

TABLE DES MATIERES

GLOSSAIRE.....	i
ACRONYMES.....	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	iv
INTRODUCTION	1
PARTIE I : GENERALITE SUR LE BASSIN VERSANT ET PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE.....	3
I.1. GENERALITE SUR LE BASSIN VERSANT	3
I.1.1. Définition du bassin versant.....	3
I.1.2. Cycle de l’eau	3
I.1.3. Caractéristiques du bassin versant.....	4
I.2. PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE.....	4
I.2.1. Localisation de la zone d’étude	4
I.2.2. Paramètres physiques.....	5
a. Reliefs	5
b. Sol et hydrologie	6
c. Climats	6
d. Température	6
e. Précipitations	7
I.2.3. Aspects environnementaux	7
a. Flore et végétation	7
b. Faune	8
I.2.4. Utilisation de l’eau fournis par le bassin versant Ankaratra	9
PARTIE II : MATERIELS ET METHODES	12
II.1. ETUDE DE LA QUALITE DE L’EAU	12
II.1.1. Méthodes de prélèvement.....	12
II.1.2. Analyse physico chimique	13
a. Analyse des éléments physiques	13
b. Analyse des éléments chimiques	14

c. Analyse des indices de pollution	19
II.1.3. Analyse microbiologique	22
a. Recherche des Entérocoques intestinaux	22
b. Recherche des coliformes totaux	22
c. Recherche des Escherichia coli	23
d. Recherche des anaérobies sulfite réducteur	23
II.2. EVALUATION DE LA QUANTITE D'EAU DANS LA NOUVELLE AIRE PROTEGE	24
PARTIE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS	25
III.1. EMPLACEMENT ET CARACTERISTIQUES DU SITE DE PRELEVEMENT	25
III.2. CAUSES DE LA DEFORESTATION DANS LE BASSIN VERSANT ANKARATRA	26
III.3. IMPACT DE LA DEFORESTATION SUR LA QUANTITE ET QUALITE DE L'EAU	27
III.3.1. Impacts de la déforestation sur la quantité des eaux	27
III.3.2. Impact de la déforestation sur la qualité de l'eau	30
a. Cause de la déforestation liée à la qualité de l'eau	31
b. Comparaison de l'aspect qualitatif de l'eau	34
c. Impact sur les éléments microbiologiques	52
III.3.3. Comparaison entre les sites de prélèvements différents	53
RECOMANDATIONS	57
CONCLUSION	60
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	a
REFERENCES WEBOGRAPHIES	c
ANNEXES	d
ANNEXES 1: Sites de prélèvement	d
ANNEXES 2: Déforestation qui règne dans la NAP d'Ankaratra	h
ANNEXES 3 : Captage des eaux dans le bassin versant	i

GLOSSAIRE

Anthropique : qui résulte ou témoigne d'une ancienne action humaine

Coliformes fécaux : colonies bactériennes qui n'ont pas la morphologie typique des coliformes totaux mais qui croissent sur les mêmes milieux.

Coliformes totaux : groupe hétérogène des bactéries d'origine fécale et environnementale qui peuvent se trouver dans le sol ou la végétation.

Courbe ombrothermique : une courbe qui représente la variation des pluies et la température durant une année dans un lieu précis.

Entérocoques : groupe hétérogène de bactéries naturelles présents dans la flore intestinales humaines et des animaux.

Escherichia coli : une espèce bactérienne faisant partie du groupe des coliformes totaux, d'origine fécale et abondante dans la flore intestinale des êtres vivants.

Sous bassin versant : un bassin versant élémentaire qui s'assemble pour former un bassin versant.

Transect : une partie du site dans lequel on a effectué l'échantillonnage ou le prélèvement d'eau à analyser et de mesurer le débit par largeur des cours d'eaux.

ACRONYMES

°C : Degré Celsius

Al : Aluminium

ASR: Anaérobie Sulfite Réducteur

BV : Bassin versant

CaCl : chlorure de calcium

CaCO₃ : Bicarbonate de potassium

Cu: Cuivre

DCO : Demande Chimique en Oxygène

E. coli: *Escherichia Coli*

F: Fluor

Fe: Fer

H₂SO₄ : Acide sulfurique concentré

H₂SO₄: Acide sulfurique

HCl : Acide chlorhydrique

IPM : Institut Pasteur de Madagascar

JIRAMA : Jiro sy Rano Malagasy

K₂Cr₂O₇ : Dichromate de potassium

K₂SO₄ : sulfate de Potassium

KCl : chlorure de potassium

MES : Matière En Suspension

mg.L⁻¹ : milligramme par litre

mL : millilitre

Mn: Manganèse

NaCl : chlorure de sodium

NBM : Nouvelle Brasserie de Madagascar

NH₄⁺ : Ammonium

NO₃: Nitrite

NO₄: Nitrate

NTU: Néphélométric Turbidity Unit

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

P: Phosphore

pH : Potentiel d'Hydrogène

μS .cm⁻¹ : Micro Siemens par Centimètre

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Localisation et états des sites	26
Tableau 2: Paramètres aquatiques et estimation des débits en 2012.....	28
Tableau 3: Paramètres aquatiques et estimation de débit en 2016.....	28
Tableau 4: Paramètres aquatiques et estimation de débit (2012).....	29
Tableau 5: Paramètres aquatiques et estimation du débit (2016).....	29
Tableau 6: Norme de potabilité Malagasy	32
Tableau 7: Paramètres physiques en 2012	34
Tableau 8: Paramètres physiques de la saison sèche en 2016.....	35
Tableau 9: Paramètres physiques en 2012	36
Tableau 10: Paramètres physiques en 2016	36
Tableau 11: Paramètres normaux en 2012 (mg.L ⁻¹).....	38
Tableau 12: Paramètres normaux en 2016 (mg.L ⁻¹).....	39
Tableau 13: Paramètres normaux en 2012 (mg.L ⁻¹).....	40
Tableau 14: Paramètres normaux de la saison de crue en 2016 en mg.L ⁻¹	40
Tableau 15: Paramètres indésirables en 2012 (mg.L ⁻¹).....	42
Tableau 16: Paramètres indésirables en 2016(mg.L ⁻¹).....	43
Tableau 17: Paramètres indésirables en période de crue en mg.L ⁻¹	43
Tableau 18: Eléments indésirables en 2016 en mg.L ⁻¹	44
Tableau 19: Paramètres toxiques de la saison d'étiage en 2016 en mg.L ⁻¹	46
Tableau 20: Paramètres toxiques de la saison de crue en 2016 en mg.L ⁻¹	47
Tableau 21: Résultats d'analyse de DCO en période d'étiage ¹	49
Tableau 22: Résultats d'analyse de DCO en période de crue	49
Tableau 23: Résultats d'analyse de MES en période d'étiage	50
Tableau 24: Résultat d'analyse de MES en période de Crue	50
Tableau 25: Le taux des azotes kjeldhal dans l'eau en période d'étiage.....	51
Tableau 26: Le taux des azotes kjeldhal en période de crue	52
Tableau 27: Paramètres microbiologiques	52
Tableau 28: Paramètres normaux d'Ambitsika.....	54
Tableau 29: Eléments indésirables d'Ambitsika.....	55
Tableau 30: Eléments toxiques d'Ambitsika	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte montrant la zone d'étude et la nouvelle aire protégée d'Ankaratra	5
Figure 2 : Montagnes et les forêts d'Ankaratra.....	6
Figure 3: Courbe ombrothermique d'Ambatolampy.....	7
Figure 4: Les végétations de la nouvelle aire protégée Ankaratra	8
Figure 5: Espèces endémiques d'Ankaratra	9
Figure 6: Point de Captage de la JIRAMA	9
Figure 7: Barrage de NBM.....	10
Figure 8: Pisciculture en aval du bassin versant Ankaratra	10
Figure 9: Riziculture à Ankaratra	11
Figure 10: pH-mètre	14
Figure 11: Turbidimètre	14
Figure 12: Tube et photomètre	16
Figure 13: Arsenator.....	17
Figure 14: Minéralisateur sous hotte	18
Figure 15: Distillateur	18
Figure 16: Bloc chauffant.....	20
Figure 17: Rampe de filtration et étuve.....	21
Figure 18: Courbe des éléments normaux d'Ambitsika	54
Figure 19: Courbes des éléments Indésirables d'Ambitsika	55
Figure 20 : Courbes des éléments toxiques d'Ambitsika.....	56

INTRODUCTION

L'eau est une ressource limitée et irremplaçable pour la survie des êtres humains, des animaux et des végétaux. L'eau recouvre 70 % du globe terrestre dont 97% sont des eaux salées et 3% des eaux douces. Il s'agit d'une ressource vitale pour l'humanité et le reste du monde vivant.

Les rivières, lacs, eaux côtières et marines, ainsi que les eaux souterraines s'avèrent être de précieuses ressources devant être protégées. L'eau peut engendrer une croissance économique durable pour la société grâce à des activités telles que l'agriculture, la pêche commerciale, la production d'énergie, toutes sortes de fabrication, le transport et le tourisme. Elle peut également être une source de conflits géopolitiques, notamment lorsqu'elle vient à manquer. La propriété de l'eau est essentielle du fait qu'elle sert l'humanité. Elle est destinée par exemple à l'hygiène, à l'assainissement ainsi qu'à d'autres activités.

L'eau est étroitement liée aux écosystèmes et à la régulation climatique. Elle est le fondement de toute vie biologique sur terre, inhérente à l'homme et à la nature, elle fait fonctionner l'industrie et nourrit les écosystèmes aquatiques et terrestres.

Par ailleurs, l'eau et les forêts sont des éléments inséparables car les forêts jouent également un rôle primordial dans l'écologie. Les conséquences de la déforestation sur les êtres vivants sont importantes. Les arbres sont, en effet, au centre du processus de pluviosité d'une région et de la création d'oxygène. Leurs racines retiennent l'eau dans les sols et leurs feuilles, en transpirant, produisent et maintiennent une certaine humidité dans l'air.

A cause de la déforestation, le cycle de l'eau est partiellement perturbé menant à l'assèchement de certaines contrées jusqu'à leur désertification. L'eau qui coule à la surface de la terre a sa fonction. Les rivières et les fleuves façonnent le bassin versant. Tout est intimement lié : climat, débit des cours d'eau, écosystème. Comprendre son fonctionnement, c'est essayer de saisir les liens entre les phénomènes hydrologiques, climatiques et biologiques ainsi que l'impact des activités humaines.

Ankaratra en tant que nouvelle aire protégée est très récente mais déjà dominée par les interactions et l'altération causée par l'homme sur son environnement naturel au travers le développement des activités anthropiques, y compris la déforestation. Pourtant l'eau dans le bassin versant d'Ankaratra est l'une des sources de captage à Madagascar.

Elle n'alimente pas seulement le village qui l'entoure mais aussi la ville d'Ambatolampy. Ce site contient aussi des biodiversités et des forêts naturelles abritant plusieurs espèces endémiques de Madagascar. Cette zone d'étude constituant l'un des grands patrimoines de notre île est menacé. Une partie du bassin versant a connu depuis 2012 une forte diminution de couverture végétale.

En effet, la forêt assure le fonctionnement des écosystèmes et protège la ressource en eau. L'activité biologique des sols forestiers joue un rôle important pour la bonne qualité de l'eau. La pérennité du couvert forestier est un atout pour les phénomènes de relargage et limite les fuites des minéraux.

La détermination de la quantité et de la qualité d'une eau, pour savoir si elle a pu garder ses caractéristiques consiste à vérifier le débit de l'eau dans le bassin versant et l'échantillon d'eau. Ce qui permettrait de constater la détérioration de cette qualité de l'eau par la déforestation et aussi de comprendre l'origine de cette activité anthropique.

Cette étude va donc se baser sur l'analyse d'impact de la déforestation sur la qualité de l'eau dans la zone d'Ankaratra. Il s'agit de voir : quelles en sont les causes et les conséquences sur ce site d'étude. Quels sont les variations ou les changements de qualité de l'eau, rencontrés par rapport à des valeurs de référence fixées par la norme de potabilité et l'indicateur de pollution, entre les différents sites de prélèvement. Quelles sont les mesures proposées pour atténuer les dégâts.

Ainsi, ce travail va se diviser en trois grandes parties : une première partie évoquant la généralité sur le bassin versant et la présentation de la zone d'étude, une deuxième partie expliquant les matériels et les méthodes sur l'évaluation de la quantité et de l'analyse de la qualité des eaux et pour terminer une troisième partie présentant les résultats et l'interprétation de l'aspect des eaux.

PARTIE I : GENERALITE SUR LE BASSIN VERSANT ET PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'étude consiste à évaluer la quantité de débits et la teneur de la qualité de l'eau entre l'année 2012 et 2016, afin d'identifier l'impact de la déforestation. Dans les bassins versants d'Ankaratra, plusieurs paramètres seront utilisés pour comparer les échantillonnages de débits et la qualité des eaux dans différents cours d'eau de ce site.

I.1. GENERALITE SUR LE BASSIN VERSANT

I.1.1. Définition du bassin versant

Un bassin versant est une aire délimitée par des lignes de crêtes dans laquelle toutes les eaux tombées alimentent un même exutoire : cours d'eau, lac, mer, océan, etc. C'est aussi un système de surface élémentaire hydrologique close c'est à dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitation s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire. Il représente en principe l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets. Chaque bassin versant se subdivise en un certain nombre de bassins élémentaires parfois appelés « sous-bassin versant » correspondant à la surface d'alimentation des affluents, se jetant dans le cours d'eau principal.

I.1.2. Cycle de l'eau

Dans l'étude hydrologique, le bassin versant et le cycle de l'eau restent indépendants. Le cycle de l'eau est en perpétuel mouvement à la surface du globe, L'eau douce disponible vient, au départ, des précipitations qui varient selon l'emplacement géographique et le climat. Une partie de cette eau ruisselle en surface et se rassemble en ruisseau puis en rivière, puis en fleuve jusqu'à la mer ou l'océan. une autre partie s'infiltre dans le sol et vient grossir les nappes d'eau souterraine (nappes phréatiques) prisonnières des couches de terre imperméable. Quand il pleut beaucoup et longtemps, le niveau de la nappe d'eau souterraine augmente; elle peut même dépasser la surface du sol à certains endroits. Ce sont les marais et certains lacs se forment ainsi.

Sous l'action du soleil, avec la chaleur et le vent, une partie de l'eau s'évapore du sol et des nappes d'eau de surface. De leur côté, les plantes pompent l'eau du sol: elles absorbent et transpirent de l'eau pour la rejeter dans l'air sous forme de vapeur d'eau: c'est l'évapotranspiration. Les vapeurs d'eau qui proviennent de l'évaporation de l'eau et de l'évapotranspiration des plantes se concentrent dans l'atmosphère en nuages et le cycle recommence. Cette relation explique l'importance de l'existence de la forêt.

I.1.3. Caractéristiques du bassin versant

Un bassin versant ou un bassin de drainage à l'exutoire est défini comme la totalité de la surface topographique de drainée par ses cours d'eaux et ses effluents à l'amont de l'exutoire. Tous les écoulements qui ont pris naissance à l'intérieur de cette surface ont traversé l'exutoire. Le bassin versant est alors caractérisé par sa surface, son périmètre, sa pente et son coefficient de ruissellement.

I.2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.2.1. Localisation de la zone d'étude

Le site d'Ankaratra est une nouvelle aire protégée(NAP) délimité au nord par les communes de Sabotsy Namatoana, d'Ambohimandroso au sud, d'Ambatolampy à l'est, et de Faratsiho à l'ouest. En suivant la route nationale n°7, il se trouve à 17 km du district d'Ambatolampy, dans la région Vakinankaratra, «ex Farintany »Antananarivo; dans le haut plateau de Madagascar. Cette NAP recouvre une superficie de 14000 Ha dont une station forestière de Manjakatombo à 8000 ha et inclut un sommet de Tsiafajavona entre 19°19' et 19°24' de latitude sud et 4 longitude est à 2640 m d'altitude 7°14' et 47°22' de longitude est à 2640 m d'altitude. Cette zone d'étude est présentée par la carte ci-après (figure 1).

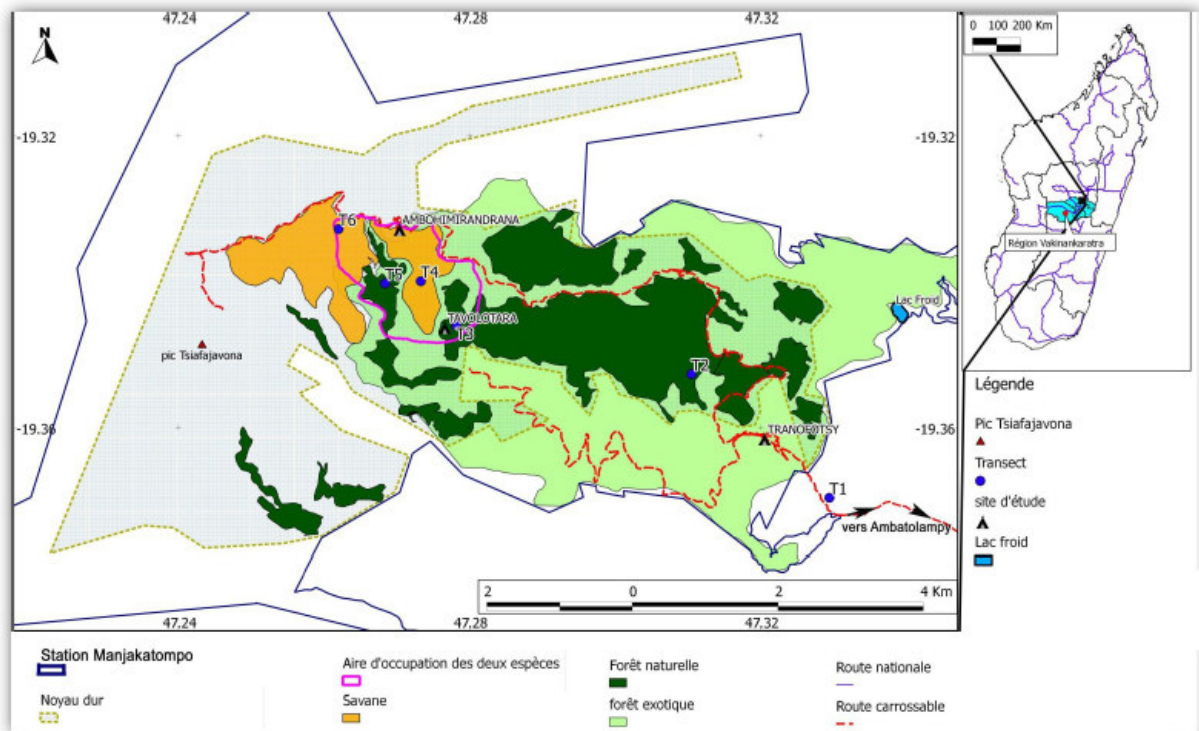


Figure 1: Carte montrant la zone d'étude et la nouvelle aire protégée d'Ankaratra

I.2.2. Paramètres physiques

a. Reliefs

La nouvelle aire protégée d'Ankaratra connaît un relief dérivé de failles, très accidenté et constitue le deuxième relief le plus élevé à Madagascar (Figure2). Ce relief a une valeur religieuse pour les villageois. Il est caractérisé par le relief des hautes altitudes comprises entre 1550 m et 2602 m et marqué par des pentes abruptes et de nombreux affleurements rocheux.



Figure 2 : Montagnes et les forêts d'Ankaratra

b. Sol et hydrologie

Une esquisse pédologique de la nature des sols de Madagascar [Hervieu, 1967] a montré une prédominance dans les régions centrales aux sols de type ferralitique rouge. Ils sont beaucoup plus meubles en pleine forêt par rapport à ceux de la périphérie. La nouvelle aire protégée est parcourue par des cours d'eau de type ruisseau, clairs, froids, à fond sableux et rocailleux.

c. Climats

Selon les données météorologiques enregistrées à Ambatolampy [Donque, 1975 ; Nicol et Langrand, 1989], le climat le plus frappant est de type tropical de haute altitude, caractérisé par deux saisons alternées. Une saison de pluie moyennement chaude et pluvieuse s'étalant d'octobre à avril et une saison froide et sèche influencée par l'Alizé avec présence de crachins entre les mois de mai et d'août.

d. Température

Dans cette zone, la température est située entre 8 et 12°C du mois de mai jusqu'au mois de septembre et entre 10°C et 25°C pendant la période sèche d'après le données météorologique d'Ampandrianomby.

e. Précipitations

La précipitation moyenne annuelle est de 2012 mm, la saison pluvieuse se situe entre octobre et avril. La quantité maximum de précipitations survient au cours du mois de décembre tandis que la quantité minimum se produit aux mois de juin et de septembre, avec une totalité de 77 mm environ. Le mois d'août est défini comme étant la saison sèche et les mois de novembre et de décembre, étaient la saison des pluies. La courbe ombrothermique de Gaussen(Figure3) [Direction Générale de la Météorologie Antananarivo] présente la période humide qui se trouve au-dessus de la courbe de la température (de mi-septembre à mi-mai) et quatre mois de saison sèche (de mi-mai à mi-Septembre) en dessous de celle de la température.

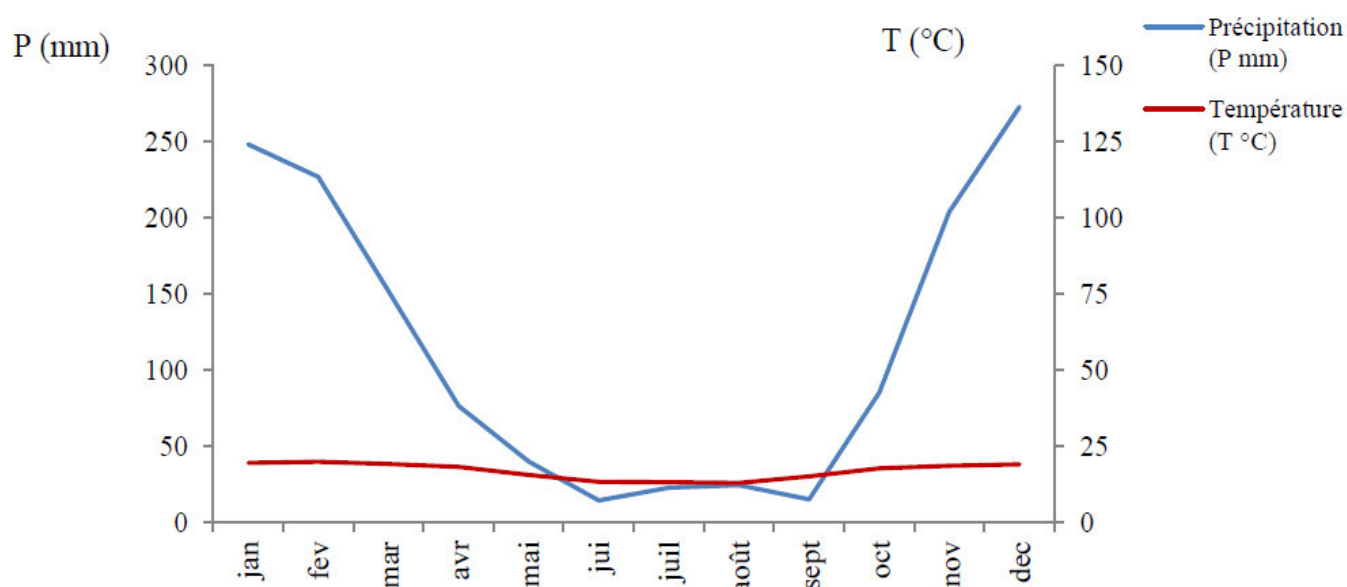


Figure 3: Courbe ombrothermique d'Ambatolampy

Source : Direction Générale de la Météorologie Antananarivo

I.2.3. Aspects environnementaux

a. Flore et végétation

La formation végétale la plus frappante et la plus attirante est la forêt naturelle abritant les espèces endémiques de Madagascar. Il existe aussi des mousses et des fougères (figure4) qui se trouvent dans les sources montagneuses, capables de stocker de l'eau.

On y trouve également d'autres espèces telles que le pin, le mimosa et les savanes antiérosives qui servent à la protéger contre la dégradation du bassin versant.



Figure 4: Les végétations de la nouvelle aire protégée Ankaratra

Source : Photo prise à Ankaratra

b. Faune

Dans la nouvelle aire protégée d'Ankaratra, la faune inventoriée comprend des vertébrés du haut plateau et de la haute montagne. Il a été recensé 7 espèces de Mammifères, 37 espèces d'oiseaux, 16 espèces d'amphibiens, 12 espèces de reptiles. Plusieurs familles des animaux terrestres existent dans cette zone, mais nous ce sont les espèces aquatiques telles que les poissons et les amphibiens endémiques (figure5), qui constituent l'objet d'attraction éco touristique ayant un lien avec les eaux.



Boophis williamisi



Mantidactylus pauliani

Figure 5: Espèces endémiques d'Ankaratra

I.2.4. Utilisation de l'eau fournis par le bassin versant Ankaratra

L'eau du bassin versant d'Ankaratra sert à l'adduction d'eau, à la brasserie, à l'agriculture et à la pisciculture. La nouvelle aire protégée d'Ankaratra dispose des différents types des eaux de surfaces comme des ruisseaux, des rivières, un lac, et même des eaux souterraines qui ne sont pas encore exploitées. Cette nouvelle aire protégée comprend 7 sources permanentes, 3 sources non permanentes et un grand lac appelé lac froid que la société JIRAMA utilise afin d'alimenter en eau potable la ville d'Ambatolampy (figure6).



Figure 6: Point de Captage de la JIRAMA

D'ailleurs, le village de Manjakatempo Tsiafajavona capte et utilise sans traitement l'eau provenant du bassin versant Ankaratra. De plus, il y a aussi des usines qui captent l'eau provenant de ce bassin pour la brasserie comme la société NBM. La société NBM capte 15 à 26 m³ par heure d'eau dans la source de Tavolotara en vue de sa qualité et sa quantité très importante (figure7).



Figure 7: Barrage de NBM

Il y a aussi une association des éleveurs qui a pratiqué des piscicultures en aval du BV d'Ankaratra. La pisciculture est une activité très développée dans la Commune de Tsifajavona. La plus marquante est l'élevage des truites (figure8).



Figure 8: Pisciculture en aval du bassin versant Ankaratra

L'agriculture est de ressource de revenu dans la commune Tsiafajavona dans laquelle la production n'est pas suffisante pour les agriculteurs car ils utilisent l'agriculture traditionnelle surtout au niveau de la riziculture. Elle capte aussi des eaux provenant de cette nouvelle aire protégée d'Ankaratra.



Figure 9: Riziculture à Ankaratra

PARTIE II : MATERIELS ET METHODES

II.1. ETUDE DE LA QUALITE DE L'EAU

La qualité de l'eau est déterminée par les paramètres physico-chimiques (température, turbidité, conductivité, teneur en minéraux ou en élément chimique), les facteurs organoleptiques et les paramètres bactériologiques.

En général, l'analyse avait été réalisée en plusieurs étapes à savoir l'échantillonnage, le transport d'échantillons et l'analyse dans un laboratoire.

II.1.1. Méthodes de prélèvement

L'échantillonnage des eaux dans le bassin versant d'Ankaratra est effectué suivant la recommandation sur le prélèvement des eaux superficielles, le respect du délai d'acheminement, la conservation et le transport des échantillons

- Recommandation sur le prélèvement

Pour le prélèvement des eaux de surfaces, il faut utiliser une perche ou un flacon lesté avec un lien, faire le prélèvement au moins à 2m de la berge à mi-hauteur entre le fond et la surface, ensuite tirer le flacon en utilisant le lien ou le perche et le fermer immédiatement.

- Délai d'acheminement d'échantillons

Le délai d'acheminement entre le prélèvement et l'analyse au laboratoire ne devrait pas dépasser 12 heures.

- Conservation et transport des échantillons

Une simple congélation dans la glace fondante à température comprise entre 1°C et 8°C et un stockage des échantillons à l'abri de la lumière suffisent dans la plupart des cas à préserver l'échantillon durant son transport au laboratoire. Il convient de protéger la bouteille contenant les échantillons de sorte que ceux-ci ne se détériorent pas et qu'ils ne perdent aucun de leur constituant durant le transport.

Les matériaux d'emballage protègent les bouteilles surtout leur ouverture contre toute contamination, et il faut éviter toute rupture afin qu'elles ne deviennent pas elles-mêmes source de contamination.

II.1.2. Analyse physico chimique

a. Analyse des éléments physiques

Les paramètres physiques de l'eau tels que la température, le pH, la conductivité, la turbidité sont mesurés in situ à l'aide d'appareils spécialisés. Le pH ou le potentiel Hydrogène est utile pour déterminer le degré de l'acidité ($\text{pH} < 7$), la pureté de l'eau ($\text{pH} = 7$) ou l'alcalinité de l'eau ($\text{pH} > 7$) d'où le pH varie de 0 à 14. Elle est influencée par la réaction de dissolution de l'oxygène dans l'eau. Le pH est défini comme la concentration en ions H_3O^+ et OH^- dans une eau.

- La conductivité identifie la minéralisation de l'eau et la capacité de l'eau à conduire de courant ou détermine la présence des ions dans l'eau. Elle permet d'estimer la quantité de sels dissous contenu dans l'eau.
- La température de l'eau est un paramètre qui permet non seulement de corriger les paramètres d'analyse comme la conductivité mais aussi d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau. La température a influencé la réaction de dissolution de l'oxygène dans l'eau. Si l'eau est froide, la dissolution de l'oxygène est importante.
- Le paramètre physique consiste à utiliser le turbidimètre, la conductimètre et le pH-mètre mais la mesure du pH, de la conductivité et de la température peut être effectuée ensemble en plongeant les électrodes du pH mètre de multi-paramètre 8000 (figure 10) dans l'eau à analyser et la lecture du résultat peut se faire.



Figure 10: pH-mètre

- La turbidité est déterminée à l'aide d'un turbidimètre. Pour calibrer l'appareil, il est nécessaire de verser 10ml d'eau distillée dans le tube du turbidimètre (figure11). La lecture peut ensuite s'effectuer. Même méthode pour l'échantillon d'eau à analyser.



Figure 11: Turbidimètre

b. Analyse des éléments chimiques

L'analyse des éléments chimiques dans l'eau est fondée sur trois paramètres tels que les paramètres normaux, les paramètres indésirables et les paramètres toxiques. Ces éléments chimiques sont mesurés par le photomètre Palintest sauf pour l'arsenic et l'azote.

Le photomètre détermine le taux des éléments chimiques dans l'eau en comparant les couleurs produit par la réaction chimique des réactifs et l'eau à analyser. Chaque élément a ses méthodes et ses réactifs utilisés pour estimer sa teneur dans l'eau selon le temps de réaction et le code sur le photomètre Palin test.

Pour l'analyse du calcium, il faut verser 10 mL d'eau à analyser dans un tube de photomètre. Deux réactifs de calcium appelés calcicol n°1 et n°2 sont ajoutés dans ce 10 mL d'eau. La solution est laissée au repos 2 mn avant de faire la lecture.

Pour le sulfate, 10 ml d'eau à analyser est prélevé dans un tube de photomètre en ajoutant un réactif appelé sulfate turb tablet et la solution est laissée au repos pendant 5mn avant la lecture.

Pour la détermination du nitrite, 10 mL d'eau à analyser est prelevé dans un tube de photomètre en ajoutant une pastille de nitricol, la solution est laissée au repos 10 mn avant la lecture.

Pour le nitrate, 20 mL d'eau est prélevé dans un tube de photomètre en ajoutant comme réactif une cuillère de nitratest en poudre. La solution est laissée au repos 1mn, puis ces composants sont ajoutés d'une pastille de nitratest en agitant la solution jusqu'à ce que les réactifs non dissous soient décantés. 10 ml de surnageant est prélevé et laissé au repos 10mn avant d'effectuer la lecture.

La teneur de phosphate dans l'eau est déterminée par le mélange de 10mL d'eau et les deux réactifs phosphate n°1 et n°2. La solution est laissée 10 mn avant de faire la lecture.

La détermination du potassium dans l'eau s'effectue en mélangeant une pastille de potassium K tablet écrasée. La lecture peut s'effectuer dès qu'un précipité blanc apparaisse.

Le mélange de 10 mL d'eau avec le réactif du fer (Iron. LR ou MR ou HR) pendant 1mn permet de déterminer le taux de fer dans l'eau.

La détermination de l'aluminium dans l'eau s'effectue par le mélange de 10 ml d'eau avec de la pastille d'aluminium n°1 et n°2. La lecture peut ensuite se faire.

L'ammonium est déterminé par le mélange de 10 ml d'eau à analyser et deux réactifs d'ammonium (deux pastilles ammonia n°1 et n°2), la lecture peut se faire après 10mn.

Pour déterminer les chlorures, il faut diluer 1/100 de l'échantillon avec de l'eau distillée, 0,1 mL d'eau à analyser est prélevé à l'aide d'une seringue, versé et ramené à 100 ml avec de l'eau distillée dans une fiole jaugée. 10ml de l'eau diluée est ajouté des réactifs écrasés tels que la pastille acidifying CD et la pastille choridol. Quand la solution est bien mélangée, la lecture peut s'effectuer.

Pour le magnésium, 10 mL d'eau dilué de 1/10 (0,1mL d'échantillon d'eau est ramené à 10mL avec l'eau distillée) est ajouté de réactif de magnécol. La solution est laissé agir pendant 5mn avant de faire la lecture.

Pour déterminer le manganèse dans l'eau, 10ml d'eau à analyser est ajouté des réactifs de manganèse n°1 et n°2 et la solution est laissé au repos 20mn avant la lecture. Pour le zinc, 10ml d'échantillon d'eau est ajouté d'une pastille de zinc et la solution se réagit pendant 5mn et la lecture peut s'effectuer. Le mélange de 10 ml d'eau à analyser avec les réactifs de Floride n°1 et n°2 pendant 5mn, de réaction peut déterminer la teneur du fluor dans l'eau.

Le nickel dans l'eau est déterminé par le mélange de 10ml d'eau à analyser avec des réactifs de nickel ou une pastille nickeltest n°1 et une dose poudre de nickel test. La solution est laissée au repos 2mn avant la lecture.



Figure 12: Tube et photomètre

L'arsenator (figure 12) est utilisé pour évaluer le taux d'arsenic dans l'eau. 50ml d'eau à analyser est versé dans un Erlen Meyer gradué et ajouté un sachet de réactif d'arsenic et un comprimé A₂ de l'arsenator. La fiole contenant le mélange est fermée par un bouchon le filtre rouge et noir. La solution est laissée réagir pendant 20mn, la lecture est faite par le filtre noir de l'arsenator.



Figure 13: Arsenator

- Analyse d'Azote total

L'azote total ne peut pas se mesurer directement comme tous les éléments chimiques mais il faut faire l'addition de l'ammonium, du nitrite, du nitrate et de l'azote kjeldhal.

- Analyse d'azote kjeldhal

La détermination de l'azote kjeldhal est faite par deux étapes. La première consiste à mélanger 50ml d'eau à analyser avec l'acide sulfurique concentré en mettant 3 à 5 granules d'ébullition. Les granules d'ébullition règle la solution durant la minéralisation. La fiole contenant la solution préparée(S1) est mise dans le minéralisateur(Figure13) pendant 2h.

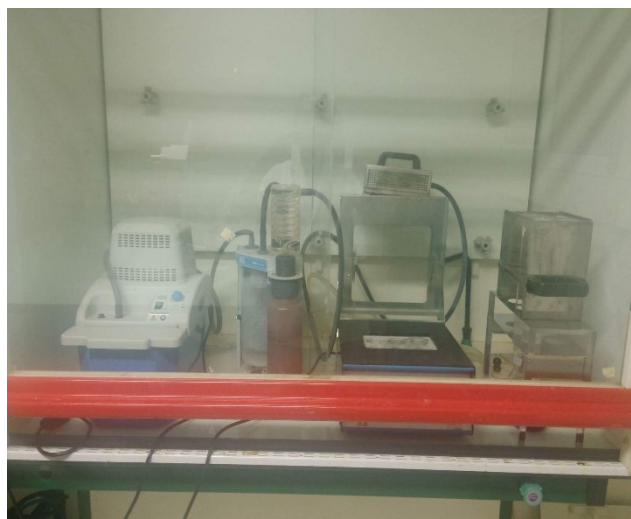


Figure 14: Minéralisateur sous hotte

La deuxième étape s'agit de laisser la fiole se refroidir pour avoir la température ambiante 50 mL d'acide borique est prélevé dans un Erlen Meyer en ajoutant 2 ou 3 gouttes d'indicateur de Tashiro (S2) puis 50 mL d'eau distillé et 50 mL de soude est ajouté dans la solution précédant (S1) les deux solutions S1 et S2 sont mis sur le distillateur d'où L'Erlen Meyer contenant la solution d'acide borique(S2) est mis sur le récepteur de l'appareil de distillateur (Figure 14) pour transférer l'azote dans le solution(S1). La solution S1 est titrée avec l'acide chlorhydrique 0,02 mol.L⁻¹ jusqu'à l'obtention du virage rouge.



Figure 15: Distillateur

La concentration en azote kjeldhal exprimée en mg l'azote par litre est donné par la formule suivante :

$$NKT = (V_E - V_T) \times C_{HCl} \times 14 \times \frac{100}{E}$$

Avec

- V_T : volume de tirage d'HCl à 0,02 mol.L⁻¹ versé (mL)
- V_E : volume de dosage d'HCl à 0,02 mol.L⁻¹ pour l'essai blanc (mL)
- C_{HCl} : concentration en mol.L⁻¹ de l'acide
- E : volume de prise d'essai (mL)

c. Analyse des indices de pollution

Il est important de faire l'analyse des indices de pollutions du ressources en eau dans cette nouvelle aire protégée, pour vérifier si les eaux sont contaminés ou non des activités anthropiques lié à la déforestation qui règne dans zone. Ces indices de pollutions sont le DCO, le MES et l'azote kjeldhal.

- Analyse de la demande chimique en oxygène(DCO)

L'analyse de DCO est effectué en mélangeant 10ml d'eau à analyser 5mL de dichromate de potassium contenant 0,4 ml de sulfate de mercure en ajoutant 15mL d'acide sulfurique sulfate d'argent et des granules régulateurs d'ébullitions sont mise dans la solution pour régler l'ébullition durant la réaction. Il faut recouvrir les tubes contenant les solutions et les mettre dans le bloc chauffant pendant 2h.



Figure 16: Bloc chauffant

- Le mélange de la solution est laissé se refroidir et le titrer avec la solution de sel de Mohr en présence de 2 à 3 gouttes de Ferroïne jusqu'à l'obtention du volume équivalent de la solution au virage entre bleu-vert et brun-rouge.

Etalonnage de la solution de Mohr

Avant de faire le titrage, il faut étalonner le sel de Mohr car il s'oxyde facilement, d'où nécessité de la titrer quotidiennement. Pour l'étalonnage il faut prélever 5ml de solution de $K_2Cr_2O_7$ à 0,04ml et diluer à 100 m avec H_2SO_4 à 4mol/L. puis le titrage peut s'effectuer avec la solution de Mohr en présence de 2à 3 de Ferroïne et la concentration molaire de sel de Mohr à partir des réactions est déterminé.

Après toutes ces étapes le DCO est déterminé par la formule suivant

$$DCO = 8000 \times C_{fe} \frac{(V_T - V_E)}{E}$$

Avec

- C_{fe} : concentration de la solution de sel de Mohr déterminé par l'étalonnage (mol. L^{-1})
- E: volume de prise d'essai (mL)
- V_T : volume de sel de Mohr versé dans le blanc après dosage (mL)
- V_E : volume de sel de Mohr versé dans l'échantillon après dosage (mL)

Le résultat de la DCO est exprimé en mg.L^{-1} .

- Analyse MES (Matière en Suspension)

Pour analyser les matières en suspension, il suffit de filtrer l'eau à analyser par le filtre membrane en mettant des membranes filtrantes pour chaque échantillon. Pour laver la membrane filtrante, il faut filtrer de l'eau distillée. Après la filtration, il faut mettre la membrane sur une boîte de pétri et le mettre dans l'étuve pendant 1h et pour connaître le poids de la membrane filtrante, la balance de précision est utile pour le peser. Après pesage, il faut filtrer aussi l'eau à analyser avec la même membrane et le remet dans une étuve pendant 20mn puis le pesage s'effectue.



Figure 17: Rampe de filtration et étuve

Chaque échantillon d'eau est déterminé par la formule ci-après :

$$MES = 1000 \times \frac{(b - a)}{V}$$

Avec :

- b: masse de la membrane filtrante après filtration
- a : masse de la membrane filtrante avant filtration
- V : volume de l'échantillon d'eau à analyser

MES est exprimé en mg.L^{-1} .

II.1.3. Analyse microbiologique

L'analyse microbiologique est déterminée par la recherche des bactéries dans 100 ml d'eau à analyser. Pour faire une analyse bactériologique, il faut décontaminer le col du flacon par l'alcool avant toute ouverture 70°C.

a. Recherche des Entérocoques intestinaux

La méthode de recherche des entérocoques dans l'eau est de filtrer 100ml d'eau à analyser avec une membrane filtrante par la rampe de filtration et la membrane est placée sur la gélose Slanetz et Barley. L'incubation se fait à l'étuve de 36°C pendant 44H+ ou - 4H. Après l'incubation, le dénombrement des colonies typiquement rouges bombés s'effectue. Il faut faire toujours la confirmation si les colonies formées soient des entérocoques. Cette confirmation est faite par l'utilisation de la gélose esculine Azide (BEA), il faut préchauffer une boîte de gélose de BEA à 44°C pendant 1 H et transférer la membrane sur la gélose de BEA et incuber dans une étuve de 44°C pendant 2 H. Le dénombrement des colonies noires peut s'effectuer.

Le nombre total de colonies d'Entérocoques intestinaux confirmés positifs est exprimé par les résultats de nombre par volume d'échantillon filtré.

b. Recherche des coliformes totaux

La recherche des coliformes totaux est effectuée par la filtration de 100 ml d'eau à analyser sur la membrane filtrante par la rampe de filtration. La membrane filtrante est ensuite sur la gélose TTC en veillant à ne pas emprisonner de bulles entre la gélose et la membrane. Deux boîtes sont utilisées pour un échantillon et ces deux boîtes sont différenciées par les étiquetages. L'incubation est effectuée l'un dans l'étuve de 36°C et l'autre dans l'étuve de 44°C pendant 21h ± 3h et une première lecture peut effectuer. Une deuxième lecture est obligatoirement effectuée après 44h ± 4h. La lecture c'est de dénombrer les colonies formées. Pour les coliformes, les bactéries sont représentées par des colonies jaunes. Pour confirmer si les colonies soient coliformes totaux, il faut isoler 10 colonies sur une gélose de TCS, incuber dans l'étuve de 37°C pendant 24h et faire le test à l'oxydase. Si le test est positif (couleur violet) ce n'est pas un coliforme mais s'il est négatif c'est un coliforme.

Pour obtenir les résultats à interpréter, la recherche de coliforme impose l'application d'une formule. Le nombre de coliforme dans 100ml d'échantillon est donné par la formule :

$$N = \frac{a}{A} \times n$$

Avec :

- a : le nombre de colonies confirmés oxydase négatif
- n : le nombre total de colonies typiques dénombré
- A : le nombre de colonies repiquées pour confirmation

c. Recherche des Escherichia coli

Même mode opératoire que les coliformes totaux mais effectuée à partir de la gélose nutritive, repiquer une colonie par boîte sur des tubes d'eau peptone exempt d'indole et incubé 44°C pendant 24H.

Le nombre de l'E. Coli présents dans 100 ml d'échantillon est donné par la formule :

$$N = \frac{a}{A} \times n$$

Avec :

- a : a le nombre de colonies confirmés oxydase négatif et indole positif
- n : le nombre de colonies typiques dénombrées
- A : le nombre de colonies repiquées pour confirmation

d. Recherche des anaérobies sulfite réducteur

L'identification des anaérobies sulfite-réducteur dans l'eau, c'est de chauffer l'échantillon dans un bain marie réglée à 79°C ± 1°C en mettant un flacon témoin, similaire contenant le même volume d'eau que les échantillons par essai muni thermomètre ; Dès que la température atteint 70°C, il faut déclencher la minuterie pendant 15 mn. Après chauffage, il faut mettre les flacons dans le bain d'eau froide pour se refroidir rapidement. 5ml d'eau refroidit est prélevé et versé dans 5 tubes de 50ml des milieux viande foie pour un échantillon. Ces tubes sont incubés dans une étuve à 37°C pendant 21H ± 3H et une première lecture doit être faite. La lecture est de dénombrer les colonies noires formés dans les milieux viande foie. Après 44°C ± 4H une deuxième lecture est obligatoire.

II.2. EVALUATION DE LA QUANTITE D'EAU DANS LA NOUVELLE AIRE PROTEGE

Tout d'abord, la collecte des données quantitatives est basée sur la détermination des débits et de la vitesse d'écoulement en mesurant la largeur, la longueur et la profondeur de l'eau. Des méthodes simples et applicables ont été utilisées pour évaluer les débits comme la méthode d'exploration de vitesse consistant à l'introduction des corps dans l'eau et en suivant la distance parcourue par l'objet en question. Ensuite, la longueur du trajet est mesurée par rapport au temps. Pour l'estimation du débit, le calcul se fait en deux cas pour avoir une donnée efficiente et c'est la moyenne qui est utilisée dans les résultats.

La première méthode est de calcul du débit suivant la méthode par pointage c'est de déterminer le volume de l'eau dans un petit transect par rapport au temps et ce débit est donné par la formule ci-après.

$$Q = \frac{V}{T} \text{ Avec } V = l \times L \times H$$

Avec :

- Q : débit de l'eau par pointage ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
- L: section de longueur du cours d'eau(m)
- l: largeur de la section du cours d'eaux(m)
- T: temps de parcours du corps introduit le long de la section de la longueur(s).

Pour ce faire, une section est prise pour mesurer la longueur, la largeur et la hauteur de l'eau au fond lithologique.

La deuxième méthode consiste à déterminer le débit suivant la méthode par volumétrie énoncée par la formule suivant

$$Q = \rho \times V \times S$$

Avec :

- ρ : masse volumique de l'eau ($\text{g} \cdot \text{m}^3$)
- V : vitesse d'écoulement ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
- S : surface de la section du bassin versant avec $S = l \times L(\text{m}^2)$

PARTIE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

L'eau est reliée à la forêt. En effet, l'eau peut rencontrer à différents moments, des éléments boisés qui pourront limiter son écoulement. Les contacts eau-arbre sont nombreux, plus ou moins permanents et pourront détériorer l'arbre. D'une part, la forêt une zone de réception et d'accumulation des eaux de pluie et traversée par des cours d'eau. D'autre part, des structures arborées non spécifiquement forestières viennent diversifier les relations eau et forêt. Ces nombreux points de rencontre entre l'eau et l'arbre donnent naissance à des situations écologiques diverses ou la valorisation des produits forestiers. Cette diversité environnementale permet également d'accueillir et d'abriter une faune et une flore variée.

La forêt influence la circulation, le débit et la qualité de l'eau. La forêt a des impacts sur la qualité de l'eau, elle limite aussi l'altération de l'eau. Le fonctionnement spécifique des écosystèmes forestiers joue un rôle capital pour une bonne qualité d'eau. La pérennité du couvert forestier est favorable à une eau de qualité. Elle possède un atout par rapport aux autres couverts végétaux car en forêts, les phénomènes de relargage sont limités.

Par contre, la déforestation provoque une sédimentation et une charge de substances nutritives plus élevées dans les rivières. Cette augmentation dépend beaucoup de l'envergure du bassin versant. Or, l'eau prend ses éléments dans le sol d'où l'embâcle et les alluvions ont entraîné des troubles dans l'eau en modifiant sa qualité physico-chimique et microbiologique. Ces modifications sont mesurées et analysés dans différents sites du bassin versant d'Ankaratra pour déterminer l'impact de déforestation sur l'eau.

III.1. EMPLACEMENT ET CARACTERISTIQUES DU SITE DE PRELEVEMENT

L'étude d'impact de la déforestation est effectuée dans différents sites. Ils sont différenciés d'une part par les états des forêts existantes et d'autre part, par leur emplacement. Pour les distinguer, des types des ressources s'ajoutent à ces paramètres. Par exemple les sources, les cours d'eaux et les eaux stagnantes. La connaissance de la différenciation des sites permet l'évaluation des conséquences de la déforestation. Ces sites sont marqué par le légende T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ et T₆ (figure1) seulement parce qu'il y a deux prélèvements dans un même site. Ces différenciations sont mentionnées dans le tableau1

Tableau 1: Localisation et états des sites

Site	Emplacement	Etat de la forêt	Altitude	Coordonnée géographique
Ambohimirandana	Milieu forestier avec une pente arbuste	Plus ou moins intact	2309 m	S19°20' 27.2" E47°16'24.19"
Tavolotara	Milieu forestier	Plus ou moins intact	2015 m	S19°20'45.2" E47°16'45.2"
Ambitsika	Milieu forestier en altitude moyenne	Détruit	2089 m	S19°20'27.1" E47°16'04.9"
Ambatomalama	Forêt naturel dans une vallée	Perturbé	1802 m	S19°21'12.4" E47°11'38.3"
Lac Froid	Milieu ouvert en aval	Perturbé	1605 m	S19°21'47.0" E47°19'21.0"
Ankaratra	Forêt naturel dans une vallée	Perturbé	1794 m	S19°21'12.4" E47°11'42.3"
Andraraty	Milieu ouvert en aval	Perturbé	1620 m	S19°21'42.0" E47°19'14.5"
Source	Milieu ouvert en aval	Perturbé	1611 m	S19°21'45.0" E47°19'17.0"

III.2. CAUSES DE LA DEFORESTATION DANS LE BASSIN VERSANT ANKARATRA

Les causes de la déforestation sont multiples à Ankaratra. Elles sont liées à la conversion des terres forestiers en pâturages, à l'utilisation du bois pour le charbon, aux exploitations de bois précieux, à la consommation de combustible par les ménages, à l'insécurité rurale, aux problèmes de propriété foncière, à l'agriculture sur brûlis, à la pauvreté et à l'exploitation des bois pour la construction d'habitations précaires.

III.3. IMPACT DE LA DEFORESTATION SUR LA QUANTITE ET QUALITE DE L'EAU

III.3.1. Impacts de la déforestation sur la quantité des eaux

Les avantages réels de la forêt ainsi que les bienfaits des forêts sur le versant sont mal connus par la population locale. Cependant, les arbres et les forêts y jouent un rôle important dans le cycle de l'eau et dans la stabilité des sols. La forêt réduit le ruissellement de l'eau sur les sols mais augmente l'infiltration de l'eau dans la terre. De plus, La présence des forêts présente des avantages et un réel grand rôle au niveau des bassins versants. Par contre, la déforestation a des répercussions sur la nature des sols et des climats. Elle limite l'érosion, l'alluvion et les embâcles dans les ressources en eaux surtout pour les cours d'eaux en l'aval du bassin versant. La déforestation est souvent associée à réduction des pluies locales et diminution des eaux infiltrées pour former la nappe phréatique. Pour les débits annuels, on constate des effets négatifs sur la caractéristique hydrologique car cette déforestation provoque un assèchement des rivières mais augmente les débits de crue.

L'impact est particulièrement considérable lorsque les sols n'ont aucune couverture végétale. Sans arbres, l'eau coule sur le sol sans être retenue, les sols ne sont pas maintenus et ne résistent plus à l'érosion. L'absence des arbres peut engendrer des éboulements et des glissements des terrains en pentes, réduire la pluviométrie et provoquer des sécheresses.

Par conséquent, une quantité importante de substances nutritives stockées dans la couverture forestière est perdue. Il en est de même pour les substances minérales. Un élément-clé de tout portrait de bassin versant, s'évalue en comparant les caractéristiques des eaux de surfaces avec des valeurs de référence établies en 2012 et celles de 2016.

- **. En période d'étiage**

Les nombres et les quantités des cours d'eaux de ce nouvelle aire protégée ne sont pas encore évaluer mais la typologie des cours d'eaux des sites choisis dans cette zone d'étude est déterminé par une très large mesure de la structure physique et par le fonctionnement écologique. Ces paramètres physiques sont pris en compte la largeur, la longueur, la profondeur, le débit tout en restant en adéquation avec la zonation longitudinale. Ces paramètres aquatiques sont utilisés pour estimer les débits de chaque cours d'eaux.

D'après le calcul énoncé dans les méthodes (partie I) et les mesures effectués, les paramètres aquatiques, le débit et la vitesse d'écoulement en période d'étiage de l'année 2012[H.Rasoanambinina, 2012] par site sont représentées dans le tableau 2.

Tableau 2: Paramètres aquatiques et estimation des débits en 2012

Site	l(m)	L(m)	H (cm)	T(s)	Q (m ³ .s ⁻¹)	V (m ³ .s ⁻¹)
Ambohimirandrana1	1,07	1	4,5	1,71	0,028	0,58
Ambohimirandrana2	1,33	1	5,6	1,78	0,042	0,56
Tavolotara1	2,67	1	13,11	2,4	0,145	0,41
Tavolotara2	2,32	1	12,35	2,12	0,135	0,47
Ambitsika1	2,31	1	14,1	1,63	0,199	0,61
Ambitsika2	2,49	1	14,83	1,79	0,206	0,56
Ambatomalama	4,92	1	17,23	1,76	0,511	0,56
Ankaratra	2,51	1	13,25	1,58	0,21	0,63
Source1	2,17	1	9,87	1,66	0,129	0,6
Source2	2,42	1	13,05	1,48	0,213	0,67

.Les paramètres aquatiques et l'estimation sont représentés dans le tableau3 pour l'année 2016 durant la période d'étiage.

Tableau 3: Paramètres aquatiques et estimation de débit en 2016

Site	l(m)	L (m)	H (cm)	T(s)	Q (m ³ .s ⁻¹)	V (m.s ⁻¹)
Ambohimirandrana1	0,62	1	3,8	1,5	0,015	0,65
Ambohimirandrana2	0,96	1	4,2	1,7	0,026	0,6
Tavolotara1	2,03	1	13	2,2	0,123	0,47
Tavolotara2	1,85	1	11,9	2	0,113	0,51
Ambitsika1	1,5	1	13,7	1,3	0,152	0,75
Ambitsika2	1,56	1	14,1	1,4	0,156	0,71
Ambatomalama	4,52	1	17	1,6	0,492	0,65
Ankaratra	1,87	1	12,5	1,2	0,192	0,82
Source1	0,98	1	9,25	1,5	0,06	0,66
Source2	1,89	1	12,5	1,2	0,19	0,81

D'après ces deux tableaux, en utilisant les valeurs de ces paramètres, on peut déduire que les estimations des débits de l'eau par site dans ce bassin sont élevées par rapport à celles de l'année 2012 durant la période d'étiage, mais les vitesses par site vitesse ont augmenté. En utilisant les valeurs de ces paramètres, on peut déduire que les estimations des débits de l'eau par site dans ce bassin sont élevées par rapport à celles de l'année 2012 [H. Rasoanambinina, 2012] durant la période d'étiage, mais les vitesses par site vitesse ont augmenté la déforestation a

influencé la quantité de l'eau dans cette nouvelle aire protégée car les études effectuées ont montré que la déforestation a provoqué l'assèchement des cours d'eaux et des rivières.

En comparant le tableau 2 et le tableau 3, La mesure des paramètres aquatiques et le calcul de débit a montré la diminution de la rivière qui entraîne l'assèchement petit à petit si la déforestation augmente encore dans ce nouvelle aire protégée. La protection de la forêt limite l'augmentation du débit des crues de plus la forêt naturelle a particulièrement plus élevée sur l'évapotranspiration et l'infiltration par rapport à d'autres types de couverture végétale.

- **En période pluviale**

Le débit des cours d'eaux varie suivant la saison mais ces modifications ne représentent qu'une faible différenciation. Pourtant, durant la période d'étiage, le débit est faible. Il connaît une légère augmentation pendant la saison pluviale.

Tableau 4: Paramètres aquatiques et estimation de débit (2012)

Site	l(m)	L(m)	H (cm)	T(s)	Q (m ³ .s ⁻¹)	V (m.s ⁻¹)
Ambohimirandrana1	1,19	1	4,8	1,91	0,029	0,52
Ambohimirandrana2	1,41	1	5,9	1,84	0,045	0,54
Tavolotara1	2,79	1	14,01	2,45	0,161	0,41
Tavolotara2	2,38	1	12,42	2,43	0,122	0,41
Ambitsika1	2,4	1	14,2	1,93	0,18	0,51
Ambitsika2	2,52	1	15,07	1,85	0,205	0,54
Ambatomalama	5,34	1	17,35	1,73	0,535	0,57
Ankaratra	2,57	1	13,39	1,78	0,193	0,56
Source1	2,25	1	9,92	1,82	0,123	0,54
Source2	2,49	1	13,12	1,65	0,197	0,61

Durant la saison pluviale, les paramètres comme la largeur et la profondeur sont réduit. Alors le débit a diminué aussi. Par contre la vitesse avait augmenté avec le temps d'écoulement. La réduction et l'augmentation de la vitesse ont marqué l'augmentation débit de la crue.

Ces changements des paramètres hydrologiques sont présentés dans le tableau5 suivant les mesures effectuées dans l'année 2016.

Tableau 5: Paramètres aquatiques et estimation du débit (2016)

Site	l(m)	L(m)	H (cm)	T(s)	Q (m ³ .s ⁻¹)	V (m/s)
Ambohimirandrana1	0,71	1	4	1,64	0,028	0,61
Ambohimirandrana2	1,05	1	4,5	1,76	0,027	0,56
Tavolotara1	2,13	1	13,02	2,23	0,124	0,45
Tavolotara2	1,97	1	11,97	2,01	0,117	0,49
Site	l(m)	L(m)	H (cm)	T(s)	Q (m ³ .s ⁻¹)	V (m/s)
Ambitsika1	1,64	1	13,79	1,42	0,159	0,7
Ambitsika2	1,72	1	14,27	1,68	0,151	0,68
Ambatomalama	4,66	1	17,05	1,61	0,607	0,62
Ankaratra	1,91	1	12,73	1,35	0,181	0,74
Source1	1,37	1	9,38	1,59	0,081	0,62
Source2	2,11	1	12,69	1,35	0,198	0,74

D'après ces 2 tableaux, les débits sont diminués par contre on remarque une augmentation des vitesses d'écoulements. Par rapport aux 2 saisons de chaque année durant la saison pluviale, Les débits sont augmentés. Donc, la déforestation a un impact sur les fonctions hydrologiques dans cette zone. La comparaison des données entre l'année 2012 et l'année 2016 a montré qu'il a la réduction débit des cours d'eaux et augmentation de la vitesse.

Cela peut déduire l'assèchement des rivières. L'augmentation de débit pendant la saison pluviale a marqué que débit de crue est accroît. La déforestation en amont fait accroître la fréquence et la violence des inondations en aval. Néanmoins, elle a produit une sédimentation des cours d'eaux. Les débits des crues élevés ont provoqué des dépôts accrus dans les eaux. La déforestation a des impacts négatifs sur les cours d'eaux au niveau de la quantité des eaux.

III.3.2. Impact de la déforestation sur la qualité de l'eau

Plusieurs variables sont utilisées permettant d'évaluer et de définir la qualité de l'eau d'une façon uniforme. Il est toutefois possible de se baser sur l'analyse individuelle de chaque paramètre pour déterminer la qualité de l'eau.

On peut se référer au critère de qualité (la norme de potabilité Malagasy). La qualité de l'eau est classée en plusieurs catégories : excellente, satisfaisante, douteuse ou mauvaise selon le pourcentage d'analyses de chaque paramètres. Les analyses ou les mesures des paramètres entre des différents intervalles de temps permettent de déterminer la variation temporelle de la

qualité de l'eau lorsqu'on dispose d'une série de données réparties sur plusieurs années. On peut alors constater l'évolution des paramètres suite au traitement statistique des données.

a. Cause de la déforestation liée à la qualité de l'eau

La déforestation est causée par l'exploitation des bois ceci engendre la divagation des animaux dans la zone du bassin versant en augmentant les matières organiques.

De même, la fabrication du charbon de bois a provoqué la construction des petits habitats, ce qui produit des déchets fécaux et des déchets provenant des ménages. Ces déchets ont contaminé l'eau par conséquent les éléments indésirables ont augmenté et des éléments toxiques sont apparus. De plus, l'érosion, l'inondation, l'embâcle et les alluvions ont modifiés la qualité de l'eau dans la zone affectée par la déforestation. Ces modifications sont vérifiées par l'analyse effectuée dans un laboratoire, Certains paramètres physico-chimiques et bactériologiques doivent en effet demeurer à l'intérieur d'une gamme de limites reconnues pour assurer la qualité de l'eau.

La qualité de l'eau n'est pas confirmée qu'après analyse. Pour l'analyse microbiologique, la maîtrise des principaux germes comme les *coliformes totaux*, l'*Escherichia Coli* et les *streptocoques fécaux*. Pour l'analyse physico chimique on identifie les teneurs des éléments chimiques (normaux, indésirables et toxiques) et les paramètres physiques comme le pH, la turbidité, la conductivité et la température dans l'eau. Les éléments chimiques présents dans l'eau n'ont pas la même importance. Ils peuvent être classés en plusieurs éléments:

- les éléments normaux de l'eau d'où l'eau doit en contenir, si possible, en quantité souhaitable en calcium, sulfate, magnésium, chlorure.
- les éléments indices de pollution d'origine organique et les éléments considérés comme indésirables. La variation de teneur de ces éléments est à surveiller. Ce sont les matières organiques, les matières azotées (l'azote ammoniacal, les nitrites ; les nitrates, azote kjeldhal), les phosphates.
- les éléments considérés comme indésirables : la présence de ces éléments à des teneurs dépassant des doses spécifiques provoque des gênes dans l'utilisation de l'eau. Ce sont le Fer, le Zinc, le Cuivre, le Manganèse.
- les éléments considérés comme toxiques : l'existence même, ou la présence à des doses dépassant des limites spécifiques de ces éléments peuvent causer des altérations graves à l'organisme. Ce sont l'Arsenic, le nickel et le chrome.

- les paramètres organoleptiques sont utiles aussi à la vérification directe de la qualité de l'eau. Chaque paramètre a son importance et se différencie selon sa définition et leur utilisation.

L'analyse de la qualité de l'eau est fondée sur les différents paramètres de l'eau citée ci-dessus, tous les teneurs ou les valeurs de ces éléments sont comparés aux résultats d'analyse effectués en 2012[H. Rasoanambinina, 2012] ou avec la norme posée par l'OMS. Celle qu'on utilise à Madagascar est la norme de potabilité Malagasy (DECRET N°2004-635 DU 15/06/04) représenté dans le tableau 6.

Tableau 6: Norme de potabilité Malagasy

Paramètres organoleptiques	Unité	Norme
ODEUR		Absence
COULEUR		Incolore
SAVEUR DESAGREABLE		Absence

Paramètres physiques

TEMPERATURE	°C	<25
TURBIDITE	NTU	<5
CONDUCTIVITE	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	<3000
pH		6,5-9,0

Paramètres chimiques	Unité	V.Mn.A	V.M.A
-----------------------------	--------------	---------------	--------------

Eléments normaux

Calcium		-	200
Magnésium	mg.L^{-1}	-	50
Chlorure	mg.L^{-1}	-	250
Sulfates	mg.L^{-1}	-	250
Oxygène dissous % de saturation	%	75	-
Dureté	mg.L^{-1}	-	500

Eléments indésirables

V.M.A

Matières organiques	mg.L^{-1}	2(milieu acide)
Ammonium	mg.L^{-1}	0,5
Nitrites	mg.L^{-1}	0,1
Azote total	mg.L^{-1}	2
Manganèse	mg.L^{-1}	0,05
Fer total	mg.L^{-1}	0,5

Phosphore	mg.L ⁻¹	5
Zinc	mg.L ⁻¹	5
Argent	mg.L ⁻¹	0,01
Cuivre	mg.L ⁻¹	1
Aluminium	mg.L ⁻¹	0,2
Nitrates	mg.L ⁻¹	50
Fluor	mg.L ⁻¹	1,5
Baryum	mg.L ⁻¹	1

Elément toxiques

Arsenic	mg.L ⁻¹	0,05
Chlore total	mg.L ⁻¹	0,05
Cyanure	mg.L ⁻¹	0,05
Plomb	mg.L ⁻¹	0,05
Nickel	mg.L ⁻¹	0,05
Polychloro-byphenil (PCB)	mg.L ⁻¹	0
Cadmium	mg.L ⁻¹	0,005
Mercure	mg.L ⁻¹	0,001

Germes pathogènes et indicateurs de pollutions fécales

Coliformes Totaux	0/100mL
Streptocoques Fécaux	0/100mL
Coliformes Thermo-tolérants	
<i>Escherichia Coli</i> (E .coli)	0/100mL
Clostridium Sulfito-Réducteur	<2/20mL

Source : OMS (DECRET N°2004-635 DU 15/06/04)

b. Comparaison de l'aspect qualitatif de l'eau

En général les sites sont couverts de forêts. Dans cette zone l'eau présente une bonne qualité. Pour les éléments organoleptiques, l'eau n'a pas de couleur, de saveur ni d'odeur. L'eau est limpide, ne présente aucune odeur et n'a pas de goût désagréable. Après analyse, on peut dire que les paramètres organoleptiques et physiques, les éléments normaux et indésirables des sources analysées sont inférieurs à la valeur indiquée dans la norme de potabilité. De ce fait, les sources et les cours d'eaux dans le site d'Ankaratra ont de très bonne qualité physico-chimique en amont mais un peu de trouble en aval. Des analyses microbiologiques sont pourtant nécessaires. En somme, l'eau est encore bien protégée par les couvertures végétales en amont, mais la dégradation de la qualité des sources en aval est liée à des facteurs environnementaux. [H.Rasoanambinina, 2012].

i. Paramètres physiques

Les paramètres physiques de l'eau dans cette zone sont encore de bonne qualité et les valeurs sont faibles par rapport aux normes directives de l'analyse des eaux. En période d'étiage les paramètres physiques connaissent des valeurs plus basses.

Les données de la turbidité de tous les cours d'eau ainsi que les embouchures qui sont très basses par rapport à la norme. Mais on peut observer quelques troubles sur l'eau du lac et de la rivière. Généralement, l'eau du bassin versant d'Ankaratra connaît une faible turbidité. La température de l'eau est fraîche, le pH reste neutre entre les normes. La conductivité se trouve entre les normes minima et maxima.

Tableau 7: Paramètres physiques en 2012

Site	Turbidité(NTU)	pH	Conductivité (µS)	Température (°C)
Ambohimirandrana1	0,03	7,69	25,38	19,5
Ambohimirandrana2	0,01	6,98	26,14	19,2
Tavolotara1	0,02	7,88	28,77	18,7
Tavolotara2	0,05	7,78	27,56	18,4
Ambitsika1	0,12	7,54	24,37	19,3
Ambitsika2	0,11	7,61	25,65	18,9
Lac Froid	1,72	7,37	24,13	20
Source1	0,49	7,9	26,02	19

Site	Turbidité(NTU)	pH	Conductivité (µS)	Température (°C)
Source2	0,78	7,43	25,19	19,7
Ambatomalama	0,04	7,86	26,3	19,6
Ankaratra	0,78	7,8	25,9	19,2
Andraraty	1,06	7,29	22,15	20,5
Fleuve Andraraty	1,32	7,14	22	20,7

Depuis la fin d'année 2012, la perturbation du couvert forestier avait un effet négatif sur les paramètres physiques, notamment elle a particulièrement aggravé les risques sur la turbidité et le pH. La déforestation est l'un des facteurs d'acidification de l'eau. Au cours des fortes précipitations, favorisés les drainages des éléments acidifiants. D'après l'analyse des échantillons dans différents sites de cette nouvelle aire protégée. Les éléments physiques ont connu vécu des changements dont la turbidité a augmenté par contre la conductivité et le pH connaît une chute pendant l'année 2016.

Tableau 8: Paramètres physiques de la saison sèche en 2016

Site	Turbidité (NTU)	pH	Conductivité (µS)	Température (°C)
Ambohimirandrana1	0,07	6,54	20,2	21,8
ambohimirandrana2	0,03	6,68	20,4	21,3
Tavolotara1	0,08	6,71	20,9	21,2
Tavolotara2	0,09	6,53	21,22	20,4
Ambitsika1	1,32	5,58	15,23	21,9
Ambitsika2	1,27	5,76	16,2	22,6
Lac Froid	3,25	5,91	15,74	22,5
Source1	1,59	6,61	18,3	22
Source2	1,79	6,82	18,5	22,3
Ambatomalama	1,25	6,76	20,75	21,1
Ankaratra	1,29	6,69	19,93	21,7
Andraraty	2,3	6,05	15,14	22,9
Fleuve Andraraty	3,5	6,01	14,7	22,7

- **En période pluviale**

Durant le période pluviale, les paramètres ont augmenté notamment la turbidité et la conductivité de l'eau mais le pH et la température n'ont pas beaucoup changé. Il se trouve entre les normes. On constate que la pluie neutralise le pH de l'eau. Le tableau 9 ci-après représente ces résultats.

Tableau 9: Paramètres physiques en 2012

Site	Turbidité(NTU)	pH	Conductivité (µS)	Température (°C)
Ambohimirandrana1	0,05	7,74	25,45	20,1
Ambohimirandrana2	0,02	7,02	26,24	19,8
Tavolotara1	0,04	7,96	28,66	19,6
Tavolotara2	0,07	7,87	27,75	19,5
Ambitsika1	0,15	7,63	24,47	20,2
Ambitsika2	0,13	7,58	25,7	19,7
Lac Froid	1,84	7,45	24,34	20,6
Source1	0,32	7,92	26,13	21,8
Source2	0,83	7,58	26,26	20,6
Ambatomalama	0,07	7,97	26,41	20,2
Ankaratra	0,91	7,89	25,97	20,3
Andraraty	1,45	7,62	22,2	21,1
Fleuve Andraraty	1,46	7,14	22,11	21,8

Depuis la fin d'année 2012, la perturbation du couvert forestier avait un effet négatif sur les paramètres physiques, notamment elle a particulièrement aggravé les risques sur la turbidité et le pH. La déforestation est l'un des facteurs d'acidification de l'eau. Au cours des fortes précipitations, favorisés les drainages des éléments acidifiants. D'après l'analyse des échantillons dans différents sites. Les éléments physiques ont connu vécu des changements dont la turbidité a augmenté par contre la conductivité et le pH connaît une chute pendant l'année 2016.

Tableau 10: Paramètres physiques en 2016

Site	Turbidité(NTU)	pH	Conductivité (µS)	Température (°C)
Ambohimirandrana1	0,1	6,74	21,3	22,3
Ambohimirandrana2	0,08	6,87	21,7	22,8
Tavolotara1	0,12	6,91	21,9	22,3

Site	Turbidité(NTU)	pH	Conductivité (µS)	Température (°C)
Tavolotara2	0,15	6,72	21,4	21,6
Ambitsika1	1,37	5,98	15,73	23,2
Ambitsika2	1,3	5,84	16,5	23
Lac Froid	3,36	5,94	15,82	23,5
Source1	1,7	6,72	18,39	22,9
Source2	1,92	6,95	18,64	22,7
Ambatomalama	1,31	6,82	20,81	21,8
Ankaratra	1,4	6,78	20,11	22
Andraraty	2,43	5,95	15,28	23,7
Fleuve Andraraty	3,78	5,89	14,93	23,8

D'après ces tableaux, petit à petit, la turbidité de l'eau dans ce site a subi une réduction de la transparence due à la présence des matières non dissoutes. En comparant ces deux résultats, la turbidité de l'eau augmente en 2016 augmente de 40% à 70% par rapport à la turbidité de l'année 2012. Par exemple, la turbidité de l'eau dans la source d'Ambohimirandana a augmenté de 57,14%. L'indicateur de transparence et la couleur de l'eau sont influencées par le réseau trophique des organismes et par les matières dissoutes dans l'eau. On s'est basé sur le site de prélèvement où il y a encore de zone couverte de forêts comme Tavolotara frappée par la déforestation présente une turbidité plus élevée par rapport à Ambitsika.

Le pH ou le potentiel Hydrogène est utile pour déterminer le degré de l'acidité ($\text{pH} < 7$), la pureté de l'eau ($\text{pH} = 7$) ou l'alcalinité de l'eau ($\text{pH} > 7$) d'où le pH est varié de 0 à 14. Le pH a couru un grand risque car il devient si acide d'après les résultats de ces 2 années, deux prélèvements sont effectués pendant l'année 2016. On a la moyenne du pH est entre 5,49 et 6,18. Il a connu une chute de 10% à 20%. Cette valeur est inférieure de limite au minima de la norme de potabilité sur le pH. L'eau d'Ambitsika qui est en aval est plus acide par rapport aux autres transects comme Ankaratra qui n'est pas encore touché par la déforestation; Ankaratra est un lieu saint respecté par les villageois et ses alentours.

La conductivité identifie la minéralisation de l'eau et la capacité de l'eau à conduire du courant ou bien à déterminer la présence des ions dans l'eau. La conductivité de l'eau connaît le même problème que la turbidité dont sa valeur est augmentée en 2016 en comparée à celle de l'année 2012. La conductivité indique seulement la présence des minéraux dans l'eau mais le calcul de la minéralisation à partir de la conductivité n'est pas exact.

Elle est élevée car elle résulte de l'érosion des roches sédimentaires du bassin, accentuée par la déforestation qui règne dans ce lieu.

La température a influencé la réaction de dissolution de l'oxygène dans l'eau. Si l'eau est froide, la dissolution de l'oxygène sera importante. La température de cette eau a subi des changements, elle a diminué de 25% environ (source2 diminue de 5,6°C donc la température de cette cours d'eau a chuté de 25,93%), elle a aussi influencé la réaction de dissolution de l'oxygène dans l'eau c'est-à-dire plus l'eau est froide, plus la dissolution est importante. D'après l'analyse entre saison.

ii. Aspects des éléments normaux dans l'eau

Les éléments normaux sont des éléments naturels se trouvant dans l'eau et provenant peut être de l'altération et du lessivage des roches sédimentaires ou des irrigations ; ils sont des éléments les plus répandus dans l'environnement et dans l'eau. Leurs présences en grandes quantités ne provoquent pas des risques sanitaires. Par contre, la plupart de ces éléments sont utiles aux besoins des êtres vivants par exemple le chlorure est présent dans l'eau sous forme de NaCl, CaCl₂, et le KCl.

• En période d'étiage

Les éléments normaux dans l'eau dans ce site se trouvent entre les normes minima et maxima de la potabilité Malagasy durant l'analyse procédé en 2012 durant la saison d'étiage.

Tableau 11: Paramètres normaux en 2012 (mg.L-1)

Site	Ca	SO ₄ ²⁻	Cl	Mg
Ambohimirandrana	12,6	18	5,6	15
ambohimirandrana2	13	21	5,4	16
Tavolotara1	12,3	16	4,5	19
Tavolotara2	11,9	15	3,9	17
Ambitsika1	10,1	13	4,6	11
Ambitsika2	10,8	12	5,3	12
Lac Froid	11	17	4,2	14
Source1	12,1	18	3,8	15
Source2	11,7	19	2,9	13

Site	Ca	SO ₄ ²⁻	Cl	Mg
Ambatomalama	10,6	14	3,6	18
Ankaratra	10,5	15	3,5	17
Andraraty	9,2	11	2,7	12
Fleuve Andraraty	8,4	10	3,2	13

Les paramètres normaux sont des éléments très fréquents dans l'eau et essentielle à la santé humaine. Les apports en calcium et en magnésium peuvent établir un équilibre de fertilité du sol et limiter la fertilité du sol et son acidification. Ces éléments possèdent des quantités souhaitables surtout pour les eaux potables. L'augmentation de la déforestation depuis fin d'année 2012 a provoqué la chute de ces éléments durant l'analyse en 2016.

Tableau 12: Paramètres normaux en 2016 (mg.L⁻¹)

Site	Ca	SO ₄ ²⁻	Cl	Mg
Ambohimirandrana1	8	18	2,3	9
Ambohimirandrana2	8,4	20	2,5	8
Tavolotara1	10,8	17	2,6	13
Tavolotara2	9,2	18	1,8	9
Ambitsika1	3,6	4	0	3
Ambitsika2	2,4	5	0,2	2
Lac Froid	4	6	0,3	4
Source1	4,4	7	0,9	4
Source2	6	6	0,4	3
Ambatomalama	8,8	9	1	5
Ankaratra	4,8	8	0,9	6
Andraraty	2,4	5	0,4	2
Fleuve Andraraty	2	6	0,9	3

Par contre la quantité d'éléments normaux (Ca, Mg, Cl et la Sulfate) ne cesse de chuter suivant l'analyse effectuée pendant la d'été.

- **En période de crue**

Pendant la période pluviale les teneurs des éléments normaux sont plus élevés par rapport à ceux de la période d'été et à la norme de potabilité dans une année étudiée.

Mais la comparaison entre les résultats de l'année 2012 et l'année 2016 a montré la diminution de la teneur de chaque élément.

Tableau 13: Paramètres normaux en 2012 (mg.L⁻¹)

Site	Ca	SO ₄ ²⁻	Cl	Mg
Ambohimirandrana1	13,8	20	5,7	17
Ambohimirandrana2	13,2	21	5,5	18
Tavolotara1	12,5	17	4,6	20
Tavolotara2	12	16	4	18
Ambitsika1	10,4	15	4,8	15
Ambitsika2	11	13	5,7	14
Lac Froid	11,3	18	4,5	16
Source1	12,4	19	4	18
Source2	11,9	21	3	15
Ambatomalama	10,9	16	4,2	20
Ankaratra	10,7	17	3,9	19
Andraraty	9,6	12	3	16
Fleuve Andraraty	8,7	11	3,8	13

Tableau 14: Paramètres normaux de la saison de crue en 2016 en mg.L⁻¹

Site	Ca	SO ₄ ²⁻	Cl	Mg
Ambohimirandrana1	8,2	19	2,5	11
ambohimirandrana2	8,5	21	2,7	10
Tavolotara1	10,9	18	2,8	15
Tavolotara2	9,3	20	2	10
Ambitsika1	3,8	5	0	5
Ambitsika2	2,7	6	0,3	3
Lac Froid	4,3	8	0,5	5
Source1	4,6	9	1,1	6
Source2	6,2	8	0,6	4
Ambatomalama	8,9	11	1,2	7
Ankaratra	5	10	1,1	8
Andraraty	2,7	6	1	3
Fleuve Andraraty	2,3	7	0,7	4

D'après ces deux tableaux, la teneur en calcium, magnésium, sulfates, chlorures sont diminués peu à peu jusqu'à 2016, on remarque une chute et l'analyse effectuée durant cette année a aussi diminué. Le calcium est un métal alcalino terreux extrêmement répandu dans la nature, dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Le calcium dans l'eau est aussi un apport alimentaire, un élément dominant et un composant de dureté calcique. Le taux du calcium diminué de 50% à 100 % dans quatre années seulement, de même, pour le magnésium. Mais le chlorure a chuté de 20% à 50% et le taux de sulfate a modifié de 40% à 60% par rapport à celui du 2012. Le calcium a possédé des effets bénéfiques, plus le calcium diminue, les effets d'absorption des matériaux lourds a diminué aussi. Le calcium a retenu aussi les acidifications dans l'eau d'où la diminution de sa teneur a aggravé les risques d'acidifications. Les directives du conseil des communautés européennes indiquent que la teneur en calcium dans l'eau destinée à la consommation humaine est de 100mg/L et la concentration minimale est requise à 60mg/L. D'ailleurs la norme Malagasy prévoyait des contrôles complémentaires dans le cas où la teneur dépasse la valeur de références de qualité fixée à 100mg or le taux de calcium se situe entre 0mg/L et 4,8mg/l, donc ce teneur se trouve à la plus faible quantité d'où il a besoin de traitement d'adoucissement pour la mise en évidence la teneur de ce calcium si on le capte pour l'adduction en eau potable. Comme celle que la Jirama d'Ambatolampy a faite pour transformer le lac froid en eau potable qui a alimenté la ville.

Le sulfate est un élément important des composés dissous dans l'eau, très sensible car il peut être attaqué par les bactéries et réduit en acide sulfurique corrosif. Il peut être attaqué par les bactéries mais sa valeur directive est située entre 30mg/L et 300mg/L. Par contre le taux de sulfate dans l'eau est de 30mg/L. La zone la plus frappante par la déforestation est nulle pour la teneur en sulfate (Ambitsika a 0mg/L de teneur en chlorure).

Les chlorures sont présents dans l'eau sous forme de NaCl, CaCl₂, et le KCl. Le sulfate est un élément important des composés dissous dans l'eau, très sensible car il peut être attaqué par les bactéries et réduit en acide sulfurique corrosif. La teneur en chlorure des eaux naturelles est susceptible de subir des variations provoquées par la déforestation, Elle a diminué de 0mg/l à 1,7mg/l inférieure à 25mg/L. La limite de directive du taux de chlorure à très faible dose mais cela lié aux roches et au sol que l'eau a drainé. De plus, si la destruction de la qualité des roches et les sols dans la zone a accentué la diminution jusqu'à l'annulation de ces éléments dans l'eau.

iii. Aspects des éléments indésirables dans l'eau

- En période d'été

Les éléments indésirables proviennent de l'activité anthropique, agricole ou industrielle. Ils provoquent des effets secondaires par leur présence en forte quantités. Ils ne sont pas directement toxiques mais s'évaluent de plus en plus pour entraîner des effets négatifs. C'est pourquoi ces éléments étaient plus faibles teneurs avant et jusqu'à l'année 2012. L'azote et ses dérivés n'avaient pas encore existé durant l'analyse. Ils quelques éléments dont la teneur est très faibles dans l'eau de cette zone durant la saison sèche.

Tableau 15: Paramètres indésirables en 2012 (mg.L⁻¹)

Site	NH ₄ ⁺	Al	NO ₄	NO ₃	F	Fe	Cu	P	Mn	Zn
Ambohimirandana1	0,01	0,01	0	0	0,1	0	0	0,06	0	0
Ambohimirandana2	0,02	0,01	0	0	0,1	0	0	0,04	0	0
Tavolotara1	0,03	0,01	0	0	0,1	0	0	0,05	0	0
Tavolotara2	0,02	0,01	0	0	0,1	0	0	0,04	0	0
Ambitsika1	0,03	0,01	0	0	0,1	0,05	0,01	0,15	0	0
Ambitsika2	0,03	0	0	0	0	0,05	0,02	0,1	0	0
Lac Froid	0,07	0	0	0,03	0	0	0,03	0,03	0,05	0,1
Source1	0,02	0	0	0,01	0	0	0,01	0,05	0	0,1
Source2	0,03	0	0	0,01	0	0	0,01	0,02	0	0
Ambatomalama	0,04	0	0	0	0	0	0,02	0,03	0	0
Ankaratra	0,05	0,01	0	0,01	0	0	0,03	0,06	0	0
Andraraty	0,06	0,01	0	0,02	0,1	0,05	0,02	0,05	0,05	0,1
Fleuve Andraraty	0,09	0,01	0	0,04	0,1	0,05	0,03	0,07	0,05	0,1

En 2016, les teneurs en éléments indésirables ont multiplié surtout pour les éléments nutritifs. D'ailleurs, l'eau contenant de teneurs plus élevés par rapport aux normes a entraîné des conséquences surtout pour les eaux stagnantes, ils sont les sources de l'eutrophisation du lac.

Tableau 16: Paramètres indésirables en 2016(mg.L⁻¹)

Site	NH4 ⁺	Al	NO ₄	NO ₃	F	Fe	Cu	P	Mn	Zn
Ambohimirandrana	0,3	0,04	0,01	0	0,2	0,05	0	0,15	0	0
Ambohimirandrana	0,24	0,05	0,05	0	0,3	0	0	0,11	0	0
Tavolotara	0,27	0,03	0,06	0	0,3	0	0	0,09	0	0
Tavolotara	0,25	0,04	0,04	0	0,2	0,05	0	0,06	0	0
Ambitsika	0,48	0,1	0,08	0,01	0,8	0,2	0,02	0,94	0,02	0,5
Ambitsika	0,33	0,09	0,11	0,01	0,7	0,15	0,16	0,69	0,01	0,3
Lac froid	0,29	0,07	0,07	0	0,6	0,2	0,07	0,35	0,01	0,1
Source1	0,31	0,05	0,04	0	0,5	0,1	0,06	0,3	0	0,1
Source2	0,26	0,05	0,06	0	0,5	0,15	0,1	0,35	0	0
Ambatomalama	0,25	0,04	0,05	0	0,2	0,05	0,02	0,17	0	0
Ankaratra	0,23	0,08	0,03	0	0,4	0,05	0,03	0,15	0	0
Andraraty	0,28	0,08	0,05	0	0,5	0,1	0,08	0,22	0,01	0,1
Fleuve Andraraty	0,37	0,07	0,06	0,01	0,6	0,2	0,14	0,31	0,01	0,1

- **En période de crue**

Après le passage de crue dans le BV, les éléments indésirables ont augmenté par rapport à ceux de la saison sèche et les éléments nutritifs comme le nitrate, le nitrite et l'ammonium ont aussi en 10%.

Tableau 17: Paramètres indésirables en période de crue en mg.L⁻¹

Site	NH4 ⁺	Al	NO ₄	NO ₃	F	Fe	Cu	P	Mn	Zn
Ambohimirandrana1	0,02	0	0	0	0,1	0	0	0		0
ambohimirandrana2	0,04	0	0	0	0,12	0	0	0		0
Tavolotara1	0,04	0,01	0	0	0,11	0	0	0		0
Tavolotara2	0,03	0,01	0	0	0,08	0	0	0		0
Ambitsika1	0,05	0,01	0	0	0,21	0,05	0,02	0,005		0,11
Ambitsika2	0,09	0,01	0	0	0,17	0,05	0,03	0,005		0,15
Lac Froid	0,03	0,01	0	0,02	0,16	0,05	0,05	0,005		0,05
Source1	0,05	0,01	0	0,02	0,1	0	0,02	0		0,03
Source2	0,06	0,01	0	0,02	0,09	0	0,03	0		0
Ambatomalama	0,07	0,01	0	0	0,06	0	0,02	0		0
Ankaratra	0,06	0,01	0	0	0,05	0	0,03	0		0
Andraraty	0,08	0,01	0	0,04	0,13	0,05	0,05	0,001		0,05
Fleuve Andraraty	0,1	0,02	0	0,06	0,16	0,05	0,04	0,005		0,01

D'après ces deux tableaux, les éléments indésirables se trouvent dans le minimum de la norme directive. Ces éléments étaient dans les plus faibles teneurs durant l'année 2012. Il n'y avait pas de risque pour la santé humaine et les biodiversités existant dans la nouvelle aire protégée.

Après la pluie, les éléments indésirables dans cette zone d'Ankaratra ont encore augmenté car l'eau de crue se déverse directement dans les cours d'eaux et dans les eaux des lacs. En présence de la forêt, la plupart des eaux de pluies sont filtrés par les arbres. Les éléments nutritifs sont aussi absorbés par les arbres. C'est pourquoi l'augmentation de l'azote dans ce site est très remarquable.

Tableau 18: Eléments indésirables en 2016 en mg.L⁻¹

Site	NH ₄ ⁺	Al	NO ₄	NO ₃	F	Fe	Cu	P	Mn	Zn
Ambohimirandra1	0,5	0,06	0,02	0	0,2	0,16	0	0,17	0	0
Ambohimirandra2	0,26	0,07	0,06	0	0,4	0	0	0,13	0	0
Tavolotara1	0,28	0,04	0,07	0	0	0	0	0,1	0	0
Tavolotara2	0,26	0,05	0,05	0	0,2	0	0	0,08	0	0
Ambitsika1	0,52	0,12	0,1	0,01	0,8	0,25	0,03	1,02	0,02	0,5
Ambitsika2	0,37	0,1	0,14	0,01	0,7	0,26	0,04	0,72	0,01	0,4
Lac Froid	0,35	0,13	0,12	0,01	0,7	0,15	0,19	0,37	0,01	0,1
Source1	0,28	0,06	0,04	0,01	0,5	0,2	0,16	0,32	0,01	0,1
Source2	0,3	0,07	0,06	0	0,5	0,1	0,09	0,38	0,01	0,1
Ambatomalama	0,29	0,06	0,05	0,01	0,3	0,2	0,06	0,19	0	0
Ankaratra	0,27	0,08	0,03	0	0,4	0,1	0,07	0,18	0	0,1
Andraraty	0,34	0,1	0,05	0,01	0,6	0,15	0,1	0,24	0,01	0,1
Fleuve Andraraty	0,38	0,14	0,06	0,01	0,6	0,25	0,18	0,33	0,01	0,1

En comparant les deux résultats d'analyses sur les éléments indésirables dans ces différents sites, on constate qu'ils ne cessent pas d'augmenter. Le taux d'ammonium est augmenté de 40%, le nitrate de 30% et le nitrite de 25% par rapport aux taux du 2012. Il est souvent rencontré dans l'eau et traduit des processus de dégradation incomplète de matière organique. De plus si leur teneur se trouve entre 0,1 mg.L⁻¹ à 0,37 mg.L⁻¹ tandis que la teneur en nitrites est relativement faible, le nitrate provient de l'altération de l'azote ammoniacal.

Ce sont des minéralisations de la matière organique, du fumier, des engrais, d'eaux usées domestiques ou industrielles.

L'azote ammoniacal des eaux superficielles provient des matières d'origine végétal et organique ou humaine, sa présence dans l'eau, est à rapprocher des autres éléments azotés dans l'eau : nitrate, nitrite et des résultats bactériologiques. Le nitrite et le nitrate sont rarement d'origine naturelle. Un cours d'eau non pollué ne comporte ni nitrite ni ammoniac. Il est issu des phénomènes accentués dans les milieux ou dans les rejets des activités agricoles, des ruissellements urbains et des industries. Or ce zone est une nouvelle aire protégée et les activités anthropiques y sont accentuées. En fait, le BV d'Ankaratra est affecté par des déchets fécaux et ménagers produits par les gens responsables de l'exploitation illicite des bois et la fabrication du charbon dans la NAP. Ces déchets ont provoqué une augmentation des éléments indésirables surtout le nitrate. D'ailleurs, la forêt est la meilleure couverture végétale pour les faibles teneurs en nitrate. La zone racinaire des arbres assure un rôle épuratoire car les arbres absorbent des nutriments comme N, P,...

Par contre le taux de l'azote dans ce lac ne cause pas encore des problèmes graves comparé aux normes directives de l'eau potable à Madagascar. L'aluminium dans l'eau de ce site a aussi augmenté, il se trouve au-dessous de la norme de potabilité mais si ce taux dans l'eau augmente encore jusqu'à la limite de détection de la teneur, l'eau va provoquer des risques de maladies encéphalopathies myocloniques associées à des troubles de paroles, des crises convulsives et des perturbations psychologiques.

Le fer est un élément des croûtes terrestres, les eaux des surfaces peuvent contenir de grandes quantités de fer très soluble. Dans cette zone, le teneur augmente peu à peu dont $0,05\text{mg.L}^{-1}$ à $0,2\text{ mg.L}^{-1}$. Cette valeur est à côté de la limite adoptée à la réglementation.

Sa présence en quantités élevés a développé une turbidité rougeâtre. Certaines bactéries qui ont entraîné des phénomènes de corrosion avec formations de concrétions volumineuses et dures.

Le fluor est largement reparti dans l'eau, de ce fait présent à concentrations variables de $0,15\text{ mg.L}^{-1}$ à $0,78\text{ mg.L}^{-1}$ ou bien son augmentation s'élèvera à 57% d'ici 4ans. Or dans l'eau, il se présente souvent sous forme de complexe d'aluminium, de bore, et de silice, de sodium qui sont rapportés à la précipitations de calcium mais la teneur en fluorure est généralement inférieur à $1\mu\text{g/m}^3$, celle dont a besoin contre l'altération dentaire s'aperçoit l'apport alimentaire.

Parmi tous ces éléments, le fluor présente une grande affinité avec le phosphate de calcium. C'est aussi un élément exclusivement ostéotrophe (dans les os), le fluor entraîne un

accroissement de la taille des cristaux d'apatite et diminue leur solubilité ; Le fluor sous forme d'une complexation du fer et du magnésium qui est essentiel à l'action des enzymes.

La teneur en cuivre dans l'eau a augmenté de 50% à 100% par rapport celle qui a existé en 2012 mais il se trouve encore au-dessous de la valeur guide recommandée par l'OMS (2 mg.L⁻¹). D'ailleurs la présence du cuivre dans l'eau peut provoquer des dangers quant aux quantités relevées, elles favorisent l'épanouissement des algues. De plus, les concentrations voisines de 0,5mg/L dans l'eau peuvent colorer les linges et donner un noircissement à certaines denrées alimentaires ainsi que cuissons.

La présence du phosphate et le phosphore dans l'eau n'est pas directement toxique pour les animaux aquatiques (poisson, amphibien) mais il est généralement responsable de l'eutrophisation. L'augmentation de cet élément de 30% à 90% va arriver à ce terme de prolifération si ce teneur ne cesse d'augmenter.

En résumé, les paramètres indésirables sont affectés par la déforestation sur les augmentations de la plupart des éléments. Dans quelques années, l'eau dans l'aval du bassin versant a couru un risque d'eutrophisation surtout pour l'eau stagnante comme le lac froid.

iv. Aspects des éléments toxiques dans l'eau

Les éléments toxiques sont des éléments dangereux pour les animaux et surtout pour les êtres humains. Leur présence en forte dose peut causer des conséquences graves pour les biodiversités contenues dans l'eau, comme l'arsenic qui est un élément toxique très réparti dans la biosphère. Sa présence dans l'environnement et par conséquent dans l'eau est reliée à un certain nombre de pollution. Par contre, tous éléments toxiques qui qualifient l'eau n'ont pas

Tableau 19: Paramètres toxiques de la saison d'été en 2016 en mg.L⁻¹

Site	Nickel	Arsenic	Chrome
Ambohimirandranana1	0	0	0
Ambohimirandranana2	0	0	0
Tavolotara1	0	0	0
Tavolotara2	0	0	0
Ambitsika1	0	0	0,01
Ambitsika2	0	0	0,02
Lac froid	0,01	0	0,01

Site	Nickel	Arsenic	Chrome
Source1	0,01	0	0
Source2	0,01	0	0
Ambatomalama	0	0	0
Ankaratra	0	0	0
Andraraty	0	0	0
Fleuve Andraraty	0,01	0	0,01

La teneur des éléments toxiques dans l'eau de cette nouvelle aire protégée a augmenté encore en 2016.

Tableau 20: Paramètres toxiques de la saison de crue en 2016 en mg.L⁻¹

Site	Nickel	Arsenic	Chrome
Ambohimirandrana1	0	0	0
Ambohimirandrana2	0	0	0,01
Tavolotara1	0	0	0,01
Tavolotara2	0	0	0,01
Ambitsika1	0,1	0	0,05
Ambitsika 2	0,05	0	0,04
Lac froid	0,1	0	0,02
Source1	0,1	0	0,02
Source2	0,1	0	0,02
Ambatomalama	0,05	0	0
Ankaratra	0,05	0	0
Andraraty	0,05	0	0,03
Fleuve Andraraty	0,1	0	0,04

Les eaux dans cette aire protégée courent des risques sur l'apparition de taux de nickel et de chrome dans l'eau, même à faible taux mais pour l'arsenic de l'amont à l'aval, le taux est de 0mg/L. D'après ces tableaux, l'eau n'a pas de risque pour les éléments toxiques surtout l'arsenic, sa teneur est de 0mg/L de l'amont jusqu'à l'aval. D'ailleurs sa présence dans l'eau, présente des impacts toxiques même à faible dose,

Il a entraîné des effets cancérogènes pour l'organisme, quant à la vie aquatique, les teneurs supérieures à 2mg/L ont déclenché des phénomènes toxiques chez certaines espèces de poissons et des phénomènes phytotoxiques chez certaines plantes.

Il y a apparition de nickel et de chrome mais les taux de ces éléments n'ont entraîné des conséquences directes. Si l'eau a renforcé encore ces éléments, la teneur en chrome et le nickel a répandu ce bassin versant et sa présence à très faibles quantités de $1\mu\text{g/L}$ à $5\mu\text{g/L}$ d'ici 4 ans, il va augmenter à 1mg/L , si le phénomène de la accentué ne cesse d'augmenter, Le chrome n'est pas contenu dans les eaux naturelles en état cation si le pH de l'eau est faible. Dans ce cas le pH de cette eau a $\text{pH} \leq 7$, c'est un élément anormal et à grande quantité dans l'eau, l'intoxication aiguë par le chrome se traduit par une tubulonéphrite parfois compliquée d'une hépatite toxique et la chronique développe des lésions cutanées et de muqueuses avec des atteintes respiratoires.

Le Nickel n'a pas des effets nocifs sur la santé mais ça dépend du type, de la concentration et la durée d'exposition. Sa présence dans l'eau peut provoquer un eczéma des mains, éruption cutanée et dermatite.

v. Les indices de pollutions dans l'eau

- **Demande Chimique en Oxygène (DCO)**

La Demande chimique en oxygène est l'un des paramètres très utile dans l'environnement notamment en tant qu'indicateur de pollution. La DCO représente les éléments oxydés dans l'eau, y compris les sels minéraux tels que les sulfites et les sulfures. Elle correspond aussi à la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader la totalité des matières organiques par voie chimique. Elle est utilisée pour définir la pollution des eaux de surface. Sa présence au-delà de la limite peut déterminer que l'eau de surface est polluée et ne peut pas être utilisée pour l'alimentation en eau potable. Même s'il est possible techniquement de potabilité des eaux trop dégradées, une quantité minimale est requise avant traitement et endommage l'eau destinée à la consommation sans traitement. C'est pourquoi la détermination de la DCO est effectuée dans cette étude dans ce bassin versant d'Ankaratra. D'après la méthode de calcul énoncée dans la deuxième partie (méthodologie), le V_T , le V_E et la DCO sont représentés dans le tableau suivant selon les différentes saisons en déterminant la quantité des oxygènes pour dégrader les éléments organiques dans ce bassin versant d'Ankaratra.

Tableau 21: Résultats d'analyse de DCO en période d'étiage ¹

Site	V _T (ml)	V _E (ml)	DCO (mg.L ⁻¹)
Ambohimirandrana1	9,8	9,6	1,63
Ambohimirandrana2	9,8	9,5	2,448
Tavolotara1	9,8	9,4	3,264
Tavolotara2	9,8	9,7	0,816
Ambitsika1	9,8	8,9	7,344
Ambitsika 2	9,8	9,1	5,712
Lac froid	9,8	8,3	12,24
Source1	9,8	9,2	4,896
Source2	9,8	9	6,528
Ambatomalama	9,8	9,4	3,264
Ankaratra	9,8	9,1	5,712
Andraraty	9,8	8,8	8,16
Fleuve Andraraty	9,8	8,6	9,792

Les eaux dans le bassin versant d'Ankaratra n'exigent pas encore de grande quantité de DCO dont les valeurs se trouvent au-dessus de la norme

Tableau 22: Résultats d'analyse de DCO en période de crue

Site	V _T (ml)	V _E (ml)	DCO (mg.L ⁻¹)
Ambohimirandrana1	10,2	9,9	2,52
Ambohimirandrana2	10,2	9,8	3,36
Tavolotara1	10,2	10,1	0,84
Tavolotara2	10,2	10	1,68
Ambitsika1	10,2	9,2	8,4
Ambitsika 2	10,2	9,3	7,56
Lac froid	10,2	8,6	13,44
Source1	10,2	9,5	5,88
Source2	10,2	9,4	6,72
Ambatomalama	10,2	9,7	4,2
Ankaratra	10,2	9,6	5,04
Andraraty	10,2	9,1	9,24
Fleuve Andraraty	10,2	8,8	11,76

Ces valeurs ont augmenté durant la période de crue car la contamination des matières organiques amenées par l'eau au moment de la pluie et la dégradation de la forêt a accentué ce phénomène.

- **Matières en suspensions(MES)**

Les MES correspondent aux particules véhiculées par l'eau. Elles peuvent être de nature minérale, provenant de l'argile ou sables ou organiques comme débris de végétaux, biomasse planctonique. Elles représentent la masse de dépôts obtenus sur un filtre après séchage. Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse de MES en période d'étéage.

Tableau 23: Résultats d'analyse de MES en période d'étéage

Site	a(g)	b(g)	MES (g.L ⁻¹)
Ambohimirandrana1	0,0925	0,0927	4
Ambohimirandrana2	0,0925	0,0928	6
Tavolotara1	0,0925	0,0926	2
Tavolotara2	0,0925	0,0927	4
Ambitsika1	0,0925	0,0941	32
Ambitsika 2	0,0925	0,0939	26
Lac froid	0,0925	0,109	330
Source1	0,0925	0,0932	14
Source2	0,0925	0,0935	20
Ambatomalama	0,0925	0,0929	8
Ankaratra	0,0925	0,093	10
Andraraty	0,0925	0,094	30
Fleuve Andraraty	0,0925	0,0942	34

Tableau 24: Résultat d'analyse de MES en période de Crue

Site	a(g)	b(g)	MES (mg.L ⁻¹)
Ambohimirandrana1	0,0926	0,0929	6
Ambohimirandrana2	0,0926	0,0932	12
Tavolotara1	0,0926	0,0928	4
Tavolotara2	0,0926	0,0928	4
Ambitsika1	0,0926	0,0945	38
Ambitsika 2	0,0926	0,0944	36

Site	a(g)	b(g)	MES (mg.L ⁻¹)
Lac froid	0,0926	0,1269	688
Source1	0,0926	0,0936	20
Source2	0,0926	0,0937	22
Ambatomalama	0,0926	0,0933	14
Ankaratra	0,0926	0,0934	16
Andraraty	0,0926	0,0942	32
Fleuve Andraraty	0,0926	0,0946	40

- **Azote kjeldhal**

L'azote kjeldhal est également un paramètre descripteur de pollution. Il est dosé après minéralisation en milieu sulfurique à chaud et distillation en milieu basique de l'ammoniaque ainsi obtenu. C'est un paramètre à surveiller car il est responsable du mauvais goût de l'eau. On retrouve l'azote organique dans les eaux superficielles comprises entre 0,5 mg.L⁻¹ et 3 mg.L⁻¹.

Il est essentiel d'analyser l'azote organique dont la quantité élevée dans l'eau peut provoquer des conséquences graves pour l'alimentation en eau. La quantité des éléments organiques est élevée car l'azote organique est réagi avec les chlores pour former des organochlorés.

Tableau 25: Le taux des azotes kjeldhal dans l'eau en période d'étiage

Site	V _T (mL)	V _E (mL)	NTK (mg.L ⁻¹)
Ambohimirandrana1	0,02	0,5	1,68
Ambohimirandrana2	0,02	0,6	2,24
Tavolotara1	0,02	0,3	0,56
Tavolotara2	0,02	0,4	1,12
Ambitsika1	0,02	0,7	2,8
Ambitsika 2	0,02	0,9	3,92
Lac froid	0,02	1,2	5,6
Source1	0,02	0,5	1,68
Source2	0,02	0,6	2,24
Ambatomalama	0,02	0,3	0,56
Ankaratra	0,02	0,8	3,36
Andraraty	0,02	1,3	6,16
Fleuve Andraraty	0,02	1,5	7,28

Tableau 26: Le taux des azotes kjeldhal en période de crue

Site	V _T (mL)	V _E (mL)	NTK
Ambohimirandrana1	0,30	0,7	2,24
Ambohimirandrana2	0,30	0,8	2,8
Tavolotara1	0,30	0,5	1,12
Tavolotara2	0,30	0,6	1,68
Ambitsika1	0,30	1,1	4,48
Ambitsika 2	0,30	0,9	3,36
Lac froid	0,30	1,5	6,72
Source1	0,30	0,8	2,8
Source2	0,30	0,9	3,36
Ambatomalama	0,30	0,5	1,12
Ankaratra	0,30	1,2	5,04
Andraraty	0,30	1,6	7,28
Fleuve Andraraty	0,30	1,7	7,84

c. Impact sur les éléments microbiologiques

Dans ce bassin versant d'Ankaratra, il n'y a jamais d'étude sur la qualité microbienne et on a effectué 2 analyses bactériologiques. Durant la manipulation¹, les résultats ont montré que l'eau dans l'aval est saturée par des germes car les bactéries formées sont incomptables. Par contre c'est l'échantillon prise dans l'amont qui a pu déterminer les différents germes contenus dans l'eau.

C'est pourquoi on a effectué une deuxième manipulation et on a dilué avec l'eau distillé tout ce qui est en aval du bassin versant. Exceptionnellement le site d'Ambitsika a aussi ce problème et on n'a pas obtenu ces résultats ci-après qu'à l'aide de la dilution.

Tableau 27: Paramètres microbiologiques

Site	Coliformes totaux	E. coli	ASR	Entérocoques
Ambohimirandrana1	7	1	4	11
Ambohimirandrana2	10	5	7	7
Tavolotara1	24	1	1	36
Tavolotara2	17	3	3	56
Ambitsika1	23	15	15	34

Site	Coliformes totaux	E. coli	ASR	Entérocoques
Ambitsika 2	26	6	13	4
Lac froid	32	21	31	39
Source1	13	4	19	7
Source2	31	18	18	9
Ambatomalama	18	4	5	1
Ankaratra	34	14	6	21
Andraraty	25	15	9	25
Fleuve Andraraty	42	35	19	37

Les eaux dans l'aval et l'exception ont encore des taux plus élevés par rapport à la comparaison entre les différents sites qu'on a réalisés pour l'analyse microbiologique, on n'a pas encore fait des analyses bactériennes dans cette zone d'étude. On a constaté que pour toutes les zones infectées c'est l'aval qui a des taux des bactéries élevés.

III.3.3. Comparaison entre les sites de prélèvements différents

Il existe des sites qui ne sont pas encore touchés et il y a des sites qui sont frappés par la déforestation. D'après le résultat du 2016, il y a des grandes différences entre les résultats d'Ambitsika un milieu où les habitants à l'en tour ont fabriqué du charbon du bois et des bois carrés pour alimenter la ville d'Ambatolampy.

La déforestation a des impacts sur la qualité de l'eau dans cette nouvelle Aire protégée car, suivant l'analyse et l'étude des résultats entre les sites qui ne sont pas encore frappés par la déforestation et celle qui est déjà. On constate qu'Ambitsika est l'un des sites en amont très affecté par la déforestation dont toutes les forêts sont disparues, Voilà pourquoi il y a une grande chute des éléments normaux d'où le calcium a diminué. Par contre les éléments indésirables sont augmentés et il y a apparition des éléments toxiques.

Les taux de ces éléments dans le site d'Ambitsika sont les plus élevés par rapport aux autres sites ou bien leurs éléments normaux ont diminués. Les éléments indésirables ont des taux élevés et les éléments toxiques apparus ont des valeurs supérieures par rapport aux autres sites. La disparition de la forêt a provoqué aussi la destruction de la qualité du sol, le non rétention des éléments chimiques par les arbres.

Enfin, la qualité de l'eau dans la zone le plus touché par la déforestation devient infecté ou mauvaise comparée au moment où il l'y avait encore la forêt naturelle. Les différentes courbes suivantes montrent la chute des éléments normaux, l'augmentation des éléments indésirables et l'apparition des éléments toxiques dans l'eau dans cette zone d'intervention.

Les taux des bactéries dans ce site étaient élevés aussi plus que les autres sites en amont.

Tableau 28: Paramètres normaux d'Ambitsika

Année	Ca	SO ₄ ²⁻	Cl	Mg
2012	3,1	4,5	0,1	2,5
2016	0	1,5	0,05	0

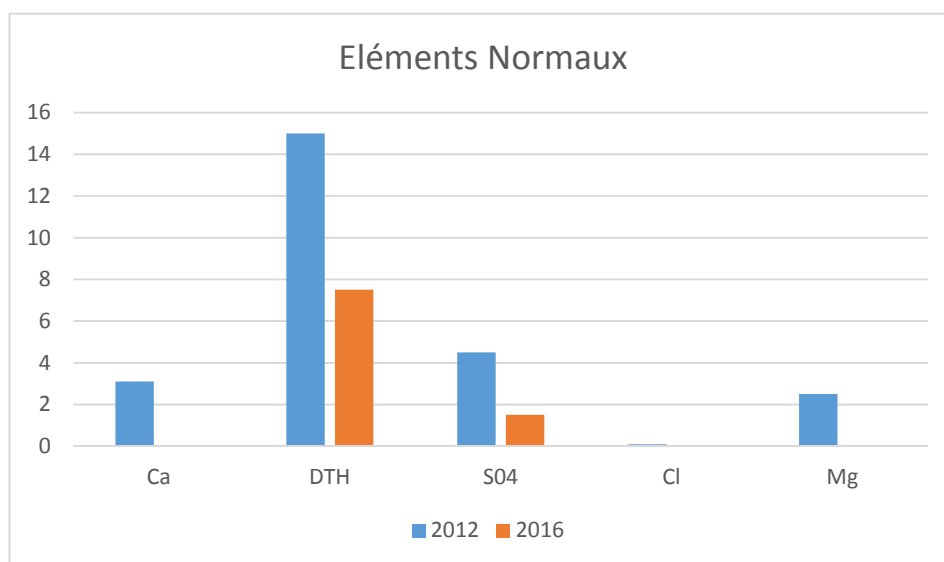


Figure 18: Courbe des éléments normaux d'Ambitsika

D'après ce courbe, Les éléments normaux sont diminués ou absent dans de ce lieu de prélèvement entre les deux années de prélèvements (2012 et 2016). Le calcium et le chlorure sont disparus dans l'eau. Le sulfate et le magnésium, ses teneurs sont diminués de valeurs plus basses par rapport aux normes directives. De ce fait, la destruction de la forêt a des impacts négatifs sur les éléments normaux, utiles aux besoins des êtres vivants. Il y a une entra relation sur l'eau et la forêt, car la disparition de la forêt entraine l'érosion du sol, L'embâcle et les alluvions dans les cours d'eaux qui engendrent la disparition de ces éléments dans le sol. D'ailleurs l'eau a pris ces éléments dans le sol.

Tableau 29: Eléments indésirables d'Ambitsika

Année	NH ₄ ⁺	Al	NO ₄	NO ₃	F	Fe	Cu	P	Mn	Zn
2012	0,12	0,04	0,01	0	0,2	0,025	0,025	0,14	0,003	0,16
2016	0,405	0,095	0,095	0,01	0,74	0,175	0,09	0,365	0,0125	0,4

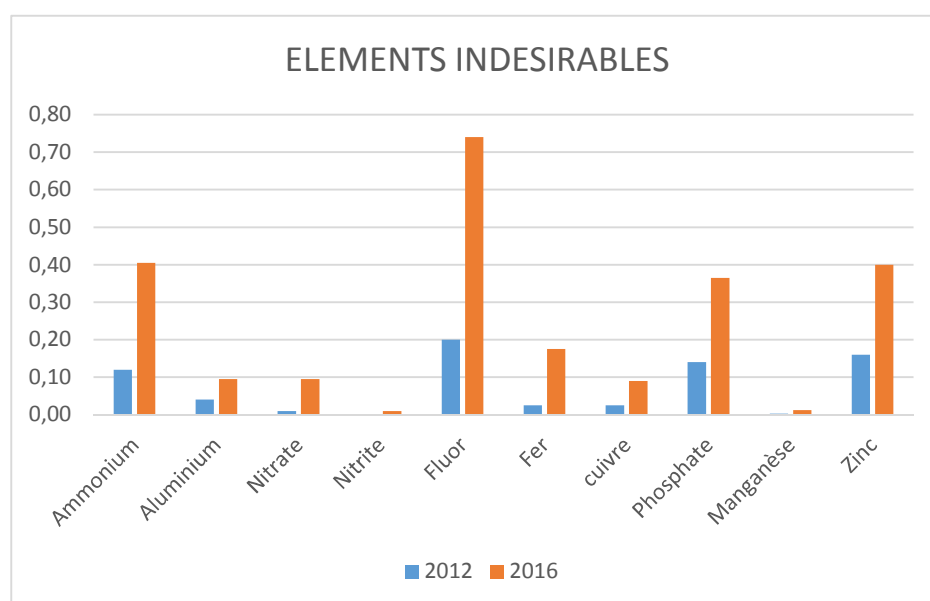


Figure 19: Courbes des éléments Indésirables d'Ambitsika

En général, Les taux des éléments indésirables (l'ammonium, aluminium, nitrate, fluor, cuivre, phosphate, Fer et zinc) ont augmentés de teneurs entre l'année 2012 et l'année 2016. Le nitrite et le manganèse ont apparus dans ce site le plus affecté par la déforestation. Ces augmentations et apparitions sont dues par la cendre laissée après le feu de bois et la pollution ménagère et fécale causé par la construction des habitations précaires dans cette zone. Or ces éléments ont des effets secondaires sur la santé des êtres humains qui ont utilisés ces eaux venant de ce Bassin versant. Pour animaux aquatiques, l'augmentation de la teneur de ces éléments dans l'eau a élevé le taux d'endémicités dans ce NAP Ankaratra surtout les amphibiens.

Tableau 30: Eléments toxiques d'Ambitsika

Années	Nickel	Arsenic	Chrome
2012	0	0	0,015
2016	0,075	0	0,045

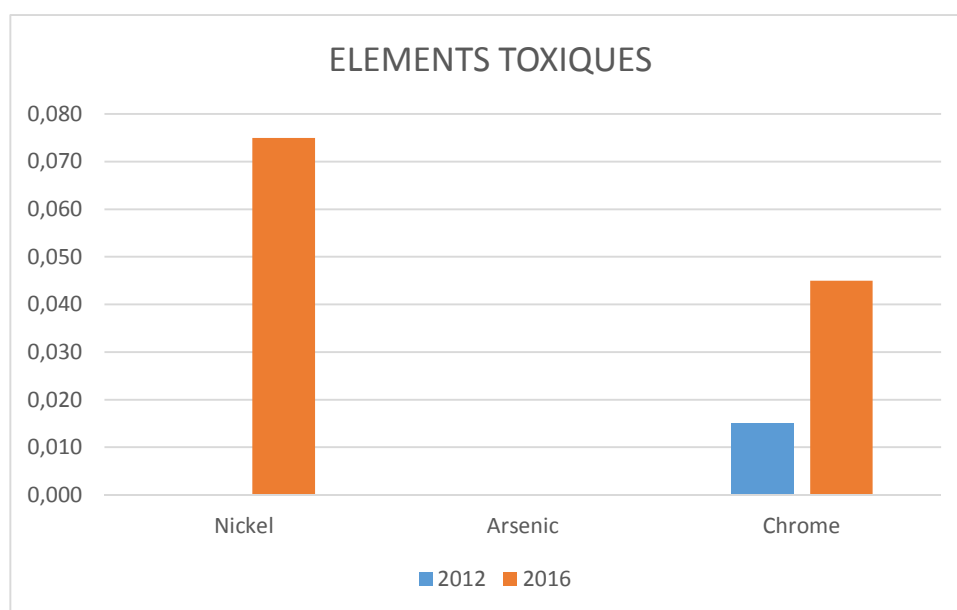


Figure 20 : Courbes des éléments toxiques d'Ambitsika

Cette courbe représente l'augmentation du chrome et l'apparition du Nickel dans l'eau de ce site d'Ambitsika. On constate que l'eau dans le transect d'Ambitsika sera polluée par le nickel et le chrome. La teneur du Nickel dans l'eau d'Ambitsika 1 se trouve à la limite de la norme directive de l'eau potable. Le taux de Nickel dans l'eau d'Ambitsika2 se trouve au-delà de la norme. La présence du chrome et le nickel dans l'eau est anormale. La consommation de ces eaux sans traitement préalable pourrait avoir des impacts négatifs sur la santé humaine surtout pour les enfants.

RECOMMANDATIONS

L'impact de la déforestation sur la quantité et la qualité de l'eau dans la nouvelle aire protégée d'Ankaratra, ne restent pas seulement sur l'augmentation de débit de crue et la destruction de la qualité de l'eau, mais l'altération de qualité de l'eau a des effets secondaires pour la santé des êtres humains. La consommation sans traitement l'eau contenant des éléments indésirables ou toxiques a entraîné des effets cancérogènes. L'augmentation de débit de crue a diminué l'espace cultivable par la sédimentation des rizières donc il y a des impacts négatifs sur la riziculture.

Par ailleurs, la pisciculture qui utilise des eaux provenant de ce bassin versant dans la nouvelle aire protégée a besoin de faire de traitement des eaux avant l'utilisation. Elle se résume en général à la filtration ou à la décantation des matières solides. La destruction de la qualité de l'eau a augmenté le coût de traitement et les matériels utilisés pour les usines qui captent l'eau provenant de cette zone.

Mesures d'atténuation sur l'étude d'impact de la déforestation dans le bassin versant

La mesure d'atténuation est inséparable à l'étude d'impact d'où la mesure d'atténuation sur l'impact de la déforestation est posée sur le ralentissement du déboisement ou l'arrêt de la déforestation, la création des autres activités pour les habitants auprès de la zone d'intervention.

- **Déboisement évité ou réduit**

L'arrêt ou le ralentissement du déboisement et de la dégradation des forêts et la gestion durable des forêts peuvent contribuer significativement à éviter les émissions, à conserver les ressources en eau, à empêcher les inondations, à réduire le ruissellement, à contrôler l'érosion, à diminuer l'envasement des rivières, en préservant la biodiversité. Le déboisement et la dégradation de la forêt dans l'amont du versant peuvent perturber les systèmes hydrologiques, en remplaçant les débits d'eau annuels réguliers dans les régions en aval par des régimes de crues.

Les plantations de forêts consomment souvent plus d'eau que de végétation basse, car les arbres ont accès à de l'eau plus profonde et évaporent ainsi davantage d'eau interceptée. Des forêts nouvellement plantées peuvent consommer un volume d'eau par la transpiration et l'interception est supérieure à celle des précipitations annuelles en pompant l'eau stockée.

D'ailleurs un boisement ou un reboisement extensif peut alors avoir une incidence grave sur les réserves d'eaux souterraines et les débits des rivières. Toutefois, l'effet du remplacement des forêts naturelles par des plantations a des incidents, comme la consommation d'eau par les plantations d'eucalyptus est plus élevée comparable à celle de la forêt naturelle. Le type de forêt consomme pratiquement la totalité du volume des précipitations annuelles. Le boisement et le reboisement, tout comme la protection des forêts, peuvent présenter des avantages hydrologiques.

Après le boisement, le ruissellement direct diminue rapidement, puis se stabilise progressivement et le débit de base augmente lentement avec l'âge du peuplement, jusqu'à maturité. Il n'est pas recommandé l'implanter des espèces fortes. La demande en eau a entraîné aussi une réduction significative de l'écoulement fluviale. En outre, les propriétés du sol peuvent connaître certains changements causés pour l'essentiel par les changements hydrologiques. Il pourrait être utile d'évaluer individuellement les avantages hydrologiques du déboisement pour chaque site concerné.

- **Le reboisement**

Le reboisement est l'un des stratégies adoptées pour remplacer les arbres brûlés ou coupés pour reprendre le rôle joué par la forêt. Le reboisement de la zone dépourvu de la forêt a reconstruit petit à petit le régime hydrologique des cours d'eaux et réduit le glissement de terrains et l'érosion du sol.

- **Amélioration de l'agriculture et élevage dans la commune Tsiafajavona**

L'amélioration de l'agriculture et de l'élevage dans cette zone est une autre occupation pour les gens qui sont dépendants de l'exploitation des bois de la fabrication des charbons. La construction du barrage pour les rizicultures a augmenté le rendement car la sédimentation des rizières produisent l'augmentation des débits et l'érosion est gérée. La formation des éleveurs est importante et permet d'augmenter aussi leurs revenus.

- **Utilisation des énergies renouvelables**

L'utilisation d'énergie renouvelable réduit la production des charbons et augmente la production agricole comme la production du biogaz.

Le biogaz est le gaz combustible naturel et renouvelable résultant de la fermentation des matières organiques sans air, à une température et acidité données. Il est produit par la digestion sans oxygène de matière biodégradable comme les ordures ménagères, les déchets agricoles, typha, déchets abattoirs... Le gaz peut être utilisé pour la cuisson, la production d'eau chaude, pour faire fonctionner un moteur, groupe électrogène. Le résidu est utilisable en alimentation pour les poissons, volaille ou en engrais. Il faut des grandes quantités de la matière organique appelée la biomasse pour produire de biogaz. Le type de biomasse utilisable et applicable dans la ville d'Ankaratra sont l'ensilage de maïs provient de la production agricole et les déjections animales comme le lisier et le fumier. L'implantation d'usine de production de biogaz ne préserve seulement la forêt mais c'est un enjeu capital pour l'intérêt économique, environnemental et agronomique tel que Stabilisation et diversification des revenus par la vente d'énergie à un tarif avantageux, production de chaleur et économie sur les énergies fossiles, diversification des débouchés pour certaines cultures (maïs), économie d'engrais minéraux, redevance pour le traitement de certains déchets, respect du programme de maîtrise de pollution agricole, valorisation de culture intermédiaire et valorisation des lisiers et fumiers avec diminution d'odeur et des bactéries pathogènes. L'application de ces stratégies n'est pas seulement un bien pour la nouvelle aire protégée d'Ankaratra mais c'est applicable dans toutes les régions qui courent des risques sur la déforestation à Madagascar.

CONCLUSION

L'étude d'impact permet d'analyser et d'interpréter les relations et interactions entre la déforestation qui exercent une influence sur l'hydrologie et la qualité de la ressource en eau des collectivités. La comparaison et la sélection de variantes de réalisation du projet sont intrinsèques à la démarche d'évaluation environnementale. L'étude d'impact fait donc ressortir clairement les objectifs et les critères de réduire l'effet négatif et d'améliorer l'impact positif.

L'étude effectuée dans le bassin versant d'Ankaratra a montré que les bienfaits de la forêt sont mal connus pour la population locale car la déforestation n'avait que des impacts négatifs sur la quantité des eaux dont l'assèchement de la rivière et l'augmentation du débit de crue surtout pour l'aval du bassin versant. Le pouvoir du sol à infiltrer de l'eau est réduit d'où la quantité des réserves dans la nappe phréatiques a chuté. La plupart des eaux provenant des pluies sont drainées ou bien le ruissellement est élevé. Ces augmentations des débits de crues ont des conséquences graves sur la riziculture dont la productivité de bas-fonds en raison des faibles rendements, en plus les riziculteurs auprès de ce bassin ont des incapacités de contribuer largement pour éviter les problèmes de sédimentation de la rizière.

De plus, la déforestation a des impacts négatifs sur la qualité des eaux dans le bassin versant. Ces destructions de la qualité vont provoquer des effets secondaires surtout pour la population qui utilise sans analyse et sans traitement de l'eau provenant de ce bassin versant. Les habitants utilisent sans traitement les eaux provenant du bassin versant de la nouvelle aire protégée, ils ont toujours la confiance sur la bonne qualité des eaux dans ce lieu auparavant, sans savoir la contamination produit par l'exportation des bois, la fabrication des charbons de bois et les autres utilisations des bois. Les changements des qualités qui sont marqués par l'augmentation des taux des éléments indésirables et apparitions des éléments toxiques. Ces changements peuvent entraîner des problèmes sanitaires pour les habitants comme les maladies hydriques.

La déforestation fait accroître les risques de pollutions, l'augmentation des colonies bactériennes, les risques sur les éléments chimiques utiles et au niveau des éléments physiques, l'augmentation de la turbidité. D'ailleurs la forêt est indispensable à la vie des êtres vivants. Pour les êtres humains, la relation entre l'eau et la forêt a réduit le coût de traitement des eaux pour la production d'eau potable car les arbres ont absorbé des nitrates d'où les eaux sous forêts ont une faible teneur en nitrate.

En plus, la déforestation a augmenté les risques sur les biodiversités surtout pour les espèces endémiques. D'ailleurs cette nouvelle aire protégée est abrité des espèces d'amphibiens en danger critique sensible à l'augmentation de la température. C'est pourquoi des mesures sont proposées pour renforcer la protection de la forêt et la conservation des biodiversités dans cette nouvelle aire protégée.

Enfin, pour préserver la forêt, la mise en place des stratégies pour sauvegarder la beauté des ressources naturelles, c'est de développer l'éducation, la formation et la sensibilisation à la protection et à la gestion de l'environnement, la participation effective de la population qui sera éduquée, formée et informée des problèmes de l'environnement et de leurs conséquences sur la gestion du patrimoine de biodiversité, l'assainissement du cadre de vie rural, la mise en place d'outils de gestion, d'un cadre institutionnel de protection et de suivi continu de l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]- **Jean. RODIER, B.MERLET, NICOLE, 2009**, *L'analyse de l'eau*, Analyse organoleptique-Mesures Physico-chimiques-Paramètres globaux, 9ème édition, Tome2.
- [2]- **Afnor, 2001**, *Qualité de l'eau*, 6ème édition, Tome 2 Analyses organoleptiques – Mesures physico-chimiques – Paramètres globaux – Composés organiques, Edition Afnor.
- [3]- **Jean. FIGARELLA, et Guy LEYRA**, *Analyse des eaux-Aspects réglementaires et Techniques*, Edition Scéren.
- [4]- **Afnor, 2001**, *Qualité de l'eau*, 6ème édition, Tome 3 Eléments majeurs – Autres éléments et composés minéraux.
- [5]- **Jean RODIER, H. BEUFFE, M. BOURNAUD, J. P. BROUTIN, C.H. GEOFFRAY, G. KOVACSIK, J. LAPORTE, E. PATTEE, M PLISSIER, L. RODIJOVIAL**, *L'analyse de l'eau, eaux Naturels, eaux résiduaires et eaux de la mer*, 7^{ème} édition.
- [6]- **Yan KESTENS, 2000**, *les conséquences de la déforestation sur le cycle hydrologique, une étude de cas bassin versant de la haute Srepok Vietnam*, mémoire d'obtention de maitre des arts, Université Laval, Faculté des lettres, département géographie.
- [7]- **ACHARD, 2002**, *Determination rates of the words humid tropical forests*, sciences, Vol 297, pp 999-1002
- [8]-**Narifeno. BABOTO, 2007**, *Etude d'impact de la déforestation dans le district de Vangaindrano*, mémoire de fin d'étude en DESS, Université d'Antananarivo.
- [9]-**J.M. DUFILS, 2003**, *Reaming Forest cover in the Natural History of Madagascar*, Goodman SMJ Benstead J.P (ed) Chicago and London, The University of Chicago Press, pp 88- 96.
- [10] **G.DONQUE, 1975**, *Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar*. Publication Association géographique à Madagascar, Tananarive.447p.
- [11]- **F. GLAW, M.VENCES, 1994**. *Fields to the amphibians and reptiles of Madagascar*, 2nd edition, 480p.

[13]- **Andraina. ANDRIANANDRASANA, 2013**, *Etude spatio- temporelle de la structure de la Communauté d'Amphibiens de Cours d'eau dans le Massif de l'Ankaratra*, mémoire pour l'obtention de diplôme d'étude approfondie, Université D'Antananarivo, Faculté de Sciences.

[14]-**Hajanirina. RASOANAMBININA, 2012**, *contribution à l'analyse de service en eau fournis par le bassin versant d'Ankaratra*, mémoire pour l'obtention du diplôme de Licence, Université d'Antananarivo, Faculté de Sciences.

REFERENCES WEBOGRAPHIES

www.pseau.org/outil_ouvrages/zndea_degradation_qualite_eau_potable. Hervien, 1967.

www.emploi_environnement.com/evolution_metiers_reseaux_eau_potable. Jean Luc.

www.centri.be/ING/pdf/deforestation1

www.notre_planete.info/deforestation

www.cifor.org/pdf_files/occ_papers.

www.relais_sciences.gov.br/site/files_mf: microbiologie de l'eau.

www.ccense.ca/sites/default/indicateur d'analyse microbiologie de l'eau.

www.beep.ird.fr/assoc/Memo6-7 microbiologie de l'eau

ANNEXES

ANNEXES 1: Sites de prélèvement



AMBITSIKA 1



AMBITSIKA 2



TAVOLOTARA 1



TAVOLOTARA 2



AMBOHIMIRANDRANA



LAC FROID



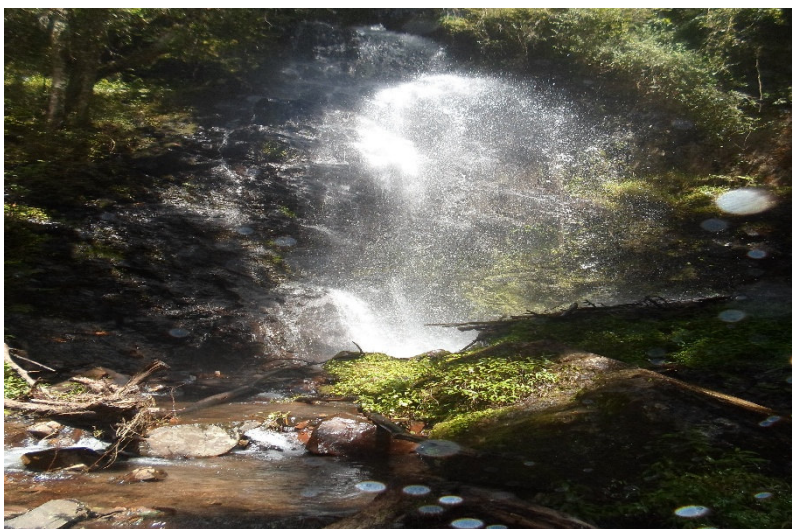
ANDRARATY



SOURCE



AMBATOMALAMA



ANKARATRA

ANNEXES 2: Déforestation qui règne dans la NAP d'Ankaratra

Fabrication des charbons de bois



Exportation des charbons



Exploitation illicite des bois précieux



ANNEXES 3: Captage des eaux dans le bassin versant



Irrigation



Pisciculture

Titre : IMPACT DE LA DEFORESTATION SUR LA QUANTITE ET LA QUALITE DE L'EAU DANS LA NOUVELLE AIRE PROTEGEE D'ANKARATRA

Auteur : RASOANAMBININA Hajanirina

Tél : +261337496670

Email : hajasoanambinina@gmail.com

Adresse : CU BLOC E2 TANAMBAO ANKATSO II

Nombre de pages : 66

RESUME

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de la déforestation sur la quantité et la qualité d'eau dans la nouvelle aire protégée d'Ankaratra. La déforestation dans cette zone est liée à l'exportation des bois précieux, à la pauvreté et à la fabrication des charbons de bois. Cette déforestation est à l'origine de l'érosion et de la détérioration du sol. En effet, les eaux prennent ses caractéristiques dans le sol. L'érosion du sol entraîne la sédimentation et la production des embâcles dans les cours d'eaux. La déforestation entraîne également des impacts négatifs sur la qualité de l'eau tels que la réduction des éléments normaux. Non seulement le déboisement fait augmenter les éléments indésirables mais aussi fait apparaître des éléments toxiques dans l'eau. Cette augmentation peut entraîner des effets cancérogènes surtout si sa teneur dépasse la valeur de référence de la norme de potabilité. La disparition de la forêt est à l'origine de l'assèchement des cours d'eaux et des rivières en diminuant le pouvoir d'infiltration des eaux pour les nappes souterraines mais en accélérant le ruissellement des eaux de surfaces. Toutefois, la déforestation augmente le débit de crues.

Mots clés : Ankaratra, eau, qualité, quantité, déforestation, impact

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the impact of deforestation on the quantity and quality of water in Ankaratra new protected area. Deforestation in this area is related to the export of precious woods, poverty and manufacture of charcoal. This deforestation is causing erosion and soil deterioration. Indeed, the water takes its characteristics in the ground. Soil erosion leads sedimentation and production of ice jams in rivers. Deforestation also causes negative impacts on water quality such as reduction of natural elements. Not only deforestation increases the undesirable elements but also showed toxic elements in the water. This increase may cause carcinogenic effects especially if its content exceeds the reference value of the potability standard. The disappearance of the forest is causing the drying up of rivers and streams by reducing water infiltration to groundwater but for accelerating the runoff surfaces. However, deforestation increases the flood flow.

Keywords: Ankaratra, water, quality, quantity, deforestation, impact