

Classification hiérarchique des zones boisées d'altitudes de l'île d'Anjouan, Comores

Houmadi Amélaïd, Pascal Fust, Kathleen Green, Mohamed Daniel, Ishaka Said, Joelisoa Ratsirarson and Steeves Buckland

Varia

Volume 20, Number 2, October 2020

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1079242ar>

DOI: <https://doi.org/10.4000/vertigo.28263>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Amélaïd, H., Fust, P., Green, K., Daniel, M., Said, I., Ratsirarson, J. & Buckland, S. (2020). Classification hiérarchique des zones boisées d'altitudes de l'île d'Anjouan, Comores. *VertigO*, 20(2). <https://doi.org/10.4000/vertigo.28263>

Article abstract

The second largest island of the Comoros archipelago, Anjouan, was covered by forest before human colonization, whereas today only a few forest fragments remain on steep and inaccessible slopes. Under human pressure, the loss of forests to make place for agricultural areas continues. The present study investigated the vegetation of Anjouan to determine which habitat types can be found on the island. In 2010, we collected data on vegetation composition using a plot-based methodology. Two types of analyses were used to partition the habitat into different classes : principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA). Six habitat classes were identified : plantations in high altitude open areas, plantations in less wooded areas, low altitude agroforestry, severely degraded and under-planted forest, degraded forest and dense natural forest. The first four classes were associated with agricultural activities in varying intensities. Significant differences between habitat classes were distinguished by Kruskal-Wallis tests for tree densities (native and non-native), species diversification, and level of agricultural exploitation. The findings show that the vegetation cover in Anjouan is marked by human exploitation, which requires monitoring to avoid over-exploitation of the last remaining natural forests on the island. The results of this study will be used for the agroforestry management planning and the implementation of conservation actions for forest habitats on the island.



Classification hiérarchique des zones boisées d'altitudes de l'île d'Anjouan, Comores

Houmadi Amélaïd, Pascal Fust, Kathleen Green, Mohamed Daniel, Ishaka Said, Joelisoa Ratsirarson et Steeves Buckland

Introduction

- 1 Dans les zones tropicales, la déforestation a engendré des conséquences importantes et directes sur la diversité biologique (Carrero et Fearnside, 2011). Par conséquent, la fragmentation anthropique de l'habitat pourrait affecter le flux génétique des espèces et provoquer une dépression de consanguinité (Nelson-Tunley et al., 2016). Selon l'évaluation des ressources forestières mondiales en 2015 (MacDicken et al., 2016), la superficie forestière mondiale était réduite de 129 millions d'hectares (3,1 %) entre 1990 et 2015. La perte nette était principalement dans les zones tropicales qui représentaient 44 % de la superficie forestière mondiale (Keenan et al., 2015). Les pressions dans les forêts naturelles restantes continuaient à s'intensifier (Austin et al., 2017 ; FAO, 2016 ; Ratsisompatrarivo et Rasoamampianina, 2016 ; Boussougou et al., 2015), entraînant des taux élevés de perte de biodiversité (Vieilledent et al., 2018).
- 2 La perte d'habitat a également provoqué une « crise d'extinction » dans les 34 « hotspots » de la biodiversité (Mittermeier, et al., 2011). De plus, les petites îles sont considérées comme particulièrement vulnérables aux aléas naturels et anthropiques. Surtout, si l'on regarde l'augmentation de la population humaine et le fait que les surfaces de terrain sont limitées sur les îles (Doulton et al., 2016 ; Minten et al., 2013 ; Mittermeier et al., 2011). Elles sont prioritaires pour les efforts de conservation, par le fait qu'elles ont 14 fois plus d'espèces terrestres menacées d'extinction que dans les aires continentales (Tershy, et al., 2015). Il est illustré à Madagascar que dans les îles, la biodiversité est menacée par la déforestation anthropique (Vieilledent et al., 2018). La transmutation des forêts en terre agricole constituait le moteur de la dynamique de la

couverture forestière (Goodman et al., 2017 ; Ranaivonasy, et al., 2016). L'agriculture, le feu et la coupe sélective des bois avaient un effet perturbateur sur les habitats (Rakotomalala et al., 2017).

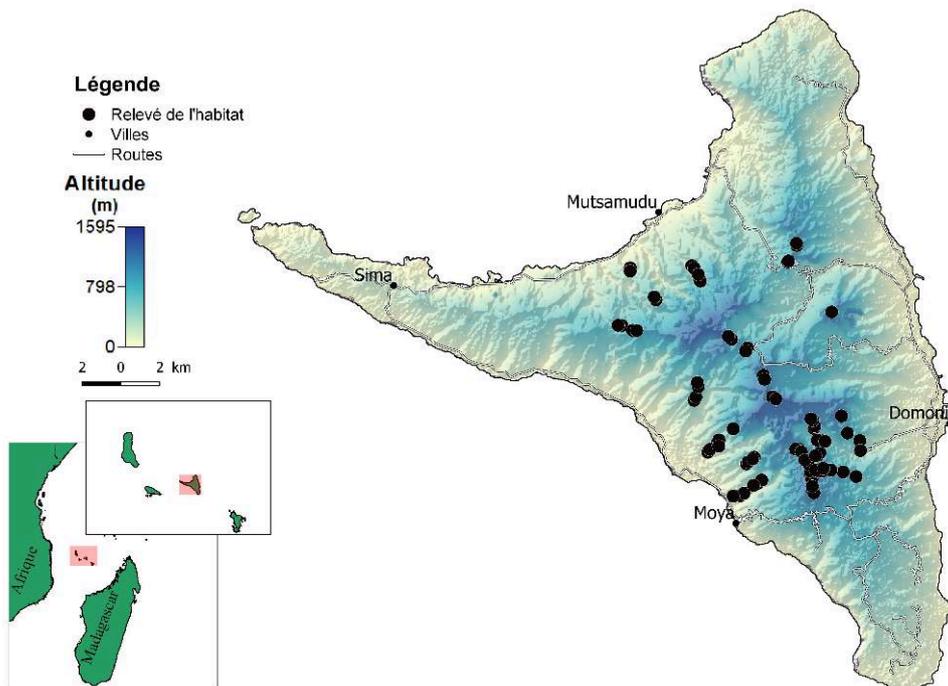
- 3 Aux Comores, la déforestation était attribuée à l'agriculture sur brûlis, aux activités agricoles dans les zones forestières, à la coupe de bois destinés à la menuiserie, à la production de bois d'œuvre (Boussougou et al., 2015) et à la production de l'huile d'essence, notamment *Cananga odorata* (Charmoille, 2013). Du fait de l'accroissement démographique sur le territoire, la menace la plus importante des écosystèmes était la perte progressive des habitats forestiers par anthropisation (Boussougou et al., 2015). À Anjouan, la deuxième plus grande île de l'archipel des Comores, la perte des forêts denses a entraîné l'augmentation des forêts dégradées passant ainsi de 8 % en 1995 à 15 % en 2014 (Boussougou et al., 2015).
- 4 La plupart des zones forestières ont été remplacées par des plantations des girofliers, de bananiers, de taro et d'arbres fruitiers (Charmoille, 2013). Dans les basses et moyennes altitudes, l'activité agricole prédominait. La coupe de bois qui était manuelle est actuellement faite avec des tronçonneuses. La planification environnementale était extrêmement urgente et nécessitait une base de données soigneusement élaborée. La classification la couverture végétale des zones boisées, aux altitudes d'Anjouan était primordiale.
- 5 Notre hypothèse était que les activités agricoles se pratiquaient dans les différentes classes d'habitat. Nous avons encore supposé que les couvertures végétales denses et les plus diversifiées en espèces se rencontraient dans les zones d'altitude. Dans cette optique, cette étude tente d'apporter des informations de l'état de la couverture forestière. Basée sur des analyses statistiques de classification, cette étude nous permettra de catégoriser différentes classes d'habitat. L'extension de cette étude en tenant compte des pressions humaines est nécessaire pour comprendre les causes et l'évolution de la couverture végétale.

Matériels et Méthodes

Zone d'étude

- 6 L'archipel des Comores est situé dans le nord du canal de Mozambique, entre le continent d'Afrique et l'île de Madagascar. Il est composé de quatre principales îles : la Grande Comore, Mohéli, Anjouan et Mayotte (sous administration française). Anjouan, la deuxième plus grande île, est située entre 12°00' - 12°28'S et 44°07' - 44°38'E (Figure 1). Le climat est de type tropical humide avec deux saisons : une saison chaude entre mai et octobre et une saison humide entre novembre et avril. La pluviométrie annuelle varie entre 1371 mm à 3000 mm des zones côtières aux zones centrales (Frenken, 2005). Le relief est très escarpé, avec de nombreuses arêtes vives, et des pentes très raides. Le principal sommet, Ntringui culmine à 1595 m.

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (île d'Anjouan), archipel des Comores, Océan indien.



Échantillonnage des données

- 7 Les données de relevé d'habitat ont été effectuées entre juin et décembre 2010 sur 77 sites répartis à travers les différentes régions de l'île (Figure1). On avait mis en place quatre à six carrés de 2 x 25 m dans différentes zones de différentes couvertures végétales. Deux carrés successifs étaient éloignés d'une distance de 200 m. Ces carrés ont été posés semi-systématiquement sur des transects préétablis. Le relief étant raide et souvent inaccessible, les carrés étaient placés à proximité des chemins utilisés habituellement par les paysans.
- 8 Les informations suivantes ont été relevées dans chaque plot :
 1. Les coordonnées géographiques de longitude et de latitude (en UTM) ainsi que l'altitude ont été obtenues à l'aide d'un GPS (Garmin GPSmap 60CSx). Dans chaque carré, un point GPS a été pris au milieu avec une marge de précision entre 3 et 5 m.
 2. Tous les arbres de diamètre supérieur à 10 cm à la hauteur de la poitrine de l'observateur (DBH) ont été mesurés et identifiés en termes d'espèces. Pour les arbres dont les noms n'ont pas été déterminés sur place, des échantillons de feuilles et des branches ont été amenés dans les villages pour identification du nom vernaculaire. Un guide de plantes ligneuses (Davies, 2006) a permis d'identifier les noms scientifiques (annexe 1).
 3. L'écartement des arbres a été estimé en mètre de la distance visible par l'observateur dans les quatre points cardinaux. À une hauteur de 1,50 m à partir du sol, l'observateur qui est au centre du carré a estimé la distance à partir de lui jusqu'aux prochains arbres où il ne pouvait pas voir à travers. Cependant, la distance d'espacement des arbres ne se limitait pas à l'intérieur du carré.
 4. Les signes des activités humaines à savoir la présence du feu, de l'élevage, des arbres coupés, et le type d'exploitation ont été notés.
 5. L'exploitation agricole a été estimée en pourcentage dans un rayon de 100 m environ à partir du centre du quadrat.

Prétraitement de la classification par la méthode de l'Analyse en composante principale (ACP)

- 9 Cette analyse a été réalisée dans les données des 77 sites avec huit variables. Les quatre variables actives (la densité d'arbres natifs par 50 m², la densité d'arbres non-natifs par 50 m², le nombre d'arbres total par 50 m², et le nombre d'espèces d'arbres total par 50 m²) ont servi à calculer les axes de l'ACP. Quatre variables étaient supplémentaires (altitude, pourcentage de surface cultivée, l'écartement moyen entre les arbres, et le diamètre moyen des arbres). Elles servaient à faciliter l'interprétation. L'ACP est utilisé pour décrire et transformer les données à de nouvelles variables continues (composant principal), réduites en nombre, et non corrélées tout en retenant un maximum d'informations des variables (Kassambara, 2017). C'est une étape de traitement pour éliminer le bruit et la redondance des données, et équilibrer l'influence de plusieurs variables (Husson et al., 2010 ; Kassambara, 2017). Il a permis de simplifier les variables corrélées. Pour trouver les variables quantitatives qui décrivent bien la partition de chaque classe, on a utilisé un test de Fisher. Les analyses ont été effectuées dans le logiciel R 3.3.2 (R Core Team, 2017) avec les packages « FactoMineR » (Lê, et al., 2008) et « Factoshiny » (Vaissie, et al., 2017).

Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

- 10 Nous avons procédé à la classification hiérarchique des sites afin de pouvoir déterminer les différentes classes de couverture forestière. Cette classification a été effectuée à partir des résultats des 2 premiers composants principaux de l'ACP. On a utilisé la fonction HCPC (Classification hiérarchique sur Composant principale) du package « FactoMineR » (Lê et al., 2008 ; Vaissie et al., 2017). Cette fonction consiste à effectuer la classification et partitionner les composants principaux. Les variables supplémentaires n'ont pas intervenu dans les calculs de la classification, par contre, ils permettent de l'interpréter (Husson et al., 2010). Le nombre de classes est fixé lorsque la perte d'inertie devient minimale lorsqu'on ajoute une autre classe (Husson et al., 2018 ; Husson et al., 2010). L'analyse de classification ascendante hiérarchique a été consolidée pour avoir un nombre optimal de classes entre trois et dix.

Comparaison des groupes de classe de couverture forestière

- 11 Les tests de Kruskal-Wallis ont été utilisés pour les analyses de comparaison des variables des classes issues de la classification. Il s'agit d'un test non paramétrique sur des échantillons indépendants. Les analyses ont été effectuées dans le package « agricolae » (version 1.2-6, Mendiburu, 2017) du logiciel R. Les méthodes de Kruskal-Wallis dans ce package utilisant la fonction « kruskal » avec le paramètre « groupe = FALSE » permet des comparaisons multiples au seuil de significativité (ou risque d'erreur) $P < 0,05$ (Mendiburu, 2017). La probabilité P est ajustée par la méthode de correction de Bonferroni.

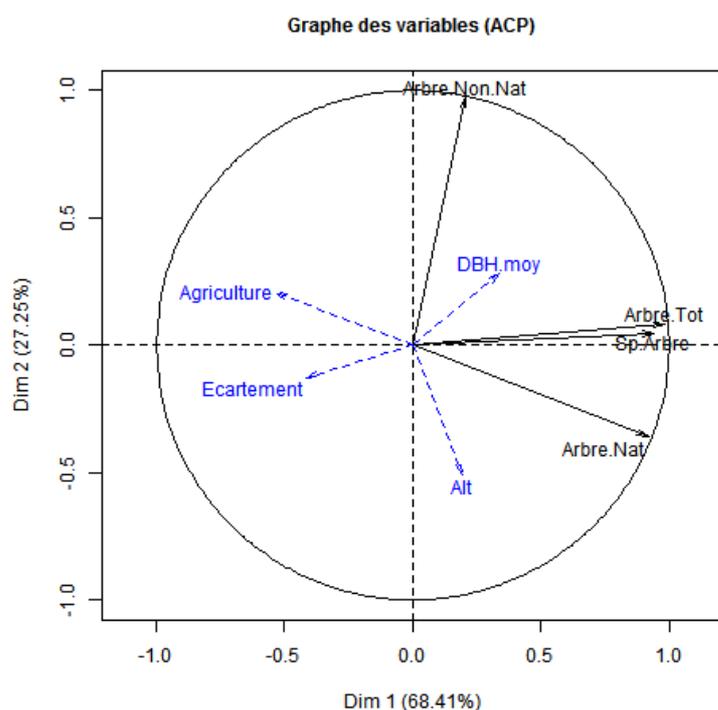
Résultats

- 12 L'échantillonnage a rassemblé 31 espèces d'arbres dont 17 indigènes, et quatre sont endémiques. La densité moyenne des arbres a été de $3,86 \pm 4,07$ (moyenne \pm écart) arbres par 50 m^2 avec un maximum de 15 arbres par 50 m^2 dans les zones forestières. Leur diamètre moyen était de $17,31 \pm 15,63$ cm. L'espacement moyen entre les arbres était de $30,43 \pm 28,29$ m. L'exploitation agricole a été moyenne de $43,51 \pm 42,43$ %. Les arbres non-natifs les plus fréquents ont été *Artocarpus* sp., *Mangifera* sp., *Annona muricata* et *Cocos nucifera*.

Étude des variables explicatives

- 13 La qualité de représentation l'analyse en composante principale a été totalisée à 95,66 % d'informations contenues dans les données pour les deux premiers axes (Dim1 = 68,41 % et Dim2 = 27,25 %) (Figure 2). La répartition des sites qui ont constitué les groupes plus ou moins homogènes de couverture végétale est fortement contribué (Figure 2 et 3) :
1. Positivement sur l'axe Dim1 par la présence d'un nombre élevé d'arbres (contribution = 35,28 %, $\text{Cos}^2 = 0,97$), d'une meilleure diversité d'espèces d'arbres (contribution = 32,38 %, $\text{Cos}^2 = 0,89$) et d'une domination d'arbres natifs (contribution = 30,79 %, $\text{Cos}^2 = 0,84$).
 2. Positivement sur l'axe Dim2 par le nombre d'arbres non-natifs (contribution = 87,41 %, $\text{Cos}^2 = 0,61$) et négativement par le nombre d'arbres natifs (contribution = 11,74 %, $\text{Cos}^2 = 0,13$).

Figure 2. Projection des variables dans le plan factoriel de l'analyse en composante principale.



Alt = Altitude ; Arbre.Nat : Arbre natif ; Arbre.Tot = Arbre total ; Arbre.Non.Nat = Arbre non-natif ; Sp.Arbre = Nombre d'espèces d'arbres ; DBH.moy = diamètre moyen à hauteur de la poitrine. Les variables actives sont présentées en vecteurs noirs et celles supplémentaires en bleu.

Classification hiérarchique des sites

- 14 La Classification hiérarchique sur composantes principales (HCPC) a divisé les 77 sites de relevé végétal en deux catégories : 1) les habitats décrits par une faible densité d'arbres, et ayant des activités agricoles et 2) les habitats caractérisés par une densité et une diversification des espèces d'arbres plus ou moins élevée. Les variables qui ont décrit le plus cette classification étaient par ordre d'importance : le nombre d'arbres non-natifs (HCPC, Eta2 = 0,91 ; P < 0.01), le nombre d'arbres total (HCPC, Eta2 = 0,91 ; P < 0.01), le nombre d'arbres natifs (HCPC, Eta2 = 0,86 ; P < 0.01), le nombre d'espèces d'arbres (HCPC, Eta2 = 0,82 ; P < 0.01), le pourcentage de l'agriculture (HCPC, Eta2 = 0,39. P < 0.01). La valeur de l'Eta2 a trié les variables de celle qui décrit mieux la partition à celle qui décrit le moins. Les habitats moins boisés s'étaient scindés en deux groupes par la nature (natif ou non-natif) de la majorité des arbres, de la densité des arbres et de leurs situations en l'altitude. Par défaut de l'analyse, le nombre de classes obtenu était de trois. L'inertie totale était de 3,83 pour les deux premiers axes et 95 % de la variance cumulative. La perte d'inertie (Figure 4) a illustré qu'à l'intérieur des classes, les variabilités étaient importantes. Cependant, on a distingué des sous-classes.

Classe 1 : Zones Ouvertes

- 15 La première classe a des densités faibles et de faibles diversifications d'arbres. Il s'agissait des zones ouvertes avec des pratiques agricoles (Tableau 1). Elle s'est différenciée en quatre sous-classes :

Sous-classe 1a : Plantation des Zones Ouvertes de Haute Altitude

- 16 Elle était marquée par des espaces très ouverts avec une rareté des arbres. L'agriculture y occupait 71.00±36,55 % de l'espace. La culture était généralement vivrière. Des cultures maraîchères telles que la tomate et la laitue étaient peu fréquentes dans le sud-est. La coupe d'arbres y était présente. Les arbres fréquents étaient forestiers. Les plateaux du sud et du centre de l'île étaient plus représentatifs de cette sous-classe. C'étaient des zones très déboisées des altitudes supérieures à 700 m. La classe était généralement constituée des gros arbres (Tableau 1). Il y manquait dans la strate des arbustes. On y rencontrait des champs abandonnés, des plantations de *Musa* sp., de *Xanthosoma* sp., de *Manihot* sp., de *Ipomoea* sp. et de *Cajanus* sp. Les plantations de *Cocos nucifera* y étaient absentes. Les arbres fruitiers étaient rares.

Sous-classe 1b : Forêt Sévèrement Dégradée et Sous Plantée

- 17 C'est une zone forestière déboisée et sous plantée. Elle s'est différenciée par une augmentation de sa densité en nombre d'arbres avec des diamètres élevés. La plantation était presque réduite aux *Musa* sp., *Xanthosoma* sp. et *Syzygium aromaticum*. On y rencontrait à la fois des arbres natifs et des arbres non-natifs (Tableau 1). Généralement, cette sous-classe se trouvait entre 800 m et 1200 m d'altitude. Les meilleures densités d'arbres ont été rencontrées dans des zones abandonnées et dans les zones où l'agriculture occupait moins de 40 % des sols.

Sous-classe 1c : Plantation des Zones Moins Boisées

- 18 Elle est caractérisée par des plantations dans des zones boisées avec des arbres majoritairement non-natifs (Tableau 1). Les arbres fruitiers comme *Mangifera* sp., *Artocarpus* sp. ainsi que de culture de rente comme *Syzygium aromaticum* et *Cananga odorata* dominaient. Les champs abandonnés étaient nombreux et la végétation était dominée par des plantes envahissantes. Elle est située à des élévations inférieures à 800 m. La densité des arbres augmentait avec la diminution des activités agricoles.

Sous-classe 1d : Forêt Dégradée

- 19 C'est une forêt perturbée. La forêt dégradée s'est caractérisée par des zones de forte densité d'arbres natifs à canopée semi-fermée (Tableau 1). Les traces des pressions humaines étaient visibles : des arbres coupés, des sentiers et des espaces ouverts. Cette sous-classe n'était pratiquement pas une zone agricole, mais dans certaines zones de l'île, on a assisté à de nouvelles traces des pratiques agricoles.

Classe 2 : Agroforêt Dense de Moyenne Altitude

- 20 C'est une zone de plantation des cultures vivrières et annuelles en alternance avec des arbres plantés et fruitiers. Elle était caractéristique de gros arbres généralement non-

natifs (Tableau 1). Les principaux arbres étaient *Syzygium aromaticum*, *Mangifera* sp., *Cocos nucifera*, *Cananga odorata*.

Classe 3 : Forêt Dense

- 21 C'est une forêt originale avec une végétation native. La forêt dense était aux altitudes de 994±255,01 m, avec plus de 90 % d'arbres natifs (Tableau 1). Il s'agissait des zones très boisées à canopée fermées et à forte densité d'arbres. L'agriculture y était totalement absente.

Tableau 1. Tableau comparatif des moyens des variables échantillonnées pour la composition des classes et sous-classes d'habitat / Comparison of mean values derived for each habitat class (and sub-class) for each measured variable.

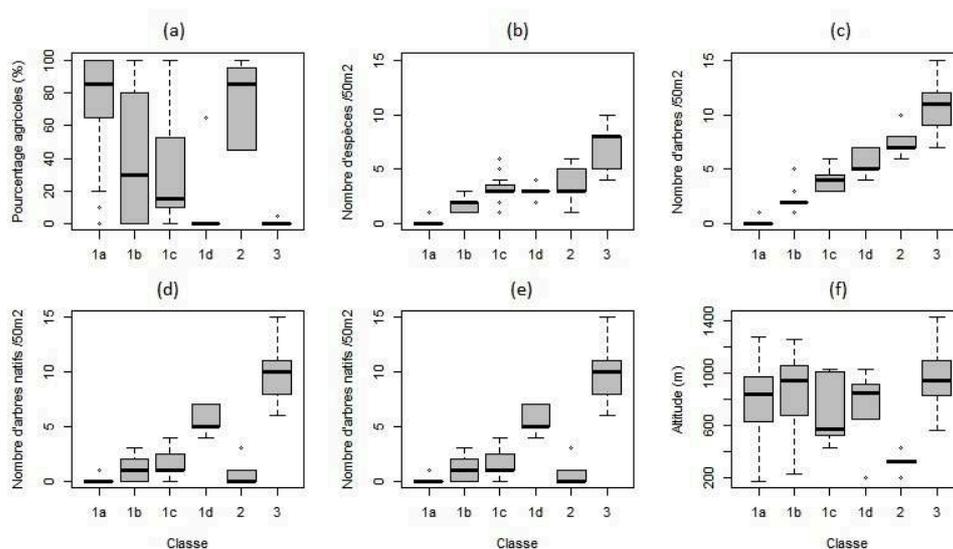
Classe :	Classe 1				Classe 2	Classe 3
Sous-classe :	1a (N =25)	1b (N =18)	1c (N =11)	1d (N =5)	(N =5)	(N =13)
Arbres /50 m²	0.1±0.3 0-1	2.2±0.8 1-5	4.1±1.1 3-6	5.6±1.5 4-7	7.6±1.3 6-10	11.9±1.8 7-5
Espèces d'arbres/50m²	0.1±0.3 0-1	1.8±0.6 1-3	3.2±1.3 1-6	4.3±1.6 2-4	3.6±1.9 1-6	7.2±1.9 4-10
Arbres natifs/50m²	0.1±0.3 0-1	1.2±1.0 0-3	1.6±1.43 0-4	5.7±1.3 4-7	0.8±1.3 0-3	11.1±2.2 6-15
Arbres non-natifs/ 50m²	0.0±0.0 0-0	0.7±0.7 0-2	2.3±0.5 2-3	0.0±0.00 0-0	6.4±1.0 0-8	0.6±0.5 0-1
DBH (cm)	3.8±10.4 0-39	24.4±14.3 0-55	22.8±16.5 0-55	23.4±8.2 13.5-33.3	29.6±6.6 20-36.6	21.6±12.1 0-53.3
Écartement des arbres (m)	46.2±35.5 3-150	30.5±25.1 3-100	26.0±15.1 3-50	19.6±16.0 4.5-66	15.3±6.5 7-22.5	13.7±11.6 4-39
Agriculture (%)	71.0±36.5 0-100	42.2±41.7 0-100	34.0±38.5 0-100	7.7±20.2 0-65	74.0±27.0 45-100	0.3±1.3 0-5
Altitude (m)	761.7±283.8 174-281	853.5±264.7 232-1265	732.0±2610 428-1034	728.8±325.2 200-1028	320.2±74.2 198-431	994.0±255 561-1431

Dans chaque cellule, on a présenté la moyenne dans la catégorie suivie de l'écart type et les valeurs minimales et maximales. DBH = diamètre à la hauteur de la poitrine d'observateur / Values presented here as mean ± standard deviation, as well as minimum and maximum values. DBH = diameter at breast height.

Comparaison multiple des classes et composition des espèces végétales

- 22 L'intensité des activités agricoles était différente dans les classes (Kruskal-Wallis, $X^2 = 32.60$, $df = 5$, $P < 0.01$). Les classes d'habitats principalement agricoles étaient la classe 2, et les sous-classes 1a, 1b et 1c par ordre décroissant de l'intensité des activités agricoles (Figure 5a). La sous-classe 1a avait le moins d'espèces d'arbres (Kruskal-Wallis $X^2 = 66.69$, $df = 5$, $P < 0.01$) (Figure 5b). Une régression multiple ($f = 481.2$, $df = 65$, $P < 0.01$) a montré que la densité des arbres augmentait dans la classe 3 et dans la sous-classe 1b. Elle diminuait dans les zones où l'on trouvait de gros arbres (Figure 5c). La sous-classe 1a était la moins dense (Kruskal-Wallis, $X^2 = 71.89$, $df = 5$, $P < 0.01$). La densité des arbres natifs était 2 fois élevée dans la classe 3 que dans la sous-classe 1d avec les densités moyennes de $11,1 \pm 2,2$ et de $5,7 \pm 1,3$ par 50 m^2 (Figure 5d). Celle des arbres non-natifs était importante dans la sous-classe 1c et dans la classe 2 (Figure 5e). La classe 2 était dans des altitudes inférieures à 600 m (Figure 5f).

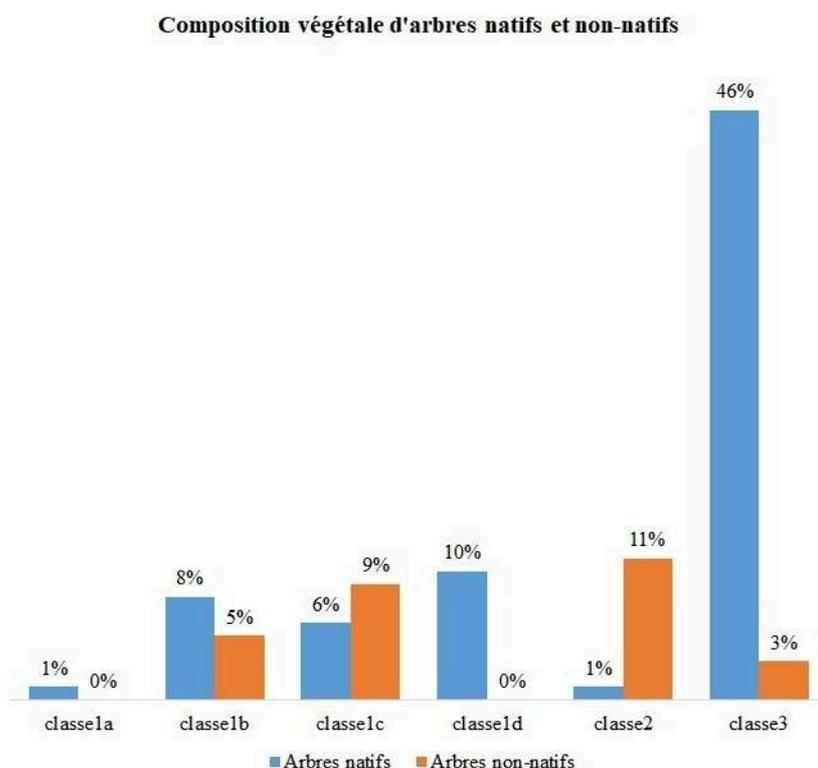
Figure 5. Comparaison des classes d'habitat par les variables.



Les barres noires illustrent la médiane, les zones grises correspondent au profil de la distribution des scores d'une variable entre le quartile inférieur et supérieur.

- 23 Les arbres natifs ont représenté 72 % dont 46 % étaient dans la classe 3. Les arbres non-natifs étaient davantage rencontrés dans la classe 2 et dans la sous-classe 1c avec les densités de $6,4 \pm 1,0$ et de $2,3 \pm 0,5$ par 50 m^2 . Ils présentaient respectivement 11 et 9 % (Figure 6) et étaient composés généralement d'arbres fruitiers et d'arbres de rente. La classe 1d et la classe 1a n'avaient pratiquement pas d'arbres non-natifs.

Figure 6. Répartition de la composition végétale d'arbres natifs et non-natifs dans les classes d'habitat.



Discussion

Classification et composition des classes d'habitat

- 24 La classification ascendante hiérarchique (CAH) a partitionné la couverture végétale en six classes d'habitats. En accord avec notre hypothèse, à l'exception des classes des forêts denses et des forêts dégradées, toutes les classes avaient des activités agricoles. Les pratiques agricoles dominaient dans les basses et moyennes altitudes. Comme trouvées dans une étude précédente aux Comores, les exploitations agricoles des basses altitudes étaient concentrées dans les zones d'altitude inférieure à 600 m, et les zones d'altitude entre 500 m et 900 m étaient consacrées à des systèmes à base de cultures vivrières (Frenken, 2005). Les zones réservées aux cultures vivrières étaient associées à une strate arborée où dominaient *Cocos nucifera*, *Syzygium aromaticum*, *Musa* sp., et des cultures de rente (Frenken, 2005). Dans certaines zones forestières, nous avons assisté à la mise en place de nouveaux champs au-delà de 900 m. Les plantations des zones ouvertes de haute altitude étaient constituées de plantations vivrières (Frenken, 2005) et quelques fois des cultures maraîchères. Cela était probablement dû aux conditions climatiques favorables à la localisation dans les hauts plateaux vers le centre de l'île et à cause de la proximité des villages (Sibelet, 1995).
- 25 En opposition, les plantations des zones moins boisées et de l'agroforêt dense de moyenne altitude étaient composées exclusivement de plantations vivrières et de plantations annuelles. Ces deux dernières classes, les plus souvent rencontrées dans les basses et moyennes altitudes, ont constitué les principales zones d'exploitations agricoles et économiques. Elles étaient souvent sur les pentes et exposées à l'érosion et

à la rareté des sources d'eau. La proximité de ces deux classes avec les villages a favorisé la présence des fortes densités d'arbres fruitiers ainsi que les plantations de rentes telles que le *Syzygium aromaticum* et *Cananga odorata*.

- 26 Nos résultats indiquent que les activités agricoles sont en effet un facteur déterminant de la dégradation, comme cela a été constaté précédemment : une disparition importante des forêts denses était au profit des zones d'agriculture qui ont augmenté de 19 % entre 1995 et 2014 (Boussougou et al., 2015). Comme à Madagascar, la proximité des villages entraînait des taux de déforestation importants (Ranaivonasy et al., 2016). La proximité des villages pouvait également augmenter l'abattage des arbres (Mirhani, et al., 2014). À Anjouan, seulement les zones difficilement accessibles et loin des zones habitées avaient de fortes densités d'arbres (Doulton et al., 2016). La déforestation autour des villages pourrait également avoir affecté la richesse des espèces. (Fischer, et al., 2011). Dans les basses et moyennes altitudes, les pressions humaines ont réduit la diversité des espèces (Doulton et al., 2016). Dans les altitudes, les villages enclavés pourraient en grande partie expliquer la perte des habitats naturels. La richesse spécifique était aux classes de la couverture végétale. Comme il était supposé, il est prouvé que les habitats les plus diversifiés étaient dans les altitudes élevées. Or, de précédentes études (Grytnes et Vetaas, 2002 ; Hortal et al., 2013) ont démontré que la richesse spécifique pouvait décroître avec l'augmentation de l'altitude. Dans les hautes altitudes, quel que soit l'espace disponible, la possibilité des espèces d'y vivre décroît d'une façon disproportionnée.

Limites et perspectives

- 27 Bien que nous voulions couvrir une variété d'habitats et de zones sur l'île d'Anjouan afin de maximiser les pouvoirs descriptifs de cette étude, nous reconnaissons que la méthodologie présentait certaines limites. La topographie de l'île avait empêché la mise en place des carrés d'une façon semi-systématique, et les plots étaient établis à proximité des chemins. Cet emplacement pourrait influencer les résultats. En raison d'accessibilité, les carrés de 25 m x 2 m soit 50 m² se sont avérés petits pour offrir un maximum d'informations. Il est nécessaire d'étendre cette étude avec l'utilisation des meilleures techniques et écartés des chemins habituels. Ceci permettra l'accès à des informations sur les impacts humains tels que la coupe de bois, le feu, l'élevage, les zones de pâturages, et ce, en tenant compte des espèces clés d'arbres forestiers.
- 28 Malgré cela, nous avons essayé de donner un aperçu complet de l'état des habitats à Anjouan, aux Comores. Les résultats indiquent une prédominance des activités agricoles dans le paysage. La densité et les espèces d'arbres sont influencées par le type d'agriculture présent. Étant donné que les arbres indigènes existent dans ces paysages, il est nécessaire de mieux comprendre la durabilité des pratiques agricoles au fil du temps.
- 29 Des études approfondies sur l'exploitation, la régénération et la distribution des espèces indigènes et endémiques sont nécessaires pour mieux examiner l'équilibre de viabilité des espèces. De telles études vont fournir des informations de base qui permettront d'orienter des actions de conservation de la biodiversité et d'une gestion durable et adaptée des zones forestières.

Conclusion

- 30 Il s'agit de la première étude sur la classification statistique de la couverture végétale d'Anjouan. Les résultats constituent une base pour l'élaboration d'une carte géographique de la couverture forestière. Cette étude nous a aussi permis de démontrer l'urgence de prendre des mesures concrètes pour éviter l'extermination de la forêt naturelle. Une gestion efficace de la conservation est souvent difficile, mais nous proposons des mesures de restauration pour diminuer l'effet de l'exploitation agricole sur la biodiversité native :
- 31 Sensibiliser, éduquer sur l'importance écologique, la protection et la sauvegarde de la forêt et sa richesse. Il s'agit en outre de faire reconnaître aux paysans leurs droits sur leur terre.
- 32 Renforcer les lois pour empêcher les gens de détruire la forêt. L'état doit mettre en place l'application avec efficacité des législations qui protègent réellement la forêt. Des systèmes de suivi et de contrôle doivent être confiés aux paysans qui devront être assistés par l'État ou les structures administratives décentralisées pour être responsabilisés.

Remerciements

- 33 Nous tenons à remercier l'ONG Dahari qui a facilité les travaux de recherche sur le terrain jusqu'à l'obtention de ces données. Notre profonde reconnaissance s'adresse à Isabella Mandl pour ses multiples conseils très pertinents et sa facilitation au manuscrit. Nos vifs remerciements s'adressent à Jonah Ratsimbazafy et à Steven M. Goodman pour leurs remarques et conseils. Cette étude a pu être réalisée grâce au soutien des partenaires de Dahari à Durrell Wildlife Conservation Trust et Bristol Zoological Society, et les financements du Critical Ecosystem Partnership Fund, de l'Initiative Darwin, et du PNUD/GEF à travers le PoWPA envers lesquels nous sommes très reconnaissants.

BIBLIOGRAPHIE

Austin, K. G., González-Roglich, M., Schaffer-Smith, D., Schwantes, A. M., et Swenson, J. J., 2017, Trends in size of tropical deforestation events signal increasing dominance of industrial-scale drivers, *Environmental Research Letters*, 12, 5, pp. 054009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6a88>

Boussougou, G. B., Brou, Y. T., et Mohamed, I., 2015, Changements de la couverture forestière dans l'île d'Anjouan entre 1995 et 2014, Dans *Spatial analysis and geomatics conference*, SAGEO 2015 (pp. 194-207). Hammamet, Tunisia. Repéré à <http://hal.univ-reunion.fr/hal-01478236>

- Carrero, G. C. et P. M. Fearnside, 2011, Forest Clearing Dynamics and the Expansion of Landholdings in Apuí, a Deforestation Hotspot on Brazil's Transamazon Highway, *Ecology and Society*, 16, 2, pp. 26.
- Charmoille, A., 2013, Ebauche du fonctionnement hydrogéologique de l'île d'Anjouan (Comores). Mutsamudu-Anjouan : ONG AVSF, ONG Dahari. Repéré à <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01465276>
- Davies, R., 2006, Guide des plantes ligneuses des Comores : Arbres, arbustes et lianes. Moroni : Archives des services agricoles comoriens, Unions des Comores.
- Doulton, H., M. Mohamed, G. Shepherd, S. Mohamed et B. Ali, 2016, La concurrence d'usage des terres dans un petit état insulaire en développement : Utiliser une approche paysage pour engendrer des résultats durables aux Comores, Dans XIV Congrès mondial forestier (Vol. 67, pp. 31-38). Durban, Afrique du Sud : Revue internationale des forêts et des industries forestières.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2016, Situation des forêts du monde. Forêts et agriculture : Défis et possibilités concernant l'utilisation des terres. Rome : FAO.
- Fischer, A., M. Blaschke et C. Bäessler, 2011, Altitudinal gradients in biodiversity research : The state of the art and future perspectives under climate change aspects, *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz*, 11, pp. 35-47.
- Frenken, K., 2005, L'irrigation en Afrique en chiffres : Enquête Aquastat (Vol. 29), Comores : FAO, [En ligne] URL : http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/africa/figurescontinentfra.pdf
- Goodman, S. M., Y. Anbdou, Y. Andriamiarantsoa, B. L. Fisher, O. Griffiths, B. Keitt et J. Jacques, 2017, Results of a biological inventory of the Nosy Ankaos island group, Parc National de Loky-Manambato, northeastern Madagascar, *Malagasy Nature*, 11, pp. 1-59.
- Grytnes, J. A. et O. R. Vetaas, 2002, Species richness and altitude : A comparison between null models and interpolated plant species richness along the Himalayan altitudinal gradient, Nepal, *The American Naturalist*, 159, 3, pp. 294-304, doi : <https://doi.org/10.2307/3079080>
- Hortal, J., L. M. Carrascal, K. A. Triantis, E. Thébault, S. Meiri, et S. Sfenthourakis, 2013, Species richness can decrease with altitude but not with habitat diversity, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 24, pp. E2149-E2150, doi : <https://doi.org/10.1073/pnas.1301663110>
- Husson, F., J. Josse, S. Le et J. Mazet, 2018, Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining, [En ligne] URL : <https://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/FactoMineR.pdf>
- Husson, F., J. Josse et J. Pages, 2010, Principal component methods-hierarchical clustering-partitional clustering : Why would we need to choose for visualizing data. Applied Mathematics Department : Agrocampus.
- Kassambara, A., 2017, Practical guide to principal component methods, dans : R PCA, M (CA), FAMD, MFA, HCPC, factoextra (Vol. 2), (S.l.) : STHDA.
- Keenan, R. J., G. A. Reams, F. Achard, J. V. de Freitas, A. Grainger et E. Lindquist, 2015, Dynamics of global forest area : Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015, *Forest Ecology and Management*, 352, pp. 9-20, doi : <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.014>
- Lê, S., J. Josse et F. Husson, 2008, FactoMineR : An R Package for Multivariate Analysis, *Journal of Statistical Software*, 25, 1, pp. 1-18, doi : <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- MacDicken, K., Ö. Jonsson, L. Piña, S., Maulo et R. D'Annunzio, 2016, Évaluation des ressources forestières mondiales 2015 : Comment les forêts de la planète changent-elles ? Rome : FAO.

Mendiburu, F. de, 2017, *Agricolae tutorial* (Version 1.2-6). Peru : Universidad Nacional Agraria La Molina.

Minten, B., K. Sander et D. Stifel, 2013, *Forest management and economic rents : Evidence from the charcoal trade in Madagascar*, *Energy for Sustainable Development*, 17, 2, pp. 106-115, doi : <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.08.004>

Mirhani, N., A. N. Taïbi, A. Ballouche, et R. Théodore, 2014, *Impacts de la déforestation sur la perturbation des régimes hydrologiques des fonds de vallées de deux bassins versants de l'île d'Anjouan aux Comores. Mythe ou réalité ?* (S.l.) : (s.n.).

Mittermeier, R. A., W. R. Turner, F. W. Larsen, T. M. Brooks et C., Gascon, 2011, *Global biodiversity conservation : The critical role of hotspots*, Dans F. E. Zachos & J. C. Habel (Éds), *Biodiversity Hotspots*, (S.l.) : Springer Berlin Heidelberg, pp. 3-22, doi : https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5_1

Nelson-Tunley, M., M. Morgan-Richards et S. A. Trewick, 2016, *Genetic diversity and gene flow in a rare New Zealand skink despite fragmented habitat in a volcanic landscape*, *Biological Journal of the Linnean Society*, 119, 1, pp. 37-51, doi : <https://doi.org/10.1111/bij.12807>

R Core Team, 2017, *R : A language and environment for statistical computing*. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria, [En ligne] URL : <https://www.R-project.org/>.

Rakotomalala, J. E., S. Proctor, D. Rakotondravony, F. Rakotondraparany, J.-L. Raharison et M. T. Irwin, 2017, *Influence des caractéristiques forestières et des perturbations anthropogéniques sur la distribution des lémurien de la forêt classée*, *Malagasy Nature*, 12, pp. 16-31.

Ranaivonasy, J., J. Ratsirarson, et N. Rasamimanana, 2016, *Dynamique de la couverture forestière dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly et ses environs*, *Malagasy Nature*, 10, pp. 15-24.

Ratsisompatrarivo, J.-S. et V. A. Rasoamampianina, 2016, *Conservation de la Biodiversité et Réduction de la Pauvreté à Madagascar*, *Network of Conservation Educators and Practitioners, Center for Biodiversity and Conservation, American Museum of Natural History*, 6, pp. 30-61.

Sibelet, N., 1995, *L'innovation en milieu paysan ou la capacité des acteurs locaux à innover en présence d'intervenants extérieurs : Nouvelles pratiques de fertilisation et mise en bocage dans le Niumakélé (Anjouan Comores)*, Thèse de doctorat, Institut national agronomique, Paris-Grignon.

Tershy, B. R., K.-W. Shen, K. M. Newton, N. D. Holmes et D. A. Croll, 2015, *The Importance of Islands for the Protection of Biological and Linguistic Diversity*, *BioScience*, 65, 6, pp. 592-597, doi : <https://doi.org/10.1093/biosci/biv031>

Vaissie, P., A. Monge et F. Husson, 2017, *Perform Factorial Analysis from « FactoMineR » with a Shiny Application*. R package version 1.0.6 : (s.n.), [En ligne] URL : <https://CRAN.R-project.org/web/packages/Factoshiny/Factoshiny.pdf>

Vieilledent, G., C. Grinand, F. A Rakotomalala, R. Ranaivosoa, J.-R. Rakotoarijaona, T. F Allnutt et A. Frédéric, 2018, *Combining global tree cover loss data with historical national forest cover maps to look at six decades of deforestation and forest fragmentation in Madagascar*, *Biological Conservation*, 222, pp. 189-197, doi : <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.04.008>

RÉSUMÉS

Avant la colonisation humaine de l'archipel des Comores, l'île d'Anjouan était couverte de forêt. Aujourd'hui, seuls quelques vestiges de forêts primaires subsistent sur des pentes escarpées et

inaccessibles. Sous les pressions humaines, la perte des forêts au profit des zones agricoles continuait d'une façon exponentielle. La présente étude a examiné la végétation de l'île pour déterminer les types d'habitats qu'on pouvait trouver à Anjouan. En 2010, nous avons collecté des données liées aux arbres, à l'exploitation agricole et à l'altitude pour partitionner la couverture végétale en différentes classes. Nous avons utilisé l'Analyse en composante principale (ACP) et la Classification ascendante hiérarchique (CAH). Six classes d'habitats ont été identifiées : la classe des plantations des zones ouvertes de haute altitude, la classe des plantations des zones moins boisées, la classe de l'agroforêt dense de moyenne altitude, la classe de la forêt sévèrement dégradée et sous-plantée, la classe de forêt dégradée, et la classe de forêt dense humide. Les quatre premières sont associées aux activités agricoles. Des différences significatives entre les classes ont été observées pour les densités des arbres (natifs ou non-natifs), la diversité des espèces et les niveaux d'exploitations agricoles. La densité des arbres augmentait avec l'altitude, tandis que la diversité en espèces était liée à la classe de la couverture végétale. Les types d'exploitation agricole étaient liés à la classe d'habitat et à la localisation dans l'altitude. Cette étude sera utilisée pour la planification de la gestion des zones agroforestières et la mise en place des actions de conservation pour les habitats forestiers.

The second largest island of the Comoros archipelago, Anjouan, was covered by forest before human colonization, whereas today only a few forest fragments remain on steep and inaccessible slopes. Under human pressure, the loss of forests to make place for agricultural areas continues. The present study investigated the vegetation of Anjouan to determine which habitat types can be found on the island. In 2010, we collected data on vegetation composition using a plot-based methodology. Two types of analyses were used to partition the habitat into different classes : principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA). Six habitat classes were identified : plantations in high altitude open areas, plantations in less wooded areas, low altitude agroforestry, severely degraded and under-planted forest, degraded forest and dense natural forest. The first four classes were associated with agricultural activities in varying intensities. Significant differences between habitat classes were distinguished by Kruskal-Wallis tests for tree densities (native and non-native), species diversification, and level of agricultural exploitation. The findings show that the vegetation cover in Anjouan is marked by human exploitation, which requires monitoring to avoid over-exploitation of the last remaining natural forests on the island. The results of this study will be used for the agroforestry management planning and the implementation of conservation actions for forest habitats on the island.

INDEX

Mots-clés : usage de la forêt, classification d'habitat, l'exploitation agricole, gestion des zones Comores, îles de l'Océan indien

Keywords : forest use, habitat classification, agricultural exploitation, Comoros, Indian Ocean islands

AUTEURS

HOU MADI AMÉLAÏD

Responsable du suivi évaluation et de l'écologie, ONG Dahari, B.P. 277 Mutsamudu Anjouan,
Union des Comores, courriel : amelaidh@yahoo.fr

PASCAL FUST

Assistant de recherche, Université Leuphana, Universitaetsallee 1 - 21335 Lueneburg, Allemagne,
courriel : pascalfust@gmail.com

KATHLEEN GREEN

Bristol Zoological Society, BS8 3HA, Royaume-Uni, courriel : katiegreenuk@gmail.com

MOHAMED DANIEL

Technicien-Ecologie, ONG Dahari, B.P. 277 Mutsamudu Anjouan, Union des Comores, courriel :
danielmohamedsalim@gmail.com

ISHAKA SAID

Technicien-Ecologie, ONG Dahari, BP 277 Mutsamudu Anjouan, Union des Comores, courriel :
ishakasaid03@gmail.com

JOELISOA RATSIRARSON

Professeur, Département des eaux et forêts, École supérieure des sciences agronomiques,
Université d'Antananarivo, B.P. 175 Antananarivo 101, Madagascar, courriel :
joelisoa.ratsirarson@univ-antananarivo.mg

STEEVES BUCKLAND

Wildlife Conservation Society (WCS RD), B.P. 14537 Brazzaville, Congo Kinshasa, courriel:
stvsbuckland@gmail.com