

Saussurea

Journal de la Société botanique de Genève

53

Société fondée en 1875

2024

Saussurea

Journal de la Société botanique de Genève
Société fondée en 1875

Adresse : Société botanique de Genève
c/o CJBG
Case postale 71
CH-1292 Chambésy/GE (Suisse)
Web : www.socbotge.ch
E-mail : saussurea@socbotge.ch

Comité de la Société botanique de Genève pour 2023-24

Présidente : Catherine LAMBELET-HAUETER
Trésorier : Andreas FINK
Secrétaire : Pierre BOILLAT
Rédacteur de Saussurea : Bernard SCHAETTI
Rédacteur adjoint de Saussurea : Ian BENNETT
Responsables site web : Pierre BOILLAT, Ian BENNETT
Autres membres du comité : Frédéric SANDOZ

Les collaborateurs pour ce numéro sont les suivants :

Relecture : Bernard SCHAETTI
Maquette et mise en page : Ian BENNETT

Impression : à Genève par Look Graphic (<http://www.look-graphic.com>)

Toute correspondance concernant les publications doit être adressée au rédacteur.

Date de parution : Février 2025

© Société botanique de Genève, 2025

Saussurea est disponible intégralement et gratuitement en ligne depuis le n° 40 (2010).

Lien : <https://socbotge.ch/publications>

Saussurea est référencé dans EBSCO Essentials™

Étude floristique et biogéographie du massif forestier montagneux du Sorata (nord de Madagascar)

par Alessandra Havinga¹, Iharivolana², Patrick Ranirison² & Louis Nusbaumer¹

¹ Université de Genève – Department of Plant Sciences & Conservatoire et Jardin botaniques de de Genève, ch. de l'Impératrice 1, C.P. 71, 1292 Chambésy, Switzerland
Email : alessandra.havinga@gmail.com, louis.nusbaumer@geneve.ch

² Mention Biologie et Ecologie Végétales, Université d'Antananarivo, BP 906, Antananarivo 101, Madagascar & Association Famelona, BP 3972, Antananarivo 101, Madagascar

Résumé

Havinga A., Iharivolana, Ranirison P. et Nusbaumer L. (2024). Étude floristique et biogéographie du massif forestier montagneux du Sorata (nord de Madagascar), *Saussurea*, 52, p. 181–194.

Madagascar a toujours suscité l'intérêt des botanistes par sa richesse en biodiversité et son taux d'endémisme impressionnant. Cependant, de nombreuses régions restent méconnues et sous-inventoriées, rendant difficile la mise en place de mesures de protection. Situé à l'extrême nord de la chaîne de montagne longeant le côté est de l'île, le Sorata fait partie de ces régions méconnues et menacées par les activités anthropiques, et sert probablement de relai de migration d'espèces montagnardes entre le nord et le sud. Cette étude a pour but la réalisation d'une liste floristique du Sorata ainsi qu'une étude biogéographique, afin d'obtenir des arguments scientifiques pour renforcer son statut de protection. Ainsi, 1052 récoltes d'herbier ont pu être effectuées lors des missions de terrain et 547 espèces ont été identifiées. Considérant les échantillons qui n'ont pu être déterminés et la superficie restant à prospecter, on estime à que le massif est composé d'au moins 1000 espèces de plantes vasculaires. Parmi elles, 40 nouvelles espèces pour la science ont été mises en évidence. Les analyses phytogéographiques, par l'analyse de la distribution mondiale et malgache des espèces présentes au Sorata, ont également permis de faire des découvertes importantes. En effet, 11 nouvelles occurrences ont été observées dans le Domaine phytogéographique du Centre, dont 2 n'étaient connues que de localités situées à plus de 1000 km au Sud du Sorata. Certaines espèces considérées jusque-là comme endémiques du Marojejy et de la Montagne d'Ambre (Domaine du Centre) ont été découvertes au Sorata.

Ces résultats ont ainsi montré que le Sorata possède un endémisme local important, tout en partageant de nombreuses affinités phytogéographiques avec les autres domaines, soutenant l'hypothèse qu'il s'agit d'une zone importante de relai pour permettre la migration des espèces à travers l'île. Ces résultats ont été transmis aux autorités locales et aux gestionnaires des réserves concernées, afin de servir d'arguments pour renforcer le statut de protection du Sorata et améliorer la gestion de l'aire protégée au quotidien.

Mots-clés

Madagascar
Sorata
COMATSA Nord
liste floristique
flore du Domaine du Centre
biogéographie
biodiversité
endémisme
espèces nouvelles
conservation

Abstract

Havinga A., Iharivolana, Ranirison P. et Nusbaumer L. (2024). Floral and biogeographic study of the Sorata mountain forest area (North Madagascar), *Saussurea*, 52, p. 181–194.

Madagascar has long attracted the interest of botanists due to its rich biodiversity and impressive rate of endemism. However, numerous regions remain poorly understood and under-surveyed, complicating efforts to implement protective measures. Located at the northernmost part of the mountain range running along the island's eastern side, the Sorata region is one of these understudied areas, threatened by human activities, and likely serves as a migration corridor for mountain species between the northern and southern parts of the island. This study aims to compile a floristic inventory of Sorata and conduct a biogeographic analysis to provide scientific evidence supporting the strengthening of its protective status. As a result, 1,052 herbarium collections were made during field missions, and 547 species were identified. Considering undetermined samples and areas yet to be explored, it is estimated that the massif comprises at least 1,000 vascular plant species. Among them, 40 species new to science were discovered. Phytogeographic analyses, through the study of the global and Malagasy distribution of species present in Sorata, have also led to significant discoveries. Notably, 11 new occurrences were observed in the phytogeographical Central Domain, including two species previously known only from locations over 1,000 km south of Sorata. Some species previously thought to be endemic to Marojejy and Montagne d'Ambre (Central Domain) were identified in Sorata, as well as two endemic species from Loky Manambato and Ankarana (Western Domain) and Kalabenono (Sambirano Domain).

These results demonstrate that Sorata has high local endemism while also sharing numerous phytogeographic affinities with other domains, supporting the hypothesis that it may be an important migratory corridor facilitating species movement across the island. These findings have been shared with local authorities and reserve managers to support arguments for strengthening Sorata's protective status and enhancing the daily management of the protected area.

Keywords

Madagascar
Sorata
COMATSA Nord
floristic list
Central Domain
biogeography
biodiversity
endemism
new species
conservation

Introduction

Bien que couvrant moins de 10 % de la surface totale des terres émergées, les forêts tropicales sont essentielles pour le maintien de la biodiversité (MAYAUX *et al.*, 2005). En effet, ces dernières contiennent plus de deux tiers de la diversité terrestre (GARDNER *et al.*, 2009). Cependant, il s'agit également du biome le plus menacé par la déforestation, d'où la nécessité urgente de le protéger (CROWTHER *et al.*, 2015). Madagascar ne fait pas exception à cette richesse tropicale impressionnante. Cette île gigantesque de 587 000 km² contient un impressionnant taux d'endémisme, atteignant 82% pour les plantes à fleur (CALLMANDER *et al.*, 2011). En effet, 5 familles et 310 genres de plantes sont uniquement présents à Madagascar. De nombreuses espèces sont encore à découvrir et à décrire, c'est pourquoi Madagascar a été qualifié de « darkest hotspot » (ONDO *et al.*, 2024), reprenant également le concept de « hottest hotspot » de Myers (MYERS *et al.*, 2000), calculé à partir du taux d'endémisme et de pression de déforestation. En effet, environ 44% des forêts naturelles de l'île ont disparu depuis 1953, dont 37 % depuis 1973 (VIEILLEDENT *et al.*, 2018). Un problème doublement alarmant, qui provoque à la fois l'accélération du réchauffement climatique, via la perte de la capacité du stockage du carbone des forêts (BRINCK *et al.*, 2017), et également l'extinction de nombreuses espèces. ALLNUTT *et al.* (2008) ont estimé qu'entre 1950 et 2000 Madagascar a perdu 9,1 % de sa biodiversité totale à cause de la déforestation. Il est donc plus que nécessaire de mettre en place des programmes de conservation en collaboration avec les populations locales et en se basant sur des arguments scientifiques.

Zone d'étude

Le nord de Madagascar fait partie des régions les plus complexes de l'île du point de vue biogéographique, en raison d'effets orographiques notamment, générant plusieurs microclimats différents (RAKOTOVAO *et al.*, 2006). Le nord est par ailleurs composé de cinq des six domaines phytogéographiques reconnus pour Madagascar (HUMBERT, 1955): le Domaine de l'Est, le Domaine du Centre (incl. le Domaine des Hautes Montagnes), le Domaine du Sambirano et le Domaine de l'Ouest. Nous nous sommes focalisés sur un massif forestier localisé à l'extrême nord de la grande chaîne de montagnes longeant Madagascar: le Sorata (fig. 1). Sa localisation septentrionale le rend très intéressant, puisqu'il joue probablement un rôle clé dans la transition des taxons et des formations végétales entre les différents types de végétation et unités biogéographiques du nord de l'île. Il s'agit d'un massif méconnu botaniquement. De récentes expéditions au Sorata ont permis la découverte d'espèces de vertébrés nouvelles pour la science, dont huit espèces d'amphibiens et la plus petite espèce de caméléon au monde qui a fait la une des journaux (CRAMER *et al.*,

2008; SCHERZ *et al.*, 2015, 2017, 2018; RAKOTOARISON *et al.*, 2017, 2020; GLAW *et al.*, 2021), laissant présager des découvertes d'une ampleur similaire pour la flore. Finalement, le massif du Sorata n'avait pas de statut de protection jusqu'au début 2015 (RAMINOSOA, 2015). Il a été intégré à la « Réserve de Ressources Naturelles du Corridor Marojejy-Anjanaharibe Sud-Tsaratanàna » par le Décret n° 2015-782 du 28 avril 2015. L'aire protégée, surnommée COMATSA Nord (COMATSA comme CORridor MARojejy et TSAratanàna) (GOODMAN *et al.*, 2018), se trouve dans la catégorie IV « Réserve spéciale » de l'UICN (WAEBER *et al.*, 2019). Cependant, un certain nombre de menaces ont été répertoriées et pèsent sur l'ensemble de l'aire protégée, tels les incendies, la pratique de cultures sur brûlis (*tavy*), le pâturage en sous-bois, le nombre croissant d'espèces invasives, les exploitations minières et la déforestation. Cette dernière concerne tout particulièrement le Sorata, victime d'un taux de déboisement qui a énormément augmenté au cours des 10 dernières années (GOODMAN *et al.*, 2018).

Le présent travail a donc pour objectif la réalisation de la liste floristique du massif forestier du Sorata ainsi qu'une étude biogéographique afin d'explorer son rôle de corridor entre les grands domaines biogéographiques de Madagascar. Il s'agit d'arguments scientifiques essentiels pour permettre aux associations locales de conservation, avec qui nous collaborons, de protéger plus efficacement le massif et de trouver des financements pour atteindre cet objectif.

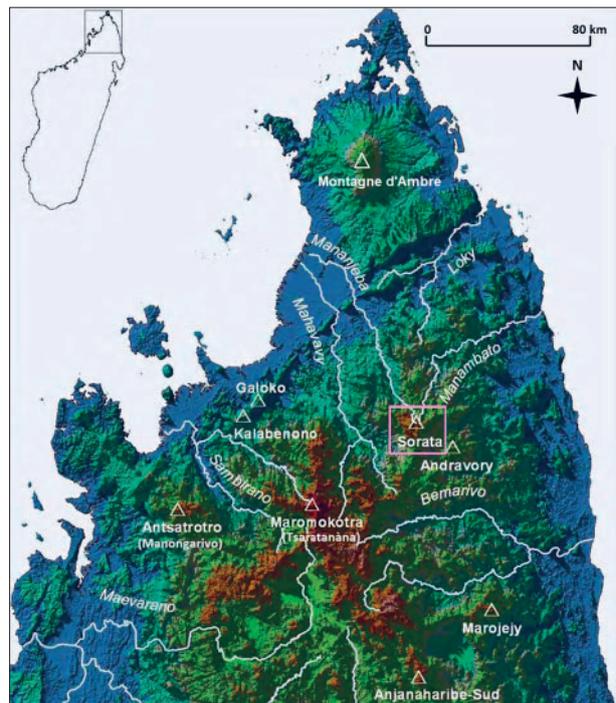


Fig. 1: Carte topographique du nord de Madagascar avec localisation du massif forestier du Sorata (encadré en rose) et des principaux massifs avoisinants (modifié d'après RAKOTOVAO *et al.* 2006) faisant partie de la région des Montagnes du Nord (HUMBERT 1955).

Méthodes

Inventaire floristique

L'inventaire floristique a pris en considération toutes les récoltes connues réalisées au Sorata jusqu'à mars 2022. La première étape a été la recherche et la saisie des récoltes des projets précédents. Puis l'analyse et l'intégration de celles obtenues par 4 mois de missions de terrain au Sorata. Quatre nouveaux campements ont ainsi été établis, maximisant la superficie de la forêt couverte par les prospections botaniques ainsi que la diversité des milieux environnementaux prospectés (pente, exposition, altitude, substrat, distance aux rivières, encaissements des vallées, etc.) (fig. 2). Les récoltes étaient réalisées de manière itinérante, à l'affût d'échantillons fertiles (en fruits ou en fleurs pour les angiospermes, en graine pour les gymnospermes, et en spore pour les fougères et les cryptogames). Lors de la réalisation de chaque récolte, le milieu était premièrement pris en photo et décrit dans un carnet de récolte avec les coordonnées GPS du point de récolte. Ainsi, la date, les collecteurs.trices, le pays, la région, le massif, le substrat, la station, la pente, l'orientation, l'altitude étaient renseignées et la récolte se trouvait attribuée à un numéro de récolte avec les initiales du/de la collecteur.trice principal.e. Les parties stériles et fertiles de la récolte étaient également photographiées, et les caractères biologiques décrits dans le carnet, en particulier ceux qui ne seront plus observables une fois l'échantillon pressé et séché (odeur, couleur, forme 3D, présence de latex, hauteur de la plante...) (fig. 3). D'autres remarques comme l'observation de pollinisateurs ou herbivores ainsi que les connaissances de nos assistants sur la plante (nom vernaculaire, propriétés...) ont également été notées. Chaque spécimen a été récolté en quatre exemplaires, lorsque la population était suffisamment importante pour minimiser l'impact des récoltes.



Fig. 2: Image satellite du massif forestier du Sorata ainsi que du massif forestier d'Andravory et distribution des campements du Missouri Botanical Garden (MBG) en 2007 (repères bleus) ainsi que des quatre campements (repères rouges) de la mission du présent projet en 2021-2022 dans le massif forestier du Sorata.

L'identification des échantillons s'est faite provisoirement sur place, puis de manière plus approfondie dans les herbiers. Un total de 523 récoltes a pu être envoyé à 49 taxonomistes spécialistes d'une ou plusieurs familles ou d'un genre ou groupe de genres travaillant dans 18 herbiers internationaux, certains depuis plus de 45 ans sur leur groupe taxonomique de prédilection. Les taxons sans spécialistes actifs sont restés à Genève et ont été déterminés à l'aide de la *Flore de Madagascar* publiée dès 1936 par Humbert et ses collaborateurs et encore en cours (HUMBERT *et al.*, 1936), de la littérature, qui contenait parfois d'autres révisions plus récentes. Les déterminations faites ont ensuite été comparées avec les nombreuses planches d'herbier présentes à Genève (G), en particulier celles provenant des projets faits dans le nord de Madagascar ainsi que les planches d'herbier numérisées en ligne dans les bases de données du MNHN (Sonnerat, Muséum d'Histoire Naturelle de Paris) et JSTOR (base de données répertoriant des planches d'herbier).

Les espèces ont toutes été identifiées en suivant le système de classification proposé par APG IV (Angiosperm Phylogeny Group), qui classe les genres au sein des différentes familles en fonction des résultats obtenus par des analyses de phylogénies moléculaires (THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP, 2016).

Analyses biogéographiques

L'objectif des analyses biogéographiques menées est d'analyser la distribution mondiale et malgache des espèces présentes au Sorata et l'élaboration préalable de la liste floristique est nécessaire pour effectuer ces analyses. Seuls les taxons identifiés à l'espèce ou qui ressemblent à une espèce existante mais demeurent tout de même différent (aff.) ont été inclus dans la liste floristique des espèces utilisées pour les analyses biogéographiques, les spécimens non identifiés à l'espèce (sp.) ou à vérifier (cf.) ayant été exclus des analyses.

Afin d'obtenir la distribution de chaque espèce, les occurrences des espèces présentes dans la liste floristique ont été recherchées dans la base de données des Conservatoire et Jardin botaniques de Genève (CJBG) contenant notamment les données des récoltes des précédents inventaires et recherches effectuées à Madagascar ainsi que dans Tropicos, la base de données des spécimens d'herbiers du Missouri Botanical Garden (MBG), qui recense une grande partie des récoltes réalisées à Madagascar. Les occurrences ont ensuite été attribuées à différentes régions du Monde, ainsi qu'aux différents domaines phytogéographiques de Madagascar: Sb pour le Domaine du Sambirano, E pour le Domaine de l'Est, W pour le Domaine de l'Ouest, S pour le Domaine du Sud, HM pour le Domaine des Hautes Montagnes et C pour le Domaine du Centre (fig. 4). Le Domaine du Centre contient la région des Hauts-Plateaux ainsi que de nombreux massifs montagneux, dont le Sorata fait partie. Humbert a proposé une sous-division supplémentaire du Domaine du Centre en trois sous-



Fig. 3: Photos de terrain des missions dans le massif forestier du Sorata. De gauche à droite et de haut en bas: illustration de la prospection en étoile autour du campement « Sorata », chaque point représente un enregistrement dans le GPS; récoltes réalisées depuis le sol à l'aide de la gaule; récolte réalisée depuis le haut d'un arbre (Segy, notre assistant est entouré en rouge); photos des presses séchant les échantillons ainsi que les habits des chercheurs profitant du seul point sec du campement; campement d'Ampisarahana qui avait dû s'installer sur deux niveaux pour cause de forte pente et par manque de place, ici le coin cuisine du campement.

domaines, en raison de deux endroits de basses altitudes qui coupent la chaîne de montagnes de Madagascar, empêchant probablement la migration des espèces de hautes altitudes vers le nord ou le sud. Au nord, près de la latitude $-16,10^\circ$, se trouve donc le seuil du Mandritsara où l'altitude s'abaisse en dessous de 900 m et plus au sud, près de la latitude $-22,83^\circ$, se trouve le seuil de Menarahaka où l'altitude s'abaisse à moins de 800 m. Pour établir une terminologie claire, nous avons donc dénommé le Sous-Domaine du Centre-Sud (CS), soit la région se trouvant au sud du seuil de Menarahaka; le Sous-Domaine du Centre-Moyen (CM) qui se trouve enclavé entre les deux seuils, tandis que nous avons nommé Sous-Domaine du Centre-Nord (CN) celui qui se trouve au nord du seuil de Mandritsara. Finalement, une dernière division a été proposée à l'intérieur du Sous-Domaine du Centre-Nord: il s'agit du secteur des Montagnes du Nord (MN), également connu sous le nom de Secteur des Moyennes Montagnes du Centre-Nord d'après HUBERT (1955) qui inclut la Montagne d'Ambre (fig. 4).

En utilisant le logiciel ArcGIS Pro, les occurrences pour chaque espèce ont pu être attribuées à un domaine ou sous-domaine. Ainsi, une extraction pour chaque espèce a pu être réalisée, obtenant un résultat tel que: *Ficus brachyclada* Baker M[E, HM, SB, W, C], signalant que l'espèce est endémique de Madagascar

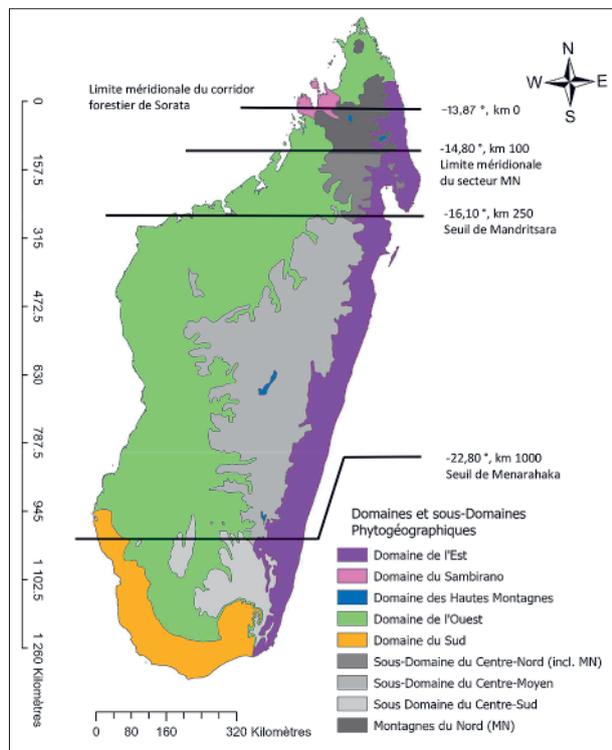


Fig. 4: Carte phytogéographique des différents Domaine et Sous-Domaines ainsi que le secteur des Montagnes du Nord délimités par HUBERT (1955). Les seuils de Mandritsara et Menarahaka y figurent ainsi que la limite méridionale du Corridor forestier du Sorata et du secteur des Montagnes du Nord. La distance en km à partir de la partie la plus méridionale du Sorata est également indiquée sur l'échelle de gauche.

où elle est présente dans le Domaine de l'Est, des Hautes Montagnes, du Sambirano, de l'Ouest et du Centre.

Résultats

Résultats floristiques

Durant les quatre mois de mission de terrain, 1052 récoltes ont été effectuées ce qui représente plus de 63 % des récoltes faites au Sorata (HAVINGA, 2023). Comme mentionné précédemment 523 récoltes ont pu être observées par des spécialistes, permettant une identification bien plus sûre des spécimens. Bien que la focalisation principale se concentrait sur les angiospermes, 60 ptéridophytes (PT) ont été récoltées, ainsi que 37 champignons au sens strict (FU), 11 lichens (ascomycètes lichenisés) (LI), 9 bryophytes (mousses au sens strict) (MU), 4 hépatiques (HE), 4 gymnospermes (GY), 3 lycophytes (LY) et 2 myxomycètes (MY). Au total, le nombre de récoltes totale du massif s'élève à 1655. Nous avons réalisé la liste floristique du massif forestier du Sorata qui continent actuellement 547 espèces, 375 genres et 133 familles différentes (les genres et les familles identifiées pouvant contenir des espèces indéterminées, mais correspondant en tous cas à une morpho-espèce soit une espèce clairement différente de ce qui a été identifié au niveau spécifique, mais ne correspondant à aucun taxon selon identification et comparaison d'après les photos et en herbier). Parmi les espèces identifiées au Sorata, les 5 familles les plus représentées sont les *Rubiaceae* avec 45 espèces, les *Orchidaceae* avec 40 espèces, les *Asteraceae* avec 30 espèces, les *Melastomataceae* avec 27 espèces et les *Euphorbiaceae* avec 25 espèces (fig. 5).

Plus de 60 % des espèces identifiées au Sorata ne possèdent pas de statut UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature). Les espèces possédant un statut (205 espèces) se retrouvent dans les catégories suivantes: Least Concern: 143 espèces (69.7 % des 205 espèces ayant un statut); Vulnerable:

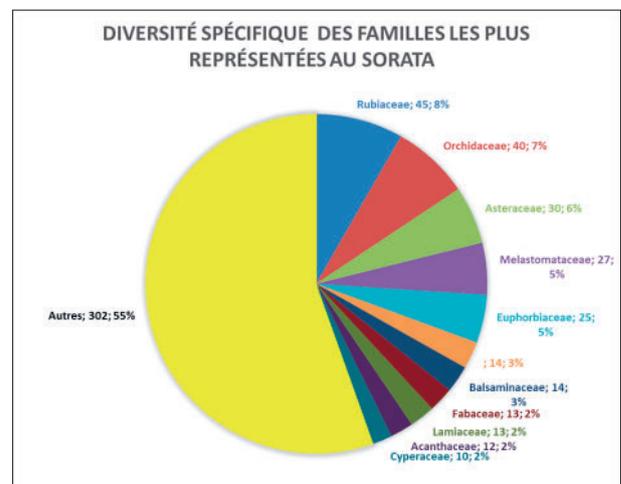


Fig. 5: Diversité spécifique des familles les plus représentées au Sorata (les occurrences dans les familles inférieures à 2% ont été classés dans la catégorie autres).



Fig. 6: Aperçu d'une partie des espèces nouvelles pour la science découvertes dans le massif forestier de Sorata. De gauche à droite et de haut en bas: *Tambourissa* sp. nov. 3 (*Monimiaceae*); *Sokinochloa* sp. nov. (*Poaceae*); *Monanthotaxis* sp. nov. (*Annonaceae*); *Danais* sp. nov. (*Rubiaceae*).

36 espèces (17.6 % des 205 espèces), *Near Threatened*: 12 espèces (5.9 % des 205 espèces) et *Endangered*: 14 espèces (6.8 % des 205 espèces).

Parmi toutes les espèces identifiées au Sorata, 40 ont été confirmée comme de nouvelles espèces pour la science par les taxonomistes spécialistes des groupes concernés (figs 6 et 7). Six espèces se trouvaient déjà en cours de description et ont été reconnues par les spécialistes qui pourront ajouter le Sorata comme nouvelle région d'occurrence de l'espèce dans leur publication en préparation. Il s'agit de *Melicope* sp. nov. (*Rutaceae*), *Labourdonesia* sp. nov. (*Sapotaceae*) une *Athyriaceae* (PT) également, dont le genre ne nous a pas été divulgué, *Schismatoclada tsaratananensis* ined. (*Rubiaceae*) et finalement, deux *Diospyros* sp. nov. et *Diospyros mucronata* Lowry, G.E Schatz, A.G. Linan & H.N. Rakouth (*Ebenaceae*) qui a été publié cette année (LINAN *et al.*, 2024).

La majorité des 34 autres nouvelles espèces pour la science se trouvent être des *Rubiaceae* et des *Impatiens*. Les *Rubiaceae* étant la famille la plus représentée dans les tropiques, il est normal de s'attendre à découvrir un nombre plus important d'espèces nouvelles d'un point de vue proportionnel. En revanche, la découverte d'un nombre si important d'*Impatiens* sp. nov. était plutôt inattendue et augmente considérablement le nombre de plantes vasculaires endémiques du Sorata. Selon

nos recherches, aucune espèce de plante nouvelle pour la science récoltée au Sorata (*locus classicus*) n'a jusqu'ici été décrite dans la littérature.

Résultats biogéographiques

Afin de ne pas biaiser les résultats de nos analyses phytogéographiques, toutes les occurrences présentes au Sorata ont été exclues des analyses pour ne pas créer systématiquement des occurrences pour chaque espèce dans le Domaine du Centre ou les Montagnes du Nord. Les 40 espèces nouvelles du Sorata ont donc été exclues. Pour certaines espèces identifiées, il a été impossible de trouver des données sur leur distribution mondiale, n'étant pas mentionnée dans la publication les décrivant, et ne sachant pas à quel point les occurrences présentes dans les bases de données en ligne étaient suffisamment informatives et complètes. Ainsi, 503 espèces ont été incluses dans ces analyses.

Concernant les affinités mondiales des espèces trouvées au Sorata, on observe que:

- 76 % de ces espèces sont endémiques de Madagascar;
- 6 % sont retrouvées en région malgache (comprenant les différentes îles de l'Océan Indien à proximité de Madagascar: Les Mascareignes, Les Comores, Les Seychelles) et à Madagascar;
- 6 % en Afrique tropicale, en région malgache et à Madagascar;



Fig. 7 : Aperçu de la diversité des espèces nouvelles d'*Impatiens* (*Balsaminaceae*) découvertes dans le massif forestier du Sorata. De haut en bas et de gauche à droite: *Impatiens* sp. nov. 8; *Impatiens* sp. nov. 12; *Impatiens* sp. nov. 4; *Impatiens* sp. nov. 2; *Impatiens* sp. nov. 3; *Impatiens* sp. nov. 5.

- 4 % seulement sont retrouvées dans l'espace pantropical;
- 3 % sont retrouvées en Afrique tropicale et à Madagascar mais pas en région malgache;
- 5 % d'espèces présentent d'autres distributions (par exemple: à Madagascar, en région malgache et en Océanie).

Les espèces du Sorata ont des affinités avec chacun des Domaines phytogéographiques de l'île, une espèce pouvant avoir des affinités avec plusieurs domaines (fig. 8). Sans surprises, le pourcentage d'occurrences le plus élevée est celui du Domaine du Centre, ce qui n'est pas étonnant puisque le Sorata en fait partie. La deuxième affinité la plus élevée est celle du Domaine de l'Est, dont les conditions sont les plus proches de celles du Domaine du Centre. En revanche, les occurrences des espèces récoltées au Sorata semble être plus présentes dans le Domaine de l'Ouest que dans le Domaine du Sambirano. Cela est étonnant puisque le Domaine du Centre partage plus de similarités, notamment écologiques, avec le Domaine du Sambirano qu'avec le Domaine de l'Ouest. Une hypothèse serait que le Sorata est plus proche en termes de distance du Domaine de l'Ouest que du Domaine du Sambirano. Ce dernier présente un endémisme élevé et une surface (ainsi que le périmètre de frontières communes avec le Domaine du Centre)

bien plus petits que celle du Domaine de l'Ouest (AMMANN, 2011). Finalement très peu d'occurrences d'espèces se trouvent dans le Domaine du Sud. Etant le Domaine phytogéographique le plus distinct du Centre, par ses températures très élevées, son climat aride et sa distance très éloignée, ce résultat n'est pas surprenant.

Deux manières d'affilier les espèces aux différents Domaines phytogéographiques ont été réalisées: une manière dite «classique», où les attributions ont été

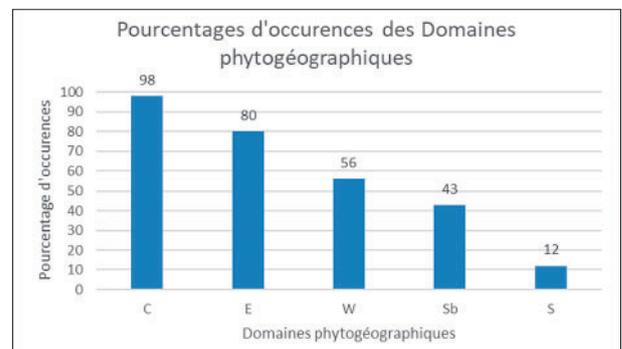


Fig. 8 : Pourcentage d'occurrences des espèces présentes au Sorata dans les différents Domaines phytogéographiques. C: Domaine du Centre, E: Domaine de l'Est, W: Domaine de l'Ouest, Sb: Domaine du Sambirano et S: Domaine du Sud. Comme une espèce peut avoir des affinités avec plusieurs domaines, la somme des pourcentages dépasse largement 100.

faites selon les occurrences dans les Domaines E, S, SB, W et C, et une manière plus détaillée comprenant les subdivisions du Domaine du Centre.

Parmi les 503 espèces étudiées, 278 sont largement distribuées dans la majorité des domaines de l'île, aux climats secs et humides, et peuvent être qualifiées de généralistes (fig. 9). Un total de 153 espèces sont retrouvées uniquement dans les domaines humides, 61 espèces sont endémiques du Domaine du Centre. A l'inverse, dans 11 cas, le Sorata constitue la première occurrence pour le Domaine du Centre, la distribution des espèces étant uniquement connue d'autres domaines avant cette étude. Deux espèces ont particulièrement retenues notre attention : *Dichaetanthera matitanensis* Jum. & H. Perrier et *Didymoplexis stella-silvae* Hermans auparavant uniquement retrouvées dans l'Andringitra à près de 1000 km au sud-est du Sorata, une distance considérable.

Parmi les 61 espèces endémiques du Domaine du

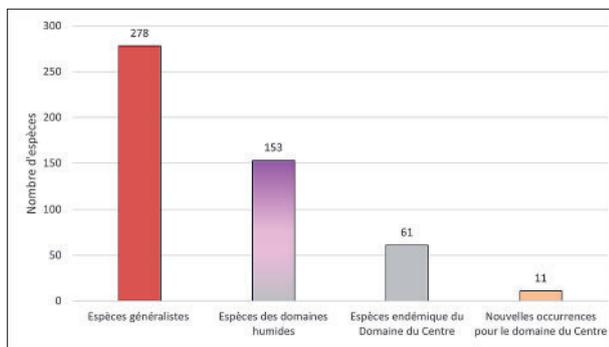


Fig. 9: Répartition des espèces du Sorata dans une sélection de différentes catégories phytogéographiques. La couleur rouge met en évidence les espèces généralistes, le dégradé gris-rose-violet les espèces spécialisées dans les domaines humides, en gris les espèces endémiques du Domaine du Centre, et finalement 11 nouvelles occurrences inédites pour le Domaine du Centre.

Centre, 16 espèces découvertes au Sorata semblent être cantonnées dans le secteur des Montagnes du Nord. Ainsi cette région peut être considérée comme un complexe dans lequel les espèces se répandent et dont la distribution est restreinte à ces zones de moyennes et hautes altitudes présentant un endémisme local important. Plus d'un tiers de ces 16 espèces sont distribuées de manière presque homogène dans l'ensemble des massifs du secteur des Montagnes du Nord. Les 2/3 restants sont des espèces qui étaient, jusqu'à leur découverte au Sorata, considérées comme endémiques d'un seul massif du secteur des Montagnes du Nord, comme le Marojejy et la Montagne d'Ambre par exemple, dont trois espèces ont été découvertes au Sorata, ou qui étaient partagées entre 2 à plusieurs massifs de ces Montagnes du Nord.

Afin d'explorer le rôle de relai du Sorata depuis le sud de la principale chaîne de Montagnes de l'île jusqu'aux massifs montagneux situés plus au nord (Loky Manambato, Montagne d'Ambre, etc.) ainsi que cibler de nouvelles espèces qui pourraient être intéressantes pour la mise en place de la biogéographie

de l'île, nous nous sommes focalisés à nouveau sur les 61 espèces endémiques du Domaine du Centre. Nous avons observé comment l'occurrence du Sorata a influencé leur distribution. La latitude la plus septentrionale des espèces (l'occurrence à la latitude la plus élevée) a été comparée avec le point le plus méridional du Sorata, soit la latitude $-13,87^{\circ}\text{S}$. Ainsi, 39 espèces voient leurs aires de distribution s'étendre vers le nord. Parmi elles, 27 étaient déjà présentes dans le secteur des Montagnes du Nord, et 4 présentes dans le Sous-Domaine du Centre-Nord. Les 8 dernières sont particulièrement intéressantes, car elles étaient, auparavant, uniquement présentes dans le Sous-Domaine du Centre-Moyen, leur occurrence la plus septentrionale se trouvant à plus de 410 km pour la plus proche et jusqu'à plus de 666 km au sud du Sorata.

Finalement, nous avons également consulté la liste des espèces considérées comme endémiques de la Montagne d'Ambre avant 2003, mais découvertes au Loky Manambato ensuite et une espèce, *Pandanus latistigmaticus* Huynh (*Pandanaceae*), a été retrouvée au Sorata (NUSBAUMER *et al.*, 2010) (fig. 10).

Discussions

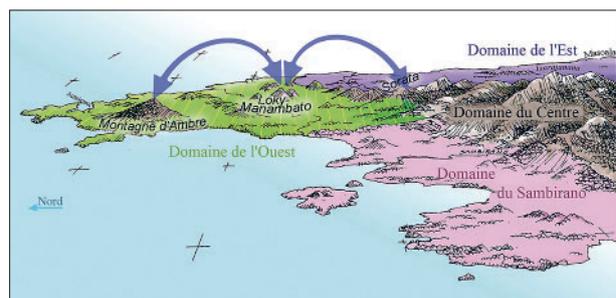


Fig. 10: Représentation tridimensionnelle partielle du nord de Madagascar. Sont représentés les domaines phytogéographiques de l'Ouest, du Centre du Sambirano et de l'Est. Les doubles-flèches indiquent les migrations potentielles entre le massif du Sorata et la Montagne d'Ambre, situés aux extrémités des doubles-flèches violettes, en passant par Loky Manambato, (adapté de NUSBAUMER *et al.* 2010, dessin de C. Chatelain).

Limitations et critiques

Un travail d'une telle envergure demande une rigueur extrême et il convient de souligner que la complexité et la diversité existant à Madagascar engendrent une certaine imprécision et des biais potentiels. Premièrement, il est certain que la liste floristique n'est pas complète comme seules certaines parties du massif ont été explorées jusqu'à présent et toutes durant la saison des pluies. Certains taxons sont moins faciles à repérer et récolter que d'autres (en particulier les grands arbres aux petites fleurs ou fruits peu visibles depuis le sol). Dans un deuxième temps, il est crucial que les échantillons soient correctement identifiés. En effet, les analyses biogéographiques découlent directement de ces déterminations. L'appel aux spécialistes constitue donc une bonne manière de s'assurer de l'identification correcte des échantillons.

Toutefois, de nombreux taxons ont été identifiés par nos soins, faute de spécialistes, et les botanistes non-spécialistes d'un groupe sont moins compétents à identifier de manière sûre les spécimens pour un pays présentant une telle biodiversité encore largement méconnue. Les cas douteux ont été laissés de côté. C'est pourquoi un grand nombre d'échantillons sont restés indéterminés et certains groupes complexes tels que les mousses, les lichens et les champignons n'ont pas été inclus dans les analyses. Ces groupes pourraient pourtant être extrêmement intéressants à prendre en compte à titre de comparaison avec les plantes vasculaires. Finalement, Madagascar comporte encore de nombreuses régions méconnues botaniquement, ainsi les occurrences des espèces et leur carte de distribution sur l'île sont probablement lacunaires.

Liste floristique

Notre premier objectif consiste en la réalisation d'une liste floristique. Grâce aux missions de terrain réalisées dans le cadre de cette étude, le nombre total de récoltes réalisées au Sorata s'élève à 1655, avec un total de 751 taxons identifiés (morpho-espèces), dont 547 à l'espèce, répartis dans 375 genres et 133 familles.

En comparaison des autres régions étudiées par les CJBG au nord de Madagascar (Ambre, Ampasindava, Loky Manambato et Manongarivo), le Sorata s'est distingué et peut être caractérisé par sa richesse spécifique particulièrement élevée pour les Melastomataceae, plus particulièrement des genres *Gravesia* et *Medinilla*. Les 34 espèces découvertes au Sorata durant ce projet constituent une diversité familiale importante, peu commune à Madagascar à notre connaissance, représentant un peu plus de 6 % de la richesse spécifique du Sorata. Malgré nos efforts, il reste un nombre important de plantes encore indéterminées, attendant les déterminations de spécialistes. Il est fort probable que parmi elles figurent encore d'autres espèces inédites nouvelles pour la science dont certaines clairement repérées (*Podocarpus* sp. par exemple). La confirmation qu'une espèce est nouvelle pour la science peut prendre du temps et demande souvent plusieurs spécimens pour avoir une idée de la variabilité morphologique ou des stades phénologiques. Cela conduit au paradoxe bien connu que de nombreuses espèces se trouvent déjà depuis plusieurs années dans les collections des herbiers avant d'être décrites en tant que nouvelles espèces.

Sans prendre en compte cet endémisme, un peu plus de 9 % du reste de la flore du Sorata est considérée comme menacée selon l'extraction des statuts de degré de menace UICN pour les espèces listées au Sorata. En ajoutant cet endémisme local, impliquant bien souvent un nombre de populations et d'individus très réduit, ce pourcentage pourrait atteindre les 15 %. Ce chiffre est d'autant plus impressionnant lorsque l'on considère que près de 62 % des espèces récoltées n'ont pas encore de statut attribué par l'UICN.

Etude biogéographique

Le Sorata présente un double rôle, étant à la fois foyer d'endémisme local important comme mentionné ci-dessus, tout en faisant également partie du complexe des Montagnes du Nord, et étant également une zone de relai pour de nombreuses espèces, permettant d'étendre leur distribution vers le nord.

En effet, le Sorata contient 16 espèces identifiées comme strictement endémiques du secteur des Montagnes du Nord (MN), soit 3 % des espèces identifiées. Parmi elles, près d'un tiers possèdent une distribution homogène au sein du secteur des Montagnes du Nord (MN), tandis que 7 espèces étaient auparavant considérées comme endémiques d'un seul des massifs des MN. Le reste des espèces est partagé par entre deux et cinq massifs. Ces résultats sont en accord avec les conclusions tirées du rapport de RAKOTOVAO *et al.* (2006). Ces derniers ont également identifié un endémisme fort dans chaque massif, contrebalancé par de nombreuses affinités et connections entre les massifs au sein du complexe des Montagnes du Nord.

En effet, paradoxalement, les analyses biogéographiques ont montré que le Sorata possède de nombreuses affinités phytogéographiques avec les autres domaines, renforçant l'hypothèse qu'il s'agit d'une zone importante de relai pour permettre la migration des espèces à travers l'île. Plusieurs espèces méconnues du Domaine du Centre, fortement éloignées ou autrefois confinées à une seule forêt, ont été découvertes au Sorata, élargissant de manière importante leur aire de distribution, une bonne nouvelle diminuant leur risque d'extinction.

Plusieurs interprétations sont possibles pour l'observation de ces changements. En effet, il pourrait s'agir de résultats biaisés, dus à des occurrences intermédiaires existantes mais encore méconnues. La dispersion des diaspores pourrait alors se faire de proche en proche (distribution continue), découlant soit d'une capacité ancienne de dispersion, soit d'une capacité actuelle de dispersion. Si le résultat est non-biaisé et que l'aire de distribution de l'espèce est bien fragmentée, cela pourrait être le résultat d'une dispersion à longue distance de diaspores ou alors une dispersion de proche en proche, relique d'une distribution continue (TRIGUI, 2010; NUSBAUMER *et al.*, 2010).

Si cette étude ne peut répondre de manière définitive pour confirmer le rôle de relai du Sorata, elle a néanmoins pu identifier un certain nombre d'espèces intéressantes pour de futures études biogéographiques approfondies. C'est le cas par exemple des trois espèces anciennement endémiques de la Montagne d'Ambre vivant probablement à des altitudes trop élevées pour être retrouvées au Loky Manambato, mais néanmoins présentes au Sorata. Cela implique soit une capacité de dispersion à longue distance très importante (au minimum 100 km), soit une relique des connections existantes probablement au Quaternaire, considérant que le climat des 100 000 dernières années plus froid

a induit un abaissement probable d'environ 1000 m d'altitude des ceintures de végétation au cours de la dernière glaciation importante (STRAKA, 1996; BURNEY *et al.*, 2004). Le présent travail ne permet que d'émettre des hypothèses, une étude de diaspores ainsi qu'une étude de génétique des populations sur des espèces cibles pourraient y apporter des éléments de réponses.

Conclusions et perspectives

La protection adéquate d'un environnement requiert une solide base de connaissances. L'étude menée sur le massif forestier du Sorata revêt une importance cruciale, à la fois sur le plan scientifique pour une meilleure compréhension de la flore de l'île de Madagascar et de sa mise en place, ainsi que sur le plan de la conservation, en fournissant un outil essentiel pour préserver l'environnement. L'augmentation des connaissances sur une région se traduit par une plus grande précision des analyses. En effet, plus le nombre de récoltes augmente, plus elles reflètent fidèlement la réalité du terrain. De même, une meilleure connaissance des occurrences dans les bases de données et une description précise des espèces facilitent les identifications correctes, qui sont indispensables à l'obtention de résultats qui soient le plus proche de la réalité.

La liste floristique réalisée contient 547 espèces réparties dans 375 genres et 133 familles. Parmi elles, 40 sont nouvelles pour la science dont 34 endémiques du Sorata. De nombreux taxons n'ont pas encore pu être identifiés au niveau de l'espèce et enrichiraient probablement cette liste; nous supposons que la liste floristique exhaustive dépasse les 1000 espèces de plantes vasculaires.

Les analyses phytogéographiques réalisées sur l'ensemble de Madagascar ont également permis de faire des découvertes importantes. En effet, 11 nouvelles occurrences d'espèces ont été observées dans le Domaine du Centre, dont 2 n'étaient connues qu'à plus de 1000 km au sud du Sorata. De plus, certaines espèces considérées comme endémiques du Marojejy et de la Montagne d'Ambre (Domaine du Centre) ont été découvertes au Sorata. En plus de ces nouvelles occurrences, il s'est avéré que le Sorata possède vraisemblablement un rôle important de relai. En effet, la distribution de 40 espèces endémique du Domaine du Centre a été étirée vers le nord par les récoltes réalisées au Sorata; parmi elles se trouvent des espèces dont la localité la plus septentrionale se trouvait à plus de 600 km au sud du Sorata.

Chacun de ces cas peut apporter une vue intéressante de la mise en place de la flore malgache dans le nord de Madagascar ainsi que ses affinités. Pour la suite, il faudrait dans un premier temps observer le type de diaspores pour chacune de ces espèces afin de comprendre leur moyen de dispersion. Dans un deuxième temps, la réalisation d'études de génétiques de populations permettra de mesurer la

diversité intraspécifique, le degré de différenciation entre populations de localités différentes et donner une idée de leur vitesse d'évolution ainsi que de dispersion. Ces deux analyses permettront d'apporter de nombreux éléments de réponses et de distinguer si ces espèces sont encore capables de migrer d'une localité à l'autre ou s'il s'agit d'une distribution relique due à une dispersion uniquement possible durant les périodes plus froides au cours du Quaternaire.

Suite aux résultats du travail de master dont est issu cette publication, deux missions de prospections botaniques (récoltes, cartographie de la végétation, études de la végétation) ont été menées au Sorata en 2022–2023 et 2023–2024. Les données accumulées sont encore en cours d'analyse et les spécimens en cours d'identification. L'ensemble des données servira à compléter et affiner la liste floristique et les analyses biogéographiques qui seront l'objet d'une publication incluant une liste floristique plus exhaustive. Il restera cependant probablement de nombreux spécimens non identifiés à l'espèce ainsi que plusieurs zones du massif intéressantes encore non prospectées. Les résultats présentés ici soulignent cependant déjà la richesse et la diversité du massif forestier de Sorata et devraient servir de base solide pour promouvoir sa protection. De plus, ils appellent à une mobilisation de fonds afin d'aider les populations locales, déjà très actives sur le plan de la conservation, à mettre en place des mesures plus efficaces de préservation. Dans cette optique, ces résultats ont été transmis aux associations malgaches et permettront de renforcer notre collaboration avec les acteurs locaux et pourront être utilisés comme argument de protection pour la recherche de fonds.

Remerciements

Un projet de cette envergure demande un financement important, en particulier pour les travaux de recherches sur le terrain. Nous tenons à remercier chaleureusement les fondations Augustin Lombard, Ernst et Lucie Schmidheiny, ainsi que la Basler Stiftung für biologische Forschung et les CJBG pour leur confiance en ce projet et leur soutien financier important.

Ce travail est le fruit d'une collaboration de plus de 30 ans entre le Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève (CJBG), avec le Département de Botanique et Biologie Végétale (BIVEG) de l'Université de Genève et la Mention de Biologie et Ecologie Végétale (MBEV) de l'Université d'Antananarivo, ainsi que l'Association Famelona, gestionnaire d'aires protégées à Madagascar et le WWF. Nous tenons à remercier tout le personnel de ces institutions qui nous ont aidé et permis de mener à bien cette étude, ainsi que nos assistants de terrain sans qui nous n'aurions pu réaliser nos récoltes botaniques. Nos remerciements les plus chaleureux vont au maire de la commune rurale d'Andrafainkona pour son soutien et son intérêt prononcé pour le projet, ainsi qu'aux présidents des VOI et chefs de *Fokontany* des villages d'Andrafainkona, Antsahavalanina, Ambodimandresy et Ampisarahana, qui nous ont donné leur accord pour effectuer nos missions dans la forêt.

Pour la publication de cet article, nous tenons à remercier le comité de la Société botanique de Genève, en particulier sa présidente Catherine Lambelet ainsi que Bernard Schaetti, rédacteur de *Saussurea*.

Bibliographie

- ALLNUTT, T.F., FERRIER, S., MANION, G., POWELL, G.V.N., RICKETTS, T.H., FISHER, B.L., *et al.* (2008) A method for quantifying biodiversity loss and its application to a 50-year record of deforestation across Madagascar. *Conservation Letters*, 1, 173–181.
- AMMANN, M. (2011) La presqu'île d'Ampasindava (Nord-Ouest de Madagascar) : Une région mal connue et menacée, capitale pour la compréhension de la mise en place de la flore du Domaine du Sambirano. Travail de maîtrise universitaire (Master) en Biologie, Laboratoire de Botanique Systématique et Biodiversité, Conservatoire et Jardin botaniques de Genève.
- BRINCK, K., FISCHER, R., GROENEVELD, J., LEHMANN, S., DANTAS DE PAULA, M., PÜTZ, S., *et al.* (2017) High resolution analysis of tropical forest fragmentation and its impact on the global carbon cycle. *Nature Communications*, 8, 14855. Nature Publishing Group.
- BURNEY, D.A., BURNEY, L.P., GODFREY, L.R., JUNGERS, W.L., GOODMAN, S.M., WRIGHT, H.T. & JULL, A.J.T. (2004) A chronology for late prehistoric Madagascar. *Journal of Human Evolution*, 47, 25–63.
- CALLMANDER, M., PHILLIPSON, P., SCHATZ, G., ANDRIAMBOLOLONERA, S., RABARIMANARIVO, M., RAKOTONIRINA, N., *et al.* (2011) The endemic and non-endemic vascular flora of Madagascar updated. *Plant Ecology and Evolution*, 144, 121–125.
- CRAMER, A., RABIBISOA, N. & RAXWORTHY, C. (2008) Descriptions of two new Spinomantis frogs from Madagascar (Amphibia: Mantellidae), and new morphological data for *S. brunae* and *S. massorum*. *American Museum Novitates*, 3618, 1–22.
- CROWTHER, T.W., GLICK, H.B., COVEY, K.R., BETTIGOLE, C., MAYNARD, D.S., THOMAS, S.M., *et al.* (2015) Mapping tree density at a global scale. *Nature*, 525, 201–205.
- GARDNER, T., BARLOW, J., CHAZDON, R., EWERS, R., HARVEY, C., PERES, C. & SODHI, N. (2009) Prospects for tropical forest diversity in a human-modified world. *Ecology letters*, 12, 561–582.
- GLAW, F., KÖHLER, J., HAWLITSCHKE, O., RATSOAVINA, F.M., RAKOTOARISON, A., SCHERZ, M.D. & VENCES, M. (2021) Extreme miniaturization of a new amniote vertebrate and insights into the evolution of genital size in chameleons. *Scientific Reports*, 11, 2522. Nature Publishing Group.

- GOODMAN, S.M., RAHERILALAO, M.J. & WOHLAUSER, S. (eds) (2018) Les aires protégées terrestres de Madagascar: leur histoire, description et biote / The terrestrial protected areas of Madagascar: their history, description, and biota. Association Vahatra, Antananarivo, Madagascar.
- HAVINGA, A. (2023) Etude floristique et biogéographique du massif montagneux de Sorata (nord de Madagascar): une nécessité pour la conservation de ce joyau. Travail de Maîtrise universitaire (Master) en Biologie, Laboratoire de « Plant Systematics and Biodiversity » et Conservatoire, Jardin botaniques de la Ville de Genève.
- HUMBERT, H. (1955) Les territoires phytogéographiques de Madagascar. *Année Biologique*, série 3, 31, 439–448.
- LINAN, A.G., RAKOUTH, H.N., RABARIMANARIVO, M., SCHATZ, G.E. & LOWRY, P.P. (2024) Taxonomic studies of Diospyros (Ebenaceae) from the Malagasy region. X. Revision of the Tetracelis group. *Candollea*, 79.
- MAYAUX, P., HOLMGREN, P., ACHARD, F., EVA, H., STIBIG, H.-J. & BRANTHOMME, A. (2005) Tropical forest cover change in the 1990s and options for future monitoring. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 360, 373–384.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., DA FONSECA, G.A.B. & KENT, J. (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.
- NUSBAUMER, L., RANIRISON, P., GAUTIER, L., CHATELAIN, C., LOIZEAU, P.-A. & SPICHTIGER, R. (2010) Loky-Manambato: point de rencontre des principales unités phytogéographiques de Madagascar. In *Systématique et Conservation des Plantes Africaines* pp. 253–264 X. van der Burgt, J. van Maesen & J.-M. Onana. Royal Botanical Garden.
- ONDO, I., DHANJAL-ADAMS, K.L., PIRONON, S., SILVESTRO, D., COLLI-SILVA, M., DEKLERCK, V., *et al.* (2024) Plant diversity darkspots for global collection priorities. *New Phytologist*, 244, 719–733.
- RAKOTOARISON, A., SCHERZ, M., GLAW, F., KÖHLER, J., ANDREONE, F., FRANZEN, M., *et al.* (2017) Describing the smaller majority: Integrative taxonomy reveals twenty-six new species of tiny microhylid frogs (genus *Stumpffia*) from Madagascar. *Vertebrate Zoology*, 67, 271–398.
- RAKOTOARISON, A., SCHERZ, M., KÖHLER, J., RATSOAVINA, F., HAWLITSCHKEK, O., MEGSON, S., *et al.* (2020) Frogs of the genus *Platypelis* from the Sorata massif in northern Madagascar: description of a new species and reports of range extensions. *Zoosystematics and Evolution*, 96, 263–274.
- RAKOTOVAO, C., RAZAKAMALALA, R., RANDRIAMBOLOLOMAMONJY, O., RAVELONARIVO, D., RAKOTONIRINA, N., RANDRIANARIVELO, C., *et al.* (2006) Biogeography and endemism of the Northern Humid Mountains of Madagascar. *Missouri Botanical Garden, St-Louis*, 145.
- RAMINOSO, T. (2015) Protected Areas of Madagascar.
- SCHERZ, M.D., HAWLITSCHKEK, O., ANDREONE, F., RAKOTOARISON, A., VENCES, M. & GLAW, F. (2017) A review of the taxonomy and osteology of the *Rhombophryne serratopalpebrosa* species group (Anura: Microhylidae) from Madagascar, with comments on the value of volume rendering of micro-CT data to taxonomists. *Zootaxa*, 4273, 301–340.
- SCHERZ, M.D., HAWLITSCHKEK, O., RAZAFINDRAIBE, J.H., MEGSON, S., RATSOAVINA, F.M., RAKOTOARISON, A., *et al.* (2018) A distinctive new frog species (Anura, Mantellidae) supports the biogeographic linkage of two montane rainforest massifs in northern Madagascar. *Zoosystematics and Evolution*, 94, 247–261.
- SCHERZ, M.D., RAKOTOARISON, A., HAWLITSCHKEK, O., VENCES, M. & GLAW, F. (2015) Leaping towards a saltatorial lifestyle? An unusually long-legged new species of *Rhombophryne* (Anura, Microhylidae) from the Sorata massif in northern Madagascar. *Zoosystematics and Evolution*, 91, 105–114. Pensoft Publishers.
- STRAKA, H. (1996) Histoire de la végétation de Madagascar oriental dans les derniers 100 millénaires. In: W. R. Lourenço (ed.), *Biogéographie de Madagascar*, pp. 49–58. Editions de l'ORSTOM, Paris.
- THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP (2016) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181, 1–20.
- TRIGUI, S.M. (2010) Etude floristique et biogéographique des altitudes supérieures de la montagne d'Ambre (nord de Madagascar). Travail de maîtrise universitaire (Master) en Biologie, Université de Genève, Conservatoire et Jardin botaniques de Genève.

- VIEILLEDENT, G., GRINAND, C., RAKOTOMALALA, F.A., RANAIVOSOA, R., RAKOTOARIJAONA, J.-R., ALLNUTT, T.F. & ACHARD, F. (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, 189–197.
- WAEBER, P.O., RAFANOHARANA, S., RASAMUEL, H.A. & WILMÉ, L. (2019) Parks and Reserves in Madagascar: Managing Biodiversity for a Sustainable Future. *Protected Areas, National Parks and Sustainable Future*. IntechOpen.





ISSN-: 0373-2525
53 : 1-197 (2025)

ISBN : 978-2-8278-0058-2

ISBN 978-2-8278-0058-2



9 782827 800582 >