

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DE CARTE

LISTE DES ANNEXES

SIGLES ET ABREVIATIONS

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO..... 1

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO..... 1

DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE..... 1

LISTE DES TABLEAUX..... 8

LISTE DES FIGURES..... 11

LISTE DES PHOTOS..... 11

LISTE DES ANNEXES..... 11

SIGLES ET ABREVIATIONS..... 13

INTRODUCTION..... 1

PREMIERE PARTIE: RAPPELS ET GENERALITES..... 3

A- MONOGRAPHIE..... 4

I.- DEFINITION DE LA ZONE D'ETUDE..... 4

II – LES COMPOSANTES DE L'ECOSYSTEME 6

II.1- Humain 6

II.1.1- Santé 8

II.1.2-Education 9

II.1.3-Sécurité 9

II.1.4- Aspects socioculturels..... 10

II.2- Animaux 10

II.3- Eaux du lac et des rivières 11

II.4- Végétaux 11

III– LES ACTIVITES SOCIALES..... 13

III.1- Plans Directeurs d'Urbanisme (P.U.Di.)..... 13

III.2 Plan de développement régional (P.D.R.) 14

LA RÉGION ALAOTRA MANGORO PRÉSENTE UNE CARACTÉRISTIQUE TRÈS SPÉCIFIQUE :..... 14

IV– LES ACTIVITES AGRICOLES 15

V – PROBLEMATIQUES..... 17

Les problématiques suivantes sont liées à la zone d'étude qui est une zone sensible. (PRD, 2004) 17

<i>V.1 Richesses socioculturelles</i>	17
<i>V.2 Infrastructures</i>	17
<i>V.3 Ressources forestières et environnementales</i>	17
<i>V.4 Eaux</i>	18
<i>V.5 Ressources halieutiques</i>	18
<i>V.6 Agriculture</i>	19
<i>V.7 Industries et commerces</i>	19

B- ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES..... 20

I- RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES EAUX.....	20
<i>I.1- Les constituants de l'eau.....</i>	<i>20</i>
I.1.1- Les composés minéraux.....	20
I.1.2- Les composés organiques.....	20
<i>I.2 Description de quelques paramètres de base pour l'eau</i>	<i>21</i>
I.2.1- Salinité.....	21
I.2.2- Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (DBO5).....	21
La DBO5 mesure l'effet des transformations biochimiques, relatives à la plus grande partie des composés carbonés et ne prennent pas en compte la nitrification. On l'exprime en mg/l d'oxygène consommé.....	21
I.2.3- Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	21
I.2.4- Turbidité.....	21
I.2.5- Matières en suspension (M.E.S).....	21
I.2.6- Titre alcalimétrie (TA) et titre alcalimétrie complète (TAC).....	21
<i>I.3- Les pollutions de l'eau.....</i>	<i>22</i>
I.3.1- Les rejets polluants agricoles.....	22
I.3.2- Les eaux usées urbaines.....	22
I.3.3- Les eaux usées domestiques.....	23
I.3.4- Les bactéries.....	23
II- RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES SOLS.....	24
<i>II.1- Caractéristiques physiques des sols.....</i>	<i>25</i>
<i>II.2- Caractéristiques chimiques des sols.....</i>	<i>25</i>
II.2.1- Humus et acides humiques.....	25
II.2.2- Complexe adsorbant.....	26
<i>II.3- Pédologie.....</i>	<i>26</i>
<i>II.4- Géologie.....</i>	<i>27</i>
III- RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES ETUDES ANTERIEURES	27
<i>III.1-Capitalisation des acquis.....</i>	<i>28</i>
<i>III.2-Résultats des études antérieures.....</i>	<i>29</i>
III.2.1- Les eaux	29
III.2.1.1- Méthodologie utilisée.....	29
III.2.1.2- Lieux de prélèvement.....	29
III.2.1.3- Interprétation.....	30
III.2.2- Les sols	31
III.2.2.1- Méthodologie utilisée.....	31
III.2.2.2- Lieu de prélèvement.....	31
III.2.2.3- Interprétation des résultats des analyses de sol.....	31
III.2.3- Les sédiments.....	32
III.2.3.1- Méthodologie utilisée.....	32
III.2.3.2- Lieu de prélèvements.....	32
III.2.3.3- Interprétation des résultats des analyses des sédiments du lac.....	32
Conclusions partielles.....	33

DEUXIEME PARTIE : PARTIE PRATIQUE..... 34

I – INVESTIGATIONS SUR TERRAIN.....	35
<i>I.1- Travaux effectués.....</i>	<i>35</i>
<i>I.2- Méthodes utilisées.....</i>	<i>36</i>
I.1.1- La bathymétrie.....	36
I.1.2- Les eaux.....	36
I.1.3- Le sol et les sédiments.....	37
<i>I.3- Lieux de prélèvement.....</i>	<i>38</i>
<i>II.1- Bathymétrie.....</i>	<i>40</i>
<i>II.2- Les eaux.....</i>	<i>42</i>
II.2.1- Les rivières et fleuves.....	42
II.2.1.1-Résultats des analyses physico-chimiques.....	44
II.2.1.2- Analyse bactériologie du puits d'Andrangorona.....	44
II.2.2- Le lac.....	44
II.2.2.1- Résultats des analyses physico-chimiques	44

II.2.2.2 Résultats des analyses bactériologiques	46
II.3- Le sol.....	46
II.4- Les sédiments du lac.....	47
III – INTERPRETATIONS DES RESULTATS OBTENUS.....	49
III.1- Bathymétrie.....	49
III.2- Les eaux.....	50
III.2.1- Les rivières et fleuves.....	50
III.2.1.1-Interprétations des résultats des analyses physico-chimiques.....	50
III.2.1.2- Interprétation d'analyse bactériologie du puits d'Andrangorona.....	52
III.2.2- Le lac.....	52
III.2.2.1- Résultats des analyses physico-chimiques.....	53
III.2.2.2 Interprétations des résultats des analyses bactériologiques de l'eau du lac.....	54
III.2.3 – Conclusion partielle sur les eaux.....	54
III.3- Le sol d'Ambatomanga.....	54
III.4- Les sédiments du lac.....	55
III.4.1- Paramètre physique	55
III.4.2- Paramètres physico-chimiques.....	55
III.4.3 – Conclusion partielle.....	57
IV- MESURES D'ATTENUATION.....	57
IV.1- Mesures spécifiques.....	57
IV.2- Autres mesures.....	58

TROISIEME PARTIE : PROPOSITION D'ELEMENTS POUR GUIDE D'EVALUATION DES ZONES SENSIBLES D'ECOSYSTEMES LACUSTRES..... 60

A – PROPOSITION D'ELEMENTS POUR UN GUIDE..... 61

I- INTRODUCTION.....	61
II- PLAN GÉNÉRAL DU GUIDE	62
II.1- Présentation de projet lacustre à Madagascar.....	62
Cette partie comprend la partie législation, la situation actuelle d'un lieu donné et les problèmes environnementaux.....	62
II.1.1- Législation	62
II.1.2- Situation actuelle	62
II.1.3- Problèmes environnementaux	63
II.2- Elaboration des termes de référence.....	63
II.3- Exigences pour les projets lacustres.....	63
II.3.1- Description du projet.....	63
II.3.2- Description des composantes de l'environnement	63
II.3.2.1- Zone d'étude	64
II.3.2.2- Identification et évaluation des principaux impacts sur l'environnement	65
II.3.2.3- Mesures d'atténuation d'impacts actuels et probables	66
II.4- Plan de gestion environnementale.....	67

B – ETUDE DE CAS..... 69

I- INTRODUCTION.....	69
II- ETAT DES ATTRIBUTS ENVIRONNEMENTAUX.....	69
II.1- Etudes comparatives.....	69
II.1.1- Les eaux.....	70
II.1.1.1- Comparaison par rapport aux normes.....	70
II.1.1.2- Ecart des valeurs.....	70
II.1.2- Les sols.....	71
II.1.3- Les sédiments.....	71
II.2- Perspective d'avenir.....	71
II.3- Recommandations.....	72
III- RESULTATS ATTENDUS.....	73
IV- CRITERES D'EVALUATION.....	74

CONCLUSIONS GENERALES..... 75

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	77
SITES WEB CONSULTÉS.....	79

ANNEXES..... 80

<u>PREPARATION D'ECHANTILLON.....</u>	<u>94</u>
<u>ACIDITE.....</u>	<u>95</u>
<u>GRANULOMETRIE.....</u>	<u>95</u>
<u>BASES ECHANGEABLES.....</u>	<u>96</u>
<u>MATIERES ORGANIQUES.....</u>	<u>96</u>
<u>AZOTE.....</u>	<u>97</u>
<u>PHOSPHORE ASSIMILABLE.....</u>	<u>98</u>
Les nitrates-nitrites.....	99
La présence de nitrates-nitrites dans mon eau.....	99
<u>RESUME.....</u>	<u>116</u>
<u>SUMMARY.....</u>	<u>116</u>

LISTE DES TABLEAUX

PHOTO 1 : LOCALISATION AVEC COORDONNÉES GPS.....	5
TABLEAU 1: ACTIVITÉS PROFESSIONNELLES DU CHEF DE MÉNAGE.....	7
TABLEAU 1: PARTICIPATION DES MÉNAGES PAR SEXE :.....	7
TABLEAU 1: PARTICIPATION DES MÉNAGES PAR SEXE :.....	7
TABLEAU 2: SITUATION VIS-À-VIS DE L'EMPLOI.....	7
TABLEAU 2: SITUATION VIS-À-VIS DE L'EMPLOI.....	7
TABLEAU 4: NOMBRE DE MÉNAGES	7
TABLEAU 5: ETABLISSEMENTS SANITAIRES PUBLICS.....	8
TABLEAU 3: ETABLISSEMENTS SANITAIRES PRIVÉS.....	8
TABLEAU 3: ETABLISSEMENTS SANITAIRES PRIVÉS.....	8
TABLEAU 7: LES PATHOLOGIES DOMINANTES.....	8
TABLEAU 4: TAUX DE PRÉVALENCE DES IST/SIDA.....	8
TABLEAU 4: TAUX DE PRÉVALENCE DES IST/SIDA.....	8
TABLEAU 5: EFFECTIF ÉLÈVES, PERSONNEL ENSEIGNANT ET INFRASTRUCTURES SCOLAIRES DU NIVEAU I.....	9
TABLEAU 5: EFFECTIF ÉLÈVES, PERSONNEL ENSEIGNANT ET INFRASTRUCTURES SCOLAIRES DU NIVEAU I.....	9
TABLEAU 60: PRODUCTION ANNUELLE DES CHEPTELS.....	10
TABLEAU 60: PRODUCTION ANNUELLE DES CHEPTELS.....	10
TABLEAU 7: LES AIRES PROTÉGÉES DE LA RÉGION ALAOTRA-MANGORO.....	12
TABLEAU 7: LES AIRES PROTÉGÉES DE LA RÉGION ALAOTRA-MANGORO.....	12
TABLEAU 8: RIZICULTURE.....	16
TABLEAU 8: RIZICULTURE.....	16

TABLEAU 9: AUTRES CULTURES VIVRIÈRES.....	16
TABLEAU 9: AUTRES CULTURES VIVRIÈRES.....	16
PHOTO 3 : HAPALÉMUR GRISEUS ALAOTRENSIS (BANDRO).....	18
SOURCE : PRD AMBATONDRAZAKA.....	18
TABLEAU 14: CALCUL DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES.....	22
TABLEAU 15: RAPPORT EN C/N.....	25
TABLEAU 16: PÉDOLOGIE.....	27
TABLEAU 17: RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS ANTÉRIEURS....	29
PHOTO 4 : PRISE D'ÉCHANTILLON D'EAU DE PUIITS.....	37
PHOTO 5 : PRÉLÈVEMENT DE SÉDIMENTS DU 38	38
LAC À L'AIDE D'UN CAROTTIER.....	38
PHOTO 6 : MISE EN EMBALLAGE D'UN ÉCHANTILLON DE SÉDIMENT.....	38
PHOTO 7 : PHOTO AÉRIENNE DU LAC.....	39
FIGURE 1 : SCHÉMA MONTRANT LA VISUALISATION DU BALAYAGE DE 100 M SUIVANT LA LONGUEUR ET DE 10M SUIVANT LA LARGEUR (CÔTÉ EST).....	40
FIGURE 2: BATHYMÉTRIE SOUS DIFFÉRENTS ANGLES DE VUE..	41
FIGURE 3 : ORIENTATION NORMALE.....	42
PHOTO 8 : LE PUIITS SE TROUVE AU MILIEU DE LA RIVIÈRE D'ANDRANGORONA.....	43
PHOTO 9 : RIVIÈRE D'ANONY.....	43
PHOTO 10 : FLEUVE DE MANINGORY.....	43
TABLEAU 18: RÉCAPITULATION DES RÉSULTATS D'ANALYSE D'EAUX DE RIVIÈRES ET DE FLEUVES.....	44
TABLEAU 19: GERMES STANDARD DANS L'EAU	44
TABLEAU 20: RÉSULTATS D'ANALYSE D'EAU.....	45
TABLEAU 21: GERMES TROUVÉS DANS L'EAU ANALYSÉE.....	46

TABLEAU 22: ANALYSES PÉDOLOGIQUE.....	46
TABLEAU 23: RÉCAPITULATION DES RÉSULTATS D'ANALYSE... 48	48
TABLEAU 24: POURCENTAGE SUIVANT LA PROFONDEUR DU LAC	49
TABLEAU 25: CONCENTRATIONS DES ESPÈCES CHIMIQUES ALCALINO-TERREUX ET ALCALINES.....	51
TABLEAU 26: CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DE L'EAU DU LAC	53
TABLEAU 27: STRUCTURE DES SÉDIMENTS DU LAC.....	55
TABLEAU 28: MESURES SPÉCIFIQUES.....	57
TABLEAU 29: IDENTIFICATION DES PRINCIPALES COMPOSANTES DE L'ENVIRONNEMENT POTENTIELLEMENT AFFECTÉES LORS DE LA RÉALISATION DES ACTIVITÉS D'UN PROJET LACUSTRE.....	65
TABLEAU 30: IMPACTS PROBABLES SUR LES ÉCOSYSTÈMES..	65
TABLEAU 31 : MESURES D'ATTÉNUATION PROPOSÉES POUR LES MILIEUX RÉCEPTEURS.....	66
PHOTO 11 : VÉGÉTATION AU MILIEU DU LAC.....	72
PHOTO 13 : « LAVAKA » SUR LE BASSIN VERSANT DE LA COTE EST DU LAC (AMBATOMANGA).....	73

LISTE DES FIGURES

FIGURE	TITRE
1	Schéma montrant la visualisation du balayage de 100 m suivant la longueur et de 10m suivant la largeur
2	Bathymétrie sous différents angles de vue
3	Orientation normale

LISTE DES PHOTOS

PHOTO	TITRE
1	Localisation avec coordonnées GPS
2	Plaines rizicoles de l'Alaotra, rive ouest
3	<i>Hapalémur griseus alaotrensis</i> (bandro)
4	Prise d'échantillon d'eau de puits
5	Prélèvement de sédiments du lac à l'aide d'un carottier
6	Mise en emballage d'un échantillon de sédiment
7	Photo aérienne du lac
8	Le puits se trouve au milieu de la rivière d'Andrangorona
9	Rivière d'Anony (Vue en amont)
10	Fleuve de Maningory
11	Végétation au milieu du lac
12	Végétation à la rive Est du lac
13	« Lavaka » sur le bassin versant de la cote Est du lac (Ambatomanga)

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I Climatologie.
I 1 Climats d'Ambatondrazaka

I 2 Carte bioclimatique de Madagascar

- ANNEXE II Site RAMSAR
- ANNEXE III Triangle de texture.
- ANNEXE IV Carte pédologique
- ANNEXE V Carte géologique
- ANNEXE VI Normes
 - VI.1- Eaux.
 - VI.2- Sols.
- ANNEXE VII Méthodes des analyses
 - VII.1- Eaux.
 - VII.2- Sols
- ANNEXE VIII Nitrates et nitrites.
- ANNEXE IX Carte thématique
- ANNEXE X Zonage simple
- ANNEXE XI Données bathymétriques

SIGLES ET ABBREVIATIONS

ANAE	Association Nationale d'Actions Environnementale.
BVLAC	Bassin Versant de Lac Alaotra
CALA	Complexe Agricole de Lac Alaotra
C.E	Conductivité électrique
C.E.C	Capacité d'échange cationique
CHD	Centre Hospitalier de District
CHR	Centre Hospitalier de Référence
CIREEF	Circonscription de l'Environnement, des Eaux et Forêts
CISCO	Circonscription Scolaire
CMS	Centre Multiplicateur de Semences
CORDAL	Comité Régional de Développement de l'Alaotra
CSB	Centre de Santé de Base
DBO	Demande Biochimique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DRDR	Direction Régionale de Développement Rural
DSRP	Document Stratégique pour la Réduction de la Pauvreté.
FOFIFA	Foibe Fikarohana momba ny Fambolena
FTM	Foiben-Taosarintanin'I Madagasikara
INSTAT	Institut National de la Statistique
JICA	Japan International Corporation Agence
JIRAMA	Jiro sy Rano Malagasy
M.O	Matière organique
NPK	Azote Phosphore Potassium
ONE	Office National pour l'Environnement
ONG	Organisation Non Gouvernementale
OPCI	Organisme Public de Coopération Inter-Communale
PCD	Plan Communale de Développement
PDU	Plans Directeurs d'Urbanisme
PRD	Plan Régional de Développement
PSDR	Projet de Soutien pour le Développement Rural.
SOMALAC	Société Malgache d'Aménagement du Lac Alaotra
SSD	Service de Santé de District
TA	Titre Alcalimétrie
TAC	Titre Alcalimétrie Complet

VIH/SIDA

Virus de l'Immuno Déficience Humaine/Syndrome de l'Immuno Déficience Acquis

INTRODUCTION

a) *Contexte et justification*

En référence à la Déclaration de DURBAN, la superficie des aires protégées devrait être triplée, soit portée à environ six millions d'hectares d'ici quelques années. Actuellement, l'on n'en compte encore que 1 700 000 hectares, ce qui nous oblige à adopter environ 4 300 000 hectares de plus. Les milieux touchés par une telle démarche peuvent être de diverses natures : les zones sensibles définies par l'Arrêté 4355/97 du 13 mai 1997 en font partie.

Pour certains milieux, des démarches ont déjà été définies et adoptées, pour d'autres, des directives restent encore à élaborer : les écosystèmes lacustres font partie de ce deuxième lot et c'est la principale raison qui sous-tend cette étude. Ainsi, nous nous proposons d'étudier des éléments pour un Guide d'évaluation des zones sensibles lacustres en prenant le cas du lac Alaotra comme exemple.

Sur ce point de vue particulier, l'Office National pour l'Environnement suit la situation nationale et répond aux besoins du public en matière de conservation et d'évaluation de l'environnement. Comme cet organisme est actuellement en train d'élaborer un guide d'évaluation des zones sensibles constituées par des écosystèmes lacustres, les résultats de notre étude qui s'intitule « **Contribution à l'étude d'éléments pour un guide d'évaluation des zones sensibles : cas de l'écosystème lacustre du lac Alaotra** » constitueront notre contribution.

b) *Choix du site d'étude*

Les zones humides d'Alaotra sont caractérisées par le vaste lac continental « Alaotra » autour duquel s'étendent près de 23 500 ha de marais. Elles abritent des espèces endémiques totales telles que *Hapalemur griseus alaotrensis* (lémurien) gravement menacées selon (UICN/CSBG, 2001), *Aythya innotata* (oiseau d'eau très rare) gravement menacé d'après (UICN, 2000), de plus il y en a d'autres espèces endémiques de Madagascar dont 5 espèces de poissons. Les rizières représentent plus de 117 000ha dans le bassin d'Alaotra, faisant de cette zone le premier grenier à riz de Madagascar.

De multiples activités anthropiques comme le défrichement, la chasse excessive, l'irresponsabilité, ... couplées avec l'inconscience sur les impacts de ces dernières sur l'état de son environnement, menacent le devenir de telles zones sensibles à Madagascar. Les impacts de certains phénomènes naturels viennent aussi s'y ajouter.

A ce titre, mentionnons que la région de l'Alaotra est très sujette à des phénomènes d'érosion, avec, de surcroît, de fortes pentes souvent supérieures à 45% qui couvrent environ 51% environ de sa superficie totale. Les pertes en sol sont estimées à 2 à 15 tonnes

par hectare par an. Il s'ensuit un envasement des barrages en aval, un ensablement des rizières situées en aval du bassin versant et une réduction des superficies cultivées au niveau des bas fonds qui sont déjà étroits (**Équipe Bassins versants, 2000**)

En général, un lac est une cuvette qui se localise dans la partie la plus basse d'une zone donnée, ainsi joue-t-il aussi le rôle de bassin de rétention d'eau. Tous les effluents liquides, eaux de pluie et eaux de ruissellement, y sont captés. Par ailleurs, des déchets solides non classés pourraient y arriver pour "comblent" le lac si des mesures ne sont pas prises. Tous ces faits (non limitatifs) justifient une évaluation préliminaire.

c) Plan global de l'étude

Rappelons que les présents travaux de recherche constituent la première étude réalisée dans le cadre de la proposition du guide d'évaluation des écosystèmes lacustres sus mentionnée. Pour ce faire, la démarche globale adoptée a été la suivante :

Tout d'abord, il s'agira de connaître la zone d'étude en précisant ses potentialités ainsi que ses problématiques. A cet effet, des rappels bibliographiques concernant l'état de lieux s'imposent pour bien comprendre les bases.

Par la suite, des investigations sur terrain seront menées. L'interprétation des résultats obtenus permettra de proposer des recommandations et/ou des solutions. Celles-ci seront intégrées dans une base de données qui servira à l'élaboration d'une proposition de guide d'évaluation d'écosystèmes lacustres.

En résumé, ce travail comportera donc trois parties :

- La première partie portera sur des rappels et généralités sur la zone étude.
- La deuxième partie se concentrera sur des études relatives à des éléments des écosystèmes lacustres tels que les eaux, le sol et les sédiments.
- Dans la troisième partie, une proposition d'éléments pour un Guide d'évaluation des zones sensibles d'écosystèmes lacustres sera développée avant de l'appliquer sur le cas du lac Alaotra afin de tester sa suffisance et sa pertinence.

PREMIERE PARTIE: RAPPELS ET GENERALITES

A- MONOGRAPHIE

La monographie de la zone d'étude permet de présenter ses caractéristiques et l'état des lieux. Elle donne les informations de base nécessaires à une bonne compréhension de l'étude.

I. DEFINITION DE LA ZONE D'ETUDE

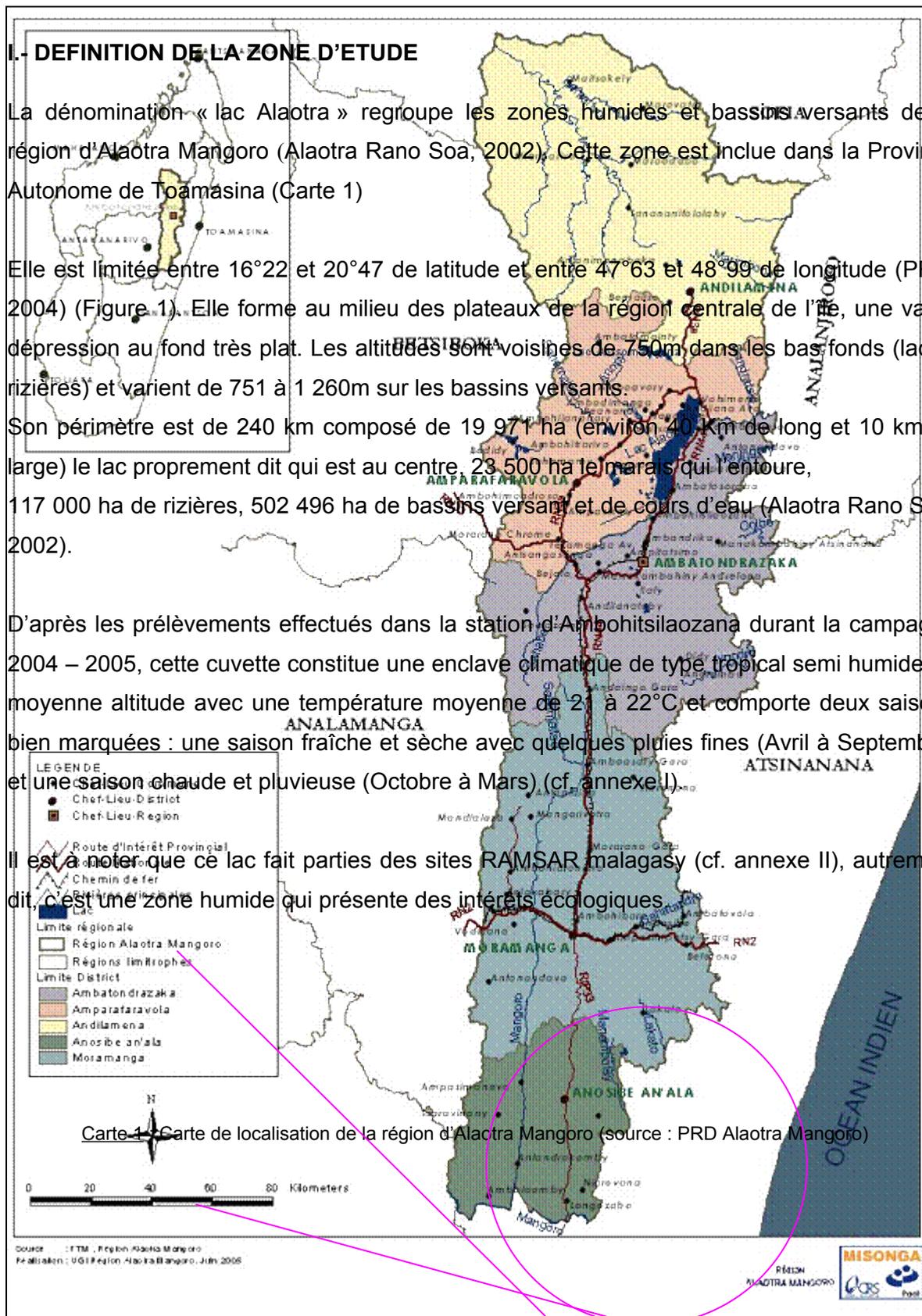
La dénomination « lac Alaotra » regroupe les zones humides et bassins versants de la région d'Alaotra Mangoro (Alaotra Rano Soa, 2002). Cette zone est incluse dans la Province Autonome de Toamasina (Carte 1)

Elle est limitée entre 16°22' et 20°47' de latitude et entre 47°63' et 48°99' de longitude (PRD, 2004) (Figure 1). Elle forme au milieu des plateaux de la région centrale de l'île, une vaste dépression au fond très plat. Les altitudes sont voisines de 750m dans les bas fonds (lac et rizières) et varient de 751 à 1 260m sur les bassins versants.

Son périmètre est de 240 km composé de 19 971 ha (environ 40 km de long et 10 km de large) le lac proprement dit qui est au centre, 23 500 ha de marais qui l'entoure, 117 000 ha de rizières, 502 496 ha de bassins versants et de cours d'eau (Alaotra Rano Soa, 2002).

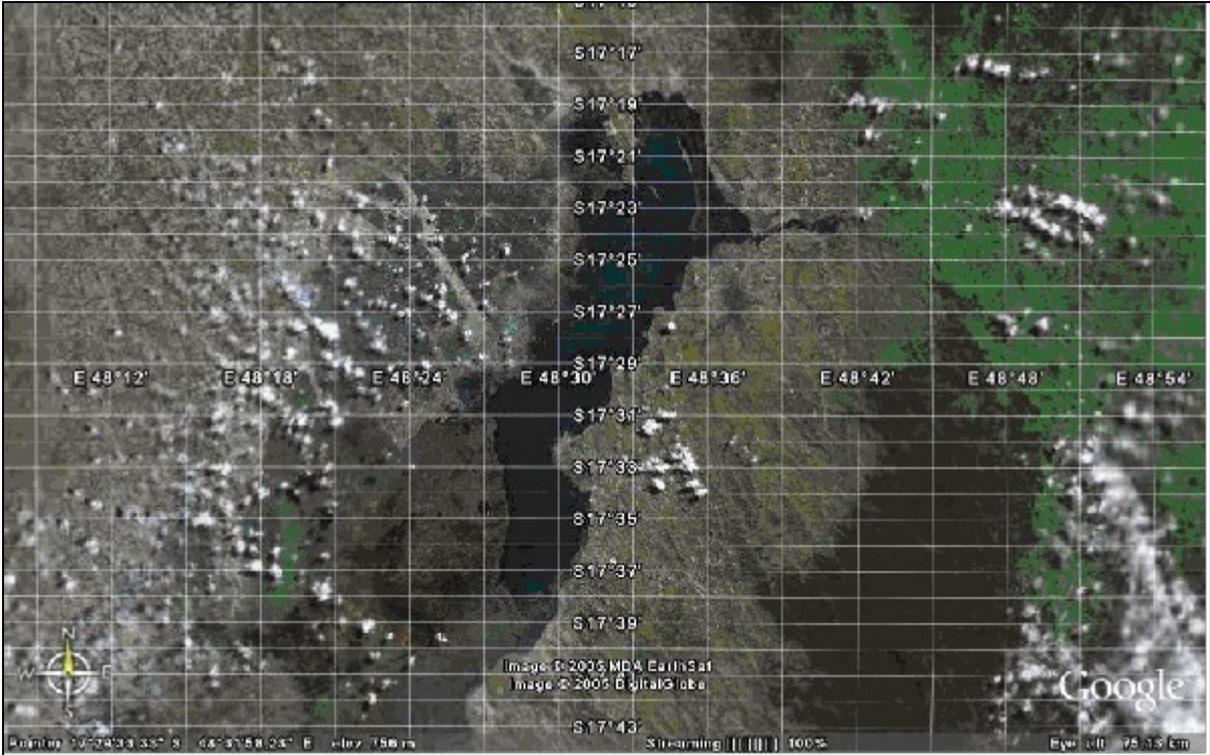
D'après les prélèvements effectués dans la station d'Ambohitsilaozana durant la campagne 2004 – 2005, cette cuvette constitue une enclave climatique de type tropical semi humide de moyenne altitude avec une température moyenne de 21 à 22°C et comporte deux saisons bien marquées : une saison fraîche et sèche avec quelques pluies fines (Avril à Septembre) et une saison chaude et pluvieuse (Octobre à Mars) (cf. annexe I).

Il est à noter que ce lac fait parties des sites RAMSAR malagasy (cf. annexe II), autrement dit, c'est une zone humide qui présente des intérêts écologiques.



Carte 1 - Carte de localisation de la région d'Alaotra Mangoro (source : PRD Alaotra Mangoro)

Le terrain d'étude est localisé sur la photo aérienne ci-dessous :



Source : Image © 2005 MDA Earth Sat, Image © 2005 Digital Globe

Photo 1 : Localisation avec coordonnées GPS.

II – LES COMPOSANTES DE L'ECOSYSTEME

Elles sont composées des humains, des animaux, des eaux et des végétaux.(cf. annexe IX)

II.1- Humain

Selon les dernières données du recensement général de la population et de l'habitat (RGPH), les régions recensées par la direction régionale de développement rural (DRDR) d'Ambatondrazaka comptent 1 003 944 habitants dans une superficie de 45 048 km² qui donne une densité de 22,29 hab/km². Elle possède une population en majorité jeune. Plus de la moitié sont classées dans la catégorie « active ». 47% sont inférieures à 14 ans

Dans l'Alaotra, les Sihanaka constituent la majorité de la population, les Merina suivent de très loin et les Betsimisaraka en troisième position, avant les Betsileo et les Antandroy.

La Région étant essentiellement agricole, 15% de la population vivent urbaine tandis que 85% sont en milieu rural (PRD, 2004)

Dans la zone d'étude, comme partout ailleurs à Madagascar, les populations ont tendance à s'installer aux alentours des grandes unités de production tels les plaines agricoles, les lacs, les grands axes de communication (RN 2 et RN 44) et les zones périphériques du corridor forestier.

Les activités principales de la population sont par ordre d'importance la riziculture, l'élevage, l'exploitation forestière et la pêche. Il faut cependant remarquer que pour subvenir à leurs besoins surtout pendant la période de soudure, la majeure partie des ménages pratique de petites activités commerciales. (MAEP, 2002). Elles sont données dans les tableaux suivants.

Tableau 1: Activités professionnelles du chef de ménage

	MEO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	30 925	46	85	808	579	366	1 452	23 409	1 480	535	2 028	141
2	28 284	30	55	497	240	141	935	23 829	1 339	385	715	118

Source : Monographie d'Ambatondrazaka 2004

1 : Ambatondrazaka ; 2 : Amparafaravola ; MEO : Ménages occupées ; A : Forces armées ; B : Membres de l'exécutif et de corps législatifs, cadres supérieurs de l'administration publique dirigeants et cadres supérieurs ; C : Professions intellectuelles et scientifiques ; D : professions intermédiaires ; E : Employés de type administratif ; F : Personnel des services et vendeurs de magasin et au marché ; G : Agriculteurs et ouvriers de type artisanal de marché ; H : Artisans et ouvriers des métiers de type artisanal de marché ; I : Conducteurs d'installation ; J : Ouvriers et employés non qualifiés d'entreprises ; K : Non déterminé.

Tableau 1: Participation des ménages par sexe :

Lieu	% Hommes	% Femmes	Nombre de ménages
Ambatondrazaka	79,49	20,54	34 910
Amparafaravola	82,71	17,29	30 746

Source : Monographie d'Ambatondrazaka 2004

Tableau 2: Situation vis-à-vis de l'emploi

Lieu	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Ambatondrazaka	30 925	478	289	1 507	46	493	504	686	271
Amparafaravola	28 284	416	164	1 017	11	166	284	169	395

Source : Monographie d'Ambatondrazaka 2004

A : Occupé ; B : Chômeur ; C : 1^{ère} emploi ; D : Ménagère ; E : Etudiant ; F : Retraité ; G : Incapacité ; H : Autre ; I : Non déterminé.

Tableau 4: Nombre de ménages

	Total population	Nombre de ménages	Nombre de personnes par ménage.
Ambatondrazaka	184 784	34 910	5,3
Amparafaravola	163 852	30 746	5,3

Source : Monographie d'Ambatondrazaka 2004

Taille moyenne des ménages : 5,22

Taille moyenne national en milieu urbain : 4,5

Taille moyenne national en milieu rural : 7,7.

II.1.1- Santé

La situation des centres sanitaires pour la zone d'étude est résumée dans les tableaux ci-après :

Tableau 5: Etablissements sanitaires publics

District	CSB1	CSB 2	CHD 1	CHD 2	TOTAL
Ambatondrazaka	22	20	-	1	43
Amparafaravola	11	13	1		25

Source : Monographies par Districts 2004

LES CSB 2 SONT PLUS NOMBREUX QUE LES CSB 1. LES CHD SONT IMPLANTÉS AU NIVEAU DES CHEFS LIEUX DE DISTRICT.

Les infrastructures privées ne représentent que 15% des établissements sanitaires dans l'ensemble de la Région.

Tableau 3: Etablissements sanitaires privés

District	CSB 1	CSB 2	CHD 1	CHD2	TOTAL
Ambatondrazaka	4	7	1	0	12
Amparafaravola	2	2	0	0	4

Source : Monographies par Districts 2004, Zone de planification 2004 (SSD Ambatondrazaka et Moramanga)

CSB = Centre de Santé de Base ; CHD = Centre Hospitalier de District ; CHR = Centre Hospitalier de Référence

En moyenne, la Région Alaotra-Mangoro possède 1 médecin pour 8 450 habitants. Les pathologies dominantes sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau 7: Les pathologies dominantes

District	Fièvre	IRA*	Diarrhées	Infection cutanée	Affection bucco-dentaire
Ambatondrazaka	66 945	41 911	11 351	6 865	5 951
Amparafaravola	34 056	19 229	4 670	3 562	2 749

Source : Monographies par Districts 2004, Zone de planification 2004 (SSD Ambatondrazaka et Moramanga)

*IRA : Infection Respiratoire Aiguë

Tableau 4: Taux de prévalence des IST/SIDA

Lieu	Nombre de cas d'IST/SIDA	Nombre de la	Taux de prévalence des
------	--------------------------	--------------	------------------------

	écoulements génitaux	population	IST/SIDA (%)
Ambatondrazaka	1 297	380 211	0.34
Amparafaravola	525	293 282	0.17

Source : Sous-programme prise en charge du programme IST/SIDA (2004)

II.1.2-Education

Le taux net de scolarisation pour le primaire en 2004 est de 82%. Plus de 15% des enfants de 6 à 14 ans ne sont pas scolarisés (surtout au niveau des zones enclavées). A signaler également le cas des écoles dans les zones très enclavées et où ce ratio peut atteindre la valeur de 70 à 100 élèves par enseignant, (un enseignant doit assurer plusieurs classes le cas échéant).

Tableau 5: Effectif élèves, personnel enseignant et infrastructures scolaires du Niveau I

Districts	Nombre établissements		Effectif scolarisé		Nombre instituteurs	
	Public	Privé	Public	Privé	Public	Privé
Ambatondrazaka	212	35	40 738	7 560	794	196
Amparafaravola	216	39	40 393	5 262	926	202

Source : CISCO, Monographie des Districts, Zone de planification 2004, (Année scolaire 2003 – 2004)

II.1.3-Sécurité

Les services de sécurité sont nécessaires en raison des phénomènes de banditisme en zone d'élevage et en zone forestière, surtout lorsqu'il y a enclavement et manque de communication. Elles sont sous les responsabilités de la police, de la gendarmerie et de l'armée.

La police communale existe au niveau des communes rurales et se fait aider par les quartiers mobiles. Des postes avancés en plus petite échelle sont éparpillés dans les communes rurales surtout dans l'Alaotra. Le phénomène de « dahalo » est très marqué sur les marges occidentales d'Amparafaravola.

Des brigades mixtes de gendarmes et des militaires sont alors composées et mobilisées dans le cadre des « opérations » de ratissage menées sous l'égide du service de la Défense.

II.1.4- Aspects socioculturels

Elles comprennent :

- Identité culturelle : us et coutumes, sites sacrés

En matière de stèles et divers « vatolahy », la région en est riche à commencer par Ambatondrazaka où la pierre de Razaka existe effectivement à un emplacement, précis. En fonction de la localisation, de la forme et de l'inclinaison, ces pierres érigées transmettent des messages ou revêtent des significations. Ainsi, l'on distingue trois sortes de « vatolahy » :

- Le « vato firarazana » destiné aux remerciements.
- Le « vato firazanana » obligatoirement recouvert de linge blanc, en mémoire d'un défunt dont le corps n'a pas été retrouvé.
- Le « vatom-piraketana » qui est intouchable. On en compte six variétés : « mpifehy », « rangolahy », « tsangam-bato », « vato hosina », « vato tatao » et « vato hasana » (pierre plate déposé sur trois grand « toko »)

- Valeur morale : respect des interdits

Le respect le plus notoire concerne les « jours fady » et autres tabous qui peuvent entraver les actions de développement. Par exemple, trois jours de la semaine sont interdits pour travailler la terre : mardi, jeudi et dimanche.

II.2- Animaux

L'effectif du cheptel par spéculation en termes d'élevage est résumé dans le tableau suivant : (MPE, 2003)

Tableau 60: Production annuelle des cheptels

District	Bovin	Porcin	Ovin/Caprin	Volaille
Ambatondrazaka	79 741	11 153	7 317	299 635
Amparafaravola	72 848	2 181	625	233 215
Total	152.589	13.334	7.942	532.850

Source : Rapport annuel Circonscription d'élevage 2003 - PCD

Les volailles sont constituées essentiellement par les oies. L'élevage bovin se pratique surtout du côté d'Amparafaravola. Le nombre considérable du cheptel bovin dans le district d'Ambatondrazaka s'explique par le fait que même si l'élevage bovin n'est pas une activité à part comme dans le district d'Amparafaravola, presque chaque famille rurale dispose de

quelques têtes de zébus pour des fins agricoles : traits, fumier, piétinage des rizières, moisson

A part les données sur les effectifs de cheptel, la filière pêche a de grande importance car elle influe directement le lac Alaotra.

Les statistiques de prises en 2004 nous révèlent que la production localement a atteint 63 750 kg toutes espèces confondues. 3 espèces prédominent dont la moitié est représentée par les tilapia :

- Tilapia: 304 480 kg
- Cyprin doré: 118 210 kg
- Carpe: 112 365 kg

II.3- Eaux du lac et des rivières

En période des basses eaux, la profondeur du lac est environ de 1,70m au bord et environ de 2,40m au milieu (mois d'Août 2005). Il serait environ de 4m de profondeur à la saison de pluie.

Les ressources en eau les plus importants sont :

- Sahabe : une des principaux tributaires du lac Alaotra, elle se prolonge dans le lac par un chenal de 3 kilomètres, constituant une voie d'eau pour les pirogues des pêcheurs.
- Sahasomanga : cette rivière trouve son importance dans l'irrigation de quelques 4 000 hectares de rizières.
- Maningory : sur la limite Nord de la sous-préfecture, c'est le seul exutoire du lac qui se jette dans l'Océan Indien.

II.4- Végétaux

Sur les caractéristiques écologiques, il est à noter que (cf. annexe X):

- Les collines et bassins versants servent pour les pâturages, la zone de reboisement (*Aristida rufescens* et *Heteropogon sp*) Les bassins versants sont dominés par des *Aristides rufescens*.et *Heteropogon sp*.
- Les bas fonds sont couverts par des herbes *Cynodon dactylon* «Rapanitra ». Les prairies marécageuses (dominés par les plantes herbacées et des plantes naines) hébergent les avifaunes sauvages.
- Les étangs présentent beaucoup d'espèces floristiques telles que le *Cyperus madagascariensis* « zozoro », *Phragmites communis* « Bararata », *Aegyrea vahibora* « Vahankelana », *Cyperus latifolius* « Vendrana », *Polygonum glabrum* « Tamboloana », *Echinochloa crusgalli* « Vilona », *Typhonodorum lindleyanum* « Via » et *Leersia hexandra* « Karangy ».
- La forêt dense ombrophile occupe une surface notable sur les bordures orientales de la zone. Sa limite régresse régulièrement à la suite des abattages et brûlis, laissant place à la « savoka ». (Alaotra Rano Soa, 2002).

Quant aux aires protégées environnantes, on peut les résumer à l'aide du tableau suivant :

Tableau 7: Les Aires Protégées de la Région Alaotra-Mangoro

Catégorie	Nom	Superficie (Ha)	District
Réserve Naturelle Intégrale	Zahamena	24 398	Ambatondrazaka et Vavatenina
Réserve Spéciale	Analamazaotra	1 180	Moramanga
	Gîte Fanihy Analoa	753	Moramanga
Parc National	Zahamena	41 402	Ambatondrazaka et Vavatenina
	Mantadia	10 000	Moramanga
Réserve Forestière	Vohimena	99	Ambatondrazaka
	Sandrangato	49 900	Moramanga
	Fierenana	63 790	Moramanga
Forêt classée	Ambohilero	129 656	Ambatondrazaka
Sites RAMSAR	Lac Alaotra	20 000	Ambatondrazaka et Amparafaravola
	Torotorofotsy	8 500	Moramanga
Région		349 678	

Source : ANGAP (Association Nationale pour la Gestion des Aires Protégées), 2004

Andasibe et Zahamena disposent d'infrastructures d'accueil de renommée internationale pour les touristes. Des circuits, des activités et des guides sont opérationnels et disponibles pour servir les visiteurs.

III- LES ACTIVITES SOCIALES

Elles sont composées du plan directeur d'urbanisme et du plan de développement régional.

III.1- Plans Directeurs d'Urbanisme (P.U.Di.)

Voici quelques informations sur le PDU (2000-2005) financé par le Ministère de l'Aménagement de Territoire:

- Nettoyage de la ville
- Gérance de l'infrastructure et autres :
 - Création de 20 bacs à ordures pour 35 m³ par jour d'ordures ménagères en période sèche et 60 m³ par jour d'ordures ménagères en période de pluie (en 2003)
 - Marché du quartier (Ambohimasina et Antanifotsy) (en 2004)
 - Poissonnerie (en 2004).
 - 4 Blocs sanitaires : WC et douche (en 2004).
 - Tracteur et 2 remorques Bennes (en 2003)
 - Réhabilitation de la rue : avenue vers la gare (1,200 km) (en 2003)
 - Réhabilitation du jardin de la ville (terrain de foot...) (en 2005)
- Elaboration du Plan Directeur d'Urbanisme de 2005 à 2025

III.2 Plan de développement régional (P.D.R.)

La Région Alaotra Mangoro présente une caractéristique très spécifique :

- c'est une Région à hautes potentialités agricoles, notamment rizicole, mais qui se heurte à des contraintes majeures de mise en valeur de ses ressources,
- c'est une Région très riche en ressources naturelles forêts, plans d'eau, mines, etc.

La vision du Développement est «ALAOTRA MANGORO EXPORTATRICE DE RIZ ET BERCEAU DE LA NATURE » Elle s'intègre dans la vision nationale «MADAGASCAR NATURELLEMENT » et constitue l'idée directrice du plan de développement, de ses axes stratégiques et axes transversaux. L'objectif principal est de faire de la Région une référence en matière de développement équilibré, rapide et durable en ciblant le bien-être de la population tout en préservant l'environnement.

Ce PRD est basé sur les trois axes stratégiques du DSRP, à savoir :

- restaurer un Etat de droit et une bonne gouvernance,
- susciter et promouvoir une croissance à base sociale élargie de la région,
- susciter et promouvoir des systèmes de sécurisation humaine, matérielle et de protection élargie.

Et deux axes transversaux qui, consistent principalement à l'amélioration du niveau de vie de la population sont :

- la conservation et la gestion rationnelle de l'environnement
- la mise en œuvre des programmes gouvernementaux

Enfin, l'immensité de la Région et la disparité des caractéristiques socio-économiques des communes ont motivé le choix de

- 4 pôles de développement économique (Ambatondrazaka – Vohidiala, Tanambe – Ambatomainty, Moramanga, Sabotsy Anjiro)
- 5 pôles de développement social (Toutes les communes à l'Est du Lac, Didy, Soalazaina, Tanambao Besakay dans le District d'Ambatondrazaka ; Ranomainty dans le District d'Amparafaravola ; Beparasy, Vodiriana, Lakato, Fierenana dans le District de Moramanga ; Toutes les Communes du District d'Andilamena ; Toutes les Communes du District d'Anosibe An'Ala).

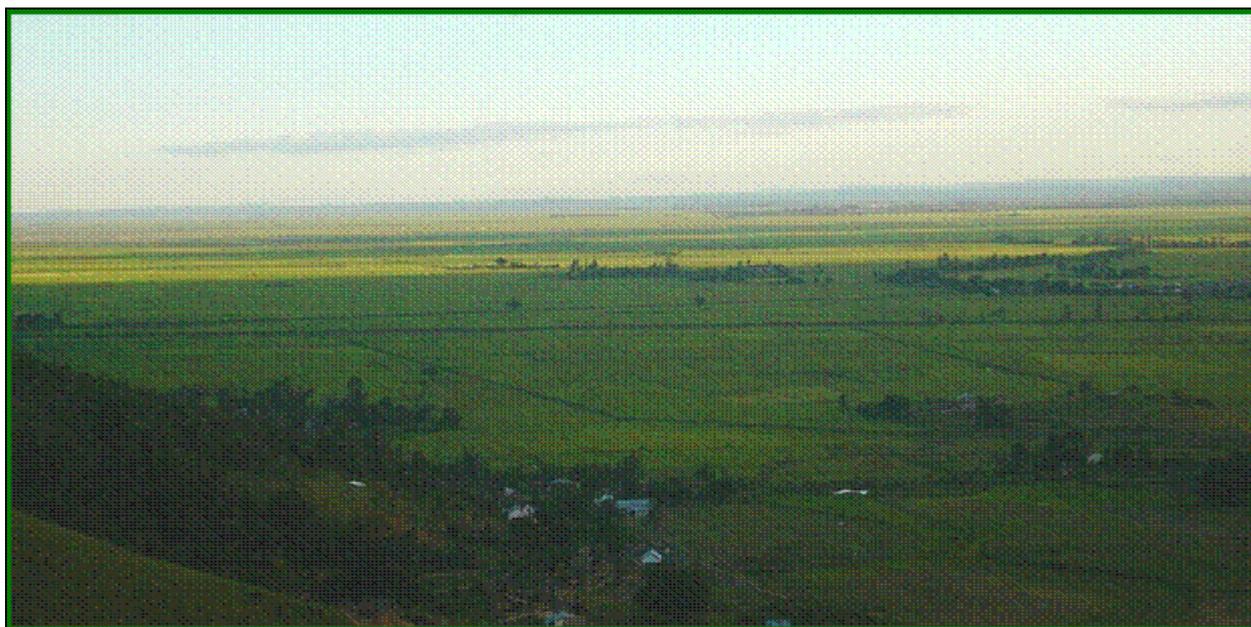
IV– LES ACTIVITES AGRICOLES

En 2004-2005, la distribution des semences du riz et de NPK se fait au DRDR d'Ambatondrazaka soutenue par les neuf ONG telles que :KAIZEN, MAITSO AHITRA, ONG AKAMA , ANAE ALAOTRA, ESSAGRI, ONG HO AVY SOA, SAF AMPARAFANA, SAF AMBATO, GAD.

26 Communes étaient privilégiées dont 241 groupements. 2 702,59 ha est la superficie occupée ; 623,875 tonnes de NPK et de 162,1554 tonnes de semences de riz étaient distribuées. (DRDR, 2005)

Le remboursement des engrais VOUCHER est assuré soit par les FIVONDRONANA, soit par les ONG, soit par les agriculteurs. (DRDR, 2004).

En 2005, le rendement de la production en riziculture d'Alaotra Mangoro est de 3 à 4 tonnes par hectare.



Source : PRD Ambatondrazaka

Photo 2 : Plaines rizicoles de l'Alaotra, rive ouest

Tableau 8: Riziculture

	Tanimbary			Tanety		
	Surfaces cultivées en ha	Surfaces productives en ha	Productions en tonne	Surfaces cultivées en ha	Surfaces productives en ha	Productions en tonnes
Ambatondrazaka	32 026	29 789	95 256	1 995		4 588
Amparafaravola	53 711	48 711	202 757	3 000		8 400

Source : Enquêtes menées auprès du ministère de l'agriculture

Tableau 9: Autres cultures vivrières

	MAIS		ARACHIDE		MANIOC		HARICOT	
	Surfaces cultivées en ha	Productions en tonne	Surfaces cultivées en ha	Productions en tonne	Surfaces cultivées en ha	Productions en tonne	Surfaces cultivées en ha	Productions en tonne
Amparafaravola	3 006	5 927	920	1 472	2 338	26 110	641	927
Ambatondrazaka	1 580	2 690	1 193	1 760	1 800	20 760	454	520

Source : Enquêtes menées auprès du ministère de l'agriculture

V – PROBLEMATIQUES

Les problématiques suivantes sont liées à la zone d'étude qui est une zone sensible. (PRD, 2004)

V.1 Richesses socioculturelles

Malgré les efforts de l'état et des organismes d'appui intervenant dans la zone, les compétences et les capacités de la population de la Région sont encore insuffisantes à cause de : l'analphabétisme surtout pour les populations des zones enclavées. 15% des enfants de 6 à 14 ans ne sont pas scolarisés. Et selon la CISCO, on compte 70 à 100 élèves par enseignant dans les zones enclavées. (PRD, 2004).

V.2 Infrastructures

Le problème sur les infrastructures se situe au niveau de l'éducation, de la santé, de la route, des chemins de fer et de l'aérodrome :

- l'insuffisance d'équipement et de personnel d'éducation,
- l'insuffisance d'équipement et de personnel de santé,
- l'insécurité qui sévit dans plusieurs endroits de la Région.
- Mauvais état de beaucoup de routes dans la Région,
- Absence d'aires de stationnement pour les routiers, ce qui fait que les camions stationnent n'importe où et n'importe comment.
- Les rails sont vétustes et l'exploitation des chemins de fer n'a pas encore vraiment redémarré,
- Mauvais état et non-classification de l'aérodrome,
- 40% des réseaux hydroagricoles sont vétustes et nécessitent de gros travaux de réhabilitation. Les usagers et les bénéficiaires directs et indirects ne participent que très peu à la maintenance,

V.3 Ressources forestières et environnementales

Les ressources forestières et environnementales de cette zone sont en danger à cause de :

- Insuffisance de sensibilisation de la population sur les valeurs des ressources naturelles
- Insuffisance des données exactes sur l'état de l'environnement
- Exploitation illicite et abusive des ressources : feux de brousse, etc.
- Profusion de «lavaka » et de l'ensablement des rizières et des rivières.

Le feu de la végétation des zones marécageuses et la chasse excessive provoquent la diminution de nombre des espèces endémiques d'Alaotra (Alaotra Rano Soa, 2002). Depuis 1998, natifs et nouveaux venus délimitent à leur gré des surfaces dans les marais, qu'ils transforment en rizières. (C'est surtout le cas d'Ambodivoara, Antsapananefatra, Ampilahoana et Antanifotsy Sahamamy)



Les peuplements végétaux des zones marécageuses du lac constituent le seul habitat du petit lémurien *Hapalémur griseus alaotrensis* (bandro), actuellement en voie de disparition

EMBED MSPhotoEd.3

Photo 3 : *Hapalémur griseus alaotrensis* (bandro)
Source : PRD Ambatondrazaka

V.4 Eaux

En période de pluie, la maîtrise de l'eau ainsi que les moyens de production constituent pour les agriculteurs un enjeu majeur. On peut trouver deux modes de captage d'eau :

Le barrage : (Amparafaravola) à la source d'un court d'eau avec un avant puits à drain sur la berge et dans lequel prolongent les conduites d'aspiration.

Le forage : (Ambatondrazaka) ou l'eau provient de stations de forage et de pompage doté de pompes immergées.

79,75 % de la population utilisent l'eau de fleuve, de lacs et de puits traditionnels. Principalement, la JIRAMA n'alimente que les grandes agglomérations en eau potable, et c'est insuffisant. (PRD, 2004)

V.5 Ressources halieutiques

L'introduction des poissons exotiques tels que *Tilapia sp*, *Oreochromis sp*, *Cyprinus sp*, *Micropterus sp*, *ophicephalus sp*, *Gambusia sp* qui entraîne une disparition progressive des poissons localement endémiques et une modification défavorable de la composition floristique du lac. (Alaotra Rano Soa, 2002)

La survie des espèces aquatiques d'Alaotra est mise en jeu par la sédimentation et/ou l'eutrophisation du lac provenant de l'explosion démographique des rives Est (surtout d' Ambatomanga). (PRD, 2004)

Elle s'ensuit par :

- Ensablement et rehaussement du fond du Lac Alaotra et des principaux plans d'eau de la Région dus à l'érosion des tanety,
- Exploitation illicite et hors norme des produits,
- Exploitation restée au stade traditionnel.

V.6 Agriculture

La production agricole réduit deux fois du fait qu'il y a :

- Problème de vieillissement et d'entretien des réseaux hydrauliques
- Aucun renouvellement des semences
- Culture traditionnelle (non-utilisation d'engrais)

Les agriculteurs appliquent les pesticides pour le traitement de semences et les herbicides pour éviter le sarclage, mais en quantité insuffisante. Cela est dû à l'absence des moyens financiers et matériels malgré l'aide de l'état et des ONG (ANAE, KAIZEN, ESSAGRI)

Selon nos enquêtes aux services d'agriculture et de responsable d'organisation, certains agriculteurs d'Alaotra Mangoro utilisent peu d'engrais chimiques par rapport aux surfaces cultivées (NPK et UREE environ 2000 tonnes seulement pour la préfecture d'Ambatondrazaka).

V.7 Industries et commerces

Les productions intenses de cette zone révèlent la demande de déboucher. Pourtant, ceux-ci font défaut.

- Les unités de transformation et les industries sont insuffisantes,
- L'électrification est insuffisante pour permettre la mise en place d'unités industrielles,
- Les marchés des produits sont méconnus

B- ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

Cette partie comporte les rappels bibliographiques sur les eaux, les sols, les sédiments et les études antérieures.

I- RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES EAUX

L'eau est la substance minérale la plus répandue à la surface du globe et aussi le constituant majeur de la matière vivante (BONTOUX, 1956). L'eau est une ressource aussi précieuse que vitale. Bien qu'elle puisse avoir une apparence claire et limpide et n'avoir aucune odeur ou saveur particulière, l'eau captée peut contenir des éléments pouvant avoir des effets indésirables sur la santé, par exemple des micro-organismes pathogènes (bactéries, virus ou protozoaires). (BONTOUX, 1956) ; (RODIER, 1984) ; (DEGREMONT Lavoisier.- MONOD Jérôme, 1989).

I.1- Les constituants de l'eau

L'eau est constituée par des composés minéraux et organiques.

I.1.1- Les composés minéraux

Les composés minéraux présents dans les eaux naturelles, trouvent essentiellement leur origine dans les échanges qui se produisent entre l'eau et le sol, entre l'eau et l'atmosphère. Ils résultent aussi du métabolisme des éléments constitutifs de la biomasse aquatique.

Les composés minéraux présents dans les eaux sont : les gaz dissous (O_2 , N_2 et CO_2) et les électrolytes fondamentaux (H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , OH^- et H^+) et les électrolytes caractéristiques (Mg^{2+} , Fe^{2+} , Cl^- , etc.).

I.1.2- Les composés organiques

Les matières organiques naturellement présentes dans les eaux comme d'ailleurs dans les sols, sont formées par un mélange complexe de produits végétaux ou animaux à des stades de décomposition variés. Elles comprennent également des produits de synthèses par voies chimiques ou biochimiques, élaborés à partir des éléments. Elles comprennent enfin des micro-organismes (bactéries, virus, etc.) et leurs produits de décompositions.

I.2 Description de quelques paramètres de base pour l'eau

I.2.1- Salinité

La salinité totale d'une eau correspond au total des cations et des anions présents (exprimé en milligramme par litre).

I.2.2- Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (DBO₅)

La DBO₅ mesure l'effet des transformations biochimiques, relatives à la plus grande partie des composés carbonés et ne prennent pas en compte la nitrification. On l'exprime en mg/l d'oxygène consommé.

I.2.3- Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène consommée, dans les conditions de l'essai, par les matières oxydables contenues dans un litre d'eau analysée. Elle est exprimée en milligramme par litre

I.2.4- Turbidité

La turbidité donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales d'origine minérale ou organique. Elle est en relation avec la mesure des matières en suspension.

I.2.5- Matières en suspension (M.E.S)

Ce paramètre englobe tous les éléments en suspension dans l'eau dont la taille permet leur rétention sur un filtre de porosité donné.

I.2.6- Titre alcalimétrie (TA) et titre alcalimétrie complète (TAC)

Les valeurs relatives du TA et du TAC permettent de connaître les teneurs en hydroxydes, carbonates ou hydrogénocarbonates alcalins ou alcalino-terreux contenus dans l'eau. Le TA permet donc de déterminer en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate. Le TAC donne donc la détermination de la teneur en hydrogénocarbonates.

Les méthodes de calcul pour les teneurs des éléments chimiques alcalino-terreux et alcalins sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 14: Calcul des éléments chimiques

Sels dissous	Valeur du degré en mg/l	Valeurs respectives des titres TA et TAC	
		Si TA=0	Si TA> TAC/2
OH ⁻	3,4	0	2TA-TAC
CaO	5,6		
Ca (OH) ₂	7,4		
MgO	4,0		
Mg(OH) ₂	4,8		
NaOH	8,0		
CO ₃ ²⁻	6,0	0	2[TA-TAC]
CaCO ₃	10,0		
MgCO ₃	8,4		
Na ₂ CO ₃	10,6		
HCO ₃ ⁻	12,2	TAC	0
Ca(HCO ₃) ₂	16,2		
Mg(HCO ₃) ₂	14,6		
NaHCO ₃	16,8		

I.3- Les pollutions de l'eau

Dans notre site d'étude, les principaux rejets polluants qui se mélangent aux eaux naturelles ont diverses origines. Nous pouvons les classer comme suit : les rejets polluants agricoles, les eaux usées urbaines et les eaux usées domestiques. (MPE, 2003)

I.3.1- Les rejets polluants agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux qui n'est pas du tout négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides.

Les engrais sont particulièrement riches en azote dont l'excès peut passer dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface.

I.3.2- Les eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines sont d'abord formées par un mélange d'eaux usées domestiques et d'eaux usées industrielles. On y ajoute une troisième composante formée par les effluents des installations à caractère collectif (hôpitaux, commerces, etc.), par les eaux des fontaines.

I.3.3- Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques issues de la cellule d'habitation familiale comprennent les eaux ménagères et les eaux vannes.

- Les eaux ménagères (eau de cuisine et de salle de bain) renferment des matières en suspension et des matières dissoutes minérales ou organiques provenant du lavage des légumes, des graisses et des détergents.
- Les eaux vannes qui proviennent des W.C. sont constituées par l'urine et les matières fécales diluées avec de l'eau de chasses. L'urine apporte Cl^- , Na^+ , K^+ et des matières organiques (urées, acides uriques etc.). L'urée l'élément dominant qui se transforme en azote ammoniacal NH_4^+ . Les matières fécales sont des phosphates de calcium et de magnésium.

I.3.4- Les bactéries

Coliformes totaux

Les bactéries coliformes existent dans les matières fécales mais peuvent également se développer dans certains milieux naturels (sol, végétation). L'absence de coliformes totaux ne signifie pas nécessairement que l'eau ne présente pas de risque pathogène. (JOFFIN (J.N), JOFFIN (C), 1992)

Ce germe se multiplie facilement à une température de 37 °C, avec pH optimale de 7 et se retrouve dans les matières fécales.

Elles entraînent des toxi-infections tels que : diarrhées et vomissements.

La principale bactérie coliforme spécifiquement d'origine fécale est *Escherichia Coli* (*E. Coli*)

On a néanmoins utilisé les coliformes totaux comme substitut d' *Escherichia Coli*.

Escherichia Coli

E. coli est un germe habituel de la flore intestinale de tous les animaux, y compris les humains. Ce germe se retrouve dans les matières fécales. De là, il se répand dans la nature : sol et eaux. Sa présence dans le milieu environnant signe toujours une contamination fécale. Une minorité de souches de *E.coli* sont capable de causer des infections humaines. Il réduit les nitrates en nitrites. (ESCHERICHIA.COLI.html).

Sa culture est très facile avec une grande tolérance de variation de pH, pH optimum 7.5. Température optimum : 37°C mais pousse entre 15°C et 45°C. Il reste relativement sensible aux antibiotiques.

Lorsque *Escherichia coli* est responsable d'une diarrhée aiguë. Il peut, s'il arrive à franchir les muqueuses intestinales (lésions de la paroi intestinale), devenir pathogène et peut déterminer des infections urinaires, biliaires, génitales appelées colibacilloses, et très exceptionnellement une septicémie. Il se comporte en pathogène opportuniste.

Entérocoques

Les entérocoques sont des bactéries ubiquistes présentes dans l'intestin de l'homme et des animaux, dans les eaux usées, dans l'eau douce, dans l'eau de mer, dans le sol et sur les végétaux.

Chez l'homme, les entérocoques sont des bactéries pathogènes opportunistes responsables de septicémies, d'infections urinaires, de surinfections des plaies (notamment chirurgicales), d'abcès intra-abdominaux, de pleurésies, d'infections néonatales, de méningites. La fréquence des infections graves à entérocoques est en augmentation car ils sont sélectionnés par les antibiotiques à large spectre du fait de leur résistance naturelle et de leur résistance acquise à de nombreux antibiotiques. (ENTEROCOCCUS.html)

Salmonelles

Le germe *Salmonella*, bactérie pathogène est composée de plus de 2700 sérotypes, les animaux en constituent le réservoir naturel. De plus, les pH acides (4 à 4.4) n'entraînent pas toujours des arrêts de sa croissance. (JOFFIN (J.N), JOFFIN (C), 1992)

Ce germe se multiplie facilement à une température de 37 °C, avec pH optimale de 7 et se retrouve dans les matières fécales.

Après 8h à 10h d'ingestion alimentaire contaminée, elles provoquent des toxi-infections tels que : diarrhées, fièvres et vomissements.

II- RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES SOLS

Le Profil d'un sol est une succession de couche ou horizon. Une partie de l'horizon de surface, la couche arable, contenant de la matière organique (souvent appauvri en colloïde

ou en fer par le lessivage) que nous allons examiner. (BENNET, 1950); (PANSU Marc - GAUTHEYROU Jacques – LOYER Jean Yves, 1998) ; (MCD, 1974) ; (CIRAD-GRET, 2002). Le sol est constitué comme un simple support du couvert végétal naturel ou de la production agricole. L'utilisation des fertilisants pour maintenir la qualité des terres, augmenter les rendements, corriger certains défauts et parfois pour remédier, à rendu nécessaire un diagnostique plus précis de la terre. Il est alors utile de connaître les sols pour mieux les utiliser.

II.1- Caractéristiques physiques des sols

Les propriétés physiques des sols dépendent naturellement des proportions relatives des éléments constitutants, mais aussi de la façon dont ces éléments sont associés entre eux pour former des unités structurales.(MINISTERE DE LA COOPERATION ET DU DEVELOPPEMENT, 1974)

On peut caractériser le sol par sa texture et sa structure. La texture est définie par les proportions relatives des éléments constitutants. Tandis que la structure est la disposition des éléments constitutants en agrégats ou en unités structurales. Elle est donnée par le «triangle des textures ». Bref, on peut le qualifier : granulométrie (cf. annexe III).

Le sol est constitué par de limon, de sable et de l'argile. L'argile assure sa cohésion. En général, son noyau est de l'ion ferrique ou de l'ion aluminium. En plus des acides organiques, cet ion est le responsable du phénomène d'échange cationique.

II.2- Caractéristiques chimiques des sols

Elles sont caractérisées par :

II.2.1- Humus et acides humiques

Les débris végétaux et animaux qui tombent sur le sol constituent la source essentielle de la matière organique qui, peu à peu transformée, donne naissance par minéralisation à des éléments solubles ou gazeux assimilables, et par humification, à des complexes colloïdaux humiques.

Le rapport C/N renseigne sur la richesse de l'humus en matière organique : carbone assimilable, présenté par le tableau suivant.

Tableau 15: Rapport en C/N

C/N<8	8<C/N<12	15<C/N<25
Sol minéralisé à faible réserve en matière organique	Matière organique bien décomposée	Matière organique mal décomposée

Matière organique (M.O en %) =C x 1,72

II.2.2- Complexe adsorbant

Les colloïdes électronégatifs du sol (composés humiques et argiles) retiennent autour de leur molécule des cations (H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ et quantité plus faible NH_4^+ , Mn^{2+} , Cu^{2+} et Al^{3+}). On appelle cations échangeables ou bases échangeables le Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+ car ils peuvent faire l'objet de substitution avec les cations de la solution du sol en fonction de l'énergie d'absorption de chaque ion et de la concentration des ions dans la solution du sol. Le complexe adsorbant est défini par un certain nombre de valeurs chimiques : capacité d'échange, taux de saturation (V) et l'acidité.

- *Capacité d'échange cationique (CEC)* : c'est la quantité maximale de cations métalliques pouvant être fixée par le sol, donnée en milliéquivalent pour 100 grammes de sol (még/100)
- *Taux de saturation (V)* : Pourcentage de la quantité de cation effectivement fixé, rapportée à la quantité que le sol pourrait fixer et posséder, avec : $V=(S \times 100)/CEC$

Où S est la somme des bases échangeables exprimée en még/100.

II.3- Pédologie

La forte dégradation des rochers en surface a donné naissance à un sol très épais sur les plateaux. Ces sols sont de types ferrallitiques et homogènes sur l'ensemble du bassin de point de vue de leurs caractéristiques physiques avec comme particularité une perméabilité assez forte. (BOURGEAT F., 1972)

Le sol ferrallitique désigne des sols évolués sous climat tropical humide. Ils sont compacts de couleur rouge profondément altérés, fortement acide et pauvre chimiquement mais avec une forte teneur en aluminium et en oxyde de fer. (ADJANOHOUN E., 1964)

Plusieurs variétés de sols sont présentées dans cette région :

- latérites sur les « tanety »

- éluvions de ruissellement et colluvions résultant des « lavaka » et donnant des sols de « baibofo »
- alluvions lacustres plus ou moins récents et sols de marais tourbeux ou divers degrés d'évolution. (Cf. annexe IV).

Le type de sol suivant leur localité est donnée dans le tableau suivant

Tableau 16: Pédologie

Localité	Type de sol
Amparafaravola	hydromorphe organique et minéral
Ambatondrazaka	ferralitique jaune et rouge

II.4- Géologie

La zone du lac Alaotra appartient au versant oriental des hautes terres de Madagascar marquée par une dénivellation tectonique en gradient. Elle est caractérisée par un substrat cristallin fortement métamorphisé des chaînes montagneuses sont essentiellement formées de latérite qui sont des roches formées par évolution sur place de formation plus anciennes, elle constitue des sols résultants du départ des matières par dégradation de la roche mère. (BESAIRIE H, 1973)

Elle appartient à 2 grands systèmes majeurs d'âge précambrien :

- Le système de Vohibory : groupe basique
- Le système du graphite : groupe acide

Les bassins versants d'Ambatondrazaka font partie de la bordure du fossé du lac Alaotra. Cinq formations lithologiques les couvrent (cf. annexe V)

- alluvions récentes et anciennes sur la partie Est
- les migmatites
- les gneiss
- les migmatites granitoïdes
- les granites migmatite

III- RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES ETUDES ANTERIEURES

Cette zone attire l'attention des chercheurs, vu ses potentialités ainsi que ses problématiques. Certains de ses œuvres ont été mentionnés ci-dessous. Celles-ci se concernent sur les eaux, les sols et les sédiments.

III.1-Capitalisation des acquis

Le lac Alaotra est un lac tectonique, établi dans une vallée d'effondrement. La fracture qui lui a donné naissance s'étend du nord au sud parallèlement à la côte est de l'île. (MOUREAUX C.L et RIQUIER Jean, 1951)

Les rivières, qui alimentent le lac, sédimentent leurs alluvions dans des grandes plaines d'épandage au moment où elles sortent des montagnes. Ces alluvions gagnent peu à peu sur le marais proprement dit et font reculer la zone de « zozoro ». Les rivières se frayent ensuite un passage à travers les végétations aquatiques. Leurs lits sont alors profonds et étroits, le dépôt d'alluvions est pratiquement nul. Elles se jettent enfin dans les eaux libres du lac dont elles continuent le comblement progressif.

On peut reconnaître trois zones d'alluvionnement, deux minérales, à la sortie des montagnes et dans le lac, et une zone d'alluvionnement organique intermédiaire sous la végétation aquatique. Par suite de la grande dispersion de ces sols, l'argile reste en suspension et le sable se dépose, obstruant parfois les canaux et obligeant le fleuve à changer de lit. Les variations de débit des fleuves au cours de l'année causent les dépôts successivement sableux et argileux : lorsque le courant est rapide, il dépose du sable, lorsqu'il est lent, de l'argile.

A mesure que le lac se comble, la végétation de Cypéracées peut s'établir en progressant à partir des bords du lac. La grande quantité de matière organique formée par cette végétation tombe au fond du lac et contribue au comblement. Les racines des plantes puisent leurs éléments nutritifs dans les déchets organiques tourbeux. A ce moment, le dépôt de sable et d'argile cesse pratiquement, car l'eau reste stagnante. (MOUREAUX C.L et RIQUIER Jean, 1951)

Robert LAUTEL, en 1950, faisait l'étude de l'évolution du relief dans la feuille Ambatondrazaka. Il résumait comme suit :

« Nous assistons, dans la carte Ambatondrazaka à un continuel surcreusement des vallées. Les eaux de ruissellement sont très actives et rien n'arrête la désintégration des sols où un maigre « bozaka » n'a qu'une faible action de retenue. Les « lavaka » sont très grands dans le cours tout à fait supérieur des ruisseaux. L'extension de ces phénomènes à toute la carte d'Ambatondrazaka, fait que nous assistons à la transformation d'une ancienne pénéplaine qui subit un nouveau cycle d'érosion déjà avancée. Ce rajeunissement a commencé par l'effondrement qui a causé la formation des cuvettes de l'Alaotra. Le profil des cours d'eau de cette zone (surtout la Sahabe) montre une première partie avec profil jeune et grosse activité d'érosion puis un palier correspondant au comblement par les matériaux arrachés en amont des cuvettes précipitées.

III.2-Résultats des études antérieures

III.2.1- Les eaux

Les résultats obtenus par : M. Mark PIDGEON (1994) et M. Tiana H.ANDRIANANDRASANA (juin 2002) sont considérés dans ce travail.M. (PIDGEON, 1994), (T. ANDRIANANDRASANA T.H., 2002).

III.2.1.1- Méthodologie utilisée

Pour la détermination de chaque paramètre chimique, M. Andrianandrasana a utilisé les instructions indiquées par COMPACT LABORATORY FOR WATER TEST-ING Merk kGaA, 64271 Darmstadt, Germany), M. Pidgeon a suivi les méthodes proposées par Moreau (1987).

III.2.1.2- Lieux de prélèvement

Ils se diffèrent aux nombres des localisations géographiques et de la saison de travail. Dans le lac, Pidgeon a effectué neuf prélèvements durant toute l'année, Andrianandrasana n'a fait qu'une seule série de prélèvements juste après le cyclone « Kesiny ».

Le tableau ci-dessous donne la récapitulation des résultats antérieurs

Tableau 17: Récapitulatif des résultats antérieurs

Données collectées par	Unités	M. Pidgeon Mark	M. Andrianandrasana T.
Date	-	03 à 11/94	15/05/02
pH	-	6,8 à 7,3	7,0

NH ₄ ⁺	mg/l	0,20	0,0
Dureté totale	-	6,8 à 8,2	0,3
NO ₃ ⁻	mg/l	0,0	0,0
NO ₂ ⁻	mg/l	-	0,0
PO ₄ ³⁻	mg/l	0,30	0,25
O ₂	mg/l	-	5,1
Profondeur maximum	mètres	04	-
Température	°C	20,5 à 28	-
T.A.C.	még/l	0,45 à 0,70	-
M.O.	mg/l	-	-
SO ₄ ²⁻	mg/l	0,01	-
Na ⁺	mg/l	1,30	-
K ⁺	mg/l	1,90	-
Ca ²⁺	mg/l	2,80	-
Mg ²⁺	mg/l	1,20	-
Fer	mg/l	0,35 à 1,50	-
Conductivité	µS/cm	80 à 250	-
Couleur	-	Marron-rouge	-
Cl ⁻	mg/l	2,1	-

III.2.1.3- Interprétation

D'après M. PIDGEON, les principaux facteurs défavorables affectant le caractère écologique de ce lac sont :

- l'introduction des poissons exotiques,
- la sédimentation ou l'eutrophisation du lac due à l'érosion et à la pollution organique et inorganique,
- la pollution organique du lac qui est reliée à l'explosion démographique,
- l'acidification du lac qui est probablement favorisée par la baisse de niveau d'eau, l'apport continu en fer par le ruissellement et le manque de photosynthèse de la part des plantes du marais.

Selon M.ANDRIANANDRASANA, depuis 1999, l'épanouissement de l'envahissement rapide de lac par les plantes exotiques (*Salvinia molesta* et *Azolla sp.*) Vient de s'ajouter à ces facteurs précédents. Il a mentionné aussi la qualité du lac comme suit :

- son pH est neutre,
- la teneur en ammonium est nulle,
- le taux d'oxygène est maximum.

L'auteur a conclu que l'eau du lac a de bonne qualité chimique.

III.2.2- Les sols

L'étude antérieure sur les sols a été réalisée par J. RIQUIER et P. SEGALEN au mois de mai 1950. (RIQUIER J. et. SEGALEN P, 1949)

III.2.2.1- Méthodologie utilisée

Les méthodes des analyses des sols et des sédiments se confèrent aux œuvres de DEMOLON et LEROUX. (DEMOLON A. et LEROUX D. 1933)

III.2.2.2- Lieu de prélèvement

Les sols sont divisés en deux parties : les latérites sur gneiss et les latérites sur roche basique.

Les latérites sur gneiss

Elles sont trouvées sur des montagnes ou collines très arrondies, très érodées par ruissellement, présentent des « lavaka » nombreuses à flancs verticaux.

Les latérites sur roches basiques

Elles s'observent sur les montagnes ou collines à relief plus accentué mais présentant des « lavaka » peu profondes, plutôt des ravins de ruissellement à talus peu inclinés. (Jamais de parois verticales).

II.2.2.3- Interprétation des résultat des analyses de sol

En général, ils ont noté que ces sols contiennent peu d'humus (0,093%), peu de phosphore assimilable (0,185%), très peu de potasse (0,56%), peu de calcium (0,055%). Les latérites sur basaltes sont beaucoup plus riches en calcium. Le pH de ces sols est très bas, 5,8 environ. Les latérites sur roches basaltes sont moins acides.

III.2.3- Les sédiments

L'étude antérieure sur les sols submergés dans l'eau du lac a été réalisée par MOUREAUX CL. et RIQUIER J. au mois de juin 1950. Ils ont eu conclu que : « nous ne trouvons pas un sol, au sens pédologique du mot, mais un dépôt minéral surmonté d'un dépôt organique dont ils possèdent des propriétés physiques et chimiques très différentes ».

Le sédiment dans la zone du lac présente trois couches :

- Couche organique de deux sous- couches (racine flottante : feuillage des matières organiques et les débris organique très peu humifié).
- Couche intermédiaire ;
- Couche minérale de texture argileuse.

Ces trois couches apparaissent clairement dans le marais. Par contre, dans le lac, il n'y a que deux seulement.

III.2.3.1- Méthodologie utilisée

Les méthodes des analyses des sols et des sédiments se confèrent aux œuvres de DEMOLON et LEROUX.

III.2.3.2- Lieu de prélèvements

Selon eux, les lieux de prélèvement sont variant suivant la topographie et la morphologie du terrain.

III.2.3.3- Interprétation des résultats des analyses des sédiments du lac

Les résultats comportent 35 points de prélèvement dans le lac. Nous avons essayé de récapituler ses interprétations comme suit :

Le pH :

Le pH varie entre 4 à 5,4. Les valeurs assez élevées de pH 5 en surface des matières organiques et la tourbe peu décomposée. Par contre, les valeurs assez basses de 4,4 en profondeur sont dues à la partie plus humifiées.

Matière organique, humus, azote :

En général, elle est naturellement en grande quantité.

- La valeur élevée de C/N confirme l'absence des minéraux.

- Pour l'humus, il est faible en surface (2,8%) et il est croissant avec une décomposition avancée dans la partie inférieure (8,1%).
- Teneur en azote :

La teneur d'azote totale varie de 10 pour mille et environ 1 pour mille dans les argiles et les sables. L'azote est sous forme combinée à la matière organique et un peu sous forme ammoniacale.

Bases échangeables :

Présence de calcium en quantité assez notable (0,23%). Le magnésium est en quantité faible (0,014%). La teneur en phosphore assimilable est plutôt faible (0,006%). La potasse est l'élément le plus déficient dans le sol (0,052%).

Somme des bases échangeables varie de 7 à 8 pour les tourbes et 3 à 4 pour les argiles

Taux de saturation :

Il varie entre 75 à 80 méq pour les tourbes, 10 à 15 pour les argiles et 5 pour les sables.

Conclusions partielles

Les résultats déjà disponibles au démarrage de cette étude nous ont permis de connaître les principales caractéristiques de la zone d'étude : morphologie, richesse floristique, caractéristique des eaux et des sols.

Néanmoins, les analyses effectuées ont été ponctuelles, ce qui implique le besoin de mener une campagne d'échantillonnage plus dense.

Néanmoins, cela nous permettra de faire la comparaison entre l'état actuel et l'état des milieux étudiés à une époque antérieure à l'étude.

DEUXIEME PARTIE : PARTIE PRATIQUE

- INVESTIGATIONS SUR TERRAIN
- RESULTATS DES ANALYSES
- INTERPRETATION DES RESULTATS OBTENUS
- MESURES D'ATTENUATION

I – INVESTIGATIONS SUR TERRAIN

Selon nos enquêtes menées auprès des riverains, il y a vingt ans, le lac était bleu et profond. Les poissons étaient innombrables comme les étoiles dans le ciel. La végétation qui entourait le lac hébergait des lémuriers et des oiseaux qui jouaient entre eux. On aurait dit un paradis sur terre.

A présent, c'est différent. Le lac devient marron, il y a une odeur nauséabonde. Il souffre énormément d'un envasement. La boue est épaisse, et arrive même jusqu'à 10 mètres de profondeur. Le niveau d'eau varie en moyenne entre 0,3 à 2 mètres. Les espèces endémiques de cette zone deviennent rares.

Pour avoir beaucoup plus d'espaces cultivées, les paysans éliminent certaines végétations « zetra » du bord du lac et les transforment en rizière.

Les riziculteurs ont l'habitude de brûler la paille de riz sur les rizières.

Alors, il est ainsi important de savoir l'état actuel de ce lac afin d'envisager son devenir.

I.1- Travaux effectués

Ils comportent l'étude bathymétrique, l'étude des eaux, du sol et des sédiments.

La bathymétrie consiste à mesurer la profondeur d'un plan d'eau par sondage et par traitement des données correspondantes en vue de déterminer la configuration du fond.

L'étude des eaux est axée sur les analyses physico-chimiques et bactériologiques.

- Les paramètres physico-chimiques utilisés sont le potentiel en Hydrogène (pH), la turbidité, les Matières En Suspension (MES), le Titre Alcalimétrie (TA), le Titre Alcalimétrie Complet (TAC), l'ion sulfate (SO_4^{2-}), l'ion phosphate (PO_4^{3-}), l'ion chlorure (Cl^-), l'ion nitrate (NO_3^-), l'ion nitrite (NO_2^-), la Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (DBO_5), la Demande Chimique en Oxygène (DCO).
- Quant à l'analyse bactériologique, nous avons étudié 4 germes standard tels que *Coliformes totaux*, *Escherichia coli*, *Enterocoques* et *Salmonelles*.

Pour le sol, nous avons effectué l'analyse agronomique. Elle contient deux paramètres : physique (la granulométrie) et physico-chimiques (l'acidité, les bases échangeables, la capacité d'échange ; le carbone assimilable, l'azote, le phosphore assimilable, le pH eau et le fer)

L'étude sur les sédiments est orientée sur la propriété physique et les propriétés physico-chimiques. La propriété physique est caractérisée par la granulométrie. Les propriétés physico-chimiques sont interprétées à partir des bases échangeables (le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium), l'acidité (les ions aluminium : Al^{3+} et $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$), la

conductivité électrique (CE), la matière organique (MO), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le fer (Fe), l'azote, le phosphore assimilable et le pH eau.

I.2- Méthodes utilisées

Elles varient suivant le type de travail effectué.

I.1.1- La bathymétrie

Nous avons proposé de travailler sur la base d'une photo aérienne du lac, de profils du fond de lac et d'une vue plus éclatée pour faire des commentaires. (Figure 1)

Lors de la mesure bathymétrique, la présentation de la méthode utilisée se fait de la manière suivante :

- On effectue un système de balayage en parallèle à une distance régulière de 100 mètres.
- On fait ensuite des quadrillages équidistants sur toute l'étendue du lac.
- A chaque maille, on fait la mesure de la profondeur d'eau à l'aide d'un appareil spécial (sonde) ou d'un mètre plombé.
- On note les valeurs mesurées.
- L'eau était horizontale. Il reste à mesurer sa hauteur (à l'exutoire), chaque jour, pendant toute la mesure bathymétrique.

L'analyse par ordinateur a comme hypothèse la réduction à 10 mètres la distance entre les mailles. On continue le traitement et le calcul (Système d'Information Géographique). Enfin, on obtient une carte.

I.1.2- Les eaux

La méthodologie d'échantillonnage se fait comme suit :

- Avant la prise d'échantillon, les bouteilles devront être bien propres et désinfectées
- Pendant le prélèvement, elles sont immergées dans l'eau de la rivière pour éviter l'entrée d'oxygène de l'air, qui entraîne l'oxydation de l'eau à analyser, ou bien on les remplit jusqu'au bord.
- On rince ensuite les bouteilles à trois reprises avec de l'eau à analyser.
- Enfin, avant l'analyse au laboratoire, une conservation de 4°C est nécessaire.



Photo 4 : Prise d'échantillon d'eau de puits

Les méthodes des analyses appliquées dans ce travail suivent celles préconisées par l'AFNOR (NF) et l'ISO. (cf. annexes VI et VII).

I.1.3- Le sol et les sédiments

Le prélèvement d'échantillons de la couche arable (de 0 à 30 cm de profondeur) est indispensable pour les analyses de chimie agricole. Nos plans d'échantillonnages sont de deux types : pour le sédiment : aléatoire, c'est-à-dire, par un tirage au sort ; pour le sol : systématique aux intersections d'une maille triangulaire sur le bassin versant d'Ambatomanga.

C'est pourquoi : le type de prélèvement systématique est facile à mettre en œuvre et apporte des résultats comparables parce que le terrain est relativement homogène sans facteur de perturbation et sans tendance ni gradient apparent. Tandis que le prélèvement aléatoire est préférable pour le lac vu son étendue très vaste et sa profondeur très variable ainsi que l'existence des différentes couches qui la constituent. (MATHIEU- PIELTAIN, 1998)



Photo 5 : Prélèvement de sédiments du lac à l'aide d'un carottier



Photo 6 : Mise en emballage d'un échantillon de sédiment

I.3- Lieux de prélèvement

Nous avons prélevé nos échantillons du 15 au 31 novembre 2005. Les points de prélèvements que nous avons faits sont présentés dans la figure suivante. L'exutoire se trouve au Nord Est du lac.

- Points de prélèvements d'eau
- Points de prélèvements des sédiments
- Point de prélèvement du sol
- Trait de limite de la mesure bathymétrique

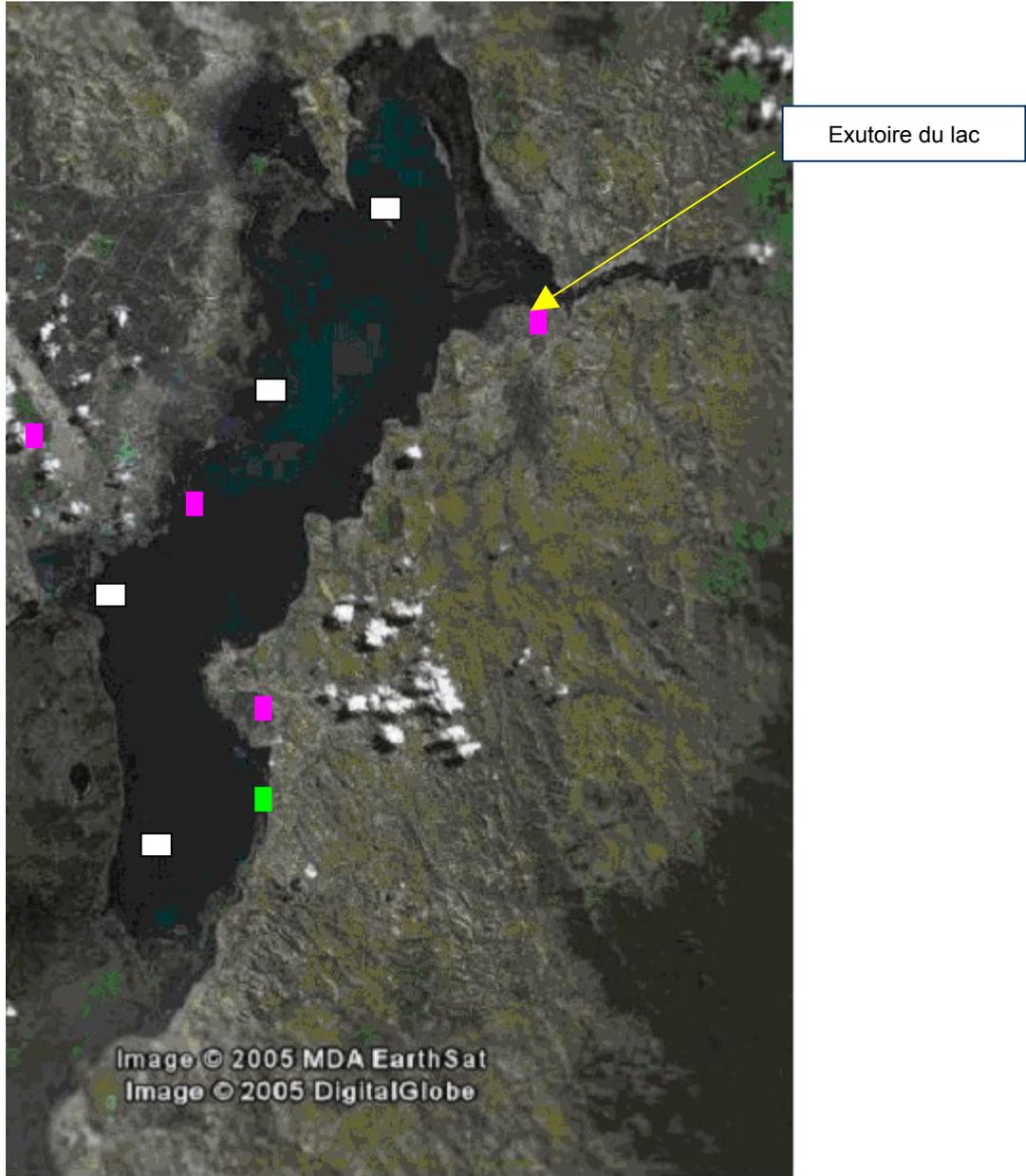


Photo 7 : Photo aérienne du lac

II – RESULTATS DES ANALYSES

Il y en a trois : bathymétrie, eaux, sol et sédiments.

II.1- Bathymétrie

Tous les résultats sont donnés sous forme de figures.

Ce schéma est obtenu à partir du traitement des données bathymétriques suivant la méthode prescrite ci-dessus.(cf annexe XI). On a obtenu ainsi les figures suivantes.

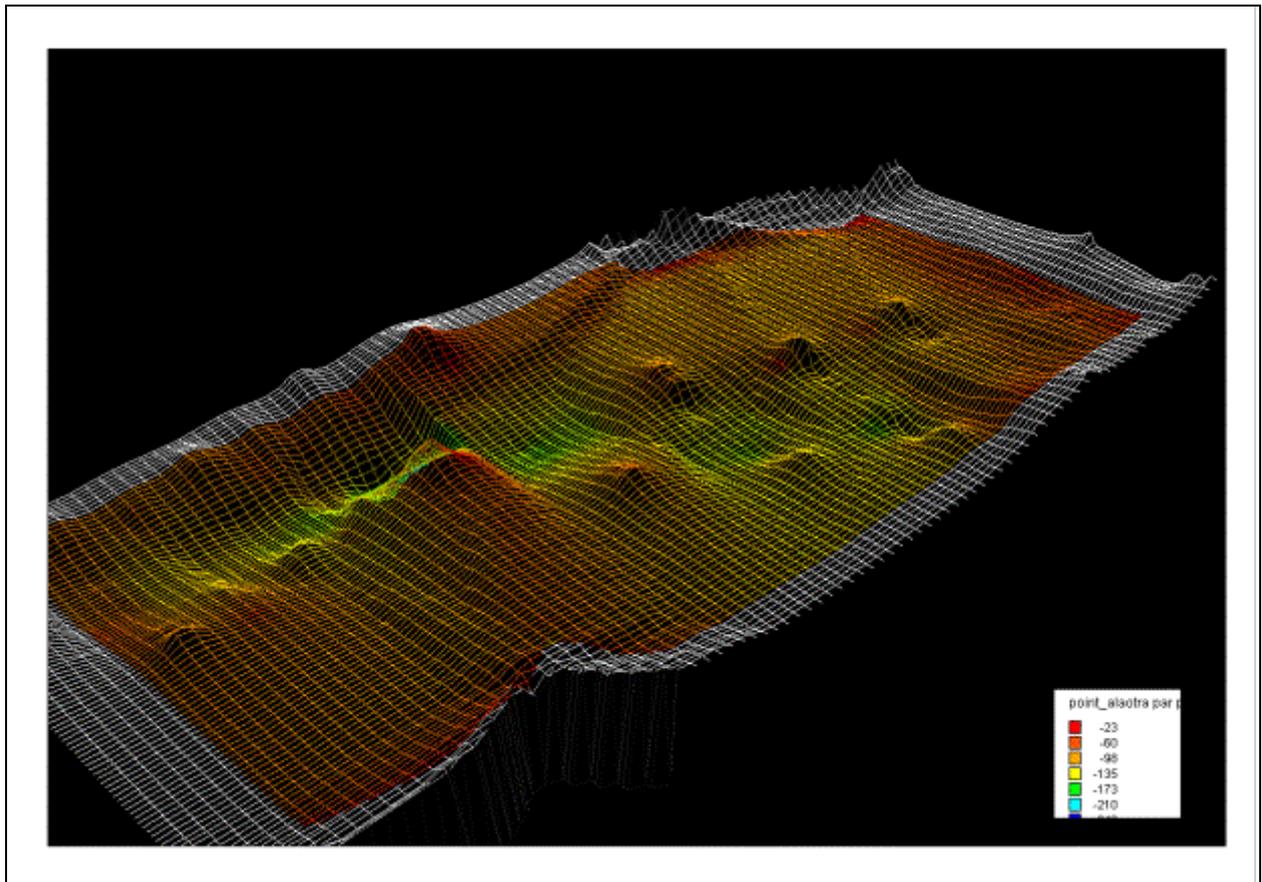


Figure 1 : Schéma montrant la visualisation du balayage de 100 m suivant la longueur et de 10m suivant la largeur (côté Est)

Le relief du lac, suivant des différents angles de vue, a donné par la bathymétrie ci-dessous.

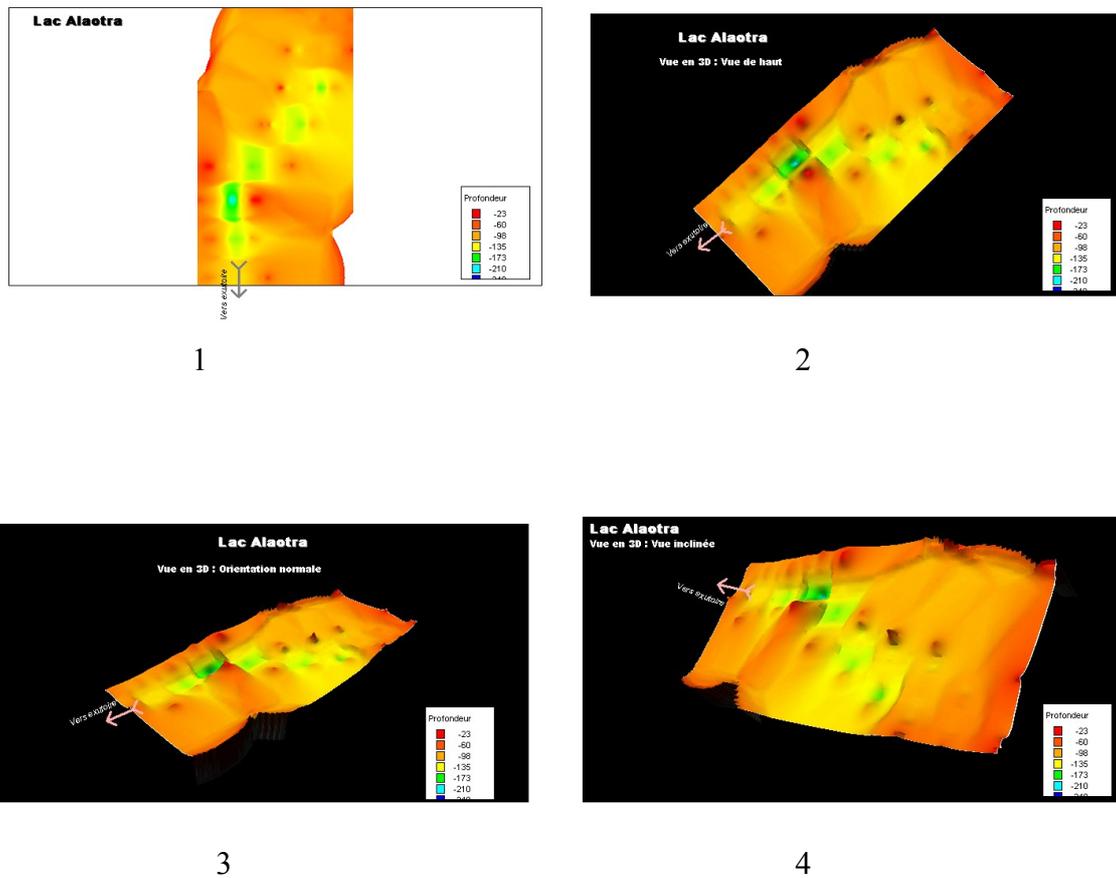


Figure 2: Bathymétrie sous différents angles de vue

- 1 : montrant le sens vers l'exutoire ;
- 2 : Vu de haut ;
- 3 : Orientation normale
- 4 : Vue inclinée.

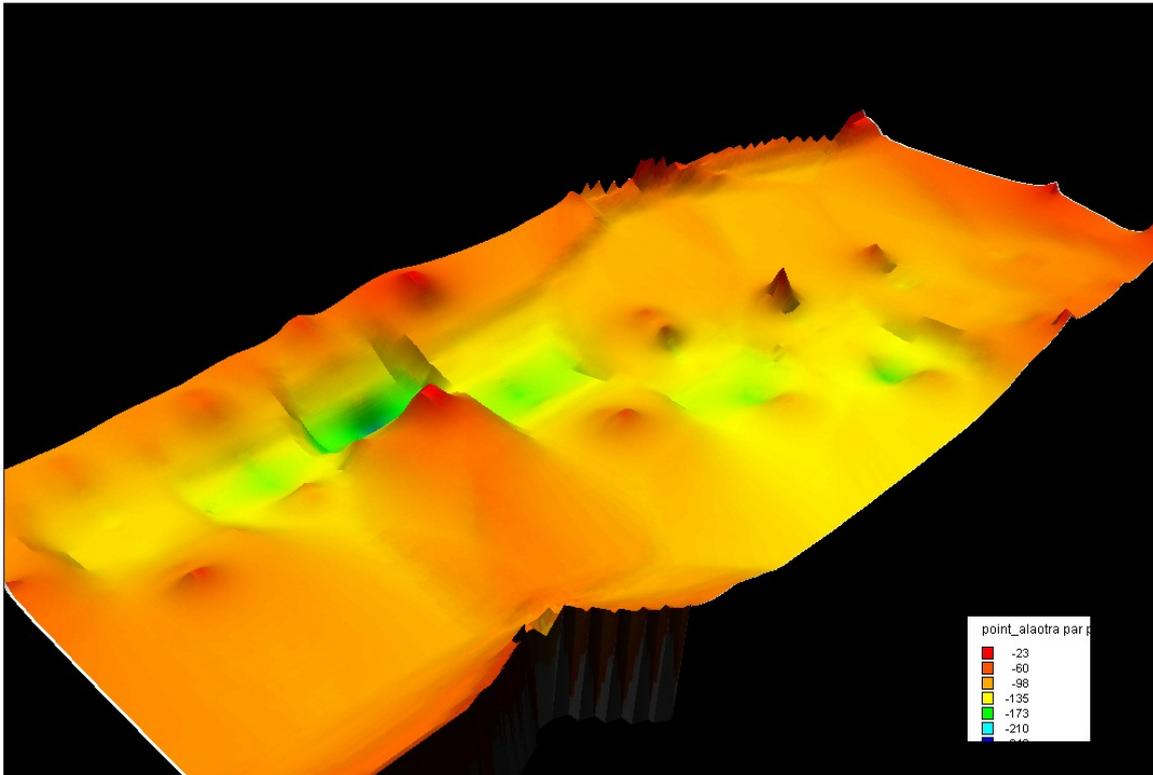


Figure 3 : Orientation normale

II.2- Les eaux

Les eaux analysées sont des eaux des rivières, de puits, de fleuve et du lac. Nous les avons classé en deux : l'une sur les eaux des rivières et fleuve, l'autre sur l'eau du lac.

II.2.1- Les rivières et fleuves

Nous avons pris nos échantillons d'eaux à Andrangorona (puits et rivière), Anony (rivière) et Maningory (fleuve). Ils sont montrés dans les photos suivantes (8, 9 et 10). Andrangorona et Anony se trouve en amont du lac, tandis que, Maningory est en aval.



Photo 8 : Le puits se trouve au milieu de la rivière d'Andrangorona



Photo 9 : Rivière d'Anony
(Vue en amont)



Photo 10 : Fleuve de Maningory
(Vue en amont)

II.2.1.1-Résultats des analyses physico-chimiques

Ils sont donnés par le tableau suivant.

Tableau 18: Récapitulation des résultats d'analyse d'eaux de rivières et de fleuves

Paramètres	Unité	Rivières				Fleuve
		Andrangorona		Anony		Maningory
		Puits	Riv	Surf	40 cm	
pH	-	7.2	7.1	7.0	7.1	6.7
Turbidité	NTU	8.08	72.7	60.49	64.56	37.8
MES	mg/l	13	131	44	23	18
Conductivité	µS/cm	0.15	0.13	0.04	0.04	0.02
Salinité	mg/l	0.07	0.06	0.01	0.01	0.00
TA	mg/l	0.00	0.15	0.30	0.25	0.35
TAC	mg/l	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ²⁻	mg/l	6.35	27.80	23.48	32.72	25.80
PO ₄ ³⁻	mg/l	0.04	0.12	0.09	0.09	0.06
Cl ⁻	mg/l	12.43	5.33	7.10	7.10	5.33
NO ₃ ⁻	mg/l	14.45	22.16	20.38	18.00	18.92
NO ₂ ⁻	mg/l	0.34	0.80	0.80	0.84	0.83
DBO ₅	mg/l d'O ₂	1,01	1,01	-	-	0
DCO	mg/l d'O ₂	77,33	77,33	-	-	385,66

II.2.1.2- Analyse bactériologie du puits d'Andrangorona

Quatre germes standard ont été analysés et elles sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 19: Germes standard dans l'eau

Paramètre	Valeur trouvée	Critères	Normes
Coliformes totaux à 37°C/100 ml	<1	50/100ml	NF T 90-413
<i>Escherichia coli</i> /100 ml	<1	20/100ml	NF T 90-413
Entérocoques /100 ml	6,4 10 ¹	20/100ml	NF EN ISO 7899-1
Salmonelles/1 000 ml	Absence	Absence	ISO 6340

II.2.2- Le lac

Nous avons choisi deux points d'échantillonnage : à l'Est du côté d'Ambatomanga (3) de coordonnées S 17,34128 et E 48, 31173, au Centre du côté d'Ampakarambato (5) de coordonnées S 17,54415 et E48, 47890. (cf. figure 7)

II.2.2.1- Résultats des analyses physico-chimiques

Ils sont montrés dans le tableau suivant.

Tableau 20: Résultats d'analyse d'eau

Paramètres	Unité	(3)	(5)
pH	-	7.3	6.9
Turbidité	mg/l	41.58	45.07
MES	mg/l	109	48
Conductivité	µS/cm	0.21	0.02
Salinité	mg/l	0.10	0.00
TA	mg/l	0.75	0.15
TAC	mg/l	0.00	0.00
SO ₄ ²⁻	mg/l	31.20	35.23
PO ₄ ³⁻	mg/l	0.08	0.11
Cl ⁻	mg/l	24.85	8.88
NO ₃ ⁻	mg/l	20.29	20.64
NO ₂ ⁻	mg/l	0.88	1.07
DBO ₅	mg/l d'O ₂	-	1,41
DCO	mg/l d'O ₂	-	0

II.2.2.2 Résultats des analyses bactériologiques

L'échantillon a été prélevé au centre du lac. Quatre germes ont trouvés et ont été reportés dans le tableau ci-après :

Tableau 21: Germes trouvés dans l'eau analysée

Paramètre	Valeur trouvée	Critères	Normes
Coliformes totaux à 37°C/100 ml	9	50/100ml	NF T 90-413
<i>Escherichia coli</i> /100 ml	9,3.10 ¹	20/100ml	NF T 90-413
Entérocoques /100 ml	<3	20/100ml	NF EN ISO 7899-1
Salmonelles/1 000 ml	Absence	Absence	ISO 6340

II.3- Le sol

Le prélèvement s'est fait à Ambatomanga (de coordonnées S 17,34132 et E 48,31381, S 17,34143 et E 48,13404 ; S 17,34147 et E 48,31387).

Tableau 22: Analyses pédologique

C (%)	N (%)	C/N	P (ppm)	pH eau	Fe (ppm)	Bases échangeables (még/100g)				Acidité (még/100g)		Granulométrie (%)			Capacité d'échange (még/100g)
						Ca	Mg	K	Na	Al ³⁺ +H ⁺	Al ³⁺	Argile	Limon	Sable	
0.92	0.105	8.8	7.4	4.97	0.10	3.6	1.3	0.03	0.16	0,051	0,000	34	31	35	5,8

II.4- Les sédiments du lac

Cinq points d'échantillonnage ont été sélectionnés :

1. au nord, du côté d'Anosy, de coordonnées S 17,39431 et E 48,58496 avec :
 - première couche (11)
 - deuxième couche (12)
2. au sud, du côté d'Antanambao, de coordonnées S17,56836 et E 48,48880 avec :
 - première couche (21)
 - deuxième couche (22)
3. à l'est, du côté d'Andrangorona, de coordonnées S 17,34128 et E 48, 31173, avec une couche seulement (3), et
4. au centre de coordonnées S 17,54415 et E 48,47890.avec :
 - première couche (51)
 - deuxième couche (52)

Les résultats des analyses des sédiments du lac sont reportés dans le tableau suivant.

Tableau 23: Récapitulation des résultats d'analyse

Sigle	C (%)	N (%)	C/N	P (ppm)	pH eau	Fe (ppm)	Bases échangeables (méq/100g)				Acidité (méq/100g)		Granulométrie			C.E. (μ S/cm)	M.O (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
							Ca	Mg	K	Na	Al ³⁺ +H ⁺	Al ³⁺	Argile	Limon	Sable				
(11)	12.9	1.290	10.1	-	5.15	2.3	-	1.55	-	-	-	-	30	40	30	-	22.3	1.8	1.5
(12)	10.6	0.595	17.8	-	5.05	5.7	-	1.55	-	-	-	-	42	32	26	-	18.2	0.2	1
(21)	11.4	0.938	12.1	-	5.1	7.6	-	1.57	-	-	-	-	21	16	63	-	19.5	0.2	2.3
(22)	9.25	0.588	15.7	-	5.08	5.3	-	1.54	-	-	-	-	34	26	40	-	15.9	0.4	1.1
(3)	0,92	0,105	8,8	7,4	4,97	0,10	3,6	1,3	0,03	0,16	0,05	0,03	66	17	17	39,6	-	-	-
(51)	10.9	0.742	14.8	-	5.04	8.2	-	1.58	-	-	-	-	46	43	11	-	18.9	0.5	1.9
(52)	9.17	0.630	14.5	-	5.1	3.5	-	1.54	-	-	-	-	40	28	32	-	15.8	0.1	0.9

III – INTERPRETATIONS DES RESULTATS OBTENUS

III.1- Bathymétrie

La figure 1 illustre la méthode de balayage selon la méthode prescrite ci-dessus. Cette figure montre la visualisation de la configuration du fond du lac. Elle représente environ les 9/10^{ème} de sa surface totale.

La limite des mesures effectuées sur le lac est marquée dans la photo 7. Juste les deux sommets dans la partie Nord et Sud ne sont pas mesurés. Mais elles représentent le profil général du lac.

Selon la figure 2, les différents points de vue permettent de confirmer la variation des profils du fond de lac.

En général, le lac a une profondeur moyenne d'environ un mètre. Elle présente un canal vers l'exutoire (1) sous forme des trous discontinus (4). Le plus profond se situe au centre du Nord-est du lac de 2,48m (2). Les rives et quelques endroits dans le lac ont de hauteur moins profonde, entre 23 à 60 cm (3). Ainsi, la profondeur du lac varie entre 23cm à 248cm. Les 2/3 de la superficie du lac ont une hauteur peu profonde, tandis que le reste, soit 1/3, seulement est profonde. Nous pouvons diviser le lac en sept parties selon les variations de sa profondeur. Ainsi, leurs pourcentages sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 24: Pourcentage suivant la profondeur du lac

Profondeur (en cm)	Pourcentage (%)
23	10,0
60	20,0
98	40,0
135	20,0
173	8,0
210	1,5
248	0,5

La figure 3 met en évidence la représentation plane de la terre a de deux formes : l'une comme une balle de ping-pong aplatie pour illustrer la surface moins profonde, l'autre comme une balle de ping-pong renversée pour indiquer le trou c'est-à-dire, la surface la plus profonde.

L'exutoire joue un rôle plus important dans les zones humides. Si son débit est élevé, le niveau d'eau diminue et il pourrait y avoir des loteries de lac. S'il est faible, le lac est débordé.

L'existence de la différence des niveaux sur le plancher des sédiments, ainsi que le faible niveau d'eau sur les rives et quelques endroits du lac seraient dus à la dégradation des bassins versants. L'état du profil bathymétrique serait aussi influencé par les variations des débits d'eaux des rivières et les pentes des bassins versants. Cet ensablement est accéléré surtout pendant la période de crue.

L'exutoire irrigue les parties extérieures du lac et assure son humidité. Pourtant, le lac est en danger. Le niveau des dépôts augmente mais le niveau d'eau diminue. Cette zone humide est alors menacée.

III.2- Les eaux

Tout d'abord, nous avons commencé par les interprétations des eaux des rivières et de fleuve puis, celles des eaux du lac.

III.2.1- Les rivières et fleuves

Elles ont été interprétées suivant les normes de potabilité des eaux. En même temps, nous avons fait la comparaison de l'amont en aval, entre les deux rivières (Andrangorona et Anony) et enfin, entre le puits et la rivière d'Andrangorona.

III.2.1.1-Interprétations des résultats des analyses physico-chimiques

Les rivières alimentent le lac. Le lac joue le rôle de bassin de rétention. Le fleuve apparaît ainsi comme une eau épurée.

- La valeur moyenne du pH en amont du lac (7,1) est nettement supérieure par rapport à celle en aval (6,7). Ceci s'explique par la présence des espèces aquatiques qui favorisent la diminution de la valeur du pH au cours de son séjour au lac.
- La valeur du M.E.S. en aval (18 mg/l) est environ trois fois inférieure à celle en amont (52,75 mg/l). Il y a donc une différence 34,75 mg/l de M.E.S. qui se déposent au fond du lac au cours de son séjour
- En aval, la valeur de la concentration en nitrite augmente (0,83 mg/l). Mais, ses teneurs sont tous, dépassent toutes la norme de potabilité (0,1 mg/l).
- La teneur en trouble des rivières responsables de l'alimentation du lac est très élevée par rapport à la norme de potabilité (5 NTU) et aussi par rapport à celle mesurée en aval du lac.
- La salinité est à l'état de trace. Ceci implique que le taux de Na⁺ et K⁺ dans l'eau est faible ou bien nul.

- Les concentrations de Cl⁻ en mg/l que ce soit en amont (7,99 mg/l) ou en aval (5,33 mg/l) sont très faibles par rapport à la recommandation de l'O.M.S. (250 mg/l) Ceci signifie que le taux de bactéries dans les eaux est énorme.
- Les valeurs de la conductivité sont à l'état de trace. Cela s'explique par une quantité importante des matières organiques dans l'eau du lac (végétales ou animales).
- Le calcul de TA et TAC permet d'obtenir les concentrations des espèces chimiques alcalino-terreux et alcalines données dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs permettent de confirmer la basicité ainsi que les caractéristiques organiques des eaux (faibles en matières minérales). Elles sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 25: Concentrations des espèces chimiques alcalino-terreux et alcalines

Sels dissous	Equivalence du degré en mg/l	Rivières				Fleuve Maningory
		Andrangorona		Anony		
		Puits	Riv	Surf	40 cm	
OH ⁻			1,02			2,38
CaO	3,4		1,68	2,04	1,7	3,92
Ca(OH) ₂	5,6		2,22	3,36	2,8	5,18
MgO	7,4		1,20	4,44	3,7	2,80
Mg(OH) ₂	4,0		1,74	2,40	2	4,06
NaOH	5,8		2,4	3,48	2,9	5,60
CO ₃ ²⁻	8		1,8	4,80	4	4,20
CaCO ₃	6		3,00	3,60	3	7,00
MgCO ₃	10		2,52	6,00	5	5,88
Na ₂ CO ₃	8,4		3,18	5,04	4,2	7,42
	10,6			6,36	5,3	
HCO ₃ ⁻	12,2	10,37				
Ca(HCO ₃) ₂	16,2	13,77				
Mg(HCO ₃) ₂	14,6	12,41				
NaHCO ₃	16,8	14,28				

Ces valeurs permettent de confirmer la basicité ainsi que les caractéristiques organiques des eaux (faible en matières minérales)

Les deux rivières (Andrangorona et Anony) ont de qualité différente. La turbidité (53,53 mg/l), la MES (131 mg/l), la conductivité (0,13 µS/cm), la salinité (0,06 mg/l) et les ions phosphate (0,12 mg/l) et nitrate (22,16 mg/l) sont élevés dans la rivière d'Andrangorona. Mais, ses valeurs sont faibles dans celles de la rivière d'Anony {la turbidité (45,04 mg/l), la MES (33,5

mg/l), la conductivité (0,04 μ S/cm), la salinité (0,01 mg/l) et les ions phosphates (0,09 mg/l) et nitrate (19,19 mg/l).

Cela pourrait être dû à sa quantité, à son usage et aussi à son origine. Andrangorona, à l'Est, venant de la grande pente du bassin versant a de débit très faible, de 0.5 mètre de profondeur et d'usage multiple (alimentation de bétails, arrosage, lessivage,...). Par contre, Anony a un débit très élevé, de profondeur d'environ un mètre et venant du Nord de pente très faible.

En faisant la comparaison entre le puits et la rivière d'Andrangorona, nous pouvons constater que le sable joue le rôle de filtre. Dans le puits, la turbidité (15,53 mg/l), la MES (13 mg/l), les ions sulfates (6,35 mg/l), les ions nitrates (14,45 mg/l) et nitrites (0,34 mg/l) sont réduits au moins de moitié. Les valeurs de ces paramètres dans la rivière d'Andrangorona sont : la turbidité (53,53 mg/l), la MES (131 mg/l), les ions sulfates (27,80 mg/l), les ions nitrates (22,16 mg/l) et nitrites (0,80 mg/l). À part ces paramètres, l'ion chlorure est retenu dans le puits. Cela s'explique par sa petite taille.

La comparaison de la qualité de l'eau en surface et en profondeur de la rivière d'Anony nous montre aussi que les valeurs de la conductivité, la salinité, le TAC, les ions phosphate et chlorure sont les mêmes. Il est évident que les MES (44 mg/l) et l'ion nitrate (20,38 mg/l) sont élevés en surface. Cela est dû aux petites dimensions des particules en suspension et à l'oxydation de l'ion nitrite en ion nitrate.

III.2.1.2- Interprétation d'analyse bactériologie du puits d'Andrangorona

Le tableau des résultats d'analyse nous montre une valeur des *Entérocoques* trois fois plus élevée ($6,4 \cdot 10^1$) par rapport à la norme (20). Les autres valeurs sont toutes conformes aux normes prescrites. C'est pourquoi, l'eau du puits n'est pas potable. Toutefois, cette eau peut être soumise à des traitements physiques simples, par exemple la filtration rapide et la désinfection, avant de pouvoir être utilisée pour l'alimentation humaine.

III.2.2- Le lac

Nous avons fait les comparaisons des valeurs par rapport aux normes de potabilité, à la qualité des eaux d'irrigation, à celle des eaux douces permettant la vie aquatique, au décret n°2003/464 du 15 avril 2003 portant sur la classification des eaux de surface et la réglementation des rejets d'effluents liquides, pour les eaux de la rive et du centre. Il est à noter qu'il y a eu deux points de prélèvement : l'un à la rive (3) et l'autre au centre du lac (5).

III.2.2.1- Résultats des analyses physico-chimiques

La qualité de l'eau du lac permet l'irrigation. Par contre, elle n'est pas potable compte tenu de la teneur en nitrite (0,94 mg/l largement supérieure à la norme de potabilité 0,1 mg/l). Quant aux eaux douces aptes à la vie aquatique, la teneur en MES (98,5 mg/l) et en ions nitrates (20,47 mg/l) est très élevée par rapport aux normes (MES<25 mg/l et nitrates<0,006 mg/l). Ce serait des raisons de plus qui ont amené à la diminution de la production halieutique.

En se référant au décret n°2003/464 du 15 avril 2003 portant sur la classification des eaux de surface et réglementation des rejets d'effluents liquides, nous pouvons déduire que l'eau du lac a de qualité moyenne. (cf. annexe VI)

La comparaison des valeurs des eaux du lac montre que :

- A la rive : le TA (0,75 mg/l), la salinité (0,10 mg/l), l'ion chlorure (24,85 mg/l), la MES (109 mg/l) et la conductivité (0,21 μ S/cm) sont élevés par rapport à la valeur trouvée au centre : le TA (0,15 mg/l), la salinité (0,00 mg/l), l'ion chlorure (8,88 mg/l), la MES (48 mg/l) et la conductivité (0,02 μ S/cm). Ceci signifie que l'eau devient concentrée.
- Au centre, l'eau est riche en ions sulfates (35,23 mg/l), phosphates (0,11 mg/l), nitrites (1,07 mg/l) et nitrates (20,64 mg/l). Par contre, sur la rive, les teneurs en ions sulfates (31,20 mg/l), phosphates (0,08 mg/l), nitrites (0,88 mg/l) et nitrates (20,29 mg/l) sont diminuées. Cela pourrait être dû à l'absence des plantes aquatiques qui absorbent des substances minérales et la présence des oiseaux aquatiques au centre du lac.

Les caractéristiques organiques de l'eau du lac sont données dans le tableau suivant.

Tableau 26: Caractéristiques chimiques de l'eau du lac

Sels dissous	Valeur du degré en mg/l	(3)	(5)
OH ⁻	3,4	5,1	1,02
CaO	5,6	8,4	1,68

Ca(OH) ₂	7,4	11,1	2,22
MgO	4,0	6	1,20
Mg(OH) ₂	5,8	8,7	1,74
NaOH	8	12	2,4
CO ₃ ²⁻	6	9	1,8
CaCO ₃	10	15	3,00
MgCO ₃	8,4	12,6	2,52
Na ₂ CO ₃	10,6	15,9	3,18
HCO ₃ ⁻	12,2		
Ca(HCO ₃) ²	16,2		
Mg(HCO ₃) ²	14,6		
NaHCO ₃	16,8		

III.2.2.2 Interprétations des résultats des analyses bactériologiques de l'eau du lac

Le tableau des résultats montre qu'à part, le germe *Escherichia coli*, tous les autres germes sont conformes aux normes prescrites. En effet, la valeur trouvée d'*Escherichia coli* ($9,3 \cdot 10^{-1}$) est quatre fois plus grande par rapport à la critère de norme (20). Alors, nous pouvons conclure que l'eau du puits est non potable. Toutefois, cette eau peut être soumise au traitement physique simple, par exemple filtration rapide et désinfection.

III.2.3 – Conclusion partielle sur les eaux

La teneur en nitrite détériore la qualité des eaux. Elle est en excès à cause de la pratique agricole (utilisation de fumier). (cf. annexe VIII)

Le lac joue le rôle du bassin de rétention. Les matières en suspension (MES) menacent son devenir. 34,75 milligrammes de MES par litre d'eau ont déposé dans le lac pendant son séjour. Donc, son ensablement va progresser.

III.3- Le sol d'Ambatomanga

Pour la propriété physique du sol, si nous nous référons au triangle de texture, elle a de structure : « limon argileux ». (cf. annexe III)

Les caractéristiques chimiques du sol montrent qu'il est fertile et dispose des matières organiques bien décomposées (C= 0,92% et C/N= 8,8). (cf. Tableau 22)

En se référant à la norme utilisée dans le laboratoire de pédologie de Madagascar (cf. annexe I), nous pouvons décrire sa qualité :

- Riche en : calcium (3,6 méq/100 g)
- Moyen en : phosphore (7,4 ppm) et magnésium (1,3 méq/100 g)
- Faible en : azote (0,105 %) et en fer (0,10 ppm)
- Pauvre en sodium (0,16méq/100 g)
- Très pauvre en potassium (0,03 méq/100 g)

Le sol est très fortement acide (pH=4,7). La somme des bases échangeables (Ca, Mg, K et Na) responsable de sa basicité est très faible (5,008%).

Le taux de saturation est moyen (87,73%).

La capacité d'échange cationique (5,8 méq/100 g) du sol est pauvre. Vu, son noyau (noyau de l'argile) qui est privé d'ion aluminium.

III.4- Les sédiments du lac

III.4.1- Paramètre physique :

D'après les textures des sédiments du lac, nous pouvons déduire ses structures dans le tableau suivant.

Tableau 27: Structure des sédiments du lac

Sigle	Structure	Remarque
(11)	Limon argileux	Si on descend vers la roche-mère, la texture devient plus argileuse.
(12)	Argile	
(21)	Limon argilo-sableuse	
(22)	Limon argileux	
(3)	Argile fine	
(51)	Argile limoneuse	
(52)	Argile	

III.4.2- Paramètres physico-chimiques

Les sédiments présentent les caractéristiques physico-chimiques suivantes :

- Le rapport C/N montre que les premières couches ont des matières organiques (MO) bien décomposées, tandis que les deuxièmes couches présentent des MO mal décomposées. Cette différence atteste que l'action biologique serait influencée par la lumière, la chaleur et l'humidité.

La nature de sédiments se trouvant au centre du lac se diffère aux autres. La matière organique est décomposée. Elle est due à la profondeur élevée de l'eau (environ 4 mètres)

La MO (variant de 15,8% à 22,3 %) de ces couches est supérieure à 5%. Par rapport aux normes, elle est très riche. Le carbone organique en surface est plus élevé par rapport à la couche en profondeur. La végétation encombrant presque toute la totalité du lac engendre ces phénomènes.

- Quant à l'azote :
 - Moyen au nord (0,943 %),
 - Pauvre au sud (0,763 %) et au centre (0,686 %),
 - Très pauvre à l'est (0,105%),

La comparaison entre les deux couches successives montre que la première couche bénéficie de l'azote.

- Le pH au nord (5,1), au sud (5,09) et au centre (5,07) est fortement acide. Par contre, à l'est, il est très fortement acide. La teneur en base échangeable l'explique
- Pour les oligo-éléments, (fer, cuivre, zinc et magnésium) ;

Le magnésium :

- Riche : au nord (1,55 méq/100 g), au sud (1,56 méq/100 g) et au centre (1,56 méq/100g),
- Moyen à l'est (1,3 méq/100g).

Le fer :

Il est apporté par les eaux de ruissellement (érosion de la côte est et sud). Le sédiment est riche en fer sauf la première couche au nord, vue le débit de l'eau très élevé.

Le cuivre :

Si nous faisons la comparaison entre les couches, seule la première au nord (1,8 ppm) est élevée.

Le zinc :

On constate que la teneur en deuxième couche (0,9 à 1 ppm) présente la moitié de celle de la première (1,5 à 2,3 ppm). Elle est due par les cendres des végétations « zozoro ».

En comparant avec les normes de toxicité des oligo-éléments, ils sont à l'état de trace. En plus, le taux moyen de cuivre dans le sol est de 6 ppm. (<http://www.fao.org/docrep/q2570F/q2570f01.htm>)

La végétation à longues racines du lac témoigne sa teneur moyenne en oligo-éléments. La carence en zinc est apparue à la réduction et à la distorsion des feuilles. Pourtant, elles sont normales. Ni les jeunes feuilles, ni les vieilles feuilles ne jaunissent. Ceux-ci justifient le taux moyen en fer et en magnésium.

La conductivité électrique des sols montre que ceux ci sont non salins et qu'ils sont compris dans le type du sol des hauts plateaux.

III.4.3 – Conclusion partielle

La qualité du sol et des sédiments montre l'existence d'une harmonie naturelle. Le partage et la coopération des êtres vivants assurent la survie de l'écosystème.

IV- MESURES D'ATTENUATION

Elles comprennent des mesures spécifiques et d'autres mesures possibles.

IV.1- Mesures spécifiques

Les mesures spécifiques sont données dans le tableau suivant :

Tableau 28: Mesures spécifiques

PROBLÉMATIQUES	MESURES
MILIEU PHYSIQUE	
<ul style="list-style-type: none"> - Envasement des rivières 	<ul style="list-style-type: none"> - Réhabilitation des barrages installés pour la maîtrise des crues. - Captage des sédiments : Il se fait par des plantations pour stabiliser les rives. - Construction des barrages, des canaux et de nivellement par les associations villageoises
<ul style="list-style-type: none"> • Feux des végétations des zones marécageuses et la chasse entraînant la disparition des certaines espèces endémiques (<i>bandro, onjy,...</i>) • Le marais est utilisé comme source de matière première pour la construction, l'artisanat, et la fabrication des meubles. - Erosion du bassin versant aggravée par la pâturage excessive : un important déboisement 	<ul style="list-style-type: none"> - Education et sensibilisation permanente de la population autochtone à la conservation. Ces programmes ont été débutés en 1996 par le bureau de Programme Education National, financé par le gouvernement Britannique (Alaotra Rano Soa, 2002). - Des séries de reboisement
MILIEU BIOLOGIQUE	
<ul style="list-style-type: none"> - L'introduction des poisson exotiques (<i>tilapia sp...</i>) entraînant une disparition progressive des poissons localement endémiques et une modification défavorable de la composition floristique du lac. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mesure de conservation en vigueur (application de la catégorie nationale et statut juridique des aires protégées) (Alaotra Rano Soa, 2002).
<ul style="list-style-type: none"> - Eutrophisation du lac due à l'érosion et à la pollution organique ou inorganique qui 	<ul style="list-style-type: none"> - Application des lois par les services des eaux et forêts, pêche et gendarmerie, puis

PROBLÉMATIQUES	MESURES
constitue une grande menace pour la survie des poissons (espèces aquatiques) - Pollution organique du lac liée à l'explosion démographique (nitrite et nitrate)	le DINA de pêche du 11/12/98 sur lequel figure la fermeture annuelle de la pêche durant 1 à 2 mois.
- Diminution d'une manière accélérée de certains poissons du lac (besisika, .menazipo) à cause de l'activité intensive des pêcheurs. (MPE, 2003)	- L'autorité doit ordonner de ne plus utiliser des filets à grande échelle de l'ordre de 50m à 80m de longueur - le dimensionnement des mailles des filets de pêche doit être limité. - renforcement des entités responsables de la surveillance de l'eau du lac.
MILIEU HUMAIN	
- Dégradation écologique (PRD, 2004)	- amélioration du cadre de vie de la population (droit à la scolarisation, mécanisation) - sensibilisation permanente

IV.2- Autres mesures

L'Homme, par ses interventions constitue le facteur primordial des perturbations qui affectent l'Environnement. En plus, la végétation naturelle constitue également une source naturelle importante d'hydrocarbures comme le Méthane qui est produit par la décomposition des matières organiques dans les marécages et dans le lac. Les incendies par la pratique du « tavy », les feux de brousse sont à l'origine des monoxydes de carbones qui est le plus abondant et le plus répandu des polluants atmosphériques.

Compte tenu des problèmes tels que, terrains en amont escarpés fortement dénudés, sédimentation en aval, inondation et détérioration de la qualité de l'eau, les trois étapes suivantes doivent être suivies et menées efficacement : la remise en état, la protection, et la productivité établie sur la zone étudiée.

Pour la remise en état du sol et l'amélioration de l'écoulement des eaux, les pratiques suivantes sont nécessaires :

- restauration de la végétation
- reboisement
- protection des zones sensibles à l'érosion contre le pâturage.
- délimitation et aménagement des zones inondables
- lutte contre les incendies

Quant à la protection des bassins versants, il est recommandé de mettre en oeuvre les mesures ci-après :

- Restauration et aménagement du couvert végétal pour protéger le sol en utilisant des espèces peu exigeantes en eau.
- le travail de sol se fera le long des courbes de niveau.
- contrôle de l'exploitation des forêts.

Dans la troisième étape, pour améliorer la productivité en amont, il faut faire appel à des pratiques telles que :

- Projets agro-forestiers avec des espèces à croissance rapide et à usages multiples.
- amélioration de l'agriculture sur pente, ...

Conclusions partielles

Les mesures bathymétriques ont montré que l'envasement du lac a été accéléré, ce qui est vérifié par les valeurs trouvées en matières en suspensions dans l'eau. Les analyses physico-chimiques montrent que la teneur en nitrite est souvent élevée. Ce qui détériore la qualité des eaux. Il a aussi été trouvé que l'eau est impropre à la consommation humaine (analyses bactériologiques et teneur en nitrites). Le sol est fertile selon les analyses. Les résultats des analyses des sédiments ont également montré que plus on descend vers les roches mères, plus la texture devient argileuse. En outre, la minéralisation en surface est forte.

Cette deuxième partie met en évidence les différents éléments des écosystèmes lacustres que nous allons étudiés dans la troisième partie.

**TROISIEME PARTIE : PROPOSITION D'ELEMENTS
POUR GUIDE D'EVALUATION DES ZONES
SENSIBLES D'ECOSYSTEMES LACUSTRES**

A – PROPOSITION D'ÉLÉMENTS POUR UN GUIDE

I- INTRODUCTION

La première partie de ce mémoire a mentionné la généralité de notre zone d'étude. La deuxième a fait son évaluation. Et cette dernière partie a tiré les éléments et les informations nécessaires pour un guide d'évaluation des zones sensibles d'écosystèmes lacustres.

D'après la Convention de RAMSAR du 02 février 1971 en IRAN, Madagascar a 5 sites RAMSAR.

- marais de Torontrofotsy (Andasibe Moramanga)
- lac de Manambolomaty (Antsalova Mahajanga)
- lac Alaotra (Ambatondrazaka Toamasina)
- lac salé de Tsimanampetsotsa (Toliary)
- lac Tsarasaotra (Antananarivo)

« L'objectif d'un site RAMSAR est la conciliation de la conservation et de l'utilisation rationnelle des ressources naturelles par la population locale ». Et ce but est compris dans le but de cette contribution de guide. (ANDRIAMANANA, 2005)

L'arrêté ministériel 4355/97 du 13 mai 1997 a classé qu'Alaotra est compris dans les zones lacustres de Madagascar.

Une zone est dite sensible si son écosystème possède des caractères irréversibles.

L'écosystème lacustre est caractérisé par des éléments constituant le lac et ses alentours. Ils présentent alors des effets directs ou indirects sur le lac. C'est ainsi que les éléments pour guide sont des éléments ayant un effet direct ou indirect sur l'écosystème lacustre tels que : la biodiversité, l'eau, le sol et les sédiments.

Dans ce rapport, nous essayons de traiter une proposition d'éléments pour guide d'évaluation des zones sensibles d'écosystèmes lacustres appliqué au cas du lac Alaotra.

II- Plan général du guide

En général, un guide d'évaluation des zones sensibles d'écosystème lacustre doit comprendre (ONE, 2005) :

- Présentation des projets lacustres à Madagascar ;
- Elaboration des termes de référence ;
- Exigences pour un projet lacustre
- Plan de gestion environnementale ;

II.1- Présentation de projet lacustre à Madagascar

On entend par projets lacustres, tous les projets ayant des effets directs ou indirects sur un écosystème lacustre.

Cette partie comprend la partie législation, la situation actuelle d'un lieu donné et les problèmes environnementaux.

II.1.1- Législation

Pour l'élaboration de guide d'évaluation environnementale des écosystèmes lacustres, il est nécessaire de prendre en compte des considérations légales, réglementaires et administratives. Il ne faut pas oublier non plus, les normes, que ce soit

- nationales comme :
 - L'ordonnances N° 93 022 portant réglementation de la pêche et de l'aquaculture.
 - Loi N° 98-029 du 20 janvier 1999 portant code de l'eau.
 - La loi domaniale N° 60-024.
 - Décret N° 2003-100 du 11 février 2003 fixant les attributions du Ministre de l'environnement, des Eaux et Forêts ainsi que l'organisation générale de son Ministère.
- ou internationales en vigueur telles que les conventions sur les zones humides.(MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT - OFFICE NATIONAL POUR L'ENVIRONNEMENT, 2000)

II.1.2- Situation actuelle

Les différentes activités sur cette zone, telles que les utilisations excessives et non réglementées des ressources naturelles, l'emploi des techniques mal appropriées, peuvent

conduire à des situations de dégradations environnementales conduisant à des catastrophes économiques.

De telles situations confrontent le besoin de porter une attention particulière aux problèmes environnementaux spécifiquement liés à l'écosystème lacustre dans une perspective de développement durable.

II.1.3- Problèmes environnementaux

Ils sont basés sur :

- La régulation des ressources en eau.
- L'érosion des bassins versants entraînant l'envasement du lac.
- L'hygiène et la propreté de cette zone ainsi que son habitat.

II.2- Elaboration des termes de référence

Selon l'article 12 du décret MECIE, l'ONE sera chargé de l'élaborer.

II.3- Exigences pour les projets lacustres

Elles consistent à décrire le projet et les composantes de l'environnement.

II.3.1- Description du projet

En général, la réalisation du projet doit comporter quatre grandes phases

- la préparation du site
- la phase de construction
- la mise en exploitation ou phase opérationnelle
- la fermeture et l'abandon du projet après l'exploitation

II.3.2- Description des composantes de l'environnement

Les composantes pertinentes de l'environnement doivent être identifiées si des projets se réalisent dans ce site car elles risquent d'être modifiées. Les modifications seraient irréversibles, surtout, s'il s'agit d'une zone sensible comme dans notre cas : écosystèmes lacustres.

II.3.2.1- Zone d'étude

Des analyses des facteurs hydrologiques, écologique, pédologique et socio-économique devraient être fait à chaque modèle d'études effectuées.

La description du milieu devrait mettre en exergue les caractéristiques de l'écosystème de la zone d'étude et l'état initial du site.

Dans cette optique, les points suivants méritent d'être accentuées :

- Les conditions hydrobiologiques générales (la maturité du sol, la sensibilité du milieu, la qualité et la stabilité des sédiments)
- Les paramètres physico-chimiques des eaux (la température, la salinité, le pH, la turbidité, l'oxygène dissout, MES, la matière organique).
- La pédologie (nature des sols)
- La disponibilité en eaux (rivière avec son débit et les variations saisonnières, eau souterraine en indiquant le niveau de la nappe).
- le mode de gestion des sols ;
- l'accès des populations aux ressources naturelles.
- les valeurs sociales et culturelles.
- les capacités d'intégration des populations aux projets.

Tableau 29: Identification des principales composantes de l'environnement potentiellement affectées lors de la réalisation des activités d'un projet lacustre.

Activités	Composantes de l'environnement
Phase préparatoire	
Occupation des terrains	<ul style="list-style-type: none"> • Intégrité écologique, faunes et flore aquatiques • Population locale, utilisation des terres
Défrichements de la zone humide	Sol, culture, faune et flore aquatique
Phase de construction	
Construction des canaux d'alimentation, de drainage, de bassin...	Utilisation de sol et eau
Travaux d'aménagement	Flore et faune aquatique, eau, population locale
Phase d'exploitation	
Technique d'exploitation	Eau (qualité, quantité), faune et écosystème aquatique, santé humaine
Pesticides, biocides et fertilisants	Eau de l'écosystème d'accueil, environnement naturel immédiat

II.3.2.2- Identification et évaluation des principaux impacts sur l'environnement

Le projet aux activités interdépendant du site engendre sûrement des impacts sur l'environnement. Cette interaction se présente tout le long du cycle de la réalisation du projet. Ils méritent d'être identifiés avant d'implanter un projet lacustre.

A cet effet, quelques brefs aperçus sur les impacts engendrés par phase de sa mise en oeuvre sont donnés ci-après :

Tableau 30: Impacts probables sur les écosystèmes

Composante du milieu	Impacts probables
Milieu physique	
eau	<ul style="list-style-type: none"> • Changement de la qualité de l'eau • Apport d'éléments nutritifs (azote, phosphore) • Forte turbidité des eaux due à l'accroissement de la charge solide en suspension au niveau du système aquatique • Détérioration de la qualité de l'eau • Salinisation des eaux de surface • Acidification de l'eau de bassin • Réduction de la teneur en oxygène • Augmentation de la DBO₅ • Hausse de la quantité de la matière en suspension et sédimentation • Phénomène d'envasement • Phénomène d'eutrophisation
sol	<ul style="list-style-type: none"> • Phénomène d'érosion et d'envasement • Stérilisation des sédiments

II.3.2.3- Mesures d'atténuation d'impacts actuels et probables

Les mesures d'atténuation se définissent comme l'ensemble des moyens envisagés pour prévenir ou réduire l'importance des impacts sur l'environnement.

Tableau 31 : Mesures d'atténuation proposées pour les milieux récepteurs.

Milieu récepteur	impact	Mesures d'atténuations
Milieu physique		
sol	Erosion et/ou sédimentation	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisation des sols exposés par engazonnement ou autres
	Destruction du paysage et du site initial	<ul style="list-style-type: none"> • Reboisement de la zone défrichée mais non utilisés par le projet
eau	Contamination de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi des paramètres physiques de qualité des eaux
Flore et faune	Modification de la structure des populations et de la diversité des espèces	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation avec réserves des biocides
Social et culturel	Problème d'insertion du projet dans l'environnement social et culturel	<ul style="list-style-type: none"> • Consultation et accord préalable des populations concernées et des autorités coutumières locales • Assurance de non affectation des ressources des communautés artisanales et leurs familles • Respect des us et coutumes • Intégration de la population locale dans le projet • Négociation entre les acquéreurs et les populations à déplacer • Embaucher prioritairement des populations locales • Etablissement d'une convention de cohabitation et de collaboration entre le promoteur et les populations riveraines

II.4- Plan de gestion environnementale

Le suivi écologique des sites affectés par le projet est une opération caractérisée par sa durée et par sa périodicité. Elle doit faire l'objet de propositions réalistes, notamment en ce qui concerne les moyens disponibles, souvent limités. Ainsi, on doit s'appuyer sur les

structures existantes, même s'il y a lieu d'incorporer dans les coûts de mesures d'atténuation, les moyens adaptés relatifs à la tâche envisagée (formation du personnel, équipement indispensable).

Le programme de suivi définit les activités prévues pour suivre les effets réels du projet sur certaines composantes environnementales. Les méthodes d'échantillonnages et d'analyse doivent y être précisées. Les dispositions qu'entend prendre le promoteur afin de protéger l'environnement, si cela s'avère nécessaire pendant la phase opérationnelle du projet, doivent aussi être présentées.

La réalisation effective de ces travaux de surveillance et de suivi nécessite, entre autre, la détermination des quelques indicateurs d'impacts pertinents pour suivre l'évolution de certaines composantes du milieu affecté lors de la réalisation du projet. Pour ce faire, l'état de référence (ou l'état zéro) devrait être caractérisé par les valeurs des paramètres mesurés avant toute réalisation du projet.

Les méthodes classiques de suivi écologique prévoient des mesures et analyses (d'eau, de sol,...), des travaux d'inventaires (faune, flore,...), l'utilisation des bio-indicateurs (plantes, animaux) nécessitant l'élaboration d'une gamme d'indicateurs et l'utilisation des indicateurs socio-économiques.

Dans le cadre d'un projet lacustre, le programme de suivi doit en particulier, mettre l'accent sur le contrôle de l'évolution temporelle du milieu environnant. A cet effet, quelques principaux points sur la qualité des sols du bassin versant, des eaux de rivières et de l'eau du lac méritent d'être suivis rigoureusement. L'habitude de la population ainsi que les bio-indicateurs vérifient l'état exact du lac. Toutefois, ces paramètres doivent adopter après les différents travaux des consultants spécialisés.

Dans tous les cas, les promoteurs ont tenu de réaliser un audit technique de leurs installations par un expert accompagné d'un représentant de l'ONE. Les résultats de cet audit resteront strictement confidentiels.

B – ETUDE DE CAS

Dans cette partie, nous allons mener une étude de cas proprement dite.

I- INTRODUCTION

Lac Alaotra est notre zone d'illustration. Elle est comprise dans le Site RAMSAR. Elle est proposée aussi comme une aire protégée. D'une part, cette zone possède des atouts (voir monographie) intéressants, non seulement pour cette zone, mais aussi pour notre pays entier. D'autre part, les problématiques de cette zone vont accélérer sa dégradation (voir monographie). Ce qui revient à dire qu'il faut faire un guide d'évaluation afin de, au moins, maintenir son état actuel.

Le lac Alaotra est un patrimoine malgache. Conserver le lac signifie conserver notre pays. Le guide est la deuxième façon de le faire pour les grandes unités. Tandis que, la sensibilisation de la population de cette zone est la première pour tout le monde.

Le travail de subsistance des riverains est lié directement au lac. Détruire le lac, signifie annuler des milliers des vies humaines. C'est pourquoi, le guide d'évaluation d'un écosystème lacustre s'avère indispensable.

En se servant de ce guide comme référence de base pour l'évaluation des différents scénarios environnementaux qui se passe au niveau de cette zone, nous pouvons, alors, valoriser son état.

II- ETAT DES ATTRIBUTS ENVIRONNEMENTAUX

Les investigations sur terrain nous permettent de connaître son état actuel. La comparaison des nos études avec celles des antérieures nous permet de prévoir le devenir de cette zone. Et c'est ainsi que nous pouvons tirer les éléments pour l'évaluation des zones sensibles d'écosystème lacustre.

II.1- Etudes comparatives

Le temps et l'homme apportent des changements sur l'environnement. Il est alors nécessaire de faire la comparaison entre les études antérieures et celles du présent.

II.1.1- Les eaux

Seul l'eau du lac est concernée.

Pour mieux connaître l'évolution des caractéristiques physico- chimique de l'eau et son usage adéquat, il faut comparer les résultats obtenus par les chercheurs cités en études antérieures avec les nôtres et par rapport aux normes de potabilité, d'irrigation et de vie aquatique. L'écart entre les valeurs trouvées montre au préalable sa prochaine qualité.

II.1.1.1- Comparaison par rapport aux normes

En comparant avec les normes de potabilités, nous voyons qu'il y a deux paramètres hors normes : nitrite (0,88 à 1, 07 mg/l > 0,1 mg/l) et fer (0,35 à 1,50 mg/l > 0,1 mg/l). Ceux-ci impliquent que l'eau est exclue à la consommation humaine.

En se référant aux normes pour les eaux d'irrigation, l'eau du lac est de bonne qualité, apte à son usage. Cela pourrait être un facteur de fertilité de cette zone. Ce qui lui permet d'être le premier grenier à riz de Madagascar.

Par rapport aux normes des eaux douces aptes à la vie aquatique, le taux de nitrite (0,88 à 1, 07 mg/l > 0,006 mg/l) est en excès. Cela provoquerait une perturbation sur la survie et la prolifération des espèces aquatiques.

II.1.1.2- Ecart des valeurs

- Au fil du temps, le pH de l'eau du lac reste presque la même (6, 8 à 7,3)
- Onze ans auparavant, M. Pidgeon n'a détecté aucune trace de nitrate et nitrite. Pourtant, nous avons obtenu de valeur notable pour le nitrate (20,29 à 20,64 mg/l) et de valeur trop élevée pour le nitrite (0,88 à 1,07 mg/l) selon sa toxicité (cf. annexe v). Cela vient du fait à la pratique agricole et à l'élevage intense des riverains.
- Le lac devient moins profond. L'érosion et les matières en suspension sont les principales causes de son ensablement.
- Durant onze ans, le taux des ions chlorures augmentent (2,1 mg/l à 8,8 mg/l) au moins plus de quatre fois. Son origine serait l'utilisation de DDT pour la santé publique.
- La teneur en ions sulfate à l'état de trace tend à quelques dizaines (0,01 mg/l à 35,23 mg/l). Sa raison n'est pas conclue.

- La conductivité diminue énormément (de 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 0,02 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Les résidus de matière organique due aux plantes aquatiques engendrent ce phénomène.
- Au cours du temps, les ions phosphates diminuent et tendent vers l'état de trace (0,25 mg/l à 0,08 mg/l). La fermeture de l'unité SOMALAC utilisant des engrais chimiques, il y a vingt ans atteste cette réalité. En plus les ions phosphates sont fixés, soient par les plantes, soient par le sédiment du lac.
- La dureté totale diminue énormément (de 8,2 à 0,3). La photosynthèse des plantes aquatiques, fixant du calcium et de magnésium, accentue ce phénomène.

II.1.2- Les sols

La caractéristique physico-chimique du sol reste la même. Le temps et les événements n'apportent aucun changement sur sa qualité. Seul son pH devient plus acide (5,8 à 4,98)

II.1.3- Les sédiments

Les sédiments s'évaluent :

- Le pH devient plus basique (de 4,7 à 5,6) ;
- La teneur en azote (0,02 à 0,698 ppm) et la quantité en magnésium (0,014 à 1, 52 ppm) augmentent.

II.2- Perspective d'avenir

D'après les études expérimentales concernant la bathymétrie et l'analyse physico-chimique de l'eau du lac, nous pouvons prévoir son devenir :

Sur le plan physique :

Lors de la levée bathymétrique, la profondeur de la boue sur la partie sud du lac varie entre 5 à 10 mètres. Et d'après le Système d'Information Géographique, cette partie est entrain de s'envaser.

Il est évident que, la profondeur des rives est faible (de 23 à 60 cm). Par contre, le milieu du lac présente un canal, ressemblant à des trous discontinus, menant vers l'exutoire.

Sur le plan physico-chimique :

L'analyse physico-chimique nous montre que, 109 mg de matière en suspension par litre d'eau du lac est déposé sur ses rives. Alors son ensablement s'accroît. Pourtant, le calcul de débit en amont et en aval du lac en toute saison permet de savoir sa durée de vie.

En plus, la qualité physico-chimique du lac menace la survie des espèces aquatiques. Son eutrophisation est probable (due à la quantité des nitrites dans l'eau et des matières organiques dans la première couche de sédiment et la végétation du lac).



Photo 11 : Végétation au milieu du lac



Photo 12 : Végétation à la rive Est du lac

Malgré tout, il paraît que le lac reste toujours comme un espace de loisir.

II.3- Recommandations

La pédologie du sol accentue l'érosion. L'eau de ruissellement apporte la quantité du sol enlevée vers les bas fonds (lac et rizière). Il reçoit la majeure partie de la quantité enlevée.

La quantité énorme des anions présents dans le lac, nitrates et nitrites, provient du feu des végétations. Lorsqu'il pleut, la cendre obtenue est balayée vers le lac.

Le changement sur la façon d'agir est obligatoire si on veut, au moins, conserver l'état actuel du lac. Nous proposons de transformer la paille en engrais et d'utiliser l'immense espace du « tanety » en rizière en même temps de ne pas toucher le « zetra ».

La seule solution possible est de limiter l'extension des « lavaka » existants et aussi de faire le reboisement sur les bassins versants.



Photo 13 : « Lavaka » sur le bassin versant de la cote Est du lac (Ambatomanga)

III- RESULTATS ATTENDUS

L'amélioration d'état actuel de l'écosystème sera le but principal :

- Sur le milieu physique : la suppression de feu des végétation, la conservation des bassins versants, la limitation d'érosion, la restitution de tous les canaux.
- Sur le milieu biologique : la réduction des poissons exotiques (comme le tilapia sp.), la construction des fosses sceptiques ou perdues, la réglementation des activités de pêche.
- Sur le plan humain : la formation et sensibilisation de la population en matière de l'environnement.

Afin que les interventions réalisées dans cette zone puissent être optimales pour l'amélioration et la conservation de la qualité du lac, il est à recommander :

- De faire appliquer rigoureusement l'interdiction de brûler le « zetra » et les pailles de riz ;
- D'assurer une surveillance des « lavaka » afin de ne plus limiter son extension ;
- De voir plus près les paramètres suivant : nitrate, nitrite et MES qui affectent largement le lac ;

IV- CRITERES D'EVALUATION

La présence du lac met en évidence qu'il s'agit d'une zone humide. Elle est aussi une zone sensible vu son écosystème. Les bassins versants indiquent qu'elle est une zone d'altitude. Celle-ci entraîne les composantes de milieu suivantes : les bas fonds, les étangs, les bordures des plans d'eau et de cours d'eau, les plaines et les plateaux. Alors, il faut identifier : l'eau, le sol, la végétation, la biodiversité, le climat, la culture, les zones aménagés et l'hydrologie.

Pour l'eau, il faut connaître : le régime d'écoulement, la profondeur, la turbidité, les matières en suspensions, et la salinité.

Quant au sol, il faut savoir : son aspect morphologie, aspect pétrographie, aspect de surface et la pédologie.

En ce qui concerne la végétation, il faut mentionner : la forme biologique et la distribution spatiale.

Pour la biodiversité, il faut noter, : les espèces uniques, les groupes d'espèces botaniques et animales.

Il faut citer les caractéristiques du climat de cette zone et l'état de son érosion.

Donner les formes biologiques, l'aspect spatial superficie, les pratiques culturelles et distribution spatiale, pour les cultures.

Pour les zones aménagées, il est à noter si elles sont bâties ou non.

Pour notre cas, les éléments qui méritent le plus d'être accentués pour guide d'évaluation des zones sensibles d'écosystèmes lacustres sont les suivants :

Eaux :

- Nitrite ;
- Matières En Suspension ;
- Ions chlorures.

Sol :

- pH.

Sédiments :

- pH
- Azote ;
- Magnésium.

CONCLUSIONS GENERALES

Alaotra, notre zone d'étude, est réputée par sa production rizicole. De par ses richesses biologiques, elle constitue aussi un berceau de la nature. Pourtant, comme nombre de zones sensibles de Madagascar, elle est sérieusement affectée par des problèmes d'érosion (phénomènes à la fois naturels et provoqués par des activités anthropiques). De surcroît, l'insuffisance de la sensibilisation et de l'information de la population en matière d'Environnement aggrave ces érosions.

La partie pratique de cette étude a été principalement axée sur la zone du lac Alaotra. Des rappels théoriques nécessaires à la compréhension des problématiques ont été discutés dans la première partie. Ils couvrent aussi la monographie simple de cette zone et la capitalisation des acquis.

Les études pratiques concernaient des analyses bathymétriques, physico-chimiques, bactériologiques des eaux (dont des échantillons d'eau du lac, des eaux des rivières d'Andrangorona et d'Anony et d'eau de fleuve Maningory), et physiques d'échantillons de sol d'Ambatomanga et de sédiments du lac, ainsi que des propositions de mesures d'atténuation ont également été avancés dans la deuxième partie.

Selon les résultats des études bathymétriques, l'envasement du lac s'accroît avec le temps. Actuellement, sa profondeur varie de 23cm à 248cm. La partie la plus profonde se situe au centre Nord Est du lac. Les rives et quelques endroits ont des profondeurs plus faibles qui varient en moyenne de 23cm à 60cm. Dans sa partie Sud, il est menacé par l'eutrophisation. La seule solution efficace pour limiter ces problèmes est l'aménagement des bassins versants. Il est possible de curer certaines parties du lac surtout dans son côté Sud pour y remédier.

Pour les qualités physico-chimiques, la teneur élevée en nitrites détériore la qualité des eaux. Elle est essentiellement due aux pratiques agricoles (utilisation de fumier)

Les matières en suspension menacent aussi son devenir : 34,75 mg/l ont été mesurés dans le lac durant les études sur site : l'ensablement subséquent progressera si des mesures ne sont pas prises.

Bien que le lac joue aussi le rôle de bassin de rétention, l'eau est impropre à la consommation humaine et à la vie aquatique mais elle est de bonne qualité pour l'irrigation.

La qualité du sol et des sédiments montre l'harmonie entre certains éléments de la nature ; ce qui assure la survie de l'écosystème.

La troisième partie propose des éléments pour un guide d'évaluation d'écosystème lacustre dont on met en exergue le cas du lac Alaotra.

Un guide doit comporter une présentation et les exigences liées au type de projet, des termes de référence et un plan de gestion environnementale. Les éléments d'évaluation proposés pour le guide d'évaluation des zones sensibles sont :

- les éléments de l'écosystème tels que les espèces floristiques en présence, l'eau (les nitrites, les nitrates et ions chlorure, ...), le sol (le pH) et les sédiments (azote et magnésium) pour les critères d'évaluation
- les comportements de l'Homme envers son environnement physique, biologique, et humain.

En résumé, divers résultats ont été obtenus à la suite de cette étude :

- caractérisation des éléments des écosystèmes lacustres tels que les eaux, le sol et les sédiments
- interprétation des résultats obtenus
- proposition d'éléments pour un Guide d'évaluation des écosystèmes lacustres.

Toutefois, cette étude est encore incomplète car, par exemple, les bio-indicateurs font encore défaut (ils permettent de reconnaître l'état générale des lieux rien qu'avec des observations visuelles)

A part l'étude de cas du lac Alaotra, différents types de résultats ont été obtenus à partir de ce travail et peuvent servir de document de base pour d'autres recherches sur les écosystèmes lacustres et pour l'élaboration d'un guide technique d'évaluation y afférent.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADJANOHOOUN E.- Végétation des savanes et des rochers découverts en Côte d'Ivoire centrale, Mémoire ORSTOM n°7, Paris. 1964. 250 p.

ALAOIRA RANO SOA.- Document technique sur la zone humide d'Alaoira proposé pour site RAMSAR le 14 - 15 juin 2001, Ambatondrazaka. Août 2002. pp 1-4, pp 6-10.

ANDRIAMANANA Vola.- Zones Humides: quatre sites Ramsar à Madagascar, MIDI Madagascar, n°6536, Antananarivo. Du jeudi 03 février 2005. p 7.

ANDRIANANDRASANA T.H.- Analyse chimique de l'eau à Alaoira, Rapport de mission en 02 mai 2002. 8 p.

BENNET Hugh Hammond.- Manuel de conservation du sol, U.S. government printing office, 1950.

BESAIRIE H.- Précis de géologie malgache, Fax XXVI, Imprimerie Nationale Tananarive. 1973. 141p.

BONTOUX Jean.- Introduction à l'Etude des eaux douces. Fiche technique, Paris.1956.

BOURGEAT F.- Sols sur socle ancien à Madagascar, Types de différenciation et interprétation chronologique au cours du quaternaire, Mémoire ORSTOM, 1972. 335 p.

CIRAD-GRET.- Mémento de l'Agronome, Décembre 2002.

DEGREMONT Lavoisier.- MONOD Jérôme.- Mémento technique de l'eau, Tome I, 9^{ème} édition, 1989.

DEMOLON Albert.- LEROUX Désiré.- Guide pour l'étude expérimentale du sol Gauthier – Villars et Cie, Paris, 1933, 16,50 X 21 cm. pp 177- 192.

DIRECTION REGIONALE DE DEVELOPPEMENT RURAL.- Plan régional de développement d'Alaoira Mangoro, Version électronique. 2004.

DRDR.- Récapitulation par partenaire stratégique des besoins en NPK et semences riz de contre saison DRDR Ambatondrazaka. Version électronique. 2004.

DRDR.- Situation de remboursement engrais Voucher. Fiche technique.2005.

EQUIPE BASSINS VERSANTS.- Schéma d'Aménagement Bassins Versant Ambatondrazaka (SAHAMALOTO), Gestion conservatoire des eaux et des sols composantes bassins versants, PE II, MEF. Juin 2000. 31 p.

JOFFIN (J.N), JOFFIN (C).- Microbiologie Alimentaire, 3^{ème} édition, 1992. 280 p

MAISON DE PETIT ELEVAGE.- Développement des filières d'élevage à cycle court dans la région du lac Alaotra, Rapport provisoire. 2003. 107 p.

MATHIEU ET Clément.- PIELTAIN Françoise.- Analyse physique des sols, Méthodes Choisies, 3^{ème} édition, Paris. Août 1998. 274 p.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ELEVAGE ET DE LA PECHE.- Unité de Politique pour le Développement Rural, Monographie de la Région d'Ambatondrazaka. 2002. pp 1-106.

MINISTERE DE LA COOPERATION ET DU DEVELOPPEMENT.- Mémento de l'Agronome, 2^{ème} édition, Juin 1974. pp 85-88.

MINISTERE DE LA COOPERATION ET DU DEVELOPPEMENT.- Mémento de l'Agronome, 4^{ème} édition, Juin 1991. pp 150-153.

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT - OFFICE NATIONAL POUR L'ENVIRONNEMENT.- Guide sectoriel pour la réalisation d'une étude d'impact environnemental des projets aquacoles, Décembre 2000. pp 1-36.

MOUREAUX C.L et RIQUIER Jean.- Les sols submergés du lac Alaotra, Mémoire de l'institut scientifique de Madagascar, Tome III, Fascicule 1. 1951. 41 p.

OFFICE NATIONAL POUR L'ENVIRONNEMENT.- Mise en Conformité- Guide Général, Avril 2005. pp 67-68.

PANSU Marc - GAUTHEYROU Jacques – LOYER Jean Yves.- l'Analyse du sol, Echantillonnage, instrumentation et contrôle, Masson, Paris. Novembre 1998.

PIDGEON M.- An Ecological Survey of the Lac Alaotra and Selected Wetlands of Central and Eastern Madagascar in analysing the demise of the Madagascar Pochard *Aythya innotata*, World Wide Fund for Nature et Missouri Botanical Garden, Antananarivo, Madagascar. 1994. 54 p.

RIQUIER J. et. SEGALEN P.- Notice sur la carte pédologique du lac Alaotra. Mémoire de l'Institut Scientifique de Madagascar, Série D, Tome II, Fascicule 3. 1949. 30 p.

RODIER Jean.- L'analyse des Eaux, 7^{ème} édition, 1984.

Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN).- Catégorie de la liste rouge, 51^{ème} conférence du conseil de l'UICN, Gland, Suisse. 2000..

UICN/CBSG.- Conservation Breeding Specialist Group Evaluation et plan de gestion pour la conservation de la faune de Madagascar (CAMP). En cours. Draft de l'atelier de 20 à 25 mai 2002, Mantasoa Madagascar. 2001.

SITES WEB CONSULTÉS

<http://www.ENTEROCOCCUS.html>

<http://www.ESCHERICHIA.COLI.html>

<http://www.fao.org/docrep/q2570F/q2570f01.htm>

http://www.ramsar.org/ris/key_ris_f.htm

ANNEXES

ANNEXE I

I.1. Climats d'Ambatondrazaka

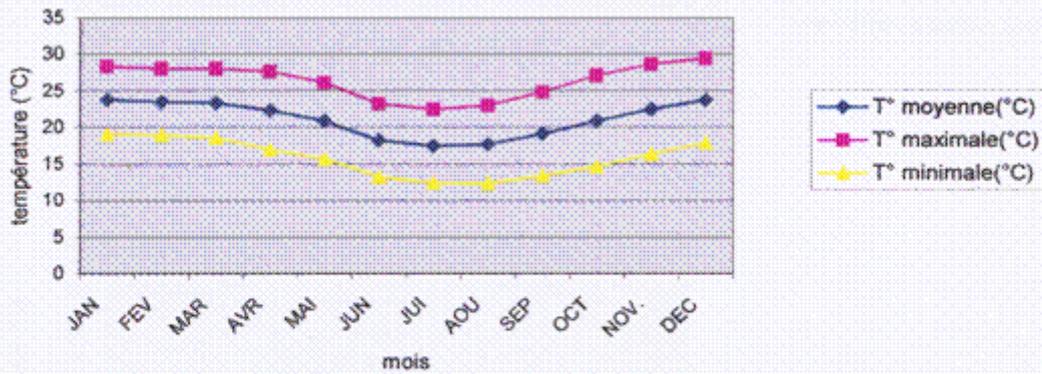


Figure 01. Régime thermique

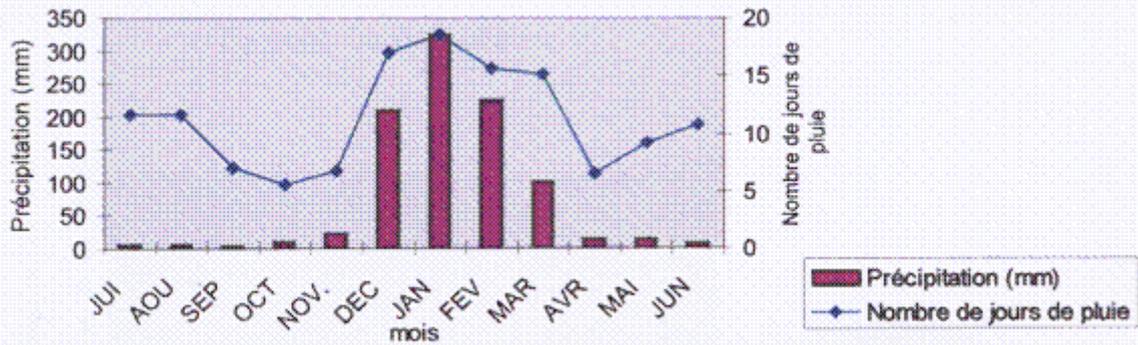


Figure 02. Diagramme pluviométrique et variation du nombre de jour de pluie

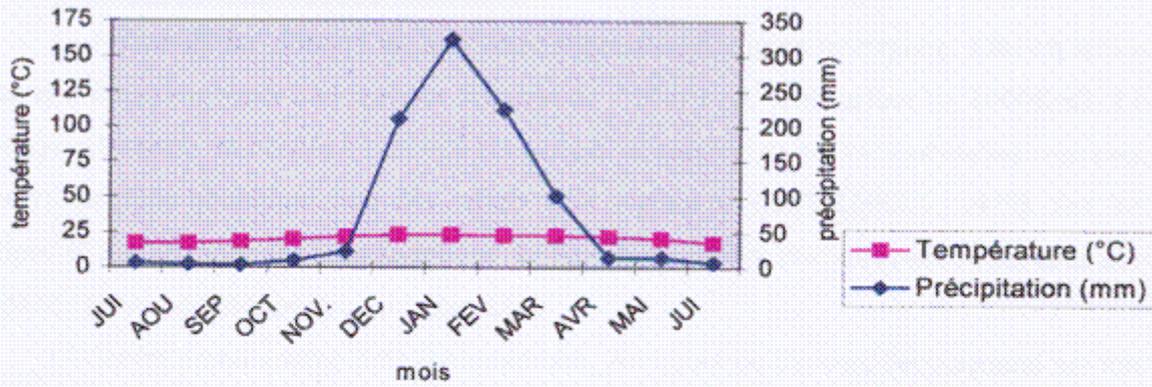


Figure 03. Courbe ombrothermique de Gausson

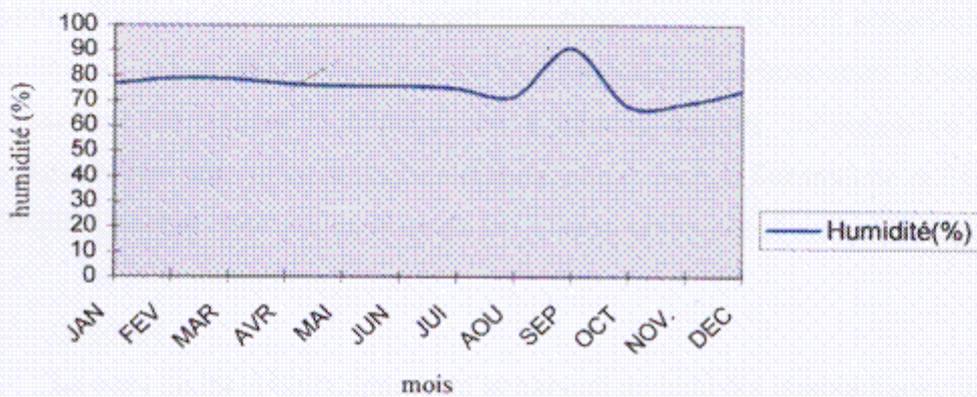


Figure 04. Humidité relative

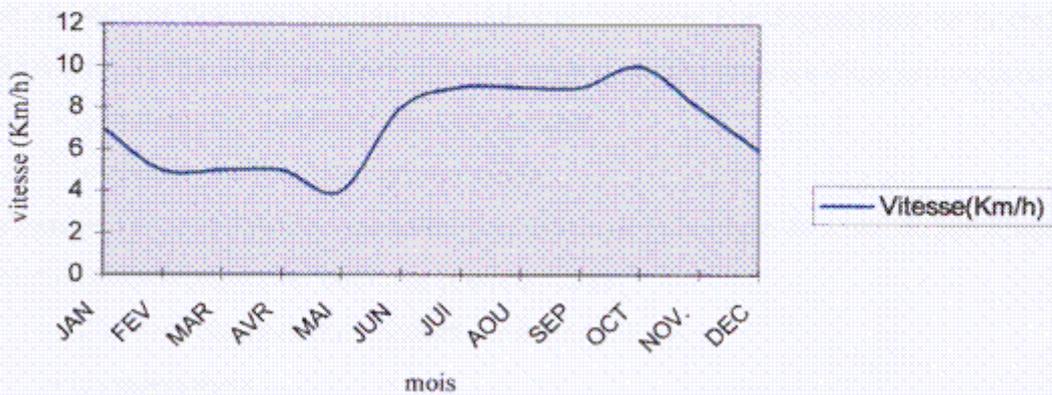
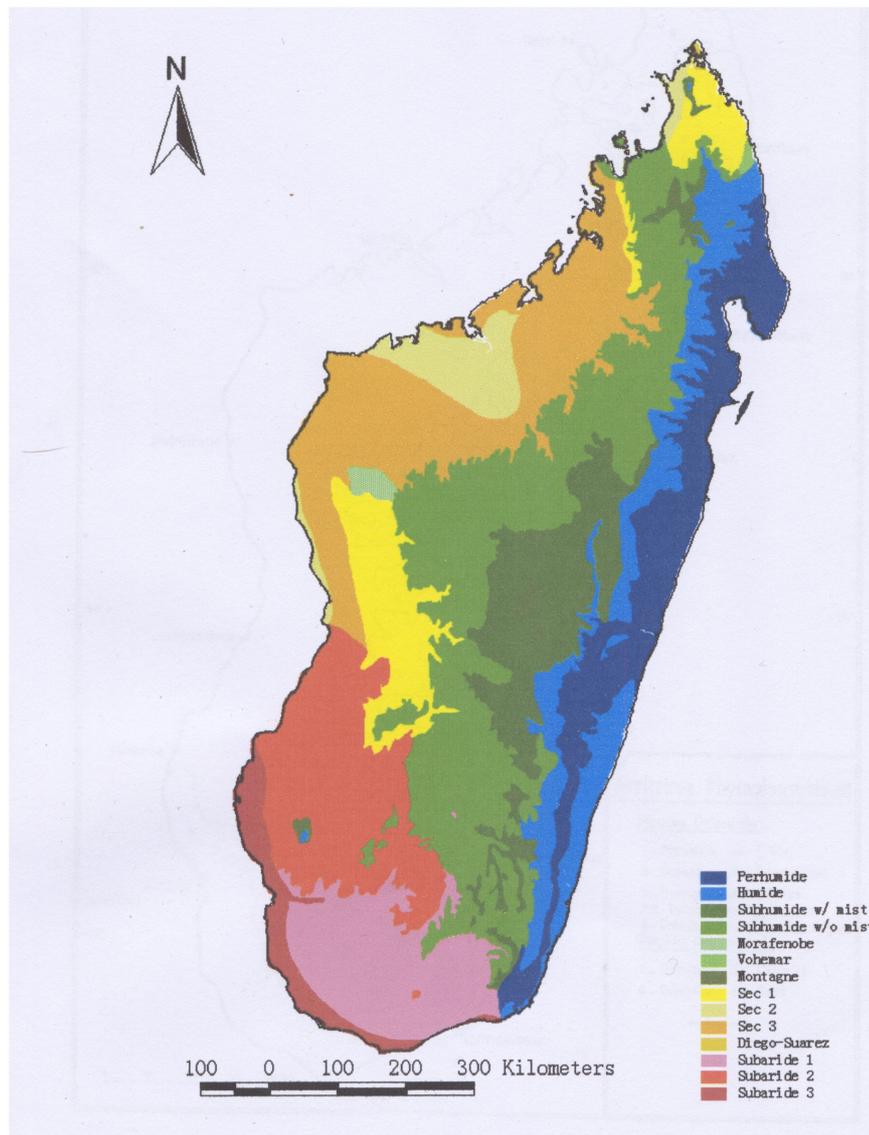


Figure 05. Vitesse du vent

Source : Direction de Météorologie et d'Hydrologie Ampandrinomy, 2004, Station d'Ambohitsilaozana.

I.2. Carte bioclimatique de Madagascar



Source : FTM

ANNEXE II

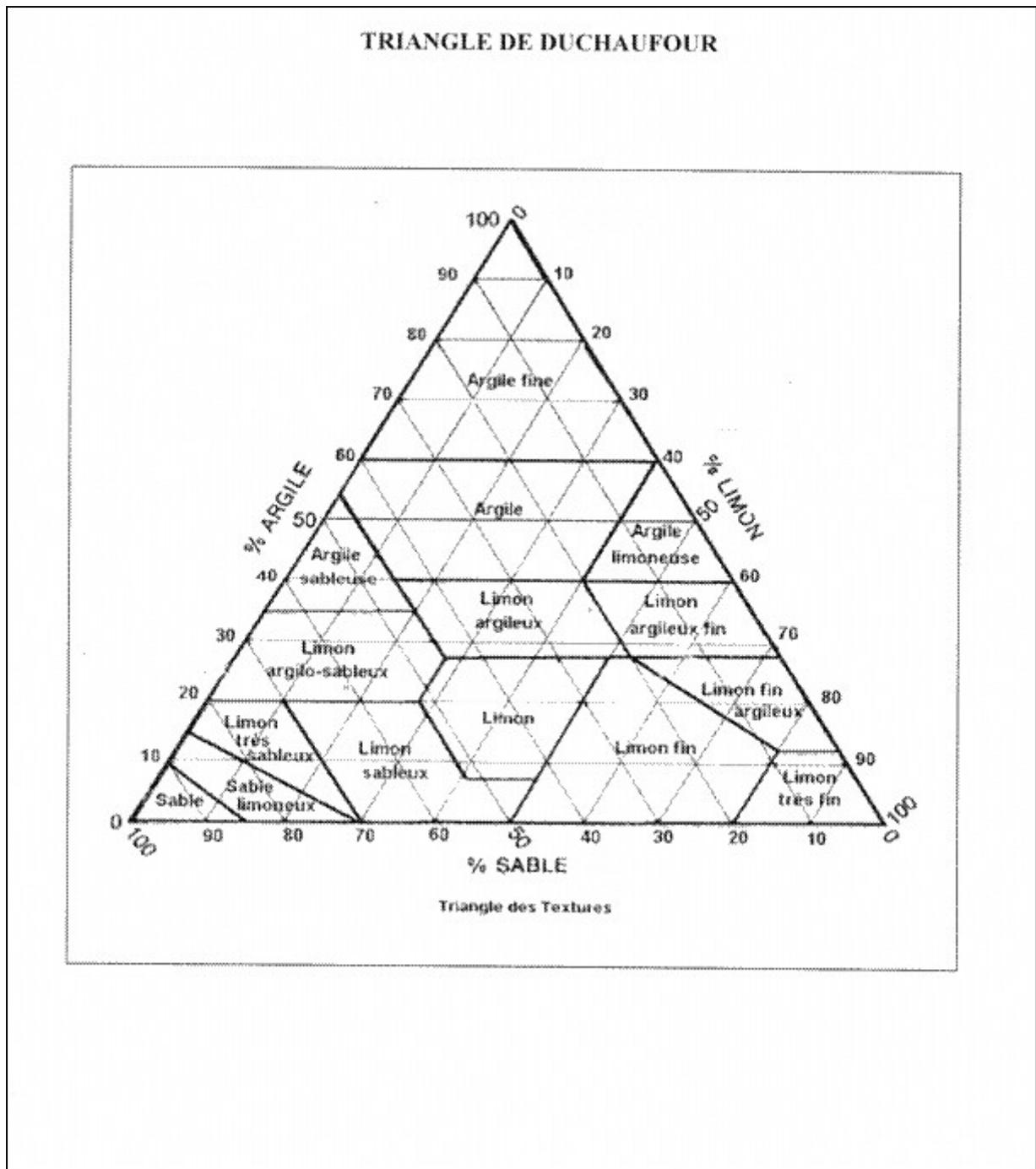
Site RAMSAR

La Convention sur les zones humides, signée à Ramsar, en Iran, en 1971, est un traité intergouvernemental qui sert de cadre à l'action nationale et à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources. Actuellement, la Convention a 150 Parties contractantes qui ont inscrit 1590 zones humides, pour une superficie totale de 134 millions d'hectares, sur la Liste de Ramsar des zones humides d'importance internationale.

Mission: « La Convention a pour mission la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des actions locales, régionales et nationales et par la coopération internationale, en tant que contribution à la réalisation du développement durable dans le monde entier » (COP8 de Ramsar, 2002).

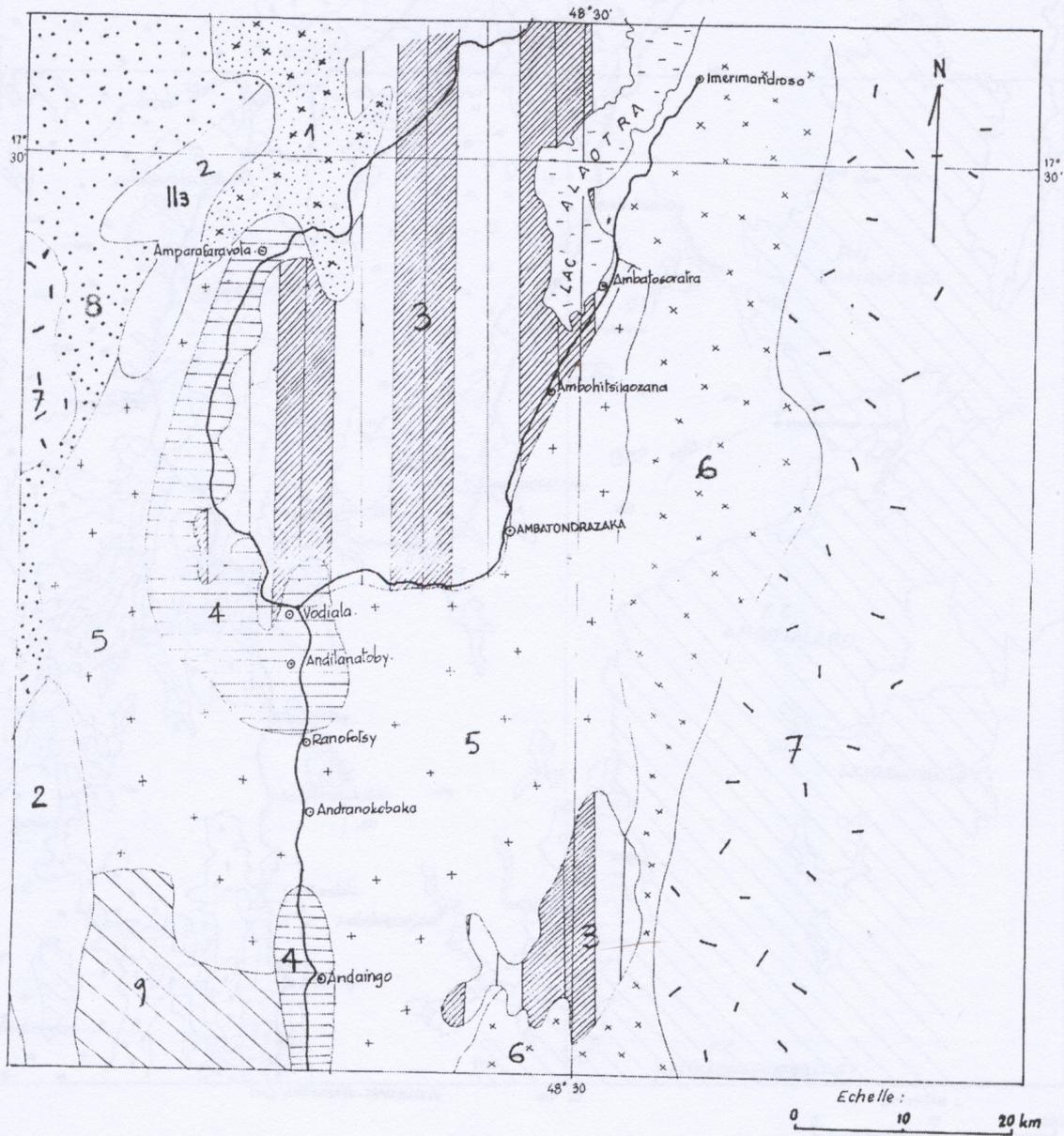
ANNEXE III

Triangle des textures



ANNEXE IV

Carte pédologique

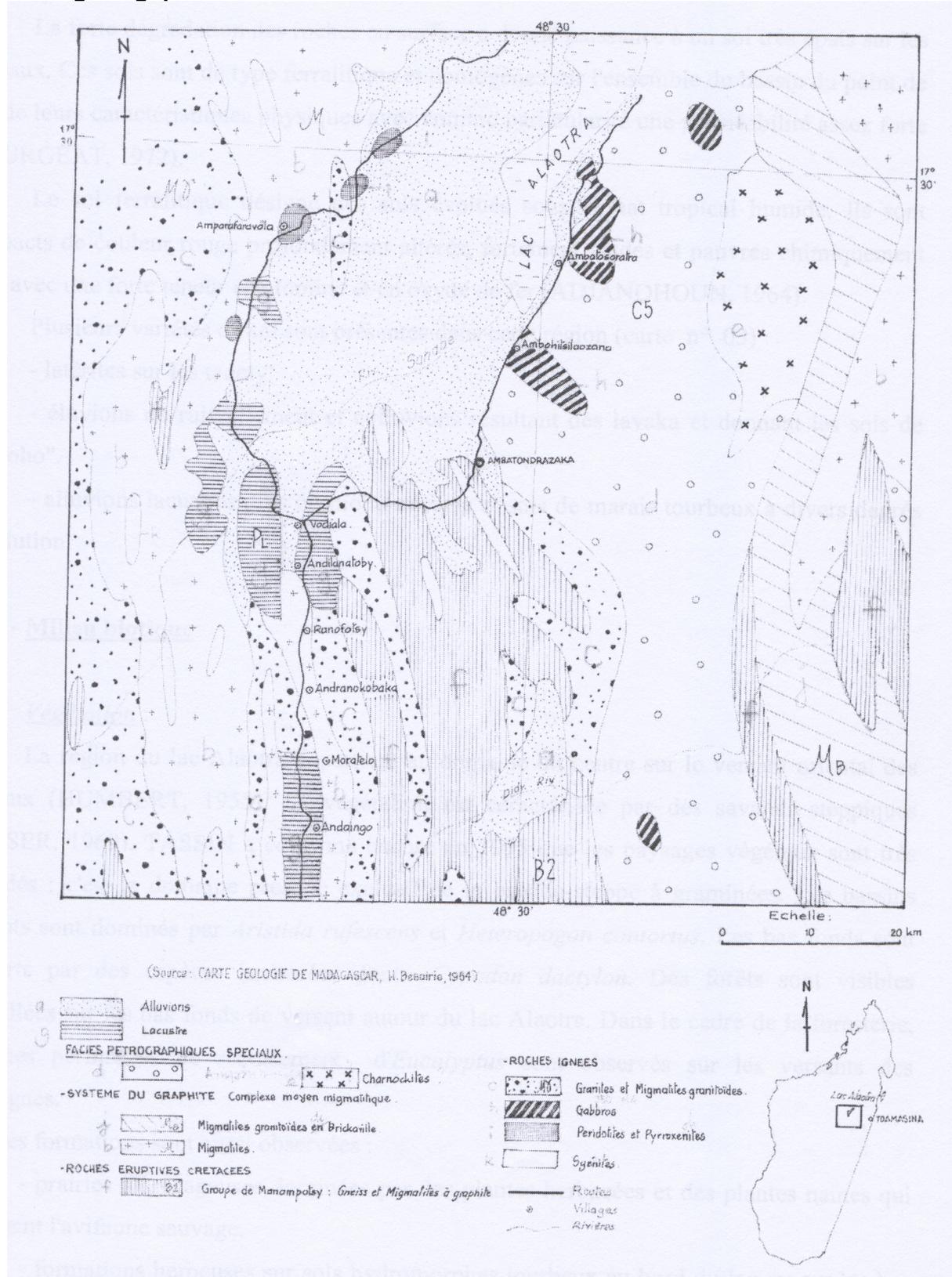


- | | |
|---|---|
| <p>I - SOLS MINÉRAUX BRUTS
SOLS D'ORIGINE NON-CLIMATIQUE
SOLS D'ÉROSION LITHIQUES</p> <p>8 - sur granite</p> <p>II - SOLS PEU ÉVOLUÉS
SOLS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE
SOLS D'ÉROSION Rankers lithosoliques</p> <p>2 - sols humifères des forêts ombrophyles.</p> <p>III - VERTISOLS.
VERTISOLS A PEDOCIMAT TEMPORAIREMENT HUMIDE</p> <p>3 - Juxtaposition: sols hydromorphes</p> <p>IV - SOLS A SESQUIOXYDES
SOLS ROUGES MEDITERRANÉENS
SOLS NON OU PEU LESSIVÉS.
SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX, ROUGES</p> <p>6 - sur roches acides.
SOLS FÉRALLIQUES
SOLS TYPIQUES ROUGES.</p> <p>4 - sur roches acides</p> <p>5 - Phase érodée.</p> | <p>SOLS LESSIVÉS EN COLLOIDES (JAUNES).</p> <p>4 - sur alluvions anciennes</p> <p>SOLS INDURÉS CONCRETIONNÉS</p> <p>9 - sur roches diverses acides</p> <p>7 - sur roches basiques.</p> <p>— Routes.</p> <p> Lacs.</p> <p>⊙ Villages.</p> |
|---|---|

Source : Extrait de la carte pédologique de Madagascar, 1968

ANNEXE V

Carte géologique



Source: Carte géologie de Madagascar, H Besairie, 1964

ANNEXE VI

NORMES

VI-1 Eaux :

DECRET n° 2003/464 du 15/04/03

PORTANT CLASSIFICATION DES EAUX DE SURFACE ET REGLEMENTATION DES REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES

Article 3 : Les eaux de surface (cours d'eau, lacs et tous plans d'eau) sont classées de la manière suivante :

Classe A : bonne qualité, usages multiples possibles

Classe B : qualité moyenne, loisirs possibles, baignade pouvant être interdite

Classe C : qualité médiocre, baignade interdite

HC : hors classe, contamination excessive, aucun usage possible à part la navigation. La présence de germes pathogènes désigne directement une catégorie hors classes.

C'est le paramètre le plus mauvais qui déterminera la classe d'une eau donnée.

PARAMETRES	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	HORS CLASSES
FACTEURS BIOLOGIQUES				
Oxygène dissous (mg/l)	$5 \leq OD$	$3 < OD < 5$	$2 < OD \leq 3$	$OD < 2$
DBO ₅ (mg/l)	$DBO_5 \leq 5$	$5 < DBO_5 \leq 20$	$20 < DBO_5 \leq 70$	$70 < DBO_5$
DCO (mg/l)	$DCO \leq 20$	$20 < DCO \leq 50$	$50 < DCO \leq 100$	$100 < DCO$
Présence de germes pathogènes	Non	Non	Non	Oui
FACTEURS PHYSIQUES ET CHIMIQUES				
Couleur (échelle Pt-Co)	$Coul < 20$	$20 \leq coul \leq 30$	$30 < coul$	
Température (°C)	$\theta < 25$	$20 \leq \theta < 30$	$30 \leq \theta < 35$	$35 < \theta$
PH	$6,0 \leq pH \leq 8,5$	$5,5 \leq pH \leq 6,0$ ou $8,5 \leq pH \leq 9,5$	$pH \leq 5,5$ ou $9,5 \leq pH$	
MES (mg/l)	$MES < 30$	$30 \leq MES < 60$	$60 \leq MES < 100$	$100 < MES$
Conductivité (µg/cm)	$\chi \leq 250$	$250 < \chi \leq 500$	$500 < \chi \leq 3000$	$3000 < \chi$

Normes des eaux douces aptes à la vie aquatique :

Paramètres	Unités	Norme CEE
Température	°C	10 – 28
PH	-	6,5- 9
MES	mg/l	< 25
Nitrates	mg/l	< 0,006

Normes des eaux d'irrigation :

Paramètres	Unités	Normes CEE
Température	°C	35
PH	-	6.5-9
Conductivité	µS/cm	2 000
Salinité	mg/l	400
M.E.S	mg/l	3 500
Chlorure	mg/l	700
Nitrate	mg/l	90
Nitrite	mg/l	10
Fer	mg/l	5

Normes de potabilité :

Paramètres	Unités	Normes CEE
Turbidité	NTU	<5
PH	-	6.5-9
Sulfate	mg/l	400
Chlorure	mg/l	250
Nitrate	mg/l	44
Nitrite	mg/l	0.1
Fer	µg/l	100

VI-2 Sols :

(MINISTERE DE LA COOPERATION ET DU DEVELOPPEMENT, 1974),

METHODES D'ANALYSES

VII.1- EAUX

DOSAGE DE SO_4^{2-}

MATERIEL ET REACTIFS

- Spectrophotomètre visible réglé à la longueur d'onde de 650nm
- Verrerie courante
- Solution d'acide HCl
- Solution de Tween 80 d=1,08
- Solution de BaCl_2
- Solution étalon de SO_4^{2-} à 120mg/l

PREPARATION

Solution de Tween 20(25%)

Prendre 25,5 ml de Tween 80 et compléter à 100ml

Solution de BaCl_2

Dissoudre 10 g de BaCl_2 dans 20 ml de la solution de Tween 20(25%). Compléter à 100 ml par de l'eau distillée

Solution de SO_4^{2-} à 120 mg/l

Dissoudre 0,1775 g de Na_2SO_4 anhydre dans 1000 ml d'eau distillée.

METHODOLOGIE

Tracer la courbe d'étalonnage

Prendre 07 tubes à essai numérotés : T, 1 à 6

N° des tubes	T	1	2	3	4	5	6
Solution étalon à SO_4^{2-} (ml)	0	1	3	5	7	9	10
Eau distillée (ml)	39	38	36	34	32	30	29
HCl (1/10)(ml)	0	1	1	1	1	1	1
Solution de BaCl_2 (ml)	5	5	5	5	5	5	5
Teneur en mg de SO_4^{2-} /l	0	3	9	15	21	27	30

Agiter 2 ou 3 fois énergiquement. Après 15mn de repos, agiter à nouveau et faire la mesure spectrophotométrie à la longueur d'onde de 650nm. Tracer la courbe d'étalonnage.

Mesure spectrophotométrie sur l'eau à analyser

Dans un tube à essai mettre : 39ml d'eau à analysée+1ml de HCl (1/10)+5ml de la solution de BaCl_2

Préparer dans les mêmes conditions un tube témoin en remplaçant l'eau à analyser par de l'eau distillée. Agiter à nouveau et faire la mesure spectrophotométrie à la longueur d'onde de 650 nm.

PRECISION DES MESURES

DOSAGE DE NO_2^-

MATERIEL ET REACTIF

- Verreries courantes
- Ammoniaque concentrée
- Réactif de Zambelli
- Solution étalon de NO₂⁻ à 0,23 g/l
- Solution étalon de NO₂⁻ à 0,0023 g/l
- Spectrophotomètre visible réglé à la longueur d'onde de 435nm.

PREPARATION

Réactif de Zambelli

Mettre dans une fiole jaugée de 100ml, 26ml d'acide HCl concentré +62,5 ml d'eau distillée. Dissoudre 0,5 g d'acide sulfanilique + 0,75g de phénol cristallisé tout en chauffant légèrement au bain-marie. Ajouter 13,5 g de NH₄Cl et agiter jusqu'à dissolution. Après refroidissement, ajuster le volume à 100ml par de l'eau distillée.

Solution étalon de NO₂⁻ à 0,23 g/l

Dissoudre 0,4255 g de KNO₂ dans 1000ml de l'eau distillée. Ajouter 1ml de chloroforme pour avoir une meilleure conservation..

Solution étalon de NO₂⁻ à 0,0023 g/l

Amener 1ml de solution étalon de KNO₂⁻ à 0,23 g/l à 100ml avec l'eau distillée.

METHODOLOGIE

Tracé la courbe d'étalonnage

Prendre 6 fioles de 50 ml numéroté de T, 1 à 5

N° des fioles	T	0	1	2	3	4
5 Solution étalon de NO ₂ ⁻ à 0,0023 g/l (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau distillée (ml)	50	49	45	40	35	30
Réactif de Zambelli (ml)	2	2	2	2	2	2
Attendre 10 mn						
Ammoniaque concentrée (ml)	2	2	2	2	2	2
Teneur en mg de NO ₂ ⁻ /l	0	0,046	0,230	0,460	0,690	,0920

Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde 435. Tracer la courbe d'étalonnage.

Mesure spectrophotométrie sur l'eau à analyser

Prise d'essai=50 ml d'eau à analyser. Ajouter 2 ml de réactif de Zambelli. Agiter et faire la mesure.

DOSAGE DE PO₄³⁻

MATERIELS ET REACTIFS

- Spectromètre visible réglé à 700 ou 800 nm,
- Solution de H₂SO₄ (20%),
- Solution de Molybdate d'ammonium à 40 g/l,
- Solution d'acide ascorbique,
- Solution de Tartrate double d'antimoine et de potassium,
- Réactif révélateur de PO₄³⁻,
- Solution étalon de P à 0,137 g de PO₄³⁻/litre,
- Verreries courantes.

PREPARATIONS

Solution d'acide H₂SO₄ (20%)

Peser 20 g de H₂SO₄ et compléter jusqu'à 100g avec de l'eau distillée.

Solution de Molybdate d'ammonium à 40 g/l

Dissoudre 40 g de Molybdate d'ammonium dans 1000 ml d'eau distillée et conserver dans un récipient en polyéthylène et à 4°C.

Solution d'acide ascorbique

Dissoudre 5 g d'acide ascorbique dans 100 ml d'eau distillée.

Solution de Tartrate double d'antimoine et de potassium.

Dissoudre 0,0685 g de Tartrate double d'antimoine et de potassium dans 25 ml d'eau distillée.

Réactif révélateur de PO₄³⁻

Mélanger 125 ml d'acide H₂SO₄ (20%) + 12,5 ml de solution de tartrate double d'antimoine et de potassium + 31,5 ml de solution de Molybdate d'ammonium à 40 g/l. Compléter à 250ml par de l'eau distillée. A conserver au réfrigérateur à 4°C.

Solution étalon de P à 0,050 g/l.

Dissoudre 0,2226 g de NaH₂PO₄ préalablement séché à l'étuve réglé à 100°C dans 100 ml d'eau distillée.

Solution étalon de P à 1 mg/l.

Diluer au 1/50 la solution étalon de P à 0,050 g/l avec de l'eau distillée (au moment de l'emploi)

METHODOLOGIE.

Tracer la courbe d'étalonnage.

Prendre 6 fioles jaugées de 25 ml numéroté T et 1 à 5.

N° des fioles	T	1	2	3	4	5
Solution étalon de P à 1mg/l (en ml)	0	1	5	10	15	20
Eau distillée (ml)	20	19	15	10	5	0
Solution d'acide ascorbique	1	1	1	1	1	1
Réactif révélateur	4	4	4	4	4	4
Bien mélanger						
Eau distillée (ml)	0	1	5	10	15	20
Attendre 10 mn pour une stabilisation de la coloration						
Teneur en PO ₄ ³⁻ mg/l	00	0,00274 2	0,0137	0,0274	0,041	0,0548

Effectuer les mesures spectrométries à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm. Tracer la courbe d'étalonnage.

Mesure spectrométrie sur l'eau à analyser :

L'eau à analyser doit avoir un pH=7, l'ajuster si nécessaire. Prélever 20 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 25 ml

Ajouter 1 ml d'acide ascorbique et 4 ml de réactif révélateur. Bien mélanger. Ajouter de l'eau distillée jusqu'à 25 ml Attendre 30 mn. Faire la mesure spectrométrie à la longueur d'onde de 700 ou 800nm.

PRECISION DES MESURES :

DETERMINATION de TA et TAC

REACTIFS

- HCl N/50
- Phénol phtaléine
- Méthylorange

MODE OPERATOIRE

Prise d'essai=100 ml

TAC (Titre Alcalimétrie)

- Ajouter 1 à 2gouttes de phénol phtaléine (coloration)
- Verser doucement de l'acide jusqu'à décoloration.
- Compléter de la solution.

V= le volume d'acide utilisé.

Si TA=0

TAC (Titre Alcalimétrie Complet)

- S'il n'y a pas eu de coloration, ajouter de 2 gouttes de Méthyle orange et titrer de nouveaux avec le même acide.
- Virage jaune au jaune orangé.

V=le volume d'acide versé N/50.

DOSAGE DE Ca²⁺ et Mg²⁺

REACTIFS

- EDTA N/50
- NaOH 1N
- HCl 1N
- Solution tampon ammoniacal pH=10

MODE OPERATOIRE.

Prise d'essai =50 ml

- Ajouter 3 ml de NaOH 1N et quelques gouttes de solution de Bleu d'Eriochrome. Verser de l'EDTA jusqu'au virage violet. Noter le volume versé V₁.
- Ajouter 3,2 ml de HCl 1N, agiter pendant 1mn jusqu'à la dissolution totale du précipité. Verser 5 ml de solution tampon ammoniacal pH=10 et ajouter quelques gouttes de NET bien mélanger. Verser EDTA jusqu'au virage bleu. Noter le volume de l'EDTA versé V₂.

DOSAGE DE Cl⁻

REACTIFS

- Carbonate de chaux,
- HNO₃ concentré,
- Chromate de potassium à 10%,

- AgNO₃ N/10

MODE OPERATOIRE

Prise d'essai=100 ml

- Verser 2 à 3 gouttes de HNO₃,
- Deux pincées de Na₂CO₃,
- 3 gouttes de solution Chromate de potassium à 10%,
- Verser la solution de AgNO₃.

→ Apparition d'une teinte rougeâtre qui doit persister 1 à 3 mn.
V=le volume de AgNO₃ N/10.

Donc, elle s'ensuit les protocoles suivants :

Paramètres	Normes AFNOR	
	Numéro Série NF T	Technique d'analyse
Turbidité	90 053	Néphélométrie
PH	90 006	PH-mètre
Conductivité	90 031	Conductimétrie
Chlorures	90 014	Volumétrie
TAC-TA	90 036	Alcalimétrie
M.E.S	90 105	Gravimétrie
Nitrates	90 012	Colorimétrie
Nitrites	90 013	Colorimétrie

VII.1- SOLS

PREPARATION D'ECHANTILLON

- l'échantillon prélevé pèse environ 2 kg de profondeur 0 à 50 cm
- pendant une semaine on le fait sécher à l'air dans une maison bien aérée
- le broyer manuellement
- tamiser
 - à l'aide d'un tamis de 0,5 mm de diamètre pour la détermination de l'azote et du carbone
 - à l'aide d'un tamis de 2 mm de diamètre pour la détermination de granulométrie, pH, conductivité, acidité, bases échangeables, phosphore assimilable.

ACIDITE

pH du sol dans l'eau (1/1)

Réactifs : solutions tampon pH = 4 et pH = 7

Méthode :

- peser 25g de sol séché dans un bécher de 50ml
- ajouter 25 ml d'eau distillée
- laisser en contact pendant 30mn et agiter de temps en temps à l'aide d'une baguette.
- Après étalonnage du pH-mètre, introduire avec précaution l'électrode dans la suspension durant la mesure (ne pas agiter la suspension).

GRANULOMETRIE

Matériels et réactifs

- Mixeur
- Cylindre jaugé de 1 l
- Densimètre de BOUYOCOS gradué en g / l
- Thermomètre
- Hexametaphosphate de sodium 5%, 50 ml par échantillon
- Alcool amylique
- Chronomètre

Procédure

- Peser 50g de sol dans un bécher de 600 ml
- Ajouter 50 ml d'hexametaphosphate de sodium et 100 ml d'eau distillée
- Bien mélanger et laisser se reposer pendant une nuit
- Agiter pendant 5 minutes à l'aide d'un mixeur
- Transvaser dans un cylindre de 1 l et à l'aide de l'eau de rinçage, compléter le volume jusqu'au trait. Ajouter 65 ml d'eau distillée et laisser se reposer quelques minutes afin d'obtenir l'équilibre thermique avec le milieu ambiant.
- Boucher le cylindre et retourner vivement à plusieurs reprises pendant 1 minute. Laisser se reposer et déboucher. Après 40 s et 2h de repos, introduire le densimètre dans le liquide surnageant et faire la lecture.

Remarques

- L'introduction du densimètre dans le liquide se fait 10s avant la lecture
- S'il y a formation de mousses à la surface, ajouter quelques gouttes d'alcool amylique pour les faire disparaître.
- Faire un essai à blanc dans la même condition.

Calcul

L_{b40} : lecture après 40 s de blanc

L_{b2h} : lecture après 2 h de blanc

L_{40} : lecture après 40 s d'échantillon

L_{2h} : lecture après 2 h de l'échantillon

T_{40}° : température après 40s

T_{2h}° : température après 2h

$0,36(t^{\circ}-20)$: correction de température (t° en $^{\circ}\text{C}$)

%SABLE = $100 - 2[L_{40} - L_{b40} + 0,36(t^{\circ}40-20)]$

% ARGILE = $2[L_{2h} - L_{b2h} + 0,36(t^{\circ}2h - 20)]$

%LIMON = $100 - (\%Sable + \% Argile)$

BASES ECHANGEABLES

Réactifs

Acétate d'ammonium NH_4OAc 1N,
Peser 77,08 g d'acétate d'ammonium et le dissoudre dans de l'eau distillée à 1l

Procédure :

- Placer 10 g de sol dans un erlenmeyer de 125 ml. Ajouter 40 ml d'acétate 1N ;
- Tournoyer et laisser reposer pendant une journée ;
- Transférer le contenu de l'erlenmeyer dans un Büchner de 8mm de diamètre adapté à une fiole à vide et garni d'un papier filtre ;
- Bien rincer plusieurs fois le contenu de l'erlen par 10 ml d'acétate et le transférer dans le Büchner jusqu'à obtenir un volume de 100 ml et compléter le volume jusqu'au trait de jauge par l'acétate.
- Déterminer les concentrations des bases échangeables à l'aide d'un spectrophotomètre.

MATIERES ORGANIQUES

Réactifs

Bichromate de potassium normal
Diphénylamine Sulfonate de Baryum
Sel de Mohr N / 2 étalonné avec du bichromate

Procédure

- Prendre X g de sol selon la nature et tamisé à 0,2 mm que l'on met dans un erlen de 500 ml ;
- Mettre 10 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1N et 20 ml de H_2SO_4 36N
- Agiter 1 minute à la main
- Laisser reposer 30 minutes.
- Ajouter environ 200 ml d'eau, 10 ml de H_3PO_4 concentrée et 5 gouttes de diphénylamine sulfonate de baryum
- Titrer en retour avec le sel de Mohr (virage du violet au vert)

Calcul



Compte tenu de la réaction (1) précédente, 1 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ oxyde 3 mg de carbone organique (CO). Or le taux d'oxydation est de 77%. Donc 1 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ correspond

$$\frac{3\text{mg} \times 100}{77} = 3,9 \text{ mg de CO}$$

On en déduit la teneur en pourcentage de CO du sol. Pour les sols de cultures normales le CO représente environ 58% de la matière organique (M.O) d'où

$$\text{M.O} = \frac{100}{58} \times \text{CO}$$

Soient : a la descente de burette de sel de Mohr $(\text{NH}_4)_2 \text{Fe} (\text{SO}_4)_2, 6\text{H}_2\text{O}$, b la normalité exacte de sel de Mohr, le volume restant de $\text{K}_2 \text{Cr}_2\text{O}_7 = a \times b = C$ ml, (2)

Or on a mis 10 ml de $\text{K}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$ au départ, 10 ml – C ml = d ml

Or 1 ml de $K_2Cr_2O_7$ \longrightarrow 3,9 mg de CO
 Donc d ml x 39mg de CO = e mg/g de CO le CO représente environ 58% de la MO
 $e \times \frac{100}{58} = f \text{ mg / g de M.O.}$

Et pour 100g $f \times \frac{100}{1000} = \text{MO \%}$

AZOTE

Mode opératoire

- Minéralisation

- Peser x g de sol correspondant à \approx 1mg d'azote
- Introduire l'échantillon dans un matras kjeldahl de 100ml
- Ajouter une pincée de fer, 5 ml d'eau distillée, 5 ml de H_2SO_4 36N
- Attaquer sous hotte doucement pendant 1h30mn à 2h. Laisser refroidir
- Ajouter une quantité suffisante de catalyseur au sélénium (mélange préparé à l'avance de : 100g de K_2SO_4 (facilite l'ébullition), 10g de $CuSO_4$ (facilite l'oxydation) et 1g de sélénium (catalyseur)
- Rajouter 5 ml de H_2SO_4 36N
- Mettre un bouchon de laine de verre
- Attaquer doucement pendant 15 minutes puis faire bouillir jusqu'à minéralisation
- Poursuivre l'attaque pendant 2h après la décoloration (légèrement verdâtre) des échantillons en diminuant progressivement la température jusqu'à $40^\circ C$.
- Refroidir

- Distillation

- Ajouter doucement de l'eau déminéralisée dans le matras.
- Transvaser le contenu du matras dans un ballon à distiller, bien rincer le matras avec de l'eau déminéralisée (3 fois).
- Ajouter une solution de soude 12N jusqu'à formation d'un précipité de $Cu(OH)_2$ couleur brune (50 ml).
- Distiller par entraînement à la vapeur.

Les produits de condensation sont recueillis dans un bécber par H_2SO_4 N/20 (5 ml) en excès en présence d'un indicateur coloré (Tashiro).

- Vérifier par un papier pH que tout l'azote a été entraîné (pH neutre)
- Pour arrêter en fin de distillation, enlever d'abord le bécber

- Dosage

Doser l'excès de H_2SO_4 N/20 non neutralisé par l'ammoniaque par le titrisol NaOH n/20 au tireur automatique.

- Calcul

1 ml de solution 1N de H_2SO_4 correspond à 1 milliéquivalent (még) d'azote

1 ml de solution N/20 de H_2SO_4 correspond à $1 / 20$ még d'azote, or 1 még d'azote égale 14 mg donc 1 ml de H_2SO_4 N/20 correspond à $14 / 20$ mg d'azote.

PHOSPHORE ASSIMILABLE

Principe

- Peser 2 g de sol de 2 mm de diamètre
- Verser dans une bouteille nalgene de 125 ml
- Ajouter 14 ml de la solution extradante
- Fermer et agiter rigoureusement pendant 1 minute
- Filtrer avec un papier filtre Watman N° 42
- Préparer les étalons :
 - * Mettre respectivement dans un tube à essai :
 - ▶ 1 ml de la solution standard de 1 ppm de P
 - ▶ 2 ml de la solution extradante
 - ▶ 4 ml d'eau distillée
 - ▶ 2 ml de la solution molybdate d'ammonium
 - ▶ 1 ml de la solution diluée de chlorure stanneux.
 - * Homogénéiser le mélange à l'aide d'un mélangeur Vortex.
 - * Répéter les mêmes opérations avec les autres solutions standard de P

Préparation des échantillons

- * Mettre successivement dans un tube à essai :
 - ▶ 2 ml de filtrat
 - ▶ 5 ml d'eau distillée
 - ▶ 2 ml de la solution molybdate d'ammonium
 - ▶ 1 ml de la solution diluée de chlorure stanneux
- * Homogénéiser le mélange.
- Faire un essai à blanc
- Attendre 20 minutes pour la stabilisation de la coloration ainsi obtenue des échantillons
 - Effectuer les mesures au spectromètre U V / V I S à la longueur d'onde de 660nm

ANNEXE VIII

Nitrates et nitrites

Les nitrates-nitrites...

Les principales sources de nitrates-nitrites sont les fertilisants agricoles, le fumier, les rejets sanitaires et la décomposition d'organismes végétaux et animaux. Ils sont entraînés vers les eaux de surface et les nappes d'eau souterraine par l'infiltration de la pluie ou la fonte des neiges. Les infiltrations sont donc plus importantes au printemps et à l'automne.

La présence de nitrates-nitrites dans mon eau

Au-delà de 5 mg/l

Il est important de noter qu'une concentration de nitrates-nitrites supérieure à 5 mg/l justifie un suivi régulier au moins deux fois par année, puisque les concentrations peuvent varier dans le temps.

Au-delà de 10 mg/l

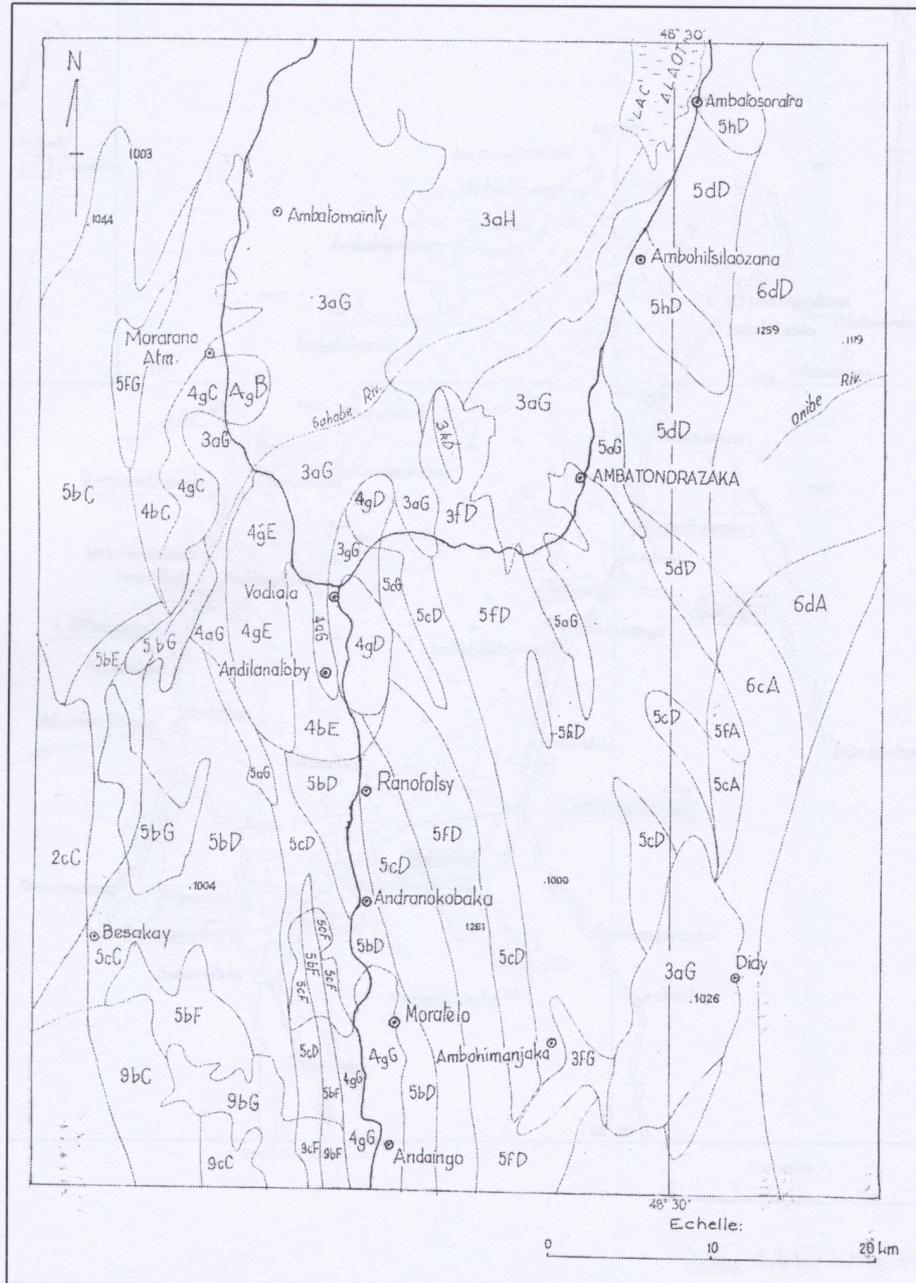
Si la concentration de nitrates-nitrites détectée dans l'eau excède la **norme précisée dans le Règlement sur la qualité de l'eau potable, soit 10 mg/l**, cette eau ne doit pas être utilisée pour l'alimentation des nourrissons de moins de six mois ni par les femmes enceintes. La population en général doit également éviter le plus possible de consommer régulièrement une eau dont la concentration en nitrates-nitrites excède la norme établie.

À partir de 20 mg/l

Compte tenu du risque associé à l'exposition chronique à ces substances, si la concentration atteint ou excède 20 mg/l, les autorités en matière de santé publique au Québec recommanderont généralement la non consommation de cette eau à toutes les personnes susceptibles de la consommer.

ANNEXE IX

Carte thématique



TYPES DE VEGETATION

- A. Forêt dense humide sempervirente de moyenne altitude
- B. Mosaïques de culture, jachères
- C. Savanes ou pseudosteppes avec éléments ligneux
- D. Savanes ou pseudosteppes sans éléments ligneux
- E. Peuplements d'Eucalyptus
- F. Peuplements de Pinus
- G. Rizières
- H. Formations marécageuses

TYPES DES SOLS

- 1. Sols ferrallitiques sur roches acides
- 2. Sols peu évolués, sols humifères des forêts ombrophiles
- 3. Vertisols, juxtaposition, sols hydromorphes
- 4. Sols lessivés sur alluvions anciennes
- 5. Phases érodées
- 6. Sols sesquioxides, sols ferrugineux tropicaux sur roches acides
- 7. Sols minéraux bruts sur granites
- 8. Sols indurés concrétionnés sur roches acides

GEOLOGIE

- a. alluvions b. migmatites c. granites et migmatites d. amphibolites
- e. charnochites f. gneiss et migmatites à graphites g. lacustres h. gabbros
- i. péridotites et pyroxénolites j. migmatites granitoides de Brickaville k. syénites

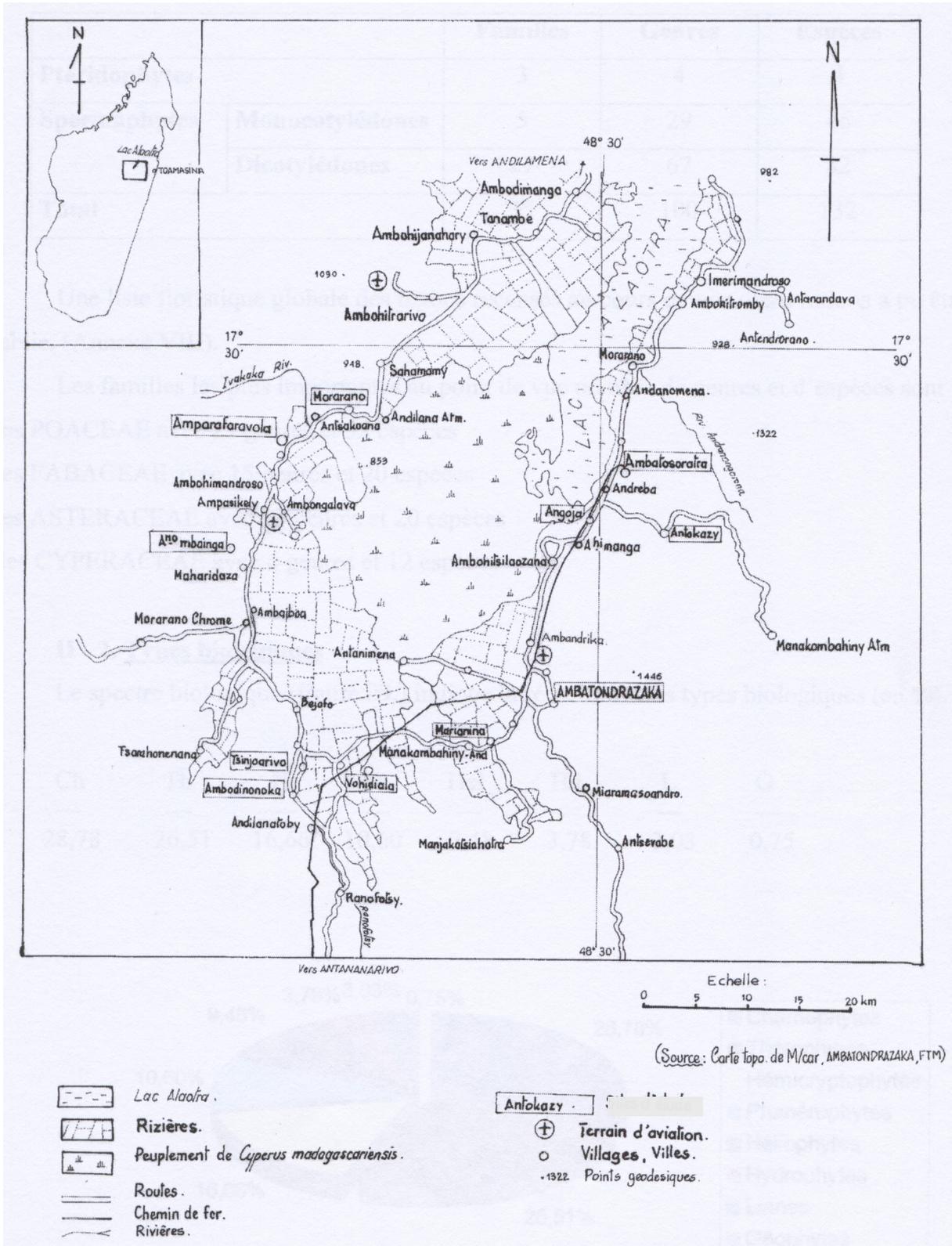
routes

villages

~ rivières

ANNEXE X

Zonage simple



Source : Carte topographique de Madagascar, Ambatondrazaka, FTM

ANNEXE XI

Données bathymétriques

LONGITUDE (°)	LATITUDE (°)	PROFONDEUR (cm)
48,460167	-17,618813	
48,461289	17,618801	28,7
48,462411	17,61879	36
48,463533	17,618778	41
48,464654	17,618767	42
48,465777	17,618755	42
48,466898	17,618744	43
48,46802	17,618732	43
48,469142	17,618721	48
48,470311	17,618709	47
48,471433	17,618697	48
48,472508	17,618686	50
48,47363	17,618675	55
48,474752	17,618663	55
48,475874	17,618651	55
48,476996	17,61864	58
48,478118	17,618628	58
48,47924	17,618617	59
48,480362	17,618605	59
48,481484	17,618594	60
48,482512	17,618583	58
48,483728	17,61857	56
48,48485	17,618559	55,5
48,485971	17,618547	54
48,487094	17,618535	53
48,488215	17,618524	52
48,489337	17,618512	50,4
48,490459	17,618501	48
48,491581	17,618489	48
48,492703	17,618477	45
48,493825	17,618466	42,5
48,494947	17,618454	39,5
48,496069	17,618442	36
48,497191	17,618431	36
48,498313	17,618419	
48,499482	17,618407	24,5
48,466259	17,590729	46
48,46738	17,590717	46
48,468502	17,590706	49
48,469624	17,590694	50
48,470746	17,590683	53
48,471868	17,590671	56
48,472989	17,59066	63
48,474111	17,590648	69
48,475233	17,590637	73
48,476355	17,590625	76
48,477477	17,590613	80
48,478598	17,590602	85
48,47972	17,59059	88

48,480842	17,590579	89
48,481964	17,590567	90,5
48,483085	17,590556	91
48,484207	17,590544	78
48,485329	17,590532	90
48,486451	17,590521	96
48,487573	17,590509	84
48,488694	17,590498	84
48,489816	17,590486	83
48,490938	17,590474	85
48,49206	17,590463	85
48,493182	17,590451	87
48,494303	17,590439	89
48,495425	17,590428	88
48,496547	17,590416	90
48,497669	17,590404	87
48,49879	17,590393	85
48,499912	17,590381	82
48,501034	17,590369	81
48,502156	17,590358	78
48,503277	17,590346	76
48,504399	17,590334	73
48,505521	17,590322	69
48,506643	17,590311	68
48,507764	17,590299	63
48,508886	17,590287	58
48,510008	17,590276	52
48,51113	17,590264	47
48,512251	17,590252	35
48,513373	17,59024	44
48,514495	17,590228	33
48,515617	17,590217	7
48,516738	17,590205	66
48,464686	17,558598	42
48,465761	17,558587	32
48,466929	17,558575	37
48,46805	17,558564	38
48,469172	17,558552	39
48,470293	17,558541	43
48,471415	17,558529	46
48,472537	17,558518	51
48,473658	17,558506	55
48,47478	17,558495	59
48,475902	17,558483	71
48,477023	17,558472	77
48,478145	17,55846	86
48,479266	17,558449	94
48,480388	17,558437	101
48,48151	17,558425	109
48,482631	17,558414	113
48,483753	17,558402	116
48,484875	17,558436	117
48,485996	17,558379	117
48,487117	17,558367	116

48,488239	17,558356	118
48,48936	17,558344	119,5
48,490482	17,558333	121
48,491604	17,558321	120
48,492725	17,558309	119,5
48,493847	17,558298	121
48,494969	17,558286	116
48,49609	17,558275	115
48,497212	17,558263	113
48,498333	17,558251	106
48,499455	17,55824	100,1
48,500576	17,558228	100,5
48,501698	17,558216	95
48,502819	17,558204	89
48,503941	17,558193	83
48,505063	17,558181	71
48,506184	17,558169	60
48,507306	17,558158	50
48,457742	17,526702	23
48,458863	17,52669	21
48,459985	17,526679	26
48,461106	17,526667	33
48,462228	17,526656	36
48,463349	17,526645	40
48,46447	17,526633	45
48,465592	17,526622	49
48,466713	17,52661	52
48,467835	17,526599	61
48,468956	17,526587	63
48,470078	17,526576	64
48,471199	17,526564	68
48,472321	17,526553	72
48,473442	17,526541	77
48,474563	17,52653	83
48,475684	17,526518	91
48,476806	17,526507	99
48,477927	17,526495	107
48,479049	17,526484	118
48,48017	17,526472	124
48,481291	17,52646	136
48,482413	17,526449	147
48,483534	17,526437	160
48,484656	17,526426	176
48,485777	17,526414	199
48,486898	17,526403	217
48,48802	17,526391	205
48,489141	17,526379	174
48,490263	17,526368	144
48,491384	17,526356	124
48,492505	17,526344	110
48,493627	17,526333	99,5
48,494748	17,526321	90
48,49587	17,52631	88
48,496991	17,526298	86

48,498112	17,526286	86
48,499234	17,526275	80
48,500355	17,526263	69
48,501477	17,526251	40
48,502598	17,52624	16
48,503719	17,526228	
48,504841	17,526216	
48,505962	17,526205	
48,507084	17,526193	
48,508205	17,526181	
48,464566	17,49314	
48,465687	17,493129	
48,466809	17,493117	
48,46793	17,493106	
48,469051	17,493094	12
48,470172	17,493083	34
48,471294	17,493071	45
48,472415	17,49306	50
48,473536	17,493048	49,5
48,474657	17,493037	55
48,475778	17,493025	60
48,476899	17,493014	68
48,47802	17,493002	77
48,479142	17,492991	80
48,480263	17,492979	79
48,481384	17,492968	87
48,482505	17,492956	91
48,483626	17,492944	94
48,484748	17,492933	94
48,485869	17,492921	97
48,48699	17,49291	92
48,488111	17,492898	92
48,489233	17,492887	93
48,490354	17,492875	94
48,491475	17,492863	95
48,492596	17,492852	97
48,493717	17,49284	96
48,494839	17,492829	98
48,49596	17,492817	105
48,497081	17,492805	110
48,498202	17,492794	118
48,499323	17,492782	126
48,500445	17,49277	125
48,501566	17,492759	124
48,502687	17,492747	135
48,503808	17,492735	123
48,504929	17,492724	122
48,50605	17,492712	124
48,507171	17,4927	123
48,508293	17,492689	119
48,509414	17,492677	121
48,510535	17,492665	122
48,511656	17,492654	115
48,512777	17,492642	114

48,513898	17,49263	112
48,51502	17,492619	107
48,516141	17,492607	104
48,517262	17,49255	104
48,518383	17,492583	100
48,519504	17,492572	97
48,520626	17,49256	98
48,521747	17,492548	93
48,522868	17,492536	95
48,523989	17,492524	89
48,52511	17,492513	86
48,526231	17,492501	85
48,527353	17,492489	82
48,528474	17,492477	77
48,529595	17,492466	68
48,530716	17,492454	67
48,531837	17,492442	57
48,532958	17,49243	56
48,53408	17,492418	56
48,535201	17,492406	26
48,511744	17,459161	27
48,512865	17,459149	43
48,513986	17,459137	41
48,515107	17,459126	45
48,516228	17,459114	55
48,517349	17,459102	78
48,51847	17,459091	58
48,519591	17,459079	25
48,520712	17,459067	115
48,521832	17,459055	115
48,522954	17,459044	115
48,524075	17,459032	109
48,525196	17,45902	100
48,526317	17,459008	98
48,527437	17,458996	96
48,528558	17,458985	98
48,529679	17,458973	95
48,5308	17,458961	96
48,531921	17,458949	97
48,533042	17,458938	113
48,534163	17,458926	105
48,535284	17,458914	104
48,536405	17,458902	106
48,537526	17,45889	104
48,538647	17,458878	107
48,539768	17,458867	110
48,540889	17,458855	111
48,54201	17,458843	105
48,543131	17,458831	120
48,544252	17,458819	126
48,545373	17,458807	123
48,546494	17,458795	123
48,547615	17,458783	118
48,548736	17,458772	111

48,549857	17,45876	112
48,550978	17,458748	113
48,552099	17,458736	101
48,553219	17,458724	96
48,55434	17,458712	93
48,555462	17,4587	84
48,556583	17,458733	76
48,557704	17,458676	62
48,558824	17,458664	59
48,529608	17,428172	
48,530729	17,42816	20
48,53185	17,428148	72
48,532971	17,428137	85
48,534091	17,428125	89
48,535212	17,428113	82
48,536333	17,428101	97
48,537454	17,428089	100
48,538574	17,428078	117
48,539695	17,428066	87
48,540816	17,428054	96
48,541937	17,428042	81
48,543057	17,42803	84
48,544178	17,428018	93
48,545299	17,428006	96
48,54642	17,427995	98
48,54754	17,427983	100
48,548661	17,427971	94
48,549782	17,427959	97
48,550903	17,427947	88
48,552024	17,427935	89
48,553145	17,427923	87
48,554265	17,427911	89
48,555386	17,427899	86
48,556507	17,427887	91
48,557628	17,427876	89
48,558748	17,427864	97
48,559869	17,427852	110
48,56099	17,42784	120
48,562111	17,427828	135
48,563231	17,427816	147
48,564352	17,427804	147
48,565473	17,427792	142
48,566594	17,42778	110
48,567714	17,427768	100
48,568835	17,427756	95
48,569956	17,427744	89
48,571077	17,427732	90
48,572198	17,42772	79
48,573318	17,427708	79
48,574439	17,427696	78
48,57556	17,427684	70
48,576681	17,427672	66
48,577801	17,42766	60
48,536815	17,396756	28

48,537936	17,396744	44
48,539056	17,396733	57
48,540177	17,396721	84
48,541298	17,396754	81
48,542418	17,396697	80
48,543539	17,396685	84
48,544659	17,396673	87
48,54578	17,396662	57
48,5469	17,39665	116
48,548021	17,396638	85
48,549142	17,396626	80
48,550216	17,396615	80
48,551383	17,396602	75
48,552503	17,39659	72
48,553624	17,396578	73
48,554744	17,396567	74
48,555865	17,396555	69
48,556986	17,396543	67
48,558106	17,396531	66
48,559227	17,396519	72
48,560347	17,396507	65
48,561468	17,396495	66
48,562588	17,396483	65
48,563709	17,396471	66
48,56483	17,396459	66
48,56595	17,396447	72
48,567071	17,396435	69
48,568191	17,396423	82
48,569312	17,396411	71
48,570432	17,396399	75
48,571553	17,396387	69
48,572627	17,396376	68
48,573794	17,396363	69
48,574915	17,396351	67
48,576036	17,396339	67
48,577156	17,396327	60
48,578277	17,396315	59
48,579397	17,396303	58
48,580518	17,396291	53
48,581638	17,396279	50
48,582759	17,396267	50
48,58388	17,396255	45
48,585	17,396243	41
48,586121	17,396231	37
48,587241	17,396219	25
48,588362	17,396207	26
48,589482	17,396195	27
48,590603	17,396182	
48,553581	17,368512	72
48,554702	17,3685	70
48,555822	17,368488	60
48,556942	17,368476	56
48,558063	17,368464	57
48,559183	17,368452	63

48,564785	17,368393	39
48,565905	17,368381	46
48,567026	17,368369	49
48,568146	17,368357	52
48,569267	17,368345	51
48,570387	17,368333	61
48,571508	17,368321	52
48,572628	17,368309	51,5
48,573748	17,368297	52
48,574869	17,368285	53
48,575989	17,368273	52
48,57711	17,368261	52
48,57823	17,368249	53
48,57935	17,368237	51
48,580471	17,368225	52
48,581591	17,368213	53
48,582712	17,368201	52
48,583832	17,368189	50
48,584952	17,368177	48
48,586073	17,368165	43
48,587193	17,368152	40
48,588314	17,36814	36
48,589434	17,368128	24
48,590554	17,368116	24
48,556648	17,338888	
48,557769	17,338876	20
48,558889	17,338864	20
48,560009	17,338852	23
48,561129	17,33884	24
48,56225	17,338828	23
48,56337	17,338816	28
48,56449	17,338804	27
48,56561	17,338792	31
48,566731	17,33878	31
48,567851	17,338768	31
48,568971	17,338757	33
48,570091	17,338745	33
48,571212	17,338733	36
48,572332	17,338721	37
48,573452	17,338709	39
48,574572	17,338697	42
48,575692	17,338685	41
48,576813	17,338673	42
48,577933	17,338661	42
48,579053	17,338649	38
48,580173	17,338637	37
48,581294	17,338625	35
48,582414	17,338613	25
48,583534	17,338601	24
48,584654	17,338589	25
48,585775	17,338577	
48,586895	17,338564	
48,588015	17,338552	

Source : BV Lac Ambatondrazaka

LONGITUDE (°)	LATITUDE (°)	LONGITUDE (°)	LATITUDE (°)
48,50673	17,60092	48,50333	17,61021
48,50588	17,59881	48,5046	17,60884
48,50559	17,59805	48,50632	17,60798
48,50518	17,59703	48,50729	17,60786
48,50483	17,59619	48,50729	17,60786
48,50436	17,59535	48,46794	17,50946
48,504	17,59449	48,46771	17,50762
48,50362	17,59332	48,46756	17,5067

48,50322	17,59249
48,5029	17,59163
48,503	17,59074
48,50289	17,58877
48,50242	17,58797
48,50181	17,58698
48,50143	17,58615
48,5009	17,58538
48,50038	17,5846
48,4999	17,58383
48,49825	17,58157
48,49768	17,58068
48,49639	17,5782
48,49597	17,5773
48,49538	17,57639
48,49485	17,57558
48,4944	17,57474
48,49389	17,57396
48,49336	17,57317
48,49486	17,57232
48,49235	17,57152
48,49118	17,5696
48,49063	17,56849
48,48787	17,56788
48,48942	17,56704
48,48892	17,56619
48,48843	17,56536
48,48795	17,56456
48,48749	17,56365
48,48705	17,56278
48,48664	17,45193
8,48589	17,5605
48,4846	17,55792

48,48414	17,55706		
48,48369	17,55623	48,46747	17,50576
48,48323	17,55531	48,46745	17,50479
48,48219	17,55371	48,46746	17,50377
48,48182	17,55284	48,46795	17,5021
48,48131	17,55201	48,46774	17,50029
48,481	17,55112	48,46771	17,49925
48,48066	17,55025	48,4677	17,49829

48,48015	17,55945	48,46749	17,4974
48,47969	17,54859	48,46728	17,49652
48,47923	17,54772	48,46819	17,49681
48,47866	17,54694	48,4692	17,49701
48,47631	17,54306	48,4713	17,49655
48,47558	17,54124	48,47239	17,49623
48,47489	17,54005	48,47339	17,49592
48,47445	17,53896	48,47426	17,49551
48,47427	17,53806	48,47516	17,49512
48,47382	17,53719	48,47602	17,49468
48,47337	17,53636	48,47686	17,49415
48,47262	17,53502	48,47774	17,49372
48,47218	17,53419	48,47861	17,49328
48,47166	17,53338	48,4803	17,4924
48,4709	17,53212	48,48267	17,49682
48,47036	17,53116	48,48427	17,48973
48,46984	17,53035	48,48509	17,48911
48,46949	17,52832	48,48746	17,4875
48,46925	17,52718	48,48828	17,48699
48,46912	17,52626	48,48919	17,48647
48,46901	17,52534	48,49013	17,48593
48,46892	17,5244	48,49097	17,4854
48,46865	17,52308	48,49259	17,48438
48,46856	17,52215	48,49343	17,4839
48,46851	17,52122	48,49419	17,4833
48,46838	17,52029	48,49499	17,48274
48,46831	17,51935	48,49587	17,48222
48,46825	17,51843	48,49665	17,48162
48,4682	17,51752	48,49754	17,48109
48,46812	17,51661	48,4984	17,48056
48,46815	17,51551	48,49944	17,47989
48,46809	17,51458	48,50025	17,47926
48,46806	17,51356	48,50105	17,47866
48,46804	17,5126	48,50261	17,47757
48,46806	17,51167	48,50416	17,47648
48,46807	17,51049	48,50499	17,47591
48,50576	17,47541	48,5599	17,43535
48,50904	17,47318	48,56064	17,43474
48,5102	17,47213	48,56132	17,43409
48,51138	17,47154	48,56208	17,43343
48,51211	17,47091	48,56267	1743263
48,51281	17,47023	48,56408	1743126
48,51344	17,46953	48,56479	17,43064
48,5144	17,46882	48,5654	17,4299
48,551482	17,46813	48,56613	17,42929
48,51548	17,46731	48,61192	17,39747
48,51632	17,46665	48,56698	17,42811
48,51715	17,46616	48,56765	17,42743
48,51798	17,46565	48,56848	17,42697
48,51873	17,464999	48,56934	17,42655
48,51952	17,4644	48,57015	17,42604
48,52122	17,46303	48,5709	17,42546
48,52372	17,46141	48,57179	17,42501
48,52451	17,46083	48,687	17,42105

48,52531	17,4603	48,57755	17,42041
48,52608	17,45976	48,57839	17,41967
48,5272	17,45903	48,57903	17,41899
48,53554	17,45286	48,57964	17,41825
48,53629	17,45227	48,58031	17,41759
48,5371	17,4517	48,58101	17,41694
48,53787	17,45115	48,58167	17,41627
48,53938	17,44998	48,58313	17,41496
48,54018	17,44948	48,58398	17,41412
48,54094	17,44888	48,5847	17,41348
48,54168	17,44828	48,58486	17,41098
48,54243	17,44765	48,5846	17,40975
48,5432	17,44705	48,58437	17,40869
48,54402	17,44654	48,58405	17,40766
48,54477	17,44597	48,58384	17,40681
48,54555	17,44541	48,58359	17,40576
48,54627	17,4448	48,58334	17,40437
4854689	17,44409	48,58325	17,40391
48,54781	17,44346	48,58315	17,40301
48,54861	17,44285	48,58313	17,40206
48,54937	17,44228	48,58315	17,40098
48,55019	17,44177	48,58338	17,40009
48,55103	17,44131	48,58369	17,39922
48,55183	17,44076	48,58399	17,39837
48,55257	17,44019	48,58425	17,39749
48,55334	17,43959	48,58468	17,39646
48,55496	17,4386	48,58495	17,39529
48,55571	17,43793	48,58651	17,39828
48,55662	17,43739	48,58744	17,39854
48,55831	17,43651	48,58838	17,3987
48,55908	17,43592	48,58934	17,39883
48,59058	17,39911	48,58183	17,40413
48,59171	17,39941	48,58116	17,40482
48,5926	17,39974	48,5805	17,40549
48,59348	17,4001	48,57993	17,40623
48,59447	17,39999	48,57927	17,40692
48,59538	17,39969	48,57861	17,40758
48,59627	17,39935	48,57796	17,40827
48,59722	17,39877	48,57732	17,40897
48,59809	17,39824	48,57673	17,4097
48,59927	17,39757	48,57616	17,41044
48,60028	1739697	48,57555	17,41115
48,60113	17,39647	48,57491	17,41186
48,60419	17,39562	48,57433	17,41261
48,60518	17,39583	48,5737	17,4133
48,60611	17,39602	48,5729	17,41407
48,60796	17,39643	48,57234	17,41483
48,60908	17,39666	48,57176	17,41557
48,61006	17,39683	48,57117	17,4163
48,61192	17,39747	48,5705	17,41709
48,61285	17,39779	48,5698	17,41787
48,61386	17,39805	48,56828	17,41966
48,61462	17,39847	48,56757	17,42032
48,61512	17,39926	48,56736	17,42068

48,61583	17,40018	48,5668	17,42142
48,61651	17,40083	48,56626	17,42217
48,61714	17,40152	48,56573	17,42302
48,61792	17,40209	48,56499	17,42401
48,6189	17,40262	48,56435	17,42476
48,61971	17,4031	48,56351	17,42556
48,62052	17,40359	48,56283	17,42628
48,62147	17,40383	48,56221	17,427
48,62242	17,40401	48,56152	17,42765
48,62302	17,40411	48,56092	17,42843
48,62397	17,40425	48,5604	17,4292
48,6249	17,40413	48,5599	17,43001
48,62581	17,40376	48,55938	17,43079
48,62652	17,40311	48,55883	17,43155
48,62722	17,40245	48,55828	17,43232
48,62804	17,40189	48,55775	17,43313
48,62909	17,40181		17,43313
48,63608	17,40202	48,55601	17,43548
48,63112	17,40222	48,55536	17,43627
48,63207	17,40238	48,55476	17,43703
48,58769	17,39906	48,5531	17,43927
48,58677	17,39954	48,55249	17,44012
48,58611	17,40021	48,55198	17,4401
48,58455	17,40137	48,55148	17,44169
48,58382	17,40216	48,5509	17,44253
48,58316	17,40281	48,55053	17,44301
48,58249	17,40347	48,55005	17,44381
48,54948	17,44462	48,52102	17,48817
48,54882	17,44548	48,52057	17,48898
48,54827	17,44625	48,52001	17,48972
48,54773	17,44701	48,51944	17,49046
48,54726	17,4478	48,51887	17,49113
48,54679	17,4486	48,51827	17,49194
48,54646	17,44947	48,51771	17,49267
48,54588	17,45023	48,51713	17,49339
48,5453	17,4511	48,51657	17,49412
48,54473	17,45188	48,516	17,49489
48,54417	17,45263	48,51543	17,49562
48,5436	17,45338	48,51487	17,49636
48,54308	17,45418	48,5143	17,49713
48,54255	17,45499	48,51373	17,49785
48,542	17,45575	48,5131	17,49865
48,54149	17,45654	48,51244	17,49946
48,54096	17,45731	48,51184	17,50024
48,53991	17,4589	48,51064	17,50188
48,53941	17,45969	48,51011	17,50263
48,5389	17,46051	48,50961	17,50341
48,53836	17,46128	48,50903	17,50417
48,53785	17,46208	48,50844	17,5049
48,53717	17,46286	48,5078	17,50577
48,53662	17,46362	48,50726	17,50653
48,53615	17,46445	48,50666	17,50727
48,53561	17,46546	48,50615	17,50801
48,53514	17,46625	48,50552	17,50872

48,53466	17,46704	48,50494	17,50946
48,53418	17,46783	48,50437	17,51021
48,5337	17,46861	48,50373	17,51101
48,53331	17,46945	48,50321	17,51177
48,53291	17,47028	48,50267	17,51251
48,53228	17,47103	48,50142	17,51472
48,53178	17,47183	48,50098	17,51551
48,53119	17,47259	48,50047	17,51627
48,53053	17,47329	48,49994	17,51703
48,5284	17,47608	48,49942	17,51782
48,52797	17,47689	48,4989	17,51861
48,52746	17,47769	48,49773	17,52074
48,52697	17,47847	48,49721	17,52161
48,52643	17,47935	48,4957	17,52264
48,52589	17,48017	48,49613	17,52346
48,52532	17,48093	48,49571	17,52428
48,52482	17,48171	48,49529	17,5251
48,52431	17,48249	48,49486	17,52593
48,52379	17,48327	48,49454	17,52679
48,52337	17,48409	48,4942	17,52771
48,52296	17,48495	48,49383	17,52862
48,52243	17,48576	48,49342	17,5295
48,52196	17,48655	48,49318	17,5304
48,5215	17,48735	48,49297	17,5313
48,49261	17,53309	48,48914	17,58725
48,49244	17,53402	48,48906	17,58816
48,49235	17,53492	48,48901	17,58907
48,49231	17,53584	48,48884	17,58997
48,49214	17,53674	48,48872	17,59087
48,49198	17,53764	48,4886	17,59178
48,49192	17,53855	48,48848	17,59269
48,49181	17,53949	48,48832	17,59359
48,49179	17,54041	48,48801	17,59447
48,4917	17,54133	48,48772	17,59533
48,49161	17,54228	48,48749	17,59622
48,49137	17,54325	48,48735	17,59783
48,49126	17,54418	48,48716	17,59802
48,49123	17,5451	48,48711	17,59897
48,49118	17,54613	48,48715	17,59988
48,49086	17,54802	48,48707	17,60079
48,49068	17,54899	48,48709	17,60261
48,49055	17,5499	48,48712	17,60352
48,49028	17,55079	48,48706	17,60443
48,49016	17,55172	48,48694	17,60533
48,49011	17,55264	48,4868	17,60627
48,49006	17,55363	48,48675	17,6072
48,48999	17,55531	48,48712	17,60924
48,48983	17,55648	48,48713	17,61016
48,48968	17,55738	48,48717	17,61106
48,48933	17,5582	48,48722	17,61199
48,48833	17,55932	48,48725	17,6129
48,48891	17,56196	48,48707	17,61377
48,48895	17,56288	48,48703	17,61468
48,48891	17,56393	48,48698	17,61559

48,48883	17,56506	48,48701	17,61651
48,48876	17,56615	48,48718	17,6174
48,48873	17,56728	48,48735	17,6183
48,4888	17,56836	48,48753	17,61918
48,49006	17,57175	48,48795	17,62001
48,48994	17,57268	48,48824	17,62087
48,48991	17,57358	48,48868	17,62264
48,48987	17,57449	48,49109	17,62269
48,48973	17,5754	48,49233	17,62121
48,48961	17,57631	48,49405	17,61974
48,48954	17,57722	48,49684	17,61731
48,48946	17,57816	48,49752	17,61668
48,48932	17,57906	48,49779	17,61333
48,48922	17,57997	48,49836	17,61566
48,48921	17,58088	48,49895	17,61496
48,48912	17,58178	48,4996	17,61428
48,48899	17,5827	48,50022	17,61359
48,4889	17,58362	48,50083	17,61291
48,48904	17,58453	48,50148	17,61226
48,48923	17,58543	48,50201	17,61152
48,48926	17,58634	48,50268	17,61088

1. M. RAFIDISON Harivolatiana Lantoniaina
Lot A-81 cité des assureurs Itaosy, Antananarivo 102.
Titulaire du diplôme de Baccalauréat série C et de la Maîtrise de Recherche en Chimie et Environnement

2. Mlle RAHANITRINIAINA Haja Zoé
Lot VS 10 BD Antsahamamy, Ankatso, Antananarivo 101.
Titulaire du diplôme de Baccalauréat série C, de la Maîtrise de Recherche et du DEA en Chimie et Environnement

Document :

Nombre de pages : 75 pages
Nombre de tableaux : 31
Nombre de figures : 03
Nombre de photos : 13
Nombre de cartes : 01

RESUME

Ce travail a été demandé par l'Office National pour l'Environnement dans le cadre de la préparation d'un guide d'évaluation des zones sensibles, en particulier, d'écosystèmes lacustres. La démarche suivie a consisté en une revue bibliographique, en des travaux d'investigation sur terrain, en la proposition d'éléments pour un guide et l'application au cas réel du lac Alaotra.

L'Alaotra est une zone sensible touché par de sérieux problèmes d'érosion conduisant à l'ensablement, à la sédimentation et à l'envasement des bas fonds (lac et rizières)

Des analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été effectuées sur des échantillons d'eau, de sol et de sédiments ; ce qui permettra de suivre l'évolution de leur état. Des mesures bathymétriques mettant en évidence l'envasement du lac, surtout dans la partie Sud, ont également été menées.

Des mesures d'atténuation et des éléments pour un Guide d'évaluation des zones sensibles ont ensuite été proposées. Les résultats ont aussi montré que l'eau du lac ne doit pas être consommée brute quoiqu'elle soit de bonne qualité pour l'irrigation.

SUMMARY

This work has been asked by the National Office for the Environment so as to prepare an evaluating guide of sensitive areas, particularly, lacustrine ecosystems. The follow up gait consisted in a bibliographic revue, in of the works of research on the ground, in the proposition for a guide and the application to the real case of Alaotra lake.

The Alaotra is an appreciable zone touched by serious problems of erosion, driving to the blinding, to the sedimentation and the sitting-up of the bottoms funds (lake and rice fields).

Some physico-chemical and bacteriological analysis have been undretaken on samples of water, soil and sediments which will permit to follow up the evolution of their state.

By the measures of the shallow, it appears that the lake silts up on the south part.

Thereafter, attenuation measures and elements for a guide were proposed. As a result, water from the lake must not be consumed brute although it is of good quality for irrigation.

Mots clés; Alaotra Mangoro ; Ambatondrazaka; paramètres physico-chimiques; bactériologie; eaux; sols; sédiments; bathymétrie; écosystème lacustre ; guide d'évaluation.

Key words ; Alaotra Mangoro ; Ambatondrazaka ; physico-chemical parameters ; bacteriological ; waters ; soil ; sediments ; bathymetrie ; lacustrine ecosystem ; evaluating guide..

Rapporteur : Harizo RASOLOMANANA, Docteur Ingénieur