

Mise en place d'un système intégré de gestion des boues de vidange pour la commune urbaine de Tamatave

AVANT-PROJET SOMMAIRE DE LA STATION DE TRAITEMENT DES BOUES DE VIDANGE



Table des matières

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUCTION | 5 |
| 2 | RAPPEL DE LA PROBLEMATIQUE GENERALE ET DU PROJET | 6 |
| 2.1 | Situation générale | 6 |
| 2.2 | Problématique de l'assainissement à Tamatave | 6 |
| 2.3 | Projet | 7 |
| 3 | BESOINS ET CONTRAINTES POUR LA STATION DE TRAITEMENT | 8 |
| 3.1 | Besoins | 8 |
| 3.1.1 | Améliorer les conditions sanitaires et l'environnement dans la ville | 8 |
| 3.1.2 | Permettre l'équilibre financier de l'exploitation | 8 |
| 3.1.3 | Faciliter la valorisation finale des sous-produits | 8 |
| 3.1.4 | Permettre d'enrichir l'expérience nationale malgache | 9 |
| 3.2 | Contraintes | 9 |
| 3.2.1 | Localisation | 9 |
| 3.2.2 | Voisinage | 10 |
| 3.2.3 | Voirie et réseaux existants | 11 |
| 3.2.4 | Topographie | 11 |
| 3.2.5 | Géotechnique | 13 |
| 3.2.6 | Hydrographie | 13 |
| 3.2.7 | Climat | 14 |
| 3.2.8 | Aspects règlementaires | 15 |
| 4 | INFRASTRUCTURE PROJETEE (STATION DE TRAITEMENT) | 18 |
| 4.1 | 1^{er} étage : traitement des boues | 18 |
| 4.1.1 | Principe | 18 |
| 4.1.2 | Fonctionnement | 18 |
| 4.2 | 2^o étage : traitement supplémentaire du percolat | 19 |
| 4.2.1 | Bassin de lagunage aérobie | 19 |
| 4.2.2 | Filtration/infiltration finale | 19 |
| 4.3 | Charges à traiter | 20 |
| 4.4 | Niveau de traitement escompté | 20 |
| 4.4.1 | 1 ^{er} étage de traitement des boues | 20 |
| 4.4.2 | 2 ^o étage : traitement supplémentaire du percolat | 21 |
| 4.5 | Conception | 21 |
| 4.5.1 | Traitement des boues | 21 |
| 4.5.2 | Dimensionnement 2 ^o étage | 22 |
| 4.5.3 | Lagunage | 22 |
| 4.5.4 | Filtration/infiltration finale | 23 |
| 4.5.5 | Description des ouvrages | 23 |
| 4.5.6 | Dispositions techniques complémentaires | 24 |
| 5 | PIECES DESSINEES | 26 |
| 5.1 | Vue générale | 26 |
| 5.2 | Vue en plan des lits de séchage | 27 |
| 5.3 | Vue de profil d'un lit de séchage planté | 28 |
| 6 | CALENDRIER PREVISIONNEL | 29 |
| 7 | COUTS ESTIMATIFS | 29 |
| 7.1 | Cout d'investissement | 29 |
| 7.1.1 | Station complète | 29 |
| 7.1.2 | 1 ^{ère} tranche | 30 |
| 7.2 | Coût de fonctionnement | 31 |
| 8 | REFERENCES | 32 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| TABLEAU 1 : REPARTITION QUANTITATIVE DES MATIERES FECALES A TAMATAVE | 7 |
| TABLEAU 2 : CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES DES LITS PLANTES | 22 |
| TABLEAU 3 : HAUTEUR DE REMPLISSAGE DES LITS (PAR PAIRE) DANS LE CYCLE D'EXTRACTION DES BIO-SOLIDES | 22 |
| TABLEAU 4 : DIMENSIONS DES OUVRAGES | 23 |
| TABLEAU 5 : CALENDRIER PREVISIONNEL | 29 |
| TABLEAU 6 : COUT PREVISIONNEL INVESTISSEMENT STATION COMPLETE | 29 |
| TABLEAU 7 : COUT PREVISIONNEL INVESTISSEMENT PREMIERE TRANCHE | 30 |
| TABLEAU 8 : COUT PREVISIONNEL ANNUEL D'EXPLOITATION | 31 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| FIGURE 1 : LOCALISATION DE TAMATAVE | 6 |
| FIGURE 2 : LOCALISATION DU SITE DE TRAITEMENT (IMAGE GOOGLE) | 9 |
| FIGURE 3 : VUE AERIENNE DU SITE DE TRAITEMENT (IMAGE GOOGLE) | 10 |
| FIGURE 4 : POSITION PAR RAPPORT AU VOISINAGE (IMAGE GOOGLE)..... | 11 |
| FIGURE 5 : ELEMENTS DE TOPOGRAPHIE DU SITE (IMAGE GOOGLE)..... | 12 |
| FIGURE 6 : VUE DU SOL EN PLACE..... | 13 |
| FIGURE 7. SCHEMA DE PRINCIPE D'UN LIT PLANTE (SELON)..... | 18 |
| FIGURE 8. LITS DE SECHAGE PLANTES DE LA STATION D'ANDANCETTE, FRANCE | 18 |
| FIGURE 9. PHOTO LAGUNAGE FRANCE (PHOTO CEMAGREF)..... | 19 |
| FIGURE 10. SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UN BASSIN DE LAGUNAGE AEROBIE (SELON ^v)..... | 19 |
| FIGURE 11 : BIO-SOLIDES HUMIFIEES (LITS DE SECHAGE PLANTES DE ROSEAUX D'ANDANCETTE, FRANCE)..... | 20 |
| FIGURE 12 : SYSTEME RACINAIRE DE L'ESPECE IDENTIFIEE A TAMATAVE SIMILAIRE A <i>ECHINOCHLOA PYRAMIDALIS</i> | 24 |
| FIGURE 13 : INFLORESCENCE DE L'ESPECE LOCALE IDENTIFIEE | 24 |
| FIGURE 14 : EXEMPLE DE BAC DEGRILLEUR, STBV COTONOU, BENIN..... | 24 |
| FIGURE 15 : VUE EN PERSPECTIVE DE LA STATION ET DES ACCES | 26 |
| FIGURE 17 : VUE EN PLAN DE LA STATION..... | 27 |
| FIGURE 18 : VUE EN COUPE D'UN LIT DE SECHAGE | 28 |

Abréviations

| | |
|------|--|
| APS | Avant-projet sommaire |
| BV | Boues de vidange |
| MGA | Malagasy Ariary |
| MS | Matières sèches |
| MV | Matières volatiles |
| PUDi | Plan d'urbanisme directeur |
| PUDé | Plan d'urbanisme directeur détaillé |
| STBV | Station de traitement des boues de vidange |

Photographies et figures

MM Gras & Dodane (sauf indication contraire en légende)

Les photographies et figures du présent rapport ne peuvent être réutilisées sans autorisation des auteurs en dehors du cadre du projet Système intégré de gestion des boues de vidange de Tamatave.

1 Introduction

La Commune Urbaine de Tamatave s'est engagée dans la mise en place d'un système intégré de gestion des boues de vidange. Elle est appuyée techniquement par les ONG PROTOS et PRACTICA et financièrement par l'Agence de l'Eau Adour Garonne et la Communauté de Commune « Terrasses et Vallées de l'Aveyron ».

La communauté urbaine de Tamatave a bénéficiée en 2012 d'une étude de faisabilité sur la gestion des boues de vidange dans la villeⁱ, qui démontre la nécessité et la faisabilité d'un assainissement par gestion des boues de vidange via la mise en place de services adaptés et à moindre coût pour la collecte, le transport et le traitement des matières de vidange issues des latrines traditionnelles et fosses septiques de la ville. Le procédé recommandé pour le traitement des boues issues des fosses maçonnées est le lit de séchage planté. Une étude spécifique sur le séchage des boues a été conduite début 2013ⁱⁱ pour confirmer le procédé de traitement ad-hoc et assier ses bases de dimensionnement.

Le présent Avant-projet sommaire (APS) porte sur la station de traitement des boues de vidange (STBV) originaires des dispositifs individuels maçonnés (fosses septiques et fosses S^t Gabriel) qui parviendront à la station par citernes.

2 Rappel de la problématique générale et du projet

2.1 Situation générale

Située à 350 kilomètres au Nord-Est d'Antananarivo, la capitale, Tamatave est une ville côtière au climat tropical humide bordée à l'Est par l'océan Indien et à l'Ouest par une bande collinaire. La communauté urbaine s'étend sur 2.800 ha pour une population de 263.000 habitants. Economiquement dynamique, elle dispose d'un aéroport international et du plus important port commercial de Madagascar. Sa croissance démographique est estimée à 2,7%.

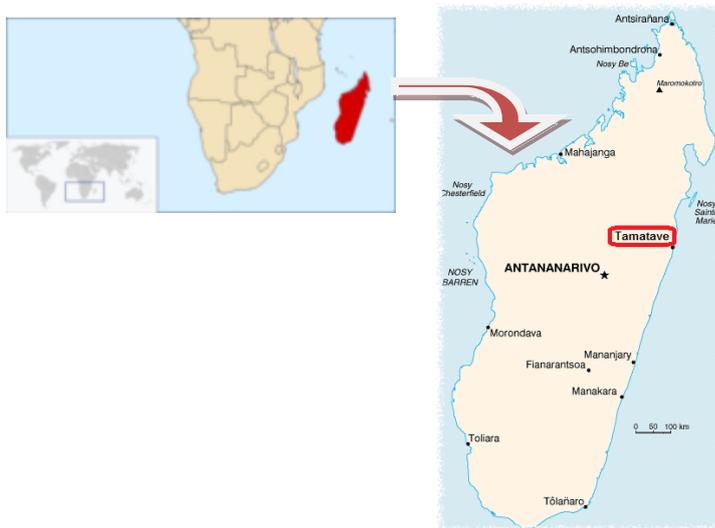


Figure 1 : localisation de Tamatave

2.2 Problématique de l'assainissement à Tamatave

Tamatave est une ville de bord de mer, au niveau topographique bas, construite sur un sol très majoritairement sableux, avec une nappe phréatique haute. Les latrines sont très faciles à creuser (sable) mais peu profondes du fait de la nappe affleurant. On trouve un nombre élevé de latrines très peu profondes vidangées fréquemment (plusieurs fois par an) et de latrines traditionnelles non maçonnées, principalement dans les quartiers populaires. Ces latrines sont actuellement vidangées par des opérateurs informels et les matières fécales extraites sont enfouies au sein des quartiers.

La population utilise de manière significative l'eau de nappe pour son usage quotidien, à travers notamment les pompes « tany », utilisées par plus de 60% des ménages de la ville (selon l'Institut National de la Statistique). La contamination fécale directe de l'eau de consommation est donc probablement très importante.

De manière complémentaire à l'équipement des ménages en fosses maçonnées, le développement de la gestion des boues de vidange dans cette ville présente un enjeu sanitaire majeur au regard de la fréquence d'évacuation de boues fraîches des latrines à faible volume, leur dépôt au sein des quartiers, et les pratiques répandues d'usage de l'eau de nappe.

Le tableau suivant fournit un aperçu des quantités de matières fécales produites actuellement (selon l'étude 2012).

| Dispositif | Type | Nb | V | | Durée entre vidange | Volume annuel vidangeable | Volume annuel vidangé |
|--------------|----------------------------------|--------------|----------------|------|---------------------|---------------------------|-----------------------|
| | | | m ³ | an | | | |
| | | | | | | | total |
| Non maçonnée | petit volume (sur fûts) | 4449 | 0,2 | 0,29 | | 3068 | 2890 |
| | moyen volume (coffrage pneu ...) | 5297 | 0,5 | 0,57 | | 4646 | 3011 |
| Maçonnée | Latrine à siphon | 3987 | 1 | 1,66 | | 2402 | 2354 |
| | Fosse septique | 8190 | 2 | 5,25 | | 3120 | 3120 |
| | Fosse septique collective | 700 | 8 | 5,82 | | 962 | 963 |
| TOTAL | | 22623 | | | | 14 199 | 12338 |

Tableau 1 : répartition quantitative des matières fécales à Tamatave

2.3 Projet

Le projet consiste à structurer la collecte des boues, leur évacuation en dehors des quartiers et leur traitement. Il s'agit donc d'apporter une amélioration des pratiques actuelles de vidange en les rendant plus hygiéniques et sous contrôle de la puissance publique, tout en maintenant leur coût à un niveau accessible par la population.

On distingue deux types de boues :

- Celles extraites des dispositifs non maçonnés (latrines de faible volume), très pâteuses et contenant du sable sont destinées à être évacuées à l'aide de fûts jusqu'à une plate-forme mobile centralisatrice d'où elles sont tractées par un véhicule vers un site de traitement. Compte tenu de leur caractéristique pâteuse, le traitement prévu est un enfouissement contrôlé avec valorisation végétale
- Celles extraites des dispositifs maçonnés (fosses septiques et fosses St Gabriel) sont très concentrées en matières sèches mais restent à l'état liquide. Elles sont destinées à être collectées par pompage puis transportées dans des cuves (camion et camionnette de vidange) jusqu'à la station de traitement.

Le traitement de ces boues là est prévu par la technologie du lit de séchage planté de macrophytes. Cette technologie est réputée la plus adaptée à la situation en raison du climat tropical humide de la région et de son coût de revient bas et accessible (selon l'étude de faisabilité 2012 et l'étude 2013 spécifique au séchage). Elle garde néanmoins une composante pilote en raison du climat local et des caractéristiques des matières fécales à traiter.

3 Besoins et contraintes pour la station de traitement

3.1 Besoins

Les objectifs du traitement sont les suivants :

3.1.1 Améliorer les conditions sanitaires et l'environnement dans la ville

Les matières fécales vidangées dans les fosses contiennent des pathogènes bactériens et parasitaires responsables de nombreuses maladies graves, parfois épidémiques et parfois mortellesⁱⁱⁱ lorsqu'elles entrent en contact avec la population. Le site de traitement se doit d'apporter :

- une diminution du risque sanitaire engendré par le déversement non contrôlé des matières de vidange dans les quartiers urbains populaires de la ville
- un abattement des pathogènes contenus dans les matières fécales

Au plan environnemental, le traitement se doit de réduire ou d'annuler les nuisances liées à son fonctionnement, en particulier au regard de :

- dégagement de gaz à effet de serre
- impact sur les eaux souterraines et de surface
- impact sur le sol
- niveau sonore

3.1.2 Permettre l'équilibre financier de l'exploitation

Un enjeu clé du fonctionnement de la STBV est l'équilibre financier de son exploitation. Il s'agit pour cela prioritairement de solidifier et réduire les volumes de boues pour les rendre les sous produits transportables à moindre coût.

Les choix de conception visent aussi à limiter les coûts d'exploitation au minimum tout en assurant la fiabilité du fonctionnement. Sur la base de retours d'expérience du traitement des boues à Dakar, la conception générale de la station est pensée dans le but de limiter les causes de dysfonctionnement du traitement et les coûts de maintenance directs. Cela se traduit par :

- L'absence d'organes électromécaniques (de type pompes, aérateur ...) qui nécessitent une alimentation électrique stable et un entretien régulier
- Une réduction au minimum de l'entretien quotidien (mais qui reste nécessaire)
- Un accès facilité pour le dépotage des boues dans procédé et pour les opérations d'entretien (notamment l'extraction finale des boues traitées)

Enfin, l'emplacement de la station est choisi afin d'optimiser les coûts de transport des boues de vidange (distance raisonnable, route de qualité et fluide), afin de limiter l'impact des coûts de transport sur les ménages de Tamatave.

3.1.3 Faciliter la valorisation finale des sous-produits

Le traitement des boues de vidange entraîne la production d'une matière solide organique. On note également la production d'un percolat liquide de faible volume. Ces sous-produits du traitement des boues de vidange peuvent être réutilisés en agriculture comme fertilisants naturels^{iv} à condition d'être suffisamment désinfectés. Les éléments nutritifs azotés, phosphorés et la matière organique sont alors valorisés. La station de traitement proposée ici cherche à faciliter la réutilisation agricole, en produisant des matières solides organiques acceptables sur le plan des germes pathogènes. En l'absence de valeur guide dans la

règlementation nationale sur le sujet¹, la valeur recommandée par l'OMS concernant la réutilisation des bio-solides comme fertilisant agricole est considérée comme référence. Cette recommandation fixe à 1 œuf d'helminthe/g de matière sèche le seuil de contamination parasitaire des boues séchées pour l'utilisation en agriculture maraîchèreⁱⁱⁱ.

3.1.4 Permettre d'enrichir l'expérience nationale malgache

Madagascar est l'un des pays les plus en retard d'Afrique Subsaharienne au niveau de l'assainissement des effluents liquides. A ce jour, aucune ville malgache ne dispose de station d'épuration pour les eaux usées ou de station de traitement des boues de vidange.

Le recours quasi-exclusif à l'assainissement autonome à travers le pays conduit à une situation où le traitement des boues de vidange relève d'une priorité sanitaire bien identifiée par le Ministère de l'Eau et le Ministère de l'Environnement.

Face à cette problématique, la mise en œuvre de projets pilotes permettant de démontrer la fonctionnalité et l'efficacité des procédés de traitement, en impliquant les autorités et opérateurs privés locaux, permettra d'amorcer l'équipement du pays et la capitalisation d'expériences, pour fournir in-fine des solutions durables pour l'assainissement urbain au niveau national.

3.2 Contraintes

3.2.1 Localisation

Le site envisagé pour la réalisation de la STBV est celui de la décharge municipale, d'environ 4.5 ha, situé aux coordonnées (18°12'14.21" S ; 49°20'25.10" E).

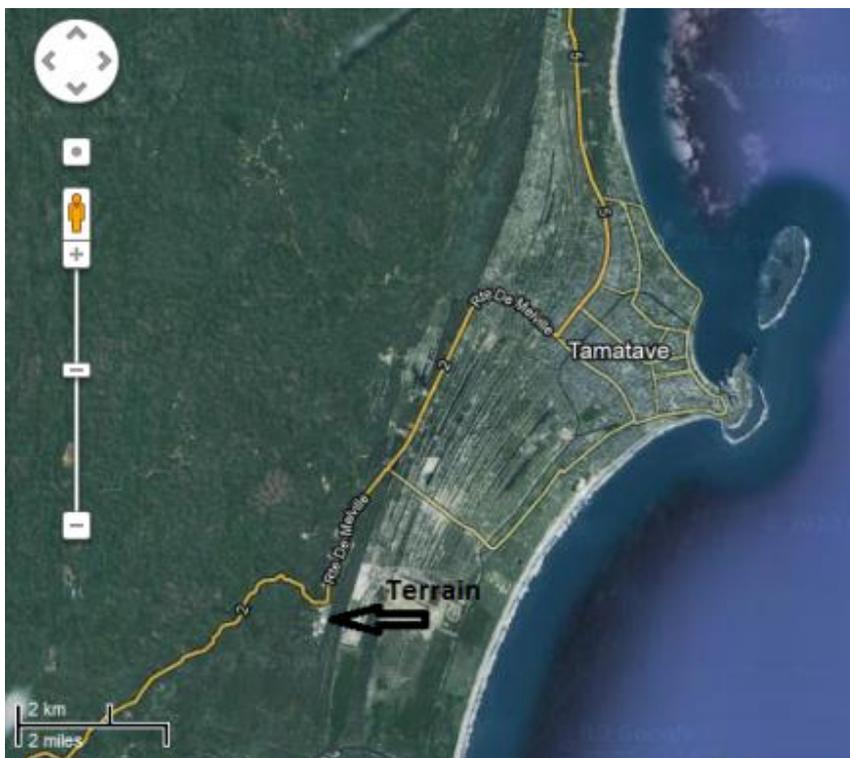


Figure 2 : localisation du site de traitement (image Google)

¹ L'article 10 alinéa a du décret n° 2003/464 du 15 avril 2003 portant classification des eaux de surface et réglementation des rejets d'effluents liquides fournit des valeurs limites en métaux lourds pour l'épandage mais ne traite pas des germes pathogènes

Le site se situe au Sud-Ouest de la ville en bordure de la route vers Antananarivo. Il est situé à 12 km du centre ville et est desservi par une route goudronnée de bonne qualité et au trafic fluide. La municipalité s'est engagée sur le principe à y autoriser l'implantation de la station.



Figure 3 : vue aérienne du site de traitement (image Google)

Localisé sur la cote de l'océan Indien, à environ 4000 m du littoral, il est susceptible d'être exposé à une ambiance marine pouvant affecter les matériaux de construction employés.

3.2.2 Voisinage

Le site de traitement est isolé à l'extérieur de la ville, à l'extrémité d'une zone industrielle. Le voisinage immédiat est constitué d'une zone habitée 1 (environ 50 habitations à 300 m de distance), une zone habitée 2 (environ 15 habitations à 300 m de distance) et une grande usine de transformation minière (environ 700 m de distance).



Figure 4 : position par rapport au voisinage (image Google)

3.2.3 Voirie et réseaux existants

La voirie interne est constituée :

- d'un axe principal de 3 à 4 m de large constitué d'une couche de grave faiblement bitumée, en état de fonctionnement mais vétuste (nids de poule, principalement à l'entrée et affaissement de quelques bordures suite à affouillement)
- d'un axe secondaire de contournement de l'excavation sans couche de roulement, inutilisable par des camions en l'état et qui présente par endroit un risque d'effondrement.

Les réseaux d'eau potable et d'électricité ne sont pas disponibles sur le site même. On note l'existence de poteaux électriques dénués de câbles.

L'extrémité la plus proche du réseau d'eau potable de la Jirama se situe à environ 4 km du site, tandis que le réseau électrique est accessible à environ 500 m (le long de la RN2).

3.2.4 Topographie

Aucune étude topographique n'a été réalisée à ce stade sur le terrain envisagé. Une reconnaissance du site en février 2013 permet de constater que le site, à droite de la route en entrant, présente 2 larges excavations d'environ 200 * 200 m² et 5 m de profondeur séparé par une bande de sol (le site a été utilisé comme carrière). La planche suivante permet de visualiser la topographie actuelle du terrain.



Figure 5 : éléments de topographie du site (image Google)



Vue 1



Vue 2



Vue 3

3.2.5 Géotechnique

Aucune étude géotechnique n'a été menée à ce stade. Les pentes des excavations en place permettent d'observer un sol entièrement sableux (sable fin) dont l'aptitude au remblai n'a pas été appréhendé.

Le présent APS, en particulier l'estimation financière, se base sur l'hypothèse à confirmer d'un sol stable et de la possibilité de ré-emploi des déblais sableux en remblai pour les ouvrages de traitement et les voiries.



Figure 6 : vue du sol en place

3.2.6 Hydrographie

3.2.6.1 Eaux superficielles

Le site est bordé par :

- une vaste zone basse marécageuse à l'Est (séparant le site de l'usine), située à environ 150 m du site. Cette zone basse atteint environ 400 m de large.
- un cours d'eau à l'Ouest (à environ 400 m) se déversant dans un cours d'eau plus important
- un large cours d'eau au Sud (à environ 200 m). Ce cours d'eau mesure de 10 à 15 m de profondeur. Il rejoint un fleuve situé à 3.5 km en aval avant de se rejeter dans la mer.

On note également l'existence de plusieurs étangs, sur le site et au voisinage, résultants probablement du prélèvement de sable pour remblai. Ces étangs ne sont pas reliés à un cours d'eau mais semblent connectées aux nappes souterraines qui viennent affleurer dans ces points bas.

3.2.6.2 Eaux souterraines

Le site de Tamatave présente une nappe phréatique haute, voire affleurante, sans doute liées à sa position sur une bande sableuse entre collines à l'Ouest et océan à l'Est, et sans doute avec un niveau lié aux marées.

Le site de traitement présente l'avantage d'être drainé de part et d'autre par les voies superficielles présentées ci-dessus. Lors de la visite de février 2013, le niveau des eaux dans les excavations en place se situait à environ 5 m en dessous du niveau de la voirie bitumée interne. Les marques de végétation et les dires du responsable du site font envisager un niveau des plus hautes eaux situé à 4 m en dessous du niveau de la voirie bitumée interne.

Le présent APS se base sur l'hypothèse réaliste mais restant à confirmer d'un niveau des plus hautes eaux à 4.5 m au dessous du niveau de la voie interne principale.

3.2.7 Climat

La contrainte climatique à prendre en compte pour la station de traitement est analysée dans le rapport d'analyse du séchageⁱⁱ dont en voici l'extrait.

« Le climat de Tamatave se caractérise par 2 saisons.

La saison des grandes pluies, chaude et pluvieuse, de novembre-décembre à avril, caractérisée par :

- Température moyenne journalière de 25°C
- Pluies abondantes et fréquentes (jusqu'à 600 mm/mois)
- Ensoleillement de l'ordre de 7 h/jour

La saison des petites pluies (moins chaude et moins pluvieuse), de mai à octobre-novembre, caractérisée par :

- Température moyenne journalière est de l'ordre de 21,5°C
- Pluie moins abondante et moins fréquente (pluviométrie mensuelle à partir de 100 mm/mois)
- Ensoleillement de l'ordre de 6 h/jour

Pour ces deux saisons, l'humidité est de l'ordre de 85 % sans fluctuation significative au cours de l'année.

Sur la base de ces données moyennes, l'évaporation peut être estimée comme légèrement supérieure en saison des grandes pluies, qu'en saison des petites pluies, de l'ordre 10 %, sur la base de températures et taux d'humidité et tout paramètre égal par ailleurs. Considérant de plus l'ensoleillement supérieur, la saison des grandes pluies apparaît la plus favorable à l'évaporation.

Une analyse plus fine de la pluviométrie est réalisée sur la base des relevés 2012.

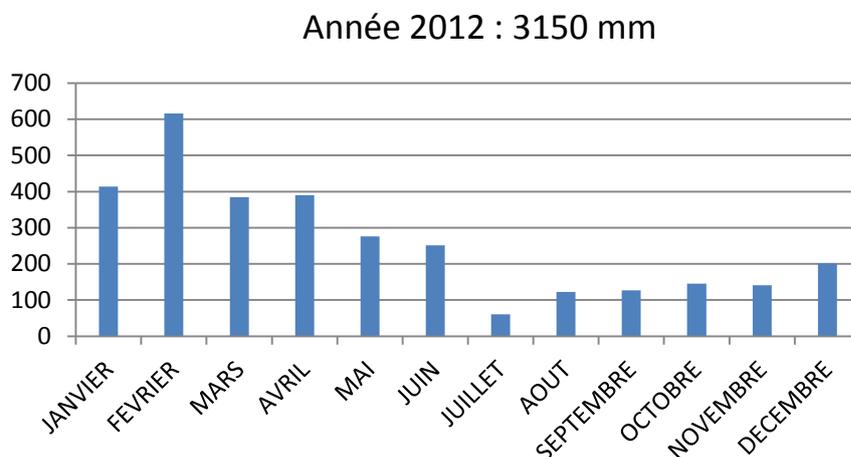


Figure 6 : bilan pluviométrique année 2012 (mm/mois)

Le relevé pluviométrique de l'année 2012 n'est pas représentatif pour le mois de juillet car les relevés sont incomplets ce mois là (70 % de journées sans mesure).

En saison des grandes pluies :

- Fréquence de pluie jusqu'à de 3 jours sur 5 (60 % des jours)
- Séquence de pluie type caractérisée par 3-4 jours de pluie d'intensité moyenne de l'ordre de 30 mm/jour puis de 2-3 jours de temps sec (ou très faiblement pluvieux)
- Les séquences de pluies peuvent parfois durer plus de 5 jours (1 séquence de 10 jours consécutifs entre février et mars 2012)

- Les épisodes pluvieux peuvent présenter des intensités parfois très fortes (100 mm)

En saison des petites pluies :

- Fréquence de pluie de 2 jours sur 5 (40% des jours)
- Intensité des épisodes plus basse, de l'ordre de 10 mm/jour
- Episodes forts rares
- Existence de longues séquences de pluie (> 5 jours consécutifs)

Les épisodes pluvieux ne sont pas particulièrement de type orageux et ont lieu de jour comme de nuit. »

Il apparait en conclusion de ce rapport que le séchage non planté, couvert ou à ciel ouvert, est possible mais relativement inadapté en raison de la surface importante qu'il demanderait.

3.2.8 Aspects règlementaires

3.2.8.1 Règlementation nationale

La Politique Stratégique Nationale de l'Assainissement (PSNA) indique l'importance de développer l'intégralité des maillons de la chaîne de l'assainissement, dans un milieu où l'assainissement autonome est considéré comme le plus abordable pour Madagascar, en milieu urbain comme en milieu rural. En particulier, l'urgence de développer des services pour « la vidange et l'élimination » des boues de vidange dans les villes malgache est relevée. Le Code de l'Eau en attribue la maîtrise d'ouvrage aux Communes.

Plus spécifiquement le projet de station de traitement des boues de vidange s'inscrit dans la règlementation suivante :

| Texte de loi | Description | Implications pour le projet |
|---|--|---------------------------------|
| Loi N° 99-033 du 21 Décembre 1990 portant la charte de l'environnement malagasy modifié par la loi N° 97-012 du 06 Juin 1997 | Cadre général d'exécution de la Politique Nationale de l'Environnement Principes qui doivent être respectés pour sa mise en œuvre par le Plan d'Action Environnemental avec ses programmes d'applications | Obligation d'une étude d'impact |
| Décret N° 99-954 du 15 Décembre 1999, relatif à la Mise En Compatibilité des Investissements avec l'Environnement (MECIE) modifié par le décret N° 2004 -167 du 03 Février 2004 | Règles et procédures à suivre en vue de la mise en compatibilité des investissements avec l'environnement (MECIE) ; il précise également la nature, les attributions respectives et le degré d'autorité des institutions ou organismes concernés par la MECIE (article 1) Principe de réalisation d'une étude d'impact (art 3), la participation du public à l'évaluation environnementale (art 15 à 21 du décret MECIE), la contribution du promoteur aux frais d'évaluation et de suivi environnemental (art 14 et Annexe III du décret MECIE), les organes d'évaluation environnementale (art 23 et art 5), les grandes étapes de l'évaluation environnementale (EIE /MEC) ; les infractions / sanctions (art 34). | Contenu de l'étude d'impact |

| | | |
|--|--|--|
| <p>Décret n° 2003/464 du 15 avril 2003 portant classification des eaux de surface et réglementation des rejets d'effluents liquides</p> | <p>Classification des eaux de surface Fixation des normes de rejet d'effluents aqueux dans le milieu naturel Champ d'application (art 2), Classification des eaux de surface (art 3), Types de rejets liquides polluants (art 4), Normes de rejet (art 5), Valeurs limites de rejet (art 8), Epanrages de boue (art 10).</p> | <p>Qualité à atteindre pour les eaux traitées (cas d'un rejet dans les eaux superficielles), à priori non concerné compte tenu de l'emplacement et du dispositif zéro rejet prévu.</p> |
| <p>Arrêté interministériel n° 4355/97 du 13 mai 1997 portant définition et délimitation des zones sensibles</p> | <p>Liste des zones sensibles (art 3)</p> | <p>Non concerné compte tenu de l'emplacement prévu</p> |
| <p>Loi n° 98-029 du 20 janvier 1999 portant Code de l'eau</p> | <p>Champ d'application du Code de l'eau (art 3) Principes essentiels : domanialité publique de l'eau (art 1 et 2), la protection quantitative (art10 et 11), la protection qualitative (art12 à 22), la protection de l'environnement (art 23 à 27), la surveillance de la qualité de l'eau (art 58 à 60)</p> | <p>Responsabilités des acteurs publics</p> |
| <p>Loi n° 2005-019 du 17 octobre 2005 fixant les principes régissant les statuts des terres</p> | <p>Gestion du domaine public (art 13 à 16)</p> | <p>Responsabilités des acteurs publics</p> |
| <p>Décret n° 63 -192 du 27 mars 1963 fixant le code de l'urbanisme et de l'habitat, modifié par décret n° 69-335 du 29 juillet 1969</p> | <p>Règles générales des plans d'urbanisme (art titre II chap. I)</p> | <p>Besoins et contraintes de la station de traitement</p> |
| <p>Loi N° 2003 -044 Portant Code du Travail</p> | <p>Conditions d'hygiène, de sécurité et d'environnement du travail (art 110), la protection contre certains risques liés au travail (art 120) et de la médecine du travail (art 128)</p> | <p>Règles à prendre en compte pour l'exploitation de la station</p> |
| <p>Arrêté interministériel n° 52005/2010 relatif à la protection globale des sites d'intérêt biologique et écologique : "sites jugés prioritaires pour la conservation de la biodiversité"</p> | <p>Carte des sites prioritaires et les sites potentiels pour les aires protégées et Koloala</p> | <p>Non concerné compte tenu de l'emplacement prévu</p> |

On retiendra en particulier la nécessité d'une étude d'impact. Les règles d'exploitation en conformité du Code du travail devront être facilitées à travers la conception de la station.

3.2.8.2 Règlementation municipale

Documents d'urbanisme

La Commune de Tamatave dispose d'un Plan d'urbanisme directeur (PUDi) datant de 2006, lequel ne délimite pas de zone pour l'implantation des infrastructures d'épuration. Notons que ce plan n'a pas fait l'objet de Plan d'urbanisme directeur détaillé (PUDé).

Le PUDi comprend un volet « Prescriptions environnementales » développé par l'Office National pour l'Environnement. Au niveau des boues de vidange, ce document indique l'utilisation des zones humides artificielles pour le traitement des eaux usées et la nécessité de traiter suffisamment les « vidanges ».

Le site de décharge retenu pour l'implantation de la STBV est le seul site officiellement exploité par la Commune Urbaine de Tamatave, et qu'il figure en tant que tel dans le Plan d'occupation des sols à l'horizon 2023.

Procédure d'attribution

Etant donné l'appartenance de ce terrain à la Commune Urbaine de Tamatave II, les travaux d'aménagement de ce site requièrent

- (1) un Certificat de situation juridique confirmant la propriété du terrain
- (2) une Délibération du Conseil Municipal de Tamatave II indiquant la mise à disposition effective dudit terrain pour le traitement des boues de vidange.

4 Infrastructure projetée (station de traitement)

4.1 1^{er} étage : traitement des boues

Compte tenu du climat tropical humide de Tamatave, le procédé de séchage doit fonctionner dans une pluviométrie importante avec un potentiel d'évaporation bas (forte hygrométrie). La solution du lit de séchage planté permet d'atténuer ces effets défavorables au séchage grâce à la végétation qui entretient la perméabilité du lit et favorise par évapotranspiration l'élimination de la fraction liquide.

4.1.1 Principe

Les lits de séchage plantés sont des massifs drainants dans lesquels sont plantées et se développent des macrophytes (plantes robustes de zones humides). Les boues de vidange sont dépotées à leur surface. La déshydratation s'opère par filtration et drainage gravitaire à travers le massif filtrant et par évapotranspiration. La couche de boue accumulée assure elle-même une fonction de filtration et permet d'augmenter le rendement initial de filtration du matériau filtrant. La perméabilité globale du système est maintenue par le système racinaire des végétaux et par les périodes de séchage (i.e. sans alimentation) cycliques des boues permettant leur aération et la transformation des matières.

La longue durée de rétention des solides favorise leur transformation en composés assimilables par les plantes (humus) et l'élimination naturelle des pathogènes^{iv}.

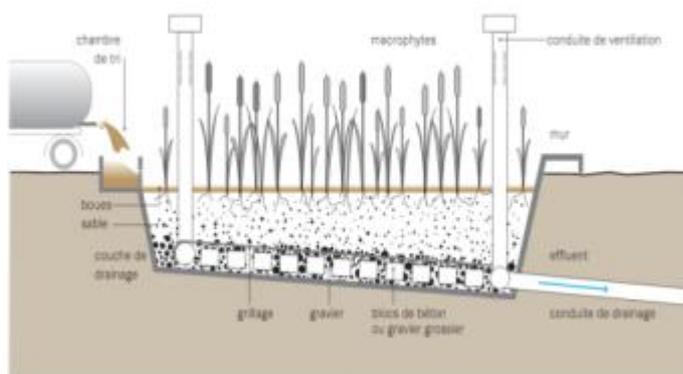


Figure 7. Schéma de principe d'un lit planté (selon ^v)



Figure 8. Lits de séchage plantés de la station d'Andancette, France

4.1.2 Fonctionnement

Le traitement fonctionne donc selon 2 cycles :

- un cycle court dépotage-séchage : les boues sont dépotées sur un lit où elles se déshydratent pendant plusieurs jours, ce qui implique plusieurs lits. En contexte tropical, Kengne^{vi} et Koottatep^{vii} préconisent un rythme d'1 jour d'alimentation et de plusieurs jours de séchage.
- un cycle long d'accumulation-extraction : les boues s'accumulent progressivement au fil des mois et des années, jusqu'à remplir la totalité du volume alloué. Les racines des macrophytes se développent pendant ce remplissage progressif et la boue continue de se déshydrater, s'humifie et se désinfecte. Le remplissage peut atteindre une hauteur de 1 à 2 mètres en plusieurs années^{viii}. A l'issue, une opération de curage doit être effectuée pour vider les bassins et recommencer un nouveau cycle d'accumulation.

A la différence des lits non plantés, les boues séchées à la surface des lits plantés ne sont pas retirées avant chaque cycle d'alimentation : les boues de vidange nouvelles sont déposées sur la couche de boues déshydratée déjà accumulée lors des applications précédentes.

Cette technique permet ainsi de réaliser dans un même temps la déshydratation, la stabilisation et une hygiénisation des boues^{iv}. D'une utilisation simple et avec une performance de traitement élevée, elle permet d'obtenir des bio-solides suffisamment désinfectés et humifiés pour en faire un engrais pour l'agriculture^{ix}.

4.2 2° étage : traitement supplémentaire du percolat

La fraction liquide des boues de vidange percolée à travers les lits plantés, bien que de faible volume, présente des concentrations résiduelles en matières en suspension et en matières oxydables. Afin d'assurer la meilleure protection du milieu naturel, le traitement de ce percolat est complété par une lagune aérobie de faible profondeur permettant la décantation des matières résiduelles et un abattement de finition des polluants et des organismes pathogènes^v. L'eau issue de la lagune sera appliquée sur un système de filtration/infiltration (dispositif zéro rejet)

4.2.1 Bassin de lagunage aérobie

Ce procédé réputé robuste permet d'atteindre des rendements satisfaisants sur la DBO₅ et de décanter une fraction résiduelle de MES. Le fonctionnement du traitement supplémentaire du percolat par lagunage est avantageux de par ses faibles coûts d'exploitation.



Figure 9. Photo lagunage France (Photo Cemagref)



Figure 10. Schéma de fonctionnement d'un bassin de lagunage aérobie (selon v)

Le traitement supplémentaire par lagunage fonctionne en continu. Il reçoit le percolat filtré à travers l'étage de traitement des boues. Cette fraction liquide y séjourne pendant une durée définie pour permettre l'abattement de la pollution et la décantation des matières résiduelles en suspension. Ces matières décantées formeront un dépôt au fond du bassin, qui doit être vidangé lorsqu'il atteint 20% de la hauteur d'eau du bassin. Cette opération pourra être effectuée par un camion de vidange, et le dépôt sera appliqué sur les lits plantés du traitement des boues de vidange.

4.2.2 Filtration/infiltration finale

Le percolat après traitement supplémentaire dans le lagunage est filtré et infiltré au niveau de la sortie du lagunage. L'aire de filtration/infiltration est divisée en deux zones pour permettre une utilisation alternée et laisser ainsi le temps à chacune des zones de sécher afin d'éviter leur colmatage.

Au cours de cette filtration/infiltration, le percolat est à nouveau soumis à abattement de la pollution. Le sol en place joue alors un rôle de traitement tertiaire mettant en jeu ses capacités d'autoépuration, et permet de minimiser encore l'impact sur le milieu.

4.3 Charges à traiter

Compte tenu de la dimension pilote de ce procédé de traitement en contexte malgache et tamatavien, les volumes à traiter sont choisis à 10 m³/jour, 260 jours par an, soit 215 m³/mois. Ce volume correspond au fonctionnement estimé d'un camion de vidange (7 m³/jour) et d'une camionnette munie d'une citerne (3 m³/jour).

Les boues à traiter proviennent des dispositifs maçonnés de la ville. On retenir les caractéristiques moyennes mesurées en 2012 suivantes :

- MS = 110 g/L
- MV = 65 % MS
- Fraction liquide drainable maximale : 70 %

Avec un nombre de jour ouvrés de 260 / an, la charge à traiter est donc :

- au 1^{er} étage (boue)
 - o par an : 286 000 kg MS/an et 2 400 m³/an
 - o par jour ouvré : 1 100 kg MS/jour et 10 m³/jour
- au 2^o étage (finition)
 - o par an : 14 300 kg MS/an et 1 680 m³/an
 - o par jour ouvré : 60 kg MS/jour et 7 m³/jour ouvré
 - o par jour en moyenne : 5 m³/jour

4.4 Niveau de traitement escompté

4.4.1 1^{er} étage de traitement des boues

Quantités de bio-solides produites :

- Masse : 95% x 286 = 270 t bio-solides / an (rendement de rétention des MES de 95% (selon Kengne^{vi}))
- Volume : 900 m³/an (hypothèse de réduction de volume de 65%, selon l'analyse du séchageⁱⁱ)

Qualité des bio-solides :

- Siccité attendue : 50%
- Etat organique : humifié
- Désinfection attendue : les pathogènes sont en grande proportion détruits^{ix}, pour une valeur atteinte proche de 1 œuf d'helminthe / g MS



Figure 11 : bio-solides humifiées (lits de séchage plantés de roseaux d'Andancette, France)

Un stockage complémentaire pourra permettre d'assurer une désinfection supplémentaire des bio-solides en cas de réutilisation agricole (valeur guide de 1 œuf d'helminthe / g MS recommandées par l'OMSⁱⁱⁱ)

4.4.2 2° étage : traitement supplémentaire du percolat

Le bassin de lagunage est conçu pour

- un abattement supplémentaire par temps sec de 80 % de la charge organique biodégradable (DBO₅)
- un abattement supplémentaire de la pollution bactérienne (désinfection)

A l'issu du lagunage, les eaux traitées sont amenées sur un massif sableux planté où elles sont infiltrées.

4.5 Conception

4.5.1 Traitement des boues

Le dimensionnement des lits plantés s'appuie sur l'expérience tropicale, en prenant en compte le climat de type tropical humide de Tamatave et son influence sur le séchage. Il se base sur la charge massique par application de 4 kg MS/m² rapportée par Kengne^{vi} et Koottatepvi^{vii}, en doublant le temps de cycle application-repos pour tenir compte des observations de l'analyse du séchage en milieu localⁱⁱ. Le dimensionnement est présenté dans le tableau ci-dessous.

Le dimensionnement dans le contexte de Tamatave garde une dimension expérimentale pilote qui permettra une capitalisation d'expérience au plan malgache, en particulier sur les aspects suivants :

- Fonctionnement en climat tropical humide et sans saison sèche
- Fonctionnement avec des boues concentrées (charge massique surfacique élevée et charge hydraulique surfacique basse)
- Répartition hydraulique des boues sur la surface plantée

| Paramètre | Unité | Quantité | Justification |
|--|-------------------|----------|--|
| Temps de repos avant nouvelle application | jour | 14 | Choisi sur la base de l'analyse du séchage ⁱⁱ |
| Nombre de lits en utilisation normale | | 10 | 14 jours de séchage pour chaque dépotage quotidien (5 jours ouverts/semaine) |
| Nombre de lits supplémentaires pour opérations de curage | | 2 | 2 lits seront curés tous les ans |
| Nombre de cycle par an | | 26 | 365/14 |
| Charge annuelle à traiter | kg MS/an | 286 000 | Donnée |
| Charge par application | kg MS | 1100 | 286 000/26/10 |
| Volume par application | m ³ | 10 | 1100/110 |
| Quantité par application | kg/m ² | 4 | Choisi sur la base de la littérature ^{vi,vii} |
| Surface d'un lit | m ² | 275 | 110/4 |
| Surface totale lits | m ² | 3 300 | 275*nombre de lits (12) |

| Paramètre | Unité | Quantité | Justification |
|---|--------------------------|----------|---|
| Hauteur de la lame par application | cm | 3.6 | 10/275 |
| Charge massique totale | kg MS/m ² /an | 85 | 286 000/(275*12) |
| Charge massique en période de curage | kg MS/m ² /an | 105 | 286 000/(275*10) |
| Taux d'accumulation | cm/an | 30 | Choisi sur la base de la littérature ^x |
| Durée d'un cycle d'humification-extraction | an | 5 | Choisi |
| Hauteur d'accumulation | cm | 150 | 30*5 |
| Hauteur de revanche supplémentaire | cm | 10 | Choisi |
| Surface d'arrosage par point d'alimentation | m ² | 35 | 8 points par lits (choisi) |

Tableau 2 : Caractéristiques dimensionnelles des lits plantés

Le 1^{er} étage comporte 12 lits (2 d'entre eux étant prévus pour faciliter les opérations de curage). Le tableau ci-dessous illustre le cycle d'extraction prévu. Le curage est prévu chaque année pour 2 lits.

| Hauteur de boue (cm) | | | | | | |
|----------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| année | Lits A | Lits B | Lits C | Lits D | Lits E | Lits F |
| 1 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 0 |
| 2 | Cycle 1 | Curage | 60 | 60 | 60 | 30 |
| 3 | | 30 | Curage | 90 | 90 | 60 |
| 4 | | 60 | 30 | Curage | 120 | 90 |
| 5 | | 90 | 60 | 30 | Curage | 120 |
| 6 | | 120 | 90 | 60 | 30 | Curage |
| 7 | | 150 | 120 | 90 | 60 | 30 |
| | Cycle 2 | Curage | 150 | 120 | 90 | 60 |

Tableau 3 : hauteur de remplissage des lits (par paire) dans le cycle d'extraction des bio-solides

4.5.2 Dimensionnement 2^o étage

Le dimensionnement du traitement de finition est effectué sur une base temps sec. Les pluies importantes dans la région amèneront une dilution des concentrations de l'effluent. Néanmoins, il devra être prévu un by-pass des eaux de pluies à partir d'un certain seuil.

4.5.3 Lagunage

4.5.3.1 Abattement matière organique

Le dimensionnement est basé sur la formule d'une cinétique de dégradation du 1^{er} ordre^{xi} pour un taux d'abattement de ma matière organique (DBO5) de 80%.

$$L_s = \frac{Le}{1 + k_l \theta_f}$$

- L_s = la concentration en DBO en sortie de bassin (kg/j, mg/l)
- L_e = la concentration en DBO en entrée de bassin (kg/j, mg/l)
- K_l = la constante de premier ordre cinétique (j-1)
- θ_f = le temps de séjour dans le bassin facultatif (j)

La valeur de k_i varie avec la température selon la formule suivante (formule de Mara) :

$$k_{i(T)} = k_{i(20)} \times 1,05^{T-20}$$

- T est la température en °C
- La valeur usuelle de $k_{i(20)}$ est de 0,3 j⁻¹ pour les bassins de traitement supplémentaire.

Avec une température moyenne annuelle de 25 °C à Tamatave on a $k_i = 0,38 \text{ j}^{-1}$, soit un temps de séjour de 11 j pour l'étage de lagunage facultatif.

Le volume du bassin sera de 51 m³

4.5.3.2 Désinfection

La désinfection correspondante est par le modèle de Marais^{xi} :

$$\frac{B_{ef}}{B_{in}} = \frac{1}{(1 + k_i \theta_i)}$$

- B_{ef} = coliformes fécaux en sortie de bassin (CF/100ml)
- B_{in} = coliformes fécaux en entrée de bassin (CF/100ml)
- n = les nombres de bassins de maturations en série.
- k_i = les constants cinétiques relatives aux bassins i.
- θ_i = temps de séjour relatifs aux bassins i.
- La valeur de k_i varie avec la température selon la formule suivante :

$$k_i = 2,6(1,19)^{T-20}$$

Soit une valeur de k_i à Tamatave de 6.2, ce qui correspond à une désinfection par temps sec de 98,5%.

4.5.4 Filtration/infiltration finale

L'effluent au sortir sortant de la lagune de traitement supplémentaire est infiltrée sur une zone sableuse. Afin de maintenir un niveau de perméabilité suffisant, la zone sableuse est plantée de macrophytes et composée de 2 parties alimentées en alternance une semaine sur 2.

Chaque filtre a une surface de 100 m². Avec une vitesse d'infiltration estimée de 10⁻⁵m/s (valeur sécuritaire tenant compte d'une forte réduction de la perméabilité par le développement d'une biomasse en surface du sable), cette surface permet d'infiltrer le volume journalier temps sec de 5 m³ en 1h30.

4.5.5 Description des ouvrages

| | nombre | volume utile | surface | Forme |
|----------------------|--------|----------------|----------------|---|
| | | m ³ | m ² | m |
| Lits de séchage | 12 | 410 | 275 | Rectangle Longueur = 23 Largeur = 12 |
| Bassin de lagunage | 1 | 51 | 64 | Ovale Grand axe = 15.6 Petit axe = 5.2 |
| Terre d'infiltration | 2 | | 100 | Rectangle Longueur = 14 Largeur = 7 |

Tableau 4 : dimensions des ouvrages

La zone d'infiltration bénéficie d'un dispositif amont de répartition pour une alimentation hebdomadaire des terres (regard de répartition avec manchon ou vannes pelles)

4.5.6 Dispositions techniques complémentaires

4.5.6.1 Plantes macrophytes

La ville et les environs de Tamatave sont riches en espèces macrophytes. Il conviendra de sélectionner le végétal qui convient au milieu et à la fonction. L'espèce *Echinochloa Pyramidalis* a été utilisée avec succès au Cameroun^{xii} et est, selon le Département Agriculture des Etats Unis^{xiii}, présente à Madagascar. Lors d'une mission en février 2013, une espèce similaire a été identifiée dans la ville même.



Figure 12 : système racinaire de l'espèce identifiée à Tamatave similaire à *Echinochloa Pyramidalis*



Figure 13 : inflorescence de l'espèce locale identifiée

4.5.6.2 Dégrillage et système d'alimentation des lits de séchage

Compte tenu de la forte concentration des boues en matière sèche, la répartition gravitaire des boues en surface d'un lit de séchage nécessite une pente suffisante.

Le bac de dégrillage pourra être un panier amovible.

En l'absence de réseau d'eau et compte tenu du niveau haut de la nappe, des pompes manuelles seront disposées au droit de chaque bac dégrilleur pour le nettoyage des paniers et des canalisations de répartition.



Figure 14 : exemple de bac dégrilleur, STBV Cotonou, Bénin^{xiv}

4.5.6.3 Protection des sols et de la nappe

Afin d'assurer la protection des sols et de la nappe, les ouvrages de lits plantés et le bassin de lagunage seront intégralement étanchéifiés.

4.5.6.4 Accès et manœuvre véhicule

Afin de permettre la manœuvre des véhicules pendant les opérations de dépotage et curage des lits, les voies au droit des lits de séchage seront élargies pour atteindre une largeur de 8 m. Elles ne sont pas bitumées compte tenu du faible trafic prévu.

Un accès motorisé non bitumé est prévu pour accéder au bassin de lagunage et aux terres d'infiltration pour leur maintenance.

L'extraction des boues est prévue par pelle mécanique accédant de part et d'autre d'un lit.

4.5.6.5 Gestion des eaux pluviales

Afin de gérer les eaux de pluie drainées par les lits de séchage, le bassin de lagunage est équipé en amont d'un déversoir d'orage et les tertres d'infiltration d'un dispositif de surverse

5 Pièces dessinées

5.1 Vue générale



Figure 15 : vue en perspective de la station et des accès

5.2 Vue en plan des lits de séchage

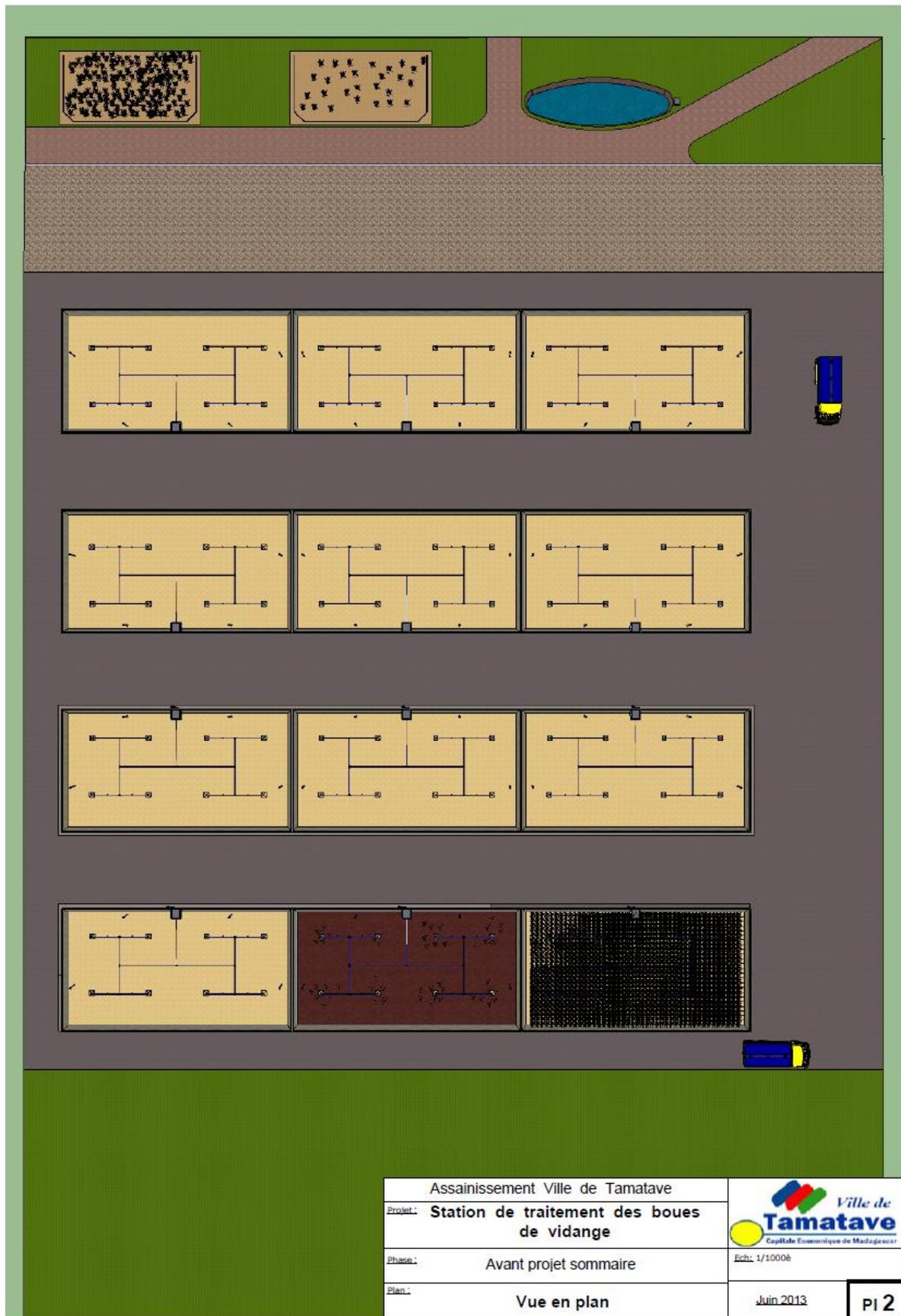


Figure 16 : vue en plan de la station

5.3 Vue de profil d'un lit de séchage planté

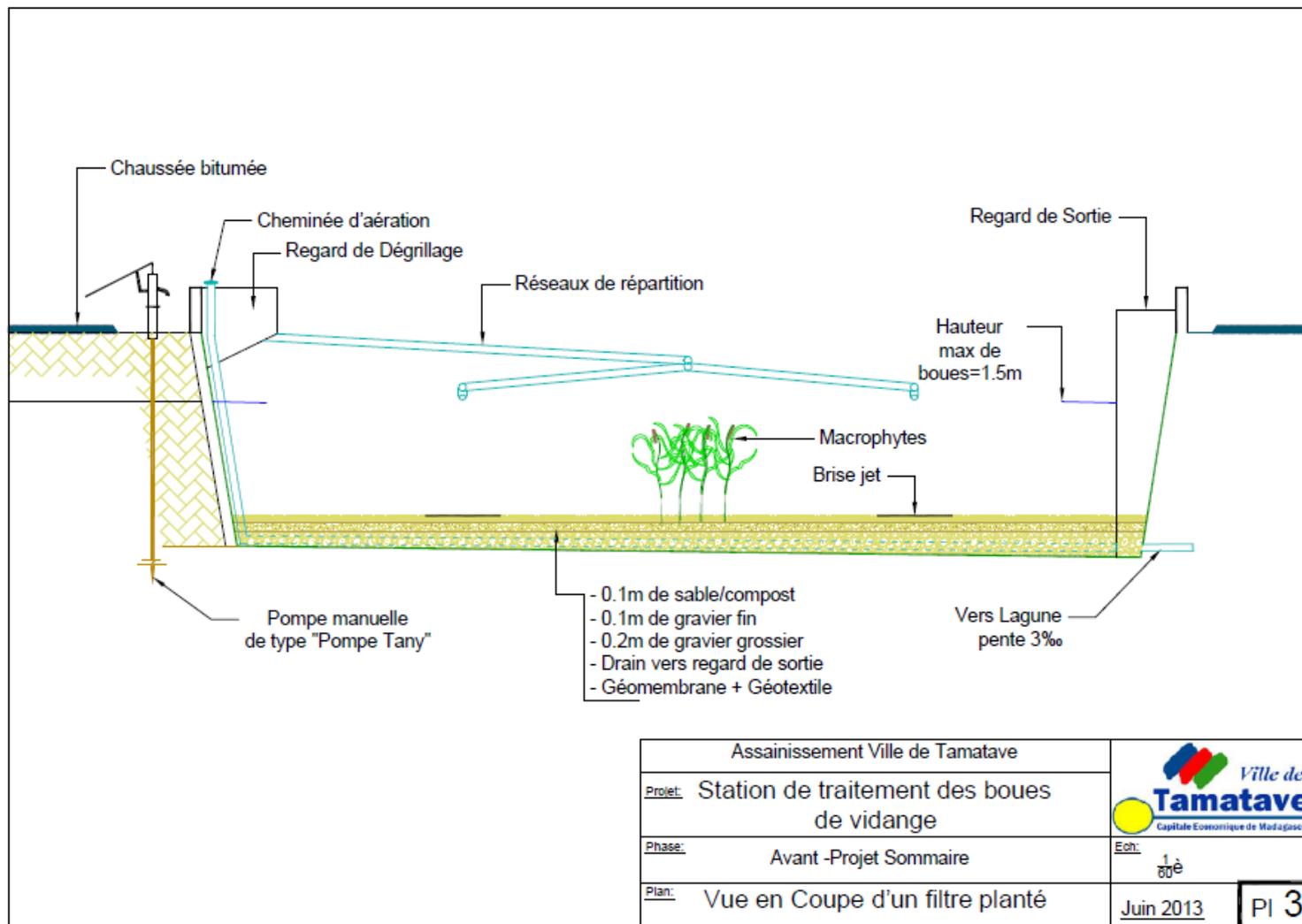


Figure 17 : vue en coupe d'un lit de séchage

6 Calendrier prévisionnel

| Etape | Principaux objectif | Période |
|--|--|---------------------|
| Approbation de l'APS par les autorités | Validation du principe de traitement | Juillet 2013 |
| Autorisation foncière + bornage | Délimitation des limites du terrain | Aout 2013 |
| Etude topographique | Connaissance de la topographie (précision des remblais-déblais et implantation des ouvrages) | Septembre 2013 |
| Etude géotechnique | Précision des fondations des ouvrages, types de voiries et niveau des plus hautes eaux | Septembre 2013 |
| Etude d'impact environnementale | Validation par le Ministère de l'Environnement | Octobre 2013 |
| APD | Préciser les spécifications techniques, plans généraux et plans de détail | Octobre 2013 |
| Dossier de travaux | Contractualiser avec une entreprise de travaux | Novembre 2013 |
| Travaux | Réaliser la station | Fev 2013 - Mai 2014 |

Tableau 5 : calendrier prévisionnel

7 Coûts estimatifs

7.1 Cout d'investissement

7.1.1 Station complète

Le coût d'investissement pour la station complète recevant 10 m³/jour de boue est estimé à 1 748 500 000 MGA HT, soit 603 000 euros HT, selon la décomposition suivante.

| N° | Poste | Montant MGA HT | Montant Euro HT |
|----------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------|
| 1 | TRAVAUX PREPARATOIRES | 50 000 000 | 17 241 |
| 2 | TERRASSEMENTS | 315 500 000 | 108 793 |
| 3 | REPLISSAGE DES FILTRES | 300 450 000 | 103 603 |
| 4 | CANALISATIONS | 125 920 000 | 43 421 |
| 5 | GENIE CIVIL ET OUVRAGES ANNEXES | 636 440 000 | 219 462 |
| 6 | VOIRIE ET AMENAGEMENT DU SITE | 161 100 000 | 55 552 |
| 7 | DIVERS ET IMPREVUS | 158 941 000 | 54 807 |
| TOTAL GENERAL | | 1 748 351 000 | 602 880 |

Tableau 6 : coût prévisionnel investissement station complète

7.1.2 1^{ère} tranche

Dans un premier temps, une première tranche pourra être réalisée, correspondant au traitement de 50% de la charge, soit 5 m³/jour. Dans ce schéma, la station est composée de 2 rangées de lits (au lieu de 4). La filière pour les percolats est identique. Ainsi l'agrandissement de la station pourra être réalisé facilement en ajoutant 2 rangées supplémentaires de lits de séchage.

Dans cette première tranche il sera intéressant de tester une répartition des boues à partir d'un ouvrage de chasse gravitaire. Cette option consiste à faire monter le véhicule transportant les boues sur une rampe pour qu'il dépose dans une bache béton placée en hauteur par rapport au système d'aspersion des lits plantés. Quand la bache est pleine, l'ouverture de la canalisation permet la vidange de la bache à fort débit. Cette option présente aussi l'avantage de permettre une certaine homogénéisation des matières avant leur déversement sur les lits.

Le coût d'investissement de cette première tranche estimé à 1 006 500 000 MGA HT, soit 347 000 euros HT, selon la décomposition suivante.

| N° | Poste | Montant MGA HT | Montant Euro HT |
|----|---------------------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | TRAVAUX PREPARATOIRES | 30 000 000 | 10 345 |
| 2 | TERRASSEMENTS | 157 500 000 | 54 310 |
| 3 | REPLISSAGE DES FILTRES | 150 225 000 | 51 802 |
| 4 | CANALISATIONS | 65 460 000 | 22 572 |
| 5 | GENIE CIVIL ET OUVRAGES ANNEXES | 349 240 000 | 120 428 |
| 6 | VOIRIE ET AMENAGEMENT DU SITE | 97 050 000 | 33 466 |
| 7 | OPTION CHASSE GRAVITAIRE | 72 000 000 | 24 828 |
| 8 | DIVERS ET IMPREVUS | 84 947 500 | 29 292 |
| | TOTAL GENERAL | 1 006 422 500 | 347 042 |

Tableau 7 : coût prévisionnel investissement première tranche

7.2 Coût de fonctionnement

| Poste | Fonction | Q | U | PU | Total | Total |
|-------------------------------|--|-----|----------------|-----------|-------------------|--------------|
| | | | | Ariary | Ariary/an | Euro/an |
| Ouvrier de maintenance | Accueil des camions, Aide au dépotage, du nettoyage des canalisations de distribution et des abords, tenue du cahier des entrées | 780 | h | 2 000 | 1 560 000 | 538 |
| Gérant | Relation vidangeurs, municipalité, comptabilité, supervision | 208 | h | 8 000 | 1 664 000 | 574 |
| Curage annuel des lits | 800 m ³ de bio-solides (2 lits de 275 m ² et 1,5 m de haut) | 800 | m ³ | 15 000 | 8 000 000 | 2759 |
| Divers | Petit entretien et divers | 1 | fft | 1 500 000 | 1 500 000 | 517 |
| TOTAL GENERAL | | | | | 12 724 000 | 4 388 |

Tableau 8 : coût prévisionnel annuel d'exploitation

Soit 5 000 Ar/m³, soit 1.72 euro/m³

8 Références

- i Practica, 2012. Assainissement des excréta dans la ville de Tamatave - Analyse de la gestion des boues de vidange et propositions d'améliorations – Rapport Practica.
- ii Dodane, 2013. Mise en place d'un système intégré de gestion des boues de vidange pour la commune urbaine de Tamatave - Analyse du séchage des boues en conditions locales – Rapport Practica
- iii OMS, 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water – Volume 2 : Wastewater and excreta use in agriculture. Organisation Mondiale de la Santé. Genève, Suisse.
- iv Klingel, F., Montangero, A., Koné, D., and Strauss, M. (2002). Faecal sludge management in Developing Countries - A planning manual In, Eawag, ed. (Dübendorf, Switzerland: Eawag).
- v Tilley, Elizabeth et al, 2008. Compendium of Sanitation Systems and Technologies. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland.
- vi Kengne I., Dodane P.-H., Akoa A., Kone D., 2008. Vertical-flow constructed wetlands as sustainable sanitation approach for faecal sludge dewatering in developing countries. PHD report. Wastewater Research Unit, Faculty of Science, University Yaoundé ; Department of Water and Sanitation in Developing Countries (Sandec), Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland
- vii Koottatep, T., C. Polprasert, N. T. K. Oanh, N. Surinkul, A. Montangero, and M. Strauss. 2002. Constructed Wetlands for Septage Treatment-Towards Effective Faecal Sludge Management. Paper presented at the 8th Int. Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, Arusha, Tanzania.
- viii Lienard, A. 1999. Déshydratation des boues par lits de séchage plantés de roseaux. Pp. p. 33-45. Ingénieries EAT, N°17. Cemagref, Lyon.
- ix Kengne, I. M., Akoa, A., and Koné, D. (2009a). Recovery of Biosolids from Constructed Wetlands Used for Faecal Sludge Dewatering in Tropical Regions. Environmental Science and Technology 43, 6816-6821.
- x Vincent Julie, 2012. Les lits de séchage plantés de roseaux pour le traitement des boues activées et les matières de vidange : adapter la stratégie de gestion pour optimiser les performances. Rapport de Thèse. Université de Montpellier, II, Sciences et Techniques du Languedoc, Sciences des Procédés – Sciences des aliments
- xi Shilton A., 2005. Pond Treatment Technology. IWA Editions. ISBN 1843390205
- xii I.M. Kengne,* , Amougou Akoa, E.K. Soha, V. Tsamaa, M.M. Ngoutanea, P.-H. Dodane, D. Koné, 2008. Effects of faecal sludge application on growth characteristics and chemical composition of *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitch. and Chase and *Cyperus papyrus* L., ecological engineering 3 4 (2008) 233–242
- xiii United States Department of Agriculture, Germplasm Resources Information Network, www.ars-grin.gov (consulté en mai 2013)
- xiv M. Gbaguidi, Rapport de stage, www.geocities.ws (consulté en mai 2013)