

Facteurs déterminants l'abondance du Grèbe malgache *Tachybaptus pelzelni* dans les lacs volcaniques de l'Aire Protégée Bemanevika, Hautes Terres du Nord de Madagascar

Delphin RASOLONJATOVO^{1,2*}, Armand BENJARA², Radoniaina RAZAFIHERISON^{1,2}, Séraphin FABRICE², Gilbert RAZAFIMANJATO² et Lily-Arison RENE DE ROLAND^{1,2}

¹ Ecole Doctorale de la Biodiversité et Environnements Tropicaux, UFR de l'Université de Toliara, BP 304 Toliara 601, Madagascar

² The Peregrine Fund, BP 4113 Antananarivo 101, Madagascar

(Reçu le 06 Novembre 2023 ; Accepté le 31 Janvier 2024)

* Correspondance, courriel : delphinrasolonjatovo@gmail.com

Résumé

Cette étude a été menée dans les quatre lacs de l'Aire Protégée Bemanevika. Elle vise à comprendre les facteurs influençant la fréquentation du Grèbe malgache, *Tachybaptus pelzelni*. Les comptages systématiques mensuels basés sur l'Indice Ponctuel d'Abondance ont permis de recenser entre 161 et 240 individus fréquentant ces lacs (moyenne = 190 ; sd = 23,52 ; n = 18). La majorité d'entre eux a été observée à Matsaborimena (moyenne = 92) et Matsaborimaitso (moyenne = 54). Pour expliquer cette différence, 29 paramètres environnementaux des lacs ont fait l'objet de relevé et d'analyse statistique. Cette dernière a montré des différences significatives de ces paramètres entre les quatre lacs. Les régressions multiples indiquent que les teneurs en fer et en nitrate, la température de l'eau, la surface et la richesse floristique de la végétation aquatique émergente ainsi que la couverture forestière du bassin versant influent positivement la fréquentation des individus du Grèbe malgache. Cependant, la superficie du lac et l'équitabilité de la répartition des oiseaux d'eau ont un impact négatif. Ces résultats soulignent l'importance des facteurs environnementaux dans la distribution du Grèbe malgache. Cette recherche contribue significativement à la compréhension des dynamiques écologiques de cette espèce, ouvrant ainsi des perspectives importantes pour la conservation de la biodiversité de la zone.

Mots-clés : *Tachybaptus pelzelni*, abondance, écologie, Aire Protégée Bemanevika.

Abstract

The factors influencing the Madagascar Grebe abundance in volcanic lakes at Bemanevika Protected Area, northern highland of Madagascar

This study was conducted in the four lakes within Bemanevika Protected Area. It aims to identify the factors influencing the abundance of the Madagascar Grebe. A systematic monthly survey based on the Point Abundance Index recorded between 161 to 240 individuals (mean = 190; SD = 23.52). Most of them were observed at Matsaborimena lake (mean = 92) and Matsaborimaitso lake (mean = 54). In order to explain

this unequal distribution of the species, we collected and analyzed 29 environmental parameters of the lakes such as physico-chemical parameters of lakes, floristic parameters of emergent aquatic vegetation on the edges of lakes, and forest cover surrounding the lakes. The analysis showed significant differences between these parameters at our study sites. Multiple regressions indicate that total iron and nitrate content, temperature of water, aquatic vegetation area, forest cover of the watershed, and species richness of emergent aquatic vegetation are positively correlated with the distribution of Madagascar Grebe individuals. While, it is negatively correlated with lake surface and the waterbird's equitability (E). These results confirmed the importance of environmental factors in the species' distribution. This research significantly contributes to our understanding of the ecological dynamics of Madagascar Grebe, thereby providing crucial insights for biodiversity conservation in the area.

Keywords : *Tachybaptus pelzelinii*, abundance, ecology, Bemanevika Protected Area.

1. Introduction

Les écosystèmes aquatiques, complexes et interdépendants, sont cruciaux pour la coexistence de nombreuses espèces végétales et animales, avec leurs interactions influencées par les paramètres physicochimiques de l'eau [1 - 3]. Les oiseaux d'eau, en tant qu'acteurs clés, témoignent les conditions générales de ces milieux [4, 5]. A travers leur présence et leurs comportements, ils offrent des indices sur l'équilibre et la vitalité de ces environnements [3 - 6]. Les zones humides sont ainsi vitales pour les oiseaux, notamment pour les oiseaux d'eau [1]. En revanche, les oiseaux d'eau sont essentiels pour les zones humides, à travers leurs rôles non seulement bioindicateur de la qualité des écosystèmes mais aussi dans le maintien de l'équilibre naturel [2, 6 - 8]. Les oiseaux d'eau Malagasy comptent 152 espèces dont 16 espèces sont menacées [9]. Parmi ces dernières figure *Tachybaptus pelzelinii*, l'une des deux espèces et la seule endémique de Grèbes présentes à Madagascar [10]. Depuis 1980, sa population a connu un déclin et son statut de conservation est passé de préoccupation mineure (LC) à en danger d'extinction (EN) [10, 11]. Cette rapide décroissance est imputable aux exploitations irrationnelles des zones humides (telles que la surpêche, la conversion croissante en rizières et pollution de l'eau faisant suite à l'utilisation de pesticides dans l'agriculture), des captures accidentelles dans les filets des pêcheurs, de la chasse, de la prédation et de la prolifération de plantes aquatiques exotiques [11, 12]. Néanmoins, le complexe lacustre de l'Aire Protégée (AP) Bemanevika ne semble pas être confronté à des problèmes majeurs de dégradation causés par les activités humaines. Cette situation découle d'une part à la nature volcanique des lacs, les rendant impropre à l'utilisation humaine. D'autre part, les efforts de conservation entrepris par le projet The Peregrine Fund (TPF) ont également apporté un impact positif sur la communauté d'oiseaux d'eau présente sur les lacs [13]. En effet, bien que le Grèbe malgache soit rependu dans 44 zones humides protégées à Madagascar [14], plus de 10 % de sa population globale se réfugie dans les lacs boisés des Hautes Terres du Nord de la Grande Île, dont les lacs volcaniques de Bemanevika (Andriakanala, Maramarantsarengy, Matsaborimaitso et Matsaborimena) où plusieurs centaines d'individus sont répertoriés [15, 16]. Ce qui révèle l'importance de ces lacs pour la conservation de cette espèce. Cependant, les observations des oiseaux d'eau dans cette AP ont mis en lumière un moindre attrait des individus du Grèbe malgache pour les lacs Andriakanala et Maramarantsarengy. Dans le but de développer un plan de conservation pour cette espèce dans la région, la présente étude a été menée afin de comprendre les interactions complexes entre les facteurs environnementaux et la fréquentation du Grèbe malgache dans les lacs de Bemanevika.

2. Matériel et méthodes

2-1. Sites d'étude et période d'étude

L'étude s'est déroulée entre novembre 2020 et avril 2022 dans l'AP Bemanevika, située dans les Hautes Terres du Nord de Madagascar. Elle est délimitée les latitudes Sud $14^{\circ}10'$ – $14^{\circ}35'S$ et les longitudes Est $48^{\circ}25'$ – $48^{\circ}50'E$. Cette Aire Protégée, couvrant une étendue de 35 605 ha, a acquis son statut de protection permanente en tant que "Paysage Harmonieux Protégé" (correspondant à la catégorie V de l'UICN) depuis 2015 selon le décret n°2015-782. Elle abrite diverses zones humides, englobant une superficie totale de 10 000 ha, comprenant des lacs, des marais, des marécages et des cours d'eau. Ces zones humides jouent un rôle essentiel dans la survie d'espèces d'oiseaux d'eau menacées telles que le Fuligule de Madagascar *Aythya innotata* (CR), le Héron crabier blanc *Ardeola idae* (EN), le Canard de Miller *Anas melleri* (EN), le Râle de Waters *Sarothrura watersii* (EN), le Busard de Madagascar *Circus macroscelus* (EN), le Grèbe malgache *Tachybaptus pelzenii* (EN) et le Râle de Madagascar *Rallus madagascariensis* (VU) [11]. En reconnaissance de la valeur écologique de ces zones humides et des populations d'oiseaux associés, une partie de cette AP a été désignée comme zone humide d'importance internationale ou Site Ramsar en 2017 [17]. L'étude a été réalisée dans les quatre lacs volcaniques de l'AP Bemanevika (**Figure 1**) dont l'ensemble couvre une superficie totale de 160 ha. Il s'agit des lacs Andrakanela (65 ha), Maramarantsarengy (35 ha), Matsaborimaitso (20 ha) et Maborimena (40 ha). Ils sont en forme des cratères et leur profondeur varie de 2 à 150 m dont Andrakanela et Matsaborimena sont respectivement le plus et le moins profond de tous.

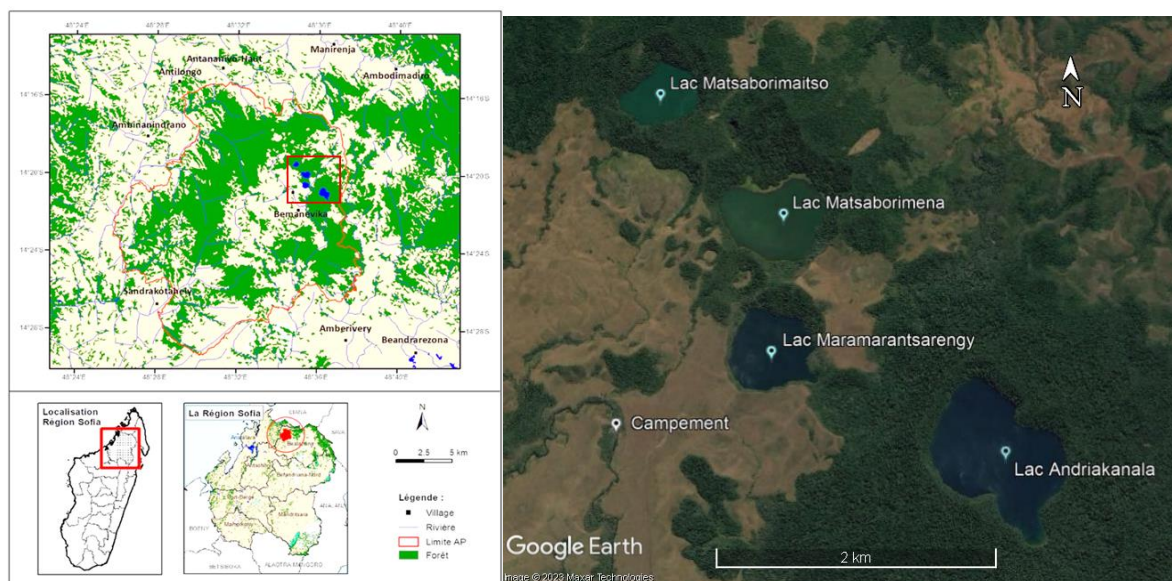


Figure 1 : Cartes de localisation de l'Aire Protégée Bemanevika et les sites d'étude (TPF)

2-2. Collecte des données

Un suivi mensuel de la communauté d'oiseaux d'eau est effectué dans les quatre sites susmentionnés entre novembre 2020 et avril 2022, soit un total de 18 relevés. La méthode Indice Ponctuel d'Abondance [18] a été utilisée pour quantifier l'abondance des oiseaux d'eau. C'est l'approche la plus adaptée pour des milieux morcelés et accidentés comme le cas des lacs volcaniques de Bemanevika. Cette méthode consiste à identifier et compter les oiseaux à partir d'un ou plusieurs points d'observations fixes permettant une vue d'ensemble du site. Pour éviter le doublon, les observations dans tous les sites ont été menées à la même heure, entre 06 h et 10 h, en impliquant les techniciens de terrain du projet TPF. Les observateurs, équipés d'une paire de

jumelles et d'un télescope, ont travaillé en équipe formée chacune de deux personnes dont l'une se charge le comptage des individus de chaque espèce présente tandis que l'autre se concentre à la prise de notes. A chaque point, l'observation a duré de 15 à 20 minutes. L'emploi de cette méthode nous a permis de caractériser la communauté d'oiseaux d'eau et de comprendre la répartition des effectifs de l'espèce étudiée de la zone. La qualité de l'eau des quatre lacs a été évaluée en mesurant 20 paramètres physico-chimiques. Parmi eux figurent six paramètres physiques (la superficie, la température, la turbidité, la conductivité, la profondeur maximale et la transparence du lac) et 14 paramètres chimiques (le pH, la minéralisation, les titres hydrométrique et alcalimétrique complète et les teneurs en matières organiques, calcium, magnésium, sodium, en ammonium, fer, bicarbonate, chlorure, sulfate et nitrate). Certains de ces paramètres ont été connus suite aux mesures faites *in situ*. Le pH et la température ont été obtenus en utilisant un pH-mètre du type pH-80 hydro tester. La turbidité de l'eau a été mesurée à l'aide d'un Turbidimètre et la conductivité électrique avec un EC-Sal-TDS mètre de type EC400 ExStik II. De plus, un total de 20 échantillons de 1,5L chacun a été prélevé auprès de cinq stations différentes au niveau de chaque lac. Les échantillons obtenus ont été étiquetés puis conservés selon le principe de Lighthfoot [19]. Ils ont été analysés au niveau du laboratoire du service de contrôle de la qualité de l'eau chez la Société Jirama Mandrozeza — Antananarivo. Ces analyses consistent à déterminer les 13 paramètres chimiques qui suivent : la minéralisation, les titres hydrométrique et alcalinité complète, les matières organiques, ainsi que les teneurs en ions calcium, magnésium, sodium, ammonium, ferreux, bicarbonate, chlorure, sulfate et nitrate. Par ailleurs, la méthode des "points-contacts" [20] a été employée pour évaluer la richesse floristique, la couverture et la hauteur de végétation aquatique émergente, propice à la nidification du Grèbe malgache. Cette approche consiste à établir un transect de 20 mètres, le long duquel un jalon gradué a été déplacé verticalement. Tous les mètres, toutes les espèces en contact avec le jalon gradué ont été notées. Deux paramètres sont ainsi considérés : le nom et la hauteur de l'espèce floristique formant la végétation aquatique émergente. En tenant compte du risque de modification des zones humides résultant de l'érosion et de l'envasement des lacs, deux paramètres floristiques supplémentaires ont été mesurés. Ce sont la surface de la végétation aquatique émergente et le taux de couverture forestière du bassin versant de chaque lac étudié. Les valeurs ainsi obtenues ont été vérifiées à l'aide des images satellitaires en utilisant le logiciel Google Earth.

2-3. Analyses des données

L'indice de diversité de Shannon-Weaver H' et l'indice d'équitabilité E [21], ont été calculés pour caractériser la communauté d'oiseaux d'eau des sites d'étude. L'analyse exhaustive entreprise dans cette étude s'est déroulée en quatre étapes, visant à explorer et à approfondir la compréhension des relations entre différentes variables environnementales et la fréquentation du Grèbe malgache dans quatre lacs distincts. La première étape a impliqué une Analyse en Composantes Principales (ACP) pour représenter graphiquement la contribution et la force des relations entre 29 variables environnementales. La validation de cette analyse implique le calcul d'indice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) et l'application du test de sphéricité de Bartlett. Sa pertinence est ainsi confirmée avec un KMO supérieur ou égal à 0,5 et un test de Bartlett significatif ($p < 0,05$). La sélection des variables explicatives s'est basée sur le critère de Kaiser-Guttman, privilégiant les dimensions avec une valeur propre supérieure à un. Seules les variables essentielles, ayant une valeur totale de \cos^2 supérieure à 0,75, ont été retenues. La deuxième étape a consisté à vérifier s'il existe des différences significatives sites pour les variables découlant de l'ACP, en appliquant le test ANOVA à un seul facteur. En cas de différences significatives, le test post hoc de Tukey a été utilisé pour comparer deux à deux les sites. La troisième étape c'est l'Analyse de Régression Multiple avec la méthode de Stepwise. Il s'agit de déterminer, si les "variables explicatives" ou « prédicteurs » sont possibles de prédire la "variable à expliquer" ou "critère" (abondance de population du Grèbe malgache). L'analyse consiste à ajouter et, si nécessaire, retirer les variables de chaque groupement de paramètres sur différents modèles afin de les

comparer et d'en obtenir le meilleur. Le meilleur de ces modèles n'est d'autre que l'ensemble le plus représentatif des variables pour la prédiction de l'abondance du Grèbe malgache tout en diminuant l'erreur de prédiction [22]. Enfin, à partir des variables résultant de l'analyse de régression multiple, 117 modèles ont été conçus pour déterminer l'ordre d'entrée des variables explicatives de distribution du Grèbe malgache dans les quatre sites d'étude, en appliquant le modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) [23].

3. Résultats

3-1. Abondance du Grèbe malgache dans les quatre lacs

Les suivis de la population du Grèbe malgache sur une période de 18 mois ont permis de recenser de 161 à 240 individus (moyenne = 190 ; sd = 23,52). Ces deux valeurs extrêmes ont été obtenues respectivement en février 2022 et en octobre 2021. Ces individus sont inégalement répartis entre les quatre lacs. La majorité d'entre eux sont rencontrés au niveau des lacs Matsaborimena (moyenne = 92 ; sd = 22,6 ; n = 18 ; rang : 59 - 107) et Matsaborimaitso (moyenne = 54 ; sd = 17,76 ; n = 18 ; rang : 28 - 94). En revanche, les lacs Andriakanala et Maramarantsarengy abritent moins individus, avec 12 à 40 (moyenne = 26 ; sd = 8,75) et 11 à 29 (moyenne = 19 ; sd = 5,8) respectivement (**Figure 2**).

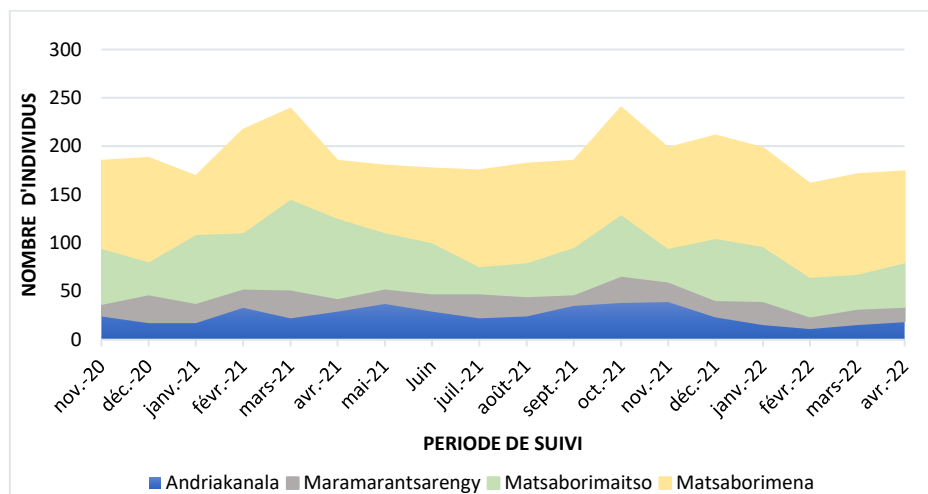


Figure 2 : Phénologie de la population du Grèbe malgache dans les quatre lacs volcaniques de Bemanevika entre Novembre 2020 et avril 2022

3-2. Caractères biophysiques d'habitats des sites d'étude

Le **Tableau 1** présente les statistiques descriptives (moyenne, écart-type, minimum et maximum) pour chacune des 29 variables environnementales caractérisant les habitats et la communauté d'oiseaux d'eau présents dans les quatre lacs volcaniques de Bemanevika. D'après ce tableau, la valeur moyenne de chaque variable physico-chimique de l'eau varie d'un site à l'autre, à l'exception de la teneur en Ammonium qui reste constante entre Matsaborimena et Matsaborimaitso (moyenne = 0,11 mg/L). De plus, les ions Calcium, Magnésium, Sodium et Bicarbonate sont absents dans les lacs Andriakanala et Matsaborimaitso. Au total, 11 espèces de plantes aquatiques émergentes propices à la nidification du Grèbe malgache ont été répertoriées dans les quatre lacs, à savoir : *Cyclosorus interruptus*, *Cyperus confusus*, *C. flabelliformis*, *C. latifolius*, *C. madagascariensis*, *C. prolifera*, *Cyperus sp.*, *Eleocharis plantaginea*, *Typha angustifolia*, *Vaucheria sessilis*, *Xyris madagascariensis*. Parmi ces espèces, 63,64 % (n = 07 espèces) ont été inventoriées à Matsaborimena.

Andriakanala et Maramarantsarengy renferment chacun quatre espèces floristiques tandis que Matsaborimaitso ne présente aucune végétation aquatique émergente durant la présente étude. Le bassin versant de ces lacs est constitué soit uniquement par une forêt primaire comme le cas de lacs Andriakanala et Matsaborimaitso, soit par une mosaïque de forêt primaire et de savane, ce qui est le cas de lacs Matsaborimena et Maramaratsarengy. La communauté d'oiseaux d'eau dans l'ensemble des quatre lacs présente 15 espèces dont leur effectif total varie de 290 à 1147 individus. L'effectif total minimum a été enregistré en février 2022, tandis que le maximum a été noté en juillet 2021. D'un lac à l'autre, les indices de diversité H' varient de 0,56 à 0,91 dont Andriakanala constitue le site le moins diversifié de tous. Son indice d'équitabilité ($E = 0,56$) affiche la prédominance d'une espèce *Dendrocygna viduata*. Matsaborimena se présente comme site le plus diversifié ($H' = 0,91$) avec une répartition d'effectifs relativement homogène ($E = 0,76$). Bien que la richesse spécifique d'oiseaux d'eau du lac Maramarantsarengy soit la plus faible ($n = 5$ espèces), ce lac présente une répartition des individus par espèce la plus équitable ($E = 0,96$).

Tableau 1 : Valeurs des variables environnementales étudiées

Groupement des variables	Variables environnementales	Encodage	Unité	Andriakanala	Maramarantsarengy	Matsaborimaitso	Matsaborimena
Paramètres physiques de l'eau	Superficie du lac	S	ha	65	35	20	40
	Transparence	Tr	m	6,42 ± 1,32 (5,31 – 7,73)	4,13 ± 0,71 (2,91 – 5,63)	1,53 ± 0,42 (1,35 – 1,78)	1,11 ± 0,34 (0,62 – 1,40)
	Température	T	°C	21,14 ± 2,74 (16,4 – 24,3)	20,05 ± 2,15 (16,1 – 23,8)	21,47 ± 2,51 (17,2 – 24,5)	25,46 ± 7,17 (18,6 – 26,7)
	Turbidité	Tur	NTU	1,14 ± 1,27 (0,47 – 3,05)	0,55 ± 0,03 (0,52 – 0,6)	2,25 ± 2,03 (1,03 – 5,37)	8,05 ± 1,06 (6,9 – 9,44)
	Conductivité	Cond	µS.cm ⁻¹	38,52 ± 0,33 (38,3 – 39)	29,62 ± 1,19 (29 – 31,7)	68,06 ± 0,47 (67,6 – 68,8)	64,62 ± 10,75 (45,6 – 77,8)
	Profondeur maximale	Prof	m	150	76	12	3
Paramètres chimiques de l'eau	Potentiel Hydrique	pH		8,42 ± 0,34 (8,23 – 8,93)	7,59 ± 1,14 (7,51 – 7,83)	8,02 ± 0,24 (7,65 – 8,33)	7,49 ± 0,34 (6,92 – 7,78)
	Minéralisation	Min	mg/L	35,25 ± 0,5 (35 – 36)	26,4 ± 1,18 (26 – 25)	62	57 ± 10,34 (41 – 70)
	Titre hydrométrique	TH	°f	2,2	3,05	4	5,46
	Titre alcalinité complète	TAC	°f	1,45	0,97	3	2,7
	Matières organiques	MO	mg O ₂ /L	0,42	1,67	0,62	2,33
	Calcium	Ca ²⁺	mg/L	0	3,92 ± 2,14 (2,8 – 7,6)	0	7,76 ± 1,61 (6 – 10)
	Magnésium	Mg ²⁺	mg/L	0	6,85 ± 3,34 (2,67 – 11,91)	0	8,32 ± 1,35 (6,62 – 10,21)
	Sodium	Na ⁺	mg/L	0	2,48 ± 0,41 (2,3 – 3,22)	0	2,64 ± 0,72 (1,72 – 3,68)
	Ammonium	NH ₄ ⁺	mg/L	0,29 ± 0,4 (0,09 – 0,1)	0,06 ± 0,05 (0 – 0,1)	0,11 ± 0,02 (0,1 – 0,14)	0,11 ± 0,01 (0,09 – 0,12)
	Fer	Fe ²⁺	mg/L	0,005 ± 0,005 (0 – 0,01)	0,002 ± 0,004 (0 – 0,01)	0,01 ± 0,01 (0 – 0,03)	0,03 ± 0,02 (0,01 – 0,06)
	Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	mg/L	0	11,79 ± 1,60 (10,98 – 14,64)	0	32,45 ± 7,09 (21,96 – 41,48)
	Chlorure	Cl ⁻	mg/L	5,51 ± 4,19 (2,13 – 11,36)	3,83 ± 0,64 (3,55 – 4,97)	3,97 ± 0,64 (3,55 – 4,97)	4,08 ± 1,11 (2,66 – 5,68)
	Sulfate	SO ₄ ⁻	mg/L	5,12 ± 10,24 (0 – 20,48)	0	15,81 ± 18,62 (0 – 38,5)	0
	Nitrate	NO ₃ ⁻	mg/L	0,27	0,13 ± 0,11 (0 – 0,31)	0,35 ± 0,14 (0,22 – 0,58)	0,22
Paramètres floristiques	Plantes aquatiques émergentes	R	espèces	3	3	0	6
	Surface de la végétation aquatique	Sv	ha	0,017	0,043	0	1,02
	Hauteur de la végétation aquatiques	Hv	m	1,25 ± 0,63 (0,6 – 3,4)	1,12 ± 0,43 (0,5 – 2,1)	-	1,35 ± 1,21 (0,4 – 4,1)
	Taux de recouvrement	Rec	%	0,02	0,12	0	2,55
	Couverture forestière du bassin versant	Cf	%	100	35	100	85
Communauté d'oiseaux d'eau	Richesse spécifique	Rsp	espèces	09	05	10	11
	Effectif total	Com	individus	183 ± 186,33 (31 – 578)	29 ± 12,36 (15 – 64)	172 ± 91,61 (74 – 373)	193 ± 59,91 (97 – 333)
	Indice de diversité	H'	-	0,56	0,66	0,77	0,91
	Equitabilité	E	-	0,56	0,96	0,74	0,76

Unité : ha = hectare ; m = mètre ; °C = degré Celsius ; NTU = Nephelometric Turbidity Unity ; µS.cm⁻¹ = micro Siemens par centimètre carré ; mg/L = milligramme par litre ; °f = degré français ; mg O₂/L = milligramme d'oxygène par litre

3-3. Corrélations des variables environnementales des quatre lacs de Bemanevika

Le test d'adéquation de l'ACP révèle un indice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) égal à 0,72, et le test de Bartlett indique une corrélation significative entre les variables environnementales étudiées ($\chi^2 = 57152.788$, $df = 378$, $p < 0,001$). Ces résultats confirment que l'application de l'ACP est justifiée et pertinente. À l'issue de l'ACP, trois composantes principales avec une valeur propre supérieure à 1 obtenues ont été retenues : dimension-1, dimension-2 et dimension-3 (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Valeurs propres et contribution des composantes à retenir pour l'ACP

Composante principale	Valeur propre	Contribution (%)	Contribution cumulée (%)
Dimension-1	13,92	45,10	45,10
Dimension-2	8,15	27,58	78,83
Dimension-3	5,21	23,97	97,43

La première composante principale (dimension-1) explique 45,10 % de la variance totale des caractéristiques biophysiques des habitats des quatre lacs étudiés. Cette composante regroupe 10 variables ayant chacune une contribution supérieure à 5 %. Ces variables incluent la forme de cuvette du lac (Fc), la diversité spécifique de la communauté d'oiseaux d'eau (H'), la surface de la végétation aquatique (Sv), la profondeur (Prof) et la température (T) de l'eau, la teneur en bicarbonate (HCO_3^-), en fer (Fe^{2+}), en magnésium (Mg^{2+}) et en sodium (Na^+). La deuxième composante principale explique 27,58 % de la variance totale et regroupe huit variables, chacune contribuant avec une part plus de 5 %. Ces variables comprennent la profondeur du lac (Prof), la couverture forestière du bassin versant du lac (Cf), la richesse floristique (R) et la hauteur de la végétation aquatique (Hv), la richesse spécifique de la communauté d'oiseaux d'eau (Rsp) ainsi que la teneur en magnésium (Mg^{2+}), en nitrate (NO_3^-) et en sodium (Na^+). La troisième composante principale retenue explique environ 24 % de la variance totale et regroupe huit variables, chacune ayant une contribution supérieure à 5 %. Ces variables sont constituées par la forme de cuvette (Fc) et la superficie (S) du lac, la couverture forestière du bassin versant du lac (Cf), le taux de recouvrement (Rec) et la hauteur de la végétation aquatique (Hv), richesse spécifique (Rsp) et l'équitabilité de répartition des effectifs de la communauté d'oiseaux d'eau (E') et la teneur en ammonium (NH_4^+). Les cercles de corrélation des variables environnementales étudiées sont présentés sur la **Figure 3**.

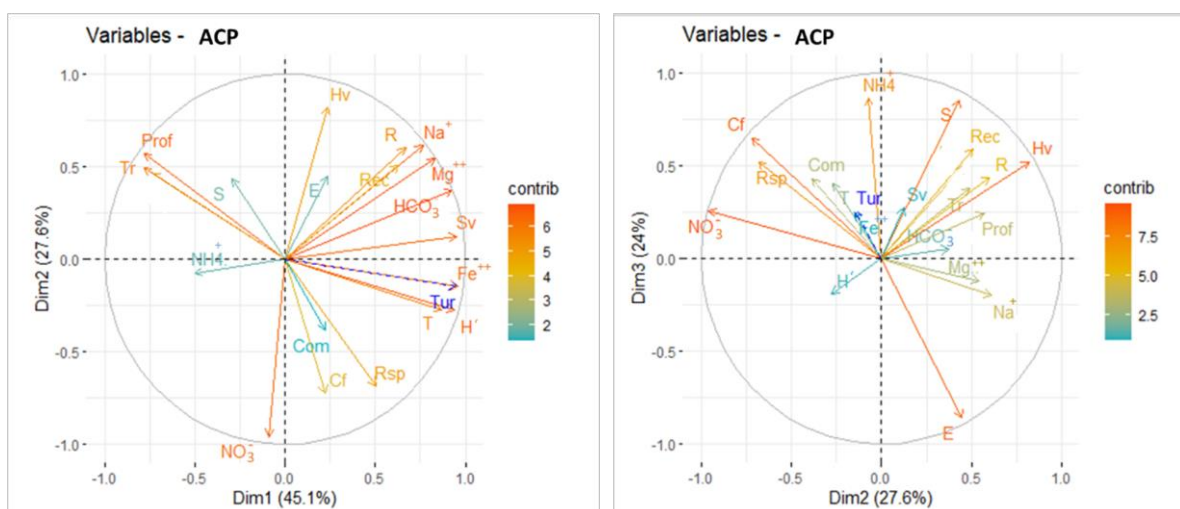


Figure 3 : Cercles de corrélations des variables environnementales des quatre lacs de Bemanevika

L'analyse de la qualité de représentation des variables a permis de sélectionner 15 variables fortement corrélées et importantes, présentant chacune une valeur totale de Cos^2 supérieure à 0,75. Parmi elles figurent cinq paramètres chimiques de l'eau (HCO_3^- , Mg^{2+} , Na^+ , Fe^{2+} et NO_3^-), quatre paramètres physiques de l'eau (Prof, Tr, T et S), quatre paramètres floristiques (Sv, Hv, Cf et R) et deux paramètres caractéristiques de la communauté d'oiseaux d'eau (H' et E) (Figure 4).

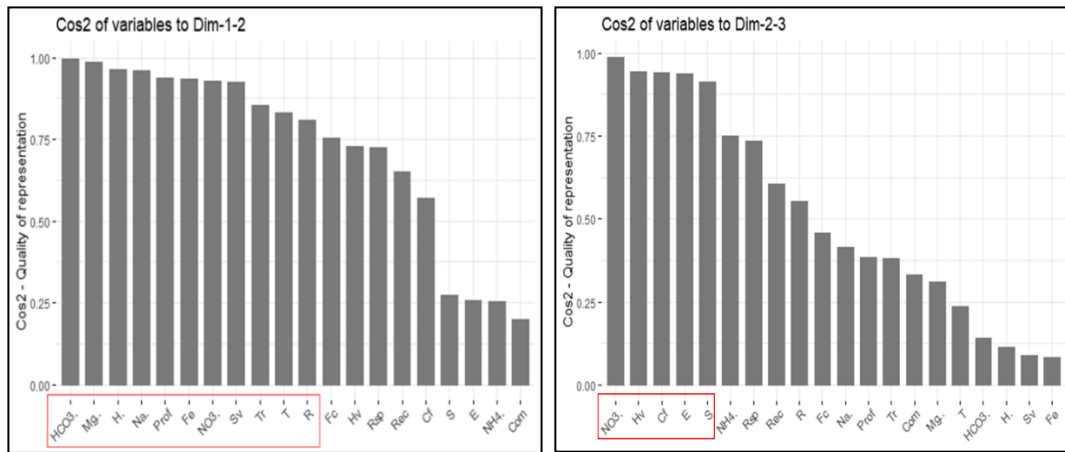


Figure 4 : Qualité de représentation des variables associées aux dimensions retenues

Les analyses de variance résultent qu'il existe des différences significatives entre les quatre sites d'étude (Andriakanala, Maramarantsarengy, Matsaborimaitso et Matsaborimena) pour chacune des variables explicatives découlant de l'ACP (ANOVA à un seul facteur : $p < 0,001$) (Tableau 3). Par ailleurs, la comparaison deux à deux montre une différence non significative de la teneur en bicarbonate (HCO_3^-), en magnésium (Mg^{2+}) et en sodium (Na^+) entre les lacs Matsaborimaitso et Matsaborimena (Test post hoc de Tukey : $p > 0,05$). Ce même résultat a également constaté au niveau de la couverture forestière du bassin versant entre Matsaborimaitso, Matsaborimena et Andriakanala. La différence entre les quatre lacs reste toujours statistiquement significative (Test post hoc de Tukey : $p < 0,05$) pour les autres variables (Tableau 3).

Tableau 3 : Résultats d'analyse de variance des variables explicatives retenues

Variables	Test ANOVA	Test post hoc de Tukey
HCO_3^-	$F_{(3,84)} = 1,99 ; p < 0,001$	Matsaborimaitso et Andriakanala ($p = 0,22$)
Mg^{2+}	$F_{(3,84)} = 3,85 ; p < 0,001$	Matsaborimaitso et Andriakanala ($p = 0,47$)
Na^+	$F_{(3,84)} = 1,23 ; p < 0,001$	Matsaborimaitso et Andriakanala ($p = 0,06$)
Fe^{2+}	$F_{(3,84)} = 3,85 ; p < 0,001$	$p < 0,001$
NO_3^-	$F_{(3,84)} = 9,70 ; p < 0,001$	$p < 0,001$
Sv	$F_{(3,84)} = 4,50 ; p < 0,001$	$p < 0,001$
Hv	$F_{(3,84)} = 3,25 ; p < 0,001$	$p < 0,001$
Cf	$F_{(3,84)} = 3,25 ; p < 0,001$	Matsaborimaitso et Andriakanala ($p = 0,52$) Matsaborimena et Andriakanala ($p = 1$) Matsaborimena et Matsaborimaitso ($p = 0,53$)
R	$F_{(3,84)} = 1,74 ; p < 0,001$	$p < 0,001$
Prof	$F_{(3,84)} = 1,87 ; p < 0,001$	$p < 0,001$
Tr	$F_{(3,84)} = 5636 ; p < 0,001$	$p < 0,001$
T	$F_{(3,84)} = 11581 ; p < 0,001$	$p < 0,001$
S	$F_{(3,84)} = 3,45 ; p < 0,001$	$p < 0,001$
H'	$F_{(3,84)} = 3,25 ; p < 0,001$	$p < 0,001$
E	$F_{(3,84)} = 3,06 ; p < 0,001$	$p < 0,001$

3-4. Influence des caractéristiques d'habitats sur d'abondance du Grèbe malgache

Les teneurs en fer ($\beta = 0,89$; $t = 20,46$; $p < 0,001$) et en nitrate ($\beta = 0,16$; $t = 3,66$; $p < 0,001$) prédisent de manière significative et positive l'abondance du Grèbe malgache, parmi les paramètres chimiques de l'eau considérés (**Figure 5**). Ces deux éléments expliquent 84 % de la variance de l'abondance du Grèbe malgache dans les sites d'étude ($r^2_{ajusté} = 0,84$; $F(2, 85) = 228,38$; $p < 0,001$).

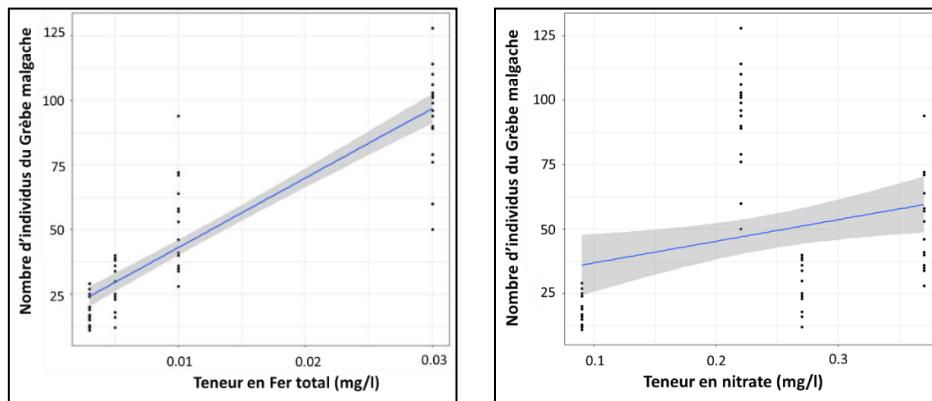


Figure 5 : Effets séparés des prédicteurs retenus des paramètres chimiques de l'eau

La température de l'eau et la surface du lac influencent également la répartition du Grèbe malgache dans les sites d'étude. Elles expliquent 84 % de la variance ($r^2_{ajusté} = 0,84$; $F(2, 85) = 222,77$; $p < 0,001$). La température de l'eau ($\beta = 0,90$; $t = 20,68$; $p < 0,001$) prédit de manière significative et positive tandis que la superficie du lac ($\beta = -0,16$; $t = -3,68$; $p < 0,001$) prédit négativement l'abondance du Grèbe malgache (**Figure 6**).

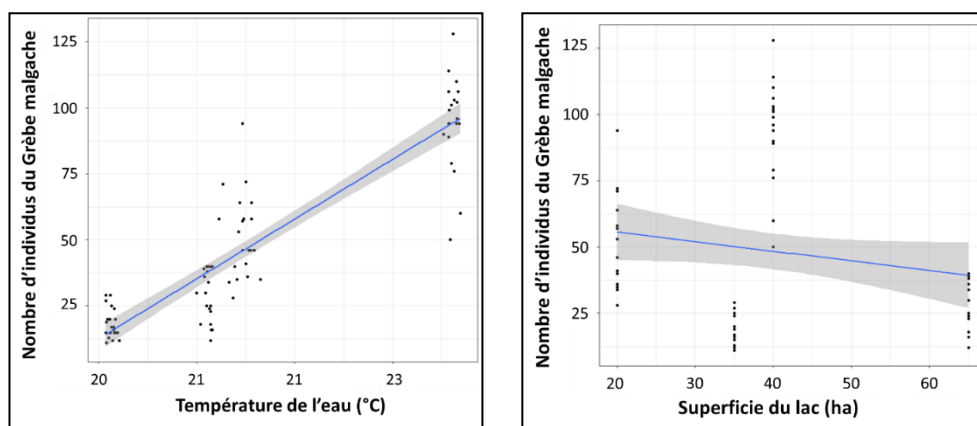


Figure 6 : Effets séparés des prédicteurs retenus des paramètres physiques de l'eau

Concernant le groupement des paramètres floristiques, trois variables sont associées à l'abondance du Grèbe malgache : la surface de la végétation aquatique ($\beta = 1,20$; $t = 12,99$; $p < 0,001$), richesse floristique de la végétation aquatique émergente ($\beta = 0,52$; $t = 5,86$; $p < 0,001$) et la couverture forestière du bassin versant du lac ($\beta = 0,19$; $t = 3,60$; $p = 0,001$). Ces variables expliquent 83,9 % de la variance d'abondance de population du Grèbe malgaches dans les différents sites d'étude ($r^2_{ajusté} = 0,83$; $F(3, 84) = 152,59$; $p < 0,001$). Elles prédisent significativement et positivement l'abondance de population du Grèbe malgache (**Figures 7**).

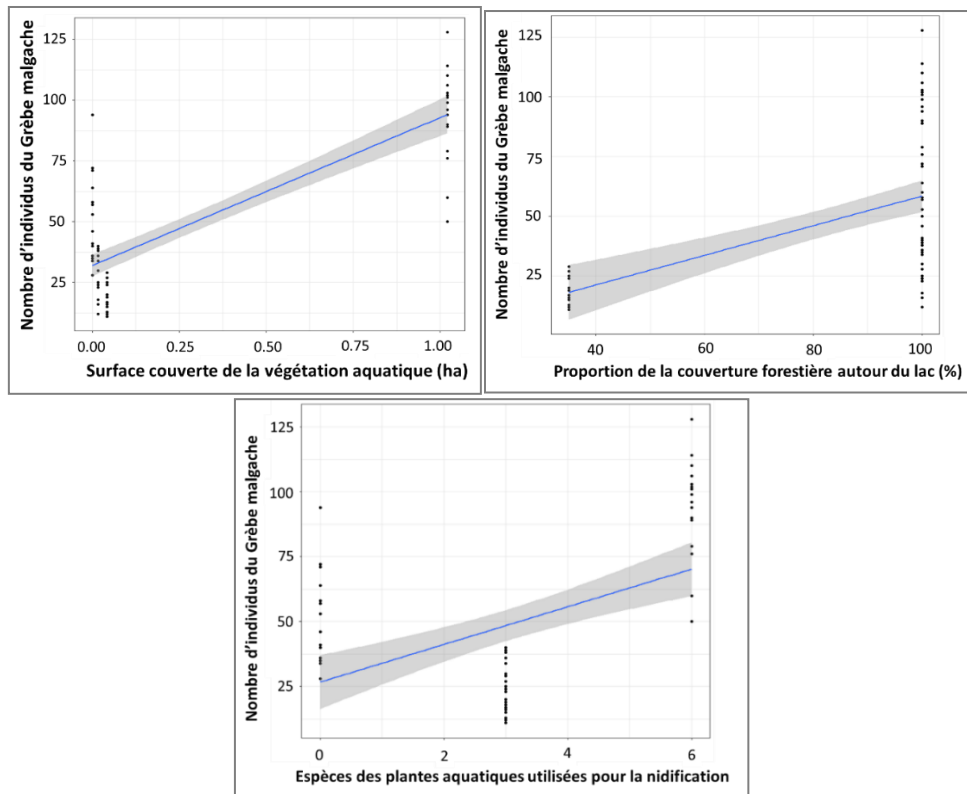


Figure 7 : Effets séparés des prédicteurs retenus des paramètres floristiques

La diversité spécifique et l'équitabilité de répartition des effectifs d'individus de la communauté expliquent 84 % de la variance d'abondance de la population du Grèbe malgache ($r^2_{ajusté} = 0,84$; $F_{(2, 85)} = 192,43$; $p < 0,001$). De ce fait, la diversité spécifique ($\beta = 0,93$; $t = 19,42$; $p < 0,001$) prédit de manière significative et positive tandis que l'équitabilité ($\beta = -0,37$; $t = -7,71$; $p < 0,001$) explique négativement l'abondance de l'espèce (**Figure 8**). Cela signifie que le Grèbe malgache présente en grand nombre dans les lacs où les individus formant la communauté sont abondants.

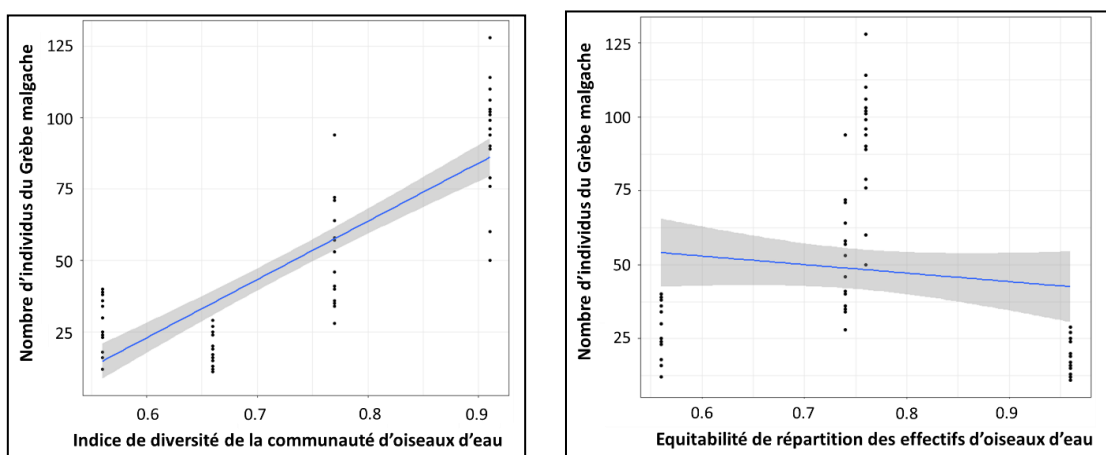


Figure 8 : Effets séparés des prédicteurs retenus liés aux à la communauté d'oiseaux d'eau

3-5. Modélisation d'abondance du Grèbe malgache

Selon la valeur d'AIC, le modèle impliquant la teneur en nitrate et la teneur en fer prédit le mieux sur la distribution d'abondance du Grèbe malgache entre les quatre lacs volcaniques de Bemanevika. Ce modèle possède l'AIC la plus faible qui est égale à 703,825 (**Tableau 4**).

Tableau 4 : Akaike Information Criterion (AIC) pour les trois meilleurs modèles de prédiction d'abondance du Grèbe malgache

Meilleurs modèles d'abondance du Grèbe malgache	AIC
$GM \sim NO_3^- + Fe^{2+}$	703,825*
$GM \sim HCO_3^- + Fe^{2+}$	704,490
$GM \sim NO_3^- + Cf + Sv + Fe^{2+}$	704,645

*AIC : Akaike Information Criterion, * : modèle choisi, GM : Population du Grèbe malgache ; NO_3^- : Teneur en nitrate ; Fe^{2+} : Teneur en fer ; HCO_3^- : Teneur en bicarbonate ; Cf : Couverture forestière du bassin versant ; Sv : Surface de la végétation aquatique émergente.*

4. Discussion

4-1. Éléments chimiques de l'eau

Selon la grille d'évaluation de la qualité de l'eau [24, 25], tous les lacs de Bemanevika présentent une eau de "bonne qualité", reflétant leur importance dans la conservation. La composition chimique de l'eau, influencée par les sols et les roches du bassin versant, joue un rôle clé. Une forte concentration en fer se traduit souvent par une couleur particulière de l'eau [26]. Dans le lac Matsaborimena, elle est plus élevée (0,03 mg/L) et se manifeste par une couleur légèrement jaunâtre. Toutefois, cet élément chimique présente en faible teneur au niveau du lac Maramarantsarengy (0,003 mg/L), l'eau de ce dernier est ainsi incolore. Bien qu'elle soit en faible concentration (0,12 mg/L à 0,37 mg/L), le nitrate (NO_3^-) émerge comme un prédicteur majeur de l'abondance du Grèbe malgache. L'ion nitrate est un dérivé de l'azote provenant de la décomposition de la matière organique végétale ou animale, des précipitations atmosphériques et surtout des pollutions chimiques dues aux activités humaines [27, 28]. Cependant, comme ces lacs sont plus ou moins épargnés des utilisations humaines, les matières organiques végétales et animales seraient en grande partie les sources de nitrate présent dans ces lacs, ce qui témoigne la présence de processus naturel d'autoépuration. Cette dernière a conduit au maintien de l'équilibre écologique de ce milieu. Sa moindre concentration dans le lac Maramarantsarengy pourrait expliquer par une faible couverture forestière de son bassin versant. Ces résultats soulignent l'interconnexion entre la qualité de l'eau, les caractéristiques des bassins versants et la conservation des écosystèmes lacustres.

4-2. Paramètres physiques de l'eau

Bien que la profondeur puisse influencer la recherche alimentaire des espèces plongeuses [29], elle ne semble pas être un facteur déterminant pour l'abondance du Grèbe malgache dans les quatre lacs de l'AP Bemanevika. La profondeur maximale du lac Maramarantsarengy est de 80 m, tandis que celle d'Andriakanala atteint 153 m. Matsaborimena et Matsaborimaitso affichent respectivement une profondeur maximale de 3 m et 12 m. Les lacs partagent des caractéristiques de fond similaires et d'espaces littoraux, à l'exception de Maramarantsarengy. Cette particularité pourrait expliquer le faible effectif du Grèbe malgache

(11 à 29 individus) dans ce dernier. Avec seulement un tiers de sa bordure couverte de la forêt primaire, les perturbations humaines telles que le pâturage autour du lac sont accrues. De plus, cet oiseau évite généralement le centre des lacs, sauf dans le cas de Matsaborimena ; les individus se concentrent aux bordures en raison de la profondeur qui s'augmente au fur et à mesure que l'on avance vers le milieu du lac. La température de l'eau, variant de 16 à 27°C, figure parmi les prédicteurs essentiels de l'abondance du Grèbe malgache entre les sites d'étude. Cette variation est légèrement en dessous de la plage de température préférée du Grèbe castagneux. Ce dernier s'adapte à des températures de l'eau allant de 20 à 32°C et son abondance augmente avec la température de l'eau [30]. Ainsi nous suggérerons que les températures extrêmes tolérées par l'espèce peuvent être similaire à ceux du Grèbe castagneux puisqu'elle se distribue dans la partie Sud-Ouest de Madagascar, une région plus chaude que Bemanevika. La visibilité des proies augmente lorsque l'eau est claire [31]. Bien que la transparence de l'eau ait une différence significative entre les lacs étudiés, elle n'ait pas été un prédicteur majeur de l'abondance du Grèbe malgache dans l'AP Bemanevika. Cette variation est généralement associée à l'état d'eutrophisation des zones humides, un processus naturel de vieillissement des lacs caractérisé par une augmentation de la productivité biologique. L'eutrophisation peut être accélérée par les activités humaines, bien que cela se déroule à l'échelle géologique sur des périodes très longues [32].

4-3. Paramètres floristiques

Parmi les paramètres étudiés, la végétation aquatique émergente constitue l'un des facteurs déterminants de l'abondance de Grèbe malgache dans les sites d'étude. Par la présente étude, une corrélation entre l'occupation de l'espèce d'un site et la présence de la végétation aquatique émergente est largement reconnue. Cette dernière se présente comme site de nidification d'oiseaux d'eau du site et également des habitats propices aux invertébrés aquatiques, essentiels pour l'alimentation au Grèbe malgache et les autres espèces [33, 34]. Ceci expliquerait la concentration en grand nombre du Grèbe malgache à Matsaborimena, le site ayant la plus grande étendue de végétation aquatique comparée aux autres. La richesse floristique de la végétation aquatique émergente varie entre les sites où la population du Grèbe malgache est abondante, sans influencer sa distribution [12]. Cependant, la couverture forestière du bassin versant montre une corrélation positive significative avec l'abondance des Grèbes malgaches, en accord avec les résultats pour le Grèbe occidental [34]. Ces constats soulignent l'importance des caractéristiques spécifiques des sites, notamment la couverture forestière, dans la compréhension des variations d'abondance du Grèbe malgache dans les lacs.

4-4. Caractéristique de la communauté d'oiseaux d'eau

En général, la distribution précise des effectifs d'oiseaux dans le temps et dans l'espace n'est pas fortuite, elle est régie par diverses conditions écologiques du milieu, notamment les disponibilités alimentaires [21]. Suite à la mesure de la diversité de la communauté d'oiseaux aquatiques de la zone d'étude, la valeur maximale ($H' = 0,91$) a été observée au lac Matsaborimena. Ceci traduit le nombre considérable des espèces d'oiseaux d'eau fréquentant ce lac comparé aux autres lacs. Cette situation met particulièrement en évidence la qualité d'habitat aquatique du lac Matsaborimena pour la conservation à long terme de la biodiversité de la zone. Sachant qu'une grande diversité est à l'origine de compétition interspécifique potentiellement forte [18], cette dernière permettrait également au maintien de la répartition normale des individus aux espèces présentes dans le milieu donné. En revanche, le plus faible indice de diversité ($H' = 0,56$) a été observé au niveau du lac Andriakanala. Rappelons que cet indice correspond aux résultats de suivi effectué en mois de juillet 2021, durant lequel on a observé le maximum d'individus d'oiseaux d'eau. Cette période correspond à saison sèche dans notre zone d'étude durant lequel les zones humides environnantes sont asséchées. Par conséquent, les quatre lacs constituant nos sites d'étude sont devenus les lieux de refuge de la communauté

d'oiseaux de ces zones humides. De plus, comparé aux autres sites, Andriakanala constitue le lac ayant la grande étendue. Ce qui lui permettrait d'accueillir le plus grand nombre d'individus d'oiseaux, en particulier ceux appartenant à l'espèce *Dendrocygna viduata* qui représente 52,08 % (n = 302) de l'effectif total. Ce qui expliquerait la prédominance de cette espèce dans le lac Andriakanala. Ces résultats mettent en évidence l'impact des caractéristiques spécifiques des sites sur la structure des populations aviaires.

5. Conclusion

L'étude focalisée sur les facteurs déterminants la répartition du Grèbe malgache dans les lacs volcaniques de l'Aire Protégée Bemanevika a permis d'avoir des constats importants sur l'écologie de cette espèce. Sur une période de 18 mois, le suivi a relevé une répartition inégale de la population entre les quatre lacs. L'analyse prédictive de l'abondance a identifié des corrélations positives de l'abondance du Grèbe malgache de zone avec les teneurs en fer et nitrate, la température, la surface et la richesse floristique de la végétation aquatique émergente, la couverture forestière du bassin versant ainsi que la diversité des oiseaux d'eau. Néanmoins, des corrélations négatives de l'abondance avec la superficie du lac et l'équitabilité de la communauté d'oiseaux d'eau ont été observées. D'ailleurs, le modèle impliquant les teneurs en nitrate et fer s'est révélé optimal pour prédire la distribution du Grèbe malgache dans les lacs. Ces résultats soulignent l'importance cruciale de certains paramètres environnementaux dans la compréhension de la dynamique de population de cette espèce dans son milieu naturel.

Références

- [1] - W. J. MITSCH et J. G. GOSSELINK, "*Wetlands*", 5th Ed. John Wiley & Sons, New York, (2015)
- [2] - E. P. ODUM et G. W. BARRETT, "*Fundamentals of ecology*", 5th Ed. Belmont, CA, Thomson Brooks/Cole, (2005)
- [3] - G. E. LIKENS, "*Lake Ecosystem Ecology: A Global Perspective*", 1st Ed. Academic Press., (2010)
- [4] - J. DEL HOYO, A. ELLIOTT, J. SARGATAL, D. A. CHRISTIE, E. DE JUANA (eds), "Handbook of the Birds of the World Alive", *Revue d'Ecologie (La Terre et La Vie)*, 69 (3-4) (2014) 361
- [5] - J. A. AMAT & A. J. GREEN, "Waterbirds as Bioindicators of Environmental Conditions", *Conservation Monitoring in Freshwater Habitats*, (2010) 45 - 52 <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9278-7>
- [6] - C. MOUSSY, G. QUAINTEENNE et C. GAUDARD, "Comptage des Oiseaux d'eau à la mi-janvier en France. Résultats 2021 du comptage Wetlands International. LPO BirdLife France - Service Connaissance, Wetlands International, Ministère de la Transition écologique et solidaire" Ed. Rochefort, Paris, (2021) 28 p. & annexes 101 p.
- [7] - C. DENIAU, "Interactions humains — oiseaux d'eau : Usages des populations d'oiseaux d'eau par les communautés locales des principales zones humides sahélo-sahariennes: vers une gestion durable?" Thèse unique, Université de Montpellier, Montpellier (2022) 189 p., <https://pastel.hal.science/tel-04062309>
- [8] - J. HAMEL, "Utilisation des oiseaux aquatiques comme bioindicateurs de l'intégrité des lacs de montagne marocains" Thèse unique, Université de Sherbrooke, Québec, (2011) 127 p.
- [9] - ASITY MADAGASCAR et BIRDLIFE INTERNATIONAL, État des populations d'oiseaux de Madagascar : des indicateurs de changements environnementaux, Antananarivo and Cambridge, (2021) 20 p.
- [10] - BIRDLIFE INTERNATIONAL. Species factsheet : *Tachybaptus pelzelinii*. <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/madagascar-grebe-tachybaptus-pelzelinii> (02 Août 2023)
- [11] - UICN, The IUCN Red List of Threatened Species. www.iucnredlist.org (04 octobre 2023)

- [12] - D. RASOLONJATOVO, L-A. RENE DE ROLAND, M. RAKOTONDRATSIMA, T. ANDRIAMALALA, Y. Z. M. PRUVOT, "Breeding failure factors of Madagascar Grebe *Tachybaptus pelzelinii* in Bemanevika Protected Area, northern Madagascar", *Recherches pour le développement : Série Sciences Technologiques*, 8 (2022) 21 - 39
- [13] - L. G. WOOLAVER, H. G. Y. YOUNG, P. A. CRANSWICK, F. RAZAFINDRAJAO, A. J. BAMFORD, *Species Action Plan for the Conservation of the Madagascar Pochard 2014-2024*. Species Action Plan 2014-2024 For the conservation of the critically endangered Madagascar pochard, (2015) 64 p.
- [14] - S. M. GOODMAN et S. WOHLHAUSER, "Les Aires protégées terrestres de Madagascar : Leur histoire, description et biote/The terrestrial protected areas of Madagascar: Their history, description and biota", Eds S.M. GOODMAN, M. J. RAHERILALAO & WOHLHAUSER. Association Vahatra, Antananarivo, (2018) 427 - 1676
- [15] - O. LANGRAND, *Guide to the Birds of Madagascar*, Yale University Press, (1990)
- [16] - O. LANGRAND, "Recensement des oiseaux d'eau à Madagascar et observation de la Sarcelle de Bernier *Anas bernieri*", *Madagascar Region Newsletter*, 5 (1995) 13 - 14
- [17] - RAMSAR, Complexe des zones humides de Bemanevika-Madagascar. Fiche descriptive Ramsar. Formulaire FDR créé par le SISR (Service d'Information sur les Sites Ramsar) V.1.6 - 01 Février 2017. <https://rsis.ramsar.org/ris/2287>, (10 Octobre 2023)
- [18] - J. BLONDEL, "L'analyse des peuplements d'oiseaux, éléments d'un diagnostic écologique : la méthode des échantillonnages fréquentiels progressifs (E.F.P.)", *Revue d'Ecologie (La Terre et la Vie)*, 29 (4) (1975) 533 - 589
- [19] - N. F. LIGHTFOOT et E. A. MAIER, "Analyse microbiologique des aliments et de l'eau - Directive pour assurance qualité". Ed. Gordon Breach, Paris, (2002) 187 p.
- [20] - J. E. HERRICK, J. W. VAN ZEE, K. M. HAVSTAD, L. M. BURKETT, W. G. WHITFORD, "Monitoring manual for Grassland, Shrubland and Savanna ecosystems" Ed. The University of Arizona Press Tucson, Arizona, USA, Vol. 2, (2009) 200 p.
- [21] - A. E. MAGURRAN, "Ecological Diversity and Its Measurement", Princeton University Press, Princeton, New Jersey, (1988) 192 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>
- [22] - F. DANIEL DE OLIVEIRA, B. CRISTEL, S. SELINA, W-E. PASCAL, *Guide R(II y a de l'amour dans R)*, (2022) 152 p.
- [23] - J. A. Nelder and R. W. M. Wedderburn, "Generalized Linear Models", *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, Vol. 135, (3) (1972) 370 - 384
- [24] - T. MONOD, "Méharées géographiques (N.A.N.I) normes Algérienne et normes international", France loisir, (1989) 233 p.
- [25] - American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", Washington, DC: American Public Health Association, (2017) 541 p.
- [26] - J. RODIER, L. BERNARD, M. NICOLE, L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Dunod, Paris, (2009) 1526 p.
- [27] - P. LEVALLOIS et D. PHANEUF, "La contamination de l'eau potable par les nitrates : analyse des risques à la santé", *Revue canadienne de santé publique*, Vol. 85, (3) (1994) 192 - 196
- [28] - F. DUBOIS DE LA SABLONIERE, "Origins, evolution and impact of nitrates", *La Houille Blanche*, 85 (6) (1999) 59 - 64, <https://doi.org/10.1051/lhb/1999072>
- [29] - F. BOLDUC et A. D. AFTON, "Relationships between wintering waterbirds and invertebrates, sediments and hydrology of coastal marsh ponds", *Waterbirds*, 27 (3) (2004) 333 - 341, DOI: 10.1675/1524-4695(2004)027[0333: RBWWAI]2.0.CO;2
- [30] - S. BILAL, M. RAIS, M. ANSWAR, I. HUSSAIN, M. SHARIF, B. KABEER, "Habitat association of Little Grebe (*Tachybaptus ruficollis*) at Kallar Kahar Lake, Pakistan.", *Journal of King Saud University - Science*, 25 (3) (2013) 267 - 270, <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.03.001>

- [31] - W. W. GREGG et F. L. ROSE, "Influences of Aquatic Macrophytes on Invertebrate Community Structure, Guild Structure, and Microdistribution in Streams", *Hydrobiologia*, 128 (1985) 45 - 56, <https://doi.org/10.1007/BF00008939>
- [32] - Y. BOISSONNEAULT, Évaluation des symptômes d'eutrophisation (phase 2) du Grand lac Long et du Petit lac Long - 2010, municipalité de Saint-Elie-de-Caxton. Rapport réalisé pour l'Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche (OBVRLY), Yamachiche, (2011) 56 p. http://media.wix.com/ugd/0b7df5_bf1c8b9b689c4d29a64755faff46955.pdf
- [33] - M. RAIS, M. ANWAR, T. MEHMOOD, I. HUSSAIN, "Bird Diversity and Conservation at Kallar Kahar Lake with Special Reference to Water Birds", *Pakistan Journal of Zoology*, 43 (3) (2011) 673 - 681
- [34] - M. E. ERICKSON, C. FOUND-JACKSON, M. S. BOYCE, "Using Latent Selection Difference to Model Persistence in a Declining Population", *PLoS ONE*, 9 (5) e98126 (2014) <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098126>