



AGETIPA

Agence d'Exécution des Travaux d'Intérêt Public et d'Aménagement



REPUBLIKAN'I MADAGASIKARA

Fitiavana - Tanindrazana - Fandrosoana



AFD

Ces rapports ont été réalisés
avec l'appui financier
de l'Agence Française
de Développement
et de l'Union Européenne

Mission de Maîtrise d'œuvre pour le programme intégré d'assainissement d'Antananarivo (PIAA)

Tranche conditionnelle

Activité 6 : Diagnostic qualitatif et sectorisation thématique

Fascicule 5 : Thématique transversale

État des lieux sur les aspects agricoles



Juin 2018

BRL
Ingénierie



BRL
Madagascar



HYDROCONSEIL
Ingénieur-conseil : eau potable,
environnement, services publics



URBA
consulting
Développement
urbain et municipal

	Mandataire : BRL ingénierie 1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001 30001 NIMES CEDEX 5
Cotraitants : 	 

Date de création du document	26/03/2018
Contact	David FERNANDEZ

Titre du document	Tranche conditionnelle Activité 6 : Diagnostic qualitatif et sectorisation thématique Fascicule 5 : Activité transversale - Agriculture
Référence du document :	A00011_PIAA_rapport_A6_fascicule5_v3
Indice :	V3

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
03/04/2018	V1		D. Olivier	D. Marty
27/04/2018	V2		D. Olivier	D. Marty D. Fernandez
20/06/2018	V3	Reprise suite aux remarques	D. Olivier	D. Fernandez

MISSION DE MAÎTRISE D'ŒUVRE POUR LE PROGRAMME INTÉGRÉ D'ASSAINISSEMENT D'ANTANANARIVO (PIAA)

Tranche conditionnelle Activité 6 : Diagnostic qualitatif et sectorisation thématique

Fascicule 5 : Activité transversale - Agriculture

PREAMBULE	1
1. GENERALITES	3
1.1 Contexte	3
1.2 Présentation de la prestation	3
1.3 La qualité de l'eau pour l'irrigation	4
1.4 La réutilisation des eaux usées en irrigation	5
1.5 La réglementation malgache	9
2. L'AGRICULTURE URBAINE A ANTANANARIVO	11
2.1 Localisation, surface et type de culture	11
2.1.1 Les cressonnières du centre-ville	15
2.1.2 Les plaines rizicoles	19
2.1.3 Les zones agricoles mixant le cresson, le maraîchage et le riz	20
2.2 Fonctionnement hydraulique – systèmes d'irrigation	21
2.3 Importance socioéconomique	23
2.3.1 Volume produit, rentabilité et emplois	23
2.3.2 Les marchés agricoles	25
2.4 Impact de l'urbanisation sur l'agriculture	25
3. PRINCIPAUX ENJEUX	29
3.1 Sécurité alimentaire	29
3.2 Social et économique	30
3.3 Gestion de l'eau : protection contre les inondations et assainissement	31
3.3.1 Des zones tampons pour le stockage de l'eau et la limitation des inondations	31
3.3.2 Le rôle épurateur des parcelles agricoles	32
3.4 Santé publique	40
3.5 Protection de l'environnement	44
4. QUE FAUT-IL RETENIR ?.....	47

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Exemple de canal drainant des eaux usées et utilisé pour l'irrigation à Antananarivo	4
Figure 2 : Carte des zones cultivées dans la CUA en 2016	13
Figure 3 : Vue aérienne des cressonnières. Quartier d'Ambodirotra	15
Figure 4 : caractéristiques des cressonnières de centre ville : localisation, système de culture, type d'irrigation, nombre de propriétaires (Données : Qualisann, 2008)	17
Figure 5 : Localisation des sites de cressonnières (Qualisann, 2008)	18
Figure 6 : Plaine rizicole entre le boulevard de la francophonie et le canal GR	20
Figure 7 : Localisation des principaux canaux dans la Plaine	22
Figure 8 : Urbanisation des zones agricoles dans la CUA entre 2002 et 2016	26
Figure 9 : Comparaison images satellites 2002 et 2017	27
Figure 10 : Les zones agricoles jouent un rôle hydraulique majeur pour la protection de la plaine urbanisée contre les inondations	31
Figure 11 : Part de la superficie de cresson dans la CUA selon la provenance de l'eau (Source : Qualisann, 2008)	32
Figure 12 : Les cressonnières sont alimentées pour partie par des canaux de drainage : (Source : carte du réseau d'assainissement de la CUA	33
Figure 13 : Système d'irrigation des cressonnières au sud de Tsimbazaza	34
Figure 14 : Analyse des eaux usées brutes sur la cressonnière d'Andravohangy entre 2007 et 2010 (source : M. RAZAFINTSALAMA, RAKOTONDRAIBE, J., 2014)	35
Figure 15 : Evolution des paramètres physico-chimiques du sol sur la cressonnière d'Andravohangy entre 2007 et 2010 (source : M. RAZAFINTSALAMA, RAKOTONDRAIBE, J., 2014)	37
Figure 16 : Qualité des eaux d'irrigation sur trois sites de cressonnières (Dabat et al., 2012)	37
Figure 17 : Mise en évidence du rôle épurateur des cressonnières pour la matière organique, l'azote ammoniacal, et le phosphore (Source : Dabat et al., 2012)	38
Figure 18 : Paramètres de qualité de l'eau en entrée et sortie des cressonnières d'Andravohangy (source : M. RAZAFINTSALAMA, RAKOTONDRAIBE, J., 2014)	38
Figure 19 : Concentration en métaux dans les cressons des parcelles analysées par l'étude (Source : RAKOTOMALALA Iriela, 2006)	41
Figure 20 : Produits phytosanitaires et dosages utilisés dans les cressonnières de la CUA (Source : Enquête agro-géographie Qualisann, 2008)	41
Figure 21 : Analyse des résidus de 6 pesticides dans les cressons des parcelles étudiées (Source : RAKOTOMALALA Iriela, 2006)	42
Figure 22 : résultats des tests microbiologiques sur les quartiers Ambohimirary, Ankadindramamy, 67 hectares sud et Ambatokaranan (Qualisann, 2008)	43
Figure 23 : tests microbiologiques réalisés sur du cresson consommé au niveau des ménages (Dabat et al., 2012)	43
Figure 24 : Zone envahie par la jacinthe d'eau et les détritux	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Guideline pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation.....	4
Tableau 2 : Exemples des différents types de dangers associés à l'utilisation des eaux usées en agriculture dans les pays en développement	6
Tableau 3 : Paramètres pour le recyclage de l'eau avec la signification agronomique	7
Tableau 4 : Réduction des pathogènes réalisables grâce à des mesures choisies de protection de la santé.....	8
Tableau 5 : Eléments bibliographique sur la qualité de l'eau en zone agricole	36

PREAMBULE

Ce document présente les aspects agricoles du rapport global de diagnostic (activité 6) de la tranche conditionnelle du Programme Intégré d'Assainissement d'Antananarivo (PIAA).

Il est structuré comme suit :

Chapitre I : Rappel du contexte général dans le domaine de l'irrigation et la réutilisation des eaux usées, et des objectifs de la prestation

Chapitre II : Présentation du contexte de l'agriculture sur le périmètre de la Communauté Urbaine d'Antananarivo (CUA)

Chapitre III : Présentation des principaux enjeux du point de vu alimentaire, économique et social, environnemental et de la santé

Chapitre IV : Synthèse des éléments marquants Ce document traite d'un thème transversal qui a pour vocation de venir alimenter les données et réflexions des thèmes principaux qui sont les eaux pluviales, les eaux usées et les excréta.

1. GENERALITES

1.1 CONTEXTE

Capitale d'altitude située au centre du pays, l'agglomération d'Antananarivo est installée au cœur de la région la plus peuplée de l'île dans un site difficile : une grande plaine alluviale, parcourue de collines et ceinturée par 3 fleuves avec un exutoire très étroit ce qui entraîne des inondations fréquentes de la plaine. L'habitat est traditionnellement situé en hauteur, sur les collines, et les vallons et plaines sont réservés à l'activité rizicole. L'installation progressive en plaine a été soumise à des conditions hydrauliques très contraignantes.

Dans l'agglomération d'Antananarivo, l'agriculture est au cœur du système urbain d'un point de vue géographique et spatial. En 2016, dans la commune urbaine d'Antananarivo, commune contenant l'ultra-centre et subissant la plus forte pression démographique, les surfaces agricoles représentent encore plus de 30 % de la surface totale et sont fortement imbriquées dans le tissu urbain.

Les terres cultivables persistent au Nord/Nord-Ouest de la ville, plus légèrement à l'Ouest. Quelques grandes surfaces cultivables sont également visibles dans le Sud du territoire (plaine alluviale du Betsimitatratra), ayant, en plus de son poids économique, une forte dimension historique, symbolique et culturelle pour la ville et ses habitants.

1.2 PRESENTATION DE LA PRESTATION

Cette note concerne l'activité 6 « *Diagnostic qualitatif et sectorisation thématique* » et traite du secteur « *Agriculture* ».

La prestation a été réalisée par Dominique OLIVIER, ingénieur agronome spécialisé en agriculture tropicale et possédant une expérience internationale dans le domaine de la Réutilisation des Eaux Usées pour l'irrigation.

Les objectifs de la prestation étaient de :

- cartographier les zones agricoles,
- caractériser les productions agricoles,
- analyser le lien entre eaux usées et irrigation,
- identifier les enjeux concernant les eaux usées pour l'irrigation dans la CUA,
- faire une analyse des possibilités d'épandage des boues si des stations d'épuration sont envisagées,
- proposer des recommandations.

La méthodologie a été la suivante :

- travail préparatoire bibliographique avant déplacement sur site,
- mission de terrain en mars 2018 pour rencontrer les parties prenantes, réaliser des entretiens ciblés et visiter les zones concernées.
- Rédaction du rapport.

1.3 LA QUALITE DE L'EAU POUR L'IRRIGATION

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation. Par exemple, l'irrigation avec une eau salée va provoquer une destruction de la structure du sol qui va impacter négativement les cultures.

La qualité de l'eau d'irrigation peut être mieux déterminée par une analyse chimique en laboratoire. Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants : pH, Risque de Salinité, Risque de Sodium (Degré d'Adsorption du Sodium ou SAR), Carbonate et bicarbonates en relation avec les teneurs en Ca & Mg, Autres traces d'éléments, Anions toxiques, Aliments, Chlore libre.

Figure 1 : Exemple de canal drainant des eaux usées et utilisé pour l'irrigation à Antananarivo



Le tableau suivant présente un guideline pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation.

Tableau 1 : Guideline pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation

Problème potentiel pour l'irrigation		Unités	Degré de restriction d'usage		
			Aucun	Peu à modéré	Sévère
Salinité					
Ecw		dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
or					
TDS		mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltration					
SAR = 0 - 3 and ECw			> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
	3 -6		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
	6-12		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
	12-20		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
	20-40		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicité ion spécifique					
Sodium (Na)					
	Surface irrigation	SAR	< 3	3 - 9	> 9
	Sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	

Problème potentiel pour l'irrigation		Unités	Degré de restriction d'usage		
			Aucun	Peu à modéré	Sévère
Chlore (Cl)					
	Surface irrigation	me/l	< 4	4 - 10	> 10
	Sprinkler irrigation	m3/l	< 3	> 3	
Bore (B)		mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Effets divers					
Azote (NO3-N) ³		mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonate (HCO ₃)		me/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH		Normal 6.5 - 8			

Source : FAO (1985)
 Ecw signifie conductivité électrique en deciSiemens par mètre à 25°C
 SAR = Sodium Adsorption Ratio

1.4 LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

Les eaux usées, les excréta et les eaux ménagères sont de plus en plus utilisés en agriculture et en aquaculture dans les pays en développement comme dans les pays industrialisés.

Les principales justifications de cet usage accru sont :

- la rareté grandissante de l'eau, ce qui suscite par ailleurs des tensions croissantes;
- la croissance démographique et par conséquent la croissance des besoins. A noter que cette croissance démographique s'accompagne généralement d'un accroissement de la pollution environnementale dû à une élimination inappropriée des eaux usées ;
- la reconnaissance de la valeur en tant que ressource des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères.

La croissance démographique accroît à la fois la demande en eau douce et la quantité de déchets rejetée dans l'environnement, d'où une plus forte pollution des sources naturelles d'eau. L'utilisation des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères en agriculture et en aquaculture peut jouer le rôle de traitement peu onéreux, augmentant la production alimentaire au bénéfice des populations urbaines et périurbaines en développement. L'agriculture fera de plus en plus appel à ces rejets dans les zones urbaines et périurbaines, car c'est là qu'ils sont générés et disponibles et que la demande alimentaire est la plus forte.

Les eaux usées, les excréta et les eaux ménagères fournissent souvent **des sources d'eau fiables (d'un point de vue quantitatif) tout au long de l'année** et contiennent **les nutriments nécessaires à la croissance des végétaux et des poissons**. L'irrigation par des eaux usées peut dans la plupart des cas fournir tous les nutriments requis pour le développement des cultures. La valeur de ces substances est depuis longtemps reconnue par les agriculteurs du monde entier. **Leur utilisation directe en agriculture ou en aquaculture est une forme de recyclage de l'eau et des nutriments** et réduit souvent les impacts environnementaux en aval sur les ressources en eau et le sol, ainsi que les éventuels effets préjudiciables sur la santé des populations vivant en aval. Ces ressources en eau et en nutriments aident les gens à obtenir davantage de récoltes alimentaires, sans le coût d'un apport supplémentaire d'engrais. La fiabilité de ces approvisionnements en eau permet de pratiquer des cultures tout au long de l'année sous les climats chauds. Ces approvisionnements représentent aussi un actif important dans les cas où le changement climatique entraîne des évolutions conséquentes des schémas de précipitations. L'utilisation des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères constituera une composante importante des stratégies de réponse au changement climatique dans les zones touchées.

Les risques pour la santé les plus étudiés dans le cadre de l'utilisation des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères sont ceux associés aux maladies infectieuses liées aux excréta. Les données sont moins abondantes concernant la propagation des maladies à transmission vectorielle et de la schistosomiase par le biais d'activités de réutilisation. La planification et le développement des projets d'utilisation d'eaux usées, d'excréta ou d'eaux ménagères en agriculture ou en aquaculture doivent comprendre une évaluation de l'impact sanitaire ou environnemental, accompagnée d'une solide composante santé publique. L'évaluation d'impact de ces projets doit notamment comprendre l'identification des groupes vulnérables. Trois groupes différents sont particulièrement exposés aux risques découlant des activités agricoles ou aquacoles utilisant des eaux usées, des excréta ou des eaux ménagères :

- **les travailleurs agricoles ou aquacoles** (et leurs familles, si tous les membres participent à ces activités ou vivent sur les lieux où elles se déroulent) ;
- **les collectivités locales vivant à proximité de ces activités**, ainsi que les personnes ayant par ailleurs des contacts avec les champs, les étendues d'eau, les eaux usées, les excréta, les eaux ménagères ou les produits contaminés ;
- **les consommateurs** des produits.

Tableau 2 : Exemples des différents types de dangers associés à l'utilisation des eaux usées en agriculture dans les pays en développement

Danger	Chemin d'exposition	Importance relative
Pathogènes associés aux excréta		
Bactéries (E. coli, Vibrio cholerae, Salmonella spp., Shigella spp.)	Contact, consommation	Faible - Elevée
Helminthes		
Transmis par le sol (Ascaris, ankylostomes, Taenia spp.)	Contact, consommation	Faible - Elevée
Schistosoma spp.	Contact	Nulle - Elevée
Protozoaires (Giardia intestinalis, Cryptosporidium, Entamoeba spp.)	Contact, consommation	Faible - Moyenne
Virus (hépatite A et E, adénovirus, rotavirus, norovirus)	Contact, consommation	Faible - Elevée
Irritants et infections cutanées	Contact	Moyenne - Elevée
Pathogènes à transmission vectorielle (Filaria spp., virus de l'encéphalite japonaise, Plasmodium spp.)	Contact avec le vecteur	Nulle - moyenne
Produits chimiques		
Métaux lourds (Arsenic, cadmium, plomb, mercure...)	Consommation	Généralement faible
Hydrocarbures halogénés (dioxine, furanes, BPC)	Consommation	Faible
Pesticides (aldrine, DDT)	Contact, consommation	Faible

Tableau adapté des données de l'OMS (2006)

Le tableau suivant présente les normes pour le recyclage de l'eau.

Tableau 3 : Paramètres pour le recyclage de l'eau avec la signification agronomique

Paramètre	Signification pour l'irrigation avec de l'eau réutilisé	Gamme dans les effluents	But du traitement de l'eau réutilisée
Solides en Suspension Turbidité	Des mesures de particules peuvent être liées à la pollution microbienne : elles peuvent perturber la désinfection, obstruer des systèmes d'irrigation ou générer des dépôts.	5-50 mg/L	<5-35 TSS/L
		1-30 NTU	<0.2-35 NTU
BOD5 COD	Substrat organique pour la croissance microbienne ; peut apporter l'encrassement microbien et le redéveloppement bactérien dans les systèmes de distribution.	10-30 mg/L	<5-45 mgBOD/L
		50-150 mg/L	<20-200 mgCOD/L
Coliformes totaux	Mesure du risque d'infection due à la présence potentielle de microbes pathogènes; peuvent apporter un bio-encrassement des arroseuses et des becs dans les systèmes d'irrigation.	<10-107cfu/100mL	<1-200 cfu/10mL
Métaux lourds	Certains sels de minerais dissous sont identifiés comme aliments et sont salutaires pour la croissance de plantes, alors que d'autres peuvent être phytotoxiques ou peuvent le devenir à concentration élevée. Les éléments spécifiques (Cd, Ni, Hg, Zn, etc.) sont toxiques pour les récoltes, et des limites maximum de concentration existent pour l'irrigation.		< 0.001 mgHg/L <0.01 mgCd/L <0.02-0.1 mgNi/L
Inorganique	La salinité élevée et le bore sont nocifs pour l'irrigation de certaines récoltes sensibles.		<450-4000 mgTDS/L <1mgB/L
Chlore résiduel	Recommandé pour empêcher le développement bactérien ; la quantité excessive de chlore libre (> 0.05mg/L) peut endommager certaines récoltes sensibles.		0.5-> 5mgCl/L
Azote	Engrais pour irrigation ; peut contribuer à la croissance des algues et à l'eutrophisation dans des réservoirs de stockage, la corrosion (N-NH ₄), ou la formation de tartre (P).	10-30 mgN/L	<10-15 mgN/L
Phosphore		0.1-30 mgP/L	<0.1-2 mgP/L

Source: Valentina Lazarova Akiçca Bahri: Water Reuse for irrigation: agriculture, landscapes, and turf grass; CRC Press.

Les directives de 2006 de l'OMS font des recommandations :

- Pour protéger la santé de ceux qui travaillent dans les champs irrigués avec des eaux usées contre des risques excessifs d'infections virales, bactériennes et protozoaires, il devrait y avoir une réduction de trois à quatre unités logarithmiques de pathogènes, à atteindre par le traitement des eaux usées.
- Pour protéger la santé de ceux qui consomment des cultures vivrières irriguées avec des eaux usées contre des risques excessifs d'infection virales, bactériennes et protozoaires, il devrait y avoir une réduction de six à sept unités logarithmiques de pathogènes, à atteindre par le traitement des eaux usées, alliée à des mesures de contrôle post-traitement pour la protection de la santé offrant ensemble une réduction supplémentaire de deux à quatre unités logarithmiques de pathogènes.
- Pour protéger la santé de ceux qui travaillent dans les champs irrigués avec des eaux usées et ceux qui consomment des cultures vivrières irriguées avec des eaux usées contre les risques excessifs d'infections helminthiques, les eaux usées traitées devraient contenir ≤ 1 œuf de nématode intestinal humain par litre.

Le tableau suivant présente des mesures permettant une réduction des risques.

Tableau 4 : Réduction des pathogènes réalisables grâce à des mesures choisies de protection de la santé

Mesure de contrôle	Réduction (unités logarithmiques)	Commentaires
Traitement des eaux usées (primaire + secondaire)	1 à 4	Réduction généralement réalisée grâce au traitement des eaux usées selon le type et la fonctionnalité du système de traitement.
Irrigation au goutte à goutte utilisée pour : les cultures à pousse basse	2	Les plantes racines et les cultures comme la laitue, qui poussent juste au-dessus du sol, tout en étant partiellement en contact avec lui.
Cultures à pousse élevée	4	Les cultures comme les tomates, les arbres fruitiers et les sections récoltées qui ne sont pas en contact avec le sol.
Mortalité massive des pathogènes	0,5 à 2 par jour	La mortalité massive des surfaces des cultures qui a lieu entre la dernière irrigation et la consommation. La réduction des unités logarithmiques dépend du climat (la température, l'intensité du soleil, l'humidité), du temps, du type de culture, etc.
Lavage des produits avec de l'eau	1	Laver la laitue, les légumes et les fruits avec de l'eau propre.
Désinfection des produits	2-3	Laver la laitue, les légumes et les fruits à l'aide d'une solution désinfectante faible, souvent à base de chlore, puis les rincer avec de l'eau propre.
Épluchage des produits	1-2	Fruits, choux, plantes racines.
Cuisson des produits	6-7	Immersion dans de l'eau bouillante ou presque bouillante jusqu'à ce que les aliments soient suffisamment cuits pour détruire les pathogènes.

Source : Tableau adapté et modifié à partir des données de l'OMS (2006).

1.5 LA REGLEMENTATION MALGACHE

Le cadre légal et réglementaire en vigueur définissant les règles pour la qualité de l'eau est décrit par le décret n° 2003/464 du 15 avril 2003 portant classification des eaux de surface et réglementation des rejets d'effluents liquides.

Dans son article 3, les eaux de surface (cours d'eau, lacs et tous plans d'eau) sont classées de la manière suivante :

- Classe A : bonne qualité, usages multiples possibles
- Classe B : qualité moyenne, loisirs possibles, baignade pouvant être interdite
- Classe C : qualité médiocre, baignade interdite
- HC : hors classes, contamination excessive, aucun usage possible à part la navigation. La présence de germes pathogènes désigne directement une catégorie hors classes.

C'est le paramètre le plus mauvais qui déterminera la classe d'une eau donnée selon les paramètres suivants :

PARAMETRES	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	HORS CLASSES
FACTEURS BIOLOGIQUES				
Oxygène dissous (mg/l)	$5 \leq OD$	$3 < OD < 5$	$2 < OD \leq 3$	$OD < 2$
DBO ₅ (mg/l)	$DBO \leq 5$	$5 < DBO \leq 20$	$20 < DBO \leq 70$	$70 < DBO$
DCO (mg/l)	$DCO \leq 20$	$20 < DCO \leq 50$	$50 < DCO \leq 100$	$100 < DCO$
Présence de germes pathogènes	Non	Non	Non	Oui
FACTEURS PHYSIQUES ET CHIMIQUES				
Couleur (échelle Pt-Co)	$coul < 20$	$20 \leq coul \leq 30$	$30 < coul$	
Température (°C)	$\theta < 25$	$25 \leq \theta < 30$	$30 \leq \theta < 35$	$35 < \theta$
pH	$6,0 \leq pH \leq 8,5$	$5,5 < pH < 6,0$ ou $8,5 < pH < 9,5$	$pH \leq 5,5$ ou $9,5 \leq pH$	
MES (mg/l)	$MES < 30$	$30 \leq MES < 60$	$60 \leq MES < 100$	$100 < MES$
Conductivité ($\mu S/cm$)	$\chi \leq 250$	$250 < \chi \leq 500$	$500 < \chi \leq 3000$	$3000 < \chi$

Article 5 - Afin de préserver les ressources en eau (objectifs de qualité), les rejets d'eaux usées doivent être incolores, inodores et respecter la qualité indiquée en page suivante. A noter que ce tableau a fait l'objet d'une analyse critique disponible dans le fascicule 7 traitant de la thématique eaux usées :

PARAMETRES	UNITE	NORMES
FACTEURS ORGANOLEPTIQUES ET PHYSIQUES		
pH		6,0 - 9,0
Conductivité	µs/cm	200
Matières en suspension	mg/l	60
Température	°C	30
Couleur	échelle Pt/Co	20
Turbidité	NTU	25
FACTEURS CHIMIQUES		
Dureté totale comme CaCO ₃	mg/l	180,0
Azote ammoniacal	mg/l	15,0
Nitrates	mg/l	20,0
Nitrites	mg/l	0,2
NTK (azote total Kjeldahl)	mg/l-N	20,0
Phosphates comme PO ₄ ³⁻	mg/l	10,0
Sulfates comme SO ₄ ²⁻	mg/l	250
Sulfures comme S ²⁻	mg/l	1,0
Huiles et graisses	mg/l	10,0
Phénols et crésols	mg/l	1,0
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	mg/l	1,0
Agents de surface (ioniques ou non)	mg/l	20
Chlore libre	mg/l	1,0
Chlorures	mg/l	250
FACTEURS BIOLOGIQUES		
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	150
Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	mg/l	50
FACTEURS INDESIRABLES		
METAUX		
Aluminium	mg/l	5,0
Arsenic	mg/l	0,5
Cadmium	mg/l	0,02
Chrome hexavalent	mg/l	0,2
Chrome total	mg/l	2,0
Fer	mg/l	10,0
Nickel	mg/l	2,0
Plomb	mg/l	0,2
Etain	mg/l	10,0
Zinc	mg/l	0,5
Manganèse	mg/l	5,0
Mercure	mg/l	0,005
Sélénium	mg/l	0,02

Article 10 - a) Les épandages de boues issues de traitement d'eaux usées ne peuvent se faire que dans les conditions suivantes :

Elément	Concentration maximale dans la boue (mg/kg de matières sèches)	Apport maximal en kg/ha/10 ans
Cd	40	1.5
Cr	2.000	45
Cu	2.000	120
Hg	20	1
Ni	400	30
Se	200	1
Zn	6.000	300
Cr+Cu+Ni+Zn	8.000	120

Toutefois, aucun épandage ne pourra plus être effectué sur un sol dont la concentration en éléments de traces atteint déjà les seuils suivants :

Elément	Concentration dans le sol (mg/kg de matières sèches)
Cd	3
Cg	200
Cu	140
Hg	1,5
Ni	75
Pb	300
Se	10
Zn	300

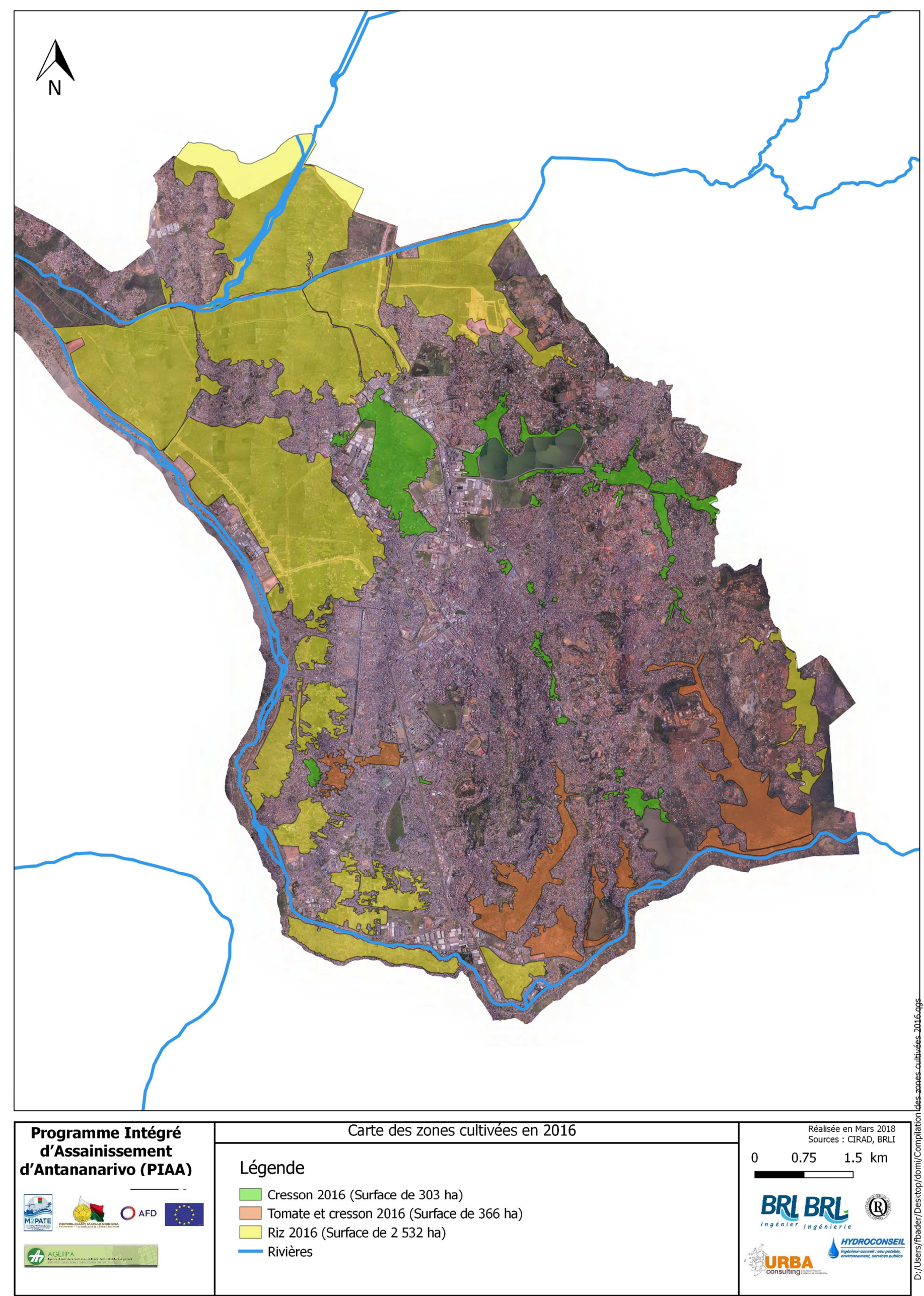
b) Après épandage de boues, le pH du sol ne doit pas être inférieur à 6.

2. L'AGRICULTURE URBAINE A ANTANANARIVO

2.1 LOCALISATION, SURFACE ET TYPE DE CULTURE

L'agriculture a une place fondamentale d'un point de vue géographique et spatial puisque **30% de la surface de la CUA** (soit plus de **2 500 ha**) sont alloués à l'agriculture urbaine.

Figure 2 : Carte des zones cultivées dans la CUA en 2016



On peut distinguer 3 types de systèmes de culture au sein de la CUA (Source : Defrise, « *Terres agricoles de la ville d'Antananarivo, une disparition inéluctable ?* ») :

2.1.1 Les cressonnières du centre-ville

Ces zones sont situées dans le centre de la Commune Urbaine d'Antananarivo. À l'origine marécageux, ces sites ont progressivement été mis en valeur à partir des années 1930, essentiellement par des migrants betsileo afin d'y produire du cresson. Avec le temps, le bâti, traditionnellement situé sur les hauteurs et les flancs de collines a graduellement enserré puis colonisé les bas-fonds et les cressonnières. Ces UAP se composent ainsi d'un paysage urbain avec quelques espaces agricoles enclavés dans les bas-fonds et cultivés majoritairement de cresson.

Les parcelles agricoles sont de petites tailles (généralement entre 0,5 et 4 ares), très irrégulières et morcelées. La culture est quasi-exclusivement celle du cresson et les récoltes y sont réalisées en continu. L'irrigation des parcelles, soumise aux aléas de la pluviométrie, s'effectue à partir des canaux où circulent généralement des concentrations importantes en eaux usées. Lors de la saison des pluies, ces zones basses jouent un rôle clé de bassin tampon contre les inondations. Cependant, la localisation au cœur de ville et la proximité avec les habitations et commerces sans systèmes de gestion des déchets entraînent une concentration croissante des eaux en matière organiques et en polluants. Cela a l'avantage, souligné par les producteurs, d'entraîner une augmentation des rendements de cresson mais pose à contrario des questions majeures quant à la qualité sanitaire des produits (Dabat et al, 2010). Malgré cette problématique sanitaire, la production intra-urbaine approvisionne l'ensemble de la capitale ainsi que d'autres localités lointaines telles que Toamasina (Aubry et al., 2010).

Figure 3 : Vue aérienne des cressonnières. Quartier d'Ambodirotra.



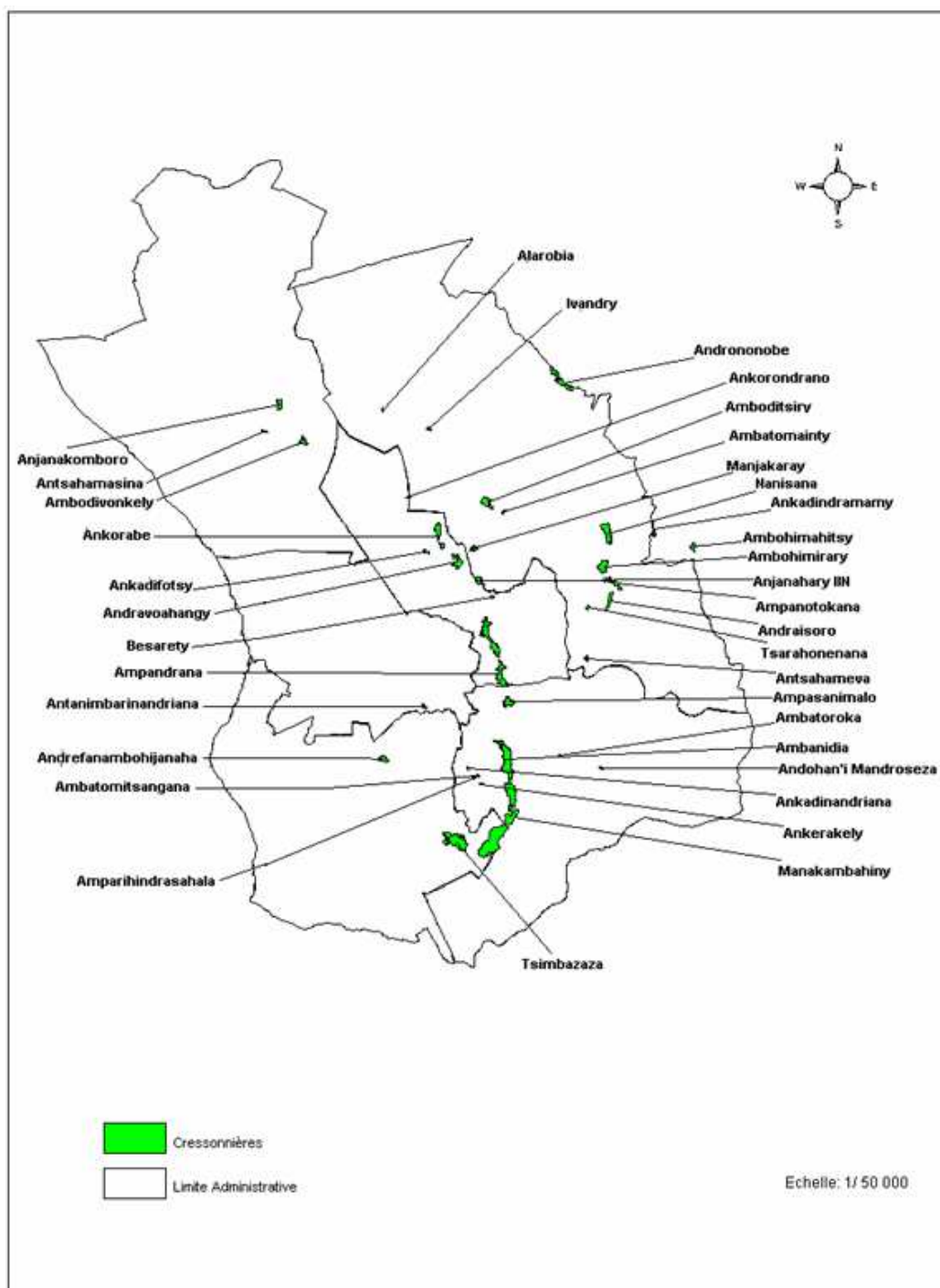
Les terres appartiennent à des familles originaires d'Antananarivo résidant rarement à proximité (Andriamalala, 2006). Le statut légal des terres est variable avec une majorité de terrains titrés ou de parcelles cadastrées, encore inscrites au nom des ascendants (de 1 à 2 générations) et actuellement en indivision. Généralement, le foncier agricole est exploité en faire-valoir indirect par des migrants betsileo, de la même famille ou des mêmes villages que les premiers aménageurs. La compétition est croissante pour accéder aux cressonnières, en nombre de plus en plus réduit et au loyer allant jusqu'à 30.000 Ariary/mois pour des parcelles entre 0.5 et 2 ares – soit environ 25% du salaire mensuel légal minimum de base. Le système d'activité de ces exploitants est fortement diversifié et l'activité agricole est combinée à un ou plusieurs emplois informels urbains (mécanicien, chauffeur, etc.).

Les figures ci-dessous répertorient les cressonnières du centre-ville et décrivent leurs caractéristiques principales.

Figure 4 : caractéristiques des cressonnières de centre ville : localisation, système de culture, type d'irrigation, nombre de propriétaires (Données : Qualisann, 2008)

Localisation	Site	Exploitants		Système de culture	Irrigation
1ere Arrondissement	Antanimbarinandriana	23 1 (locataire)	Betsileo	Monoculture	Eaux usées
2eme Arrondissement	Amparihindrasahala	21 2 (locataires)	Betsileo	Monoculture	Eaux de source uniquement pendant la saison sèche et eaux de source + eaux de ruissellement pendant la saison pluvieuse
	Ambatomitsangana	11 3 (1propriétaire, 2 locataires)	Merina, Betsileo	Monoculture	Eaux usées + Eaux de source
	Ankerakely	14 1 (locataire)	Merina	Monoculture	Eaux usées + Eaux de source
	Volosarika Ambanidia	700 25 (4 propriétaires, 10	Merina, Betsileo,	Riz+cresson	Eaux usées
	Ambatoroka	8 1 (locataire)	Betsileo	Monoculture	Eaux usées
	Antanimora	10 2 (locataires)	Betsileo	Monoculture	Eaux usées
	Andohan'i Mandrozeza	7 1 (locataire)	Betsileo	Riz+cresson	Eaux usées + Eaux de source
	Ankadinandrina	7 1 (locataire)	Merina	Monoculture	Eaux de source
	Tsiafakantitra	7 1 (locataire)	Betsileo	Monoculture	Eaux usées + Eaux de source
3eme arrondissement	Ampasanimalo	202 21 (locataires)	Betsileo	Monoculture	Eaux usées + Eaux de source
	Andravoahangy	202 16 (15 exploitants terrains	Betsileo, Vakinakaratra	jachère/ cresson	Eaux usées domaniaux et 1 locataire
	Ankorabe	218 17 (exploitants terrains	Betsileo	jachère/ cresson	Eaux usées + Eaux de source domaniaux
	Ankadifotsy	24 1 (locataire)	Betsileo	jachère/ cresson	Eaux usées + Eaux de source
	Besarety	18 2 (locataires)	Betsileo	jachère/ cresson	Eaux usées
	Ampandranana	873 52 (33 locataires, 18 sous-locataires, 1propriétaire et			
4eme arrondissement	Ankorondrano	7 1 (locataire)	Betsileo	jachère/ cresson	Eaux usées
	Andrefan' Ambohijannahary	2 (propriétaires)	Vakinakaratra	jachère/ cresson	Eaux usées
	Tsimbazaza	34 (15 propriétaires et locataires, 19 locataires)	Merina, Betsileo, Vakinadinana, Vakinakaratra	1partie monoculture / 1 partie riz+cresson	Eaux usées
5eme Arrondissement	Amboditsiry	168 3 (locataires)	Betsileo	jachère/ cresson	Eaux usées
	Ivandy	33 1 (locataire)	Betsileo	jachère/ cresson	Eaux usées
	Andraisoro	131 8 (locataires)	Betsileo	Riz+cresson	Eaux usées
	Tsarahonenana	39 1 (locataire)	Vakinakaratra	Riz+cresson	Eaux usées
	Ampanotokana	159 7 (locataires)	Betsileo	Riz+cresson	Eaux usées + Eaux de source
	Nanisana	314 26 (locataires)	Betsileo	Riz+cresson	Eaux usées + Eaux de source
	Ankadindramamy	67 1 (locataire)	Betsileo	Monoculture	Eaux usées + Eaux de source
	Ambohimirary	230 7 (locataires)	Betsileo	Riz+cresson	Eaux usées + Eaux de source
	Anjanahary IIN	93 8 (locataires)	Betsileo	jachère/ cresson	Eaux usées + Eaux de source
	Antsahameva	27 1 (locataire)	Betsileo	riz+cresson	Eaux usées + Eaux de source
	Ambatomainity	16 3 (locataires)	Betsileo	jachère/ cresson	Eaux usées
	Ampasapito	25 1 (locataire)	Betsileo	Monoculture	Eaux usées
6eme Arrondissement	Manjakaray	55 7 (locataires)	Betsileo	jachère/ cresson	Eaux usées
	Alarobia	9 1 (locataire)	Betsileo	jachère/ cresson	Eaux usées + Eaux de source
	Anjanakomboro	95 12 (locataires)	Betsileo	1partie monoculture / 1 partie riz+cresson	Eaux usées + Eaux de source
	Antsahamasina	37 2 (locataires)	Merina, Betsileo	Monoculture	Eaux usées + Eaux de source
	Ambodivonkely	97 5 (locataires)	Betsileo	Monoculture	Eaux usées
Autres sites périphériques	Ambohimahitsy	61 2 (locataires)	Betsileo	Riz+cresson	Eaux usées + Eaux de source
	Andrononobe	293 15 (locataires)	Betsileo, Vakinadinana	1partie monoculture / 1 partie riz+cresson	Eaux usées

Figure 5 : Localisation des sites de cressonnières (Qualisann, 2008)



2.1.2 Les plaines rizicoles

Ces zones situées au Nord et à l'Ouest de la Commune Urbaine d'Antananarivo présentent un paysage à dominante rizicole juxtaposée au front de progression de l'urbain.

Il s'agit de la grande plaine alluviale du Betsimitatratra, ayant, en plus de son poids économique, une forte dimension historique, symbolique et culturelle pour la ville et ses habitants (Ramamonjisoa, 1978; Fournet-Guérin, 2007). L'aménagement de cette plaine remonte au XVI^{ème} siècle, lorsque les premières digues ont été construites sur le fleuve Ikopa (Ramamonjisoa, 1978, Andriamalala, 2006). Depuis lors, divers projets d'aménagements et d'infrastructures ont modifié le régime hydraulique de la plaine puis permis l'installation progressive de l'urbanisation grâce à des travaux de remblayage massif : Analakely, cités des 67 ha, cité administrative d'Anosy, etc. En parallèle de ces actions planifiées, une densification spontanée de l'habitat précaire a eu lieu dans des zones soumises au risque d'inondation, en particulier à l'Ouest du centre-ville.

Sur les 10 dernières années, les bas-fonds rizicole de cette plaine résistent face à l'urbain et ce, malgré une mauvaise maîtrise de l'eau et des rendements agricoles aléatoires. Sauf en cas de construction de routes et d'infrastructures de communication provoquant un développement brusque du bâti (by pass, route de la francophonie), la continuité de l'espace agricole se maintient. A l'heure actuelle, la pression urbaine y est plus faible que dans les autres quartiers. Les parcelles agricoles vont de 5 et 20 ares en moyenne, de forme régulière et morcelées et majoritairement cultivées en riz. La maîtrise de l'eau, à travers un réseau de digues et de canaux plus ou moins bien entretenu, est variable selon la localisation dans la plaine. Lors de la saison des pluies et, en particulier des crues, ces zones jouent un rôle crucial pour la ville en servant de bassin tampon pour absorber les inondations (Voir rapport activité 4 de la tranche ferme).

La production du riz, entre novembre et mai, sert essentiellement à l'autoconsommation des ménages producteurs et y assure une fonction économique notable en couvrant 25 à 100% de leurs besoins annuels (entrepreneurs, 2017). En parallèle, la pression foncière incite les producteurs à multiplier les usages du sol dans le temps : rizipisciculture, production piscicole semi-intensive et, surtout, construction de brique (avec un impact négatif sur la production rizicole). Le système d'activité de ces exploitants repose sur la combinaison de l'agriculture et d'emplois informels urbains.

L'accès au foncier agricole est très divers : faire valoir-direct ou indirect aux bénéficiaires des propriétaires installés au centre-ville (location ou métayage, souvent par des membres de la famille proche), héritage, achat. Ces parcelles, cadastrées par le passé et inscrites au nom des ascendants (souvent décédés à l'heure actuelle), sont aujourd'hui morcelées entre les descendants ou vendues à des tiers, grâce à un marché foncier de l'achat/vente relativement actif. Les informations foncières détenues au niveau des services fonciers sont souvent non mises à jour et décalées de la réalité, offrant l'opportunité à certains d'y changer de façon opportuniste les noms des propriétaires et d'en tirer une rente. Le marché foncier de l'achat-vente est (i) très actif à proximité des nouveaux axes de communication, destiné à des individus ou des sociétés privées souhaitant bâtir ou (ii) peu actif dans les zones éloignées des axes de communication intéressant seulement des exploitants agricoles.

Figure 6 : Plaine rizicole entre le boulevard de la francophonie et le canal GR



2.1.3 Les zones agricoles mixant le cresson, le maraîchage et le riz

Enfin, il existe des zones intermédiaires qui mixent les cultures de cresson, le maraîchage et le riz dans le même espace (mais à des moments différents sur une même parcelle).

Ces zones sont situées principalement au Sud de la CUA. Elles sont une combinaison des modes de culture décrit précédemment dans les 2 autres systèmes. On peut également y retrouver de la pisciculture ou de la rizipisciculture.

2.2 FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE — SYSTEMES D'IRRIGATION

La grande plaine alluviale du Betsimitatatra a, en plus de son poids économique, une forte dimension historique, symbolique et culturelle pour la ville et ses habitants (Ramamonjisoa, 1978; Fournet-Guérin, 2007). L'aménagement de cette plaine remonte au XVI^{ème} siècle, lorsque les premières digues ont été construites sur le fleuve Ikopa (Ramamonjisoa, 1978, Andriamalala, 2006). Depuis lors, divers projets d'aménagements et d'infrastructures ont modifié le régime hydraulique de la plaine puis permis l'installation progressive de l'urbanisation grâce à des travaux de remblayage massif : Analakely, cités des 67 ha, cité administrative d'Anosy, etc. En parallèle de ces actions planifiées, une densification spontanée de l'habitat précaire a eu lieu dans des zones soumises au risque d'inondation, en particulier à l'Ouest du centre-ville.

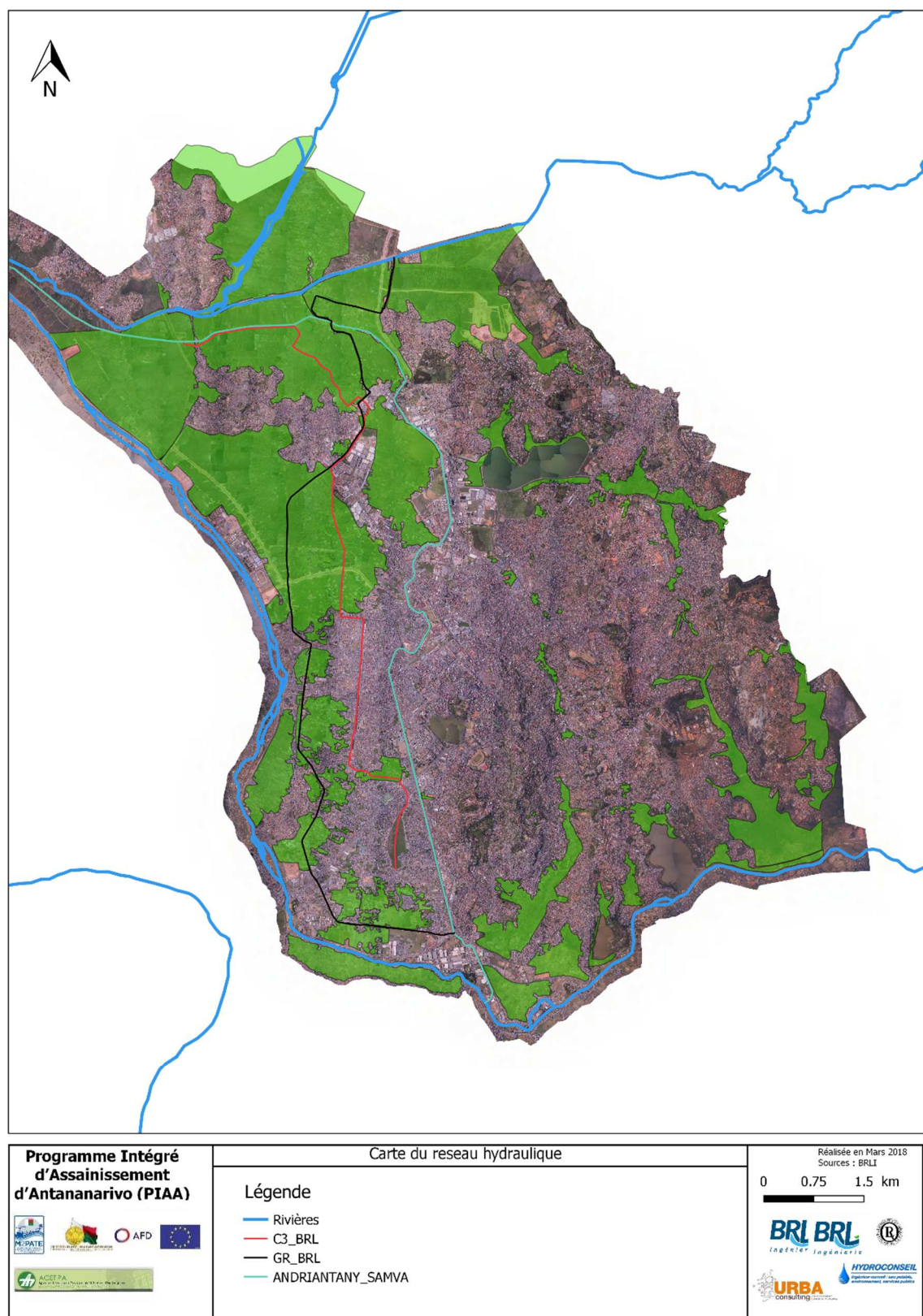
Nous pouvons distinguer 2 systèmes d'irrigation principaux qui concernent les systèmes de culture décrits précédemment :

- Le système d'irrigation des grandes plaines rizicoles du Nord et de l'Ouest¹ repose sur un réseau de grands canaux. Le principal canal est le canal dit GR qui dévie une partie des eaux du fleuve Ikopa. Le système d'irrigation actuel est fonctionnel et ne pose pas de problème particulier, tant que le niveau d'eau et la régulation du plan d'eau dans le canal GR reste favorable. Bien que le canal C3 ne joue normalement pas de rôle vis-à-vis de l'irrigation des parcelles, il y amène, du fait de ses débordements actuellement fréquents, des déchets flottants même en dehors de la saison de culture ; face à ce problème, son endiguement aurait pu présenter un intérêt mais cela aurait grandement pénalisé son rôle de drainage qui reste essentiel. A noter qu'en période d'irrigation, certaines parcelles sont irriguées par le C3, via des prises d'eau « sauvages ». Le canal Andriantany joue également un double rôle drainage/irrigation. Il est utilisé en irrigation en général à partir de 15 juillet.
- En dehors des grandes plaines rizicoles, les parcelles dans les différentes vallées produisant des cultures maraichères sont irriguées soit à partir de sources en amont des bassins-versants (avec ou sans bassin de stockage), soit à partir des canaux drainant les eaux domestiques.

¹L'appellation "plaine nord ouest" désigne la zone située à l'intérieur de la CUA et située :

- en rive gauche du canal GR
- au sud et à l'est de la route digue
- à l'ouest de la tanety d'Ambohimanarina / Ambodimita

Figure 7 : Localisation des principaux canaux dans la Plaine



2.3 IMPORTANCE SOCIOECONOMIQUE

2.3.1 Volume produit, rentabilité et emplois

L'agriculture est également au cœur du système urbain d'un point de vue socio-économique (Aubry et al, 2012, Aubry, 2010). Elle est source d'emplois et de rémunération pour une partie conséquente de la population urbaine. L'agriculture est aussi source d'aliments pour les ménages producteurs (autoconsommation) et, bien entendu, l'ensemble des urbains. Ainsi, des complémentarités dans le temps et dans l'espace permettent à l'agriculture urbaine et péri-urbaine de fournir 85 % des tomates, 15 % du riz et 95 % du cresson consommé par la ville (Dabat et al., 2006 ; Dabat et al. 2004.).

LE CRESSON

Le climat d'Antananarivo est favorable aux exigences du cresson (*Nasturbium officinale*). Les mois allant de mars à octobre jouissent de températures assez fraîches, c'est la bonne saison pour cette production. Certains de ces mois sont secs, mais l'irrigation permet de pallier au manque de pluie. Du mois de novembre jusqu'à février, c'est une période moins favorable au cresson car la longueur du cycle y est la plus longue, pouvant aller jusqu'à deux mois, du fait de l'action conjuguée de la température et de la pluviométrie, plus élevées. Malgré l'insuffisance d'eau, la saison sèche est plus favorable que la saison pluvieuse car il est plus facile de corriger les effets d'un manque d'eau que ceux de l'excès d'eau. L'irrigation est dominée par l'eau usée, mais il existe également des sites qui sont à la fois irrigués par de l'eau de source et de l'eau usée (Ravoniarisoa, 2009).

Il a été possible d'approcher le niveau de production dans la commune urbaine d'Antananarivo à partir des sources convergentes suivantes² :

- l'enquête auprès des cressiculteurs montre que le rendement moyen est de dix sobika (paniers) de 50 kg chacune par are et par cycle de production, ce qui donne une production annuelle de l'ordre de 20 300 t sur la base d'une moyenne de six cycles par an et de 6766 ares de surface ;
- le Président des grossistes d'Anosizato-Anosibe, Andravoahangy et Petite Vitesse a évalué le cresson entrant sur les marchés de gros de la capitale à 101,2 t par jour en 2008 soit quelque 37 000 t par an ;
- le rendement moyen annuel enregistré sur le site mixte d'Ambanidia (quatre à neuf cycles selon l'emplacement) est de l'ordre de 3200 kg par are (Ramahaimandimboisoa, 2007), si on le généralise à l'ensemble des cressonnières, la production serait de l'ordre de 21 651 t.

La production de cresson dans la capitale se situerait donc entre 20 000 t et 40 000 t par an.

Concernant l'emploi, le recensement exhaustif des cressiculteurs par site dans la CUA donne un total de 342 exploitants (Dabat, 2010). Le recoupement des noms des personnes enquêtées de façon exhaustive ramène le total à 296 exploitants car certains (46) exercent leur activité sur plusieurs sites. La majorité des cressiculteurs est *Betsileo*, certains conservent une activité saisonnière dans leur province d'origine et sont en général en fermage sur les terres en cresson et en riz à Antananarivo.

² « Production de cresson à haut risque dans les bas fonds d'Antananarivo ? » Marie-Hélène Dabat, 2010

L'activité cressonnière est très rentable et ses marges sont assez bien partagées entre les différents agents des sous-filières. A titre d'exemple, les marges annuelles de la cressiculture à Ambanidia varient entre 154 000 Ar et 257 000 Ar par are en monoculture (Dabat, 2010). La filière cresson crée une valeur ajoutée annuelle de l'ordre de 1 200 000 Ar par are en monoculture, ce qui représente plus de 6 milliards d'Ariary à l'échelle de la CUA.

LE RIZ

La plaine irriguée du Betsimitatatra, située au nord-ouest de la ville d'Antananarivo et sur laquelle est pratiqué surtout le riz de première saison, *vary aloha*, constitue l'essentiel de la production de la capitale. À l'est de la ville, le relief plus accidenté laisse place à une riziculture de bas-fonds et de collines sur lesquelles le riz de deuxième saison, *vary vakiambaty*, est mieux approprié et associé au maraîchage et à l'élevage. Ce dernier type de riz est aussi cultivé dans les nombreuses plaines au sud de la ville.

Cette riziculture de la plaine du Betsimitatatra est pratiquée avec une bonne maîtrise de l'eau liée aux aménagements hydrauliques dont la rive droite du fleuve Ikopa a bénéficié depuis la fin des années 2000. Ces aménagements (endiguement, rehaussement de digues, réfection et creusement de nouveaux canaux) ont été réalisés pour protéger le centre urbain, et notamment ses quartiers en pleine croissance, des crues et des inondations. Ils ont entraîné une différenciation de l'accès à l'eau pour l'agriculture, qui se répercute sur les systèmes de production rizicoles : excès d'eau hivernaux mal maîtrisés et accès de plus en plus limité à l'eau en saison sèche sur la rive gauche ; disponibilité et maîtrise accrue de l'eau sur la rive droite permettant le développement récent d'une riziculture irriguée performante dans la plaine du Betsimitatatra. Dans cette plaine, le riz précoc est cultivé d'une manière intensive sur des parcelles souvent minuscules entourées de diguettes liées à un ingénieux système d'irrigation. L'intensification résulte aussi d'un labeur humain considérable et de pratiques culturelles proches du jardinage. Cependant, plusieurs exploitations dépassent les 2 hectares, ont des rendements supérieurs à 2,5-3 t/ha et dégagent des excédents qu'elles écoulent sur le marché.

Sur la base d'un rendement moyen autour de 2 t/ha, on peut estimer la production de paddy dans la CUA à environ 5 000 t par cycle. Il n'y a pas de recensement exhaustif des riziculteurs mais leur nombre dépasse les 7 000.

Les coûts de production à l'hectare du riz précoc périurbain sont généralement supérieurs au riz local de deuxième saison à cause de besoins plus importants en irrigation, et au riz d'autres régions du fait, notamment, du coût d'opportunité élevé de la main-d'œuvre. Cependant cette riziculture présente l'avantage, par rapport à ses principales concurrentes, de bénéficier d'une meilleure maîtrise de l'eau ou d'être plus largement pratiquée en faire valoir direct et donc de dégager des revenus plus importants pour l'exploitant.

2.3.2 Les marchés agricoles

On peut distinguer 3 types de marchés de produits agricoles :

- **Les marchés de gros** : Les deux principaux marchés de gros pour le vivrier sont les marchés d'Anosizato et d'Anosibe. Le marché d'Anosibe est situé à l'entrée Sud-Ouest de la capitale proche de la route de la digue sortant de la ville, place stratégique pour l'approvisionnement et l'envoi des denrées vers les autres villes du pays. Il reçoit de multiples produits maraîchers provenant des zones agricoles intra-communales et des grands périmètres agricoles des environs. Il joue un rôle de dégroupage des produits en vendant de grandes quantités à des restaurateurs mais surtout à des détaillants qui revendent ensuite ces produits agricoles dans les marchés de quartiers. La journée ce marché passe presque inaperçu, l'essentiel des activités se déroulant avant l'aube afin de permettre la redistribution matinale sur les plus petits marchés.
- **Les grands marchés** : ils se concentrent principalement au niveau du centre-ville plus précisément dans les 1^{er} et 3^{ème} arrondissement au Pavillon Analakely, au Pochard, au 67 ha, à Ambodinisotry et à Isotry mais aussi à Andravoahangy et à Anosibe. Les 4^{ème} et 6^{ème} arrondissements ne disposent que d'un grand marché chacun ; il s'agit, respectivement des marchés d'Ambohimananarina et de Mahazo. Le marché d'Analakely a une importance particulière dans l'urbanisation du 1^{er} arrondissement de la ville. En effet, ce marché est le marché historique de la ville (créé à la fin du XVIII^{ème} siècle), fermé en 1997 en raison notamment de son insalubrité, il s'est progressivement redéveloppé suite à la crise politique de 2002-2009, durant laquelle de nombreux Tananariviens ayant perdu leur travail, sont devenus pour la plupart des marchands ambulants. Afin d'éviter les flux migratoires journaliers, bon nombre d'entre eux se sont installés dans cet arrondissement, contribuant ainsi à sa densification.
- **Les marchés de quartiers** : les marchés de quartiers se distinguent des grands marchés par leur taille. Tous sont quotidiens (bien que plus importants certains jours) et en théorie délimités dans la ville par des grilles bien que certains, comme cela est le cas pour le marché d'Andravoahangy, sortent actuellement de leur limites originelles de par leur emplacement dans des zones où le bâti est moins dense (souvent proche des zones inondables par exemple). On constate une spécialisation des marchés dans la vente de produits différents. Le marché historique d'Analakely présentent des produits périssables et d'autres produits de première nécessité, tandis que d'autres, plus gros tels que Andravoahangy, Mahamasina et Isotry vendent tout type de produits (des produits agricoles mais aussi des vêtements ou des outils de bricolage).

2.4 IMPACT DE L'URBANISATION SUR L'AGRICULTURE

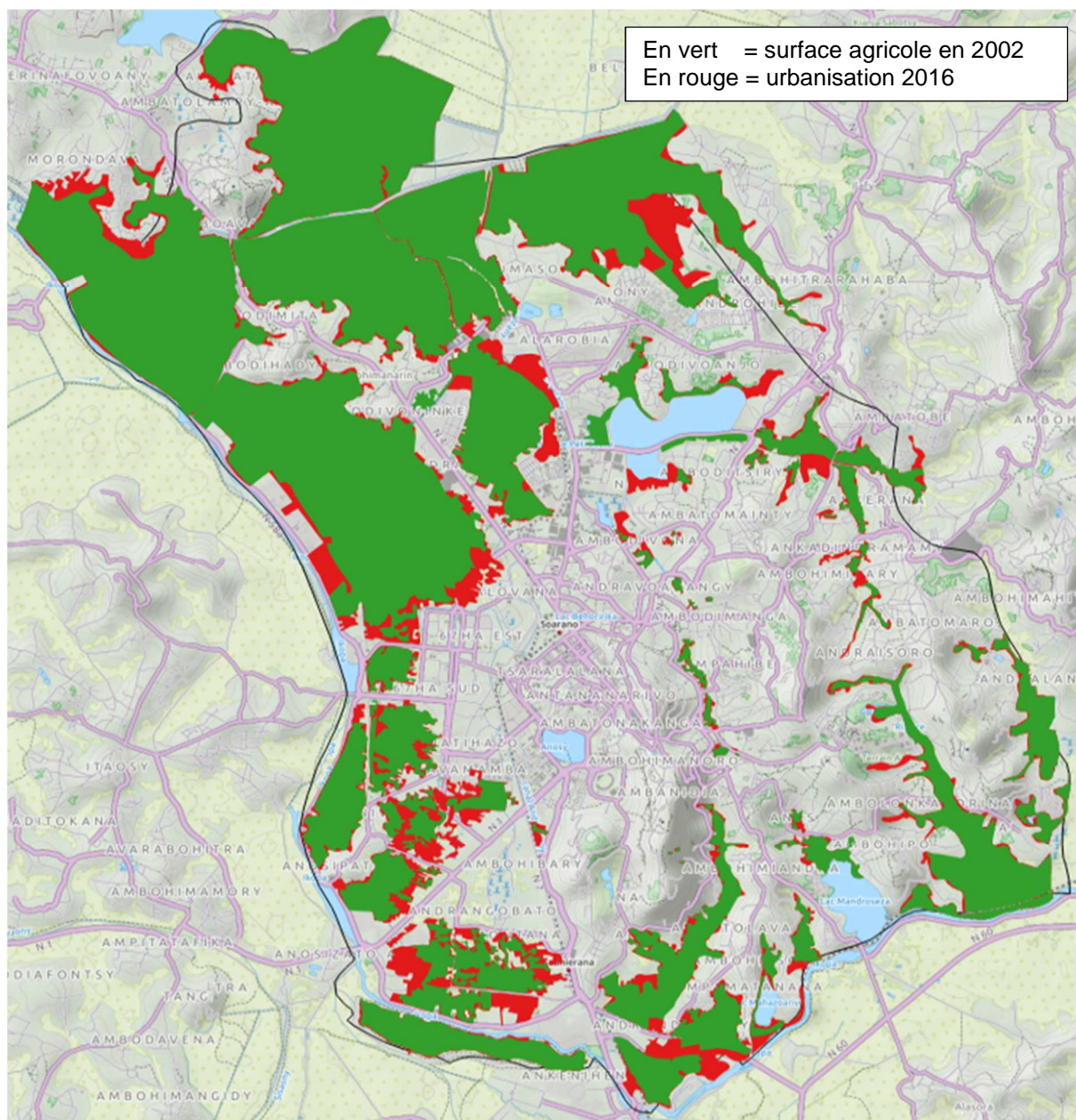
La pression urbaine est forte à l'intérieur de la CUA. L'urbanisation et l'industrialisation rapides de la capitale malgache concurrencent directement l'agriculture (remblais sur les terres agricoles, habitat formel et informel, rejets polluants dans l'eau à usage agricole).

La carte ci-dessous montre l'impact de l'urbanisation sur les surfaces agricoles entre 2002 et 2016. Les études du CIRAD (Defrise, 2017) estime la perte en surface à 80 ha par an. Cela représente environ 3,2% des surfaces agricoles qui sont perdues pour l'agriculture tous les ans.

Ce taux moyen peut paraître assez faible (il faudrait plus de 100 ans pour que les surfaces agricoles disparaissent complètement) pourtant :

- Le phénomène de mitage des zones agricoles accélèrent encore plus l'urbanisation. En effet, une fois qu'une parcelle agricole est encerclée par des habitations, il est très difficile pour l'agriculteur de se maintenir encore longtemps sur cette parcelle : difficultés d'accès à la parcelle ou de transport des produits agricoles, perturbation du réseau hydraulique, nuisance dues aux rejets domestiques, pression des riverains qui se plaignent des nuisances lors de l'application de produit phytosanitaire, de bruit, ...
- Le taux d'urbanisation n'est pas homogène sur toute la CUA et certaines zones sont particulièrement menacées.

Figure 8 : Urbanisation des zones agricoles dans la CUA entre 2002 et 2016



Source données : Mollaret C. IMV, Google Earth, OPM ; Réalisation : Deprise L. CIRAD 2017

LE SUD-OUEST PARTICULIEREMENT MENACE

En revanche toutes les zones agricoles qui sont au pourtour du centre de la capitale subissent de fortes pressions urbaines. Les surfaces perdues pour l'agriculture sont conséquentes et l'on peut penser que l'urbanisation risque de s'emballer faisant disparaître définitivement les parcelles cultivées.

Les photos ci-dessous montrent le développement des zones urbanisées entre 2002 et 2017 dans la zone cultivées près du quartier de 67ha.

LES GRANDES PLAINES DU NORD SONT A MOYEN TERME MOINS MENACEES QUE LE SUD-OUEST

Les grandes plaines rizicoles résistent mieux à l'urbanisation que les zones décrites au paragraphe précédent. Elles disposent de plusieurs atouts qui expliquent ce maintien relatif :

- Cette zone présente encore une plaine d'un seul tenant avec des surfaces agricoles très conséquentes qui en fait une zone dont la dominance agricole est incontestable,
- Les zones urbaines se maintiennent à l'extérieur de la zone irriguée pour des questions d'accessibilité,
- La pression urbaine est moins forte dans le nord de la CUA.

Figure 9 : Comparaison images satellites 2002 et 2017





La création de zonages agricoles dans les plans d'urbanisme depuis 2007 et l'interdiction légale des remblais depuis 2015 ne permettent pas d'encadrer/limiter le phénomène. Le mitage des plaines agricoles est la conséquence de remblais isolés d'individus ou, plus conséquents, de sociétés privées souhaitant bâtir.

Des phénomènes de coalition entre élites politiques et économiques permettent des achats massifs d'anticipation et entraînent des reventes aux prix forts (Ranaivoarimanana, 2017). Des résistances individuelles existent mais ploient souvent face à la puissance de certains acteurs économiques utilisant des moyens divers pour encourager les propriétaires de terrain à vendre ou à céder leur terre.

3. PRINCIPAUX ENJEUX

Nous avons vu que l'agriculture urbaine joue plusieurs rôles à Antananarivo. Plusieurs enjeux sont à discuter concernant l'importance du maintien ou pas de cette agriculture dans la CUA.

3.1 SECURITE ALIMENTAIRE

Comme nous l'avons vu, les surfaces agricoles représentent plus de 30% des surfaces de la CUA et fournissent des produits agricoles qui sont directement consommés par les habitants de la capitale. C'est le cas pour le riz mais aussi pour les produits frais comme les légumes (cresson, tomate, légumes feuille, chou, ...). **L'agriculture urbaine est un atout essentiel pour Antananarivo qui peut fournir ces consommateurs en produits frais à circuit court, sans frais de transport élevé et à des coûts très compétitifs.**

De plus ces zones sont alimentées par des eaux d'irrigation qui sont fortement chargées en éléments fertilisants pour les cultures (essentiellement azote et phosphore). Il en résulte **des rendements élevés** qui fournissent des revenus conséquents aux agriculteurs, tout en assurant **une épuration de l'eau**. L'azote par exemple permet de faire pousser du cresson qui a une valeur alimentaire et commercial plutôt que d'autres plantes qui participent à l'eutrophisation des cours d'eau (jacinthe d'eau, ...).

Pour autant, les zones agricoles sont menacées :

- **Certaines eaux sont trop chargées** en éléments fertilisants (azote) ce qui provoque deux phénomènes : soit un développement excessif du feuillage au détriment des grains (cas du riz), soit une toxicité (apparition de symptômes sur les feuilles et baisse du rendement). Certains agriculteurs sont obligés de couper le feuillage du riz sur certaines parcelles pour provoquer un stress qui permet la floraison et la production de grain. Sans l'utilisation de cette pratique, le riz ne fait que des feuilles et aucun grain. Il est donc essentiel de s'assurer que les eaux d'irrigation ne soient pas excessivement chargées.
- **Certaines eaux sont chargées en éléments pouvant nuire à la santé de la population comme c'est le cas des métaux lourds par exemple.**
- **Ces zones sont menacées par l'urbanisation.** Les surfaces agricoles situées au Sud-ouest de la CUA sont soumises à une pression urbaine extrêmement forte et l'on peut penser que si le taux d'urbanisation se maintient dans ces zones, elles seront amenées à disparaître très prochainement. Le remblaiement et la construction sur des zones agricoles sont des pratiques illégales qu'il convient de sanctionner sous peine de voir cette pratique se généraliser.

Le maintien des surfaces agricoles dans la CUA représente **un enjeu de sécurité alimentaire et nutritionnelle** pour les populations de la capitale. Si ces surfaces venaient à disparaître de façon significative cela signifie que les produits de base de l'alimentation des malgaches devront être importés des régions avoisinantes avec un surcoût pour les ménages. Se posera également la question de la régularité de l'approvisionnement avec l'apparition de potentielles pénuries sur certains produits à certaine période.

Au-delà de ces aspects quantitatifs, il faut également évoquer les enjeux qualitatifs. En effet, il y a aujourd'hui un potentiel risque pour la santé public d'une utilisation des eaux usées non traitées sans control sanitaire.

Selon l'étude PAM 2015, dans la CUA plus d'un tiers des ménages (plus de 200,000 personnes) sont en insécurité alimentaire limite ou forte. En moyenne, les ménages dépensent plus de la moitié de leur budget pour l'alimentation, 1 ménage sur 5 ne mange que 2 fois par jour, la majorité des ménages parviennent à consommer au moins 1 fois par semaine des protéines (légumineuses) et des aliments riches en vitamine A (ravitoto, carottes), 40% des ménages ne parviennent pas à consommer chaque semaine des aliments riches en fer. La régression de l'agriculture urbaine ne ferait qu'empirer cette situation.

3.2 SOCIAL ET ECONOMIQUE

Les surfaces agricoles de la CUA fournissent des produits de base de l'alimentation malgache et fournissent **des emplois directs et des revenus** à plusieurs milliers de personnes.

Les ménages agricoles sont très souvent pluriactifs combinant agriculture, activité artisanale complémentaire (production de brique, etc.) et emplois informels péri-urbains ou urbains. Cette pluriactivité est commune à la plupart des ménages ruraux du pays mais la proximité de la capitale facilite la combinaison et la plasticité des activités économiques.

Aux emplois directs que sont les agriculteurs et les mains-d'œuvre agricoles, se rajoute un nombre important d'emplois indirects : transporteurs, fournisseurs d'intrants, collecteurs de produits agricoles, revendeurs, transformateurs, ... Il n'y a pas aujourd'hui de chiffres officiels concernant le nombre précis d'emplois directs et indirects liés à l'agriculture dans la CUA mais cela représente plusieurs dizaines de milliers de personnes.

Il n'y a aujourd'hui également aucune étude fiable permettant de mesurer l'impact social et économique de la disparition des surfaces agricoles. Le remblaiement d'une surface agricole pour y construire une habitation se traduit par une perte nette d'emploi. Qu'en est-il du remblaiement pour y installer un artisan ou une petite industrie ? Vaut-il mieux maintenir une parcelle agricole avec tous les emplois directs et indirects que ce la crée ou installer un artisan sur cette même parcelle, une fois remblayée ?

Enfin, il existe un lien culturel entre les malgaches et la culture du riz. Les malgaches ont un attachement fort à cette culture qui est la base de l'alimentation depuis des générations. Chaque malgache s'il ne possède pas lui-même une rizière, a forcément plusieurs personnes dans sa famille proche qui sont riziculteurs.

Tous ces éléments soulignent l'importance sociale et économique du maintien de l'agriculture urbaine au sein de la CUA.

3.3 GESTION DE L'EAU : PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS ET ASSAINISSEMENT

3.3.1 Des zones tampons pour le stockage de l'eau et la limitation des inondations

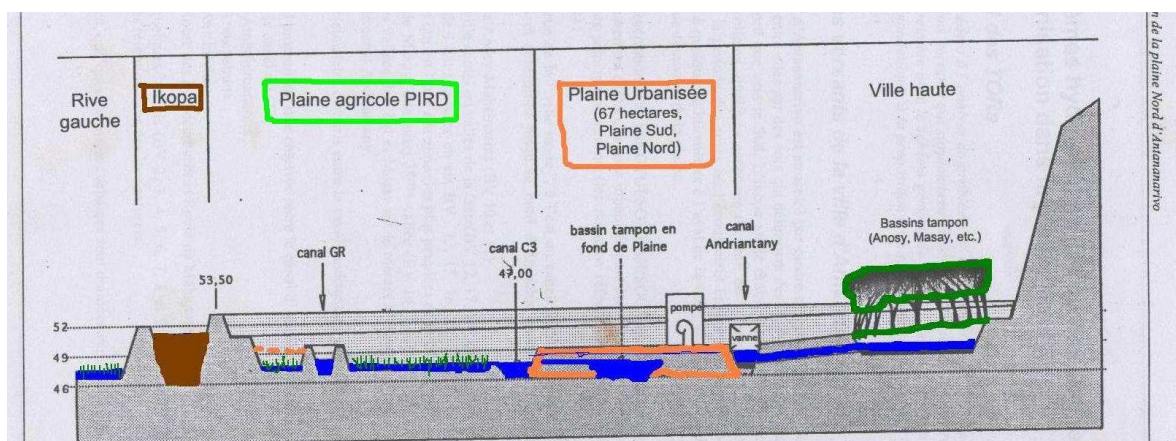
La création des digues en rive gauche de la Mamba et en rive droite de l'Ikopa a permis initialement de protéger les zones de cultures situées dans la plaine d'Antananarivo vis-à-vis des inondations fluviales. La réduction de la fréquence de ces inondations a contribué au développement de la ville sur ces zones devenues alors attractives et a ainsi conduit à la mutation progressive de ces territoires agricoles.

L'urbanisation de ces plaines associée à l'urbanisation de certains bas-fonds situés au pied des collines a empiété sur ces terres agricoles. Conjugué à l'augmentation de l'activité de production de briques, ce phénomène a profondément perturbé le fonctionnement hydraulique de la plaine :

- Sur la plaine rizicole : chaque année à la saison des pluies et généralement après la récolte, la plaine rizicole est inondée de façon variable par les eaux de pluie qui se retrouvent en partie piégées à l'intérieur du polder. En outre, les périodes de drainages sont de plus en plus longues, ce qui affecte les rendements et le calendrier cultural du riz.
- En ville, les bas-fonds jouent le rôle de zones tampons permettant à la fois de réguler les débits à faire transiter et à contribuer au stockage temporaire des eaux qui n'ont pas plus en aval la possibilité de s'évacuer du fait de niveaux élevés de l'Ikopa et de la Mamba : ainsi une vallée de 287 ha permet de stocker trois jours successifs de fortes pluies (850 000 m³) (Aubry et al., 2012)

Enfin, le bétonnage/remblaiement des surfaces agricoles favorise le ruissellement au détriment de l'infiltration de l'eau avec comme conséquence une augmentation des débits et des volumes ruisselés ainsi qu'une moindre recharge des nappes phréatiques.

Figure 10 : Les zones agricoles jouent un rôle hydraulique majeur pour la protection de la plaine urbanisée contre les inondations



En conclusion, la plaine d'Antananarivo et les bas-fonds constituent aujourd'hui des espaces tampons qui limitent l'impact des inondations lors des fortes pluies. Il y a donc un lien direct entre l'avancée de l'urbanisation dans les espaces agricoles et l'augmentation du risque inondation. La réduction de ces espaces ira de concert avec une augmentation des risques hydrologiques pour les infrastructures et les populations.

3.3.2 Le rôle épurateur des parcelles agricoles

La cressiculture s'effectue dans les bas-fonds des vallées qui reçoivent les eaux rejetées par les habitants des collines directement ou par le biais de leurs activités, du fait de la faiblesse des infrastructures d'épuration des effluents. Ces eaux peuvent renfermer en excès des substances chimiques. Certaines de ces substances peuvent contribuer à la fertilisation du milieu (les matières organiques, le nitrate, le phosphate, l'ammonium), et d'autres peuvent être toxiques à forte concentration tels les oligo-éléments (fer, cuivre, zinc, manganèse) et les métaux lourds (plomb et chrome) (QUALISANN, 2008).

3.3.2.1 Provenance des eaux d'irrigation

L'eau utilisée pour l'irrigation peut provenir de plusieurs origines :

- De la rivière Ikopa via le canal GR et les autres grands canaux. C'est le cas essentiellement pour les grandes plaines rizicoles ;
- De sources d'eau pour certaines vallées intra-urbaines ;
- Des canaux collectant les eaux usées brutes de certains quartiers de la ville.

Figure 11 : Part de la superficie de cresson dans la CUA selon la provenance de l'eau (Source : Qualisann, 2008)

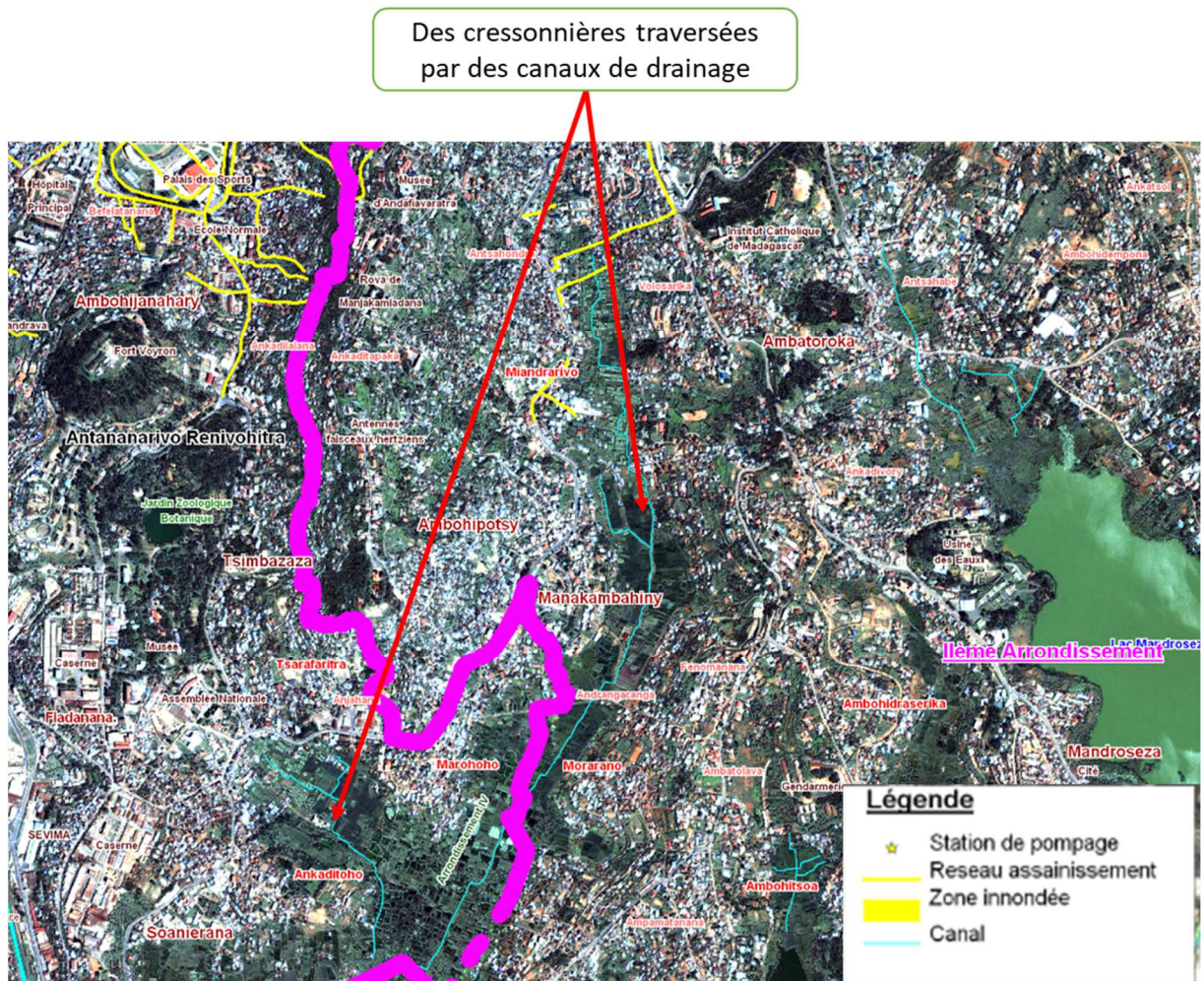
Provenance de l'eau	Part dans l'irrigation
Eau de source	0,1 %
Eau de source uniquement en saison sèche	0,29%
Eaux usées	69,9%
Eaux usées + eaux de sources	29,71%

On peut considérer que le cas le plus favorable en terme de santé pour les populations est celui de l'irrigation à partir d'une source. On peut supposer que la qualité de cette eau est bonne et ne présente pas de risque particulier même si cela reste à vérifier (en effet, il est possible que ces sources soient alimentées par des nappes phréatiques elles-mêmes polluées).

La rivière Ikopa présente un débit important ainsi que l'eau d'irrigation transportée par le canal GR. Même si la rivière Ikopa collecte une partie des eaux de drainage de la ville, on peut penser que le taux de dilution est important pour limiter le risque sanitaire.

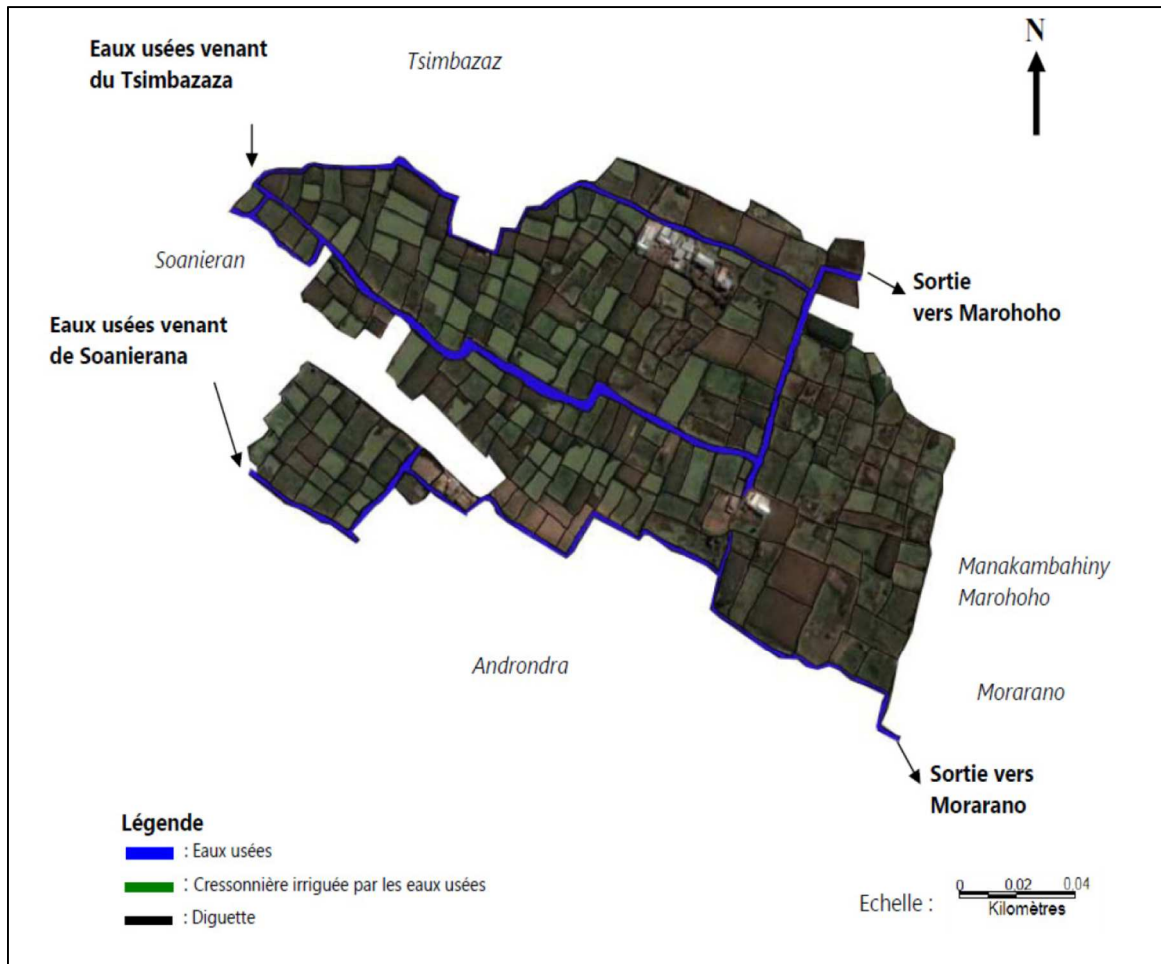
Le dernier cas, quand l'eau d'irrigation provient directement des eaux domestiques, est le plus problématique car ce sont des eaux brutes qui ne subissent aucun traitement avant leur utilisation en agriculture.

Figure 12 : Les cressonnières sont alimentées pour partie par des canaux de drainage : (Source : carte du réseau d'assainissement de la CUA)



La figure ci-dessous montre le cas des cressonnières situées juste au sud du quartier de Tsimbazaza dont le fonctionnement hydraulique ne repose que sur l'alimentation via les canaux de collecte d'eau usée.

Figure 13 : Système d'irrigation des cressonnières au sud de Tsimbazaza



Source : « Production de cresson à haut risque dans les bas-fonds d'Antananarivo ? » Marie-Hélène Dabat, 2010.

3.3.2.2 Qualité des eaux utilisées par les agriculteurs

Les eaux usées brutes contiennent potentiellement :

- Un taux de pathogènes élevé,
- Des aérosols néfastes pour la santé humaine,
- Des contaminants.

Les études qui se sont penchées sur les cressonnières en centre-ville de Tananarive nous apportent des éléments sur la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation de ces parcelles.

La figure 12 montre l'évolution des caractéristiques des eaux usées brutes sur la cressonnière d'Andravohangany entre 2007 et 2010. On constate qu'à cet endroit, la DBO₅ est en constante augmentation et dépasse largement les normes de rejet des effluents liquides malgaches.

Figure 14 : Analyse des eaux usées brutes sur la cressonnière d'Andravohangany entre 2007 et 2010
(source : M. RAZAFINTSALAMA, RAKOTONDRAIBE, J., 2014)

	2007	2008	2009	2010	Norme de rejets
pH	6,72	7,2	6,32	5,76	6 - 8,5
CE (µS/cm)	400	470	501	606	500
MES (mg/L)	100	82	43,30	-	60
DBO ₅ (mg/L)	60	70	92	-	50
DCO (mg/L)	113	170	133	-	150
NH ₄ ⁺ (mg/L)	2,53	1,60	22,66	-	15
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,20	21,60	71,73	2,12	20
Mg ²⁺ (mg/L)	57,60	-	60	80	30
Ca ²⁺ (mg/L)	200	-	-	24	75
K ⁺ (mg/L)	8,50	7,50	-	27	12
H ₂ PO ₄ ⁻ (mg/L)	0,02	0,10	54,83	13	10
Fe ²⁺ (mg/L)	-	3	-	-	5
Cu ²⁺ (mg/L)	-	0,80	0,94	0,18	0,20
Zn ²⁺ (mg/L)	-	0	0,35	-	2

Les eaux usées brutes utilisées en irrigation du cresson dans la ville d'Antananarivo présentent une importante charge polluante vu la valeur de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO), la Demande Chimique en Oxygène DCO, les Matières En Suspension (MES) et la turbidité. Elles sont riches en matière organique, en éléments nutritifs et en Eléments Traces Métalliques (ETM) surtout Cr et Cu. Les eaux mixtes apportent plus d'éléments nutritifs que le témoin avec une faible teneur en ETM. Néanmoins, la période des crues augmente la concentration en ETM à cause de l'entraînement par la pluie qui accroît leur solubilité. Les sols sont très enrichis en MO et en éléments nutritifs. Aucun n'est contaminé par les ETM toutefois le sol d'Andravohangany en est le plus riche (Etude Qualisann, 2008).

Les hot spots de pollution sont principalement :

- Intra-urbain : utilisation des eaux usées (domestique ou artisanal) directement pour l'irrigation et réseau d'assainissement vétuste et sous-dimensionné (en 2005 dans la CUA, seuls 17 % des ménages connectés au réseau d'assainissement) ;
- Péri-urbain : effluents industriels (route de la digue , Tanjombato, Ankorondrano, Andraharo, Ambohimananina, Laniera).

En complément des études mentionnées dans ce rapport, le tableau ci-dessous présente une synthèse des éléments bibliographiques disponibles sur la qualité des eaux sur les zones agricoles. Ces éléments abondent dans le sens d'un risque sanitaire élevé pour les populations travaillant en agriculture ou consommant des produits agricoles.

Tableau 5 : Eléments bibliographique sur la qualité de l'eau en zone agricole

Analyse/ Paramètres	Contaminants significativement élevés	Zones étudiées	Références
Taux des sels dissouts (Nitrate, Phosphate, Potassium)		FKT d'Andravoahangy Tsena	RAZAFINDRALAOVA Lalaina 2009
	Nitrates	Cressonnières d'Andravoahangy et Tsimbazaza	DABAT et al., 2010
Test de biodégradabilité de l'effluent (DCO/DBO5)	Hydrocarbures et quelques détergents issus des industries textiles	Près de la plaine de Laniera	RAZAFIMANDIMBY, 2008
Potentiel d'oxydo- réduction	Ions sodium (Na+) et chlorure (Cl-)	Rizières de la plaine de Laniera	RANDRIANANTOANDRO et al., 2014
Matière en en suspension (MES)	Matière organique en suspension	Cressonnières d'Andravoahangy et d'Ampandranana	DABAT et al., 2010
	Contamination fécale excessive	Cressonnières intra-muros de la vallées d'Ambanidia	DABAT et al., 2006
Teneurs des éléments traces métalliques (Al, Cu, Zn, Fe , Mn)		FKT d'Andravoahangy Tsena	RAZAFINDRALAOVA L. 2009
	Cuivre	Cressonnières d'Andravoahangy, de Tsimbazaza, d'Ampandranana, d'Ambanidia, d'Amparihy	DABAT et al., 2010

Source : « Production de cresson a haut risque dans les bas-fonds d'Antananarivo ? » Marie-Hélène Dabat, 2010.

3.3.2.3 Irrigation et sols agricoles

Le sol est le milieu récepteur des eaux usées et des eaux de pluies. La fertilité des sols est conditionnée à un équilibre entre des éléments mobiles et adsorbés qui permettent à la fois d'avoir une structure favorable (stabilité du complexe argilo-humique) aux culture et une capacité d'échanger des ions suffisante pour couvrir les besoins des plantes.

Des apports permanents d'eaux usées chargées en matières organiques et éléments minéraux peut perturber cet équilibre. Ces apports peuvent également jouer le rôle de fertilisants à la fois minéraux et organiques.

Les cressons sont cultivés dans des sols moyennement acides et à textures grossières. Les sols des sites étudiés par les études citées dans ce rapport présentent un rapport C/N entre 8 et 15 qui indique que les matières organiques dans le sol sont bien décomposées. Donc, elles peuvent se minéraliser rapidement pour être assimilées par le cresson.

La figure ci-dessous montre l'évolution des paramètres physico-chimiques du sol de la cressonnière d'Andravohangany.

Figure 15 : Evolution des paramètres physico-chimiques du sol sur la cressonnière d'Andravohangy entre 2007 et 2010 (source : M. RAZAFINTSALAMA, RAKOTONDRAIBE, J., 2014)

Paramètres	2007	2008	2009	2010
pH eau	5,75	5,80	6,68	6,36
CE(μS/cm)	900	900	950	606
N (%)	0,30	0,38	0,51	0,31
P (ppm)	107,00	29,20	105,50	71,00
K (méq/100g)	0,73	0,82	0,82	1,78
Ca (méq/100g)	13,40	10,80	26,90	1,62
Mg (méq/100g)	2,33	2,58	2,16	5,19
Na (méq/100g)	0,87	0,75	0,81	0,66
S (somme des BE)	17,34	14,95	30,69	9,25
V(taux de saturation (%))	139,00	119,00	133,00	62,00
C.E.C (méq/100g)	12,50	12,50	23,10	15,00
C/N	10,90	15,00	20,21	14,00
MO (%)	5,60	10,00	17,76	7,56
Cu (ppm)	0	0	39,50	47,00
Zn (ppm)	38,00	38,00	71,30	51,30
Fe (ppm)	0	12,00	14,00	20,20

Figure 16 : Qualité des eaux d'irrigation sur trois sites de cressonnières (Dabat et al., 2012)

	Ambanidia	Andravohangy	Ampandrana	Normes
Eaux d'irrigation	Eaux de source et eaux usées	Eaux usées	Eaux usées	
Demande biologique en oxygène (mg/l)	2	100	n.d.	50
Demande chimique en oxygène (mg/l)	10	245	n.d.	150
Matières en suspension (mg/l)	20	60	83	n.d.
Nitrates (mg/l)	21,6	18,7	n.d.	n.d.
Chrome (mg/l)	n.d.	1,1	0,3	0,2
Cuivre (mg/l)	0,4	0,7	0,5	0,2

n.d. : donnée non disponible.

Concernant les métaux, la Figure 16 et 15 nous montrent que la concentration en cuivre dans toutes les eaux d'irrigation dépasse les teneurs maximales admissibles établies par l'Académie nationale des sciences de Madagascar. De plus, les eaux d'Andravohangy et d'Ampandrana présentent une concentration en chrome supérieure à la limite admissible. Ces métaux peuvent être phytotoxiques ou s'accumuler dans le cresson. Les autres métaux, fer, zinc et plomb sont présents dans les eaux mais à des concentrations inférieures à la norme. Nous avons donc un bilan chimique mitigé pour ces sites.

3.3.2.4 Un rôle épurateur bénéfique

ROLE EPURATEUR DU CRESSON

L'utilisation de surface d'épandage portant des plantes (cultivées ou pas) est un moyen d'épuration efficace. Les zones de cressonnières ont un rôle essentiel dans la diminution du taux d'azote et de phosphore dans les eaux domestiques, également sur le taux de matière organique.

Les observations de terrain font ressortir que les eaux usées s'éclaircissent d'amont en aval à mesure qu'elle traverse les cressonnières. Le tableau ci-dessous résume les résultats cités dans l'étude de Dabat et al., parue en 2012.

Figure 17 : Mise en évidence du rôle épurateur des cressonnières pour la matière organique, l'azote ammoniacal, et le phosphore (Source : Dabat et al., 2012)

Indicateur	Valeur en entrée de la succession de cressonnière	Valeur en sortie des cressonnières
Teneur en Matière organique	102 à 206 mg/l	38 à 108 mg/l
N-NH ⁴⁺	20 à 23 mg/l	6 à 9 mg/l
N-NO ³⁻	1,4 à 5 mg/l	-
P-PO ₄ ³⁻	16 à 18 mg/l	5 à 14 mg/l

L'élimination par volatilisation et par nitrification-dénitrification ayant pu être considérée comme négligeable, c'est essentiellement l'exportation par les plantes qui expliquerait cette diminution (Dabat et al., 2012).

Figure 18 : Paramètres de qualité de l'eau en entrée et sortie des cressonnières d'Andravohangy (source : M. RAZAFINTSALAMA, RAKOTONDRAIBE, J., 2014)

Paramètres	Eau à l'entrée des cressonnières	Eau à la sortie des cressonnières	% d'élimination
MES (mg/L)	100	20	80 %
DBO ₅ (mg/L)	60	5	92 %
DCO (mg/L)	113	43	62 %
Fe ²⁺ (mg/L)	2,10	1,00	52 %
Cu ²⁺ (mg/L)	1,00	0,33	67 %
Zn ²⁺ (mg/L)	0,60	0,19	28 %

Les résultats observés sur les eaux d'irrigation des cressonnières d'Andravohangy montrent également un pouvoir épurateur de ces espaces agricoles assez élevé : entre 30 et 70% d'élimination de la teneur en fer, cuivre et zinc. Les chiffres annoncés par cette étude concernant la réduction de la demande biochimique en oxygène (DBO₅), qui est un indicateur de la quantité de matière organique biodégradable, sont très élevés et surpassent les performances des systèmes à lagunages naturel construits spécifiquement pour l'épuration. Ces résultats sont à prendre cependant avec précaution, car la mesure de ce paramètre est très sensible aux modes opératoires. La diminution des matières en suspensions mise en évidence dans l'étude montre également des performances épuratoires très bonnes, qui confirment les observations de Dabat et al. en 2012 (cf. début de paragraphe et Figure 17)

LE ROLE EPURATEUR DES SOL

La diminution de la teneur en ETM à la sortie d'une parcelle de 636 m² reflète la contribution du sol et du cresson à l'élimination de ces éléments. Une partie est fixée par le sol et une autre exportée par le cresson. Les propriétés physico-chimiques du sol (pH = 6.2, CEC = 32 me/100 g et MO = 12%) tendent à immobiliser les ETM dans l'horizon racinaire par phénomène de complexation, de précipitation et d'adsorption. La variation de leur concentration au cours des trois années d'études provient principalement du travail du sol et de la récolte régulière du cresson (exportation). Le cresson tolère la présence du Pb, Cr, Mn et Cu dans le sol avec un facteur de transfert sol-cresson inférieure à 1. Pourtant, il accumule ces éléments fournis par les eaux d'irrigation (Qualisann, 2008).

Il en est de même pour la culture du riz qui valorise une partie très importante des nutriments présents dans les eaux. Il en résulte une amélioration de la qualité de l'eau au fur et à mesure que l'eau transite par les différentes surfaces agricoles.

Les systèmes de culture sont d'ailleurs organisés pour partie en fonction du type d'eau accessible ; Les premières parcelles à recevoir les eaux usées sont cultivées en monocultures de cresson ou avec une rotation jachère-cresson. Vers l'aval, les systèmes de culture sont plutôt tournés vers le riz. En effet le riz ne supporte pas les taux d'azote présents dans les eaux usées trop chargées (pas de formation de grains). Ces dispositions montrent en pratique les bienfaits du rôle épurateur des zones agricoles.

D'autres plantes non cultivées participent également à l'épuration. On peut citer notamment la jacinthe d'eau qui est fortement présente dans la plaine rizicole. Elle utilise très bien les nutriments présents dans l'eau pour fabriquer de la biomasse végétale.

CONCLUSIONS SUR LE ROLE EPURATEUR DES ESPACES AGRICOLES

L'analyse des résultats des études disponibles et les observations de terrain mettent évidence les éléments suivants :

- L'agriculture urbaine s'est adaptée à la densification de la CUA en organisant les systèmes de cultures en fonction des capacités des plantes à recevoir les eaux usées : cresson en amont et riz en aval
- Les eaux d'irrigation proviennent à 70% environ à minima d'eaux 100% usées pour les cressonnières de centre-ville. Les rizières des plaines Nord-Ouest et Ouest bénéficient du réseau d'irrigation dérivé du fleuve Ikopa par le canal GR. Les rizières qui ne bénéficient pas de ce système sont irriguées en partie par des eaux épurées par les cressonnières situées en amont
- Les espaces agricoles jouent un rôle d'assainissement avec des performances épuratoires proches des systèmes dits à lagunage naturel et aéré (en particulier pour la DBO₅ et les Matières En Suspension).

Si ce bilan est positif, il est perfectible (cf. paragraphe 3.5) et il convient de se poser des questions sur la santé humaine concernant les eaux d'irrigation et les produits agricoles. En effet, si les plantes absorbent une partie des éléments considérés comme dangereux dans l'eau, qu'en est-il des produits agricoles et de la santé des agriculteurs ?

3.4 SANTE PUBLIQUE

Ces eaux présentent donc un risque potentiel pour la santé humaine :

- Pour les travailleurs agricoles qui sont en contact direct avec l'eau souillée et le sol contaminé,
- Pour les consommateurs.

Le risque pour les travailleurs agricoles :

Nous devons distinguer deux cas présentant des impacts différents : celui du riz et celui des produits maraichers (et notamment le cresson) :

- Le produit consommé dans la culture du riz est le grain lui-même, qui n'a jamais été en contact direct avec l'eau souillée. La récolte se fait le plus souvent sur une rizière asséchée et le grain dans tous les cas ne trempe pas dans l'eau. Cette culture présente donc un risque sanitaire faible pour les consommateurs ; **par contre le risque demeure pour les travailleurs agricoles en contact direct avec l'eau.**
- Dans le cas du cresson et des autres produits maraichers le risque sanitaire concerne les travailleurs agricoles et les consommateurs car le produit consommé est directement en contact avec l'eau usée. Le risque pour le consommateur peut être réduit par rinçage à l'eau propre et cuisson avant consommation.

Le type d'irrigation pratiqué (submersion) augmente les risques pour les travailleurs agricoles qui sont en contact direct avec les eaux souillées. D'autres types d'irrigation présentent moins de risque (micro-asperersion ou goutte-à-goutte) mais nécessitent d'abandonner le fonctionnement gravitaire pour un système d'irrigation sous pression, ce qui n'est pas le cas dans la zone d'étude.

Le risque pour les consommateurs

On peut penser (mais cela reste à démontrer) qu'il existe un impact négatif sur la santé des populations consommant des produits frais sans précaution d'usage (rinçage à l'eau claire et cuisson) : quel impact sanitaire sur les personnes les plus vulnérables (enfants et personnes âgées) ?

Il y a peu d'étude sur la qualité sanitaire des produits agricoles issus des zones de cressonnière. On peut citer deux études :

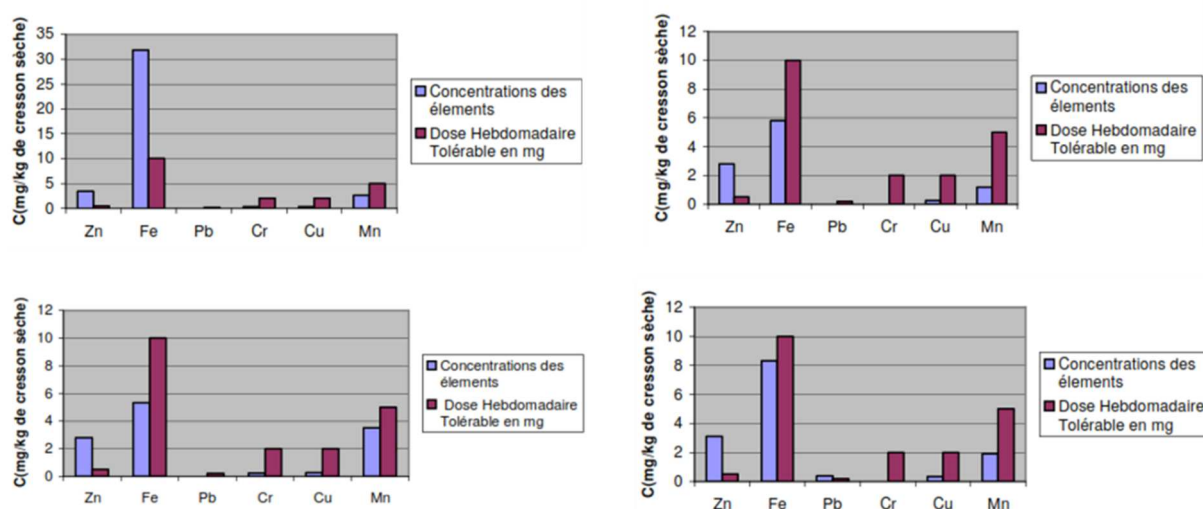
1. *Qualité sanitaire des cressons cultivés dans une vallée de la commune urbaine d'Antananarivo*, RAKOTOMALALA Iriela, 2006.
2. *Cresson à Antananarivo : Qualité microbiologique des échantillons prélevés dans les sites types*, RALIJAONA Hary Tiana, 2010.

Les résultats de ces études ont montré que :

ETUDE 1 :

Les cressons du site étudié (Vallée d'Ambanidia, à l'Est de la colline de Manjakamiadana) ont **des qualités sanitaires non satisfaisantes** si l'on considère les éléments en traces métalliques. En effet, les concentrations en Zinc, en Fer et en Pb de ces cressons dépassent les doses hebdomadaires tolérables en mg. Ainsi, la consommation de ces cressons est à décommander pour éviter les risques d'intoxication à ces éléments.

Figure 19 : Concentration en métaux dans les cressons des parcelles analysées par l'étude (Source : RAKOTOMALALA Iriela, 2006)



Par contre, les concentrations en Cuivre, Chrome et Manganèse ne constituent pas des facteurs limitatifs pour la consommation des cressons du site.

Le transfert sol plante est la principale source de contamination des cressons du site par les éléments Zn, Fe, Pb. En effet, la présence suffisante de ces éléments dans le sol, le pH du sol, et l'augmentation de l'eau disponible par l'irrigation favorisent l'exploitation et l'assimilation des éléments du sol par les cressons.

L'utilisation des pesticides (ultracide, malathion, DDT) risque de contaminer les cressons du site. Ainsi, l'étude Qualisann (2008) a montré que les agriculteurs dépassaient en général les doses prescrites pour une bonne utilisation des produits phytosanitaires.

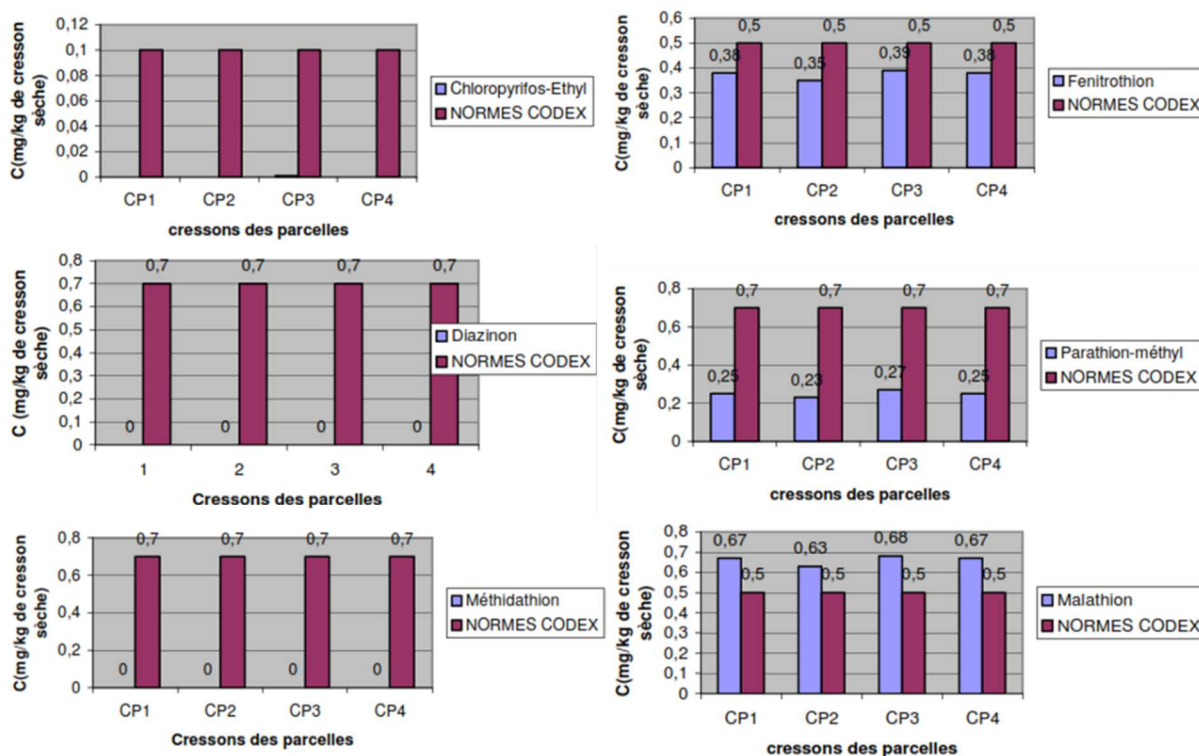
Figure 20 : Produits phytosanitaires et dosages utilisés dans les cressonnières de la CUA (Source : Enquête agro-géographie Qualisann, 2008)

Quantité/are	Ampandranana	Andravoahangy	Tsimbazaza	Ambanidia	Amparihindrasahala
Saison fraîche	1,5 à 2 bouchons + 1 seau	2 bouchons + 1 seau	2 bouchons + 1 seau	1,5 à 2 bouchons + 1 seau	1,5 bouchon + 1 seau
Ecart d'utilisation*	0,5 bouchon	0,5 bouchon	0,5 bouchon	0,5 bouchon	-
Saison chaude	3 bouchons + 2 seaux X 2 à 3 fois	2,5 à 3 bouchons + 1 seau X 2 à 3 fois	3 bouchons + 1 seau X 2 à 3 fois	2,5 à 3 bouchons + 2 seaux X 2 à 3 fois	2 bouchons + 1 seau X 2 fois
Ecart d'utilisation	1,5 bouchon	1 à 1,5 bouchon	1,5 bouchon	1 à 1,5 bouchon	0,5 bouchon

Légende : * Ecart d'utilisation = doses utilisées – doses prescrites

Les résultats des analyses de l'étude ont confirmé cette possibilité : les matières actives Fenitrothion et Paraméthyl existent à l'état de traces dans les cressons mais la présence du **malathion en concentration élevée** est un danger pour les consommateurs. Cette substance est considérée comme hautement toxique pour l'homme et pour les organismes aquatiques ; des dispositions particulières doivent être prises au niveau de sa manipulation surtout dans la précision de la dose par l'utilisation d'un meilleur pulvérisateur. La figure ci-dessous résume les résultats de l'étude sur la contamination par les pesticides :

Figure 21 : Analyse des résidus de 6 pesticides dans les cressons des parcelles étudiées (Source : RAKOTOMALALA Iriela, 2006)



ETUDE 2 :

- Dans la CUA, le cresson est produit par 26 sites. Ces sites sont majoritairement alimentés par des eaux usées provenant des canalisations permanentes et/ou des habitations avoisinant les sites,
- la commercialisation du cresson récolté au niveau des sites de production se fait selon plusieurs circuits de commercialisation,
- les analyses des échantillons de cresson (n=56) ont montré la présence de : coliformes totaux, Escherichia coli β -glucuronidase positive, Flore Aérobie Mésophile Totale.

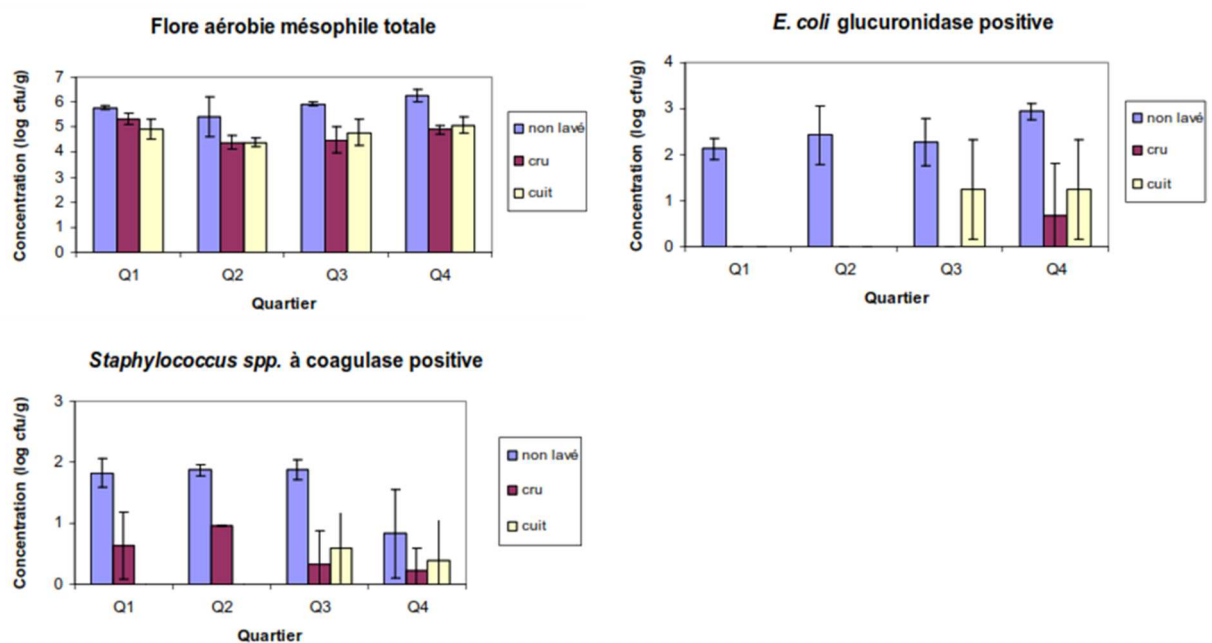
Les concentrations en Coliformes totaux, Escherichia coli β -glucuronidase positive, et Staphylocoques à coagulase positive des 6 sites ne sont pas significativement différentes (test de Fisher LSD). Le site 5 présente une concentration moyenne de Flore Aérobie Mésophile Totale (FAMT) significativement élevée $6,33 \log_{10} \text{ ufc.g}^{-1}$ par rapport aux autres sites dont la moyenne est comprise entre $5,68$ à $5,94 \log_{10} \text{ ufc.g}^{-1}$

RESULTATS MICROBIOLOGIQUES ISSUS DE L'ETUDE QUALISANN, 2008

Les échantillons bruts achetés par les ménages sont tous contaminés : FAMT entre 10^5 - 10^6 ufc/g, *E. coli* entre 10^2 - 10^3 ufc/g, *Staphylococcus spp.* < 100 ufc/g. Le test statistique (test du Signe) a montré que, quel que soit le type de germe (*Famt*, *E. coli* et *Staphylococcus spp.*), les échantillons de cresson non lavés sont significativement différents des échantillons crus et cuits ($p < 0.05$). Ces derniers, en revanche, ne sont pas différents entre eux ($p > 0.05$).

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus.

Figure 22 : résultats des tests microbiologiques sur les quartiers Ambohimirary, Ankadindramamy, 67 hectares sud et Ambatokaranan (Qualisann, 2008)



Une autre étude met en évidence, contrairement à celle citée ci-dessus, que la cuisson du cresson permet de réduire la quantité de pathogènes.

Les résultats sont illustrés par la figure ci-dessous.

Figure 23 : tests microbiologiques réalisés sur du cresson consommé au niveau des ménages (Dabat et al., 2012)

	Cresson cru	Cresson cuit	Normes
Flore totale*	9,4x10 ⁵	9,9x10 ⁴	-
Escherichia coli *	4,4x10 ²	9,1	< 100 ufc/g (CE 2073/2005)
Staphylococcus aureus*	6,101	4,9	<100 ufc/g Gilbert et al, 2000

*En ufc (unités formant des colonies) par gramme. Les analyses microbiologiques ont été réalisées selon les méthodes préconisées dans le Règlement européen CE 2073/2005 concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires (Commission européenne, 2005).

On voit ici que le cresson cru dépasse les normes pour *E. coli* notamment, mais que la cuisson permet de réduire la présence de ce pathogène.

ETUDE SUR LA TOXICITE DU CRESSON (QUALISANN, 2008)

Dix-huit extraits préparés à partir d'échantillons de cresson prélevés dans les cressonnières de Tsimbazaza, d'Amparihy et d'Andravohangy ont été testés par injection sur des souris mâles et femelles de race Swiss âgées de 10 à 12 semaines et sur la croissance de cinq souches de bactéries : *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella Typhi*, *Vibrio fischeri* et *Vibrio harveyi*.

D'après les résultats, les extraits de cresson ne montrent aucune toxicité sur les souris et sur les bactéries.

Ce qui nous permet d'affirmer que le cresson est en lui-même une plante non toxique et que malgré la pollution des milieux de culture, aucune trace de toxicité acquise n'est perçue dans les échantillons lavés.

Le risque de dépassement des seuils journaliers admissibles en contaminant est par contre élevé pour la consommation de produits animaux, notamment le lait et la viande qui vont concentrer les contaminants.

3.5 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Plusieurs enjeux environnementaux se posent concernant les surfaces agricoles dans la CUA. Ces enjeux ont des impacts positifs ou négatifs.

UN IMPACT NEGATIF DE L'UTILISATION DES PESTICIDES

On peut citer l'impact sur la biodiversité de l'utilisation excessive des pesticides. L'utilisation d'herbicide d'origine chimique est généralisée en riziculture, ainsi que l'utilisation d'insecticide et de fongicide en maraîchage. Ces molécules une fois épandues dans les parcelles se retrouvent dans l'eau de drainage qui elle-même peut être réutilisée par un autre agriculteur en aval. Ce pose la question de la santé des travailleurs agricoles qui ne sont pas protégés, de la qualité des produits consommés où ces molécules peuvent se retrouver, de la pollution des nappes phréatiques et de l'impact sur la faune et la flore de ces milieux aquatiques.

UNE EUTROPHISATION DES ZONES BASSES INONDEES

Le rôle d'épuration des plantes cultivées et non cultivées atteint sa limite quand les eaux qu'elles reçoivent sont chargées excessivement en élément fertilisant. Nous pouvons citer le cas de la jacinthe d'eau qui valorise très bien les nutriments en produit une biomasse végétale importante. Cette biomasse peut devenir tellement développée qu'elle recouvre intégralement la parcelle sur plusieurs dizaines de centimètres. La conséquence qui en résulte est une mauvaise oxygénation de l'eau qui fait passer le milieu en anaérobiose. Ce phénomène ne permet plus la dégradation rapide de la matière organique (contenu dans les eaux mais également produite par la jacinthe) provoquant une accumulation de cette matière organique et sa putréfaction. Ce processus est néfaste pour la vie biologique qui disparaît.

Figure 24 : Zone envahie par la jacinthe d'eau et les détrit



Quand ce stade est atteint les agriculteurs abandonnent les parcelles.

Comme vu plus en première partie de ce paragraphe, les zones agricoles en amont permettent de retenir la matière organique, l'azote, le phosphore notamment. Ainsi, le maintien de ces dernière permet de limiter les zones eutrophisées. Si ces espaces d'épuration naturelle venaient à se restreindre voire à disparaître, cela poserait un problème majeur de risque inondation, de qualité de l'eau et de santé publique. Le bilan est donc très positif en terme de qualités épuratoires pour les zones agricoles.

4. QUE FAUT-IL RETENIR ?

L'agriculture urbaine à Antananarivo est une activité pratiquée depuis des générations et qui a toujours fait partie du paysage de la capitale. Elle joue plusieurs rôles essentiels pour les populations en fournissant des produits agricoles de proximité à moindre coût et tout au long de l'année, de l'emploi direct et indirect, des revenus non négligeables pour les agriculteurs. Cette agriculture joue aussi plusieurs rôles qui participent à la protection de l'environnement en assurant une certaine épuration des eaux et en maintenant des zones humides. Enfin les zones agricoles sont cruciales pour la protection contre les inondations en assurant des espaces tampon d'épandage de crue lors des fortes pluies.

Pour autant, malgré tous les services rendus par ces espaces, ils sont aujourd'hui insuffisamment protégés. Ils sont notamment principalement menacés par l'urbanisation qui grignote progressivement les parcelles et réduit l'espace agricole avec tous les bénéfices qu'il apporte. La ville a besoin de s'étendre pour assurer le logement de sa population grandissante et de son développement économique, mais ce besoin d'espace ne doit pas se faire de manière anarchique.

Le milieu agricole a tout à gagner en proposant des espaces de moindre valeur agricole pour l'urbanisation en contrepartie d'une protection plus forte sur les espaces agricoles à haute valeur ajoutée. Ces zones de protection agricole forte doivent aussi voir l'amélioration de la qualité de l'eau d'irrigation au bénéfice des agriculteurs et des consommateurs.

Dans la cadre du PIAA, il est proposé la mise en place d'une ou plusieurs stations d'épuration. Dans la prochaine phase d'étude concernant ce volet agricole, il s'agira de mesurer l'impact de ces infrastructures sur l'agriculture. Plusieurs questions se posent :

- Quel sera le positionnement de ces stations par rapport au réseau d'irrigation actuel ? Les stations ont tout intérêt à se situer très à l'aval des réseaux afin de pouvoir collecter un maximum d'eau usée à traiter. Or ce positionnement très à l'aval n'aura aucun effet bénéfique sur les espaces agricoles situés en amont (cas des cressonnières et du maraichage par exemple) ;
- Quel sera l'effet sur la qualité de l'eau en aval de la station ? L'eau rejetée permettra-t-elle de ramener la qualité de l'eau d'irrigation (quelle que soit sa provenance) dans les normes réglementaires ? Avec donc un risque sanitaire faible pour les travailleurs agricoles et les consommateurs ;
- Comment se fera la gestion des boues de station ? Ces boues pourront-elle être valorisées directement par épandage sur certaines parcelles agricoles ? Une solution de compostage en mix avec des déchets verts sera-t-elle possible ?

Enfin pour terminer, dans la prochaine phase, un travail devra être réalisé en concertation avec les autres experts de l'étude (hydrologie, assainissement, génie civil, ...) et les parties prenantes, pour évaluer quels seraient les critères de priorisation des zones agricoles au vue des besoins de développement de la ville, des enjeux liés à l'assainissement, au besoin d'épandage de crue et de protection de l'environnement.