



## Evaluation du risque d'extinction des *Cedrelopsis* (Rutaceae) de Madagascar

Harison Rabarison<sup>1,\*</sup>, Andriamalala Rakotondrafara<sup>1</sup>, Sylvain G. Razafimandimbison<sup>2</sup>,  
Michel Ratsimbason<sup>3</sup>, Stéphan R. Rakotonandrasana<sup>3</sup>,  
Charlotte Rajeriarison<sup>1</sup> & Milijaona Randrianarivelosia<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Département de Biologie et Ecologie Végétales (DBEV), Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar

<sup>2</sup>Department of Ecology, Environment and Plant Sciences, Bergius Foundation, Stockholm University, Lilla Frescati 106 91, Stockholm, Sweden

<sup>3</sup>Centre National de Recherche Pharmaceutique (CNARP), Antananarivo, Madagascar

<sup>4</sup>Institut Pasteur de Madagascar (IPM), Antananarivo, Madagascar

<sup>5</sup>School of Chemistry, University of KwaZulu-Natal, Durban 4041, South Africa

Author for correspondence: rabarisonrh@yahoo.fr

---

### Assessing the extinction risk for *Cedrelopsis* (Rutaceae) in Madagascar

**Background and methods** – *Cedrelopsis* (Rutaceae), commonly known as Katrafay, is an endemic genus of Madagascar and consists of eight species of trees and shrubs growing on different substrates and in primary and/or modified ecosystems. These species of *Cedrelopsis* are plant parts most used plants for several purposes. Thus, an ecological assessment was undertaken in aim to understand the pressures and threats to populations, define their conservation status, and establish a strategy for sustainable management.

**Key results** – Approximately 65 to 100% of subpopulations of *Cedrelopsis* are in sites with no appropriate conservation measure. Timber and habitat loss are the major threats. *Cedrelopsis procera* is critically endangered, while *C. gracilis*, *C. longibracteata*, *C. ambanjensis*, and *C. rakotozafyi* are in danger of extinction; *C. trivalvis*, *C. grevei*, and *C. microfoliolata* are vulnerable.

**Discussion and conclusion** – Human activities including wood use and burning are the main pressures contributing to the depletion of species. As regards their conservation status, *Cedrelopsis* species are actually in an intermediate level between the categories “vulnerable” (VU) and “critically endangered” (CR). Managing their populations and habitats requires effective participation of key players.

**Key words** – *Cedrelopsis*, Katrafay, Madagascar, Rutaceae, ecology, IUCN conservation status.

**Introduction et méthode** – *Cedrelopsis* (Rutaceae), communément appelé Katrafay, est un genre endémique de Madagascar comprenant huit espèces d'arbres et d'arbustes qui poussent sur différents types de substrat et dans des écosystèmes primaires et/ou modifiés. Ces espèces font parties des plantes les plus exploitées et à usage multiple. Une évaluation écologique a été effectuée afin de comprendre les pressions et menaces qui pèsent sur les populations de *Cedrelopsis* et de définir leurs statuts de conservation ainsi que d'établir la stratégie de gestion durable.

**Résultats-clés** – Environ 65 à 100% de sous populations de *Cedrelopsis* se trouvent dans des sites qui n'ont aucune mesure de conservation appropriée. L'exploitation irrationnelle et la perte des habitats constituent une forte menace. *C. procera* est en danger critique d'extinction; *C. gracilis*, *C. longibracteata*, *C. ambanjensis* et *C. rakotozafyi* sont en danger d'extinction; *C. trivalvis*, *C. grevei* et *C. microfoliolata* sont vulnérables.

**Discussion et conclusion** – Les activités anthropiques incluant l'exploitation des bois et les feux constituent les principales pressions contribuant à la raréfaction des espèces de *Cedrelopsis*. En ce qui concerne leurs statuts de conservation, les espèces de *Cedrelopsis* sont actuellement à un niveau intermédiaire entre les catégories “vulnérables” (VU) et “en danger critique” (CR). La gestion de leurs populations et de leurs habitats naturels impose la participation effective des acteurs environnementaux.

## INTRODUCTION

Parmi les plantes endémique de Madagascar, *Cedrelopsis* – communément appelé Katrafay – est utilisé à des fins diverses et variées (remède traditionnel, bois de construction et d'ébénisterie, bois de chauffage et de charbon, huile essentielle, etc.). De la famille des Rutaceae sensu lato (Razafimandimbison et al. 2010), ce genre comprend huit espèces dont *C. ambanjensis* J.-F.Leroy, *C. gracilis* J.-F.Leroy, *C. grevei* Baillon, *C. longibracteata* J.-F.Leroy, *C. microfoliolata* J.-F.Leroy, *C. procera* J.-F.Leroy, *C. rakotozafyi* Cheek & Lescot et *C. trivalvis* J.-F.Leroy. Il fait partie des composantes floristiques importantes des forêts sèches de l'Ouest et du Sud de Madagascar. Il est également dans les forêts littorales, les forêts denses humides de l'Est, les forêts denses sèches caducifoliées (Ouest) et les fourrés xérophiles (Sud-Ouest), ainsi que les formations savaniques malgaches, sur différents types de substrats (karst, sable, calcaire, sol ferrugineux, sol alluvionnaire). Les huit espèces de *Cedrelopsis* sont réparties dans plusieurs sites naturels sans statut ni mesures de protection ou de conservation appropriées. Les différentes formes d'utilisation des produits dérivés des différentes espèces de *Cedrelopsis* constituent des pressions sur ces populations. Leurs habitats sont menacés par les feux de brousse, la culture itinérante sur brûlis et l'exploitation for-

estière. Pourtant, ces espèces n'ont pas encore de statut de conservation précis suivant l'UICN (Raivoarisoa 1999).

Afin d'améliorer l'état de connaissance sur *Cedrelopsis* et la politique de conservation de ces plantes, des travaux de recherche ont été entrepris afin de décrire les caractéristiques écologiques des espèces et de leurs habitats; connaître la potentialité des différents habitats naturels; décrire la distribution biogéographique de ces espèces (sous populations et populations à l'intérieur et en dehors des Aires Protégées); et déterminer les statuts de conservation suivant l'approche UICN (1994, 2001) de ces espèces.

## MATERIEL ET METHODES

## Zones et sites d'étude

Les localités relevées sur les étiquettes des spécimens disponibles dans différents centres de références à Madagascar et/ou figurant dans la base des données TROPICOS ont permis de choisir les sites d'étude. Ces données sont projetées sur la carte de végétation (Du Puy et Moat 1996), la carte géologique (Besairie 1964) et la carte bioclimatique (Cornet 1974) par le logiciel Arc View 3.3. Les sites choisis répondent aux critères de représentativité en fonction de la nature du sol et de la structure de végétation et des caractéristiques écologiques. Ainsi, quatorze sites ont été visités et étudiés

Tableau 1 – Localisation des sites d'étude et habitats des espèces de *Cedrelopsis*.

Espèces	Sites d'étude	Latitude	Longitude	Type de végétation
<i>Cedrelopsis ambanjensis</i>	Bekaka (Ambanja)	13°43'58"S	48°29'33"E	Forêt humide
<i>Cedrelopsis gracilis</i>	Andranomena (Morondava)	20°09'53,1"S	44°26'33,6"E	Forêt sèche
	Tanambao (Morondava)	20°43'52,3"S	44°28'44"E	Forêt sèche
<i>Cedrelopsis grevei</i>	Ankarafantsika (Ampijoroa)	16°17'55,7"S	46°49'02,6"E	Forêt sèche
	Andranomena (Morondava)	20°09'05,6"S	44°23'03,3"E	Forêt sèche
	Tanambao (Morondava)	20°43'52,9"S	44°28'38,4"E	Forêt sèche
	Menarahaka (Ihoso)	22°32'31"S	46°31'09"E	Forêt sèche
	Manavy (Antanimora)	24°57'25"S	45°45'26"E	Fourré xérophile
	Ankariera (Tolagnaro)	24°58'06"S	46°38'01"E	Forêt sèche
<i>Cedrelopsis longibracteata</i>	Elandy (Tolagnaro)	24°52'06"S	47°00'13"E	Forêt humide
	Orangea (Antsiranana)	12°13'51"S	49°21'23"E	Fourré
	Montagne des Français	12°22'22"S	49°20'57"E	Forêt sèche
	Sahafary (Antsiranana)	12°35'54"S	49°25'50"E	Savane arbustive
<i>Cedrelopsis microfoliolata</i>	Ankarafantsika (Ampijoroa)	16°19'08,4"S	46°48'34,2"E	Forêt sèche
	Andranomena (Morondava)	20°09'05,6"S	44°23'03,3"E	Forêt sèche
	Menarahaka (Ihoso)	22°32'31"S	46°31'09"E	Forêt sèche
	Ankariera (Tolagnaro)	24°58'06"S	46°38'01"E	Fourré xérophile
<i>Cedrelopsis rakotozafyi</i>	Orangea (Antsiranana)	12°13'51"S	49°21'23"E	Forêt sèche
	Sahafary (Antsiranana)	12°35'54"S	49°25'50"E	Forêt sèche
<i>Cedrelopsis trivalvis</i>	Orangea (Antsiranana)	12°13'51"S	49°21'23"E	Fourré
	Sahafary (Antsiranana)	12°35'54"S	49°25'50"E	Savane arbustive
	Ankarana (Ambilobe)	12°59'03"S	49°09'19"E	Forêt sèche
	Bekaka (Ambanja)	13°43'58"S	48°29'33"E	Forêt humide
	Menarahaka (Ihoso)	22°32'31"S	46°31'09"E	Forêt sèche
	Sainte Luce (Tolagnaro)	24°45'47"S	47°10'21"E	Forêt humide
<i>Cedrelopsis procera</i>	Antongondriha (Sambava)	14°16'05"S	49°45'0"E	Forêt humide

(tableau 1) dont sept forêts sèches; trois forêts humides; trois fourrés et une savane arbustive. Ces sites sont représentatifs des types de formations végétales existants abritant les différentes espèces de *Cedrelopsis*.

### Récolte de matériel végétal et collecte des données relatives à *Cedrelopsis*

A partir de la littérature disponible, des informations relatives à *Cedrelopsis* ont été relevées. Des herbiers ont été consultés dans les deux centres nationaux de référence TAN et TEF et aussi aux laboratoires du Centre National d'Application à la Recherche Pharmaceutique (CNARP) et du Département de Biologie et Ecologie Végétales, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo (DBEV). La localisation, les noms vernaculaires, l'écologie, la phénologie ainsi que les modes d'utilisation des produits dérivés de *Cedrelopsis* ont été relevés sur un formulaire préétabli. La variation des caractères et des aspects morphologiques de différents organes a été observée suivant la définition de Gift & Stevens (1997). La terminologie pour la description des états de caractères morphologiques, ainsi que la fiche de description morphologique ont été établies suivant Radford et al. (1974). La morphologie comparative consiste à identifier des groupes phénotypiques (Stace 1989).

Les études prospectives de la flore et de la végétation ont été menées dans chaque site. Une prospection a été effectuée pour définir la végétation appropriée tout en tenant compte des critères phytoécologiques (homogénéité relative de la physionomie et du groupe floristique et l'uniformité des conditions édaphiques apparentes) et la présence et l'abondance des espèces cibles. Les coordonnées géographiques ont été enregistrées à l'aide de Global Positioning System (GPS).

### Etude de flore

Pour connaître l'aspect floristique de la formation végétale, la méthode de plateau subdivisé en plusieurs placettes selon Braun-Blanquet (1965) a été adoptée. Cette technique consiste à dénombrer et à inventorier les espèces présentes sur une surface de 50 × 20 m soit 1000 m<sup>2</sup>, subdivisée en placettes de 10 × 10 m. Pour chaque placette ont été relevés les noms vernaculaires, l'abondance spécifique, la forme biologique (Aubréville 1970), le diamètre (cm) à la hauteur de poitrine (DHP) à 1,30 m au-dessus du sol, la hauteur maximale (m) atteinte par l'individu ligneux et la phénologie (floraison, fructification, feuillaison) de chaque espèce afin d'avoir la composition, la richesse et les caractéristiques floristiques du site étudié. Dans chaque plateau pour chaque espèce rencontrée, des échantillons d'herbiers de référence ont été confectionnés. Le maximum d'informations a été noté afin de caractériser les spécimens d'herbiers, en particulier les caractères non rencontrés à l'état sec comme la couleur, l'odeur, l'architecture des arbres, la dimension de la plus grande feuille. Par espèce, quatre échantillons d'herbiers ont été déposés respectivement dans deux herbiers nationaux TAN et TEF et également aux laboratoires d'herbiers du CNARP et du DEBV.

Dans chaque plateau, tous les individus régénérés (plantules, semis, jeunes plants) et semenciers des espèces de *Cedrelopsis* ont été dénombrés afin de décrire les différentes classes démographiques. L'évaluation des individus matures a été effectuée. La densité spécifique (D) est le nombre d'individus présents d'une espèce considérée par unité de surface (Dajoz 1975). Elle est exprimée par la formule de Brower et al. (1990)  $D = N/P$  (N: nombre d'individus d'espèce présents; P: surface totale de la parcelle étudiée). L'estimation de la densité dans une sous-population permet d'estimer le nombre d'individus matures en appliquant la formule  $N = A \times D$  (N: nombre d'individus matures dans la sous-population; A: surface de l'habitat approprié pour l'espèce; D: densité dans la sous-population).

### Etude de la végétation

La physionomie de la végétation est caractérisée par sa structure verticale constituée par des strates (Gounot 1969). Ainsi, pour chaque végétation étudiée, la hauteur de chaque strate et les espèces constitutives de chaque strate ont été mentionnées. On peut aussi calculer la densité de troncs associés et selon Brower et al. (1990), cette densité D des plantes par hectare est donnée par la formule  $D = 10.000/S$  (S étant la surface occupée par les ligneux (arbres, arbustes, etc.) associés et les espèces cibles). Elle est donnée par la formule:

$$S = \frac{(\sum d)^2}{n(n+n')}$$

$$D (\text{troncs/hectare}) = 10\,000 \times n(n+n') / (\sum d)^2$$

d: distance entre l'espèce cible et les ligneux (arbres, arbustes, etc.) associés;

n: nombre total des ligneux (arbres, arbustes, etc.) associés;

n': nombre des ligneux (arbres, arbustes, arbrisseaux, etc.) cibles étudiés.

### Régénération naturelle de *Cedrelopsis*

D'après Allaby (1994), la régénération naturelle d'une espèce est définie comme le stade de développement de ses individus à partir du moment où ils sont dispersés jusqu'à leur disparition. Elle comprend la phénologie, la pollinisation et la dispersion des graines qui ont été notées par des observations directes. Pour cette étude, les individus régénérés se développant soit à partir des graines soit par de rejet ont été observés. Rothe (1964) a défini la régénération naturelle comme la capacité d'une plante de se reproduire à l'état naturel. La régénération naturelle est basée sur le procédé de comptage du nombre d'individus de régénération (jeunes et semis) et de semenciers à l'intérieur d'un relevé en notant le diamètre et la hauteur. La régénération d'une espèce est exprimée à partir du taux de régénération  $TR = (IR/IS) \times 100$  (IR: nombre d'individus de régénération; IS: nombre d'individus semenciers).

Suivant la valeur du taux de régénération, trois cas peuvent caractériser le potentiel de régénération:

- (i) TR > 1000%: espèce à haut potentiel de régénération;  
 (ii) TR compris entre 100 et 1000%: espèce à potentiel de régénération moyen;  
 (iii) TR < 100%: espèce à faible potentiel de régénération.

#### Analyse de la structure démographique des espèces cibles

– La distribution des individus de chaque espèce en différentes classes de diamètre a été définie comme suit: I: ]0–5] cm; II: ]5–10] cm; III: ]10–20] cm; IV: ]20–30] cm; V: > 30 cm.

#### Estimation des risques d'extinction du genre *Cedrelopsis*

– La méthode d'évaluation de la distribution spatiale des espèces étudiées a été faite en prenant les coordonnées géographiques de spécimens de chaque espèce lors de travaux d'études sur le terrain et celles de la base de données TROPICOS. Elle comprend deux étapes: l'élaboration et l'analyse de la carte.

**Elaboration de la carte de distribution** – Les coordonnées géographiques de chaque espèce ont été transférées sur un tableur (Excel) et converties dans une projection Laborde avant d'être intégrées sous le logiciel Arcinfo. Les points de distribution de chaque espèce ont été placés sur la carte de Madagascar sous ce logiciel Arcinfo.

**Analyse de la carte de distribution** – A partir de la carte ainsi obtenue, le nombre total des sous populations, l'aire d'occurrence, l'aire d'occupation, la présence et/ou l'absence des espèces étudiées dans les Aires Protégées et leur prédiction de déclin futur ont été déduits et évalués. Le déclin de la population vient de la réduction continue des individus matures ou semenciers. La prédiction du futur déclin est estimée ou évaluée en utilisant la formule proposée par Schatz (2001):

$$\text{Déclin de la population (\%)} = \frac{\text{nombre de sous-populations hors des aires protégées}}{\text{nombre total de sous-populations (dans AP et hors AP)}} \times 100$$

Pour compléter ces informations, le risque d'extinction de *Cedrelopsis* a été évalué sur les critères de la Liste Rouge (UICN 1994 et 2001) pour les espèces végétales (niveau espèce et niveau habitat).

#### Etudes comparatives des différents aspects morphologiques

Les études comparatives des différents aspects morphologiques (nombre, disposition, dimension et forme de folioles) et des caractères reproducteurs des différentes espèces collectées ont été réalisées en laboratoire.

#### RESULTATS

La description botanique, le bilan floristique et les caractéristiques écologiques des habitats d'espèces cibles ont été précisés. Les différentes formes d'utilisation et les pressions qui s'exercent sur les ressources végétales ainsi que leur distribution géographique en fonction des facteurs phytogéographiques et écologiques ont été déterminées afin de pouvoir évaluer et définir leur statut de conservation.

#### Distribution de *Cedrelopsis*

*Cedrelopsis* existe dans les trois des quatre biomes de Madagascar: forêt sèche et savane arbustive de l'Ouest, forêt humide de l'Est, fourré xérophile et forêt sèche du Sud de Madagascar. Les différentes espèces de *Cedrelopsis* sont caractérisées par différents aspects morphologiques et écologiques. Ces huit espèces de *Cedrelopsis* se répartissent dans quatre types de bioclimat à savoir l'étage humide, l'étage subhumide, l'étage sec et l'étage subaride et s'observent sur différents types de substrats. Les caractéristiques écologiques des habitats des différentes espèces cibles sont résumées dans le tableau 2.

#### Formations humides

**Forêt littorale** – La forêt littorale de Sainte Luce (Tolagnaro) est un des sites d'études dans laquelle seule *C. trivalvis* a été rencontrée (tableau 1). Pour la richesse floristique on compte, 82,9% de Dicotylédones, 13,4% de Monocotylédones et 3,7% de Ptéridophytes et autres (appendice électronique 1). Les familles les mieux représentées sont les Salicaceae (huit espèces), les Euphorbiaceae (cinq espèces),

**Tableau 2 – Caractéristiques écologiques des habitats des différentes espèces de *Cedrelopsis*.**

Espèces	Bioclimat	Nature du substrat	Type de végétation	Altitude (m)
<i>Cedrelopsis ambanjensis</i>	Étage subhumide	Socle, grès d'âge crétacé	Forêt Humide	300–350
<i>Cedrelopsis gracilis</i>	Étage subaride	Sables consolidés	Forêt Sèche	10–127
<i>Cedrelopsis grevei</i>	Étage subhumide, sec et subaride	Socle, calcaires-marnes d'âge danomontien, carapace sableuse, grès, sable non consolidé, calcaire tertiaire	Forêt Sèche et Fourré	0–900
<i>Cedrelopsis longibracteata</i>	Étage humide	Gneiss, leptynites, pyroxénites, cipolins, quartzites	Forêt Humide	200–800
<i>Cedrelopsis microfoliolata</i>	Étage subhumide, sec et subaride	Dune quaternaire, grès du crétacé	Forêt Sèche et Fourré	5–1000
<i>Cedrelopsis procera</i>	Étage subhumide	Gneiss	Forêt Humide	400–500
<i>Cedrelopsis rakotozafyi</i>	Étage sec	Dunes blanches grésifiées d'âge quaternaire	Fourré et Savane arbustive	0–325
<i>Cedrelopsis trivalvis</i>	Étage humide, subhumide et sec	Dune quaternaire, grès du crétacé	Forêt littorale, Forêt Humide, Forêt Sèche et Fourré	5–1500

les Fabaceae et les Rubiaceae (quatre espèces chacune). Quant à l'aspect physiognomique et structural de végétation, la forêt littorale est formée par quatre strates bien distinctes (cf. appendices électroniques 2 & 3).

**Forêts denses humides** – La forêt dense humide de Bekaka (Sambirano, dans le nord) et celle de l'Elandy (Tolagnaro, dans le sud) ont été étudiées. Dans la forêt de Bekaka (Ambanja), *C. trivalvis* est présente. Par contre, *C. ambanjensis* n'a pu être trouvée. La dégradation quasi-totale de l'ancienne relique forestière existante est très marquée. *C. longibractea* a été trouvée dans la forêt d'Elandy (Tolagnaro).

Les caractères floristiques des deux sites mentionnés sont résumés dans l'appendice électronique 1. Pour ces deux sites, la richesse floristique est très élevée à Elandy soit 80 espèces où la perturbation du milieu y est relativement faible. La famille des Rubiaceae est mieux représentée dans les deux sites avec six espèces à Bekaka et onze espèces à Elandy. Les forêts humides sont pluristrates avec des hauteurs maximales de 16 m dans le site de Bekaka et de 22 m dans celui d'Elandy. Les strates herbacées sont moins développées dans ces deux formations végétales.

Les aspects physiognomiques et structuraux des forêts humides de Bekaka et Elandy sont donnés dans les appendices électroniques 2 & 3. La stratification de la végétation d'Elandy est relativement similaire à celle de Bekaka, mais la différence s'observe au niveau des espèces présentes et l'importance du taux de recouvrement de différentes strates.

### Formations sèches

**Forêts sèches caducifoliées** – Parmi les sept sites étudiés, ceux d'Andranomena et d'Ankarafantsika sont les plus riches en espèces avec respectivement 71 et 70 espèces recensées. Le bilan floristique des sept sites étudiés est mentionné dans l'appendice électronique 1.

Les familles les mieux représentées sont les Euphorbiaceae (onze espèces), les Fabaceae (six espèces) et les Rubiaceae (quatre espèces).

A Sahafary, les familles les mieux représentées sont les Fabaceae (sept espèces), les Euphorbiaceae et les Rubiaceae (cinq espèces chacune).

A Ankarana, les familles les mieux représentées sont les Fabaceae (sept espèces) et les Euphorbiaceae (quatre espèces).

A Ankarafantsika, les familles les mieux représentées sont les Fabaceae (neuf espèces) et les Euphorbiaceae (sept espèces).

A Andranomena, les familles les mieux représentées sont les Fabaceae (onze espèces), les Euphorbiaceae (sept espèces) et les Rubiaceae (quatre espèces).

A Tanambao, la famille des Fabaceae est la mieux représentée (neuf espèces).

A Menarahaka, les familles les mieux représentées sont les Euphorbiaceae (cinq espèces), les Fabaceae et les Rutaceae (quatre espèces chacune).

Sur le plan physiognomique, les forêts sèches étudiées sont formées de plusieurs strates bien distinctes. Leurs données structurales sont données dans les appendices électroniques 2 & 3. En général, le taux de recouvrement de chaque

strate, le recouvrement et la hauteur de canopée des espèces varient d'une station écologique à l'autre et les arbres ayant une hauteur supérieure à 10 mètres sont relativement rares. Cela est dû à l'exploitation sélective ayant affecté les différents sites étudiés.

### Fourrés

Les fourrés d'Orangea, d'Antanimora et d'Ankariera ont été étudiés (tableau 1). *C. microfoliolata*, *C. rakotozafyi* et *C. trivalvis* ont été répertoriées à Orangea; *C. grevei* à Antanimora et *C. grevei* et *C. microfoliolata* à Ankariera. Les caractères floristiques des trois sites étudiés sont présentés dans l'appendice électronique 1.

A Orangea, les familles les mieux représentées sont les Fabaceae (onze espèces), les Malvaceae (six espèces), les Apocynaceae et les Euphorbiaceae (cinq espèces chacune), et les Loganiaceae (quatre espèces).

A Antanimora, les familles les mieux représentées sont les Euphorbiaceae (six espèces), puis les Burseraceae, les Didieraceae, les Fabaceae et les Rubiaceae (trois espèces chacune).

A Ankariera, les familles les mieux représentées sont les Fabaceae (17 espèces), les Euphorbiaceae et les Malvaceae (huit espèces chacune), et les Brassicaceae (cinq espèces).

Le fourré d'Ankariera possède une richesse floristique importante (96 espèces enregistrées), qui est différente de celles de sites d'Antanimora et d'Orangea. Par contre de nombreuses espèces sont communes dans les deux derniers sites. Les espèces suivantes ont été rencontrées: *Azima tetraacantha*, *Euphorbia leucodendron*, *Operculicarya decaryi*, *Quivisianthe papinae*.

Ces trois sites présentent des formations végétales à strates confuses et inextricables. Les caractéristiques structurales de ces types de végétation sont mentionnées dans les appendices électroniques 2 & 3.

### Savane arbustive (Secteur Nord)

La savane de Sahafary (Antsiranana) où se trouve *C. rakotozafyi* présente 24 espèces, réparties dans 24 genres et 22 familles. Les informations sur la flore sont résumées dans l'appendice électronique 1. La végétation ne présente pas de strate bien définie, mais on peut distinguer une strate herbacée, continue avec un taux de recouvrement global de 90% (appendice électronique 2) et constituée essentiellement par *Heteropogon contortus* parsemée des arbustes qui ne dépassent pas 5 m de hauteur. On y rencontre plusieurs espèces (appendice électronique 3).

### Abondance et densité de *Cedrelopsis* dans les différents sites

L'abondance numérique des espèces de *Cedrelopsis* varie d'une végétation à l'autre selon les caractères climatiques et édaphiques.

*C. gracilis*: 90 individus matures ont été trouvés sur 2,2 ha dans deux sites;

*C. grevei*: 1619 individus matures ont été trouvés sur 8,5 ha dans six sites;

*C. longibracteata*: 14 individus matures ont été trouvés sur 1,4 ha dans un seul site à Elandy;

*C. microfoliolata*: 484 individus ont été trouvés sur 13 ha dans sept sites;

*C. rakotozafyi*: 183 individus ont été trouvés sur 7,2 ha dans 2 sites;

*C. trivalvis*: 111 individus ont été trouvés sur 9,6 ha dans les 6 sites.

Pour l'ensemble des sites d'études, *C. grevei* et *C. gracilis* sont les plus abondantes.

### Phénologie et dispersion de diaspores

En se basant sur la période de floraison maximale, trois groupes peuvent être mis en évidence:

Groupe 1: une floraison toute l'année, cas de *Cedrelopsis grevei*;

Groupe 2: une période optimale de floraison en saison sèche au mois d'octobre (*C. longibracteata* et *C. trivalvis*);

Groupe 3: une période optimale de floraison en saison humide de novembre à décembre (*C. gracilis*, *C. microfoliolata*, *C. procera* et *C. rakotozafyi*).

En ce qui concerne la phénologie de *C. ambanjensis*, *C. gracilis*, *C. longibracteata*, *C. procera* et *C. rakotozafyi*, les données disponibles ne sont pas suffisantes pour caractériser de façon précise leur période de floraison et de fructification.

Toutes les espèces de *Cedrelopsis* présentent des fruits secs capsulaires déhiscents avec des graines ailées d'où la dissémination de diaspores est assurée par le vent ou anémochorie.

### Potentialité de régénération de *Cedrelopsis*

*C. gracilis*, *C. grevei*, *C. longibracteata*, *C. microfoliolata*, *C. rakotozafyi* et *C. trivalvis* ont deux types de régénération naturelle. La régénération se fait à partir de la graine ou par voie sexuée et l'autre par voie asexuée ou végétative, après une coupe de la tige, les espèces sont capables de donner des rejets. De plus lorsque les arbres vieillissent, un pied pourra donner un rejet lequel remplacera plus tard le pied-mère. Ce cas est également observé pour les espèces *C. grevei* et *C. microfoliolata*. Ces deux types de rejet présentent une différence morphologique du point de vue dimension et croissance. Le taux de régénération de chaque espèce est résumé dans l'appendice électronique 4. Ce taux de régénération varie durant toute l'année en fonction de la période d'observations et de la période de germination ainsi que les sites d'études. *C. trivalvis* (Sainte Luce), *C. grevei* (Antanimora et Menarahaka) ont de taux de régénération très élevés. Par contre, ce taux de régénération est presque nul pour *C. trivalvis* (Menarahaka).

### Structure démographique de *Cedrelopsis*

La répartition des individus par classe de diamètre pour les différentes espèces de *Cedrelopsis* permettant d'estimer les pressions et menaces sur les espèces et/ou leurs habitats est résumée dans l'appendice électronique 5. La distribution des individus de *C. gracilis* à Andranomena a une allure régulière avec une absence d'individus ayant de diamètre supérieur à 20 cm. Ceci indique une exploitation fréquente de cette espèce liée à la dégradation de l'habitat. La régénération de populations de *Cedrelopsis* est en général bonne. Tous les individus qui ont de diamètre supérieur à 5 cm (dimension voulue pour toutes sortes d'exploitation) deviennent rares. Ce fait indique entre autres, la pression liée à la coupe de bois. A Elandy, la distribution des individus de *C. longibracteata* présente une allure irrégulière du fait de l'absence de trois classes de diamètre suivantes: classes II, IV et V. Cette

Tableau 3 – Récapitulatif des données sur la distribution géographique de *Cedrelopsis*.

Espèces	Répartition par domaine: Humbert (1955)	Aire d'occurrence (EOO) (km <sup>2</sup> )	Aire d'occupation (AOO) (km <sup>2</sup> )	Nombre total des sous populations	Nombre des sous populations dans les APs	Prédiction du futur déclin (%)
<i>Cedrelopsis ambanjensis</i>	Sambirano	1083,11	27	03	1	66,67
<i>Cedrelopsis gracilis</i>	Ouest	18	18	02	0	100
<i>Cedrelopsis grevei</i>	Ouest, Sud et Sud Ouest	436505	873	88	10	88,63
<i>Cedrelopsis longibracteata</i>	Est	2616,68	27	02	1	50
<i>Cedrelopsis microfoliolata</i>	Ouest, Sud et Sud Ouest	330339	243	27	4	85,18
<i>Cedrelopsis procera</i>	Est	9	9	1	0	100
<i>Cedrelopsis rakotozafyi</i>	Ouest (Secteur Nord)	228,804	36	04	0	100
<i>Cedrelopsis trivalvis</i>	Est, Sambirano, Ouest, Sud Ouest	408092	180	17	02	88,23

**Tableau 4 – Evaluation du risque d'extinction des espèces de *Cedrelopsis* étudiées.**

nT: nombre total de sous populations des espèces cibles; n'T: nombre de sous populations des espèces cibles en dehors des Aires Protégées; FDH: Forêt Dense Humide; FSC: Forêt Sèche Caducifoliée; FL: Forêt littorale.

Critères	<i>Cedrelopsis ambanjensis</i>	<i>Cedrelopsis gracilis</i>	<i>Cedrelopsis grevei</i>	<i>Cedrelopsis longibracteata</i>	<i>Cedrelopsis microfoliolata</i>	<i>Cedrelopsis procera</i>	<i>Cedrelopsis rakotozafyi</i>	<i>Cedrelopsis trivalvis</i>
Type de végétation	FDH	FSC	FSC, Fourré Sec, Bush xérophile,	FDH	FSC, Fourré Sec	FDH	Fourré, Savane	FL, FDH, FSC
Abondance numérique	-	90	1619	14	484	-	183	111
TR(%)	-	199,99	2555,50	1100	802,39	-	438,09	1685,55
Aire d'occurrence (km <sup>2</sup> )	1083,11	18	436505	2616,68	330339	9	228,804	408092
Aire d'occupation (km <sup>2</sup> )	27	18	873	27	243	9	36	180
nT	3	2	88	2	27	1	4	17
n'T	2	2	78	1	23	1	4	15
Futur déclin (%)	66,67	100	88,63	50	85,18	100	100	88,23
Utilisation		Oui	Oui	Oui	Oui	-	Oui	Oui
Statuts UICN proposés	EN B1ab (i, ii, iii, iv) + 2ab (i, ii, iii, iv)	EN B1ab (i, iii, iv)	VU B2b (ii, iii)	EN B1ab (i, ii, iii, iv) + 2ab (i, ii, iii, iv)	VU B2ab (ii, iii, iv)	CR B1ab (i, ii, iii, iv) + 2 ab (i, ii, iii, iv)	EN B1ab (i, ii, iii, iv) + 2 ab (i, ii, iii, iv)	VU B2ab (ii, iii)

irrégularité est due à l'exploitation abusive de ses écorces après l'abattage effectif des individus.

La distribution des individus de *C. microfoliolata* est caractérisée par une allure plus ou moins régulière. Les individus qui ont de diamètre supérieur à 30 cm sont présents uniquement dans le site de la Montagne des Français. L'éloignement et le fait que le site soit très difficile d'accès ont permis sa conservation. Quant à *C. rakotozafyi*, dans le site d'Orangea, on peut déduire des résultats la surexploitation de l'espèce pour la construction et la fabrication de charbon. A Sahafary, les individus de diamètre supérieur à 10 cm sont rares.

La distribution des individus de *C. trivalvis* a une allure régulière dans les sites d'Orangea, Sahafary, Ankarana, Bekaka et Sainte Luce. Les rares individus de diamètre supérieur à 30 cm ne s'observent qu'à Sahafary et à Ankarana. A Menarahaka, on note une distribution irrégulière due certainement au passage fréquent de feux de brousse.

### Pressions et menaces sur les espèces de *Cedrelopsis*

Les principales menaces qui pèsent sur les espèces étudiées sont les exploitations par diverses modes d'utilisation des ressources en bois (cf. appendice électronique 6A) ainsi que la perte et la dégradation des habitats naturels. L'importance de l'exploitation dépend de l'accessibilité et surtout du statut de conservation de sites. La présence de gestionnaires de sites ne peut pas parfois freiner les besoins des communautés locales en ressources végétales et en général des différentes formes de pressions persistent. Les différentes formes de pressions et menaces liées à l'utilisation des ressources sont résumées dans l'appendice électronique 6B. L'extraction d'huile essentielle de *Cedrelopsis* n'est pas observée sur le terrain, pourtant l'huile essentielle de Katrafay est vendue sur les marchés locaux à Madagascar voire à l'international.

### Prédiction du futur déclin des espèces de *Cedrelopsis*

Les aires d'occurrence varient d'une espèce à l'autre (cf. tableau 3), d'une superficie très restreinte (9 km<sup>2</sup>) à une superficie assez large (436505 km<sup>2</sup>). Nos résultats montrent un taux de futur déclin ≤ 50% pour *C. longibracteata*; et un taux > 50% pour six autres espèces sur les sept que nous avons pu collecter dont *C. ambanjensis* (66,7%), *C. microfoliolata* (85,2%), *C. trivalvis* (88,2%), *C. grevei* (88,6%), *C. gracilis* (100%), et *C. rakotozafyi* (100%). Ainsi, compte tenu de ces données, les espèces de *Cedrelopsis* sont classées dans les catégories suivantes selon les statuts de conservation de l'IUCN: En Danger Critique d'Extinction (CR) pour le cas de *C. procera*; En Danger d'Extinction (EN) pour *C. ambanjensis*, *C. gracilis*, *C. longibracteata* et *C. rakotozafyi*; Vulnérable (VU) pour *C. grevei*, *C. microfoliolata* et *C. trivalvis* (cf. tableau 4).

## DISCUSSION

### Caractères morphologiques de *C. grevei* et *C. trivalvis*

*C. grevei* – Des variations morphologiques ont été observées chez certains individus d'une même espèce rencontrée à Ankarafantsika (nord ouest) et Ankariera (sud et faible pluvio-

métrie). Ces variations sont particulièrement marquées au niveau de taille et de forme ainsi le nombre de paires de folioles de feuilles. Les feuilles peuvent atteindre  $22 \times 13$  cm généralement avec huit paires de folioles à Ankarafantsika contre  $12 \times 6$  cm avec six paires à Ankariera. Ces caractères pourraient être dûs à de changement des facteurs écologiques et climatiques. En somme, il n'y a pas de critères morphologiques spécifiques permettant de séparer des morpho-espèces et jusqu'à maintenant cette espèce est considérée comme espèce polymorphe.

**C. trivalvis** – Les caractères morphologiques distinctifs sont observés au niveau de la taille des individus, la dimension de feuille, le nombre de paires de folioles et la présence ou l'absence de poils sur la nervure de la face inférieure de feuille. Les individus trouvés dans les forêts sèches ont des houppiers très développés par rapport à la hauteur du fût mais contrairement aux individus qui poussent dans les forêts humides. Pour le site de Menarahaka, les individus présentent des petites feuilles de  $4-5 \times 1-2$  cm et avec 4-5 paires de folioles. Il y a des poils dans la nervure médiane. Alors que dans les autres sites d'études, les feuilles peuvent atteindre  $8-16 \times 4-6$  cm avec 5-10 paires de folioles et caractérisées par de nervures glabres. Donc cela nécessite une étude plus élaborée et approfondie par des méthodes cytogénétiques et d'autres. Les informations relatives aux aires d'occupation (AOO) et d'occurrence (EOO) sont probablement sous-estimées pour certaines espèces à répartition biogéographique relativement large à cause d'un certain nombre de localités ou sites non prospectés. Le manque d'informations précises sur le nombre d'individus semenciers matures de différentes espèces étudiées constituerait également une lacune sur la définition exacte de leurs statuts de conservation. Et en général, la potentialité de régénération des différentes espèces de *Cedrelopsis* est bonne, mais leur vitesse de croissance et de développement est relativement lente.

Le génotypage de *C. grevei* et *C. trivalvis* de différents sites permettra de réviser la taxonomie de ces espèces.

### **Prédiction du futur déclin des espèces de *Cedrelopsis***

Selon Humbert (1955), les espèces de *Cedrelopsis* sont présentes dans tous les domaines phytogéographiques de Madagascar, à l'exception du domaine du centre et des hautes montagnes. Cependant, les résultats mentionnés ont mis en évidence le futur déclin qu'en moins de trois prochaines décennies de ce genre *Cedrelopsis*.

### **Stratégie de conservation des espèces étudiées**

Cette étude a permis de connaître l'état actuel de *Cedrelopsis* à Madagascar, avec ces espèces qui sont vulnérables et relativement menacées à cause de leurs utilisations irrationnelles et la dégradation de leurs habitats naturels. Des mesures alternatives s'avèrent nécessaires pour assurer la pérennisation de ces espèces aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de leurs habitats naturels. Pour cela, on peut suggérer deux recommandations conformément à la stratégie de conservation à Madagascar:

**Conservation in situ** – Les mesures à entreprendre se focaliseront sur la conservation de ces habitats naturels sous forme d'une gestion d'Aires Protégées.

**Conservation ex situ** – Cette approche est indispensable pour les espèces qui risquent de s'éteindre dans le milieu naturel en conservant les graines des espèces dans une banque de graines pour une éventuelle restauration de populations.

## CONCLUSION

Les résultats obtenus ont mis en évidence que les espèces de *Cedrelopsis* étudiées s'observent dans des formations forestières primaires et certaines formations végétales modifiées. Les aspects physiologiques et structuraux de végétation étudiée ont montré que les espèces de *Cedrelopsis* sont forestières mais elles peuvent être observées également dans les formations végétales fortement dégradées. A Sahafary, l'habitat de *C. rakotozafyi* est une formation herbeuse. En ce qui concerne la distribution de différentes espèces, *C. proccera* est une espèce strictement localisée. *C. ambanjensis* n'ayant pas pu retrouver dans l'ancienne zone d'occupation. *C. gracilis*, *C. longibracteata* et *C. rakotozafyi* sont à distribution relativement restreinte. Actuellement, *C. grevei*, *C. microfoliolata* et *C. trivalvis* présentent encore une distribution large. Cependant, toutes les espèces de *Cedrelopsis* sont des plantes à usage multiple. Certaines modes d'utilisation représentent des sérieuses pressions et menaces pour certaines espèces de *Cedrelopsis*. L'évaluation du statut UICN des espèces de *Cedrelopsis* montre qu'elles sont classées dans trois catégories: "en danger critique d'extinction" (CR), "en danger d'extinction" (EN) et "vulnérable" (VU). De ce fait, la stratégie de conservation de ces espèces devrait être focalisée sur la gestion rationnelle de leurs populations et sur la conservation de leurs habitats naturels. Ainsi, des études complémentaires sont à faire sur *Cedrelopsis* notamment en phylogénie et en anatomie liée à la dendrochronologie.

## MATERIEL SUPPLEMENTAIRE

Le matériel supplémentaire est disponible au format pdf sur le site du matériel supplémentaire des publications du Jardin botanique national de Belgique (<http://www.nbgpublisher.be> > SBB50 > dossier 584) et comprend: (1) bilan d'inventaire floristique dans les quatorze sites étudiés; (2) données structurales des quatorze sites étudiés; (3) données structurales sur la composition floristique des quatorze sites étudiés; (4) taux de régénération (TR) des espèces étudiées; (5) distribution des individus par classe de diamètre; et (6) utilisation des différentes espèces de *Cedrelopsis*, ainsi que différentes formes de pressions et menaces sur les espèces de *Cedrelopsis* et leurs habitats.

## REMERCIEMENTS

Cette étude est réalisée grâce à la collaboration entre par le Département de Biologie et Écologie Végétales de l'Université d'Antananarivo, l'Université de Stockholm de Suède, le Centre National d'Application de Recherches Pharmaceutiques et Institut Pasteur de Madagascar, a été financée par le Ministère des Affaires Etrangères français via

le Projet Sud Expert Plantes numéro 347 (SEP 347 *Cedrelopsis* Madagascar). Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde gratitude à tous ceux qui nous ont aidé à achever ce travail notamment à l'IRD-Madagascar, à Madagascar National Parks, à l'Université d'Antananarivo et au Ministère des Forêts et de l'Environnement de Madagascar.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allaby M. (1994) The concise Oxford dictionary of ecology. New York, Oxford University Press.
- Aubréville A. (1970) Vocabulaire de biogéographie appliquée aux régions tropicales humides. *Adansonia*, Sér. 2, 10: 439–498.
- Besairie H. (1964) Précis de géologie malgache. *Annales géologiques de Madagascar* 36: 109–134.
- Braun-Blanquet J. (1965) Plant sociology: the study of plant communities. London, Hafner.
- Brower E.J., Zan H.J., Von Ende N.C. (1990) Fields and laboratory methods for general ecology. 3<sup>rd</sup> Ed. Dubuque, W.C. Brown Publishers.
- Cornet A. (1974) Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar, Notice explicative, numéro 55. Paris, ORSTOM.
- Dajoz R. (1975) Précis d'écologie. Paris, Gauthier-Villars.
- Du Puy D.J., Moat J. (1996) A refined classification of the primary vegetation of Madagascar based on underlying geology: using GIS to map its distribution and to assess its conservation status. In: Lourenço W.R. (ed.) *Biogéographie de Madagascar*: 205–218. Paris, ORSTOM.
- Gift N., Stevens P.F. (1997) Vagaries in the delimitation character states in quantitative variation. *Systematic Biology* 46: 1–25.
- Gounot M. (1969) Méthode d'étude quantitative de la végétation. Paris, Masson.
- Humbert H. (1955) Les territoires phytogéographiques de Madagascar. *Année Biologique* Sér. 3, 31: 439–448.
- Radford A.E., Dickson W.C., Massey J.R., Bell C.R. (1974) *Vascular plant systematic*. New York, Harper & Row.
- Raivoarisoa M.J.F. (1999) Étude de l'espèce de *Cedrelopsis* grevei dans la région de Morondava: biologie, écologie, régénération naturelle et aspect socio-économique. Mémoire de DEA, Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar.
- Razafimandimbison S.G., Appelhans M., Rabarison H., Haevermans T., Rakotondrifara A., Rakotonandrasana S.R., Ratsimbason M., Kessner P., Smets E., Labat J.N., Randrianarivojosia M. (2010) Implications of a molecular phylogenetic study of the Malagasy genus *Cedrelopsis* and its relatives (Ptaeroxylaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 57: 258–265.
- Rothe P. (1964) Régénération naturelle en forêt tropicale. Le *Dipterocarpus dreysi* (Dau) sur le versant Cambodgien du Golfe de Siam. *Bois et Forêts des Tropiques* 24: 386–397.
- Schatz G.E. (2001) *Generic Tree Flora of Madagascar*. Kew, The Board of Trustees, Royal Botanic Gardens.
- Stace A.C. (1989) *Plant taxonomy and biosystematics*. London, Edward Arnold.
- UICN (1994) *Catégories de l'UICN pour les Listes Rouges*. Gland, Suisse, Commission de la sauvegarde des espèces de l'UICN.
- UICN (2001) *Catégories et critères de l'UICN pour la Liste Rouge*. Version 3.1. Gland, Suisse, Commission de la sauvegarde des espèces de l'UICN.
- Manuscript received 31 Oct. 2010; accepted in revised version 11 Mar. 2013.
- Communicating Editor: Elmar Robbrecht.