entre 220 et 330 Dh/m ²	Entre 85 et 150 Dh/m ²	Entre 130 et 200 Dh/m ²	Entre 330 et 440 Dh/m ²

Tableau 14: Analyse technico-économique des différentes variantes de traitement de chaussées

5.1.4. Revêtement trottoir :

L'étude durable du projet nous amène a utilisé les matériaux in-situ pour le revêtement trottoir, afin de limiter la consommation d'énergie et l'émission du CO₂ liées à la fabrication et le transport du béton..

5.2. Assainissement :

L'imperméabilisation du territoire et les rejets des eaux pluviales sont responsables de perturbations importantes du cycle de l'eau (inondations, dégradation de la qualité de l'assainissement...) et nécessitent des investissements lourds de la part des collectivités. À cela s'ajoute une surconsommation généralisée de l'eau potable et une disparition de l'eau dans les paysages urbains. De ce fait, il s'agit d'adopter, tant à l'échelle du quartier que de la parcelle et du bâti, des principes « durables » de gestion de l'eau. Certaines mesures concernent autant les parcelles privées que les espaces publics. Il est en effet possible (quand la nature du sol le permet) de rendre durablement perméables les chaussées, les trottoirs, les places, les espaces de stationnement, les cheminements piétons et cyclistes, et de façon générale tous les espaces non bâtis. Cela nécessite le recours à des techniques « alternatives » de gestion des eaux pluviales. Ces techniques de gestion des eaux pluviales visant deux finalités distinctes :

1. Alimenter un stock d'eau d'arrosage
2. Réduire les débits et les quantités d'eaux de ruissellement à transporter par le réseau d'assainissement (séparatif ou unitaire).

5.2.1. Les bassins de rétention [8]

- Présentation

Ils sont destinés à contenir le surplus d'eaux de pluie et de ruissellement générées par l'urbanisation ou l'aménagement d'un site en fonction d'un débit d'évacuation régulé vers un exutoire ; exutoire pouvant être le réseau public, le milieu hydraulique superficiel ou un système d'infiltration.

On distingue plusieurs types de bassins de rétention :

5.2.1.1. Le bassin sec à ciel ouvert :

Un bassin sec à ciel ouvert est situé au niveau du terrain naturel et se vidange complètement suite à l'épisode pluvieux. Le volume de stockage disponible est égal au volume utile du bassin.

On en distingue deux principaux types :

5.2.1.1.1. Bassin sec planté ou enherbé :

Le fond, à très faible pente, est habituellement constitué d'une prairie, d'un espace planté ou engazonné. L'intégration paysagère est donc le principal axe de valorisation

5.2.1.1.2. Bassin sec revêtu :

L'étanchéité du fond, des berges et talus est assurée par géomembrane, béton, enrobé.

Ainsi, tout risque de contamination du sol par une pollution éventuelle est évité. Dans certains cas, cela peut éviter les contraintes d'entretien de la végétation.



Figure 27: Bassin sec revêtu

5.2.1.2. Bassin en eau

C'est un plan d'eau permanent dans lequel sont déversées les eaux de pluie et de ruissellement collectées au cours de l'épisode pluvieux. Le volume utile de rétention est le volume engendré par le marnage (variation du niveau).

Leur taille varie en fonction de leur utilité (usage plurifonctionnel) et du volume de rétention nécessaire. Elle peut varier de la petite mare en fond de jardin jusqu'au lac accueillant des activités nautiques. Leur dimension conditionnera le type d'utilisation et d'exploitation.



Figure 28: Bassin en eau Quartier Augustenborg, Malmö, Suède Sources 2002

5.2.1.3. Bassin enterré

Ce sont des ouvrages de stockage (génie civil) souterrains, que l'on peut enterrer sous des espaces verts, des voiries ou encore des parkings. Ils se vidangent complètement suite à l'épisode pluvieux.

Le bassin enterré est plus généralement utilisé chez le particulier (ouvrage préfabriqué) pour les petits volumes (rétention des eaux de pluie et de ruissellement à la parcelle). Dans ce cas, deux types de bassins peuvent être mis en œuvre :

- ✓ Bassin dont le volume disponible correspond au volume utile,
- ✓ Bassin dont le volume disponible correspond au volume utile + volume pour réutilisation (valorisation de l'investissement, amortissement).



Figure 29: Bassin enterré

5.2.1.4. Application au projet :

Les bassins d'infiltration sont peu adaptés au contexte de la ville car celle-ci est essentiellement implantée sur une zone peu perméable ou rocheuse.

Les bassins de stockage à des fins d'irrigation sont également peu appropriés car ils devraient être de grand volume et seraient régulièrement faiblement remplis (de juillet à décembre).

Les bassins de stockage enterrés sont très coûteux et sont donc également peu adaptés au contexte local.

Les bassins en eau devront être alimentés durant l'été, soit à l'aide d'eau usée épurée, avec des risques importants de développement algale et les nuisances qui l'accompagnent (putréfaction des algues mortes, obligations de curage des bassins et de filtration de l'eau,...)

Il est donc recommandé de limiter l'usage de ces bassins à la réduction des débits d'eaux pluviales à évacuer, éventuellement à l'aide de bassins végétalisés inondables et irrigués durant la saison sèche.

A notre connaissance, aucune solution de ce type n'est opérationnelle dans une ville au climat semi humide.

5.2.2. Les bassins d'infiltration [8]

- Présentation :

Ils sont destinés à contenir les eaux de pluie et de ruissellement générées par l'urbanisation ou l'aménagement d'un site. Ils ont un rôle d'infiltrer les eaux pluviales sur site.

On distingue deux types de bassin d'infiltration :

- Bassin d'infiltration strict
- Bassin de rétention infiltrant

5.2.2.1. Bassin d'infiltration strict :

- Présentation :

Le bassin d'infiltration à ciel ouvert est un ouvrage qui ne nécessite pas d'exutoire. La totalité des eaux de pluie et de ruissellement y sont infiltrées. Cet ouvrage de surface est l'exutoire du réseau d'assainissement pluvial.

Cette technique est particulièrement adaptée aux sols très perméable, accessibles à faible profondeur, ce qui n'est pas le cas de notre projet.



Figure 30: Bassin d'infiltration strict

5.2.2.2. Bassin de rétention infiltrant :

- Présentation :

Le bassin de rétention infiltrant est un bassin d'infiltration complété d'une évacuation à débit régulé, réduisant ainsi le volume utile et lui conférant des caractéristiques similaires au bassin de rétention.



Figure 31: Bassin de rétention infiltrant

5.2.2.3. Application au projet :

L'apport de l'infiltration restera négligeable du fait de la nature des sols présents sur le site. Par contre, elle n'est pas contraindiquée et pourrait réduire les coûts de réalisation des bassins d'orage, pour autant que l'approche soit acceptée par l'ABH.

5.2.3. Les noues et fossés [1]

- Présentation :

Les fossés et les noues sont deux ouvrages, permettant de collecter et de réguler les eaux de pluie et de ruissellement en ralentissant leur écoulement vers un exutoire. L'infiltration continue du point de collecte à l'exutoire permet d'en réduire le volume. L'exutoire peut être le réseau d'assainissement pluvial traditionnel, le milieu hydraulique superficiel ou un système d'infiltration.

5.2.3.1. Le fossé :

- Présentation :

Un fossé est un ouvrage très ancien et très bien connu. Il est linéaire, assez profond et ses rives sont abruptes (pentes des talus le plus souvent $>$ à 1 m en hauteur pour 1 m en largeur).

C'est un ouvrage qui de à part sa nature, peut rester en eau. Il n'est donc pas drainé.

L'évacuation des eaux pluviales s'effectue par écoulement naturel du point de collecte vers un exutoire et par infiltration directe dans le sol s'il est perméable

5.2.3.2. La Noue

- Présentation :

Le concept de la noue est récent, on peut l'apparenter à un fossé large et peu profond et dont les rives sont en pente douce.

La collecte des eaux de pluie se fait de façon naturelle par ruissellement, le stockage temporaire se fait au sein de la noue et l'évacuation est réalisée :

- ✓ si le sol est perméable : par infiltration directe. Cette infiltration permet d'éviter d'avoir des zones où l'eau va stagner, induisant divers types de nuisances.
- ✓ si le sol est imperméable : la noue doit être raccordée à un exutoire qui permettra l'évacuation de l'eau à débit régulé.



Figure 32:Noue

5.2.3.3. Application au projet :

Ces techniques peuvent être développées dans le cadre du quartier sud Zenata, en effet ils permettent d'obtenir une bonne intégration paysagère et peuvent être installées au niveau des parcs et près des parkings, mais ces dernières nécessitent aussi un apport d'eau pour garder la végétation durant l'été.

Dans le cadre de l'étude durable de ce projet, on a opté pour l'utilisation des fossés au lieu des caniveaux.

Analyse technico-économique :

Le tableau ci-dessous résume les avantages et les inconvénients ainsi que le coût de ces techniques :

Technique alternative ou compensatoire	Bassin de rétention (type ouvert)	Bassin de rétention (type fermé)	Fossés	Noues végétalisées	Bassin d'infiltration
Avantages	Activités ludiques lorsque le bassin est vide et aménagé à cet effet (sportives, etc.) possibles	surface au sol reste disponible et permet d'autres usages (parking, voirie, espace vert,...).	Intégration paysagère ; Implantation possible dans une pente	Apport esthétique	Peut fonctionner sans exutoire
	Simplicité technique		Simplicité et faible coût	Moins sensible faible coût	Intégration paysagère
Inconvénients	Emprise foncière importante	Ouvrage technique, difficile à réaliser (pour les ouvrages de forte capacité).	Risques potentiel de colmatage ;	Emprise foncière importante ; Nécessite un sol perméable	Emprise foncière pouvant s'avérer importante
	Surcout, surtout si aménagement du bassin pour activités ludiques Nuisances dues à l'eau stagnante	Coût élevé	Risques de pollution de la nappe	Génère une rupture entre la voie et son environnement	Risques de nuisances olfactives Dépôt de flotant
Coût	900 à 2000 Dhs/m ³	1700 à 5951 Dhs/m ³	400 à 500 Dhs/m ³	150 à 350 Dhs/m ³ stocké	250 à 1500 dh/m ³
Entretien-nettoyage	150 à 350 Dhs/m ³	5 à 10 Dhs/m ² /an	150 à 350 Dhs/m ³	Curage tous les dix ans Entretien espace vert 15 à 50 Dhs/m ²	5 à 17 Dhs /m ³ /an

Tableau 15: Analyse technico-économique des techniques alternatives ou compensatoire [7]

En résumé, La stratégie durable peut être adoptée dans le projet quartier sud « Zenata » surtout par les bassins à ciel couvert qui peuvent être également utilisés pour des activités ludiques s'ils sont aménagés à cet effet. Les noues et les fossés devraient être également une solution adaptée au contexte local du fait de leur bonne intégration paysagère, du faible relief de la ville et du coût de mise en œuvre relativement faible.

5.3. Exemples de villes durables :

5.3.1. Exemples de villes durables à l'étranger : [11]

Construire une planète durable est devenu un objectif de plus en plus important. Beaucoup de pays s'unissent aujourd'hui pour combattre le changement climatique et construire un futur respectueux de l'environnement pour le bien de tous.

Dans ce contexte beaucoup de villes se proclament « durables » à titre d'exemple

REYKJAVIK, ISLAND

Cette ville à taille humaine fonctionne aux énergies renouvelables principalement. Reykjavik a tout misé sur l'énergie géothermale en abondance sur l'île, seule 0.9% de l'énergie est d'origine fossile. Les transports publics font partie des plus verts au monde avec leur parc de bus à hydrogène, soit zéro émission de gaz à effet de serre



Figure 33:REYKJAVIK, ISLAND

CURITIBA, BRÉSIL

Curitiba est la ville la plus verte d'Amérique latine. Elle ne compte pas moins de 14 forêts, plus d'un millier d'espaces verts et 16 parcs. 70% des déchets sont recyclés et 1.5 millions d'arbres ont été plantés le long du réseau routier



Figure 34:CURITIBA, BRÉSIL

HAMBOURG, ALLEMAGNE

Hambourg consacre beaucoup de temps pour s'aligner avec les standards du développement durable. La ville transforme actuellement 1,6 km² d'espace industriel en rues commerçantes, parcs, habitations et autres aménagements essentiels.



Figure 35:HAMBOURG, ALLEMAGNE

5.3.2.Exemples de projets durables au Maroc :

Le Maroc est, en nombre, le champion des projets urbains labellisés de la sorte depuis la fin des années 2000. En raison d'un manque d'ingénierie sur l'urbanisme durable au Maroc, et pour répondre aux souhaits des aménageurs du royaume de produire de l'urbanisme aux standards internationaux, ces derniers font appel à une expertise étrangère.

Dans ce cadre, beaucoup de ville ont été piloté par les grands promoteurs au Maroc et qui visent, dès 2010, la qualification de « durable », à savoir :

- « Sahel Lahyiata »
- « Chrafate »
- « Rabat Al Boustane »
- « Éco-cité Zenata »
- « Casa Green Town »

Conclusion :

Tout aménagement, quelle que soit son importance, peut tenir compte du développement durable. Il faut comprendre que comme toute orientation, il y a des degrés différents.

Il n'y a pas l'aménagement classique et le modèle durable. Il y a toutes sortes de variations possibles entre ces deux niveaux. Il est évident que le plus bénéfique pour l'environnement, ce sont des projets totalement respectueux des cinq finalités du développement durable, néanmoins si chaque aménagement mettait en place certaines de ces spécifications cela permettrait considérablement d'améliorer la situation.

Je tiens à signaler que l'élaboration d'un projet d'aménagement urbain classique ou durable n'est une chose aisée, comme s'apparu dès la première vue, il se fait en plusieurs étapes et demande beaucoup de temps, C'est pour une documentation plus ample qu'il doit s'orienter tout en faisant appel à des connaissances théoriques.

Finalement, grâce à ce projet, on s'immerge dans le milieu professionnel par acquisition de plusieurs connaissances sur l'aménagement urbain classique et durable.

Cet apprentissage et cette confiance ne sont que le fruit des connaissances théoriques et pratiques acquises durant mon cursus à l'ENSAH.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R. Bourrier, B. Selmi : "Pratique des VRD et aménagement urbain, voirie et réseau durable".
Edition le moniteur .
- [2] André. Dupont, "Hydraulique Urbaine", Edition Eyrolles, 1970.
- [3] Gérard KARSENTY, " Guide pratique des VRD et aménagements extérieurs ", Edition Eyrolles, 2004.
- [4] J. G. Proakis: Digital Communications. McGraw-Hill, New York, Edition 3, 1995.
- [5] Routes Economiques à Faible Trafic, instruction générale sur les caractéristiques géométriques, direction des routes et de la circulation routières. Maroc
- [6] Catalogue des structures types du chaussées neuves, direction des routes et de la circulation routières. Maroc, Edition 1995.
- [7] **Recommandations Pratiques EAU 01**- Gérer les eaux pluviales sur la parcelle. Guide pratique pour la construction et la rénovation durable de petits bâtiments, 2007, 27p
- [8] **Gautier A.** Contribution à la connaissance du fonctionnement d'ouvrage d'infiltration d'eau de ruissellement pluvial. Thèse de doctorat. Villeurbanne. INSA de Lyon. 1998. 207p.

WEBOGRAPHIE

LES DATES DE CONSULTATION

- [9] http://jeunesse.gironde.fr/jeunesse/upload/docs/application/pdf/2017-02/les_finalites_du_developpement_durable.pdf (consulté le 20/05/2017 à 20h30)
- [10] <http://www.certivea.fr/offres/certification-hqe-amenagement> (consulté le 24/05/2017 à 10h11)
- [11] <http://declics.romande-energie.ch/articles/info-energie/les-10-villes-les-plus-developpement-durable-au-monde> (consulté le 15/06/2017 à 16h20)

Annexe