



© Chris DOUGHTY

Etude de la faisabilité de la mise en place d'un Indicateur Avifaune Terrestre en Nouvelle- Calédonie (IAT-NC) à des fins de diagnostics environnementaux

Rapport final

Avril 2024

(Contrat de collaboration de recherche IAC/CEIL)

Thomas BOUYARD

Fabrice BRESCIA

Adrien BERTAUD

Alexandre MILLON

Etude de la faisabilité de la mise en place d'un Indicateur Avifaune Terrestre en Nouvelle- Calédonie (IAT-NC) à des fins de diagnostics environnementaux

Thomas BOUYARD

Fabrice BRESCIA

IAC



Adrien BERTAUD

OEIL-Observatoire de l'Environnement



Alexandre MILLON

Aix Marseille Université- IMBE



Avril 2024

Citation recommandée : Bouyard T., Brescia F., Bertaud A., Millon A. 2024. *Etude de la faisabilité de la mise en place d'un Indicateur Avifaune Terrestre en Nouvelle-Calédonie (IAT-NC) à des fins de diagnostics environnementaux. Contrat de collaboration IAC/OEIL/ AMU-IMBE. Rapport final. Avril 2024. 48p.*

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

DEFINITIONS

RESUME

INTRODUCTION	3
PARTIE 1 – ÉTAT DE L’ART : LES OISEAUX COMME INDICATEURS ÉCOLOGIQUES	5
I.1. UTILITÉ DES INDICATEURS ÉCOLOGIQUES ET AVIFAUNISTIQUES	5
I.1.1. Définition et objectifs des indicateurs écologiques	5
I.1.2. Les oiseaux comme indicateurs des changements globaux.....	5
I.1.3. Le suivi temporel des oiseaux communs terrestres.....	6
PARTIE 2 – ÉTAT DES LIEUX DES SUIVIS AVIFAUNISTIQUES PASSÉS ET ACTUELS EN NOUVELLE- CALÉDONIE : L’INFLUENCE DU CONTEXTE MINIER	7
II.1. CONTEXTE GÉNÉRAL.....	7
II.1.1. Acteurs impliqués dans les suivis	7
II.1.2. Origine et cadre réglementaire	8
II.2. COLLECTE DES DONNÉES	10
II.2.1. Accessibilité et données actuellement disponibles.....	10
II.2.2. Répartition géographique des suivis passés et actuels	13
II.3. CARACTÉRISATION DES SUIVIS AVIFAUNISTIQUES DE NOUVELLE-CALEDONIE	14
II.3.1. Protocole, méthodologie et types de suivis	14
II.3.2. Stratégie et effort d’échantillonnage	15
II.4. ÉVALUATION DE L’EXPLOITABILITÉ DES DONNÉES EXISTANTES	16
II.4.1. Structuration des données	16
II.4.2. Stratégie et effort d’échantillonnage	17
II.4.3. Utilisation des données dans le cadre d’un outil de bio-indication	18
PARTIE 3 – RECOMMANDATIONS POUR AMÉLIORER LES SUIVIS AVIFAUNISTIQUES EN VUE DE DÉVELOPPER UN OUTIL DE BIO-INDICATION EN NOUVELLE-CALÉDONIE.....	19
III.1. RECOMMANDATIONS À L’ÉCHELLE DES SITES MINIERS	19
III.1.1. Standardisation du protocole.....	20
III.1.2. Stratégie et effort d’échantillonnage	22
III.1.3. Analyser l’impact des activités minières	24
III.1.4. Stratégie de gestion et d’analyse des données.....	26

III.2. RECOMMANDATIONS POUR LE DÉVELOPPEMENT D'UNE BIO-INDICATION À L'ÉCHELLE DU PAYS.....	27
III.2.1. Elaborer une stratégie d'échantillonnage à même de répondre aux enjeux de Biodiversité en Nouvelle-Calédonie	28
III.2.2. Proposition d'une typologie des habitats.....	30
III.2.3. Relevé de variables environnementales et fragmentation forestière	31
III.3. LA DIVERSITE FONCTIONNELLE : UNE PISTE POUR AMELIORER LA BIO-INDICATION	31
III.3.1. Définition et intérêt de la diversité fonctionnelle	32
III.3.2. Traits fonctionnels et écologie des espèces avifaunistiques néo-calédoniennes	33
III.3.3. Tests d'analyses sur la diversité fonctionnelle	34
III.3.4. Amélioration des connaissances générales sur l'avifaune terrestre néo-calédonienne....	38
IV. CONCLUSION	39
BIBLIOGRAPHIE.....	41
ANNEXE	45

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'équipe de l'OEIL pour son soutien et sa confiance pour la réalisation de ce travail dédié aux suivis avifaunistiques.

Un grand merci à Eric Vidal de l'IRD-ENTROPIE pour ses conseils avisés et relecture du document.

Et à tous les détenteurs de données oiseaux ainsi que les ornithologues cités dans le présent rapport qui ont acceptés bien généreusement de partager leurs données de suivis dans le cadre de cette étude.

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1. Principales sources de données identifiées au cours de cette étude.

Tableau 2. Liste des bureaux d'études et consultants contactés dans le cadre de cette étude.

Figure 1. Répartition des points d'écoute réalisés en Nouvelle-Calédonie et en fonction des différents types de suivis.

Figure 2. Courbes de richesse spécifique cumulées pour trois saisons de suivis sur le plateau de Goro (2011, 2012, 2013) d'après la méthode de Scheiner *et al.*, (2013).

Figure 3. Extrait du modèle de structuration standard de relevé des données.

Figure 4. Extrait du tableau d'écologie des espèces utilisé pour l'analyse.

Figure 5. Évolution des trois indices de diversité fonctionnelle sur le plateau de Goro (richesse, équitabilité et divergence fonctionnelle) par patch forestier et par année, de 2008 à 2014.

DEFINITIONS

Espèce nicheuse : espèce observée pendant la période de nidification dans un biotope favorable.

Espèce migratrice : espèce dont les individus se déplacent périodiquement en fonction de l'époque de l'année. Contraire de sédentaire, se dit d'une espèce dont les individus ne se déplacent que très peu.

Espèce occasionnelle ou accidentelle : oiseau égaré hors de sa zone de présence habituelle

Espèce introduite : espèce dont un(des) individu(s) d'une espèce ont été déplacés par l'Homme de manière volontaire ou involontaire sur un territoire donné à un moment donné.

Habitat (naturel) : un ensemble indissociable avec :

i) une faune, avec des espèces ayant tout ou partie de leurs diverses activités vitales sur l'espace considéré ; ii) une végétation (herbacée, arbustive et arborescente) ; iii) un compartiment stationnel (conditions climatiques, sols et leurs propriétés physico-chimiques).

Un habitat ne se réduit pas à la seule végétation. Mais celle-ci, par son caractère intégrateur (synthétisant les conditions de milieu et de fonctionnement du système) est considérée comme un bon indicateur et permet de déterminer l'habitat.

Milieu (de vie) : correspond à un habitat d'espèce (zone de reproduction, zone d'alimentation, zone de chasse ...). Il peut comprendre plusieurs habitats naturels.

Placette d'écoute : emplacement fixe pour la réalisation d'un relevé avifaunistique, le point d'écoute. Des informations complémentaires peuvent être renseignées telles que les caractéristiques du milieu, l'altitude, ou encore la commune dans laquelle se trouve la placette d'écoute.

Point d'écoute : relevé des oiseaux vus et entendus par espèce (et éventuellement le sexe et l'âge en fonction des objectifs de l'étude et si l'espèce s'y prête) durant une durée prédéfinie.

Site d'étude : unité délimitée géographiquement et représentant dans le cadre des objectifs de l'étude pour lequel il est défini, une unité du paysage à inventorier (ex : une partie d'un massif minier).

STOT : Suivi Temporel des Oiseaux Terrestres

RESUME

Très peu d'indicateurs écologiques dédiés à l'avifaune terrestre en milieux tropicaux ont été développés contrairement aux milieux tempérés.

En Nouvelle-Calédonie, une première réflexion et des premiers travaux ont été initiés sur le groupe des oiseaux dans les années 2000 (Desmoulins & Barré, 2004). Depuis, de nombreux suivis et inventaires avifaunistiques ont été réalisés en Nouvelle-Calédonie sur un certain nombre de sites souvent sur la base de prescriptions réglementaires imposées à des acteurs privés (mines, aménagements...). Ainsi, de nombreuses données ont été accumulées depuis plusieurs années, dans des contextes variés et récoltées *a priori* selon un protocole globalement homogène ; celles-ci sont détenues par de nombreux acteurs différents.

Dans le cadre d'une collaboration entre l'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie – OEIL et l'Institut Agronomique néo-Calédonien – IAC, une réflexion s'est construite autour d'une étude de faisabilité pour le développement d'un Indicateur de l'Avifaune Terrestre en Nouvelle-Calédonie (IAT-NC) en partenariat avec l'IRD – Institut de Recherche pour le Développement et l'IMBE – Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie d'Aix Marseille Université. Le but de cette étude de faisabilité est ainsi d'accompagner l'OEIL dans la réflexion qui doit mener à **évaluer la faisabilité de la mise en place d'un indicateur de l'avifaune terrestre en Nouvelle-Calédonie**, dans un premier temps à partir des données existantes, puis dans un second dans la formulation de recommandations d'améliorations pour valoriser les suivis avifaunistiques futurs.

L'étude qui s'est déroulée sur 6 mois, visait à i) inventorier les différentes sources de données , ii) initier la centralisation des données auprès des partenaires, iii) caractériser les suivis déjà réalisés en identifiant leurs limites et leurs potentiels éventuels de valorisation, par une analyse critique de leur pertinence, iv) diagnostiquer la faisabilité de construire un bio-indicateur à partir de ces suivis avifaunistiques et préciser les éventuelles questions et problématiques environnementales auxquelles il pourrait permettre de répondre, v) formuler des recommandations et pistes d'amélioration, notamment de standardisation des protocoles actuellement mis en œuvre et afin de permettre la mise en place d'un indicateur de l'avifaune terrestre néo-calédonienne, vi) définir un modèle de structuration standard pour la bancarisation des données.

Un recensement de l'ensemble des acteurs impliqués (plus d'une vingtaine) dans les suivis avifaunistiques a été mené afin d'étudier l'accessibilité et la disponibilité des données collectées. Nous avons pu avoir accès aux informations auprès de 7 détenteurs de données, représentant un total de 6100 placettes d'écoute ; 110 documents ont également été récupérés et 16 réunions ont été organisées pour conduire ce projet. **Les exploitants miniers sont les principaux détenteurs de données de suivis avifaunistiques** en Nouvelle-Calédonie, du fait principalement du contexte réglementaire qui leur impose d'effectuer des suivis sur leurs sites d'exploitations. Sur la totalité des données que nous avons pu récupérer, 27 sites miniers font l'objet d'un suivi avifaunistique. Les exploitants miniers font appel à des bureaux d'études pour réaliser les suivis. Malheureusement, il s'avère que **les protocoles et les stratégies d'échantillonnage actuelles et passées ne permettent pas de répondre à l'objectif d'évaluation de l'impact minier** du fait de nombreux biais dans les protocoles et la prise de données. **La mise en place d'un Indicateur Avifaune Terrestre en Nouvelle-Calédonie (IAT-NC) à des fins de diagnostics environnementaux basé sur la masse de données de suivis antérieurs existants, qui s'avèrent être inexploitables, n'est ainsi pas possible.**

Cet état des lieux a permis de proposer plusieurs pistes d'amélioration majeures des suivis actuels et des pistes pour le développement d'un outil de bio-indication oiseaux à l'échelle du pays. Les principales recommandations établies à la suite de ce travail concernent la caractérisation des sites (types d'habitats, superficies et types de perturbations) et des types de pressions liées à l'activité minière. Ces deux variables sont cruciales si l'on souhaite comprendre l'impact minier. Pour cela, il est nécessaire de s'insérer dans une démarche de mise en place de suivis de type BACI (Before and After Control Impact) ou BDACI (Before-During-After Control-Intervention) consistant à effectuer en parallèle le suivi de zones sous influence et hors influence.

L'évaluation des données et des protocoles à travers la lecture des rapports d'études a aussi permis de **proposer un modèle standard de structuration des données**, nécessaire à leur exploitation scientifique et à leur bancarisation. Nous avons en effet pu mettre en évidence que les jeux de données disponibles étaient structurés selon des modalités et des codifications variables ce qui ne contribue pas à atteindre un objectif de bancarisation optimale.

Ce travail préliminaire a également permis une analyse bibliographique commentée de l'écologie des espèces (près d'une centaine d'espèces sur les 115 taxons nicheurs) à partir de références et de bases de données locales et internationales. Cette compilation inédite sous forme d'un tableau comprend un grand nombre d'informations concernant **les traits fonctionnels des espèces** comme la morphologie (e.g. poids, longueur du bec, longueur du tarse, longueur de l'aile), les traits reproducteurs (e.g. taille de ponte, mode de nidification), le régime alimentaire, ou encore des informations liées à la gestion et à la conservation des espèces (e.g. statuts UICN, chasse, protection). Ce travail de synthèse unique participe à une amélioration des connaissances locales sur l'avifaune terrestre notamment celles en lien avec les travaux de restauration des sites miniers ou encore les interactions flore/oiseaux disperseurs.

Il est impératif de faire évoluer très sensiblement la stratégie et les protocoles actuels et de sortir du cadre mis en place qui s'avère largement inefficace si l'on souhaite réellement caractériser les impacts des activités minières sur les communautés d'oiseaux terrestres ou utiliser les communautés d'oiseaux terrestres comme marqueurs ou indicateurs de l'impact des activités minières sur les écosystèmes.

La multiplication et la diversité des détenteurs de données et des opérateurs récoltant ces données compliquent leur partage, leur accès, leur récupération et leur analyse. Une centralisation des données au sein d'une structure ad hoc faciliterait la coordination des efforts à l'échelle du pays et les études à long-terme. De même, une structure devra être identifiée en vue de l'analyse des données qui peut s'avérer être relativement complexe et qui nécessiterait de combiner des données avifaunes avec des données environnementales.

INTRODUCTION

La Nouvelle-Calédonie est un hot spot mondial de biodiversité (Myers *et al.*, 2000) notamment pour son patrimoine avifaunistique (Spaggiari *et al.*, 2007). On dénombre actuellement 214 taxons, 115 nicheurs et 86 migrateurs ou accidentels, et 13 introduits (Barré *et al.*, 2009). Parmi les oiseaux terrestres, on compte 90 espèces nicheuses, dont 24 espèces endémiques et 33 sous-espèces endémiques (Spaggiari *et al.*, 2007).

Plusieurs programmes de recherches initiés au début des années 2000 avaient permis une meilleure connaissance de l'avifaune, des menaces, des enjeux de conservation globaux et des zones d'intérêt prioritaires (Spaggiari *et al.*, 2007). La plupart des plans de sauvegarde des espèces emblématiques du territoire (e.g. Perruche d'Ouvéa *Eunymphicus uvaeensis*, Cagou huppé *Rhynochetos jubatus*) n'ont pas été maintenus dans le temps ou se sont essoufflés. Il n'y a pas non plus d'ouvrage exhaustif rassemblant l'ensemble des connaissances écologiques sur les oiseaux néo-calédoniens. À défaut, ce sont des guides spécifiques sur les oiseaux des forêts, de la chaîne centrale (Chartendault *et al.*, 2007) ou des guides régionaux sur les oiseaux de Mélanésie qui font office de références (Doughty *et al.*, 1999 ; Dutson, 2011). À notre connaissance, la dernière révision de la Liste rouge des oiseaux de Nouvelle-Calédonie date de 2009 (Barré *et al.*, 2009). Aujourd'hui, on constate un besoin d'actualisation et d'amélioration des connaissances sur l'écologie des espèces néo-calédoniennes, et notamment des oiseaux terrestres nicheurs pour lesquelles des informations écologiques de base demeurent toujours manquantes (e.g. saisons et succès de reproduction, régimes alimentaires, menaces, tendances démographiques).

Néanmoins, la Nouvelle-Calédonie n'est pas une exception puisqu'à l'échelle régionale il est aussi constaté un déficit de connaissances sur l'écologie et la phénologie des espèces en milieu tropical (Sekercioglu, 2012 ; Xiao *et al.*, 2017). De même, il existe très peu d'indicateurs écologiques dédiés aux oiseaux en milieux tropicaux contrairement aux milieux tempérés où les études sont abondantes (Fraixedas *et al.*, 2020). La plupart de ces indicateurs ont été développés en Europe et couvrent généralement des habitats agricoles et forestiers (Fraixedas *et al.*, 2020).

Une première réflexion et des premiers travaux avaient été initiés au début des années 2000 par l'IAC (Desmoulin & Barré, 2004) puis poursuivis dans les années 2010 par la Société néo-Calédonienne d'Ornithologie (SCO) (Baby, 2011) pour développer un indicateur « oiseaux » en Nouvelle-Calédonie. Le groupe des oiseaux terrestres semble être un groupe faunistique pertinent sur lequel pourrait être conduite une réflexion autour de la notion d'indices écologiques. À ce jour, il existe peu d'outils de bio-indication des milieux terrestres néo-calédoniens. L'Indice Patrimonial Avifaunistique (IPA) développé par Desmoulin et Barré (2004) constitue aujourd'hui le seul outil disponible dans le cadre des diagnostics environnementaux utilisés par la Province Sud et l'OEIL (Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie). Cet indice compile les scores du nombre d'espèces contactées, du nombre d'individus contactés, du nombre d'espèces endémiques et du nombre d'espèces patrimoniales référencées par l'UICN (Notou, Perruche à front rouge, Autour à ventre blanc), pour chaque point d'écoute. Les valeurs données sont les suivantes : score nombre d'espèces : 1 à 3 ; score nombre d'individus : 1 à 3 ; score nombre d'espèces endémiques : 1 à 3 ; score nombre d'espèce menacées U.I.C.N. : 1 à 3. Cet indice, gradué de 1 à 12 identifie de manière précise les milieux et les zones à plus forte valeur avifaunistique. Outre le fait qu'aucune publication scientifique ne vienne valider cet indice, ses principales limites actuelles sont qu'il n'intègre pas les effets des pressions anthropiques et les changements environnementaux, et qu'il a été conçu spécifiquement pour le Plateau de Goro.

Il existe donc aujourd'hui un besoin important de disposer d'outils de bio-indications afin d'évaluer la santé des milieux et des populations d'oiseaux terrestres néo-calédoniennes.

Depuis de nombreuses années des suivis et inventaires avifaunistiques sont réalisés en Nouvelle-Calédonie sur un certain nombre de sites souvent sur la base de prescriptions réglementaires imposées dans le cadre de l'exploitation de sites industriels et miniers ou bien sur des secteurs soumis à des projets d'aménagement urbain. De nombreux acteurs participent et sont impliqués dans ces inventaires et suivis : bureaux d'études, associations naturalistes, exploitants miniers, aménageurs, scientifiques, etc. Cela signifie que de nombreuses données ont été accumulées depuis plusieurs années, dans des contextes variés et récoltées *a priori* selon un protocole globalement homogène. Cela signifie aussi que ces données sont détenues par de nombreux acteurs différents, et qu'il y a un enjeu à les centraliser et tenter de les valoriser au travers du développement d'un indicateur écologique.

Ces différents éléments placent le groupe des oiseaux terrestres comme un bon candidat pour le développement d'un outil de bio-indication qui contribuerait grandement aux suivis et diagnostics des milieux terrestres de Nouvelle-Calédonie. Dans le cadre d'une collaboration entre l'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie – OEIL et l'Institut Agronomique néo-Calédonien – IAC, une réflexion s'est construite autour d'une étude de faisabilité d'un possible développement d'un Indicateur de l'Avifaune Terrestre en Nouvelle-Calédonie (IAT-NC) en partenariat avec l'IRD – Institut de Recherche pour le Développement et l'IMBE – Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie d'Aix Marseille Université. Cette étude de faisabilité vise à faire un état des lieux des réflexions autour d'un indicateur consistant en un outil de diagnostic d'évaluation de l'état des populations d'oiseaux terrestres. Par ailleurs, dans cette étude nous nous intéressons principalement aux suivis de la communauté des oiseaux terrestres, et non pas aux suivis spécifiques qui peuvent exister sur les espèces menacées ou emblématiques (e.g. Cagou, Perruche à front rouge *Cyanoramphus saisseti*), ni aux suivis des oiseaux marins.

Le but de cette étude est ainsi d'accompagner l'OEIL dans la réflexion qui doit mener à évaluer la faisabilité de la mise en place d'un indicateur de l'avifaune terrestre en Nouvelle-Calédonie, dans un premier temps à partir des données existantes, puis dans un second dans la formulation de recommandations d'améliorations pour valoriser les suivis avifaunistiques futurs.

Afin de répondre à cette problématique, la présente étude qui s'est déroulée sur 6 mois, vise à :

- Inventorier les différentes sources de données (i.e. les acteurs impliqués, le nombre de suivis, les protocoles mis en œuvre, leur disponibilité et les sites concernés) ;
- Initier la centralisation des données auprès des partenaires (i.e. créer une base de données pour les besoins de l'étude) ;
- Caractériser les suivis déjà réalisés en identifiant leurs limites et leurs potentiels éventuels de valorisation, par une analyse critique de leur pertinence (i.e. format des données, types de suivis, effort d'échantillonnage) ;
- Diagnostiquer la faisabilité d'un bio-indicateur à partir de ces suivis avifaunistiques et préciser les éventuelles questions et problématiques environnementales auxquelles ils pourraient permettre de répondre ;
- Formuler des recommandations et pistes d'amélioration, notamment de standardisation des protocoles actuellement mis en œuvre et afin de permettre la mise en place d'un indicateur de l'avifaune terrestre néo-calédonienne ;
- Définir un modèle de structuration standard pour la bancarisation des données.

PARTIE 1 – ÉTAT DE L'ART : LES OISEAUX COMME INDICATEURS ÉCOLOGIQUES

I.1. UTILITÉ DES INDICATEURS ÉCOLOGIQUES ET AVIFAUNISTIQUES

I.1.1. Définition et objectifs des indicateurs écologiques

De manière générale, un indicateur écologique doit permettre d'évaluer l'état de santé d'un milieu ou d'une population animale, tout en permettant d'orienter et d'évaluer les politiques de conservation et de gestion de la biodiversité (Gregory & Van Strien, 2010). Un indicateur peut aussi être utilisé comme signal d'alarme, en prévention d'une perturbation environnementale ou pour diagnostiquer des changements survenus dans un milieu soumis à des perturbations humaines ou naturelles (Hamdi, 2015).

Les indicateurs écologiques se doivent d'être synthétiques et de communiquer sur les connaissances actuelles en termes de suivis environnementaux, tout en répondant à des critères scientifiques et pratiques. Pour informer sur la perte actuelle de la biodiversité, le développement d'indicateurs écologiques est une voie possible. Le niveau de connaissances sur l'avifaune terrestre reste généralement encore très faible aujourd'hui. Aussi, comme il n'est pas pratique de surveiller et suivre toutes les espèces de façon simultanée, les indicateurs écologiques sont souvent bâtis uniquement sur la surveillance de quelques taxons bien connus car très étudiés. L'utilisation de bio-indicateurs et notamment de taxons indicateurs pour évaluer la qualité d'un milieu est une pratique de plus en plus courante (Fraixedas *et al.*, 2020).

I.1.2. Les oiseaux comme indicateurs des changements globaux

Il existe un certain nombre de raisons de penser que les oiseaux pourraient être des indicateurs pertinents pour le suivi des changements environnementaux des milieux terrestres. Tout d'abord, parce que ce groupe biologique fait l'objet de suivis depuis longtemps dans la plupart des régions du monde (Fraixedas *et al.*, 2020). Les oiseaux sont relativement faciles à quantifier, à détecter et à identifier. Les protocoles d'échantillonnage sont facilement standardisables. Les méthodes de recensement sont aussi bien connues et développées depuis longtemps (Blondel, 1981 ; Bibby *et al.*, 2000). La présence en Nouvelle-Calédonie de nombreuses espèces et sous-espèces d'oiseaux terrestres endémiques dont plusieurs menacées d'extinction, renforce d'ailleurs l'intérêt de bien connaître l'état des populations avifaunistiques et leurs tendances.

Les oiseaux sont en outre connus pour être sensibles aux perturbations humaines, à la destruction des habitats tout comme à leur restauration. En effet, ils présentent des réponses prévisibles aux changements environnementaux (e.g. déclin de population, perte d'espèces, diminution de la diversité fonctionnelle). Ils ont également tendance à se trouver au sommet de la chaîne alimentaire, ce qui les rend d'autant plus sensibles aux changements survenant aux niveaux trophiques (Gregory *et al.*, 2003). La diversité des exigences et des niches écologiques dans lesquelles ils se nourrissent, se reproduisent, évoluent, en font aussi un indicateur approprié de l'intégrité écologique d'un milieu (Sekercioglu, 2012). Enfin, les oiseaux exercent des fonctions écosystémiques souvent essentielles telles que la réduction des parasites, la pollinisation ou la dispersion des graines (Simamora *et al.*, 2021). Ces différents éléments font des oiseaux, et particulièrement des oiseaux terrestres, un modèle privilégié en tant qu'indicateur biologique de la richesse d'un milieu, sa capacité d'accueil et de son évolution.

I.1.3. Le suivi temporel des oiseaux communs terrestres

Un indicateur très utilisé et depuis longtemps développé dans de nombreux pays européens (Gregory *et al.*, 1999) et notamment en France métropolitaine, est l'indicateur d'évolution de l'abondance des oiseaux terrestres communs (Fontaine *et al.*, 2020).

En France, cet indicateur est calculé chaque année à partir des données récoltées par un réseau national de bénévoles qui participent au programme STOC-EPS (Suivi Temporel des Oiseaux Communs par Échantillonnages Ponctuels Simples). Ce programme a permis de construire une base de données solide et exploitable grâce à ses 30 ans d'existence. Les données STOC collectées ont ainsi été utilisées dans plus d'une centaine de publications scientifiques internationales, traitant essentiellement de l'impact des changements globaux sur les communautés d'oiseaux communs, et des solutions pour limiter l'importance de ces impacts (Fontaine *et al.*, 2020). Comme de nombreux autres pays ont aussi développé leur propre programme de suivi des oiseaux communs, cela permet également de calculer un indicateur à l'échelle européenne et à partir des données issues des suivis nationaux annuels.

En France métropolitaine le suivi des oiseaux communs a donc commencé en 1989 (Fontaine *et al.*, 2020). Une révision du protocole a été faite en novembre 2000, avec l'élaboration d'un nouveau plan d'échantillonnage et la mobilisation de réseaux d'observation. Les données historiques collectées depuis 1989 ont été valorisées dans un travail d'analyse, qui a mis en évidence le déclin des oiseaux communs en métropole et l'érosion de la biodiversité avifaunistique. Au-delà de ces résultats, les indicateurs et les données issues du STOC-EPS ont été mobilisées dans de nombreuses évaluations de politiques publiques des espaces naturels protégés, l'utilisation des pesticides, les zones Natura 2000, la Politique Agricole Commune ou encore la gestion des forêts domaniales (Fontaine *et al.*, 2020). Le STOC a ensuite été décliné et adapté aux territoires d'outre-mer français : en Martinique, en Guadeloupe, en Guyane, à La Réunion.

Le STOC est à la base **un programme de suivi** participatif mais depuis 2000, une équipe de recherche scientifique anime le programme (Fontaine *et al.*, 2020), en partenariat avec le collectif European Bird Census Council (EBCC). Une des réussites du STOC a été de mobiliser un très grand nombre d'observateurs bénévoles à travers le pays, et d'une certaine façon, cela a participé à la prise de conscience sociétale de la crise de la biodiversité (Fontaine *et al.*, 2020). L'autre caractéristique importante de ce suivi est **la standardisation**. Comme les données sont toujours collectées selon le même protocole, elles sont comparables dans le temps et dans l'espace, et permettent de connaître les variations d'abondance et de caractériser les dynamiques de population.

Les suivis avifaunistiques de types STOC permettent également de dresser des cartes de répartitions des espèces (e.g. en période de reproduction, en période d'hivernage, en montagne, etc.). Il faut prendre en compte que les indicateurs de ce type relatifs aux oiseaux mesurent d'abord des tendances démographiques et des estimations de taille de population (spatiales et temporelles). Ils informent sur l'état de santé des populations. Indirectement, ils permettent d'évaluer l'efficacité des actions de conservation et des changements globaux (e.g. urbanisation, changement d'utilisation des terres). Mais ces types de suivis ne sont pas à proprement parler des outils de bio-indication visant à évaluer la qualité d'un habitat, mais plutôt à évaluer des tendances démographiques avifaunistiques et la répartition des espèces, à donner des prédictions sur le devenir des populations d'oiseaux. À partir de programmes de suivis similaires en Europe et en Amérique du Nord, Stephens *et al.* (2016) ont montré que malgré les différences entre ces deux grandes zones géographiques, et quels que soient le contexte écologique et les communautés d'oiseaux, il est possible de prévoir quelles espèces vont voir leurs populations augmenter ou s'étendre du fait du réchauffement climatique, et quelles autres vont décliner.

PARTIE 2 – ÉTAT DES LIEUX DES SUIVIS AVIFAUNISTIQUES PASSÉS ET ACTUELS EN NOUVELLE-CALÉDONIE : L'INFLUENCE DU CONTEXTE MINIER

II.1. CONTEXTE GÉNÉRAL

II.1.1. Acteurs impliqués dans les suivis

Une grande diversité d'acteurs sont impliqués actuellement dans les suivis avifaunistiques en Nouvelle-Calédonie. Au niveau réglementaire, c'est la Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Énergie de la Nouvelle-Calédonie (DIMENC), qui fixe le cadre pour les exploitations minières et les projets industriels pour le compte des provinces. Le code minier (Loi du Pays n°2009-6 du 16 avril 2009 portant sa partie législative et arrêté n°2009-2205/GNC du 28 avril 2009 instituant sa partie réglementaire) prévoit que les travaux miniers de recherches ou d'exploitation doivent faire l'objet d'une autorisation prise sous la forme d'un arrêté provincial qui fixe les dispositions que l'exploitant devra respecter, notamment une étude d'impact des activités minières et un suivi de la biodiversité.

La protection de l'environnement est une compétence des provinces, qui pour cela se sont dotées de codes de l'environnement et de listes d'espèces protégées, mais l'encadrement des activités susceptibles de porter atteinte à l'environnement sur site minier est à la charge de la DIMENC. Son champ d'action est globalement large et concerne l'énergie (e.g. l'orientation et la mise en œuvre de la politique énergétique), les mines et la métallurgie (e.g. coordination de la valorisation socio-économique des ressources minérales), l'industrie (e.g. le contrôle des équipements industriels susceptibles d'avoir un impact sur la santé et la sécurité des personnes), la géologie (e.g. assurer une meilleure connaissance des structures géologiques terrestres et marines de la Nouvelle-Calédonie)¹. Par conséquent, les services provinciaux qui disposent des compétences en matière d'environnement et de conservation/gestion de la biodiversité ne sont pas directement impliqués dans l'élaboration du cadre réglementaire des activités industrielles et minières qui reste sous la responsabilité de la DIMENC.

Les autorisations de travaux de recherche et d'exploitation minière sont délivrées par le président de l'assemblée de province concernée après enquête administrative, enquête publique et avis de la commission minière communale, sur la base d'un dossier de demande. La demande d'autorisation est constituée par l'exploitant minier. Par ailleurs, le demandeur a la possibilité de solliciter un échange préalable avec la DIMENC afin de recueillir des données sur la réglementation applicable. Les exploitants miniers doivent donc rendre une étude d'impact dans leur dossier de demande d'autorisation d'exploitation minière. Cette étude d'impact est réalisée par des bureaux d'études, composés d'ingénieurs en écologie et de naturalistes, sous la supervision des exploitants miniers mais dont le contenu est défini par la DIMENC.

¹ Arrêté n° 2006-4613/GNC du 16 novembre 2006 fixant les attributions de la direction de l'industrie, des mines et de l'énergie de la Nouvelle-Calédonie.

II.1.2. Origine et cadre réglementaire

Les premiers suivis avifaunistiques réalisés à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie, d'après les données disponibles, ont été initiés par l'IAC à la fin des années 1990 et au début des années 2000. À la suite des accords de Nouméa, ces suivis répondaient à un besoin du pays en termes de recherches scientifiques, et notamment de manque de connaissances sur la diversité avifaunistique calédonienne. Dans ce contexte, de nombreuses conventions et programmes de recherche ont été alimentés par l'IAC et soutenus par les provinces (Province Sud, Province Nord, Province des îles Loyauté). Ces programmes de recherche ont permis de réaliser les premiers états initiaux de la biodiversité avifaunistique et d'établir les premières connaissances à l'échelle du pays concernant la répartition des espèces et leur écologie. La SCO avait pris le relais en 2010 avec le programme de Suivi Temporel des Oiseaux Terrestres STOT de Nouvelle-Calédonie (Baby, 2011), soutenu par le Muséum National d'Histoire Naturelle. Cette initiative avait été développée dans le cadre d'un programme de sciences participatives et de sensibilisation du grand public. Ce programme fonctionne pour l'heure à *minima* dans l'attente que la plateforme de bases de données soit réactualisée. (Entretien de l'OEIL avec la SCO, mardi 27 décembre 2022).

Au cours du présent travail, nous avons pu accéder à 673 stations d'écoutes répartis sur 27 sites miniers et correspondant aux données de la majorité des suivis avifaunistiques actuels transmises par KNS, la SLN, Prony Resources et NMC qui génèrent ces données.

C'est le Code minier de la Nouvelle-Calédonie qui fixe le cadre réglementaire dans lequel ces suivis avifaunistiques sont aujourd'hui effectués². Il inclut une étude d'impact de l'ensemble des projets miniers sur les milieux environnants, et dont le contenu doit être en relation avec les aménagements envisagés ainsi qu'avec leurs incidences sur la biodiversité (Article R. 142-10-4, Code minier de la Nouvelle-Calédonie). En ce sens, les suivis avifaunistiques réalisés visent à évaluer l'impact des activités minières sur les communautés d'oiseaux. Les exploitants miniers doivent proposer un plan de suivi quinquennal et des mesures compensatoires, ainsi qu'une proposition de zones potentielles à prioriser pour ces actions. Un document d'orientation générale « [...] précise par période quinquennale, les objectifs et principes généraux du projet de développement minier, notamment en matière de [...] préservation de l'environnement et de conservation de la biodiversité, ainsi que les moyens mobilisés pour y satisfaire » (Article R. 142-10-6, Code minier de la Nouvelle-Calédonie).

Le code minier mentionne la mise en place d'opérations de gestion mais il n'indique pas réellement clairement ou de manière détaillée que des suivis de la faune et de la flore doivent être mis en place. En effet, il est stipulé que l'étude d'impact doit contenir « [...] une analyse de l'état initial du périmètre de l'emprise du projet portant sur la faune et la flore ; [...] une analyse des effets directs et indirects, temporaires et permanents du projet sur l'environnement, et en particulier sur la faune et la flore, les sites et paysages, les eaux de toute nature, l'air, les milieux naturels et les équilibres biologiques ; [...] les raisons pour lesquelles le projet présenté a été retenu parmi les solutions alternatives envisagées, notamment du point de vue des préoccupations environnementales ; [...] des études spécifiques si la présence d'espèces endémiques rares ou menacées ou d'écosystèmes protégés est avérée ainsi que des propositions relatives à leur sauvegarde ; [...] les mesures que l'exploitant s'engage à mettre en œuvre pour prévenir, supprimer, réduire et, si possible, compenser

² La loi du pays n° 2009-6 relative au Code minier (partie législative) a été adoptée par le Congrès de la Nouvelle-Calédonie le 16 avril 2009. La partie réglementaire du Code minier a été adoptée par arrêté n° 2009-2205 du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie le 28 avril 2009. Documents téléchargeables : <http://dimenc.gouv.nc>

les conséquences dommageables du projet sur l'environnement ; [...] l'analyse des méthodes utilisées pour suivre et évaluer les effets du projet sur l'environnement, indiquant les difficultés éventuelles de nature technique ou scientifique rencontrées pour établir cette évaluation, ainsi que leur périodicité (Article R. 142-10-7, Code minier de la Nouvelle-Calédonie).

Chaque année, un bilan expose « *l'adaptation, sur l'année écoulée, des travaux d'exploitation aux enjeux de protection de la faune, de la flore, du patrimoine archéologique et culturel, au regard des autorisations délivrées, des plans de gestion éventuels, des inventaires et de la localisation précise des espèces ou des sites menacés. Le cas échéant, il présente l'état d'avancement des plans de gestion de l'environnement et de la biodiversité* ». (Article R. 142-10-7, Code minier de la Nouvelle-Calédonie).

Bien que ces prescriptions soient relativement courtes (un peu moins de deux pages sur soixante-seize dans la partie réglementaire du Code minier de la Nouvelle-Calédonie), elles précisent néanmoins les objectifs et le cadre général. En revanche, les arrêtés d'exploitation qui autorisent l'exploitation des sites miniers et qui sont censés détailler les prescriptions destinées à prévenir les impacts environnementaux et les modalités pour la conservation de la biodiversité, notamment avifaunistique, sont beaucoup plus sommaires. Tous les arrêtés que nous avons consultés sont structurés généralement de la même façon³. Concernant la préservation et le suivi de l'avifaune, il est simplement mentionné que l'exploitant doit mettre en place un « *suivi de la faune des massifs forestiers et para forestier (avifaune, herpétofaune) comprenant des stations d'observations au niveau des aires protégées et en périphérie de la zone d'exploitation* »⁴. Les obligations de résultats et les moyens mis en œuvre ne sont pas définis. À ces suivis, s'ajoutent pour certains exploitants des mesures de lutte contre les espèces invasives (rats, cerfs, cochons et chats haret), d'un suivi annuel des échouages des oiseaux marins sur l'emprise du site, et d'une optimisation de l'éclairage afin de limiter l'impact des pollutions lumineuses sur les populations d'oiseaux. D'autres espèces menacées peuvent être suivies en fonction de leur présence ou non sur un site (ex : Cagou, Notou, Autour à ventre blanc). Un état de la fonctionnalité des corridors écologiques est également demandé ainsi qu'une proposition de mesures de protection et de renforcement de ces corridors.

³ Arrêté n° 2698-2016/ARR/DIMENC du 30 septembre 2016 autorisant l'exploitation du site minier de « Goro » situé sur les communes de yaté et du Mont-Dore, par la société Vale Nouvelle-Calédonie SAS.

Arrêté n° 927-2016/ARR/DIMENC du 1^{er} avril 2016 autorisant l'exploitation u site minier de « Graziella », situé sur la commune du Mont-Dore, par la société Maï Kouaoua Mines – MKM.

Arrêté n° 743-2015/ARR/DIMENC du 21 avril 2015 autorisant l'exploitation du site minier de « Dothio », situé sur la commune de Thio, par la Société le Nickel-SLN.

Arrêté n° 3012-2014/ARR/DIMENC du 19 novembre 2014 autorisant l'exploitation du site minier de Thio Camp des Sapins, situé sur les communes de Thio et Boulouparis, par la Société Le Nickel – SLN.

Arrêté n° 3176-2014/ARR/DIMENC du 28 novembre 2014 autorisant l'exploitation du site minier de « Ouinné », situé sur la commune de Yaté, par la société minière Georges Montagnat – SMGM.

Arrêté n° 2015-169/PN du 20 avril 2015 autorisant l'exploitation des concessions minières situées sur le massif du Koniambo, sur les communes de Koné et de Voh, par la société Koniambo Nickel SAS.

Arrêté n° 3784-2019/ARR/DIMENC du 3 décembre 2019 complémentaire de l'arrêté 2577-2013/ARR/DIMEN du 8 octobre 2013 autorisant l'exploitation du site minier de Thio plateau, sur la commune de Thio, par la société Le Nickel – SLN.

⁴ Arrêté n° 2698-2016/ARR/DIMENC du 30 septembre 2016 autorisant l'exploitation du site minier de « Goro » situé sur les communes de yaté et du Mont-Dore, par la société Vale Nouvelle-Calédonie SAS.

II.2. COLLECTE DES DONNÉES

II.2.1. Accessibilité et données actuellement disponibles

Une des étapes de cette étude a consisté à recenser l'ensemble des acteurs impliqués dans les suivis avifaunistiques afin d'étudier l'accessibilité et la disponibilité des données collectées. Nous avons pu récupérer les jeux de données des propriétaires suivants : Koniambo Nickel SAS (KNS), la Société Le Nickel (SLN), Prony Resources New Caledonia, la Société d'Équipement de la Nouvelle-Calédonie (Secal), la Société Calédonienne d'Ornithologie (SCO), l'Institut Agronomique néo-Calédonien (IAC) et Nickel Mining Company (NMC), **soit un ensemble total de 6 100 points d'écoute. 110 documents** ont également été récupérés (i.e. rapports d'études, études d'impacts, plans de suivis, comptes rendus de mission). 16 réunions ont été organisées pour conduire ce projet (Tableau 1, Tableau 2). Nous avons eu des échanges avec les provinces mais malheureusement nous n'avons pas pu récupérer leurs données, par manque de temps (Province Sud), par manque de données (Province Nord) ou des échanges infructueux (Province des Îles Loyauté). Cependant il semblerait que ce volume de données provinciales ne concerne essentiellement que des données d'inventaires localisés dans le cadre de la réalisation d'états initiaux liés à des projets particuliers et ne représente au final qu'une part très minime du volume total des suivis avifaunistiques en Nouvelle-Calédonie.

Les exploitants miniers sont les principaux détenteurs de données de suivis avifaunistiques en Nouvelle-Calédonie, du fait principalement du contexte réglementaire qui leur impose d'effectuer des suivis sur leurs sites d'exploitations. Sur la totalité des données que nous avons pu récupérer, 27 sites miniers font l'objet d'un suivi avifaunistique. Dans cette chaîne, les exploitants miniers font appel à des bureaux d'études pour réaliser les suivis avifaunistiques.

Tableau 1. Principales sources de données identifiées au cours de cette étude.

Détenteurs de données ayant transmis leurs données		Potentiels détenteurs de données dont nous n'avons pas pu récupérer les données	
Miniers	Koniambo Nickel SAS (KNS)	Miniers	Société Minière Georges Montagnat (SMGM)
	Prony Resources New Caledonia		Société des Mines de la Tontouta (SMT)
	Société Le Nickel (SLN)		Mai Kouaoua Mine (MKM)
	Nickel Mining Company (NMC)		Société Minière de Poro (SMP)
Aménageurs	Secal	Provinces	Province Nord
Associations	Société Calédonienne d'Ornithologie (SCO)		Province des Îles Loyauté
			Province Sud

Tableau 2. Liste des bureaux d'études et consultants contactés dans le cadre de cette étude.

Bureaux d'études	Personnes contactées
Aqua Terra	Valérie Vaillet, Jean-Louis Ruiz
Biodical	Julien Lebreton
Bio eKo Consultants	Yannick Dominique
Éléments Expertise JIDAI	Édouard Bourguet, Pascal Ehret
ECCET	Frédéric Desmoulins
Ravary – Eco-consultant	Fabien Ravary
Hémisphères	Thomas Duval
Soproner	Nicolas Guiguin

Il a été relativement contraignant d'accéder aux données parce qu'il n'existe pas actuellement de base de données centralisée où toutes les données de suivis peuvent être récupérées car la gestion des données des suivis avifaunistiques n'est pas définie, ni cadrée de manière plus générale. Il a donc fallu identifier les différents exploitants miniers du territoire et entrer en contact avec eux afin qu'ils acceptent de partager leurs données. Dans certains cas, des conventions de confidentialité ont été signées entre les différents partenaires pour l'accès à ces données.

Les données de l'IAC sont relativement anciennes et ont été collectées entre 1999 et 2009 grâce à un effort massif reposant sur 4 276 points d'écoute répartis entre les îles Loyauté, la Grande Terre et l'île des Pins. Ces relevés étaient ponctuels et n'ont pas perduré dans le temps. Mais les points d'écoute étaient effectués dans une grande diversité de milieux avec notamment des points d'écoute en forêts sèches, dans la chaîne, en milieux anthropisés ou encore en zones humides.

Les données de KNS, la SLN, Prony Resources New Caledonia et NMC correspondent aux suivis réalisés sur sites miniers. Ces suivis sont réguliers (i.e. annuels ou bisannuels) et toujours en cours. Les plus anciens ont commencé en 2008 sur le plateau de Goro (Prony Resources New Caledonia).

58 points d'écoute sont réalisés chaque année sur le plateau de Goro. Concernant les données de la SLN, 446 points d'écoute ont été réalisés et répartis sur 12 sites miniers différents. La majorité des suivis ont commencé en 2015. D'après les plans de suivis de la SLN, ces suivis sont annuels mais les données à disposition sont bisannuelles et les rapports, lorsqu'il y en a, sont également bisannuels. Pour les suivis de la SLN, très souvent il n'y a pas d'état initial et la première année de suivi fait office d'état initial alors que l'exploitation minière a déjà débuté depuis de plusieurs décennies. Enfin, les données de KNS concernent exclusivement le massif du Koniambo avec des premiers suivis réglementaires (i.e. imposés dans le cadre de la législation minière) datant de 2017. Toutefois, l'IAC avait réalisé un état initial au début des années 2000 (Villard & Barré 2002). Les suivis sur le massif du Koniambo sont toujours en cours et sont réalisés principalement dans les zones de mises en défens. 60 points d'écoute sont réalisés chaque année. Enfin, 109 points d'écoute répartis sur 10 sites miniers sont réalisés chaque année sur les sites exploités par NMC avec des suivis qui semblent avoir débuté en 2019.

Les données de la Secal concernent la ZAC Panda / Dumbéa Sur Mer, donc hors emprise minière. Les suivis ont débuté en 2008 et se poursuivent encore aujourd'hui. Nous n'avons toutefois pu récupérer que les données entre 2017 et 2020, du fait notamment de différents bureaux d'études ayant mené les suivis en fonction des saisons de suivis. Quatre opérateurs différents ce sont succédés sur ces suivis entre 2008 et 2021 (i.e. SCO, CORE.NC, Fabien Ravary, Jean-Louis Ruiz). Sur cette zone, 30 points d'écoute sont réalisés annuellement.

En résumé, pour PRNC, SLN, KNS, NMC et SECAL :

Fournisseur de données	Nombre de points d'écoute annuels (a) ou bisannuels (b)	Nombre de sites	Date de démarrage
PRNC	58 (a)	1 (Plateau de Goro)	2008
SLN	446 (données a mais rapports b)	12	2015
KNS	60 (a)	1 (Massif du Koniambo)	2017
NMC	109 (a)	10	2019
SECAL	30 (a)	1 (ZAC Panda/DSM)	2008

Entre 2010 et 2020, la SCO a réalisé 1 121 points d'écoute répartis autant que possibles au sein d'habitats homogènes sur des carrés de 2 x 2 km (10 points d'écoute par carré) distants de 250 m pour éviter les doubles comptages (500 m en milieu forestier pour les notous en particulier) sur l'ensemble de la Grande-Terre grâce à la mobilisation de bénévoles. L'ambition était de mener un diagnostic des communautés d'oiseaux terrestres en Nouvelle-Calédonie, en s'inspirant des sciences participatives et à l'image de ce qui est réalisé en métropole. Cependant, actuellement la plupart de ces points ne font plus l'objet de suivis actifs car il est difficile pour la SCO de maintenir une dynamique sur ces suivis en raison d'un manque d'outils de gestion, notamment l'interface internet du STOT qui n'est plus disponible et qui permettait la gestion individuelle des observateurs et des données à renseigner. Il nous est en outre impossible d'estimer le potentiel de valorisation de ces données car seuls le nombre de comptages par années et la localisation des points d'écoute (coordonnées GPS) nous ont été transmis au stade des analyses et pas les données d'avifaune ou de milieux.

Enfin, il est probable que d'autres suivis avifaunistiques soient réalisés sur d'autres sites par d'autres opérateurs, miniers et bureaux d'études, probablement plus localisés et plus ponctuels. Compte tenu du temps imparti de réalisation de ce projet (i.e. 6 mois), il n'a pas été possible d'effectuer un recensement exhaustif et nous n'avons donc pas pu récupérer la totalité des méta-informations (cf. date, point GPS) de la totalité des suivis existants en Nouvelle-Calédonie ou relevés et états initiaux, ni les données biologiques. Ainsi par exemple, le bureau d'études Éléments Expertise (anciennement Bota Environnement) réalise des relevés avifaunistiques sur les mines Graziella et Ada pour Mai Kouaoua Mines (MKM) à la rivière des pirogues, à Hienghène sur le chantier de la Pwé Hiit, à Paita Gadji, Poya concessions Belotte & Rebelotte, à Canala-Nakety, la Mine de Karembé Michel-37 à Kaala Gomen, la Société des Mines de Cap Bocage (SMCB) à Houailou, le site d'enfouissement des déchets de Pouembout, le site routier de Meretrice et Total energy Goro-Cap N'Dua. La majorité des relevés réalisés par Éléments Expertise sont ponctuels et consistent en des états initiaux avant travaux.

II.2.2. Répartition géographique des suivis passés et actuels

En examinant l'ensemble des jeux de données à disposition, nous avons effectué une catégorisation des différents types de suivis. En dehors des suivis spécifiques qui concernent l'étude d'une espèce en particulier (e.g. Cagou, Notou) et qui n'entrent pas dans le cadre de cette étude (bien que représentés sur la Figure 1), nous avons identifié deux grands types de relevés :

- i) Des relevés relativement anciens (de la fin des années 90 à 2009 environ) qui étaient ponctuels et à l'initiative de l'IAC, et qui ont consistés en la réalisation d'un état initial avec un seul passage sur chaque site.
- ii) Des relevés ponctuels plus récents (i.e. ces dix dernières années), ont été réalisés, mais nous n'avons pas pu récupérer ces données pour pouvoir les présenter ici dans cette étude.

Pour l'ensemble des relevés (ponctuels et suivis en cours dans un cadre réglementaire par les entreprises minières) présentés dans la carte ci-dessous (Figure 1), une catégorisation a été effectuée sous la forme d'un tableau standardisé (Cf un exemple pour un site, Annexe numérique 1). Les informations suivantes ont été complétées lorsque cela était possible à partir des données brutes et des documents transmis par les détenteurs de données (cf. études d'impact, plans de suivis, comptes-rendus de mission) : nom de l'identifiant du point d'écoute, nom du carré STOT, nom du site, coordonnées GPS du point d'écoute, milieu dans lequel se trouve le point d'écoute, altitude du point d'écoute, durée du point d'écoute, type de suivi, année de l'état initial s'il y en a eu un, première et dernière année de suivi, années d'interruptions éventuelles, données manquantes.

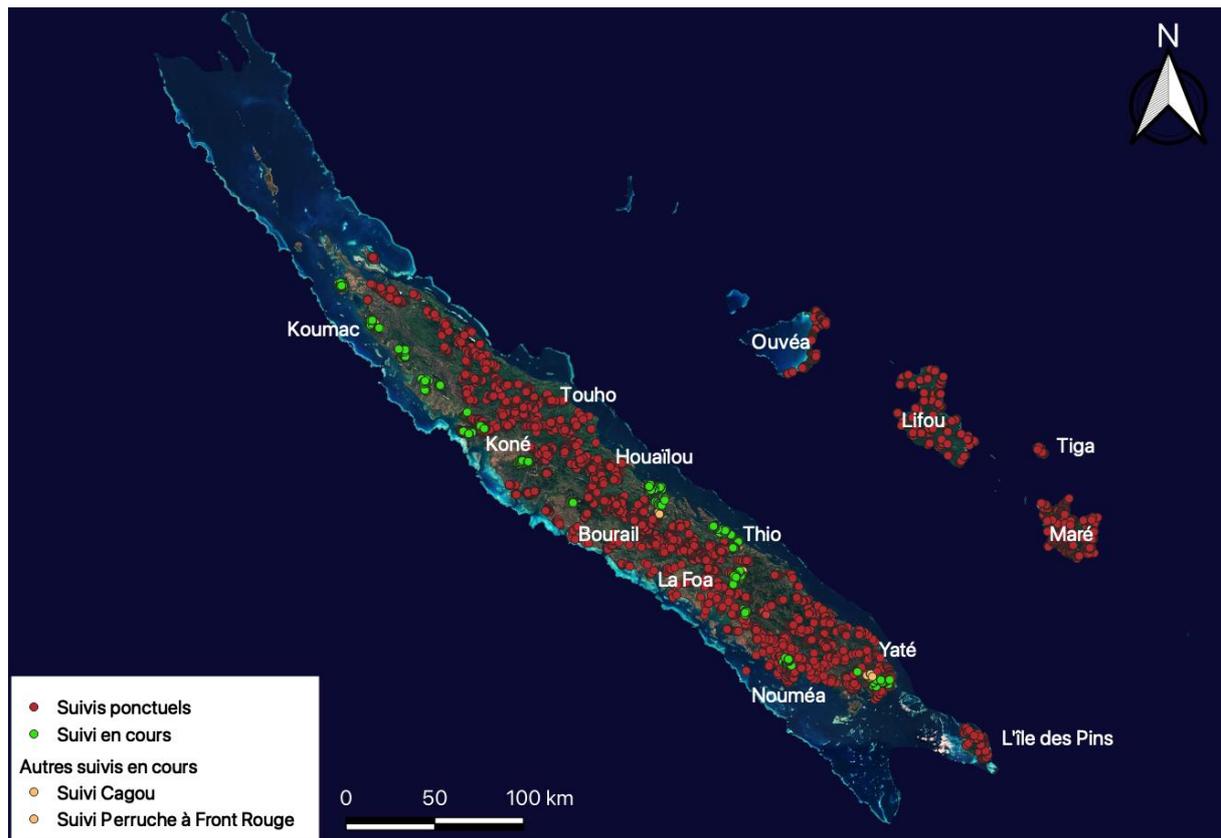


Figure 1. Répartition des points d'écoute réalisés en Nouvelle-Calédonie en fonction des différents types de suivis. Sont affichés ici uniquement les points d'écoute qui nous ont été transmis à travers les jeux de données (soit 6 100 points d'écoute). Les suivis ponctuels affichés ici ont été réalisés par l'IAC. Les plus anciens datent de 2009. Les points d'écoute des suivis en cours sont ceux imposés par la

réglementation (i.e. sites miniers, sites d'aménagement), soit 696 points d'écoute. Les autres suivis en cours concernent les suivis spécifiques (e.g. suivi cagou). Seules les données qui nous ont été transmises sont affichées ici. Les données de la SCO n'ont pas été représentées ici car le jeu de données transmis était trop incomplet (points GPS non renseignés bien souvent).

II.3. CARACTÉRISATION DES SUIVIS AVIFAUNISTIQUES DE NOUVELLE-CALEDONIE

II.3.1. Protocole, méthodologie et types de suivis

L'ensemble des suivis avifaunistiques réalisés en Nouvelle-Calédonie utilisent un protocole relativement similaire : **la méthode du point d'écoute** (Desmoulins, 2009 ; Guiguin & Gilbert, 2009 ; Guiguin, 2011 ; Desmoulins 2014 ; Duval 2020). En Nouvelle-Calédonie, cette méthode couramment employée dans les suivis avifaunistiques au niveau mondial, a d'abord été utilisée puis recommandée pour les suivis futurs par l'IAC au début des années 2000 pour les premiers inventaires de grande ampleur de l'avifaune terrestre (Manceau & Barré, 2001 ; Villard & Barré, 2002 ; Barré & Ménard, 2003 ; Boissenin *et al.*, 2006 ; Chartendrault *et al.*, 2007). Cette méthode s'inspire de protocoles utilisés depuis longtemps dans d'autres pays comme en Europe notamment en France et Espagne, ou encore aux États-Unis (Blondel, 1981 ; Bibby *et al.*, 2000 ; Fontaine *et al.*, 2020). Les données relevées par point d'écoute permettent d'estimer la richesse spécifique relative d'une zone, afin notamment d'identifier des zones importantes pour la conservation des oiseaux. Ces données permettent également de calculer pour chaque espèce d'oiseau une abondance relative (i.e. le rapport entre le nombre d'individus d'une espèce et le nombre total d'individus contactés) ou encore des fréquences d'occurrence (i.e. le pourcentage de points d'écoute contenant une espèce sur l'ensemble d'un site donné).

Le protocole recommandé par l'IAC a ensuite été actualisé par la SCO (Baby, 2011) puis affiné lors de la mise en place par la SCO du Programme de Suivi Temporel des Oiseaux Terrestres de Nouvelle-Calédonie STOT-NC initié en 2010. Les suivis avifaunistiques réalisés actuellement en Nouvelle-Calédonie utilisent quasiment tous le même protocole de manière standardisée essentiellement sur le temps d'écoute ce qui permet des comparaisons inter sites et inter annuelles.

Concrètement, une placette d'écoute est un point sur lequel un observateur reste stationnaire et dénombre pendant une durée fixe toutes les espèces d'oiseaux (y compris les espèces introduites) et le nombre d'individus différents par espèce, qu'il voit ou entend, posés ou en vol. Seuls les individus différents sont comptés. En Nouvelle-Calédonie, les points d'écoute se font par des observateurs ayant reçus une formation de base en reconnaissance avifaunistique, sans limitation de distance (Desmoulins 2010, 2012 ; Duval 2018, 2019), contrairement à la France hexagonale où une distance d'observation est relevée (e.g. moins de 25m, entre 25 et 100m, entre 100 et 200m, plu de 200m) (Fontaine *et al.*, 2020). La durée du point d'écoute varie en fonction des opérateurs. L'IAC réalisait des points d'écoute de quinze minutes. Les points d'écoute réalisés sur la ZAC Panda (Dumbéa Sur Mer) durent dix minutes, tandis que ceux réalisés sur site minier et par la SCO durent cinq minutes. Aujourd'hui, à l'exception des suivis réalisés sur la ZAC Panda, la « norme » en Nouvelle-Calédonie est devenue plutôt cinq minutes, tout comme pour les suivis réalisés en France hexagonale réalisés dans le cadre du suivi participatif des oiseaux communs (Fontaine *et al.*, 2020).

En ce qui concerne la fréquence de suivi, les suivis réalisés actuellement, obligatoires car imposés aux exploitants miniers par la réglementation, sont majoritairement annuels ou bisannuels. Les premiers

relevés réalisés en Nouvelle-Calédonie par l'IAC, dans un cadre scientifique, étaient ponctuels, au sein d'une diversité d'habitats, de saisons et correspondaient à un besoin d'acquisition massif de connaissances à l'échelle du pays (i.e. Grande Terre, Îles Loyauté, Île des Pins).

Concernant la saison, les points d'écoute sont généralement conduits entre octobre et février en lien avec le calendrier moyen de reproduction des différentes espèces de l'avifaune terrestre calédonienne. Toutefois, les périodes de réalisation peuvent parfois être modifiées en fonction des demandes de l'exploitant minier ou de contraintes de calendrier (entretien avec Frédéric Desmoulins, mercredi 4 janvier 2023).

Les points d'écoute sont réalisés peu après le lever du soleil (vers 6h15 en général) et jusqu'à environ 9h30 du matin, mais aussi juste avant le coucher du soleil, selon les recommandations de l'IAC (Barré & Dutson, 2000 ; Villard & Barré, 2002) et les références internationales (Blondel, 1981 ; Bibby *et al.*, 2000 ; Fontaine *et al.*, 2020) afin de maximiser l'activité et la détectabilité des oiseaux. Toutefois, les horaires de réalisation des points d'écoute peuvent varier en fonction des opérateurs. Certaines études réalisent des points d'écoute entre 15h30 et le crépuscule (Le Breton, 2011). D'autres dépassent 9h30 du matin. Sur le plateau de Goro, les points d'écoute peuvent être effectués l'après-midi entre 14h30 et 17h30 (Duval, 2021). Dans d'autres cas, cela pourrait être lié à des contraintes logistiques et à la réalité du terrain, où certains points d'écoute sont réalisés en dehors de cette plage horaire.

La date, l'heure et les biais de détection (i.e. le vent, la pluie, la présence de nuages, les conditions d'écoute) sont relevés à chaque point d'écoute, notamment afin de s'assurer que les conditions décrites précédemment ont bien été respectées. Idéalement, les relevés ne doivent pas se faire lorsque la pluie et le vent sont trop importants ou lorsque la qualité d'écoute est mauvaise. Malheureusement, au regard du jeu de données disponibles, il s'avère qu'un grand nombre de suivis réalisés en Nouvelle-Calédonie ne relèvent pas systématiquement ces données de qualité (cela peut varier énormément en fonction des années (pour un même suivi parfois !), des sites, et parfois même selon les points d'écoute). Ces informations n'étant pas systématiquement renseignées, conduisent à des jeux de données « à trous » et cela constitue une réelle contrainte, voire un frein pour conduire des analyses ou tout simplement évaluer la qualité des données disponibles. En effet, ce type de paramètres est indispensable pour conduire des analyses *a posteriori* et pour une personne tierce qui n'aurait pas récolté les données. Il s'agit en particulier de pouvoir déterminer si des données collectées de manière non-standardisées doivent être retirées ou peuvent au contraire être incluses dans le jeu de données qui sera exploité et analysé.

II.3.2. Stratégie et effort d'échantillonnage

Concernant les suivis en cours, **ce sont les zones relativement les mieux conservées d'un point de vue de l'intégrité écologique qui sont choisies pour être suivies** ce qui là encore constitue possiblement un biais important par rapport à l'objectif initial d'évaluation des impacts de l'activité minière. Ces zones sont situées à proximité ou en périphérie des activités minières (i.e. 1 à 2 km maximum du site minier). **Aucun gradient d'éloignement aux perturbations minières n'est pris en compte dans la définition de ces zones d'étude.** Il s'agit généralement des zones de mise en défens. La mise en place d'un suivi écologique ayant pour objectif de détecter d'éventuels impacts des activités anthropiques devrait pourtant privilégier une démarche de type BACI (Before and After Control Impact) ou Before-During-After Control-Intervention BDACI consistant à effectuer en parallèle le suivi de zones sous influence et hors influence.

Les points d'écoutes réalisés sur les sites de la SLN ont été choisis de façon à couvrir en règle générale deux carrés de 2 km de côté par site (carrés STOT), lesquels ont été délimités par la SCO dans le cadre du programme STOT-NC, mais le nombre de carrés STOT suivis (non transmis par la SCO dans le cadre de ce travail) peut varier en fonction des sites. Chaque carré STOT comporte 10 points d'écoute répartis de façon systématique afin d'assurer la représentativité des habitats et une taille statistique satisfaisante. Sur certains sites, un seul voire trois carrés STOT peuvent parfois être suivis, sans qu'il n'y ait de justification en termes de stratégie d'échantillonnage dans les rapports d'étude. Cela pourrait être lié à des contraintes logistiques et d'accessibilité aux sites. Aucune explication n'est donnée dans les documents consultés. Tous les cinq ans, une révision des plans de suivis réalisés sur les sites de la SLN doit être faite et cela peut entraîner des choix différents de modalités de relevés qui pourraient nuire à la continuité des actions déjà engagées et à des analyses comparatives.

Les principaux types d'habitats présents dans un carré STOT sont censés être représentés au niveau des points d'écoute et dans leurs proportions respectives (Desmoulins & Barré, 2004 ; Desmoulins, 2014). Cependant, du fait du contexte minier, les principaux habitats inventoriés sont typiques des terrains miniers : maquis paraforestiers, ligno-herbacés, forêts dégradées, forêts humides, forêts de talweg. Ces formations végétales appartiennent principalement à un gradient de maquis et de forêts plus ou moins dégradées où quelques lambeaux de forêts humides persistent. Les sites suivis en contexte minier sont marqués par l'industrie minière avec des zones récentes et anciennes d'extraction de minerai (Desmoulins, 2019).

L'emplacement des points d'écoute sur site minier est généralement défini selon les principes suivants : répartition homogène sur l'ensemble de la zone d'étude, indépendance relative des unités d'échantillonnage (i.e. suffisamment distantes ou situées dans des vallées distinctes), situation favorable à l'écoute d'une vallée donnée (Astrongatt *et al.*, 2012 ; Strubel, 2015). Cependant, les zones complètement dénuées de végétation ne sont généralement pas échantillonnées ce qui ne contribue pas à évaluer l'impact des activités minières sur les communautés d'oiseaux. La localisation des points d'écoute est prédéterminée à l'avance. Une distance d'au moins deux-cent cinquante mètres minimum entre deux points d'écoute est généralement respectée (Strubel, 2015).

Certains opérateurs réalisent plusieurs passages sur un même point d'écoute au cours d'une saison de suivi (i.e. un réplica). Cela peut aller de deux passages sur un même point (Duval, 2022) à quatre passages (Duval, 2020). Mais la majorité des opérateurs ne réalise pas de réplicas. Un seul passage est réalisé en général.

II.4. ÉVALUATION DE L'EXPLOITABILITÉ DES DONNÉES EXISTANTES

II.4.1. Structuration des données

Malgré un protocole d'écoute relativement similaire, les données brutes ne sont pas structurées de la même façon en fonction des opérateurs, des sites suivis et parfois pour un même opérateur en fonction des années de suivis.

Dans la majorité des tableaux de données qui nous ont été transmis, il n'y a pas d'informations de type métadonnées pour décrire à quoi correspondent les champs et les catégories. Par exemple, des noms de code à quatre lettres sont utilisés pour les espèces mais les noms de code n'ont pas de référentiel de traduction, donc un utilisateur tiers ne peut pas savoir de quelle espèce il s'agit. En outre, le type de milieu dans lequel un ou plusieurs points d'écoute sont réalisés n'est pas toujours

relevé, et quand le type de milieu est indiqué, il n'y a pas non plus de typologie ou de référentiel permettant de définir précisément le milieu concerné.

Certaines informations contextuelles ne sont parfois pas relevées pour certains suivis et certaines années comme l'heure, la date, la couverture nuageuse, la température, le vent, les précipitations, ou encore l'altitude. Parfois l'identifiant du point d'écoute n'est pas noté.

Il est aussi difficile de faire le lien entre les tableaux de données qui concernent les informations liées au point d'écoute (e.g. point GPS, identifiant du point d'écoute, type de milieu) et les données brutes (e.g. nombre d'espèces et nombre d'individus par espèces) car la structure des tableaux est difficilement compatible. Certaines informations sont présentes dans un tableau mais pas dans un autre alors qu'ils sont censés traiter des mêmes suivis et des mêmes points d'écoute. Pour certaines années, les espèces sont affichées en lignes dans les tableaux de données et pour d'autres années, elles le sont en colonnes. Pour certains suivis, les coordonnées GPS des points d'écoute sont en WGS 84 UTM 58 S et pour d'autres en RGNC Lambert 1991-1993.

Les tableaux de données sont donc très hétérogènes avec de nombreux manques, s'éloignant souvent des critères de rigueur scientifique qui seraient nécessaires. Cela rend difficile l'exploitation et l'analyse des données et **une recommandation forte à l'issue de ce travail est de tendre impérativement vers une structuration homogène des tableaux de données à l'avenir, avec une typologie standardisée pour chaque donnée relevée.**

II.4.2. Stratégie et effort d'échantillonnage

De façon générale, **la stratégie d'échantillonnage à l'échelle des sites ne semble pas être réfléchie en vue de répondre à un objectif ou à une question scientifique précise.** Les points d'écoutes sont effectués dans des reliques forestières plus ou moins préservées mais sans objectif particulier si ce n'est suivre les populations d'oiseaux terrestres et le nombre d'espèces. **La stratégie d'échantillonnage telle qu'elle est appliquée actuellement ne permet pas de savoir si l'activité minière a un impact sur les populations d'oiseaux.** La stratégie actuelle permet seulement de suivre la dynamique des populations d'oiseaux en nombre d'individus et en espèces, mais sans comprendre quels sont les facteurs qui peuvent influencer leur dynamique. Il apparaît nécessaire de repenser la stratégie d'échantillonnage en vue de répondre à des objectifs. Par exemple, il est indispensable de mettre en œuvre une approche contrôle-impact dans le plan d'échantillonnage. Si l'objectif est d'évaluer l'impact de l'activité minière sur la biodiversité avifaunistique, il serait judicieux de faire des comparaisons avant / après activité minière ou des comparaisons entre patchs forestiers impactés par l'activité minière et d'autres moins impactés. Pour cela, il sera nécessaire de caractériser les patchs forestiers en termes de variables mesurables comme des mesures de pressions d'activité humaine.

L'approche BACI (Before-After-Control Intervention) permet une comparaison entre l'état antérieur et postérieur à l'intervention, le tout étant comparé à un site de référence non perturbé (Chevalier et al., 2019). L'approche BDACI (Before-During-After Control-Intervention) permet quant à elle de réaliser une mesure avant, pendant et après l'intervention, sur le site d'étude ainsi que sur un site témoin (contrôle) (Sordello *et al.* 2019).

Si la stratégie d'échantillonnage annoncée semble respecter certains principes, celle-ci n'est généralement pas clairement exprimée ou détaillée dans les rapports d'étude consultés. À l'échelle des sites, le problème majeur est celui **de la représentativité des habitats suivis** où l'attention des exploitants miniers et des bureaux d'étude se focalise quasi-exclusivement sur le suivi des réserves, des zones de mises en défens et des reliques forestières. De fait, les milieux fermés (e.g. forêts

humides, forêts d'altitude à araucaria) sont sur-représentés comparativement aux milieux ouverts et l'avifaune des maquis ou des zones impactées par l'activité minière se trouve peu et mal caractérisée et échantillonnée. Cette focalisation centrée sur les zones refuges correspond à un fort biais méthodologique rendant difficile dès le départ, l'atteinte de l'objectif principal de ces suivis, à savoir l'évaluation de l'impact de l'activité minière sur les communautés d'oiseaux. Il est important de noter que le biais méthodologique perdure depuis de nombreuses années et il est donc important que ceci puisse être intégré et corrigé tant au niveau des donneurs d'ordres que des bureaux d'étude impliqués.

Que ce soit à l'échelle des sites ou de la Nouvelle-Calédonie, il n'y a **pas d'échantillonnage aléatoire**. L'emplacement des points d'écoute est prédéterminé à l'avance, sur et à proximité des exploitations minières, mais les rapports d'étude n'expliquent pas le choix des stations à suivre. L'emplacement des points d'écoute semble choisi en fonction de leur accessibilité en voiture, à pied, et guidé par un souci de logistique. La répartition spatiale des points d'écoute pourrait donc être déséquilibrée, avec une représentation biaisée de la présence des espèces. L'emplacement des points d'écoute est aussi défini en fonction de la localisation des projets miniers actuels et futurs. Ainsi, les points d'écoute sont choisis pour leur accessibilité aisée facilitant la prise de données.

Les suivis réalisés sur le plateau de Goro paraissent être les plus rigoureux en termes d'effort d'échantillonnage. C'est le seul site suivi étudié dans la présente étude sur lequel plusieurs réplicas sont réalisés. C'est-à-dire que par saison de suivi, il y a eu plusieurs passages sur le même point d'écoute (ici quatre réplicas par point d'écoute). Douze patches forestiers ont été identifiés dans lesquels quatre points d'écoute ont été réalisés (deux points en forêt humide et deux points en maquis para forestier), avec donc quatre réplicas par point d'écoute. Mais là encore, les suivis réalisés ne permettent pas de savoir si l'activité minière a un impact sur les communautés d'oiseaux, car aucun gradient de la perturbation minière n'est pris en compte (e.g. zones perturbées, zones moins perturbées ; zones proches du site minier, zones éloignées du site minier). Une autre limite à ces suivis est que les patches forestiers ne sont pas caractérisés en termes de variables environnementales (superficies, espèces dominantes, hauteur de canopée, type de forêt...) et de pressions minières.

Concernant la fréquence des suivis, les différents rapports d'étude consultés et le protocole du programme STOT-NC suggèrent que les suivis sont réalisés annuellement, notamment ceux de la SLN. Or en réalité, les données auxquelles nous avons eu accès indiquent plutôt que les suivis sont réalisés tous les deux ans (à l'exception des suivis sur le massif du Koniambo, la ZAC Panda / Dumbéa Sur Mer et le plateau de Goro), sans qu'il n'y ait d'explications particulières.

II.4.3. Utilisation des données dans le cadre d'un outil de bio-indication

En règle générale, les données issues de suivis ponctuels sont difficilement valorisables pour la production d'un outil de bio-indication, à moins que les suivis aient été maintenus dans le temps et sur les mêmes sites, ou qu'il y ait eu une interruption et que les suivis aient repris plusieurs années plus tard (cas spécifiques des études sur le cagou, les notous par exemple). Dans ce cas, il serait intéressant de faire des comparaisons sur un même site avant / après, afin de voir s'il y a des évolutions en termes de communautés (e.g. diversité, abondance). Cela pourrait être testé avec les données de l'IAC qui sont les plus anciennes existantes et qui sont disponibles. Ces données pourraient servir comme base de référence.

En ce qui concerne les suivis avifaunistiques réglementaires en cours, ils sont principalement réalisés en contexte minier. De fait, il y a un manque de représentativité de la diversité des milieux néo-

calédoniens dans les données de suivis réglementaires, par exemple des formations arbustives et des savanes à fourrés. Hors emprise minière, énormément de milieux et de sites ne sont tout simplement pas suivis.

De plus, aucune variable environnementale sur les habitats ou mesures de pression (e.g. pressions minières, dérangement humain) ne sont relevées. Aucune caractérisation du milieu n'a été faite dans les suivis. Pourtant, ces variables permettraient de comprendre quels facteurs influencent la dynamique des populations d'oiseaux. Pour l'instant, on peut seulement observer la dynamique des populations sans comprendre les facteurs qui les influencent.

Il y a donc des biais spatiaux et d'habitats dans les données de suivis disponibles, à l'échelle des sites et du pays, mais aussi **une absence de caractérisation des milieux suivis**. Cette caractérisation pourrait être réalisée *a posteriori* mais impliquerait de repasser sur toutes les placettes d'écoute ce qui ne serait pas très optimal financièrement et en temps humain à consacrer à cette tâche. À l'heure actuelle, ce manque d'information rend impossible la mise en place d'un outil de bio-indication à partir des données de suivis avifaunistiques et à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie. Contrairement aux suivis réalisés en France métropolitaine et dans les territoires d'Outre-Mer comme à La Réunion ou en Martinique, les suivis en Nouvelle-Calédonie sont réalisés quasi exclusivement sur sites miniers. Il n'y a pas en Nouvelle-Calédonie de suivis à l'échelle du pays. Mais il semble qu'il y ait du potentiel pour développer une réflexion à l'échelle des sites miniers, notamment pour étudier l'impact des activités minières sur les communautés d'oiseaux. En effet, les sites miniers sont suivis depuis un certain nombre d'années et de nombreux sites sont suivis à travers le pays. Une amélioration de ces suivis en vue de produire de la bio-indication à l'échelle des sites miniers serait judicieux. En ce sens, des éléments de réflexion sont apportés dans la partie suivante.

PARTIE 3 – RECOMMANDATIONS POUR AMÉLIORER LES SUIVIS AVIFAUNISTIQUES EN VUE DE DÉVELOPPER UN OUTIL DE BIO-INDICATION EN NOUVELLE-CALÉDONIE

III.1. RECOMMANDATIONS À L'ÉCHELLE DES SITES MINIERS

Comme le rappelle le code minier (Loi du Pays n°2009-6 du 16 avril 2009 portant sa partie législative et arrêté n°2009-2205/GNC du 28 avril 2009 instituant sa partie réglementaire), l'objectif principal des suivis avifaunistiques est **d'évaluer l'impact des activités minières sur la biodiversité avifaunistique**. Or, le(s) protocole(s) mis en place actuellement ne permet(tent) pas d'évaluer si les tendances démographiques observées sont influencées ou non par les activités minières. De manière générale, la méthode des points d'écoute semble être la mieux adaptée pour des suivis réguliers, sur le long terme et à grande échelle (Blondel *et al.*, 1981 ; Bibby *et al.*, 2000 ; Bonthoux & Balent, 2012 ; Fontaine *et al.*, 2020). La méthode est employée depuis longtemps en Nouvelle-Calédonie et est restée fidèle aux préconisations qui avaient été faites par l'IAC (Barré & Dutson, 2000 ; Villard & Barré, 2002) puis par la SCO (Baby, 2011), afin notamment d'effectuer des comparaisons entre sites et habitats différents à l'échelle pays. Il n'est donc pas question de remettre en cause cette méthode qui reste pertinente, mais il est nécessaire de repenser la stratégie d'échantillonnage en vue d'évaluer les impacts des activités minières sur les communautés d'oiseaux. Cette réflexion sera l'objet des éléments à suivre.

III.1.1. Standardisation du protocole

Pour commencer, il est toujours bon de rappeler qu'il faut que **la prise de données soit standardisée** (e.g. réduire la diversité des protocoles et des éléments mesurés).

- **Conditions météorologiques recommandées**

Pour cela, il est nécessaire que les suivis soient réalisés **dans des conditions météorologiques favorables à l'appréciation de l'observateur**, c'est-à-dire qu'il n'y ait pas de pluie, pas de fort vent et avec les meilleures conditions d'écoute possible. Les points d'écoute ne doivent jamais être réalisés si les conditions de pluie ou de vent sont défavorables (i.e. un vent fort et une pluie forte continue). En effet, la détectabilité des oiseaux varie en fonction des conditions météorologiques.

- **Plage horaire recommandée**

La détectabilité des oiseaux varie aussi au cours de la journée et en fonction des espèces (Bas *et al.*, 2008), il est donc nécessaire d'effectuer les suivis selon **une plage horaire standard** et d'éviter au maximum de sortir de celle-ci afin d'éviter des biais. Le chorus matinal peut être un biais important car il est plus difficile de compter les individus différents du fait de la très forte activité, il doit donc être évité (Baby, 2011). Les suivis doivent être réalisés dans une plage horaire allant d'une demi-heure après le lever du soleil jusqu'à 10h du matin au cours de la saison préférentielle de suivi définie plus bas. Les heures chaudes doivent être évitées (i.e. entre 10h et 16h), là où pour une majorité des espèces l'activité des oiseaux diminue, notamment en termes de chant et de recherche de nourriture. Il est possible d'effectuer des points d'écoute en fin de journée entre 16h et le crépuscule puisque l'activité des oiseaux forestiers reprends à ce moment, mais pour limiter les biais dus aux variations de l'activité journalière des oiseaux, il est recommandé de réaliser des points d'écoute uniquement le matin (période où le vent est généralement plus faible). Il est aussi important de noter l'heure de début de chaque point d'écoute. Enfin, tous les points d'écoute d'un site doivent être réalisés le même jour et dans le même ordre que les années précédentes (Cf Annexe numérique 3).

- **Durée des points d'écoute**

La durée des points d'écoute doit elle aussi être standardisée. Pourtant, elle peut varier en fonction des suivis et des opérateurs, entre 5 et 15 minutes, même si dorénavant les bureaux d'études utilisent plutôt une durée de 5 minutes comme le préconisait le STOT (Baby, 2011). Il est vrai qu'en contexte tropical, des intervalles plus longs peuvent être nécessaires en raison d'une plus grande richesse avifaunistique ou bien de la présence d'espèces plus difficiles à détecter (Bibby *et al.*, 2000). Mais une durée de 5 minutes est suffisamment efficace en termes d'effort et de temps pour détecter un maximum d'espèces et d'individus (Lynch, 1995 ; Bonthoux & Balent, 2012). Dans le contexte actuel, et dans un objectif de suivi, fixer **la durée d'écoute à 5 minutes** permet aussi d'intégrer un maximum de données issues des suivis en cours, qui *a priori* utilisent cette durée, mais aussi des suivis plus anciens. Sur le terrain, il est aussi recommandé de ne pas commencer le comptage immédiatement après l'arrivée sur un point d'écoute, mais plutôt d'attendre quelques minutes (e.g. 2 à 3 minutes) afin de permettre aux oiseaux de retrouver une situation de non-dérangement provoquée par l'arrivée d'un observateur (Baby, 2011).

Cependant, dans un cadre scientifique et protocolé et avec des objectifs bien définis, l'IAC a montré que 15 min correspondait à la durée optimale, c'est-à-dire au meilleur compromis entre spectre d'espèces et individus contactés et risques d'erreurs liés aux doubles comptages. Ainsi, 15 min accroît les chances de contacts toutes espèces confondues en période de moindre activité vocale car

les relevés avifaunistiques étaient réalisés sur plusieurs mois au cours d'une même saison de reproduction avec certains mois moins favorables aux écoutes. Aussi, pour rendre possible les comparaisons avec les études antérieures sur les oiseaux en Nouvelle-Calédonie, les relevés avaient été scindés en 2 classes d'écoute : 0-10 min et 10 à 15 min. Dans le cadre de la représentation des courbes d'accumulation mentionnées plus bas (II.1.2.), des durées d'écoute supérieures à 5 min seraient à évaluer.

- **Saison de suivi**

Concernant la période de suivi, **la saison sèche** (i.e. septembre à novembre) **est la période idéale** pour recenser un maximum d'espèces puisque cela correspond à la saison de reproduction et au pic d'activité de la plupart des passereaux forestiers (Baby, 2011 ; Barré *et al.*, 2013). La saison chaude (i.e. décembre à avril) est moins propice pour réaliser des inventaires car il y a moins d'espèces et moins d'individus qu'en saison sèche (Barré *et al.*, 2013), notamment parce que la période chaude est très pluvieuse et donc peu propice aux écoutes. Changer la période de suivi ne serait pas nécessairement pertinent pour des suivis à longs termes et en vue d'une standardisation. Il est important que les suivis soient effectués chaque année à la même période (Fontaine *et al.*, 2020).

En revanche, il serait intéressant de réaliser des inventaires à d'autres saisons, en saison fraîche par exemple entre mai et septembre, sur deux à trois années et sur les mêmes sites afin d'augmenter la détectabilité et augmenter le niveau de connaissances écologiques sur les espèces. Dans le cas des oiseaux marins par exemple sur les îles éloignées du Parc Naturel de la Mer de Corail, plusieurs études ont montré qu'il y avait de la reproduction et de l'activité toute l'année (données non publiées). On sait aussi qu'en milieu tropical les saisons sont moins marquées qu'en milieu tempéré et qu'il pourrait y avoir de la reproduction toute l'année (Barré *et al.*, 2013). Réaliser des comptages à d'autres saisons de l'année permettrait d'améliorer les connaissances en termes d'écologie des espèces et de détectabilité. En effet, les oiseaux étant dépendants des ressources alimentaires, les espèces frugivores notamment (Lehouck *et al.*, 2009), il est fort probable que les oiseaux se déplacent au cours de l'année et sur le territoire en fonction des cycles de floraison, de fructification et des pullulations en insectes (Sekercioglu, 2012 ; Wolfe *et al.*, 2014). Si les mêmes espèces d'oiseaux sont contactées sur les points d'écoute d'année en année, on pourrait conclure qu'il y a bien une constante et que la saison n'a pas d'effet. Mais s'il y a une variation dans la présence des espèces, on pourrait estimer qu'il y a un ou plusieurs facteurs qui ont une influence. Il serait intéressant de chercher aussi du côté des interactions entre les plantes et les oiseaux.

Ces relevés complémentaires à ceux réalisés dans le cadre des suivis ne modifient pas le protocole recommandé et discuté dans ce rapport, en particulier au niveau de la saison préférentielle à laquelle écouter les oiseaux et correspondant à celle de plus grande activité.

- **Données collectées**

En plus des conditions météorologiques, de la durée d'écoute, de la date du jour et de l'heure, les coordonnées GPS du point d'écoute doivent être systématiquement notées et le système de coordonnées géographique RGNC91-93 est à privilégier, puisque c'est le système de référence officiel de la Nouvelle-Calédonie.

Sur plusieurs suivis (e.g. ZAC Panda / DSM ; plateau de Goro), une distance d'observation de chaque individu est parfois relevée : vu à moins de 15 m, entendu à moins de 15 m, vu entre 15 à 100 m, entendu entre 15 et 100 m, vu à plus de 100 m, entendu à plus de 100 m, vu en vol (cette dernière classe correspond aux individus considérés comme non cantonnés au point d'écoute échantillonné). Ces classes de distances sont relevées dans de nombreux suivis de type STOC en Europe et en France (Fontaine *et al.*, 2020). Pourtant, elles ne sont pas utilisées dans le calcul des tendances démographiques, tout comme en Nouvelle-Calédonie (Baby, 2011). Néanmoins, nous recommandons de garder ces distances d'observation. Elles pourraient être utilisées et analysées

pour d'autres études spécifiques comme l'étude de la sensibilité au dérangement humain, la catégorisation des espèces discrètes et des espèces tolérantes à la présence humaine.

Un dernier élément essentiel à relever est le type d'habitat. Un habitat principal et un habitat secondaire peuvent être relevés. La typologie standard est développée plus bas. Au-delà, du modèle d'étude avifaunistique, la standardisation d'une typologie des habitats néo-calédoniens demande une réflexion collective sur une typologie de référence qui pourrait satisfaire à la fois les spécialistes de la faune et ceux de la flore.

III.1.2. Stratégie et effort d'échantillonnage

- **Fréquence de suivi**

Une stratégie d'échantillonnage adéquate des points d'écoute dans le temps et dans l'espace est une condition indispensable pour effectuer un traitement fiable des données.

Idéalement, la fréquence des suivis doit être annuelle pour permettre des comparaisons entre sites, s'affranchir de variations interannuelles et avoir des tendances démographiques et des cartes de répartition des espèces afin de comparer de manière fiable les données dans le temps et dans l'espace (Fontaine *et al.*, 2020).

- **Nombre de points d'écoute**

Un autre facteur important à prendre en compte dans l'effort d'échantillonnage est **le nombre de points d'écoute** à effectuer. Toutes les espèces d'oiseaux ne sont pas détectables dans les mêmes conditions et selon les mêmes facilités. À chaque point d'écoute, un observateur risque toujours de manquer des espèces et/ou des individus, en fonction notamment de son expérience à la détection des oiseaux, de la météo, de l'habitat et de l'espèce. C'est ce qu'on appelle la distance ou probabilité de détection (Amundson *et al.*, 2014). Elle varie selon divers facteurs, comme le comportement ou la taille de l'espèce : un Méliphage noir aura une distance de détection bien plus faible qu'un Balbuzard pêcheur qui est plus facile à détecter. La probabilité de détection est liée à cette distance de détection, mais aussi à la probabilité qu'un individu soit actif quand l'observateur est présent. Elle varie aussi selon les espèces : en matinée, la probabilité de détection du Pétrel de Gould est beaucoup plus faible, qui est une espèce nocturne, contrairement au Méliphage à oreillons gris.

Dans le cas des suivis STOT, pour limiter ce problème, **il est nécessaire d'effectuer au moins dix points d'écoute par carré**, ce qui augmente les chances de détecter les espèces à plus faible probabilité de détection (Fontaine *et al.*, 2020). Le STOT (programme STOC au niveau national coordonné par le MNHN, la LPO et l'OFB) a été conçu pour évaluer les variations spatiales et temporelles de l'abondance des populations nicheuses d'oiseaux terrestres à l'échelle de la Grande Terre. C'est un programme de science citoyenne en Nouvelle-Calédonie. Il est basé sur des points d'écoute et les sites suivis sont sélectionnés en suivant un plan d'échantillonnage, basé sur un tirage aléatoire à l'échelle de la Grande Terre. C'est une méthode de production d'indices (ou indicateurs) de la variation annuelle de l'abondance des espèces d'oiseaux terrestres. Ces indices permettent de suivre les tendances globales des communautés d'oiseaux communs sur de vastes territoires, ce qui est nécessaire à l'élaboration de stratégies de conservation. **La stratégie d'échantillonnage du STOT n'est pas adaptée pour l'évaluation spécifique de l'impact de la mine sur les communautés d'oiseaux.** Ainsi, il convient de **réfléchir à une stratégie d'échantillonnage adaptée aux questions posées** (déforestation totale ou partielle, fragmentation des milieux, nuisances sonores, évaluation de la distance à laquelle les impacts sont perceptibles, etc.). La méthode STOT repose sur la méthode des points d'écoute sur une durée courte (5 minutes) afin de maximiser le nombre de points et la couverture spatiale. Afin de renforcer la précision des données, et pour rendre le dispositif encore plus efficace et pertinent, il conviendrait d'évaluer la durée optimale des points d'écoute et

diversifier les méthodes de suivi en utilisant des enregistreurs automatiques des chants d'oiseaux. Ainsi, augmenter l'effort d'échantillonnage, selon différents axes, permet la détection de nouvelles espèces. Des courbes d'accumulation (Scheiner et al., 2003) peuvent alors être représentées pour évaluer si l'effort d'échantillonnage est suffisant sur un site, ou sur un ensemble de sites, en fonction du nombre de points d'écoute de leur durée (avec ou sans enregistreurs), et/ou de la surface étudiée, pour pouvoir répondre à la question posée. Dans le cas des suivis sur sites miniers ce type de travail reste à faire.

Il est possible d'**estimer si l'effort d'échantillonnage est adéquat** à partir des données déjà récoltées, et s'il est nécessaire d'augmenter ou de réduire l'effort d'échantillonnage pour conserver un niveau d'information similaire. Cela a été testé sur les données de suivi du plateau de Goro, où douze patchs forestiers avec quatre points d'écoute par patch et quatre réplicas par points d'écoute sont réalisés annuellement (soit 192 points d'écoute par saison de suivi). Le plateau a été atteint et on peut voir que dans ce cas précis, qu'environ 150 points d'écoute renseigneraient une information similaire pour l'ensemble du plateau de Goro i.e. la zone d'étude (Figure 2). Néanmoins, ce constat n'est pas valable pour tous les sites suivis. En effet, le nombre de points d'écoute nécessaire est proportionnel à la taille d'un site. Chaque site doit donc être évalué à travers des courbes d'accumulation pour voir si l'effort d'échantillonnage actuel est suffisant.

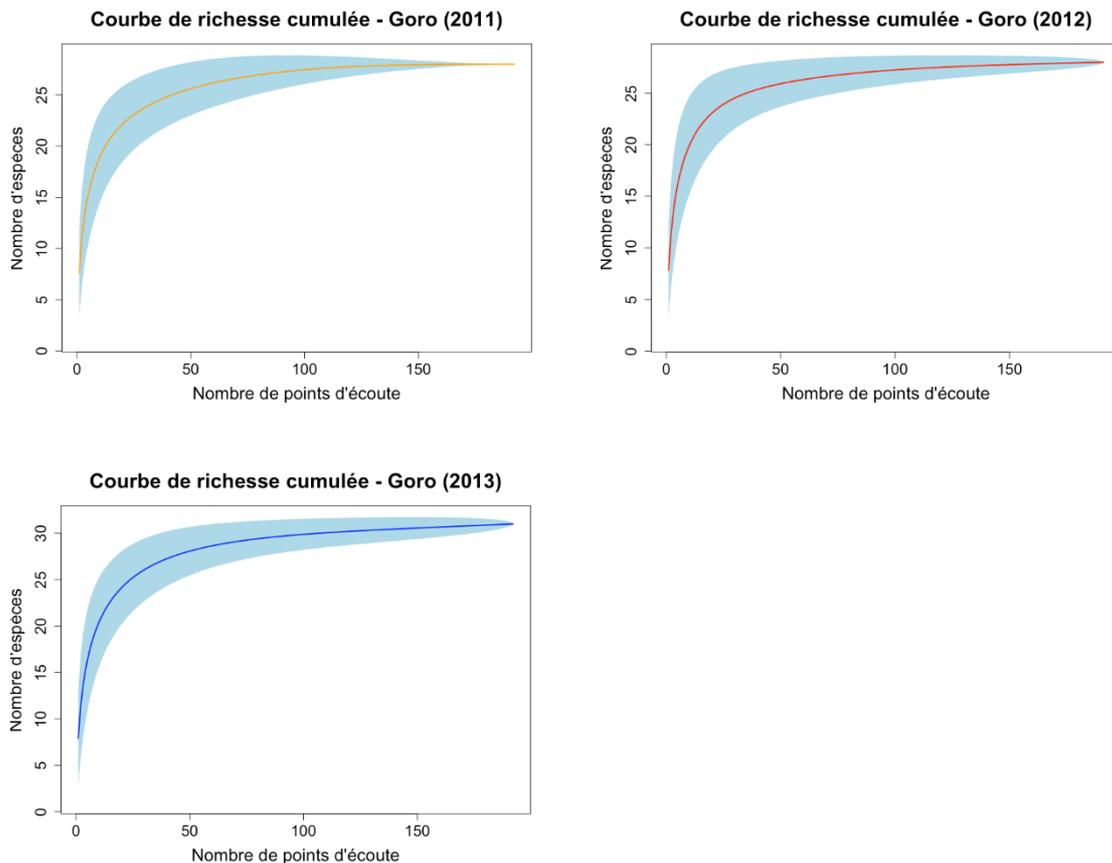


Figure 2. Courbes de richesse spécifique cumulées pour trois saisons de suivis (tous réplicas confondus) sur le plateau de Goro (2011, 2012, 2013) d'après la méthode de Scheiner et al., (2013). Les courbes ont été réalisées à l'aide du logiciel R, du package vegan et de la fonction specaccum (Colwell et al., 2012).

- **Nombre de répliques**

Le nombre de visites (i.e. un réplica) à réaliser par placette d'écoute et par saison de reproduction est une autre question importante pour évaluer la pertinence de l'effort d'échantillonnage. **Un seul passage par placette d'écoute et par saison de suivi est insuffisant.** D'un point de vue statistique, il est recommandé d'effectuer **3 visites minimums** par placette d'écoute et par saison de suivis (Field *et al.*, 2005 ; Fontaine *et al.*, 2020). Si par exemple, 10 placettes positionnées sur un site, avec 3 répliques (point écoute) cela fait 30 points d'écoute par saison de suivis. Autant que possible, ces répliques doivent être réalisés de manière échelonnée sur la saison préférentielle des suivis (période de reproduction des oiseaux) afin d'augmenter la détectabilité et non pas de manière rapprochée sur quelques jours.

- **Positionnement des placettes d'écoute**

Enfin, une réflexion doit être menée sur **le choix de l'emplacement des placettes d'écoute**. Lorsque des gestionnaires effectuent un suivi dans un territoire précis, le tirage aléatoire des sites ou des carrés de suivi n'est pas la méthode la mieux adaptée (Fontaine *et al.*, 2020). L'échantillonnage doit être orienté afin que la position des placettes d'écoute au sein d'un site suivi couvre de manière représentative l'ensemble des principaux habitats présents pour répondre aux exigences d'échantillonnage en écologie.

III.1.3. Analyser l'impact des activités minières

De manière globale, les activités minières peuvent avoir de nombreux impacts écologiques lesquels varient en fonction du stade de développement de l'exploitation, des impacts cumulés dus à la pollution, aux infrastructures construites, à la modification de la géomorphologie, ainsi qu'aux effets directs et indirects liés à la dégradation et à la fragmentation de l'habitat, et qui peuvent être difficiles à estimer (Losfeld *et al.*, 2015).

En ce qui concerne les oiseaux terrestres, peu d'études se sont intéressées aux impacts des activités minières en Nouvelle-Calédonie. Pourtant, il est reconnu que les activités minières ont un impact négatif sur la diversité et l'abondance des oiseaux (Gajera *et al.*, 2013 ; de Castro Pena *et al.*, 2017). On suppose que les perturbations et la perte d'habitat liées au décapage de la végétation impactent les zones d'alimentation et les ressources alimentaires utilisées par les oiseaux, en détruisant des espèces végétales dont les oiseaux nectarivores et frugivores dépendent pour se nourrir. La fragmentation des habitats causées par la déforestation et la baisse générale du niveau de qualité des forêts peut également avoir des conséquences à long terme comme l'isolation de sous-populations ou l'abandon des sites (Watson *et al.*, 2004). D'autres perturbations provoquées par les activités minières comme les pollutions lumineuse, sonore et atmosphérique (poussières) et le dérangement humain pourraient aussi modifier les habitudes alimentaires et reproductives des oiseaux.

- **Caractérisation du niveau de perturbation anthropique**

Au risque de se répéter, de façon générale, **la stratégie d'échantillonnage actuelle ne répond pas à l'objectif d'évaluer l'impact des activités minières sur la biodiversité avifaunistique.** Elle permet de suivre l'évolution des populations d'oiseaux mais sans explications plus précises des facteurs qui influenceraient ces tendances. Afin de savoir si les activités minières ont un impact sur les communautés d'oiseaux, il est indispensable de **définir des proxys de pressions liées aux activités minières et de pouvoir les mesurer.** Choisir et caractériser les sites et les placettes d'écoute en lien avec l'activité minière est une première étape. Mais évidemment, il peut être difficile de prendre en compte l'intégralité des facteurs de pressions des complexes miniers et d'identifier leurs impacts sur

les milieux (e.g. aménagements liés à la base vie, carrières, aires de stockage de minerai, zones industrielles, zone d'extraction minière, pistes de roulage etc.).

Le premier proxy que l'on peut utiliser pour caractériser la pression minière est **la distance entre un point d'écoute et une activité minière**. Cette mesure est facile à obtenir, standardisable et reproductible. La mesure de distance fonctionne comme un gradient de perturbation : en théorie, plus on s'éloigne de l'activité minière et plus une zone est préservée (Gajera *et al.*, 2013). Cependant, une exploitation minière peut être plus ou moins grande en termes de surface, et il peut être complexe de choisir la distance adéquate. Pour mesurer ce proxy, nous recommandons donc de calculer la distance brute en mètres entre le point d'écoute et la zone impactée par la mine la plus proche ou liée à une activité minière (e.g. décapage de la végétation et du sol, zones déforestées, pistes de prospection, voies de circulation, stockage et verse à stériles). Ce travail peut se faire par cartographie en utilisant les images satellites les plus récentes.

Pour déterminer un gradient de perturbation, il est nécessaire de réaliser une caractérisation des zones étudiées et des habitats suivis. **Les zones à proximité ou en périphérie immédiate d'une exploitation minière**, c'est-à-dire dans la zone de concessions minières ou à l'intérieur d'une zone tampon de 5 à 10 km, peuvent être considérées comme des zones perturbées (Duran *et al.*, 2013). Tandis que les zones se situant au-delà de 10 kilomètres de l'exploitation minière peuvent être considérées comme des zones moins perturbées (de Castro Pena *et al.*, 2017). Ces références concernent des travaux hors Nouvelle-Calédonie et ce travail reste à faire pour les projets miniers de la Nouvelle-Calédonie.

- **Approches BACI ou BDACI**

Une autre recommandation pour évaluer l'impact de l'activité minière en cours est de faire des comparaisons en privilégiant une démarche de mise en place de suivis de type BACI (Before and After Control Impact) ou BDACI (Before-During-After Control-Intervention) (cf II.4.2) consistant à effectuer en parallèle le suivi de zones sous influence et hors influence. Les suivis de type BDACI étant les plus robustes (Sordello *et al.* 2019).

Ces approches prévoient de réaliser un état initial en amont de chaque suivi. Pour s'assurer que l'état initial soit bien réalisé, il est nécessaire que l'effort d'échantillonnage soit suffisamment important pour pouvoir correctement caractériser une communauté avifaunistique (cf. stratégie et effort d'échantillonnage). Un travail dédié qui reste à faire est requis afin de dresser les courbes d'accumulation, établir la représentativité des sites et le nombre de répétitions adéquat comme discuté précédemment.

Ces approches prévoient également **d'effectuer des comparaisons en situations contrastées** entre des zones perturbées par les activités minières, c'est-à-dire des zones proches des activités minières, et des zones moins perturbées et éloignées des activités minières. Notons d'ailleurs qu'il n'existe pas ou plus en Nouvelle-Calédonie de zones non-perturbées par les activités humaines et où la biodiversité serait « intacte » (Gargominy, 2003 ; Richer de Forges & Pascal 2008). Il n'est donc pas possible de parler de zones non-impactées. Nous préférons parler de gradient de perturbation (qui peut être approché par la distance qui sépare d'une activité minière), du moins perturbé au plus perturbé.

Il est important que **la répartition des différents habitats soit homogène entre les zones perturbées et les zones non-perturbées**. Dans le cadre de ces comparaisons entre zones, il faudrait réaliser au moins 10 points d'écoute en zones perturbées et 10 points d'écoute en zones non-perturbées, avec 3 réplicas par points d'écoute.

D'autres gradients de perturbations que ceux liés à l'activité minière peuvent être utilisés de la même façon comme **la distance au réseau routier ou la distance à l'urbanisation**. La méthode serait

la même : on mesure une distance brute entre un point d'écoute et un type de pression et on compare les résultats en fonction de ce gradient. Ce gradient de perturbation lié à la mine et le facteur déterminant pour le caractériser au mieux doit être évalué au cas par cas selon l'emprise spatiale du projet et la nature de la perturbation que l'on souhaite évaluer. La superficie des patches forestiers et la distance entre les patches sont aussi des éléments qui doivent être pris en compte dans l'évaluation d'un gradient de perturbation, et qu'il serait intéressant d'explorer dans le cadre d'études complémentaires dédiées ; ces données n'existant pas en Nouvelle-Calédonie actuellement.

III.1.4. Stratégie de gestion et d'analyse des données

Au cours de cette étude, l'une des attentes était d'obtenir un modèle standard de structuration des données. En effet, en observant les différents jeux de données qui nous ont été transmis (pour rappel, 6 100 points d'écoute au total), nous avons pu voir que les jeux de données étaient structurés selon des modalités et des codifications différentes en fonction des suivis et des opérateurs. Pour un travail d'analyse à grande échelle, il est nécessaire de disposer d'une base de données homogène, structurée de manière standard et avec les mêmes informations relevées systématiquement. Cela justifie la standardisation requise dans le recueil des données par les différents opérateurs comme discuté précédemment, et nécessite également une réflexion autour de la sécurisation et la bancarisation de la donnée avant analyses.

Ces analyses, qui doivent croiser les données environnementales et les données relatives aux oiseaux, peuvent s'avérer relativement complexes (GLM et autres modèles) et au-delà de la portée de nombreux bureaux d'études ; une structure scientifique dédiée doit être identifiée pour cette partie analyses.

Ci-dessous un extrait du modèle de structuration standard de relevé de données proposé par l'IAC/IMBE (Figure 3) ; celui-ci est disponible en Annexe numérique 3 au format Excel, avec les méta-informations et le système de codification associé (espèces et habitats entre autres). Ce modèle est structuré autour de six grandes catégories d'informations :

1. Les informations générales et de localisation : identité du commanditaire de l'observation et celle de l'observateur, identité du point d'écoute, nom du site, nom du carré STOT le cas échéant, nom du lieu-dit dans lequel se trouve la placette d'écoute, superficie en hectare de la relique forestière, système et coordonnées de référence du point GPS (système Lambert NC 93) ;
2. La caractérisation de la placette d'écoute : habitat principal / habitat secondaire (en termes de formations végétales), altitude ;
3. La date : année, date, heure, ;
4. La méthode : durée du point d'écoute, nombre de réplica par placette ;
5. Les informations liées à la qualité du point d'écoute : météo du point d'écoute (vent, pluie, nuage), qualité d'écoute ;
6. Enfin l'identification des oiseaux entendus (ou vus) de manière codifiée, et éventuellement la distance d'observation à l'oiseau lorsque cela est possible (visuellement ou via une estimation de distance à l'observateur par l'intensité du chant)

Figure 3. Extrait du modèle de structuration standard de relevé de données. Les données sont fictives.

ID_COM	ID_OBS	ID_PE	site	foret	superficie	carre_STOT	altitude	x	y	syst_coord_ref	annee	date	heure	duree_PE	replica	habitat_principal
X	Y	CDS 01	Camp des Sapins	1	4	DX138	291	416091,5139	268264,4308	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	05:30:00	5	1	B
X	Y	CDS 02	Camp des Sapins	1	4	DV140	276	420980,365	271007,4214	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	05:45:00	5	1	B
X	Y	CDS 03	Camp des Sapins	1	4	DV140	306	420804,8061	271852,4209	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	06:00:00	5	1	B
X	Y	CDS 04	Camp des Sapins	1	4	DV140	302	420173,5322	271736,3002	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	06:15:00	5	1	B
X	Y	CDS 05	Camp des Sapins	1	4	DV140	287	420633,264	271321,3055	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	06:30:00	5	1	B
X	Y	CDS 06	Camp des Sapins	1	4	DV140	270	420356,0168	270941,3002	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	06:45:00	5	1	B
X	Y	CDS 07	Camp des Sapins	1	4	DV140	274	419984,5358	271128,3785	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	07:00:00	5	1	B
X	Y	CDS 08	Camp des Sapins	1	4	DV140	286	419683,8761	271183,1662	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	07:15:00	5	1	B
X	Y	CDS 09	Camp des Sapins	1	4	DV140	340	419890,998	270684,7442	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	07:30:00	5	1	B
X	Y	CDS 10	Camp des Sapins	1	4	DV140	336	419372,5318	270772,9321	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	07:45:00	5	1	B
X	Y	CDS 11	Camp des Sapins	1	4	DW139	329	419070,5329	269901,6973	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	08:00:00	5	1	B
X	Y	CDS 12	Camp des Sapins	1	4	DW139	341	418608,1856	270107,4765	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	08:15:00	5	1	B
X	Y	CDS 13	Camp des Sapins	1	4	DW139	318	417998,8563	270457,5742	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	08:30:00	5	1	B
X	Y	CDS 14	Camp des Sapins	1	4	DW139	322	417969,4552	270070,0668	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	08:45:00	5	1	B
X	Y	CDS 15	Camp des Sapins	1	4	DW139	334	417320,4356	269981,537	RGNC_Lambert91-93	2016	11/12/2016	09:00:00	5	1	B

Une autre difficulté que nous avons rencontrée est liée à la codification espèces. L'IAC puis la SCO avaient proposé un nom de code à 4 lettres, qui a ensuite été utilisé par les opérateurs (mais pas toujours) pour les relevés. Dans tous les jeux de données que nous avons eu à disposition, le code n'était pas expliqué. Nous avons eu du mal à comprendre à quoi correspondait ce code. À l'échelle internationale et en France métropolitaine, **un nom de code standard à 6 lettres est utilisé : les 3 premières lettres du genre (nom scientifique) et les 3 premières lettres de l'espèce ou de la sous-espèce (nom scientifique)**. Si dans le futur, l'ambition est de proposer un ou des indicateurs avifaunistiques à l'échelle du pays, il sera bénéfique de proposer un code standardisé qui est utilisé à l'échelle internationale. Cela facilitera les échanges. Nous proposons donc ce code à 6 lettres. La liste des espèces terrestre et forestier et le code est transmis dans l'Annexe numérique 2 (onglet écologie espèces).

Il serait avantageux qu'à long terme il y ait une centralisation des données de suivis avifaunistiques et que celle-ci soient rendues publiques ou accessibles directement par les provinces. En effet, la multiplication des acteurs miniers et des bases de données rend difficile l'exploitation de ces données. Une harmonisation des données serait bénéfique pour produire des analyses à plus grande échelle.

Aussi, la formation et expérience des observateurs est essentielle afin de limiter les sources de variations et s'assurer des données de qualité qui seront analysées par la suite.

Enfin, la qualité des rendus des différents prestataires devrait pouvoir être évaluée par une structure ad hoc afin de maintenir un noyau d'observateurs fiables et reconnus pour la qualité de leurs prises de relevés.

III.2. RECOMMANDATIONS POUR LE DÉVELOPPEMENT D'UNE BIO-INDICATION À L'ÉCHELLE DU PAYS

En termes de données, à l'heure actuelle ce sont principalement et quasi exclusivement les sites miniers qui sont suivis pour leur biodiversité avifaunistique. Malgré la grande diversité des habitats en Nouvelle-Calédonie, actuellement et à notre connaissance, il n'y a quasiment aucun suivi de l'avifaune terrestre en dehors des sites miniers. Par ailleurs, une des préoccupations de l'OEIL en termes de bio-indication est de pouvoir évaluer la qualité des écosystèmes terrestres à partir des suivis avifaunistiques. Or les suivis réalisés actuellement permettent d'abord d'évaluer de façon spatio-temporelle des effectifs d'oiseaux terrestres. La partie qui suit vise à proposer des recommandations pour des suivis à l'échelle du pays et d'étudier le potentiel de développement d'un outil de bio-indication.

III.2.1. Elaborer une stratégie d'échantillonnage à même de répondre aux enjeux de Biodiversité en Nouvelle-Calédonie

Si l'on souhaite créer un outil de bio-indication des écosystèmes terrestres, il conviendrait d'effectuer des suivis sur l'ensemble des grands types d'habitats terrestres et existants en Nouvelle-Calédonie. Un effort d'échantillonnage particulier pourrait être mis en œuvre sur un type d'habitats concentrant les enjeux dans cette région (e.g. forêt humide) ou bien pour mesurer une pression anthropique majeure (e.g. exploitation minière, incendies, urbanisation).

Dans le cadre d'un plan d'échantillonnage à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie, premièrement il est nécessaire de définir des unités d'échantillonnage. Depuis le début du Suivi Temporel des Oiseaux Communs de Nouvelle-Calédonie, ce sont les carrés de 2 km côté (carrés STOT) qui ont été adoptés (Baby, 2011). On recommande de continuer avec cette unité d'échantillonnage. Idéalement, un échantillonnage aléatoire devrait être appliqué pour que tous les habitats échantillonnés soient représentatifs de l'ensemble d'une zone étudiée comme en France métropolitaine dans le cadre du STOC (Fontaine *et al.*, 2020). La distribution aléatoire des zones à échantillonner est difficile en raison de plusieurs facteurs comme le relief, le manque de voies d'accès ou encore les propriétés privées. Ces difficultés sont à prendre en compte mais ne doivent pas conduire à l'abandon du caractère aléatoire de la distribution des stations, au risque de voir les résultats invalidés. Dans le cadre du STOT, l'option avait été de laisser le choix des carrés à suivre par les observateurs eux-mêmes. Néanmoins, celle-ci engendre un biais potentiel très important (du fait d'une tendance naturelle des observateurs à privilégier des sites favorables) et est à proscrire. Un carré pourra être attribué aléatoirement à un observateur dans un rayon décent autour de son domicile, à l'instar de ce qu'il se fait en métropole pour le programme STOC.

Il est essentiel que l'échantillonnage soit réparti sur l'ensemble du territoire de manière homogène et afin que les différents habitats soient échantillonnés de manière à respecter leurs proportions. Pour pallier ce manque de représentativité des habitats suivis, il est possible de se référer à la cartographie des modes d'occupation du sol de Nouvelle-Calédonie et de calculer la proportion de chaque grand type d'habitat sur l'ensemble du territoire. Un échantillonnage représentatif des différents types d'habitats devrait atteindre les mêmes proportions.

Un élément clé dans cette stratégie est le nombre de carrés STOT à effectuer. Il est très difficile de répondre à cette question sans une analyse poussée de données existantes et une appréhension de la variabilité intrinsèque au système étudié. Il n'y a pas de réponse absolue pour la simple raison que le nombre de carrés nécessaires dépend à la fois de la précision voulue dans la réponse (souhaitons-nous être en mesure de détecter une baisse de 25% de l'abondance globale ? de 50% ?) et de la variabilité environnementale du système étudié (en dehors de toute considération d'échantillonnage ou de l'effet d'une pression, l'abondance des oiseaux varie d'une année à l'autre dans des proportions plus ou moins importantes). À titre d'exemple, pour le suivi temporel des oiseaux communs en France métropolitaine : 2 893 carrés différents ont été suivis, avec 2 019 observateurs, 5 936 720 individus observés depuis 2001, 308 985 en 2019 (Fontaine *et al.*, 2020). Depuis 2010, en moyenne 911 carrés sont suivis chaque année. Leur durée de vie est de 5,8 ans. 684 carrés ont été suivis dix ans ou plus, et douze carrés sont suivis sans interruption depuis 2001 (Fontaine *et al.*, 2020). L'échantillonnage sur tout le territoire métropolitain passe ainsi par un recrutement continu de nouveaux observateurs.

A une échelle spatiale plus comparable avec la Nouvelle-Calédonie, ce même suivi a été décliné à l'échelle de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA), avec une moyenne d'environ 55 carrés effectués chaque année (avec 10 stations par carré, soit 550 relevés au total) depuis 2003 (Mariani 2021). Pour moins d'un quart des 116 espèces contactées (23%), les données sont suffisantes pour déterminer leur tendance sur une vingtaine d'années. A l'échelle des guildes d'espèces définies par grands types d'habitats, des baisses globales de l'ordre de 35-45% entre 2003 et 2020 ne sont pas statistiquement significatives. Toutefois, une analyse linéaire au cours du temps, non effectuée dans ce rapport, conclurait sans doute à une tendance négative significative. L'ambition pour la Nouvelle-Calédonie pourrait s'élever à la réalisation d'une centaine de carrés STOT annuellement (soit 1000 points d'écoute ce qui apparaît robuste d'un point de vue statistique pour l'évaluation de fluctuations à l'échelle pays). En fonction des données acquises, des ajustements et une estimation de la puissance statistique à disposition devront être réalisés. Dans un cadre adaptatif (impossibilité de le savoir à l'avance), cela permettra d'envisager d'augmenter ou de réduire l'effort d'inventaire. Aussi, en termes de temps de suivi et de premières analyses c'est l'ampleur de la tendance qui guidera l'action à entreprendre : plus un déclin constaté est rapide, plus il sera rapide de le mettre en évidence.

Prendre en compte un gradient de perturbations ne constitue pas l'esprit et l'objectif des carrés STOT. Mettre en lien l'abondance de l'avifaune et habitats spécifiques et/ou leurs niveaux de perturbation nécessite la mise en place d'un échantillonnage spécifique en se fixant des objectifs clairs en lien avec l'impact de la mine si c'est bien cette perturbation particulière qui est ciblée.

Pour s'assurer d'un plan d'échantillonnage à l'échelle du pays, il est nécessaire qu'un grand nombre d'observateurs participent à la récolte de données et que l'effort soit mutualisé et concerté entre les différents acteurs, que ce soient des bureaux d'études, des gestionnaires de réserves, des garde nature ou des bénévoles de diverses associations.

Cette récolte de données doit être pérennisée dans le temps afin de pouvoir distinguer entre de simples variations inter-annuelles liées e.g. à des conditions météorologiques variables, et de réelles tendances à long terme. La production annuelle de données permettra une actualisation annuelle des tendances tout en augmentant la probabilité de détecter une tendance à long terme.

Le développement d'un outil de bio-indication à l'échelle du pays implique donc un travail de récolte des données très important. Les réseaux naturalistes et associatifs jouent un rôle fondamental dans cet objectif et dans la production d'indicateurs oiseaux. Cependant, il ne semble pas qu'il y ait de structure associative ou de réseaux naturalistes qui puissent assumer ce travail aujourd'hui en Nouvelle-Calédonie. Il est actuellement difficile pour la SCO par exemple, de maintenir une dynamique sur les suivis STOT en raison d'un manque de bénévoles et d'outils (Entretien OEIL avec la SCO le 27 décembre 2022). Depuis 2020, la SCO n'a pas formé de nouvel observateur ; cependant la relance de l'initiative STOT est en discussion au sein de la SCO avec la mise en place d'une nouvelle interface souhaitée d'ici fin 2023.

Depuis plusieurs années maintenant, le développement d'outils des sciences participatives permet la récupération de précieuses données opportunistes pour la connaissance de l'avifaune terrestre et son évolution en mobilisant des citoyens leur permettant d'apporter une contribution significative à la science. Les données peuvent être collectées par des personnes qui ne sont pas des scientifiques (mais qui ont reçu une formation en reconnaissances avifaunistiques), mais qui ont l'occasion d'observer des oiseaux dans leur environnement quotidien. Ces données peuvent être très

précieuses pour les scientifiques, car elles peuvent fournir des informations sur des populations d'oiseaux difficiles à étudier par des méthodes traditionnelles.

Les outils de sciences participatives peuvent être utilisés pour collecter des données opportunistes de diverses manières. Par exemple, des applications mobiles du type Naturalist, peuvent être utilisées pour permettre aux citoyens de signaler les oiseaux qu'ils voient.

Ces outils libres peuvent permettre à des observateurs sensibilisés de collecter des données (qui subissent ensuite en général une étape de vérification par des pairs confirmés avant d'être publiées) sur un plus grand nombre d'espèces et de populations d'oiseaux, et de le faire de manière plus efficace et rentable. En outre, cela peut être un bon moyen de relayer le besoin de récolte de données protocolées.

Le rapprochement avec une structure comme la LPO France qui s'est donnée comme mission de promouvoir les sciences participatives de type Faune France (projet Oiseaux de France ODF) à l'ensemble des territoires Outre-Mer constituerait une bonne opportunité pour la construction d'un bio-indicateur avifaune en Nouvelle-Calédonie en renforçant les données protocolées avec des données opportunistes (particulièrement pour les espèces rares).

Ambitionner la mise au point d'un indicateur ubiquiste à partir des données actuelles disponibles, et difficilement exploitables, pourrait s'avérer contre-productif et irréalisable en présentant une ambition trop élevée dès le départ. Il apparaît beaucoup plus opportun pour atteindre l'objectif visé de prioriser une question précise ou même de cibler un compartiment spécifique afin d'initier ce bio-indicateur. La forêt humide au sens large, qui héberge les espèces sur lesquels reposent des enjeux pourrait être l'habitat à privilégier pour initier efficacement la démarche.

III.2.2. Proposition d'une typologie des habitats

Pour avoir un suivi standardisé des différents types d'habitats présents en Nouvelle-Calédonie, il est nécessaire d'avoir accès à **une description standardisée des habitats**. Une typologie avait été proposée en 2010 par la SCO (Baby, 2011). Cette typologie se basait sur la classification des modes d'occupation des sols de la Nouvelle-Calédonie établie par la Direction des Technologies et des Services de l'Information (DTSI). Cette typologie des habitats englobe les principaux milieux qu'il est possible de rencontrer sur le territoire et avec un niveau de précision satisfaisant pour des suivis avifaunistiques (Annexe 1). Nous recommandons d'utiliser cette typologie dans le cadre des suivis en cours et pour des suivis à l'échelle du pays. Cette typologie pourrait être modifiée/validée de manière collégiale par un groupe d'experts de la faune et de la flore calédonienne. Mais cela constitue déjà une bonne base. À grande échelle, et concernant le groupe des oiseaux, cela permettra d'effectuer des analyses et des corrélations entre les populations d'oiseaux et les types d'habitats.

La typologie d'habitat présentée en Annexe 1 se décompose en 8 grandes classes repérées à l'aide de lettres (A, B, C, D, E, F). Au sein de chacune de ces classes, on trouve trois colonnes de sous-catégories qui permettent une description du milieu plus précise. Les deux premières colonnes du tableau correspondent à une description générale du milieu. La troisième colonne permet de décrire plus précisément le milieu. La SCO recommande d'utiliser ce tableau pour décrire l'habitat situé dans un rayon de 100 mètres autour du point d'écoute.

III.2.3. Relevé de variables environnementales et fragmentation forestière

Un relevé standardisé d'un ensemble défini de variables environnementales à chaque point d'écoute serait utile pour analyser des corrélations entre les oiseaux et les habitats (Blondel *et al.*, 1981). Or dans les suivis réalisés aujourd'hui en Nouvelle-Calédonie, très peu de variables environnementales sont relevées.

Premièrement, il est important de prendre en compte la superficie des patchs d'habitats lesquels des points d'écoute sont réalisés (e.g. les reliques forestières dans les suivis en contexte minier). La capacité d'accueil d'un patch pour une espèce va dépendre de sa forme, de sa taille, ou de ses qualités écologiques. La superficie d'un patch est une mesure standard et pratique à utiliser. Plus la relique forestière est grande en termes de superficie, plus son potentiel de résistance aux perturbations sera élevé.

Dans une matrice paysagère, l'hétérogénéité spatiale des habitats et la fragmentation des milieux peuvent négativement impacter les oiseaux, par exemple en isolant ou en réduisant la taille de leurs populations. Les oiseaux sont capables de se disperser et de coloniser de nouveaux habitats si la matrice paysagère leur est favorable. Il est donc indispensable aussi de prendre en compte la connectivité entre les différents habitats, à travers par exemple la distance qui sépare les patchs les uns des autres (e.g. les reliques forestières). La connectivité est assurée par l'intermédiaire des corridors écologiques qui mettent en relation les patchs et rompent leur isolement. Plus les patchs d'habitats seront rapprochés entre eux, plus les corridors écologiques gagneront en efficacité et plus les espèces vont pouvoir se disperser. Du point de vue fonctionnel, les corridors écologiques vont assurer un rôle de circulation des espèces, et ainsi d'alimenter en effectifs des populations isolées dans des patchs de plus petites tailles.

L'altitude est une autre variable intéressante à noter car elle permet par exemple de définir des communautés d'oiseaux en fonction de classes d'altitude. Cette variable est notamment utilisée à la Réunion, dans le cadre du suivi temporel des oiseaux communs et pour calculer l'abondance moyenne des espèces par tranches d'altitude, par exemple de 300m par 300m. Cette variable permet de connaître les altitudes de prédilection des espèces.

III.3. LA DIVERSITE FONCTIONNELLE : UNE PISTE POUR AMELIORER LA BIO-INDICATION

L'Indice Patrimonial Avifaunistique (IPA) qui avait été proposé par Desmoulins & Barré (2004) s'appuyait sur quatre facteurs : la richesse spécifique, l'abondance par espèce, le nombre d'espèces endémiques et le nombre d'espèces menacées (cf. le statut UICN). Cet indice avait une approche intéressante pour évaluer les zones d'un site ayant une valeur avifaunistique importante, en associant une approche classique avec la richesse spécifique et l'abondance en individu par espèce, avec des caractéristiques locales propres à la Nouvelle-Calédonie, à savoir l'importance de l'endémisme et le niveau de menace pesant sur les espèces.

Néanmoins, cet indice présente certaines limites et pourrait être amélioré. Par exemple, l'IPA ne prend pas en compte les différents niveaux d'endémisme et les critères de rareté liés aux espèces.

Certes, les Méliphages et les Zostérops sont des espèces endémiques mais ce sont aussi des espèces très communes et très abondantes à large répartition et dans de nombreux milieux (y compris dégradés), et elles ne renseignent peut-être pas de manière pertinente sur l'intégrité des écosystèmes.

L'IPA développé par l'IAC (Desmoulins & Barré 2004) a été réalisé de manière spécifique pour le Plateau de Goro. Cela dans le cadre d'une étude spécifique d'inventaire de l'avifaune dont un des objectifs particuliers était d'identifier les zones à plus forte valeur biodiversité et/ou hébergeant des espèces à intérêt patrimonial élevé devant être épargnées par l'exploitation. Au-delà des précieuses informations qu'il peut apporter localement et/ou pour comparer des zones entre elles sur le Plateau de Goro, il n'a pas vocation à la base à être utilisé dans le cadre d'un suivi de l'avifaune sur le long terme ou pour évaluer un impact. Il peut rester cependant informatif dans le cadre d'une vulgarisation de l'information très ponctuelle accompagné des précautions mentionnées précédemment pour être complètement informatif.

Une approche complémentaire pour évaluer la biodiversité avifaunistique, les pressions multiples auxquelles elle fait face, et surtout, pour déterminer les liens qu'elle entretient avec le fonctionnement des écosystèmes se trouve dans la **diversité fonctionnelle** (Petchey & Gaston, 2002). Elle consiste à **étudier la diversité et les traits fonctionnels des espèces**. C'est une approche qui s'est développée depuis une vingtaine d'années et qui est de plus en plus utilisée en écologie de la conservation (Pollock *et al.*, 2020 ; Magneville *et al.*, 2022). Nous avons exploré cette approche en réalisant un travail de synthèse bibliographique des connaissances actuelles sur l'écologie des espèces (voir plus bas). Cette approche de la diversité fonctionnelle nous semble intéressante à continuer d'explorer car c'est une approche innovante qui peut apporter de nouveaux éléments de compréhension sur le fonctionnement des écosystèmes. Il sera enrichissant à long terme d'orienter la réflexion vers l'inclusion de la diversité fonctionnelle dans les analyses de bio-indication car cette approche est aussi complémentaire aux approches plus classiques (richesse spécifique, abondance).

III.3.1. Définition et intérêt de la diversité fonctionnelle

La diversité fonctionnelle est une composante de la biodiversité qui concerne la diversité des caractéristiques des organismes liées à leurs interactions dans un écosystème, c'est-à-dire les traits fonctionnels (Petchey & Gaston, 2006). La diversité fonctionnelle comprend l'ensemble des traits écologiques des organismes comme les traits morphologiques, les traits reproductifs, ou encore les traits d'histoire de vie (ensemble des variables qui donnent une indication sur la stratégie d'une espèce). Par ailleurs, les espèces partageant des caractéristiques communes peuvent être regroupées dans des groupes fonctionnels (Mouillot *et al.*, 2013).

La diversité fonctionnelle peut expliquer et prédire l'impact des organismes sur les écosystèmes et fournir un lien mécaniste entre les deux. En effet, elle permet d'évaluer la réponse des communautés d'espèces aux pressions naturelles ou anthropiques et de démêler l'effet des espèces sur le fonctionnement des écosystèmes (Mouillot *et al.*, 2013).

Une des limites des indicateurs de diversité classique comme la richesse spécifique, c'est que toutes les espèces sont considérées de la même manière. La seule chose qui va varier c'est le nombre d'espèces. Or toutes les espèces ont des caractéristiques et des traits particuliers liés à la

morphologie, les modes de nidification, le comportement, la taille de ponte, le régime alimentaire, etc. Contrairement aux indicateurs de mesures classiques, la diversité fonctionnelle est considérée comme un meilleur indicateur de la qualité d'un écosystème, car la diminution de la diversité fonctionnelle affaiblit la capacité d'un écosystème à s'adapter à des perturbations (Marcon, 2015). Mesurer la diversité fonctionnelle et les traits écologiques des espèces peut ainsi aider à mieux comprendre et nous renseigner sur l'état des écosystèmes et venir en appui aux opérations de restauration des habitats.

III.3.2. Traits fonctionnels et écologie des espèces avifaunistiques néo-calédoniennes

Nous avons réalisé un travail bibliographique et de synthèse sur les connaissances disponibles des traits fonctionnels et de l'écologie des espèces avifaunistiques néo-calédoniennes (Annexe numérique 2). Ce travail concerne uniquement les oiseaux terrestres (endémiques, natives et introduites) et nichant en Nouvelle-Calédonie. Ce travail n'était pas prévu au début de l'étude mais il a permis de synthétiser et de centraliser dans un même document les connaissances actuelles sur l'écologie des espèces, ce qui n'avait pas été réalisé auparavant en Nouvelle-Calédonie.

Ce document se présente sous la forme d'un tableau de données dans lequel nous avons regroupé les informations liées aux espèces (nom scientifique, nom vernaculaire, nom de code de l'espèce, famille, ordre), à la morphologie (poids, longueur, largeur et profondeur du bec, longueur du tarse, longueur de l'aile, longueur de la queue), la répartition géographique et le niveau d'endémisme (famille, genre, espèce endémique, sous-espèce endémique, Grande Terre, Îles Loyauté, espèce introduite, répartition régionale), l'habitat principal et la densité d'habitat dans laquelle on retrouve l'espèce, le régime alimentaire (frugivore, granivore, nectarivore, etc) et la stratégie de recherche de nourriture, les informations liées à la reproduction (période de reproduction, mode de nidification, taille de ponte), la capacité de dispersion et de migration, et enfin des informations liées à la gestion et à la conservation (statuts UICN, chasse, protection). Au total, nous avons synthétisé toutes ces informations pour 99 espèces d'oiseaux terrestres.

Pour synthétiser toutes ces informations, nous avons utilisé plusieurs références comme des bases de données internationales (Myhrvold *et al.*, 2015 ; Tobias *et al.*, 2022) mais aussi des références locales (Barré & Dutson, 2000 ; Desmoulins & Barré, 2005 ; Chartendrault *et al.*, 2007 ; Code de l'environnement de la Province Nord, 2008 ; Code de l'environnement de la Province Sud, 2009). Les noms scientifiques des espèces ont été vérifiés à partir de la base de données internationale Avibase⁵. Les espèces dont le statut de nicheur est incertain sont principalement des espèces rares qui n'ont pas été aperçues depuis plusieurs décennies et/ou qui sont supposées éteintes comme le Loriqueur à diadème, le Râle de Lafresnaye, le Turnix Bariolé, ou encore l'Engoulevent. Ces espèces sont d'ailleurs classées en danger critique d'extinction d'après la liste rouge de l'UICN⁶. La liste des espèces chassées et protégées a été vérifiée dans le Code de l'Environnement de la Province Sud et

⁵ <https://avibase.bsc-eoc.org/>

⁶ <https://www.iucnredlist.org/>

celui de la Province Nord. Malheureusement, il n'y a pas encore de liste d'espèces protégées et/ou chassées dans le Code de l'Environnement de la Province des Îles Loyauté.

Pour toutes les espèces, le statut UICN a été vérifié sur le site internet de la Liste Rouge des espèces menacées de l'UICN. À l'exception du Turnix bariolé, de l'Engoulevent de Nouvelle-Calédonie et de la Perruche cornue, toutes les sous-espèces endémiques, qu'elles soient endémiques de Grande Terre ou des Loyauté, ne sont pas évaluées dans la liste Rouge de l'UICN. Nous avons donc pris le statut UICN au niveau de l'espèce. D'ailleurs, il serait enrichissant de mener une évaluation à l'échelle locale des populations d'oiseaux, comme cela a été fait pour les espèces végétales par Endemia, afin de déterminer le niveau de menace, la taille des populations, etc.

Ce travail bibliographique sera bénéfique pour améliorer les connaissances locales mais aussi pour le développement d'indicateurs écologiques sur la base des traits fonctionnels. Par ailleurs, un travail de ce type serait intéressant pour d'autres groupes faunistiques où il existe un manque de centralisation des connaissances locales.

III.3.3. Tests d'analyses sur la diversité fonctionnelle

Nous avons testé l'approche de la diversité fonctionnelle sur les données de suivis avifaunistiques du plateau de Goro correspondant au jeu de données le plus complet qui nous a été transmis. Nous avons utilisé les données de 2008 à 2014 par soucis de structuration des tableaux de données. Les données après 2014, c'est-à-dire de 2017 à 2022 (il y a eu une interruption dans les suivis) étaient structurées différemment.

Chaque année sur le site de Goro, 12 patchs forestiers ont été suivis, avec 4 points d'écoute par patch forestier (2 en maquis paraforestier et 2 en forêt humide) et 4 répliques par point d'écoute, ce qui fait un total 192 points d'écoute par an. Sur chaque point d'écoute a été employé la méthode du point d'écoute décrite plus haut. Ainsi le nombre d'espèces et le nombre d'individus par espèce était relevé sur chaque point d'écoute.

Pour construire des indices de diversité fonctionnelle, nous avons suivi la méthode de Magneville *et al.*, (2022) et nous avons eu besoin :

- 1) D'une matrice de traits fonctionnels (cf. le tableau d'écologie des espèces) avec une valeur de trait pour chaque espèce. Dans ce tableau, les espèces sont en lignes et les traits en colonne ;
- 2) D'une matrice d'abondance par espèce, cela correspond aux relevés par points d'écoute. Les patchs forestiers ont été organisés en ligne et les espèces en colonne. L'année du relevé était rajoutée pour avoir l'évolution temporelle ;
- 3) Et enfin, un tableau à deux colonnes qui caractérise le type de variable utilisé : une première colonne qui contient le nom des traits et une deuxième colonne qui contient le type de trait (e.g. variable numérique, qualitative, ordinale, etc.)

L'analyse a été menée sur les 33 espèces qui ont été recensées entre 2008 et 2014 sur le plateau de Goro. Pour les traits fonctionnels, le tableau de départ contient 23 variables mais seulement 10 variables, les plus discriminantes et pertinentes dans le cadre de la réflexion autour d'indices, ont été

gardées pour l'analyse (Figure 4). Ces 10 traits fonctionnels peuvent être regroupés en 3 catégories (Barnagaud *et al.*, 2017) :

- 1) Les traits écologiques qui reflètent l'utilisation de l'habitat et des ressources alimentaires par les espèces : régime alimentaire, habitat principal de l'espèce, densité d'habitat dans laquelle on retrouve l'espèce ;
 - 2) Les traits morphologiques : poids, longueur de bec, comportement (i.e. la stratégie de recherche de nourriture), Hand Wing Index (i.e. capacité de dispersion) ;
 - 3) Les traits liés à la reproduction et au cycle de vie : taille de ponte, mode de nidification ;
- Et un dernier trait 'hors catégorie' : le niveau d'endémisme.

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Code_name	Reg_alimentaire	Habitat	Habitat_density	Poids	Beak_Length	Comportement	Hand_Wing_Index	Taille.de.ponte	Nidification	Endemisme
Accipiter_fasciatus_vigilax	Autour_australien	accvig	Carnivore	Forestier	Ferme	358,7	28,5	Generaliste	38,3	3	Canopee	LR
Accipiter_haplochrous	Autour_a_ventre_blanc	accchap	Carnivore	Forestier	Ferme	198,4	23,7	Inessoriel	32,7	2,5	Canopee	EE_GT
Aegotheles_savesi	Aegothele_caledonien	aegsav	Insectivore	Forestier	Ferme	52	21,6	Inessoriel	20,9	NA	Cavernicole	EE_NC
Aerodramus_spodiopygius_leucop	Salangane_a_croupion	aerleu	Insectivore	Forestier	Ferme	8	6,6	Aerien	67,3	1,5	Hirondelle	SEE_NC
Aplonis_striata_striata	Stourne_caledonien	aplstr	Frugivore	Forestier	Semi_ouvert	54,2	19,5	Inessoriel	24,8	2,5	Cavernicole	SEE_GT
Artamus_leucorhynchus_melaleuc	Langrayen_a_ventre_b	artmel	Insectivore	Boise	Semi_ouvert	41,7	22,1	Aerien	44,8	2,5	Sol	SEE_NC
Cacomantis_flabelliformis_pyrropl	Coucou_a_eventail	cacpyr	Insectivore	Forestier	Semi_ouvert	49,8	21,5	Inessoriel	43,2	1	Nid_parasite	SEE_NC
Chalcophaps_indica	Tourterelle_verte	chaidn	Omnivore	Forestier	Ferme	136,5	20,9	Generaliste	32	2	Buisson	LR
Chrysococcyx_lucidus_layardi	Coucou_cuivre	chrlay	Insectivore	Forestier	Semi_ouvert	24,4	19,3	Inessoriel	44	1	Nid_parasite	LR
Circus_approximans	Busard_de_Gould	cirapp	Carnivore	Zone_humide	Ouvert	746,2	39,5	Aerien	44,7	3,77	Sol	LR
Clytorhynchus_pachycephaloides	Monarque_brun	clypac	Insectivore	Forestier	Ferme	26,3	23,4	Inessoriel	17,4	2	Arboricole	SEE_GT
Collocalia_esculenta_albidior	Salangane_soyeuse	colaib	Insectivore	Forestier	Ferme	6,3	7,1	Aerien	68,3	1	Hirondelle	SEE_NC
Columba_vitiensis_hypochochroa	Pigeon_gorge_blanche	colhpy	Omnivore	Forestier	Semi_ouvert	353	27,4	Inessoriel	32,3	2	Buisson	SEE_NC
Coracina_caledonica_caledonica	Siffleur	corcal	Omnivore	Forestier	Ferme	140	37	Inessoriel	26,1	2	Arboricole	SEE_GT
Corvus_moneduloides	Corbeau_caledonien	cormon	Omnivore	Boise	Semi_ouvert	277,4	43,5	Generaliste	23	2	Arboricole	EE_GT
Cryptomicroeca_flaviventris	Miro_a_ventre_jaune	cryfla	Insectivore	Forestier	Semi_ouvert	13	13,6	Inessoriel	22	2	Buisson	EE_GT
Cyanoramphus_saisseti	Perruche_a_front_rouge	cysai	Frugivore	Forestier	Ferme	130	16,9	Inessoriel	40	3	Cavernicole	EE_GT
Drepanoptila_holosericea	Ptilope_vloulou	drehol	Frugivore	Forestier	Semi_ouvert	215	17,8	Inessoriel	20,5	1	Arboricole	EE_GT
Ducula_goliath	Notou	ducgol	Frugivore	Forestier	Semi_ouvert	600	40,8	Inessoriel	28,5	1	Canopee	EE_GT
Ducula_pacifica	Notou_des_iles	ducpac	Frugivore	Forestier	Semi_ouvert	394,2	27,9	Inessoriel	32,5	1	Canopee	LR
Edolisoma_anale	Siffleur_de_montagne	edoana	Insectivore	Forestier	Ferme	82,4	29,1	Inessoriel	24,8	1	Arboricole	EE_NC
Egretta_novaeahollandiae	Aigrette_a_face_blanche	egrnov	Predateur_aqua	Zone_humide	Ouvert	558,6	80,9	Terrestre	37,5	2,5	Sol	LR
Egretta_sacra_albolineata	Aigrette_sacree	egralb	Predateur_aqua	Cotier	Ouvert	502	82,5	Terrestre	32,9	2,5	Sol	SEE_NC
Erythrura_psittacea	Diamant_psittaculaire	erypsi	Granivore	Arbustif	Semi_ouvert	11,5	11,7	Generaliste	17,3	4,5	Cavernicole	EE_GT

Figure 4. Extrait du tableau d'écologie des espèces utilisé pour l'analyse.

Ces 10 variables recouvrent de manière assez large plusieurs aspects de l'écologie des espèces. La perte ou la réduction de l'un de ces traits pourrait entraîner la perte de processus écosystémiques clés telle que la dispersion des graines ou la pollinisation (Sekercioglu, 2012). De plus, ces traits fonctionnels sont certainement susceptibles de réagir aux modifications de l'habitat causées par l'activité minière. Donc *a priori*, la mesure de ces traits fonctionnels devrait nous permettre d'évaluer la qualité de l'habitat.

Trois types d'indices de diversité fonctionnelle ont été calculés d'après la méthode de Villéger *et al.*, (2008) :

- 1) La richesse fonctionnelle : correspond au volume d'espace fonctionnel occupé par les espèces ; théoriquement, la valeur de l'indice n'a pas de limite telle une échelle ouverte (i.e. plus l'indice est élevé, plus la richesse fonctionnelle est élevée) ;
- 2) La régularité fonctionnelle : c'est-à-dire la régularité de la distribution de l'abondance dans l'espace multifonctionnel ; l'indice varie entre 0 et 1, il diminue lorsque les abondances sont moins équitablement distribuées entre les espèces ou lorsque les distances fonctionnelles entre les espèces sont moins régulières ;
- 3) La divergence fonctionnelle : c'est-à-dire la variabilité dans la distribution de l'abondance des traits fonctionnels dans l'espace multifonctionnel ; l'indice varie entre 0 et 1, plus l'abondance de chaque groupe fonctionnel est élevée, plus la divergence fonctionnelle est élevée.

Concernant les résultats, quel que soit le patch forestier et l'année considérée sur le Plateau de Goro, **la richesse fonctionnelle est très faible mais stable de 2008 à 2014** (Figure 5). S'agissant de **l'indice de régularité fonctionnelle**, on observe un peu plus de **différences entre les patchs forestiers** avec des différences de niveau entre les patchs forestiers, certains présentant une meilleure répartition des groupes fonctionnels que d'autres. On observe aussi **des dynamiques d'augmentation et de diminution**. La dynamique de l'indice est globalement stable. Enfin la **divergence fonctionnelle**, celle-ci est plutôt **élevée mais relativement stable au cours du temps** (avec quelques fluctuations mineures selon les patchs forestiers). Ce qui signifie que les espèces les plus abondantes (e.g. Mépliphages, Zostérops) ont des valeurs de traits fonctionnels extrêmes.

Il n'est pas envisageable à l'heure actuelle d'attribuer des scores (mauvais à bon par exemple) à ces indices de diversité fonctionnelle actuellement car un calibrage en ce sens nécessiterait de se placer dans des situations réellement différenciées en matière de perturbations, et cela rééquerrait un pas de temps suffisamment large pour détecter des changements. En effet, ceux-ci apparaissent relativement très peu marqués entre 2008 et 2014 sur le Plateau de Goro et affichent une certaine stabilité sur la période représentée figure 5.

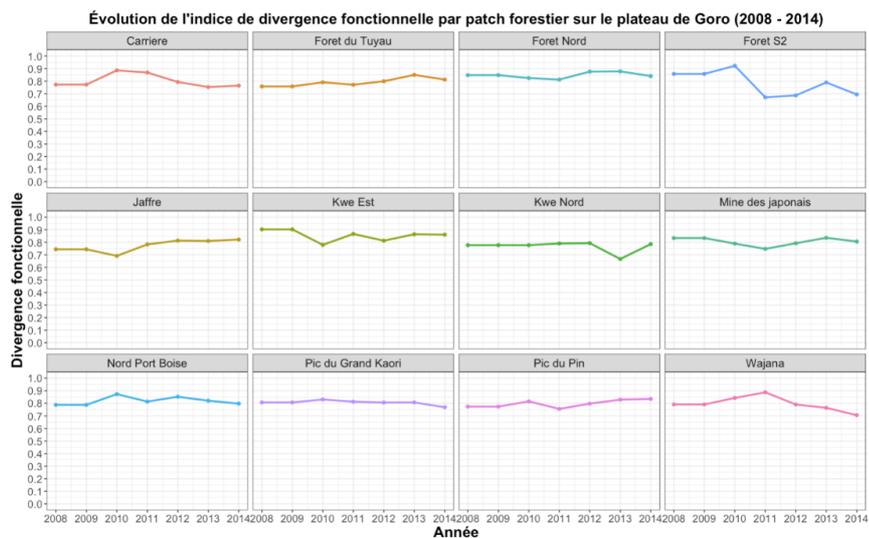
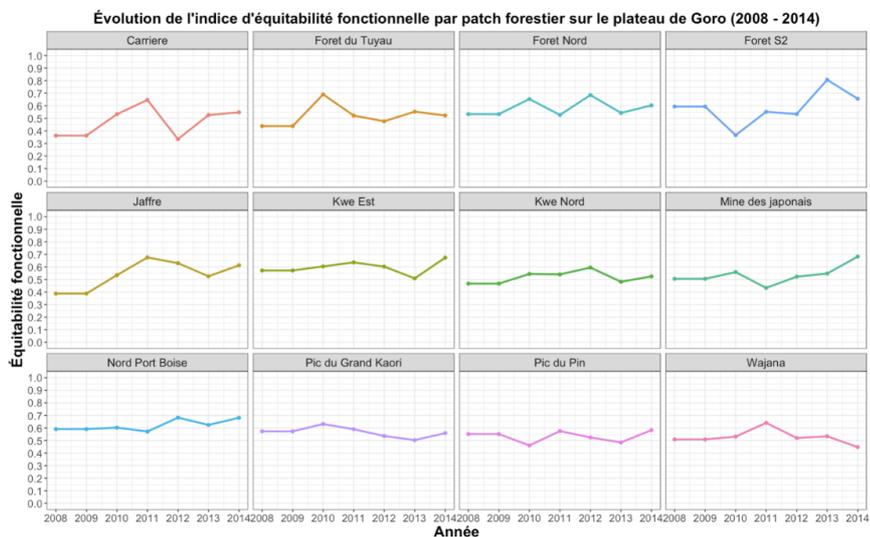
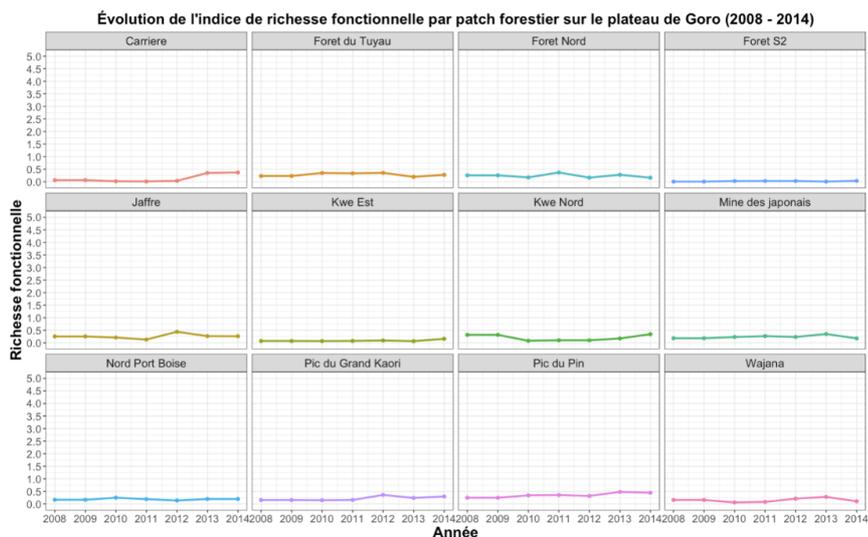


Figure 5. Évolution des trois indices de diversité fonctionnelle sur le plateau de Goro (richesse, équitabilité et divergence fonctionnelle) par patch forestier et par année, de 2008 à 2014.

Ces dynamiques pourraient être liées aux impacts de l'activité minière et à l'évolution du site (e.g. ouverture de nouvelle carrière, défrichement, ouverture de piste). Mais en l'absence de variables catégorisant la pression minière en lien avec l'habitat (distance les séparant les uns des autres, etc) et d'une catégorisation des patches forestiers suivis (taille des fragments forestiers), ces résultats restent peu compréhensibles. Il est difficile d'expliquer à quoi sont dues ces dynamiques observées et de faire le lien entre les données et la réalité écologique car celles-ci ne sont pas croisées avec des données expérimentales, les facteurs explicatifs (impacts miniers précis à évaluer comme la perte totale ou partielle d'habitat forestier, les nuisances sonores, la fréquentation...) à tester n'étant pas disponibles. La caractérisation des sites et des types de pressions (minières, humaines) reste donc indispensable pour comprendre les évolutions écologiques. Définir une typologie précise des impacts miniers apparaît aujourd'hui nécessaire (cf aussi III.3.4.).

Humide

III.3.4. Amélioration des connaissances générales sur l'avifaune terrestre néo-calédonienne

Le niveau de connaissances sur l'écologie de l'avifaune terrestre néo-calédonienne reste relativement très faible, et relancer des travaux scientifiques dédiés dans le champ de l'ornithologie constituent une priorité pour combler ces lacunes.

Au niveau de la caractérisation des habitats préférentiels des communautés d'oiseaux et de leur utilisation de l'espace, il apparaît opportun qu'à l'avenir, les suivis et la stratégie d'échantillonnage autour des différents types de pressions que l'on observe en site minier, tout comme pour la typologie des habitats, **fassent l'objet de réflexions transdisciplinaires**, de manière concomitante à certaines recommandations évoquées plus haut. En effet, cela concerne les spécialistes de la faune et de la flore au-delà du groupe des oiseaux. La pollution sonore, la présence d'espèces envahissantes, la présence de zones incendiées à proximité, ou encore la présence de pistes pourraient être prise en compte dans le cadre d'une caractérisation des différents types de pression.

Aussi, pour identifier les corridors écologiques et évaluer leur importance au sein d'une matrice paysagère, il serait nécessaire de localiser sur le terrain et sur carte (i.e. images satellites, cartes des habitats) les différents patches d'habitats (cf. la typologie des habitats), leur taille, et pour aller plus loin, les éléments du paysage qui relie ou séparent les patches (e.g. habitats naturels, maquis, forêts, mais aussi les habitats modifiés par l'Homme, champs, haie, routes, habitation). Une zone tampon est nécessaire à appliquer pour limiter les effets lisières. Mais en fonction des types de pressions à proximité, la taille de la zone tampon peut être plus ou moins grande. Par exemple une étude au Brésil (Castro Pena *et al.*, 2017) estime à 10 km la zone tampon à appliquer entre une exploitation minière et une zone non-perturbée. Cela reste à évaluer pour la Nouvelle-Calédonie (en lien avec une typologie des impacts).

Enfin, et en lien avec les deux points ci-dessus, à l'heure actuelle, les capacités de dispersion des différentes espèces d'oiseaux terrestres, à l'exception de certaines espèces très étudiées comme le Notou, le Cagou ou encore le Corbeau calédonien restent non connues. D'autres paramètres liés à l'écologie des espèces entrent en compte dans l'étude de la fragmentation forestière comme le degré de tolérance d'ouverture des milieux par les différentes espèces d'oiseaux. Il sera peut-être difficile d'établir des corridors écologiques pouvant satisfaire la dispersion de toutes les espèces, mais l'identification des patches d'habitats et de leur taille est une première étape afin de caractériser les sites et d'identifier des corridors écologiques envisageables.

IV. CONCLUSION

Cette étude de faisabilité aura permis de réaliser un état des lieux et une caractérisation des suivis de l'avifaune terrestre réalisés en Nouvelle-Calédonie ces dernières années. Les principaux acteurs impliqués dans les suivis de l'avifaune terrestre néo-calédonienne ont été identifiés au cours de cette étude. D'autres acteurs ont possiblement été oubliés à la marge, cependant un très grand nombre de données ont d'ores et déjà pu être récupérées auprès des partenaires. L'évaluation de l'exploitabilité des données a ainsi conduit à des propositions d'harmonisation des données exploitables, de premières analyses et des propositions d'amélioration pour le futur.

Si dans le passé un grand nombre d'inventaires ponctuels ont été réalisés sur l'ensemble du territoire, les suivis de l'avifaune terrestre se concentrent aujourd'hui essentiellement sur les sites miniers. Naturellement donc, et parce que la réglementation des sites miniers l'impose, une partie de la réflexion s'est tournée autour de l'évaluation des protocoles et de leur pertinence afin d'analyser l'impact des activités minières sur la biodiversité avifaunistique. Malheureusement, le principal enseignement de ce travail est que **les protocoles et les stratégies d'échantillonnage actuelles et passées ne permettent pas de répondre à cet objectif d'évaluation de l'impact minier du fait de nombreux biais dans les protocoles et la prise de données**. Si cet objectif doit être poursuivi, il est impératif de faire évoluer très sensiblement la stratégie d'échantillonnage actuelle et de sortir du cadre mis en place qui s'avère largement inefficace si l'on souhaite réellement caractériser les impacts des activités minières sur les communautés d'oiseaux terrestres ou utiliser les communautés d'oiseaux terrestres comme marqueurs ou indicateurs de l'impact écosystémique de l'activité minière.

Cet état des lieux a permis de proposer plusieurs pistes d'amélioration majeures des suivis actuels et des pistes pour le développement d'un bio-indicateur à l'échelle du pays. Les principales recommandations établies à la suite de ce travail concernent la caractérisation des variables environnementales et physiques de l'habitat des sites et des types de pressions liées à l'activité minière. Ces deux variables sont cruciales si l'on souhaite comprendre l'impact minier. Pour cela, il est nécessaire d'effectuer des comparaisons entre sites en fonction d'un gradient de perturbations : du moins perturbé au plus perturbé, du plus éloigné au moins éloigné d'une activité minière et/ou selon une démarche de type BACI (Before and After Control Impact) ou BDACI (Before-During-After Control-Intervention).

L'évaluation des données et des protocoles à travers la lecture des rapports d'études aura aussi permis de proposer un modèle standard de structuration des données, nécessaire à leur exploitation scientifique et à leur bancarisation. En effet, à partir de l'ensemble des données qui nous ont été transmises (pour rappel 6 100 points d'écoute au total), nous avons pu mettre en évidence que les jeux de données étaient structurés selon des modalités et des codifications variables. Il était donc nécessaire de proposer une standardisation des tableaux de données, de façon à faciliter la mise en place d'une base de données harmonisée et ensuite de faciliter le travail d'analyse.

La multiplication et la diversité des détenteurs de données et des opérateurs récoltant ces données compliquent leur partage, leur accès, leur récupération et leur analyse. Un outil de bancarisation des données commun et une centralisation des données au sein d'une structure ad hoc pour la phase d'analyses faciliterait la coordination des efforts à l'échelle du pays et les études à long-terme.

Ce travail préliminaire a également permis une analyse bibliographique commentée de l'écologie des espèces (c.f. une liste de 99 espèces) à partir de références et de bases de données locales et

internationales. Cette compilation inédite sous forme d'un tableau comprend un grand nombre d'informations concernant les traits fonctionnels des espèces comme la morphologie (e.g. poids, longueur du bec, longueur du tarse, longueur de l'aile), les traits reproducteurs (e.g. taille de ponte, mode de nidification), le régime alimentaire, ou encore des informations liées à la gestion et à la conservation des espèces (e.g. statuts UICN, chasse, protection). Au-delà du développement d'un bioindicateur à l'échelle de la Nouvelle Calédonie via l'approche de la diversité fonctionnelle, ce travail de synthèse unique participe à une amélioration des connaissances locales sur l'avifaune terrestre notamment celles en lien avec les travaux de restauration des sites miniers ou encore les interactions flore/oiseaux disperseurs.

Cette étude sur 6 mois est un travail préliminaire et reste une étude de faisabilité ; elle a pu mettre en lumière le besoin d'études complémentaires (notamment sur la caractérisation des pressions et des habitats, sur les traits fonctionnels des espèces) et certaines questions demeurent donc encore en suspens.

Des réflexions à conduire autour de référentiels (typologie des habitats et des impacts de la mine) et d'éléments de standardisation ont été faites et l'ensemble de ces propositions mériteraient d'être discutées pour parvenir à l'adoption d'une approche partagée.

Dans le cadre du développement d'un bioindicateur à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie, et comme développé dans le présent travail, l'approche par la diversité fonctionnelle reste un objectif à atteindre même si de nombreuses lacunes autour de la connaissance de l'avifaune persistent entre autres. Cependant, dans une étape plus opérationnelle, il apparaît aussi nécessaire d'élaborer un plan d'échantillonnage à l'échelle du pays représentatif des différents habitats si l'on souhaite un outil de bio-indication à grande échelle. L'appui des sciences participatives, et rejoindre des initiatives nationales et Outre-Mer de type Faune France, s'avéreraient être hautement opportuns. Bâtir un indicateur avifaunistique à partir d'une question précise ou d'un habitat clé lié à des enjeux particuliers (la forêt humide en particulier) permettrait sans doute d'initier efficacement la démarche de bio-indication.

BIBLIOGRAPHIE

Amundson, C. L., Royle, J. A., & Handel, C. M. (2014). A hierarchical model combining distance sampling and time removal to estimate detection probability during avian point counts. *The Auk: Ornithological Advances*, 131(4), 476-494.

Arrêté n° 2006-4613/GNC du 16 novembre 2006 fixant les attributions de la direction de l'industrie, des mines et de l'énergie de la Nouvelle-Calédonie.

Arrêté n° 2698-2016/ARR/DIMENC du 30 septembre 2016 autorisant l'exploitation du site minier de « Goro » situé sur les communes de yaté et du Mont-Dore, par la société Vale Nouvelle-Calédonie SAS.

Arrêté n° 927-2016/ARR/DIMENC du 1^{er} avril 2016 autorisant l'exploitation du site minier de « Graziella », situé sur la commune du Mont-Dore, par la société Maï Kouaoua Mines – MKM.

Arrêté n° 743-2015/ARR/DIMENC du 21 avril 2015 autorisant l'exploitation du site minier de « Dothio », situé sur la commune de Thio, par la Société Le Nickel-SLN.

Arrêté n° 3012-2014/ARR/DIMENC du 19 novembre 2014 autorisant l'exploitation du site minier de Thio Camp des Sapins, situé sur les communes de Thio et Boulouparis, par la Société Le Nickel – SLN.

Arrêté n° 3176-2014/ARR/DIMENC du 28 novembre 2014 autorisant l'exploitation du site minier de « Ouinné », situé sur la commune de Yaté, par la société minière Georges Montagnat – SMGM.

Arrêté n° 2015-169/PN du 20 avril 2015 autorisant l'exploitation des concessions minières situées sur le massif du Koniambo, sur les communes de Koné et de Voh, par la société Koniambo Nickel SAS.

Arrêté n° 3784-2019/ARR/DIMENC du 3 décembre 2019 complémentaire de l'arrêté 2577-2013/ARR/DIMENC du 8 octobre 2013 autorisant l'exploitation du site minier de Thio plateau, sur la commune de Thio, par la société Le Nickel – SLN.

Baby, E. (2011). Réflexions méthodologiques pour la construction et la mise en œuvre des indicateurs de biodiversité en Nouvelle-Calédonie. Évolution de l'abondance des oiseaux communs. Évolution de l'abondance des oiseaux protégées. *SCO Société Calédonienne d'Ornithologie*. 102 pp.

Barnagaud, J. Y., Gaüzère, P., Zuckerberg, B., Princé, K., & Svenning, J. C. (2017). Temporal changes in bird functional diversity across the United States. *Oecologia*, 185, 737-748.

Barré, N., & Dutson, G., (2000). Oiseaux de Nouvelle-Calédonie - Liste commentée. *Alauda*, 68(3), 1-48.

Barré, N., & Ménard, C. (2003). Inventaire et écologie de l'avifaune des massifs de Nekoro et Mouataoua (Province Nord). *IAC Institut Agronomique néo-Calédonien*. Convention Programme Forêt Sèche/IAC 2002, Rapport de recherche. 32pp.

Barré, N., Hebert, O., Aublin, R., Spaggiari, J., Chartendault, V., & Baillon, N. (2009). Troisième complément à la liste des oiseaux de Nouvelle-Calédonie. *Alauda (Dijon)*, 77(4), 287-302.

Barré, N., Tron, F., Chartendault, V., Okahisa, Y., Sato, N. J., Legault, A., & Theuerkauf, J. (2013). Breeding seasons of landbirds in New Caledonia. *The Wilson Journal of Ornithology*, 125(2), 384-398.

Bas, Y., Devictor, V., Moussus, J. P., & Jiguet, F. (2008). Accounting for weather and time-of-day parameters when analysing count data from monitoring programs. *Biodiversity and Conservation*, 17, 3403-3416.

Bertaud, A., OEIL. Révision du plan de suivi des milieux terrestres dans l'aire d'influence du complexe industriel et minier de Vale NC – Première analyse. Rapport final. Décembre 2018. 112 p.

Bibby, C. J., Burgess, N. D., Hill, D. A., & Mustoe, S. H. (2000). Counting individual species. *Bird Census Techniques*, 2nd ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 155-182.

Blondel, J. (1981). Point counts with unlimited distance. *Stud Avian Biol*, 6, 414-420.

- Boissenin, M., Gomez, S., Barré, N., Chambrey, C., Tassin, J. (2006). Interactions entre l'avifaune frugivore et la flore ligneuse en forêt sèche de Nouvelle-Calédonie. *IAC Institut Agronomique néo-Calédonien*. Convention Programme Forêt Sèche/IAC 2005, Rapport de recherche. 79pp.
- Bonthoux, S., & Balent, G. (2012). Point count duration: five minutes are usually sufficient to model the distribution of bird species and to study the structure of communities for a French landscape. *Journal of Ornithology*, 153, 491-504.
- Chartendrault, V., Desmoulins, F., & Barré, N. (2007). Oiseaux de la chaîne centrale. Province nord de Nouvelle-Calédonie. Païta: IAC-Province nord,4-136.
- Chevalier, M., Russell, J.C. & Knape, J. (2019). New measures for evaluation of environmental perturbations using Before-After-Control-Impact analyses. *Ecological Applications*. 29(2):e01838. <https://doi.org/10.1002/eap.1838>
- Code de l'environnement de la Province Nord (délibération n°2008-306/APN du 24 octobre 2008).
- Code de l'environnement de la Province Sud (délibération n° 25-2009/APS du 20 mars 2009).
- Colwell, R. K., Chao, A., Gotelli, N. J., Lin, S. Y., Mao, C. X., Chazdon, R. L., & Longino, J. T. (2012). Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *Journal of plant ecology*, 5(1), 3-21.
- de Castro Pena, J. C., Goulart, F., Fernandes, G. W., Hoffmann, D., Leite, F. S., dos Santos, N. B., ... & Rodrigues, M. (2017). Impacts of mining activities on the potential geographic distribution of eastern Brazil mountaintop endemic species. *Perspectives in ecology and conservation*, 15(3), 172-178.
- Desmoulins, F., & Barré, N. (2004). Inventaire et écologie de l'avifaune du plateau de Goro. Rapport d'étude. IAC, Port-Laguerre. 47 p.
- Desmoulins, F., & Barré, N. (2005). Oiseaux des forêts sèches de Nouvelle-Calédonie. Païta: IAC-Programme forêt sèche,3-107.
- Desmoulins, F., (2009). Mise en place d'un suivi de l'avifaune forestière du plateau de Goro. *ECCET. Rapport 01/2009*, 51pp.
- Desmoulins, F., (2010). Suivi de l'avifaune forestière et lacustre du plateau de Goro. *ECCET. Rapport 01/2010*, 32pp.
- Desmoulins, F., (2012). Suivi de l'avifaune forestière et lacustre du plateau de Goro. Campagne 2011-2012. *ECCET. Rapport 06/2012*, 33pp.
- Desmoulins, F., (2014). Suivi de l'avifaune forestière et lacustre du plateau de Goro. Saison 2013-2014. *ECCET. Rapport 07/2014*, 42pp.
- Desmoulins, F., (2019). Compte rendu d'inventaire des peuplements aviens de la Mine Colonel Thompson. *ECCET. Rapport 03/2019*, 28pp.
- Durán, A.P., Rauch, J., Gaston, K. J. (2013). Global spatial coincidence between protected areas and metal mining activities. *Biol. Conserv.*, 160 (2013), pp. 272-278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2013.02.003>
- Doughty, C., Plant, A., & Day, N. (1999). *Birds of the Solomons, Vanuatu & New Caledonia*. Christopher Helm.
- Dutson, G. (2011). *Birds of Melanesia: Bismarcks, Solomons, Vanuatu and New Caledonia*. Bloomsbury Publishing.
- Duval, T. (2018). Suivi de l'avifaune forestière et lacustre du plateau de Goro. Année 2018. *Hémisphères*. 21pp.
- Duval, T. (2019). Suivi de l'avifaune forestière et lacustre du plateau de Goro. Année 2018. *Hémisphères*. 22pp.
- Duval, T. (2020). Suivi de l'avifaune forestière et lacustre du plateau de Goro. Année 2020. *Hémisphères*. 22pp.
- Duval, T. (2022). Suivi de l'avifaune forestière des aires protégées Koniambo Nickel. Année 2022. *Hémisphères*. 3 pp.

- Field, S. A., Tyre, A. J., & Possingham, H. P. (2005). Optimizing allocation of monitoring effort under economic and observational constraints. *The Journal of Wildlife Management*, 69(2), 473-482.
- Fontaine, B., Moussy, C., Chiffard Carricaburu, J., Dupuis, J., Corolleur, E., Schmaltz, L., Lorrillière, R., Lois, G., Gaudard, C. (2020). Suivi des oiseaux communs en France 1989-2019 : 30 ans de suivis participatifs. *MNHN – Centre d'Écologie et des Sciences de la Conservation, LPO BirdLife France – Service Connaissance, Ministère de la Transition écologique et solidaire*. 46pp.
- Fraixedas, S., Lindén, A., Piha, M., Cabeza, M., Gregory, R., & Leikoinen, A. (2020). A state-of-the-art review on birds as indicators of biodiversity: Advances, challenges, and future directions. *Ecological Indicators*, 118, 106728.
- Gajera, N. B., Roy Mahato, A. K., & Kumar, V. V. (2013). Status, distribution, and diversity of birds in mining environment of Kachchh, Gujarat. *International Journal of Biodiversity*, 2013, 1-11.
- Gargominy, O. (2003). Biodiversité et conservation dans les collectivités françaises d'outre-mer. *Comité français pour l'UICN*, Paris, France, 246 p.
- Gregory, R. D., Gibbons, D. W., Impey, A., & Marchant, J. H. (1999). Generation of the headline indicator of wild bird populations. *BTO Research report*, 221.
- Gregory, R. D., Noble, D., Field, R., Marchant, J., Raven, M., & Gibbons, D. W. (2003). Using birds as indicators of biodiversity. *Ornis hungarica*, 12(13), 11-24.
- Gregory, R. D., & Van Strien, A. (2010). Wild bird indicators: using composite population trends of birds as measures of environmental health. *Ornithological Science*, 9(1), 3-22.
- Guiguin, N., Gilbert, A. (2009). Suivi environnemental relatif à l'aménagement de la ZAC DSM. *Ginger Soproner, Département Environnement. SECAL, dossier n°A001.08034.0001*, 39pp.
- Guiguin, N. (2011). Suivi environnemental relatif à l'aménagement de la ZAC de Dumbéa Sur Mer (DSM). *Ginger Soproner, Département Environnement. SECAL, dossier n°A001.11028.0001*, 96pp.
- Hamdi, N., & Ismail-Hamdi, S. (2015). Un indice écologique pour la surveillance des zones humides basé sur l'avifaune aquatique: cas de la Tunisie. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*, 70(4), 328-341.
- Lehouck, V., Spanhove, T., Vangestel, C., Cordeiro, N. J., & Lens, L. (2009). Does landscape structure affect resource tracking by avian frugivores in a fragmented Afrotropical forest?. *Ecography*, 32(5), 789-799.
- Loi du Pays n°2009-6 du 16 avril 2009 portant sa partie législative et arrêté n°2009-2205/GNC du 28 avril 2009.
- Losfeld, G., L'huillier, L., Fogliani, B., Jaffré, T., & Grison, C. (2015). Mining in New Caledonia: environmental stakes and restoration opportunities. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 5592-5607.
- Lynch, J. F. (1995). Effects of point count duration, time-of-day, and aural stimuli on detectability of migratory and resident bird species in Quintana Roo, Mexico. *Monitoring bird populations by point counts*, 1-6.
- Magneville, C., Loiseau, N., Albouy, C., Casajus, N., Claverie, T., Escalas, A., ... & Villéger, S. (2022). mFD: an R package to compute and illustrate the multiple facets of functional diversity. *Ecography*, 2022(1).
- Manceau, N., Barré, N. (2001). Inventaire et répartition des oiseaux de Lifou. Principales zones d'intérêt patrimonial. *IAC Institut Agronomique néo-Calédonien, Programme Élevage et Faune Sauvage*. Convention n°63/99 du 19 août 1999 IAC Province des Îles Loyauté. 54pp.
- Marcon, E. (2015). *Mesures de la biodiversité* (Doctoral dissertation, AgroParisTech).
- Mariani, V. (2021). Bilan du programme STOC-EPS en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur – Tendances, statuts des espèces et indicateurs de biodiversité pour la période 2001 – 2021 Conservatoire d'espaces naturels de Provence-Alpes-Côte d'Azur. Aix en Provence, 26 p. + annexes
- Mouillot, D., Graham, N. A., Villéger, S., Mason, N. W., & Bellwood, D. R. (2013). A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in ecology & evolution*, 28(3), 167-177.

- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.
- Myhrvold, N. P., Baldrige, E., Chan, B., Sivam, D., Freeman, D. L., & Ernest, S. M. (2015). An amniote life-history database to perform comparative analyses with birds, mammals, and reptiles: Ecological Archives E096-269. *Ecology*, 96(11), 3109-3109.
- Petchey, O. L., & Gaston, K. J. (2002). Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology letters*, 5(3), 402-411.
- Petchey, O. L., & Gaston, K. J. (2006). Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology letters*, 9(6), 741-758.
- Pollock, L. J., O'connor, L. M., Mokany, K., Rosauer, D. F., Talluto, M. V., & Thuiller, W. (2020). Protecting biodiversity (in all its complexity): new models and methods. *Trends in Ecology & Evolution*, 35(12), 1119-1128.
- Richer de Forges, B., & Pascal, M. (2008). La Nouvelle-Calédonie, un «point chaud» de la biodiversité mondiale gravement menacé par l'exploitation minière. *Journal de la Société des Océanistes*, (126-127), 95-112.
- Scheiner, S. M. (2003). Six types of species-area curves. *Global ecology and biogeography*, 12(6), 441-447.
- Sekercioglu, C. H. (2012). Bird functional diversity and ecosystem services in tropical forests, agroforests and agricultural areas. *Journal of Ornithology*, 153(Suppl 1), 153-161.
- Simamora, T. I., Purbowo, S. D., & Laumonier, Y. (2021). Looking for indicator bird species in the context of forest fragmentation and isolation in West Kalimantan, Indonesia. *Global Ecology and Conservation*, 27, e01610.
- Sordello R., Bertheau Y., Coulon A., Jeusset A., Ouédraogo D.Y., Vanpeene S., Vargac M., Villemey A., Witté I., Reyjol Y., Touroult J. (2019). Les protocoles expérimentaux en écologie. Principaux points clefs. UMS PatrNat, CESCO, Irstea. 32 pages.
- Spaggiari, J., Chartendrault, V., & Barré, N. (2007). *Zones importantes pour la conservation des oiseaux de Nouvelle-Calédonie*. Société calédonienne d'ornithologie.
- Stephens, P. A., Mason, L. R., Green, R. E., Gregory, R. D., Sauer, J. R., Alison, J., ... & Willis, S. G. (2016). Consistent response of bird populations to climate change on two continents. *Science*, 352(6281), 84-87.
- Strubel, V. (2015). Plan de suivi de la faune du Camp des Sapins 2015-2020. *Mica Environnement NC*. SLN, Département Environnement. Numéro de Document : DE2015-020. 10pp.
- Tobias, J. A., Sheard, C., Pigot, A. L., Devenish, A. J., Yang, J., Sayol, F., ... & Schleuning, M. (2022). AVONET: morphological, ecological and geographical data for all birds. *Ecology Letters*, 25(3), 581-597.
- Valérie, V., Iopue, R., Ruiz, J-L. (2022). Suivi environnemental ZAC Panda. Campagne 2021. *Rapport Aqua Aterra, n°046/20. SECAL*. 42pp.
- Villard, P. & Barré N. 2002. Inventaire et statut des oiseaux dans la zone d'emprise du projet Koniambo (Province Nord, Nouvelle-Calédonie). IAC Edition. 55 pp.
- Villéger, S., Mason, N. W., & Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, 89(8), 2290-2301.
- Watson, J. E., Whittaker, R. J., & Dawson, T. P. (2004). Habitat structure and proximity to forest edge affect the abundance and distribution of forest-dependent birds in tropical coastal forests of southeastern Madagascar. *Biological Conservation*, 120(3), 311-327.
- Wolfe, J. D., Johnson, M. D., & Ralph, C. J. (2014). Do birds select habitat or food resources? Nearctic-Neotropic migrants in northeastern Costa Rica. *PLoS One*, 9(1), e86221.
- Xiao, H., Hu, Y., Lang, Z., Fang, B., Guo, W., Zhang, Q. I., ... & Lu, X. (2017). How much do we know about the breeding biology of bird species in the world?. *Journal of Avian Biology*, 48(4), 513-518.

ANNEXE

Annexe 1. Typologie d'habitat utilisée et proposée par la SCO.

A) Milieux aquatiques		
Eau douce	1. Rivière	
Eau marine	2. Lac	
Eau saumâtre	3. Étang	
Mangrove	4. Mare/petit plan d'eau	
Tanne	5. Zone marécageuse à niaoulis	
	6. Zone marécageuse herbeuse	
	7. Vasière	
	8. Creek	
	9. Mangrove dense	
	10. Mangrove clairsemée	
	11. Plage	
B) Forêts		
Forêt dense humide	1. Proximité de lisière	1. Sous-bois épars
Forêt dense humide sur sol minier	2. Forêt de berge	2. Sous-bois modéré
Forêt humide sur calcaire	3. De basse altitude <300m	3. Sous-bois dense
Forêt sèche	4. De moyenne altitude 300-900m	4. Canopée continue
Autre	5. D'altitude >900m	5. Canopée discontinue
		6. Traces de feux récentes
		7. Présence d'espèces invasives (cerfs, cochons, chats, rongeurs)
C) Maquis miniers		
1. Sol nu	1. De basse altitude <300m	1. Sous-bois épars
2. Végétation éparse	2. De moyenne altitude 300-900m	2. Sous-bois modéré
3. Maquis ligno-herbacé	3. D'altitude >900m	3. Sous-bois dense
4. Maquis paraforestier		4. Traces de feux récentes
		5. Traces d'activité minière
		6. Présence de groupes isolés de 1 à 10 arbres

D) Fourrés, savanes et autres formations arbustives		
1. Végétation éparse	1. Savane à niaoulis haute >2m	1. Zone pâturée
2. Savane herbeuse (prairie)	2. Savane à niaoulis basse <2m	2. Hauteur d'herbes élevée (> niveau genoux)
3. Végétation arbustive (fourrés)	3. Zone de niaoulis en cours de recolonisation par la forêt	3. Hauteur d'herbes faibles (< niveau cheville)
4. Végétation littorale	4. Fourrés à lantanas	4. Sous-bois épars
5. Savane à niaoulis	5. Fourrés à gaïacs	5. Sous-bois modéré
6. Forêt de niaoulis	6. Fourrés à goyaviers	6. Sous-bois dense
	7. Fourrés à faux mimosas	7. Présence de haies
	8. Fourrés à bois de fer	8. Présence de groupes isolés de 1 à 10 arbres
	9. Fourrés à pinus	9. Traces de feux récentes
	10. Autres essences dominantes	
E) Zones agro-forestières		
1. Sol nu	1. Pinèdes	1. Sous-bois épars
2. Zone cultivée	2. Plantation de kaoris	2. Sous-bois modéré
3. Verger	3. Plantation d'araucarias	3. Sous-bois dense
4. Plantation forestière	4. Plantation de santals	4. Présence de haies
	5. Autre type de plantation forestière	5. Groupes isolés de 1 à 10 arbres
	6. Cocoteraie	6. Traces de feux récentes
	7. Bananeraie	7. Jeune plantation (arbres <1m)
	8. Manguiers	8. Plantation récente (arbres 1 à 3m)
	9. Papayers	9. Plantation ancienne (arbres > 3m)
	10. Litchis	
	11. Autres types d'arbres fruitiers	
	12. Vergers mixtes	
	13. Grandes cultures	
	14. Champs privés	
	15. Cultures maraîchères	
F) Zones habitées		
1. Zone urbaine (ville)	1. Habitations individuelles	1. Densité du bâti faible
2. Zone suburbaine (village)	2. Immeubles	2. Densité du bâti modérée
3. Zone rurale	3. Infrastructures publiques	3. Densité du bâti forte

4. Zone tribale	4. Zone industrielle	4. Densité de la végétation importante
	5. Jardin privé	5. Densité de la végétation modérée
	6. Parc public/zone de loisirs	6. Densité de la végétation faible