

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	i
LISTE DES ABREVIATIONS.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES UNITES.....	x
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
I. Ressources et qualité physico- chimique de l'eau.....	4
I.1 Ressources en eau.....	4
I.1.1 Différents types de ressources en eau.....	4
I.1.2 Précipitations ou ressources en eau de précipitation.....	4
I.1.3 Ressources en eaux de surface.....	4
I.1.4 Ressources en eaux souterraines.....	4
I.2 Cycle de l'eau.....	5
I.3 Qualité physico – chimiques de l'eau.....	5
I.3.1 Paramètres organoleptiques.....	5
I.3.2 Paramètres physiques.....	6
I.3.3 Paramètres chimiques.....	7
I.3.4 Paramètres bactériologiques.....	8
II. Facteurs de pollution de l'eau.....	8
II.1 Polluants physiques.....	8
II.2 Polluants chimiques.....	9
II.2.1 Provenant des activités domestiques.....	9
II.2.2 Provenant de l'agriculture.....	9
II.3 Pollutions microbiologiques.....	9
III. Classification des eaux de surface et réglementation des rejets d'affluents liquides.....	10
IV. Généralités sur la rivière d'lkopa.....	11
IV.1 Situation et Relief.....	11
IV.2 Petites rivières en amont de l'lkopa.....	11
IV.3 Canaux déversés dans la rivière de l'lkopa.....	12
IV.4 Dégradations liées aux activités humaines au voisinage de la rivière d'lkopa.....	12
IV.4.1 Activités domestiques.....	12

IV.4.2	Activités agricoles.....	13
IV.4.3	Lavage.....	13
IV.4.4	Extraction de sable et de briqueterie	14
IV.5	Effet de la pollution de l'eau due à l'activité humaine	14
IV.5.1	Effets à court terme.....	14
IV.5.2	Effets à long terme	15
PARTIE II : MATERIELS ET METHODES.....		16
I.	Site d'étude	17
I.1	Matériels utilisées.....	17
I.2	Méthode pratique/ mesure indirecte	17
I.3	Mesure par flotteur.....	18
I.4	Mise en œuvre.....	18
I.5	Détermination de l'évaporation de la rivière	20
II.	Etude de la qualité de l'eau	21
II.1	Analyse colorimétrique	21
II.1.1	Fer.....	21
II.1.2	Nitrate.....	21
II.1.3	Nitrite.....	22
II.1.4	Sulfate.....	22
II.2	Analyse volumétrique	22
II.2.1	Dureté totale (TH) et dureté calcique (THCa)	22
II.2.2	Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)	22
PARTIE III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....		24
I.	Résultats et interprétations.....	25
I.1	Débit de la rivière de l'Ikopa.....	25
I.1.1	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 14/03/18	25
I.1.2	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 14/03/18	26
I.1.3	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 14/03/18	26
I.1.4	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 14/03/18.....	26
I.1.5	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 14/03/18	27
I.1.6	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 14/03/18.....	27
I.1.7	Interprétation de débit de la rivière Ikopa mesuré le 14/03/18.....	27
I.1.8	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 18/03/18	28
I.1.9	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 18/03/18	28
I.1.10	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 18/03/18.....	28
I.1.11	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 18/03/18	29

I.1.12	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 18/03/18	29
I.1.13	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 18/03/18	29
I.1.14	Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 18/03/18.....	30
I.1.15	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 21/03/18.....	30
I.1.16	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 21/03/18.....	30
I.1.17	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 21/03/18.....	31
I.1.18	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 21/03/18	31
I.1.19	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 21/03/18	31
I.1.20	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 21/03/18	32
I.1.21	Interprétation de débit de la rivière Ikopa mesuré le 21/03/18.....	32
I.1.22	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 23/03/18.....	33
I.1.23	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 23/03/18.....	33
I.1.24	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 23/03/18	33
I.1.25	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 23/03/18	34
I.1.26	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 23/03/18	34
I.1.27	Interprétation de débit de la rivière Ikopa mesuré le 23/03/18.....	34
I.1.28	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 25/03/18.....	34
I.1.29	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 25/03/18.....	35
I.1.30	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 25/03/18.....	35
I.1.31	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 25/03/18	35
I.1.32	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 25/03/18	36
I.1.33	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 25/03/18	36
I.1.34	Interprétation de débit de la rivière Ikopa mesuré le 25/03/18.....	36
I.1.35	Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 14 à 25 mars 2018.....	36
I.1.36	Résultat d'évaporation de la rivière d'Ikopa.....	37
I.1.37	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 10/05/18.....	37
I.1.38	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 10/05/18.....	37
I.1.39	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 10/05/18.....	38
I.1.40	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 10/05/18	38
I.1.41	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 10/05/18	38
I.1.42	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 10/05/18	39
I.1.43	Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 10/05/ 2018	39
I.1.44	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 13/05/18.....	39
I.1.45	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 13/05/18.....	40
I.1.46	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 13/05/18.....	40
I.1.47	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 13/05/18	40

I.1.48	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 13/05/18	41
I.1.49	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 13/05/18	41
I.1.50	Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 13/05/ 2018	41
I.1.51	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 16/05/18.....	41
I.1.52	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 16/05/18.....	42
I.1.53	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 16/05/18.....	42
I.1.54	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 16/05/18	42
I.1.55	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 16/05/18	43
I.1.56	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 16/05/18	43
I.1.57	Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 16/05/18.....	43
I.1.58	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 20/05/18.....	43
I.1.59	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 20/05/18.....	44
I.1.60	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 20/05/18.....	44
I.1.61	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 20/05/18	44
I.1.62	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 20/05/18	45
I.1.63	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 20/05/18	45
I.1.64	Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 20/05/18.....	45
I.1.65	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 23/05/18.....	46
I.1.66	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 23/05/18.....	46
I.1.67	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 23/05/18.....	46
I.1.68	Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 23/05/18	47
I.1.69	Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 23/05/18	47
I.1.70	Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 23/05/18	47
I.1.71	Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 23/05/18.....	48
I.1.72	Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 10 à 23 mai 2018.....	48
I.2	Qualité de la rivière de l'Ikopa.....	49
II.2.1	Interprétation d'analyse de la rivière d'Ikopa.....	50
II.	Recommandations et suggestions	54
	CONCLUSION	55
	Bibliographie	58

LISTE DES ABREVIATIONS

DBO	Demande Biochimique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
pH	Potentiel Hydrogène
JIRAMA	Jiro sy Rano Malagasy
TH	Titre Hydrotimétrique
THCa	Titre Hydrotimétrique Calcique
EDTA	Ethylène Diamine Tétra- Acétique
TA	Titre Alcalimétrique
TAC	Titre Alcalimétrique Complet
OMS	Organisation Mondial de la Santé
GES	Gaz à Effet de Serre
OMD	Objectif Millénaire de Développement

LISTE DE FIGURES

Figure 1: Origine des eaux souterraines selon le cycle de l'eau.....	5
Figure 2 : Petites rivières en amont d'Ikopa.....	11
Figure 3 : a : Fosses perdues - b : Dépôt sauvage au voisinage de la rivière d'Ikopa.....	12
Figure 4: a : Riziculture b : Culture vivrière c : Culture maraichère.....	13
Figure 5: Lavandière sur la rivière.....	13
Figure 6:a : Extraction de sable b : Briques effectuées sur la rive.....	14
Figure N° 7 : Effet de pluies acides sur la flore.....	15
Figure 8: Effets des pollutions de l'eau sur l'atmosphère.....	15
Figure 9 a : Débitmètre b : Chronomètre c : Bac.....	17
Figure 10: a : Mètre et cordon b : Bouteilles (bouchons).....	17
Figure 11: Vue en plan de la section tanjombato.....	18
Figure 12 : Principe de division de surface de la rivière.....	19

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification des eaux d'après leur pH.....	6
Tableau 2 : Classe de turbidité usuelle.....	6
Tableau 3 : Normes des eaux des surfaces.....	10
Tableau 4 : Bilan hydrologique de Madagascar dans les principales stations « Région Analamanga ».....	20
Tableau 5 : Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 14/03/18.....	25
Tableau 6 : Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 14/03.....	25
Tableau 7 : Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 14/03/18 à Tanjombato.....	26
Tableau 8 : Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 14/03/18 à Tanjombato.....	26
Tableau 9: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 14/03/18.....	26
Tableau 10: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 14/03/18.....	27
Tableau 11 : Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 14/03/18 à Anosizato.....	27
Tableau 12: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 14/03/18 à Anosizato.....	27
Tableau 13: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 18/03/18.....	28
Tableau 14 : Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 18/03/18.....	28
Tableau 15: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 18/03/18 à Tanjombato.....	28
Tableau 16: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 18/03/18 à Tanjombato.....	28
Tableau 17: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 18/03/18.....	29
Tableau 18: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 18/03/18.....	29
Tableau 19: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 18/03/18 à Anosizato.....	29
Tableau 20: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 18/03/18 à Anosizato.....	29
Tableau 21: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 21/03/18.....	30
Tableau 22: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 21/03/18.....	30
Tableau 23: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 21/03/18 à Tanjombato.....	30
Tableau 24: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 21/03/18 à Tanjombato.....	31
Tableau 25: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesuré le 21/03/18.....	31
Tableau 26: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 21/03/18.....	31
Tableau 27: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 21/03/18 à Anosizato.....	31
Tableau 28: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 21/03/18 à Anosizato.....	32
Tableau 29 : Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 23/03/18.....	32
Tableau 30: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 23/03/18.....	32
Tableau 31: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 23/03/18 à Tanjombato.....	33
Tableau 32: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 23/03/18 à Tanjombato.....	33
Tableau 33: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 23/03/18.....	33
Tableau 34: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 23/03/18.....	33
Tableau 35: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 23/03/18 à Anosizato.....	34
Tableau 36: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 23/03/18 à Anosizato.....	34
Tableau 37: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 25/03/18.....	34
Tableau 38: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 25/03/18.....	35
Tableau 39: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 25/03/18 à Anosizato.....	35
Tableau 40: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 25/03/18 à Anosizato.....	35
Tableau 41: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 25/03/18.....	35
Tableau 42: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 25/03/18.....	36
Tableau 43: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 25/03/18 à Anosizato.....	36
Tableau 44: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 25/03/18 à Anosizato.....	36
Tableau 45: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 10/05/18.....	37
Tableau 46: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 10/05/18.....	37

Tableau 47: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 10/05/18 à Tanjombato	37
Tableau 48: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 10/05/18 à Tanjombato.....	38
Tableau 49: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 10/05/18	38
Tableau 50: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 10/05/18	38
Tableau 51: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 10/05/18 à Anosizato.....	38
Tableau 52: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 10/05/18 à Anosizato	39
Tableau 53: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 13/05/18.....	39
Tableau 54: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 13/05/18	39
Tableau 55 : Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 13/05/18 à Tanjombato	40
Tableau 56: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 13/05/18 à Tanjombato.....	40
Tableau 57: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 13/05/18.....	40
Tableau 58: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 13/05/18	40
Tableau 59: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 13/05/18.....	41
Tableau 60: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 13/05/18	41
Tableau 61: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 16/05/18.....	41
Tableau 62: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 16/05/18	42
Tableau 63: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 16/05/18.....	42
Tableau 64: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 16/05/18 à Tanjombato.....	42
Tableau 65: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 16/05/18.....	42
Tableau 66: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 16/05/18	43
Tableau 67 : Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 16/05/18 à Anosizato.....	43
Tableau 68: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 16/05/18 à Anosizato	43
Tableau 69: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 20/05/18.....	43
Tableau 70: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 20/05/18	44
Tableau 71: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 20/05/18 à Tanjombato	44
Tableau 72: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 20/05/18 à Tanjombato.....	44
Tableau 73: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 20/05/18.....	44
Tableau 74: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 20/05/18	45
Tableau 75: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 20/05/18 à Anosizato.....	45
Tableau 76: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 20/05/18 à Anosizato	45
Tableau 77: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 23/05/18.....	46
Tableau 78: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 23/05/18	46
Tableau 79: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 23/05/18 à Tanjombato	46
Tableau 80: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 23/05/18 à Tanjombato.....	46
Tableau 81: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 23/05/18.....	47
Tableau 82: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 23/05/18	47
Tableau 83: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 23/05/18 à Anosizato.....	47
Tableau 84: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 23/05/18 à Anosizato	47
Tableau 85: Résultat d'analyse de la rivière d'Ikopa.....	49

LISTE DES UNITES

cm : centimètre

°C : degré Celsius

°f : degré français

$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$: micro siemens par centimètre

s : seconde

h : Heure

m : mètre

m^2 : mètre carré

Km^2 : kilomètre carré

$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: mètre par seconde

$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$: mètre cube par seconde

$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$: milligramme par litre

$\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$: litre par seconde

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

INTRODUCTION

Introduction

L'eau, ressource vitale au cœur des écosystèmes, est nécessaire au bon fonctionnement de la planète et à sa régulation climatique. Mais l'eau et les milieux aquatiques sont également indispensables aux activités humaines et doivent donc être protégés et gérés pour garantir une utilisation durable. [1]

Dans le monde, l'accès en eau est un problème majeur, non résolu dans les nombreux pays, et souvent lié à la pauvreté. Malgré l'abondance de l'eau sur la planète, la quantité d'eau douce disponible en présente une infime proportion, et à cause des activités anthropiques et des facteurs naturels les ressources en eau disponibles s'affaiblissent. [2]

En Afrique, les sources de conflits sont l'accès à l'eau et le contrôle de la gestion des points d'eau. Les tensions entre les acteurs sont présentées comme une conséquence de la réduction des ressources en eau, en attestent de nombreux rapports. En Afrique de l'Ouest, la baisse du niveau de la pluviométrie, la destruction de l'environnement et la croissance démographique ont provoqué une réduction des ressources en eau. [3]

Selon l'évaluation de l'OMD, le taux d'accès en eau potable et l'assainissement pour Madagascar sont respectivement de 46 % et de 10 %. [4]

Les activités humaines notamment l'urbanisation, la croissance démographique, la déforestation, l'érosion des sols, la surexploitation des ressources halieutiques, les diverses pollutions, ou encore celles liées au changement climatique, tels que les dégâts causés par les cyclones ou les sécheresses sont les pressions qui diminuent les ressources en eaux. [5]

La mesure de débit a pour but de connaître les valeurs dans chaque lieu, l'écart et les facteurs de la différenciation des débits.

De même le climat a commencé à se réchauffer au début des années 1970 et cette tendance devrait se confirmer dans le futur, en raison d'une augmentation de température de 1% tous les ans.

Le cœur du problème est le dépassement de la capacité de la terre à absorber le dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre. [6]

Pour bien mener cette recherche, le présent ouvrage est divisé en trois parties : une revue bibliographique concernant l'eau, une description des matériels et méthodes utilisés et enfin une présentation des résultats obtenus suivis des interprétations et des recommandations.

**PARTIE I : REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE**

I. Ressources et qualité physico- chimique de l'eau

I.1 Ressources en eau

La ressource en eau comprend toutes les eaux accessibles, utiles et disponibles pour l'homme et les écosystèmes, à différents points du cycle de l'eau.

I.1.1 Différents types de ressources en eau

Sur la Terre, 97% de la ressource est de l'eau salée tandis que 2% est bloquée sous forme de glace. Il ne reste alors que 1% sous forme d'eau douce exploitable pour l'homme, ayant une origine continentale : [7]

L'eau de pluies (précipitations), l'eau de surface (dans les fleuves et rivières, les lacs et des marais) et les eaux souterraines (dans les différents magasins aquifères).

I.1.2 Précipitations ou ressources en eau de précipitation

Les précipitations regroupent toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide que solide. Elles constituent l'unique « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants. Par des précipitations efficaces, suivant les facteurs régissant l'index hydrogéologique (géologie de surface, géomorphologie, état de la surface du sol, etc.), l'eau de pluie développe les réservoirs d'eau de surface par le ruissellement, assure l'humidité du sol et la recharge des nappes souterraines par l'infiltration efficace. [8]

I.1.3 Ressources en eaux de surface

Les ressources en eau de surface sont constituées par l'ensemble des réservoirs des masses d'eau superficielle courante ou stagnante, douce, saumâtre et salée qui sont en contact direct avec l'atmosphère ou à plan d'eau libre. Elles incluent donc les ruisseaux, les rivières et fleuves, les lacs et marais, les mers et océans. Elles proviennent des précipitations efficaces sur le bassin versant récepteur et/ou de vidange des nappes souterraines au niveau des sources et suintements. [9]

I.1.4 Ressources en eaux souterraines

Les eaux souterraines sont constituées par tous les réservoirs d'eaux contenues dans le sol et le sous-sol, dont les eaux adsorbées et pelliculaires non mobilisables ainsi que les eaux gravifiques ou gravitaires exploitables. Nous ne considérons ici que les eaux mobilisables ou eaux gravitaires qui circulent dans la zone saturée du sous-sol constituant les nappes souterraines.

Quant à la ressource en eau souterraine, elle constitue la quantité d'eau pouvant être extraite dans le sol ou sous-sol pendant une période donnée.. [10]

I.2 Cycle de l'eau

Le début du cycle se fait toujours par la transformation de l'eau en vapeur au niveau des plans d'eau libre (fleuve, rivière, lac, marais, océan et mer), au niveau du sol (évaporation), et au niveau des êtres vivants, en particulier les végétaux (transpiration) donc par évapotranspiration. La vapeur monte donc dans l'atmosphère, se condense en nuage qui, sous certaines conditions de température et de pression se précipite et donne les précipitations, ces dernières tombent à leur tour sur le globe terrestre et restent. Si elles sont efficace ou effectives, une partie se ruisselle et alimente les réseaux de surface, une autre partie s'infiltrate pour assurer l'humidification du sol et/ou la recharge de la nappe souterraine qui, à leur tour s'émerge au niveau des sources et le cycle recommence. [11]

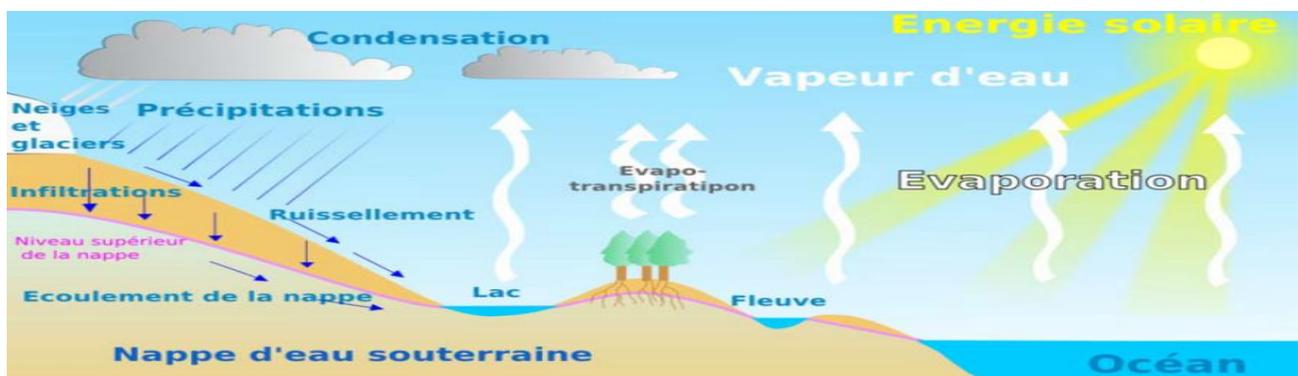


Figure 1: Origine des eaux souterraines selon le cycle de l'eau.

I.3 Qualités physico – chimiques de l'eau

La qualité de l'eau dépend de facteurs naturels déterminants (sol, sous-sol, etc.) et d'activités humaines (agricole, industrielle et domestique) produisant des rejets qui se retrouvent directement ou indirectement dans les milieux aquatiques.

Pour connaître leur qualité, il est nécessaire de mesurer les paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau. [12]

I.3.1 Paramètres organoleptiques

Couleur : exprimé en mg.L^{-1} Pt (Platine)

Cette analyse consiste en la détermination de l'intensité de la couleur brun jaunâtre d'un échantillon par comparaison visuelle avec une série de solutions étalons. La couleur est exprimée en mg.l^{-1} de Pt représentant l'intensité de la couleur produite par les solutions étalons. [13]

I.3.2 Paramètres physiques

I.3.2.1 Potentiel hydrogène (pH)

Le pH d'une eau permet de mettre en évidence les espèces chimiques présentes dans un échantillon. On parle alors de pH acide, de pH neutre ou de pH basique. La mesure du pH est réalisée par une méthode potentiométrique en mesurant la différence de potentiel entre une électrode de verre et une électrode de référence. [12]

Le tableau N° 1 représente la classification des eaux d'après leur pH

Tableau 1: Classification des eaux d'après leur pH

pH < 5	pH = 7	7 < pH < 8	5.5 < pH < 8	pH = 8
Acide forte	pH neutre	Neutralité approchée	Eaux souterraines	Alcalinité forte

I.3.2.2 Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement.

La mesure de conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissouts dans l'eau.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. [12]

I.3.2.3 Turbidité

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes.

La mesure de la turbidité est très utile pour le contrôle d'un traitement mais ne donne pas d'indications sur les particules en suspension qui l'occasionnent. La mesure se fait par comparaison de la lumière diffusée et de la lumière transmise dans l'échantillon d'eau et par une gamme étalon. [14]

La classe de turbidité usuelle est indiquée dans le tableau N°2 :

Tableau 2 : Classe de turbidité usuelle.

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légère
NTU > 30	Eau trouble

I.3.2.4 Matière en suspension

Les matières en suspension constituent l'ensemble des particules minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension dans l'eau. [21]

La qualité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière.

I.3.3 Paramètres chimiques

I.3.3.1 Calcium

Le calcium est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. Il s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement.

La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium. [20]

I.3.3.2 Magnésium

Le magnésium se place au huitième rang parmi les éléments naturels les plus abondants.

Toutes les eaux naturelles en contiennent et il contribue largement à leur dureté.

Les principales sources du magnésium contenu dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens, des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires.

I.3.3.3 Demande biochimique en oxygène

La DBO (demande biochimique en oxygène) est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de matières organiques biodégradables par le processus biochimique. Elle est utilisée pour le suivi des rejets des stations d'épuration, car elle donne une approximation de la charge en matières organiques biodégradables. [14]

I.3.3.4 Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène est la mesure de la quantité d'oxygène requise pour oxyder la matière organique et inorganique oxydable contenue dans l'eau. Ce paramètre est utilisé à la détermination de la quantité de polluants présents dans l'eau usée.

I.3.3.5 Nitrates

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote. Leur présence dans l'eau, si la source est organique, atteste que l'auto épuration a joué. Ils proviennent du lessivage des engrais et des rejets urbains et industriels. Les nitrates sont l'un des éléments nutritifs majeurs des végétaux. [15]

I.3.3.6 Ammonium

La présence d'ammoniaque en quantité importante est l'indice d'une contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle. Les urines humaines ou animales contiennent en effet de grandes quantités d'urée qui se transforment rapidement en ammoniaque.

I.3.3.7 Cuivre

Le cuivre est un métal essentiel à l'organisme humain mais, l'ingestion d'une trop forte dose de cuivre peut être mortelle. Le contenu total en cuivre du corps d'un adulte est d'environ 100 à 150 mg. Cette quantité de cuivre dans les tissus humains est remarquablement constante tout au long de la vie. [16]

I.3.4 Paramètres bactériologiques

Les eaux de surfaces sont des milieux favorables au développement d'un très grand nombre d'organismes vivants, dont des germes pathogènes ou non, souvent fécaux, on les trouve dans les effluents hospitaliers, de lavage de linges et de matériels souillés, ou encore dans le déversement de nombreuses industries agro-alimentaires (abattoirs, élevages agricole ...).[17]

II. Facteurs de pollution de l'eau

Les activités anthropiques sont les facteurs de la pollution de l'eau. Les causes sont classées en 4 catégories : Physiques, Chimiques et Microbiologiques.

II.1 Polluants physiques

Dans l'Industrie plusieurs problèmes perturbent l'environnement, par exemple utilisation de l'eau comme liquide de refroidissement, provoquant ainsi un réchauffement des cours d'eau.

Le rejet de chaleur dans l'environnement, notamment les milieux aquatiques, constitue une forme de pollution physique qui en modifiant le facteur écologique primordial qu'est la température, peut provoquer de sérieux bouleversements dans les populations animales et végétales. [18]

II.2 Polluants chimiques

II.2.1 Provenant des activités domestiques

L'eau peut être contaminée par les matières organiques. Ainsi, les chlorures et les nitrates contenus dans les déchets humains et animaux aussi peuvent contaminer les eaux souterraines des puits peu profonds.

Les nitrates sont très solubles dans l'eau et qui constituent aujourd'hui la cause majeure de la pollution des grands réservoirs d'eau souterraine du globe. Ils présentent en général une qualité chimique et bactériologique satisfaisante pour l'alimentation.

II.2.2 Provenant de l'agriculture

Une grande partie est issue des engrais et des produits phytosanitaires qu'on utilise, comme les insecticides ou pesticides employés couramment pour éliminer les insectes et protéger les végétaux.

II.3 Pollutions microbiologiques

Virus et bactéries

Les rejets provenant de l'intestin des animaux et de l'homme sont évacués dans le sol ou déversés dans les cours d'eau. Ils y subissent une épuration naturelle. Mais s'ils parviennent trop rapidement à une ressource en eau, ils peuvent provoquer une pollution microbiologique.

La désinfection systématique des eaux dans les pays industrialisés a pratiquement éliminé les incidences de la pollution microbiologique sur la santé.

III. Classification des eaux de surface et règlementation des rejets d'affluents liquides

Selon le ministère de l'environnement, portant le Décret n° 2003/464 du 15/04/03, (Article 3,5),

Les eaux de surface (cours d'eau, lacs et tous plans d'eau) sont respectivement classées et respectent les normes qui se présentent dans le tableau N° 3 :

Tableau 3 : Normes des eaux des surfaces

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

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

IV. Généralités sur la rivière d'Ikopa

IV.1 Situation et Relief

Le bassin supérieur de l'Ikopa est situé sur le bord oriental des "Hauts Plateaux" région de l'Imerina, sa limite est la ligne de partage des eaux entre les Hauts Plateaux et le versant de l'île dit "Cote Est". Le bassin versant d'une superficie totale de 4.370 km² s'étend : - d'une part entre les latitudes 18°41' et 19°31' S

- d'autre part entre les longitudes 47°16' et 47°57' E

Malgré la dénomination généralement admise de "Hauts Plateaux", la topographie du bassin est assez accidentée. Cette région a été, en effet, fortement plissée au cours de l'ère primaire, puis arasée en pénéplaine; mais des mouvements plus récents combinés à une forte érosion ont donné naissance à un nouveau relief et à un réseau hydrographique assez complexe .

IV.2 Petites rivières en amont de l'Ikopa

L'Ikopa est formé par la réunion de la Varahina-Nord et de la Varahina-Sud.

Ses principaux affluents sont

- en rive droite la Mamba
- en rive gauche la Sisaony

l'Andromba grossie de la Katsoaka

La figure 2 montre les petites rivières en amont d'Ikopa :

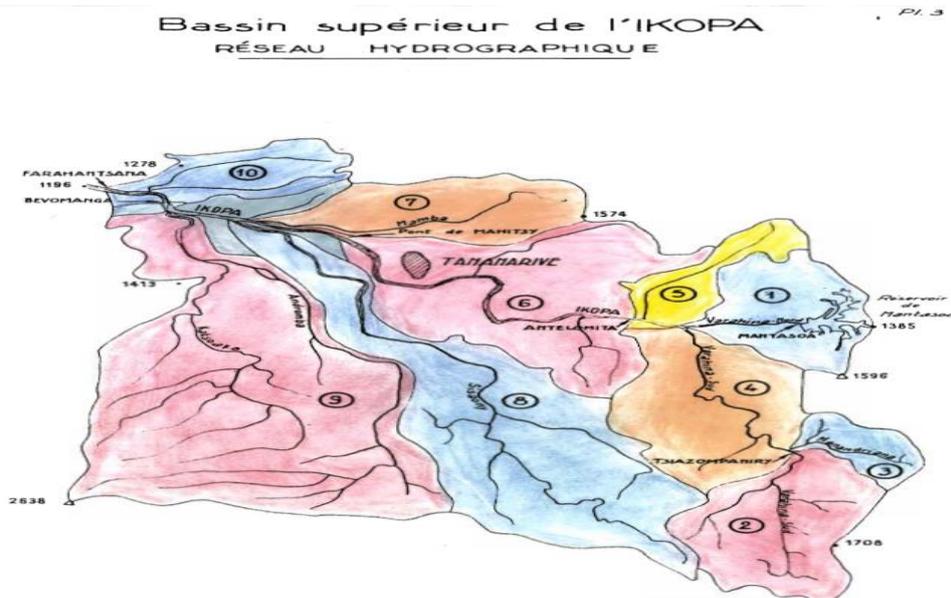


Figure 2 : Petites rivières en amont d'Ikopa

IV.3 Canaux déversés dans la rivière de l'Ikopa

Les Trois canaux collectent des eaux pluviales, les eaux usées dans la ville d'Antananarivo et déversée vers l'Ikopa :

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

Le canal C3, de 10 km, permet de drainer 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 GR est un canal en terre de 14 km de long, de barrage de Tanjombato à Soavimasoandro. Il a pour rôle d'amener 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).

IV.4 Dégradations liées aux activités humaines au voisinage de la rivière d'Ikopa

Les activités humaines sont les problèmes majeurs qui favorisent la dégradation de l'environnement et qui provoquent la pollution de la rivière de l'Ikopa.

Les activités présentées ci-dessous sont les facteurs principaux de la pollution :

Activités domestiques, activités agricoles, lavages et extraction des sables et de matériaux pour les fabrications de sables

IV.4.1 Activités domestiques

A cause du manque de réseau d'assainissement et des canaux d'évacuation dans la population aux voisinages de la rivière d'Ikopa, tous les eaux usées domestiques telles que l'eau vanne (WC) et eaux ménagères comme les eaux cuisines, lavages, de la salle de bain sont déversés directement sans traitement dans cette rivière. Cela provoque la pollution de l'eau.

De plus, l'augmentation de la pollution de l'eau est causée par les dépôts sauvages d'ordures ménagères, les fosses perdues dans ce lieu d'étude.

Les figures 3 montrent les environnements aux voisinages de la rivière d'Ikopa



Figure 3 : a : Fosses perdues -



b : Dépôt sauvage au voisinage de la rivière d'Ikopa

IV.4.2 Activités agricoles

Les gens qui vivent sur le long de la rivière ont presque utilisé de l'eau pour assurer des activités agricoles comme la riziculture, la culture vivrière et la culture maraichère. Les cultivateurs ont utilisé des engrais chimiques, et des différents pesticides, d'insecticides pour favoriser leurs activités agricoles. Ils sont la cause de la pollution de l'eau et la dégradation de l'environnement au long de la rive.

Les figures 4 présentent les activités agricoles dans ce lieu :



Figure 4: a : Riziculture



b : Culture vivrière



c : Culture maraichère

IV.4.3 Lavage

La rivière d'Ikopa ne reste plus le déversement de l'eau usée de la ville d'Antananarivo, les gens sont utilisés de l'eau de la rivière d'Ikopa pour le lavage de linge, de véhicules. Ces activités augmentent la pollution de la rivière puisque les savons, carburants et l'huile motrice sont des produits dangereux et qui provoquent la destruction de l'environnement, et surtout sur la santé.

La figure 5 montre les gens effectuant leur lavage.



Lavandières

Figure 5: Lavandière sur la rivière

IV.4.4 Extraction de sable et de briqueterie

Extraction de sable et la briqueterie sont l'un des activités majeures pour les gens aux voisinages de la rivière. Ces activités perturbent les écosystèmes et diminuent le débit de la rivière par piégeage de l'eau dans les trous. Les trous dans cette rive favorisent le développement des microbes et la pollution de l'eau.

Les figures 6 représentent l'extraction des sables et de briques :



Figure 6:a : Extraction de sable



b : Briques effectuées sur la rive

IV.5 Effet de la pollution de l'eau due à l'activité humaine

L'effet de la pollution de l'eau est un problème majeur sur les êtres humains et le climat.

Pour les êtres vivants, l'eau polluée entraîne la contamination des aliments et s'accumulent dans l'organisme et peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires. Lorsqu'il est utilisé directement sur le corps, il aura des impacts sur la santé : maladies cardiovasculaires comme l'athérosclérose, maladies pulmonaires comme l'asthme et la bronchite chronique, de nombreux cancers. [19]

Les effets de la pollution du climat peuvent grossièrement être regroupés en deux catégories : à court, et à long terme.

IV.5.1 Effets à court terme

IV.5.1.1 Pluies acides

En général l'eau de pluie a un pH d'environ 5 à 6. C'est donc naturellement un liquide neutre, légèrement acide. Lors des précipitations, les gaz se diluent dans l'eau de pluie, de ce fait le pH des précipitations change, le pH de l'eau de pluie est alors égal ou inférieur à 4. L'acidification des précipitations a des conséquences notamment sur les faunes et des flores. Elle entraîne également l'acidification des sols, et empêche le développement normal des espèces et des végétaux.

La Figure 7 montre l'effet de pluies acides sur la flore



Décoloration des Feuilles

Figure 7 : Effet de pluie acide sur la flore

IV.5.1.2 Sécheresse

L'activité humaine telle que le surpâturage, le défrichage et la production de gaz toxique émanant des grosses industries jouent également un rôle dans les causes et origines de la sécheresse. L'activité humaine a créé une certaine aridité du sol. Le sol joue un rôle de filtrage des eaux dans le cycle de l'eau. Son aridité provoque une non-rétention de l'eau et favorise rapidement la sécheresse.

Finalement, tout ce qui perturbe l'eau dans son cycle peut provoquer directement ou non un cas de sécheresse.

IV.5.2 Effets à long terme

Réchauffement climatique

C'est un phénomène d'augmentation de la température moyenne à la surface de la planète.

Les activités humaines (industries, transports, agricultures...) sont les facteurs de la pollution et qui entraînent le gaz à effet de serre, mais le dioxyde de carbone est la cause principale du réchauffement parmi les nombreux gaz. Au cours du XX^{ème} siècle, la température a augmenté de 0,6°C en moyenne.

Le réchauffement moyen pourrait atteindre de 1,4°C à 5,8°C de plus d'ici la fin du XXI^{ème} siècle.

La figure 8 montre les activités anthropiques et les conséquences d'effet de serre



Figure 8: Effets des pollutions de l'eau sur l'atmosphère

:

PARTIE II : MATERIELS ET METHODES

I. Site d'étude

La mesure de débit volumique a été effectuée dans la rivière d'Ikopa, à Tanjombato et Anosizato. La distance entre eux est de 3.7 km et la surface est de 11.4 ha.

I.1 Matériels utilisés

Le débit a été mesuré par la méthode par flotteur et les matériels utilisés sont présentés dans les figures 9 et 10 :



Figure 9 a : Débitmètre



b : Chronomètre



c : Bac



Figure 10: a : Mètre et cordon b : Bouteilles (bouchons)

I.2 Méthode pratique/ mesure indirecte

Mesure indirecte à partir de la vitesse d'écoulement à travers une section donnée (section de mesure), à partir d'ouvrages hydrauliques, ou par dilution.

Exploration du champ de vitesses :

Le débit Q [$m^3 \cdot s^{-1}$] s'écoulant dans une section d'écoulement S [m^2] d'une rivière peut être défini à partir de la vitesse moyenne V [$m \cdot s^{-1}$] perpendiculaire à cette section par la relation :

$$Q = V \times S. \quad (1)$$

La vitesse moyenne de l'écoulement dans une section est obtenue par intégration des vitesses dans l'espace de la section.

I.3 Mesure par flotteur

La mesure par flotteur est valable pour l'eau de surface, le débit est calculé par la formule suivante :

v_m : vitesse moyenne exprimée en $[m.s^{-1}]$, elle peut être calculée par la formule suivante :

$$v_m = 0.8 V_{sm} \quad (2)$$

La vitesse est calculée à l'aide de formule suivante : $v = \text{distance} / \text{temps}$, il faut répéter 5 fois le flotteur pour ajouter la vitesse moyenne V_{sm}

S_m : la surface moyenne est calculée à l'aide de formule ci-dessous :

$$S_m = (S_1 + S_2) / 2 \quad (3)$$

S_1 : surface en amont de la section utilisée exprimée en m^2

S_2 : surface en aval de la section utilisée exprimée en m^2

I.4 Mise en œuvre

Le débit a été mesuré dans un lieu qui a un écoulement uniforme (pente constante) et de section de forme rectangulaire.

Dans le cas pratique, les dimensions choisies sont le $32 \times 14 \text{ m}^2$ et le $25 \times 25 \text{ m}^2$ qui sont respectivement à Tanjombato et Anosizato. Pour que la dimension soit constante, 4 piquets sont utilisés sur les quatre coins et de cordon est ajouté sur le périmètre.

La figure 11 montre vue en plan de la section Tanjombato

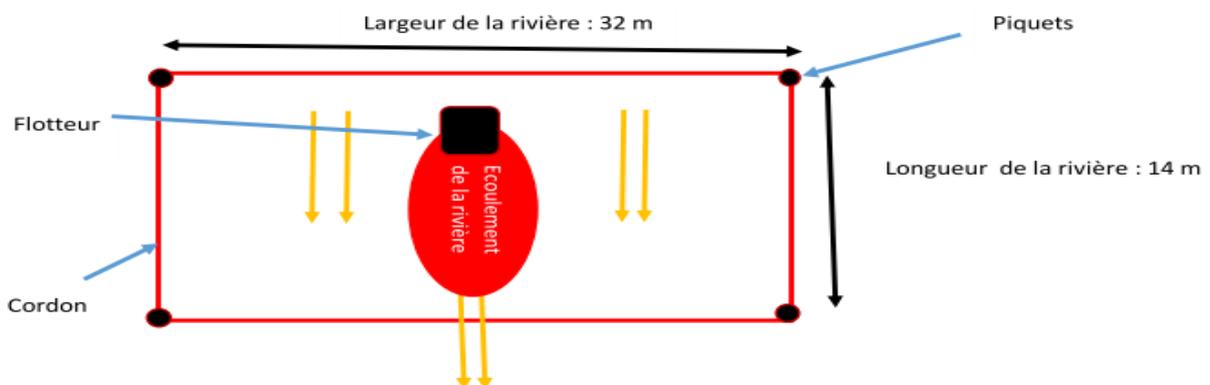


Figure 11: Vue en plan de la section tanjombato

En appliquant la formule $Q = V \times S$, la vitesse et la surface de la rivière sont les inconnues à déterminer. La vitesse est calculée à l'aide de flotteurs et de chronomètre et la surface est déterminée à partir de débitmètre et de cordon. La vitesse est répétée plusieurs fois pour ajouter la moyenne. La surface de la rivière peut être divisée en plusieurs surfaces pour éviter l'erreur et la largeur est divisée en même équidistant de 2 m (sur le cordon).

La figure 12 présente le principe de division de surface de la rivière :

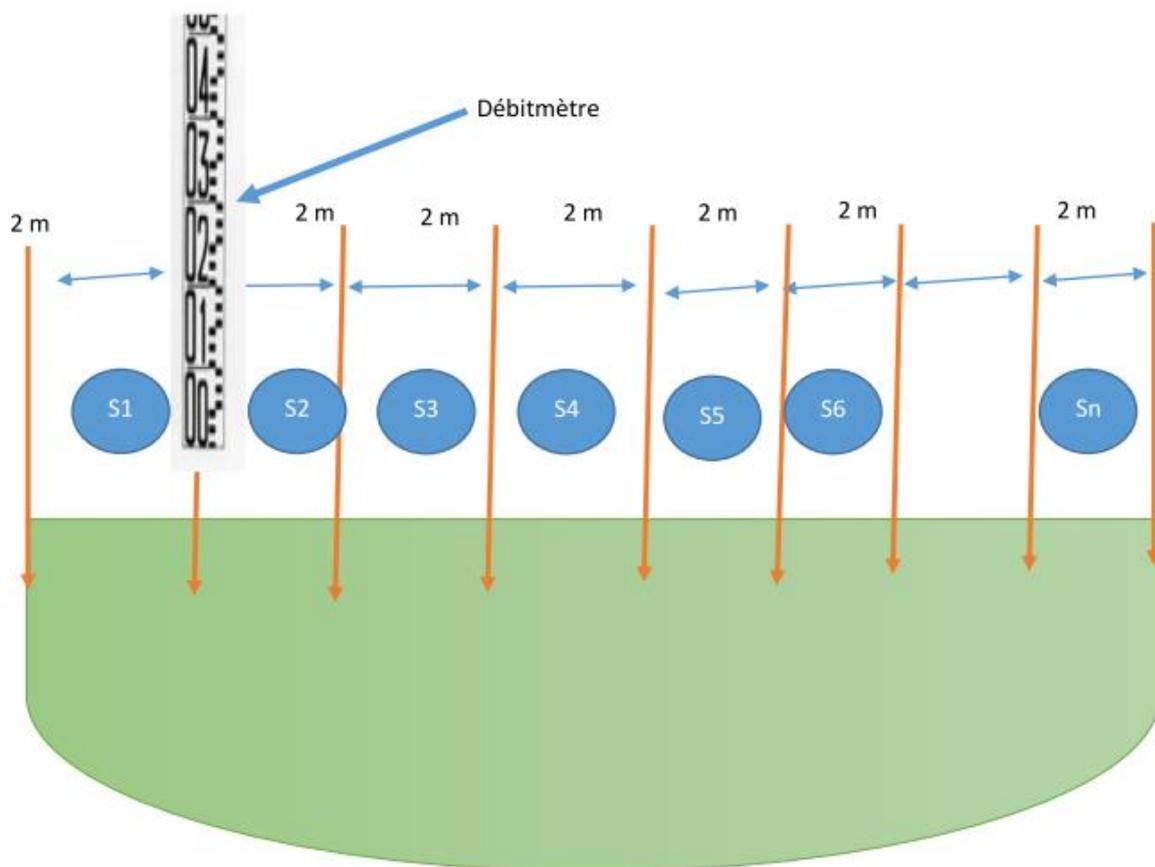


Figure 12 : Principe de division de surface de la rivière

I.5 Détermination de l'évaporation de la rivière

Evaporation est le produit de l'évaporation mensuelle exprimé en mm par la surface plan d'eau, il est exprimé de la manière suivante.

$$\text{D'où } EVr = Ev * S \quad (4)$$

Avec EVr : est l'évaporation de la rivière d'Ikopa entre Tanjombato et Anosizato, exprimée en $m^3.s^{-1}$

Ev : c'est l'évaporation de la région d'Analamanga, elle est exprimée en mm

S : surface de la rivière d'Ikopa entre Tanjombato et Anosizato, exprimée en m^2

La zone d'étude est commencée au pont Tanjombato et se termine sur le pont Anosizato.

La surface de la rivière de l'Ikopa est calculée à l'aide de Google maps.

Les valeurs de l'évaporation sont résumées dans le tableau N°4 qui a été tirée dans un bilan hydrologique de Madagascar.

Tableau 4 : Bilan hydrologique de Madagascar dans les principales stations « Région Analamanga »

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
T° moyenne	21,4	21,4	21	19,9	17,5	15,5	14,8	15,6	17,4	19,7	21,1	21,4	
Evaporation	84,7	75,1	78,5	65,3	52	38,7	36,6	40	51,1	69,9	78,5	85,2	
Précipitation	304,5	235	220,6	41,7	15,8	8,8	8,7	8,9	13,9	49,3	154	292,2	
P- Ev	219,8	159,9	-18,8	-36,2	-29,9	-27,9	-31,1	-35,2	-37,2	-	20,6	75,5	207

II. Etude de la qualité de l'eau

L'analyse a été faite dans le laboratoire de JIRAMA Mandroseza, elle met en évidence l'évolution de la qualité physico-chimique de l'eau au niveau de rivière de l'Ikopa.

La qualité de l'eau est définie par les paramètres organoleptiques, physico-chimiques, organiques qui nous permettent d'interpréter le degré de pollution de la rivière.

Différents matériels et différents réactifs sont utilisés pour déterminer les différents paramètres.

- ✓ Paramètres physiques : pH mètre, conductimètre, turbidimètre
- ✓ Paramètres chimiques : spectrophotomètre, colorimètre, bécher, étuve, pipe...

Les analyses chimiques ont été mesurées par deux méthodes :

- Analyse colorimétrique
- Analyse volumétrique

II.1 Analyse colorimétrique

Elle consiste à ajouter dans la solution à analyser un réactif coloré, la couleur ainsi obtenue est en fonction de la concentration de l'élément minéral recherché. Le résultat qui est la concentration correspondant à l'intensité de la couleur se lit à l'aide des appareils comme la comparatrice hydrocure (pour le fer) et le spectrophotomètre (pour le nitrite, nitrate et sulfate). [22]

Dans ce type d'analyse peut distinguer

II.1.1 Fer

Mode opératoire : introduire 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, ajouter une pincée de dithionite de sodium et 2 ml d'ammoniac.

La solution se colore rose et le taux de fer est déterminé à partir de lecture directe par l'utilisation de comparateur hydrocure.

II.1.2 Nitrate

Mode opératoire : introduire 10 ml d'échantillon dans une fiole conique, ajouté de NaOH à l'aide d'une pipette, et laisse dans une étuve pendant quelques minutes.

Ajouter ensuite 2 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) et 15 ml d'eau distillé.

La solution attendue est le rose et le taux de nitrate est déterminé à partir de spectrophotomètre.

II.1.3 Nitrite

Mode opératoire : introduire dans une fiole conique de 250 ml, 10 ml d'eau à analyser puis ajouter une goutte de H_3PO_4 et 2 ml d'Ammoniac. La solution se colore en rose.

II.1.4 Sulfate

Mode opératoire : l'échantillon prise est de 20 ml et placé directement dans la fiole conique, ajouter immédiatement 0.5 ml d'acide chlorhydrique et 2.5 ml de chlorure de baryum.

Le taux de sulfate est déterminé par le spectrophotomètre.

II.2 Analyse volumétrique

Elle consiste à ajouter dans la solution à analyser différents réactifs correspondant au paramètre recherché et à titrer cette solution par un autre réactif neutralisant présent dans la solution. Le résultat correspond au volume de solution versée après l'indicateur coloré.

Dans cette analyse, il y a 04 paramètres qui sont :

II.2.1 Dureté totale (TH) et dureté calcique (THCa)

II.2.1.1 Dureté totale(TH)

Mode opératoire : introduire 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, ajouter 2 ml de solution tampon TH et quelques gouttes de NET. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

II.2.1.2 Dureté calcique(THCa)

Mode opératoire : verser 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml. Ajouter 2 ml de NAOH puis pincée de Patten Reader, doser la solution d'EDTA goutte à goutte jusqu'au virage bleu.

II.2.2 Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)

II.2.2.1 Titre alcalimétrique (TA)

Mode opératoire : mélanger 100ml d'échantillon à doser avec quelques gouttes de phénophtaléines. Si la solution reste incolore c'est-à-dire qu'il n'y a plus de titre alcalimétrique donc $TA = 0$. Si la solution vire au rose, il y a de TA, donc on continue d'agiter et titrer par l'acide chlorhydrique HCl jusqu'au virage incolore.

II.2.2.2 Titre alcalimétrique (TAC)

Mode opératoire : pour déterminer le TAC, sans remise à zéro de la solution d'acide chlorhydrique. Et continuer le titrage HCl jusqu'au virage orange.

II.2.2.3 Chlorure

Mode opératoire : dans une fiole jaugée de 250 ml, introduire 100 ml d'échantillon, verser 5 gouttes de chromate de potassium jusqu'à la couleur jaune, puis agiter et titrer par le Nitrate d'Argent jusqu'à sa couleur la solution est le rouge brique.

II.2.2.4 Matières organiques

Mode opératoire : ajouter à l'échantillon de 100 ml à analyser 5 ml de solution de bicarbonate de sodium (NaHCO_3), puis chauffer dans une résistance jusqu'à l'ébullition. Verser 10 ml de solution KMnO_4 et attendre 10 à 15 mn. Après le chauffage, ajouter 5 ml d'acide sulfurique et 10 ml de sel de Morh puis agiter dans un appareil agitateur et titrer avec du KMnO_4 jusqu'au virage. La couleur de la solution attendue est rose.

PARTIE III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

I. Résultats et interprétations

I.1 Débit de la rivière de l'Ikopa

Le débit dans la rivière de l'Ikopa a été mesuré le 14/03/18 et s'est terminé le 25/03/18, elle a répété le 10/05/18 jusqu'à 23/05/18.

Elles sont effectuées tous les trois jours dans deux lieux différents (Tanjombato et Anosizato) et les résultats des mesures sont présentés dans les tableaux (5 à 83) suivants.

I.1.1 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 14/03/18

La surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato est calculée à partir de la moyenne de deux surfaces en amont et en aval de lieu de mesure et chaque surface est déterminée à partir de la somme des petites surfaces (S1, S2, S3, S4, S5,..... Sn). Les dimensions entre les petites surfaces sont en variées en fonction de profondeur de la rivière. La première mesure a été effectuée le 14/03/18 et les résultats des mesures sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau 5 : Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 14/03/18

Surface d'un côté en Amont								
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S (m ²)	2,25	5,25	6,5	7,1	7,3	7,4	7,7	8,2
Petites Surfaces	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
S (m ²)	8,7	9,6	10,3	9,8	8,3	6,7	5	2
la surface totale en amont est 112.1 m ²								

Tableau 6 : Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 14/03

Surface d'un côté en aval								
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S (m ²)	1,7	4,1	5,8	7,6	8,9	9,9	9,5	8,3
Petites Surfaces	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
S (m ²)	7,7	7,1	6,6	6,4	6,4	6,4	5,5	4,1
la surface totale en aval est 106 m ²								

I.1.2 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 14/03/18

La vitesse moyenne de la rivière est la somme des vitesses mesurées pendant les différents essais. La vitesse est ajoutée à partir de temps d'écoulement dans une section constante. Pour le cas de Tanjombato la section est de 14 m et 25 m Anosizato.

Tableau 7 : Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 14/03/18 à Tanjombato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0.446	0.396	0.378	0.383	0.386	0.398

I.1.3 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 14/03/18

Le débit est le produit de la surface et de vitesse moyenne qui est présenté dans le tableau N°8.

Tableau 8 : Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 14/03/18 à Tanjombato

Heure d'essai	Surface totale (m ²)	vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
9h	109,95	0.398	35,018

I.1.4 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 14/03/18

Tableau 9: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 14/03/18

Surface d'un côté en amont						
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	2	5,2	6	6,7	7,7	9
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	9,3	8,3	7,3	6,7	5,2	4
la surface totale en amont est 79,1 m ²						

Tableau 10: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 14/03/18

Surface d'un côté en aval						
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,6	3,8	5	6,2	6,8	10,65
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	11,1	7,2	6,9	6,5	5,3	2,2
la surface totale en aval est 73.25 m ²						

I.1.5 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 14/03/18 à Anosizato

Tableau 11 : Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 14/03/18 à Anosizato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,441	0,455	0,457	0,435	0,448	0.447

I.1.6 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 14/03/18

Tableau 12: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 14/03/18 à Anosizato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
9h	76,175	0,447	27,276

I.1.7 Interprétation de débit de la rivière Ikopa mesuré le 14/03/18

La rivière d'Ikopa a été mesurée le 14/03/18, la valeur de débit est de 35.01 m³.s⁻¹ pour le Tanjombato et 27.27 m³.s⁻¹ pour l'Anosizato. Le débit en amont est élevé par rapport à l'aval, c'est à dire qu'il y a une perte de 7.74 m³.s⁻¹ durant le trajet Tanjombato et Anosizato.

I.1.8 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 18/03/18

La mesure de surface à Tanjombato a été répétée le 18/03/18 et les valeurs sont présentées dans le tableau N°13:

Tableau 13: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 18/03/18

Surface d'un côté en Amont								
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S (m ²)	2,65	6,05	7,3	7,9	8,1	8,2	8,5	9
Petites Surfaces	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
S (m ²)	9,5	10,4	11,1	10,8	9,3	7,5	5,8	2,4
la surface totale en amont est 124.5 m ²								

Tableau 14 : Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 18/03/18

Surface d'un côté en aval								
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S (m ²)	2,1	4,9	6,6	8,4	9,7	10,7	10,3	9,1
Petites Surfaces	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
S (m ²)	8,5	7,9	7,4	7,2	7,2	7,2	6,3	5,1
la surface totale en aval est 120.76 m ²								

I.1.9 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 18/03/18

Tableau 15: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 18/03/18 à Tanjombato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,434	0,425	0,586	0,654	0,594	0.538

I.1.10 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 18/03/18

Tableau 16: Debit de la rivière d'Ikopa mesuré le 18/03/18 à Tanjombato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
	122,63	0,538	52,857

I.1.11 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 18/03/18

Tableau 17: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 18/03/18

Surface d'un côté en amont						
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	2,24	5,8	6,4	7,1	7,7	8,5
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	8,5	7,8	7,3	6,7	5,6	4,8
La surface totale en amont est de 80.44 m ²						

Tableau 18: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 18/03/18

Surface d'un côté en aval						
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,8	4,2	5,6	6,8	7,2	11,1
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	11,4	7,3	6,7	6,2	5,6	2,86
La surface totale en aval est de 76.76m ²						

I.1.12 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 18/03/18

Tableau 19: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 18/03/18 à Anosizato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,701	0,691	0,730	0,652	0,720	0.699

I.1.13 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 18/03/18

Tableau 20: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 18/03/18 à Anosizato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
9h	78,6	0,699	43,980

I.1.14 Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 18/03/18

Les débits à Tanjombato et Anosizato sont respectivement de $52.85 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et de $43.98 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. L'écart entre deux débits est de $8.87 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Par rapport à la première mesure, le débit à Tanjombato est augmenté de $17.84 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et $16.17 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ Anosizato. Le facteur de L'augmentation de ces débits est dû à l'ouverture du barrage de Tsiacompaniry en raison de période d'étiage qui a lieu le mois de mars de l'année.

I.1.15 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 21/03/18

Tableau 21: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 21/03/18

Surface d'un côté en amont								
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S (m^2)	2,5	5,5	6,5	7,4	8	8,2	8,3	8,6
Petites Surfaces	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
S (m^2)	9	9,6	9,6	9,7	8,9	7,7	6	2,5
La surface totale en amont est 118 m^2								

Tableau 22: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 21/03/18

Surface d'un côté en aval								
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S (m^2)	2	4,6	6,1	7,6	8,9	10	9,8	8,7
Petites Surfaces	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
S (m^2)	7,9	7,3	6,7	6,4	6,4	6,4	6,1	5,5
La surface totale en aval est 112.74m^2								

I.1.16 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 21/03/18

Tableau 23: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 21/03/18 à Tanjombato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne ($\text{m}.\text{s}^{-1}$)
Vitesse ($\text{m}.\text{s}^{-1}$)	0,718	0,689	0,719	0,717	0,696	0.708

I.1.17 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 21/03/18

Tableau 24: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 21/03/18 à Tanjombato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
8h	115,37	0,708	65,386

I.1.18 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 21/03/18

Tableau 25: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesuré le 21/03/18

Surface d'un côté en amont						
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	3,7	7,7	8,5	9,4	10,3	11
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	11	10,6	10,1	9,1	7,7	7
La surface totale en amont est de 109 m ²						

Tableau 26: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 21/03/18

Surface d'un côté en aval						
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	2,5	5,5	6,9	8,1	8,4	13,5
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	14,4	9,3	8,7	7,9	7,1	3,74
La surface totale en aval est de 96,04 m ²						

I.1.19 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 21/03/18

Tableau 27: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 21/03/18 à Anosizato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,814	0,829	0,806	0,834	0,820	0.658

I.1.20 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 21/03/18

Tableau 28: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 21/03/18 à Anosizato

Heure d'essai	Surface (m ²)	vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
12h	102,52	0,658	54,023

I.1.21 Interprétation de débit de la rivière Ikopa mesuré le 21/03/18

La troisième mesure a été exécutée le 21/03/18 et le débit ne cesse d'augmenter. Le débit de la rivière d'Ikopa à Tanjombato s'accroît jusqu'à 65.38 m³.s⁻¹ et 54.02 m³.s⁻¹ Anosizato. Pendant le passage entre deux sites, il y a une perte de débit de 11.36 m³.s⁻¹.

Dans ce cas, le stockage d'eau dans le barrage Tsiazompaniry est suffisant.

Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 23/03/18

Tableau 29 : Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 23/03/18

Surface d'un côté en amont								
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S (m ²)	2,55	5,85	7,1	7,7	7,9	8	8,3	8,8
Petites Surfaces	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
S (m ²)	9,3	10,2	10,9	10,6	9,1	7,3	5,4	2,1
La surface totale en amont est 121.1 m ²								

Tableau 30: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 23/03/18

Surface d'un côté en aval								
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S (m ²)	2	4,7	6,4	8,2	9,5	10,5	10,1	8,9
Petites Surfaces	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
S (m ²)	8,3	7,7	7,2	7	7	7	6,2	5,1
La surface totale en aval est 117.72 m ²								

I.1.22 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 23/03/18

Tableau 31: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 23/03/18 à Tanjombato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,703	0,694	0,7	0,629	0,668	0.679

I.1.23 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 23/03/18

Tableau 32: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 23/03/18 à Tanjombato

Heure d'essai	surface (m ²)	vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
8h	119,41	0,679	64,878

I.1.24 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 23/03/18

Tableau 33: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 23/03/18

Surface d'un côté en amont						
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	2,9	6,4	7,4	8,1	9	9,9
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	10	9,4	8,5	7,8	7,3	7
La surface totale d'un coté en amont est 97,45 m ²						

Tableau 34: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 23/03/18

Surface d'un côté en aval						
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,9	4,4	5,8	7	7,4	11,55
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	11,2	7,8	7,5	7,1	5,9	2,5
La surface totale d'un coté en aval est 80.05 m ²						

I.1.25 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 23/03/18

Tableau 35: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 23/03/18 à Anosizato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,657	0,664	0,708	0,681	0,708	0.684

I.1.26 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 23/03/18

Tableau 36: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 23/03/18 à Anosizato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
12h	88.75	0,684	48,571

I.1.27 Interprétation de débit de la rivière Ikopa mesuré le 23/03/18

Les valeurs de débit sont respectivement les suivantes : 64.87 m³.s⁻¹(Tanjombato), 48.57m³.s⁻¹(Anosizato). L'écart entre les deux débits continue à augmenter de valeur de 16,30 m³.s⁻¹. Il est causé par l'évaporation, l'infiltration et les besoins des gens. Par rapport à la mesure précédente, le débit à Tanjombato diminue de 0.5 m³.s⁻¹ et 5.45 m³.s⁻¹ pour l'Anosizato. La diminution de deux débits n'est pas proportionnelle.

I.1.28 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 25/03/18

Tableau 37: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 25/03/18

Surface d'un côté en Amont								
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S (m ²)	2,2	5,15	6,4	7	7,2	7,3	7,6	8,1
Petites Surfaces	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
S (m ²)	8,6	9,5	10,2	9,9	8,4	6,6	4,7	1,75
La surface totale en amont est 110.6 m ²								

Tableau 38: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 25/03/18

Surface d'un côté en aval								
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S (m ²)	1,65	4	5,7	7,5	8,8	9,8	9,4	8,2
Petites Surfaces	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
S (m ²)	7,6	7	6,5	6,3	6,3	6,3	5,5	4,4
La surface totale en aval est 106.23 m ²								

I.1.29 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 25/03/18

Tableau 39: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 25/03/18 à Anosizato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,604	0,581	0,666	0,601	0,636	0.618

I.1.30 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 25/03/18

Tableau 40: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 25/03/18 à Anosizato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
8h	108,415	0,618	53,611

I.1.31 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 25/03/18

Tableau 41: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 25/03/18

Surface d'un côté en amont						
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	2,35	5,1	5,9	6,6	7,6	8,9
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	9,2	8,2	7,2	6,6	5,1	3,9
La surface en amont est 78.135 m ²						

Tableau 42: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 25/03/18

Surface d'un côté en aval						
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,55	3,7	5,1	6,3	6,7	10,5
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	10,22	7,1	6,8	6,4	5,2	2,15
La surface en aval est 71.72 m ²						

I.1.32 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 25/03/18

Tableau 43: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 25/03/18 à Anosizato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,662	0,572	0,663	0,648	0,683	0.646

I.1.33 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 25/03/18

Tableau 44: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 25/03/18 à Anosizato

Heure d'essai	surface (m ²)	vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits
12h	74,927	0,646	38,73

I.1.34 Interprétation de débit de la rivière Ikopa mesuré le 25/03/18

La cinquième mesure a été effectuée le 25 mars 2018 et les résultats de débit sont les suivants : 53.61 m³.s⁻¹ à Tanjombato et 38.73 m³.s⁻¹ à Anosizato. Il y a un écart de 14.87 m³.s⁻¹. Par rapport au débit précédent l'écart diminue. Donc dans ce cas le débit et l'écart diminue.

I.1.35 Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 14 à 25 mars 2018

D'après le résultat de mesure, les écarts des deux débits sont variés entre 7.74 à 16.30 m³s⁻¹.

Si le débit augmente, l'écart augmente, cette condition est valable pour la première, la deuxième et troisième mesures.

Les facteurs de l'écart de débit sont causés par l'évaporation, l'infiltration et l'usage d'eau pour les populations aux voisinages. Dans ce cas, l'évaporation nous intéresse puisqu'elle a un impact majeur sur le changement climatique.

I.1.36 Résultat d'évaporation de la rivière d'Ikopa

L'évaporation est calculée à partir de taux d'évaporation et la surface de la zone d'étude. D'après le calcul, l'évaporation moyenne de la rivière d'Ikopa est de 350 l.s^{-1} avec un taux d'évaporation de $78.5 \text{ mm.mois}^{-1}$. Et la surface de la zone d'étude est de 0.114 km^2 , de longueur de 3.7 km et de largeur moyenne de 30 m.

I.1.37 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 10/05/18

La mesure de débit a été recommencée le 10 à 23 mai 2018. Le tableau présenté ci-dessous représente la surface de cette rivière mesuré le 10/05/2018.

Tableau 45: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 10/05/18

Surface d'un côté en amont							
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S (m^2)	1,5	4,6	5,7	6,5	7	7,2	7,4
Petites Surfaces	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S (m^2)	6,6	5,5	4,5	3,8	3,3	2,5	1
La surface totale en amont est 67.1 m^2							

Tableau 46: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 10/05/18

Surface d'un côté en aval							
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S (m^2)	1,6	3,6	4,9	6,4	7,7	8,7	9,2
Petites Surfaces	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S (m^2)	8,5	7,7	7,1	6,6	6	5,6	5
La surface totale en aval est 88.6 m^2							

I.1.38 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 10/05/18

Tableau 47: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 10/05/18 à Tanjombato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s^{-1})
Vitesse (m.s^{-1})	0,417	0,393	0,403	0,392	0,394	0.40

I.1.39 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 10/05/18

Tableau 48: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 10/05/18 à Tanjombato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
12h	77,85	0,400	24,930

I.1.40 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 10/05/18

Tableau 49: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 10/05/18

Surface d'un côté en amont						
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,4	3,4	4,5	5,3	6	6,8
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	6,9	6,2	5,4	4,7	4,2	1,7
La surface totale en amont est 56,5 m ²						

Tableau 50: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 10/05/18

Surface d'un côté en aval						
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,28	3,6	4,5	5,6	6,6	10,2
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	10,5	6,6	6	5,4	4,7	2,2
La surface totale en aval est 67,78 m ²						

I.1.41 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 10/05/18

Tableau 51: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 10/05/18 à Anosizato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,373	0,362	0,366	0,416	0,378	0.379

I.1.42 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 10/05/18

Tableau 52: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 10/05/18 à Anosizato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
12h	61.84	0,379	18,769

I.1.43 Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 10/05/ 2018

Le débit de la rivière d'Ikopa est présenté comme le suivant : 24.93 m³ s⁻¹ (Tanjombato), 18.76 m³ s⁻¹ (Anosizato). Par rapport à la dernière mesure (mesuré le 25/03/18), le débit a diminué de 28.68 m³ s⁻¹ (Tanjombato), et 19.77 m³ s⁻¹ (Anosizato). La raison de la diminution du débit est causée par l'insuffisance de ressource en eau alimentée de la rivière en période d'étiage.

I.1.44 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 13/05/18

Tableau 53: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 13/05/18

Surface d'un côté en amont						
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,4	4,4	6,2	6,6	7,1	7,4
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	7,2	6,7	6	4,9	3,8	3,2
La surface totale en amont est 68,7 m ²						

Tableau 54: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 13/05/18

Surface d'un côté en aval						
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,575	4,6	5,5	6,5	7,7	8,6
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	8,5	7,6	6,8	6,1	4,9	3,6
La surface totale en aval est 73.475 m ²						

I.1.45 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 13/05/18

Tableau 55 : Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 13/05/18 à Tanjombato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,408	0,392	0,429	0,422	0,406	0.412

I.1.46 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 13/05/18

Tableau 56: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 13/05/18 à Tanjombato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
12h	71,08	0,412	23,435

I.1.47 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 13/05/18

Tableau 57: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 13/05/18

Surface d'un côté en Amont						
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,2	3	4,3	5,5	6,5	7,2
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	7,2	6,5	5,5	4,5	3,7	3,4
La surface totale en amont est 58,5 m ²						

Tableau 58: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 13/05/18

Surface d'un côté en Aval						
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,4	3,6	4,6	5,2	5,6	9
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	8,64	5,1	4,4	3,9	3,4	1,5
La surface totale en aval est 56,34 m ²						

I.1.48 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 13/05/18

Tableau 59: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 13/05/18

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,346	0,355	0,357	0,363	0,349	0.354

I.1.49 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 13/05/18

Tableau 60: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 13/05/18

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
12h	57,42	0,354	16,279

I.1.50 Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 13/05/ 2018

La mesure de débit a été répétée le 13/05/18 et le résultat est 23.43 m.s⁻¹ (Tanjombato) ,16.27m.s⁻¹ (Anosizato). Le débit continu à diminuer et l'écart a augmenté de 7.15 m.s⁻¹.

L'augmentation de l'écart est causée par l'accroissement de temps d'évaporation, temps l'infiltration.

I.1.51 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 16/05/18

Tableau 61: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 16/05/18

Surface d'un côté en Amont						
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,3	4,8	5,8	6,4	6,9	7
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	7	6,9	6,6	6,1	5,4	4,3
La surface totale en amont est de 70 m ²						

Tableau 62: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 16/05/18

Surface d'un côté en aval						
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,4	4,4	5,3	6,3	7,4	8,2
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	8,1	7,4	6,7	6,2	5,8	5,6
La surface totale en aval est de 77,6 m ²						

I.1.52 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 16/05/18

Tableau 63: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 16/05/18

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,386	0,372	0,347	0,355	0,336	0.359

I.1.53 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 16/05/18

Tableau 64: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 16/05/18 à Tanjombato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
12h	73,8	0,359	21,243

I.1.54 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 16/05/18

Tableau 65: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 16/05/18

Surface d'un côté en amont						
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,26	3,8	4,1	5,3	6,2	6,9
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	7	6,4	5,8	5,4	5	2,4
La surface totale en amont est de 59,56 m ²						

Tableau 66: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 16/05/18

Surface d'un côté en aval						
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,625	4,6	4,4	5	5,4	8,55
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	7,8	5	4,7	4,4	4,1	2,2
La surface totale en aval est de 57,775m ²						

I.1.55 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 16/05/18

Tableau 67 : Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 16/05/18 à Anosizato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,345	0,341	0,327	0,332	0,333	0.336

I.1.56 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 16/05/18

Tableau 68: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 16/05/18 à Anosizato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
12h	58,667	0,336	15,77

I.1.57 Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 16/05/18

Lors de la troisième mesure, le débit a diminué de 21.24 m³.s⁻¹(Tanjombato) 15.77 m³.s⁻¹(Anosizato).

L'écart est de 5.46 m³.s⁻¹. Dans ce cas, le débit et l'écart diminuent.

I.1.58 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 20/05/18

Tableau 69: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 20/05/18

Surface d'un côté en Amont							
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S (m ²)	1,5	5,2	6,6	7	7,4	7,6	7,5
Petites Surfaces	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S (m ²)	7,3	7,1	6,7	6,2	4,8	3,4	1,6
La surface totale en amont est de 79,9 m ²							

Tableau 70: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 20/05/18

Surface d'un côté en aval							
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S (m ²)	1,6	4,2	5,9	6,9	7,9	8,8	8,7
Petites Surfaces	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S (m ²)	8	7,3	6,8	6,2	5,8	5,2	4,8
La surface totale en aval est de 88.1 m ²							

I.1.59 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 20/05/18

Tableau 71: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 20/05/18 à Tanjombato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,448	0,475	0,464	0,497	0,445	0.466

I.1.60 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 20/05/18

Tableau 72: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 20/05/18 à Tanjombato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
12h	84	0,466	31,320

I.1.61 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 20/05/18

Tableau 73: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 20/05/18

Surface d'un côté en amont						
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	2,03	5	4,6	5,8	6,7	7,4
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	7,5	7	6,4	5,8	5,4	5,2
La surface totale en amont est de 71,475 m ²						

Tableau 74: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 20/05/18

Surface d'un côté en aval						
Petites Surfaces	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S (m ²)	1,425	3,9	5	5,5	5,8	9,3
Petites Surfaces	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S (m ²)	9,24	6,3	5,5	4,8	4,3	2
La surface totale en aval est de 64,665 m ²						

I.1.62 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 20/05/18

Tableau 75: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 20/05/18 à Anosizato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,462	0,477	0,470	0,479	0,478	0.473

I.1.63 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 20/05/18

Tableau 76: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 20/05/18 à Anosizato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
12h	68,07	0,473	25,805

I.1.64 Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 20/05/18

Les valeurs de débit de la rivière sont respectivement les suivantes : 31.32 m³.s⁻¹(Tanjombato) et 25.80 m³.s⁻¹(Anosizato). L'écart est de 5.51 m³.s⁻¹. La présence de précipitation le 19/05/18 est le facteur de l'augmentation de ce débit. Par rapport à la mesure précédente, le débit a augmenté de 10 m³.s⁻¹ plus. L'écart a diminué puisque le débit a augmenté.

I.1.65 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 23/05/18

Tableau 77: Surface en amont de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 23/05/18

Surface d'un côté en amont								
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S (m ²)	1,76	5,5	6,8	7,3	7,8	8	7,9	7,6
Petites Surfaces	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	
S (m ²)	7,3	7	6,6	5,4	4,7	4,6	2,1	S (m ²)
La surface totale en amont est de 90,36 m ²								

Tableau 78: Surface en aval de lieu de mesure Tanjombato mesurée le 23/05/18

Surface d'un côté en aval							
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S (m ²)	1,4025	4,35	6,1	6,9	7,9	9,1	9,1
Petites Surfaces	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S (m ²)	8,4	7,7	7,2	6,8	6,4	5,9	5,3
La surface totale en aval est de 95,05 m ²							

I.1.66 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Tanjombato le 23/05/18

Tableau 79: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 23/05/18 à Tanjombato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,462	0,473	0,490	0,476	0,462	0.473

I.1.67 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Tanjombato le 23/05/18

Tableau 80: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 23/05/18 à Tanjombato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
12h	92,70	0,473	35,105

I.1.68 Surface de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 23/05/18

Tableau 81: Surface en amont de lieu de mesure Anosizato mesurée le 23/05/18

Surface d'un côté en Amont							
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S (m ²)	1,36	3,9	5	6,2	7,1	7,9	7,9
Petites Surfaces	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S (m ²)	7,9	7,2	6,7	6,2	5,8	5,3	3,125
La surface totale en amont est de 75,485m ²							

Tableau 82: Surface en aval de lieu de mesure Anosizato mesurée le 23/05/18

Surface d'un côté en aval							
Petites Surfaces	SI	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S (m ²)	1,2	4,1	5,4	6,1	6,6	10,35	10,08
Petites Surfaces	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S (m ²)	6,9	6,3	5,6	5	2,4	4,1	1,9
La surface totale en aval est de 76,03m ²							

I.1.69 Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée à Anosizato le 23/05/18

Tableau 83: Vitesse moyenne de la rivière d'Ikopa mesurée le 23/05/18 à Anosizato

Essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai	4 ^e essai	5 ^e essai	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)
Vitesse (m.s ⁻¹)	0,502	0,498	0,506	0,496	0,488	0.498

I.1.70 Débit de la rivière d'Ikopa mesuré à Anosizato le 23/05/18

Tableau 84: Débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 23/05/18 à Anosizato

Heure d'essai	Surface (m ²)	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Débits (m ³ .s ⁻¹)
12h	75,757	0,498	30,231

I.1.71 Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 23/05/18

Le débit de la dernière mesure est le suivant : $35.10 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ pour le Tanjombato et $30.23 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ l'Anosizato. Le débit augmente encore mais l'écart diminue ($4.87 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$). La cause de l'accroissement de débit est l'effet de la précipitation le 19/05/18.

I.1.72 Interprétation de débit de la rivière d'Ikopa mesuré le 10 à 23 mai 2018

Dans ce cas, les écarts sont les mêmes. Si le débit diminue, l'écart augmente ; il est valable pour la deuxième mesure.

Et si le débit augmente, l'écart diminue ; il est valable pour la cinquième mesure.

L.2 Qualité de la rivière de l'Ikopa

Le tableau 85 montre le résultat d'analyse de la rivière d'Ikopa effectuée le 24/03/ 18 et le 25/05/18.

Tableau 85: Résultat d'analyse de la rivière d'Ikopa

Résultats d'Analyse Physico -Chimique						
Date de prélèvement		23/03/18		24/05/18		
Date des analyses		24/03/18		25/05/18		
		Tanjombato	Anosizato	Tanjombato	Anosizato	NORME
Caractéristiques	Unité					
Température	°C	20,7	20,6	20,5	20,8	20 à 25
Turbidité	NTU	43	33,4	49	37	< 25
PH		6,62	7,01	6,77	7,05	6,5 à 9
Conductivité	Us.cm ⁻¹	23,1	39	25,4	42	< 3000
Minéralisation	mg. L ⁻¹	21	36	24,2	41,1	
Dureté totale	°f	0,8	0,8	0,85	0,85	< 50
Dureté calcique	°f	0,5	0,7	0,4	0,8	
Titre alcalimétrique	°f	0	0	0	0	
Titre alcaline complet	°f	1,1	1,5	1,21	1,6	
Calcium	mg. L ⁻¹	2	2,8	2,3	3,1	
Magnésium	mg. L ⁻¹	0,73	0,24	0,75	0,32	
Carbonates	mg. L ⁻¹	0	0	0	0	
Bicarbonates	mg. L ⁻¹	13,42	18,3	15,02	19,87	
Matières organiques	mg. L ⁻¹	3,2	0,9	3,9	1,2	< 2
Ammonium	mg. L ⁻¹	0,12	0,08	0,22	0,11	< 0,2
Fer	mg. L ⁻¹	0,25	0,3	0,27	0,39	< 0,2
Chlorures	mg. L ⁻¹	8,52	8,52	9,22	9,22	< 250
Sulfates	mg. L ⁻¹	5,17	5,19	7,15	7,6	< 250
Nitrites	mg. L ⁻¹	0,12	0,09	0,19	0,1	< 0,1
Nitrates	mg. L ⁻¹	3,37	3,1	4,12	3,9	< 50
Sodium	mg. L ⁻¹	4,6	5,52	4,9	5,79	

I.2.1 Interprétation d'analyse de la rivière d'Ikopa

I.2.1.1 Turbidité

Les turbidités à Tajombato et à Anosizato ont des valeurs respectivement de 43 NTU, 33.4 NTU (le 24/03/18) et 49 NTU, 37 NTU (le 25/05/18). Les turbidités en amont sont très élevées par rapport à celles en aval. Cela s'explique que pendant son passage de la rivière entre Tanjombato et Anosizato, il y a la diminution des pollutions de l'eau et présentent aussi de décantation naturelle.

Selon la norme d'analyse physico-chimique, rédigée par l'équipe technique de feREA, les turbidités sont classifiées dans l'eau trouble. Et selon le Ministère de l'Environnement, portant le Décret n° 2003/464 du 15/04/03, (Article 5), elles dépassent la norme (≤ 25 NTU.)

I.2.1.2 pH

Le pH dépend de la nature de l'eau et représente son acidité ou son alcalinité. La norme de pH des eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés compris entre 6.5 à 9.5. Les pH de la rivière d'Ikopa traversés à Tanjombato et Anosizato ont des valeurs respectivement de 7.01, 6.62 (mesuré le 23/03/18) et 6.77, 7.05 (mesuré le 26/04/18).

Selon la norme des eaux des surfaces, les pH sont classifiés dans la classe A: c'est-à-dire de la bonne qualité, usages multiples possibles.

I.2.1.3 Conductivité

Le 24/03/18, La valeur de conductivité de la rivière d'Ikopa est de 23.1 uS.cm^{-1} (Tanjombato), elle a augmenté à 39 uS.cm^{-1} durant le long trajet jusqu'à Anosizato.

Le 25/05/18, l'analyse a été répétée dans ces deux lieux et les valeurs des conductivités sont augmentées jusqu'au 25.4 uS.cm^{-1} pour le Tanjombato et 42 uS.cm^{-1} l'Anosizato.

Selon la norme de l'eau de surface, elles sont inférieures de 250 us.cm^{-1} donc elles sont localisées dans la classe A, c'est-à-dire que l'eau est dans la bonne qualité à usage multiple.

I.2.1.4 Minéralisation

Les minéralisations de la rivière d'Ikopa sont respectivement de 21 mg.l^{-1} à Tanjombato et de 36 mg.l^{-1} à Anosizato le 24/03/18, elles augmentent de 24.2 mg.l^{-1} et de 41.1 mg.l^{-1} le 25/05/18.

La rivière est localisée dans les roches magmatiques et/ou métamorphiques, donc les roches sont très dures, moins altérées, et les minéraux ajoutés dans ces roches sont faibles alors les facies chimiques dans l'eau sont faibles aussi.

Les différenciations des minéraux sont causés par la différence de l'altitude, C'est-à-dire que l'en amont Tanjombato est moins minéral que l'en aval Anosizato

I.2.1.5 Dureté totale

Le principe de la dureté totale est de déterminer le taux de magnésium et de calcium. D'après l'analyse, la valeur est de 0.8 °f (le 23/03/18), et 0.85 °f (le 26/04/18), dans ces deux lieux.

Selon la norme de l'OMS, elle est inférieure à la norme (<50°f), mais elle est très faible.

I.2.1.6 Dureté calcique

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS ne recommande pas une valeur mais indique qu'une dureté élevée peut provoquer la formation de dépôts tandis qu'une faible dureté peut engendrer des problèmes de corrosion.

D'après le calcul, la dureté calcique dans la rivière d'Ikopa est respectivement de 0.5 °f et 0.7 °f (le 24/03/18) ; 0.5 °f et 0.9 °f (le 25/05/18) à Anosizato et à Tanjombato.

I.2.1.7 Calcium

D'après l'analyse, le taux de calcium à Tanjombato varié de 2 à 2.3 mg. L⁻¹ et il augmente de 2.8 à 3.1 mg. L⁻¹ Anosizato. Le taux de calcium varie essentiellement suivant l'altitude et des minéraux rencontrés au cours d'écoulement et le temps de contact de l'eau avec les minéraux.

I.2.1.8 Magnésium

Le résultat d'analyse montre que la rivière d'Ikopa contient de magnésium, le taux est varié en fonction de lieu. Les valeurs sont très faibles à cause de la dureté de roche centrale. [28]

I.2.1.9 Nitrite

Les taux de nitrites dans la rivière d'Ikopa analysés le 24/03/18 sont variés de 0.09 mg.l⁻¹ à 0.12 mg.l⁻¹ à Anosizato et Tanjombato. La deuxième analyse a été effectuée le 25/05/18 et le résultat est de 0.1 mg.l⁻¹ à Anosizato et 0.19 mg.l⁻¹ à Tanjombato.

La norme de l'eau de surface recommande une valeur de 0.1 mg.l⁻¹. Les résultats dépassent la norme sauf l'Anosizato analysé le 24/03/18.

Le déversement des eaux usées domestique dans la rivière d'Ikopa est le responsable de l'augmentation de teneurs de nitrites.

I.2.1.10 Nitrate

Le nitrate est un excellent indicateur des apports excessifs en azote par les engrais, les épandages de lisiers, les déjections animales et les systèmes d'assainissement mal entretenus.

Lors de la première analyse, les taux de nitrate ont des valeurs 3.37 mg.l^{-1} à Tanjombato et 3.1 mg.l^{-1} à Anosizato.

La deuxième analyse, ils augmentent respectivement à 4.12 mg.l^{-1} et 3.9 mg.l^{-1} . Ils sont très faibles par rapport à la norme car la concentration maximale admissible pour l'eau de surface a été fixée à 50 mg.l^{-1} .

I.2.1.11 Ammonium

L'ammonium se trouve dans l'eau de surface, il provient des rejets industriels ou agricoles et dans les pollutions urbaines. Le taux d'ammonium à Tanjombato et à Anosizato sont respectivement les suivantes 0.12 mg.l^{-1} et 0.08 mg.l^{-1} (le 24/03/18) et 0.22 mg.l^{-1} 0.11 mg.l^{-1} (le 25/05/18). La norme eau de surface recommande une valeur de 0.5 mg.l^{-1} , les résultats ne dépassent pas la norme.

I.2.1.12 Matières organiques

Les taux de matières organiques à Tanjombato est de 3.2 mg.l^{-1} tandis que l'Anosizato est de 0.9 mg.l^{-1} , les taux augmentent respectivement à 3.9 mg.l^{-1} et 1.2 mg.l^{-1} , lors de la deuxième analyse. Selon leur norme de l'eau de surface, les taux en matières organiques à Tanjombato dépassent la norme (2 mg.l^{-1}). Cela indique qu'il y a une forte concentration de pollution provenant des substances complexes issues de la dégradation des végétaux, du lessivage des sols, à cause de la culture et les dépôts sauvages dans ce lieu.

I.2.1.13 Fer

La présence de fer dans l'eau entraîne des inconvénients matériels. Même à faible dose, le fer se précipite au contact de l'air en formant des flocons rouges qui troublent l'eau et tachent le linge. Le résultat de la première analyse montre que les taux de fer sont respectivement de 0.25 mg.l^{-1} à Tanjombato et 0.3 mg.l^{-1} Anosizato.

La deuxième analyse, ils augmentent 0.27 mg.l^{-1} et 0.39 mg.l^{-1} .

Les résultats sont dépassés la norme de l'eau de surface et l'augmentation de taux de fer dans la deuxième analyse est causée par la forte précipitation pendant le prélèvement.

I.2.1.14 Chlorure

Les chlorures (ions Cl^-) sont présents en faibles quantités sur terre et proviennent surtout des roches sédimentaires dans des environnements marins ou de la proximité d'eau de mer.

La norme exigée par le ministère de l'environnement est $< 250 \text{ mg.l}^{-1}$. D'après notre étude, les teneurs des chlorures de la rivière d'Ikopa sont très faibles par rapport à la norme car elle est localisée dans la partie centrale donc sa caractéristique est de roche très dure, difficile pour la dissolution.

II. Recommandations et suggestions

Actuellement les activités humaines sont les principales causes des pollutions de l'environnement et la source de changement climatique. Faces à ces activités, elles ne sont plus arrêtées mais les mesures d'atténuation sont possibles.

Dans le domaine industriel, pour pouvoir diminuer le taux de gaz carbonique, il est nécessaire d'utiliser l'énergie renouvelable (chauffe-eau solaire, panneau solaire, énergie éolienne ...). L'énergie renouvelable respecte l'environnement et exploitable gratuitement.

Dans le domaine de transport, la pollution est augmentée à cause de l'utilisation de voiture occasion. Pour le diminuer, il est important de sensibiliser les gens à utiliser des voitures neuves.

Subventionner /aider les usines fabriquant des voitures pour faciliter l'augmentation des produits et réduire les prix abordables pour tous.

Motiver les jeunes diplômé de monter un projet pour produire des voitures.

La décharge sauvage, l'incinération des déchets solides et le déversement des eaux usées vers la rivière sont les problèmes de la pollution de l'environnement. Pour contrôler l'environnement, il est nécessaire de créer l'usine de traitement et de valoriser les déchets. Par exemple les déchets organiques sont transformés en engrais par compostage.

Les déchets inertes comme les bouteilles, les plastiques, ils sont possibles de valoriser.

Et les déchets dangereux comme de pile, de batterie, ils sont difficiles à valoriser, mais la solution possible est de les regrouper et les envoyer dans les pays qui ont possibilité de le recycler.

Selon le résultat d'analyse effectué dans la rivière d'Ikopa, elle est très polluée. Pour résoudre le problème, il est nécessaire d'améliorer l'assainissement dans cette ville, c'est-à-dire de construire les réseaux fonctionnant en système unitaire pour collecter les eaux usées et de traiter l'eau avant son déversement vers la rivière.

Sensibiliser /aider les gens d'utiliser des fosses septiques pour éviter la défécation a l'air libre et fosses perdues.

Dans le domaine de l'agriculture, l'utilisation de l'engrais et de traitement des plantes et de soins animaux d'origine naturelle sont les facteurs de la diminution de la pollution des environnements.

Ces produits, inoffensifs pour la flore ou la faune aquatiques, préservent le milieu écologique des eaux des rivières, donc la qualité des eaux.

CONCLUSION

Conclusion

Pour conclure, à Madagascar les transports, les industries, les déchets non traités sont les facteurs des pollutions de l'environnement en milieu urbain. La déforestation, l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides dans les secteurs agricoles sont les causes de la pollution en milieu rural.

Pour le cas d'Antananarivo, le degré de pollution de l'eau est très élevé à cause de croissance d'urbanisation.

La méthode empirique a été utilisée pour déterminer le débit et effectuer l'analyse physico-chimique pour amener la qualité de la rivière d'Ikopa.

La première mesure a été effectuée le 14 mars jusqu'au 25 mars 2018 à Tanjombato et Anosizato et les résultats sont les suivantes :

Les débits sont variés entre 35.01 et 65.38 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ (Tanjombato), et 27.27 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ à 54.023 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ (Anosizato). La première mesure, le débit a été débuté de 35.01 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ et de 27.27 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$; ils augmentent de 52.85 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ et de 65.38 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ à Tanjombato et de 43.98 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ et de 54.023 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ à Anosizato la deuxième et la troisième mesure. La raison de l'élévation de ce débit est l'ouverture du barrage Tsiazompaniry.

La quatrième et la dernière mesure, le débit diminue à 64.87 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ et il continue à diminuer jusqu'au 53.61 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ (Tanjombato). Et l'Anosizato, il se réduit aussi de 48, 57 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ lors de quatrième mesure et il ne cesse de décroître jusqu'au 38.73 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ lors de la dernière mesure

La diminution de débit est causée par l'insuffisance de stockage d'eau dans le barrage.

La mesure de débit de la rivière d'Ikopa a été recommencée le 10 à 23 mai 2018. Les débits varient de 21.24 à 35.10 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ pour le Tanjombato et 15.77 à 30.23 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ pour l'Anosizato.

Pour le cas de Tanjombato, la première mesure est de 24.93 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, elle diminue de 23.43 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. Le débit continue à diminuer de 21.24 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ la troisième mesure.

Lors d'une forte précipitation, le débit augmente à 31.32 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ et ne reste plus de s'accroître jusqu'au 35.10 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ lors de cinquième mesure.

Les résultats de débit Anosizato sont inférieurs par rapport en amont. Le débit est de 18.76 (première mesure), il a commencé à diminuer la 2^{ème} et la 3^{ème} mesure dont les valeurs sont respectivement de 16.27 à 15.77 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. Pour la 4^{ème} et dernière mesure, le débit s'accroît rapidement de 25.8 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ et de 30.23 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$.

En comparant les deux résultats de débits à Tanjombato et à Anosizato, il y a une perte de débit entre eux.

Elle est causée par l'infiltration, l'évaporation et l'utilisation par la population aux voisinages mais l'évaporation à une liaison sur la pollution de l'environnement. D'après le calcul, la rivière entre Tanjombato et Anosizato perd de débit environ 350 l.s^{-1} . Cette perte est variée en fonction de taux d'ensoleillement.

Concernant la qualité de la rivière d'Ikopa, d'après les résultats d'analyse physico-chimiques certains paramètres dépassent la norme de l'eau de surface.

Les turbidités à Tanjombato sont les suivantes 43 NTU, 49 NTU et l'Anosizato les valeurs sont de 33.4 NTU, 37 NTU. Selon la norme recommandée par le Ministère de l'environnement, la turbidité de l'eau de surface doit être inférieure à 25 NTU.

En plus les matières organiques à Tanjombato sont très élevées par rapport à la norme dont les valeurs sont de 3.2 mg l^{-1} et 3.9 mg l^{-1} , tandis que l'Anosizato a des valeurs respectivement de 0.9 mg l^{-1} 1.2 mg l^{-1} .

Ensuite le Fer, le taux de fer dans la rivière d'Ikopa est varié et dépasse la norme, en amont les valeurs sont de 0.25 mg l^{-1} et 0.27 mg l^{-1} et en aval, les valeurs sont de 0.3 mg l^{-1} et 0.39 mg l^{-1} .

Et enfin le nitrite, les valeurs sont les suivantes 0.12 mg l^{-1} 0.19 mg l^{-1} pour le Tanjombato, 0.09 mg l^{-1} 0.1 mg l^{-1} pour le cas d'Anosizato. Le taux de nitrite à Tanjombato ne respecte pas la norme ($< 0.1 \text{ mg l}^{-1}$).

Donc la rivière d'Ikopa est polluée, les activités anthropiques sont les causes de la pollution.

Alors la pollution de l'environnement est facteurs de réchauffement climatique et qui provoque le changement climatique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : L'état des eaux de surface et des eaux souterraines, Evaluation - Etat des eaux - Eaux souterraines - Eaux de surface, Synthèse N°12, Service public d'information sur l'eau France, Juin 2015.
- [2] : Le problème de l'eau dans le monde, bilan à la lumière de la conférence de Mexico
- [3] : Catherine Baron et Alain BONNASSIE, « les enjeux de l'accès à l'eau en Afrique de l'ouest : diversité des modes de gouvernance et conflits d'usages » Mondes en développement.
- [4] : Agir pour l'eau et l'assainissement à Madagascar, Guide pratique pour les acteurs de la coopération décentralisée et non gouvernementale, 50 p
- [5] : Plan directeur de la recherche sur l'environnement lié au changement climatique 2015-2019, Elaboré avec la collaboration du Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie, de la Mer, des Forêts, Novembre 2015, 68 p
- [6] : Stéphane GODBOUT Ingénieur Agronome, Chercheur QUEBER «Problématique environnementales émergentes en production animales »
- [7] : RAKOTONDRABE F. (2006) : « Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP21 : cas du bassin versant de Morondava (Sud-ouest de Madagascar) », Mémoire DEA, Spécialisation : Hydrogéologie, ESPA, Université d'Antananarivo, 84p
- [8] : ANDRIANIRINA M., RAKOTOBE R. H. et RALAIMARO J. (2014) : « Etude de la vulnérabilité et de l'adaptation au changement climatique secteur ressources en eau », Rapport troisième communication nationale, Juin 2014, 55p.
- [9] : MAHAMOUD D. (2010) : « Modélisation avec WEAP21 en vue d'une gestion Intégrée des ressources en eau du bassin versant lacustre d'Alaotra », Mémoire DEA, Option : Génie minéral, ESPA, Université d'Antananarivo, 75p.
- [10] : Olivier BOUSIGE, Composition des eaux naturelles, Paramètres de qualité d'une eau Filières de traitement possibles et choix de la filière adaptée, Master spécialisé Génie Sanitaire et Environnement - Traitement des eaux de consommation
- [11] : Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, Novembre 2015.
- [12]: Analyse physico chimique, rédigé par l'équipe technique de feREA.
- [13] : Analyses Physicochimiques, Première Année, Filière Génie des Procédés, Energie et Environnement, Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir.
- [14]: Analyses Physico-chimiques des eaux, Laboratoire Départemental d'analyses.
- [15] : Qualités des eaux de surface et souterraine (rivières, lacs, fleuves, nappes phréatiques.)
- [16] : BERNARD DAIGLE, Distribution du cuivre dans l'eau et les sédiments de la baie de Bécancour., B. SC. Université du Québec à Trois-Rivières. AOUT 1984

[17] : RAHARIMIHAJA Miarintsoa Fanomezantsoa Rado, suivi de la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux de la rivière d'Ikopa en amont et en aval d'Antananarivo, Mémoire master II, Faculté de Science, 80p, (2017).

[18] : Enseignant HERY ZO Andrianandraina, Pollution et Climat, Niveau M1, Fac-Science Antananarivo, 2016,

[19] : George C .Harrap CO Day, E.H. the chemical éléments in nature, londres. (1963)

[20] : Serge Hebert et Stéphane Légaré « suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau », direction régionale de l'Estrie de l'environnement Gouvernement Québec, octobre 2000.

[21] : Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général, données de l'IBGE, l'eau à Bruxelles, Novembre 2005.

[22] : Jean Rodier Bernard LEGUBE, Nicole MERLET et coll, L'analyse de l'eau 9ème Edition 1578 p.

