



SOMMAIRE

Chapitre 1 : PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

1. Localisation
2. Relief
3. Hydrographie
4. Climat
5. Les ouvrages de drainage de la ville d'Antananarivo
6. Le Marais Masay

Chapitre 2 : ANALYSE DES IMPACTS HYDRAULIQUES AU NIVEAU DU MARAIS MASAY

1. Notion d'impact
2. Description générale des bassins versants tributaires du Marais Masay
3. Système de drainage du marais Masay
4. Pollution des eaux du marais Masay

Chapitre 3 : PROPOSITIONS POUR AMELIORER LA QUALITE DES EAUX DU MARAIS MASAY

1. Le lagunage
2. Prétraitement des rejets industriels
3. Soutenir l'assainissement et la gestion des déchets dans les quartiers riverains

Chapitre 4 : ALTERNATIVES POUR ELIMINER LES RISQUES D'INONDATION DANS LES ZONES BASSES DE LA VILLE

1. Accroître la capacité de rétention du Marais Masay
2. Dragage et curage des canaux d'assainissement
3. Création d'un bassin de retenue à Morarano

Chapitre 5 : RECOMMANDATIONS

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Liste des abréviations

A : Surface du bassin
b : variable régionale
°C : Celsius
C : Coefficient de ruissellement
 C_t : Consommation totale en eau
H : Pluviomètre maximale journalière de fréquence 1/10Ha : hectare
I : Pente moyenne du bassin versant
 I_{tc} : Intensité de l'averse de durée t_c provoquant le débit maximal
km : Kilomètre
L : Longueur du Thalweg
l/s : litre par seconde
m : mètre
 m^3/s : mètre cube par seconde
P : pente du thalweg
Q : Débit de période de retour T
 Q_m : débit moyen
 Q_{max} : Débit maximal de crue
S : Superficie du bassin versant
AEP : Approvisionnement d'Eau Potable
AFD : Agence Française de Développement
AGETIPA : Agence d'Exécution des Travaux d'Intérêt Public d'Aménagement
APIPA : Autorité pour la Protection contre les Inondations de la Plaine d'Antananarivo
BPPA : Bureau du Projet de la Plaine d'Antananarivo
BD 10 : Base de données à la carte 1/10000^{ème}
CUA : Commune Urbaine d'Antananarivo
FTM : Foibe Taontsary Malagasy
GIEU : Gestion Intégrée des Eaux Urbaines
GR : Génie Rural
M2PATE : Ministère des Projets Présidentiels, de l'Aménagement du Territoire et de l'Équipement
PIAA : Programme Intégré d'Assainissement d'Antananarivo
RN : Route Nationale
SAMVA : Service Autonome pour la Ville d'Antananarivo
SOGREAH : Société Grenobloise d'Études Appliquées à l'Hydraulique
SOMEAH : Société Malagasy d'Études Appliquées à l'Hydraulique

Listes des figures

Figure 1 : Dispositif d'analyse

Figure 2 : Réseau hydrographique du Masay

Figure 3 : Délimitation des bassins versants tributaires du Marais Masay

Figure 4 : Histogramme des pluies moyennes à Antananarivo

Figure 5 : Carte de l'extension du Marais Masay

Figure 6 : Carte de situation du nouveau bassin de retenue

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les coefficients de ruissellement en fonction de la nature de la surface

Tableau 2 : Formules du temps de concentration

Tableau 3 : Exemples de maladies hydriques

Introduction

Les dirigeants malgaches ont orienté le développement de la ville d'Antananarivo en contradiction flagrante avec les principes traditionnels d'organisation de l'espace dans une volonté de moderniser l'affiche du pays. Or, l'extension en plaine n'a pu se faire qu'au prix d'un assèchement et d'un remblai des zones marécageuses. Cependant, les travaux d'aménagement, entamés dès le XIXe siècle, ne mettent pas la plaine alluviale à l'abri des inondations, car elle est fermée au Nord-Ouest par le seuil rocheux de Bevomanga-Farahantsana qui freine l'écoulement des eaux vers l'aval. La pente de l'Ikopa qui draine la plaine est extrêmement faible, de l'ordre de 0,15 %. Cela entraîne d'une part des dépôts d'alluvions considérables dans la plaine et donc la formation de marécages, et d'autre part des inondations très importantes à la saison des pluies, de décembre à mars.

L'extension de l'agglomération dans la plaine pose donc de redoutables problèmes à la population qui y réside et constitue un défi pour les aménageurs. Un organisme public subventionné par la Banque mondiale, le Bureau du Projet de la Plaine d'Antananarivo (BPPA), tente de remédier à ce problème en aménageant des bassins-tampons, en préservant les zones naturelles de réception des crues d'où l'aménagement du Marais Masay.

L'objectif de cette étude est de cerner les phénomènes hydrauliques autour du marais Masay afin de remédier à ces cas d'inondation. C'est ainsi que nous avons mené la recherche sur l'« *Analyse des impacts hydrauliques au niveau du marais Masay* ».

L'étude comportera dans son ensemble quatre parties :

- Présentation générale de la zone d'étude
- Analyse des impacts hydrauliques au niveau du Marais Masay
- Propositions pour améliorer la qualité des eaux du Marais Masay
- Alternatives pour éliminer les risques d'inondation dans les zones basses de la ville
- Recommandations



Chapitre 1 : PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

1. Localisation

Antananarivo est située entre les 1250 [m] de la plaine de Betsimitatatra et le 1453 [m] du Sommet du Rova. Elle est située, selon la BD 10 de la FTM entre les coordonnées (512 000 m ; 798 000 m) et (519 000 m 802 800 m) et est parsemée de quelques lacs comme ceux de Mandrozeza, Anosy et surtout le Lac Masay. La ville se trouve à environ 350 km de la côte Est de l'île et à 550 km de sa côte Ouest.

L'agglomération d'Antananarivo en tant qu'ensemble des communes urbaines et périurbaines adjacentes présentant une interdépendance forte n'est pas encore définie. En effet, plusieurs communes environnantes sont susceptibles d'être intégrées dans cette agglomération dépendant des études menées.

2. Relief

L'agglomération d'Antananarivo est située dans une vaste plaine alluvionnaire d'où émergent de nombreuses collines granitiques escarpées : à l'Est, ces collines s'imbriquent en désordre et progressivement, de l'Est vers l'Ouest, elles s'émiettent sous forme de tertres émergeant de la plaine de Betsimitatatra.

On est amené à distinguer ainsi 3 types de quartiers suivant leur localisation, qui posent de sérieuses contraintes en matière d'assainissement :

- Les quartiers situés sur les flancs des collines escarpées. La plupart des quartiers denses ne sont pas desservis par les routes mais par des ruelles étroites ou des escaliers lorsque la dénivelée est trop importante.



- Les quartiers de la plaine qui sont pour la plupart développés spontanément au milieu de la plaine rizicole ou le long des principaux axes routiers.
- Les quartiers du bas-fond situés le long des lignes d'écoulement naturel des eaux entre les collines. Ces zones sont sujettes à des inondations suite aux événements pluvieux et à une forte accumulation d'eau.

L'agglomération d'Antananarivo est traversée par le fleuve Ikopa et ses affluents.

L'écoulement se fait schématiquement du Sud, du Sud-Est et de l'Est vers le Nord-Ouest, en aval duquel se trouve le seuil de Bevomanga qui ralentit le débit du fleuve et permet l'accumulation des eaux dans la plaine.

La plaine est constituée de vases et argiles très peu perméables en surface et d'une épaisse couche de sable en dessous. La nappe prisonnière de ces sables est semi-captive ; elle se met en charge en période de crue de l'Ikopa.

L'agglomération d'Antananarivo est caractérisée par les bassins versants étroits et pentus à réponse rapide, c'est-à-dire concentrant rapidement les eaux de pluie ruisselées vers leur exutoire.

3. Hydrographie

Malgré la mise en place du réseau d'assainissement, en particulier le canal Andriantany, toutes les parties basses ne sont pas pour autant aménagées en rizières. Le grignotage progressif de l'espace rizicole par l'expansion urbaine, les remblais, l'enlèvement de terre quitte à raser des collines (cas d'Ambohitrimanjaka) accentue les risques d'inondation.

Par zone inondable, il est entendu une zone dans la partie basse qui risque de se retrouver sous les eaux en saison de pluie. Tout le Betsimitatatra est sous cette menace et la construction sur la rive droite de l'Ikopa n'a pas pour autant écarté le danger.

Le BPPA, sur financement de la Banque Mondiale a, dans les années 80, renforcé la maîtrise des eaux grâce à un système de pompage et de relevage des eaux avant de les déverser dans l'Ikopa. La station se trouve à Ambodimita.

Ce dispositif a entraîné la construction d'équipements et de bâtiments divers dont les plus visibles sont les quartiers de 67ha, d'Ampefiloha, d'Anosy et les aménagements dans la zone d'Antehiroka (PACOM).

A l'évidence, le renforcement de ce dispositif est impératif pour mettre la ville à l'abri des crues centennales. A l'intérieur même du périmètre urbain, la nappe phréatique se trouve à 4-5 mètres dans les parties basses, 10-15 mètres dans les zones plus élevées, avec un abaissement lors de la sécheresse hivernale. Les puits peuvent être à sec en septembre-octobre.

Les plans d'eau doivent être assainis, préservés de tout remblaiement car ils servent des bassins de stockage des eaux pluviales, de ruissellement et des eaux usées. L'occupation des bordures doit être prudente afin d'éviter les éternels sinistres durant la saison des pluies. Les victimes des cyclones confortent, si besoin est, le caractère impératif de limiter l'habitat dans les zones basses.

4. Climat

Antananarivo a un climat tropical d'altitude. Bien qu'elle soit située dans la zone intertropicale, la température moyenne sur l'année est modérée par les effets de l'altitude.

Le climat est caractérisé par des hivers frais et très secs et des étés doux et très pluvieux.

La température en saison fraîche descend rarement au-dessous de 10 °C. En saison chaude, elle dépasse rarement 30 °C.

Les gelées sont rares mais pas inconnues. Pendant le mois de juin et ce, selon les années, il se peut que la température du matin descende jusqu'à 7°C.



Quant à la pluviométrie, la hauteur de pluie moyenne annuelle est de 1360mm. Cette quantité correspond surtout à la saison des pluies et particulièrement de Décembre à Février. Les pluies d'orage sont très intenses mais relativement courtes.

5. Les ouvrages de drainage de la ville d'Antananarivo

5.1. Le système de drainage primaire

Les canaux primaires de drainage correspondent pour l'essentiel à d'anciens cours d'eau réhabilités pour les besoins de l'agriculture (irrigation et drainage) et reconvertis en drains primaires de drainage avec l'urbanisation. Cette reconversion s'est toutefois réalisée en l'absence d'une vision d'ensemble du fonctionnement hydraulique à l'échelle du bassin mais pour répondre à différents besoins liés à l'urbanisation (protection localisée des habitations contre les inondations, amélioration et sécurisation de la circulation des personnes, etc.).

5.2. Le système de drainage actuel

Le canal Andriantany amont, d'une longueur de 14 km allant d'Ankadimbahoaka à la station de pompage d'Ambodimita, collecte les eaux de la partie collinaire de la ville et les eaux de la plaine agricole nord.

Le canal C3, 10 km, draine les eaux collectées par les bassins tampons de la plaine Sud urbanisée, les débits excédentaires du canal Andriantany au niveau de l'ouvrage de décharge d'Antohomadinika et, les débits de drainage agricole.

Le canal Andriantany aval est le prolongement du canal Andriantany sur 10 km, depuis la sortie du polder à Ambodimita jusqu'au débouché dans la rivière Ikopa à Ampanindrona.



Le canal GR est un canal en terre de 14 km de long, du barrage de Tanjombato à Soavimasandro. Il a pour rôle l'amenée de l'eau d'irrigation de la rivière Ikopa dans les périmètres rizicoles (2300 ha à l'intérieur du polder et 1500 ha à l'extérieur). Pendant la saison des pluies, la prise au niveau du barrage de Tanjombato est fermée et le GR est utilisé comme drain des quartiers bas du IV^e Arrondissement. Il se décharge à Amorona dans le canal Andriantany.

Les bassins tampons ont pour rôle d'écarter les débits d'orage que les canaux ne peuvent pas absorber immédiatement. Ce qui permet d'éviter l'inondation des quartiers bas. Ce sont :

- Le lac Anosy (11 ha), débouchant dans le canal Andriantany ;
- Les bassins de la Plaine Sud sis à Mandrangobato (12 ha), Anosibe Andrefana (4 ha) et Andavamamba Anjezika (1 ha) ;
- Le marais Masay (98 ha) récupérant les pluies de la vallée de l'Est et débouchant dans le canal Andriantany à Alarobia.

La station de pompage d'Ambodimita reçoit les eaux drainées par les canaux Andriantany et C3. Quand le niveau des rivières Ikopa et Mamba ne permet plus l'écoulement gravitaire des ruissellements, c'est-à-dire à 1249 [m], la station se met en marche et pompe à un débit de 9 [m³/s]. La station de pompage est constituée de trois pompes d'une capacité de 3 m³/s chacune.

Les stations de refoulements d'Ampefiloha, d'Ambodin'Isotry et de 67ha

Les stations de relevage d'Anatihazo et d'Isotry

5.3. Les problèmes du système de drainage

Du point de vue hydraulique, les dysfonctionnements sont nombreux et concernent presque tous les tronçons du système primaire.



Il s'agit :

- De changements brusques (irrégularités) des sections d'écoulement ;
- De constructions bordant les canaux, limitant les possibilités d'augmentation des capacités d'écoulement et entravant les travaux d'entretien (ex. curage) ;
- De constructions dans l'emprise des canaux constituant un blocage direct des écoulements et la montée des eaux ;
- Des déchets et dépôts solides suite aux érosions des collines réduisant sensiblement les sections d'écoulement ;
- Du développement non contrôlé des végétations dans les canaux ;
- Des problèmes d'accès au niveau des tronçons couverts ;
- De dégradation des dispositifs de protection mis en place (revêtements) ;
- Du colmatage des ouvrages ;
- Des interférences avec les réseaux d'adduction d'eau potable (branchements Eau JIRAMA).

Les éléments de dysfonctionnement et anomalies constatés sont illustrés sur les photos en annexes.

6. Le Marais Masay

6.1. Historique et aménagement

Il est situé dans le troisième arrondissement de la commune urbaine d'Antananarivo. Il s'intègre entièrement dans le Fokontany d'Ankorondrano. Lac artificiel créé en 2004 pour



contenir les inondations en stockant les volumes d'eau excédentaires, le marais Masay est composé de deux bassins séparés à l'Est en Ouest par la Rocade reliant la route des hydrocarbures à la RN3 :

- Le bassin Sud d'une superficie totale de 20ha,
- Le bassin Nord d'une superficie totale de 78ha.

Des ouvrages d'équilibre ont été prévus pour permettre la communication entre les deux bassins Nord et Sud : n dalot triple de 3 x 3 m x 1,5 m et deux dalots doubles de 2 x 3 m x 1,5 m. Des digues de ceinture d'une longueur de 4600m ont été aménagées autour du marais Masay dont la crête est à la cote 1249,00. La largeur en crête est de 3m.

La profondeur du lac est de 0,5m à 1m, pour permettre un lagunage, avec un volume maximal d'un million de mètres cubes d'eau. Les deux bassins communiquent entre eux par trois vannes. Le lac Masay est un maillon essentiel du système de drainage de la ville. En effet, ce bassin sert de bassin tampon pour les débits provenant essentiellement de deux bassins versants :

- La vallée de Masay ou 3^{ème} vallée, d'une superficie totale de 714ha,
- La vallée de l'Est, d'une superficie totale de 700ha.

Au sud, le lobe de 20 ha collecte les eaux issues de deux principaux canaux : C1 et C2.

Au Nord, le bassin recueille les eaux d'une vallée relativement peu occupée mais agricole : C3.

Au Nord-Est, l'exutoire (E) du lac se déverse dans le Canal Andriantany, grand « canal poubelle » de la capitale, à l'ouest. Ce dernier rejoint enfin l'Ikopa : fleuve.

Compte tenu des moyens disponibles, des variations climatiques et de la configuration des lieux, il a été retenu le dispositif suivant :

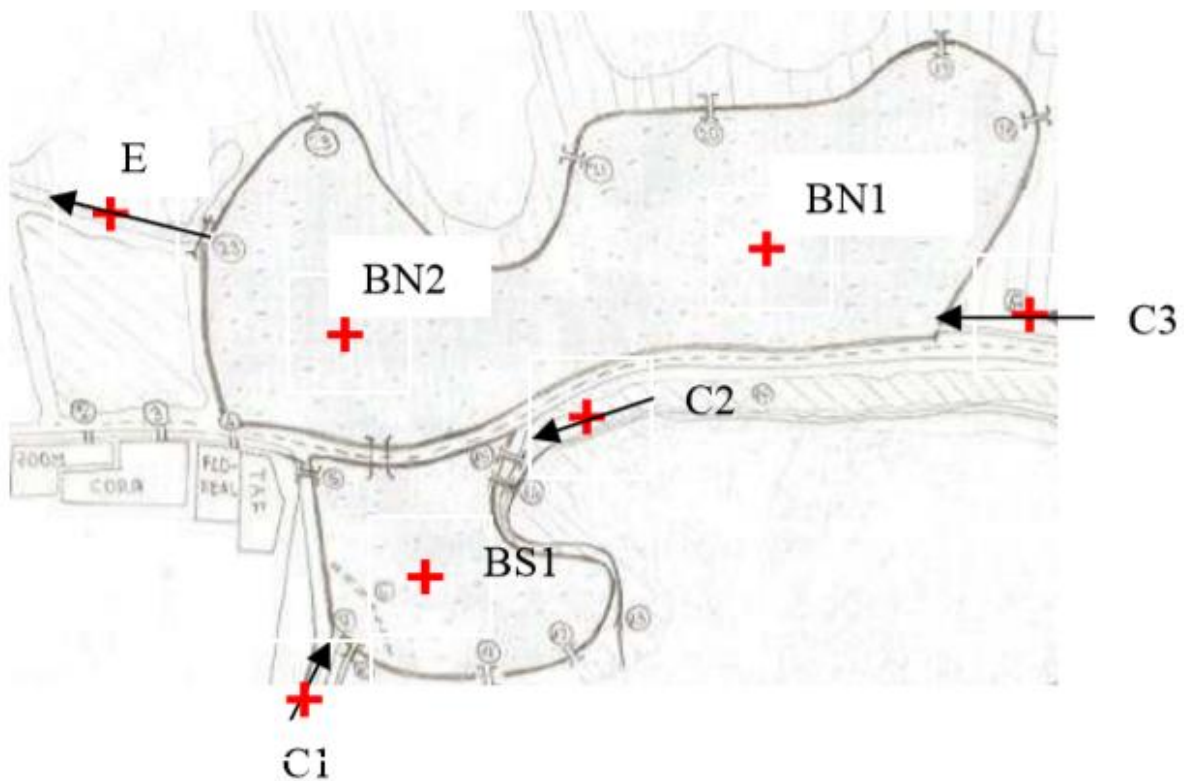


Figure 1 : Dispositif d'analyse

6.2. Rôle du marais Masay

L'idée de la mise en place d'une retenue a déjà été envisagée dans le plan d'urbanisme directeur en 1974, mais sa matérialisation n'a eu lieu qu'en 2005.

Le marais Masay joue deux rôles principaux pour l'assainissement de l'Est de la ville car il a été conçu pour :

- ✓ Éliminer les éventuels risques d'inondation dans la vallée Masay
- ✓ Retenir les eaux de pluie issues de la vallée de l'Est afin de permettre au canal Andriantany un drainage efficace



Son incapacité à résoudre les problèmes d'inondation dans les zones basses s'explique par le retard de sa mise en place, la vétusté des réseaux d'assainissement existants qui ne sont plus adaptés à l'état actuel des lieux (zone devenue très peuplée et très urbanisée, imperméabilisation du sol, ...) dans la vallée Masay.

Les eaux de pluie issues des deux bassins du marais sont retenues puis relâchées par des ouvrages hydrauliques afin d'alléger le canal Andriantany dans son rôle de chenal de drainage, car en même temps, Andriantany à son amont collecte directement les eaux issues des bassins versants du Sud de la ville.

6.3. Hydrographie

La zone d'étude est caractérisée par la présence d'un important réseau hydrographique constitué par :

- Le lac Masay
- Le canal de Masay
- Le canal de la vallée de l'Est
- Le canal exutoire Nord du marais Masay
- Le canal exutoire Sud du marais Masay

➤ Le canal Andriantany

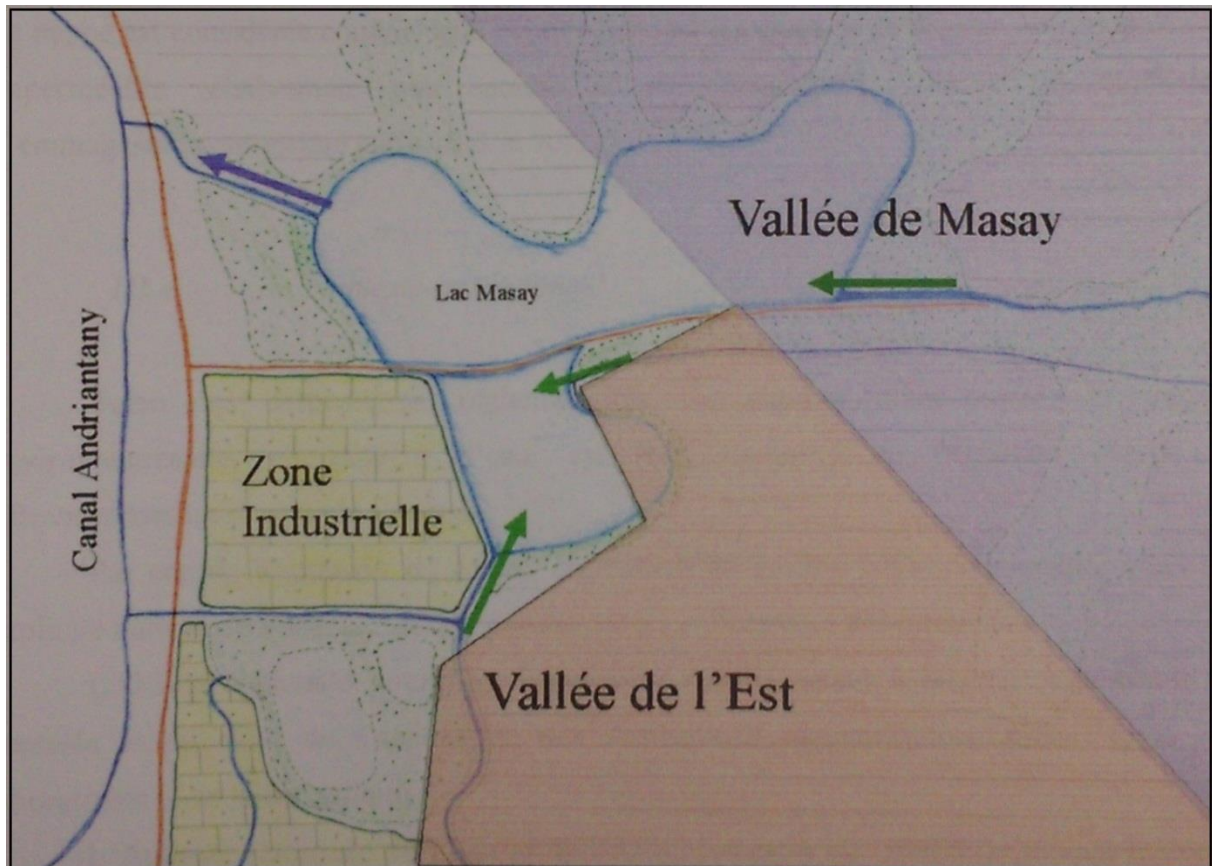


Figure 2 : Réseau hydrographique du Masay (source BDA)

➡ : Débit d'entrée

➡ : Débit de sortie

6.4. Influence du Marais Masay sur le Canal Andriantany

La dénivelée très faible occasionnée par le relief de la ville entraîne une pente très faible des principaux canaux de drainage, mais surtout d canal Andriantany qui est l'unique exutoire du marais Masay. De plus, Andriantany qui a été au départ conçu pour l'irrigation de la plaine d'Antananarivo ne satisfait pas aux attentes en ce qui concerne le drainage de la ville.



Le curage ou le drainage du canal Andriantany pour un éventuel regabaritage est limité dans la mesure où la cote de fond de ce dernier doit être en tout temps supérieur au lit majeur du fleuve Ikopa pour permettre un écoulement gravitaire.



Chapitre 2 : ANALYSE DES IMPACTS HYDRAULIQUES AU NIVEAU DU MARAIS MASAY

1. Notion d'impact

Un impact est le choc d'un objet sur un autre corps ou le point de contact d'un projectile. Il peut aussi être l'effet produit par une action forte ou brutale sur un milieu.

D'un point de vue environnemental, l'impact est la déviation positive ou négative produite par une activité par rapport à une situation initiale en un temps et milieu donnés.

L'impact peut être mesuré suivant quatre dimensions :

- La durée
- L'intensité
- L'étendue ou la portée
- L'effet

2. Description générale des bassins versants tributaires du Marais Masay

2.1. Bassin versant : Vallée de l'Est

2.1.1. Situation et superficie

Avec une superficie d'environ 700 hectares, la vallée de l'Est représente le bassin le plus urbanisé de la ville d'Antananarivo.

Cette vallée remonte très loin vers le Sud dont la ligne de partage des eaux est au niveau de la rue Rainianjanoro à Ambanidia vers Faliarivo et au-delà de la route de l'université rejoignant à l'Est une partie d'Ambohipeno.



A l'Ouest, elle est à peu près délimitée par la rue Joël Rakotomalala à Faravohitra, la rue Freddy Rajaofera à Antananarivo joignant la rue Lénine Vladimir à Antanimena et rejoint son exutoire à l'entrée du Marais Masay (Bassin du Sud).

A l'Est d'Ambohidempona à Soavimbahoaka en passant par Ampasapito et la rue Farafaty reliant Mausolée et Ampandrianomby.

L'eau du bassin est collectée par un canal primaire sur une distance d'environ 3 km débutant d'Ampasanimalo jusqu'au bassin Sud du Marais Masay en traversant les quartiers d'Ambaranjana, d'Ampandrana, de Besarety et d'Andravoahangy.

2.1.2. Relief et pente

Du point de vue topographique, la partie la plus haute culmine à environ 1450 m d'altitude aux environs du palais de la Reine d'Andafiavaratra.

La partie Ouest (Faravohitra, Antaninandro, Ankadifotsy) est un flanc de colline avec quelques thalwegs peu prononcés tandis que la partie est découpée de multiples sous-bassins dont les principaux sont les bassins d'Avaradoha traversés par la RN2, celui d'Andrainarivo, et celui traversé par la route de l'université au niveau de Tsiadana. A Ampandrana se trouvent des zones marécageuses vouées à la culture de cresson et dont la pente varie de 1% à 1‰. L'aval est fortement urbanisé avec des pentes très faibles entre Besarety et Andravoahangy.

2.1.3. Caractéristiques des réseaux hydrographiques et de drainage

Le drain de ce bassin versant est constitué par un canal débutant à Ampasanimalo et se terminant à l'embouchure de la partie la plus au Sud du Marais Masay. La distance de cette collecte primaire est d'environ 3 km avec des pentes de 1% à m'amont jusqu'à 1‰ à l'aval.



Selon la description faite par l'OTUI/SOMEAH/SOGREAH, ce canal reçoit particulièrement des débits provenant des sous-bassins n°13, 15, 16, 20 et 21 dont la superficie est d'environ 539 hectares, les eaux des sous-bassins n°22 constitué par les quartiers d'Ambatomainty et de Manjakaray se déversent directement vers le marais par l'intermédiaire du canal Manjakaray.

Vue la densité de l'urbanisation au niveau de la vallée de l'Est, les dimensions du drain principal ne permettent plus d'évacuer le débit de pointe provoqué par une forte averse.

Au niveau de Besarety Mahavoky et Andravoahangy, ces quartiers connaissent des inondations pluriannuelles. En effet, les ouvertures du canal à l'aval du quartier de Besarety et les ouvrages sous-chaussés sont insuffisantes à écouler ces débits. Il se produit alors un phénomène analogue au laminage de crue caractérisé par l'élévation de niveau d'eau et l'inondation au niveau de ces quartiers.

2.2. Bassin versant : Vallée de Masay

2.2.1. Situation et superficie

Dite aussi 3^{ème} vallée, sa superficie s'étend à 714 hectares. Elle est séparée à l'Ouest par la crête qui joint le Mausolée à Soavimbahoaka et limitée au Sud au quartier d'Andraisoro.

Du Sud à l'Est, par la route d'Ambatomaro, et elle passe par Soamanandrarinny avant d'atteindre la grande colline d'Ambohibé Ilafy. De ce point vers l'Ouest, la ligne de partage d'eau traverse Masinandriana, Ambatobe, Analamahitsy et à peu près la route du Pape à Ivandry. Le thalweg du côté d'Alarobia et d'Ambodivoanjo délimite l'Ouest du marais Masay.

Avec la délimitation par l'OTUI/SOMEAH/SOGREAH, les sous-bassins de la 3^{ème} vallée sont référés aux numéros 14, 23, 24, 25, 26, 27, 28.



2.2.2. Relief et Pente

Les flancs des sous-bassins versants présentent des pentes assez arides comprises en moyenne entre 10 à 50%.

Les zones basses du bassin sont principalement affectées à la riziculture mais présentent des marécages en quelques points.

Le drainage de l'ensemble des bassins est assuré par des ensembles de canaux de type rural destinés à l'irrigation des rizières.

2.2.3. Caractéristiques des réseaux hydrographiques et de drainage

Les réseaux hydrographiques ne présentent pas de caractères particuliers comme dans la vallée de l'Est.

Les réseaux sont constitués par des canaux destinés à l'irrigation des rizicultures au niveau des plaines et à la fois au drainage du bassin versant.

L'exutoire naturel de la 3^{ème} vallée est le marais Masay. Les sous-bassins n°14, 24, 25 d'une superficie totale de 453 hectares sont drainés par le canal dit canal Masay qui est l'aboutissement de deux canaux : le canal qui draine le quartier d'Andraisoro, Ampasapito et le canal d'irrigation pour les rizières du côté d'Ankerana. Le bassin Nord du marais Masay reçoit directement les débits transités par le canal Masay.

Avant de ruisseler vers le canal Masay, les eaux pluviales du quartier d'Andraisoro et d'Ampasapito sont encore écrêtées par la zone marécageuse qui se trouve sur la gauche de la route qui mène d'Ankerana vers Nanisana.

2.3. Délimitation des bassins versants tributaires du marais Masay

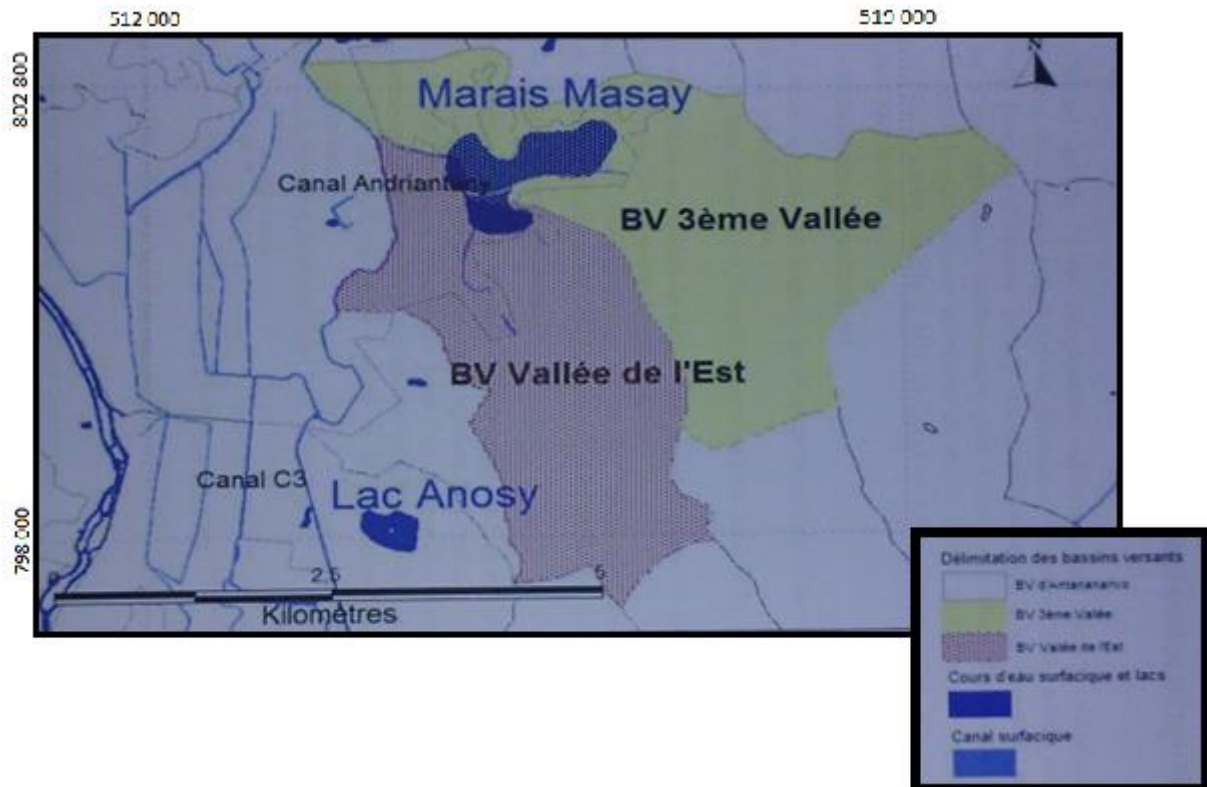


Figure 3 : Délimitation des bassins versants tributaires du marais Masay

3. Système de drainage du marais Masay

L'entrée d'eaux provenant des bassins versant est assurée par deux canaux :

- Le canal du débouché de la vallée de l'Est mesurant 920 m de long et 16,5 m de largeur au plafond. La pente longitudinale du canal étant égale à 0,04%, il peut transiter un débit de $20\text{m}^3/\text{s}$ pour une hauteur d'eau de 1,5m avec un coefficient de Strickler égal à 32. Le canal draine toutes les eaux pluviales et les eaux usées de la vallée de l'Est qui est fortement urbanisée, et à cet effet, les eaux de ce canal sont chargées en déchets organiques et en déchets plastiques de toutes sortes et donc font l'objet d'une source de pollution très importante du marais Masay.



- Le canal du débouché de la vallée de Masay qui est moins pollué que le premier, mesurant 280m de long et 12,15m de largeur au plafond. Les eaux de ce canal sont moins polluées et le débit moins important et car les crues sont déjà amorties par un étang partant de la route de Nanisana – Ambatobe jusqu'au débouchée de la vallée.

En plus de se situer aux débouchés de ces deux vallées, topographiquement, il appartient à la section de la pleine de Betsimitatatra mais il est isolé de cette partie par le canal Andriantany et la route des hydrocarbures.

La sortie vers le canal Andriantany est assurée par deux exutoires :

- Exutoire Nord muni de 6 buses de 800mm de diamètre avec clapet anti-retour

Exutoire Sud muni de 2 buses de mêmes caractéristiques

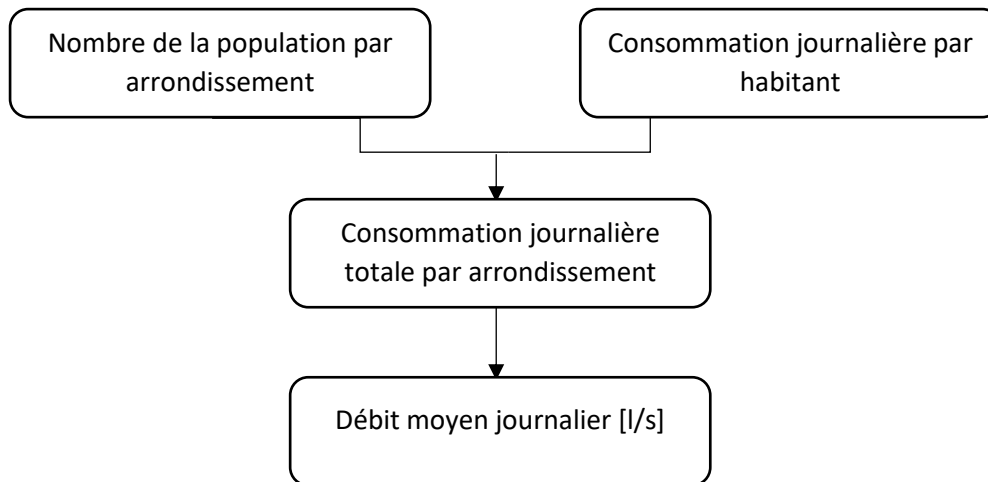
3.1. Calcul des débits d'eaux usées

L'évaluation des débits maximaux d'avenir est impérative pour les vérifications de la capacité des ouvrages existants dans le but d'éviter les sous dimensionnements du réseau d'assainissement d'une agglomération.

Le calcul se fait alors par :

- Le nombre de population à venir
- La consommation d'eau potable
- Le coefficient de pointe

Le diagramme ci-dessous montre les étapes simplifiées pour la détermination des débits d'eaux usées.



Le débit moyen (Q_m) journalier est exprimé par la relation suivante :

$$Q_m = (C_t / 86400) \times 0,8$$

Avec :

- Q_m : Débit moyen en l/s
- C_t : Consommation totale en eau (population et autres institutions)
- 0,8 : Coefficient de restitution
- 86400 : Nombre de seconde dans une journée

3.2. Estimation de débit des eaux pluviales

La saison de pluie à Madagascar s'étend d'octobre à mars, avec la saison cyclonique de novembre à avril. En plus de l'influence importante des cyclones, la zone de convergence intertropicale affecte Madagascar de décembre à mars et peut provoquer des pluies diluviennes. La figure ci-dessous présente à titre d'exemple les précipitations mensuelles moyennes au niveau d'Antananarivo.

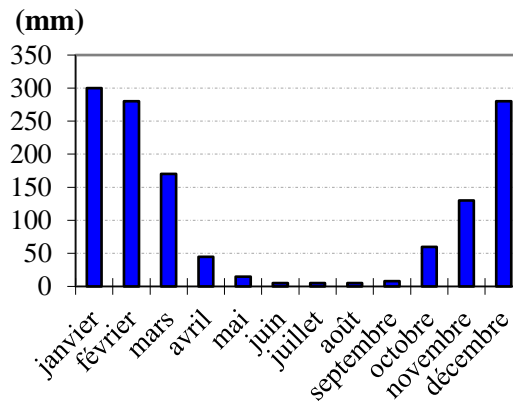


Figure 4 : Histogramme des pluies moyennes à Antananarivo

Le réseau hydrographique n'est pas suffisamment développé pour permettre une mesure des débits, toutefois des phénomènes de débordement des cours d'eau ont été observés au niveau de tous les bassins versants dans les zones d'influence des tempêtes, ainsi que dans les zones touchées par des précipitations exceptionnelles.

Au niveau d'Antananarivo, il faut noter qu'une grande partie des zones inondées sont des bas-fonds, recouverts par les eaux chaque année. Les dégâts ne sont pas proportionnels à l'étendue de l'inondation, mais plutôt aux ruissellements exceptionnels qui ont provoqué une érosion importante et notamment des ruptures de digues ; et aux glissements de terrain.

L'APIPA est le responsable du drainage des eaux pluviales (canaux primaires, digues et bassins tampons).

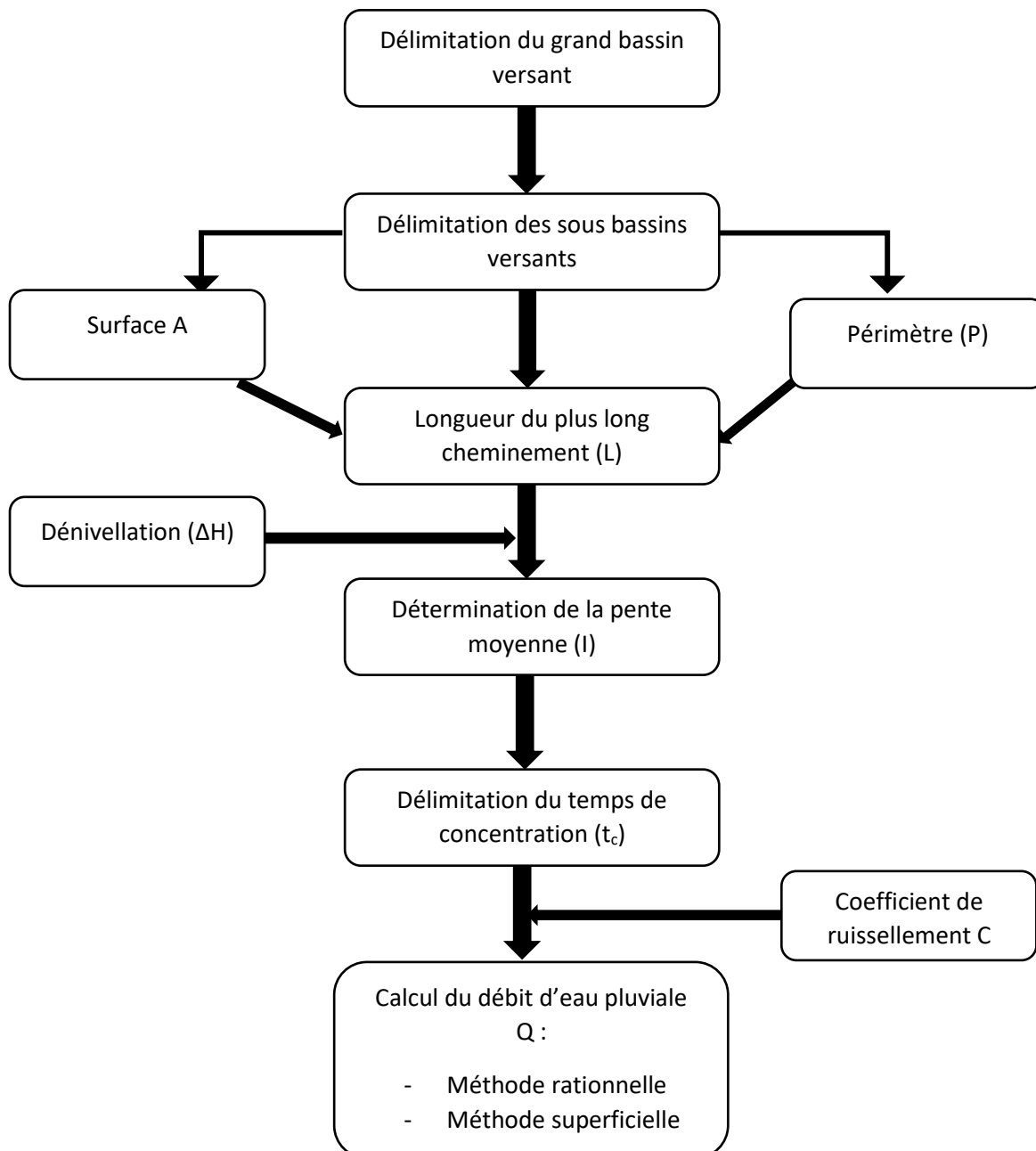
En tenant compte des mécanismes, le processus d'écoulement et les fréquences pluviales, les formules classiques sont les formules les plus utilisées dans le domaine de l'assainissement, notamment, les eaux pluviales.

Nous avons quatre méthodes utilisables :

- Les méthodes empiriques
- La méthode superficielle
- La méthode rationnelle
- La méthode linéaire

A Madagascar, les méthodes rationnelle et superficielle sont les plus utilisées et les plus applicables.

Pour bien arriver au calcul d'évaluation des eaux pluviales, l'organigramme suivant représente les différentes étapes à suivre :





- Méthode rationnelle

La Méthode rationnelle ou Méthode simplifiée est adoptée pour les petites agglomérations. Elle est applicable pour un petit bassin versant de superficie inférieure à 10km².

Cette Méthode est valable même pour une averse homogène dans le temps et dans l'espace d'intensité, en tout point du bassin versant. Le débit maximal Q_{\max} est atteint quand la durée de l'averse est au moins égale au temps de concentration t_c du bassin versant.

Le débit maximal est donné par l'expression :

$$Q_{\max} = 0,278 \times C \times I_{tc} \times A$$

Avec

Q_{\max} : Débit maximal de crue en m³/s

C : Coefficient de ruissellement

I_{tc} : Intensité de l'averse de durée t_c provoquant le débit maximal en mm/h

A : Surface du bassin versant en km²

➤ Coefficient de ruissellement

Le taux d'imperméabilisation du bassin versant est interprété par le coefficient de ruissellement. Il est déterminé par le rapport de la superficie totale du bassin versant. Il varie suivant la nature de la couverture du bassin versant et de sa pente moyenne.

Parmi les caractéristiques qui influencent le plus le coefficient de ruissellement, rappelons que la perméabilité du sol, la couverture végétale, la raideur des versants, la pente moyenne du thalweg et la capacité de rétention du réseau hydrographique. Le coefficient de ruissellement C assume l'expression suivante :

$$C = \frac{S_{\text{impréable}}}{S_{BV}} \text{ ou } C = \frac{\text{Volume d'eau qui s'écoule}}{\text{Volume d'eau tombée}}$$

Le tableau suivant indique les coefficients de ruissellement en fonction de la nature de la surface :

Tableau 1 : Les coefficients de ruissellement en fonction de la nature de la surface

Types d'habitations	Valeur de C
Habitation très dense	0,9
Habitation dense	0,6 à 0,7
Habitation moins dense	0,4 à 0,5
Zone industrielle, quartier résidentielle	0,2 à 0,3
Squares, jardin prairie	0,05 à 0,2

Pour les zones du bassin versant tributaire du marais Masay, on adopte un coefficient de ruissellement égal à 0,85 car ces zones sont presque urbanisées.

➤ Evaluation du temps de concentration

Le temps de concentration t_c est le temps maximal que met une goutte de pluie, tombée à l'intérieur du bassin versant, pour atteindre l'exutoire, en minute.

Afin de bien estimer le temps de concentration des bassins versants, plusieurs formules empiriques sont proposées par certains auteurs.

Le tableau suivant récapitule les formules recueillies :

Tableau 2 : Formules du temps de concentration

AUTEURS	FORMULES
Kirpich	$t_c = 0.0195 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0.77}$
Giandotti	$t_c = 60 \frac{0,4\sqrt{S} + 0,0015 L}{0,08\sqrt{PL}}$
Passini	$t_c = 0,108 (S \times L)^{0,33} \times P^{-0,5}$



Dujardin	$t_c = 0,90 \times S^{0,35} \times C^{-0,35} \times P^{-0,5}$
Desbordes	$t_c = 5,30 \times S^{0,3} \times C^{-0,45} \times P^{-0,38}$
SOGREAH 1	$t_c = 2,60 \times S^{0,35} \times P^{-0,4}$
SOGREAH 2	$t_c = 1,78 \times S^{0,35} \times P^{-0,4} \times C^{-0,2}$
SOGREAH 3	$t_c = 1,78 \times S^{0,35} \times P^{-0,4} \times C^{-0,2}$
SPEED	$t_c = 2,384 \times S^{0,417}$
VENTURA	$t_c = 7,63 \times \frac{S/100}{P^{-0,5}}$
TURAZZA	$t_c = \frac{6 \times 0,33 \left(\frac{S}{100} \times \frac{L}{1000} \right)^{0,33}}{P^{-0,5}}$

Où :

S (km²) : Superficie du bassin versant

L (km) : Longueur du thalweg

P (m/m) : Pente du thalweg

- Méthode superficielle

Cette méthode a pour expression :

$$Q = k^{\frac{1}{u}} \times C^{\frac{1}{u}} \times I^{\frac{v}{u}} \times S^{\frac{w}{u}}$$

Avec :

- I : Pente moyenne du bassin versant
- C : Coefficient de ruissellement
- S : Superficie
- Q : Débit de période de retour T

Les paramètres k , u , v , w sont fonctions de $a(F)$ et de $b(F)$ qui sont liés à l'intensité de pluie selon MONTANA :

$$i(t, F) = a(F)t^{b(F)}$$

$$a(f) = \frac{H(24, F)}{24^b} \quad \text{et} \quad b(F) = b - 1$$

$H(24, F)$: Pluviométrie maximale journalière de fréquence 1/10.

b : Variable régionale.

Et les paramètres restants ont pour expression :

$$k = \frac{a(F)0,5^{b(F)}}{6,6}$$

$$u = 1 + 0,287b(F)$$

$$v = -0,41b(F)$$

$$w = 0,95 + 0,509b(F)$$

Cette formule générale est valable pour les conditions suivantes :

- la surface du bassin élémentaire doit être inférieure à 200[ha]
- le coefficient de ruissellement: $0,2 < C < 1$
- la pente :
 - ✓ $0,002 \text{ [m/m]} < I < 0,05 \text{ [m/m]}$
 - ✓ Pente extrême doit être inférieure à 20
- l'allongement du bassin versant doit être de l'ordre 2

4. Pollution des eaux du marais Masay

4.1. Causes de la pollution des eaux du marais Masay



Pour le cas du marais Masay, c'est un bassin destiné à écrêter les crues provenant des bassins versants tributaires, alors une bonne quantité d'eaux usées est déversée dans le marais.

Le débouchée de la vallée de l'Est est la principale source de pollution du marais Masay due aux rejets domestiques très chargés en matières plastiques de toutes sortes ainsi qu'en matières organiques ; ceci est dû à la forte urbanisation du bassin versant. Aux apports solides venant de l'érosion accélérée des bassins versants tributaires du marais s'ajoutent les matières organiques décantables et les résidus minéralisés de l'épuration bactérienne sous forme de sels nutritifs de plantes (azote, phosphore, carbone). La sédimentation est plus accélérée dans le bassin Sud dans lequel débouche le bassin versant de la vallée de l'Est.

Le bassin Nord est moins pollué en charge organique car il est plus ou moins à l'abri des pollutions venant de la 3^{ème} vallée par l'existence d'un étang directement en son amont qui mesure à peu près 60ha et qui joue un rôle de bassin de prétraitement et d'amortisseur de cure. Même cas pour le bassin Sud qui a un certain degré de pouvoir auto épurateur, et que l'écoulement est en général du Sud vers le Nord.

En ce qui concerne les rejets industriels, presque la totalité des usines et des centres commerciaux bordant la route des hydrocarbures et se trouvant dans l'enceinte ZITAL utilise le marais Masay comme milieu récepteur des eaux usées industrielles sans traitement préalable.

Or la situation géographique urbaine du marais Masay exige une certaine qualité de ses eaux pour préserver l'environnement et la santé des riverains. L'exutoire du marais Masay étant dans le canal Andriantany qui, lui-même, se déverse dans l'Ikopa devrait également avoir cette qualité pour protéger les utilisateurs d'aval contre d'éventuelles contaminations.

La notion de pollution ne se réfère pas à la pureté des eaux, mais aux modifications de leurs caractéristiques dues aux actions humaines.



4.2. Impacts liés à la pollution des eaux du marais Masay

4.2.1. Les conséquences écologiques

Les effets de la pollution peuvent se manifester aussi, selon la nature et l'importance de la contamination, au niveau de la population voire même sur celle de la totalité des espèces sensibles. Ils sont de différentes sortes suivant le milieu touché et les types de polluants. Ils peuvent se manifester par :

- L'eutrophisation : présence d'une masse importante de nutriments (N et P) et/ou de matières organiques dissoutes qui a pour conséquence de conduire à la croissance rapide d'algues et à la consommation élevée d'oxygène dans les eaux réceptrices ce qui constitue une menace pour les poissons et les autres espèces vivantes.
- La saprofication : manque d'oxygène dû à la putréfaction des matières organiques
- Les effets toxiques : résultats des décharges des métaux lourds, des substances organiques chlorées et bios persistantes. Les effets toxiques peuvent être très importants et chroniques. Les effets chroniques étant les plus sérieux. Ils peuvent être causés par des métaux comme le mercure, le cadmium, le plomb ou le DDT.

Ces conséquences s'étendent aujourd'hui sur les nappes phréatiques qui sont de plus en plus polluées par les produits chimiques issus de ces industries.

4.2.2. Les conséquences sanitaires

Les conséquences de la pollution de l'eau sur la santé humaine sont différentes suivant le mode de contamination ; par ingestion, par contact ou par consommation de produits eux-mêmes contaminés. Cette pollution peut être à l'origine de nombreuses maladies avec effet à long ou à court terme suivant la durée, la quantité absorbée et la toxicité du milieu. Elle peut aussi être à l'origine du développement d'insectes vecteurs de maladie comme les



mouches, les moustiques, les vers, les bactéries et les virus. Il peut s'agir de pathogènes liés à l'absorption d'eau pollué, vecteur d'épidémies microbiologiques ou de produits toxiques ; ou de pathogènes liés au simple contact avec le milieu aquatique (parasitoses).

Le tableau suivant reprend quelques exemples de maladies hydriques ainsi que leur source de contamination.

Tableau 3 : Exemples de maladies hydriques

Sources	Exemples
Bactéries	Choléra, dysenterie bacillaire, fièvre entérique, fièvre typhoïde et paratyphoïde, gastro-entérite
Virus	Hépatite infectieuse, maladies respiratoires, méningites, poliomyélite
Parasites	Ankylostomiase, bilharziose, dysenterie amibienne, ascaridiose
Contact avec l'eau polluée (cutanée)	Allergie cutanée, conjonctivite, mycoses
Manque d'eau	Gale, pyodermie

4.2.3. Les conséquences socio-économiques

Ses conséquences sont nombreuses peuvent prendre plusieurs formes :

- Réduction du nombre de ressources utilisables pour la production d'eau potable et ajout des coûts supplémentaires pour le traitement de potabilisation



- Frein au développement industriel. En effet, l'industrie est une grande consommatrice d'eau potable et ces exigences en terme de qualité sont très élevées.
- Entraves à l'exploitation même des milieux aquatiques (pisciculture, loisirs, ...)
- Frein au développement agricole. L'agriculture ayant recours aux eaux non traitées pour l'irrigation des sols sera gravement impactée par la mauvaise qualité de l'eau.



Chapitre 3 : PROPOSITIONS POUR AMELIORER LA QUALITE DES EAUX DU MARAIS MASAY

1. Le lagunage

Le bassin Sud peut jouer le rôle de bassin lagunage. Le lagunage peut bien être non aéré et ce type de traitement s'adapte bien au climat tropical car la lumière est suffisante pour pouvoir pénétrer dans l'eau à cause de la faible profondeur et que la température de l'air est aux environs de 20°C en général, favorisant ainsi l'épuration biologique. En effet, lorsque la profondeur d'eau est faible, la photosynthèse favorise le développement des algues au fond et fournissant ainsi de l'oxygène nécessaire aux bactéries pour détruire la pollution organique. Le lagunage est donc une épuration naturelle. Tant qu'il n'y a pas d'orage, on peut isoler le bassin Nord du bassin Sud avant de rejoindre l'exutoire Sud, constitué de 2 buses de 800m de diamètre, munies de clapet anti-retour. Les vannes de ces dalots ne seraient ouvertes que lors d'un passage de crue provenant de la vallée de l'Est pour que l'écrêtement de la crue soit effectif.

L'eau étant très polluée, la lumière ne peut pas bien pénétrer jusqu'au fond et la photosynthèse ne peut pas fournir tout l'oxygène nécessaire à l'épuration aérobie. Dans ce cas, il y a lieu, au niveau de la boue qui se développe au fond du lac, une épuration anaérobie qui est la source du dégagement d'odeur nauséabonde (dégagement de gaz H_2S).

2. Prétraitement des rejets industriels

En ce qui concerne les rejets industriels, un prétraitement est indisponible. Dans le rapport d'étude de prétraitement des rejets industriels dans le marais Masay, le groupement SOGREAH SOMEAH propose une unité de traitement propre à chaque usine industrielle. Et pour réduire le coût total des installations, il est possible de regrouper un certain nombre d'industries selon sa situation géographique et le type de rejet. Dans ce cas, trois unités de traitement devraient être montées : le dégrillage, pour arrêter les corps flottants de grandes dimensions, le déshuileur, pour séparer l'huile et les hydrocarbures de l'eau, et le décanteur, pour diminuer les charges en matière de suspension.

Quelques fois, un rajout de produit chimique est nécessaire pour neutraliser l'eau dans le cas d'un PH hors norme. Dans ce cas, le réseau d'eaux usées et le réseau d'eaux pluviales seront séparés pour éviter d'éventuels débordements en cas d'orage.



3. Soutenir l'assainissement et la gestion des déchets dans les quartiers riverains

Dans les quartiers situés au sud du Masay, l'assainissement et la gestion des déchets des quartiers sont très insuffisants. Aussi, il conviendrait :

- d'améliorer le confinement et l'évacuation des déchets dans ces quartiers ;
- d'équiper les hameaux de latrines modernes afin de limiter les rejets directs de selles dans les canaux rejoignant le canal.

Un effort soutenu de sensibilisation devra être assuré afin d'obtenir l'adhésion et la participation active des populations à ces travaux.



Chapitre 4 : ALTERNATIVES POUR ELIMINER LES RISQUES D'INONDATION DANS LES ZONES BASSES DE LA VILLE

1. Accroître la capacité de rétention du Marais Masay

Deux solutions sont envisageables mais ne sont pas pour autant les meilleures :

- Déblayage et curage du marais Masay, déblayer le marais d'environ 50 cm soit 395 000 m³, pour améliorer sa capacité afin de mieux recueillir les eaux pluviales des deux vallées : la vallée de l'Est et la vallée de Masay.
- Extension du marais Masay, la superficie des deux bassins pourrait-être considérablement accrue en exploitant les zones marécageuses qui la bordent. (Voir figure ci-dessous)

Cependant, une éventuelle extension, que ce soit par déblayage pour abaisser la cote de fond ou par extension du marais, ne garantit pas le drainage des zones basses de la vallée Masay et conduirait à modifier les ouvrages existants, car le bon drainage de ces zones est en fonction du canal Andriantany qui est déjà surexploité en amont.

Le fait est qu'un redimensionnement total de ce réseau est quasiment impossible à cause du fait que ce canal passe sous des zones fortement urbanisées et déjà presque saturées de Besarety jusqu'à son exutoire. De plus, la pente du drain est très faible, le redimensionnement de celui-ci est très difficile sans affecter le canal jusqu'à son exutoire.



Figure 5: Carte de l'extension du marais Masay



2. Dragage et curage des canaux d'assainissement

Le dragage des canaux d'assainissement, leur curage et surtout leur entretien sont nécessaires pour accélérer la vitesse d'écoulement des eaux de pluie et conduire ces dernières dans le marais. Les grilles de retenue sont nécessaires pour éviter les transports de solides.

Les éventuels goulots d'étranglement réduisant à la fois la vitesse d'écoulement et le débit à évacuer sont à élargir afin d'avoir un drainage efficace en période pluvieuse.

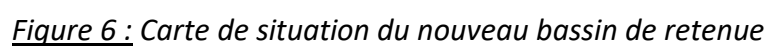
3. Création d'un bassin de retenue à Morarano

Le choix d'implantation du sud est dicté par le canal Andriantany, car le nouveau bassin aura pour rôle de réduire et de réguler le débit transporté par le canal afin de permettre à ce dernier d'évacuer plus rapidement les eaux pluviales.

Ainsi ce bassin sera placé dans la partie Sud de la ville, plus précisément dans le bassin versant de Morarano, une partie basse marécageuse située à une cote de 1250m qui peut être aménagée en bassin à sec, car elle est inexploitable en période pluvieuse.

La création d'un bassin de retenue à sec en amont du canal Andriantany est la meilleure solution pour un drainage effectif de la ville et pour un fonctionnement optimal du canal Andriantany mais aussi du marais Masay.

En effet, un bassin placé en amont du canal Andriantany éviterait le débordement du canal et réduirait considérablement les risques d'inondation dans les zones basses de la commune urbaine d'Antananarivo. Pour optimiser un tel ouvrage, il est nécessaire de curer le canal Andriantany.



Chapitre 5 : RECOMMANDATIONS

▪ S'attaquer à la question du financement du secteur

Le service public de l'assainissement urbain consiste à fournir à l'utilisateur (domestique, industriel, agricole) un service multiple : évacuer ses eaux usées, protéger l'utilisateur (sauf événement catastrophique) contre les dommages créés par les inondations et plus généralement, offrir à l'utilisateur un cadre de vie sain (à la fois sur le plan sanitaire et sur le plan environnemental). Comme nous l'avons montré dans la partie diagnostic, ce service public est aujourd'hui difficile à financer, ce qui explique le faible développement et la médiocre qualité du service fourni.

La dimension financement est fondamentale et elle constitue un chantier prioritaire dès la phase de court terme. Afin de ne pas pénaliser l'existant, la stratégie doit être double : optimiser les mécanismes déjà en place et imaginer de nouvelles sources de financement (et notamment des redevances revues dans leurs modes de calcul et prélevées directement par les opérateurs concernés sans dépendre d'autres opérateurs financièrement déficients).

▪ Maîtrise d'ouvrage travaux / exploitation

Compte tenu de la complexité de l'assainissement urbain, on peut distinguer deux maîtrises d'ouvrage : celle des infrastructures (ou des travaux) et celle de l'exploitation de ces ouvrages, l'articulation entre les deux étant matérialisée par la remise des ouvrages et leur mise en exploitation. La maîtrise d'ouvrage des travaux et la maîtrise d'ouvrage de l'exploitation n'est pas forcément assurée par la même entité (même si ce serait souhaitable).

Dans le cadre institutionnel actuel, il est impossible à court terme que la maîtrise d'ouvrage des travaux soit assurée par une collectivité locale ou territoriale, quelle qu'elle soit. C'est pourquoi dans le cadre du PIAA la maîtrise d'ouvrage des travaux est assurée par le M2PATE avec l'AGETIPA comme maître d'ouvrage délégué – mais ni le M2PATE ni l'AGETIPA n'ont vocation à exploiter les ouvrages sur le long terme. La question se pose donc de savoir qui sera chargé de l'exploitation des ouvrages. Là encore si l'on anticipe les évolutions sectorielles (voir ci-dessous) on doit distinguer deux horizons :

- A court terme (notamment pour les travaux de la phase d'urgence), il semble difficile de confier l'exploitation des ouvrages à d'autres entités que celles qui sont actuellement opérationnelles (CUA, APIPA, SAMVA), même si leurs rôles respectifs peuvent être mieux définis et leur fonctionnement et leurs capacités doivent être améliorés ;



- A moyen terme, la formule adoptée pour la maîtrise d'ouvrage de l'exploitation dépendra des solutions qui seront dégagées dans le cadre du processus de dialogue sectoriel (voir plus loin la méthode proposée pour générer des scénarios viables). Il semble évident que les collectivités locales / territoriales ont un rôle important à jouer mais qui n'est aujourd'hui pas possible dans le cadre institutionnel actuel.

- **Restaurer un dialogue sectoriel constructif**

Clarifier les responsabilités sectorielles va prendre un temps indéterminé, les conditions du dialogue étant nettement détériorées à l'heure actuelle. Notre hypothèse de travail est qu'il sera difficile de dégager un consensus sur le nouveau schéma institutionnel avant deux ou trois ans et à condition que le dialogue sectoriel soit très actif pendant cette période. La restauration d'un dialogue sectoriel constructif est donc une priorité absolue (qui est d'ailleurs reflétée dans la convention de financement du PIAA).

La plate-forme GIEU (Gestion Intégrée des Eaux Urbaines) récemment mise en place dans le cadre de l'appui fourni par la Banque Mondiale peut être un véhicule intéressant pour porter ce dialogue, en articulation avec les autres plates-formes déjà fonctionnelles mises en place par la société civile comme par exemple Diorano-WASH 18 ou Ran'Eau.

- **Une approche par le contrat plutôt que par la loi**

Une remise à plat complète du cadre juridique, dans son état actuel, serait contreproductive et source de nouveaux blocages. La plupart des textes existants depuis 1995 (et notamment les textes décrivant les compétences respectives de l'APIPA et du SAMVA) ont déjà été remaniés plusieurs fois sans impact positif sur le secteur et sur les opérateurs.

Nous recommandons de ne pas se lancer, notamment à court terme, dans un nième toilettage des textes existants (y compris les statuts des opérateurs existants), toilettage dont l'effet sera très limité voire inexistant. Il semble plus intéressant, dans l'immédiat et dans l'optique d'anticiper les problèmes liés à l'exploitation des investissements prévus, de développer la coordination entre les acteurs, de mettre en place des contrats ou des conventions qui permettront de rétablir des relations de confiance et de travail entre les acteurs.

Le cadre juridique pourra être alors remis à plat (si et seulement si cela est nécessaire) une fois les relations de travail entre acteurs stables et éprouvées, c'est-à-dire dans le cadre des mesures à moyen terme, pour reprendre la terminologie définie ci-dessus.

- **Remettre l'utilisateur au cœur du dispositif**



Eclaté entre plusieurs acteurs mal identifiés (sauf peut-être le SAMVA), miné par le manque d'investissement, le traumatisme des inondations et la piètre qualité du service, le secteur de l'assainissement urbain souffre aussi d'un déficit d'image et de confiance auprès des usagers. D'autre part comme nous l'avons rappelé, les usagers sont aujourd'hui par défaut le premier financeur du secteur de l'assainissement et les initiatives ne manquent pas au niveau des structures communautaires et de la société civile.

Il est donc indispensable de remettre l'utilisateur au centre de l'assainissement urbain, ce qui concrètement signifie plusieurs choses :

- Mieux comprendre, au travers d'études rigoureuses, quelle est la demande actuelle des usagers (qui conditionne bien entendu la volonté à payer des usagers) ;
- Impliquer les usagers dans la réflexion sur la réforme sectorielle, en laissant une place significative aux entités qui représentent ces usagers ;
- Intégrer formellement les usagers dans les futures instances de gouvernance des principaux opérateurs de l'assainissement urbain (sièges au Conseil d'Administration).

Conclusion

La poussée de l'urbanisation a apporté un changement notable sur le plan urbanisme et aménagement paysager de la ville d'Antananarivo. Sur le plan technique et social, ce projet induit beaucoup d'impacts que ce soit positifs ou négatifs.

Les impacts positifs se focalisent sur les avantages économiques engendrés par la présence de la rocade et tout ce qui est effet induit notamment l'amélioration de l'habitat et de la circulation. Les impacts négatifs concernent particulièrement la dégradation du site et celle des contenus biologiques des eaux du marais.

La majorité des eaux usées domestiques des agglomérations dans la ville sont évacuées par des canaux d'évacuations collectifs. Certains usagers non branchés aux réseaux collectifs, notamment les maisons individuelles, utilisent des fosses septiques ou des puisards pour leurs eaux usées. Les eaux pluviales sont évacuées par ruissellement sur le sol, par les égouts et les canalisations pour se déverser dans le canal Andriantany. Ces réseaux d'évacuation acheminent les effluents vers le fleuve d'Ikopa. Certains milieux récepteurs tel que le marais Masay ou les rizières ne constituent que les lieux de transit car les eaux finiront toujours par rejoindre Ikopa.

L'assainissement des eaux qui atterrissent dans le marais permettra de conserver des matières organiques primaires de ces lieux, de préserver la nappe phréatique et sécuriser la santé des populations à ses alentours. Le traitement de ces eaux doit commencer par l'entretien de ces réseaux. Il est aussi primordial de surveiller leur bon fonctionnement pour améliorer le drainage de la ville, évitant ainsi les inondations.

La population d'Antananarivo ne cessant d'augmenter, ces projets doivent être entrepris avant la complète urbanisation de la ville, notamment des vallées de l'Est et de Masay.



ANNEXES

Illustrations des problèmes du système de drainage de la ville d'Antananarivo

➤ Hétérogénéité des sections



➤ Constructions



➤ Constructions sur canaux



➤ Dépôts de solide



➤ Développement non contrôlé de la végétation



➤ Problème d'accès (couverture)



➤ Dégradation des revêtements



➤ Colmatage des ouvrages



➤ Interférence avec autres réseaux (AEP JIRAMA)





BIBLIOGRAPHIE

- AGETIPA, Programme Intégré d'Assainissement d'Antananarivo, Diagnostique et proposition d'évolution du cadre institutionnel à court et à moyen terme, 2017 (source SAMVA)
- AHMED A., Analyse des impacts sanitaires, sociaux et environnementaux liés à la pollution des eaux du lac Masay, 2007 ;
- BLR, Analyse de la qualité des eaux du marais Masay, 2009 (source APIPA)
- GUERIN-FOURNET C., VIVRE A TANANARIVE Crises, déstabilisations et recompositions d'une citadinité originale, 2002 ;
- RABENANTOANDRO A., Influences et rôles du Marais Masay dans le drainage des eaux pluviales dans la commune urbaine d'Antananarivo, 2007 ;
- RAKOTO D.A., Etude de la pollution du Marais Masay par la modélisation du transfert des matières en suspension et par une démarche intégrée d'ingénierie de projet, 2005 ;
- RAKOTOARISOA M.H., Rôle des vallées de Masay et de l'Est dans l'écrêtement des crues dans la plaine de Betsimitatatra, 2017 ;
- SAMVA, Rapport des interventions, Gestion des inondations, 2015 ;
- SAMVA, Réhabilitation des dégâts du système d'assainissement et prévention contre l'impact des inondations de la ville d'Antananarivo, 2015

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
<i>Chapitre 1 : PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE.....</i>	<i>2</i>
1. Localisation	2
2. Relief	2
3. Hydrographie	3
4. Climat.....	4
5. Les ouvrages de drainage de la ville d'Antananarivo	5
5.1. Le système de drainage primaire	5
5.2. Le système de drainage actuel	5
5.3. Les problèmes du système de drainage	6
6. Le Marais Masay	7
6.1. Historique et aménagement	7
6.2. Rôle du marais Masay	9
6.3. Hydrographie.....	10
6.4. Influence du Marais Masay sur le Canal Andriantany.....	11
<i>Chapitre 2 : ANALYSE DES IMPACTS HYDRAULIQUES AU NIVEAU DU MARAIS MASAY</i>	<i>13</i>
1. Notion d'impact	13
2. Description générale des bassins versants tributaires du Marais Masay	13
2.1. Bassin versant : Vallée de l'Est	13
2.1.1. Situation et superficie	13
2.1.2. Relief et pente.....	14
2.1.3. Caractéristiques des réseaux hydrographiques et de drainage	14
2.2. Bassin versant : Vallée de Masay	15
2.2.1. Situation et superficie	15
2.2.2. Relief et Pente.....	16
2.2.3. Caractéristiques des réseaux hydrographiques et de drainage	16
2.3. Délimitation des bassins versants tributaires du marais Masay.....	16
3. Système de drainage du marais Masay	17
3.1. Calcul des débits d'eaux usées	18
3.2. Estimation de débit des eaux pluviales	19
4. Pollution des eaux du marais Masay	25
4.1. Causes de la pollution des eaux du marais Masay.....	25
4.2. Impacts liés à la pollution des eaux du marais Masay	27
4.2.1. Les conséquences écologiques	27
4.2.2. Les conséquences sanitaires	27
4.2.3. Les conséquences socio-économiques	28



Chapitre 3 : PROPOSITIONS POUR AMELIORER LA QUALITE DES EAUX DU MARAIS MASAY
30

1. Le lagunage 30
2. Prétraitement des rejets industriels..... 30
3. Soutenir l’assainissement et la gestion des déchets dans les quartiers riverains 31

Chapitre 4 : ALTERNATIVES POUR ELIMINER LES RISQUES D’INONDATION DANS LES ZONES BASSES DE LA VILLE 32

1. Accroître la capacité de rétention du Marais Masay 32
2. Dragage et curage des canaux d’assainissement 34
3. Création d’un bassin de retenue à Morarano 34

<i>Chapitre 5 : RECOMMANDATIONS</i>	36
Conclusion.....	39
Annexes.....	40
Bibliographie.....	50

Nom : NDRIANASY

Prénoms : Voahangy Francia

Contact : 034 22 155 79

E-mail : francia.redac.adm@gmail.com

Nombre de pages : 50

Nombre de tableaux : 03

Nombre de figures : 06



Thème : ANALYSE DES IMPACTS HYDRAULIQUES AU NIVEAU DU MARAIS MASAY

Résumé

A part son rôle dans l'amélioration du paysage de la ville, le marais Masay recueille, principalement, les eaux usées et eaux pluviales des bassins versants Vallée de l'Est et Vallée de Masay. Ces eaux ne subissent aucun traitement en se déversant dans le lac entraînant sa forte pollution. Cette analyse nous permet d'apporter des solutions face à la pollution et à l'inondation relatif à ce marais.

Mots-clés : Marais Masay, impacts, eaux usées.

Encadreur : Monsieur RANDRIANASOLO David

Contact : 034 13 040 80 / 033 29 397 66