

SHORT NOTE

<http://dx.doi.org/10.4314/mcd.v8i2.7>

Étude des impacts écologiques du dynamisme spatio-temporel des habitats naturels sur la faune menacée du Complexe Zones Humides Mahavavy-Kinkony, Madagascar

Rado Hanitriniaina Andriamasimanana^I, Eddy Herilala Rasolomanana^I, Alison Cameron^{II} and Jonah Ratsimbazafy^{III}

Correspondence:

Rado Hanitriniaina Andriamasimanana
École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Université
d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar
E-mail: andriamasimanana@hotmail.com

RÉSUMÉ

Cette recherche menée dans le Complexe Zones Humides Mahavavy-Kinkony a pour but d'évaluer les impacts écologiques du changement des habitats naturels sur les espèces menacées de sa faune. Des outils tels que le SIG, la télédétection ainsi que Marxan ont été combinés avec les études bibliographiques et les travaux de terrains pour (i) identifier les habitats naturels prioritaires pour la faune menacée du site, (ii) évaluer leur changement entre 1950 et 2005, (iii) déceler les causes du changement, (iv) élaborer une prospective des changements en 2050 et (v) évaluer les impacts du changement. Le changement des habitats naturels s'est déroulé au cours des temps mais il n'a pas été assez important au niveau global du site pour transformer radicalement les occupations du sol. Toutefois, le recul des phragmitaies du lac Kinkony et des forêts de Tsiombikibo et de Marofandroboka menace les espèces qui en dépendent. Le suivi du delta de Mahavavy doit être poursuivi et intensifié pour évaluer les menaces qui pèsent sur lui dans le contexte des changements climatiques. La situation de la forêt d'Andohaomby est préoccupante et son avenir menacé en l'absence d'actions concrètes. L'analyse de vulnérabilité à l'érosion du bassin du Kinkony a démontré que les changements physico-chimiques dus à l'érosion dans les quatre bassins au Sud du lac rendent nécessaires des aménagements anti-érosifs. Parmi les espèces de la faune vertébrée, *Amaurornis olivieri*, *Propithecus coronatus* et *Paretroplus dambabe* sont les espèces les plus affectées globalement, mais au niveau du site *Propithecus deckeni*, *Paretroplus kieneri* et *Erymnochelys madagascariensis* sont tout aussi vulnérables. *Pteropus rufus* et *Rousettus madagascariensis* seraient les espèces les mieux protégées.

ABSTRACT

This study of the Mahavavy-Kinkony Wetland Complex (MKWC) assesses the impacts of habitat change on the resident globally threatened fauna. Located in Boeny Region, northwest

Madagascar, the Complex encompasses a range of habitats including freshwater lakes, rivers, marshes, mangrove forests, and deciduous forest. Spatial modelling and analysis tools were used to (i) identify the important habitats for selected, threatened fauna, (ii) assess their change from 1950 to 2005, (iii) detect the causes of change, (iv) simulate changes to 2050 and (v) evaluate the impacts of change. The approach for prioritising potential habitats for threatened species used ecological science techniques assisted by the decision support software Marxan. Nineteen species were analysed: nine birds, three primates, three fish, three bats and one reptile. Based on knowledge of local land use, supervised classification of Landsat images from 2005 was used to classify the land use of the Complex. Simulations of land use change to 2050 were carried out based on the Land Change Modeler module in Idrisi Andes with the neural network algorithm. Changes in land use at site level have occurred over time but they are not significant. However, reductions in the extent of reed marshes at Lake Kinkony and forests at Tsiombikibo and Marofandroboka directly threaten the species that depend on these habitats. Long term change monitoring is recommended for the Mahavavy Delta, in order to evaluate the predictions through time. The future change of Andohaomby forest is of great concern and conservation actions are recommended as a high priority. Abnormal physicochemical properties were detected in lake Kinkony due to erosion of the four watersheds to the south, therefore an anti-erosion management plan is required for these watersheds. Among the species of global conservation concern, Sakalava rail (*Amaurornis olivieri*), Crowned sifaka (*Propithecus coronatus*) and *dambabe* (*Paretroplus dambabe*) are estimated the most affected, but at the site level Decken's sifaka (*Propithecus deckeni*), *kotsovato* (*Paretroplus kieneri*) and Madagascan big-headed turtle (*Erymnochelys madagascariensis*) are also threatened. Local enforcement of national legislation on hunting means that MKWC is among the sites where the flying fox (*Pteropus rufus*) and Madagascan rousette (*Rousettus madagascariensis*) are

^I École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar.

^{II} School of Biological Sciences, Medical Biology Centre, 97 Lisburn Road, Queen's University Belfast, BT9 7BL, Belfast, U.K.

^{III} Facultés des Sciences, Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar.



Madagascar Conservation & Development is the journal of Indian Ocean e-Ink. It is produced under the responsibility of this institution. The views expressed in contributions to MCD are solely those of the authors and not those of the journal editors or the publisher.

All the Issues and articles are freely available at <http://www.journalmcd.com>

Contact Journal MCD
info@journalmcd.net for general inquiries regarding MCD
funding@journalmcd.net to support the journal

Madagascar Conservation & Development
 Institute and Museum of Anthropology
 University of Zurich
 Winterthurerstrasse 190
 CH-8057 Zurich, Switzerland

io@i

Indian Ocean e-Ink
 Promoting African Publishing and Education
www.ioeink.com

 MISSOURI BOTANICAL GARDEN

Missouri Botanical Garden (MBG)
 Madagascar Research and Conservation Program
 BP 3391
 Antananarivo, 101, Madagascar

well protected. Ecological restoration, ecological research and actions to reduce anthropogenic pressures are recommended.

INTRODUCTION

Les différents écosystèmes de Madagascar ont été affectés par des changements au cours de l'histoire récente (Ricklefs et Miller 1999) que nous appelons « Dynamisme ». Le dynamisme anthropique récent affecte la viabilité des écosystèmes et menace également la pérennité des ressources naturelles d'une région, en mettant ainsi en péril son développement économique. Il est ainsi essentiel de le comprendre afin de pouvoir gérer ses effets dans le temps et dans l'espace.

La gestion des changements, qui se manifestent presque toujours par la dégradation des ressources naturelles, peut assurer le développement d'une région déterminée (FIDA 2001). Le cas du Complexe Zones Humides Mahavavy-Kinkony (connu comme CZHMK et appelé Complexe Mahavavy-Kinkony dans le reste du texte) au Nord-ouest de Madagascar, dans la région Boeny, a été choisi comme site pilote pour mener cette recherche de par la richesse de sa biodiversité et son potentiel en matière de développement économique (Rabenandrasana et al. 2007, BirdLife International et Asity Madagascar 2009, Andriamasimanana et Rabarimanana 2011, Ramsar 2012).

La cible de cette étude est la biodiversité. Seules les espèces menacées de la faune vertébrée ont été prises en compte pour constituer l'échantillon d'espèces représentatives de l'ensemble de la biodiversité de la région. Ce choix repose sur l'hypothèse impliquant qu'en protégeant les espèces les plus menacées, toutes les autres espèces de la région profiteraient également de cette protection (Roberge et Angelstam 2004). L'objectif est de chercher à comprendre comment les habitats naturels des espèces de la faune menacée dans la région évoluent au cours du temps et quelles sont les causes et les impacts de leur évolution. L'information récoltée servira aux décideurs de la région afin qu'ils puissent adopter les bonnes stratégies pour assurer une gestion pérenne des ressources naturelles. Pour atteindre cet objectif, nous avons (i) identifié les habitats naturels prioritaires pour la faune menacée du site, (ii) évalué leur dynamisme entre 1950 et 2005, (iii) recherché les causes de ce dynamisme, (iv) proposé une prospective des changements en 2050 et (v) évalué les impacts de ce futur dynamisme.

MÉTHODOLOGIE

La hiérarchisation des habitats naturels des espèces menacées a été réalisée de façon automatique et logique grâce au programme Marxan (Ball et al. 2009). La lecture des rapports d'inventaire biologique et des rapports de suivi écologique disponibles au niveau du Programme de BirdLife à Madagascar a permis de disposer de points d'observation pour les 19 espèces cibles appartenant aux groupes des oiseaux, des primates, des chauve-souris, des poissons et des reptiles du complexe Mahavavy-Kinkony.

Pour procéder à l'analyse, la région d'étude a été divisée en unités de planification de forme carrée de 625 m de côté. La distribution des espèces cibles a ensuite été cartographiée sur la couche d'unités de planification. L'objectif de conservation a été fixé à au moins 25 % des habitats pour toutes les espèces cibles et pour chaque unité de planification. Une autre couche portant sur le coût de la conservation a été élaborée à partir de la couche des unités de planification. Les coûts ont été définis de

manière à ce que les unités de planification ne présentant que des habitats naturels comme des forêts, des lacs, des rivières ou des mangroves aient des coûts plus bas. Plus les unités de planification présentaient des habitats dégradés comme la forêt dégradée ou les zones herbeuses, plus le coût était élevé. Le dernier fichier nécessaire pour exécuter Marxan définissait la longueur des limites. Un coefficient 1 a été attribué à cette limite lorsque les unités de planification étaient adjacentes afin de favoriser des solutions compactes.

Marxan a été programmé pour faire 100 exécutions avec un million d'itérations. Comme l'algorithme a une composante de randomisation, de multiples configurations ont été identifiées lors de chaque exécution. Les interprétations utilisent les valeurs en pourcentage de l'unicité de chaque unité de planification. Les résultats identifient le nombre de fois qu'une unité de planification a été choisie au cours des 100 exécutions. Plus une unité de planification se rapproche de la valeur 100, plus elle est précieuse et donc irremplaçable. L'analyse a été menée pour savoir quelle proportion de la zone d'occupation de chaque espèce menacée était incluse dans la solution Marxan.

Pour évaluer le dynamisme à l'échelle du site entre 1950 et 2005, les données topographiques des cartes FTM de 1949 ont été numérisées. Les images satellite géoréférencées et corrigées géographiquement prises par Landsat en juillet 1973 à une résolution de 60 m, en septembre 1999 et en avril 2005 à une résolution de 30 m ont été utilisées pour estimer l'évolution et la tendance des changements dans le temps ainsi que pour élaborer une prospective des changements en 2050. La méthode suivie fut celle de la classification supervisée, méthode basée sur la connaissance préalable des occupations du sol du site de recherche (Bouveyron et Girard 2009). Des sites d'entraînement ont alors été libellés dans les zones les mieux connues des images géoréférencées. L'occupation du sol d'après les images de 2005 a été validée avec les points de référence relevés sur le terrain des habitats naturels prioritaires pour la faune menacée du site. L'indice Kappa (Gwet 2002) a été utilisé pour vérifier la similarité entre les résultats du traitement des images satellitaires et les habitats naturels de la faune sur le terrain. Les analyses ont été réalisées à deux niveaux, sur le site d'abord puis au niveau de chaque habitat naturel prioritaire identifié.

Les points d'occurrence des cibles de conservation ont été placés sur la carte validée d'occupation du sol, et réalisée à partir des traitements des images satellitaires de 2005. Les aires d'occupation ainsi modélisées ont été confirmées par les biologistes travaillant dans le programme de BirdLife International à Madagascar. Les aires d'occupation des espèces constituent les données de base essentielles pour le processus du programme Marxan.

La prospective a utilisé l'outil de modélisation du changement d'occupation du sol de l'Idrisi Andes (Eastman 2006). Il s'agissait de faire un essai de modélisation entre 1973 et 2005, dates au cours desquelles les occupations du sol étaient connues. La prospective de l'occupation du sol en 2005 a été soumise à des tests statistiques et comparée à l'occupation réelle des sols à cette date. Les facteurs déterminant les changements ont été identifiés lors de cette étape, en se basant notamment sur les références bibliographiques et les observations de terrain. La performance de la prospective de l'occupation a été estimée. La prospective de l'occupation du sol en 2005 et la réelle occupation du sol en 2005 ont été croisées pour estimer la valeur de

l'association V' de Cramer (Cramér 1999) ainsi que la valeur de similarité Kappa (Carletta 2004) entre les deux images.

Pour évaluer la performance du modèle prospectif, nous l'avons testé avec le module ROC ou *Relative Operating Characteristic* (Paladino et Pontius 2004) jusqu'à obtention de valeurs satisfaisantes. Si de telles valeurs ne pouvaient être obtenues, les facteurs de changement ont été modifiés avant de répéter le processus. La chaîne de Markov (Eastman 2006) a été utilisée pour modéliser l'occupation du sol.

La méthode adoptée pour évaluer la vulnérabilité des espèces face au changement repose sur une théorie de la diversité spécifique : la relation entre une espèce et son domaine vital selon l'équation $S = c.A^z$, dans laquelle 'S' est le nombre d'espèces, 'A' la surface, et 'c' et 'z' sont des constantes. La constante 'c' représente le nombre d'espèces dans la plus petite zone d'échantillonnage, et 'z' la pente de la droite dans un espace log-log formé par le nombre d'espèces (Preston 1962). La valeur de l'exposant z est approximativement égale à 0,25 qui est une valeur généralement retenue pour les taxons insulaires ; le nombre d'espèces augmente avec la taille de la zone échantillonnée (Borda-de-Água et al. 2002). En interprétant cette théorie, nous avons admis que la probabilité de présence d'une espèce dans un espace donné diminue avec la taille de cet espace et la probabilité de présence de chaque espèce augmente avec la surface de son habitat (Connor and McCoy 1979). Lorsque nous considérons un habitat spécifique à une espèce, si cet habitat disparaissait, l'espèce qui en dépend tendra à disparaître et deviendrait ainsi vulnérable, tout en réduisant la diversité du site. L'analyse a ainsi consisté à comprendre comment les habitats avaient évolué dans le temps et dans l'espace et quelles espèces les utilisent. Les espèces qui dépendent d'habitats en cours de disparition sont les espèces vulnérables qui ont tendance à disparaître.

Six facteurs ont été utilisés pour modéliser la carte potentielle de transition entre l'état de la forêt en 1973 et celui de 1995. Ils ont été catégorisés entre facteurs statiques et dynamiques. Les facteurs statiques, qui ne changent pas au cours des temps, sont les distances par rapport aux rivières et des pentes du relief. Les facteurs dynamiques, qui changent au cours des temps, sont les distances par rapport aux zones d'habitation, des routes ou pistes praticables ou encore l'interpolation de la population par unité administrative (*fokontany*). La distance des changements entre 1973 et 1995 a aussi été créée. Cette couche d'informations inclut tous les autres facteurs de changements locaux.

RÉSULTATS

L'interprétation des images de 2005 a permis de distinguer sept classes d'habitat, dont la forêt dense sèche (37%), une formation herbeuse (26%), des zones humides continentales (18%), la mangrove (4%), le sable (7%), des zones de culture (7%) et le tan (1%). La surface totale de la zone de recherche est de 299 000 ha.

La solution finale du programme Marxan a été superposée sur les occupations de sol du complexe Mahavavy-Kinkony en 2005. Les occupations de sol importantes pour la faune sont la forêt, la mangrove et la zone humide. Plus particulièrement les forêts de Tsiombikibo, de Marofandroboka, d'Antsilaiza, d'Anjohibe et d'Andohaomy, la mangrove du delta de la Mahavavy et de Marambitsy, le lac Kinkony abritant une phrag-

mitaie et le lac Tsiambarabe (Figure 1). Avec les 363 points de référence, le test statistique a donné une valeur de l'indice de Kappa positive de 0,78 pour la forêt, 0,22 pour la mangrove, et de 0,60 pour le plan d'eau. En retenant ces habitats en priorité, les valeurs de l'unicité de Marxan variaient de 35 à 98% avec une valeur moyenne globale de 70%.

Au niveau du site, des analyses statistiques ont donné une valeur V' de Cramer de 0,57 entre 1973 et 2005. La valeur positive de l'indice de Kappa était de 0,61. Les analyses au niveau de chacun de ces habitats ont montré que les habitats naturels prioritaires pour la faune menacée avaient diminué en superficie, en particulier les phragmitaies du lac Kinkony et les forêts d'Andohaomy, de Marofandroboka et de Tsiombikibo. D'autres habitats se sont étendus comme les forêts d'Anjohibe et d'Antsilaiza. Les habitats qui ont gardé la même superficie sont les mangroves de Marambitsy et de Mahavavy (Tableau 1). Avec un intervalle de confiance de 95% et un degré de liberté de 7, la valeur du test t de Student effectué sur la différence entre les surfaces des habitats prioritaires en 1949 et 2005 est de 0,76, bien inférieure à celle de la table de distribution qui est de 2,37 et qui a permis de conclure une différence non significative avec une erreur acceptée de 5%.

Les changements de chaque habitat ont été corrélés avec le temps (en année) pour considérer l'évolution temporelle. Les forêts d'Anjohibe et de Tsiombikibo ont les valeurs maximales, des coefficients de corrélation 0,90 et -0,87 respectivement, suivies des forêts d'Andohaomy et de Marofandroboka avec des coefficients avoisinant -0,60. La forêt d'Antsilaiza et les mangroves de Mahavavy et de Marambitsy avaient des valeurs inférieures à 0,4. Les changements des forêts d'Anjohibe, d'Antsilaiza et la mangrove de Marambitsy étaient en corrélations positives avec le temps. Ceux des forêts de Tsiombikibo, d'Andohaomy, de Marofandroboka et la mangrove de Mahavavy étaient en corrélations négatives avec le temps (Tableau 1).

La distance des changements entre 1973 et 1995 a atteint un taux d'exactitude de 100% avec 872 itérations. La carte de transition élaborée a été utilisée pour proposer une prospective de la couverture de la forêt en 2005 qui, cartographiée, a été validée avec la carte forestière extraite du traitement d'images satellites de 2005. La valeur de la caractéristique de *Relative Operating Characteristic* par le test de validation de 0,87 a été

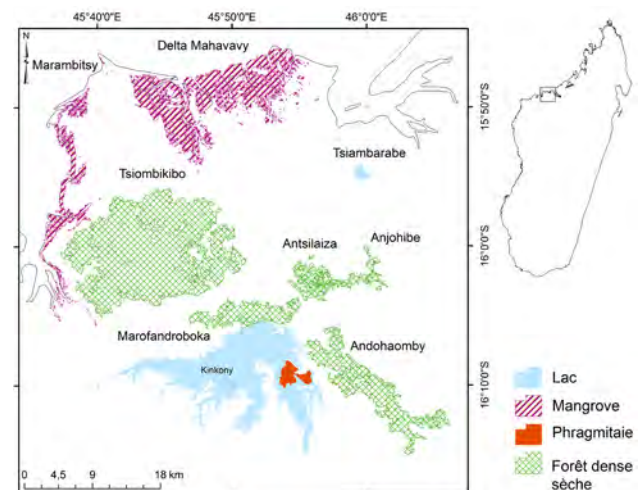


FIGURE 1. Les habitats prioritaires pour la faune menacée du complexe Mahavavy-Kinkony.

TABLEAU 1. Évolution dans le temps des superficies des trois habitats naturels considérés dans le complexe Mahavavy-Kinkony.

Type d'habitat	Localité	Superficie (ha)		
		1949	2005	2050
Mangrove	Delta Mahavavy	15,310	14,960	12,030
	Marambitsy	2,490	2,700	2,110
	sous total	17,800	17,660	14,140
Phragmitaie	Lac Kinkony	540	70	
Forêt sèche	Andohaomby	9,740	7,750	4,330
	Tsiombikibo	27,960	23,490	20,730
	Marofandroboka	5,800	3,430	3,170
	Anjohibe	290	760	700
	Antsilaiza	2,370	2,650	1,970
	sous total	46,160	38,080	30,900
	TOTAL	64,500	55,810	45,040

jugé satisfaisant (Pontius et al. 2000). La même carte de transition a été utilisée par le programme pour construire la carte prospective en 2050.

Les forêts d'Andohaomby et d'Antsilaiza seraient les plus menacées avec une diminution de leur superficie d'environ 44 % et 26 % respectivement en 2050. La forêt de Tsiombikibo a été réduite de 12 %, celles d'Anjohibe et de Marofandroboka de près de 7,5 %. Les deux mangroves du complexe Mahavavy-Kinkony pourraient perdre 20 % de leur superficie pour le Delta de Mahavavy et 22 % pour Marambitsy. La surface de la forêt d'Anjohibe a presque triplé entre 1945 et 2005 alors que celle d'Antsilaiza n'a augmenté que de 11 %. (Tableau 1).

DISCUSSION

Le test de validité entre les points de référence obtenus sur le terrain et l'occupation du sol montre des indices de Kappa élevés et positifs indiquant une bonne attribution des classes pour la forêt et le plan d'eau à partir des images satellitaires. Les différences entre des valeurs trouvées (0,78 pour la forêt et 0,60 pour le plan d'eau) et la concordance parfaite (1,0) pourraient être expliquées par une erreur d'interprétation des images par le logiciel de traitement mais aussi par les changements d'occupation du sol entre la date de la prise de vue de l'image (2005) et la date à laquelle la vérité terrain a été effectuée (2008). Néanmoins, les bonnes concordances indiquent une interprétation fiable des images pour ces deux classes. L'indice assez bas obtenu pour la mangrove est expliqué par la difficulté d'accéder à ce milieu sur le terrain.

L'extension des forêts d'Anjohibe et d'Antsilaiza pourrait s'expliquer par la faible valeur agricole des terres de la région et l'éloignement des centres urbains, de sorte qu'un corridor a fini par relier ces deux forêts.

La forte corrélation négative avec le temps de la forêt de Tsiombikibo indique que *Propithecus deckeni* pourrait devenir encore plus vulnérable dans un avenir proche au niveau du complexe Mahavavy-Kinkony. En observant les résultats de la prospective des changements au niveau du site, la forêt d'Andohaomby serait la forêt la plus menacée. En revanche, deux espèces de chauve-souris, *Pteropus rufus* et *Rousettus madagascariensis*, seraient favorisées par le changement positif des forêts d'Antsilaiza et d'Anjohibe. Le principal changement au niveau des forêts est le résultat d'une agriculture traditionnelle sur brûlis appelée « hatsaka »

et au prélèvement par les villageois qui exploitent le bois de chauffe et d'autres bois.

La mangrove du complexe Mahavavy-Kinkony ne semble pas souffrir de la pression anthropique dans l'état actuel, fait qui est vraisemblablement en relation avec la capacité de dispersion et d'avancée sur la mer de ce type de forêt. Il convient cependant de suivre l'évolution de la mangrove avec l'élévation du niveau de la mer annoncée par le changement climatique global (Barber et al. 2004). Les oiseaux d'eau menacés, hormis *Amaurornis olivieri*, pourraient profiter de l'avancée de la mangrove.

Le changement du lac Kinkony est davantage d'ordre physico-chimique (Andriamasimanana et Rabarimanana 2011). La réduction considérable de sa phragmitaie résulte des feux incontrôlés et de la conversion des marais en rizières. La phragmitaie est l'unique habitat d'*Amaurornis olivieri* qui en dépend aussi pour la nidification, sa disparition entraînerait la disparition de ce rôle endémique. La végétation flottante du lac Kinkony est aussi une zone de frai pour le poisson *Paretroplus dambabe* (BirdLife International Madagascar Programme 2006). La diminution de ce type de végétation toucherait alors l'écologie du poisson en perturbant sa reproduction. L'espèce de tortue aquatique *Erymnochelys madagascariensis* utilise en revanche les embouchures au sud du lac Kinkony (Andriamazava 2005). Les agriculteurs opérant dans ces zones du lac pratiquent la culture du riz en suivant la décrue des eaux sur les rives du Kinkony, pratique qui fait reculer le plan d'eau. Les surfaces occupées par la riziculture avancent ainsi chaque année. La diminution du plan d'eau avec la forte turbidité constituerait une réelle menace pour ce reptile aquatique (Andriamasimanana et Rabarimanana 2011). Les effets combinés du changement qualitatif et quantitatif pourraient être néfastes aux espèces qui en dépendent.

L'approche développée ici pour établir une prospective de changement des habitats naturels a été basée sur les facteurs identifiés dans le passé et suppose que les contextes socio-économiques de la région resteraient stables. La prospective dévierait nettement s'il y avait de profonds changements dans les stratégies de développement régional. Il s'agirait en particulier des grands projets d'exploitation minière ou pétrolière qui modifieraient considérablement les données socio-économiques de la région.

REMERCIEMENTS

Nous voulons dédier nos vifs remerciements à International Fondation pour la Science, Idea Wild, Microsoft, Conservation International pour les appuis financiers qu'ils nous ont fournis afin de permettre la réalisation de cette recherche. Sans oublier ReBioma et WIOMSA pour les appuis techniques, BirdLife International et ASITY Madagascar pour l'accès aux données et au site. Nous tenons aussi à remercier trois rapporteurs anonymes grâce auxquels cette contribution a pu être nettement améliorée.

RÉFÉRENCES

- Andriamasimanana, R. et Rabarimanana, M. 2011. Analyses de la dégradation du lac Kinkony pour la conservation du Complexe des Zones Humides Mahavavy-Kinkony, Région Boeny, Madagascar. Madagascar Conservation & Development 6, 1: 22–28. (doi :10.4314/mcd.v6i1.68061)

- Andriamasimanana, R. H., Rabenandrasana, M. N., Raminoarisoa V., Sam, T. S., Virginie, M. C., Ratelolahy, F. J. et Rakotonirainy, E. O. 2001. Effets de la fragmentation de la forêt humide sur les populations d'oiseaux et de lémuriens dans le corridor Mantadia-Zahamena. *Lemur News* 6: 18–22.
- Andriamazava, A. M. 2005. Suivi et Recherche sur les Pelomedusidae dans les Zones Humides de Mahavavy-Kinkony, Rapport Annuel de Suivi Écologique, BirdLife International Madagascar Programme, Antananarivo.
- Ball, I. R., Possingham, H. P. & Watts, M. 2009. Marxan and relatives: Software for spatial conservation prioritisation. In: *Spatial Conservation Prioritisation: Quantitative Methods and Computational Tools*. A. Moilanen, K. A. Wilson & H. P. Possingham (eds.), pp 185–195. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Barber, C. V., Miller, K. R. & Boness, M. 2004. Securing Protected Areas in the Face of Global Change: Issues and Strategies. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. <<http://www.iucn.org/bookstore>> (téléchargé le 27septembre 2013)
- BirdLife International Madagascar Program. 2006. Schémas d'Aménagement du Complexe Zones Humides Mahavavy-Kinkony, Région Boeny. Unpubl. Report BirdLife International Madagascar Program.
- BirdLife International & Asity Madagascar 2009. Creating two New Protected Areas for Madagascar's Largest Wetlands. Report Period 1 April 2009 to 30 September 2009. <http://www.avjcf.org/wp-content/uploads/BirdLife_Madagascar_report_Apr-Sep-09.pdf> (téléchargé le 21 août 2012)
- Borda-de-Água, L., Hubbell S. P. & McAllister, M. 2002. Species-area curves, diversity indices, and species abundance distributions: A multifractal analysis. *The American Naturalist* 159, 2: 138–155. (doi:10.1086/324787)
- Bouveyron, C. et Girard, S. 2009. Classification supervisée et non supervisée des données de grande dimension. *La Revue de Modulad* 40: 81–102.
- Carletta, J. 2004. Assessing Agreement on Classification Tasks: The Kappa Statistic. University of Edinburgh.
- Cramér, H. 1999. *Mathematical Methods of Statistics*. Princeton University Press.
- Connor, E. F. & McCoy, E. D. 1979. The statistics and biology of the species-area relationship. *The American Naturalist* 113, 6: 791–833. (doi:10.1086/283438)
- Du Puy, D. J. & Moat, J. F., 1997. Simplified Geology of Madagascar. Royal Botanical Gardens, Kew. <http://www.kew.org/gis/projects/madagascar/geolsimp_meta.html> (téléchargé le 13 mars 2012)
- Eastman, R. J. 2006. *Idrisi Andes: Guide to GIS and Image Processing*. Manual version 15, 328pp. Clak Labs, Clark University. <http://www.uwf.edu/gis/manuals/idrisi_taiga/taigamannual.pdf>
- FIDA 2001. La Gestion de l'Environnement et des Ressources Naturelles: Une Préoccupation Croissante du FIDA. CMAterre. Unpubl. Report, 24pp. <<http://www.youscribe.com/catalogue/presentations/actualite-et-debat-de-societe/activisme/la-gestion-de-l-environnement-et-des-ressources-naturelles-1042542>> (téléchargé le 13 mars 2012)
- Gwet K. 2002. Kappa Statistic is not Satisfactory for Assessing the Extent of Agreement Between Raters. *Statistical Methods For Inter-Rater Reliability Assessment*, N. 1. <http://www.agreestat.com/research_papers/kappa_statistic_is_not_satisfactory.pdf> (téléchargé le 04 novembre 2013)
- Paladino, L. & Pontius Jr., R. G. 2004. Accuracy assessment and uncertainty in baseline projections for land-use change forestry projects. In: *Proceedings of the joint meeting of The 6th International Symposium On Spatial Accuracy Assessment In Natural Resources and Environmental Sciences and The 15th Annual Conference of The International Environmetrics Society*, June 28 – July 1 2004, Portland, Maine. H. T. Mow, R. McRoberts P. C. VanDeusen (eds). <http://www.clarku.edu/~rpontius/paladino_pontius_2004_ties.pdf> (téléchargé le 22 avril 2011)
- Pontius, R. G., Claessens, L., Hopkinson, C., Marzouk, A., Rastetter, E. B., Schneider, L. C. & Vallino, C. 2000. Scenarios of land-use change and nitrogen release in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. In: *Proceedings of The 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs*. Banff, Alberta, Canada. <<http://www.srccosmos.gr/srccosmos/showpub.aspx?aa=5854>> (téléchargé le 11 novembre 2012)
- Preston, F. W. 1962. The canonical distribution of commonness and rarity: Part I. *Ecology* 43:185–215, 431–432. (doi:10.2307/1931976)
- Rabenandrasana, M., Virginie, M. C., Randrianarisoa, M., Sam, T. S. & Zefania, S. 2007. Waterbird abstracts. The importance of the Mahavavy-Kinkony wetlands to bird conservation (ZICO), a pilot site for the putting in place of a conservation site in the western Madagascar region: insight into bird fauna and conservation activities. *Ostrich* 78, 2: 551–552. (doi:10.2989/OSTRICH.2007.78.2.68.182)
- Ramsar 2012. The Annotated Ramsar List: Madagascar. <http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-pubs-notes-anno-madagascar/main/ramsar/1-30-168%5E16534_4000_0.html> (téléchargé le 21 août 2012)
- Ricklefs, R. E. & Miller, G. L. 1999. *Ecology*. 4th edition W. H. Freeman and Company.
- Roberge, J. & Angelstam, P. 2004. Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool. *Conservation Biology* 18, 1: 76–85.

MATÉRIEL SUPPLÉMENTAIRE. DISPONIBLE EN LIGNE UNIQUEMENT.

TABLEAU S1. Répartition des espèces menacées dans les habitats naturels prioritaires du Complexe Zones Humides Mahavavy-Kinkony, Madagascar.