

Les conifères des massifs sur roches ultramafiques (terrains miniers) de Nouvelle-Calédonie : situation actuelle et propositions de mesures pour une meilleure conservation

Tanguy Jaffré¹, Jérôme Munzinger¹, Gilles Dagostini¹, Frédéric Rigault¹,
Jacqueline Tinel-Fambart¹, Laure Barrabé¹, Yohan Pillon¹, Pete P. II Lowry²



Araucaria scopulorum - Cap Bocage



Nouméa, Février 2009

1 UMR AMAP, Laboratoire de Botanique et d'Écologie Végétale Appliquées Centre IRD, BP A5, Nouméa, Nouvelle-Calédonie.

2 Département de Systématique et Evolution, MNHN, 16 rue Buffon Paris.

Introduction

La Nouvelle-Calédonie, située dans le Pacifique Sud Ouest (entre 20° et 23° de latitude Sud et 164° et 167° de longitude Est), à environ 1200 km du Queensland, est renommée pour sa flore terrestre d'une grande originalité (Jaffré et al. 2001, Lowry 1998, Morat 1993, Morat et al. 1995, Schmid 1980, 1982) et est classée parmi les "Hotspots" de la biodiversité à l'échelon mondial (Lowry et al. 2004, Myers 1988, Myers et al. 2000). Elle a été également retenue comme un des principaux "world's metallopytes hotspots" (Whiting et al. 2004) en raison de la richesse de sa flore sur roches ultramafiques. Ces terrains qui sont à l'origine des minerais de nickel, de chrome et de cobalt, constituent les terrains miniers. Ils sont répartis en plusieurs massifs. Le plus important occupe tout le Sud de la Grande Terre, avec un prolongement le long de la côte Est, tandis que les autres sont répartis principalement le long de la côte Ouest. L'ensemble couvre 5500 km² soit le tiers de la Grande Terre (Figure 1).

Au sein de la flore de la Nouvelle-Calédonie, qui totalise environ 3260 espèces de plantes vasculaires, avec un taux d'endémicité de 74% (Jaffré et al. 2001), le groupe des conifères comprend un total de 45 espèces, toutes endémiques (Laubenfels 1972, 2003, 2005, Page 1988), soit plus de 7% des conifères de la planète (Farjon & Page 1993), répartis en 4 familles et 19 genres dont 3 endémiques monospécifiques (*Austrotaxus*, *Neocallitropsis*, *Parasitaxus*) et un genre partagé avec Fidji (*Acmopyle*). En outre *Parasitaxus ustus* est le seul conifère parasite connu au monde (Cherrier 1981, Field & Brodribb 2005, Laubenfels 1959) et *Austrotaxus spicata* pourrait, en raison de caractères anatomiques originaux, appartenir à une famille endémique (Bobrov et al. 2004). Sur les 19 espèces du genre *Araucaria*, 13 formant un groupe monophylétique sont endémiques de la Nouvelle-Calédonie (Setoguchi et al. 1998).

Aussi est il couramment admis qu'aucune région au monde d'une aussi petite superficie ne possède une flore de conifères aussi riche et aussi diversifiée (Jaffré 1995, Watt 1999). 42 espèces de conifères (93% du total) se rencontrent sur terrains miniers et 28 espèces (62%) leur sont strictement liées (Tableau 1), par conséquent la pérennité d'une fraction non négligeable des conifères de la planète dépend de la gestion environnementale des écosystèmes des terrains miniers de Nouvelle-Calédonie.

Plusieurs espèces du groupe des conifères de Nouvelle-Calédonie apparaissent menacées (Farjon & Page 1999, Jaffré 1995, Jaffré et al. 1998) et notamment celles se développant sur terrains miniers (Manauté et al. 2004, Watt 1999). Cette situation résulte de la conjonction de plusieurs facteurs. Tout d'abord les feux récurrents ont réduit le couvert forestier initial de 80% à plus de 90% selon les massifs, au profit de maquis et de forêts secondaires. La fréquence des incendies est en effet augmentée sur les massifs miniers, en raison de l'ouverture de nombreuses pistes de prospection et d'exploitation. De plus, l'exploitation forestière au cours du siècle précédent, a contribué à appauvrir les populations de plusieurs espèces des genres *Agathis* et *Araucaria* (Manauté et al. 2004, Nasi 1982). Enfin, l'exploitation à ciel ouvert du nickel, depuis 1874, a provoqué la destruction du couvert végétal par des décapages et le déversement de déblais sur les pentes des massifs (Bird et al. 1984, Dupon 1986, Jaffré et al. 1977). En dépit d'une rationalisation progressive des méthodes d'exploitation minière (Pelletier 1990), ainsi que d'un début de mise en œuvre de méthodes de revégétalisation à l'aide d'espèces endémiques (Jaffré & Pelletier 1992, Jaffré et al. 1994, Luçon et al. 1997, MacCoy et al. 2002, Mazzéo 2004, Sarraillh & Ayrault 2001, Roumagnac et al. 2004), bien des inquiétudes subsistent sur les risques d'atteinte à la biodiversité et d'extinction d'espèces dans les massifs miniers (Mittermeier et al. 1996, Morat et al. 1999, Pascal et al. 2007).

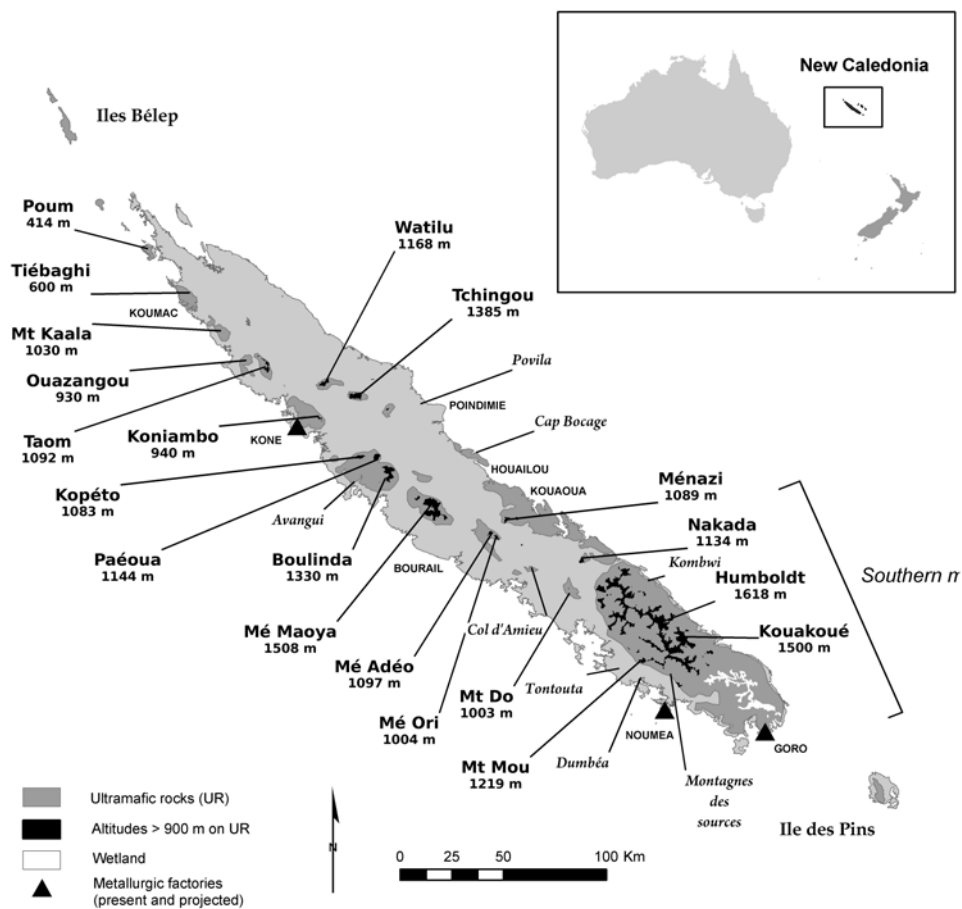


Figure 1 : Répartition des massifs de roches ultramafiques et distribution des zones au dessus de 900 m et des zones humides.

Ces inquiétudes tiennent à ce que la Nouvelle-Calédonie, qui possède à ce jour 25% des ressources mondiales de nickel, est dans une phase de développement minier sans précédent, avec une prévision du triplement des extractions actuelles, pour atteindre une production équivalente à plus de 150000 tonnes de Nickel métal par an. L'accroissement de la production minière s'appuie sur l'existence de minerais silicatés (sapolitiques) traités par pyrométallurgie, et de minerais oxydés (latéritiques) de faibles teneurs, inexploités jusqu'à présent, qui seront dorénavant traités localement par une usine hydrométallurgique. Cet accroissement de l'activité minière et industrielle va se traduire par un accroissement des surfaces et du nombre des biotopes impactés sur l'ensemble des massifs miniers.

Méthode d'étude

L'étude vise à proposer des mesures permettant d'améliorer les conditions de sauvegarde des espèces du groupe des conifères des terrains miniers et des biotopes qui les abritent. Elle s'appuie sur l'analyse des risques de disparition des différentes espèces en fonction de leurs conditions de milieu, des menaces qui les affectent et des mesures de protection dont elles bénéficient. L'étude est basée sur le classement IUCN des différentes espèces du groupe des conifères, figurant dans la liste rouge (IUCN 1994, 2001, Watt 1999) modifiée :

-par la mise à jour, du statut des 11

Tableau 1 : Conditions écologiques et classements selon les critères IUCN des conifères des terrains miniers de Nouvelle-Calédonie.

Taxa	Roche	Altitude (m)	Vég.	Statut IUCN (1994 et 2001)	Statut IUCN Propositions
Araucariaceae					
<i>Agathis lanceolata</i> Lindley ex Warb.	U	200-1100	F	LRcd	VU B2ab(iii), C2a (i)
<i>Agathis moorei</i> (Lindley) Masters	UA	250-1000	F	VU B1+2c	VU B2ab(ii), C1
<i>Agathis ovata</i> (C. Moore) Warb.	U	150-1100	FM	LRcd	VU B2ab(iii), C2a(i)
<i>Araucaria bernieri</i> J. Buchholz-Ham.	U	100-700	F	LRcd	VU B2ab(ii)(iii), C1
<i>Araucaria biramulata</i> J. Buchholz	U	250-1150	F	LRcd	NT
<i>Araucaria columnaris</i> (Forster & Forster f.) J.D. Hook.	UCA	0-150	F	LR	LC
<i>Araucaria humboldtensis</i> J. Buchholz	U	800-1550	FM	LRcd	NT
<i>Araucaria laubenfelsii</i> Corbasson	U	400-1300	FM	LRcd	NT
<i>Araucaria luxurians</i> (Brongn. & Gris) de Laub.	U	10-200	FM	EN B1+2c	EN B2ab(ii)(iii), C2ai
<i>Araucaria montana</i> Brongn.	UA	300-1300	FM	LR	NT
<i>Araucaria muelleri</i> (Carrière) Brongn. & Gris	U	150-1000	FM	LRcd	VU A3c, B2ab(ii)(iii)
<i>Araucaria nemorosa</i> de Laub.	U	10-100	F	CR B1+2c	CR B1ab(ii)(iii)
<i>Araucaria rulei</i> F. Muell.	U	150-1200	FM	EN C1	EN A2c, B2ab(ii)(iii)
<i>Araucaria scopulorum</i> de Laub.	U	10-200	FM	EN B1+2c	EN B2ab(ii)(iii)
<i>Araucaria subulata</i> Vieill.	U	300-1000	F	LRcd	NT
Cupressaceae					
<i>Callitris neocaledonica</i> Dummer	U	950-1350	M	LRcd	NT
<i>Callitris sulcata</i> (Parlatore) Schltr.	U	50-200	FM	EN B1+2c	EN B2ab(iii), C2ai
<i>Libocedrus austrocaledonica</i> Brongn.	U	700-1300	F	LRcd	NT
<i>Libocedrus chevalieri</i> J. Buchholz	U	1450-1600	M	EN B1+2de	EN B2ab(iii)(iv)
<i>Libocedrus yateensis</i> Guillaumin	UA	150-650	F	VU B1+3d, C2a	VU B2ab(ii)(iii), C2ai
<i>Neocallitropsis pancheri</i> (Carrière) de Laub.	U	250-950	M	VU A1c, B1+2b	VU A1c, B2ab(ii)(iii)
Podocarpaceae					
<i>Acropyle pancheri</i> (Brongn. & Gris) Pilger	UA	100-1300	F	NT	NT
<i>Dacrycarpus vieillardii</i> (Parlatore) de Laub.	U	100-800	F	LR	LC
<i>Dacrydium araucarioides</i> Brongn.	U	200-1000	M	LR	LC
<i>Dacrydium balansae</i> Brongn.	U	150-900	FM	LR	LC
<i>Dacrydium guillauminii</i> J. Buchholz	U	230	H	CR B1+2c, C1	CR B2ab(iii), C2aii
<i>Dacrydium lycopodioides</i> Brongn.	U	750-1450	F	LRcd	NT
<i>Falcatifolium taxoides</i> (Brongn. & Gris) de Laub.	UA	100-1400	F	LR	LC
<i>Parasitaxus ustus</i> (Vieill.) de Laub.	UA	100-1100	F	NT	NT
<i>Podocarpus beecherae</i> de Laub.	U	100-750	H	CR B2ab(iii)	CR B2ab(iii)
<i>Podocarpus colliculatus</i> (N.E. Gray) de Laub.	UA	200	F	NE	CR B2a
<i>Podocarpus decumbens</i> N. Gray	U	800-1000	FM	VU D2	VU D2
<i>Podocarpus gnidioides</i> Carrière	U	600-1600	M	LR	LC
<i>Podocarpus longefoliolatus</i> Pilger	U	1100-1200	F	EN B2ab(iii)	EN B2ab(iii)
<i>Podocarpus lucieniide</i> Laub.	UA	200-1100	F	LR	LC
<i>Podocarpus novaecaledoniae</i> Vieill.	U	100-750	H	LR	LC
<i>Podocarpus polyspermus</i> de Laub.	UA	650-950	F	VU B1+2b	VU B2ab(ii)(iii)
<i>Podocarpus sylvestris</i> J. Buchholz	UA	150-1200	F	LR	LC
<i>Prumnopitys ferruginoides</i> (Compton) de Laub.	UA	150-1400	F	LR	LC
<i>Retrophyllum comptonii</i> (Buchh.) C. Page	UA	750-1450	F	LR	LC
<i>Retrophyllum minus</i> (Carr.) C. Page	U	250	H	EN C1+2a	EN C2ai
Taxaceae					
<i>Austrotaxus spicata</i> Compton	UA	500-1350	F	NT	NT

Roches: U: Ultramafiques, A: Acides, C: Calcaires

Végétations: F: Forêt, M: Maquis, H: Végétation des zones humides

Statut IUCN : CR: Critically endangered, EN: Endangered, VU: Vulnerable, NT: Nearly Threatened

espèces anciennement classées "Low Risk conservation dependant" (LRcd) (catégorie non retenue dans la classification IUCN 2001)

- par le changement de statut d'*Araucaria montana*

- par la prise en compte d'une espèce récemment décrite (Laubenfels 2005).

L'analyse est réalisée à partir des données disponibles dans différents ouvrages, articles et rapports sur la flore et les groupements végétaux des terrains miniers du pays. Elle repose aussi très largement sur la compilation des informations, concernant la distribution, et l'habitat des différentes espèces, contenues dans les collections d'herbiers (NOU, P, MO), dont la plupart sont maintenant informatisées. Cependant toutes les récoltes ne sont pas encore parfaitement géo-référencées, en raison notamment de l'imprécision d'un certain nombre de collections anciennes. L'analyse prend également en compte les notes de terrain des auteurs.

L'étude est réalisée par groupes d'espèces appartenant aux grandes catégories de biotopes renfermant des conifères sur terrains miniers :

1) **Les zones humides sur roches ultramafiques** (dolines et marécages) n'existent pratiquement que dans l'extrême sud du massif du Sud, où elles occupent moins de 250 km². Leur végétation, tout à fait originale et spécialisée, est assimilée, en dehors des groupements de pleines eaux et des liserés rivulaires arbustifs sur alluvions ou sur cuirasse, à du maquis ligno-herbacé des zones humides, qui résulte d'incendies répétés (Jaffré 1980, Jaffré et al. 2003, 2004).

2) **Les forêts denses humides et les maquis d'altitude** se développent au dessus de 900-1000 m dans des zones recevant des précipitations proches ou > 3000 mm par an. Les deux formations, qui passent souvent de

manière imperceptible de l'une à l'autre en fonction de la topographie, occupent environ 340 km² sur roches ultramafiques. Elles sont principalement représentées dans le massif du Sud (250 km²), qui culmine à 1625 m et possède une trentaine de sommets au dessus de 1000 m d'altitude. Parmi les massifs isolés de la côte Ouest et du Centre Nord de la Grande Terre, seulement trois culminent au dessus de 1300 m, et sept entre 1000 et 1130 m (Figure 1). Ces zones d'altitude, d'accès souvent difficile, ont une flore spécialisée riche en espèces rares (Jaffré et al. 1998, Munzinger et al. 2007, 2008^b, Nasi et al. 2002, Pillon et al 2008, Virot 1956).

3) **Les forêts denses humides de basse et moyenne altitudes** (Morat et al 1981) sont situées en dessous de 800-1000 m d'altitude dans des zones recevant des précipitations annuelles moyennes comprises entre 1500 et 3000 mm. Les forêts de ce type, à caractère primaire sur terrains miniers, occupent vraisemblablement moins de 800 km². Elles sont très diversifiées et se trouvent principalement le long de cours d'eau, sur de fortes pentes, dans des talwegs encaissés, sur sols rocaillieux de crêtes ou sur sols cuirassés ou gravillonnaires en zones planes (Barrabé et al. 2008, Jaffré et al. 2004, Jaffré & Veillon 1990, Munzinger et al. 2007, 2008^a, Oddi 2004, Rigg et al. 1998, Rigault et al. 2000, Read et al. 1995, 2004, Sarlin 1954, Virot 1956).

4) **Les maquis miniers de basse et moyenne altitudes** couvrent environ 4400 km². Ils englobent un ensemble varié et hétérogène de groupements végétaux secondaires arbustifs plus ou moins buissonnants ou ligno-herbacés, résultant de la destruction du couvert initial, largement forestier, par des incendies répétés. Ils se différencient physionomiquement et floristiquement en fonction de la nature chimique et physique du sol, ainsi que du stade d'évolution qu'ils représentent (Barrière 2007, 2008, Dagostini et al. 1997, Jaffré 1974, 1980, Jaffré et al. 2003, Jaffré & Latham 1974).

Les aires protégées mentionnées, qui sont inchangées, ont fait l'objet d'une précédente analyse (Jaffré et al. 1998).

Résultats

Selon les nouvelles évaluations, les conifères des terrains miniers comprennent 4 espèces "Critically endangered" (CR), 7 "Endangered" (EN), 9 "Vulnerable" (VU) et 11 "Nearly Threatened" (NT). Elles se répartissent en 3 espèces des zones humides, 8 espèces des forêts et des maquis d'altitude, 19 espèces des forêts denses humides de basse et moyenne altitudes, 1 espèce des maquis de moyenne altitude (Tableau 1).

Espèces menacées des zones humides

- Situation actuelle

Trois espèces de conifères sont inscrites sur la liste rouge de l'IUCN. *Podocarpus beecherae*, séparée de l'espèce commune *Podocarpus novaecaledoniae*, récemment ajoutée à la liste IUCN sous le critère CR, a toutefois une répartition incertaine et nécessiterait des observations et analyses complémentaires. *Dacrydium guillauminii* (CR) ne compte qu'une seule population, dont l'aire d'occupation est discontinue, inférieure à 1 km², sur la berge interne de la rivière des Lacs et du Lac en Huit. La troisième espèce *Retrophyllum minus* (classée EN) est répartie en de nombreuses petites populations relictuelles réparties sur les berges de cours d'eau ou de petits lacs.

- Les menaces

Les principales populations de *Dacrydium guillauminii* et de *Retrophyllum minus* se situent à moins de 15 km d'une usine hydrométallurgique en construction. En outre un phénomène d'hybridation naturelle, dont on sait qu'il peut avoir un impact négatif sur les espèces rares (Levin et

al. 1996, Soltis & Gitzendanner 1997), décrit par Knopf et al. (2007), entre *Dacrydium guillauminii* et l'espèce commune du maquis *Dacrydium araucarioides* (*Dacrydium x suprinii*) pourrait aussi menacer l'intégrité de *Dacrydium guillauminii*.

- Statut dans des réserves

Plus de la moitié des effectifs de *Dacrydium guillauminii* sont inclus dans la Réserve de la Chute de la Madeleine, qui ne serait pas légalement interdite à l'exploitation minière (Jaffré et al. 1998). Plusieurs populations de *Retrophyllum minus* se trouvent aussi dans cette même réserve ainsi que dans le Parc de la Rivière Bleue.

Espèces menacées des forêts et maquis d'altitude

- Situation actuelle

Cinq espèces forestières d'altitude sont inscrites sur la liste rouge de l'IUCN. *Podocarpus longefoliolatus* (EN) a été répertoriée sur 5 sommets dans le massif du Sud et dans le massif du Mé Maoya et *Podocarpus decumbens* (VU) dans de la forêt basse ou dans du maquis dense dans deux localités du massif du Sud.

Les espèces classées NT (*Araucaria humboldtensis*, *Dacrydium lycopodioides* et *Libocedrus austrocaledonica*) ont une distribution fragmentée sur plusieurs sommets du massif du Sud. *Libocedrus austrocaledonica* possède de plus une population isolée, à environ 250 km, dans le massif du Paéoua.

Les maquis renferment une espèce rare *Libocedrus chevalieri* (EN), connue de deux localités, et une espèce plus commune *Callitris neocaledonica* (NT).

- Les menaces

Les feux, quoique moins fréquents qu'à plus basse altitude, sont à l'origine de

la régression des différentes espèces, qui demeurent aussi sous la menace d'une extension de l'exploitation minière. De plus, une augmentation de la température, liée à un changement climatique global, pourrait créer un relèvement de l'altitude à laquelle se forme le plafond nuageux, limitant ainsi l'épaisseur de la zone propice au développement des formations végétales montagnardes abritant plusieurs populations de conifères (Nasi et al. 2002).

-Statut dans des réserves

Les aires protégées d'altitude, au dessus de 900 m, totalisent 63 km² répartis au sein de 11 réserves, dont une seule, avec 313 ha au dessus de 900 m d'altitude, est située dans un massif isolé (Réserve de Nodéla dans le massif du Mé-Maoya).

Libocedrus chevalieri, et *Podocarpus decumbens* ont la totalité de leurs populations au sein du principal ensemble d'aires protégées d'altitude, englobant les parties hautes des réserves du Humboldt, du Kouakoué (non interdites à l'exploitation minière) et de la Montagne des Sources, totalisant 4375 ha au dessus de 900 m d'altitude. La principale population de *Podocarpus longefoliolatus* se trouve dans la réserve du Mont Mou (266 ha au dessus de 900 m, non interdite à l'exploitation minière), mais les quatre autres populations (Nékandi, Sindoa, Kombwi et Mé Maoya,) ne bénéficient d'aucune protection. Les espèces classées NT (*Araucaria humboldtensis*, *Callitris neocaledonica*, *Dacrydium lycopodioides*, *Libocedrus austrocaledonica*), sont représentées dans au moins deux réserves, mais la population excentrée de *Libocedrus austrocaledonica* dans le massif du Paéoua n'est pas protégée.

Espèces menacées des forêts denses humides de basse et moyenne altitudes

- Situation actuelle

Parmi les 29 espèces de conifères recensées, on dénombre 2 espèces classées

CR, 4 EN, 6 VU et 8 NT, qui se répartissent en 12 espèces essentiellement forestières et huit qui subsistent aussi dans des maquis secondaires (Tableau 1).

Parmi les espèces du premier groupe, *Podocarpus colliculatus* et *Araucaria nemorosa* (CR) occupent chacun moins d'un km² dans l'extrême Sud de l'archipel. La première possède une seule population, sur l'île des Pins à la base du Pic N'Ga. La seconde a une aire d'occupation à la fois réduite (0.6 km²) et fragmentée (Kettle 2006). Son statut (CR) se trouve renforcé par une étude génétique, qui a mis en évidence la perte d'allèles et un taux élevé de consanguinité au sein des recrûs par rapport à la population d'arbres adultes (Kettle et al. 2007).

Podocarpus polyspermus et *Libocedrus yateensis* (VU) sont relativement rares et ont une répartition disjointe. La première se rencontre sur deux massifs du centre de la Grande Terre (Mé Maoya, Paéoua), ainsi que sur roches acides dans le nord de l'île. *Libocedrus yateensis* possède ses principales populations dans le massif du Sud, et deux populations excentrées, sur roches ultramafiques à Povila (région de Poindimié) dans le centre de l'île et sur roches acides dans le Nord Est (Jaffré et al. 1987).

Agathis lanceolata et *Araucaria bernieri* (VU) ainsi que *Araucaria biramulata*, *Araucaria subulata*, *Acmopyle pancheri*, et *Parasitaxus ustus* (NT) se trouvent principalement, en populations éparses, dans le massif du Sud, mais se rencontrent aussi dans les massifs miniers isolés : *Agathis lanceolata* dans les massifs du Boulinda et du Mé Maoya, *Araucaria subulata* dans un massif de roches acides, *Araucaria biramulata* dans les massifs du Kaala et du Kopéto, *Acmopyle pancheri* dans les massifs du Paéoua, du Mé Ori, du Boulinda et sur roches acides, *Parasitaxus ustus* dans les massifs du Paéoua et du Tchingou ainsi que sur roches acides. Parmi

les espèces plus fréquentes sur roches acides que sur terrains miniers, *Agathis moorei* (VU) n'existe sur roches ultramafiques qu'au Col d'Amieu, dans une zone de contact géologique et *Austrotaxus spicata* (NT) seulement dans le massif du Mé-Maoya.

Parmi les espèces forestières, également représentées dans le maquis, *Araucaria luxurians* et *Araucaria scopulorum* (EN) se développent à basse altitude, dans des zones à pluviométrie annuelle moyenne < 2000 mm, sur des sols bruns hypermagnésiens, dans moins de 10 localités chacune. *Araucaria luxurians* se rencontre dans les zones côtières de la moitié Sud de la Grande Terre, ainsi qu'à la base du massif du Boulinda à la sortie Nord de Poya (site d'Avangui). Plusieurs populations se situent à proximité de zones d'habitation (Plum, Thio), ou d'exploitations minières (Kouaoua). Les populations d'*Araucaria scopulorum* sont réparties sur plus de 400 km, de Thio dans le Sud, au massif de Poum dans le Nord de l'île. Le peuplement le plus important se trouve sur la presque-île du Cap Bocage (Houailou) à proximité d'une exploitation minière.

Araucaria rulei et *Callitris sulcata* (EN), *Agathis ovata*, *Araucaria muelleri* (VU), *Araucaria montana* et *Araucaria laubenfelsii* (NT) se développent dans des secteurs de pluviométrie moyenne > 2000 mm/an, sur sols oxydiques (ferralitiques ferritiques). L'aire de distribution de *Callitris sulcata* est limitée aux vallées des rivières Toutouta, Dumbéa et Kombwi, dans le massif du Sud. *Araucaria rulei* et *Araucaria montana* sont largement répartis dans plusieurs massifs miniers isolés. *Araucaria montana* occupe des crêtes et *Araucaria rulei* plus généralement des plateaux en contrebas des crêtes sommitales, dans une situation topographique favorable à la formation de minerai en profondeur. *Agathis ovata*, *Araucaria muelleri* et *Araucaria laubenfelsii* sont principalement représentés dans le massif du Sud, avec une

extension sur la côte Est (Kouaoua) pour *Agathis ovata*, et une population excentrée signalée, à confirmer toutefois, dans le Nord (Mont Kaala) pour *Araucaria laubenfelsii*.

- Les menaces

Les populations forestières des conifères de basse et moyenne altitudes se trouvent principalement dans des reliques de forêts séparées par de vastes zones de maquis secondaires. Actuellement les incendies n'empiètent que rarement sur les noyaux forestiers, cantonnés à des sites refuges, mais ils détruisent les lisières préforestières et les îlots forestiers secondarisés et partiellement ouverts, qui bien souvent abritent des recrûs de différentes espèces d'Araucariaceae à caractère héliophile (Jaffré 1995).

Ces populations de conifères forestiers, lorsqu'elles sont situées à proximité de centres miniers, sont aussi directement menacées par les ouvertures de pistes et surtout par le stockage des déblais (stériles) en verses stabilisées dans les talwegs, où subsistent précisément des lambeaux de forêts. De plus les populations d'*Araucaria rulei* et d'*Agathis ovata* demeurent dans le maquis sous la menace des décapages miniers, qui ont déjà décimé la plupart des populations d'*Araucaria rulei* sur les massifs les plus intensément exploités. Les populations d'*Araucaria muelleri*, jusqu'à présent épargnées par l'exploitation minière, sont désormais menacées par l'exploitation du minerai latéritique dans le massif du Sud.

L'unique population de *Podocarpus colliculatus*, ainsi que les populations d'*Araucaria luxurians*, situées à proximité de zones touristiques ou urbanisées pourraient être menacées par la fréquentation humaine.

- Statut dans des réserves

Au total 7 espèces menacées comprenant *Araucaria nemorosa* et *Podocarpus colliculatus* (CR), *Araucaria luxurians*, *Araucaria rulei*, *Araucaria*

scopulorum et *Callitris sulcata* (EN), et *Agathis moorei* (VU) ne bénéficient d'aucune protection dans une réserve. Il en est de même pour les populations excentrées de quelques espèces précédemment signalées.

Les aires protégées, englobant forêts et maquis divers de basse et moyenne altitudes, totalisent 330 km², en dessous de 1000 m d'altitude. Elles sont au nombre de 16 dans le massif du Sud et d'une seule (663 ha dans la réserve de Nodéla dans le massif du Mé Maoya) pour la totalité des massifs miniers isolés (Jaffré et al. 1998). Les ensembles les plus étendus au dessous de 1000 m dans le massif du Sud comprennent le Parc Provincial de la Rivière Bleue, les réserves de la Montagne des Sources et de la Haute Pourina totalisant 18300 ha et la réserve du Kouakoué 5768 ha. Cette dernière, ainsi que trois autres réserves plus petites, totalisant 1900 ha en dessous de 1000 m d'altitude, ne sont toutefois pas interdites à l'exploitation minière. En outre les réserves essentiellement forestières du Mont Oungoné (305 ha) et de Forêt Nord (270 ha) sont respectivement à moins de 2 km et à proximité immédiate d'une usine hydrométallurgique qui doit entrer en activité fin 2009.

Bien que le nombre de réserves soit relativement élevé dans le massif du Sud, seuls *Araucaria muelleri* (Enright et al. 2002), *Araucaria bernieri*, *Libocedrus yateensis* et *Araucaria laubenfelsii*, ont au moins une population importante (plus de 2000 individus matures) dans une réserve. La plupart des populations des différentes espèces menacées, réduites à des effectifs inférieurs à 150 individus matures, est éparpillée dans de petits lambeaux forestiers à l'intérieur comme à l'extérieur des aires protégées. Parmi les conifères menacés absents du massif du Sud, *Podocarpus polyspermus* (VU) a été signalé dans la réserve de Nodéla (Barrabé et al. 2008) mais les populations recensées sur le massif du Paéoua ne sont pas protégées.

Espèces menacées du maquis miniers de basse et moyenne altitudes

- Situation actuelle

Seuls les maquis sur sols oxydiques gravillonnaires ou indurés, les moins propices à la propagation des incendies en raison de l'absence de strate herbacée continue, comptent un conifère menacé, classée VU, *Neocallitropsis pancheri*. Cette espèce se trouve en populations de quelques unités à plusieurs centaines d'individus, dans le massif du Sud entre 300 à 1000 m d'altitude. Une population disjointe, d'une dizaine de pieds matures, se trouve dans un lambeau de forêt de crête à 1100 m d'altitude, sur un sommet du Mont Paéoua, à 250 km au Nord-Ouest des populations principales (Jaffré et al. 1987).

- Les menaces

Bien que cette espèce puisse résister à des feux d'intensité modérée, les incendies répétés seraient la principale cause de son déclin récent, accentué au cours des dernières décennies par l'exploitation de son bois, et par l'enneigement de plusieurs populations lors de la mise en eau du barrage de Yaté. Plusieurs populations se trouvent actuellement au sein de zones d'activité minière.

- Statut dans des réserves

Deux des populations les plus importantes se trouvent dans les réserves de la Montagne des Sources et de la Chute de la Madeleine.

Discussion conclusions

Les résultats montrent, comme indiqué, d'une manière générale, pour les espèces menacées dans les différents "hotspots" de la biodiversité par Brooks et al. (2002), que les risques d'extinction de plusieurs conifères des terrains miniers en Nouvelle-Calédonie, résultent principale-

ment de la réduction et de la fragmentation de leurs habitats. Ces phénomènes peuvent en effet entraîner l'extinction rapide des espèces les plus rares, mais également à plus long terme une perte de la biodiversité globale (Saunders et al. 1991, Young et al. 1996). Le dépérissement des espèces réparties en petites populations isolées, par érosion génétique, dépression de consanguinité, perte d'allèles et une diminution des phénomènes de reproduction, a été souligné par de nombreux auteurs (Honnay & Jacquemyn 2006, Oostermeijer et al. 2003, Savolainen & Kuittinen 2000, Young & Boyle 2000). Ces phénomènes ont été précisés pour les espèces du genre *Araucaria* en Nouvelle-Calédonie, à partir d'études génétiques populationnelles, à l'aide des microsatellites (Kettle 2006, Kettle et al. 2007, Kranitz 2007).

L'ensemble des données sur la distribution et la réduction des populations de conifères des terrains miniers traduit la précarité de nombreuses espèces. Leur sauvegarde nécessitera la mise en œuvre rapide d'un faisceau de mesures visant d'une part à améliorer le réseau et la surveillance des aires protégées, d'autre part à enrayer la réduction et la fragmentation de l'habitat forestier et à aider à sa reconstitution, et enfin à multiplier les espèces les plus menacées. L'acquisition de nouvelles connaissances (taxonomiques, écologiques et surtout génétiques) sera également nécessaire pour préciser la distribution de certaines espèces, et les mesures de sauvegarde les mieux appropriées pour assurer à terme la pérennité et l'intégrité génétique de toutes les espèces.

Amélioration du réseau et de la surveillance des aires protégées

Une meilleure protection des conifères des zones humides nécessitera la mise en réserve de périmètres plus étendus, totalement interdits à l'exploitation minière et protégés des incendies. La surveillance

des débits hydriques et de la qualité des eaux pour prévenir tout changement des conditions de milieu, résultant de l'activité minière et industrielle dans le secteur, est également indispensable.

Les conifères d'altitude bénéficient d'une protection relativement importante dans les aires protégées du massif du Sud. Toutefois l'interdiction d'exploitation minière au sein des réserves existantes et la création d'une aire protégée dans les parties hautes des massifs du Mé Maoya et du Paéoua constituent les mesures prioritaires à prendre en leur faveur.

La sauvegarde de *Neocallitropsis pancheri* dans les maquis de basse et moyenne altitudes nécessiterait la protection de plusieurs autres populations dans le massif du Sud, et surtout la protection de la population altimontaine isolée dans le massif du Paéoua. La mise en défens des parties hautes de ce massif est d'autant plus justifiée qu'elle renferme plusieurs espèces menacées, dont *Libocedrus austrocaledonicus* et *Parasitaxus ustus*, et plusieurs espèces d'Angiospermes (Jaffré et al. 1987).

La protection dans des réserves des conifères des forêts denses humides de basse et moyenne altitudes demeure la plus délicate en raison du nombre élevé d'espèces concernées et de l'éparpillement des populations de la plupart d'entre elles.

La sauvegarde de *Podocarpus colliculatus* et d'*Araucaria nemorosa* (CR) implique la mise en défens de la totalité de leurs zones d'occupation.

Parmi les espèces classées EN, la sauvegarde de *Callitris sulcata*, nécessiterait la mise en réserve de populations représentatives dans chacune des trois vallées où elle existe. La création d'une réserve dans la vallée de la Tontouta, qui abrite pas moins de 30 espèces endémiques menacées, dont 17 strictement localisées à

cette zone (Jaffré et al. 2003), serait la plus urgente.

Araucaria luxurians et *Araucaria scopulorum*, également classés EN, sont les seuls conifères à se développer sur des sols bruns hypermagnésiens de basse altitude. Or ces biotopes, qui ne bénéficient actuellement d'aucune mesure de protection, portent des groupements paraforestiers et des maquis arbustifs parmi les plus riches en espèces endémiques, (Jaffré 1980, 1992). La création de réserves pour protéger ces deux *Araucaria*, pourrait s'intégrer dans le cadre élargi d'une stratégie de protection des espèces associées aux sols bruns hypermagnésiens à la base des massifs miniers isolés. Dans l'immédiat les populations les moins dégradées d'*Araucaria scopulorum* sur la presqu'île du Cap Bocage, d'*Araucaria luxurians* dans le site d'Avangui, excentrée par rapport aux populations du massif du Sud, ainsi que celles situées à proximité des zones urbanisées, devraient faire l'objet des premières mesures de mise en défens.

La sauvegarde d'*Araucaria rulei* (EN) et d'*Araucaria montana* (classé NT), ainsi que celle des populations excentrées sur certains massifs isolés, de plusieurs espèces précédemment citées, nécessitera la création de plusieurs réserves sur différents massifs isolés du Centre et du Nord de la Grande Terre.

Les espèces classées VU ou NT, existant exclusivement ou majoritairement dans le massif du Sud bénéficient d'une meilleure protection dans des réserves, sans que la pérennité à long terme de toutes soit assurée, en raison de la réduction et de la fragmentation des populations. En outre toute activité minière devrait être interdite dans la totalité des réserves, qui devraient bénéficier de dispositifs de surveillance.

Mesures pour enrayer la réduction et la fragmentation des milieux forestiers

La sauvegarde à long terme des conifères forestiers dont l'habitat a subi la plus forte régression et est le plus fragmenté à basse et moyenne altitudes, implique l'arrêt de toute nouvelle destruction de périmètres forestiers, intacts ou en voie de reconstitution.

Pour atteindre cet objectif, la prévention contre les incendies, qui s'opposent à la reconstitution naturelle des forêts à partir des lisières, ou à partir des maquis dominés par *Agathis ovata* (Enright et al. 2003) ou par des espèces du genre *Araucaria* (Rigg 2005) est une première priorité. La mise en place de moyens de lutte contre les incendies et de moyens de surveillance dans plusieurs communes de la Grande Terre, ainsi que la programmation d'importantes actions de recherches pluridisciplinaires sur les incendies en Nouvelle-Calédonie (Hély-Alleaune 2008) vont dans ce sens et devraient permettre la mise en œuvre des moyens de prévention et de lutte anti-incendie, les mieux adaptés à chaque catégorie de milieux.

La seconde mesure, extrêmement urgente, serait l'abandon dans tous les massifs miniers du stockage des déblais d'exploitation en verses stabilisées dans des talwegs abritant des reliques forestières. Cette pratique, qui a mis fin dans les années 70 aux "décharges sauvages", qui détruisaient la végétation sur l'ensemble du pourtour des zones exploitées et occasionnait la pollution et l'engrèvement des rivières en contre bas (Bird et al. 1984, Dupon 1986, Jaffré et al 1977) représentait à l'époque un progrès en matière d'environnement. Toutefois, en raison de l'augmentation des quantités de déblais miniers à stocker, auxquels vont s'ajouter prochainement les résidus industriels des traitements hydrométallurgiques, cette pratique risque de donner sur les massifs exploités "le coup de grâce" aux reliques forestières de talweg et aux populations d'espèces qu'elles abritent. Aussi le



Forêt à chêne gomme (*Arillastrum gummiiferum*) détruite par des incendies répétés



Destruction par incendie d'une forêt en phase de reconstitution



Verse de stériles miniers, non stabilisée, exploitation des années 1970
1^{er} plan *Araucaria rulei*



Verse de stériles miniers, stabilisée (Kopéto 2003), dans un talweg abritant une relique de forêt primaire

stockage des déblais miniers, comme celui des résidus industriels, devrait-il se faire, comme réalisé récemment sur le massif de Tiébaghi et préconisé, pour la future exploitation du Massif du Koniombo, dans des sites dénudés (anciennes carrières) ou dans des zones de maquis ligno-herbacés, les plus communs sur l'ensemble des massifs miniers.

Reconstitution de milieux forestiers

Pour contrecarrer l'effet d'isolement de certaines populations de conifères, notamment forestières, et ainsi prévenir des phénomènes d'érosion génétique et d'extinction à plus long terme, il conviendrait de conduire des opérations de restauration, visant à reconstituer des massifs forestiers de taille viable à long terme, ainsi qu'à créer des cordons forestiers, permettant de relier des reliques de forêts entre elles (cf. Falcy & Estades. 2007, Nigel & Turker 2000, Young et al. 2005). Ces cordons forestiers seront également bénéfiques pour la protection de l'avifaune (Desmoulins & Barré 2004) et celle de bien d'autres groupes zoologiques.

L'utilisation des différentes espèces d'*Araucaria* menacées et d'*Agathis ovata*, qui en l'absence d'incendies facilitent la succession du maquis vers la forêt (Rigg et al. 1998), en créant de meilleures conditions d'alimentation hydrique et minérale sous leur couvert (Enright et al. 2001) permettrait d'accroître les effectifs de ces espèces tout en favorisant l'implantation de la forêt. Ceci pourrait notamment être appliqué dans l'extrémité sud du massif du Sud sur le pourtour des zones hydromorphes, où des lambeaux forestiers (Munzinger et al. 2008^a) parfois inclus dans des réserves (Forêt Nord, Mont Oungoné et du Pic du Pin) sont séparés par des collines portant du maquis bas sur les pentes et du maquis "paraforestier" sur les piémonts (Jaffré 1980, Jaffré et al. 2003). Ces derniers demeurent figés en raison vraisemblablement d'un

manque d'apports de semences d'espèces forestières. Il serait ainsi possible de reconstituer dans différents secteurs miniers un maillage forestier, enrichi en conifères et autres espèces pré-forestières et forestières, qui pourraient ensuite gagner de proche en proche, et s'implanter sur les pentes dévastées par les incendies, dont le couvert ligno herbacé discontinu est insuffisant pour réguler l'écoulement des eaux, lors des fortes pluies, et empêcher l'érosion du sol.

Multiplication des espèces les plus rares

Les espèces les plus rares (classées CR et EN) et les populations réduites des conifères classées VU et parfois NT, nécessitent dans l'immédiat des opérations de multiplication pour augmenter leurs effectifs et les zones d'occupation des populations les plus vulnérables. Il est urgent en effet de les mettre à l'abri de toute extinction catastrophique accidentelle imprévisible, ainsi que de contrecarrer les phénomènes d'érosion génétique qui les affectent (Landes 1993, Kettle et al. 2007). Les premières opérations de multiplication entreprises ou programmées, concernant *Neocallitropsis pancheri*, *Araucaria muelleri* et *Araucaria nemorosa*, par Vale-Inco dans le massif du Sud, *Araucaria rulei* par la SLN dans le massif de Tiébaghi, *Araucaria montana* par SMS-P-Xtrata dans le massif du Koniombo, sont à encourager et devraient être étendues à d'autres conifères sur les différents massifs miniers exploités. Ces multiplications devront toutefois faire l'objet de contrôles génétiques pour s'assurer que les jeunes plants produits possèdent bien toute la diversité génétique des populations mères, comme cela a été précisé pour *Araucaria nemorosa* (Kettle et al. 2008).

Poursuite de l'acquisition de connaissances

Bien que l'indice de densité d'échantillonnage d'herbiers soit supérieur à

600 pour la Nouvelle-Calédonie, valeur supérieure à celle de la plupart des régions forestières tropicales (Campbell 1989), des échantillonnages de certains conifères, à distribution fragmentés et à effectifs réduits, accompagnés de comptages d'effectifs par catégories d'âges, seraient utiles pour connaître leur dynamique populationnelle. Il faudrait également poursuivre les recherches visant à comprendre les modes de reproduction des espèces, ainsi que celles destinées à améliorer les méthodes de restauration écologique des zones dégradées et de redynamisation de la succession progressive des maquis paraforestiers. En outre, comme le notent Pillon et Munzinger (2005), trop peu d'études génétiques concernent encore les espèces et populations d'espèces végétales néo-calédoniennes potentiellement menacées.

Bibliographie

- Barrabé L., Rigault F., Dagostini G., Nigote W., Munzinger J. 2008. Recensement du patrimoine botanique des aires protégées terrestres de la Province Sud. Caractérisation et cartographie des formations végétales de 10 aires protégées terrestres de la Province Sud. Rapport de Convention IRD/DENV-Province Sud. 62 pp + annexes.
- Barrière R., Dagostini G., Rigault F., Munzinger J. 2007. Caractérisation et cartographie de la végétation des milieux miniers de la côte Ouest de la Nouvelle-calédonie (rapport final). Rapport de Convention IRD/ DDEE Province Nord. 55 pp + cartes en annexe.
- Barrière R., Nigote W., Rigault F., Dagostini G., Munzinger J. 2008. Caractérisation et cartographie de la végétation des milieux miniers de la côte Nord Est de la Nouvelle-Calédonie (rapport final). Rapport de Convention IRD/ DDEE Province Nord. 38 pp + cartes en annexe.
- Bird E.C., Dubois J.P., Iltis J.A. 1984. The impact of opencast mining on the rivers and coast of New Caledonia. The United Nations University. 53 pp. Tokyo.
- Bobrov A.V.F.Ch., Melikian A.P., Romanov M.S., Sorokin A.N. 2004. Seed morphology and anatomy of *Austrotaxus spicata* (Taxaceae) and its systematic position. Botanical Journal of the Linnean Society 145:437-443.
- Brooks T.M., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., da Fonseca G.A.B., Rylands A., Konstant W.R., Flick P., Pilgrim J., Oldfield S., Magin G., Hilton-Taylor C. 2002. Habitat loss and extinction of fragmented populations in the hotspots of biodiversity. Conservation Biology 16 (4): 909-923.
- Campbell D.G. 1989. The importance of floristic inventory of tropical country (D.G. Campbell and H.D. Hammond, eds) pp.5-30. New York: New York Botanical Garden Cambridge University Press, Cambridge, pp 35-53.
- Cherrier J.F. 1981. Le *Parasitaxus ustus* (Vieillard) de Laubenfels. Revue Forestière Française 33 :445-448.
- Dagostini G., Veillon J.M., Jaffré T. 1997. Inventaire et caractérisation de la flore et des groupements végétaux du massif de la Tiébaghi. Convention ORSTOM/SLN. Nouméa 14 pp + annexes.
- Desmoulin F., Barré N. 2004. Inventaire et écologie de l'avifaune du plateau de Goro. Rapport d'étude IAC/ Goro Nickel. 47 pp
- Dupon J.F. 1986. Les effets de l'exploitation minière sur les îles hautes : le cas de l'extraction du minerai de nickel en Nouvelle-Calédonie. *Environnement étude de cas*, Pacifique Sud N°1, PROE, PNUE, CPS Nouméa.
- Enright N.J., Miller B.P., Jaffré T. 2002. Ecology and population dynamics of the endemic New Caledonian conifer, *Araucaria muelleri* (Araucariaceae) In Proc. of the Symp. of Dendrology, Auckland. pp 427-433.
- Enright N.J., Miller B.P., Perry G.L.W. 2003. Demography of the long-live conifer *Agathis ovata* in maquis and rainforest, New Caledonia. Journal of Vegetation Science 14: 625-636.
- Enright N.J., Rigg L., Jaffré T. 2001. Environmental controls on species composition along a (maquis) shrubland to forest gradient on ultramafics at Mt Do, New Caledonia.. South African J. of Sci. 97 : 573-580.
- Farjon A., Page C.N. 1993. A preliminary world list of threatened conifer taxa. 1993. Biodiversity and conservation 2:304-326
- Falcy M.R., Estades Ch. 2007. Effectiveness of corridors relative to enlargement of habitat patches. Conservation Biology 21 (5): 1341-1346.
- Farjon A., Page C.N. 1999. Status Survey and Conservation. Action Plan. IUCN, Gland, Switzerland.
- Field T., Brodribb T.J. 2005. A unique mode of parasitism in the conifer coral tree *Parasitaxus ustus* (Podocarpaceae). Plant Cell and environment 28:1316-1325.

- Hély-Alleau Ch. 2008. Présentation du programme de l'ANR *Incendies et biodiversité des écosystèmes en Nouvelle-Calédonie*.
- Honnay O., Jacquemyn H. 2006. Susceptibility of common and rare plant species to the genetic consequences of habitat fragmentation. *Conservation Biology* 21:823-831.
- IUCN 1994. *IUCN Red List Categories*. Gland
- IUCN 2001. *IUCN Red List Categories and Criteria, Version 3.1* Gland.
- Jaffré T. 1974. La végétation et la flore d'un massif de roches ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie: le Koniombo. *Candollea* 29 : 427-456.
- Jaffré T. Latham M. 1974. Contribution à l'étude des relations sol-végétation sur un massif de roches ultrabasiques de la côte Ouest de la Nouvelle-Calédonie: le Boulinda. *Adansonia* 14, (3) : 311-336.
- Jaffré T., Latham M., Schmid M. 1977. Aspects de l'influence de l'extraction du minerai de nickel sur la végétation et les sols en Nouvelle-Calédonie. *Cah. ORSTOM, ser. Biol.*, XII (4) : 307-321.
- Jaffré T., 1980. Végétation des roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, 124 : 273 pp. + annexes.
- Jaffré T., Veillon J.M., Cherrier J.F. 1987. Sur la présence de deux Cupressaceae *neocallitropsis pancheri* (Carr.) Laubenf. et *Libocedrus austrocaledonica* Brongn. et Gris dans le massif du Paéoua et localités nouvelles de Gymnospermes en Nouvelle-Calédonie.. *Bull. Mus. natl. Hist. nat., Paris*, 4è sér., 9, section B, *Adansonia*, (3) : 273-288.
- Jaffré T., Veillon J.M. 1990. Etude floristique et structurale de deux forêts denses humides sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. natl. Hist. nat., Paris*, 12, section B, *Adansonia*, 1990, (3-4): 243-273.
- Jaffré T., 1992. Floristic and Ecological diversity of the vegetation on ultramafic rocks in New Caledonia. *The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils*, (eds A.J.M Baker, J. Proctor., R.D. Reeves), pp.101-107. Intercept Ltd. Andover, U.K.
- Jaffré T., Pelletier B. 1992. Plantes de la Nouvelle-Calédonie permettant de revégétaliser les sites miniers. *SLN Nouméa* 114 pp.
- Jaffré T., 1994. Distribution and Ecology of the Conifers of New Caledonia. *Conifers of the Southern Hemisphere*, (eds N.J. Enright, R.S. Hill), pp.171-196. Melbourne University Press, Australia.
- Jaffré T., Rigault F., Sarrailh J.M. 1994. La végétalisation des anciens sites miniers, *Dossier Nouvelle-Calédonie*. Bois et Forêts des Tropiques 242 : 45-57.
- Jaffré T., Bouchet Ph., Veillon J.M. 1998. Threatened plants of New Caledonia : Is the system of protected areas adequate?.. *Biodiversity and Conservation* 7 : 107-135.
- Jaffré T., Dagostini G., Rigault F. 2003. Identification, typologie et cartographie des groupements végétaux de basse altitude du Grand Sud Calédonien et de la vallée de la Tontouta. Convention IRD/province Sud. IRD, Nouméa. (Sci. Vie, Bota. Convention, n°12). 84 pp. + cartes.
- Jaffré T., Dagostini G., Rigault F., Coïc N. 2004. Inventaires floristiques des unités de végétation de la zone d'implantation des infrastructures minières et industrielles de Goro Nickel. Rapport de synthèse. Consultance IRD pour Goro Nickel SA. 42 pp. + annexes.
- Kettle C.J. 2006. Conservation genetics of New Caledonia *Araucaria* PhD, University of Edinburgh.
- Kettle C.J., Hollingsworth M., Jaffré T., Moran B., Ennos A. 2007. Identifying the early genetic consequences of habitat degradation in a highly threatened tropical conifer, *Araucaria nemorosa* Laubenfels. *Molecular Ecology* 16:3581-3591.
- Kettle C.J., Ennos R.A., Jaffré T., Gardner M., Hollingsworth P.M. 2008. Cryptic genetic bottlenecks during restoration of an endangered tropical conifer. *Biological Conservation* 141:195-196.
- Knopf P., Mimsch H., Stützel Th 2007. *Dacrydium x suprinii*, sp nova – a natural hybrid of *Dacrydium araucarioides* x *D. guillauminii*. *Feddes Repertorium* 118, 1-2: 51-59.
- Kranitz M-L. 2005. Systematics and evolution of New Caledonian *Araucaria*. PhD Thesis. The University of Edinburgh U.K.
- Lande R. 1993. Risks of population extinction from demographic and environmental stochasticity and random catastrophes. *The American Naturalist* 142:911-927.
- Laubenfels (de) D.J. 1959. Parasitic conifer found in New-Caledonia. *Science* 130:97-97.
- Laubenfels (de) D.J. 1972. Gymnospermes. In : *Flore de la Nouvelle-Calédonie et dépendances* (eds. Aubreville, A. and Leroy J.F.), Tome 4, Mus. Natl. Hist. nat, Paris.
- Laubenfels (de) D.J. 2003. A new species of *Podocarpus* from the maquis of New Caledonia. *New Zealand Journal of Botany* 41:715-718.
- Laubenfels (de) D.J. 2005. Statut du *Podocarpus* de l'Île des Pins (Nouvelle-Calédonie). *Adansonia*, ser. 327(2) :151-153.
- Levin D.A., Francisco-Ortega J., Jansen K.R. 1996. Hybridization and the extinction of rare

- plant species. *Conservation Biology* 10:10-16
- Lowry P.P.II, 1998. Diversity, Endemism, and extinction in the flora of New Caledonia: a review. In: C.I. Peng & P.P. Lowry II (eds), *Rare threatened, and endangered floras of Asia and the Pacific rim*; Institute of Botany, Taipei, (Academia Sinica Monograph Series, 16 :181-206.
- Lowry P.P. II, Munzinger J. Bouchet Ph., Géraux H., Bauer A., Langrand O., Mittermeier R.A. 2004. New Caledonia in R.A. Mittermeier, P. Robles Gil, M Hoffman, J. Pilgrim, T. Brooks, C.G. Mittermeier, J.L. Lamoureux and G.A.B. da Fonseca (eds), *Hotspots revisited: Earth's Biological Richest and Most Threatened Terrestrial Ecoregions*, 193-197. CEMEX, Mexico.
- Luçon S., Marion F., Niel J.F., Pelletier B. 1997. Réhabilitation des sites miniers sur roches ultramafiques en Nouvelle-Calédonie. *Ecologie des milieux sur roches ultramafiques et sur sols métallifères* (éds T Jaffré, R. D. Reeves, Th Becquer), pp.297-303. Doc. Sci. Tech. III2, ORSTOM, Nouméa.
- MacCoy S., Kurpitz D., Newedou S. 2002. Species selection for revegetation of the Goro Nickel project area in New Caledonia. *Proceedings of the 26th annual British Columbia mine reclamation symposium*, British Colombia, pp 213-225.
- Manauté J., Jaffré T., Veillon J.M., Kranitz M-L. 2004. Review of the Araucariaceae in New Caledonia. In *Proc. of the Symp. of Dendrology*, Auckland. pp 403-417. (Version Française, Rapport IRD/Province Sud, 2003, 28 pp.).
- Mazzéo F. 2004. Exploitation minière et valorisation du patrimoine floristique de la Nouvelle-Calédonie. Contribution à l'élaboration d'un guide pratique de reboisement des terrains miniers du Grand Sud. Rapport DESS, Université de la Réunion/IRD Nouméa. 62 pp + annexes.
- Mittermeier R.A., Werner T.B., Lees A. 1996. New Caledonia, a conservation imperative for an ancient land. *Oryx* 30 (2): 104-112.
- Morat Ph 1993. Our knowledge of the flora of New Caledonia : endemism and diversity in relation to vegetation types and substrates. *Biodiversity Letters* 1:72-81.
- Morat ph. Jaffré T., Veillon J.M. 1995. Data sheet of Gande Terre, New Caledonia. *Centres of Plant Diversity: a guide and strategy for their conservation* (eds David S.D., Heywood V.H., Hamilton A.C.). IUCN-WWF. Oxford University Press, pp 529-637.
- Morat Ph., Jaffré T. Veillon J.M., Mac Kee H.S., 1981. *Végétation. Atlas de la Nouvelle-Calédonie et Dépendances*. planche 15, carte et notice. ORSTOM, Paris.
- Morat Ph., Jaffré T., Veillon J.M., 1999 Menaces sur les taxons rares de la Nouvelle-Calédonie. Actes du Colloque sur les espèces végétales menacées de France. In *Bulletin de la Société Botanique du Sud-Ouest*. Numéro spécial, 19 : 129-144.
- Munzinger J., Dagostini G., Rigault F., Kurpitz D. 2007. Inventaire de la réserve de la Forêt Nord. Rapport de consultance IRD/ Goro Nickel SA, 52 pp.
- Munzinger J., Kurpitz D., Rigault F., Dagostini G. 2008^a). Caractérisation taxonomique et patrimoniale des lambeaux forestiers dans le Grand Sud Calédonien, implication pour la gestion et la préservation de ces formations. Rapport de Convention IRD/DRN Province Sud. 65 pp.
- Munzinger J., McPherson G., Lowry P.P. II. 2008^b). A second species in the endemic New Caledonian genus *Gastrolepis* (Stemonuraceae), and its implication for the conservation status of high altitude maquis vegetation: Coherent application of the IUCN red list criteria is urgently needed in New Caledonia. *Botanic Journal of the Linnean Society*. 157: 775-788
- Myers N. 1988. Threatened biotas:"hotspots" in tropical forests. *The Environmentalist* 8:1-20.
- 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.
- Nasi R. 1982. Essai pour une meilleure connaissance et une meilleure compréhension des Araucariacées dan la végétation calédonienne. Ecole des Ingénieurs des travaux des Eaux et Forêts, Nogent-sur-marne, 134pp.
- Nasi R., Jaffré T. Sarraillh J. M. Les forêts de montagne de Nouvelle-Calédonie. *Bois et Forêts des Tropiques*, 2002, 274 : 5-17.
- Nigel I, Tucker N.I.J. 2000. Linkage restoration: interpreting fragmentation theory for the design of a rainforest linkage in the humid wet tropics of north-eastern Queensland. *Ecological Management & Restoration* 1 (1): 35-41.
- Oddi A. 2004. Caractérisation floristique et structurale de deux forêts denses humides du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Rapport de Maîtrise IRD/Université de Rouen. 22pp.
- Oostermeijer J.G.B., Luijten S.H., den Nijs J.C.M. 2003. Integrating demographic and genetic approaches in plant conservation. *Biological Conservation*, 113:389-398.

- Page C.N. 1988 New and maintained genera in the conifer families Podocarpaceae and Pinaceae. Notes RBG Edinb 45 (2): 377-395.
- Pascal M., Richer de Forge B. Le Guyader H., Simberloff D. 2007. Mining and other threats to the New Caledonia Biodiversity Hotspot. Conservation Biology 22 (2) :498-499.
- Pillon Y., Munzinger J. *Amborella* fever and its (little) implication in conservation. TRENDS in Plant Sciences 10 (11): 519-520.
- Pillon Y., Hopkins H.C., Bradford J.C. 2008. Two new species of *Cunonia* (Cunoniaceae) from New Caledonia. Kew Bulletin 63: 419-431.
- Pelletier B. 1990. Techniques minières permettant de préserver l'environnement autour des gisements d nickel Néo-Calédonien. International Society for reef Studies. UFP Nouméa. pp.27-34.
- Read J, Hallam P., Cherrier J-F. 1995. The anomaly of monodominant tropical rainforests: some preliminary observations in the *Nothofagus*-dominated rainforest in New Caledonia. J. of Tropical Ecology 11, 3:359-389.
- Read J., Jaffré T., Godrie E., Hope G, Veillon J.M. 2000. Structural and floristic characteristics of some monodominant and adjacent mixed rainforests in New Caledonia.. Journal of Biogeography 27 : 233-250.
- Rigault F., Dagostini G., Jaffré T. 2003. Caractérisation des groupements végétaux et de la flore de trois périmètres miniers de la région de Mamié. Consultance IRD/Queensland Mining. 10 p + annexes.
- Rigg L.S., Enright N. Jaffré T. 1998. Stand structure of the emergent conifer *Araucaria laubenfelsii*, in maquis and rainforest, Mt Do, New Caledonia. Australian. J. of Ecology 23:528-538.
- Rigg L., 2005. Disturbance processes and spatial patterns of two emergent conifers in New Caledonia. Austral Ecology 30:363-373.
- Roumagnac F., Tassin J., Lagrange A., Vea C., Chauvin J.P., Boucher M., Jaffré T. 2004. Utilisation d'espèces végétales indigènes pour la revégétalisation. Fiches techniques, Projet Koniambo, Falconbridge. IAC. SMSP, Nouvelle-Calédonie.
- Sarlin 1954. Bois et forêts de la Nouvelle-Calédonie. Centre Technique Forestier Tropical. Nogent-sur Marne. 303 pp + annexes
- Saunders D.A., Hobbs R.J., Margules C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. Conservation Biology 5:18-32.
- Savolainen O., Kuittinen H. 2000. Small population processes (*Forest Conservation Genetics*. (Young A., Boshier D., Boyle T. eds) CSIRO Publishing Collingwood Australia.
- Schmid M. 1981. Fleurs et plantes de Nouvelle-Calédonie. Les Editions du Pacifique 164 pp.
- Schmid M. 1982. Endémisme et spéciation en Nouvelle-Calédonie. C.R. Soc.Biogéogr. 58 (12) : 52-60.
- Sarrailh J.M, Ayrault N. 2001 Revegetalisation des site des anciennes mines de nickel en Nouvelle-Calédonie. Unasylva 52 :16-20.
- Setoguchi H., Osawa T.A., Pintaud J-C., Jaffré T., Veillon J.M. 1998. Phylogenetic relationships within Araucariaceae based on RBCL gene sequences. American J. of Botany, 1998, 85 (11): 1507-1516.
- Soltis P., Gitzendanner M.A. 1999. Molecular systematics and the conservation of rare species. Conservation Biology 13:471-483.
- Virost R. 1956. La végétation canaque. Mém. Mus. Hist. Nat. Paris Sér. Bota. 8, 388 pp
- Watt A. 1999 Conifers of New Caledonia: regional action Plan, in: *Conifers. Status survey and conservation Action plan IUCN* (eds. Farjon A., Page C.N.) pp.41-49. IUCN/SSC Conifer Specialist group, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Whiting S.N., Reeves R.D., Richards D., Johnson M. S., Cooke J.A., Malaisse F., Paton A., Smith J.A.C. Angle J.S., Chaney R.L., Ginocchio R., Jaffré T., Johns R., McIntyre T., Purvis O.W., Salt D.E., Schat H., Zhao F. J. Baker A.J.M..2004 Research priorities for conservation of metallophyte biodiversity and their potential remediation for restoration and site. Restoration Ecology. 12 (1):106-116.
- Young A.G., Boyle T.J. 2000. Forest Fragmentation; In Forest Conservation, Genetics Principle and Practice. A. Young, D. Boshier, Boyle T. (Edts) CSIRO Publishing Collingwood Australia.
- Young A.G., Bole T. Brown T. 1996. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants Trends in Ecology and Evolution 11 (10):413-418.
- Young T.P., Petersen D.A., Clary J.J. 2005. The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms; Ecology letters 8: 662-673.