

Évolution spatio-temporelle de la pollution des eaux cressonnières et des eaux usées domestiques dans la commune urbaine d'Antananarivo, Madagascar

Setraniaina ANDRIANIRINA^{1*}, Bruno RAZANAMPARANY¹ et Georgette RAMANANTSIZEHENA²

¹ *Laboratoire de Chimie Minérale (LCM), Facultés des Sciences, Université d'Antananarivo, BP 906, Madagascar*

² *Laboratoire de Physique de la Matière et du Rayonnement (LPMR), Facultés des Sciences, Université d'Antananarivo, BP 906, Madagascar*

* Correspondance, courriel : andrysetra@gmail.com

Résumé

Ce travail porte sur l'étude de l'évolution spatio-temporelle de la pollution des eaux usées domestiques issue de la ville d'Antananarivo, Madagascar. Les cultures dans les bas-fonds de cette zone reçoivent directement des rejets domestiques bruts. Afin d'atteindre les objectifs, une enquête qualitative et des analyses physicochimiques et bactériologiques ont été effectuées à l'ensemble du site, (a) : site 1, (b) : site 2 et (c) : site 3. Ainsi que des suivis pendant douze ans ont été procédées, pour suivre l'évolution temporelle des paramètres indicateurs de pollution. L'analyse descriptive a montré que les eaux de la zone d'intervention subissent des variations physico-chimiques très importantes et contiennent des charges polluantes. Le calcul de coefficient de variation des paramètres température et pH indique qu'elles sont tous inférieurs à 30 %. Celle la turbidité et la conductivité électrique évoluent au cours du temps et dans l'espace, avec un coefficient de variation supérieur à 30 %. La concentration en DBO est de l'ordre de 83 mg/L (2006) tandis qu'en 2017, elle de 225 mg/L. Ce dernier atteint un niveau 4 fois plus élevé que celle de la norme Malagasy fixée à 50 mg/L. De même pour la DCO, elle varie de 175 mg/L (2009) à 530 mg/L (2017) et la teneur en MES oscille de 85 mg/L (2009) à 415 mg/L (2015). L'utilisation des eaux usées domestiques en agriculture est bénéfique pour les cultures par apport en éléments nutritifs. La teneur en charge globale indicateur de pollution (DBO, DCO et MES) intensifient avec le temps. La réutilisation des eaux usées en cressiculture est parfois bénéfique, elles apportent environ 9,44 kg/j/ha d'azote et 3,36 kg/j/ha de phosphore. On observe une concentration importante des pollutions fécales des eaux usées domestiques. La teneur en *Escherichia coli* varie de 86 UFC/ 100 mL à 183 UFC/ 100 mL, ainsi que la teneur en Coliformes totaux est de l'ordre de 61 UFC/ 100 mL à 106 UFC/ 100 mL. A terme, les résultats obtenus ont révélé que la réutilisation des eaux usées domestiques en cressiculture pourrait constituer un risque sanitaire important pour les habitants de la zone. Il est donc indispensable d'effectuer une épuration des rejets domestiques avant de les réutiliser.

Mots-clés : *eau usée domestique, eau cressonnière, pollution, microbiologie, Madagascar.*

Abstract

Spatio-temporal evolution of watercress and domestic wastewater pollution in the urban district of Antananarivo, Madagascar

This work concern the study of the spatio-temporal evolution of wastewater pollution from the city of Antananarivo, Madagascar. Crops in the lowlands of this area are irrigated directly by wastewater domestic. To achieve the objective, a qualitative investigation and physicochemical and bacteriological analyzes were

carried in the site, (a) : site 1, (b) : site 2 and (c) : site 3. During for twelve years, were carried a followed of the evolution indicators of pollution. The descriptive analysis showed that the waters of the intervention zone contain in excess of polluting loads. The coefficient of variation of the temperature and pH parameters indicates there are inferior 30 %. That turbidity and electrical conductivity varied over time and in space, with a coefficient of variation superior 30 %. The concentration of BOD is 83 mg / L (2006) and 225 mg / L (2017) which has reached a level 4 times higher than the Malagasy standard, 50 mg / L. Similarly for COD, it ranges from 175 mg / L (2009) to 530 mg / L (2017) and the MES content ranges from 85 mg / L (2009) to 415 mg / L (2015). The use of domestic wastewater in agriculture is beneficial for nutrient crops. The overall pollutant load content (BOD, COD and MES) increases with time. The reuse of waste water in cressiculture is sometimes beneficial, they provide about 9.44 kg / d / ha of nitrogen and 3.36 kg / d / ha of phosphorus. There is a high concentration of faecal pollution of domestic wastewater. The *Escherichia coli* content ranges from 86 CFU / 100 mL to 183 CFU / 100 mL, and the total coliform content is in the range of 61 CFU / 100 mL to 106 CFU / 100 mL. In the long term, the results obtained revealed that the reuse of domestic wastewater in cressiculture could constitute a significant health risk for the inhabitants of the zone. Finally, the results obtained allow us to say that the reuse of domestic wastewater in cressiculture could constitute a significant health risk for the population. It is essential to treat wastewater before reuse.

Keywords : *domestic wastewater, watercress, pollution, microbiology, Madagascar.*

1. Introduction

Antananarivo, une ville tropicale d'altitude, capitale de Madagascar, possède une large superficie des plaines cultivables. Elle rencontre des problèmes sur la qualité physico-chimique et bactériologiques des eaux d'irrigation, qui sont des eaux usées domestiques et des eaux usées issues des industries textiles. La plupart de ces effluents domestiques bruts sont déversés directement dans les champs de cultures et sont réutilisés comme source d'eau d'irrigation. On observe une évolution négative de la qualité des cressons issus de cette zone. Les cressicultures subissent notamment une pollution de plus en plus importante par les activités journalières des habitants qui vivent aux alentours du site [1]. Elles rejettent directement leurs effluents liquides bruts dans les canaux d'irrigation qui sont acheminés directement vers les champs de cultures. De plus, à Antananarivo, l'agriculture est classée dans la culture dite urbaine. Elle approvisionne la population locale et offre des emplois pour certains ménages (en tant qu'activité familiale). Elle protège la ville contre l'inondation [1]. Cependant, face à une forte urbanisation et industrialisation rapide de la ville, les activités agricoles font face à de nouveaux défis, notamment la destruction des terres cultivables et le déversement des rejets d'eaux usées provenant des activités industrielles et urbaines [2]. La réutilisation agricole des effluents constitue la principale filière de réutilisation des eaux usées à travers le monde. Des études sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées montrent que ces eaux posent souvent des problèmes à l'environnement et à la santé humaine via le cresson produit [3, 4]. Les effluents domestiques contiennent divers agents pathogènes, dont un grand nombre sont capables de survivre dans les milieux récepteurs [5]. Vu l'importance de la pollution des eaux d'irrigation, nous tenterons à travers ce travail d'évaluer et de suivre l'évolution de la qualité physico-chimiques des eaux cressonnières (EC) et des eaux usées domestiques (EU) utilisées en cressicultures de la ville d'Antananarivo, afin de choisir une technique d'épuration adéquate des effluents.

2. Matériel et méthodes

2-1. Cadrage de la zone d'intervention

La zone d'intervention se trouve dans la commune urbaine d'Antananarivo (CUA), capitale de Madagascar. Elle est située dans la région Analamanga. Elle fait partie du régime climatique tropical d'altitude supérieure à 900 mètres. Elle est caractérisée par une température moyenne annuelle inférieure ou égale à 20° C. La zone d'intervention s'étend sur une superficie de 87 Km², avec 1 168 898 habitants et une densité de 13521 habitants/km². Elle se subdivise en six arrondissements bien séparés. La collecte des échantillons est effectuée dans le deuxième et le quatrième arrondissement. Elle est repérée par les coordonnées géographiques latitude 18°56'15.85"S et longitude 47°32'11.43"E. La **Figure 1** présente la zone d'intervention qui a été divisée en trois sites d'études : (a) : site 1, (b) : site 2 et (c) : site 3.

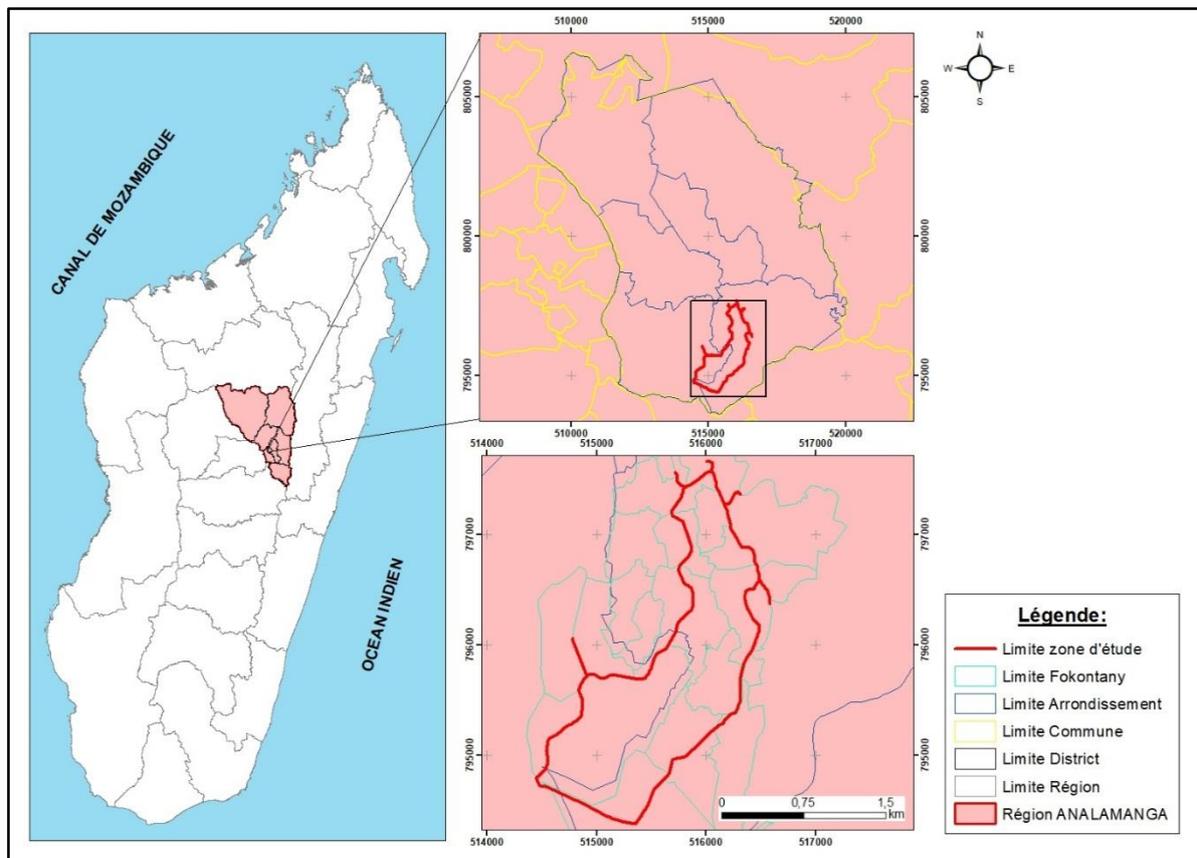


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude

2-2. Prélèvements et analyses des eaux

2-2-1. Prélèvements d'échantillons d'eaux

Les prélèvements d'échantillons d'eaux dans le site d'étude ont été effectués en 2015 et 2017. Vingt échantillons ont été prélevés dans l'ensemble du site, dont 15 échantillons d'eaux cressonnières EC; $1 \leq i \leq 15$ et 05 échantillons d'eaux usées d'irrigation EU; $1 \leq i \leq 5$.

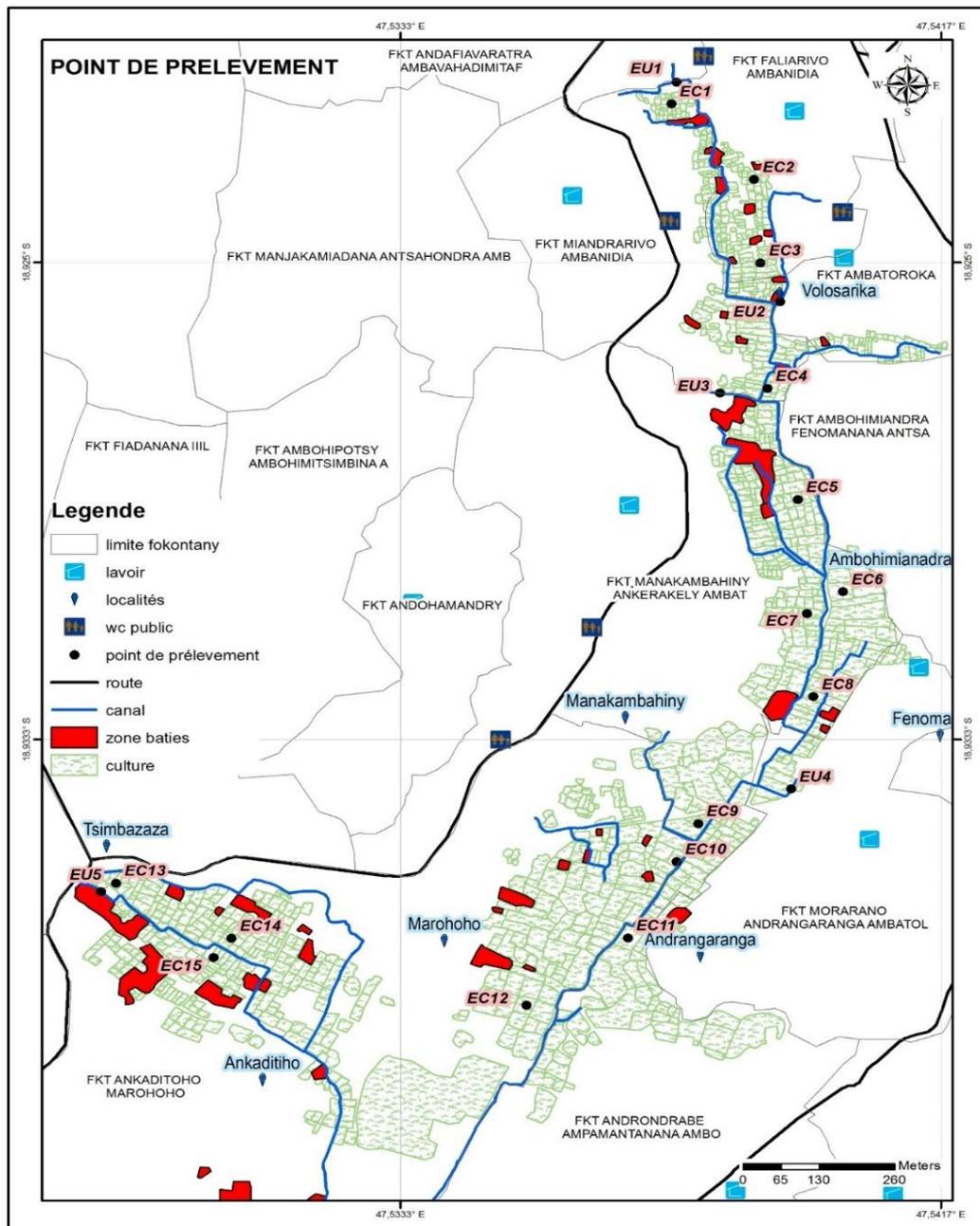


Figure 2 : Localisation des points de prélèvements d'eaux du site
(EC : eaux cressonnière et EU : eaux usées d'irrigation)

2-2-2. Analyses physico-chimiques

Une analyse in-situ des paramètres physiques (pH, CE et Turbidité) des EC et des EU est réalisée une fois par mois de l'année 2017. Les paramètres physico-chimiques sont mesurés à l'aide d'un Kit Wagtech contenant les matériels suivants : le thermomètre pour la température, le pH- mètre pour mesurer le pH, le turbidimètre pour déterminer la turbidité, le conductimètre pour la mesure de la conductivité, et le photomètre Wag-WE10441. Ce kit s'accompagne de quelques réactifs spécifiques pour déterminer les teneurs de quelques entités chimiques. Les éléments majeurs sont mesurés au laboratoire selon les protocoles homologués tels que les composés azotés, les composés phosphatés, la DBO, la DCO, les MES. La connaissance de ces paramètres globaux permet d'estimer les charges polluantes et la toxicité de certains ions de l'effluent qui risquent d'affecter la qualité des milieux récepteurs [6 - 8].

2-2-3. Analyses microbiologiques des eaux

L'analyse bactériologique vise à la recherche des germes suivants : Escherichia coli et coliformes totaux. Le dénombrement des germes pathogènes des eaux usées d'irrigation est déterminé par la méthode de filtration sur membrane [7].

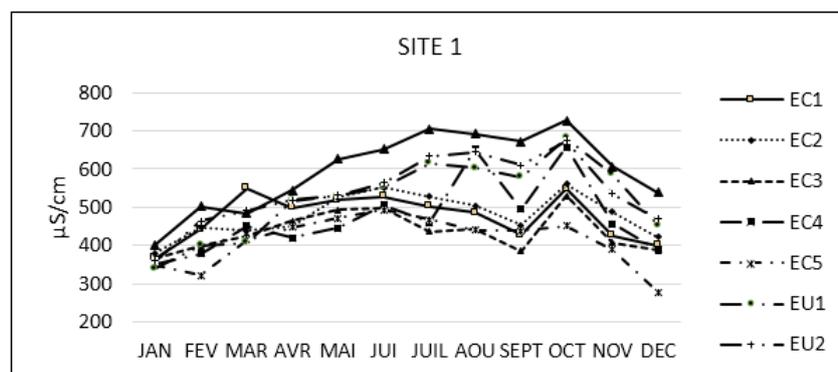
3. Résultats et discussion

3-1. Propriété organoleptique des eaux

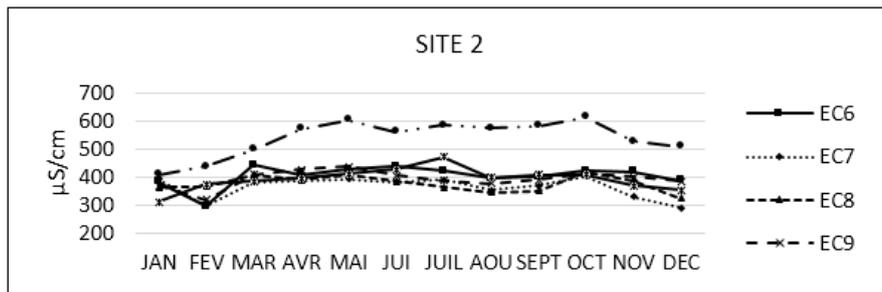
Les visites sur le site d'étude nous ont permis de déterminer les propriétés organoleptiques des eaux usées d'irrigations. D'après [7], l'odeur qui est l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif ; est due aux substances volatiles, aux matières en suspension, à des protozoaires. Les EU domestiques du site ont des odeurs nauséabondes. Les effluents venant des quartiers périphériques, tels que Faliarivo-Ambanidia, Manakambahiny, Volosarika et Marohoho-Tsimbazaza (**Figure 2**), ont de très mauvaises odeurs parce qu'ils viennent, en majorité des eaux de vannes, des rejets issus des marchés et des garages.

3-2. Paramètres physiques

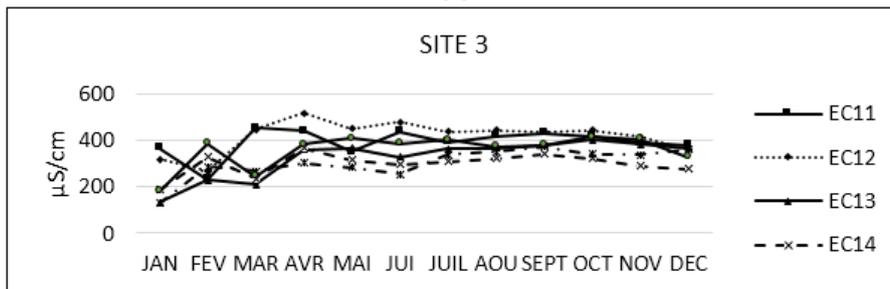
La température est un paramètre important car elle agit sur les propriétés physico-chimiques et les diverses réactions biologiques dans l'eau [6]. La température des EU et des EC varie de 22,7°C à 23,8°C avec une moyenne de 23,3°C ± 1,65°. La température de l'eau est généralement basse. Son coefficient de variation est 2,13 %. Le dernier étant inférieur à 30 %, la variabilité de la température de l'eau est insignifiante. Les valeurs enregistrées sont incluses dans la fourchette des valeurs limites des rejets, qui est inférieur à 30°C [10]. Le pH relevé au cours de cette étude ne montre pas de variations importantes. Le pH des EC et des EU se trouvent respectivement entre 6,86 et 7,44 (moyenne = 7,46 ± 0,71) et 6,50 et 6,83 (moyenne = 6,65 ± 0,42). On remarque que, le pH des échantillons d'eaux usées étudiées est légèrement acide (pH < 7), tandis que les eaux cressonnières présente un pH légèrement alcalins (pH > 7). Le pH des EC présente un taux de variation deux fois plus grand que celui des EU. Son coefficient de variation est de l'ordre de 5,57 %. Cette valeur explique qu'il y a une faible variation spatio-temporelle du pH des eaux cressonnières. En mars 2017, après le passage du cyclone Enawo, les résultats d'analyses des EC et des EU montrent que le pH a augmenté de 0,58 en valeur moyenne. Cette augmentation s'explique par l'évacuation des eaux de ruissèlement vers les eaux des sites d'étude. Cependant le pH varie suivant les points d'échantillonnage et suivant la saison traduisant l'influence des différentes sources de pollution sur les différents points [6]. La **Figure 1** montre la variation mensuelle de la conductivité électrique (CE) et la turbidité des EC et des EU.



(a)



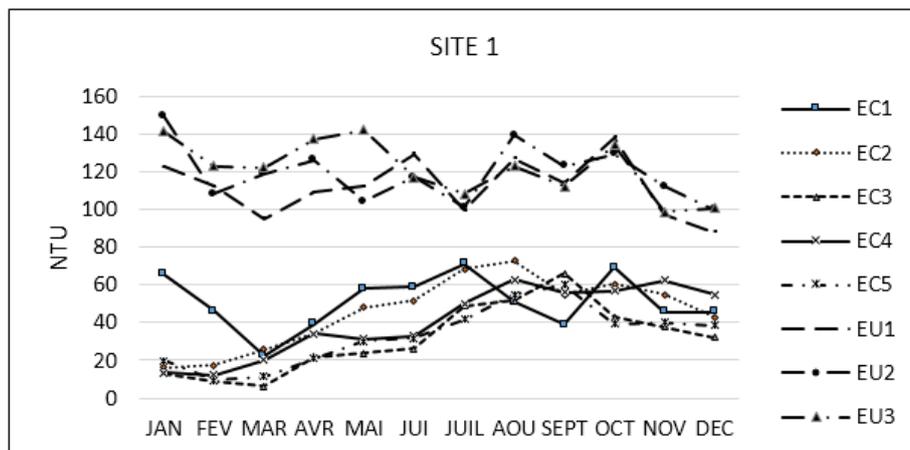
(b)



(c)

Figure 3 : Variation spatio-temporelle (de janvier à décembre 2017) de la conductivité électrique des EC et des EU de la zone étudiée (a) Site 1, (b) Site 2 et (c) Site 3

La salinité de l'eau correspond à la concentration en sels dissous. Elle est exprimée par la valeur de la conductivité électrique dont les ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} sont responsables [7]. Les détergents provenant des eaux de vanes sont les principales sources de sels. En saison de pluie (janvier à mai), la conductivité électrique, des EC et des EU, varie légèrement en fonction du temps et de l'espace. On constate une forte variation spatio-temporelle de ce paramètre a été constatée. La valeur moyenne de la conductivité électrique des EC est de $352,54 \mu\text{S}/\text{cm}$, tandis que celle des EU est de $346,17 \mu\text{S}/\text{cm}$. Les conductivités électriques, mesurées en aval des réseaux d'assainissement, ne sont plus qu'à environ 60 % des valeurs obtenues en amont des canaux. Les polluants sont plus concentrés en amont qu'en aval des canaux. La **Figure 2** présente la variation mensuelle de la turbidité des EC et des EU.



(a)

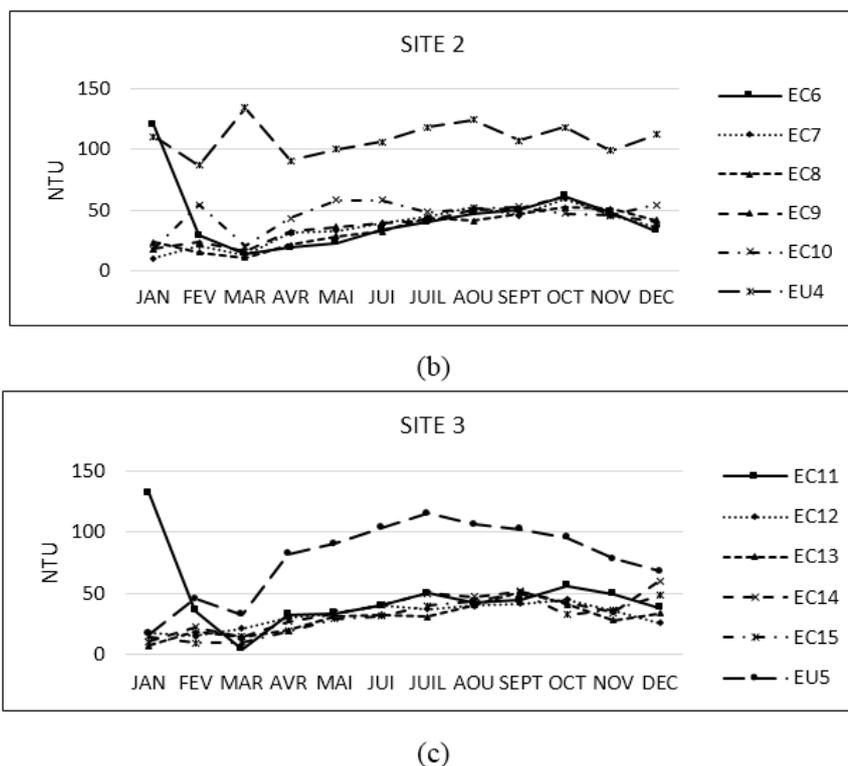


Figure 4 : Variation spatio-temporelle (du janvier à décembre 2017) de la turbidité des EC et des EU de la zone étudiée (a) Site 1, (b) Site 2 et (c) Site 3

Les particules en suspension sont responsables de la turbidité ou de l'opacité de l'eau. La turbidité donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales d'origine minérale ou organique [7]. Pour l'ensemble des sites ((a) : site1, (b) : site 2 et (c) : site 3), la turbidité des EU est assez importante que celle des EC. On remarque que pendant la saison pluvieuse surtout pendant les périodes cycloniques, la turbidité des EC est très importante, avec un pic de 149NTU (EC11). Mais, pendant la saison sèche comme indique la **Figure 4**, la turbidité des EC diminue. Les valeurs importantes sont enregistrées en janvier et en avril pour les eaux cressonnières. Sa valeur moyenne est 30,02NTU (EC) et 65,47NTU (EU) avec un coefficient de variation respectivement égal à 74,5 % et 90 %. Le coefficient de variation montre une forte variation de la turbidité des eaux. Les valeurs élevées de la turbidité pendant la saison de pluies sont dues aux apports en matières en suspensions.

3-3. Charges globales de la pollution

Les paramètres utilisés dans le contrôle de la pollution organique provenant des effluents sont la demande biochimique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO) et les matières en suspensions (MES) [6].

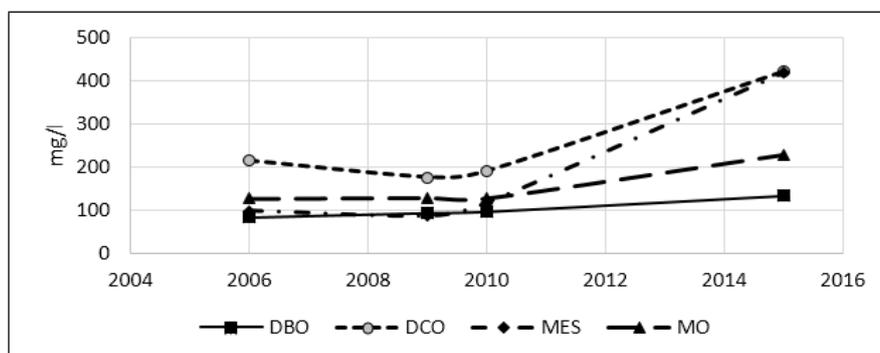


Figure 5 : Variation temporelle de la DBO, de la DCO, de MES et de la MO trouvés dans l'ensemble du site d'étude

La présence de la matière organique dans l'eau indique un véritable facteur de pollution. Les eaux sont de plus en plus polluées. La **Figure 3** montre une forte variation temporelle des paramètres indicateurs de pollution. En général, les teneurs en DBO et en DCO élevées pourraient être expliquées par l'abondance de la matière organique issue des eaux municipales et des eaux de vanes. Les paramètres indicateurs de pollution de l'eau varient selon les sites et la période de prélèvement. La DBO va de 83 mg/L en 2006 à 123 mg/L en 2015. De même, la concentration en DCO varie de 175 mg/L en 2009 à 420 mg/L en 2015. Ces valeurs dépassant les limites admissibles Malagasy, des eaux d'irrigation (DCO < 150 mg/L et DBO < 50 mg/L). Elles désignent l'importance de la charge polluante que ce soit inorganique ou organique des eaux [10]. La teneur en MES varie de 85 mg/L en 2009 à 415 mg/L en 2015. Les valeurs élevées en MES sont probablement liées à la charge en matières minérales à savoir le sable, le limon et l'argile. L'excès en MES pourrait engendrer le colmatage du sol et l'épuisement de l'oxygène dissous dû aux activités bactériennes. [3]. La concentration élevée de ces paramètres justifie l'influence que peuvent avoir les activités anthropiques et la démographie. Les valeurs élevées en DBO, DCO et MES expliquent que le site est de plus en plus pollué par des produits non biodégradables, caractérisés par des matières organiques et inorganiques dissoutes et en suspension [11]. La confrontation de nos résultats obtenus lors des prélèvements effectués sur la zone d'intervention bassin versant de la CUA Rakoto N et Rakotoarisoa M. Ils ont montré que la qualité des eaux de site est très dégradée [3].

3-4. Charges nutritives des eaux

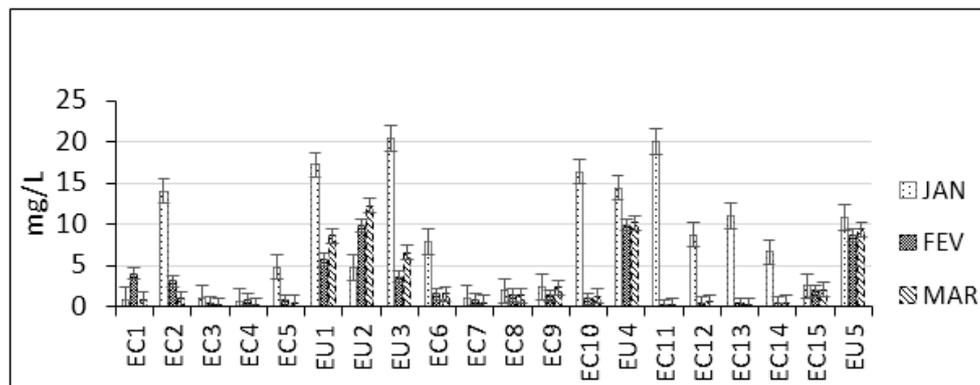


Figure 6 : Variation temporelle de l'azote ammoniacal exprimé en NH_3 -mg/L des EC et des EU trouvés du site d'étude en saison de pluie

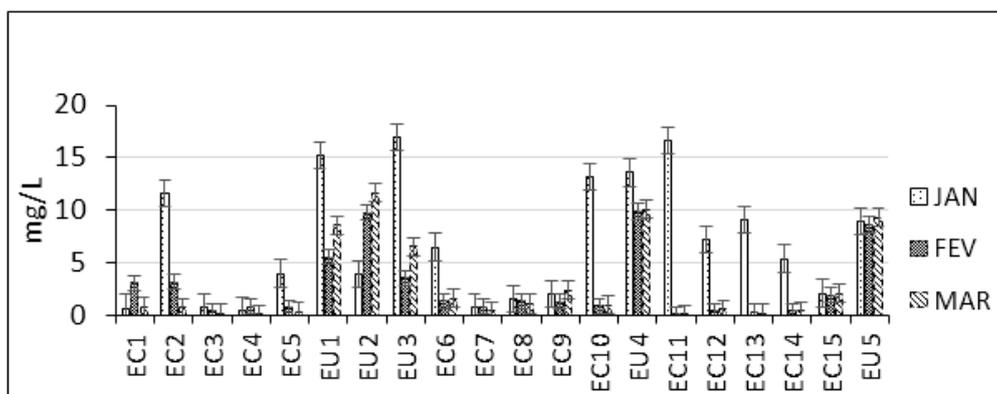


Figure 7 : Variation temporelle de l'azote ammoniacal exprimé en N-mg/L des EC et des EU du le site d'étude en saison de pluie

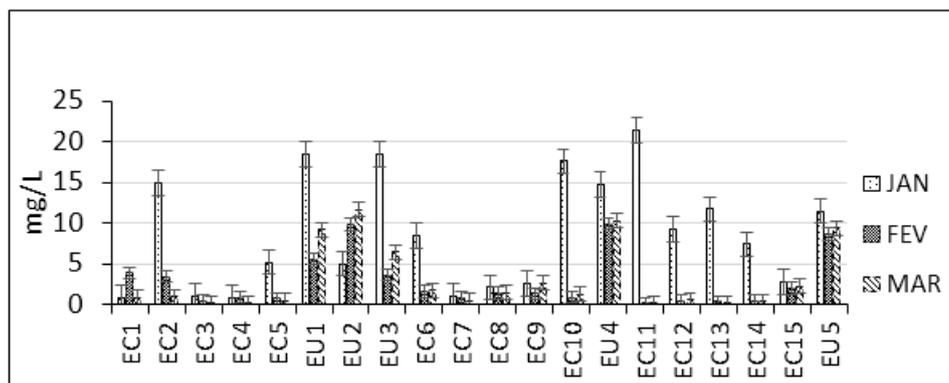


Figure 8 : Variation temporelle de l'azote ammoniacal exprimé en NH_4 -mg/L des EC et des EU du site d'étude en saison de pluie

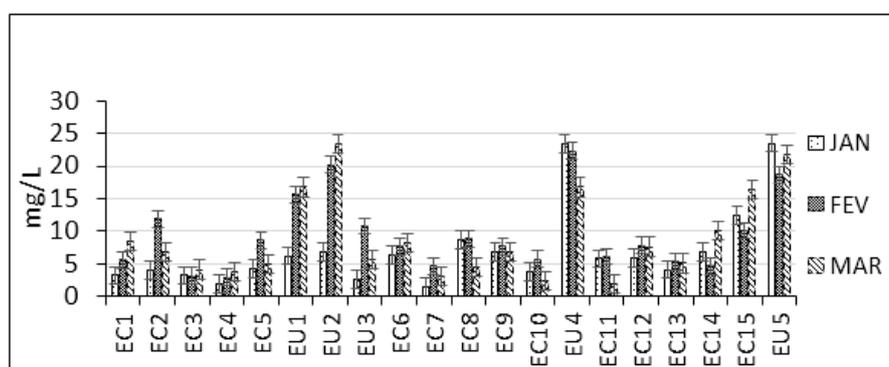


Figure 9 : Variation temporelle de nitrate exprimé en N-mg/L des EC et des EU du site d'étude en saison de pluie

Les composés phosphorés existent dans les eaux usées sous différentes formes à savoir les dérivés organophosphorés, les phosphates hydrosolubles et les orthophosphates solubles [12]. La teneur en composés phosphatés des EC et des EU est très importante. Elle varie de 0,53 mg/L à 2,5 mg/L. Elle est largement supérieure à la norme internationale des rejets (inférieure à 0,94 mg/L) [4]. L'étude montre que la charge élevée des phosphates dans les eaux usées domestiques provient du métabolisme humain, ce qui témoigne la présence de toute source de pollution. Un homme excrète entre 1 et 2 grammes de phosphore par jour [12]. La teneur élevée en EC est due à l'utilisation d'engrais chimique tel que le NPK. L'azote est présent dans les effluents sous différentes formes dissoutes: azote organique (N_{org}), azote ammoniacal, ion ammonium, nitrate, nitrite. La somme des concentrations d'azote sous l'ensemble des diverses formes donne l'azote total (N) [13]. Les résultats obtenus montrent que les teneurs en nitrites dans les eaux usées d'irrigation et dans les eaux cressonnières sont très faibles. Les valeurs se situent entre 0,04 mg/L et 0,26 mg/L. Les nitrites proviennent : soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque où la nitrification n'était pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant à des températures assez élevées. La faible concentration en nitrites mesurée dans les effluents domestiques pourrait être expliquée par le fait que l'ion NO_2^- est un composé intermédiaire, instable en présence de l'oxygène, dont la concentration est généralement très inférieure à celle des deux formes qui lui sont liées, l'ion nitrate et ammonium [14]. Les composés azotés sous formes $N-NH_3$, $N-NH_4$, $N-NO_2$, trouvés en mois de janvier 2017, sont élevés par rapport aux résultats obtenus en mois de février et en mois de mars 2017. Les résultats montrent une forte variation de la teneur en composés azotés des EC et EU. Pour le cas de EC2, la concentration en $N-NH_3$ est de l'ordre de 14 mg/L (janvier) ; 3,1 mg/L (février) et 0,9 mg/L (mars). Les eaux de la zone d'étude présente un minima de 0,1 mg/L $N-NH_3$ (EC4 : mars) et un maxima de 20 mg/L $N-NH_3$ (EC11 : janvier).

On observe une forte concentration de l'azote ammoniacale des EU, avec un pic de 24 mg/L. Cette dernière serait liée à la pollution d'origine anthropique (déchets domestiques, eaux usées) qui s'ajouterait à la dégradation partielle des matières organiques contenues dans l'eau [16]. En ce qui concerne l'utilisation des eaux usées domestiques en agriculture, elle est bénéfique pour les cultures en apportant des éléments nutritifs pour la croissance des cultures. Cette étude, montre que les rejets domestiques ont apporté environ 9,44 kg/j/ha d'azote et 3,36 kg/j/ha de phosphore. Cependant, les impacts négatifs se font ressentir essentiellement sur la qualité des produits [11, 17].

3-5. Étude des paramètres bactériologiques

Un dénombrement des bactéries fécales dans les EC et des EU a été faites afin de caractériser la qualité microbiologique de ces eaux. Les résultats relatifs aux variations spatiales des concentrations en germes totaux, en indicateurs de pollution fécale sont présentés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Valeurs des paramètres bactériologiques étudiés

Points de prélèvements		<i>Escherichia coli</i> (UFC/ 100 mL)	<i>Coliformes totaux</i> (UFC/100 mL)
(a) site 1	EC1	24	22
	EC2	36	20
	EC3	18	21
	EC4	27	16
	EC5	22	14
	EU1	143	106
	EU2	97	72
	EU3	130	102
(b) site 2	EC6	19	8
	EC7	12	6
	EC8	27	15
	EC9	37	19
	EC10	32	21
	EU4	104	76
(c) site 3	EC11	11	8
	EC12	17	5
	EC13	15	10
	EC14	24	12
	EC15	26	19
	EU5	86	61

Le dénombrement des indicateurs de pollution fécale montre que les eaux analysées sont colonisées par les *Escherichia coli* et les coliformes. Les eaux usées d'irrigation contiennent beaucoup plus des germes indicateurs de pollution face aux eaux cressonnières. La concentration en *Escherichia coli* des EU oscille entre 86 à 143 UFC/ 100 mL, tandis que les EC ne contiennent qu'environ de 11 à 36 UFC/ 100 mL *Escherichia coli*. La teneur coliformes totaux varie de 61 à 106 UFC/ 100 mL (EU) et 6 à 22 UFC/ 100 mL pour les EC. Les eaux

usées domestiques réutilisé en cressiculture issu de ce site contiennent donc une importante bactérie. Ce dernier contamine les cultures et dégrade la qualité du produit. Les fortes concentrations en *Escherichia coli* et en coliforme totaux dans l'eau observées aux points EU1, EU2, EU3 sont probablement les conséquences respectives des rejets des eaux des égouts issu du marché d'Ambanidia située aux abords du champ de culture, des rejets des égouts des lavoirs publiques et enfin de la collecte des eaux provenant des hautes ville comme indique la *carte 2* [10]. La concentration moyenne en *Escherichia coli* des EC est de l'ordre de 23 UFC/100 mL, tandis que la teneur moyenne en coliforme totaux est 14 UFC/100 mL. On constate une diminution des concentrations en germes indicateurs de pollution des EC face aux EU. Cette variation confirme le caractère auto épurateur des cressonnières [3].

4. Conclusion

L'analyse des échantillons d'eau prélevés dans la commune urbaine d'Antananarivo Madagascar, nous conduit à dire que les eaux sont fortement polluées. Notre étude nous permet de conclure que les eaux d'irrigation du site sont de nature domestique biodégradable. Elles deviennent de plus en plus polluées dans le temps et dans l'espace. Le pH des eaux usées sont acides ($\text{pH} < 7$). Une forte variation de la conductivité électrique et de la turbidité a été constatée au cours de cette étude, avec un coefficient de variation supérieurs à 30 %. La teneur en matière organique reste élevée et peut ainsi perturber le développement de la vie aquatique. La teneur en polluants dans les rejets montre que les eaux d'irrigations ne respectent ni les normes malagasy ni les normes des Nation Unies. Les eaux hébergent également des fortes densités de bactéries fécales. Les sources de pollution sont pour la plupart d'origine anthropique et les concentrations obtenues supérieures aux normes internationales. Afin d'éliminer les risques écologiques et sanitaires engendrés par le rejet des eaux usées à l'état brut aux milieux récepteurs, il est impératif d'épurer par des plantes aquatiques les effluents.

Références

- [1] - M. H. DABAT, C. AUBRY et J. RAMAMONJISOA, Agriculture urbaine et gestion durable de l'espace d'Antananarivo. *La revue.org en économie Rural*, (2006) 294 - 295
- [2] - P. A. C. POURIAS, L'agriculture urbaine fait déjà partie du métabolisme urbain, (2013) 145 p.
- [3] - N. RAKOTO, Etude des cressonnières des bas-fonds de la ville d'Antananarivo: milieu épurateur des eaux usées et support d'une culture exigeante. Thèse de doctorat, Chimie de l'environnement. Université d'Antananarivo, (2010) 205 p.
- [4] - M. H. DABAT, B. ANDRIANARISOA, C. AUBRY, E. F. RAVONIARISOA, H. RANDRIANASOLO, N. RAKOTO, S. SARTER, S. TRECHE, Production de cresson à haut risque dans les bas-fonds d'Antananarivo, *La revue en sciences de l'environnement - Vertigo*, Vol. 10, N°2 (2010)
- [5] - OMS, Utilisation des eaux usées en agriculture, (2012) 254 p.
- [6] - C. AUBRY, L'agriculture à Antananarivo (Madagascar) : une approche interdisciplinaire. *Nature Sciences Sociétés*, (2008)
- [7] - E. AGUIZA ABAI et al., Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des cours d'eau de Ngaoundéré, au Cameroun, *Afrique Science*, 10 (4) (2014) 135 - 145
- [8] - J. RODIER, Analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Edition Dunod, Paris, (2009) 1384 p.
- [9] - M. L. BELGHITI, A. CHAHLAOUI, D. BENGOUIMI et R. EL MOUSTAINE, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc). *Larhyss Journal*, 14 (2013) 21 - 36

- [10] - D. CRISP, Input and output of minerals for a small watercress bed fed by chalk water. *Journal of Applied Ecology*, 7 (1970) 117 - 140
- [11] - Ministère de l'Environnement, Classification des eaux de surface et réglementation des rejets d'effluents liquides. Madagascar, (2003)
- [12] - M. RAKOTOARISOA, Caractéristiques des eaux usées de la vallée d'Ambanidia. Mémoire du Diplôme d'étude Approfondies, Chimie de l'environnement. Université d'Antananarivo, (2010) 76 p.
- [13] - J. RODIER, L'analyse de l'eau naturelle, eau résiduaires, eau de mer, 8ème Edition, Dénod. Paris, (1996) 1383 p.
- [14] - OMS, L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à avisées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé. Série de rapports techniques, OMS, Genève, Suisse, N° 778 (1989)
- [15] - A. RICHERT, Conseils pratiques pour l'utilisation de l'urine en production agricole. Stockholm Environment Institute, (2011) 73 p.
- [16] - C. HAJJI, A. BENDOU et M. HASSOU, Caractérisation des rejets liquides d'une unité de réparation navale à Agadir, *Revue Internationale d'Héliotechnique*, 45 (2013)
- [17] - W. HOEK, F. KONRADSEN & W. A. JEHANGIR, Domestic Use of Irrigation Water : Health Hazard or Opportunity? *Water Resources Development*, 15 (1999) 1 - 2
- [18] - A. YOUSSEF, A. ALI, A. SAAD, D. HAJAR, E. KHADIJA, et B. DRISS, Caractérisation physico-chimique des eaux usées de la ville d'Azilal Maroc, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 11, N° (2015) 556 - 566 p.