AGROCAMPUS OUEST

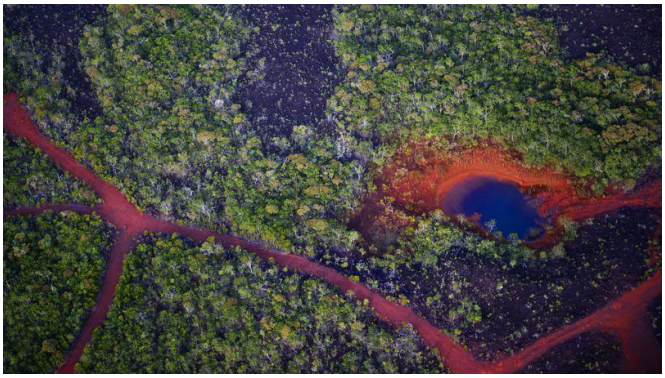
☑ **CFR Angers**

☐ **CFR Rennes**

Année universitaire : 2016 - 2017 Spécialité : Horticulture et Paysage Spécialisation (et option éventuelle) : Gestion des Milieux Naturels *Agroparistech Nancy*	**Mémoire de fin d'études** ☑ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage ☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage ☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Caractérisation de la connectivité écologique du Grand Sud calédonien par une approche paysagère

Par : Sébastien UTARD



Crédits photos : STAN FAUTRE, Le Figaro magazine

Soutenu à Nouméa le 04 octobre 2016

Devant le jury composé de :

Président : Christophe Voreux

Maître de stage : François Leborgne

Enseignant référent : Rosalinde Vancouwenberghe

Autre membre du jury : Jean Jérôme Cassan (Chef de service adjoint, service impact environnemental et conservation, DDEE Province Nord)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

«Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France»

disponible en ligne http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr

Résumé

La Nouvelle-Calédonie, « HotSpot » de la biodiversité mondiale, voit ses paysages soumis à la fragmentation. Les Forêts denses humides sempervirentes, réservoirs de biodiversité dans le paysage du Grand Sud calédonien, sont les plus particulièrement touchées de par le feu, l'exploitation forestière et l'activité minière intense alentours. Les pertes biologiques sont considérables et les acteurs du territoire cherchent à contrer ce fléau. Cependant le manque de vision du fonctionnement global des continuités écologiques du paysage forestier empêche la mise en place de mesures réellement effectives. Cette étude consiste en la caractérisation de ces continuités écologiques et des mesures adaptées à leurs maintiens.
Dans un premier volet les forêts sont cartographiées et les continuités écologiques sont définies par une approche fonctionnelle et une approche structurelle. Un second volet identifie 4 zones primordiales pour le maintien des connectivités et donne des recommandations à l'attention des gestionnaires pour contrer la fragmentation et assurer le maintien des connectivités.

Abstract

New Caledonia, and especially the « Grand Sud » region, as a Hotspot of biodiversity worldwide , sees its landscape subject to fragmentation. The rainforest, tank of biodiversity, is heavily impacted by the fragmentation effect due to the mining activity in the area. Loss are heavy and competent authority are attempting to block this scourge. However, the lack of vision of the features of the all landscape prohibits the establishment of an efficient conservation program. This study is aimed to characterize how the landscape connectivity works in this area and how to manage it.
In a first place the nodes of rainforest are mapped then 2 methods of structural and functionnal characterization of the ecological corridor are used. The second part of the study identify 4 area where it is primordial to engage restauration action in order to stop the fragmentation and give some advices for the administrator of the area to follow in order to maintain the landscape connectivity.

REMERCIEMENT

Après six mois d'étude je tiens à remercier les personnes sans lesquelles je ne serais pas arrivé à ces résultats :

M. François Leborgne, pour avoir eu confiance en moi et m'avoir accordé un stage à ses côtés et au sein de son équipe.

L'équipe de la DENV pour leurs accueils et leurs conseils.

MME Rosalinde Van Couwenberghe pour m'avoir soutenu et avoir accepté de m'encadrer durant l'étude.

M Philippe Birnbaum et M.Thomas Ibanez pour leurs précieux conseils.

Kelly pour son immanquable sourire malgré la pression et le stress.

Toutes les personnes passionnées et passionnantes interrogées durant cette étude.

Et bien sûr tous mes amis et ma famille qui n'ont jamais cessé de me pousser vers l'avant, tout droit vers l'accomplissement de soi.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT ii
LISTE DES FIGURES v
LISTE DES TABLEAUX v
LISTE DES ANNEXES vi
LISTE DES ACRONYMES vii
GLOSSAIRE viii
INTRODUCTION 1
CONTEXTE 2
I. La Nouvelle-Calédonie entre deux « or vert » 2
1. Géographie et géologie 2
2. Le Grand Sud Calédonien : exploitation minière et biodiversité 3
3. Vale NC et la DENV: acteurs du territoire 4
II. La forêt et ses définitions 5
1. L'approche de la direction de l'environnement locale 5
2. La forêt, un terme non universel 6
III. Une politique de gestion locale face à de nouvelles demandes 7
1. Des habitats forestiers intégrés à un paysage 7
2. Des mesures qui s'actualisent 8
VOLET 1 : ETAT DE LA FRAGMENTATION DU GRAND SUD CALEDONIEN, LA RECONNAISSANCE DE LA CEINTURE VERTE 9
I. Introduction : Les fragments forestiers, un sujet à controverse 9
1. Des données multiples 9
2. Un enjeu reconnu : les dangers de l'effet lisière 10
3. Un corridor écologique autour des activités de VNC : la Ceinture Verte 12
4. Intégration de la ceinture verte à la législation 12
II. Matériels et méthodes : Une nouvelle approche des forêts pour délimiter les corridors écologiques du Grand Sud 13
1. Adapter sa définition de la forêt au territoire : l'approche dynamique 13
2. Délimitation des fragments forestiers 14
3. La ceinture verte selon l'approche fonctionnelle : Circuitscape® 16
4. La ceinture verte selon l'approche structurelle : Conefor® 18
III. Résultats : Cartographie de la Ceinture Verte 20
1. La carte des formations forestières dynamiques du grand Sud Calédonien 20
2. Les cartes des corridors écologiques de la Ceinture Verte 22

VOLET 2 : ETUDE SUR DES STRATEGIES DE CONSERVATION ET DE RESTAURATION DE LA CEINTURE VERTE DU GRAND SUD CALEDONIEN 26
I. Introduction : Doctrine locale de gestion des impacts 26
1. Des impacts potentiels à surveiller 26
2. Le code de l'environnement et le triptyque ERC 26
3. Résumé des actions réalisées et demandées au Grand Sud 28
II. Matériels et méthodes : l'établissement de stratégies de restauration et de conservation adaptées à la Ceinture Verte. 29
1. Identifier des zones critiques et stratégiques 29
2. Définir des objectifs de restauration écologique 30
3. Les zones tampons : mesures principales de conservation de la Ceinture Verte 32
Résultats : Restauration et adaptabilité de management 35
1. Recommandations pour la restauration 35
2. Recommandations pour la conservation 37
DISCUSSION 42
I. Limites de l'étude et amélioration des méthodologies 42
1. Limites et améliorations du 1er volet 42
2. Limites et améliorations du 2nd volet 43
II. Perspectives après-stage 43
CONCLUSION 45
BIBLIOGRAPHIE 46
SITOGRAPHIE : 49
ANNEXES I

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue satellite de la situation géographique de la Nouvelle-Calédonie (georep.nc) 2
Figure 2 : Les provinces de Nouvelle-Calédonie 3
Figure 3 : Le Grand Sud calédonien par vue satellite (georep.nc) 3
Figure 4 : Les enjeux du Grand Sud 4
Figure 5 : Schéma fonctionnel du paysage (DREAL Nord-Pas-de-Calais, 2011) 7
Figure 6 : Deux types de lisières forestières 11
Figure 7: L'effet-lisière expliqué par le fromage 11
Figure 8 : Compilation des cartes des forêts du Grand Sud 14
Figure 9 : vérification par photo-interprétation des fragments forestiers 15
Figure 10 : Infrastructures dans le Grand Sud 15
Figure 11: Méthode du CMTC (Birnbaum et al., 2016) 16
Figure 12 : Chemin de moindre coût (A) et théorie du circuit (B) (Avon & Berges, 2014) 17
Figure 13 : Représentation spatiale du paysage selon la théorie des graphes (Saura et al., 2011) 18
Figure 14 : 7 situations de mesure de l'indice de connectivité (Saure et al., 2011) 19
Figure 15 : Fragments interconnectés ou non selon leurs inter-distances (Saura et al., 2011) 19
Figure 16 : Graphique des indices BCIIC de chaque fragment selon la distance 20
Figure 17 : Carte des cœurs forestiers et des forêts en devenir dans le Grand Sud calédonien 21
Figure 18 : 2 cas de la répartition des formations arborées autour des cœurs forestiers 22
Figure 19 : Carte des probabilités de mouvements de la faune/flore entre les fragments forestiers du Grand Sud calédonien 22
Figure 20 : Carte du Corridor écologique du Grand Sud selon la théorie des circuits 23
Figure 21 : Carte de la connectivité des fragments forestiers selon l'indice BCIIC 24
Figure 22 : Carte des massifs forestiers du Grand Sud et de leurs inter-connectivités selon l'indice BCIIC0 25
Figure 23 : fonctionnement du triptyque ERC (Quetier, 2012) 27
Figure 24: exemple de la "roue de restauration" attribuant un indice pour le choix d'objectif de restauration selon différents attributs (McDonald et al., 2016) 31
Figure 25 : modulation de la zone tampon 33
Figure 26 : représentation des différentes distances d'approches de l'avifaune (Weston et al., 2012) 34
Figure 27 : résultat-exemple de l'étude arbeitshilfe vögel und straßenverkehr (Tegethof et al., 2010) 34
Figure 28 : Délimitation des zones critiques à s'intéresser dans une logique de conservation/restauration 35
Figure 29 : Evolution du bruit (dBA) dans l'espace 38
Figure 30 : Altercations entre les zones tampons et les milieux à protéger 40
Figure 31: mur anti-bruit type. 41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Différentes définitions du terme "forêt" dans le monde 6
Tableau 2: Les cartes des forêts du Grand Sud Calédonien 9
Tableau 3 : Equivalence habitat - coût 18

Tableau 4 : Exemple de mesures demandées par la DENV pour diminuer ou supprimer les impacts sur l'environnement 28
Tableau 5 : Objectifs et recommandations des zones critiques du Grand Sud Calédonien..... 37
Tableau 7 : Pourcentage de perte potentielle et estimée d'oiseaux nicheurs du Grand Sud calédonien selon un niveau de bruit (dB(A)) (Tegethof et al., 2010) 38
Tableau 8: vérification des impacts sur l'avifaune liés au bruit grâce aux suivis de l'avifaune (Desmoulins, 2014)..... 39

LISTE DES ANNEXES

Annexe I : 7 cartes des forêts du Grand Sud, leurs emprises et les inventaires y existant I
Annexe II : Corridors écologiques du Grand Sud définis dans des études antérieures VI
Annexe III : Récapitulatif des arrêtés d'autorisation de défrichements délivrés VII
Annexe IV : Carte des forêts du Grand Sud calédonien au début du XXème siècle (Utard, 2015) IX
Annexe V : Carte des exploitations futures de VNC dans le Grand Sud Calédonien (VNC, 2015)..... X
Annexe VI : Tableau récapitulant quelques exemples d'objectifs de restauration selon des attributs précis (McDonald *et al*, 2016) XI
Annexe VII : Avifaune relevée au Grand Sud calédonien (Desmoulins et Barré, 2014) XII
Annexe VIII : distance de fuite de l'avifaune australienne (Weston et al, 2012) XIII
Annexe IX : Suivi de l'avifaune dans le Grand Sud Calédonien (Desmoulins, 2014) XIX
Annexe X : Avifaune relevée au Grand Sud calédonien (Desmoulins et Barré, 2014) et distance de fuite associée (Weston et al, 2012) XXI
Annexe XI : Carte des bruits du plateau de Goro (Savery & Associates, 2007)..... XXII
Annexe XII : Tableau comparatif de différents types de merlons anti-bruit (Kotzen B, 1999) XXIII

LISTE DES ACRONYMES

CCB : Convention pour la Conservation de la Biodiversité

CI : Conservation International

CNRT : Centre National de Recherche Technique

CORIFOR : Corridor entre ilots forestiers

DENV : Direction de l'ENVironnement

EEE : Espèce Exogène Envahissante

FDH : Forêt Dense Humide sempervirente

GS : Grand Sud

IAC : Institut Agronomique Calédonien

IRD : Institut de Recherche et de Développement

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

KBA : Key Biodiversity Area

MOS : Mode d'Occupation du Sol

NC : Nouvelle-Calédonie

ŒIL : Observatoire de l'environnement calédonien

PS : Province Sud

PUD : Plan d'Urbanisme Directeur

SIG : Système d'Information Géographique

TVB : Trame Verte et Bleue

VNC : Vale Nouvelle-Calédonie

GLOSSAIRE

BIODIVERSITE : Diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes.

COMPENSATION ECOLOGIQUE : Réalisation de mesures pour restaurer, créer, améliorer ou empêcher la perte ou la dégradation d'un type d'écosystème, afin de compenser les impacts résiduels sur l'écosystème et/ou sur les espèces associées. (bbop)

CONNECTIVITE : Paramètre du paysage relatif à la disposition et au nombre de liaison qui existent entre les réservoirs de biodiversité dans une matrice paysagère.

CONNECTIVITE FONCTIONELLE : Mouvements potentiels des organismes entre les réservoirs de biodiversité selon la matrice paysagère.

CONNECTIVITE STRUCTURELLE : Mesure cartographique de l'arrangement spatial des éléments du paysage et de leurs formes.

CONSANGUINITE : Lien de parenté entre deux individus ayant au moins un ancêtre commun. Plus l'ancêtre commun est proche, plus le degré de consanguinité est élevé.

CONSERVATION ECOLOGIQUE : Ensemble des actions de préservation de la biodiversité en appliquant les principes de l'écologie, de la biogéographie, de la génétique des populations, de l'anthropologie, de l'économie, de la sociologie, etc…

CONVENTION CONSERVATION BIODIVERSITE : Convention signée entre la DENV et VNC en 2009 dans un souci de préservation de la biodiversité. La convention ratifie les actions nécessaires à la protection de la biodiversité du Grand Sud Calédonien

CORRIDOR ECOLOGIQUE : Couloir de déplacement de la faune/flore entre différents réservoirs de biodiversité au sein d'une matrice paysagère. Le couloir peut être continu ou non, large ou étroit.

DEPRESSION GENETIQUE : due à a la consanguinité. C'est l'apparition de plus en plus de caractères récessifs dans le génome d'individus issus de la consanguinité. Cela entraîne une fragilité voir la mort de l'individu concerné.

DISTANCE EUCLIDIENNE : Distance linéaire et droite mesurée en mètre entre deux points

ECOSYSTEME : Ensemble des êtres vivant (biocénose) d'un même milieu et des éléments non vivants (biotope) qui leur sont liés.

ECOSYSTEME D'INTERET PATRIMONIAL : Ensemble d'habitat ou habitat protégé au titre du code de l'environnement

EFFET LISIERE : Effet de changement de cortège floristique dû à une modification des conditions écologiques et biologiques de la lisière se traduisant par la transition entre deux milieux.

ESPECE EXOTIQUE ENVAHISSANTE : Espèce venant de l'extérieur et agent de perturbation nuisible à la survie des espèces autochtones.

FORET DENSE HUMIDE SEMPERVIRENTE : Habitat d'intérêt patrimonial selon le code de l'environnement de la Province Sud de la Nouvelle-Calédonie et caractérisé par une hauteur, un cortège floristique précis, trois strates et une pluviométrie reçue.

FRAGMENTATION : Processus de réduction et de division des habitats naturels empêchant les déplacements de la faune/flore à travers ces mêmes habitats et donc l'isolation de ceux-ci.

HOTSPOT : Point chaud de la biodiversité. Zone géographique représentative de la biodiversité présentant au moins 1500 espèces de plantes endémiques et ayant perdu au moins 70 % de sa végétation primaire (Lawry *et al.*, 2004)).

KANAK : Population autochtone de la Nouvelle-Calédonie.

KEY BIODIVERSITY AREA : Sites contribuant significativement à la persistance globale de la biodiversité. Ils représentent les sites les plus importants pour la conservation de la biodiversité mondiale et sont identifiés à l'échelle nationale utilisant des critères standardisés et reconnues.

MATRICE PAYSAGERE : Structure du paysage élémentaire et entourant les autres structures du paysage que sont les taches et les corridors écologiques.

MASSIF FORESTIER : Agglomération de fragments forestiers proches et conséquents d'un point de vue de la surface.

RAMSAR : Zones de protection d'importance internationale des zones humides établies pour empêcher leurs régressions et destruction.

PLAN D'URBANISME DIRECTEUR : Document d'urbanisme à l'échelle de la commune en Nouvelle-Calédonie. Traduisant les objectifs de développement communal il est l'homonyme du PLU en France métropolitaine.

RESTAURATION ECOLOGIQUE : Ensemble d'actions visant au retour à l'état d'origine d'un écosystème et de sa biodiversité.

REHABILITATION : Ensemble d'actions visant à favoriser le retour d'éléments naturels et à mettre en valeur le paysage.

RASTER : Représentation de l'espace selon un maillage régulier.

TACHE : Unité écologique du paysage plutôt stable et isolé. Représente les réservoirs de biodiversité.

ZONE TAMPON : Bandes réparties dans le paysage représentant les zones de transition entre deux types de milieux nécessitant l'isolement.

INTRODUCTION

Au XVIIème siècle les peintres peignaient les paysages en exprimant la part la plus sublime de ceux-ci, la nature était un accès pour le monde divin de par sa perfection. Les scientifiques de l'époque n'étaient pas indifférents à ce courant qui leurs fait prendre conscience de l'harmonie entre les éléments que compose le paysage (Claval, 2000). Ce n'est qu'en 2000 que la Convention Européenne du Paysage permet de considérer l'importance du paysage en insistant sur son intégration dans les politiques d'aménagement du territoire (Prieur, 2001). Le paysage, si dur à définir de manière objective, peut s'interpréter comme la vue de la nature par un observateur (perception) à un instant (t) résultant de tous les processus physiques (climat, géologie, etc…), les processus biologiques (écologie, agronomie, etc…) et leurs interactions (Chouquer, 2001).

Le bon fonctionnement du paysage implique le bon fonctionnement de ces processus. Si l'un des processus dysfonctionne le paysage entier en est affecté. Un dysfonctionnement réputé et courant est la fragmentation ou la coupure physique d'habitats naturels autrefois reliés. Celle-ci est reconnue comme une menace majeure pour la biodiversité (Harrison, 1999). La coupure des habitats d'un paysage entraîne leurs isolations, les connexions, ou corridors écologiques, liant ces habitats n'existant plus. L'isolation entraîne la disparition de l'habitat par dépression génétique, les connexions contrant la consanguinité (Hanski, 1997). Tout le paysage est affecté par cette coupure et, au fil de la fragmentation, la biodiversité se meurt et l'observateur ne reconnaît plus le paysage initial qu'il a connu.

La Nouvelle-Calédonie, petit archipel du Pacifique, abritant une biodiversité remarquable au point d'être inscrit sur la liste des 34 points chauds de la biodiversité (Lowry et al., 2004) est aussi soumis à la problématique de la fragmentation. En particulier dans la région du Grand Sud calédonien où l'activité minière intense crée des coupures entre tous les habitats composant la zone (création de routes minières, « voies de roulages », en particulier). Le paysage, pourtant extraordinaire, y est souvent considéré par les scientifiques comme se dégradant du point de vue de la biodiversité mais aussi du point de vue visuel (Jaffré et al., 2004 ; Munzinger et al., 2008).

L'habitat « forêt dense humide » du Grand Sud calédonien est la trame d'intérêt majeure composant le paysage local mais est particulièrement sensible à la fragmentation. Il n'y a pourtant, à ce jour, pas de vision précise de l'agencement de cette trame et l'activité minière, sur celle-ci, se réalise sans véritable prise en compte des impacts sur la totalité du paysage. En prenant conscience de cette problématique, les autorités compétentes calédoniennes ont sollicité les chercheurs locaux sur la question. Des projets ont abouti tels que le projet CoRiFor (Birnbaum et al., 2016) ou le projet de CI (Rios & Lefeuvre, 2011). Cependant les projets ne concordent pas d'un point de vue méthodologique et des conflits existent quant aux résultats obtenus par chacun. La question demeure : Comment s'organise le paysage selon la trame forestière et quel est l'état de la fragmentation des forêts dense humides sempervirentes dans le Grand Sud Calédonien? L'enjeu de cette étude est d'identifier les habitats forestiers autour des activités minières pour estimer la fragmentation locale et définir des opérations visant à les intégrer dans un processus initiateur de restauration écologique du paysage.

L'étude se découpe en deux volets. Un premier volet cherche à répondre à l'hypothèse que le paysage du Grand Sud se forme autour d'un ensemble de corridors écologiques forestiers formant la « Ceinture Verte » près des activités minières. Les forêts denses humides seront cartographiées ainsi que les corridors les reliant pour avoir une vision sur les entités formant le paysage forestier. Une seconde hypothèse concernant l'état du paysage local est que celui-ci nécessite des mesures de protection et de restauration spécifiques. Un 2nd volet étudie cette hypothèse en définissant les moyens nécessaires et indispensables à mettre en place pour protéger la connectivité de la trame forestière et ainsi relancer la dynamique paysagère vers une amélioration de sa biodiversité et de son aspect visuel.

CONTEXTE

I. La Nouvelle-Calédonie entre deux « or vert »

1. Géographie et géologie

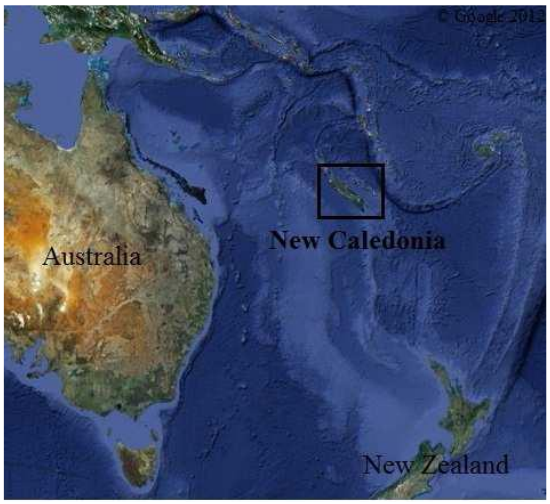


Figure 1 : Vue satellite de la situation géographique de la Nouvelle-Calédonie (georep.nc)

La Nouvelle-Calédonie est un archipel français de l'Océan Pacifique se situant à environ 1500km à l'est de l'Australie (Figure 1). L'île principale, dénommée la « Grande Terre », a une surface d'un peu plus de 16 000 km² et le reste des îles de l'archipel (telles que les îles Belep, les îles loyauté ou l'île des pins) rayonnent autour.

De par sa position subéquatoriale la Nouvelle-Calédonie présente un climat subtropical assez tempéré. Deux saisons majeures se succèdent, la saison chaude (novembre à avril) et la saison fraiche (mai à septembre), recoupées par des saisons de transition. Les précipitations annuelles moyennes sont comprises entre 1000 et 4000mm (Morat, 1993).

L'archipel néo-calédonien est, à l'instar d'autres îles du Pacifique, non volcanique et fût détaché de l'ancien supercontinent Gondwana lors du Crétacé (~70mA) (Cluzel *et al*., 1999). La formation de l'archipel est principalement due aux plissements de la plaque océanique. Ces plissements ont entraîné la montée du manteau océanique (obduction) formant l'archipel actuel. Ce manteau se compose d'éléments riches en métaux divers, notamment le nickel et le cobalt, et l'érosion de la strate sédimentaire au-dessus du manteau révèle aujourd'hui les roches du manteau, riches en métaux, sur plus de 5500km² et notamment dans le sud de la Grande Terre (Cluzel *et al.*, 1999)). L'exploitation de ces minéraux est l'activité économique principale de la Nouvelle-Calédonie et en fait le 3ème producteur mondial de Nickel (Van de Beuque, 1999 ; Pelletier, 2007).

Les sols issus des roches riches en métaux (roches ultramafiques) sont par définition des sols riches en métaux lourds et pauvres en éléments nutritifs (Jaffré et Veillon, 1988). Ces sols font la particularité d'un aspect reconnu de la Nouvelle-Calédonie : sa biodiversité exceptionnelle. La flore revêt un fort taux d'endémisme avec 74.3% d'originalité (Jaffré et l'Huillier, 2010). L'isolement de l'île depuis son détachement du Gondwana est aussi responsable de de cette incroyable biodiversité (Morat et al. 1999).

Entre sa biodiversité remarquable, les feux récurrents, l'arrivée d'espèces exotiques envahissantes et l'exploitation minière accrue, la Nouvelle-Calédonie est considérée comme un « Hotspot » de la biodiversité, c'est-à-dire un espace exceptionnel de biodiversité mais soumis à de fortes pressions externes destructives. C'est d'ailleurs pour cela que différents espaces du territoire calédonien sont reconnus à l'international : son lagon est inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO, Une zone RAMSAR existe dans le sud de la Grande Terre, etc…

2. Le Grand Sud Calédonien : exploitation minière et biodiversité

D'un point de vue administratif la Nouvelle-Calédonie se délimite en 3 provinces : la province Sud, la province Nord et la province des îles loyauté (Figure 2). Dans le patchwork de paysage de la Grande Terre, et en particulier de la Province Sud, une région se démarque tant par les couleurs qu'offrent les habitats forestiers et les maquis miniers que par les nombreux enjeux qui s'y confrontent : le Grand Sud calédonien (Figure 3)

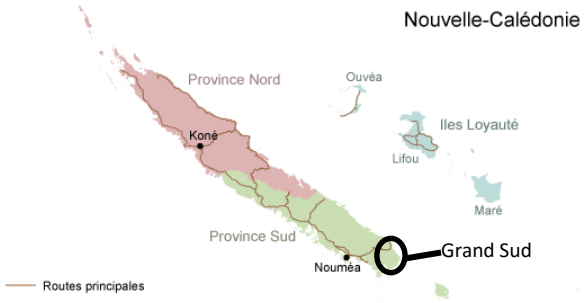


Figure 2 : Les provinces de Nouvelle-Calédonie

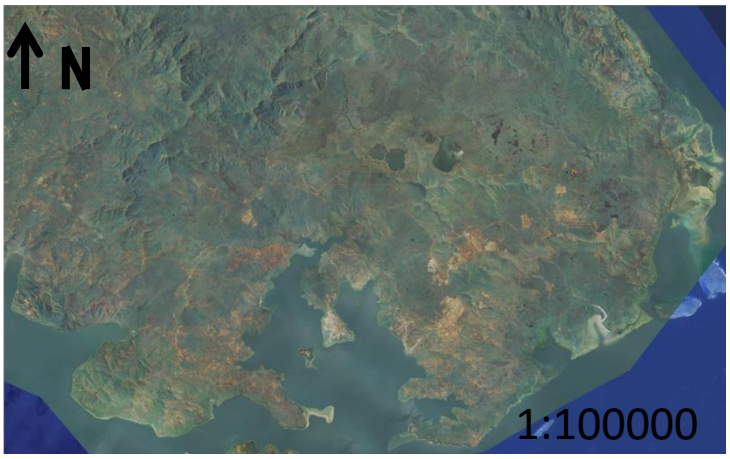


Figure 3 : Le Grand Sud calédonien par vue satellite (georep.nc)

Le Grand Sud calédonien est situé dans l'extrême sud-est de la Nouvelle-Calédonie et se réparti sur les communes de Yaté et du Mont-Dore. C'est une région historiquement exploitée autant pour ses ressources en bois de construction et d'ouvrages que pour ses ressources minières (Nickel, Cobalt). Les grands massifs forestiers qui y existaient ont disparu en un siècle pour n'être représentés plus que par des fragments éparpillés dans le paysage (Utard, 2015).

De nos jours l'exploitation forestière y est minime mais l'exploitation minière, et notamment celle du nickel, y est très importante. C'est l'entreprise Vale NC, installée depuis le début des années 2000, qui exploite fortement la zone.

Vale Nouvelle-Calédonie (VNC), anciennement Goro Nickel, est une entreprise exploitant le minerai dans le Grand Sud Calédonien. VNC a pour actionnaire majoritaire la multinationale brésilienne Vale. La compagnie est bien établie avec une usine de traitement du minerai (hydrométallurgie) entourée de mines à ciel ouvert (voir figure 4) ; Elle est d'une grande importance du point de vue économique. En effet Vale NC emploie près de 3500 employés ce qui représente 5% de la population active du territoire (chiffres isee). L'entreprise représente donc un gros enjeu économique pour la Nouvelle-Calédonie pour l'exploitation du Nickel appelé aussi « l'or vert ».

Au-delà de l'exploitation minière et de « l'or vert » que représentent le nickel, le Grand Sud Calédonien est réputé pour ses paysages grandioses, ses nombreux sentiers de randonnées pédestres (dont le sentier de grande randonnée GR1), VTT et bien d'autres activités de loisirs comme le montre la Figure 4. Un hôtel aussi été créé dans la zone pour accueillir les touristes.

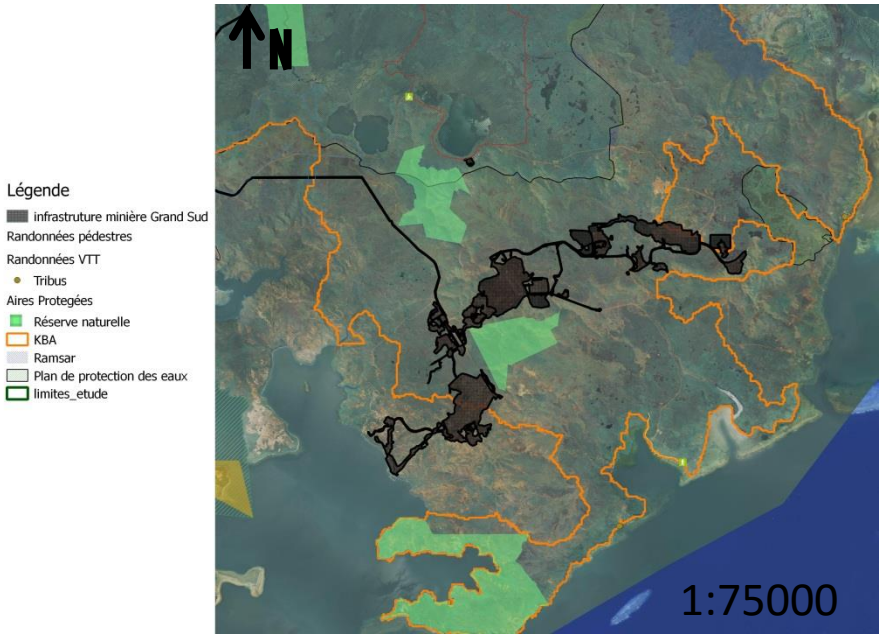


Figure 4 : Les enjeux du Grand Sud

Cette région de la Grande Terre et ses paysages sont bien valorisés pour le loisir. La biodiversité dans ces paysages est un des aspects qui attire les touristes aussi bien que les chercheurs. Des périmètres de protection pour la biodiversité et les habitats naturels ont donc étés mis en place dans la région tout aussi bien au niveau local qu'international (Figure 4) :

- Deux réserves biologiques intégrales, la réserve du Pic du grand Kaori (au nord-ouest) et la réserve de la Forêt Nord (au sud-ouest proche de l'usine de VNC) ;
- Une zone de protection RAMSAR pour les zones humides
- Des zones dans le plan de protection des eaux local (PPE). C'est *« un périmètre à l'intérieur duquel peuvent être interdit ou réglementé toutes activités et tous dépôts ou installations de nature à nuire directement ou indirectement la qualité des eaux »* (Délibération n°105 du 9 août 1968, art.14)

Par ailleurs toute la région du Grand Sud est considérée comme une « Key Biodiversity Area » (KBA), soit des zones ou sont identifiés des sites d'importance pour la biodiversité sélectionnés sur des critères définis par l'union internationale pour la conservation de la nature (IUCN)

Parallèlement aux enjeux économiques que représente l'exploitation minière dans le Grand Sud calédonien se profile donc un paysage atypique et une biodiversité exceptionnelle dont notamment les forêts, résidence de la biodiversité et aspect remarquable du paysage, caractérisées par près de 82% d'endémisme incluant des espèces extrêmement rares et menacées selon les critères de l'IUCN (Jaffre *et al.*, 2004)). Certains considèrent les forêts du Grand Sud comme le véritable « or vert » de cette région aux enjeux multiples.

3. Vale NC et la DENV: acteurs du territoire

VNC est, indéniablement, l'acteur principal de la modélisation du paysage du Grand Sud de par son activité minière et notamment ses défrichements intenses pour les prospections, les ouvertures de routes et les créations de fosses minières. Le second acteur principal est la

direction de l'environnement de la Province Sud (DENV) ; l'administration qui gère les questions environnementales autour du projet minier de VNC.

La DENV a produit le code de l'environnement en 2009 (actualisé en 2016 ; voir Province Sud, 2016) pour **encadrer de manière règlementaire** toutes activités pouvant porter atteinte à l'environnement terrestre ou marin. Ce code s'applique aussi aux activités minières de VNC et, ainsi, pour chaque volonté d'action de l'entreprise qui peut avoir un impact sur l'environnement et en particulier sur des écosystèmes précis et définit dans le code, l'entreprise doit faire une demande d'autorisation de procédé à la DENV. Celle-ci, après enquête, autorise ou non le projet par le biais d'arrêtés. Pour exemple chaque fois qu'un défrichement est prévu dans le cadre d'une prospection minière, une demande d'autorisation de défrichement est fournie par l'entreprise à la DENV (une demande comprend un état initial des lieux de défrichements et une étude d'impact). Après vérification de la complétude du dossier de demande d'autorisation de défrichement la DENV peut accorder le droit au défrichement en produisant un arrêté d'autorisation de défrichement.

En théorie ce système est simple de fonctionnement mais la doctrine est encore en cours de mise en place à ce jour, le code de l'environnement évoluant tous les ans, et des quiproquos existent. L'apparition constante de nouvelles recherches scientifiques explique en partie la constante évolution du code de l'environnement et de la doctrine associée. Au cours des dernières années le sujet récurrent à quiproquo est la question de la délimitation des habitats forestiers pour les défrichements. En effet les experts se contredisent sur la définition de la délimitation précise de l'habitat forestier. Le code de l'environnement soumet le défrichement des forêts à autorisation. Ces demandes de défrichement de forêt concernent souvent quelques mètres d'habitat seulement mais pour l'exploitation minière la perte de ces mètres signifient une perte de minerais à exploiter et donc une perte économique considérable : les enjeux économiques se confrontent ici aux enjeux écologiques.

II. La forêt et ses définitions

1. L'approche de la direction de l'environnement locale

Autour des activités de VNC les espaces forestiers sont considérés par les experts botanistes comme des Forêts denses humides sempervirentes (FDH). La DENV, de par son code de l'environnement, a défini ce type d'habitat comme un « écosystème d'intérêt patrimonial » dans son article 232-1. Cela implique que tout projet ou programme de travaux présentant un risque d'atteinte significatif à une forêt dense humide sempervirente est soumis à une autorisation préalable de la DENV (en l'absence de solutions alternatives et si nécessaire à l'intérêt commun).

La DENV a défini cet écosystème selon des critères assez stricts dans l'article 232-2 du code de l'environnement. Ainsi une FDH est une formation végétale avec (1) une strate arborescente haute et dominante à feuillage persistant, un sous-bois composé de lianes, arbustes, arbrisseaux à feuilles persistantes, en partie composé d'espèces de la strate arborescente et une strate herbacée. (2) La pluviométrie annuelle y est supérieure à 1500mm. (3) La présence de famille de flore spécifique est significative de la FDH. Ces familles sont listées dans le code de l'environnement. Finalement la FDH a (4) une canopée de 25m

surcimée par de l'Araucaria spp (le cas échéant) si elle est comprise entre 0 et 800m ou une canopée inférieure à 15m pour une altitude supérieure.

Créée dans le but de protéger cet écosystème particulier, la définition de la forêt dense humide reste cependant problématique. Pour exemple des milieux à caractères forestiers se font défricher car ceux-ci, ne satisfassent pas un des critères de la définition des FDH du code de l'environnement (par exemple une canopée inférieure à 25m sous une altitude de 800m) alors que ces zones arborées sont des forêts d'un point de vue écologique. La définition réglementaire de la forêt dense humide sempervirente apparait comme insuffisante pour assurer une protection optimale de ces écosystèmes dans le contexte actuel.

2. La forêt, un terme non universel

La définition de la FDH devrait suffire à sa délimitation cependant, bien que l'approche de la notion de forêt paraît simple, il existe une multitude de définitions selon des critères de toute sortes et à différentes échelles aussi : quelle est le point commun entre une forêt humide et une forêt sèche par exemple ? Dans le Grand Sud particulièrement, la définition de la forêt est primordiale car, opposée aux enjeux miniers, c'est elle qui induit la délimitation stricte des forêts épargnées. Le Tableau 1 ci-dessous décrit quelques définitions selon divers organismes ou Etat.

Tableau 1 : Différentes définitions du terme "forêt" dans le monde

Echelle	Organisme	Définition
Internationale	FAO	**Couvert arboré** : +10% ; **Surface** : +0,5 ha ; **Hauteur de la canopée** : 5m minimum ; **Pluviométrie** : +2000mm/an (pour forêt dense humide) (fao, 2010)
Nationale	IFN/IGN (France)	**Couvert arboré** : +10% ; **Surface** +0,5 ha ; **Hauteur de la canopée** : 5m à maturité in situ ; **Largeur moyenne** : 20m ; **Sites en régénération (IGN, 2016)**
Nationale	Code forestier (Togo)	**Couvert arboré** : +10% ou avec des arbres capables d'atteindre 10% in situ (terre en friche destinée au reboisement, terrains de cultures affectés aux actions forestières, formations forestières ayant subi une coupe ou un incendie entraînant leur destruction totale et ce durant une période de 10 ans à compter du jour de destruction) ; **Superficie** : +0,5 ha ; **Hauteur de la canopée**: + 5m (fao,2010)
Nationale	Code de l'environnement (Centrafrique)	**Densité de couvert** : +60% ; **Hauteur** : 5m (fao,2010)

Toutes ces définitions ont beaucoup de critères en commun tel que : le couvert arboré, la surface, la pluviométrie ou la hauteur de la canopée. Selon les pays, la définition d'une forêt peut être très différente (en Centrafrique le code de l'environnement local définit une forêt selon les seuls critères de couvert arboré supérieur à 60% et une hauteur de la canopée à 5 m tandis qu'au Togo il y a au moins 4 critères de définition de la forêt).

Il est remarquable qu'il n'y ait donc pas de définition universelle de la forêt. Il y a des critères de distinction de ces habitats selon des spécificités régionales ou a plus grande échelle mais il n'y a pas le « tronc commun » définissant la forêt assez clairement pour la délimiter de manière précise.

Cet aspect est important car il démontre finalement que le choix de critères de définition de la forêt est un choix des services techniques à un moment donné avant tout. Cela se répercute sur la réalité du terrain où la délimitation précise d'un espace forestier peut être jugée de différentes façons par un panel d'expert mais ce seront les critères juridiques de définition de l'espace forestier qui trancheront une limite au-delà même d'une réalité écologique. Un des buts de cette étude sera de revoir les critères de définitions de la FDH pour trouver une méthode de délimitation des fragments forestiers et d'aboutir à une carte de ces fragments sur laquelle les acteurs du territoire puissent s'accorder.

III. Une politique de gestion locale face à de nouvelles demandes

1. Des habitats forestiers intégrés à un paysage

Les FDH sont intégrés au paysage. Il convient de s'intéresser donc à la définition et la caractérisation d'un paysage pour mieux les appréhender. Celui-ci, d'un point de vue de l'écologue, est un niveau d'organisation de systèmes écologiques, supérieur à l'écosystème. Il est la structure des écosystèmes, l'arrangement physique et spatial des systèmes écologiques (Neuray, 1982). La matrice paysagère, du point de vue de l'écologue et scientifique se décline en unités caractéristiques (Formant, 1995 ; Grange, 2012) (Figure 5) :

- Les taches : ce sont des unités fonctionnelles avec des conditions environnementales homogènes. Ils sont reconnaissables aisément à l'œil humain. Dans le cas du Grand Sud Calédonien nous pouvons considérer les fragments forestiers comme des taches dans le reste du paysage.
- La matrice : autre que les taches ce sont les unités qui dominent un paysage par leur présence. Par exemple les maquis miniers dans le cas du Grand Sud.
- Les corridors écologiques : ce sont les unités qui permettent la liaison (faune et flore) entre les taches.

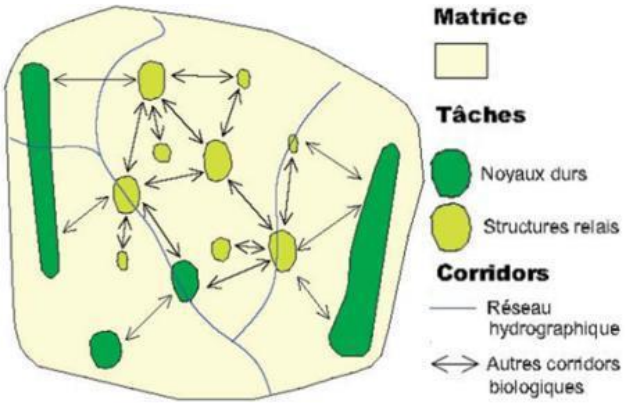


Figure 5 : Schéma fonctionnel du paysage (DREAL Nord-Pas-de-Calais, 2011)

L'approche de la protection de l'environnement et des écosystèmes d'intérêt patrimoniaux se doit de s'intéresser à la protection de fragments forestiers en prenant en compte la matrice autour ou les potentiels corridors écologiques présents. Cette notion est importante car le bon fonctionnement d'un paysage (et donc des trames internes comme les forêts) est induit du bon fonctionnement des trois unités fonctionnelles du paysage. Si une des unités n'est pas fonctionnelle les deux autres unités sont impactées par ce manque et tendent à disparaître. Si la politique de gestion du Grand Sud est axée sur la protection des FDH, et donc des taches

du paysage, la logique de protection de l'environnement doit s'axer sur une échelle de paysage et non pas à l'échelle de la tache seule. Cette logique, déjà adoptée au sein des équipes de la DENV, commence à s'initier dans la doctrine.

Pour incorporer un travail à l'échelle du paysage, deux principes fondamentaux sont intégrées dans la logique de pensée des gestionnaires : la fragmentation et son opposé, la connectivité. Les fragments nécessitent un renouvellement de banques génétiques des espèces composant les fragments (arrivées de semences externes grâce à la faune ou le vent) sinon, ces espèces se verront subir une dégénérescence génétique de par la consanguinité ce qui entraînera la disparition du fragment forestier. L'arrivée de semences externes est principalement due à la présence de corridors écologiques entre les fragments forestiers (taches). Or ces corridors ne sont pas encore définis dans le code de l'environnement de la DENV. Des éléments perturbateurs sont donc installés, tel que les routes, empêchant, par exemple, la dissémination de certaines semences entre fragments forestiers. C'est ce qu'on appelle la fragmentation. C'est cette fragmentation qui peut entraîner la disparition de fragments forestiers entre autre. La connectivité est l'inverse de la fragmentation et représente plutôt une forte dissémination et de forts échanges entre fragments forestiers.

C'est dans cette logique de pensée qu'un programme de recherche fût lancé il y a quelques années : Corridor entre Ilots Forestiers (CoRiFor) (Birnbaum *et al.*, 2016). Ce programme de recherche, géré par le CNRT et l'IAC/IRD, a pour mission de caractériser la fragmentation et la connectivité structurelle entre les fragments forestiers du Grand Sud Calédonien et propose des méthodes de caractérisation de celles-ci. La méthodologie durant ce rapport se basera grandement sur cette étude.

2. Des mesures qui s'actualisent

Cette logique de gestion à l'échelle du paysage est intégrée par la DENV qui s'organise dans sa doctrine de protection et de valorisation des milieux naturels (e.g : projet d'extension du réseau d'aires protégées).

Ainsi alors que pour le moment les mesures demandées, lorsque qu'une demande de défrichement est proposée, sont de l'ordre de la recréation de maquis ou de l'enrichissement, de plus en plus de demande de mise en place de suivis et d'études sur la connectivité sont faites par la DENV.

Plusieurs études ont étés commanditées sur des méthodes de caractérisation de la connectivité (CoRiFor, étude du CI, étude de ECCET,etc.. voir annexe II). Toutes ayant des avantages et des inconvénients. Cependant, comme précisé dans les chapitres précédents, la délimitation des fragments forestiers, et donc des taches autour desquelles s'articulent les corridors écologiques, n'est pas unanimement approuvée ce qui implique que la délimitation des corridors est aussi un sujet à controverse.

C'est dans ce contexte que se profile cette étude où l'on cherchera à déterminer les taches ou fragments forestiers et caractériser les corridors écologiques s'articulant autour de ces taches. Les livrables attendus sont :

- Une méthodologie de cartographie des fragments forestiers et la carte associée pour le Grand Sud Calédonien
- Une méthodologie de cartographie des corridors écologiques dans le Grand Sud et la carte associée.

- Des recommandations de restauration et de conservation du paysage dans le Grand Sud Calédonien

VOLET 1 : ETAT DE LA FRAGMENTATION DU GRAND SUD CALEDONIEN, LA RECONNAISSANCE DE LA CEINTURE VERTE

I. Introduction : Les fragments forestiers, un sujet à controverse

1. Des données multiples

Comme annoncé dans le contexte, les experts ne sont pas d'accord sur la délimitation stricte des fragments forestiers du Grand Sud calédonien. Il existe des cartographies multiples se vouant à délimiter les fragments et provenant des acteurs majeurs impactant l'organisation du paysage forestier du Grand Sud (voir annexe I) :

- Les chercheurs et institut de recherches (IRD,IAC,CIRAD,Espace-DEV)
- Les gestionnaires (DENV et les bureaux d'études annexes)
- Les exploitants miniers (VNC et les bureaux d'études annexes)

Finalement ce sont 7 cartes parmi les plus récentes et les plus utilisées dans les questions gravitant autour des FDH qui sont, à ce jour, les plus remarquables :

- Les cartes de milieux naturels de la DENV (2010,2011)
- Les cartes de l'IRD (2000-2005)
- Une carte de l'IAC (celle de la stagiaire Marine Aubert sur la partie Kwè Nord du Grand Sud en 2012 (Aubert, 2012)
- Les cartes du projet CoRiFor (IAC et espace-dev) (2013)
- Les cartes de la demande d'exploitation minière (DAEM)) de l'entreprise VNC (2015)

Chaque carte a sa propre méthodologie de fabrication et le Tableau 2 les décrit :

Tableau 2: Les cartes des forêts du Grand Sud Calédonien

Origine carte	Méthode	Critères de définition de forêt	Secteur cartographié
Corifor IRD/IAC	Fusion des cartes du Centre Techniques de Foresterie tropicale (CTFT) et de l'IRD recorrigée par de la **photo-interprétation** et du terrain	Part subjective : texture, grain, couleur, homogénéité, Part objective : botanique	Emprise images Pléiades (Grand Sud)
Corifor Espace-DEV	**Procédure automatique** de traitement de bandes multi spectrales satellitaires (modèle de détection du houppier) Phase d'apprentissage du modèle basé sur la carte Corifor (IRD/IAC)	Part subjective : texture, grain couleur, homogénéité (apprentissage) Part objective : présence/absence houppier et homogénéité/hétérogénéité des houppiers	Emprise images Pléiades (Grand Sud)
Inventaires IRD **+** **Cartes IRD**	**Photo-interprétation** corrigé par du terrain	Part subjective : texture, grain, couleur, homogénéité Part objective : Botanique, sol, phytosociologie	Emprise activités VNC

DAEM (Bluecham, VNC, Bota env.)	**Procédure automatique** de traitement de bandes multi spectrales satellitaires complétée par un double contrôle qualité systématique et exhaustif Phase d'apprentissage basée sur des relevés terrain	Part subjective : phase d'apprentissage non vérifiable (manque fiche terrain) Part objective : texture et structure de la canopée, fermeture de la canopée, taille et hétérogénéité des individus identifiables, volume de la végétation, botanique	Emprise activités VNC
Rapport Marine Aubert (Stage IAC)	**Procédure automatique** de traitement de bandes multispectrale et **photointerpretation** des lisières. Verification terrain exhaustive des lisières au GPS Sans phase d'apprentissage.	Part subjective : vérification des lisières non vérifiables (manque fiche terrain) Part objective : texture, grain, couleur, homogénéité	Emprise secteur Kwè Nord
DENV 2010, 2011,2016	Compilation de différentes cartes fournies par l'IRD et des bureaux d'études. Choix de la carte utilisée sur une zone selon sa précision (échelle)	Classes définies sur les cartes d'origines reclassées ensuite	Emprise Province Sud

Toutes ces cartes se focalisent autour des activités de VNC (voir annexe I) mais chacune a une méthodologie de fabrication différente (Tableau 2). Toutes les méthodologies de cartographies ont intégré une phase de vérification sur le terrain.

Il est possible de différencier les cartes faites de manière automatique à semi-automatique par le biais de modèle et les cartes réalisées par photo-interprétation. Chacune de ces types de cartographie intègre des notions subjectives et objectives dans leur délimitation des forêts. Ainsi toutes les cartes faites par photo-interprétation sont sujettes à la subjectivité du cartographe qui digitalise la donnée. Les procédures automatiques, elles, se basent sur des zones d'apprentissage caractérisées par des phases de terrain qui ne sont pas connues et communes. Les parts objectives de cartographie restent des aspects concrets de délimitation de forêt : souvent la botanique, le sol, l'homogénéité du terrain...

Si l'on revient à la définition d'une forêt dense humide selon le code de l'environnement, les critères de délimitation sont la hauteur, la structure, la botanique et la pluviométrie. Ce sont des critères intégrés à certaines cartes et pas à d'autres. Tous les critères ne sont pas tous étudiés sur chaque carte. Où est la concordance entre le code de l'environnement et le monde scientifique ? C'est toute la question à se poser car c'est cet aspect qui est le cœur du problème de délimitation des FDH.

2. Un enjeu reconnu : les dangers de l'effet lisière

Toutes les cartes et les professionnels concordent sur la présence des cœurs de forêt mais c'est sur la délimitation des bordures que le problème se pose (voir annexe I). Une des raisons est la méthode de cartographie et les critères de définition des forêts par carte mais la principale cause de cette difficulté de cartographie des bordures est la présence de lisière non franche.

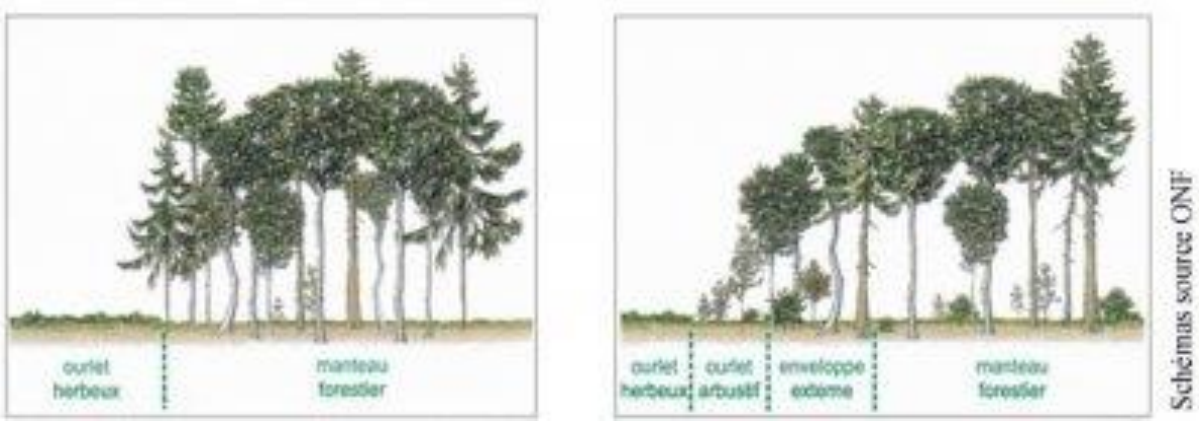


Figure 6 : Deux types de lisières forestières

Les lisières des FDH du Grand Sud ne sont pas toujours franches (comme dans l'image de gauche de la figure 6) et le passage entre la forêt et le sol nu est très graduel (comme dans l'image de droite de la figure 6) ce qui empêche la distinction entre FDH et espace boises alentours. Le code de l'environnement pourrait délimiter la FDH comme le simple manteau forestier dans la Figure 6 alors que, d'un point de vue écologique, l'enveloppe externe (et peut-être aussi l'ourlet arbustif) sont de la lisière de FDH. Sur le terrain c'est l'expérience de l'expert en place qui donnera une délimitation de la FDH mais une contre-expertise se basant sur un des critères de la définition de la FDH selon le code de l'environnement peut être avancée et c'est ainsi que les litiges commencent.

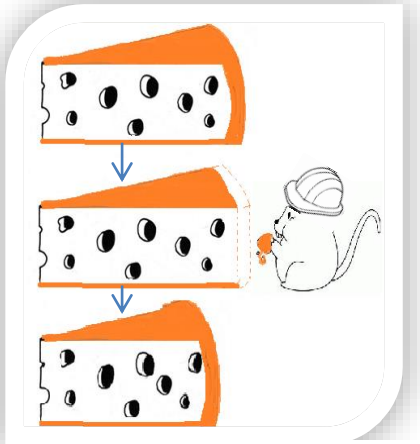


Figure 7: L'effet-lisière expliqué par le fromage

La délimitation de la lisière est de première importance en ce qui concerne la protection de la biodiversité d'une forêt. Et ce pour une raison purement écologique: **la notion de l'effet lisière.**

L'effet lisière se résume en une phrase : une perte de lisière forestière entraine la perte de la forêt. Prenons l'exemple du fromage. La croûte représentant la lisière de la forêt et le cœur de fromage, la forêt. Si la croûte du fromage est mangée alors le fromage reforme une croûte sur le cœur de fromage et il y a perte de fromage (Figure 7). C'est le même phénomène pour une forêt (cœur de fromage) et sa lisière (croute).

Pour être plus précis la lisière est composée d'un cortège floristique plutôt héliophile tandis que le cœur forestier possède un cortège plutôt sciaphile. La lisière héliophile bloque l'entrée des rayons du soleil dans la forêt. Si la lisière est coupée le soleil passera dans le cœur de forêt (de façon oblique) et les plantes sciaphiles mourront tandis que des plantes héliophiles y repousseront et prendront le dessus pour reformer une lisière.

La forêt S2 situé dans l'emprise des activités de VNC est un bon exemple (voir annexe I). Cette forêt a vu sa lisière sud décapée pour les besoins de l'exploitation minière. Tous les experts sont maintenant d'accord pour affirmer que la forêt S2 est vouée à disparaître. Un problème dans l'argumentation de ce fait est que l'effet de la fragmentation induite n'est pas visible maintenant et ne le sera pas avant longtemps. Il est communément dit que les forêts

du Grand Sud n'ont pas encore payés leurs « **dette d'extinction** ». C'est-à-dire que la fragmentation faite ces 100 dernières années n'est encore visible du fait de la croissance très lente des essences néo-calédoniennes. Ces impacts seront visibles dans plusieurs années encore selon les chercheurs. Or, ne pas pouvoir voir les impacts immédiats de la fragmentation à un rôle majeur dans la logique de pensée des acteurs du territoire.

Il est donc primordial d'intégrer ces lisières dans la protection des forêts à l'échelle du Grand Sud mais pour cela tous les acteurs doivent s'accorder sur la délimitation de ces lisières. Leurs cartes ne concordant pas il faut chercher une approche commune sur la définition de la lisière

3. Un corridor écologique autour des activités de VNC : la Ceinture Verte

Comme évoqué dans les chapitres précédents, les fragments forestiers se positionnent dans un paysage où des corridors écologiques les relient entre eux.

Les études caractérisant les corridors écologique du Grand Sud, formant ce qui est appelé la « Ceinture Verte », ont permis de se donner une idée de la structure de celle-ci. Cependant chaque acteur utilise sa propre carte de délimitation des fragments forestiers, ce qui implique forcément une délimitation différente de la Ceinture verte, et sans prendre en compte la troisième unité qui est la matrice (voir 1III).

L'utilité de cette étude consiste à reconsidérer le paysage du Grand Sud selon ses différentes unités pour caractériser, au plus proche de la réalité, la Ceinture Verte. Cela passe par une délimitation précise des taches (les fragments forestiers) dans le paysage mais aussi une délimitation précise des couloirs de dispersion : ces fameux corridors écologiques.

4. Intégration de la ceinture verte à la législation

La demande du commanditaire sur cette étude correspond en partie à la délimitation de la Ceinture Verte. La méthodologie de mise en place de celle-ci peut être analogue à la mise en place d'un réseau de trame verte et bleue (TVB) en France métropolitaine. (Une trame est considéré comme un corridor écologique; bleue pour tout ce qui concerne l'eau et verte pour ce qui est du terrestre). Le réseau TVB consiste en la mise en place d'un réseau de continuités écologiques au niveau national. L'objectif principal est de lutter contre la fragmentation des habitats naturels en facilitant les déplacements et l'adaptation des espèces en considérant tout aussi bien la nature remarquable que celle ordinaire.

Le schéma type de mise en place de la TVB dans un plan d'urbanisme est:

1) L'état initial de la zone où l'on trouve les enjeux écologiques et on décrit le fonctionnement du territoire
2) Le projet d'aménagement du territoire où l'on définit les objectifs du territoire en y incluant la préservation et la restauration de la TVB
3) Le suivi et l'évaluation des documents d'urbanisme

Cette étude se profile dans la première phase : l'état initial qui consiste à recenser et exploiter les connaissances (état des lieux des espaces à enjeux, des espèces des habitats), identifier et cartographier des continuités écologiques (identifier les réservoirs de biodiversité (patchs forestiers ici).

II. Matériels et méthodes : Une nouvelle approche des forêts pour délimiter les corridors écologiques du Grand Sud

1. Adapter sa définition de la forêt au territoire : l'approche dynamique

Pour une délimitation commune des forêts (en tout cas commune d'un point de vue règlementaire) il serait intéressant de revoir la définition de la forêt : pour le moment le code de l'environnement de la Province Sud a une approche statique de définition de la forêt : un certain nombre de critère définissant une forêt tel quel doit être. Le paysage en est affecté car la vision que fournit le code de l'environnement est binaire (système de forêt/système non forêt). Une proposition a été faite de travailler sur une approche plutôt dynamique : les critères définissent la forêt mais à un temps (t).

Philippe Birnbaum, chercheur à l'IAC a écrit en 2015 dans son avis d'expertise sur la question de la délimitation des fragments forestiers dans le Grand Sud : « *Une formation arborée **complète** contient à la fois : les forêts du passé, les forêts du présent et les **forêts du futur** » (Birnbaum et L'Huilier, 2015)).* Cette phrase retient bien la notion de dynamisme forestier dans le temps. Les forêts actuelles seraient les forêts que nous observons maintenant comme défini dans le code de l'environnement et les forêts en devenir seraient ces zones qui reçoivent des apports extérieurs de semences (soient comprises dans les corridors écologiques et les lisières très proches des cœurs forestiers). Ce sont, ici, généralement les zones dénommés maquis paraforestiers et préforestiers qui confinent ces zones au sein des corridors. Les maquis paraforestiers et préforestiers situés hors des corridors écologiques sont aussi des formations arborées dynamiques mais régressives (à une très grande échelle de temps au vu de la croissance très lente des essences forestières). Ces formations ne sont pas en train de devenir de la forêt.

Les espaces de lisières à quiproquo sont définis par un écologue comme une forêt mais par un exploitant comme du maquis. Les deux ont raison ; d'une vision dynamique c'est une forêt et d'une vision statique c'est un maquis

Cette notion de dynamique a déjà été souvent citée dans des rapports provenant de tous les acteurs du territoire (gestionnaire, chercheur et exploitant (citations non diffusables)) :

IRD ➔ *« Les formations paraforestières représentent les **stades précurseurs de milieux forestiers**. Il conviendrait donc de les protéger » (T.Jaffre et al. 2004)*

IAC, CIRAD ➔ *« Une formation arborée **complète** contient à la fois : les forêts du passé, les forêts du présent et les **forêts du futur** (lisières, formations paraforestières et secondaires) » (P.Birnbaum & L.L'Huillier, 2015)*

IFN/IGN ➔ *considère comme forêt les sites momentanément déboisés ou **en régénération***

Notre hypothèse de départ ici est de dire que la forêt est composée de la forêt actuelle et de la forêt du futur. Du point de vue écologique, les écosystèmes qui font la forêt du futur peuvent être considérés d'intérêt écologique (comme certains **maquis paraforestiers**) car ils remplissent des fonctions écologiques particulières (rôle de tampon, de corridor pour la faune et flore, de réservoir de semences forestières, stade intermédiaire dans la dynamique forestière…) (Birnbaum *et al.*, 2016). La problématique de protection de la biodiversité implique de prendre en considération les écosystèmes d'intérêt écologique afin d'envisager

des mesures permettant de conserver les équilibres naturels et de préserver la capacité globale d'évolution de ces écosystèmes.

2. Délimitation des fragments forestiers

Pour délimiter les fragments forestiers sans prendre le risque de créer des quiproquos, sur des contre-expertises par exemple, il a été décidé de commencer par délimiter les parties de forêt considérées comme tel par **tous** les acteurs du territoire. C'est-à-dire ne garder que les zones où tous les acteurs sont d'accord sur la présence de FDH.

Toutes les opérations se font sur le logiciel libre Quantum Gis. La Figure 8 montre une compilation des cartes des forêts du Grand Sud. Les zones les plus sombres sont les zones où nous avons le plus de cartes y définissant de la forêt, à l'inverse les zones les plus claires sont les zones définies comme de la forêt par peu de cartes. Toutes les cartes n'ayant pas la même emprise sur la zone, la limite d'étude est fixée aux alentours des zones d'activités de VNC (par les axes de fragmentations (routes, côtes,…)

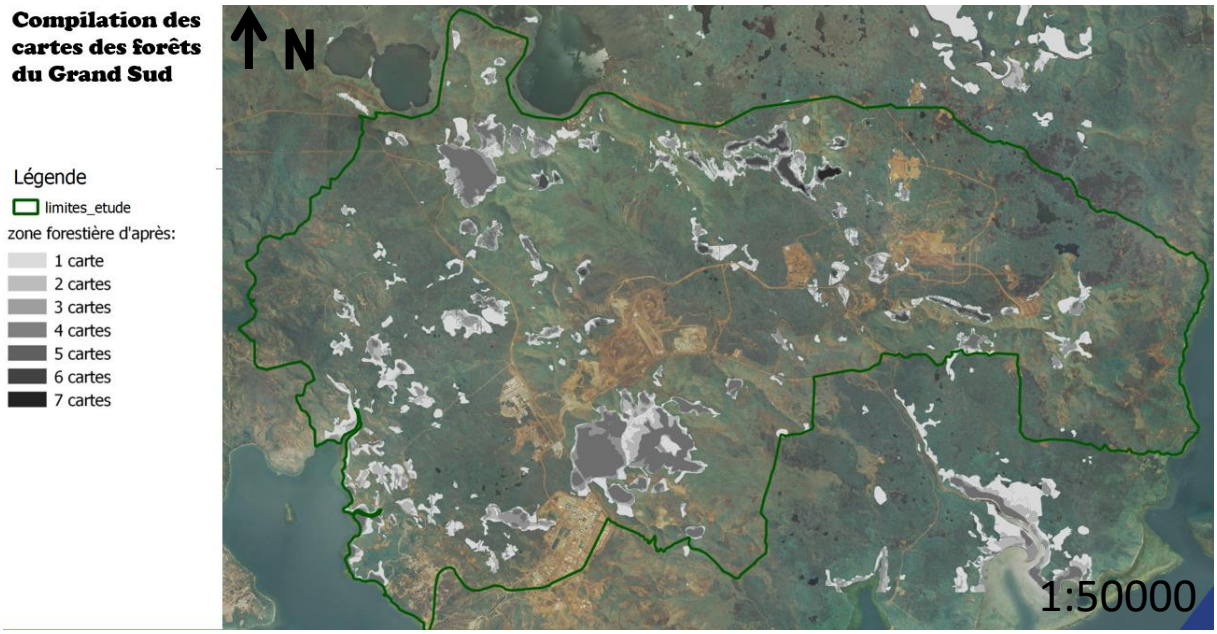


Figure 8 : Compilation des cartes des forêts du Grand Sud

Afin de déterminer les cœurs forestiers que tous les acteurs considèrent comme tel, les zones forestières d'après plus de 5 cartes sont considérées comme des cœurs forestiers stricts. Le reste des zones grises sont les zones à quiproquo. Ces zones peuvent être de la forêt actuelle comme de la forêt en devenir ou de la forêt en régression.

Etant donné les différences d'origine des cartes et les différences d'années de production il est important de vérifier les zones à quiproquo, les zones où seulement 1 à 3 cartes déterminent la présence de forêt. Pour cela il convient de croiser les zones non vérifiées avec les points d'inventaires et fragments inventoriés (voir annexe I) avec l'hypothèse qu'un fragment vérifié sur le terrain directement est preuve de réelle présence forestière.

Par la suite une vérification par photo-interprétation de zones évidemment non forestières est faite. En effet comme le montre la Figure 9 certaines zones sont facilement vérifiables : deux cartes délimitaient un fragment forestier or sur la photo satellitaire il est évident qu'il n'y a pas de fragments forestiers.



Figure 9 : vérification par photo-interprétation des fragments forestiers

La dernière étape est le retrait de toutes infrastructures. Certaines cartes n'ont pas pris en compte les nouvelles infrastructures. Les infrastructures et routes sont nombreuses dans la région comme le montre la Figure 10.

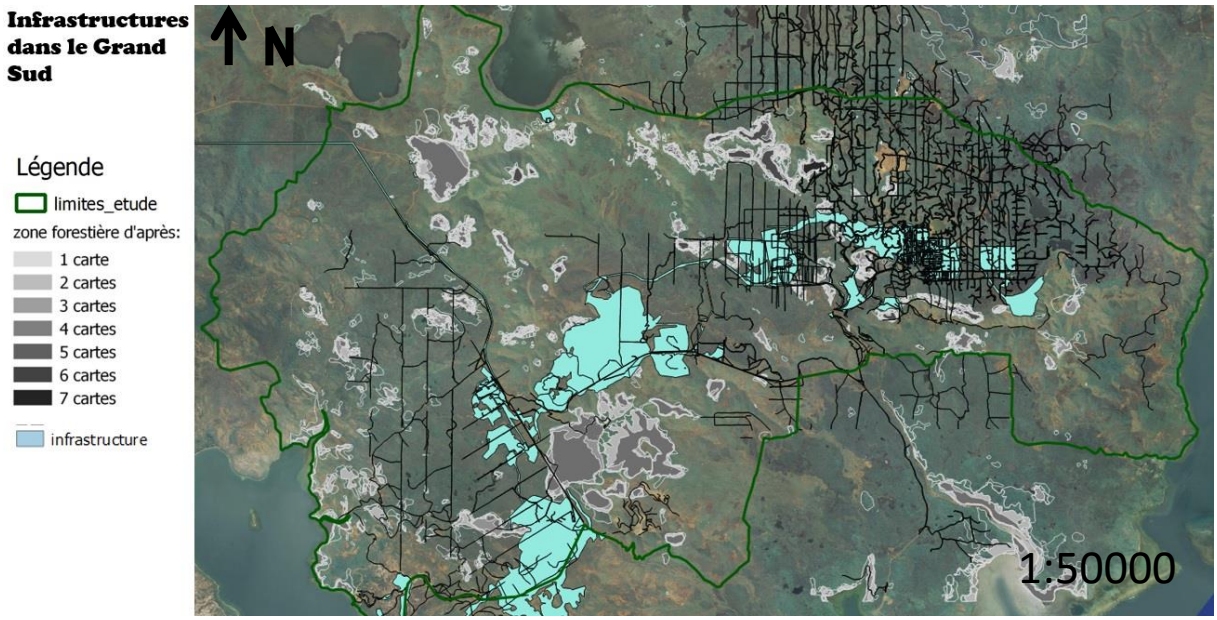


Figure 10 : Infrastructures dans le Grand Sud

Ces étapes faites, **les cœurs de forêts seront déterminés**. Les zones à quiproquo restantes et concordantes avec les zones considérées par les cartes comme des formations arborées ou du maquis paraforestier/preforestier sont des **forêts en devenir ou en régression.**

Pour déterminer le reste des formations dynamiques (en train de devenir de la forêt ou en train de régresser) du Grand Sud il faudra superposer les modalités paraforestier/preforestier/formations arborées des cartes initiales des acteurs et d'y appliquer la même méthode de vérification que pour les fragments forestiers actuels. C'est la délimitation des corridors écologiques par la suite qui révèlera lesquels de ces formations arborées sont des forêts en devenir ou se dégradent. En effet Les zones comprises dans les continuités écologiques sont des zones comprises dans des couloirs de déplacements de la faune et de

la flore entre les FDH, réservoirs de biodiversité. Cela implique qu'il y a des apports de semences forestières dans ces zones ; soit l'évolution de ces zones vers des groupements forestiers. Les zones non comprises dans les continuités écologiques sont des espaces ne recevant pas de nouvelles semences forestières et donc des zones en stagnation voir en dépérissement du fait de leur isolation (l'isolation implique la consanguinité et donc la dégénérescence génétique où la mort programmée des écosystèmes de ces zones).

L'identification des forêts en devenir nécessite donc la délimitation des corridors écologiques entre les forêts actuelles. L'approche la plus proche de la réalité serait de suivre le déplacement réel de la faune et flore locale entre les FDH. Pour cela il faudrait connaître les capacités de dispersion de la faune/flore et avoir un suivi des mouvements de ceux-ci pour avoir une connaissance fonctionnelle complète de la connectivité dans le Grand Sud. Ces données ne sont pas disponibles alors deux autres approches plutôt théoriques mais complémentaires seront utilisées :

- L'approche plutôt **fonctionnelle potentielle** qui estime les déplacements probables de la faune et flore entre les fragments forestiers selon la matrice du paysage.
- L'approche **structurelle** qui estime la présence de corridors écologiques entre les FDH par rapport à leurs répartitions spatiales et leurs géométries.

3. La ceinture verte selon l'approche fonctionnelle : Circuitscape®

La première approche de délimitation des corridors écologiques entre les FDH formant la Ceinture verte est l'approche fonctionnelle potentielle.

Le modèle utilisant cette approche le plus répandu est le modèle de la **matrice distance-coût**.

Le concept consiste en la modélisation du chemin le plus probable de déplacement de la faune/flore entre les FDH **par rapport à la matrice paysagère aux alentours.**

Pour cela on attribue un coût fictif de déplacement de la faune et de la flore par point du paysage selon des critères décidés. Les critères sont déterminants quant à la forme des corridors en résultant. Ces critères de définition du coût peuvent être : formation plus ou moins arborée ; topographie concave ou convexe, direction des vents dominants, etc… . Le ou les chemins de corridors écologiques dépendront des **sommes cumulées des coûts** entre les FDH.

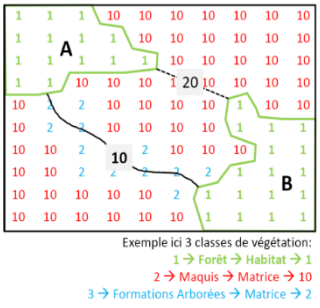


Figure 11: Méthode du CMTC (Birnbaum et al.*, 2016)*

Différentes applications de ce modèle existent. Le programme de recherche de CoRiFor applique ce modèle en utilisant le principe du chemin de moindre coût (ou conditional minimum transit costs « CMTC »). La Figure 11 l'explique : Chaque habitat se voit attribué un coût de déplacement selon le critère « formation plus ou moins arborée » (ici un coût de 1 pour la forêt, de 2 pour la formation arborée et de 10 pour le maquis). CMCT identifie tous les chemins de moindre coût passant par chaque point du paysage. Le cartographe choisit le chemin de déplacement entre deux FDH avec la somme cumulée de coût la plus petite : le modèle permet de dessiner le chemin le plus probable de la faune. Le chemin de moindre coût en est déduit : ici c'est le chemin passant par la formation arborée car la somme des coûts de déplacement y est de 10 tandis que celle-

ci pour le chemin passant par le maquis (plus court en distance euclidienne pourtant) y est de 20. Le résultat final du CMCT permet de modéliser un corridor dans le paysage (A de la Figure 12)

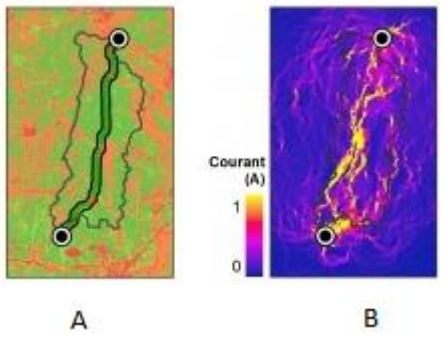


Figure 12 : Chemin de moindre coût (A) et théorie du circuit (B) (Avon & Berges, 2014)

Pour notre étude nous utilisons une application plus poussée du modèle de la matrice distance-coût : **la théorie des circuits.**

La théorie des circuits, développée par l'équipe de Mc Rae (Mc Rae, 2006 ; McRae *et al*., 2008), permet de modéliser les flux d'individus par analogie avec le passage du courant électrique. Cette théorie consiste à modéliser les liens entre les taches (réservoirs de biodiversité) comme des résistances. La résistance étant égale à un coût comme CMTC (tel qu'expliqué dans la 11).

L'avantage de cette théorie est qu'elle considère tous les liens possibles entre les FDH : plus il y a de liens, plus la résistance entre les deux taches étudiées est faible (i.e. la connectivité est grande) (voir B de la Figure 12). Cette théorie paraît adaptée dans l'hypothèse que le déplacement des espèces est aléatoire c'est probablement le cas dans le cas de cette étude. Le CMCT, lui, est, en fait, plutôt orienté pour modéliser la connectivité pour des espèces à dispersion de très longues distances (type modélisation des chemins de migration à grande échelle). Par ailleurs, la théorie des circuits, en prenant en compte tous les points du paysage et tous les chemins possibles, permet d'identifier des points sensibles et fragiles dans les corridors écologiques.

Les chercheurs concernés ont mis en ligne un logiciel libre pour utiliser la théorie des circuits : le logiciel Circuitscape. (McRae *et al.*, 2008 ; accessible à *www.**circuitscape**.org*)

Pour utiliser Circuitscape les deux entrées nécessaires sont :

- un raster des réservoirs de biodiversité (la carte rasterisée des fragments forestiers délimités au chapitre précédent) est utilisé pour indiquer au logiciel les taches entre lesquelles les corridors écologiques doivent être modélisés
- un raster du mode d'occupation du sol (celui produit par la DENV est utilisé (Maillard & Darud, 2012)) est utilisé pour indiquer au logiciel les caractéristiques des points du paysage entre les taches. Dans un raster un point de paysage est défini selon le maillage du raster (la résolution). Les points du paysage (ou chaque cellule du raster) doivent se voir attribuer un coût. Le critère de définition des coûts utilisé est **« formation plus ou moins arborée ».** Un point du paysage aura un coût selon son taux d'arborescence. Le taux d'arborescence est défini selon le type d'habitat (formation arborée, forêt, sol nu, etc…). Plus un habitat est boisé est moins le coût de passage dans cet habitat est élevé.

Le Tableau 3 montre le choix des coûts de déplacement par type d'habitat. Ces coûts sont répartis sur une échelle de 1 à 10 et sont définis par rapport au taux de boisement d'un habitat. La préparation des rasters se fait sur le logiciel libre Quantum Gis.

Tableau 3 : Equivalence habitat - coût

Habitat	coût
Forêt	1
Formation arborée/paraforestier/preforestier (forêt en devenir)	2
Maquis	5
Sol nu et milieu aquatique	10
Zone anthropisée (mines)	-9999 (infini)

La résolution choisie pour les rasters est de 25 par 25. Une résolution plus fine était impossible, les capacités du matériel informatique bridant le choix de la résolution.

4. La ceinture verte selon l'approche structurelle : Conefor®

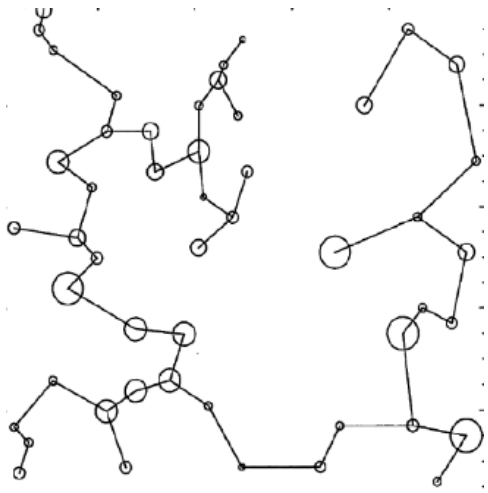


*Figure 13 : Représentation spatiale du paysage selon la théorie des graphes (*Saura *et al.*, 2011*)*

La seconde approche de délimitation de la Ceinture Verte est l'approche structurelle.

Le modèle caractérisant cette approche et le plus souvent utilisé est la **théorie des graphes**. Elle consiste à analyser la connectivité globale du paysage selon la structure spatiale et la géométrie des taches (ici les FDH) en se posant la question : **« qu'arrive-t-il à la connectivité totale si on enlève un fragment testé? »**

Ce modèle est reconnu et très utilisé dans l'écologie du paysage et a un bon ratio effort de fabrication/bénéfice à large échelle. Il a une représentation spatiale explicite de la connectivité sans information importante de la dispersion de la faune/flore locale et est aussi bon que d'autres modèles plus complexes lorsqu'il s'agit d'identifier des corridors écologiques (Saura & Hortal, 2007 ; Avon & Berges, 2014)

La théorie des graphes permet de modéliser la connectivité dans le paysage en prenant en compte les taches (les FDH) comme des réservoirs de biodiversité appelé «nœuds ». Ces nœuds sont représentés en cercles reliés par des lignes (Figure 13). Chaque nœud se voit attribuer une note de pondération selon son importance pour la connectivité globale du paysage. Les notes de pondération permettent d'observer un agencement des nœuds selon leurs importances vis-à-vis de la connectivité globale. Cela permet, entre autre, de visualiser les nœuds importants reliés pour le bon fonctionnement de la connectivité et du paysage et ceux de moindre importance non primordiale au bon fonctionnement de la connectivité.

Pour déterminer la note de pondération de chaque nœud différent indices existent. Selon l'indice choisi la note de pondération peut être totalement différente pour un nœud. L'indice utilisé est le BC(IIC). Cet indice a été développé par l'équipe scientifique de Saura et Torné à l'université de Lleida et l'Institut Polytechnique de Madrid (Saura & Hortal, 2007, Saura & Rubio, 2010 ; Saura & Torne, 2009 ; Saura *et al.*, 2011). Cet indice combine l'*integral Index of Connectivity* (IIC) et le *Betweeness Centrality* index (BC).

BC est un indice de centralité :

$$BC = \frac{\text{nbre de chemins passant par le fragment concerné}}{nbre\ de\ chemins\ reliant\ les\ fragments\ alentours}$$

Cet indice reflète la quantité de chemins reliant un nœud aux autres et rend donc compte de la capacité du nœud concerné à maintenir la connectivité des habitats dans le paysage. Saura et Torné considèrent que BC évalue les potentialités de la dispersion par le nœud concerné mais pas les conséquences de sa perte pour le réseau de tous les nœuds (Saura *et al.*, 2011).

L'indice IIC considère les connections établies entre deux nœuds au sein d'un paysage d'une surface donnée.

$$IIC = \frac{(\text{taille d'un 1er noeud} * \text{taillle d'un 2nd noeud }) / (1 + \text{nbre de chemins reliant ces noeuds})}{aire\ du\ paysage}$$

IIC n'évalue pas, comme BC, ce que la perte du fragment concerné implique pour la connectivité globale mais intègre des données de surfaces, d'aires et de longueur de fragments. Pour obtenir le meilleur des deux indices IIC et BC, Saura et Torné ont donc développés l'indice BC(IIC) qui combine BC et IIC

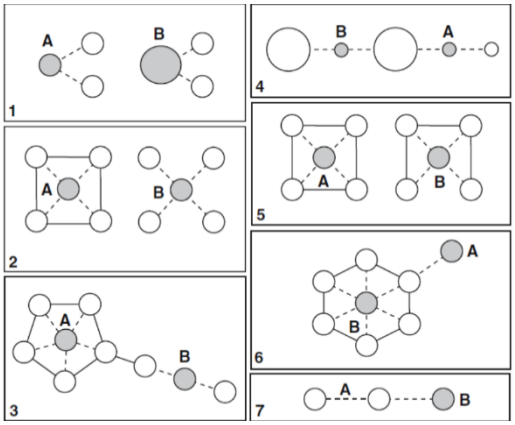


Figure 14 : 7 situations de mesure de l'indice de connectivité (Saure et al.*, 2011)*

BC(IIC) mesure combien un fragment spécifique s'insère entre les autres fragments du paysage tout en prenant en compte l'aire (ou un autre attribut selon le choix de l'utilisateur) des fragments alentours. L'indice prend aussi en compte le nombre de liens (chemins) entre les nœuds : plus un nœud a des liens avec d'autre nœuds et plus il a un indice important. La Figure 14 montre le fonctionnement de l'indice : dans chaque situation perdre B est plus néfaste à la connectivité globale que perdre A alors l'indice BC(IIC) sera plus grand pour B que pour A.

Ce modèle a été utilisé et testé dans la zone du Grand Sud une première fois par l'étude « CoRiFor » où est utilisé un outil appelé « conefor », développé par Saura (Saura *et al.*, 2011) qui utilise la théorie des graphes et permet l'utilisation de l'indice BC(IIC). « Conefor » est un exécutable libre accessible à *www.**conefor**.org*



Figure 15 : Fragments interconnectés ou non selon leurs inter-distances (Saura et al.*, 2011)*

Cet outil a pour entrée la distance entre chaque noeud, l'aire des nœuds et un seuil de distance type qui pose une limite sur la connexion entre des fragments de forêts. En effet il faut estimer jusqu'à quelle distance inter-nœud il est possible de considérer que deux nœuds soient connectés. Pour illustrer ces propos il est notable dans la Figure 15 que les nœuds 3 et 4 sont inter-connectés grâce à la présence de nœuds entre eux relativement proches. En revanche le nœud 2 est trop loin du nœud 4 pour que ceux-ci soient considérés comme inter-connectés ; c'est la distance seuil qui définira la distance à partir de laquelle il ne serait plus envisageable

de considérer que les nœuds 2 et 4 soient reliés. C'est avec des données de dissémination possible de la faune/flore que cette distance seuil pourrait être affinée. Cependant ces données ne sont pas disponibles.

A titre d'information, au Grand Sud, on retrouve moins de 10m pour les fragments de FDH les plus proches à près de 2000m pour le fragment le plus isolé. La distance reste cependant inférieure à 500 m pour +80 % des fragments et presque 100% des fragments sont connectés pour une distance de 1000m. On peut estimer qu'une distance seuil optimale pourrait être aux alentours de 500m à 1000m

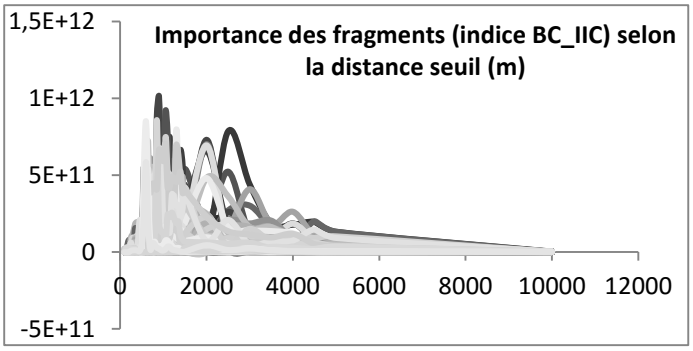


Figure 16 : Graphique des indices BCIIC de chaque fragment selon la distance

Pour définir cette distance seuil une approche statistique est utilisée. Pour chaque fragment l'indice BC(IIC) est déterminé selon une distance seuil. Des tests se font sur plusieurs distance seuil : de 100m à 10000m avec un pas de 50m (Figure 16). Le choix des distances seuil se fait sur celle où la variation des indices inter fragments est la plus importante. C'est-à-dire à **750m**. En effet choisir une distance seuil trop grande ou trop petite ne serait pas pertinent puisque la variation d'indice inter-fragment est très faible : l'indice serait quasiment le même pour tous les nœuds et on ne pourrait pas délimiter les corridors écologiques les plus probables.

III. Résultats : Cartographie de la Ceinture Verte

1. La carte des formations forestières dynamiques du grand Sud Calédonien

Suite à l'application de la méthode de cartographie des fragments forestiers du Grand Sud, une carte est créée :

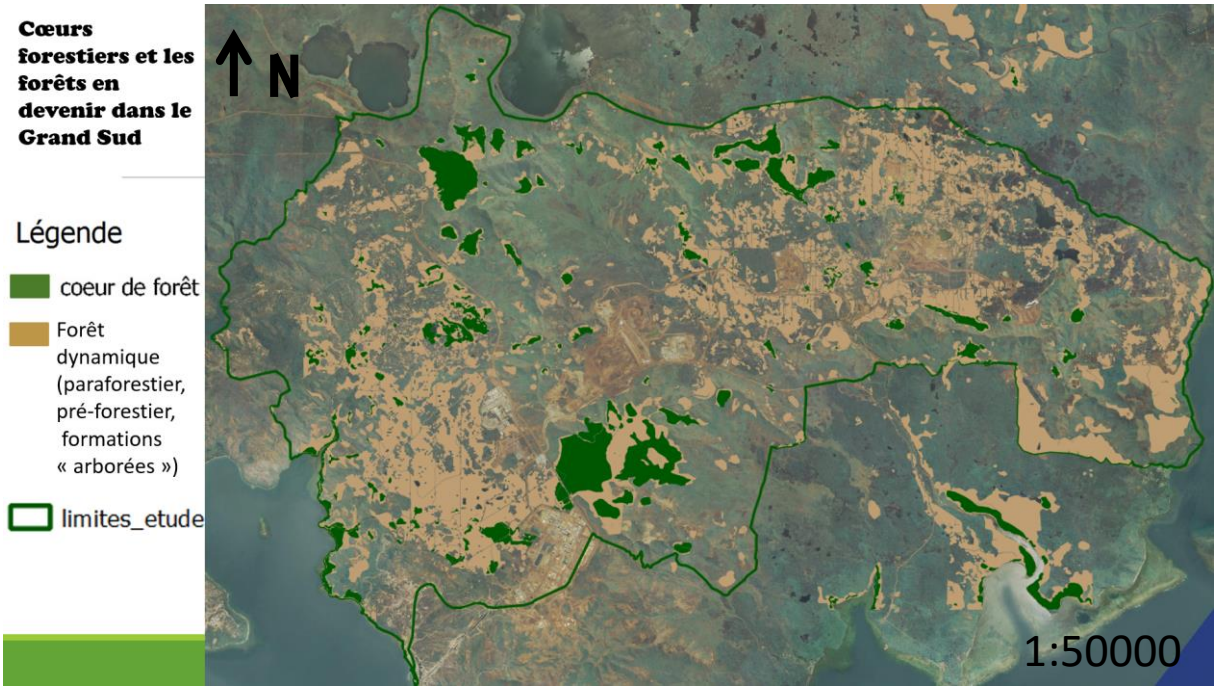


Figure 17 : Carte des cœurs forestiers et des forêts en devenir dans le Grand Sud calédonien

La Figure 17 représente les cœurs de FDH actuels en vert. Ces fragments sont donc ceux acceptés par tous et vérifiés par inventaires. Les polygones marron représentent tout ce qui peut être de la « forêt en devenir », proche des forêts actuelles d'un point de vue dynamique dont les zones de lisière de FDH) et les formations en pleine dégradation : C'est-à-dire toutes formations paraforestières, préforestières et autres arborées (soit plus de 2500ha au total)

Il serait logique de se poser des questions sur ces délimitations. En effet sur certains fragments la forêt en devenir s'étend sur de très grande distance autour des fragments de FDH strictes (près de 1000m, voir Figure 18) et il faut déterminer à quel distance de la FDH cette forêt en devenir n'est plus la lisière de la FDH et à quel moment est-il alors possible de défricher pour l'exploitation minière sans avoir d'impact important sur les FDH. Ces questions de la délimitation de la lisière ne se posent plus dans la logique « dynamique ». Pour une protection optimale de la forêt (forêt actuelle et forêt du futur) il faut protéger son ensemble, c'est-à-dire tout l'espace comprenant ces deux formations. Cependant pour cela il est nécessaire de différencier les zones de forêt en devenir et les zones de forêt se dégradant.

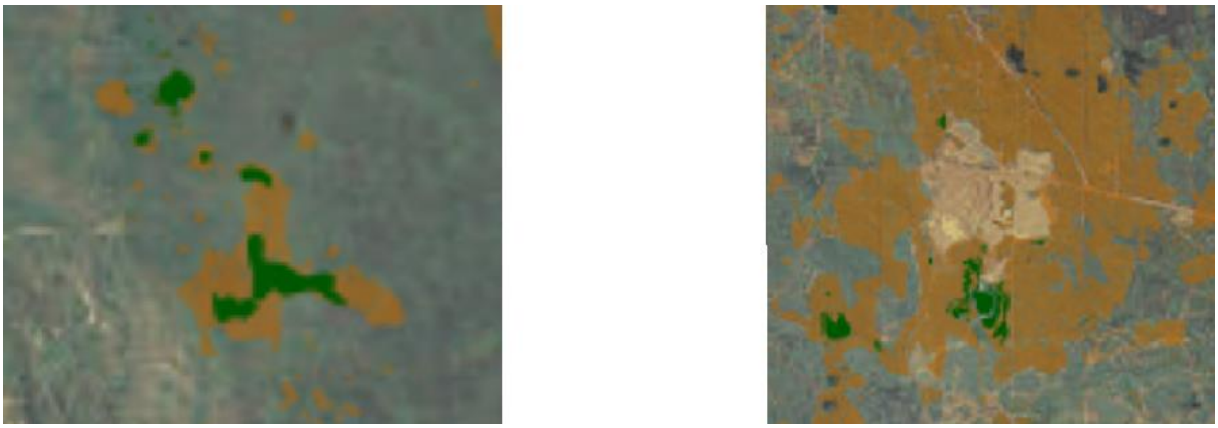


Figure 18 : 2 cas de la répartition des formations arborées autour des cœurs forestiers

Une vision du paysage en son ensemble est nécessaire et la délimitation du corridor écologique reliant les FDH permettra de régler cette question. Les formations comprises dans les corridors écologiques sont à protéger intégralement et les formations hors des corridors écologiques sont de moindre importance pour le bon fonctionnement du paysage.

2. Les cartes des corridors écologiques de la Ceinture Verte

L'utilisation du logiciel Circuitscape a permis de caractériser la ceinture verte. La Figure 19 en est le résultat. L'existence de la Ceinture Verte est révélée.

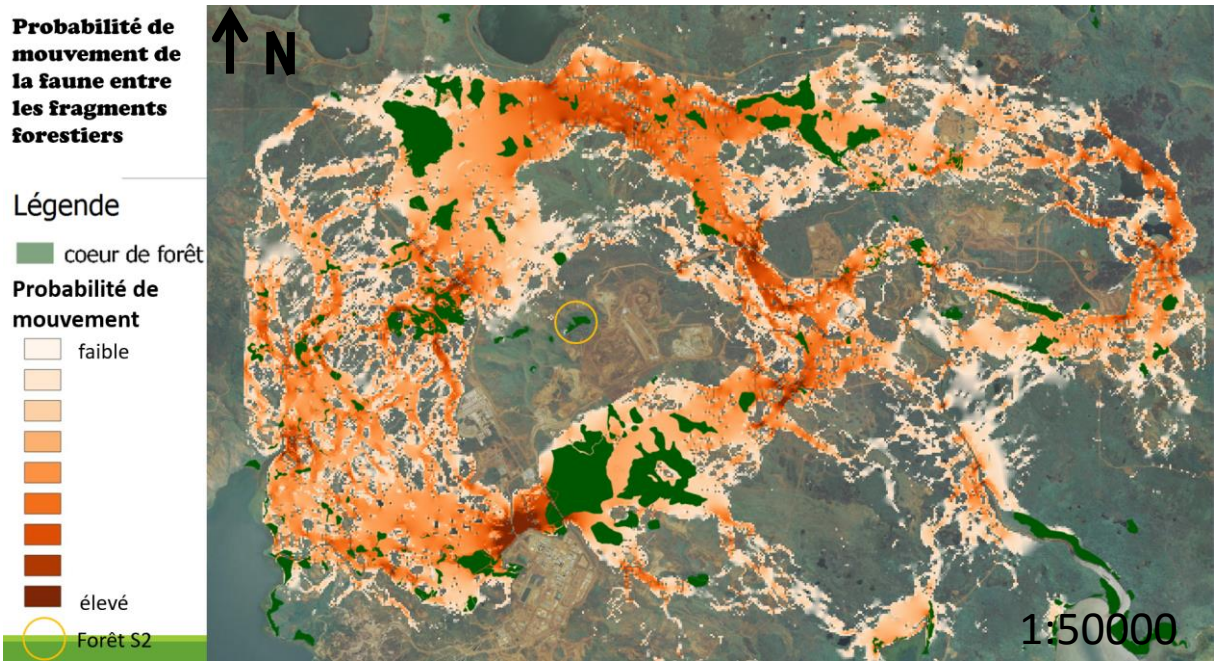


Figure 19 : Carte des probabilités de mouvements de la faune/flore entre les fragments forestiers du Grand Sud calédonien

Circuitscape montre les probabilités de mouvements entre les fragments forestiers sur une échelle continue. Plus un espace est orange foncé entre deux FDH et plus il y a de connectivité entre ces deux FDH et vice versa. Un grand couloir se démarque entre les fragments nord de la zone. Un autre couloir plus discontinu se remarque à l'ouest de la zone là où personne n'imaginait un couloir de biodiversité - *En ce moment se pose la question de l'augmentation des réserves biologiques du Pic du Grand Kaori et de la Forêt Nord pour que ces réserves se*

rejoignent en passant par la ligne de crête mais selon la carte de circuitscape il n'y a pas de liaison, entre ces deux réserves, passant par la ligne de crête. -

Un autre fait remarquable est l'isolation du fragment forestier nommé S2. Ce fragment a subie en 2007-2008 un défrichement de près de 50% de son emprise initiale pour les besoins de l'exploitation minière. La question se posait alors sur l'impact de la disparition de ce fragment sur la connectivité globale du Grand Sud. Au vu des résultats ici présent il est possible d'affirmer que **la perte du fragment de forêt S2 n'impactera probablement pas la connectivité globale du site.**

Dans l'ensemble de la Ceinture Verte des zones critiques sont identifiables (zones avec une probabilité de mouvement forte dans des espaces réduits) tel que l'espace entre la réserve de la Forêt Nord et l'usine de VNC. Ces zones sont des goulots d'étranglement pour le déplacement de la faune et de la flore. Ce sont des zones simples à perturber et pourtant primordiales pour la connectivité globale du site. Du point de vue du gestionnaire il semble particulièrement important d'accorder un suivi des mouvements de la faune/flore dans ces goulots d'étranglements.

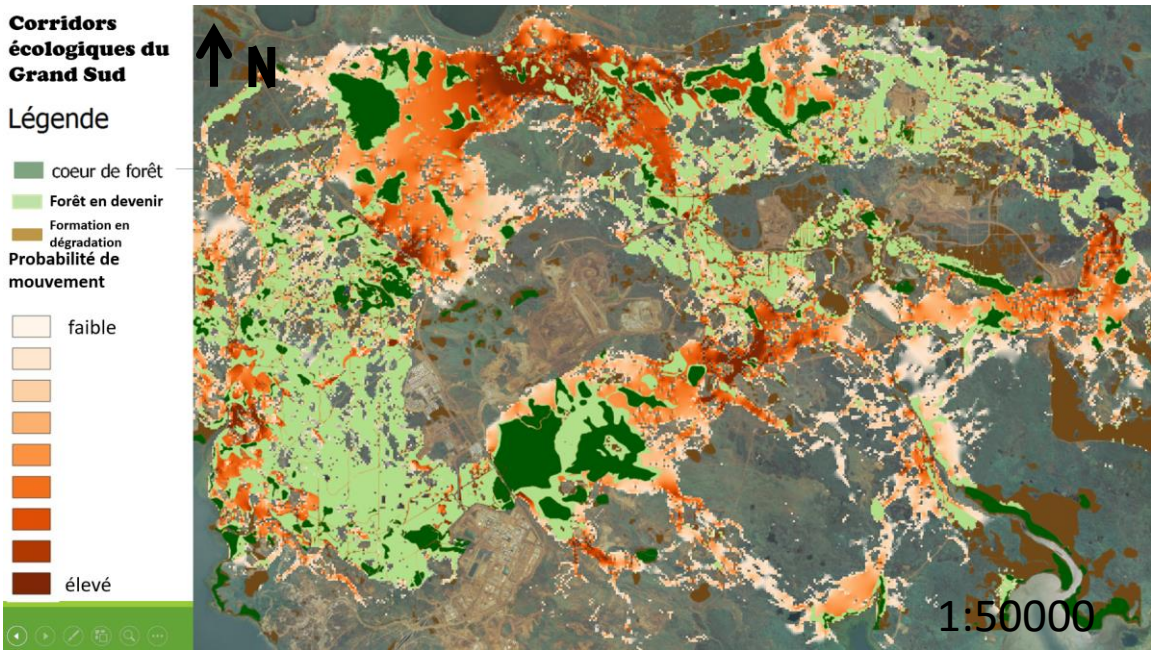


Figure 20 : Carte du Corridor écologique du Grand Sud selon la théorie des circuits

Si les forêts en devenir ou en dégradation sont représentées dans les couloirs du corridor de circuitscape, telle que sur la figure 20, il est possible d'avoir une vision du paysage plus exhaustive pour la gestion des défrichements. En effet ce sont les forêts en devenir représentées sur la figure 20 qui sont primordiales à protéger et valoriser pour garantir une bonne connectivité globale du site, un paysage dynamique et une reconquête des FDH sur le site (près de 1600ha). Les autres forêts en devenir non comprises dans la Ceinture Verte (en marron sur la figure 20) ne sont pas « sacrifiables » mais sont de moindre priorité pour la préservation de la connectivité globale du Grand Sud (près de 1000ha).

L'approche complémentaire de délimitation des corridors écologiques est l'approche structurelle utilisant le logiciel Conefor. La figure 21 est la carte de sortie du logiciel Conefor. Ce sont les indices de connectivité BCIIC de chaque fragment qui permettent de visualiser la

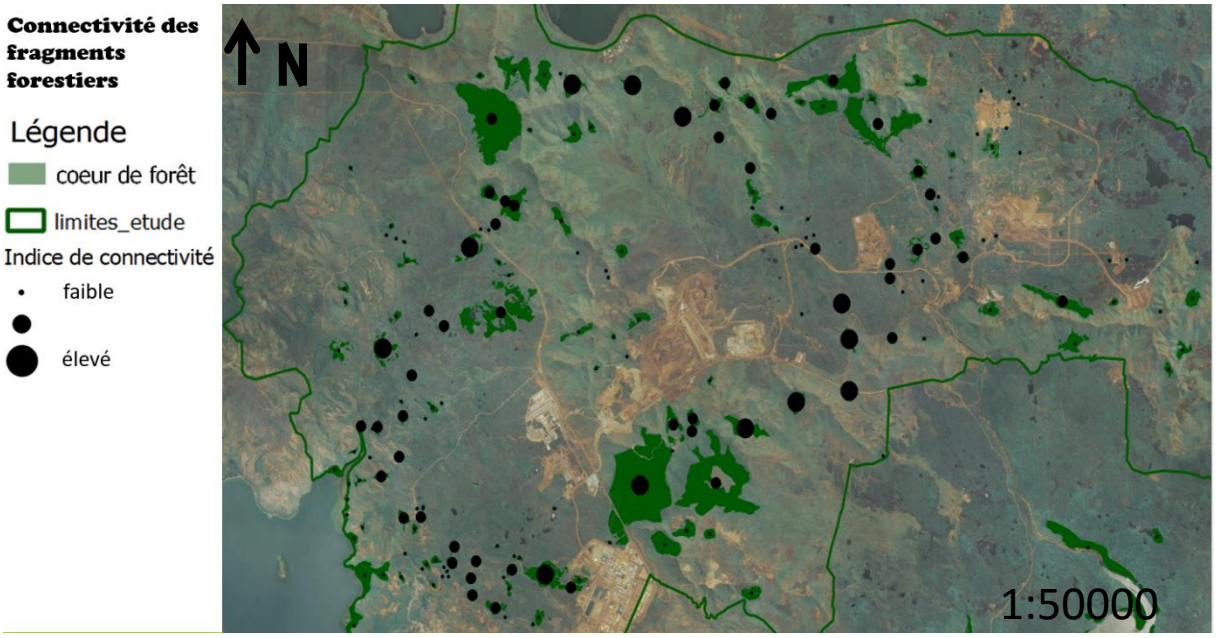


Figure 21 : Carte de la connectivité des fragments forestiers selon l'indice BCIIC

Ceinture Verte. En effet un petit cercle noir sur la Figure 21 représente un faible indice de connectivité BCIIC, cela veut dire que le fragment concerné n'est pas essentiel pour le bon fonctionnement de la connectivité globale du Grand Sud. Au contraire des fragments forestiers avec un grand cercle noir sur la Figure 21 prouvent que les fragments concernés sont indispensables au bon fonctionnement de la connectivité globale du Grand Sud. Ainsi en suivant les fragments avec un grand indice de connectivité, la Ceinture Verte se reconnaît et reproduit le même arrangement que la connectivité représenté par Circuitscape. L'approche structurelle confirme l'agencement de la Ceinture Verte tel que décrit par Circuitscape.

A l'instar des résultats de Circuitscape, ici aussi l'indice BCIIC nous permet de considérer que le fragment de forêt S2 n'est pas primordial pour assurer la bonne connectivité du site. Une analyse plus poussée des résultats du logiciel Conefor permet d'identifier des massifs forestiers (voir Figure 22). Ces massifs forestiers sont des ensembles caractérisés par des fragments forestiers proches et de grandes surfaces reliées. Les massifs sont reliés entre eux par des fragments forestiers plus petits et éloignés mais de grande importance pour la connectivité globale du Grand Sud, ce sont les fragments « tremplins ». Ces fragments doivent être au cœur de la logique de gestion de la connectivité du Grand Sud car la perte d'un de ces fragments de FDH implique la perte de toute la connectivité entre les massifs forestiers.

6 Massifs forestiers sont identifiés : Le massif du pic du grand kaori(1), le massif de la Forêt du Tuyau(2), le massif de la Kwè Nord(3), le Massif de la Kwè Est(4), Le massif de la Forêt Nord(5) et le Massif AS 2(6)

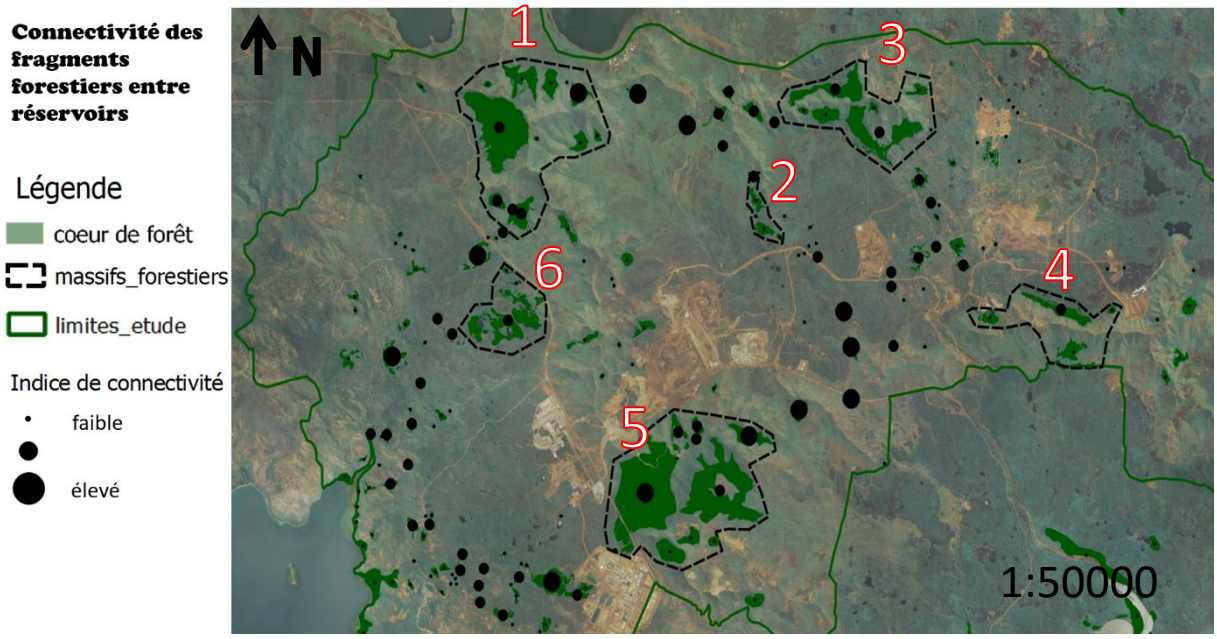


Figure 22 : Carte des massifs forestiers du Grand Sud et de leurs inter-connectivités selon l'indice BCIIC0

En identifiant les massifs forestiers et les fragments « tremplins » les reliant il est possible d'aborder une réflexion pour le gestionnaire sur des choix de préservation des continuités écologiques. En effet l'indice de connectivité permet de « choisir » les fragments les plus importants pour préserver la Ceinture verte et le paysage local. Ces choix s'intègrent dans des stratégies de gestion des continuités écologiques du Grand Sud calédonien. Des mesures de gestion sont d'ailleurs déjà appliquées dans le Grand Sud mais il manquait la vision globale du paysage, qu'offrent maintenant les résultats de ce 1er volet, pour avoir une logique de suivi et de restauration/préservation de ces continuités écologiques.

Après avoir délimité les forêts du Grand Sud et les corridors écologiques en découlant il est nécessaire de proposer des stratégies de gestion de ceux-ci. Le volet 2 a pour vocation de proposer des stratégies de conservation et de restauration de la Ceinture Verte.

VOLET 2 : ETUDE SUR DES STRATEGIES DE CONSERVATION ET DE RESTAURATION DE LA CEINTURE VERTE DU GRAND SUD CALEDONIEN

I. Introduction : Doctrine locale de gestion des impacts

1. Des impacts potentiels à surveiller

La zone du Grand Sud calédonien étant un espace où de nombreux enjeux s'y croisent, de nombreux impacts sont potentiellement dangereux pour la biodiversité locale des réservoirs écologique (FDH) et pour les continuités écologiques. Les types d'impacts potentiels sont nombreux. Pour citer les plus importants, il y a :

- **Les types d'impacts sur l'habitat** : la destruction directe par décapage (ouverture fosses minières, création de pistes, etc…) ; la fragmentation et le morcellement induit par la destruction ponctuelle de l'habitat ; la dégradation des habitats (altération des fonctions du système, perte de la qualité de par des pollutions diverses et du piétinement, etc…) ; la création de nouveaux habitats comme la savane sèche ; l'introduction d'espèces invasives induisant la disparition d'espèces endémiques au profit des espèces opportunistes) (DREAL PACA, 2009 ; Aubert, 2012)
- **Les types d'impacts sur les espèces** : la destruction directe des individus ; la fragmentation des populations ; les dérangements en phase travaux, le déplacement induit de populations (de par l'émission de polluants (air, eau, bruit, vibration)). (DREAL PACA, 2009)

Ces types d'impact étant nombreux, il est nécessaire de se baser sur des critères d'évaluation pour les définir, les comprendre et ainsi mieux appréhender leurs réductions voir leurs suppressions. Ces critères sont (d'après DEAL GUYANE, 2012) : l'intensité de l'impact (faible, moyen, fort), l'étendue de l'impact (échelle de l'impact), la durée de l'impact (court terme, long terme), la fréquence de l'impact (ponctuel, journalier, mensuel,…) et l'analyse des impacts cumulés d'un projet avec d'autres projets alentours connus

En définissant ces critères pour chaque impact potentiel des activités de VNC sur les milieux naturels, il est possible d'adopter des stratégies d'actions pour la préservation des espaces naturels sensibles. Les stratégies sont appliquées par des mesures concrètes de terrain telles que la stérilisation du matériel de fauchage pour éviter la dissémination d'espèces exotiques envahissantes (EEE) ou encore l'obligation de travail qu'entre certaines heures pour éviter le dérangement de certaines espèces animales.

Le choix de ces stratégies dépend de la politique de gestion des impacts du territoire calédonien traduite, en Province Sud, par le code de l'environnement et différents outils d'application (doctrines, guides de bonnes pratiques).

2. Le code de l'environnement et le triptyque ERC

C'est dès la création du code de l'environnement de la Province Sud de la Nouvelle-Calédonie en 2009 que la question de la politique de gestion des impacts de projets miniers ou autre sur l'environnement local se pose. L'approche de gestion des impacts suit la séquence « Eviter, Réduire, Compenser » (ERC) prévue dans différents articles du code de l'environnement (eg : 130-4 ; 233-2 ; 354-4 ; 352-5, etc…).

La logique ERC est déjà utilisée en Europe et notamment en France où les articles L.122-3 et L.122-6 du code de l'environnement et L.121-11 du code de l'urbanisme régulent ses aspects.

La Figure 23 résume la logique de la séquence ERC. Le gestionnaire délimite un niveau d'importance de la biodiversité potentiellement impactée par un projet naissant. Les impacts de ce projet entraînent une perte de ce niveau de biodiversité. Le but est de trouver des mesures permettant de supprimer cette perte écologique (arriver à une neutralité écologique). Pour cela, en premier lieu, la mesure d'évitement est recherchée pour supprimer le plus grand nombre d'impact (e.g modification de tracé ou site d'implantation, saison particulière pour la réalisation de travaux etc…). Si la perte n'est toujours pas nulle de par l'impossibilité technique ou économique de réaliser les mesures d'évitement, une réduction des impacts est recherchée (limitation de l'emprise du projet, gestion des eaux, passages à faune, etc…). Si malgré les mesures de réduction il reste de la perte de par des impacts résiduels alors la compensation est demandée. Celle-ci cherche à remonter le niveau de biodiversité en apportant un gain écologique censé être égale à la perte écologique résiduele : c'est l'équivalence écologique. La compensation peut être des mesures de remplacement de l'espace naturel détruit par un impact (e.g un reboisement ou une recréation de milieux humides ou aquatiques dans une autre parcelle). Des études sur la biodiversité permettant une meilleure gestion du territoire comme mesures d'accompagnement aux mesures compensatoires sont aussi mises en place.

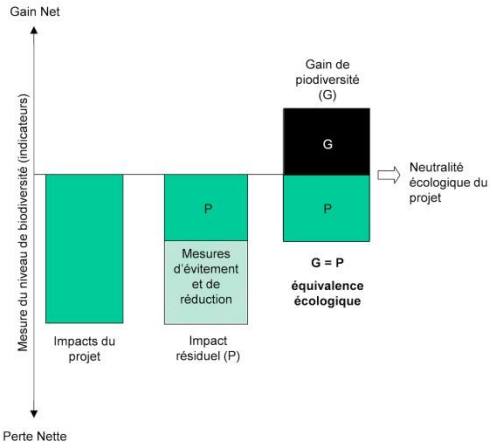


Figure 23 : fonctionnement du triptyque ERC (Quetier, 2012)

D'un point de vue légal et pratique, l'approche consiste en l'obligation légale aux maîtres d'ouvrages d'éviter, réduire et de compenser les impacts de leurs projets sur les milieux naturels. En Province Sud de la Nouvelle-Calédonie, Lorsque des projets sont susceptibles de générer un ou plusieurs types d'impact et donc d'avoir une incidence significative sur l'environnement, le code de l'environnement, la loi du pays sur le domaine public, le code minier ou les textes relatifs à l'urbanisme exigent que des études d'impacts soient réalisées dès lors du stade de l'élaboration du projet potentiellement impactant : Une étude d'impact est généralement réalisée par un bureau d'étude et contient des propositions de mesures d'évitement et de réduction appropriées à la nature des impacts du projet concerné. La DENV étudie l'étude d'impact et peut demander des études complémentaires. Si des mesures de compensation sont nécessaires alors la DENV prescrit les surfaces à compenser et les lieux de compensation.

Dans le cas des activités minières, et en particulier des activités de VNC dans le Grand Sud, les impacts les plus graves et importants pour la biodiversité sont ceux liés au défrichement des forêts. Au vu des enjeux économiques mis en jeux la mise en place de mesures d'évitement et de réductions est constamment demandée mais la compensation est souvent nécessaire en l'absence de solutions alternatives et en considérant l'intérêt général (Province Sud, 2016).

3. Résumé des actions réalisées et demandées au Grand Sud

Depuis son installation au début des années 2000, l'entreprise VNC eu besoin de défricher plusieurs hectares de forêts denses humides pour l'installation d'infrastructures industrielles et minières. Ces défrichements sont néfastes pour la connectivité globale du Grand Sud du fait de la fragmentation engendrée. Il est primordial de mettre systématiquement en place des mesures d'évitement, de réduction et de compensation des impacts afin de protéger la continuité écologique tout en ne stoppant pas l'activité économique minière.

Pour chaque demande de défrichement de FDH effectuée, la DENV donna son accord en fournissant des arrêtés d'autorisation de défrichement lorsqu'il n'y a pas de solutions alternatives. L'annexe III résume l'ensemble des arrêtés d'autorisation. Chaque arrêté comporte des articles liés à des mesures d'évitement, de réduction et de compensation des impacts liés aux défrichements.

Le Tableau 4 souligne les mesures les plus souvent demandées :

Tableau 4 : Exemple de mesures demandées par la DENV pour diminuer ou supprimer les impacts sur l'environnement

Types de mesures	Mesures concrètes demandées
Mesure d'évitement	- Engins de chantier révisés et en bon état - Opération d'entretien des engins de chantiers interdite sur site - Déchets évacués et traités - Eclairages conçus de manière à éviter l'éclairage des milieux naturels environnant ; ils sont orientés vers le sol - Tout feu est interdit sur site - Garder des bosquets lors de défrichements … etc…
Mesure de réduction	- Semences de flore sur site récoltées avant les travaux pour être mis en conservatoire - Terre végétale et biomasse des secteurs défrichés sont valorisées - Si détection d'EEE, VNC doit en informer la DENV et éviter leur dissémination - Travaux à effectuer de Février à Septembre pour éviter la période de nidification des oiseaux … etc…
Mesure de compensation	- Enrichissement forestier - Recréation des milieux naturels - Création de zones « ateliers » d'expérimentation - Mise en place de suivis de la faune et la flore … etc…

L'annexe III rend compte de l'ensemble des demandes de compensation faite par la DENV à VNC pour compenser la perte écologique et la fragmentation due aux défrichements. Les mesures de compensation les plus demandées et reconnues sont : la restauration, la revégétalisation et la réhabilitation (voir dans glossaire ; Jaffre & L'Huillier, 2010). Ceux-ci sont

réalisés par deux actions principales : la **recréation du milieu naturel** et l'**enrichissement de milieu naturel**.

Toutes les mesures de recréation et d'enrichissement ont été décidées en se basant sur un tableur de décision (outil d'aide à la décision) donnant une surface à restaurer et un type d'habitat à restaurer selon les défrichements effectués. Cependant cet outil d'aide à la décision ne permet pas de conseiller quant au lieu propice de compensation. En effet, à ce jour, la compensation réalisée par VNC s'est faite selon le foncier disponible sans prendre en compte l'intégration des milieux où la compensation est effectuée. Cela est ainsi de par la **méconnaissance de l'agencement du paysage** par les gestionnaires. En effet, d'une part la non-visibilité de l'ensemble du paysage ne permet pas d'estimer l'impact d'un défrichement d'un fragment forestier sur les autres fragments forestiers. D'autre part la non-visibilité de l'ensemble du paysage ne permet pas non plus d'estimer si la recréation ou l'enrichissement sera réellement viable et nécessaire au fonctionnement global du paysage (c'est un peu comme marcher à l'aveugle).

C'est dans ce contexte que se profile l'utilité des résultats du 1er volet de cette étude. La détermination des corridors écologiques donne une vision de l'agencement du paysage et permet de s'avancer sur l'établissement de stratégies de restauration et de conservation des milieux naturels et en particulier de la FDH. La première étape sera d'identifier des zones critiques pour aiguiller la restauration au travers des continuités écologiques. L'étape suivante sera de mettre au point des objectifs de restauration par zones. Suite à cela, des mesures de conservation des continuités écologiques seront proposées pour empêcher la fragmentation et le déclin de la biodiversité.

II. Matériels et méthodes : l'établissement de stratégies de restauration et de conservation adaptées à la Ceinture Verte.

1. Identifier des zones critiques et stratégiques

L'ensemble du paysage situé en périphérie des activités de VNC est abordé et définit par les résultats du 1er volet de cette étude. C'est en identifiant dans ce paysage des zones « critiques » qu'il devient possible d'orienter les défrichements autorisés et les mesures de restauration de façon à permettre le bon fonctionnement du paysage (c'est-à-dire en ayant une vision d'ensemble et plus une vision « unité par unité »).

Les zones critiques définies dans cette étude sont des zones appartenant au paysage, et notamment aux corridors écologiques reliant les FDH, qui sont vraisemblablement des zones soumises à une forte probabilité de dégradation de par leurs positions dans l'organisation paysagère. Ces zones critiques peuvent aussi être des espaces particuliers où un quelconque impact d'origine anthropique (comme le défrichement pour les activités minières) peut affecter l'ensemble du site du Grand Sud.

Pour identifier les zones critiques trois critères ont étés pris en compte :

- Le critère **d'appartenance aux continuités écologiques** : les zones critiques dépendent de l'organisation des continuités écologiques et des réservoirs de biodiversité (les FDH) ; les zones hors des continuités écologiques trouvées au volet 1 sont considérées comme non prioritaires à l'attention pour le moment.

- Le critère historique : une **étude diachronique** des forêts du Grand Sud retrace l'évolution des fragments de forêts depuis la fin du 19ème s (Annexe IV ; Utard, 2015) ; les zones non historiquement forestières sont considérées comme non prioritaires à l'attention pour le moment.
- Le critère se fiant au plan de gestion futur de l'**exploitation minière :** la demande d'autorisation d'exploitation minière (DAEM) de VNC a déposée début 2016 expose le plan d'exploitation minière de VNC sur 30ans (Annexe V ; VNC, 2015). Les zones vouées à une exploitation obligatoire (indispensables à l'avancée économique) sont des zones considérées comme vouées à disparaître.

La délimitation de ces zones critiques se fait donc en croisant les données des trois critères. Le but étant d'obtenir une typologie de zones critiques. La connaissance de l'existence de ces zones permettra de cibler plus précisément les mesures de restauration et de compensation en général.

2. Définir des objectifs de restauration écologique

Après avoir identifié les zones critiques il faut décider de la meilleure approche de gestion permettant de préserver le bon fonctionnement du paysage et, coulant de cela, le bon niveau de biodiversité, pour chaque zone critique. L'approche reconnue internationalement est celle de la Society for Ecological Restoration (SER,). Cette approche fut adaptée pour la région du Pacifique par le groupe SERA ou « Society for Ecological Restoration Australasia ». Des références standardisées pour une approche optimale de la restauration écologique existent (McDonald *et al.*, 2016). Ces références sont revues tous les 5 ans et sont ouvertes au public. L'idée est de suivre six principes qui sont utilisés pour définir le cadre de la conceptualisation définissant et déterminant la restauration écologique :

- 1er principe : la restauration écologique est basée sur une connaissance appropriée de l'écosystème référencé
- 2nd principe : les mesures de restauration seront dictées par un niveau de résilience et de dégradation
- 3ème principe : le rétablissement des attributs d'un écosystème est facilité par l'identification de but et d'objectifs précis
- 4ème principe : la régénération entière de l'écosystème est le but de la restauration écologique même si cela ce produit sur une échelle de temps très longue
- 5ème principe : la science de la restauration et la pratique sont synergiques
- 6ème principe : l'aspect social est critique à la réussite de la restauration écologique

Suivre ces 6 principes devrait impliquer la réussite et la bonne conduite d'un programme de restauration adapté à une zone critique

Pour ce qui est du 1er principe, le principal écosystème intéressé est la forêt dense humide sempervirente (FDH). Les critères de restauration tels que le nombre de tiges à planter, la densité ou le nombre d'espèces à planter seront en fonction de cet écosystème. Ces critères sont déjà bien appréciés dans la doctrine locale de restauration (voir arrêtés dans l'annexe III) et ne nécessite pas de révision à l'heure actuelle.

Le 2nd principe s'intéresse aux notions de résilience et de dégradation. C'est-à-dire connaître la dynamique de l'espace à restaurer : est-ce une zone en pleine dégradation, en stagnation

ou en train d'évoluer vers un climax écologique ? Selon la réponses à cette question et selon la politique de gestion (priorité à la protection des zones en évolution vers un climax ou priorité à la sauvegarde des espaces en dégradation) trois approches sont possibles pour la restauration : (1) l'approche « **régénération naturelle** » où la seule action y est de stopper les actions de dégradation y existant, (2) l'approche « **régénération assistée** » où l'action principale effectuée est l'enrichissement de l'habitat concerné et (3) l'approche « **reconstruction** » qui consiste en la recréation complète de l'habitat concerné. Les résultats du 1er volet permettent de répondre partiellement à ce principe de par la différenciation entre les forêts en devenir et les formations se dégradant.

Le 3ème principe établit la nécessité de définir des objectifs quant à la restauration d'une zone. Plusieurs étapes sont nécessaires pour définir ces objectifs. Il convient, en premier lieu, de caractériser la zone critique selon des attributs qui lui sont propre. Ces attributs sont : l'absence de menaces, la condition physique, la composition spécifique, la structure des communautés, la fonction de l'écosystème et les échanges avec l'extérieur. En combinant ces attributs la création d'une notation de la restauration à cinq étoiles est faisable. La Figure 24 est un exemple de la notation des attributs d'un espace où les objectifs principaux de restauration concerneraient majoritairement l'amélioration de l'attribut « fonction des écosystèmes ». La notation permet de cibler des objectifs précis pour améliorer la note de certains attributs. Pour exemple si l'on cherche à améliorer l'attribut « structure des communautés » l'objectif principal de restauration peut être « surface de l'habitat suffisante pour supporter l'implantation de l'espèce x » (voir Annexe VI pour d'autres exemples). De tels objectifs demandent une connaissance parfaite des attributs des zones intéressantes mais aussi une parfaite connaissance de la faune, flore et des habitat locaux. Cela n'est pas le cas dans le Grand Sud calédonien. Pour pallier à ce manque et réussir à définir des objectifs de restauration par zone cette étude étudiera en particulier l'attribut « échanges avec l'extérieur ». Cet attribut sera en fonction des résultats du 1er volet concernant les délimitations des continuités écologiques. Les objectifs seront donc aussi en fonction des continuités écologiques du Grand Sud.

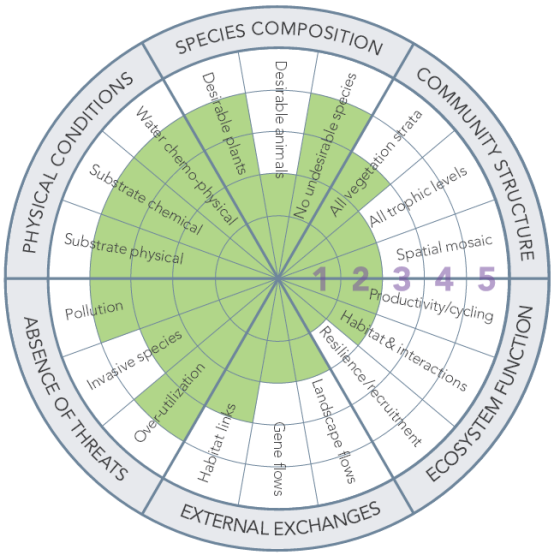


Figure 24: exemple de la "roue de restauration" attribuant un indice pour le choix d'objectif de restauration selon différents attributs (McDonald et al., 2016)

Le 4ème principe s'intéresse à la marge de temps d'un programme de restauration et de réussite des objectifs. La doctrine locale a déjà bien intégré cette notion en obligeant le maître d'œuvre de projet de restauration a un suivi sur 10ans (le plus souvent) minimum des mesures. Par ailleurs un programme de recherche nommé « Recosynth » du CNRT et codirigé par l'UNC et l'IAC s'attarde à ce jour à recenser toutes les actions de restauration écologique du territoire calédonien au cours du dernier siècle et de mettre en avant les résultats de ces actions de restauration (Amir et al., 2013). Les résultats de ce projet permettront d'avoir un recul

concernant les résultats de différentes mesures de restauration effectuées. Ces résultats sont attendus pour 2017.

Les 5 et 6èmes principes rappellent les aspects souvent oubliés dans la restauration que sont la synergie avec la science et les aspects sociaux. En ce qui concerne la synergie avec la science, la doctrine locale l'a bien intégré en essayant de combler les lacunes de connaissances sur la biodiversité en demandant aux maîtres d'ouvrages le financement de nombreuses études à titre de mesure d'accompagnement. L'aspect social est peu reconnu car les zones sont des concessions minières anciennes et historiques, il n'y a pas d'habitations très proches cependant il y a des tribus kanak (autochtones) sur les côtes à l'est et toute la zone est inscrit dans l'aire coutumière Drubea-Kapumë (subdivisions spéciales et parallèles aux subdivisions administratives), leur intégration dans les choix des processus de restauration écologique est un aspect politique non abordé dans cette étude.

Finalement, au vue des connaissances actuelles et de l'avancée de la doctrine locale en matière de restauration, l'étude se concentrera sur l'application des trois premiers principes de restauration de SERA. Cela permettra d'engager la logique de restauration écologique sur la zone du Grand Sud calédonien

3. Les zones tampons : mesures principales de conservation de la Ceinture Verte

Mis à part la restauration écologique stricte, représentée par les mesures de compensation des impacts, une logique de préservation (évitement et réduction) des milieux naturels impliqués dans les continuités écologiques face aux impacts potentiels de la zone est nécessaire. Comme évoqués dans le chapitre 1I de ce volet, les impacts potentiels sont nombreux autour des activités de VNC et des mesures d'évitement et de réduction sont préconisées. Dans la doctrine actuelle les mesures d'évitement et de réduction sont déjà plutôt bien définies et appliquées mais une des mesures d'évitement (la plus reconnue) est un sujet à controverse entre les différents acteurs du territoire. C'est la mise en place de zones tampons.

Les zones tampons à conserver dans le paysage ont vocation à préserver les processus écologiques, protéger la biodiversité et fournir divers biens et services écosystémiques (e.g : bien visuel, rapprochement de la nature, etc…). Plus particulièrement, ces bandes que sont les zones tampons, visent à protéger un écosystème vis-à-vis d'une émission d'impact et permettent l'expansion des écosystèmes à protéger. Elles sont caractérisées par leur largeur (dimensions) et par leur contenance (sol nu, maquis minier, etc…). Selon des enjeux et des objectifs de protection, les fonctions des zones tampons peuvent être différentes. Par exemple si le gestionnaire a pour objectif la bonne qualité visuelle et esthétique d'un espace, la zone tampon aura pour fonction d'améliorer l'intérêt visuel (en cachant par exemple une zone de pauvre qualité visuelle). Dans le cadre de cette étude l'enjeu de la mise en place d'une zone tampon est avant tout de protéger la biodiversité locale et les continuités écologiques.

En France métropolitaine, et notamment dans des projets de protection des continuités écologiques à l'échelle des communes (Plan local d'urbanisme PLU) les largeurs des zones tampons sont donnés arbitrairement à 200m autour des trames forestières (DREAL Midi-Pyrénées, 2012).

Dans des projets internationaux d'importance majeure tel que le projet minier Simandou (Rio Tinto, 2011), l'étude d'impact proclame que *« Pour évaluer l'occupation des terres et la disparition conséquente de l'habitat, on part du principe que la perturbation physique directe de l'habitat terrestre interviendra dans l'emprise de la mine et des infrastructures, plus une zone (ndlr : la zone tampon) aux environs allant jusqu'à 200 m »*.

Dans le Grand Sud à ce jour, différentes largeurs de zones tampons dont la fonction est de protéger la biodiversité et l'intégrité des FDH ont étés définies par les gestionnaires sur proposition des chercheurs de l'IAC et de l'IRD. La largeur recommandée pour la protection de l'avifaune est de 200m minimum autour des écosystèmes de FDH (Desmoulins & Barré, 2004). Ces largeurs permettaient, en effet, de protéger les lisières forestières. Cependant, ces distances n'étant pas toujours définies sur des arguments scientifiques solides, les maîtres d'œuvres les remettent généralement en question. Dans certains cas la mise en place de zones tampons est susceptible d'entraîner des pertes de surface à exploiter et donc des pertes économiques considérables.

Il paraît nécessaire d'entreprendre des projets de recherches pour appliquer une zone tampon optimale et argumentée dans la zone d'exploitation de VNC afin de protéger les continuités écologiques.

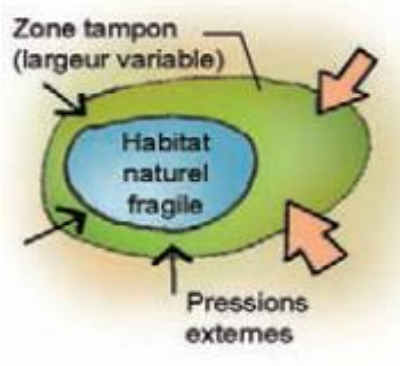


Figure 25 : modulation de la zone tampon

En premier lieu la distance d'une zone tampon ne doit pas être appliquée uniformément de la même façon. En effet selon le paysage alentours une distance de zone tampon doit être modulée. Par exemple, comme le montre la Figure 25, si un espace à protéger est sous l'influence d'un impact négatif d'un côté mais pas de l'autre, alors la distance de la zone tampon sera plus importante du côté de l'influence de l'impact que de l'autre côté.

Pour obtenir cette distance de zone tampon deux principaux facteurs interviennent : (1) la faune/flore à protéger et sa capacité à supporter un impact et (2) les caractéristiques de l'impact.

L'idéal serait de caractériser ces deux facteurs pour toutes les espèces de faune/flore impactées et pour tous les types d'impacts possibles (bruit, lumière, pollution, etc…). Or au vu des connaissances actuelles il n'est pas possible de réaliser cela. Les distances de zone tampon définies dans cette étude se baseront donc sur des facteurs limitant. Ces facteurs sont, d'une part, l'avifaune de par sa réactivité face aux impacts : *«(…) l'avifaune par sa réactivité est le plus souvent le premier indice de la dégradation d'un milieu »* (Desmoulins, 2014) ou *« l'avifaune est très réactive, positivement ou négativement, dès que son milieu est impacté par les activités humaines. » (*Wulff *et al., 2016).* Par ailleurs l'avifaune est l'agent de dispersion principale des semences forestières locales ; sa préservation est donc d'importance majeure pour assurer la connectivité écologique du Grand Sud. Face à l'avifaune ce sera l'impact du bruit qui sera étudié faute de données concernant la réaction de l'avifaune locale face à d'autres facteurs tel que la lumière ou la pollution. La mise en place de ces distances tampons implique le postulat que si l'avifaune n'est pas impactée (premier indice de dégradation d'un milieu) alors l'habitat associé est préservé et la biodiversité présente aussi. De plus l'avifaune est bien étudié dans la zone puisque des suivis sont mis en place depuis

quelques années dans les zones d'influence de VNC (Desmoulins, 2010 ; Desmoulins, 2011 ; Desmoulins, 2013 ; Desmoulins 2014). L'annexe VII liste les espèces présentes dans la région du Grand Sud.

Une première étude est analysée pour caractériser les réactions habituelles de l'avifaune face à un impact visuel quelconque. L'étude de l'australien Weston en 2012 sur les distances de fuite de l'avifaune australienne permet cela. La Figure 26 montre la relativité entre différentes distances à lesquelles un oiseau peut réagir. Ainsi on définit la distance de détection d'un impact (DD) ou la distance d'alarmement (AD). A partir de la DD il est commun de penser qu'un oiseau est déjà perturbé. Mais cette distance n'est pas simple à déterminer alors que la FID ou distance de fuite est facilement mesurable et aussi synonyme d'impact premier sur l'avifaune. Weston et son équipe de recherche ont déterminé le FID de plusieurs dizaines d'espèces australiennes (voir annexe VIII). Parmi celles-ci, il y a des espèces d'oiseaux se trouvant dans le Grand Sud calédonien. Ainsi en utilisant ces données il est déjà possible d'établir une distance minimum à respecter pour être sûr de ne pas impacter l'avifaune, quel que soit l'impact considéré.

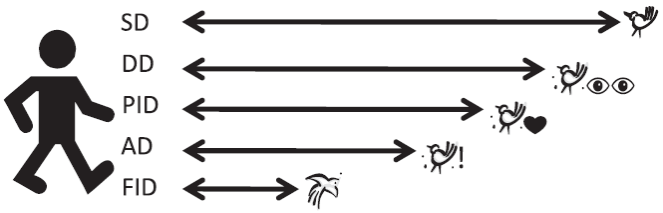


Figure 26 : représentation des différentes distances d'approches de l'avifaune (Weston et al.*, 2012)*

Pour une détermination plus détaillée de la largeur de la zone tampon à respecter pour ne pas impacter l'avifaune, une étude réalisée en 2010 et commanditée par le ministère de l'écologie allemande est étudiée (Tegethof *et al.*, 2010)). Cette étude s'intéresse à la résistance au bruit de l'avifaune.

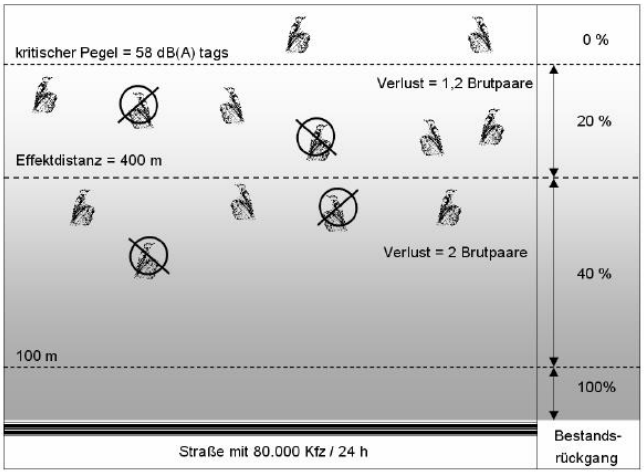


Figure 27 : résultat-exemple de l'étude arbeitshilfe vögel und straßenverkehr (Tegethof et al.*, 2010)*

Elle classe les espèces d'oiseaux en 6 groupes distincts selon leurs capacités d'adaptation au bruit. Pour chaque groupe, des données sont donc disponibles et permettent d'obtenir des distances caractéristiques de réaction des populations d'oiseaux face à l'impact bruit. Dans la figure 27 il est expliqué pour une espèce-exemple d'oiseau présente à moins de 100m d'une perturbation (correspondant ici à une route avec 80 000 véhicules passant sur une durée de 24h) il y a 100% de couple nicheurs qui sont impactés et qui disparaissent. Jusqu'à 400m il n'y a plus que 40% de couples nicheurs disparaissant. A une distance supérieure à 400m de la source de perturbation 20% des couples d'oiseaux nicheurs disparaissent si le niveau de bruit y est encore de 58dBA (dans cet exemple). Si le niveau de bruit est inférieur à 58dBA aucune disparition de l'avifaune n'est à déplorer.

L'auteur expérimente la résistance au bruit de 200 espèces européennes d'oiseaux. Certaines espèces étudiées appartiennent aux mêmes genres que les oiseaux du Grand Sud (voir annexe X). Ainsi, par transposition, les données de résistance au bruit sont applicables aux

oiseaux du Grand Sud calédonien. Le résultat de cette transposition est un tableau indiquant une perte potentielle de couples nicheurs d'oiseau selon un niveau de bruit (dB(A)). Pour estimer le niveau de bruit dans la zone autour des activités de VNC une carte des bruits provenant de l'étude d'impact de Savery & Associates en 2007 (annexe XI) est utilisée. Le résultat escompté est une carte des infrastructures émettant potentiellement du bruit et des distances de zones tampons signifiant les pertes probables de l'avifaune.

Une vérification sommaire des résultats est possible, notamment grâce aux suivis de l'avifaune dans des fragments de FDH (Desmoulins, 2015). En effet le suivi des oiseaux forestiers du plateau de Goro est réalisé sur 12 sites forestiers situés, pour certains, à proximité directe du site industriel et éloignés de plusieurs kilomètres pour les zones témoins « vierges » (voir Annexe IX). La fréquence de ce suivi est annuelle.

Résultats : Restauration et adaptabilité de management

1. Recommandations pour la restauration

La délimitation des zones critiques au sein des continuités écologiques du Grand Sud selon les corridors écologique, l'étude diachronique des forêts et la DAEM de VNC ont permis de révéler quatre grands espaces à enjeux (figure 28) :

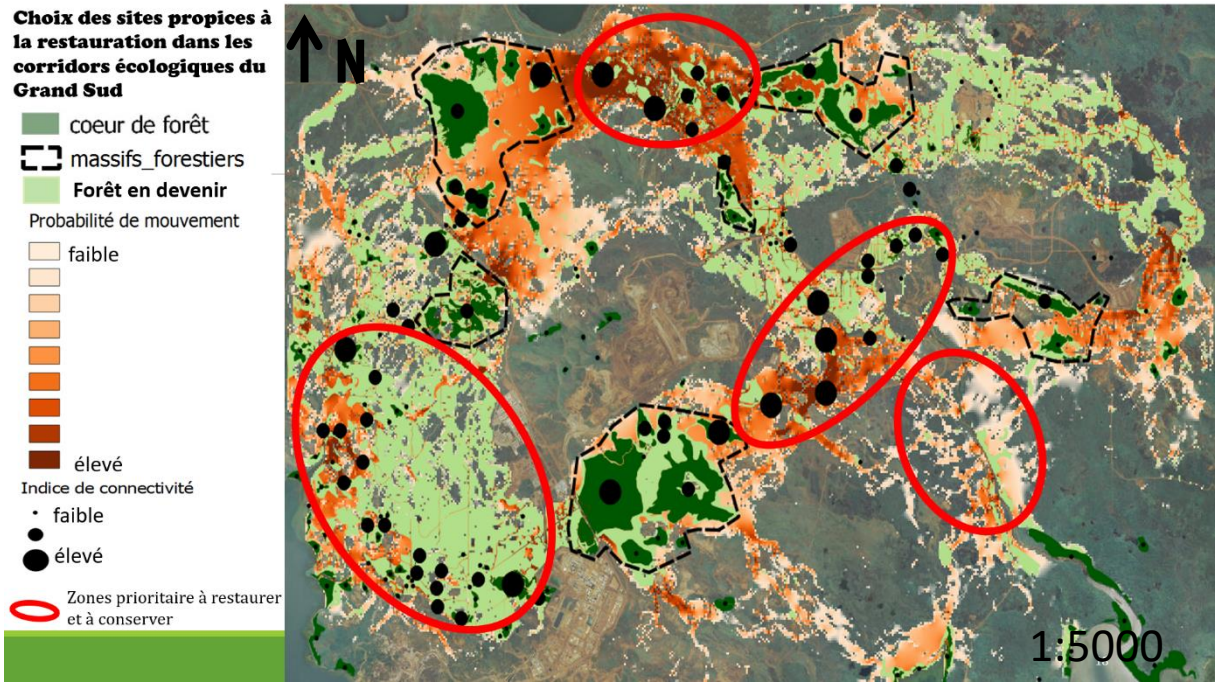


Figure 28 : Délimitation des zones critiques à s'intéresser dans une logique de conservation/restauration

- (1) Le couloir de déplacement nord-sud situé à l'ouest de la zone d'étude. Cette zone est importante de par sa superficie (plus de 1000ha), elle se situe dans la zone d'un grand massif forestier historique, n'est pas située dans la zone d'exploitation déclarée de VNC et permet la liaison entre le massif de la réserve biologique du Pic du Grand Kaori (au nord) et le massif de la réserve biologique de la Forêt Nord (Sud). Ce couloir n'est pourtant que peu inventorié et aucun suivi de la faune/flore n'y est encore réalisé. Les données y sont très pauvres pourtant c'est dans ces zones que disparurent toute une population de chênes gomme (*Arillastrum gummiferum*) en raison d'émissions accidentelles de SO2 provenant du site industriel (Wulff *et al.*, 2016) Par ailleurs cette zone comporte un espace de goulot

d'étranglement près de la réserve de la Forêt Nord. Ce goulot est une zone prioritaire à surveiller du fait de la présence de l'usine de VNC toute proche. La disparition de ce goulot signifierait la coupure du lien ouest entre la Forêt Nord et le Pic du Grand Kaori.

- (2) Le couloir de déplacement est-ouest situé au nord de la zone d'étude, en limite nord du bassin de la rivière Kwè. Cette zone importante n'est pas située dans un massif forestier historique. Cependant les échanges paraissent importants au vu des résultats donnés par le volet 1. Par ailleurs la partie extrême nord de ce couloir est dans une zone RAMSAR. Au dire de la DENV, gestionnaire de la zone, ce couloir est reconnu depuis quelques années déjà et son importance est reconnue au sein des acteurs du territoire.
- (3) Le couloir est-ouest situé au centre-est de la zone d'étude. Cette zone ne fait pas partie d'un ancien grand massif forestier cependant, au vue de la DAEM de VNC c'est le seul couloir censé subsister qui reliera le massif de la réserve de la Forêt Nord aux massifs de l'est de la zone. En effet le goulot d'étranglement du centre de la Ceinture Verte (comprenant la forêt réputée dite du « tuyau ») sera bientôt défriché pour les besoins de l'exploitation minière. Ce couloir semble fragile et est entouré des zones d'extractions minières et des carrières. De plus il contient un goulot d'étranglement du côté de la Forêt Nord. Ce goulot est encore moins large que celui de la zone une (1).
- (4) Le couloir sud-nord reliant les forêts côtières de l'exutoire de la rivière Kwè au massif de la Kwè Est. Cette zone fait partie d'un grand massif forestier historique et longe la rivière de la Kwè. La connectivité y parait faible mais cette zone particulière peut se révéler cruciale car elle permet l'échange entre des systèmes côtiers et des systèmes situés à l'intérieur des terres. Par ailleurs l'activité de VNC ne devrait pas se porter sur cette zone. Elle pourrait aussi abriter des habitats type ripisylve du fait de la présence de la rivière de la Kwè ce qui est souvent synonyme de grande biodiversité.

Parallèlement à ces zones, les massifs sont des espaces importants à considérer. Ce sont des réservoirs de biodiversité. Il est à noter tout de même que le massif de la forêt du « tuyau » risque d'être fortement impacté en raison du développement de la carrière CPA1.

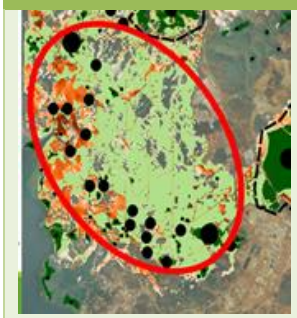
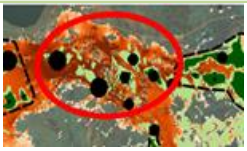
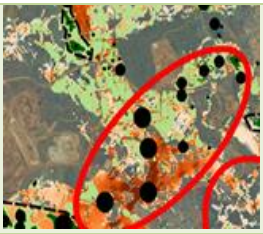
Chaque zone critique et chaque massif sont différents et nécessitent des stratégies de restauration adaptées. C'est en appliquant les principes développés par SERA que des objectifs de restauration par zones sont établis. Pour cela les 3 premiers principes ont étés établis :

- *1er principe :* l'écosystème référence à restaurer dans l'optique de restauration de toute ces zones est la forêt dense humide sempervirente. En effet l'idéal serait de retrouver la mise en place des anciens grands massifs forestiers. Cela passe par une première étape de réalisation de continuums écologiques continus entre les massifs forestiers actuels, soit la restauration des couloirs entre les massifs en tant que FDH à terme. Les critères d'une FDH du code de l'environnement actuel sont les critères de référence à obtenir dans l'idéal.
- *2nd principe :* Les mesures de restauration dépendront des objectifs recherchés mais dans l'ensemble suivront une logique qui dépend de la volonté du gestionnaire :
    - le renforcement dynamique. C'est-à-dire que les espaces contenus au sein des couloirs de déplacement sont des espaces à s'intéresser en priorité car ce sont des espaces avec une dynamique naturelle de régénération du faite de leur situation spatiale.
    - La volonté du gestionnaire peut, par contre, mettre la priorité sur la restauration entre les fragments isolés et les continuums écologique pour « briser » l'effet de la fragmentation et (re)créer de la continuité écologique. Dans les deux cas

la restauration dans ces espaces se fera en priorité dans les zones avec du matériel végétal déjà présent (plutôt que de restaurer du sol nu d'emblée) et les actions se feront en priorité sur les liaisons reliant les fragments de FDH avec un haut indice de connectivité (indispensable à la connectivité globale du site).

- *3ème principe :* Chaque zone se voit attribuer un objectif (Tableau 5). Des recommandations de mesures sont liées aux objectifs. L'attribut principal recherché étant l'échange avec l'extérieur

Tableau 5 : Objectifs et recommandations des zones critiques du Grand Sud Calédonien

Zone stratégique	Objectifs de management actuels prioritaires	Recommandations de mesures
	Connaître le couloir	- Améliorer les connaissances (études sur les petits fragments de FDH, mise en place de suivis faune/flore) avant de décider des mesures d'enrichissement ou de recréation - Protéger l'accès (liaison des deux périmètres de protections que sont les réserves) - Mettre l'accent sur le goulot d'étranglement (enrichissement et suivis importants)
	Protéger le couloir des activités minières futures (très proches)	- Anticiper l'arrivée des nouvelles infrastructures minières avec des mesures de protection des impacts liés - Enrichir les zones boisées
	Agrandir la surface du couloir	- Enrichir dès que possible - Augmenter la surface par de la recréation de maquis - Mettre l'action sur le goulot d'étranglement en priorité. C'est le seul lien entre l'est et l'ouest pour ces massifs
	Recréer, renforcer le couloir	- Enrichir dans un premier temps puis recréation de maquis - Suivi de la ripisylve autour de la Kwè

En ce qui concerne les massifs forestier la meilleure approche semble être la mise en réserve des massifs voir l'enrichissement maximum de ceux-ci pour réunir à terme les différents fragments entre eux.

2. Recommandations pour la conservation

L'intégration de zones tampons est essentielle à la préservation des espaces naturels sensibles (FDH et les corridors écologiques associés) en plus des autres mesures d'évitement et de réduction proposées aux maîtres d'ouvrages par la DENV.

a- Perturbations d'ordre visuel

L'analyse de l'étude de Weston permis de retrouver les distances de fuites des oiseaux du Grand Sud Calédonien (voir annexe X). Les distances de fuite sont réparties entre 2m pour le Myzomèle calédonien (*Myzomela caledonica*) et 40m pour l'Echenilleur pie de Nouvelle-Calédonie (*Lalage leucopyga*). Pour les oiseaux les plus reconnus et protégés tel que le Notou

calédonien (*Ducula goliath*), des distances de fuite de l'ordre d'une 20aine de mètre sont précisées. Les suivis de l'avifaune du plateau de Goro permettent de savoir quelles sont les espèces d'oiseaux présents dans chaque massif excepté le massif de la concession AS2 (zone sans suivi). Il serait avisé de ne pas approcher un espace forestier à moins de 40m (distance limite) pour être certain de ne pas y déranger l'avifaune.

b- *Perturbations d'ordre sonore*

L'analyse de l'étude sur la résistance au bruit de l'avifaune du ministère allemand de l'écologie permet de déterminer la perte théorique de l'avifaune en périphérie des activités de VNC selon les différents niveaux de bruits ambiants en dB(A). Le tableau 6 est le résultat obtenu.

Tableau 6 : Pourcentage de perte potentielle et estimée d'oiseaux nicheurs du Grand Sud calédonien selon un niveau de bruit (dB(A)) (Tegethof et al*., 2010)*

dB à la source	Pourcentage de perte d'oiseaux nicheurs à 100m de l'impact
58 dB	20%
70 dB	40%
73 dB	60%
80 dB	80%
>83 dB	100%

En associant ces données avec la carte du bruit associée aux activités de VNC on peut estimer l'évolution du bruit dans l'espace autour des activités de VNC. Le bruit se propageant à partir de différents types d'infrastructures est étudié sur le graphique 29. Une bande jaune y est dessinée et représente les pourcentages de pertes d'oiseaux théoriques à une distance selon les niveaux de bruits. Le gestionnaire peut utiliser ce graphique pour estimer une zone tampon de protection de l'avifaune selon un type d'infrastructure en assumant un taux de perte (par exemple si un projet de zone d'exploitation voit le jour, à 150m de la zone une perte de 50% de l'avifaune est probable tandis qu'à 200m c'est moins de 20% de l'avifaune qui disparaît).

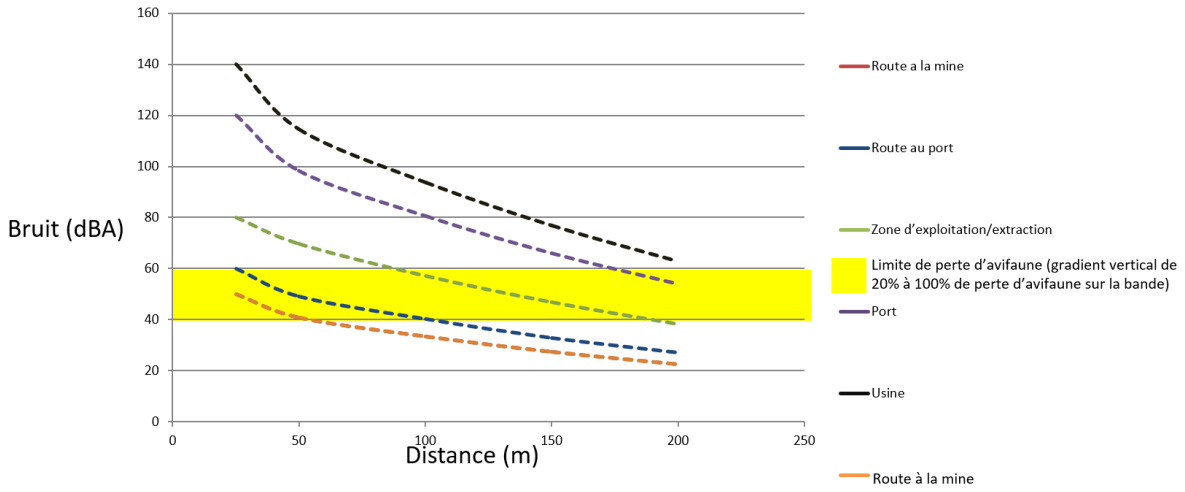


Figure 29 : Evolution du bruit (dBA) dans l'espace

Les suivis de l'avifaune du bureau ECCET (Desmoulins, 2014) permettent de vérifier quelques résultats sur certaines forêts. Le tableau 7 présente quelques concordances :

Tableau 7: vérification des impacts sur l'avifaune liés au bruit grâce aux suivis de l'avifaune (Desmoulins, 2014)

Forêt étudiée	Perte observée de l'avifaune l'année de l'arrivée de l'impact	Perte de l'avifaune théorique à l'emplacement du point de suivi
Forêt S2	~60%	40 - 60%
Forêt Carrière	~75%	60%
Forêt Nord	0%	40-60%
Forêt Pic du Grand Kaori	0%	0%
Forêt Kwè Nord	~30%	20%

Les données correspondent à quelques dizaines de pourcentages près. Seules les données de la forêt Nord ne semblent pas concorder. Cela s'explique par le bruit industriel fort près de la Forêt Nord. En effet il est très difficile de percevoir les chants de l'avifaune présents avec un paysage sonore industriel et les relevés de l'avifaune en sont perturbés. Il est acceptable d'estimer les données des zones tampons comme valides.

En associant les données sur le bruit et la carte du bruit associé aux activités de VNC la carte 30 est créée montrant les pourcentages de perte d'oiseaux nicheurs à différents endroits de la zone d'influence et cette carte associée à la carte des corridors écologiques du volet 1 permet de déterminer des zones où l'avifaune est actuellement et potentiellement impactée par l'activité minière. La carte 30 indique les zones les plus fragiles et pourtant soumis à l'impact du bruit :

- Une première zone (1) importante au nord-ouest et nord-est de l'usine de VNC. C'est une zone potentiellement impactée à ce jour et c'est aussi un goulot d'étranglement de la Ceinture Verte. Des mesures rapides devraient être mises en place.
- Une seconde zone (2) au niveau des bassins de VNC et de la partie nord de la réserve biologique de la Forêt Nord. Cette espace d'altercation n'est pas aussi prioritaire que la première zone mais elle mérite une attention. En effet l'espace naturel impacté fait partie d'une réserve biologique donc considérée comme d'importance première en termes de biodiversité.
- Une troisième zone (3) et une quatrième zone (4) au massif de la Kwè Est. La carrière à l'ouest du massif à un impact sur une FDH du massif et l'extraction à l'est du massif a aussi un impact sur une autre FDH du massif.

- Une dernière zone (5) est la forêt S2, impactée au nord des bassins de VNC. La forêt S2 n'est pas comprise dans la Ceinture Verte mais n'en reste pas moins un écosystème d'intérêt patrimonial donc à protéger.

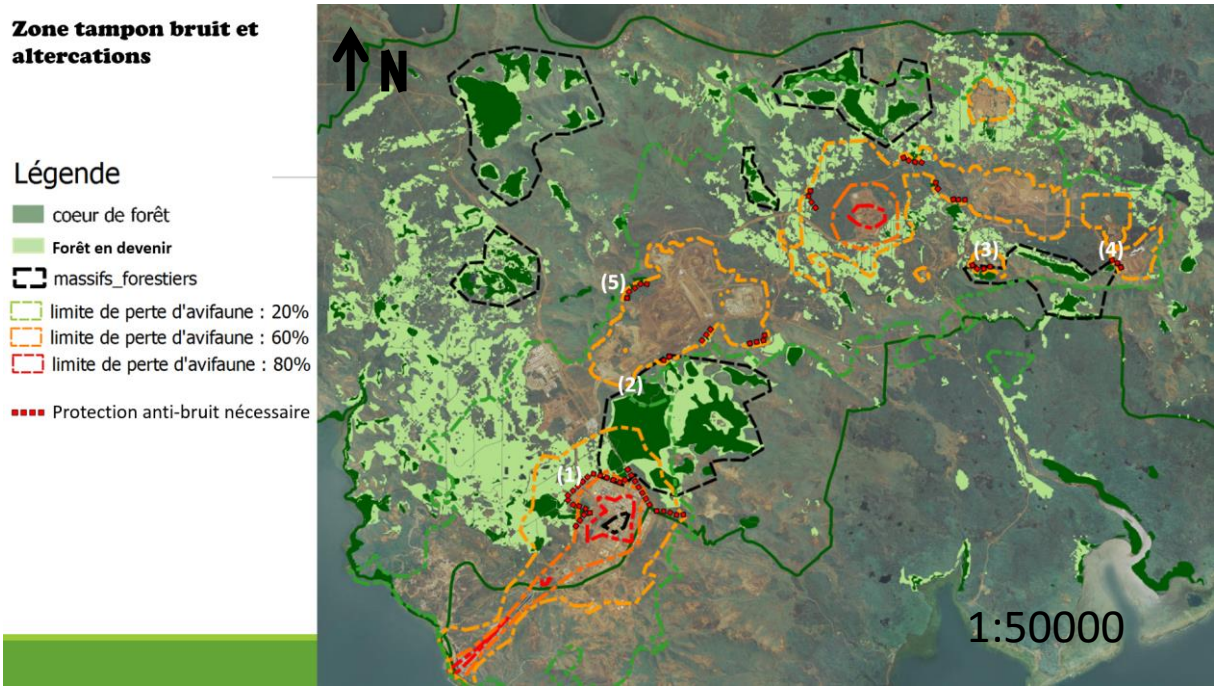


Figure 30 : Altercations entre les zones tampons et les milieux à protéger

Ce sont des espaces où l'avifaune est impactée par le bruit de l'activité industrielle et minière et donc où l'habitat est probablement également impacté lorsque les sources de bruit ne peuvent être éloignées. Il y est nécessaire de mettre en place des mesures de protection de l'avifaune contre les impacts du bruit. Des mesures de ce type commencent à être demandées par la DENV au travers des arrêtés d'autorisation de défrichement.

L'arrêté 987-2016/ARR/DENV du 3 mai 2016 demande la mise en place de merlons anti-bruit naturel ou artificiel de 5m de haut minimum là où les infrastructures sont à moins de 200m de la forêt. Cet arrêté concerne le nord du massif de la Kwè Est où se développent rapidement les infrastructures de VNC (voie de roulage).

Un merlon anti bruit est une mesure efficace contre le bruit. Celui-ci se caractérise par une hauteur, une longueur et un matériel de fabrication (Van Renterghem *et al.*, 2002). La hauteur préconisée en général est de 2m pour réduire le bruit de 6dB(A) en moyenne au niveau du merlon (le bruit parait 4 fois moins fort à l'oreille) et 6m pour réduire 12dB(A). La longueur reconnue est de prendre un minimum de 6 fois la distance entre le point à protéger et le lieu de l'émission de l'impact. En effet, l'onde sonore se déploie en grandissant, il faut donc un mur anti-bruit assez grand pour bloquer cette onde (Figure 31).

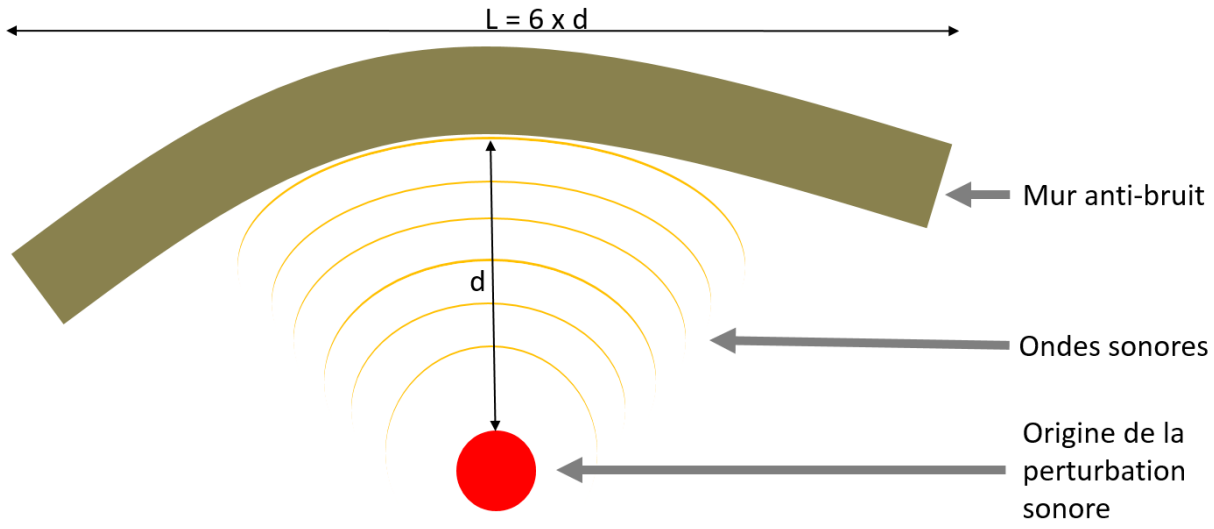


Figure 31: mur anti-bruit type.

Finalement le choix du matériel qui constitue le merlon s'effectue selon le coût de fabrication même si la différence de matériel utilisé peut changer les capacités du merlon. Le coût est le facteur décisif (voir annexe XII pour se rendre compte des caractéristiques de différents matériaux de fabrication).La mise en place de merlons antibruit permet de jouer sur le graphique 29 en réduisant le niveau de bruit ce qui permet la diminution de la zone tampon à respecter pour diminuer (ou supprimer) l'impact potentiel du bruit sur l'avifaune.

Pour les zones impactées les plus en danger actuellement les caractéristiques des merlons sont définies (figure 30) :

- Première zone (1) : la distance à l'impact est très faible (~20m) sur toute la zone donc la longueur du merlon devrait être 120m. Cependant il n'y a pas qu'un seul point à protéger ici mais toute une longueur. L'idéal serait donc de prolonger le merlon au minimum le long de tous les points à protéger (~2km). La hauteur sera de minimum 6m au vue de la proximité des milieux à protéger aux infrastructures
- Seconde zone (2) : Les infrastructures potentiellement impactantes sont à 15m des points à protéger. La longueur recommandée du merlon est de 90m. Une hauteur de 6m semble nécessaire pour supprimer l'impact du bruit sur l'avifaune.
- Troisième zone (3) : Comme pour la première zone la distance à l'impact est très faible (moins de 10m). Cependant il n'y a pas qu'un seul point à protéger ici mais toute une longueur. L'idéal serait donc de prolonger le merlon au minimum le long de tous les points à protéger (~400m). La hauteur sera de minimum 6m au vue de la proximité des milieux à protéger aux infrastructures
- Quatrième zone (4) : Les infrastructures potentiellement impactantes sont à 50m des points à protéger. La longueur recommandée du merlon est de 300m. Une hauteur comprise entre 2 et 6m semble nécessaire pour supprimer l'impact du bruit sur l'avifaune.
- Cinquième zone (5) : La forêt S2 est bordée de toute sa longueur par des infrastructures. La mesure anti-bruit nécessaire est donc d'entourer la partie sud de la forêt S2 avec un merlon anti-bruit (~450m) la plus haute possible.

DISCUSSION

I. Limites de l'étude et amélioration des méthodologies

1. Limites et améliorations du 1er volet

La réalisation de cette étude et les méthodologies utilisées comporte des limites qu'il est nécessaire d'aborder pour une meilleure utilisation des résultats par les gestionnaires.

En ce qui concerne la délimitation des fragments forestiers il est à noter que des **zones manquent d'inventaires** comme le note l'observatoire de l'environnement du Grand Sud : « (…) *On peut toutefois noter que les zones qui ont été impactées par la construction des installations industrielles (usine de traitement, convoyeur, base vie) n'ont pas été inventoriées avec précision.* » (Wulff *et al.*,2016). Les fragments délimités dans ces zones ne sont donc pas certains et méritent des inventaires et vérifications terrain (notamment tout le couloir de l'ouest de la Ceinture Verte). Par ailleurs **les fonds cartographiques et l'emprise des infrastructures de VNC datent de 2013**. Depuis, des nouvelles infrastructures se sont mis en place et il n'était pas possible, durant cette étude, de récupérer des données plus récentes. Certaines études récentes sur la délimitation des forêts et des corridors demandées par la DENV à VNC ne sont pas non plus accessibles.

Les corridors délimités par la méthode de la théorie des circuits est une représentation probable des mouvements de la faune entre les FDH. Cependant cette représentation dépend entièrement de plusieurs facteurs. Le **facteur de la résolution** choisie qui peut biaiser les résultats sur quelques 10aines de mètres (la résolution ne pouvait être améliorée du fait des faibles capacités logistiques). **Les faibles capacités des ordinateurs** pour les calculs du logiciel ont limité le nombre de tests faits (variation des valeurs des coûts) 1 mois étant nécessaire au logiciel pour ses calculs et représenter la Ceinture Verte (~10 000ha). **Le facteur du choix du critère de définition des coûts**. En effet les coûts ont étés définis selon le taux de boisement mais la réalité est plus complexe et les déplacements de la faune/flore dépendent aussi de bien d'autres facteurs (topographie, vent, impacts alentours, etc..). Il est envisageable de créer des coûts prenant en compte tous les facteurs imaginables.

En ce qui concerne les résultats de Circuitscape il est important de rappeler que **l'échelle de couleur de représentation des résultats est choisie** (par les ruptures naturelles de Jenks) et que le choix est au gestionnaire quant à la décision d'une meilleure représentation. Par ailleurs, lors de l'utilisation de la seconde méthode de délimitation de la Ceinture Verte (approche structurelle) **la distance seuil est choisie selon une méthode statistique**. Hors cette méthode n'est en rien liée à une réalité écologique. Des études supplémentaires sont nécessaires afin de connaître cette distance seuil des espèces du Grand Sud calédonien. La méthode statistique permet de se donner une idée globale de la dispersion de toutes espèces confondues. Le gestionnaire peut créer une carte des corridors (avec l'approche structurelle) pour chaque espèce et les confondre ensuite. Par ailleurs la distance seuil choisie, de par sa définition statistique, n'est **applicable que sur les fragments de forêts délimités dans cette étude**. En effet elle ne dépend que de la structure actuelle des fragments.

L'analyse des résultats du 1er volet, et notamment des continuités écologiques, ne s'est faite que sur la zone étudiée. Cependant il faut se rappeler que les logiciels ont étés utilisées que sur le Grand Sud calédonien et qu'il existe sûrement des **liens entre la zone d'étude et l'extérieur**. Une modélisation des continuités écologiques à plus grande échelle est faisable avec les mêmes méthodes pour prendre en compte cet aspect.

2. Limites et améliorations du 2nd volet

Les stratégies de restauration et de conservation ne suivent pas des méthodologies aussi strictes que celles utilisées dans le volet 1. Cependant des améliorations peuvent être proposées

En ce qui concerne les stratégies de restauration il est important de rappeler que toute priorité à la restauration ne dépend que de **choix politiques** : renforcer une Ceinture Verte existante ou se concentrer sur l'ouverture de la Ceinture Verte et la création de nouveaux liens.

Un aspect important n'a pas été pris en compte : **le problème du foncier**. La question du foncier est compliquée en Nouvelle-Calédonie car il existe du foncier privé, du foncier public mais aussi du foncier coutumier qui est une terre qui ne peut être vendue et garantie pour la société Kanak. Les mesures de restauration ne peuvent être appliquées de manière légale que dans des zones où le maître d'œuvre possède une autorisation et cela est très compliqué à l'heure actuelle.

L'analyse et l'amélioration des stratégies est possible grâce aux futures données du **projet Recosynth**. En effet ce projet permettra de déterminer quelles seront les meilleures techniques de restauration à utiliser. Le projet devrait arriver à terme courant 2017.

Pour ce qui concerne les stratégies de conservation et notamment la mise en place de zone tampon il est primordial, en premier lieu, de rappeler **que les zones tampons données de cette étude ne dépendent que du bruit et de la réponse de l'avifaune au bruit** (en tant que facteur limitant pour l'évaluation du reste des biotopes). Par ailleurs la **carte du bruit utilisé est assez ancienne (2013)** et ne prend pas en compte les nouvelles infrastructures de VNC. De plus il est nécessaire de rappeler que les données de résistances au bruit de l'avifaune ne se basent pas sur des études locales mais sur des **données européennes demandant une vérification terrain plus poussée**. Un suivi de la réaction de l'avifaune selon le niveau de bruit est indispensable pour vérifier les données utilisées dans cette étude. Une vérification a été effectuée grâces aux données de suivi de l'avifaune en comparant les pertes d'avifaune d'une zone au suivi sur la même zone.

II. Perspectives après-stage

Suite à cette étude des possibilités s'offrent au commanditaire.

En premier lieu une intégration de la notion de forêt dynamique au code de l'environnement local semble essentielle dans une optique de protection des écosystèmes d'intérêt patrimonial que sont les forêts denses humides sempervirentes. Intégrer la notion de dynamisme au code implique l'intégration au code des notions de connectivités écologiques (corridors écologiques) ou plus globalement des 3 aspects du paysage (taches, matrices et corridors écologiques).

A un autre niveau il serait pertinent d'impliquer d'avantages les communes concernées par le projet VNC (Mont-Dore et Yaté) dans les questions environnementales, et particulièrement dans les notions de connectivités et de fragmentation, en intégrant la Ceinture Verte et ses aspects dans les plans d'urbanismes directeurs (PUD, équivalent du PLU métropolitain). En effet il est reconnu qu'intégrer la gestion du territoire à petite échelle est plus efficace qu'une gestion à large échelle. Cependant, avant même de se poser ces questions de gestion à petites échelle, il faut avoir une vision de la connectivité à large échelle. C'est pour cela qu'il est primordial d'appliquer les méthodologies utilisées au volet de cette étude à l'échelle de toute la Province Sud, voire de la Grande Terre, afin d'avoir la vision des connectivités sur tout le territoire et pouvoir s'avancer sur les grandes zones critiques du territoire.

Pour finir, intégrer les stratégies de conservations (Eviter, Réduire) et de restauration (Compenser) développés dans cette étude dans la doctrine locale de la politique ERC permettrait de prendre en compte le paysage en globalité en ne plus agir sans connaissances des impacts potentiellement induits sur le reste du paysage lors d'un défrichement autorisé.

CONCLUSION

Au cours de ces dernières années l'activité de VNC dans le Grand Sud calédonien a augmenté considérablement et, pour pallier ses impacts potentiels sur les écosystèmes d'intérêt patrimonial que sont les forêts dense humides sempervirents, la direction de l'environnement de la Province Sud de la Nouvelle-Calédonie propose régulièrement des actions d'évitement, de réduction et compensation des pertes écologiques induites. Cependant ces **actions sont ciblées sur les zones concernées par les impacts** et il n'y a **pas de vision sur les conséquences des impacts sur le paysage** entier du Grand Sud. L'objectif de cette étude était de **proposer une vision de l'agencement du paysage** afin de faire évoluer les stratégies de gestion des impacts pour une meilleure préservation des écosystèmes d'intérêt patrimonial et de leurs biodiversités au sein du paysage où ils évoluent. L'approche à l'échelle du paysage permet de considérer les écosystèmes avec une vision spatio-temporelle et dynamique dépendant de ses trois entités : les réservoirs de biodiversité (FDH), la matrice paysagère et les corridors écologiques. Ces entités étant liées, en impacter une aura effet sur les autres. Cette étude a permis de caractériser le paysage sous la forme de cartes des continuités écologiques du Grand Sud regroupées sous le nom de **Ceinture Verte**.

Un premier volet consistait à **délimiter les réservoirs de biodiversité** que sont les FDH en tant qu'**espaces dynamiques** (forêt actuelle, formation arborée devenant de la forêt ou se dégradant) ce qui a permis d'appliquer deux méthodologies de cartographie complémentaires de définition des corridors écologiques reliant ces FDH. Une première méthodologie utilise une **approche fonctionnelle** probable tandis que l'autre méthodologie utilise une **approche plutôt structurelle**. Les cartes induites ont permis de mettre en évidence la **structuration spatiale de la Ceinture Verte**. Les acteurs de gestion du territoire du Grand Sud peuvent utiliser ces cartes pour appuyer l'instruction de dossier d'étude d'impact en ayant connaissance des potentiels effets sur le paysage entier de la région.

Pour aiguiller l'instruction des dossiers d'étude d'impacts le volet 2 de cette étude utilise les résultats du volet 1 pour **proposer des stratégies de conservation et de restauration**. **4 grandes zones critiques sont identifiées** et des **objectifs de restauration y sont proposés** afin de renforcer le dynamisme des composantes de la Ceinture Verte. Par ailleurs des **zones tampons** sont proposées autour des infrastructures actuelles de VNC. Le gestionnaire a possibilité d'utiliser les données de mises en place de ces zones tampons pour **les appliquer lors de nouveaux projets d'infrastructures** dans la zone. Ainsi il saura quels sont les parties de la Ceinture Verte potentiellement touchées par les nouveaux projets et pourra agir en mettant en place des **mesures de protection** comme les **merlons anti-bruit** que cette étude a cherché à dimensionner.

Le paysage du Grand sud est en constante mutation de par l'activité de VNC et les cartes de la Ceinture Verte devront être réitérées car des corridors écologiques vont être rompus. Par ailleurs, il y a de plus en plus d'études et **l'avancée des connaissances de l'écologie** dans le Grand Sud permettra d'obtenir des **résultats plus précis** que ceux développés dans cette étude. Le sujet ne doit pas se clore. A ce stade, le premier besoin est d**'appliquer les méthodologies de cartographie à l'échelle de toute la Grande Terre** pour avoir une vraie vision de la connectivité du territoire pour ensuite appliquer la restauration de manière plus harmonique et écologiquement logique mais cela nécessite de régler le problème du foncier et de lever les **freins juridiques et politiques.**

BIBLIOGRAPHIE

AMIR H., FOGLIANI B., L'HUILLIER L ., ZONGO C., LEVEAU A., BORDEZ L. (2013). Restauration écologique après exploitation minière en Nouvelle-Calédonie. Où en est-on et quelles persepectives ? IAC, UNC, KONIAMBO NICKEL SAS, 20p

AUBERT M. (2012). Restauration écologique des forêts humides fragmentées sur substrat ultramafique en Nouvelle-Calédonie : Etude préliminaire pour la réhabilitation de corridors écologiques dans la forêt de Kwe Nord. *Master of Science in Environmental Science, The University of Auckland, 178p*

AVON C., BERGES L. (2014). Diacofor, Outils pour l'analyse de la connectivité des habitats : Test d'outils de diagnostic de la connectivité fonctionnelle potentielle de la trame forestière. IRSTEA, 33p

BIRNBAUM P., L'HUILIER L. (2015). Avis d'expertise : Délimitation des fragments forestiers. Institut Agronomique Calédonien, 10p

BIRNBAUM P., MANGEAS M., MAGGIA L., MARMEY P., DESPINOY M., GOMEZ C., HEQUET V., CHAMBREY C., IBANEZ T., VANDROT H., BLANCHARD E., BIDEAU G. (2016). « Corridors entre îlots forestiers », Projet CoRiFor Caractérisation des connectivités structurelle et fonctionnelle des paysages fragmentés sur sols ultramafiques. IRD IAC CIRAD 90p

CLAVAL P. (2000). Les géographes, le paysage et la modernisation, Colloque de l'UGI, Séoul, Bulletin 50

CLUZEL D., AITCHISON J., BLACK P.M., PICARD C. (1999). Origin and fate of Southwest Pacific marginal basins; an appraisal from New Caledonia. *Geological Society of America*, pp. 77-79.

CHOUQUER G. (2001). Nature, environnement et paysage au carrefour des théories, *Études rurales*, 157-158, pp. 235-252.

DESMOULINS F. (2015). Suivi de l'avifaune forestière du plateau de Goro et lacustre de la Plaine des Lacs. . Rapport n°03/2015.ECCET. 41 p et annexes.

DESMOULINS F. (2014). Suivi de l'avifaune forestière et lacrustre du plateau de Goro. Rapport n°07/2014.ECCET. 41 p et annexes.

DESMOULINS F. (2013). Suivi de l'avifaune forestière et lacrustre du plateau de Goro. Rapport n°08/2013.ECCET. 38 p et annexes.

DESMOULINS F. 2(011). Inventaire avien des concessions AS1, AS3, AS4, AS5 et NICO B EST. Rapport n°05/2011.ECCET. 24 p et annexes.

DESMOULINS F. 2010, Inventaire avien des concessions AS2, AS3, AS4, AS5 et AS7. Rapport n°05/2010.ECCET. 22 p et annexes.

DESMOULINS F., BARRE N. (2004) Inventaire et écologie de l'avifaune du plateau de Goro, Rapport d'étude. Institut Agronomique Calédonien, 47p.

DEAL GUYANE (2012). Guide sur la prise en compte des milieux naturels dans les études d'impact en Guyane. Biotope. 176p

DREAL REGION MIDI PYRENEES. (2003). Guide sur la prise en compte des milieux naturels dans les études d'impacts. Biotope. 73p

DREAL NORD-PAS-DE-CALAIS (2011). Le filtre de l'écologie du paysage. 3 p.

DREAL REGION PACA. (2009). Les mesures compensatoires pour la biodiversité – Principes et projets de mise en œuvre en Région PACA. DIREN PACA, 55p

FORMANT R.T.T (1995). Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions Cambridge University Press, 656 p.

GRANGE B. (2012). L'approche paysagère pour des stratégies d'actions en vue d'optimiser la conservation et la restauration d'un écosystème menacé : Exemple de la forêt sèche de Nouvelle-Calédonie. Diplôme d'ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage, 98p.

HARRISON S., BRUNA E. (1999). Habitat fragmentation and large-scale conservation: what do we know for sure? Ecography, 22, pp. 225-232.

HANSKI I., GILPIN M.E. (1997). Metapopulation biology: ecology, genetics, and evolution. Academic Press Inc, San Diego (EU), 512 p.

JAFFRE T., BOUCHET P., VEILLON J.M. (1998). Threatened plants of New Caledonia: Is the system of protected areas adequate? Biodiversity and Conservation, 7, pp. 109-135.

JAFFRE, T., L'HUILLIER, L., (2010). La végétation des roches ultramafiques ou terrains miniers. In: *Mines et Environnement en Nouvelle-Calédonie : les milieux sur substrats ultramafiques et leur restauration,* Editions IAC, Noumea, Nouvelle-Caledonie, pp. 33-103

JAFFRE, T., MCCOY S., RIGAULT F., DAGOSTINI G., (1997). Quelle méthode de végétalisation pour la réhabilitation des anciens sites miniers de Nouvelle-Calédonie. *The ecology of ultramafic and metalliferous areas, Documents scientifiques et techniques O.R.S.T.O.M.* **III**(2) pp. 285-288

JAFFRE T., MORAT P., VEILLON J., RIGAULT F., DAGOSTINI G., (2004). Composition et caractérisation de la flore indigène de Nouvelle-Calédonie. Nouméa (NC) : IRD, II4, 132 p.

KOTZEN B., ENGLISH C., "*Environmental Noise Barriers – A guide to their acoustic and visual design*", E & FN SPON, Londres & New York (1999)

LOWRY P.P., MUNZINGER J., BOUCHET P., GERAUX H., BAUER A., LANGRAND O., MITTERMEIER R.A. (2004). New Caledonia. Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Threatened Terrestrial Ecoregions,
CEMEX, Mexico. pp. 193-197.

MAILLARD H ., DARUD B. (2012) cartographie des milieux naturels en province Sud 2011. DENV province Sud. 86p

MCRAE B H., (2006). *Isolation by resistance*. Evolution 60: pp. 1551-1561.

MCRAE B H., DICKSON B G., KEITT T H., SHAH V B.,(2008). *Using Circuit Theory to Model Connectivity in Ecology, Evolution, and Conservation*. Ecology 89: pp. 2712-2724.

MORAT P., 1993. Our knowledge of the Flora of New Caledonia: Endemism and Diversity in Relation to Vegetation Types and Substrates. *Biodiversity Letters* **1**(3/4), pp. 72-81

MORAT P., JAFFRE T., VEILLON J.-M. (1999). Menaces sur les taxons rares et endémiques de la Nouvelle-Calédonie. *Bulletin de la société botanique du Centre-Ouest, Nouvelle Série, Numéro spécial* **19**, pp. 129-144

MUNZINGER J., BOUCHET P., GERAUX H., BAUER A., LANGRAND O., MITTERMEIER R.A. (2004). New Caledonia. Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Threatened Terrestrial Ecoregions, CEMEX, Mexico. pp. 193-197.

MUZINGER J., KURPISZ D., RIGAULT F., DAGOSTINI G., (208). Caractérisation taxonomique et patrimoniale des lambeaux forestiers dans le grand sud calédonien, implications pour la gestion et la préservation de ces formations. *Rapport de Convention IRD / DRN Province Sud, Rapport final,* Convention N° 6024-60/2005/DRN-ENV, 74p.

NEURAY J. (1982). Des paysages pour qui? Pourquoi ? Comment ? Gembloux (BE), 589 p.

WULFF A., ASTRONGATT S., BARRIERE R., DESMOULINS F., RAVARY F (2016) Synthèse des connaissances sur les milieux terrestres dans la zone d'influence du complexe industriel et minier de Vale Nouvelle-Calédonie. Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie, SORECO-NC,ECCET, BOTANIC. 131p

PELLETIER B. (2007). Geology of the New Caledonia region and its implications for the study of the New Caledonian biodiversity. 2ème éd, IRD, Nouméa (NC), II7, pp. 19-32.

PRIEUR M. (2001). La convention européenne du paysage ; Environmental policy and law, vol 31, n° 3/2001, p. 168-170

PROVINCE SUD (2016). Code de L'environnement de la Province Sud. Nouméa (NC), 459 p.

RIOS J., LEFEUVRE J C (2011) Continuités écologiques dans le Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie. Application méthodologique et cartographie préparatoire. Conservation Internationale / DENV. Convention cadre pluriannuelle d'études n°C.347-10. 96p

RIO TINTO (2011) Projet Simandou. Etude d'impact social et environnemental de classe. Programme d'aménagement.Simfer SA. 279 p

SPAGGIARI J., ICHTER J., LEFEUVRE J C (2010) Mise au point d'une méthode d'identification des continuités écologiques dans le Grand Sud de la

Nouvelle-Calédonie. Synthèse bibliographique et proposition d'une démarche. Conservation Internationale / DENV. Convention cadre pluriannuelle d'études n°C.347-10. 99p

SAURA S., PASCAL-HORTAL L (2007) *A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study*. Landscape and Urban Planning 83:91-103.

SAURA, S., RUBIO L. (2010). *A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape*. Ecography 33:523-537.
SAURA S., J. TORNE J., (2009). *Conefor Sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity*. Environmental Modelling & Software 24:135-139.

SAURA S., VOGT P., VELASQUEZ J., HERNANDO A., TEJERA R (2011). *Key structural forest connectors can be identified by combining landscape spatial pattern and network analyses*. Forest Ecology and Management 262:150-160.

SAVERY & ASSOCIATES, PTY LTD (2007) Impact sonore de Goro Nickel, Nouvelle-Calédonie – Annexe III-C-3-4. GORO NICKEL. 1p

MCDONALD T., JONSON J., DIXON K. W. (2016). National standards for the practice of ecological restoration in Australia. *Restoration Ecology*, *24*(S1), S4-S32.

TEGETHOF U., GARNIEL A., MIERWALD U., OJOWSKI U., DAUNICHT W (2010). Arbeitshilfe Vögel und Straßenverkehr. Bericht zum Forschungsprojekt FE 02.286/2007/LRB "Entwicklung eines Handlungsleitfadens für Vermeidung und Kompensation verkehrsbedingter Wirkungen auf die Avifauna. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach: 95 p

UTARD S (2015) Etude diachronique des forêts du Grand Sud Calédonien, Master 1 Agrocampus ouest Angers. 20p

VAN DE BEUQUE S. (1999). Évolution géologique du domaine péricalédonien (sud-ouest Pacifique). Doctorat Géosciences Marines, Université de Bretagne occidentale, Brest, 270 p.

VAN RENTERGHEM T., BOTTELDOORN D., CORNELIS W M., GABRIELS D (2002). Reducing Screen-Induced Refraction of Noise Barriers in Wind by Vegetative Screens, Acta Acustica united with Acustica, Vol. 88, pp. 231-238

VALE NOUVELLE CALEDONIE (2015) Demande d'autorisation d'exploitation minière (DAEM). Livret B – Document d'orientation général. E.M.R. 80p

WESTON M A., MCLEAD E M., BLUMSTEIN D T., GUAY P J (2012) A review of flight-initiation distances and their application to managing disturbance to Australian birds.EMU 112, pp. 269-286.

SITOGRAPHIE :

FAO (2010) fao.org http://www.fao.org/docrep/003/x4130f/X4130f03.htm (consulté le 20/04/16)

GOUVERNEMENT NC (2016) Georep, explorateur cartographique. http://explorateur-carto.georep.nc/explorateur-carto/ (consulté le 10/03/2016)

IGN (2016).Définitions IGN. http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/spip.php?article596 (consulté le 10/03/2016)

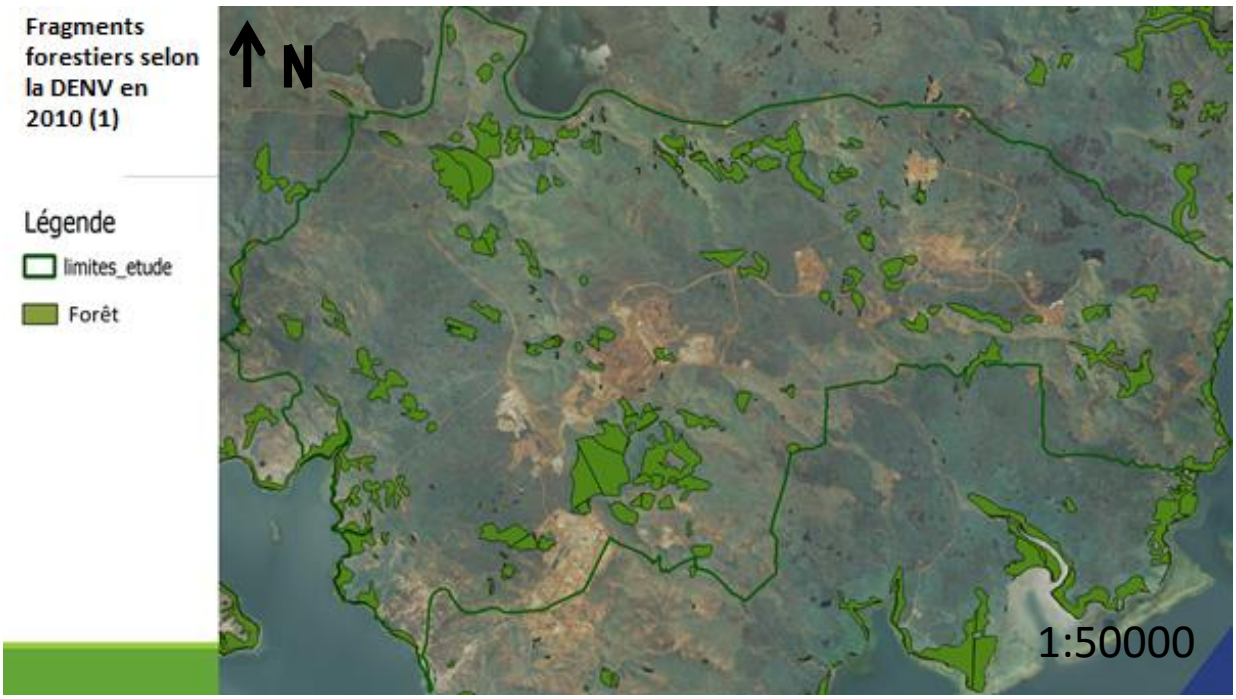
MCRAE B H. (2008) Circuitscape. http://www.circuitscape.org/ (consulté le 08/06/2016)

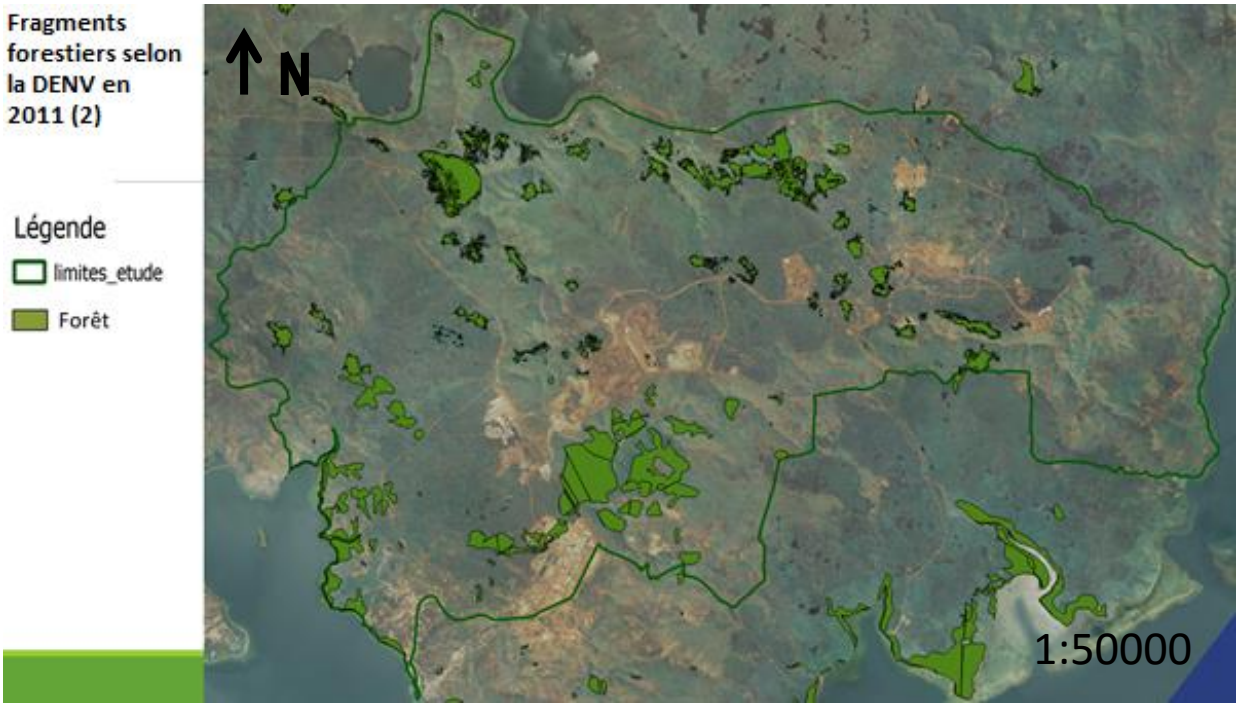
QUETIER F (2012). L'équivalence écologique : un concept clé. https://www.sfecologie.org/regard/r34-f-quetier/ (consulté le 13/06/2016)

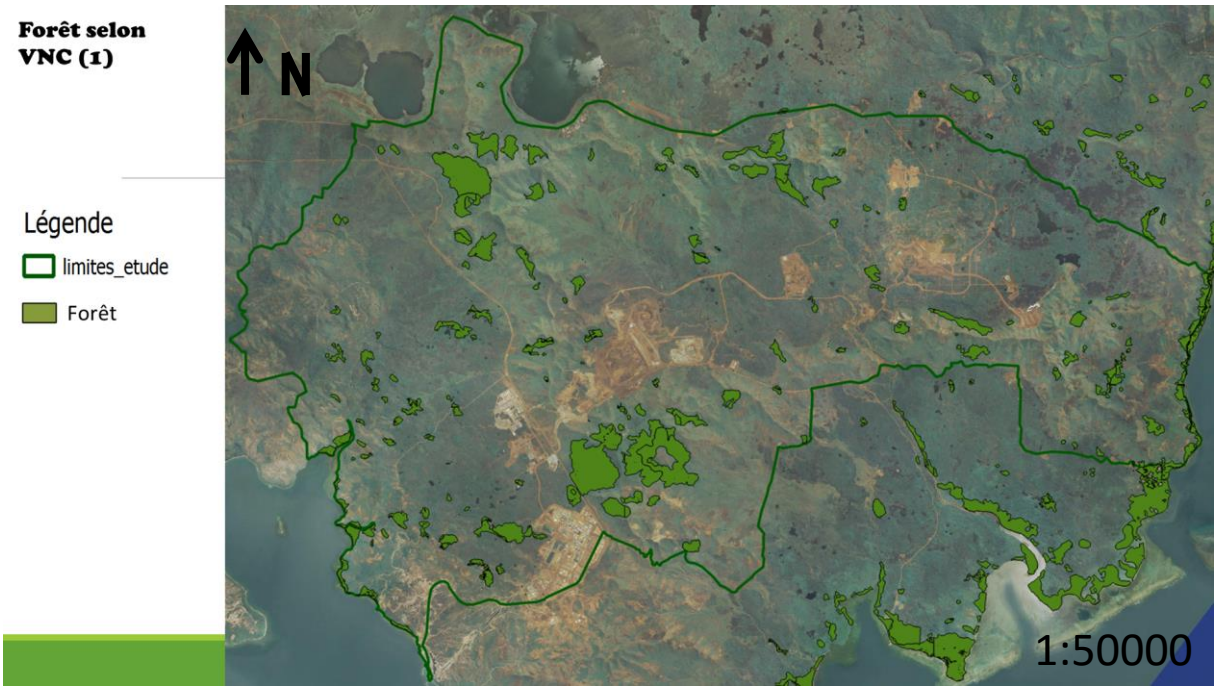
SAURA S., RUBIO L. (2010) conefor. http://www.conefor.org/ (consulté le 13/05/2016)

ANNEXES

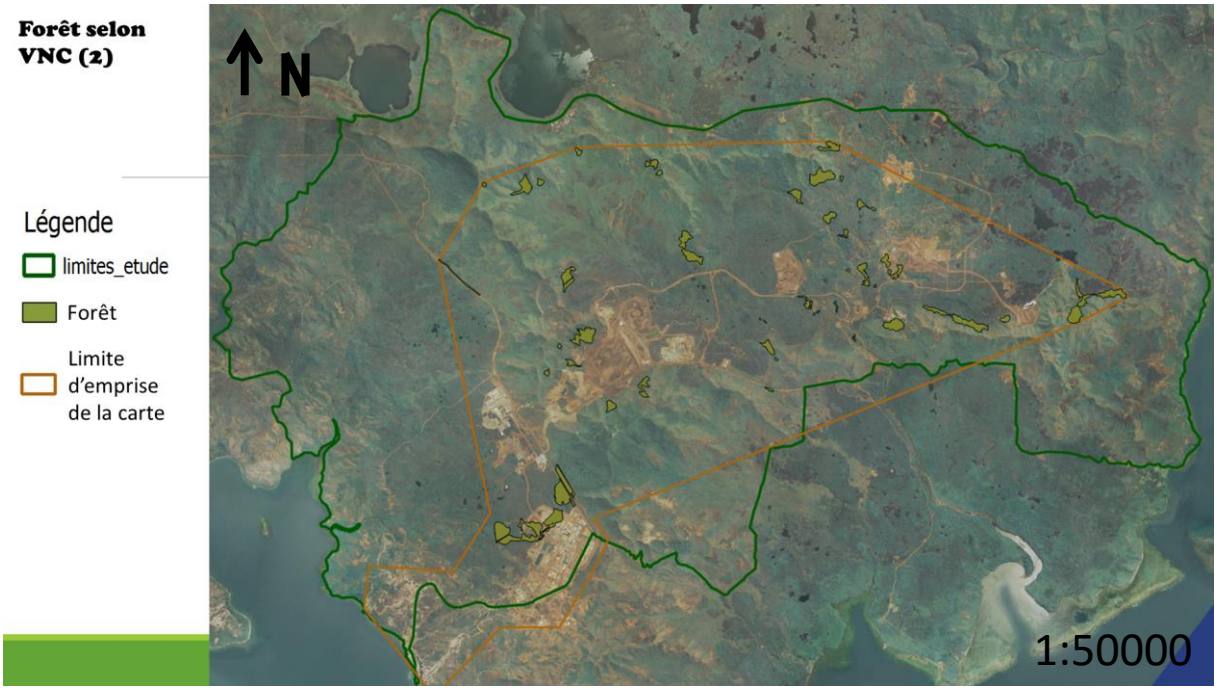
Annexe I : 7 cartes des forêts du Grand Sud, leurs emprises et les inventaires y existant



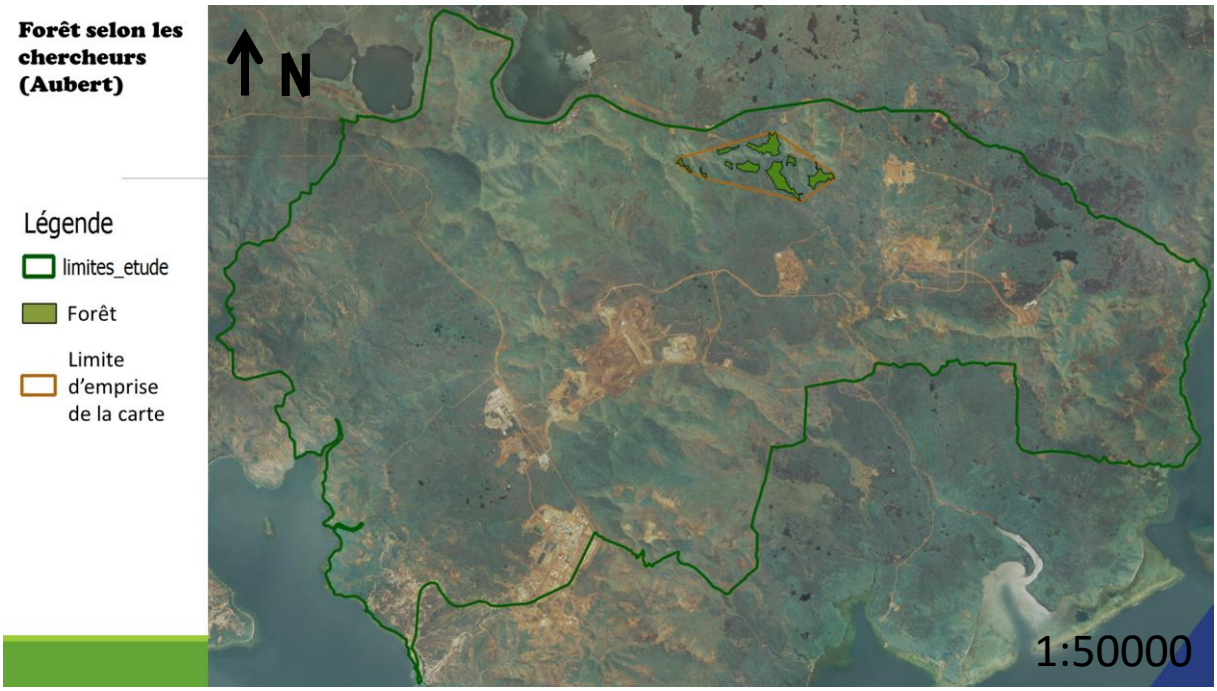

Fragments forestiers selon la DENV en 2011 (2)
Légende
limites_etude
Forêt
N
1:50000

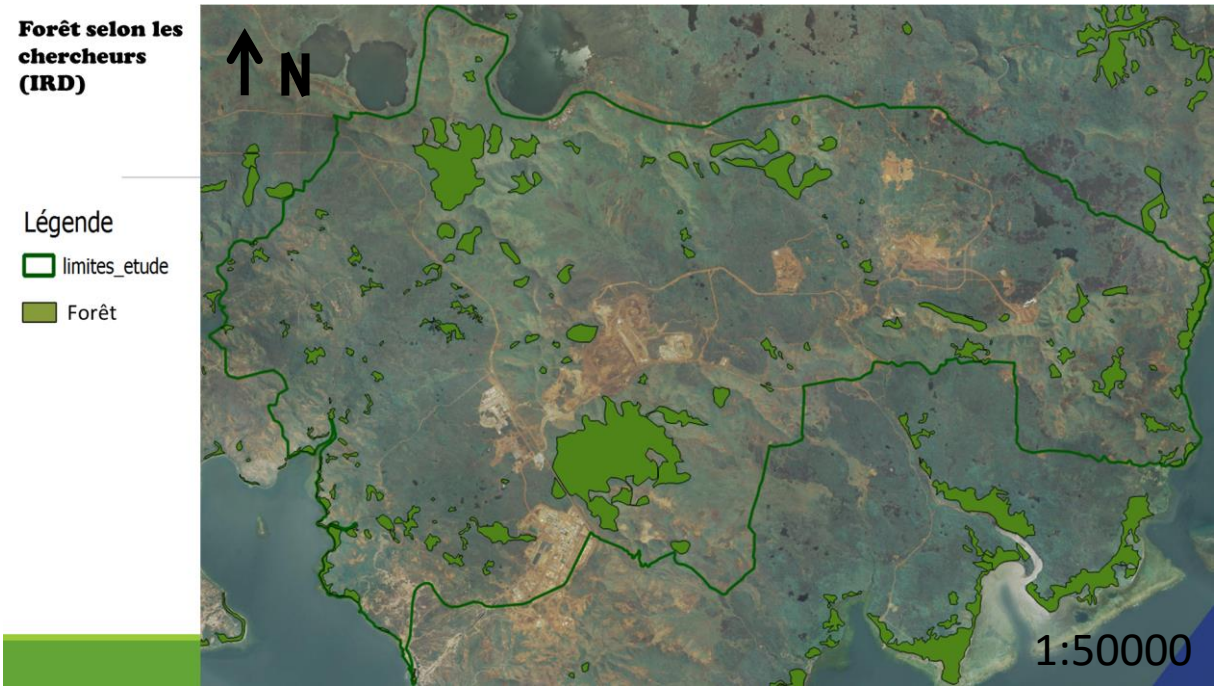

Forêt selon VNC (1)
Légende
limites_etude
Forêt
N
1:50000

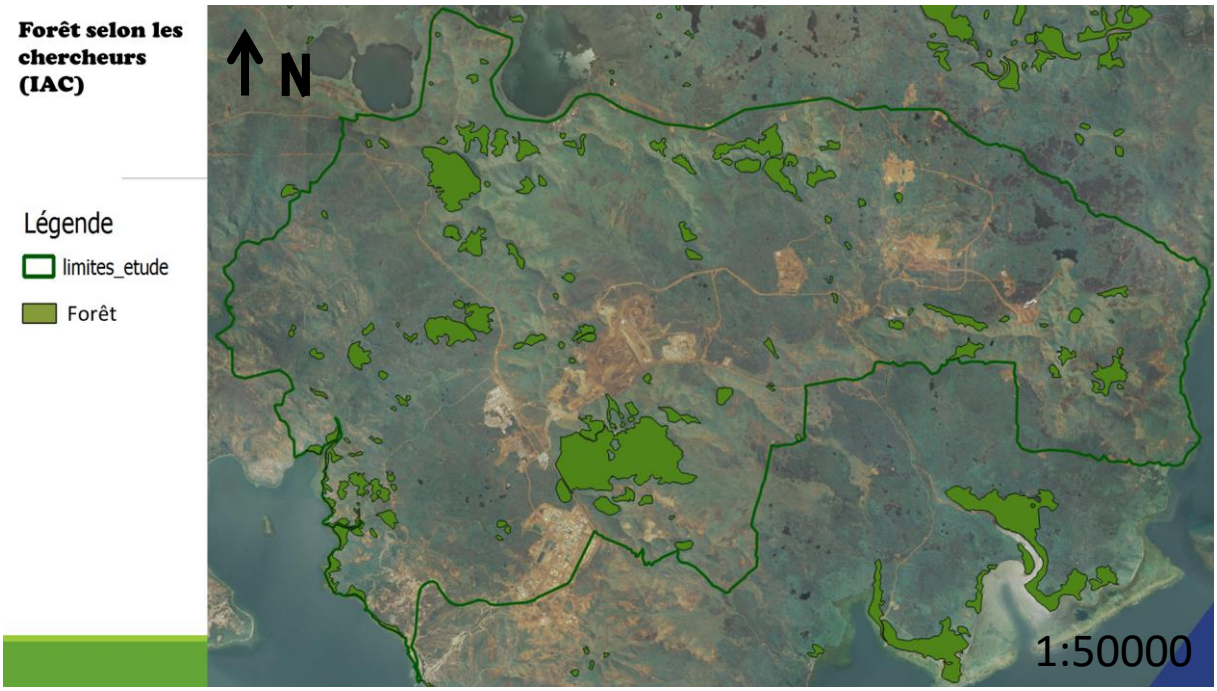
Forêt selon VNC (2)

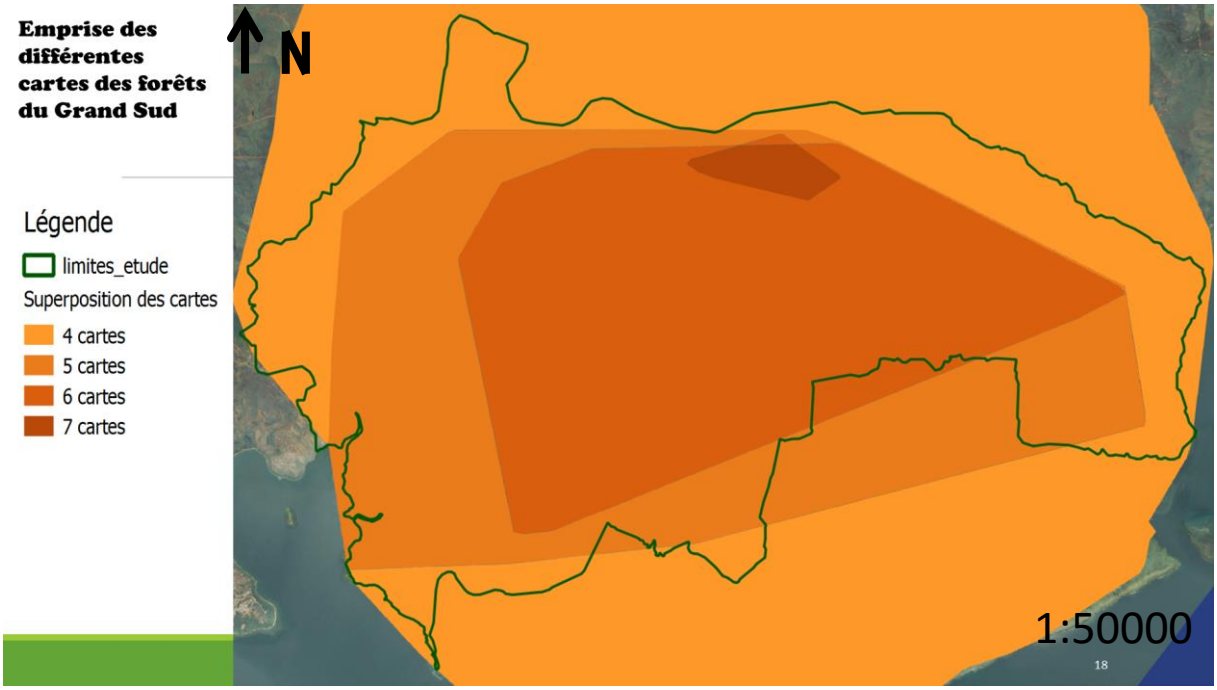


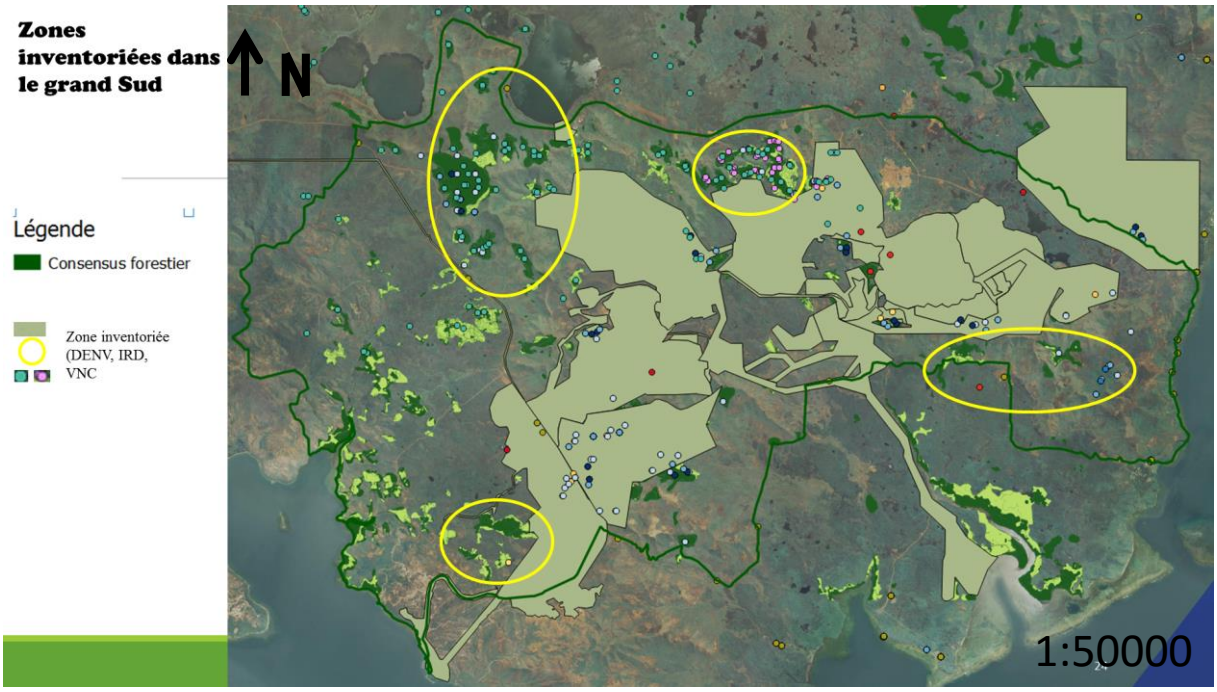
Forêt selon les chercheurs (Aubert)




Forêt selon les chercheurs (IRD)
N
Légende
limites_etude
Forêt
1:50000

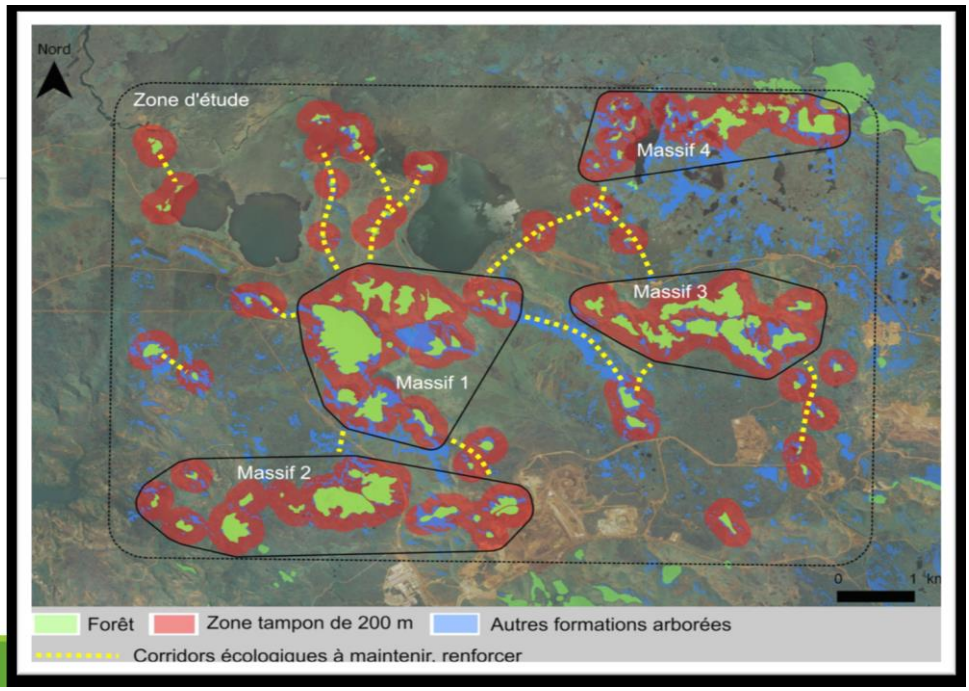

Forêt selon les chercheurs (IAC)
N
Légende
limites_etude
Forêt
1:50000


Emprise des différentes cartes des forêts du Grand Sud
N
Légende
limites_etude
Superposition des cartes
4 cartes
5 cartes
6 cartes
7 cartes
1:50000

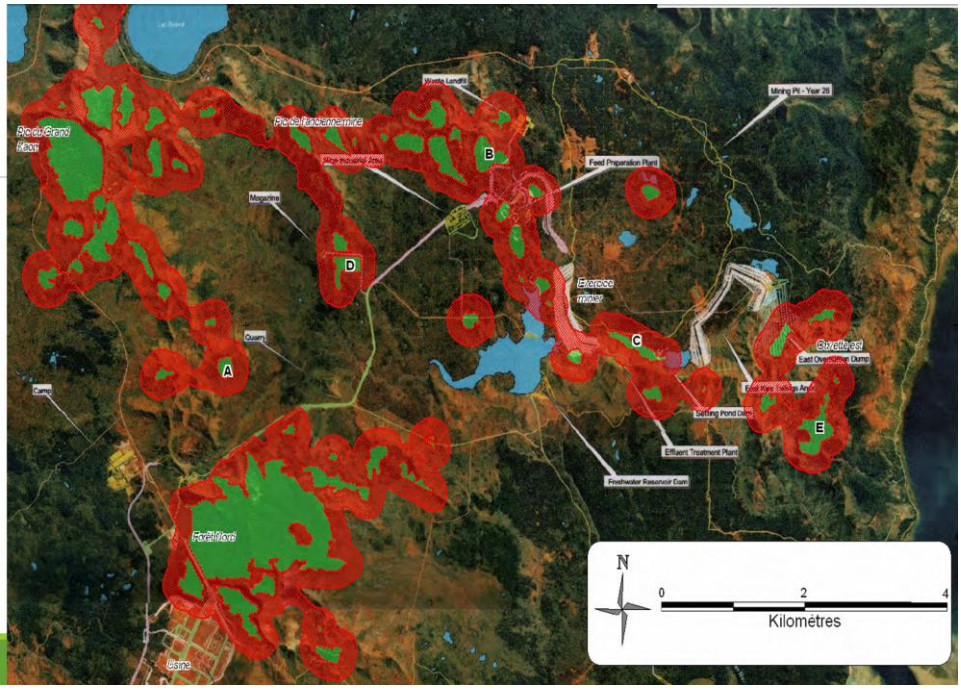

Zones inventoriées dans le grand Sud
N
Légende
Consensus forestier
Zone inventoriée (DENV, IRD, VNC
1:50000

Annexe II : Corridors écologiques du Grand Sud définis dans des études antérieures

Proposition de définition des continuités écologiques dans le Grand Sud selon le projet CoRIFor (Birnbaum et al., 2016)



Proposition de définition des continuités écologiques dans le Grand Sud selon le rapport de suivi ECCET (Desmoulins et Barré, 2004))



Annexe III : Récapitulatif des arrêtés d'autorisation de défrichements délivrés

Arrêté	Nom arrêté	Surface défrichée	Compensation
1989-2013/ARR/DENV	Extension de la carrière de limonite Sud (KW)	6,43 ha	Définies et mises en œuvre dans le cadre de la CCB. Ces mesures incluent le **financement par Vale Nouvelle-Calédonie du programme de lutte contre la colonie de fourmis électriques du Pont Germain, au Parc Provincial de la Rivière Bleue.** Le programme de lutte comprend la mise au point de protocoles d'éradication des fourmis électriques en forêt humide ainsi que leur mise en œuvre, sur une durée minimale de cinq ans à partir de leur validation par la direction provinciale en charge de l'environnement.
1164-2013/ARR/DENV	Sondages KO5 (200)	1,19 ha	Défini dans la CCB
13-2012/ARR/DENV	Sondages KO4 (2)	5,73 ha	
1436-2012/ARR/DENV	parking base vie	0,55 ha	
2260/2010/ARR/DENV	SM1-BS6	34 ha	
1225/2010/ARR/DENV	Pistes accès station limnimétriques KN1 et KO5	0,20 ha	

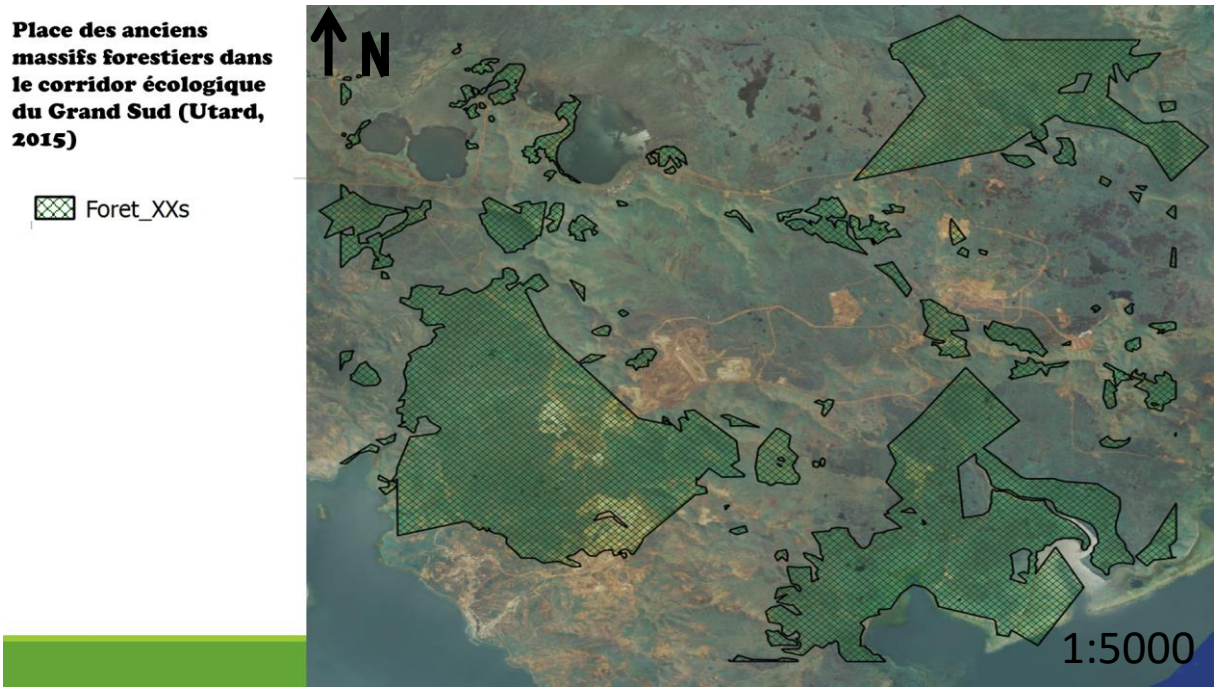
Arrêté	Nom arrêté	Surface défrichée	Mesure demandée	Zone de compensation	Délai de fourniture du programme	Délai de réalisation du programme	Livrables attendus
1172-2013/ARR/DENV Exécutoire au 21/05/2013	SMLT - phases 1a et 1b	70,3 ha	Mise en place d'une zone atelier 30 ha de reconstitution des continuités forestières par enrichissement 10 ha de restauration écologique de zones humides	Entre forêt Jaffré et Réserve PGK Grand Sud	31/12/2013	**Dès 2014** Programme sur 10 ans	**Bilan annuel global**
2848-2013/ARR/DENV Exécutoire au 14/11/2013	Mine à 5 ans, verse V5	93,3 ha dont 2,1 ha de FDH et 40 ha de zones humides	90 ha de recréation de maquis + 10 ha d'enrichissement forestier Mesures compensant la destruction de 40ha de zone humide Etude génétique sur le lézard	Parc provincial de la rivière bleue Proposé par VNC	31/12/2013	**Fin 2016** **(arrêté en cours de modification pour étalement des opérations)** **Fin 2016**	**Bilans à fournir**
306-2014/ARR/DENV Exécutoire au 30/01/2014	Bosquet UPM	0,23 ha	0,5 ha de recréation de maquis 20 sp 1 plant/m²	**Proposé par VNC:** **Sites dégradés à l'ouest de la pépinière**	1 mois suivant la réalisation des défrichements	**2015 au plus tard**	**Bilan à fournir**

Arrêté	Nom arrêté	Surface défrichée	Mesure demandée	Zone de compensation	Délai de fourniture du programme	Délai de réalisation du programme	Livrables attendus
775-2014/ARR/DENV Exécutoire au 20/03/2014	Aire d'entreposage Nord	4,38 ha	10 ha de maquis à recréer (révisé à 9,24 ha suite à récolement) 20 sp 1 plant / 1 m²	Proposition Vale: -Cap N'Dua -fourniture de 30 000 plants	31/06/2014	31/12/2015	Programme à compléter
2853-2014/ARR/DENV Exécutoire au 06/11/2014	Zone d'emprunt de fer	19,1 ha	36 ha 20 sp 1 plant / 1 m²	3 zones proposées par VNC (22ha) 1. Entre Grand Lac et Petit Lac (9,3ha) 2. Entre Petit Lac et Lac en Huit (7,9ha) 3. Entre Lac en Huit et la Capture (4,8ha)	31/12/2014	31/12/2016	Bilan annuel
1839-2015/ARR/DENV Exécutoire au 06/08/2015	BV6 Nord (Nothofagus)	0,5265 ha dont 0,2765 ha de FDH	3,22 ha d'enrichissement forestier 0,1 plant/m² 20 espèces (soit 3220 plants)	Proposition VNC: 2 patches sur Invasion5	3/11/2015	31/05/2017 au 31/5/2019 (date de fin de plantation)	Annuel les 4 premières années puis tous les 3 ans
1872-2015/ARR/DENV Exécutoire au 06/08/2015	Sondages pré-prod 'PP_GORO_2015'	1,85 ha	6,5 ha de restauration écologique 20 sp 1 plant / 1 m²	?	15/06/2015	2017	bilan

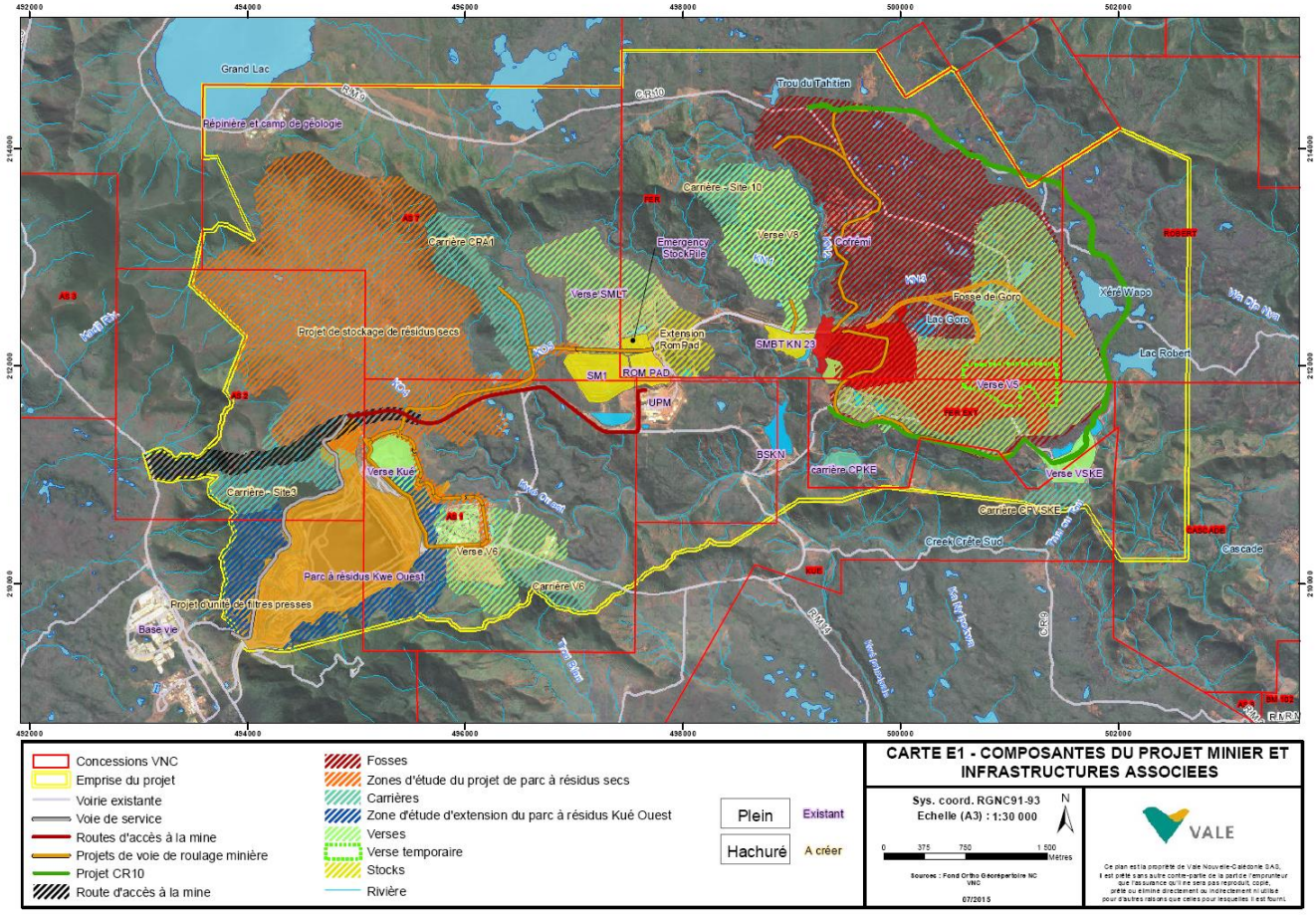
Arrêté	Nom arrêté	Surface défrichée	Mesure demandée	Zone de compensation	Délai de fourniture du programme	Délai de réalisation du programme	Livrables attendus
1962-2015/ARR/DENV Exécutoire au 06/08/2015	SMLT tranche 2	16,3 ha	- **Carte** délimitant la limite sud des habitats forestiers et paraforestiers par l'IRD - **Enrichissement** sur 12 ha - **Création d'indicateurs** quantifiant les gains écologiques des mesures prescrites par l'arrêté - **Éradication du pinus** sur 34,7ha et restauration des zones de maquis nues avec suivis et correction	fragments forestiers et paraforestiers et des lisières pour l'enrichissement	30/10/2015	30/10/2015 pour la mesure demandant la carte de délimitation Travaux commencent avant : 30/09/2016	bilan
2166-2015/ARR/DENV Exécutoire au 01/09/2015	Flanc Sud ASRKW	3,93 ha dont 0,08 ha de FDH	- 7,4 ha **d'enrichissement** 10 sp 1 plant / 10 m² - 9,6 ha de **recréation de maquis** moins les zones restaurées par valorisation du top soil issus des secteurs défrichés (en dehors des secteurs relevant de la remise en état) 20 sp 1 plant / 1 m²	Dans le dossier: -Invasion 5 -Paulo	2 mois à compter de la fin des travaux d'aménagement	31/05/2019 2 ans maximum pour planter	Annuel les 4 premières années puis tout les 3 ans

Arrêté	Nom arrêté	Surface défrichée	Mesure demandée	Zone de compensation	Délai de fourniture du programme	Délai de réalisation du programme	Livrables attendus
2857-2015/ARR/DENV Exécutoire au 17/11/2015	Sécurisation du déversoir 'Spillway'	4,79 ha	4,38 ha de restauration écologique 40 sp 1 plant / 1 m²	Périmètre « lacs du Grand Sud » dans la convention RAMSAR & Virage 'lavaka'	avril 2016	Travaux commencent le 31/05/2017 au plus tard	Bilan annuel
887-2016/ARR/DENV	SMLT Tranche 2B	3,76 ha	7,7 ha d'enrichissement 20 sp 3 plants / 10 m²	Zone de corridor forestier du nord du bassin de la Kué	3 mois à compter de la notification de l'arrêté	A terminer dans un délais de 2 ans à compter de la date de début des défrichements	Annuel les 4 premières années puis tout les 3 ans
977-2016/ARR/DENV	Carrière CPA1 – phase 1	5,7 ha de maquis	- 5,6 ha de plantation de sols nus 40 sp 1 plant / 1 m² - 2,6 ha d'enrichissement 10 sp 1 plant / 10 m² - 0,2 ha d'éradication d'EEE	Zone creek Pernod avale	2 mois à compter de la date de notification de l'arrêté (22/4/2016)	Du 31/05/2016 au 31/05/2018	Bilan annuel jusque fin 2020

Annexe IV : Carte des forêts du Grand Sud calédonien au début du XXème siècle (Utard, 2015)



Annexe V : Carte des exploitations futures de VNC dans le Grand Sud Calédonien (VNC, 2015)



Annexe VI : Tableau récapitulant quelques exemples d'objectifs de restauration selon des attributs précis (McDonald *et al*, 2016)

Attribute detail	Examples
Controlling threats	Nil incidence of undesirable livestock incursions
	Climate-readiness of xx species considered and appropriate propagules arranged
	Invasive plant threats under management in surrounding landscape
	Fox and cat populations reduced to xxha and xxha respectively in surrounding landscape
	Overharvesting regulated in surrounding marine area
	Anti-fouling pollutants prohibited in surrounding waters
Physical conditions	pH of substrate is between e.g. xx.xx and xx.xx (Raupach test)
	A minimum of XX mm of top soil (A horizon) and yy mm of subsoil (B horizon) is installed at establishment.
	Topsoil and subsoil are returned within 2 months of initial clearing
	Soil compaction reduced to <xx psi across site
	Nil sediment deposition in stream
	Site topography and hydrological flow lines reinstated
	Salinity level of substrate < EC Units
	Turbidity level = xxx
	Rocky outcrops cover xx% of site and remain without vegetation cover
Species composi-tion	Herbaceous exotics reduced to <xx% cover and represented by only benign species
	>xx% canopy cover of indigenous trees and exotic trees reduced to rare seedlings
	mesic shrubs reduced to <xx% cover and diversity of heathy shrubs maintained
	Kangaroo Grass cover between ~xx-xx% FPC and diversity of forbs and grasses maintained.
	Crown of Thorns Starfish reduced to >xx% cover and coral mortality < xx%
	Carp reduced to <xx% of fish population and xx% of indigenous fish species of reference present
Community structure	Characteristic diversity of indigenous plant species from each stratum established
	Mosaic of vegetation patches reinstated
	All ant functional groups present
	All frog species present
	Size of area sufficient to support populations of species 'x'
	Species 'y' present at a density of x stems per ha
Ecosystem function	All plant species regenerating after natural disturbance event
	A diversity of genera of saprophytic insects found in all fallen timber
	'xx' number of tree hollows per hectare
	Owl pair breeding in area and feeding on site
	Litter decomposition rate = xx
	Filtration rate = x% of tide residence time
	Appropriate fire regime reinstated for the target ecosystem
	Carbon sequestered at a rate of xx tonnes per year
	Positive change in the microbial functionality parameter 'xx'
External exchanges	Ground dwelling faunal species can readily disperse into and out of site
	Site is connected to surrounding floodplain and river to enable periodic flooding
	Fish passage reinstated
	Tidal flushing reinstated
	Pollinators can readily connect with site

Note: The 'indicator' is the measure used – while the 'objective' is the quantification adopted for the particular project. (Examples drawn from a range of different biomes.)

Annexe VII : Avifaune relevée au Grand Sud calédonien (Desmoulins et Barré, 2014)

Famille	Nom scientifique	Nom français, Noms locaux	Statut	Code
Procellariidae	*Puffinus pacificus chlororhynchus*	Puffin fouquet, Puffin du pacifique	LR	PUFO
Accipitridés	*Accipiter haplochrous*	Autour à ventre blanc ; Emouchet bleu	EE NT	AUVE
	Pandion haliaetus cristatus	Balbuzard d'Australie	LR	BAPE
	Falco peregrinus nesiotes	Faucon pèlerin	LR	FAPE
Columbidés	*Chalcophaps indica sandwichensis*	Colombine turvert	LR	COTU
	Ducula goliath	Carpophage géant, Notou	EE NT	NOTO
	Columba vitiensis hypoenochroa	Pigeon à gorge blanche	SEE	PIGO
Psittacidés	*Cyanoramphus saisseti*	Perruche à front rouge	EE NT	PEFR
	Trichoglossus haematodus deplanchei	Loriquet à tête bleue ; Perruche écossaise+	SEE	LOTE
Tytonidae	*Tyto alba delicatula*	Effraie des clochers	LR	CHEF
Cuculidés	*Chrysococcyx lucidus layardi*	Coucou éclatant	LR	COEC
	Cacomantis flabelliformis pyrrhophanus	Coucou à éventail	SEE	COEV
Apodidés	*Collocalia esculenta albidior*	Salangane soyeuse ; Hirondelle	SEE	SASO
Alcédinidés	*Todiramphus sanctus canacorum*	Martin-chasseur sacré	SEE	MACH
Méliphagidés	*Lichmera incana incana*	Méliphage à oreillons gris ; Suceur	SEE	MEOR
	Phylidonyris undulata	Méliphage barré ; Grive perlée ; Couyouc	EE	MEBA
	Philemon diemenensis	Polochion moine ; Grive ; Oiseau moine	EE	POMO
	Myzomela caledonica	Myzomèle calédonien ; Sucrier écarlate ; colibri	EE	MYCA
Acanthizidés	*Gerygone f. flavolateralis*	Gérygone mélanésienne ; Fauvette à ventre jaune	SEE	GEME
Eopsaltridés	*Eopsaltria flaviventris*	Miro à ventre jaune ; Rossignol	EE	MIVE
Pachycephalidés	*Pachycephala caledonica*	Siffleur calédonien ; Sourd	EE	SICA
	Pachycephala rufiventris xanthetraea	Siffleur itchong; Siffleur à ventre roux	SEE	SIIT
Corvidae	*Corvus moneduloides*	Corbeau calédonien	EE	COCA
Artamidés	*Artamus leucorhynchus melanoleucus*	Langrayen à ventre blanc ; Hirondelle busière	SEE	LAVE
Campéphagidés	*Coracina caledonica caledonica*	Echenilleur calédonien ; Siffleur	SEE	ECCA
	Lalage leucopyga montrosieri	Echenilleur pie de Nouvelle-Calédonie	SEE	ECPI
Rhipiduridés	*Rhipidura fuliginosa bulgeri*	Rhipidure à collier ; Petit lève queue	SEE	RHCO
	Rhipidura spilodera verreauxi	Rhipidure tacheté ; Grand lève queue	SEE	RHTA
Monarchidés	*Clytorhynchus p. pachycephaloides*	Monarque brun ; Gobe-mouches brun	SEE	MOBR
	Myiagra caledonica caledonica	Monarque mélanésien ; Gobe-mouche à large bec	SEE	MOME
Sturnidés	*Aplonis striatus striatus*	Stourne calédonien ; Merle noir	SEE	STCA
Zosteropidés	*Zosterops lateralis griseonata*	Zostérops à dos gris	SEE	ZODG
	Zosterops xanthochrous	Zostérops à dos vert ; Lunette	EE	ZODV
Estrildidés	*Erythrura psittacea*	Diamant psittaculaire ; Cardinal	EE	DIPS

Annexe VIII : distance de fuite de l'avifaune australienne (Weston et al, 2012)

Family	English name	Scientific name	Mean	s.d.	*n*	95th percentile	Residual (rank)	Source
Ardeidae	White-necked Heron	*Ardea pacifica*	N/A	N/A	26	170		4
Ardeidae	White-necked Heron	*Ardea pacifica*	45.3	36.9	2	106.0		10
Ardeidae	Eastern Great Egret	*Ardea modesta*	39.9	24.8	79	80.7	0.15 (31)	1
Ardeidae	Eastern Great Egret	*Ardea modesta*	N/A	N/A	31	155.0		4
Ardeidae	Intermediate Egret	*Ardea intermedia*	N/A	N/A	27	210.0		4
Ardeidae	Intermediate Egret	*Ardea intermedia*	42.7	36.9	4	103.4		10
Ardeidae	Cattle Egret	*Ardea ibis*	63.1	46.8	11	140.1	0.46 (5)	10
Ardeidae	Striated Heron	*Butorides striata*	31.7	18.9	8	62.83		10
Ardeidae	White-faced Heron	*Egretta novaehollandiae*	31.2	20.1	33	64.3	0.10 (43)	1
Ardeidae	White-faced Heron	*Egretta novaehollandiae*	N/A	N/A	25	215		4
Ardeidae	Little Egret	*Egretta garzetta*	52.4	23.0	10	90.2	0.40 (9)	1
Ardeidae	Eastern Reef Egret	*Egretta sacra*	31.1	13.6	2	53.5		10
Ardeidae	Nankeen Night-Heron	*Nycticorax caledonicus*	16.6	5.8	4	26.1		10
Threskiornithidae	Glossy Ibis	*Plegadis falcinellus*	N/A	N/A	35	195		4
Threskiornithidae	Glossy Ibis	*Plegadis falcinellus*	83.1	0.0	1	83.1		10
Threskiornithidae	Australian White Ibis	*Threskiornis molucca*	32.8	20.4	48	66.4	–0.04 (76)	1
Threskiornithidae	Australian White Ibis[A]	*Threskiornis molucca*	80.8	2.5	2	84.9		3
Threskiornithidae	Australian White Ibis[A,B]	*Threskiornis molucca*	62.2	26.2	3	105.3		3
Threskiornithidae	Australian White Ibis[A,D]	*Threskiornis molucca*	58.3	37.8	2	120.5		3
Threskiornithidae	Australian White Ibis	*Threskiornis molucca*	N/A	N/A	20	130.0		4
Threskiornithidae	Straw-necked Ibis	*Threskiornis spinicollis*	42.4	25.2	10	83.9	0.11 (36)	1
Threskiornithidae	Straw-necked Ibis	*Threskiornis spinicollis*	N/A	N/A	15	135.0		4
Threskiornithidae	Royal Spoonbill	*Platalea regia*	44.4	24.9	24	85.4	0.10 (44)	1
Threskiornithidae	Royal Spoonbill	*Platalea regia*	N/A	N/A	25	70.0		4
Threskiornithidae	Yellow-billed Spoonbill	*Platalea flavipes*	N/A	N/A	24	80.0		4
Threskiornithidae	Yellow-billed Spoonbill	*Platalea flavipes*	51.0	41.5	4	119.2		10
Accipitridae	Black-shouldered Kite	*Elanus axillaris*	23.1	14.9	10	47.6	0.05 (50)	1
Accipitridae	Pacific Baza	*Aviceda subcristata*	18.0	0.0	1	18.0		10
Accipitridae	Whistling Kite	*Haliastur sphenurus*	28.2	12.3	3	48.5		10
Accipitridae	Black Kite	*Milvus migrans*	57.0	0.0	1	57.0		10
Accipitridae	Grey Goshawk	*Accipiter novaehollandiae*	24.6	0.0	1	24.6		10
Accipitridae	Spotted Harrier	*Circus assimilis*	22.0	0.0	1	22.0		10
Falconidae	Nankeen Kestrel	*Falco cenchroides*	43.4	44.1	14	116.0	0.40 (10)	10
Falconidae	Brown Falcon	*Falco berigora*	34.1	28.1	2	80.3		10
Rallidae	Purple Swamphen	*Porphyrio porphyrio*	34.5	21.8	68	70.4	0.40 (8)	1
Rallidae	Purple Swamphen	*Porphyrio porphyrio*	65.0	0.0	N/A	65.0		11
Rallidae	Lewin's Rail	*Lewinia pectoralis*	4.3	0.0	1	4.3		10
Rallidae	Buff-banded Rail	*Gallirallus philippensis*	8.0	0.0	1	8.0		10
Rallidae	Baillon's Crake	*Porzana pusilla*	8.2	4.6	3	15.8		10
Rallidae	Dusky Moorhen	*Gallinula tenebrosa*	14.8	10.7	37	32.4	–0.22 (117)	1
Rallidae	Eurasian Coot	*Fulica atra*	19.2	15.8	10	45.2	–0.03 (71)	1
Rallidae	Eurasian Coot	*Fulica atra*	23.0	0.0	N/A	23.0		11
Burhinidae	Bush Stone-curlew	*Burhinus grallarius*	25.9	20.7	13	59.9	–0.01 (62)	1
Haematopodidae	Australian Pied Oystercatcher	*Haematopus longirostris*	38.5	18	23	68.1	0.15 (30)	1
Haematopodidae	Australian Pied Oystercatcher[A]	*Haematopus longirostris*	82.5	64.4	2	188.4		3
Haematopodidae	Australian Pied Oystercatcher	*Haematopus longirostris*	41.5	16.2	21	68.1		5
Haematopodidae	Sooty Oystercatcher	*Haematopus fuliginosus*	30.5	15.8	59	56.5	0.04 (52)	1
Haematopodidae	Sooty Oystercatcher	*Haematopus fuliginosus*	64.3	43.1	14	135.1		5
Recurvirostridae	Black-winged Stilt	*Himantopus himantopus*	38.3	21.1	63	73	0.24 (21)	1
Recurvirostridae	Black-winged Stilt[A]	*Himantopus himantopus*	39.3	22.9	3	77		3
Recurvirostridae	Black-winged Stilt[A,C]	*Himantopus himantopus*	43.5	15.0	2	68.0		3
Recurvirostridae	Black-winged Stilt[A,B]	*Himantopus himantopus*	33.5	2.1	2	37.0		3
Recurvirostridae	Black-winged Stilt[A,D]	*Himantopus himantopus*	35.8	14.5	2	59.7		3
Recurvirostridae	Black-winged Stilt	*Himantopus himantopus*	N/A	N/A	42	80		4
Recurvirostridae	Black-winged Stilt	*Himantopus himantopus*	38.0	16.7	20	65.4		5
Recurvirostridae	Black-winged Stilt	*Himantopus himantopus*	30.0	0.0	N/A	30.0		11
Recurvirostridae	Red-necked Avocet[A]	*Recurvirostra novaehollandiae*	60.4	7.8	3	73.2		3
Recurvirostridae	Red-necked Avocet[A,B]	*Recurvirostra novaehollandiae*	57.0	0.0	1	57.0		3
Recurvirostridae	Red-necked Avocet[A,D]	*Recurvirostra novaehollandiae*	43.0	0.0	1	43.0		3

(continued next page)

Family	English name	Scientific name	Mean	s.d.	*n*	95th percentile	Residual (rank)	Source
Recurvirostridae	Red-necked Avocet	*Recurvirostra novaehollandiae*	N/A	N/A	20.0	110.0		4
Recurvirostridae	Red-necked Avocet	*Recurvirostra novaehollandiae*	73.0	39.2	5	137.4		5
Recurvirostridae	Banded Stilt[A]	*Cladorhynchus leucocephalus*	32.8	23.7	8	71.8		3
Recurvirostridae	Banded Stilt[A,C]	*Cladorhynchus leucocephalus*	40.2	11.0	2	58.3		3
Recurvirostridae	Banded Stilt[A,B]	*Cladorhynchus leucocephalus*	28.8	8.1	4	42.1		3
Recurvirostridae	Banded Stilt[A,D]	*Cladorhynchus leucocephalus*	24.7	7.7	5	37.4		3
Charadriidae	Pacific Golden Plover	*Pluvialis fulva*	21.9	12.1	21	41.8	0.12 (34)	1
Charadriidae	Pacific Golden Plover	*Pluvialis fulva*	49.3	10.1	3	65.9		5
Charadriidae	Grey Plover	*Pluvialis squatarola*	36.0	18.7	41	66.8	0.27 (16)	1
Charadriidae	Grey Plover	*Pluviali squatarola*	44.0	0.0	1	44.0		5
Charadriidae	Red-capped Plover	*Charadrius ruficapillus*	22.0	7.7	16	34.7	0.46 (4)	1
Charadriidae	Red-capped Plover	*Charadrius ruficapillus*	N/A	N/A	18	45.0		4
Charadriidae	Red-capped Plover	*Charadrius ruficapillus*	32.8	15.4	20	58.1		5
Charadriidae	Double-banded Plover	*Charadrius bicinctus*	32.1	7.5	7	44.5	0.03 (53)	5
Charadriidae	Double-banded plover	*Charadrius bicinctus*	13.9	6.1	10	23.8		10
Charadriidae	Lesser Sand Plover	*Charadrius mongolus*	16.7	7.7	7	29.4		10
Charadriidae	Black-fronted Dotterel	*Elseyornis melanops*	22.7	9.3	46	37.9	0.32 (14)	1
Charadriidae	Black-fronted Dotterel	*Elseyornis melanops*	23.9	8.2	17	37.3		5
Charadriidae	Hooded Plover	*Thinornis rubricollis*	54.4	35.4	30	112.7	0.56 (1)	6
Charadriidae	Hooded Plover	*Thinornis rubricollis*	41.1	17.1	8	69.3		5
Charadriidae	Hooded Plover	*Thinornis rubricollis*	26.3	3.3	4	31.6		10
Charadriidae	Red-kneed Dotterel	*Erythrogonys cinctus*	N/A	N/A	22	40.0	0.23 (24)	4
Charadriidae	Red-kneed Dotterel	*Erythrogonys cinctus*	21.2	6.2	10	31.3		5
Charadriidae	Red-kneed Dotterel	*Erythrogonys cinctus*	15.4	1.5	2	17.8		10
Charadriidae	Banded Lapwing	*Vanellus tricolor*	74.0	0.0	1	74.0		5
Charadriidae	Masked Lapwing	*Vanellus miles*	46.8	30.5	37	96.9	0.45 (6)	1
Charadriidae	Masked Lapwing	*Vanellus miles*	62.6	43.1	55	133.5		5
Scolopacidae	Latham's Snipe	*Gallinago hardwickii*	18.6	9.6	30	34.5	0.05 (51)	5
Scolopacidae	Latham's Snipe	*Gallinago hardwickii*	13.7	7.8	8	26.6		10
Scolopacidae	Black-tailed Godwit	*Limosa limosa*	31.3	3.3	4	36.7		5
Scolopacidae	Black-tailed Godwit	*Limosa limosa*	21.0	11.3	6	39.7		10
Scolopacidae	Bar-tailed Godwit[A]	*Limosa lapponica*	48.6	0.9	2	50.1	0.06 (49)	3
Scolopacidae	Bar-tailed Godwit[A,B]	*Limosa lapponica*	53.5	7.8	2	66.3		3
Scolopacidae	Bar-tailed Godwit[A,D]	*Limosa lapponica*	41.9	4.5	2	49.3		3
Scolopacidae	Bar-tailed Godwit	*Limosa lapponica*	59.5	10.5	4	76.8		5
Scolopacidae	Bar-tailed Godwit	*Limosa lapponica*	22.1	14.8	196	46.5		10
Scolopacidae	Whimbrel	*Numenius phaeopus*	37.7	30.4	28	87.7	0.22 (25)	1
Scolopacidae	Whimbrel	*Numenius phaeopus*	90.0	0.0	1	90.0		5
Scolopacidae	Eastern Curlew	*Numenius madagascariensis*	65.5	41.6	42	133.9	0.37 (12)	1
Scolopacidae	Eastern Curlew[A]	*Numenius madagascariensis*	97.5	23.3	2	135.8		3
Scolopacidae	Eastern Curlew	*Numenius madagascariensis*	126.1	29.2	22	174.2		5
Scolopacidae	Common Sandpiper	*Actitis hypoleucos*	43.0	0.0	1	43.0		5
Scolopacidae	Grey-tailed Tattler	*Tringa brevipes*	17.3	8.6	45	31.4	0.03 (55)	1
Scolopacidae	Grey-tailed Tattler	*Tringa brevipes*	23.0	0.0	1	23.0		5
Scolopacidae	Common Greenshank[A]	*Tringa nebularia*	70.0	11.8	3	89.4	0.49 (3)	3
Scolopacidae	Common Greenshank[A,C]	*Tringa nebularia*	80.3	13.0	2	102.0		3
Scolopacidae	Common Greenshank[A,B]	*Tringa nebularia*	60.7	4.0	3	67.3		3
Scolopacidae	Common Greenshank[A,D]	*Tringa nebularia*	51.5	3.5	2	57.3		3
Scolopacidae	Common Greenshank	*Tringa nebularia*	N/A	N/A	17	75.0		4
Scolopacidae	Common Greenshank	*Tringa nebularia*	55.4	27.8	17	101.2		5
Scolopacidae	Common Greenshank	*Trigna nebularia*	47.6	17.8	7	77.0		10
Scolopacidae	Marsh Sandpiper	*Tringa stagnatilis*	N/A	N/A	20	105.0	0.52 (2)	4
Scolopacidae	Marsh Sandpiper	*Tringa stagnatilis*	44.1	23.2	20	82.3		5
Scolopacidae	Ruddy Turnstone	*Arenaria interpres*	13.8	6.4	51	24.3	–0.06 (78)	1
Scolopacidae	Ruddy Turnstone	*Arenaria interpres*	29.7	14.3	6	53.2		5
Scolopacidae	Red Knot	*Calidris canutus*	21.3	9.2	8	36.4		10
Scolopacidae	Sanderling	*Calidris alba*	32.0	7.9	5	44.9		5
Scolopacidae	Red-necked Stint	*Calidris ruficollis*	16.4	8.7	61	30.7	0.20 (26)	1
Scolopacidae	Red-necked Stint[A]	*Calidris ruficollis*	20.0	3.5	4	25.8		3

(*continued next page*)

Family	English name	Scientific name	Mean	s.d.	*n*	95th percentile	Residual (rank)	Source
Casuariidae	Emu	*Dromaius novaehollandiae*	58.7	36.2	6	118.1		10
Megapodiidae	Australian Brush-turkey	*Alectura lathami*	12.0	13.0	11	33.4	–0.51 (137)	1
Megapodiidae	Orange-footed Scrubfowl	*Megapodius reinwardt*	25.9	8.8	4	40.4		10
Phasianidae	Stubble Quail	*Coturnix pectoralis*	1.9	0.5	2	2.8		10
Phasianidae	Brown Quail	*Coturnix ypsilophora*	5.5	4.7	5	13.1		10
Anatidae	Musk Duck	*Biziura lobata*	18.9	1.5	2	21.4		10
Anatidae	Black Swan	*Cygnus atratus*	50.4	35.8	19	109.3	–0.09 (89)	1
Anatidae	Black Swan	*Cygnus atratus*	3.6	3.8	92	9.9		2
Anatidae	Black Swan[A]	*Cygnus atratus*	149.0	0.0	1	149.0		3
Anatidae	Black Swan[A,B]	*Cygnus atratus*	113.0	0.0	1	113.0		3
Anatidae	Black Swan	*Cygnus atratus*	N/A	N/A	90	159		4
Anatidae	Black Swan	*Cygnus atratus*	40.0		N/A			11
Anatidae	Black Swan[C]	*Cygnus atratus*	53.0		N/A			11
Anatidae	Australian Shelduck[A]	*Tadorna tadornoides*	145.0	0.0	1	145.0		3
Anatidae	Australian Shelduck	*Tadorna tadornoides*	N/A	N/A	35	270		4
Anatidae	Australian Wood Duck	*Chenonetta jubata*	25.5	24.9	44	66.5	–0.04 (74)	1
Anatidae	Australasian Shoveler	*Anas rhynchotis*	19.2	0.0	1	19.2		10
Anatidae	Grey Teal	*Anas gracilis*	41.6	22.8	23	79.1	0.24 (22)	1
Anatidae	Grey Teal[A]	*Anas gracilis*	106.9	10.1	2	123.5		3
Anatidae	Grey Teal[A,B]	*Anas gracilis*	59.0	8.5	2	73.0		3
Anatidae	Grey Teal[A,D]	*Anas gracilis*	49.5		1			3
Anatidae	Grey Teal	*Anas gracilis*	N/A	N/A	72	330		4
Anatidae	Chestnut Teal	*Anas castanea*	46.5	21.4	55	81.7	0.25 (17)	1
Anatidae	Chestnut Teal	*Anas castanea*	N/A	N/A	20	260		4
Anatidae	Northern Mallard	*Anas platyrhynchos*	12.8	5.0	3	21.1		10
Anatidae	Pacific Black Duck	*Anas superciliosa*	38.9	29.0	50	86.6	0.10 (39)	1
Anatidae	Pacific Black Duck	*Anas superciliosa*	N/A	N/A	28	205		4
Anatidae	Hardhead	*Aythya australis*	37.1	20.9	9	71.5		10
Podicipedidae	Australasian Grebe	*Tachybaptus novaehollandiae*	23.4	14.1	19	46.6	0.09 (46)	1
Podicipedidae	Hoary-headed Grebe	*Poliocephalus poliocephalus*	23.8	7.3	4	35.8		10
Columbidae	White-headed Pigeon	*Columba leucomela*	26.0	34.5	2	82.7		10
Columbidae	Spotted Dove	*Streptopelia chinensis*	12.9	9.0	52	27.7	–0.13 (98)	1
Columbidae	Brown Cuckoo-Dove	*Macropygia amboinensis*	8.1	4.8	11	16.0	–0.38 (134)	1
Columbidae	Emerald Dove	*Chalcophaps indica*	14.2	8.8	2	28.7		10
Columbidae	Common Bronzewing	*Phaps chalcopetra*	21.6	9.1	21	36.6	0.00 (61)	10
Columbidae	Crested Pigeon	*Ocyphaps lophotes*	12.7	9.2	31	27.8	–0.16 (107)	1
Columbidae	Peaceful Dove	*Geopelia striata*	12.1	7.8	27	24.9	–0.02 (67)	10
Columbidae	Bar-shouldered Dove	*Geopelia humeralis*	22.1	14.8	93	46.4	0.13 (32)	1
Columbidae	Wonga Pigeon	*Leucosarcia picata*	18.5	10.9	22	36.4	–0.10 (89)	1
Columbidae	Pied Imperial-Pigeon	*Ducula bicolor*	21.5	11.3	4	40.1		10
Columbidae	Topknot Pigeon	*Lopholaimus antarcticus*	15.0	7.2	6	26.7		10
Podargidae	Tawny Frogmouth	*Podargus strigoides*	6.2	4.4	2	13.3		10
Eurostopodidae	Spotted Nightjar	*Eurostopodus argus*	10.8	0.0	1	10.8		10
Anhingidae	Australasian Darter	*Anhinga novaehollandiae*	24.0	14.9	20	48.5	–0.15 (106)	1
Phalacrocoracidae	Little Pied Cormorant	*Microcarbo melanoleucos*	19.8	14.3	58	43.3	–0.14 (102)	1
Phalacrocoracidae	Great Cormorant	*Phalacrocorax carbo*	32.3	20.6	34	66.2	–0.06 (79)	1
Phalacrocoracidae	Little Black Cormorant	*Phalacrocorax sulcirostris*	24	15.3	38	49.2	–0.10 (92)	1
Phalacrocoracidae	Pied Cormorant	*Phalacrocorax varius*	31.3	18.0	25	60.9	–0.05 (77)	1
Pelecanidae	Australian Pelican	*Pelecanus conspicillatus*	32.6	25.4	39	74.4	–0.17 (108)	1
Ardeidae	Australasian Bittern	*Botaurus poiciloptilus*	10.0	0.0	1	10.0		10
Ardeidae	Australian Little Bittern	*Ixobrychus dubius*	12.9	4.5	4	20.2		10

(*continued next page*)

Family	English name	Scientific name	Mean	s.d.	*n*	95th percentile	Residual (rank)	Source
Scolopacidae	Red-necked Stint[A,C]	*Calidris ruficollis*	32.6	14.0	3	55.3		3
Scolopacidae	Red-necked Stint[A,B]	*Calidris ruficollis*	28.1	1.8	3	31.1		3
Scolopacidae	Red-necked Stint[A,D]	*Calidris ruficollis*	17.3	4.2	3	24.2		3
Scolopacidae	Red-necked Stint	*Calidris ruficollis*	18.7	8.7	23	33.0		5
Scolopacidae	Pectoral Sandpiper	*Calidris melanotos*	23.0	9.9	2	39.3		5
Scolopacidae	Sharp-tailed Sandpiper	*Calidris acuminata*	14.8	8.7	28	29.1	0.16 (28)	1
Scolopacidae	Sharp-tailed Sandpiper[A]	*Calidris acuminata*	33.2	3.9	5	39.6		3
Scolopacidae	Sharp-tailed Sandpiper[A,C]	*Calidris acuminata*	39.3	3.7	2	45.4		3
Scolopacidae	Sharp-tailed Sandpiper[A,B]	*Calidris acuminata*	35.7	4.2	3	42.6		3
Scolopacidae	Sharp-tailed Sandpiper[A,D]	*Calidris acuminata*	28.1	4.0	4	34.7		3
Scolopacidae	Sharp-tailed Sandpiper	*Calidris acuminata*	N/A	N/A	30	55.0		4
Scolopacidae	Sharp-tailed Sandpiper	*Calidris acuminata*	20.3	7.5	31	32.7		5
Scolopacidae	Sharp-tailed Sandpiper	*Calidris acuminata*	20.0	0.0	N/A	20.0		11
Scolopacidae	Curlew Sandpiper[A]	*Calidris ferruginea*	34.8	6.0	4	44.7	0.30 (15)	3
Scolopacidae	Curlew Sandpiper[A,B]	*Calidris ferruginea*	29.8	4.8	3	37.7		3
Scolopacidae	Curlew Sandpiper[A,D]	*Calidris ferruginea*	26.8	2.9	3	31.6		3
Scolopacidae	Curlew Sandpiper	*Calidris ferruginea*	25.2	6.4	21	35.7		5
Scolopacidae	Curlew Sandpiper	*Calidris ferruginea*	24.9	6.0	8	34.8		10
Turnicidae	Red-chested Button-quail	*Turnix pyrrhothorax*	3.6	2.1	5	7.0		10
Laridae	Little Tern	*Sternula albifrons*	21.5	7.9	18	34.5	0.24 (20)	1
Laridae	Caspian Tern	*Hydroprogne caspia*	35.0	10.4	12	52.1	0.10 (41)	1
Laridae	Whiskered Tern	*Chlidonias hybrida*	21.4	8.5	3	35.3		10
Laridae	Common Tern	*Sterna hirundo*	20.5	10.9	8	38.4		10
Laridae	Crested Tern	*Thalasseus bergii*	17.3	10.7	37	34.9	–0.09 (86)	1
Laridae	Kelp Gull	*Larus dominicanus*	24.4	11.4	14	43.2	–0.08 (82)	1
Laridae	Silver Gull	*Chroicocephalus novaehollandiae*	16.8	12.1	136	36.7	–0.09 (87)	1
Cacatuidae	Red-tailed Black-Cockatoo	*Calyptorhynchus banksii*	10.9	15.2	3	35.9		10
Cacatuidae	Yellow-tailed Black-Cockatoo	*Calyptorhynchus funereus*	11.7	6.7	4	22.8		10
Cacatuidae	Gang-gang Cockatoo	*Callocephalon fimbriatum*	7.5	5.6	2	16.6		10
Cacatuidae	Galah	*Eolophus roseicapillus*	8.9	5.6	64	18.1	–0.39 (135)	1
Cacatuidae	Long-billed Corella	*Cacatua tenuirostris*	3.8	0.0	1	3.8		10
Cacatuidae	Little Corella	*Cacatua sanguinea*	20.0	15.2	8	45.0		10
Cacatuidae	Sulphur-crested Cockatoo	*Cacatua galerita*	15.3	14.9	41	39.8	–0.26 (123)	1
Psittacidae	Rainbow Lorikeet	*Trichoglossus haematodus*	10.0	8.1	11	23.3	–0.21 (113)	1
Psittacidae	Scaly-breasted Lorikeet	*Trichoglossus chlorolepidotus*	1.0	0.0	1	1.0		10
Psittacidae	Australian King-Parrot	*Alisterus scapularis*	8.7	3.8	9	14.9		10
Psittacidae	Red-winged Parrot	*Aprosmictus erythropterus*	32.3	11.1	5	50.5		10
Psittacidae	Crimson Rosella	*Platycercus elegans*	9.1	6.4	83	19.6	–0.25 (121)	1
Psittacidae	Eastern Rosella	*Platycercus eximius*	13.9	8.8	31	28.4	–0.04 (75)	1
Psittacidae	Pale-headed Rosella	*Platycercus adscitus*	21.0	8.7	3	35.2		10
Psittacidae	Australian Ringneck	*Barnardius zonarius*	14.1	9.5	3	29.7		10
Psittacidae	Red-rumped Parrot	*Psephotus haematonotus*	11.2	6.6	9	22.1		10
Cuculidae	Pheasant Coucal	*Centropus phasianinus*	30.5	42.8	14	101.0	0.16 (29)	10
Cuculidae	Eastern Koel	*Eudynamys orientalis*	4.6	2.2	2	8.2		10
Cuculidae	Horsfield's Bronze-Cuckoo	*Chalcites basalis*	3.5	1.6	2	6.1		10
Cuculidae	Pallid Cuckoo	*Cacomantis pallidus*	8.5	1.1	2	10.3		10
Cuculidae	Fan-tailed Cuckoo	*Cacomantis flabelliformis*	10.6	5.7	19	19.9	–0.06 (80)	1
Alcedinidae	Azure Kingfisher	*Ceyx azureus*	11.7	4.5	10	19.1	0.03 (56)	10
Halcyonidae	Laughing Kookaburra	*Dacelo novaeguineae*	13.8	12.3	54	34.0	–0.18 (110)	1
Halcyonidae	Blue-winged Kookaburra	*Dacelo leachii*	23.0	0.0	1	23.0		10
Halcyonidae	Forest Kingfisher	*Todiramphus macleayii*	11.0	4.3	11	18.1	–0.01 (66)	10
Halcyonidae	Sacred Kingfisher	*Todiramphus sanctus*	20.9	6.8	16	32.1	0.24 (19)	1
Meropidae	Rainbow Bee-eater	*Merops ornatus*	23.0	17.8	10	52.3	0.34 (13)	10
Coraciidae	Dollarbird	*Eurystomus orientalis*	25.9	22.5	23	62.9	0.20 (27)	1
Menuridae	Superb Lyrebird	*Menura novaehollandiae*	10.5	8.6	26	24.6	–0.46 (136)	1
Climacteridae	White-throated Treecreeper	*Cormobates leucophaea*	5.8	2.9	17	10.6	–0.23 (118)	1
Climacteridae	White-browed Treecreeper	*Climacteris affinis*	3.1	0.0	1	3.1		10
Climacteridae	Brown Treecreeper	*Climacteris picumnus*	5.1	3.1	13	10.2	–0.33 (131)	1
Ptilonorhynchidae	Spotted Catbird	*Ailuroedus melanotis*	18.7	16.2	16	45.3	0.02 (58)	10

(*continued next page*)

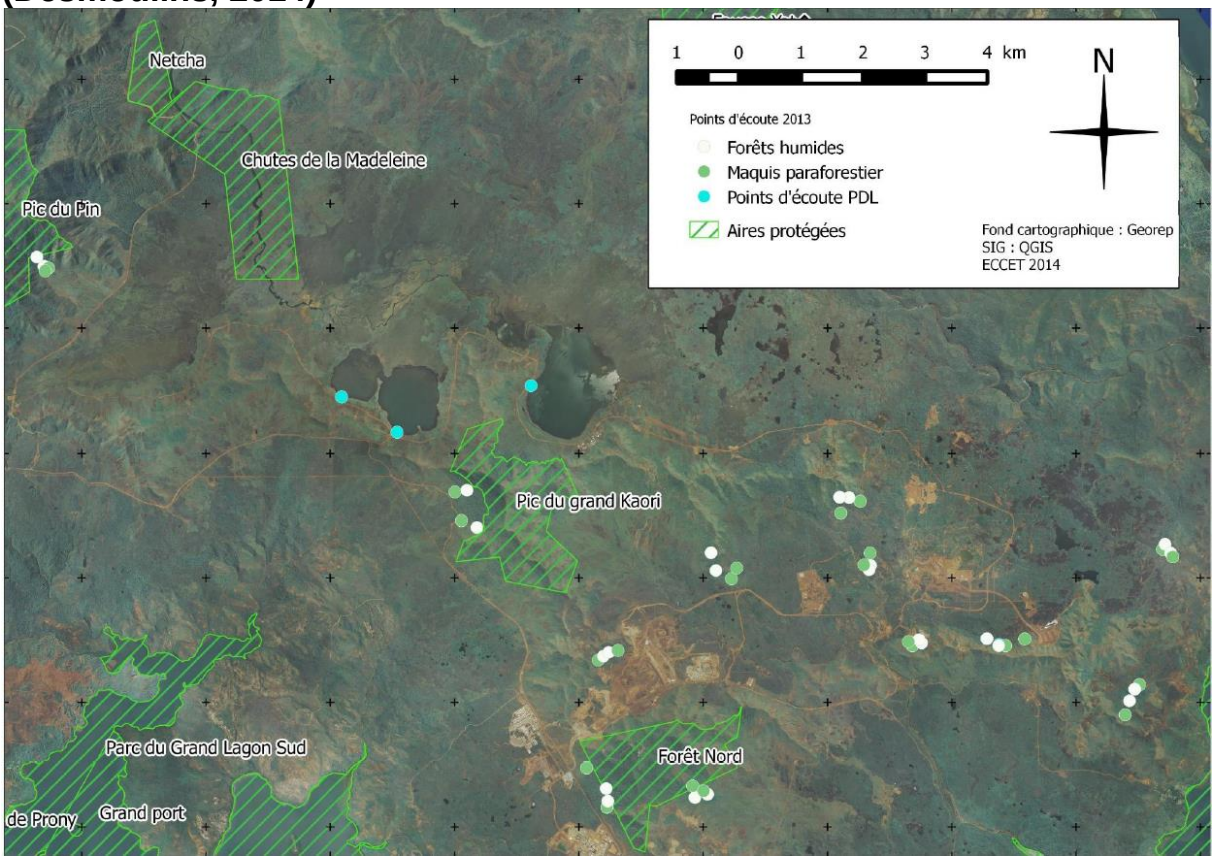
Family	English name	Scientific name	Mean	s.d.	*n*	95th percentile	Residual (rank)	Source
Ptilonorhynchidae	Green Catbird	*Ailuroedus crassirostris*	9.7	4.1	16	16.4	–0.29 (127)	1
Ptilonorhynchidae	Tooth-billed Bowerbird	*Scenopoeetes dentirostris*	5.2	1.1	2	7.1		10
Ptilonorhynchidae	Satin Bowerbird	*Ptilonorhynchus violaceus*	9.5	5.1	22	17.9	–0.30 (128)	1
Maluridae	Superb Fairy-wren	*Malurus cyaneus*	6.5	3.4	93	12.1	–0.07 (81)	1
Maluridae	Variegated Fairy-wren	*Malurus lamberti*	4.5	3.4	38	10.1	–0.21 (112)	1
Maluridae	Southern Emu-wren	*Stipiturus malachurus*	7.0	3.3	13	12.4	–0.01 (63)	1
Acanthizidae	Pilotbird	*Pycnoptilus floccosus*	16.9	10.0	3	33.4		10
Acanthizidae	Rockwarbler	*Origma solitaria*	17.1	4.0	2	23.8		10
Acanthizidae	Yellow-throated Scrubwren	*Sericornis citreogularis*	5.6	4.3	51	12.7	–0.22 (116)	1
Acanthizidae	White-browed Scrubwren	*Sericornis frontalis*	4.2	2.5	41	8.3	–0.32 (129)	1
Acanthizidae	Atherton Scrubwren	*Sericornis keri*	4.9	4.5	11	12.3	–0.22 (114)	10
Acanthizidae	Large-billed Scrubwren	*Sericornis magnirostra*	4.4	4.4	17	11.6	–0.24 (119)	1
Acanthizidae	Chestnut-rumped Heathwren	*Hylacola pyrrhopygia*	11.4	0.0	1	11.4		10
Acanthizidae	Striated Fieldwren	*Calamanthus fuliginosus*	8.6	0.0	1	8.6		10
Acanthizidae	Brown Gerygone	*Gerygone mouki*	4.2	1.9	32	7.3	–0.18 (109)	1
Acanthizidae	Western Gerygone	*Gerygone fusca*	5.4	0.0	1	5.4		10
Acanthizidae	White-throated Gerygone	*Gerygone albogularis*	5.1	3.8	3	11.4		10
Acanthizidae	Striated Thornbill	*Acanthiza lineata*	4.2	2.0	4	7.5		10
Acanthizidae	Yellow Thornbill	*Acanthiza nana*	6.3	2.4	17	10.2	–0.03 (73)	1
Acanthizidae	Yellow-rumped Thornbill	*Acanthiza chrysorrhoa*	6.6	3.7	4	12.7		10
Acanthizidae	Buff-rumped Thornbill	*Acanthiza reguloides*	4.3	1.8	14	7.3	–0.22 (115)	1
Acanthizidae	Brown Thornbill	*Acanthiza pusilla*	6.7	9.9	28	22.9	–0.01 (65)	1
Pardalotidae	Spotted Pardalote	*Pardalotus punctatus*	4.0	1.9	7	7.1		10
Meliphagidae	Eastern Spinebill	*Acanthorhynchus tenuirostris*	5.8	2.6	39	10.1	–0.14 (101)	1
Meliphagidae	Lewin's Honeyeater	*Meliphaga lewinii*	8.2	6.0	32	18.1	–0.13 (100)	1
Meliphagidae	Yellow-faced Honeyeater	*Lichenostomus chrysops*	5.8	3.6	29	11.7	–0.19 (111)	1
Meliphagidae	Singing Honeyeater	*Lichenostomus virescens*	12.0	0.0	1	12.0		10
Meliphagidae	Yellow Honeyeater	*Lichenostomus flavus*	6.4	1.2	6	8.4		10
Meliphagidae	White-eared Honeyeater	*Lichenostomus leucotis*	8.8	3.7	7	14.8		10
Meliphagidae	Fuscous Honeyeater	*Lichenostomus fuscus*	14.6	0.0	1	14.6		10
Meliphagidae	White-plumed Honeyeater	*Lichenostomus penicillatus*	9.8	5.6	23	19	0.01 (59)	1
Meliphagidae	Bell Miner	*Manorina melanophrys*	5.0	3.0	44	9.9	–0.34 (132)	1
Meliphagidae	Noisy Miner	*Manorina melanocephala*	7.5	14.9	37	32	–0.24 (120)	1
Meliphagidae	Spiny-cheeked Honeyeater	*Acanthagenys rufogularis*	9.2	1.3	3	11.4		10
Meliphagidae	Little Wattlebird	*Anthochaera chrysoptera*	7.3	3.0	40	12.2	–0.28 (126)	1
Meliphagidae	Red Wattlebird	*Anthochaera carunculata*	8.7	6.4	15	19.2	–0.25 (122)	1
Meliphagidae	White-fronted Chat	*Epthianura albifrons*	22.6	7.8	23	35.4	0.43 (7)	1
Meliphagidae	Dusky Honeyeater	*Myzomela obscura*	2.0	0.0	1	2.0		10
Meliphagidae	Tawny-crowned Honeyeater	*Glyciphila melanops*	9.8	6.7	11	20.8	0.02 (57)	1
Meliphagidae	Brown Honeyeater	*Lichmera indistincta*	9.8	5.6	16	19.0	0.09 (48)	1
Meliphagidae	New Holland Honeyeater	*Phylidonyris novaehollandiae*	7.9	6	47	17.8	–0.08 (85)	1
Meliphagidae	White-cheeked Honeyeater	*Phylidonyris niger*	2.3	0.0	2	2.3		10
Meliphagidae	Blue-faced Honeyeater	*Entomyzon cyanotis*	30.8	0.0	1	30.8		10
Meliphagidae	Helmeted Friarbird	*Philemon buceroides*	12.0	9.6	20	27.8	–0.10 (91)	10
Meliphagidae	Noisy Friarbird	*Philemon corniculatus*	11.1	5.3	55	19.8	–0.14 (103)	1
Meliphagidae	Little Friarbird	*Philemon citreogularis*	6.8	3.1	2	11.9		10
Meliphagidae	Striped Honeyeater	*Plectorhyncha lanceolata*	4.6	2.3	5	8.4		10
Pomatostomidae	White-browed Babbler	*Pomatostomus superciliosus*	16.9	4.4	2	24.1		10
Pomatostomidae	Chestnut-crowned Babbler	*Pomatostomus ruficeps*	11.8	4.0	2	18.3		10
Orthonychidae	Australian Logrunner	*Orthonyx temminckii*	4.5	1.5	5	7.0		10
Orthonychidae	Chowchilla	*Orthonyx spaldingii*	4.0	0.0	3	4.0		10
Psophodidae	Eastern Whipbird	*Psophodes olivaceus*	5.9	3.3	50	11.3	–0.35 (133)	1
Campephagidae	Black-faced Cuckoo-shrike	*Coracina novaehollandiae*	21.1	13.2	20	42.8	0.13 (33)	1
Campephagidae	White-bellied Cuckoo-shrike	*Coracina papuensis*	7.1	2.6	4	11.4		10
Campephagidae	Varied Triller	*Lalage leucomela*	38.7	0.0	1	38.7		10
Pachycephalidae	Crested Shrike-tit	*Falcunculus frontatus*	8.5	6.6	4	19.4		10
Pachycephalidae	Olive Whistler	*Pachycephala olivacea*	3.8	1.6	6	6.5		10
Pachycephalidae	Golden Whistler	*Pachycephala pectoralis*	7.9	3.9	18	14.3	–0.11 (94)	1
Pachycephalidae	Rufous Whistler	*Pachycephala rufiventris*	5.2	2.0	4	8.5		10

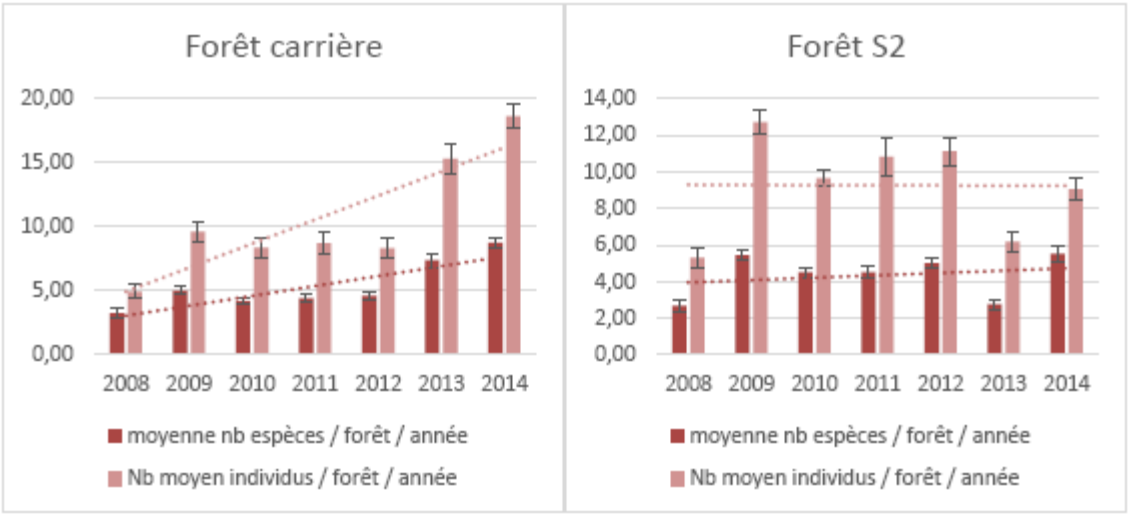
(continued next page)

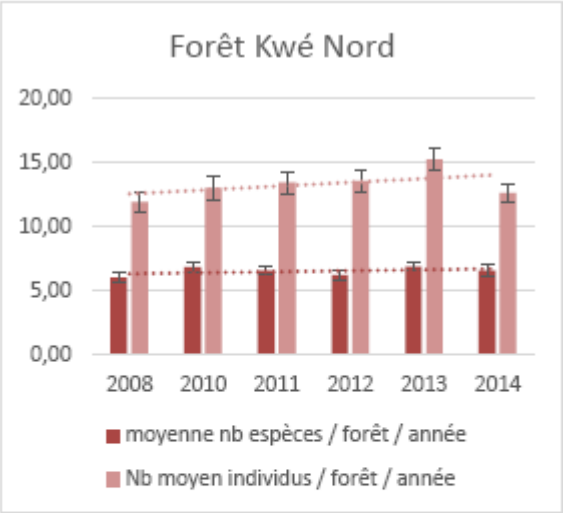
Family	English name	Scientific name	Mean	s.d.	*n*	95th percentile	Residual (rank)	Source
Pachycephalidae	Grey Shrike-thrush	*Colluricincla harmonica*	12.8	11.4	15	31.6	–0.02 (68)	1
Oriolidae	Australasian Figbird	*Sphecotheres vieilloti*	7.8	3.7	12	13.9	–0.33 (130)	10
Oriolidae	Olive-backed Oriole	*Oriolus sagittatus*	11.3	5.9	33	21.0	–0.12 (97)	1
Artamidae	White-breasted Woodswallow	*Artamus leucorynchus*	15.8	1.6	2	18.5		10
Artamidae	Masked Woodswallow	*Artamus personatus*	6.5	4.9	2	14.6		10
Artamidae	Black-faced Woodswallow	*Artamus cinereus*	11.8	5.6	3	21.1		10
Artamidae	Grey Butcherbird	*Cracticus torquatus*	19.3	13.3	10	41.2	0.11 (35)	1
Artamidae	Pied Butcherbird	*Cracticus nigrogularis*	9.5	4.9	8	17.5		10
Artamidae	Australian Magpie	*Cracticus tibicen*	10.9	8.7	91	25.2	–0.26 (124)	1
Artamidae	Australian Magpie[E]	*Cracticus tibicen*	40.3	28.2	21	86.6		7
Artamidae	Australian Magpie[F]	*Cracticus tibicen*	11.1	5.9	27	20.8		7
Artamidae	Pied Currawong	*Strepera graculina*	15.1	11.6	26	34.2	–0.15 (104)	1
Dicruridae	Spangled Drongo	*Dicrurus bracteatus*	15.4	5.3	9	24.1		10
Rhipiduridae	Rufous Fantail	*Rhipidura rufifrons*	6.4	2	11	9.7	–0.08 (83)	1
Rhipiduridae	Grey Fantail	*Rhipidura albiscapa*	6.8	4.3	37	13.9	–0.03 (72)	1
Rhipiduridae	Willie Wagtail	*Rhipidura leucophrys*	11.8	9.7	46	27.8	0.10 (45)	1
Rhipiduridae	Willie Wagtail[E]	*Rhipidura leucophrys*	23.5	12.1	21	43.4		7
Rhipiduridae	Willie Wagtail[F]	*Rhipidura leucophrys*	8.7	4.5	20	16.2		7
Corvidae	Australian Raven	*Corvus coronoides*	25.8	22.2	63	62.3	–0.01 (64)	1
Corvidae	Torresian Crow	*Corvus orru*	19.0	6.2	5	29.2		10
Monarchidae	Leaden Flycatcher	*Myiagra rubecula*	10.0	0.0	1	10.0		10
Monarchidae	Satin Flycatcher	*Myiagra cyanoleuca*	9.7	8.1	2	22.9		10
Monarchidae	Black-faced Monarch	*Monarcha melanopsis*	11.0	9.2	6	26.2		10
Monarchidae	Spectacled Monarch	*Symposiarchus trivirgatus*	5.7	2.9	3	10.4		10
Monarchidae	Magpie-lark	*Grallina cyanoleuca*	19.0	10.5	97	36.3	0.38 (11)	1
Monarchidae	Magpie-lark[E]	*Grallina cyanoleuca*	35.0	N/A	N/A	N/A		8
Monarchidae	Magpie-lark[F]	*Grallina cyanoleuca*	12.0	N/A	N/A	N/A		8
Monarchidae	Magpie-lark[E]	*Grallina cyanoleuca*	35.4	13.9	22	58.3		7
Monarchidae	Magpie-lark[F]	*Grallina cyanoleuca*	11.5	7.6	33	24.0		7
Corcoracidae	White-winged Chough	*Corcorax melanorhamphos*	16.2	7.3	14	28.2	–0.13 (99)	1
Corcoracidae	Apostlebird	*Struthidea cinerea*	20.7	23.8	4	59.9		10
Paradisaeidae	Victoria's Riflebird	*Ptiloris victoriae*	6.5	0.7	2	7.7		10
Petroicidae	Scarlet Robin	*Petroica boodang*	8.0	0.0	1	8.0		10
Petroicidae	Rose Robin	*Petroica rosea*	13.1	9.8	2	29.2		10
Petroicidae	Pale-yellow Robin	*Tregellasia capito*	8.5	1.7	3	11.3		10
Petroicidae	Eastern Yellow Robin	*Eopsaltria australis*	9.9	5.6	77	19.1	0.01 (60)	1
Petroicidae	Grey-headed Robin	*Heteromyias cinereifrons*	9.2	6.9	26	20.6	–0.10 (90)	9
Cisticolidae	Golden-headed Cisticola	*Cisticola exilis*	5.4	3.0	41	10.3	–0.11 (95)	1
Acrocephalidae	Australian Reed-Warbler	*Acrocephalus australis*	11.5	9.4	20	26.9	0.10 (40)	1
Megaluridae	Tawny Grassbird	*Megalurus timoriensis*	6.0	3.6	7	12.0		10
Megaluridae	Little Grassbird	*Megalurus gramineus*	6.5	5.1	6	14.9		10
Timaliidae	Silvereye	*Zosterops lateralis*	6.1	3.8	34	12.4	–0.11 (96)	1
Hirundinae	Welcome Swallow	*Hirundo neoxena*	11.0	5.6	32	20.2	0.11 (38)	1
Hirundinidae	Fairy Martin	*Petrochelidon ariel*	8.9	4.5	2	16.4		10
Pycnonotidae	Red-whiskered Bulbul	*Pycnonotus jocosus*	18.4	13.2	25	40.1		1
Turdidae	Bassian Thrush	*Zoothera lunulata*	8.9	3.1	31	13.9	–0.26 (125)	1
Turdidae	Russet-tailed Thrush	*Zoothera heinei*	11.0	6.2	4	21.1		10
Turdidae	Common Blackbird[E]	*Turdus merula*	35.5	17.5	20	64.2	–0.10 (93)	7
Turdidae	Common Blackbird[F]	*Turdus merula*	11.6	8.4	30	25.3		7
Sturnidae	Common Starling	*Sturnus vulgaris*	13.6	9.0	32	28.4	–0.02 (69)	1
Sturnidae	Common Myna	*Sturnus tristis*	11.6	9.4	40	27.1	–0.15 (105)	1
Nectariniidae	Olive-backed Sunbird	*Nectarinia jugularis*	10.9	5.7	7	20.2		10
Estrildidae	Zebra Finch	*Taeniopygia guttata*	14.7	11.3	10	33.2	0.25 (18)	10
Estrildidae	Double-barred Finch	*Taeniopygia bichenovii*	6.2	3.5	7	12.1		10
Estrildidae	Red-browed Finch	*Neochmia temporalis*	7.5	5.1	51	15.9	–0.03 (70)	1
Estrildidae	Nutmeg Mannikin	*Lonchura punctulata*	11.0	6.3	43	21.4	0.10 (42)	1
Estrildidae	Chestnut-breasted Mannikin	*Lonchura castaneothorax*	14.4	4.5	10	21.8	0.23 (23)	1
Passeridae	House Sparrow	*Passer domesticus*	13.2	8.6	18	27.3	0.11 (37)	1
Passeridae	Eurasian Tree Sparrow	*Passer montanus*	8.0	3.0	15	12.9	–0.08 (84)	1

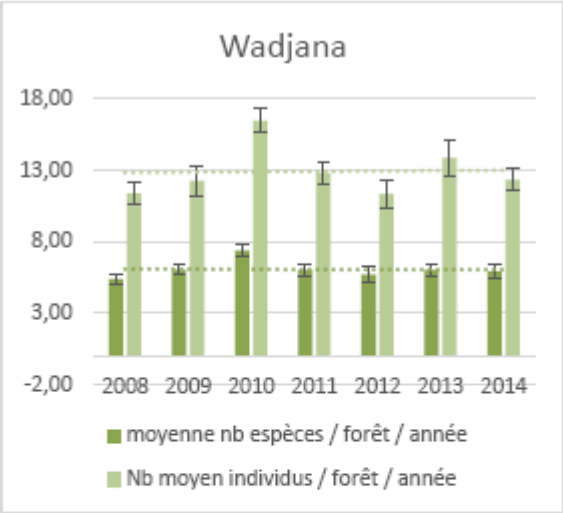
(*continued next page*)

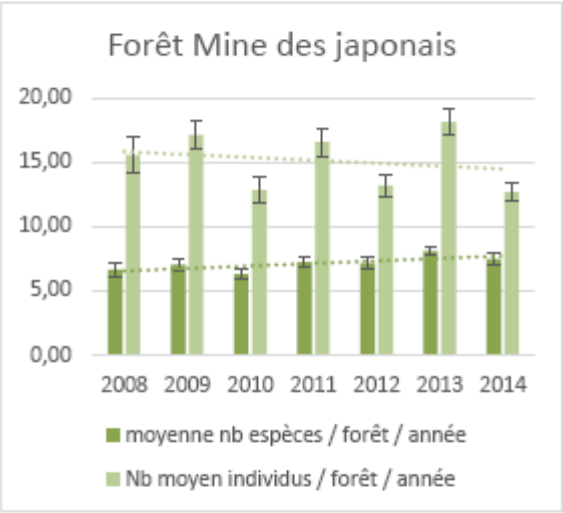
Annexe IX : Suivi de l'avifaune dans le Grand Sud Calédonien (Desmoulins, 2014)

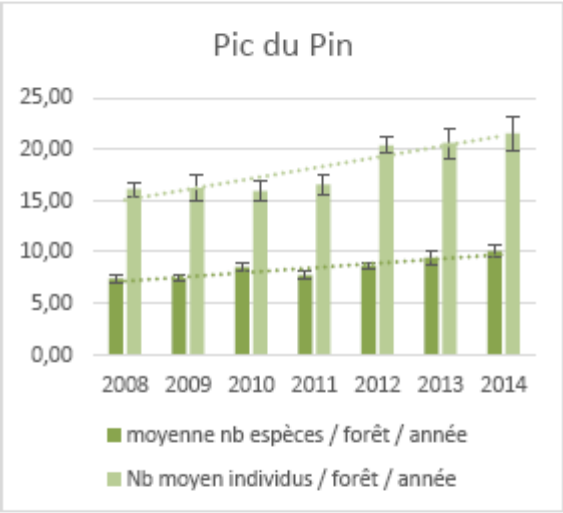


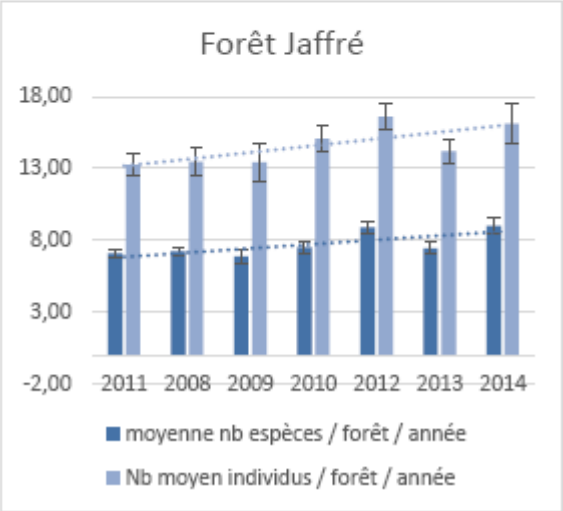


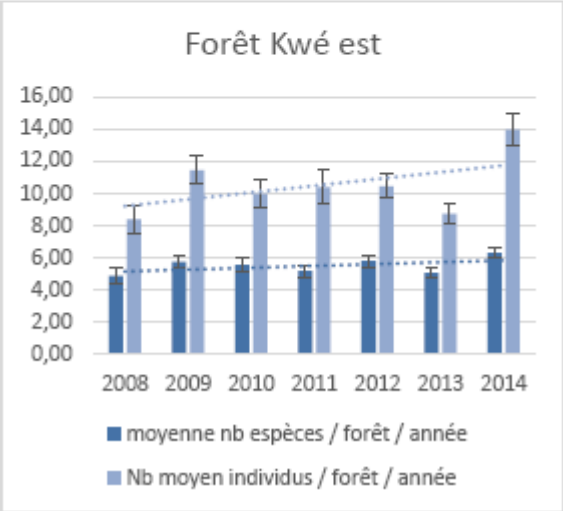

Forêt Kwé Nord
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
2008 2010 2011 2012 2013 2014
moyenne nb espèces / forêt / année
Nb moyen individus / forêt / année

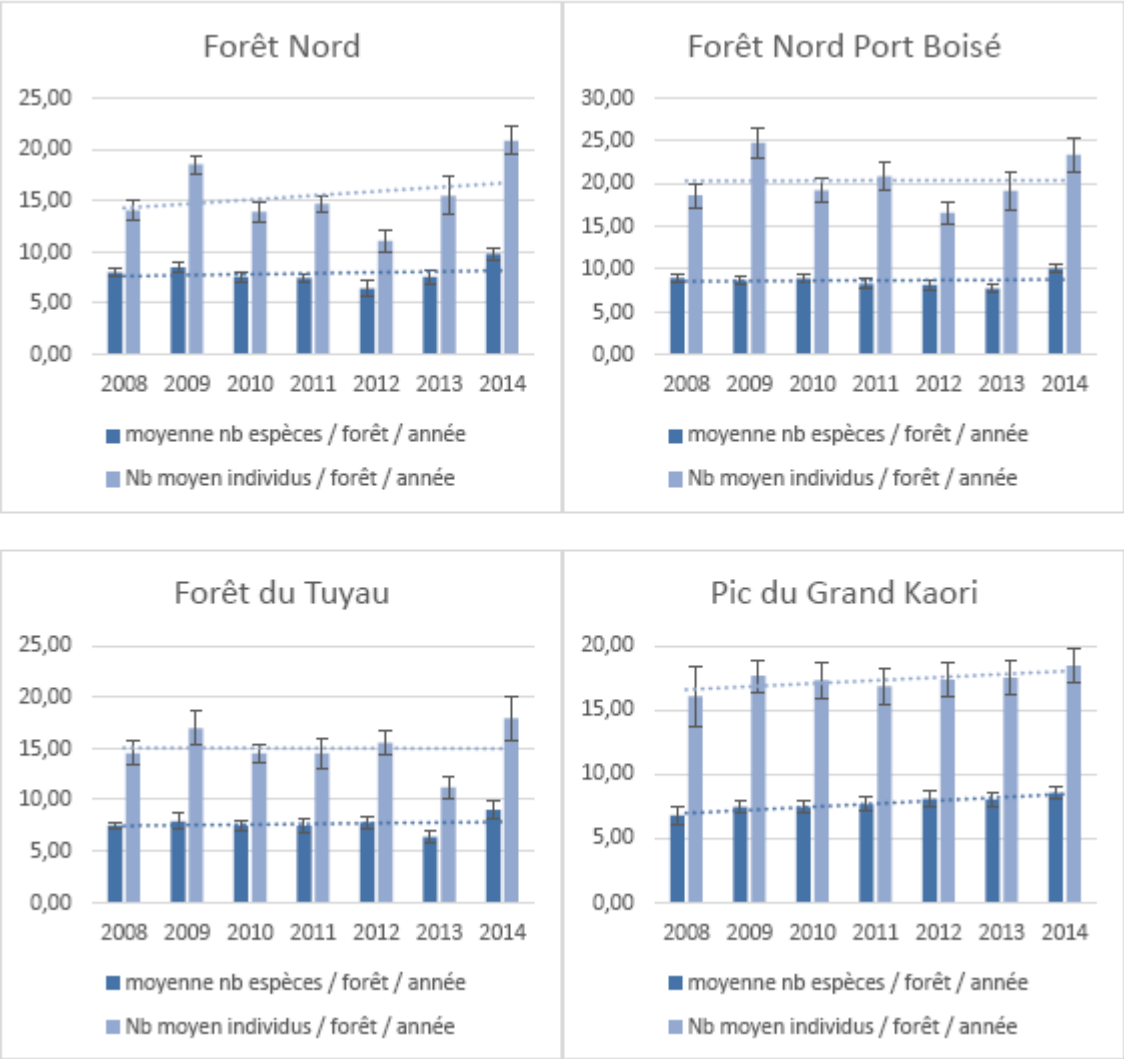

Wadjana
18,00
13,00
8,00
3,00
-2,00
2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014
moyenne nb espèces / forêt / année
Nb moyen individus / forêt / année


Forêt Mine des japonais
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014
moyenne nb espèces / forêt / année
Nb moyen individus / forêt / année


Pic du Pin
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014
moyenne nb espèces / forêt / année
Nb moyen individus / forêt / année


Forêt Jaffré
18,00
13,00
8,00
3,00
-2,00
2011 2008 2009 2010 2012 2013 2014
moyenne nb espèces / forêt / année
Nb moyen individus / forêt / année


Forêt Kwé est
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014
moyenne nb espèces / forêt / année
Nb moyen individus / forêt / année

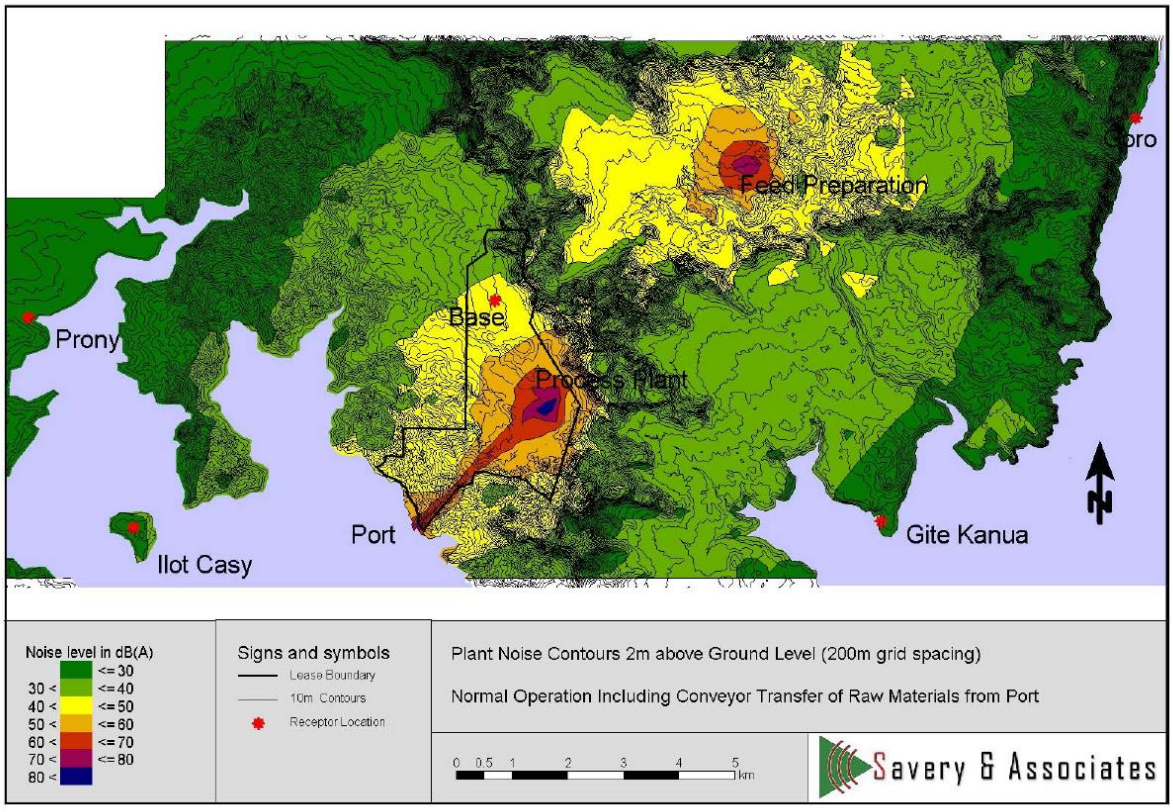


Annexe X : Avifaune relevée au Grand Sud calédonien (Desmoulins et Barré, 2014) et distance de fuite associée (Weston et al, 2012)

Espèce	Distance de fuite	Espèce	Distance de fuite
Aigrette à face blanche	~30m	Méliphage à oreillons gris	~10m
Cormoran pie	~20m	Méliphage barré	~5m
Autour à ventre blanc	~25m	Polochion moine	~10m
Milan siffleur	~30m	Myzomèle calédonien	~2m
Notou	~20m	Gérygone mélanésienne	~5m
Pigeon à gorge blanche	~25m	Miro à ventre jaune	~10m

Colombine turvert	~15m	Siffleur calédonien	~5m
Perruche à front rouge	**?**	Siffleur itchong	~5m
Loriquet à tête	~10m	Corbeau calédonien	~25m
Coucou éclatant	**?**	Langrayen à ventre blanc	~15m
Coucou à éventail	~10m	Echenilleur calédonien	~15m
Salangane soyeuse	**?**	Echenilleur pie de Nouvelle-Calédonie	~40m
Martin-chasseur sacré	~20m	Rhipidure à collier	~10m
Stourne calédonien	~10m	Rhipidure tacheté	~10m
Zostérops à dos vert	~5m	Monarque brun	~10m
Diamant psittaculaire	~10m	Monarque mélanésien	~10m

Annexe XI : Carte des bruits du plateau de Goro (Savery & Associates, 2007)



Annexe XII : Tableau comparatif de différents types de merlons anti-bruit (Kotzen B, 1999)

TABLEAU RÉCAPITULATIF

Critère/type	métal				béton		bois				transparent			écrans recouverts de verdure	mur de terre
	acier		aluminium				tropical		indigène (traité)						
	A	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A	NA	verre	PC	PMMA		
Protection acoustique	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Absorption acoustique	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	0	0
Poids par m²	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	+
Écologique	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Flexibilité (forme)	-	-	-	-	+	+	0	0	0	0	0	+	+	0	0
Flexibilité (couleur)	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0	-	-	-	PA	PA
Espace nécessaire	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Intégration dans le paysage	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	0	0	0	+	+
Obstruction du champ de vision	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-
Longévité	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+
Résistance aux conditions climatiques	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+
Résistance au vandalisme	-	0	-	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	+	+
Capacité de résistance au vent	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	+
Fréquence des entretiens	0	0	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coûts d'installation	-	0	-	0	0	-	0	0	0	0	+	+	+	0	+
Coûts d'entretien	-	-	-	-	0	+	0	0	0	0	0	0	0	-	0

LEGENDE

A Ecran avec des propriétés d'absorption
NA Ecran sans propriété d'absorption
PC Ecran en polycarbonate

PA Critère non applicable à ce type d'écran
+ Le type d'écran apporte une réponse favorable au critère
0 Le type d'écran est neutre par rapport au critère
- Le type d'écran apporte une réponse défavorable au critère

* *Elément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires*

AGRO CAMPUS OUEST	Diplôme : Ingénieur de l'institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage Spécialité : horticulture et paysage Spécialisation / option : Gestion des Milieux Naturels (Agroparistech Nancy) Enseignant référent : Rosalinde VAN COUWENBERGHE

Auteur(s) : Sébastien UTARD

Date de naissance* : 22/06/1992

Nb pages : 82 Annexe(s) : 12

Année de soutenance :

2016

Organisme d'accueil :

Direction de l'environnement de la Province Sud

Adresse :

8 route des Artifices

98849 Nouméa, Nouvelle-Calédonie

France

Maître de stage : François Leborgne

Titre français : Caractérisation de connectivité écologique du Grand Sud calédonien par une approche paysagère

Titre anglais : Characterization of the Caledonian's « Grand Sud » écological connectivity by a landscape gait

Résumé :

La Nouvelle-Calédonie, « HotSpot » de la biodiversité mondiale, voit ses paysages soumis à la fragmentation. Les Forêts denses humides sempervirentes, réservoirs de biodiversité dans le paysage du Grand Sud calédonien, sont les plus particulièrement touchées de par le feu, l'exploitation forestière et l'activité minière intense alentours. Les pertes biologiques sont considérables et les acteurs du territoire cherchent à contrer ce fléau. Cependant le manque de vision du fonctionnement global des continuités écologiques du paysage forestier empêche la mise en place de mesures réellement effectives. Cette étude consiste en la caractérisation de ces continuités écologiques et des mesures adaptées à leurs maintiens.

Dans un premier volet les forêts sont cartographiées et les continuités écologiques sont définies par une approche fonctionnelle et une approche structurelle. Un second volet identifie 4 zones primordiales pour le maintien des connectivités et donne des recommandations à l'attention des gestionnaires pour contrer la fragmentation et assurer le maintien des connectivités.

Abstract :

New Caledonia, and especially the « Grand Sud » region, as a Hotspot of biodiversity worldwide , sees its landscape subject to fragmentation. The rainforest, tank of biodiversity, is heavily impacted by the fragmentation effect due to the mining activity in the area. Loss are heavy and competent authority are attempting to block this scourge. However, the lack of vision of the features of the all landscape prohibits the establishment of an efficient conservation program. This study is aimed to characterize how the landscape connectivity works in this area and how to manage it.

In a first place the nodes of rainforest are mapped then 2 methods of structural and functionnal characterization of the ecological corridor are used. The second part of the study identify 4 area where it is primordial to engage restauration action in order to stop the fragmentation and give some advices for the administrator of the area to follow in order to maintain the landscape connectivity.

Mots-clés : Nouvelle-Calédonie, Grand Sud, connectivité, fragmentation, forêts dense humide, corridors écologiques

Key Words : New Caledonia, « Grand Sud », landscape connectivity, fragmentation, rainforest, ecological corridors