



**REHABILITATION DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT D'EAU USEE ET
DIMENSIONNEMENT DE LA STEP DE LA CITE VIE NOUVELLE (COTONOU,
BENIN)**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : EAU ET ASSAINISSEMENT

Présenté et soutenu publiquement le 15 Janvier 2018 par :

Mireille A. L. V. DADJO

Version post soutenance

Travaux dirigés par :

M. Moudachirou ADJIBOICHA

Ingénieur en Sciences et Techniques de l'Eau, Directeur Technique, ACEP

M. Roland YONABA

Assistant d'Enseignement et de Recherche, Département Génie Civil et Hydraulique (GCH), 2iE

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Pr. Yacouba KONATE

Membre et correcteur : Dr. Anderson ANDRIANISA

M. Roland YONABA

Promotion [2015/2016]

DEDICACE

À mes parents, pour m'avoir donné une éducation de qualité, aux valeurs combien précieuses qu'ils ont su m'inculquer, à toutes ces années de sacrifices, aux efforts incommensurables qu'ils ont consentis à mon égard et de me soutenir pour m'orienter vers un idéal...

REMERCIEMENTS

Notre souffle, nos pensées, nos intentions, notre inspiration, nos actes, nos déplacements, toute notre vie sont à la gloire de Dieu le Père Tout Puissant. Aussi ne pourrais-je commencer ce mémoire sans Le remercier pour m'avoir porté sous Son ombre et m'avoir offert Son entière protection. Merci Seigneur pour toutes les merveilles que Tu accomplis et ne cesses d'accomplir dans ma vie. Sans cesse à mes soins, Tu me donnes de rencontrer des personnes par le biais desquelles Tu agis. Le présent document a été réalisé grâce à l'appui, à l'engagement, au soutien indéfectible et à la collaboration de nombre de celles-ci. À cet effet, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude :

À Monsieur YONABA Roland, Assistant d'Enseignement et de Recherche, Département Génie Civil et Hydraulique (GCH), Encadreur de ce présent mémoire de fin d'études pour son entière disponibilité, pour ses conseils et ses critiques qui ont amélioré ce travail.

À Monsieur DOVONON Jean-Marie Servais, Directeur Général de ACEP Ingénieurs, qui a permis le déroulement du stage au sien de ACEP Ingénieurs.

À Monsieur ADJIBOICHA Moudachirou, Directeur Technique de ACEP Ingénieurs, Encadreur externe, toujours disponible surtout pendant la collecte et le traitement de données.

Aux travailleurs de la STEP Cité Vie Nouvelle, qui ont facilité la collecte de données, et tout le personnel de ACEP Ingénieurs pour leurs participations indispensables à la réussite de ce mémoire.

À tous mes amis et camarades pour avoir constitué la plus belle famille ; l'entraide et la solidarité sont des qualités qui ont rendu très intéressante la formation. La liste n'est certainement pas exhaustive. De ce fait, j'exprime mes vifs remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué de quelque manière que ce soit, à l'édification de ma personne et à l'aboutissement de ce mémoire.

Recevez ici mes sincères remerciements pour la joie que vous m'avez donnés.

RESUME

La Cité Vie Nouvelle est située dans le quartier Finagnon au 1^{er} arrondissement de la ville de Cotonou (Bénin). Elle a été identifiée comme un point noir de l'assainissement de Cotonou et doit donc connaître une réhabilitation de son réseau d'assainissement ainsi que de se doter d'une nouvelle station d'épuration pour se mettre en conformité avec la législation en vigueur et les objectifs de réduction de flux polluants. Un diagnostic sur les équipements et les infrastructures de la station et du réseau de collecte des eaux usées a été ensuite réalisé à travers des inspections et des vérifications. Les résultats montrent une détérioration avancée des ouvrages et de nombreuses pannes au niveau des équipements. Le projet de réhabilitation du système d'assainissement de la Cité Vie Nouvelle comprend la remise à niveau du réseau d'assainissement collectif de type séparatif d'eaux usées d'une longueur totale d'environ 1650 ml, ainsi qu'un traitement par lagunage à microphytes. Le projet prévoit également l'implantation d'une station de relevage sur le réseau pour relever le niveau des eaux. Une évaluation environnementale du projet a permis de déceler les impacts positifs et négatifs du projet en sa phase de réalisation et d'exploitation et de proposer des solutions.

Mots clés :

1. Assainissement
2. Cité Vie Nouvelle
3. Cotonou
4. Eau usée
5. Station d'épuration

ABSTRACT

The “Cité Vie Nouvelle” district, located in Finagnon, 1st borough of the city of Cotonou (Benin), has been identified as a black spot in the sanitation of Cotonou. Therefore, it is in need of rehabilitation of its sanitation network and acquire a new treatment plant to comply with the legislation in force and the objectives of reducing polluting flows. A diagnosis of the equipment and infrastructure of the station as well as the wastewater drainage network was carried out through inspection and on-site verifications. Results showed an advanced deterioration of the structures and numerous breakdowns of equipment. The rehabilitation project of the sanitation system of the “Cité Vie Nouvelle” district includes the upgrading of sewage collective network with a total length of approximately 1650 ml, as well as lagoon treatment microphytes. The project also aims for the installation of a lift station on the network to raise the water level. An environmental assessment of the project was carried and identified positive and negative impacts of the project during its construction and operation phase.

Keywords:

1. Sanitation
2. Cité Vie Nouvelle
3. Cotonou
4. Wastewater
5. Wastewater treatment plant

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
TABLE DES MATIERES.....	v
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
I. INTRODUCTION	1
I.1. Problématique, contexte et justification.....	1
I.2. Objectif de l'étude.....	3
II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
II.1. Réseaux de collecte et d'évacuation des eaux usées.....	4
II.2. Traitement des eaux usées domestiques	6
II.3. Les systèmes d'épurations des eaux usées.....	7
II.4. Cadre normatifs de rejet des eaux usées au Bénin.....	13
III. MATERIELS ET METHODES	14
III.1. Cadre physique de l'étude	14
III.2. Méthodologie mise en œuvre dans le cadre de l'étude.....	16
III.3. Méthodologie pour le dimensionnement de la station de relèvement	19
III.4. Choix et dimensionnement d'un système optimisé de traitement des eaux usées de la STEP22	
IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	26
IV.1. Etude diagnostique de la situation actuelle du système d'assainissement de la Cité Vie Nouvelle	26
IV.2. Evaluation des débits d'eaux usées	31
IV.3. Propositions de solution pour le réseau de collecte des eaux usées de la Cité Vie Nouvelle...	33
IV.4. Dimensionnement station de relèvement	33
IV.5. Procédé de traitement des effluents à la station d'épuration (STEP)	35
IV.6. Estimation des coûts pour la mise en œuvre des actions proposées.....	37
IV.7. Evaluation environnementale.....	38
CONCLUSION	41
RECOMMANDATIONS	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	43
ANNEXES	45

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACEP	:	Afrique Conception et Etudes des Projets
CEMAGREF	:	Centre national du Machinisme Agricole du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
CIRSEE	:	Centre International de Recherche Sur l'Eau et l'Environnement
DBO₅	:	Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours
DCO	:	Demande Chimique en Oxygène
ECP	:	Eaux Claires Parasites
ESEM	:	Enquête Socioéconomique auprès des Ménages
HMT	:	Hauteur Manométrique Totale
MES	:	Matières En Suspension
MMEE	:	Ministère des Mines, d'Energie et d'Eau
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
PDA	:	Plan Directeur d'Assainissement
PNUD	:	Programme des Nations Unies pour le Développement
PRGU	:	Projet de Réhabilitation et de Gestion Urbaine
PUGEMU	:	Projet d'Urgence de Gestion Environnementale en Milieu Urbain
RGPH4	:	4 ^{ème} Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SONEB	:	Société Nationale des Eaux du Bénin
STEP	:	Station de Traitement et d'Epuration
TN	:	Terrain Naturel

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Comparaison entre assainissement par mini-égout décanté, mini-égout simplifié et réseau conventionnel	5
Tableau 2 : Avantages et inconvénients des différentes filières de traitement	11
Tableau 3 : Critères de qualités des eaux usées rejetées	13
Tableau 4 : Prévision d'évolution des consommations moyennes par secteur d'enquêtes valeurs pour un habitant (hab) ne consommant que de l'eau SONEB	18
Tableau 5 : Paramètres d'entrée pour la détermination de la surface de grille.....	20
Tableau 6 : Valeur de n en fonction de la puissance du moteur.....	21
Tableau 7 : Synthèse comparative entre les différentes caractéristiques des systèmes a boues activées et le lagunage	22
Tableau 8 : Caractéristiques de l'effluent à l'entrée de la STEP.....	23
Tableau 9 : Caractéristiques de réseau existant.....	28
Tableau 10 : Récapitulatif des débits	32
Tableau 11 : Synthèse des caractéristiques géométrique du dégrilleur.....	34
Tableau 12 : Caractéristiques de la bêche de pompage.....	34
Tableau 13 : Caractéristiques des pompes	35
Tableau 14 : Synthèse du dimensionnement des bassins de stabilisation	37
Tableau 15 : Synthèse des caractéristiques géométriques des bassins de stabilisation.....	37
Tableau 16 : Evaluation des coûts des travaux de réhabilitation du réseau et de construction d'une nouvelle STEP.....	37
Tableau 17 : Mesure d'atténuation des impacts négatifs pendant les travaux	39

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique dudit arrondissement.....	14
Figure 2 : Localisation de la zone de construction.....	15
Figure 3 : Racines de plantes bouchant les conduites	26
Figure 4 : Dalle et Regard endommagés	27
Figure 5: Canalisation dans les regards.....	28
Figure 6: Extrait du réseau d'assainissement existant.....	29
Figure 7: Le poste de relèvement et son dégrillage à l'arrivée des effluents	30
Figure 8 : Les anciens lits de séchage et les rejets des eaux non traitées sur la plage	30
Figure 9 : L'accès au bassin biologique à l'aide d'une échelle.....	31
Figure 10 : La conduite d'aération corrodée et les trémies de décantation des boues.....	31
Figure 11 : Schéma synoptique du système	36

I. INTRODUCTION

I.1. Problématique, contexte et justification

La crise économique, couplée à la non-maîtrise de la planification de l'occupation de l'espace face à l'expansion du tissu urbain est, entre autres, l'un des facteurs qui entravent le développement urbain harmonieux des villes africaines. L'Afrique, qui devrait héberger 1,8 milliard d'habitants en 2050, contre 850 millions aujourd'hui, ne traite que 2% de sa pollution urbaine, industrielle et domestique et connaît une détérioration catastrophique de ses ressources aquatiques et côtières (Christophe, Désille, 2008).

Les chiffres publiés par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 2016 révèlent que chaque année, plus de 842 000 personnes dans les pays à revenu faible ou intermédiaire meurent à cause du manque d'eau, d'assainissement et d'hygiène. Il apparaît que la cause principale réside dans les mauvaises conditions d'assainissement pour 280 000 d'entre eux. Toujours selon l'OMS, l'amélioration des conditions d'accès à l'eau, l'assainissement et l'hygiène permettraient d'éviter chaque année la mort de 361 000 enfants de moins de 5ans (OMS, 2016).

D'après Maïga et al., (2002), si l'approvisionnement en eau potable s'est sensiblement amélioré dans plusieurs villes africaines durant les décennies 1980-2000, il n'en est pas de même pour l'assainissement urbain. Le taux d'accès des ménages aux réseaux d'égout et dans une certaine mesure aux ouvrages d'assainissement autonome décents (fosse septique, latrine, etc.) est relativement plus faible. Malgré les efforts consentis par les gestionnaires urbains pour réaliser des systèmes d'égout dans quelques grandes agglomérations, moins de 30% des ménages sont raccordés à Abidjan (Côte d'Ivoire) et Dakar (Sénégal), 5% à Kumasi (Ghana), 2% à Yaoundé et Douala (Cameroun) et 0,5% à Niamey (Niger). Le reste des ménages se partagent entre les systèmes autonomes tels que les latrines traditionnelles avec 50% des ménages de Kumasi, 58,4% à Niamey, les latrines améliorées de type VIP avec 10% à Kumasi, 18,3% à Niamey, les fosses septiques 26% à Kumasi, 11% à Niamey et le milieu naturel 9% des ménages de Kumasi et 11,2% à Niamey.

Plusieurs études sur la démographie ont révélé que dans les pays en développement, les villes connaissent une croissance sans mesure depuis plusieurs décennies. C'est en particulier le cas des villes d'Afrique de l'Ouest et du Centre dont les taux de croissance annuelle de la population sont : à Douala 2,69% ; à Kumasi 2,59% ; à Abidjan 3,39% ; à Niamey 3,22% et à Ndjamena (Tchad) 2,79% (World Bank, 2017). Particulièrement la ville de Cotonou (Bénin), selon le 4^{ème}

Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH4) conduit en 2013, affiche une croissance 2,17%. La population a connu une croissance rapide du fait de l'émigration des populations des zones rurales vers la ville, à la recherche de meilleures conditions de vie, de travail et l'accès aux services de base. Cette croissance rapide s'accompagne notamment de problèmes en termes de gestion des déchets, de dégradation de la qualité de l'eau, de pollution atmosphérique urbaine et de construction dans des zones écologiquement vulnérables.

L'assainissement des eaux usées au Bénin est assuré par des systèmes autonomes composés de latrines traditionnelles ou améliorées et de fosses septiques pour habitats modernes des grandes villes. Les eaux usées ménagères sont rejetées généralement à l'intérieur des cours ou sur les voies publiques. Les eaux usées industrielles sont le plus souvent déversées brutes dans le milieu naturel (MMEE, 2015). Ce mode d'assainissement inadapté pour les grandes villes qui connaissent une forte croissance urbaine, conjugué avec la faible profondeur de la nappe phréatique exploitée pour les besoins en eau d'une partie importante de la population constitue une menace sérieuse pour la santé de la population et la protection de l'environnement.

Dans le souci donc, d'améliorer le cadre de vie et les conditions d'hygiène de la population et de protéger l'environnement, l'Etat Béninois à travers le Programme d'Urgence de Gestion Environnementale en Milieu Urbain (PUGEMU) adopté en 2010, avec pour objectif l'amélioration de la conurbation de Cotonou et de la ville de Porto-Novo pour le drainage pluvial, les déchets solides ménagers, les inondations et les catastrophes naturelles ainsi que les eaux usées ; dans le cadre de la mise en œuvre de la Stratégie Nationale d'Assainissement des Eaux Usées en Milieu Urbain au Bénin avec l'appui du Water Sanitation Program (WSP) de la Banque Mondiale, il a été dégagé la nécessité de mener une série d'actions en matière de protection environnementale. La réhabilitation du système d'assainissement de la Cité Vie Nouvelle a été définie comme projet prioritaire parmi cette série d'actions.

La Cité Vie Nouvelle est une zone résidentielle de Cotonou, dont le système d'assainissement a été construit en 1973 grâce à un financement de la Banque Béninoise de Développement. Elle dispose d'un réseau d'assainissement d'eaux usées de type séparatif qui devait desservir 316 logements, les effluents collectés étant traités par une station d'épuration des eaux usées (STEP) avant un rejet vers la mer. En 1995, suite à la crise sociale et économique du Bénin, la banque a fait faillite et une association de riverains a pris en charge l'exploitation du réseau et de la station d'épuration. Cette association a dû faire face à des problèmes d'extraction de boue et la STEP a été totalement saturée en boue, les collecteurs envasés. Après une vidange compliquée

des bassins il a été décidé en 1996 d'arrêter l'exploitation de la STEP et de by-passer les effluents. Jusqu'à nos jours, le système de la Cité Vie Nouvelle collecte toujours les eaux vannes, et de ménages, mais aujourd'hui, les rejette sans traitement sur la plage, aux abords des habitations. Au vu de la menace environnementale et des risques pour la santé humaine que la situation actuelle pose, il apparaît nécessaire de revoir le système d'assainissement de la Cité Vie Nouvelle.

I.2. Objectif de l'étude

L'objectif général de l'étude est de réhabiliter le système de collecte et de traitement d'eaux usées pour la Cité Vie Nouvelle à Cotonou (au Bénin), pour l'horizon 2035. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Faire le diagnostic de la situation actuelle du système d'assainissement de la Cité Vie Nouvelle ;
- Conduire une étude d'estimation de la quantité des effluents à traiter à l'horizon 2035 à partir des données de base ;
- Conduire une étude de conception de la station d'épuration à l'horizon 2035.

II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1. Réseaux de collecte et d'évacuation des eaux usées

Un réseau de collecte est un ensemble d'ouvrages qui permettent de canaliser les eaux pluviales et/ou les eaux usées à l'intérieur d'une agglomération (canalisations souterraines reliées entre elles). C'est un des éléments constitutif du système d'assainissement. On distingue généralement deux types de réseau d'évacuation des eaux usées qui sont le réseau conventionnel et le réseau non conventionnel. Les réseaux conventionnels sont de grands réseaux de conduites souterraines transportant les eaux vannes, les eaux grises et les eaux de drainage des ménages à une station de traitement tandis que les réseaux non conventionnels transportent des eaux usées par mini-égout. Pour les réseaux non conventionnels les tuyaux sont de petit diamètre, leur mode de raccordement simplifié, une faible profondeur d'enfouissement etc. Comparés aux réseaux conventionnels, ces particularités techniques réduisent le coût d'investissement (Ily, et al., 2014).

Dans le contexte des pays en développement où les réseaux conventionnels sont rares pour des raisons économiques, les petites et moyennes installations industrielles et/ou administratives et les petites agglomérations font recours au réseau non conventionnel qui convoie les eaux usées vers des systèmes de traitement. Cette option est une solution mise en œuvre depuis plusieurs décennies et qui fait l'objet d'un intérêt croissant des acteurs de l'assainissement du continent africain (Ily, et al., 2014). Il y a deux types de réseau non conventionnel : le réseau simplifié et le réseau décanté.

Le réseau simplifié sert à évacuer directement l'ensemble des eaux usées (eaux noires et grises). Ses composantes et sa mise en œuvre s'appuient sur une faible pente, une faible profondeur de pose ainsi que sur de petits diamètres des conduites (Hamouni et al., 2015).

Le réseau décanté encore appelé réseau simplifié sans matières solides est un réseau de petit diamètre transportant des eaux usées prétraitées (effluent d'une fosse septique ou d'un bassin de décantation) à une station de traitement ou à un point de rejet. Une condition préalable pour les réseaux décantés est le traitement primaire efficace au niveau des lieux de production des eaux usées. L'intercepteur, la fosse septique ou le bassin de décantation enlève les particules décantables qui pourraient colmater les petites conduites (Tilley, et al., 2008). Comme il y a peu de risque de colmatage, les réseaux ne sont pas autonettoyants, c'est-à-dire qu'on n'a pas

besoin d'exiger une vitesse minimale d'écoulement et peuvent donc être réalisés à de faibles profondeurs. Il faut un entretien régulier de la part des utilisateurs. La fosse septique doit être régulièrement entretenue et vidangée pour assurer une performance optimale du réseau décanté. Si le traitement primaire est efficace, le risque de colmatage dans les conduites est bas, mais un entretien périodique sera exigé. Les réseaux devraient être curer une fois par an en tant qu'élément d'entretien régulier indépendamment de leur performance (Tilley, et al., 2008 et Ily, et al., 2014). Le tableau 1 fait ressortir la comparaison entre assainissement par mini-égout décanté, mini-égout simplifié et réseau conventionnel.

Tableau 1 : Comparaison entre assainissement par mini-égout décanté, mini-égout simplifié et réseau conventionnel (Ily, et al., 2014)

	Mini-égout décanté	Mini-égout simplifié	Réseau d'égout conventionnel
Solution de prétraitement au niveau du maillon amont	Décanteur domiciliaire ou partagé	Pas de prétraitement	Pas de prétraitement
Diamètre des canalisations du réseau tertiaire	40 à 100 mm	100 à 150 mm	150 mm
Diamètre des canalisations du réseau secondaire	40 à 100 mm	100 à 150 mm	250 mm
Diamètre des canalisations du réseau primaire	Un réseau de mini-égout ne dispose pas de réseau primaire, mais il peut être raccordé à un égout conventionnel		Jusqu'à 600 mm pour un réseau séparatif, plusieurs mètres pour un réseau unitaire
Gradient de pente minimal	0,5 %	1 %	0,5 - 1 %
Profondeur d'enfouissement minimale	30cm (hors voies carrossables)		1m (sous voies carrossables)

Tracé du réseau	En majorité dans l'espace privé ou sous les trottoirs	En majorité sous les routes
Mode de traitement	Station de traitement décentralisée ou rejet dans le réseau conventionnel	Station de traitement centralisée

II.2. Traitement des eaux usées domestiques

La problématique de la pollution de l'environnement par les eaux usées est de plus en plus préoccupante de nos jours notamment dans les pays en développement. La prise de conscience des populations de la nécessité de protéger l'environnement, d'assainir le cadre de vie, obligent les grands producteurs d'eaux usées à se tourner vers des systèmes d'épuration des eaux. L'épuration des eaux est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable. Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignades et autre activités sportives). (Boutin et al., 2009).

D'une manière générale, les systèmes de traitement sont basés sur des procédés physiques, biologiques et sont parfois complétés par un procédé chimique. Les filières de traitement sont constituées de traitement primaire, de traitement secondaire et de traitement tertiaire.

II.2.1. Traitement primaire

Le traitement primaire consiste à clarifier les eaux usées par la décantation des matières en suspension et la digestion partielle des matières organiques décantées. Selon Boutin et al., (2003) la fosse septique et le bassin anaérobie assurent l'abattement de la DBO_5 et des MES.

D'après Sasse, (1998) la fosse septique est la forme de station d'épuration décentralisée à petite échelle la plus répandue dans le monde. C'est une fosse imperméable comportant deux compartiments et destinée à recevoir les eaux grises et les eaux vannes.

Le premier compartiment assure la décantation et la digestion anaérobie de la matière organique décantée tandis que le surnageant transite par le second compartiment. En terme de performance

épuratoire, grâce aux travaux de Tilley et al., (2008) la fosse septique permet un abattement en MES de 50% et un abattement de 40% en DBO₅. Cependant, le taux d'élimination des MES est considérablement réduit lorsque les boues accumulées occupent plus de 2/3 de la fosse (Sasse 1998).

II.2.2 Traitement secondaire des eaux usées

Le traitement secondaire des eaux usées est un traitement biologique qui consiste à mettre en contact les matières organiques dissoutes avec des micro-organismes présents naturellement dans les eaux usées. Cette étape se déroule généralement dans le bassin d'aération pour les stations à boues activées, dans les bassins facultatifs pour le lagunage à microphytes et dans le lit bactérien, disque biologique.

II.3. Les systèmes d'épurations des eaux usées

2.3.1 Les systèmes intensifs

Le principe des procédés intensifs est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel.

➤ Boue activée

Le principe des boues activées réside dans une intensification des processus d'autoépuration que l'on rencontre dans les milieux naturels. Il consiste à mélanger et à agiter les eaux usées brutes avec des boues activées liquides, bactériologiquement très actives. La dégradation aérobie de la pollution s'effectue par mélange intime des microorganismes épurateurs et de l'effluent à traiter. Ensuite, les eaux épurées et boues épuratrices sont séparées.

➤ Lit bactérien

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux (souvent de la pouzzolane de diamètre 50 à 80 mm ou garnissage plastique en vrac), épaisse de 2 à 3 mètres qui sert de support aux micro-organismes épurateurs. Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre-courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond.

➤ Disque biologique

Les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi-immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée. Il convient, sur ce type d'installation, de s'assurer de la fiabilité mécanique de l'armature (entraînement à démarrage progressif, bonne fixation du support sur l'axe), du dimensionnement de la surface des disques.

2.3.2 Les systèmes extensifs

Les techniques dites extensives sont des procédés qui réalisent l'épuration à l'aide de cultures fixées sur support fin ou encore à l'aide de cultures libres mais utilisant l'énergie solaire pour produire de l'oxygène par photosynthèse.

➤ Les cultures fixées sur support fin

Les procédés d'épuration à culture fixées sur support fin consistent à faire ruisseler l'eau à traiter sur plusieurs massifs indépendants.

Dans le cas de petites installations où le traitement primaire est réalisé par des fosses septiques, le traitement secondaire peut se faire à travers un procédé à culture fixée. Dans ce système, les supports sont mis en contact avec les bactéries actives qui assurent la digestion car la pollution représente une source de nourriture pour les bactéries. Lorsque le bio film bactérien devient trop important, il faut l'éliminer. Ceci peut être réalisé par lessivage ou en enlevant la masse filtrante pour la laver ailleurs. Le système est particulièrement adapté au traitement des eaux usées domestiques et industrielles ayant un faible taux de matière en suspension. C'est pourquoi un bon traitement primaire dans un décanteur ou dans une fosse septique est indispensable. La qualité épuratoire varie entre 70% à 90% de réduction de la DBO5 (Sasse, 1998). On distingue L'infiltration-percolation sur sable, les filtres plantés à écoulement vertical, et les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal.

➤ Les cultures libres

Le processus d'épuration par cultures libres repose sur le développement d'une culture bactérienne, de type aérobie principalement. L'oxygène provient de diverses sources selon les filières.

- Lagunage à macrophytes

Pour le lagunage à macrophytes, on implante généralement des végétaux (roseaux) dans les bassins. Les lagunes à macrophytes reproduisent des zones humides naturelles comportant une tranche d'eau libre, tout en essayant de mettre en valeur les intérêts des écosystèmes naturels. Elles sont souvent réalisées pour des traitements tertiaires à la suite de lagunage naturel, de lagunes facultatives. Cette filière est généralement utilisée en vue d'améliorer le traitement (sur les paramètres DBO₅ ou MES) ou de l'affiner (nutriments, métaux,).

- Lagunage à microphytes

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques (microphytes). Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique. En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau. Les bassins de lagunage fonctionnent dans la plupart des climats, mais sont les plus efficaces dans les climats chauds et ensoleillés (Tilley, et al., 2008).

De manière classique, il y a trois types de bassins à savoir le bassin anaérobie, le bassin facultatif et le bassin de maturation. Le traitement secondaire se réalise surtout dans le bassin facultatif mais aussi dans le bassin de maturation. Le bassin facultatif est moins profond (1 à 2,5m) que le bassin anaérobie et des processus aérobies et anaérobies s'y produisent. La couche inférieure est privée d'oxygène et devient anoxique ou anaérobie. Les solides décantables s'accumulent et sont digérés au fond du bassin. Les organismes aérobies et anaérobies travaillent ensemble pour atteindre des réductions de DBO₅ jusqu'à 75% (Tilley, et al., 2008). Après les bassins facultatifs peuvent être reliés à autant de bassins de maturation que nécessaire pour un traitement de finition.

Dans le cas du lagunage à microphytes, les bassins de maturation jouent le rôle de désinfection des eaux usées dans le traitement. Ils sont de faibles profondeurs (entre 0,8 m et

1,2 m) et permettent une désinfection des eaux. En effet, grâce à une faible profondeur, le rayonnement solaire contribue à la désinfection. La durée de temps de séjour est un facteur très important. Plus le temps de séjour est long, plus l'élimination des microorganismes est notable (Boutin et al., 2009). L'infiltration-percolation peut également être utilisée comme traitement de finition (Boutin et al., 2009). Dans certains cas, le traitement tertiaire visera aussi l'élimination des nutriments comme le phosphore et l'azote.

Toutes les techniques de traitement citées au-dessus présentent des avantages et des inconvénients. Le tableau 2 donne les avantages et les inconvénients de chaque filière de traitement.

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des différentes filières de traitement (Perera, et al., 2001)

Filières	Avantages	Inconvénients
Lit bactérien et disque biologique	<ul style="list-style-type: none"> faible consommation d'énergie ; fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées ; bonne décantabilité des boues ; plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées ; généralement adaptés pour les petites collectivités ; 	<ul style="list-style-type: none"> performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées; nécessité de prétraitements efficaces ; sensibilité au colmatage ; coûts d'investissement assez élevés ;
Boue activée	<ul style="list-style-type: none"> adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ; bonne élimination de l'ensemble des paramètres de facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée ; 	<ul style="list-style-type: none"> coûts d'investissement assez importants ; consommation énergétique importante ; nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ; sensibilité aux surcharges hydrauliques ; décantabilité des boues pas toujours aisée à maîtriser forte production de boues qu'il faut concentrer.
Infiltration-percolation	<ul style="list-style-type: none"> excellents résultats sur la DBO5, la DCO, les MES ; nitrification poussée ; superficie nécessaire bien moindre que pour un lagunage naturel ; capacité de décontamination intéressante. 	<ul style="list-style-type: none"> nécessité d'un ouvrage de décantation primaire efficace; risque de colmatage à gérer ; nécessité d'avoir à disposition de grandes quantités de sable ; adaptation limitée aux surcharges hydrauliques ;
filtres plantés à écoulement vertical	<ul style="list-style-type: none"> facilité et faible coût d'exploitation ; possibilité de traiter des eaux usées domestiques brutes ; gestion réduite au minimum des boues ; 	<ul style="list-style-type: none"> exploitation régulière ; désherbage manuel avant la prédominance des roseaux ; utiliser cette filière pour des capacités supérieures à 2 000 EH reste très délicat pour des questions de maîtrise de l'hydraulique et de coût par rapport aux filières classiques ;

		<ul style="list-style-type: none"> • Risque de présence d'insectes ou de rongeur
Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • faible consommation énergétique : ne nécessite pas une pente importante pour l'écoulement par gravité ; • aucune nécessité d'une qualification poussée pour l'entretien ; • bonne réaction aux variations de charge ; 	<ul style="list-style-type: none"> • l'emprise au sol est importante ; • une installation pour des tailles d'environ 4.000 EH ne peut s'envisager que sous réserve d'une réflexion poussée des conditions d'adaptation des bases de dimensionnement et de l'assurance de la maîtrise de l'hydraulique.
Lagunage naturel	<ul style="list-style-type: none"> • un apport d'énergie n'est pas nécessaire si le dénivelé est favorable ; • l'exploitation reste légère, mais si le curage global n'est pas réalisé à temps, les performances de la lagune chutent très sensiblement ; • élimine une grande partie des nutriments phosphore et azote (en été) ; • très bonne élimination des germes pathogènes en été (4-5 logs), bonne en hiver (3 logs) ; • s'adapte bien aux fortes variations de charge hydraulique ; • bonne intégration paysagère ; • les boues de curages sont bien stabilisées 	<ul style="list-style-type: none"> • forte emprise au sol ; • coût d'investissement très dépendant de la nature du sous-sol ; • performances moindres que les procédés intensifs sur la matière organique. Cependant, le rejet de matière organique s'effectue sous forme d'algues, • risque de nuisances olfactives si anaérobiose
Lagunage à macrophytes	<ul style="list-style-type: none"> • capable d'assimiler les métaux lourds 	<ul style="list-style-type: none"> • faucardage annuel et enlèvement des parties aériennes des macrophytes afin qu'elles ne se décomposent pas sur place

II.4. Cadre normatifs de rejet des eaux usées au Bénin

La loi n° 98-030 du 12 février 1999 portant loi-cadre sur l'environnement en République du Bénin présente beaucoup de similitudes avec la loi française du 3 janvier 1992 considérée comme la loi « fondatrice » dans le domaine de la gestion des eaux.

Décret n° 2001-109 du 4 avril 2001 fixant les normes de qualité des eaux résiduaires en République du Bénin. Le tableau 3 donne les critères de qualités des eaux usées à rejeter dans le milieu naturel.

Tableau 3 : Critères de qualités des eaux usées rejetées (Akindes, et al.,1999)

Paramètres	Concentration	Pourcentage minimum de réduction
- DBO ₅	Inférieur ou égale à 25mg /l	70 à 90 %
- DCO	Inférieur ou égale à 125mg /l	75%
- MES	Inférieur ou égale à 60mg/l	70%
	150 mg/l pour le lagunage	90%
- Coliformes fécaux	10 ³ UFC/100ml	90%
- Un pH compris entre 6 et 9		
- Une température supérieure d'un maximum de 1°C à la température des eaux réceptrices		

III. MATERIELS ET METHODES

III.1. Cadre physique de l'étude

Notre zone d'étude est située dans la ville de Cotonou au quartier Finagnon du 1^{er} arrondissement. La figure 1 montre la situation géographique dudit arrondissement. La figure 2 illustre la localisation de la zone de construction.

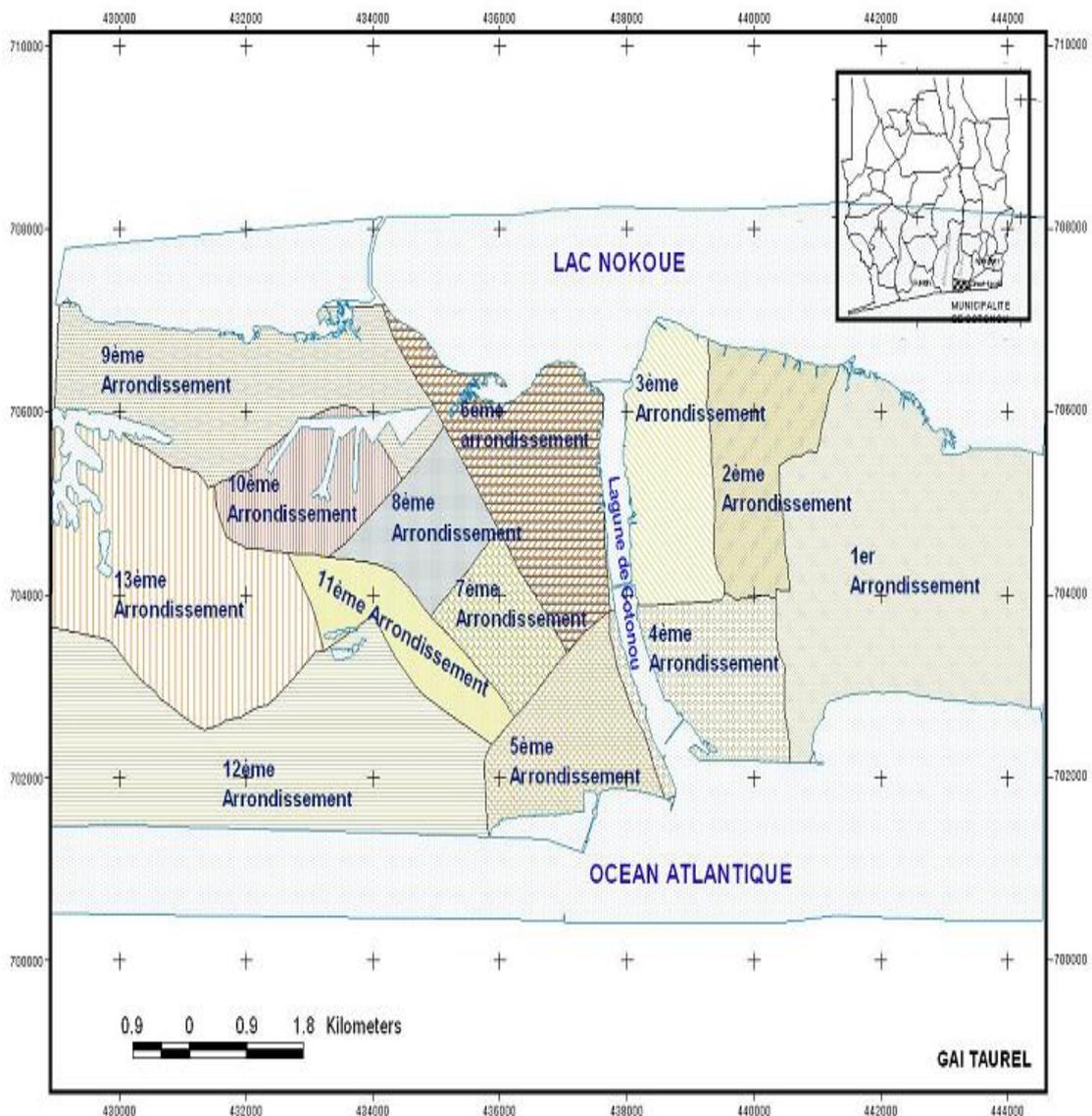


Figure 1 : Situation géographique dudit arrondissement (Akomagni., 2006)



Figure 2 : Localisation de la zone de construction (Google Earth)

D'après le Plan de développement de la ville, Cotonou est dans une zone de climat subtropical c'est-à-dire chaud et humide, où les températures moyennes mensuelles varient entre 27 et 31°C. Les mois les plus chauds sont février, mars et avril. D'avril à novembre, souffle la mousson, vent humide venant de l'océan. De décembre à mars, souffle l'harmattan, vent sec, froid et poussiéreux venant du Sahara. On distingue une grande saison sèche de mi-novembre à mi-mars ; une grande saison pluvieuse de mi-mars à mi-juillet ; une petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre ; une petite saison pluvieuse de mi-septembre à mi-novembre. Elle reçoit en moyenne 1300 mm de précipitations par an avec un pic au mois de juin, entre 200 et 500 mm. Le substratum géologique de la ville de Cotonou est constitué essentiellement de sables d'origine fluvio-marine. Le relief est globalement homogène. Toutefois, on relève certains endroits situés en dessous du niveau de la mer. La topographie est faite de cordons dunaires exondés séparés par dépressions interdunaires parallèles à la côte et des bas-fonds érodés par

l'écoulement des eaux pluviales qui communiquent avec le lac. Sur le plan hydrographique, la ville est divisée en deux parties (Est et Ouest) par le chenal appelé « lagune de Cotonou », communication directe entre le lac Nokoué au nord de la ville et l'Océan Atlantique au sud. Quelques bas-fonds limitrophes du lac s'y ajoutent pour constituer l'essentiel du réseau hydrographique de Cotonou (Akomagni, 2006).

III.2. Méthodologie mise en œuvre dans le cadre de l'étude

III.2.1. Méthodologie pour l'étude diagnostique

L'étude diagnostique du système d'assainissement a pour objectif d'identifier les causes des dysfonctionnements et de motiver ainsi la réflexion profonde sur les travaux à engager pour résoudre ces difficultés. Alors, il s'agit de collecter, d'analyser l'ensemble des informations et données disponibles : données démographiques et plans d'occupation de l'espace, données de consommation en eau des abonnés, données concernant le réseau d'assainissement existant, etc. et d'acquérir ainsi une meilleure connaissance du système d'assainissement via une reconnaissance physique des ouvrages, afin d'établir le diagnostic du système d'assainissement et préparer les phases suivantes de l'étude. La mission consiste à se renseigner auprès des gestionnaires du réseau et de la station de traitement des eaux usées, et de l'ensemble des acteurs associés tels que la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB), la Direction Générale de l'Eau (DGEAU), le Programme d'Urgence de Gestion Environnementale Urbaine (PUGEMU). Elle s'appuie en grande partie sur des visites de terrain. L'établissement d'un relevé détaillé de la géométrie des ouvrages singuliers du réseau tels que les regards, les postes de relèvement, etc. Les anomalies observées sur chaque élément d'intérêt pendant la visite du diagnostic portent sur les aspects suivants:

- fissures et autres dégradations ;
- défauts d'étanchéité ;
- intrusions de racine ;
- traces de corrosion ;
- défauts de raccordement des canalisations ;
- ensablement ;
- évaluation des pentes et des diamètres des conduites sur la base des débits d'eaux usées actuels et par rapport aux données de la littérature sur les réseaux similaires.

De même, l'étude recensera les défauts et anomalies structurelles identifiées sur les différents ouvrages et équipements composant la station de traitement. On analysera les capacités de

traitement d'un point de vue hydraulique au regard des caractéristiques dimensionnelles des ouvrages.

III.2.2. Méthodologie pour l'estimation de la quantité des effluents

Le calcul des débits d'eaux usées à considérer dans la zone du projet se fera sur la base de certaines hypothèses. Ces différentes hypothèses considérées pour l'estimation des débits sont :

- Le taux de rejet des effluents ;
- La consommation en eau potable ;
- La population à l'horizon du projet.

Le taux de rejet des eaux usées est considéré selon la zone ; 80 % pour les zones d'habitat ; 90 % pour la zone industrielle (Wethé, 2002). Dans le cadre de notre étude, le taux de rejet des eaux usées a été pris égal à 80 % car la Cité Vie Nouvelle est une zone d'habitat.

Quant à la consommation en eau potable, les données tirées de l'Enquête Socio-Economique auprès des Ménages (ESEM) de 2014 permettent d'établir l'évolution prévisionnelle des consommations unitaires pour les personnes bénéficiant du service de la SONEB. Ceci grâce aux questionnaires adressés aux habitants sur leurs usages de l'eau (pour la boisson, la cuisine, la douche, la lessive) et leurs modes de distribution (consommations directes au réseau SONEB, indirectes au réseau SONEB par l'intermédiaire de revendeurs ou à partir d'un puits). En l'absence d'autres données pour évaluer l'évolution de la consommation d'eau par les ménages à partir de la situation actuelle, les hypothèses suivantes ont été élaborées :

- Pour des raisons de confort et d'hygiène, les ménages poursuivront leur équipement en toilettes à chasse d'eau avec une augmentation du taux d'équipement d'un tel dispositif de 50 % à l'horizon 2035,
- L'augmentation de la consommation d'eau sera principalement due à l'extension de l'usage des chasses d'eau, la consommation liée aux autres usages devant rester stable.

Les consommations aux horizons intermédiaires sont déterminées linéairement sur la base de cet objectif. Les prévisions sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Prévission d'évolution des consommations moyennes par secteur d'enquêtes valeurs pour un habitant (hab) ne consommant que de l'eau SONEB (ESEM, SEURECA, 2014)

	Consommations moyennes en l/j/hab				
	2013	2020	2025	2030	2035
Cotonou-Est	60	65	68	71	75
Cotonou-Ouest	64	69	72	76	79
Abomey-Calavi	60	63	65	68	70
Godomey	57	60	62	65	67
Porto-Novo	57	61	63	65	67
Sémé-Podji	61	64	66	68	71
Périphérie Porto Novo	42	45	49	52	61

Nous exploiterons les données prévisionnelles de Cotonou-Est dans le cadre de la présente étude.

Le calcul du débit moyen journalier d'eaux usées Q_m (l/j) s'obtient par l'Equation I.

$$Q_m = C_s \times tr \times p \quad (\text{Eq I.})$$

Avec :

- C_s : consommation spécifique en eau potable (l/j/hab)
- tr : taux de rejet (%)
- p : population

Le calcul du débit moyen horaire eaux usées Q_{mh} (l/h) s'obtient par l'Equation II.

$$Q_{mh} = \frac{Q_m}{24} \quad (\text{Eq II.})$$

Le débit du projet Q_p (l/s) est estimé sur la base du débit moyen eaux usées auquel s'ajoute le débit d'eaux claires parasites, ce débit est le débit de dimensionnement des collecteurs, il est obtenu à partir de l'Equation III.

$$Q_p = (Q_m + Q_{ecp}) \times C_p \quad (\text{Eq III.})$$

Avec :

- Q_m : débit moyen (l/s)
- Q_{ecp} : débit eau claire parasite (l/s)
- C_p : coefficient de pointe

Le coefficient de pointe est donné par l'Equation IV.

$$C_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}} \quad (\text{Eq IV.})$$

Le débit spécifique est calculé par l'Equation V.

$$Q_s = \frac{Q_p}{L_t} \quad (\text{Eq V.})$$

Avec :

- Q_s : débit spécifique (l/s/ml)
- Q_p : débit de pointe (l/s)
- L_t : longueur totale du réseau (ml)

III.3. Méthodologie pour le dimensionnement de la station de relèvement

Dans cette étude, il sera réalisé une station de relèvement. Elle est disposée à un endroit où la pente du terrain ne permet pas un écoulement de l'eau par gravité. Elle permettra de faire remonter l'eau à la côte souhaitée afin d'en assurer l'écoulement gravitaire. Elle sera choisie en fonction de :

- La topographie ;
- La profondeur de pose des canalisations;
- La hauteur de relèvement généralement faible.

Le dimensionnement de la station de relevage concerne principalement la bache de stockage, les pompes submersibles et les ouvrages de protections. La station comportera une clôture, un dégrilleur, une bache de pompage, un local pour le gardien avec toilettes et une salle de commande abritant un groupe électrogène de secours et une armoire électrique.

Les formules de l'Equation VI. permettent de déterminer les dimensions du dégrilleur.

$$S_m = \frac{Q}{V \times \theta \times (1 - C)} \quad S_u = S_m \times \theta \times (1 - C) \quad h = \frac{S_m}{l} \quad L = \frac{h}{\cos \alpha} \quad (\text{Eq VI.})$$

Avec :

- S_m : section mouillée (m²)
- Q : débit de pointe (m³/s)
- V : vitesse de passage des barreaux (m/s)

- θ : coefficient de colmatage dû à l'encombrement des barres $\theta = \frac{e}{e+b}$
- e : écartement des barreaux (mm)
- b : épaisseur des barreaux (mm)
- C : coefficient de colmatage
- S_u : section utile (m²)
- h : hauteur (m)
- l : largeur de la grille (1m)
- L : longueur de la grille (m)
- α : angle d'inclinaison de la grille = 80°

Les paramètres d'entrée pour la détermination de la surface de grille sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Paramètres d'entrée pour la détermination de la surface de grille

Paramètres	Intervalle théorique admis	Valeur choisie
Vitesse de passage des barreaux (m/s)	0,6-1	0,6 réseau séparatif
e = Espace libre entre les barreaux (mm)	grille fine 3-10	3
b = Épaisseur des barreaux (mm)	-	10
C = Coefficient de colmatage de grille manuel	0,7- 0,8	0,7

La bache de la station de pompage constitue un volume tampon permettant de réguler le fonctionnement des pompes. Son volume total doit être suffisant pour :

- Abriter les pompes à installer et permettre leur manipulation par le personnel ;
- Le nombre de déclenchements par heure des pompes ne dépasse pas une valeur maximale donnée par le constructeur.

Le volume utile V_u la bache de pompage est obtenu par l'Equation XII.

$$V_u = \frac{\left[Q \times \frac{1}{n} \right]}{\left[4 \times (N - 1) \right]} \quad (\text{Eq VII.})$$

Avec :

- Q : débit à pomper (m³/h)

- n : nombre maximal de démarrage par heures
- N : nombre de pompes adoptées (pompe de secours non comprise)

La fréquence maximale de démarrage des pompes par heure dépend de la puissance des groupes électropompes qui tiennent compte de la fatigue de ces premiers. Les différentes valeurs de n sont données par le tableau 6:

Tableau 6 : Valeur de n en fonction de la puissance du moteur

Puissance nominale du moteur (KW)	Fréquence de démarrage par heure
$P < 7,5$	15
$7,5 < P < 50$	12
$P > 50$	10

Le dimensionnement des pompes s'est effectué par le logiciel WILO select 4.3, c'est un logiciel conçu uniquement pour les pompes de type Wilo. Pour la station, deux pompes sont prévues pour l'horizon du projet (2035), une seule fonctionnera, avec possibilité de permutation.

Ce logiciel demande des renseignements sur les données suivantes :

- Le débit choisi en (m^3/h);
- La HMT (m) ;
- Le nombre de pompes connectées ;
- Le type de roues.

Pour l'alimentation électrique de la station, il se fera à partir du réseau de la Société Béninoise d'Energie Electrique (SBEE) à partir d'un poteau électrique situé proche de la station, mais en cas de délestage ou suite à une panne survenue sur la ligne un groupe électrogène prendra la relève temporellement. La puissance électrique à prévoir pour le choix du groupe électrogène pour la station devra prendre en compte les éléments suivants :

- La pompe submersible ;
- Un éclairage intérieur et extérieur ;

La puissance du groupe P_{groupe} sera le double de la puissance aux bornes consommée par le moteur de la pompe, majorée de 25 % plus les équipements auxiliaires. On la déterminera à partir de l'Equation XIII.

$$P_{groupe} = (P_{bornes} \times 2 \times 1,25) + P_{aux} \quad (\text{Eq VIII.})$$

III.4. Choix et dimensionnement d'un système optimisé de traitement des eaux usées de la STEP

III.4.1. Choix d'un système optimisé de traitement des eaux usées de la STEP

Il existe de multiples façons de traiter les eaux usées. Mais toutes ces méthodes ont des rendements épuratoires, des coûts, des modes d'exploitation, des superficies et une intégration dans le paysage différente.

Les stations à boues activées sont les systèmes les plus répandus pour l'épuration des eaux usées. Cette filière est très connue et est très performante sur tous les types de pollution (que ce soit matières organiques ou nutriments). Mais ces stations ont un coût d'exploitation et d'investissement très élevé. Certains traitements nécessitent l'apport de réactif (pour le phosphore par exemple) et la consommation en électricité est très élevée du fait d'une aération quasi permanente dans le bassin d'aération. De plus, la station doit être suivie par un personnel ayant suivi une formation adéquate car certains réglages, comme les débits ou les temps d'aération, peuvent être compliqués. Ce type de traitement produit de grand volume de boues qu'il faut évacuer chaque année.

Le lagunage est une méthode qui est peu chère en réalisation et en exploitation. Elle est très intéressante du point de vue de l'investissement, de l'entretien et de l'exploitation simple et rustique. En effet, l'entretien de ce système consiste juste à un curage des boues dans le bassin tous les quatre à cinq ans environ et à la tonte des abords. Les lagunes s'intègrent parfaitement dans le paysage car son aspect extérieur est semblable à celui d'une mare. Le tableau 7 récapitule et compare les principales caractéristiques des méthodes de traitement des eaux usées décrites précédemment.

Tableau 7 : Synthèse comparative entre les différentes caractéristiques des systèmes à boues activées et le lagunage (Gary, 2015)

Procédés	Le lagunage	Les boues activées
Performance DBO₅ et DCO	+	++
Performance nitrification	+	++
Performance dénitrification	-	+
Abattement du phosphore	-	+

Fiabilité, rusticité	++	-
Gestion des boues	-	--
Intégration, esthétique	++	--

++ : solution très avantageuse pour le critère considéré.

+ : solution avantageuse pour le critère considéré.

- : solution défavorable pour le critère considéré.

-- : solution très défavorable pour le critère considéré

La STEP, compte tenu des problèmes qu'a connus l'ancienne station, le choix envisagé est le lagunage à microphytes. En effet, la station à boue activée est très consommatrice d'électricité et nécessite un personnel qualifié pour son exploitation. Ces conditions ne sont pas faciles à réunir dans notre contexte. Sur la base de la caractérisation des effluents issus des fosses septiques qui présente des polluants fortement biodégradables et la disponibilité de l'espace dans la zone de la Cité, nous proposons de réaliser un système de traitement par lagunage à microphytes. Le système choisi est simple dans son fonctionnement et son exploitation dans un souci de réduction des coûts d'investissement et de gestion tout en restant dans les limites de l'efficacité de l'élimination des matières organiques. Les eaux usées brutes transitent dans des fosses septiques. Elles permettront la rétention des matières organiques décantables ainsi que leur fermentation anaérobie.

Les caractéristiques des eaux usées entrant dans la STEP recueillies à la SONEB sont données par le tableau 8. Les concentrations correspondent à un échantillon moyen sur 24h.

Tableau 8 : Caractéristiques de l'effluent à l'entrée de la STEP

Données	Unités	Nominal
Température	°C	29
pH		6.80
DBO ₅	mg/l	467
DCO	mg/l	1067
Coliformes fécaux	UFC/100ml	10 ⁷

III.4.2. Méthodologie pour le dimensionnement de la STEP

Les bassins de stabilisation sont dimensionnés de forme rectangulaire. La formule de Mara (1987) a été utilisée pour la détermination de la charge admissible de DBO₅ par unité de surface.

Les eaux usées à la sortie des fosses septiques sont facilement biodégradables et peuvent être traitées par lagunage à microphytes.

Le dimensionnement du bassin anaérobie est donné par l'Equation IX.

$$V_{ba} = \frac{L_i \times Q}{\lambda_v} \quad \lambda_v = 10T + 100 \quad t_{rba} = \frac{V_{ba}}{Q} \quad S_{ba} = \frac{V_{ba}}{H_{ba}} \quad (\text{Eq IX.})$$

$$L_{ba} = 2 \times l_{ba} \quad l_{ba} = \sqrt{\frac{S_{ba}}{2}}$$

Avec :

- V_{ba} : volume requis du bassin (m³)
- L_i : concentration en DBO₅ à l'entrée (mg/l)
- Q : débit journalier (m³/j)
- λ_v : charge organique (gDBO₅/m³/j)
- T : température (°C)
- t_{rba} : temps de rétention (jours)
- S_{ba} : surface bassin d'anaérobie (m²)
- H_{ba} : profondeur fixée à 3m
- L_{ba} : hypothèse du rapport entre la longueur et la largeur l_{ba}

L'Equation X. donne la démarche pour dimensionner le bassin facultatif

$$\lambda_s = 350 \times (1,107 - 0,002T)^{T-25} \quad S_{bf} = \frac{[DBO_5] \times Q}{\lambda_s} \quad (\text{Eq X.})$$

$$t_{rbf} = \frac{L_{bf} \times h \times l_{bf}}{Q} \quad L_{bf} = 2 \times l_{bf} \quad l_{bf} = \sqrt{\frac{S_{bf}}{2}}$$

Avec :

- λ_s : charge admissible de DBO₅ (kg/ha/jour)
- S_{bf} : surface bassin facultatif (m²)
- $[DBO_5]$: charge totale en DBO₅ (mg/l)

- Q : débit journalier (m^3/j)
- t_{rbf} : temps de rétention (jours)
- h : hauteur frisée à 1,5 m
- l_{bf} : largeur (m)
- L_{bf} : hypothèse du rapport entre la longueur et la largeur l_{bf}

L'Equation XI. donne la démarche pour dimensionner le bassin de maturation.

(Eq XI.)

$$K_b = 2,6 \times (1,19)^{T-20} \quad V_{bm} = t_{rbm} \times Q \quad S_{bm} = \frac{V_{bm}}{h_{bm}}$$

$$L_{bm} = 2 \times l_{bm} \quad l_{bm} = \sqrt{\frac{S_{bm}}{2}}$$

$$t_{rbm} = \left[\left(\frac{N_{entrée}}{N_{sortie} \times (1 + K_b \times t_{rba}) \times (1 + K_b \times t_{rbf})} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times \frac{1}{K_b}$$

Avec :

- K_b : constante de vitesse du premier ordre (J^{-1})
- V_{bm} : volume du bassin de maturation (m^3)
- t_{rbm} : temps de rétention du nième bassin (jours)
- Q : débit journalier (m^3/j)
- S_{bm} : surface bassin maturation (m^2)
- h_{bm} : hauteur frisée à 1 m
- L_{bm} : hypothèse du rapport entre la longueur et la largeur l_{bm}
- l_{bm} : largeur (m)
- $N_{entrée}$: nombre moyenne de coliformes fécaux à l'entrée (UFC/100ml)
- N_{sortie} : nombre moyenne de coliformes fécaux à la sortie (UFC/100ml)

IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Etude diagnostique de la situation actuelle du système d'assainissement de la Cité Vie Nouvelle

IV.1.1. Etude diagnostique du réseau

L'étude diagnostique de la situation actuelle du système d'assainissement de la Cité Vie Nouvelle a permis de constater que, les regards sont remplis de sédiments ; des dépôts importants d'ordures ménagères dans les regards et ensablement des canalisations et l'eau y coule difficilement. Les canalisations traversent des espaces verts où se trouvent des arbres. L'inspection des regards placés en ces endroits a révélé que les racines des plantes ont envahi ces regards et bouchent une grande partie des conduites. Cette situation réduit également l'évacuation des eaux et la conséquence qui en découle est le remplissage des regards avec pour corollaire, un risque de pollution de l'environnement. La figure 3 montre l'intérieur de deux regards où l'on peut remarquer la présence des racines bouchant les conduites des canalisations.



Figure 3 : Racines de plantes bouchant les conduites, (Dadjo, avril 2017)

Il a été constaté que certains regards de collecte sont défectueux avec la présence de fuites. Aussi certaines dalles de couverture sont abimées à cause des travaux de vidange fréquents comme nous le montre la figure 4.



Figure 4 : Dalle et Regard endommagés (Dadjo, avril 2017)

Le réseau de collecte des eaux usées de la Cité Vie Nouvelle est de type séparatif. Il est destiné à l'évacuation des eaux usées domestiques (eaux vannes et eaux ménagères). Il s'étend sur une superficie de 12 ha. Ce réseau est composé de collecteurs en PVC de diamètres 100 mm, et de 112 regards qui sont construits en maçonnerie sans enduit intérieur illustré par la figure 5 ce qui favorise la dégradation des agglos et par conséquent, une accumulation des résidus de sable au fond des regards. Il s'étend sur un linéaire 1650ml. Le réseau existant comprend un collecteur principal et 12 axes de collectes primaires (A, A', B, C, D, E, F, G, H, I, J, K). La figure 6 montre l'extrait du réseau d'assainissement existant. Le tableau 9 donne les caractéristiques du réseau existant.



Figure 5: Canalisation dans les regards (Dadjo, avril 2017)

Tableau 9 : Caractéristiques de réseau existant

Paramètres	Quantité	Forme	Matériau
Collecteurs	1650 ml	Circulaire	PVC
Regards	112	Carrée	Maçonnerie sans enduit intérieur

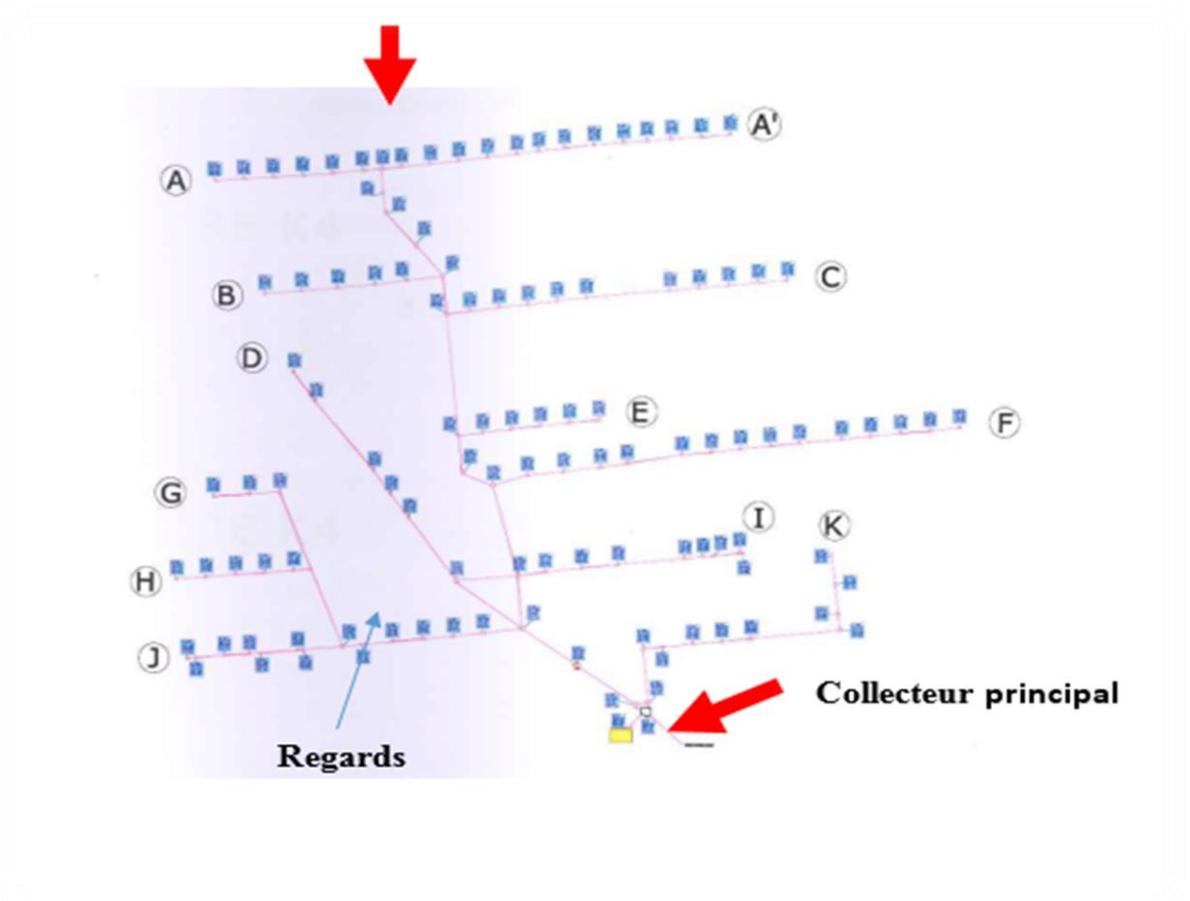


Figure 6: Extrait du réseau d'assainissement existant

Les pentes des canalisations existant varient de façon générale entre 0,5% et 1% ; le plan topographique est en annexe 1. Plusieurs auteurs préconisent une pente minimale de 0,5% suffisante dans le cas des réseaux décantés (Tilley, et al., 2008 ; Ily, et al., 2014 et Hamouni et al., 2015).

En ce qui concerne les diamètres, une des caractéristiques du réseau décanté est l'utilisation des conduites de faibles diamètres. En général, les réseaux décantés ont des diamètres compris entre 100 mm et 200 mm. A titre d'exemple, le réseau de collecte des eaux usées de la Cité Houeyiho de Cotonou (Bénin) est constitué de collecteurs de diamètre 100 mm pour l'évacuation d'environ 350 m³/j. Celui du Centre National Hospitalier Hubert Koutoukou Maga de Cotonou (Bénin) est constitué de collecteurs de diamètre 100 mm ; 150 mm et 200 mm pour l'évacuation d'environ 774 m³/j (Touré, 1998).

IV.1.2 Etude diagnostique de la STEP

Le traitement des effluents comprenait un poste de relèvement équipé d'une grille et de deux pompes de relèvement la figure 7 montre le poste de relèvement et son dégrillage à l'arrivée des effluents ; un bassin de boue activée ; une décantation par trémies avec extraction et recirculation des boues ; une évacuation des eaux traitées dans une zone marécageuse.



Figure 7 : Le poste de relèvement et son dégrillage à l'arrivée des effluents (Dadjo, avril 2017)

Les boues étaient séchées sur des lits de séchage avant d'être réutilisées comme engrais par les agriculteurs du voisinage. Aujourd'hui, seul le pompage en tête de la station est utilisé pour by-passer la STEP et rejeter les eaux usées directement sur la plage indiquée par la figure 8.



Figure 8 : Les anciens lits de séchage et les rejets des eaux non traitées sur la plage (Dadjo, avril 2017)

La STEP n'a plus de périmètre de protection ; la conduite d'extraction des boues traverse une route et les lits de séchage sont accessibles à la population ; l'accès au bassin se fait par une

échelle mobile voir figure 9; aucun chemin de circulation pour surveiller visuellement le bassin n'a été prévu. La conduite d'air est totalement corrodée illustrée par la figure 9.



Figure 9 : L'accès au bassin biologique à l'aide d'une échelle (Dadjo, avril 2017)



Figure 10 : La conduite d'aération corrodée et les trémies de décantation des boues (Dadjo, avril 2017)

IV.2. Evaluation des débits d'eaux usées

Le réseau d'assainissement collectif de type séparatif serait raccordé à 316 habitations présentes dans la Cité Vie Nouvelle. Il y a environ 4 habitants par résidence, la station de traitement des eaux usées est donc raccordée au maximum, à environ 1200 habitants actuellement. Selon l'INSAE la taille moyenne des ménages dans la ville de Cotonou est de 6,09. Nous allons prendre comme scénario où la taille du ménage dans la zone d'étude est

celle de Cotonou. De ce fait, pour l'horizon 2035, la population de la Cité Vie Nouvelle est de 1925 habitants.

Sur la base des hypothèses adoptées, une estimation des débits d'eaux usées pour l'horizon du projet a été établie. Les résultats de l'évaluation des débits des eaux usées sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Récapitulatif des débits

Paramètres	Valeurs
Consommation eau potable	75 l/j/hab
Taux de rejet	80%
Population retenue	1925 hab
Débit moyen eaux usées	115,5 m ³ /j
Débit moyen eaux usées	1,34 l/s
Débit ECP	0,56 l/s
Coefficient de pointe	3,66
Longueur totale réseau	1650,00 ml
Débit de projet	6,930 l/s
Débit spécifique	0,004200 l/s/ml

Au vu des faibles quantités des effluents liquides à évacuer, il apparait évident qu'un réseau de type conventionnel utilisant des conduites de grands diamètres et nécessitant des vitesses d'écoulement minimale assurant un auto-curage n'est pas envisageable.

Les collecteurs du réseau de la Cité Vie Nouvelle sont largement suffisants pour évacuer les 598,778 m³ d'eau usées journalier. De la vérification des pentes minimales, des diamètres et de la vitesse des conduites en annexe 2 la feuille de calcul, il ressort clairement que le dimensionnement du réseau permet toujours d'assurer une bonne évacuation des eaux usées.

L'option envisagée est donc la réhabilitation du système existant c'est-à-dire le mini réseau de type réseau décanté où les effluents subissent un traitement primaire dans des fosses septiques avant d'être rejetés dans le réseau d'évacuation. Toute fois pour prévenir les risques de bouchon, les diamètres des canalisations seront relevés de 100 à 200 mm comme ce fût le cas aussi à Salvador de Bahia (Brésil), où le diamètre des canalisations a été porté de 100 à 150 mm dans le but de réduire le risque de bouchons dus aux déchets solides et non pas pour des raisons de capacité hydraulique (Ily, et al., 2014).

IV.3. Propositions de solution pour le réseau de collecte des eaux usées de la Cité Vie Nouvelle

Le diagnostic du réseau a révélé des problèmes mécaniques marqués par la détérioration des regards de visites et des conduites d'eaux usées mais aussi des problèmes hydrauliques à travers des bouchons fréquents. Plusieurs actions peuvent être entreprises pour résoudre ces problèmes.

- ✓ la réhabilitation du réseau

La réhabilitation recouvre toutes mesures entreprises pour restaurer ou améliorer les performances d'un réseau d'évacuation et d'assainissement existant. Elle recouvre trois familles de techniques : la réparation, la rénovation et le remplacement.

Comme le réseau est en place et que les différents raccordements sont réalisés, il sera difficile techniquement et coûteux de donner plus de profondeurs ou de modifier la pente globale. Pour ces raisons, les travaux de réhabilitation du réseau consisteront à remplacer 1650ml de canalisations existantes conforme à l'identique en conservant tous les raccordements, l'enduit intérieur avec ajout de produit d'étanchéité des 112 regards et la confection des dalles de couvertures défectueuses des regards. Le réseau existant comprend un collecteur principal et 12 axes de collectes primaires voir les profils des collecteurs aux annexes 3, 4, 5, 6, 7 et 8.

- ✓ l'entretien du réseau

L'entretien du réseau est d'une importance capitale. Un curage complet du réseau est nécessaire. Pour éviter des problèmes futurs, le réseau doit être curé une fois par an (Ily, et al., 2014). Il peut se faire par système à chasse d'eau dans les tuyaux. Cette technique consiste à créer dans le tuyau un flux d'eau important et une variation instantanée de la vitesse d'eau qui favorise l'auto-curage. Le débouchage des canalisations peut se faire avec un câble électrique rigide. Le câble sera introduit dans la conduite au niveau du regard de départ et servira à repousser les obstacles éventuels dans le regard d'arrivée.

IV.4. Dimensionnement station de relèvement

Cette partie a pour objectif de présenter et discuter, les différents résultats obtenus durant le dimensionnement de la station de relèvement des eaux usées de la Cité Vie Nouvelle.

Les différents résultats obtenus pour cette étude seront présentés comme suit :

- Dégrilleur

Le dégrillage fin est destiné à protéger l'ensemble des installations de l'accumulation de fibre, filasses, flottants de faible dimensions, mais aussi des graisses et des sables. Sur la base des hypothèses fournies dans la partie méthodologie, les différents résultats du dimensionnement du dégrilleur sont donnés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Synthèse des caractéristiques géométrique du dégrilleur

Section mouillée	Section utile (m ²)	Longueur	Hauteur	Ecartement des barreaux	Epaisseur des barreaux
0,167 m ²	0,012 m ²	96 cm	17cm	3mm	10mm

- Bâche de pompage

Les résultats du dimensionnement de la bâche sur la base des hypothèses formulées dans la partie méthodologie sont résumés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Caractéristiques de la bâche de pompage

Débit	Nombre de démarrages horaires	Nombre de pompes installées	Nombre de pompes en fonctionnement	Volume utile	Hauteur utile	Diamètre
24,949 m ³ /h	12	2	1	0,520	1,5 m	0,66 m

- Pompes

Le choix des pompes s'est fait à l'aide du logiciel WILO. Les pompes à mettre en place dans les différentes stations sont des pompes WILO de type FA 10.41-153E, les caractéristiques techniques sont visibles en annexe 9 ainsi que les courbes caractéristiques. Les différentes caractéristiques des pompes sont consignées dans le tableau 13.

Tableau 13 : Caractéristiques des pompes

Données d'entrée dans le logiciel				
Débit		HMT	Type de roue	
24,95 m ³ /h		2,95 m	Roue monocanal	
Caractéristiques hydraulique pompe choisie				
Débit	HMT	Rendement hydraulique	Puissance absorbée	Puissance nominale
32,25 m ³ /h	4,93 m	38,94%	1,233 kW	3,50 kW

- **Groupes électrogènes.**

Le résultat du calcul de la puissance du groupe électrogène est égal à 5,0825 KVA et on a retenu $P_{groupe} = 10\text{KVA}$.

IV.5. Procédé de traitement des effluents à la station d'épuration (STEP)

Le diagnostic du procédé de traitement a montré que la station actuelle, est sous-dimensionnée par rapport au volume d'eaux usées produites et aussi par rapport à la charge polluante. Il faut donc envisager soit l'agrandissement de la STEP soit procéder à son remplacement par un autre système de traitement. Il faut cependant noter qu'une des difficultés majeures qu'a connue le fonctionnement de la STEP a non seulement été les pannes fréquentes et les arrêts prolongés des équipements mais aussi une insuffisance d'entretien des ouvrages. Les équipements utilisent de l'énergie électrique pour leur fonctionnement et la ville de Cotonou comme dans les autres villes du pays connaît d'énormes déficits énergétiques et les coupures fréquentes peuvent les endommager facilement.

Les systèmes extensifs et plus spécifiquement le lagunage à microphytes sont les mieux adaptés dans le contexte des pays en développement comme l'ont démontré plusieurs auteurs (Koné Diallo, 2011 et Wethé et al., 2003). Le lagunage naturel est un procédé qui ne nécessite pas de consommation énergétique. Les coûts d'investissement et d'exploitation sont très réduits comparativement à ceux du système à boues activées. La difficulté majeure réside dans le fait que le lagunage à microphytes occupe une grande superficie. Dans le cas de la Cité Vie Nouvelle, ce problème peut trouver une solution car il existe toujours suffisamment d'espace dans la zone de la STEP actuelle pouvant abriter des bassins de stabilisation. Le traitement primaire se réalise déjà au niveau des fosses septiques dans les habitations avant d'entrer dans

le réseau de collecte. Les fosses permettent d'une part, la rétention des éléments grossiers qui pourraient éventuellement être rejetés dans les sanitaires, le dépôt des matières organiques décantables ainsi que leur fermentation anaérobie. Compte tenu de la charge des effluents à la sortie des fosses septiques associée au caractère biodégradable des polluants ($DCO/DBO_5 = 2,26$), il serait nécessaire de construire un bassin anaérobie, un bassin facultatif et un bassin de maturation. La figure 11 présente le schéma synoptique du système envisagé.

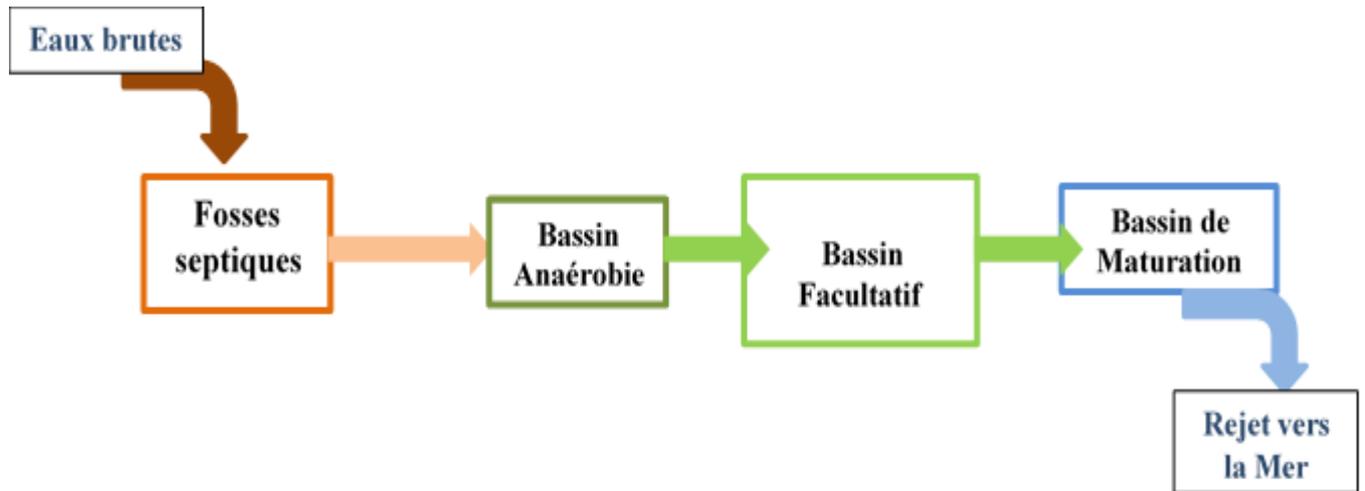


Figure 11 : Schéma synoptique du système

- Dimensionnement des lagunes

Les hypothèses et les données de base suivantes ont été considérées :

- le débit journalier est $115,5 \text{ m}^3/\text{j}$;
- la température minimale du mois le plus froid est de 23°C ; selon les données de (Koné, 2002)
- les profondeurs du bassin anaérobie, facultatif et des bassins de maturation seront respectivement de 3m ; $1,5 \text{ m}$ et 1 m ;
- l'évaporation a été supposée nulle au passage des effluents dans les lagunes ;
- la concentration en DBO_5 est prise égale à 467 mg/l ;
- la revanche est égale à $0,5\text{m}$;
- la charge en coliformes fécaux est de $10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$ tandis que la norme de rejet dans le milieu est de $10^3 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$.

Tableau 14 : Synthèse du dimensionnement des bassins de stabilisation

Bassin anaérobie	
Charge totale en DBO ₅ (kg/j)	53,94
Temps de rétention (jours)	1,42
Bassin facultatif	
Charge totale en DBO ₅ (kg/j)	18,34
Temps de rétention (jours)	7,70
Bassin de maturation	
Constante de vitesse du premier ordre pour l'élimination des bactéries en J ⁻¹	4,38
Temps de rétention Tr (jours)	8,9
Nombre de bassin de maturation	1

Le détail des calculs du dimensionnement des bassins de stabilisation sont en annexe 10.

Tableau 15 : Synthèse des caractéristiques géométriques des bassins de stabilisation

Type de bassin	Volume (m ³)	Surface (m ²)	Hauteur (m)	Largeur (m)	Longueur (m)
Bassin anaérobie	163	54	3	5,5	11
Bassin facultatif	884	589	1,5	17,5	35
Bassin de maturation	1032	1032	1	23	46

IV.6. Estimation des coûts pour la mise en œuvre des actions proposées

Pour permettre une bonne gestion des eaux usées de la Cité Vie Nouvelle qui prendra en compte la protection de la santé publique et de l'environnement il est impératif que les actions de réhabilitation du réseau et les travaux de construction d'une station de lagunage à microphyte soient réalisées. L'estimation des coûts de réalisation de ces travaux est résumée dans le tableau 16. Les détails sont en annexe 11.

Tableau 16 : Evaluation des coûts des travaux de réhabilitation du réseau et de construction d'une nouvelle STEP

N°	Désignation	Montant	%
Réhabilitation du réseau			
I	Terrassements	8 400 000	34
II	Fourniture de canalisations et accessoire de raccordement	15 205 000	61
III	Divers et imprévus	1 180 250	5
Total réseau		24 785 250	100
Bassins de stabilisation			
IV	Installation de chantier	1 220 000	5
V	Terrassement	8 463 570	34

VI	Eléments en béton arme et en maçonnerie	13 800 000	56
VII	Divers et imprévus	1 174 179	5
Total bassins de stabilisation		24 657 749	100
VIII	Dégrilleur		
Total dégrilleur		70 100	100
Total Général		49 513 099	

IV.7. Evaluation environnementale

Les différents résultats obtenus durant l'évaluation environnementale du système d'assainissement des eaux usées de la Cité Vie Nouvelle Cotonou.

IV.7.1. Impacts environnementaux

Les impacts positifs du projet d'assainissement de la Cité Vie Nouvelle peuvent être résumés comme suit :

- La réduction de la pollution des eaux souterraines et de la mer du fait que les eaux usées ne rejoignent le milieu naturel qu'après un traitement adéquat ;
- La diminution des maladies hydriques de leurs effets néfastes sur l'économie et sur la vie des populations ;
- La création d'emplois et la stimulation des activités économiques pendant les travaux de réalisation du projet.

Les impacts négatifs suivants peuvent être observés :

- Entraves à la circulation et aux activités urbaines ;
- Perturbations de la circulation des véhicules et des personnes, à cause de la dégradation potentielle de la voirie avec les dommages inévitables qui seront causés sur les routes bitumées ;
- Perturbation, voire interruption plus ou moins longue du service public de fourniture d'eau, d'électricité et de téléphone, à cause des dégradations que pourraient subir ces différents réseaux ;
- Dégradation de la qualité de vie des populations liée aux restrictions éventuelles sur leur mobilité, à la pollution de l'air par les poussières et à la pollution sonore due au bruit des engins.
- Risques d'accidents pour les véhicules et les populations. Ces risques sont liés d'une part, à l'existence de tranchées ouvertes, même si c'est de courte durée, et d'autre part, à la présence à proximité des habitations d'engins lourds ;

Le projet aura un faible impact sur la végétation, car il n'y a pas de forêts ou d'espèces végétales sensibles ou protégées dans la zone du projet.

De plus, le fonctionnement des pompes peut occasionner des nuisances sonores pour les riverains, d'autant que les coupures fréquentes de courant électrique appellent un fonctionnement relativement fréquent des groupes électrogènes.

IV.7.2. Mesures de prévention des impacts négatifs

Les mesures d'atténuation à prendre pour les différents impacts potentiels pendant les travaux sont résumés dans le tableau 17.

Tableau 17 : Mesure d'atténuation des impacts négatifs pendant les travaux

Impact	Mesures d'atténuation
Gène pour les habitants	Réserver des emplois au bénéfice des populations.
Modifications paysagères	Circonscrire les chantiers par des barrières hautes.
Pollution sonore due aux engins de chantier	Maintenir les engins en bon état de fonctionnement limité les activités pendant la journée.
Pollution de l'air	Gaz Maintenir les véhicules et engins en bon état de fonctionnement.
	Poussière Arrosage fréquent.
Impact des eaux usées	Disposer de toilettes dans les chantiers.
Impact des déchets solides	Disposer d'un service d'évacuation des déchets solides.
Impact des rebuts de chantier	Organiser la mise en décharge des rebuts de chantier.
Perturbation/interruption des services d'eau, d'électricité, de téléphone	Recenser tous les réseaux concernés Effectuer les sondages nécessaires.
	Prendre les dispositions nécessaires pour éviter la dégradation de ces réseaux.
Impact sur la sécurité publique	Souscrire à une assurance pour le chantier. Respecter les règles relatives à la limitation de l'accès du public au chantier.

Entrave à la circulation des riverains	Aménager des passages pour piétons à l'intention des riverains. Réfection des chaussées démolies dans les plus brefs délais, selon leur état qualitatif initial. Utilisation des déblais comme remblais dans la limite du possible et évacuation rapide des déblais excédentaires hors zones d'habitation.
--	---

Les mesures d'atténuation en phase d'exploitation sont les suivants:

- **Mesures de protection de la qualité de l'air**

Les odeurs, inacceptables, sont contrôlées dans le cadre du projet. Au niveau de la station d'épuration des eaux usées de la Cité Vie Nouvelle, les gaz malodorants émanant des différents ouvrages devront être évacués et traités autant que possible.

- **Mesures de compensation de la pollution sonore**

Les équipements électromécaniques devront être capotés et installés dans un bâtiment insonorisé.

- **Mesures relatives aux déchets solides non valorisés**

Tous les déchets solides non valorisables, retenus au niveau des dégrilleurs, seront évacués vers une décharge contrôlée.

- **Autres mesures à prendre**

Malgré toutes les précautions, certains paramètres ne peuvent pas être totalement maîtrisés au moment de l'étude. C'est la raison pour laquelle, la mise en œuvre d'un plan de gestion environnemental est fondamentale pour assurer le contrôle et le suivi de la fiabilité de fonctionnement des infrastructures projetées.

CONCLUSION

Ce mémoire a eu pour but de réhabiliter le système de collecte et de traitement d'eaux usées de la Cité Vie Nouvelle à Cotonou (au Bénin), pour l'horizon 2035.

La présente étude a fait le diagnostic de la situation actuelle du système d'assainissement de la Cité Vie Nouvelle. Il fut constaté que le réseau présente un état très dégradé, très vétuste. Les regards sont en maçonnerie sans enduit intérieur ce qui favorise l'apport de sable au fond des regards contribuant ainsi à l'envasement des canalisations, ils sont remplis d'ordures ménagères et l'eau y coule difficilement. De plus, les eaux de ruissellement chargées pénètrent dans les regards vétustes. Les effluents se rejettent directement sur la plage, ce qui induit de forts risques sanitaires et des impacts négatifs sur l'environnement. Au niveau de la STEP, les équipements sont très dégradés voire inexistantes. La station de traitement des eaux usées est actuellement sous-dimensionnée par rapport aux flux d'eau qui y pénètrent et par rapport à la charge polluante.

Au regard de toutes ces difficultés, des solutions ont été proposées et leur mise en œuvre contribuera à résoudre les problèmes que rencontrent le système des eaux usées. Le traitement par lagunages à microphytes permet d'avoir un bon résultat en termes de performance épuratoire, et des perspectives de valorisation des eaux traitées peuvent être envisagées.

RECOMMANDATIONS

Les recommandations suivantes sont avancées :

- Concevoir un système d'information informatique de l'ensemble du réseau d'assainissement des eaux usées ;
- Faire prendre conscience à la population sur les risques que présente certains comportements malsains sur les réseaux (ordures dans les canaux, ensablement etc.) ;
- Faire des sensibilisations pour inciter les populations à se raccorder aux réseaux ;
- Faire une étude portant notamment sur l'évaluation des risques sanitaires et écotoxicologiques liés aux rejets des eaux usées de la Cité Vie Nouvelle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akindes Sylvain, Gnonlonfoun Joseph (1999). Loi-cadre sur l'environnement en République du Bénin.
- Akomagni Lazare A., GUIDIBI, M. Emmanuel (2006). Monographie de la commune de Cotonou (République du Bénin).
- Boutin, C., Liénard, A., Billote, N., Naberac, J.P. (2003). Association de lagunes naturelles et d'infiltration-percolation: Résultats des pilotes et perspectives.
- Boutin, C., Hédut, A., Helmer, J.M. (2009). "Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT)." (ONEMA et Cemagref).
- CHEVALIER, Gary (2015). Conception d'une station de traitement des eaux usées dans une commune rurale.
- Christophe, L.J., Désille, D. (2008). Relever le défi de l'assainissement en Afrique. *World Water Congress Programme Solidarité Eau (pS-Eau)* 13.
- ESEM, SEURECA (2014). Enquête Socioéconomique auprès des ménages 1200 ménages dans la conurbation de Cotonou et la ville de Porto-Novo. (SEURECA ; INSAE.).
- Hamouni, B., Muench, E., Von, Wauthélet, M., Khiyati, M.E., Soudi, B., Werner (2015). Réseaux D'égout Non Conventionnels, Programme d'Appui À La Gestion Intégrée Des Ressources En Eau Du Maroc. (Maroc).
- Ily, J., Christophe, L.J., Gabert, J., Désille, D. (2014). , "pS- Eau, Guide Pratique N° 7: Services D'assainissement Par Mini Égout. Dans Quel Contexte Choisir Cette Option? Comment La Mettre En Pratique?" (pS- Eau).
- Koné, D. (2002). Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'Ouest et du Centre: Etat des des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Koné Diallo, M. (2011). "Infiltration - percolation sur sable et sur fibre de coco, filtres plantés et épuration d'eaux usées domestiques à dominance agroalimentaire sous climat tropical sec: Cas des eaux résiduaires urbaines de Ouagadougou, Burkina Faso. Université Claude Berbard Lyon 1 Ecole doctorale E1M1 et Université de Ouagadougou, Ecole doctorale sciences et techniques.
- Maïga, H.A., Wéthé, J., Seidl, M., Mouchel, J., Dembélé, A. (2002). Valorisation des sous-produits de l'épuration par lagunage en Afrique de l'Ouest et du Centre : Analyse comparative des pratiques dans six pays au Sud du Sahara. 10.

- MMEE (2015). Stratégie Nationale D'assainissement Des Eaux Usées En Milieu Urbain.” République du Bénin (République du Bénin.).
- OMS (2016). Assainissement Aide-mémoire).
- Perera, P., BaudoT Bernard (2001). Procédé Extensif des eaux usées (Office des publications officielles des Communautés européennes).
- Sasse, L. (1998). “Systèmes Décentralisés de Traitement des Eaux Usées dans les Pays enVoie de Développement.”
- Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., Schertenleib, R. (2008). “Compendium of Sanitation Systeme and Technology. *Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology*, 157.
- Touré, O. (1998). “Gestion des déchets liquides au Centre National Hospitalier et Universitaire” de Cotonou. 60.
- Wethé, J. (2002). Evacuation et traitement des Eaux usées. Ouagadougou. *Notes de Cours* 81.
- Wethé, J., Radoux, M., Tanawa., E. (2003). “Assainissement Des Eaux et Risques Socio-Sanitaires et Environnementaux En Zones D’habitat Planifié de Yaoundé (Cameroun).” *La Revue En Sciences de L’environnement* 12.
- World Bank (2017). Population Growth (annual %) Data. *The World Bank Data* 1.

ANNEXES

Annexe 1 : Fond topographique de la Cité Vie Nouvelle

Annexe 2 : Dimensionnement du réseau d'évacuation des eaux usées

Annexe 3 : Profil principal

Annexe 4 : Profils A, A' et B

Annexe 5 : Profils C et D

Annexe 6 : Profils F, G et E

Annexe 7 : Profils I et J

Annexe 8 : Profil K

Annexe 9 : Caractéristiques techniques de la pompe

Annexe 10 : Résultats du dimensionnement des bassins de stabilisation

Annexe 11 : Devis quantitatif et estimatif des travaux de réhabilitation du réseau et de construction d'une STEP