MARAIS ARTIFICIEL AMELIORÉ POUR LA PRÉSERVATION DES EAUX DE SURFACE

Improved constructed wetland for surface water bodies protection

Catherine FREISSINET[1], Stéphane TROESCH[2], Pierre-Etienne LOISEL[3], Thomas AUBRON[2], Sariaka Mitia RASOANAIVO[2,3], Kléoni MANDIMBISOA[4]

1 ARTELIA Eau & Afrique Moyen Orient, 6 rue de Lorraine 38130 Echirolles, France, catherine.freissinet@arteliagroup.com
2 EcoBIRD. 3 Rte du Dôme, 69630 Chaponost, France, s.troesch@ecobird.fr
3 ARTELIA Madagascar, 5 Lalana Rabary Mpitandrina, Antananarivo, Madagascar, pierre-etienne.loisel@arteliagroup.com
4 Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène (MEAH), Lalana Tsiombikibo, Antananarivo, Madagascar, mkleoni@yahoo.fr

Les solutions fondées sur la nature pour le traitement de l'eau sont sont innovantes pour l'Afrique, écologiques, économiques et répondent aux besoins des villes en fort développement en matière d'assainissement et de gestion des eaux pluviales. Ces solutions permettent de remédier au manque d'infrastructures de gestion des effluents urbains qui sont déversés sans gestion ou traitement dans le réseau hydrographique (caniveaux, cours d'eau), impactant sévèrement la qualité des eaux de surface et souterraine, qui sont utilisées pour de nombreux usages dont l'eau potable et l'irrigation en agriculture. De la construction à l'exploitation, les premiers retours d'expérience de la mise en place d'une solution d'assainissement végétalisée à Madagascar sont présentés dans cet article et laissent présager un bel avenir à ce type d'infrastructure pour préserver la qualité des eaux de surface en Afrique.

***Mots-clefs** : Solutions fondées sur la nature, traitement végétalisé, contamination des eaux de surface*

Nature-Based Solutions for water treatment are innovative, cost-efficient, sustainable solutions to help fast-growing African cities meet their sanitation and stormwater runoff management needs. These solutions can help addressing the lack of infrastructure for managing urban effluents that are discharged without management or treatment into the water system (gutters, rivers), severely impacting the quality of surface and groundwater, which is used for many purposes including drinking water and agricultural irrigation. From construction to operation, the first feedback from the implementation of an improved constructed wetland in Madagascar is presented in this article and suggests a bright future for this type of infrastructure to contribute to the preservation of surface water quality in Africa.

***Keywords**: Nature-Based Solutions, constructed wetlands, surface water bodies pollution*

I INTRODUCTION

Dans la Commune d'Ambavahaditokana, dans la ceinture du grand Antananarivo à Madagascar, les eaux usées et pluviales s'écoulent dans les caniveaux qui se déversent dans la plaine agricole de la rivière Sisaony, impactant fortement la qualité des eaux de surface et les activités humaines associées, notamment l'agriculture.

Le projet consiste à intercepter ces écoulements et à les rediriger vers un système d'assainissement végétalisé selon la configuration « Française » (Molle *et al.* 2005, Morvannou *et al.* 2015) mais intensifiée. Celle-ci est en mesure d'absorber et traiter les flux tant hydrauliques que polluants pour restituer une eau de meilleure qualité dans le milieu, limitant ainsi la pollution et la contamination des cultures.

I.1 Contexte du projet

Le site retenu pour l'implantation du projet est situé dans le Fokontany (quartier) d'Amboatavo de la Commune rurale d'Ambavahaditokana, qui connait une croissance démographique et une urbanisation soutenues depuis une dizaine d'années (+40% ces 6 dernières années). Le contrôle de l'urbanisation, très limité pour l'instant, est actuellement l'un des enjeux majeurs de la commune.

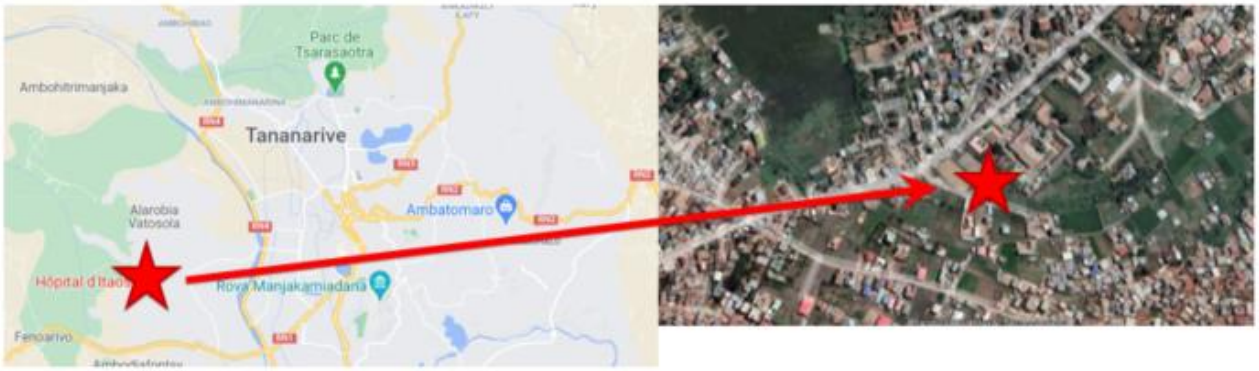

Figure 1. Zone d'implantation du démonstrateur

Dans le quartier d'Amboatavo, le réseau d'eau potable est assujetti à de forts dysfonctionnements avec des coupures journalières régulières de quelques heures et pouvant atteindre plusieurs jours. Le recours aux points d'eau alternatifs comme les puits et sources, aménagées ou non, reste donc important sur l'ensemble de la commune pour les usages indispensables, malgré les risques sanitaires encourus.

Figure 2. Différent usage des eaux de surface à Antananarivo

Au niveau de l'assainissement, la majorité des habitants utilisent des latrines à fond perdu avec ou sans plateforme. Seuls les quelques ménages aisés disposent de toilettes avec plateforme à l'anglaise. Les effluents sont fréquemment infiltrés dans des puits perdus et plus rarement envoyés vers des fosses septiques plus ou moins étanches avec infiltration des eaux résiduelles dans le sol ou rejet vers l'extérieur. Les rejets sauvages d'excrétas (boues de vidanges de fosses septiques, eaux usées brutes, etc.) dans les caniveaux d'assainissement routier et dans les rizières sont fréquents. Concernant les eaux grises, les pratiques courantes consistent à les jeter sur les cours dénudées, et quand cela est possible, sur les chaussées ou dans les caniveaux destinés à l'évacuation des eaux pluviales. Ce sont ces différentes eaux polluées qui sont collectées par les caniveaux urbains sur une partie du bassin versant de la commune d'Ambavahaditokana et que le projet vise à traiter par une solution d'assainissement végétalisée aérée développée par EcoBird.

Figure 3. Caniveaux et canaux de collecte des eaux de ruissellement contaminées par des eaux usées

Le bassin versant de la zone collectée présente une superficie de 7.21 Ha, et couvre une zone urbanisée d'environ 280 habitations situées le long de la rue principale et d'une voie secondaire, dont les caniveaux maçonnés collectent à la fois les eaux pluviales et les rejets domestiques. Les estimations de la population concernée par ce périmètre atteignent 1000 à 1300 habitants, avec une projection à 1700 habitants en 2025.

La zone d'implantation du dispositif démonstrateur possède une superficie de l'ordre de 1500 m². Située tout contre l'enceinte de l'hôpital d'Itaosy, elle s'intègre dans un périmètre plus global appartenant au Ministère de la Santé cédé au Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène, et son usage est assuré par la commune. À proximité immédiate de la zone d'implantation, la commune a mis en place 2 terrains de sport ainsi que des latrines publiques et un puits.

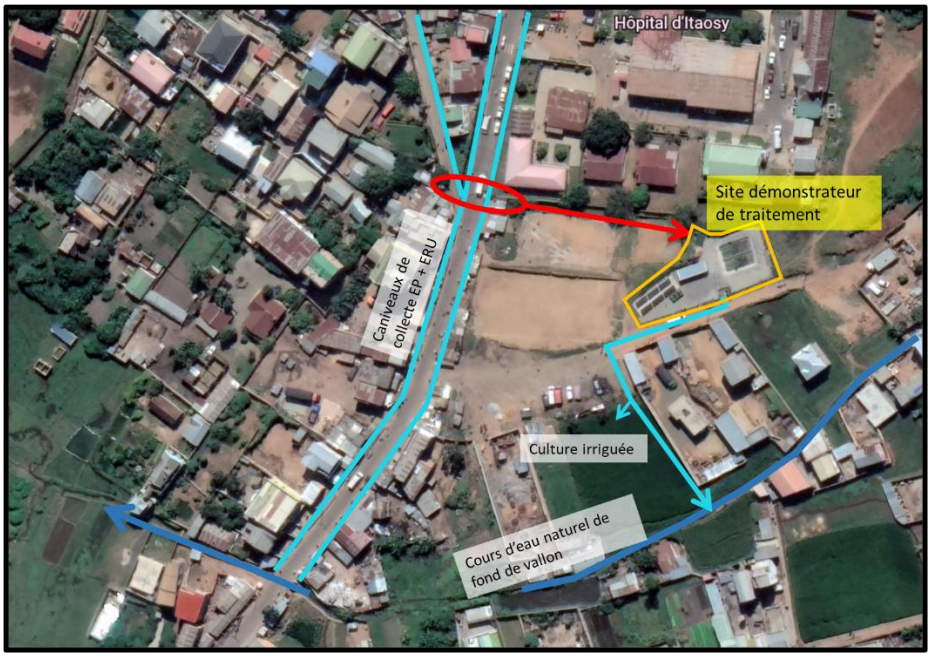

Figure 4. Principe de fonctionnement hydraulique du démonstrateur (commune d'Ambavahaditokana)

Le positionnement de la zone offre un dénivelé suffisant pour autoriser une alimentation gravitaire du démonstrateur, cette solution permettant de s'affranchir de l'utilisation de pompes de relevage, gourmandes en énergie et qui nécessitent un entretien conséquent.

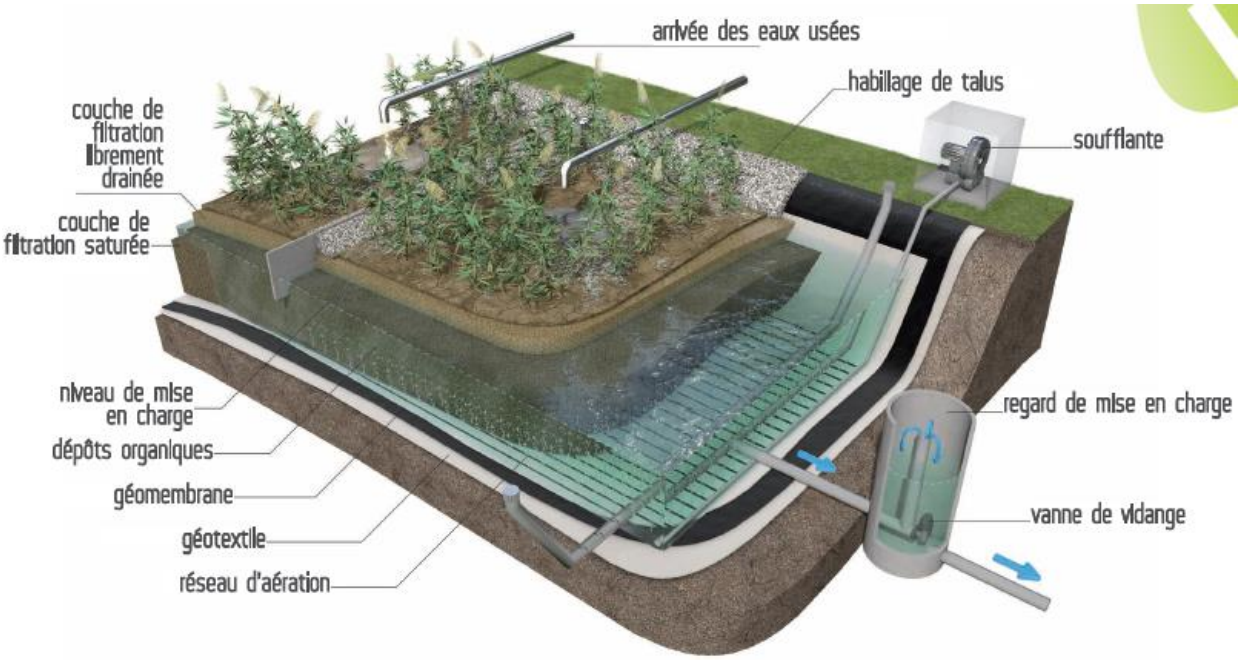

Figure 5. Vue en coupe et principe de fonction du filtre végétalisé aéré (procédé Rhizosph'air® d'EcoBird)

I.2 Conception, construction et mise en service du démonstrateur

Les effluents à traiter sont les eaux collectées par les caniveaux qui longent la route principale et sont constitués d'eaux usées (eaux grises, eaux noires, surverse de fosses toutes eaux, etc.) et d'eaux de ruissellement par temps de pluie.

Sur la base de mesures effectuées au point aval, le démonstrateur, de type filtre végétalisé, a été conçu pour traiter 100% des effluents de temps sec (de 5 à 25 m^3/j) et jusqu'à 100-120 m^3/j par temps de pluie.

Les charges à traiter ont été estimées lors de deux campagnes d'analyses avec prélèvements asservis au débit sur une durée de 24h et sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Qualité des eaux à traiter comparée aux limites de rejets locales (Décret n° 2003/464 du 15/04/03) et charges retenues pour le dimensionnement du démonstrateur

Paramètre	Concentration mesurée entrée(mg/l)	Limites réglementaires de rejet (mg/l)	Charge à traiter retenue (kg/j)
MES	441	60	3,14
DCO	1271	150	9,06
DBO5	520	50	3,71
NTK	44,8	20	0,32
N-NH4	31	15	0,22
N-NO3	0,14	20	

La solution d'assainissement végétalisé déployée est équipée d'un système d'aération forcée qui amène de l'air en fond de bassin pour augmenter la disponibilité d'oxygène dans le milieu (nécessaire à une dégradation aérobie de la pollution) et réduire l'emprise foncière nécessaire par rapport à un filtre végétalisé dépourvu de ce dispositif (Prost-Boucle et al, 2020). La solution testée offre ainsi de plus grandes résilience et tolérance devant les fortes variations de charge hydraulique ou organique et ceci avec des performances accrues.

Dans le cas présent, bien que faiblement équipé en infrastructures de gestion de l'eau, la réglementation malgache impose des normes de rejet particulièrement contraignantes à tout système produisant ou collectant des eaux contaminées (Décret n° 2003/464 du 15/04/03). L'insufflation d'air permet donc ici d'améliorer la

dégradation des polluants tout en diminuant l'empreinte foncière du système, permettant de répondre à deux contraintes locales majeures que sont la réglementation et l'espace disponible.

Sur le site du projet, les prises d'eau du système ont été positionnées dans les caniveaux de manière à intercepter les effluents avant qu'ils n'atteignent les bas-fonds et la rivière qui s'y écoule. Après une étape de dégrillage grossier (macrodéchets) installé dans les caniveaux, les eaux collectées sont dirigées par le démonstrateur constitué au fil de l'eau par :

- Un regard de siphonage qui alimente par bâchées le système
- Un filtre végétalisé aéré de 75 m² séparé en deux casiers de 37,5 m² chacun, nécessaire pour une alimentation par alternance.
- Un maillon réutilisation, constitué d'une unité de désinfection par lampe UV, d'un bassin de stockage fermé et de 6 bacs de culture installés sur le site pour démontrer l'intérêt d'irriguer des cultures avec des eaux traitées désinfectées.

Enfin, le site est piloté par un automate qui collecte les données de fonctionnement et, est énergétiquement autonome à l'aide de panneaux solaires et d'un générateur en secours.

Trois espèces végétales endémiques ont été plantées dans le système. Ces plantes ont été sélectionnées pour leur disponibilité locale, leur capacité à survivre dans des environnements saturés en eau mais également à faire face à des conditions sèches et à tolérer la submersion temporaire. La mise en service a été effectuée en mars 2022 et fait l'objet d'un suivi qualitatif et quantitatif régulier (analyses hebdomadaires) pour en évaluer les performances tant hydrauliques qu'épuratoires sur une durée d'un an.

Figure 6. Site démonstrateur – filtre de traitement végétalisé (Commune d'Ambavahaditokana)

II PREMIERS RÉSULTATS

Après un premier mois de mise en fonctionnement progressif, le système est entré dans un mode de fonctionnement routinier dont les performances sont évaluées selon les paramètres : MES, DCO, DBO5, NTK, N-NH4, N-NO3, HAP, Cu, Zn, Fe, E.Coli, et les Coliformes totaux. Les paramètres MES, DCO et DBO5 sont mesurés chaque semaine, les paramètres NTK, N-NH4, N-NO3, E.Coli, et les Coliformes totaux tous les 15 jours et les micropolluants tous les 2 mois.

Les prélèvements, de types ponctuels, sont réalisés en entrée et en sortie du système d'assainissement végétalisé. Un point de prélèvement supplémentaire pour les paramètres microbiologiques est suivi en sortie de désinfection.

Les performances épuratoires des trois premiers mois de suivi du démonstrateur sont présentées dans les tableaux ci-après.

Tableau 2. Concentrations en polluants majeurs en entrée / sortie du filtre planté aéré et rendements (Moyennes et Ecart-types)

Paramètre	Entrée		Sortie		Rendement Entrée/Sortie	
	Moyenne	Écart Type	Moyenne	Écart Type	Moyenne	Écart Type
MES (mg/L)	367	240,50	17,3	16,2	91%	10%
DCO (mg/L)	909	748,47	50,1	27,9	92%	5%
DBO5 (mg/L)	334,	251,93	17,1	12,3	94%	3%

NTK (mg/L)	49	20,84	11,4	13,0	71%	29%
N-NH4 (mg/L)	11,7	19,27	0,2	0,2	91%	14%
N-NO3 (mg/L)	0,33	0,52	0,1	0,07	20%	18%
NGL (mg/L)	49,71	21,00	8,9	14,2	71%	29%

Tableau 3. Concentrations en germes pathogènes entrée / sortie filtre et sortie UV et rendements (Moyennes et Ecart-types)

Paramètre	**Entrée**		**Sortie**		**UV**		**Rendement Filtre végétalisé**		**Rendement désinfection UV**	
	Moyenne	Écart Type	Moyenne	Écart Type	Moyenne	Écart Type	Moyenne	Écart Type	Moyenne	Écart Type
E.Coli (U. log)	7,5	0,5	3,8	1,5	1,9	0,2	4,7	1,4	1,9	1,5
Coliformes totaux (U. log)	6,0	0,0	4,7	1,0	2,2	0,7	3,0	2,4	2,6	0,5

Les résultats (quasi exclusivement de temps sec depuis la mise en service) montrent de très bonnes performances du démonstrateur sur les premiers mois de fonctionnement malgré une durée de montée en régime d'au moins un mois avec, pour tous les paramètres, un respect des limites de rejet.

Il est tout d'abord intéressant d'observer la forte variabilité de la qualité des eaux usées circulant dans les caniveaux et qui arrivent sur le système avec des écarts types de 42 à 160% de la valeur moyenne pour les paramètres non-microbiologiques alors que les écarts-types des paramètres de sortie sont beaucoup plus réduits, démontrant la robustesse de cette filière. Du point de vue des rendements, on observe un traitement presque complet de la pollution particulaire et organique ainsi qu'une nitrification et dénitrification quasi totale. Le temps de séjours de l'effluent relativement long (2j environ) et les variations des conditions redox au sein du filtre par les séquençages de l'aération offrent les conditions propices à un traitement optimal et performant.

Les teneurs en germes pathogènes quant à elles sont très élevées dans les eaux brutes, démontrant clairement la contamination des eaux de caniveaux par des matières fécales. Cependant, le système d'assainissement végétalisé aéré arrive à lui seul à abattre plus de 4 unités log de contamination (E. Coli), ce qui est un excellent résultat en soi et permet d'obtenir une qualité d'eau adaptée au rejet en milieu naturel. En sortie de désinfection, le faible de taux de contamination assure une eau totalement adaptée à l'irrigation de productions maraîchères selon les recommandations de l'OMS.

En raison de longs délais d'analyse en laboratoire, les analyses de micropolluants ne sont pas encore disponibles. Il est cependant fortement probable qu'une forte partie de ces polluants soient retenus de façon physique lors des processus de filtration liés à la percolation des eaux dans le filtre puisque les polluants métalliques entre autres sont souvent liés ou adsorbés aux matières en suspension.

Enfin, le suivi en saison des pluies (décembre à mars) permettra d'évaluer, à l'instar des filières végétalisées pour la gestion et traitement des rejets urbains de temps de pluie (Molle *et al.* 2014), l'intérêt hydraulique de l'ouvrage offrant une capacité tampon et de débit de restitution limité (prévention du risque inondation) et épuratoire avec des concentrations et temps de séjours plus faibles.

III CONCLUSIONS

Au-delà de l'appropriation par les services techniques de la mairie locale (entretien, maintenance) du démonstrateur d'assainissement végétalisé aéré installé à Madagascar, celui-ci montre ici pleinement sa capacité technique à répondre aux besoins locaux de préservation de la qualité des eaux de surface (risque sanitaire) et de réutilisation par irrigation avec une empreinte foncière réduite. Les performances atteintes jusqu'à présent permettent en effet de respecter la réglementation locale et de produire une eau de qualité suffisante pour permettre son rejet dans le milieu naturel ou encore sa réutilisation en agriculture. Les premiers mois de fonctionnement ont eu lieu en saison sèche et il reste bien entendu à valider les performances en saison des pluies tant hydrauliques qu'épuratoires (rôle gestion hydraulique et de traitement). Les solutions fondées sur la nature représentent ainsi une alternative pertinente d'un point de vue technico-économique pour les pays ne disposant pas encore d'infrastructures de gestion des eaux suffisantes.

IV REMERCIEMENTS

Ce projet s'inscrit dans le cadre du FASEP 1175 Innovation Verte « Grandeur Nature » financé par la DG Trésor, France.

V REFERENCES

Prost-Boucle S., Chiboub A., Séranne L. et Molle P. (2020). - Les filtres plantés de roseaux avec aération forcée - Suivi de la station Rhizosph'air® de Tarcenay (25), publication EPNAC - https://www.epnac.fr/Filieres-de-traitement/Procedes-nouveaux

Molle, P., Liénard, A., Boutin, C., Merlin, G. & Iwema, A. (2005). - How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems.Wat. Sci. Tech. 51 (9), 11–21.

P Molle, J. Fournel, D. Mayer; S. Troesch, F. Clément; E. Brelot, L. Bacot; S. Guillermard, C. De Brito; J.Y. Toussaint, S. Vareilles, S. Ah Leung, G. Lipeme Kouyi, B. Chocat; Sint : D. Esser, (2014). - Guide technique SEGTEUP - Systèmes extensifs pour la gestion et le traitement des eaux urbaines de temps de pluie, www.epnac.fr

Morvannou A., Forquet N., Michel S., Troesch S. et Molle P (2015). - Treatment performances of French constructed wetlands: results from a database collected over the last 30 years, Water Science and Technology, 71.9: 1333-1339