

Analyse Des Eaux Lacustres Par Des Techniques Spectrométriques, Cas Du Lac Mahasarika, Lac Antagnavo Et Du Lac Mahery

MAMIZARA Michéa^{1*}, RAZAFINDRAPATA Augustin², Rodel Justola TSIAFITAKA³, Daniel RASOLOZAFY³, HARIMANANTSOA Ariel⁵, ASIMANANA Frédéric⁴

¹Université d'Antsiranana, Faculté des sciences, Mention Physique, Diégo Suarez 201, Madagascar.

mamizara3@yahoo.fr

²Université d'Antsiranana, Institut universitaire des sciences de l'environnement et de la société, Diégo Suarez 201, Madagascar.

faraka207@gmail.com

³Université d'Antsiranana, Faculté des sciences, Diégo Suarez 201, Madagascar.

rasolozafdanield566@gmail.com

⁴Université d'Antsiranana, Faculté des sciences, Mention Physique, Diégo Suarez 201, Madagascar

fredericasimanana@yahoo.fr

⁵Université d'Antananarivo, Faculté des sciences, Antananarivo, Madagascar.

ariel201@gmail.com

Auteur Correspondant: RAZAFINDRAPATA Augustin, faraka207@gmail.com



Résumé : Les lacs aussi bien naturels qu'artificiels constituent une réserve d'eau pour l'homme. Le lac Mahery, le Lac Antagnavo et le Lac Mahasarika font l'objet de cette recherche. Nous avons effectué l'analyse des paramètres physico-chimiques de ces lacs par des méthodes spectrométriques, spectrophotométriques et volumétriques. Les résultats de nos mesures nous ont permis de dire que les eaux de ces plans d'eau répondent aux normes de la législation Malagasy en ce qui concerne les paramètres physico-chimiques. Ces résultats doivent être confortés par les autres paramètres surtout bactériologiques pour déclarer leur potabilité. Un traitement et un suivi périodique sont recommandés afin de pouvoir utiliser ces lacs comme source d'approvisionnement des localités environnantes en eau potable, tel est déjà le cas du Lac Mahery.

Mot clés: eaux lacustres, paramètres physico-chimiques, Antsiranana II.

Abstract: Lakes, both natural and artificial, are a source of water for humans. Lake Mahery, Lake Antagnavo and Lake Mahasarika are the subject of this research. We carried out the analysis of physico-chemical parameters of these lakes by spectrometric, spectrophotometric and volumetric methods. The results of our measurements allowed us to say that the waters of these water bodies meet the standards of Malagasy legislation regarding physico-chemical parameters. These results must be supported by the other parameters, especially bacteriological ones, to declare their potability. Treatment and periodic monitoring are recommended in order to be able to use these lakes as a source of drinking water for the surrounding communities, as is already the case with Lac Mahery.

Keywords: lake waters, physico-chemical parameters, Antsiranana II.

1. Introduction

Les fortes précipitations alimentent les nombreux cours d'eau qui prennent naissance dans le Montagne d'Ambre, en faisant une réserve d'eau essentielle pour la région. La partie Nord, proche de l'équateur est également influencée par le vent, qui augmente les précipitations. Actuellement, on a recensé environ 30 cours d'eau, parmi lesquels les plus significatifs sont Saharenana, Irodo, Antomboka, Besokatra, Andranofanjava, Sandrapiana, Andongoza et Andohan'Ankarana. L'eau provenant de la montagne est vitale pour la survie de la population vivant entre Anivorano-Nord et la baie de Diego-Suarez. Ils sont issus des sept lacs de cratère : Lac Antagnavo, Lac Mahery, Lac Mahasarika (petit Lac), Lac Malio (Grand Lac), Lac Taranta (Lac Maudit), Lac Fantany (Ampatan'Ambotry) et Lac Manonja (Lac Texier).

En période de sécheresse, la question sur la composition de l'eau est au cœur de tous les débats. Bien que les lacs ne soient pas tous destinés à la consommation humaine, leurs compositions minérales influent sur la végétation aux alentours. De plus, les lacs constituent une réserve d'eau douce exploitable pour la consommation naturelle après traitements comme le cas du lac Mathery. La qualité de l'eau destinée à la consommation humaine dépend, d'une part de la fiabilité des analyses physico-chimiques des eaux brutes à traiter, et d'autre part de l'interprétation qui en est faite. En effet, les conclusions qui en sont tirées sont essentielles pour définir le dimensionnement des filières de traitement. Au cours d'exploitation des usines, elles permettent de contrôler l'efficacité des étapes de traitement de l'eau et de vérifier que l'eau traitée est conforme aux valeurs paramétriques définies.

2. METHODOLOGIE

2.1 Prélèvements et conservation des échantillons

Nous avons fait nos prélèvements d'échantillons au mois de Mai 2024 en commençant par le lac Mahasarika, puis Antagnavo et enfin à Mahery. Nous avons choisi de faire deux prélèvements pour chaque échantillonnage : un au bord et un plus au milieu du lac. Pour le transport des échantillons nous avons nettoyé préalablement. Pour préserver nos échantillons, nous n'avons pas ajouté de l'acide pour ne pas influencer la concentration des éléments minéraux présents. Nous avons placé les échantillons au frais à 4°C dans une glacière contenant des glaçons, pour la conservation, selon les consignes du laboratoire Bureau de la Sécurité des Laboratoire.

2.2 Méthodologie d'analyse

Nous avons bénéficié de trois (03) méthodes d'analyse différentes : la spectrométrie d'absorption atomique (AAS) qui est disponible dans le laboratoire de la CNRE (Centre National de Recherche sur l'Environnement), la spectrophotométrie utilisée dans le laboratoire de la JIRAMA (Jiro sy Rano Malagasy) et l'analyse volumétrique, également employée par cette société.

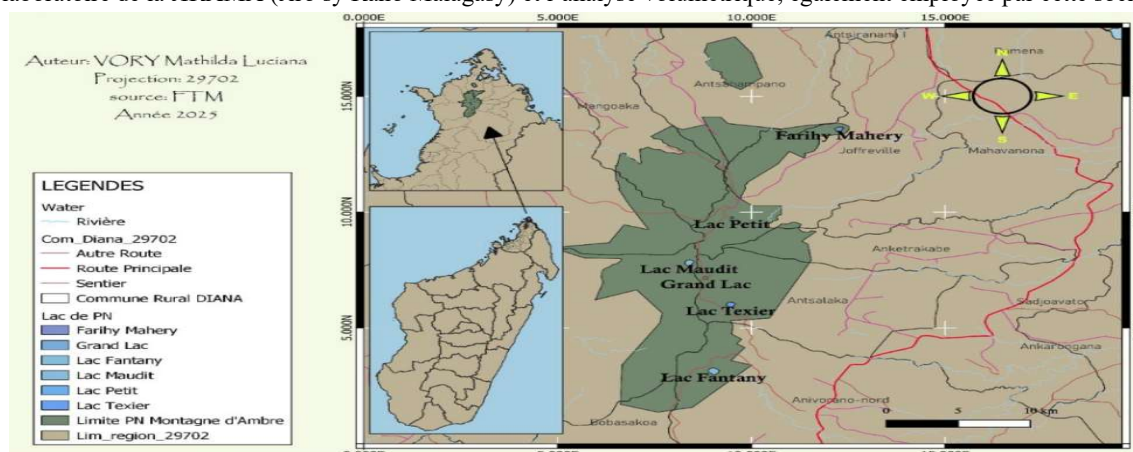


Fig 1 : Carte des lacs

2.1 Spectrométrie d'absorption atomique (AAS)

Nous avons choisi la lampe à fente utilisée selon l'élément à déterminer. Lorsqu'on place la lampe, il faut l'ajuster de façon à ce qu'elle soit alignée à la fente. Le réglage de la longueur d'onde se fait manuellement, d'abord par ajustement de la valeur selon des données préétabli pour chaque élément contenu dans un cahier de charge. Puis, cette valeur est corrigée par une première mesure sur de l'eau distillée. Cette valeur doit augmenter puis atteindre un maximum et commencer à redescendre de façon à avoir une courbe gaussienne. La valeur maximale du photomultiplicateur correspond à sa valeur optimale. On doit noter cette valeur et la date de l'analyse dans le cahier de charge. Puis nous procédons à l'étalonnage de l'appareil. Dans les paramètres d'étalonnage, nous avons sélectionné comme méthode de traitement le mode « *Normal* » qui correspond à un ajustement linéaire moindres carrés. On introduit le nombre de solutions étalons (04 solutions étalons préalablement préparées pour chaque élément analysé) et leur concentration théorique pour le tracé de la courbe d'étalonnage. Toutes ces étapes doivent être sauvegardées puis chargées chaque

fois que nous voulons analyser un échantillon. L'analyse se fait toujours sur un prélèvement de 100ml de chaque solution dans un erlenmeyer marqué. La mise en marche la lampe correspondant à l'élément à doser se fait en cliquant dans la case *Etat* correspondante jusqu'à ce qu'elle apparaisse en fonctionnement. On allume la flamme seulement 15 minutes avant le début des analyses. Enfin, on clique sur *Réglage Optique* et on attend que l'ordinateur redonne la main et on lance l'analyse successive des échantillons. L'analyse de certains éléments nécessite l'ajout de solution tampon et parfois la dilution des solutions à analyser.



Fig 2 : Spectrophotomètre d'absorption atomique des laboratoires CNRE.

2.2 Spectrophotométrie

Dans le laboratoire de la société JIRAMA, on utilise cette technique pour analyser les nitrites, les nitrates et les sulfates dans l'eau.



Fig 3: Spectrophotomètre de la JIRAMA

Nous avons pu faire l'analyse de certains ions dissouts dans l'eau, à savoir l'ammonium, les sulfates, les nitrates et les nitrites, par la spectrophotométrie. La propreté des matériels est primordiale pour assurer la fiabilité des résultats de nos analyses. Ainsi, toute la verrerie doit être lavée avec une solution d'acide chlorhydrique à 5%, rincée à l'eau déionisée ou fraîchement distillée.

Analyse volumétrique

On a pu mesurer certains paramètres via la volumétrie : la dureté totale, le titre alcalimétrique complet, les matières organiques, l'alcalinité mais aussi la concentration en magnésium, calcium, en sodium, en fer, en ion chlorure.

3. RESULTATS

Lors de l'analyse des eaux, les paramètres d'analyse se divisent en cinq groupes :

- Les critères organoleptiques
- Les critères physico- chimiques
- La toxicité
- Les substances indésirables
- Les critères bactériologiques

3.1 Critères organoleptiques

Ces paramètres sont la saveur, la couleur, l'odeur et la turbidité de l'eau. Ce sont les qualités sensibles de l'eau. Les critères organoleptiques sont regroupés dans le tableau 1 :

Tableau 1: Résultats des critères organoleptiques

Critères	Lac Mahasarika		Lac Antagnavo		Lac Mahery		Norme Malagasy
	Bord	Milieu	Bord	Milieu	Bord	Milieu	
Saveur	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune
Couleur	incolore	incolore	incolore	incolore	incolore	incolore	incolore
Odeur	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune

3.2 Critères physiques

Ces paramètres regroupent : la température, le pH, la conductivité et la turbidité. Les paramètres physiques sont en relation avec la structure naturelle des eaux. Au contact du sol, les eaux se chargent de certains éléments minéraux qui influent sur la conductivité et le pH. Nous présentons les résultats de mesure dans le tableau 2.

Tableau 2: Résultats des critères physiques

Critères	Lac Mahasarika		Lac Antagnavo		Lac Mahery		Norme Malagasy
	Bord	Milieu	Bord	Milieu	Bord	Milieu	
Température °C	20,9	20,6	22,5	20,5	21,6	20,4	20 à 25
pH	7,03	7,1	6,39	6,9	6,56	6,9	6 à 9
Conductivité (µS/cm)	11,9	9,8	76,9	72,8	37,2	35,9	180 à 1000

Minéralisation (mg/l)	11	10	71	67	42	32	
Turbidité (NTU)	1,95	1,2	8,5	3,15	27,9	21,6	< 5

3.3 Critères chimiques

Les eaux contiennent des minéraux dissous comme le calcium, le magnésium, le sodium et le fer.

Tableau 3: Résultats des critères chimiques

Critères	Lac Mahasarika		Lac Antagnavo		Lac Mahery		Norme Malagasy
	Bord	Milieu	Bord	Milieu	Bord	Milieu	
Potassium (mg/l)	0,53	0,61	0,45	0,45	0,9	0,86	< 12
Magnésium (mg/l)	0,43	0,48	0,38	0,32	2,4	2,8	< 50
Calcium (mg/l)	3,94	3,37	2,75	2,36	4,37	4,86	< 200
Sodium (mg/l)	1,16	3,9	5,43	5,97	4,6	5,52	< 150
Sulfate (mg/l)	0	0	0	0	1,31	1,85	< 250
Chlorure (mg/l)	5,78	6,67	6,44	6,68	8,52	7,1	< 250

3.4 Toxicité

Dans l'eau, il peut y avoir des substances toxiques comme l'arsenic, le mercure, le plomb, le chrome, le nickel, l'antimoine, le cyanure et le sélénium, ainsi que certains hydrocarbures qui ont des limites de qualité très basses de l'ordre du millionième de gramme par litre, ce qui exige des analyses extrêmement fines. Les eaux usées doivent respecter des valeurs inférieures ou égales aux limites de qualité déjà définies. Ces analyses n'ont pas été réalisées dans ce présent article.

3.5 Substances indésirables

Parmi les paramètres chimiques, certaines substances sont considérées comme indésirables, c'est-à-dire que leur présence est tolérée, tant qu'elle reste inférieure à un certain seuil. Nous regroupons nos résultats dans le tableau 4 :

Tableau 4: Résultats des substances indésirables

Critères	Lac Mahasarika		Lac Antagnavo		Lac Mahery		Norme Malagasy
	Bord	Milieu	Bord	Milieu	Bord	Milieu	
Fer (mg/l)	0,35	0,28	0,32	0,37	0,49	0,43	< 0,5
Nitrate (mg/l)	0,315	0,321	0,008	0,009	0,043	0,041	< 50
Nitrite (mg/l)	0,066	0,062	0,063	0,065	0,045	0,043	< 0,1
Ammonium (mg/l)	0,316	0,321	0,440	0,457	0,22	0,16	< 0,5
Matière organique (mg/l)	1,5	1,3	2,5	2,2	2,7	2,1	< 2

3.6 Critères bactériologiques

Les facteurs microbiologiques déterminent la qualité ou la pollution de l'eau en bactéries fécales, soit les coliformes fécaux et l'*Escherichia Coli*. Ce présent article ne présente pas ces sortes d'analyses.

4. DISCUSSIONS

De nos interprétations, même si les teneurs en éléments indésirables sont faibles par rapport aux normes de potabilité, nous pouvons dire que la pollution existe belle et bien dans ces trois lacs. De plus, sans les analyses bactériologiques, nos recherches ne permettent pas de déclarer la potabilité de ces eaux. En outre, il aurait aussi fallu faire des suivis c'est-à-dire faire des analyses régulières de ces lacs pour pouvoir réellement les classer car ces paramètres varient selon la saison, le climat et bien d'autres paramètres.

Les résultats de nos recherches ne constituent ainsi qu'une étape dans la détermination de la potabilité de ces eaux. Dans la méthode d'analyse, de nos jours, il existe aussi des matériels qui permettent de faire les analyses sur place c'est-à-dire, directement sur les lieux de prélèvement, ce qui pourrait améliorer les résultats sans les possibles modifications au cours du transport.

La chromatographie ionique peut aussi être utilisée et aurait été plus rapide et plus précise que les analyses volumétriques mais leurs coûts ne sont pas abordables, c'est pourquoi ce mémoire ne traite pas de cette méthode. Mais il aurait été intéressant de comparer les résultats obtenus par différentes méthodes.

5. Conclusion

Nous avons décidés de faire les analyses de lacs en des temps de sécheresse afin de pouvoir déterminer les possibilités de potabilité de ces lacs. L'analyse des eaux des trois lacs Mahasarika, lac Antagnavo et lac Mahery, nous a permis de connaître leurs qualités physiques et chimiques. En effet il s'agit des mesures de turbidité, de conductivité, du pH, de la température ainsi que les éléments tels que: le calcium, le sodium, les nitrites et les nitrates, ... Concrètement, nous avons pu effectuer l'analyse de 23 paramètres physico-chimiques. Le lac de Mahasarika est dans les normes de législation Malagasy, alors que pour Antagnavo et Mahery, deux paramètres (turbidité et matière organique), en relation avec les paramètres bactériologiques, sont par contre en dehors des normes du code de l'eau Malagasy.

De tout ce que nous avons vu, nous pouvons dire qu'avec un traitement adéquat et un suivi permanent, chacun de ces lacs pourrait constituer une réserve d'eau potable pour notre district. Cette étude ne constitue donc, qu'une infime partie de tous les travaux qui doivent être réalisés. Des contrôles périodiques doivent être effectués pour ces trois lacs, car Mahery est la source d'eau de consommation et Mahasarika et Antagnavo font partie des sites touristiques célèbres à Madagascar. Aux termes de l'étude, quelques recommandations sont à proposer pour améliorer la qualité des eaux de consommation et pour éviter les maladies liées à la consommation de l'eau. En effet, des travaux de reboisement sont encouragés pour élargir la zone d'espace de la pluviométrie et pour éviter l'érosion qui est la principale source de la pollution des lacs. Il est aussi indispensable d'augmenter le périmètre de protection de ces lacs. Les endroits doivent être clôturés. Ils doivent être éloignés des zones industrielles et des zones d'exploitation agricole. Ainsi nous achevons notre mémoire dans la certitude de futurs traitements pour rendre ces lacs potables et qui sait les futurs travaux pourraient être érigés dans des envergures nationales afin de régler les constants problèmes d'accès à l'eau de notre pays.

References

- [1] Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (A.F.S.S.A). *Apports nutritionnels conseillés*. 2001.
- [2] Martin A et al., *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*. Ed Lavoisier, Tec & Doc. 2001.
- [3] Direction Régionale de la Santé Public DIANA. *Taux de mortalités maternel et mort nés de la région DIANA*. Rapport annuelle. 2019.

- [4] European Food Safety Authority (E.F.S.A). *Les valeurs nutritionnelles de référence pour les nutriments*. Apport de référence pour femmes enceintes. Octobre 2015.
- [5] FAVIER M, HININGER-FAVIER I. *Zinc et grossesse. Gynécologie Obstétrique & Fertilité*. 2005, 33 : 253–258.
- [6] I.N.E.R.I.S, « *Fiche des données toxicologiques et environnementales des substances chimiques* », Version N 1- 2juillet 2006, p 71.
- [7] Agence Internationale de l'Energie Atomique (IAEA DRAFT). *Documentation version 1.2, Q. X. A. S. (Quantitative X-ray Analysis System)*. 1995-1996.
- [8] Agence Internationale de l'Energie Atomique (IAEA / SOIL-7). *Certified Reference Material*. May 1984
- [9] Agence Internationale de l'Energie Atomique (IAEA-TECDOC-950). *Sampling, storage and sample preparation procedures for X-ray fluorescence analysis of environmental materials*. June 1997.
- [10] Agence Internationale de l'Energie Atomique, (IAEA-TECDOC-300). *Sample preparation Techniques in trace Element Analysis By X-ray Emission Spectroscopy*. Vienna, 1983.
- [11] GENEVEY Laurene, Schutz CLAIRE. *Législation du complément alimentaire et étude des compositions de deux types de compléments alimentaires*. Thèse de docteur en Pharmacie. Université Joseph Fourier. Faculté de Pharmacie de Grenoble, p 76-78-87-89, 12 janvier 2009.
- [12] Guide de Bonnes Pratiques d'hygiène de la Nutrition Animale (G.B.P.N.A) – OQUALIM. *Dangers*. Version Finalisée soumise 18/10/2016, ANNEXE 1, p 67 - 127.
- [13] K. HUHEEY et al, « *Chimie Inorganique des Systèmes Biologiques* », p 944 – 946, 1993.
- [14] Merck index – « *Encyclopedia of chemicals, drugs and biologicals* », 12ème édition. Merck and Co., Rahway, 1996.
- [15] RASOLOJAONA Lalaina Sylviane. *Étude de la filière Raphia en vue du développement de son exportation : cas de RAMANANDRAIBE Exportation S.A*. Diplôme d'Etudes Approfondies. Université d'Antananarivo. Faculté de droit, d'économie, de gestion et de sociologie. p 20-22, 2006.
- [16] RUFFIN R et al. *Investigation des éléments minéraux traces et actifs dans le Khat par la technique de fluorescence X à l'énergie dispersive (ED-XRF)*. Afrique science 13(3) (2017) 217-232-ISSN 1813- 548X, p 228.
- [17] S.M. Sumabuco, V. F. Nascimento Filho. *Quantitative analysis by energy dispersive X-Ray fluorescence by the transmission method applied to geological samples*. Sci. Agri. Piracicaba, 51(2): 197-206. 1994.
- [18] Société Suisse de Nutrition (S.S.N). *L'alimentation de la femme enceinte*. Schwarztörstrasse 87.ase postale 8333, CH-3001 Berne, édition actualisée 2011, p 8
- [19] SYLVAIN Bélanger. *Une santé de cuivre*. Éditions Quintessence. Rue de la Bastidonne 13678 Aubagne Cedex – France. ISBN 2-913281-28-1. p 12, 2003.
- [20] Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S). *Recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé concernant les soins prénatals pour que la grossesse soit une expérience positive*. p xi, 2017.
- [21] Organisation Mondial de la Santé (O.M.S). *Risk assessment of khat use in the Netherlands: a review based on adverse health effects, prevalence, criminal involvement and public order*. Regulatory Toxicology and Pharmacology 52 (3), pp. 199-207, 2008.
- [22] Organisation des Nations Unis (O.N. U). *Objectifs du millénaire pour le développement*. Rapport 2015.
- [23] Larson M. G., (2008). *Analysis of Variance*. Circulation 117: 115-121.

-
- [24] RANDRIANANTENAINA Fanjanirina Rovatiana. *Étude de l'érosion hydrique du sol par la technique du ^7Be : cas d'un site agricole d'Andranomanelatra Antsirabe*. Thèse de doctorat en physique. Université d'Antananarivo. Faculté des sciences, p 38, 10 décembre 2021.
- [25] Dahiru T., FMCPH, HSM Dip., 2008. *P-value, a true test of statistical significance? A cautionary note*. Annals of Ibadan Postgraduate Medecine, 6 (1) :1-6.
- [26] Sterne J. A. C., Smith G. D., 2001. *Sifting the evidence-what's wrong with significance tests?* BMJ, 322: 226 -231.
- [27] Wasserman L., 2004. *All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference*, Springer-Verlag, p. 157.