



Bulletin de la Société zoologique de France

2024, volume 149 (1), pages 27 à 36

ISSN : 0037-962X

<http://societe-zoologique.fr/>



Recensement de la colonie de puffins du Pacifique (*Ardenna pacifica*) de Pindaï en Nouvelle-Calédonie

Aubert LE BOUTEILLER^{1,2,*}, Philippe BORSA^{1,2,*}

¹ Société calédonienne d'ornithologie (SCO), Nouméa, New Caledonia

² Institut de recherche pour le développement (IRD), Nouméa, New Caledonia

*Auteur correspondant : philippe.borsa@ird.fr ; philippeborsa@gmail.com

Manuscrit reçu le 22/12/2023 ; accepté le 30/01/2024 ; mis en ligne le 26/02/2024 ; DOI : <https://doi.org/10.60881/bszf149-1-3>

Résumé L'objectif du présent travail est l'estimation de la taille de la colonie de puffins du Pacifique *Ardenna pacifica* de la péninsule de Pindaï sur la côte ouest de la Grande Terre de la Nouvelle-Calédonie (mer de Corail), à partir de douze opérations de recensement effectuées entre 2002 et 2016 par l'association ornithologique locale. Chaque opération de recensement consistait en un comptage systématique des terriers le long de multiples transects traversant la colonie. Celle-ci s'étendait tout au long des 1,24 km de la plage sud de la péninsule et sa surface totale estimée était 16.5 ha. L'estimation du nombre de terriers de la colonie variait, d'une saison de reproduction à l'autre, de 10 700 ± 1 300 à 26 100 ± 2 700. La taille de la colonie était fortement corrélée à la densité moyenne de terriers mais pas à la surface occupée par les terriers actifs. La taille maximale de la colonie représente > 1 % des effectifs mondiaux connus de cette espèce. Les fluctuations, d'une saison à l'autre, de la taille de la colonie s'expliquent par des fluctuations dans la proportion d'individus capables de se reproduire, cette proportion dépendant possiblement de l'abondance des proies disponibles. L'importance numérique de la colonie de Pindaï engage la responsabilité des autorités compétentes vis-à-vis de la conservation de l'espèce. Des recommandations sont proposées à l'attention des gestionnaires.

Mots-clés Oiseau marin ; Procellariidae ; population ; estimation ; transect ; science participative ; menaces.

Census of the wedge-tailed shearwater (*Ardenna pacifica*) colony of Pindaï, New Caledonia

Abstract The objective of this work is to estimate the size of the colony of wedge-tailed shearwaters *Ardenna pacifica* on the Pindaï peninsula on the west coast of Grande Terre (New Caledonia's main island, Coral Sea), based on 12 census operations by the local-ornithological association between 2002 and 2016. Each census operation consisted of a systematic count of burrows along multiple transects crossing the colony. The colony extended along the 1.24 km of the southern beach of the peninsula and its total estimated area was 16.5 ha. Estimated number of burrows in the colony varied across breeding seasons from 10,700±1,300 to 26,100±2,700. Colony size was strongly correlated with mean burrow density but not with the surface occupied by active burrows. The colony harbours >1% of the known global numbers of this species. Fluctuations in colony size from one season to the next are explained by fluctuations in the proportion of breeding individuals. This proportion possibly depends on the abundance of available prey. The numerical importance of the Pindaï colony engages the responsibility of the competent authorities with regard to the conservation of the species. Suggestions are proposed to managers.

Keywords Seabird; Procellariidae; population; estimation; transect; citizen science; threats.

Introduction

De tous les pétrels et puffins (famille des Procellariidae) de l'Indo-ouest Pacifique tropical, le puffin du Pacifique (*Ardenna pacifica*) est celui qui possède l'aire de distribution des colonies la plus étendue (BROOKE,

2004). L'effectif total de ce puffin est estimé à au moins 5,2 millions d'individus, dont 1,5 million de couples d'adultes (BROOKE, 2004 ; BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2018). La mer de Corail en héberge une partie importante, dont environ 560 000 couples nichant dans

le groupe des Capricorn (DYER *et al.*, 2005) et 341 000 couples sur les îlots coralliens du *Coral Sea marine Park* australien (McDOUGALL, 2019). Un décompte récent porte à 677 000 couples la taille de la population de cette espèce dans la partie calédonienne de la mer de Corail (RECEVEUR *et al.*, 2022). L'Australie et la Nouvelle-Calédonie ont de ce fait une responsabilité particulière vis-à-vis de la protection du puffin du Pacifique. En période de reproduction, les puffins du Pacifique de la mer de Corail se concentrent sur des zones de nourrissage de quelques centaines de kilomètres de rayon au large de leurs colonies sur le littoral et sur les îlots (McDUIE *et al.*, 2015 ; WEIMERSKIRCH *et al.*, 2020). Hors reproduction, ils effectuent une migration transéquatoriale et exploitent des millions de kilomètres carrés de l'océan Pacifique tropical nord (McDUIE & CONGDON, 2016 ; WEIMERSKIRCH *et al.*, 2020).

Malgré les enjeux de conservation, les oiseaux marins, en particulier le puffin du Pacifique, n'apparaissent pas comme des espèces prioritaires pour les autorités de la Nouvelle-Calédonie (VILLARD, 2004 ; RAINGEARD, 2006 ; BORSA *et al.*, 2018 ; ANTIC-MARTIN *et al.*, 2022) ni dans les enquêtes auprès du grand public (SABINOT *et al.*, 2021) et sont régulièrement victimes de négligences, voire de persécutions (VILLARD, 2003 ; WWF, 2005 ; RAINGEARD, 2006 ; RENE, 2014 ; BEGE, 2019 ; WAKAHUGNEME & TROMEUR, 2019). Les colonies d'oiseaux marins y sont également menacées par les prédateurs introduits (PALMAS *et al.*, 2020 ; BRETAGNOLLE *et al.*, 2021), le développement touristique (BLANCHON, 2021 ; BORSA *et al.*, 2018 ; RUBICHON, 2023), l'industrie minière (PAGENAUD *et al.*, 2022), la pollution lumineuse (MARESCHAL, 2009 ; WIBART, 2009 ; TEHEI & LEHOULLIER, 2012), la pêche à la longue ligne (ANONYME, 2020) et le braconnage (SPAGGIARI *et al.*, 2007 ; BORSA *et al.*, 2010).

Le présent travail s'inscrit dans une série d'articles destinée à inventorier et caractériser les sites de nidification des oiseaux marins de la Nouvelle-Calédonie, afin de mieux les faire connaître des spécialistes, des naturalistes et des gestionnaires. Les sites à oiseaux marins inventoriés à ce jour sont les atolls d'Entrecasteaux (ROBINET *et al.*, 1997 ; BORSA *et al.*, 2021), les îlots du lagon sud-ouest de la Grande Terre (PANDOLFI-BENOIT & BRETAGNOLLE, 2002 ; LE BOUTEILLER & BORSA, 2022), les atolls Chesterfield-Bampton et Bellona (BOURNE *et al.*, 2005 ; BORSA *et al.*, 2010 ; BAUDAT-FRANCESCHI, 2011 ; BORSA, 2021), les îlots du lagon nord de la Grande Terre (BAUDAT-FRANCESCHI *et al.*, 2009) et les îles Matthew et Hunter (BORSA & BAUDAT-FRANCESCHI, 2023). Ils ont en commun d'être inhabités, bien que plusieurs d'entre eux aient été jadis occupés et exploités pour le bois, le guano et les ressources vivantes, dont les oiseaux marins et les tortues marines (de NAUROIS 1978 ; de NAUROIS & RANCUREL, 1978 ; BOURNE *et al.*, 2005 ; SPAGGIARI *et al.*, 2007 ; BORSA *et al.*, 2021). Tous constituent des zones prioritaires pour la conservation de plusieurs espèces (SPAGGIARI *et al.*, 2007 ; BAUDAT-FRANCESCHI,

2011 ; BORSA, 2019). La Grande Terre de la Nouvelle-Calédonie abrite elle aussi plusieurs colonies de Procellariidae, dont celles de Pindaï et Gouaro Deva situées sur la côte ouest (SPAGGIARI & BARRE, 2003 ; BORSA *et al.*, 2014).

La démarche générale mise en œuvre pour le présent travail est celle de la recherche participative, où l'association d'acteurs de la société civile et de chercheurs permet d'acquérir de nouvelles connaissances scientifiques. L'objectif est de produire une estimation de la taille de la colonie de puffins du Pacifique de la péninsule de Pindaï sur la côte ouest de la Grande Terre de la Nouvelle-Calédonie, à partir de multiples comptages effectués ces deux dernières décennies par des naturalistes de la Société calédonienne d'ornithologie. Nous tentons également de cerner les menaces sur cette colonie et émettons des recommandations à l'attention des gestionnaires.

Méthodes

Site de l'étude

La péninsule de Pindaï (21.29°-21.36°S ; 164.94°-164.98°E) forme un promontoire dans le lagon du récif de la côte ouest de la Grande Terre de Nouvelle-Calédonie (Figure 1). Ce site abrite un reliquat de forêt sclérophylle d'importance patrimoniale (VEILLON *et al.*, 1999). Il abrite également sur sa façade sud une grande colonie de Procellariidae, essentiellement de puffins du Pacifique, ainsi qu'un nombre indéterminé, vraisemblablement très faible en comparaison, de pétrels de Tahiti *Pseudobulweria rostrata* (SPAGGIARI & BARRE, 2003, 2005). La colonie est située environ 4,5 km au nord de la passe de Népoui menant au bassin de Nouvelle-Calédonie (mer de Corail), qui est la principale zone de prospection des oiseaux de la colonie (WEIMERSKIRCH *et al.*, 2020). La plage au sud de la péninsule est fréquentée par les visiteurs, essentiellement durant les week-ends et les vacances, y compris en période de reproduction des puffins du Pacifique. Plusieurs pistes traversent la colonie, dont la partie immédiatement au-dessus de la plage a été aménagée pour les vacanciers et leurs véhicules. Une partie des dunes en arrière de la plage et la végétation qui les recouvrait ont été dévastées pour l'extraction de sable. Il y a une décharge sauvage au cœur de la colonie (SPAGGIARI & BARRE, 2003). Plusieurs prédateurs introduits sont présents sur ce site, dont le chat haret *Felis catus* et le chien *Canis lupus ssp. familiaris* (SPAGGIARI & BARRE, 2005 ; PALMAS *et al.*, 2020). Le cochon sauvage *Sus scrofa ssp. domesticus*, la souris grise *Mus musculus* et le rat noir *Rattus rattus*, présents sur la Grande Terre (BEAUVAIS *et al.*, 2006), sont également des prédateurs potentiels des œufs, des juvéniles et des adultes de Procellariidae. Tous ces prédateurs introduits sont connus pour leur impact considérable sur les colonies de Procellariidae ailleurs dans le monde (BROOKE, 2004 ; CROXALL *et al.*, 2012 ; DIAS *et al.*, 2019).

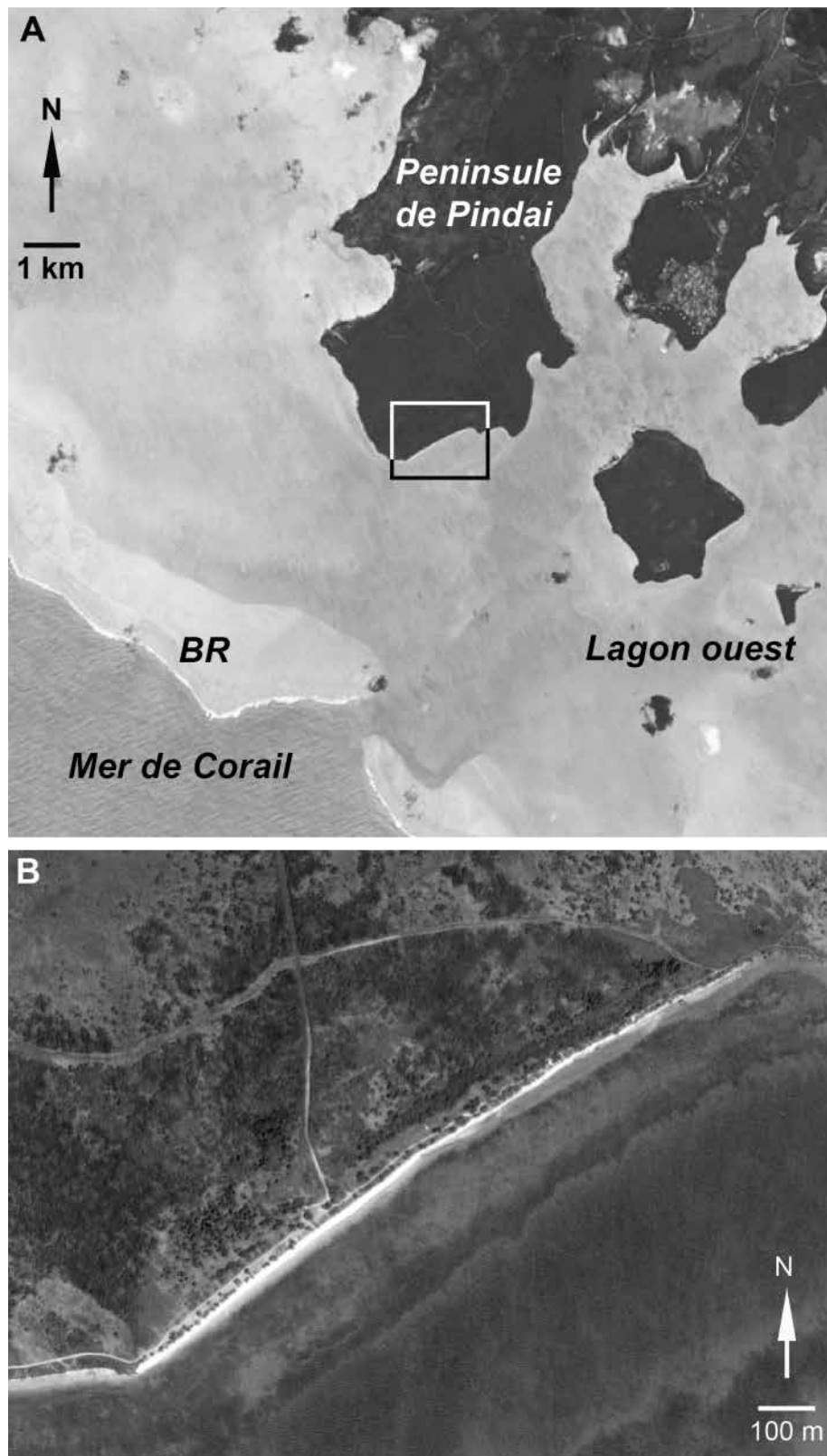


Figure 1. Emplacement de la colonie de Procellariidae de la péninsule de Pindai (Nouvelle-Calédonie). Les images satellitaires ont été obtenues via Google Earth ([https:// earth.google.com/](https://earth.google.com/)). **A.** Carte de situation, à partir d’une image satellitaire de janvier 2012. BR barrière récifale ; rectangle délimitant la zone de recensement. **B.** Image satellitaire de la colonie en octobre 2015, montrant les patches de végétation et la piste orientée approximativement nord-sud qui coupe la colonie en deux.

*Location of the petrel colony on the Pindai peninsula (New Caledonia). Satellite images were obtained from Google Earth (<https://earth.google.com/>). **A.** Situation map, from a satellite image from January 2012. BR barrier reef; rectangle delimits the census area. **B.** Satellite image of the colony in October 2015, showing patches of vegetation and the approximately north-south oriented track that bisects the colony.*

Méthode de recensement

Douze opérations de recensement de terriers de Procellariidae ont été effectuées de 2002 à 2016, entre décembre et février, c'est-à-dire entre le début de l'incubation et les premières semaines de vie du poussin. Pour chacune des saisons de reproduction 2002-2003 et 2004-2005, deux recensements ont été effectués, l'un en décembre et l'autre en février. Le calendrier détaillé des

opérations de comptage durant la période est indiqué au **Tableau 1**. Les comptages ont été effectués par deux à quatre équipes de trois ou quatre personnes chacune. Les terriers ont été comptés le long de 12 à 22 transects orientés sud-nord, séparés chacun du suivant par un intervalle de 50 m ou 100 m et couvrant la totalité de la zone du littoral sud de la péninsule située au nord de la plage (**Figure 1**).

Tableau 1. Opérations de recensement des terriers de la colonie de Procellariidae de Pindaï de 2002 à 2016 : aire de la surface échantillonnée et densité de terriers, calculée par parcelle unitaire de 80 m². SD écart-type estimé.

Burrow-census operations in the Pindaï petrel colony, 2002-2016: area surveyed and burrow density, calculated by unitary 80 m² plot. SD, standard deviation estimate.

Date	Nombre de transects	Surface échantillonnée (m ²)	Nombre de terriers	Densité moyenne ± SD (m ²)	Densité maximale (m ²)
Déc. 2002	13	8 640	945	0,11 ± 0,17	0,59
Fév. 2003	22	13 200	1 047	0,08 ± 0,12	0,53
Déc. 2004	22	13 200	1 249	0,09 ± 0,15	0,59
Fév. 2005	22	13 200	858	0,07 ± 0,11	0,46
Déc. 2006	22	13 200	1 084	0,08 ± 0,12	0,50
Fév. 2009	22	13 200	889	0,07 ± 0,10	0,49
Fév. 2010	22	13 200	1 470	0,11 ± 0,17	0,89
Fév. 2011	22	13 200	855	0,06 ± 0,10	0,49
Jan. 2012	12	7 600	928	0,12 ± 0,18	0,64
Fév. 2013	12	7 600	753	0,10 ± 0,13	0,58
Fév. 2014	12	7 600	971	0,13 ± 0,17	0,75
Fév. 2016	12	7 600	1 235	0,16 ± 0,21	0,98

Chaque transect était constitué d'un enchaînement de tronçons de 20 m de longueur et 4 m de largeur ; il commençait du haut de la plage, à la longitude indiquée par un récepteur GPS GPSMap 76CSx (Garmin, Olathe KS, USA) dans le système WGS84 et la zone de longitude UTM n° 58S (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 1992). Seuls les terriers actifs, identifiés *a priori* par leur entrée fraîchement entretenue et dégagée, étaient comptés dans chacune des parcelles ainsi délimitées. Lors de l'opération de comptage des terriers de Procellariidae effectuée en février 2014, 21 d'entre eux ont été explorés à l'aide d'un burrowscope (DYER & ALDWORTH, 1998). Le parcours du transect était interrompu lorsque la bordure nord de la colonie était atteinte, soit généralement lorsque plus aucune entrée de terrier n'était visible sur deux tronçons de transect successifs. La distance parcourue pour échantillonner la colonie était, selon le comptage, de 1 740 m à 3 180 m, ce qui représentait un échantillon de surface de 6 960 m² à 12 720 m².

Glossaire

Dans ce qui suit, nous définissons l'*aire de la colonie* à une saison donnée comme la mesure de la surface effectivement occupée par des terriers actifs. L'*aire totale de la colonie* est comprise comme l'aire maximale effectivement occupée, toutes saisons confondues. La *taille de la colonie* est mesurée par le nombre de terriers

creusés par les oiseaux qui la composent. Nous tentons également d'estimer la *taille de la population adulte* liée à la colonie, dont une partie plus ou moins importante se reproduit à une saison donnée.

Analyse des données

L'aire totale de la colonie a été estimée à partir des longueurs de transect effectivement occupées par des terriers lors d'au moins un des 12 comptages effectués durant la période de décembre 2002 à février 2016. L'estimation de la taille de la colonie a été obtenue en rapportant la surface échantillonnée à la surface totale de la colonie. Un intervalle de confiance autour de l'estimation de la taille de colonie a été construit en ré-échantillonnant aléatoirement les transects par bootstrap à l'aide de la fonction *boot* de R (CANTY, 2002 ; R CORE TEAM, 2020). La densité de terriers a été calculée pour chaque tronçon de transect (80 m²) échantillonné. La distribution spatiale des densités de terriers a été obtenue sous la forme d'un diagramme à bulles produit à l'aide du package GGPlot2 (WICKHAM, 2016) sous R, superposé à la carte de la péninsule de Pindaï sous ILLUSTRATOR (SMITH, 2010). La distribution de la densité de terriers par saison a été représentée sous la forme de boîtes à moustaches à l'aide de la fonction *boxplot* de R. L'intervalle de confiance autour d'une proportion a été estimé à l'aide de la fonction *prop.test* de R. L'autocorrélation temporelle dans la taille de la colonie a

été testée à l'aide de la fonction *acf* de R. L'hypothèse nulle d'absence de tendance temporelle a été testée à l'aide du test de tendance non paramétrique de Mann-Kendall (POHLERT, 2020) sous R.

Disponibilité des données

Les résultats des comptages de terriers par tronçon de transect et par opération de comptage ont été compilés dans un fichier sous format .csv déposé dans les archives HAL-LARA (DAPHY & HA-DUONG, 2010), accessible à l'adresse Web suivante : <https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-04412014> (LE BOUTELLER & BORSA, 2024). Les deux opérations de comptage effectuées durant les saisons de reproduction 2002-2003 et 2004-2005 ont fait chacune l'objet d'un rapport destiné à la province Nord de la Nouvelle-Calédonie (SPAGGIARI & BARRE, 2003, 2005).

Résultats

La colonie de Procellariidae de la péninsule de Pindai s'étendait tout au long des 1,24 km de la plage sud de la péninsule (Figure 2A). L'habitat favorable à la nidification était le sol sableux végétalisé recouvrant les dunes d'arrière-plage. Au cours de la période étudiée, l'aire de la surface occupée par les terriers actifs variait de 95 000 m² (décembre 2002, février 2005) à 128 500 m² (février 2016) ; l'aire totale de la colonie sur la période 2002-2016 atteignait 165 000 m². Selon l'année, l'estimation du nombre de terriers (par conséquent, de la taille) de la colonie variait de $10\,688 \pm 1\,301$ (février 2011) à $26\,106 \pm 2\,654$ (février 2016) ; aucune autocorrélation temporelle n'a été observée dans les données. La tendance positive observée au fil du temps n'était pas significative (Figure 2B ; $z = 1,577$; $P = 0,115$). L'estimation moyenne de la taille de la colonie sur la période considérée était $15\,958 \pm 4\,669$ couples.

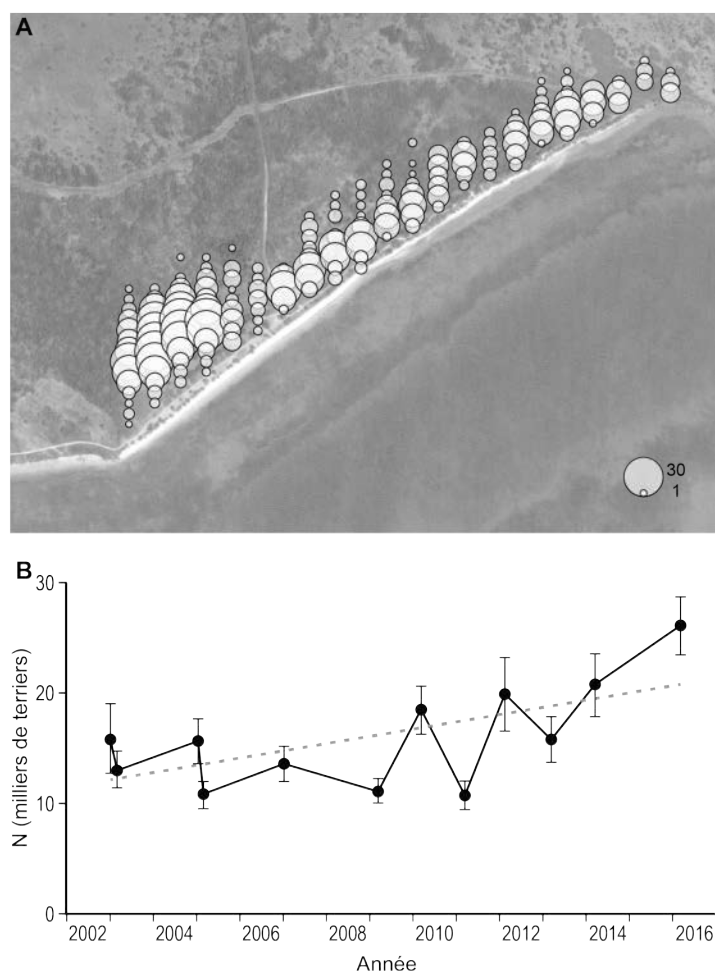


Figure 2. Recensement de la colonie de Procellariidae de Pindai (Nouvelle-Calédonie) sur la période de décembre 2002 à février 2016. **A.** Distribution spatiale de la valeur moyenne de la densité de terriers. L'aire de chaque bulle est proportionnelle à sa densité (nombre de terriers par 80 m²). **B.** Fluctuation temporelle des estimations ponctuelles de la taille de colonie. La droite des moindres carrés (pointillés) a pour équation $y = 55,197x + 11243$, où x est exprimé en mois. Les traits verticaux de part et d'autre représentent ± un écart-type, estimé par ré-échantillonnage aléatoire (bootstrap).

Census of the petrel colony of Pindai (New Caledonia) over the period from December 2002 to February 2016. A. Spatial distribution of the average value of burrow density. The area of a bubble is proportional to density (burrow number / 80-m²). B. Temporal fluctuation of estimates of colony size. The equation of the least-squares regression line (dots) was $y = 55.197x + 11243$, where x is expressed in months. Vertical segments on either side represent ± one standard deviation, estimated by bootstrap resampling.

La densité de terriers moyenne variait de 0,065 m⁻² (février 2011) à 0,163 m⁻² (février 2016) ; la densité maximale par tronçon de transect variait de 0,46 m⁻² à 0,98 m⁻² (**Figure 2A**) ; la distribution de la densité de terriers par tronçon de transect pour les saisons où les valeurs de densité moyenne étaient, respectivement, minimale et maximale est représentée par des boîtes à

moustaches (**Figure 3**). La taille de colonie était fortement corrélée à la densité moyenne de terriers (test de corrélation de Spearman : $\rho = 0,993$; $P < 0,001$) ainsi qu'à la densité maximale ($\rho = 0,937$; $P < 0,001$) mais pas à la surface effectivement occupée par les terriers actifs ($\rho = 0,364$; $P = 0,246$).

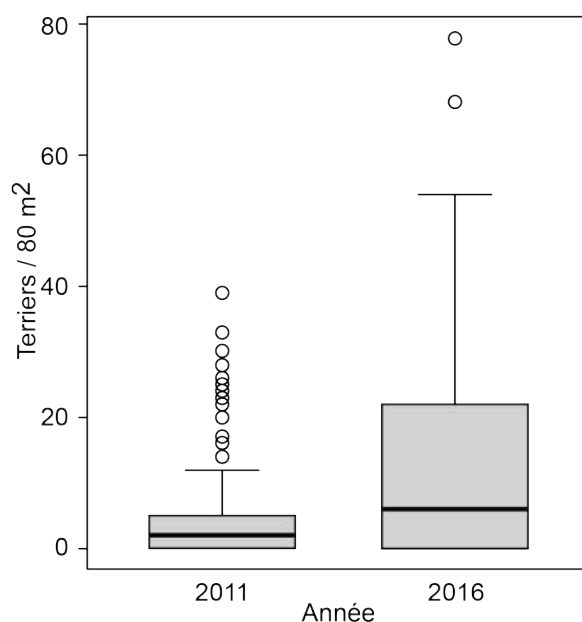


Figure 3. Colonie de Procellariidae de Pindaï (Nouvelle-Calédonie) : comparaison sous la forme de *boxplots* des distributions des densités de terriers à tailles de colonie minimale (février 2011) et maximale (février 2016).

Petrel colony of Pindaï (New Caledonia): boxplots comparing the distributions of burrow density at minimum (February 2011) and maximum (February 2016) colony sizes.

Parmi les 21 terriers présumés actifs explorés à l'aide du burrowscope, 15 contenaient soit un adulte incubant son œuf, soit un poussin. Deux étaient apparemment vides. Il n'a pas été possible de déterminer le contenu des quatre autres terriers, soit parce que leur longueur dépassait celle du flexible du burrowscope, soit à cause de la présence de racines dans les galeries, qui empêchaient son utilisation. Le taux d'occupation des terriers en février 2014, tel que déterminé à l'aide du burrowscope, était donc d'au moins 88 % aux aléas d'échantillonnage près. L'intervalle de confiance à 0,95 était [66 %, 97 %].

Discussion

Taille de la population liée à la colonie de Pindaï

La surface occupée par la colonie est limitée au sud par la piste longeant la plage et par les aménagements immédiatement au-dessus de la plage, destinés à accueillir les vacanciers. La colonie est limitée à l'ouest par la présence d'un substrat dur (SPAGGIARI & BARRE, 2003), dans lequel les puffins et pétrels ne peuvent pas creuser de terrier. La taille de la colonie, telle qu'estimée à partir du nombre de terriers, varie selon la saison du simple à plus du double. Nos résultats montrent que les différences de taille de colonie d'une saison de reproduction à l'autre se traduisent par des différences

dans la densité des terriers et non par une extension spatiale de la colonie.

Bien qu'au cours de la période de l'étude, la taille de la colonie ait eu tendance à augmenter, cette augmentation n'était pas significative. Il est de ce fait légitime de proposer une taille moyenne de colonie sur la période étudiée. En faisant l'hypothèse qu'à chaque terrier correspond un couple d'adultes distinct, l'estimation de la taille moyenne de la colonie sur la période considérée, arrondie à la centaine, est 16 000 ± 4 700 couples. La longévité du puffin du Pacifique étant estimée entre 16,5 ans et 29 ans voire davantage, et sa fécondité étant au maximum d'un œuf par an (BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2018 ; WHITTOW, 2020), il est a priori difficile de détecter une tendance démographique, même relativement forte (plusieurs % par an), sur une période inférieure à deux décennies (HATCH, 2003). Du fait que les adultes ne se reproduisent pas nécessairement chaque année comme le suggèrent les fluctuations interannuelles de la taille de la colonie, l'estimation la plus proche de la taille de la population de puffins du Pacifique liée à cette colonie, sur un intervalle de temps donné, est certainement la taille maximale de colonie : soit ici 26 100 ± 2 700 couples pour la période 2002-2016. Ce nombre représente plus de 1 % des effectifs mondiaux connus de l'espèce (BIRDLIFE

INTERNATIONAL, 2018), ce qui souligne l'importance de la colonie de Pindaï vis-à-vis de la conservation de l'espèce et engage la responsabilité des autorités compétentes.

Devrait-on prendre en compte le taux d'occupation des terriers ?

Dans les années 1990, le taux d'occupation moyen des terriers sur les îlots du lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie a été estimé à 90 %, en comptant comme terriers actifs ceux à l'entrée desquels étaient observées des plumes ou des fientes (PANDOLFI-BENOIT & BRETAGNOLLE, 2002). Sur une partie des mêmes îlots en 2009-2010, le taux d'occupation a été estimé en fin de saison de reproduction à 40 %, en examinant le contenu des terriers à l'aide d'un burrowscope (BAUDAT-FRANCESCHI, 2012). Sur Heron Island, les taux d'occupation des terriers étaient de 43 %, 49 % et 50 % en décembre 1989, 1990 et 1993, respectivement (HILL *et al.*, 1996). A Pindaï en février 2014, l'estimation du taux d'occupation des terriers était comprise entre 66 % et 97 %. Ces différences sont difficiles à interpréter. Elles pourraient refléter des différences réelles d'un site à l'autre ou bien d'une saison à l'autre, mais aussi entre le début et la fin d'une saison de reproduction. L'éventuel abandon d'une partie des terriers en cours de saison pourrait tout d'abord concerner des adultes ou pré-adultes ayant réussi à creuser leur terrier, mais ne possédant plus les ressources énergétiques ou la coordination de couple nécessaires pour la ponte puis l'incubation puis le nourrissage du poussin. Ils pourraient aussi refléter la mortalité des adultes en mer (prédation, capture par les longues lignes, pollution), ou celle des adultes et des poussins à terre (prédateurs introduits, braconnage, collision avec des véhicules, piétinement des terriers, extraction de sable, persécutions volontaires, intempéries, échouages causés par la pollution lumineuse). Il est vraisemblable que le taux d'occupation relictuel en fin de saison soit plus faible lors des années pauvres en ressources (poissons, calmars) que lors des années d'abondance. Il est également vraisemblable que ce taux soit plus élevé sur des îlots libres de prédateurs et de visiteurs que sur les colonies exposées aux mammifères introduits, aux touristes et aux braconniers, comme la colonie de Pindaï. Des massacres de puffins de la colonie de Pindaï ou de colonies ailleurs sur la Grande Terre par des visiteurs en véhicule ou à pied accompagnés de chiens ont été rapportés (SPAGGIARI & BARRE, 2003, 2005 ; WAKAHUGNEME & TROMEUR, 2019 ; DE LAAGE, 2022).

Ces différences peuvent aussi être dues, en partie, à des biais inhérents aux méthodes employées pour évaluer si un terrier est occupé ou non. Les critères d'occupation des terriers utilisés par PANDOLFI-BENOIT & BRETAGNOLLE (2002) ne permettent pas nécessairement de faire la distinction entre des terriers simplement visités par l'un ou l'autre des parents et ceux où se déroule effectivement un cycle complet de reproduction. L'utilisation du burrowscope est délicate

lorsqu'un terrier comporte des coudes, ou se ramifie, ou atteint une longueur excédant celle du flexible de l'appareil. Nous avons utilisé comme critère l'aspect dégagé de l'entrée du terrier, or il est possible que des terriers occupés par un adulte couvant son œuf ou son poussin, ou par le poussin seul, soient néanmoins obstrués par les feuilles mortes à la suite d'un coup de vent récent, voire volontairement par l'adulte (DYER, 2001). Au final, la métrique la plus simple pour estimer la taille de la colonie reste le nombre total de terriers.

Menaces

En Nouvelle-Calédonie, les puffins et les pétrels sont victimes de l'aménagement du littoral, de la pollution lumineuse, de la négligence des autorités et du grand public et des persécutions délibérées (MARESCHAL, 2009 ; BEGE, 2019 ; BLANCHON, 2021). La colonie de Pindaï n'est pas épargnée (SPAGGIARI & BARRE, 2005 ; DE LAAGE, 2022). Parmi les menaces spécifiques à la colonie de Procellariidae de Pindaï sont les prédateurs introduits, dont le chat haret et le chien, qui tuent de nombreux oiseaux (PALMAS *et al.*, 2020). Une autre espèce envahissante potentiellement source de dérangement pour les oiseaux dans leur terrier est la fourmi électrique *Wasmannia auropunctata* (BEAUVAIS *et al.*, 2006). La colonie de Procellariidae de Pindaï est établie dans la végétation et le sol formés sur les dunes littorales sableuses. L'extraction de sable au sein-même de la colonie a été identifiée comme une menace par SPAGGIARI & BARRE (2003, 2005). Nous avons pu nous-mêmes observer les impacts de l'extraction de sable dans cette colonie. La végétation et le sol étaient décapés au bulldozer pour atteindre la dune de sable : les terriers étaient éventrés et de nombreux poussins étaient morts, roulés et écrasés.

La plage de Pindaï reçoit de nombreux visiteurs en période de vacances. Pour éviter que les véhicules écrasent les terriers dans la zone la plus dense de la colonie, une barrière a été posée en 2005. Toutefois, la plage reste accessible en voiture. Les pistes pour véhicules automobiles qui longent ou traversent la colonie représentent une menace substantielle. En effet, ces pistes sont utilisées par les puffins à la fois pour se reposer au sol la nuit et comme zone d'envol en fin de nuit. Elles sont fréquentées par des automobilistes qui ne prennent pas la précaution d'éloigner les oiseaux se reposant au sol avant de passer : des dizaines de cadavres de puffins jonchent les pistes à chaque nouvelle saison de reproduction (SPAGGIARI & BARRE, 2005 ; CUNEO, 2017 ; DE LAAGE, 2022 ; nos observations).

Le piétinement des terriers par les visiteurs, y compris les observateurs effectuant les comptages de terriers, impacte la colonie de plusieurs façons. (i) L'endommagement du terrier se traduit par un coût énergétique supplémentaire pour les oiseaux reproducteurs, puisque ceux-ci doivent le réparer, ou seront amenés à le réparer à la saison de reproduction suivante, en creusant à nouveau dans le sol. Cet investissement supplémentaire amoindrit les réserves

énergétiques nécessaires à la ponte, à l'incubation ou à la phase de nourrissage du poussin (WARHAM, 1996). (ii) Le terrier effondré expose davantage le poussin aux intempéries et aux prédateurs (KINLAW, 1999), donc à la mort. (iii) Un poussin ensablé ou enterré meurt d'asphyxie. (iv) Si le piétinement atteint la chambre d'incubation, l'adulte reproducteur peut être blessé ou tué, ainsi que l'œuf ou le poussin qu'il couve. Le risque de piétinement des terriers par les observateurs lors des opérations de comptage est substantiel : il concerne 1,2 % à 1,3 % des terriers recensés le long des transects (SPAGGIARI & BARRE, 2005 ; BORSA, 2008), soit potentiellement autant de poussins écrasés ou ensevelis, ainsi qu'autant d'adultes couveurs si l'opération de comptage a lieu lors de la période d'incubation.

Recommandations

Une mise en réserve intégrale de la zone de colonie longeant la plage permettrait certainement aux oiseaux de recoloniser l'espace immédiatement au-dessus de la plage, comme c'est le cas pour les îlots coralliens préservés de la fréquentation humaine. Au vu des fortes mortalités régulièrement causées par les passages de véhicules à moteur (SPAGGIARI & BARRE, 2005 ; DE LAAGE, 2022), aucun véhicule à moteur ne devrait être autorisé à pénétrer à l'intérieur du périmètre de la colonie durant la période de reproduction des puffins, soit d'octobre à mai (WEIMERSKIRCH *et al.*, 2020), en particulier la nuit. L'accès de la plage à pied pourrait cependant être maintenu, afin de faciliter l'acceptation par la population d'une telle mise en défens de la colonie. Des panneaux d'information pourraient être apposés à l'entrée de la colonie et sur la plage et une plateforme d'observation des oiseaux pourrait être aménagée.

La planification des opérations de comptage nécessite de prendre en compte le risque de piétinement des terriers par les observateurs, notamment durant les années de sécheresse. La sécheresse sévit de façon cyclique sur la Grande Terre, en particulier sur sa côte ouest (MORLIERE & REBERT, 1986). La sécheresse détruit la végétation rampante à la surface du sol sableux et fragilise les terriers. Le risque d'effondrement des terriers dû au déplacement des observateurs le long des transects est alors élevé, même en l'absence de piétinement direct. L'utilisation du burrowscope peut elle-même être un facteur d'endommagement et d'effondrement du terrier en terrain sableux sec (L. Renaudet et PB, obs. pers.). Nous recommandons que le calendrier des opérations de comptage des terriers, si celles-ci étaient à nouveau programmées, prenne en compte le degré d'hygrométrie du sol et la densité de la végétation en surface et qu'elles ne soient pas programmées lors des années de sécheresse. De plus, les opérations de comptage devraient être systématiquement décalées vers la fin du mois de mai, puisqu'alors la plupart des juvéniles auront pris leur envol et que de ce fait le piétinement éventuel des

terriers aurait un impact moindre. Nous recommandons, enfin, un contrôle soutenu des prédateurs introduits.

Remerciements

Nous remercions les membres de la société calédonienne d'ornithologie qui ont participé à ce recensement : E. Baby, P. Bachy, F. Baert, N. Baillon, M.-F. et N. Barré, L. Barthes, D. Bayol, S. Berma, H. Blaffart, A. Bodin, A. et G. Briançon, S. Castinaud, H. et N. Cazé, C., G., J. et O. Chamborédon, V. Chartendrault, F. Cugny, F. Desmoulins, J. et M. Dibon, G. Dutson, M.-F. Fers von Helles, S. Gomez, J. Guhring, L. Guisgant, K. Henriot, C. Héroguel, A. Hersen, A. et M. Jaquemet, G. Jacquier, M. Lapellerie, C. Le Bouteiller, C. Liégard, M. Luciano-Wart, J. Mareschal, P. Plouzenec, F. Ramel, L. Renaudet, M. Sallé, T. Sanchez, J. Spaggiari, C. Tréhaut, F. Tron, D. Ugolini, B. Valette, C. Vanhoye, M. Viviant et G. Weiss.

Contributions des auteurs selon la taxonomie de BRAND *et al.* (2015) : investigation ALB ; mise en forme des données ALB, PB ; analyse formelle PB ; validation ALB, PB ; visualisation PB ; rédaction PB ; relecture ALB, PB.

Références

- ANONYME (2020).- *Programme « Observateurs des pêches en Nouvelle-Calédonie » 2019*. Parc naturel de la mer de Corail (Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie), Nouméa, 16 p.
- ANTIC-MARTIN, C., FASQUEL, N. & BOLTZ, S. (2022).- L'escale du *Soleal* à l'îlot Kouaré fait polémique. *Nouv.-Caléd. 1ère*, 24 nov. 2022.
- BAUDAT-FRANCESCHI, J. (2011).- Les oiseaux. In : E. Clua, L. Gardes, S.A. McKenna, C. Vieux (eds.) *Contribution à l'inventaire biologique et à l'évaluation des ressources sur les récifs des Chesterfield*, Secr. Comm. Pac., Nouméa, pp. 157–180.
- BAUDAT-FRANCESCHI, J. (2012).- *Etat de conservation des oiseaux marins et des rapaces nicheurs du « Grand Lagon Sud »*. Soc. caléd. Ornithol., Nouméa, 125 p.
- BAUDAT-FRANCESCHI, J., SPAGGIARI, J. & BARRE, N. (2009).- Oiseaux nicheurs d'intérêt pour la conservation. *RAP Bull. biol. Assess.*, **53**, 136–142.
- BEAUVAIS, M.L., COLENO, A. & JOURDAN, H. (eds.) (2006).- *Les espèces envahissantes dans l'archipel néo-calédonien : un risque environnemental et économique majeur*. Inst. Rech. Dén., Paris, 259 p.
- BEGE, N. (2019).- Encore un massacre de puffins à Poé. *Nouv. Caléd.*, **14454**, 18.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL (2018).- *Ardenna pacifica*. IUCN Red List threat. Sp., **2018**, e.T22698175A132631353.
- BLANCHON, E. (2021).- Païta : l'îlot Ange, un paradis bientôt aménagé et davantage protégé. *Nouv. Caléd.*, **15329**, 13.
- BORSA, P. (2008).- *Mission ornithologique à l'îlot Loop (îles Chesterfield) et transects en mer de Corail et*

- dans le bassin des Loyauté, 20-28 octobre 2008. Inst. Rech. Dév., Nouméa, 15 p., <https://ird.hal.science/hal-00552296>
- BORSA, P. (2019).- Sites prioritaires pour la conservation des oiseaux marins et des tortues marines des atolls Chesterfield-Bampton et Bellona. Inst. Rech. Dév., Nouméa, 28 p., <https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/ird-02049265>
- BORSA, P. (2021).- Avifaune marine des îles Chesterfield (mer de Corail) : richesse spécifique, tailles de population, menaces et tendances sur les trois dernières décennies. *Bull. Soc. zool. Fr.*, **146**, 111-122.
- BORSA, P. & BAUDAT-FRANCESCHI, J. (2023).- The marine avifauna of Matthew and Hunter Islands, two remote volcanoes of the New Hebrides chain. *Arx. Misc. zool.*, **21**, 67-89.
- BORSA, P., CORBEAU, A., McDUIE, F., RENAUDET, L. & WEIMERSKIRCH H. (2014).- Mouvements en mer des puffins fouquets reproducteurs de la colonie de Gouaro Deva (Nouvelle-Calédonie) : compte rendu de mission, 25 février - 14 mars 2014. Inst. Rech. Dév., Nouméa, 26 p., <https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/ird-01096684>
- BORSA, P., PANDOLFI, M., ANDREFOUËT, S. & BRETAGNOLLE, V. (2010).- Breeding avifauna of the Chesterfield Islands, Coral Sea: current population sizes, trends, and threats. *Pac. Sci.*, **64**, 297-314.
- BORSA, P., PHILIPPE, A. & LE BOUTEILLER, A. (2021).- Oiseaux marins des atolls d'Entrecasteaux (parc naturel de la mer de Corail) : bilan des observations des deux dernières décennies. *Bull. Soc. zool. Fr.*, **146**, 175-188.
- BORSA, P., RICHER DE FORGES, B. & BAUDAT-FRANCESCHI, J. (2018).- Keep cruises off remote coral reefs. *Nature*, **558**, 372.
- BOURNE, W.R.P., DAVID, A.C.F. & MCALLAN, I.A.W. (2005).- The birds of the southern Coral Sea including observations by HMS *Herald* in 1858-60. *Atoll Res. Bull.*, **541**, 237-263.
- BRAND, A., ALLEN, L., ALTMAN, M., *et al.* (2015).- Beyond authorship: attribution, contribution, collaboration, and credit. *Learned Publ.*, **28**, 151-155.
- BRETAGNOLLE, V., RENAUDET, L., VILLARD, P., *et al.* (2021).- Status of Gould's Petrel *Pterodroma leucoptera caledonica* in New Caledonia: distribution, breeding biology, threats and conservation. *Emu*, **121**, 303-313.
- BROOKE, M. (2004).- *Albatrosses and petrels across the world*. Oxford Univ. Press, New York, 499 p.
- CANTY, A.J. (2002).- Resampling methods in R: the *boot* package. *R News*, **2**, 2-7.
- CROXALL, J.P., BUTCHART, S.H.M., LASCELLES, B., *et al.* (2012).- Seabird conservation status, threats and priority. *Bird Conserv. Int.*, **22**, 1-34.
- CUNEO, E. (2017).- Hécatombe à bas bruit des oiseaux marins. *Nouv. caléd.*, **13888**, 2.
- DAPHY, E. & HA-DUONG, M. (2010).- Archives ouvertes : le savoir scientifique est-il en accès libre ? *Vie Rech. sci. (SNCS, Meudon)*, **382**, 22-25, https://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_00518786
- DE LAAGE, W. (2022).- Pouembout : comment protéger les puffins de Pindai ? *Nouv. caléd.*, **15406**, 19.
- DE NAUROIS, R. (1978).- Données nouvelles sur la répartition et l'écologie de quelques espèces d'oiseaux aquatiques et d'oiseaux de mer de Nouvelle-Calédonie. *C. r. Acad. Sci. Paris Sér. D*, **287**, 627-629.
- DE NAUROIS, R. & RANCUREL, P. (1978).- Observations nouvelles sur les Laridae reproducteurs en Nouvelle-Calédonie. *C. r. Acad. Sci. Paris Sér. D*, **287**, 495-498.
- DIAS, M.P., MARTIN, R., PEARMAIN, E.J., *et al.* (2019).- Threats to seabirds: a global assessment. *Biol. Conserv.*, **237**, 525-537.
- DYER, P.K. (2001).- Burrow occupancy by wedge-tailed shearwaters and flesh-footed shearwaters on Lord Howe Island. *Corella*, **26**, 38-40.
- DYER, P.K. & ALDWORTH, K. (1998).- The 'burrowscope': modifications to burrow viewing equipment. *Emu*, **98**, 143-146.
- DYER, P.K., O'NEILL, P. & HULSMAN, K. (2005).- Breeding numbers and population trends of wedge-tailed shearwater (*Puffinus pacificus*) and black noddy (*Anous minutus*) in the Capricornia cays, southern Great Barrier Reef. *Emu*, **105**, 249-257.
- HATCH, S.A. (2003).- Statistical power for detecting trends with applications to seabird monitoring. *Biol. Conserv.*, **111**, 317-329.
- HILL, G.J.E., DYER, P.K., CANER, J.L. & BARNES, A. (1996).- Nesting activity, breeding success and colony size for the Wedge-tailed Shearwater (*Puffinus pacificus*) on Heron Island. *Aust. J. Ecol.*, **21**, 316-323.
- HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H. & COLLINS, L. (1992).- *Global positioning system theory and practice*. Springer Verlag, New York, 389 p.
- KINLAW, A. (1999).- A review of burrowing by semi-fossorial vertebrates in arid environments. *J. Arid Environ.*, **41**, 127-145.
- LE BOUTEILLER, A. & BORSA, P. (2022).- M'Ba (Nouvelle-Calédonie), site d'importance mondiale pour la conservation du puffin du Pacifique *Ardeanna pacifica*. *Bull. Soc. zool. Fr.*, **147**, 43-49.
- LE BOUTEILLER, A. & BORSA, P. (2024).- Résultats des comptages par transect des terriers de la colonie de *Procellariidae* de Pindai (Nouvelle-Calédonie). Inst. Rech. Dév., Nouméa, 10 p., <https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-04412014>
- MARESCHAL, J., (2009).- *Impact des pollutions lumineuses sur les procellariidés de Nouvelle-Calédonie*. Mémoire M2, Université Jean-Monnet, Saint-Etienne, 61 p.

- McDOUGALL, A. (2019).- Birds. In : Hemson G., Melzer R., Russell M. (eds.) *Environmental assessment of the Coringa islets and Herald cays in the Coral Sea Marine Park*. Queensland Parks and Wildlife Service and Partnerships, Brisbane, pp. 54–67.
- McDUIE, F., & CONGDON, B.C. (2016).- Trans-equatorial migration and non-breeding habitat of tropical shearwaters: implications for modelling pelagic Important Bird Areas. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **550**, 219–234.
- McDUIE, F., WEEKS, S.J., MILLER, M.G., & CONGDON, B. (2015).- Breeding tropical shearwaters use distant foraging sites when self-provisioning. *Mar. Ornithol.*, **43**, 123–129.
- MORLIERE, A. & REBERT, J.P. (1986).- Rainfall shortage and El Niño-Southern Oscillation in New Caledonia, southwestern Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 1131–1137.
- PAGENAUD, A., BOURGEOIS, K., DROMZEE, S., et al. (2022). Tahiti Petrel *Pseudobulweria rostrata* population decline at a nickel-mining site: a critical need for adapted conservation strategies. *Bird Conserv. int.*, **32**, 246–258.
- PALMAS, P., GOUYET, R., OEDIN, M., et al. (2020).- Rapid recolonisation of feral cats following intensive culling in a semi-isolated context. *NeoBiota*, **63**, 177–200.
- PANDOLFI-BENOIT, M. & BRETAGNOLLE, V. (2002).- Seabirds of the southern lagoon of New Caledonia: distribution, abundance and threats. *Waterbirds*, **25**, 202–213.
- POHLERT, T. (2020).- *Trend: non-parametric trend tests and change-point detection*. R package v. 1.1.4. R Found. stat. Comput., Vienna.
- RAINGEARD, M. (2006).- *Affaire : Ligue pour la protection des oiseaux, Société calédonienne d'ornithologie c/ Société anonyme TF1, S.A. Adventure Line Productions. Jugement rendu le 26 janvier 2006*. Trib. gr. Instance, Nanterre, 5 p.
- R CORE TEAM (2020).- *R: a language and environment for statistical computing*. R Found. stat. Comput., Vienna.
- RECEVEUR, A., ALLAIN, V., MENARD, F., et al. (2022).- Modelling marine predator habitat using the abundance of their pelagic prey in the tropical southwestern Pacific. *Ecosystems*, **25**, 757–779.
- RENE, C. (2014).- Massacrés par centaines. *Nouv. caléd.*, **13175**, 5.
- ROBINET, O., SIRGOUANT, S. & BRETAGNOLLE, V. (1997).- Marine birds of d'Entrecasteaux Reefs (New Caledonia, southwestern Pacific): diversity, abundance, trends and threats. *Colon. Waterbirds*, **20**, 282–290.
- RUBICHON, C. (2023).- Les conseils de la Maison du lagon pour bien choisir son îlot. *Nouv. caléd.*, **15655**, 6–7.
- SABINOT, C., DELEBECQUE, S., CILLAURREN, E., et al. (2021).- Espèces emblématiques et gestion de la mer, regards pluridisciplinaires en sciences sociales et nouvelles approches méthodologiques dans l'outre-mer indo-pacifique. *Norois*, **259-260**, 181–203.
- SMITH, J. (2010).- *Adobe Illustrator digital classroom*. Wiley, Indianapolis IN, 349 p.
- SPAGGIARI, J. & BARRE, N. (2003).- *Dénombrement des puffins du Pacifique (Puffinus pacificus chlororhynchus) nichant dans la colonie de la presqu'île de Pindai*. Soc. caléd. Ornithol., Nouméa, 23 p.
- SPAGGIARI, J. & BARRE, N. (2005).- *Dénombrement des puffins fouquets (Puffinus pacificus chlororhynchus) nichant dans la colonie de la presqu'île de Pindai*. Soc. caléd. Ornithol., Nouméa, 19 p.
- SPAGGIARI, J., CHARTENDRAULT, V. & BARRE, N. (2007).- *Zones importantes pour la conservation des oiseaux en Nouvelle-Calédonie*. BirdLife int., Cambridge, 213 p.
- TEHEI, M. & LEHOULLIER, C. (2012).- *Bilan des impacts dus aux pollutions lumineuses sur le site de Vale Nouvelle-Calédonie, 2011-2012*. Vale Nouv.-Caléd., Nouméa, 14 p.
- VEILLON, J.-M., DAGOSTINI, G. & JAFFRE, T. (1999).- Étude de la forêt sclérophylle de la Province Nord en Nouvelle-Calédonie. *Conv. Sci. Vie Bot. (IRD, Noum.)*, **10**, 1–54.
- VILLARD, P. (2003).- Coup de tristesse dans le lagon sud. *Nouv. caléd.*, **9543**, 67.
- VILLARD, P. (2004).- *Les oiseaux marins dans le lagon sud de la Nouvelle Calédonie. Rapport final d'étude pour le compte de la province Sud Nouvelle-Calédonie*. CNRS, Chizé, 44 p.
- WAKAHUGNEME, C. & TROMEUR, F. (2019).- Une colonie de puffins dévastée à Pouembout. *Nouv.-Caléd.* 1ère, 13 nov. 2019. <https://la1ere.francetvinfo.fr/nouvellecaledonie/province-nord/pouembout/colonie-puffins-devastee-pouembout-770883.html>
- WARHAM, J. (1996).- *The behaviour, population biology, and physiology of the petrels*. Academic Press, London, vii + 613 p.
- WEIMERSKIRCH, H., DE GRISSAC, S., RAVACHE, A., et al. (2020).- At-sea movements of wedge-tailed shearwaters during and outside the breeding season from four colonies in New Caledonia. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **633**, 225–238.
- WHITTOW, G.C. (2020).- Wedge-tailed shearwater (*Ardenna pacifica*), version 1.0. In: S.M. Billerman (ed.) *Birds of the world*. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca NY. <https://doi.org/10.2173/bow.wetshe.01>
- WIBART, A. (2009).- SOS pétrels en danger. *Nouv. caléd.*, 21 Jan. 2009.
- WICKHAM, H. (2016).- *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag, New York, 260 p.
- WWF (2005).- Koh Lanta, les "aventuriers" saccagent des espèces protégées. *Futura Sci.*, 15 juillet 2005. <https://www.futura-sciences.com/>