

Conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie : une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles. Synthèse finale

Christophe Cleguer

▶ **To cite this version:**

Christophe Cleguer. Conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie : une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles. Synthèse finale. Biodiversité et Ecologie. Université Pierre et Marie Curie, Paris (France); James Cook University, Townsville (Australie), 2015. Français. NNT : . tel-01320504

HAL Id: tel-01320504
https://ird.hal.science/tel-01320504

Submitted on 24 May 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie : une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles

Synthèse finale

Rédigée par Christophe Cleguer, PhD Université de James Cook –IRD UMR ENTROPIE –Université de Pierre et Marie Curie

Novembre 2015

Etude réalisée dans le cadre du projet

Plan d'actions dugong 2010 2015 en Nouvelle-Calédonie

Conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie : une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles

Christophe Cleguer, PhD Université de James Cook –
IRD UMR ENTROPIE –Université de Pierre et Marie Curie
Christophe.cleguer@my.jcu.edu.au

Novembre 2015

Document réalisé par Christophe Cleguer dans le cadre d'une étude doctorale portant sur la « Conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie : une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles

Etude financée dans le cadre de la convention d'application AAMP/11/107 entre l'Agence des aires marines protégées (AAMP) et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

Elle a été élaborée dans le cadre du projet « Plan d'actions dugong 2010-2015 »

En partenariat avec:

Référence à citer : « *Cleguer C. 2015. Conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie : une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles. Synthèse finale de la thèse de doctorat. 168p. + Annexes*

Comité de thèse

Co-directrices

- Professeur Helene Marsh, JCU College of Marine and Environmental Sciences, Australie
- Professeur Claude Payri, UMR ENTROPIE (IRD-Université de La réunion-CNRS) - Laboratoire d'Excellence LabEx -CORAIL, IRD Nouvelle-Calédonie

Membres du comité

- Dr. Claire Garrigue, UMR ENTROPIE (IRD-Université de La réunion-CNRS) -Laboratoire d'Excellence LabEx -CORAIL, IRD Nouvelle-Calédonie / Opération cétacés BP 12827 98802 Nouméa, Nouvelle-Calédonie
- Dr. Mariana M.P.B. Fuentes, Earth, Ocean and Atmospheric Science, Florida State University, Tallahassee, FL 32306, Etats-Unis
- Dr. Alana Grech, Department of Environmental Sciences, Macquarie University, New South Wales 2109, Australie
- Dr. Mark Hamann, JCU College of Marine and Environmental Sciences, Australie
- Mr. Lionel Gardes, Agence des Aires Marines Protégées, Nouvelle-Calédonie

Ethique

La capture et le balisage des dugongs ont été réalisés dans le cadre des permis délivrés par le comité d'éthique animale de l'Université James Cook (permis A1735 et A1936), par la province Nord (60912155-2013 /JJC) et la province Sud (3157-2012 /ARR /DENV) de Nouvelle-Calédonie.
Les dugongs capturés ont été traités en conformité avec les réglementations locales et internationales et en suivant les directives de vétérinaires (Annexe C).

Publications produites durant le doctorat

Articles Scientifiques

Chapitre 2 **Cleguer C.**, Garrigue C., Everingham Y., Fuentes M.P.B., Hagihara R., Hamann M., Payri C., Marsh H. (prêt pour soumission) Temporal changes in the relative abundance of dugongs in New Caledonia. Journal: *Marine Mammal Science*.

Chapitre 3 **Cleguer C.**, Grech A., Garrigue C., Marsh H. (2015) Spatial mismatch between marine protected areas and dugongs in New Caledonia. Journal : *Biological Conservation*, 184, 154-162.

Chapitre 4 **Cleguer C.**, Fuentes M.P.B., Garrigue C., Hamann M., Marsh H. (*en préparation*) Movement heterogeneity of dugongs in the lagoons of New Caledonia. Journal: *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*.

Chapitre 5 **Cleguer C.**, Fuentes M.P.B., Garrigue C., Hamann M., Payri C., Marsh H. (*en préparation*) Seasonal changes in the abundance and habitat use of dugongs in the coral reefs of the Bourail-Poya region. Journal: *Coral Reefs*.

Newsletter IUCN

Cleguer C. (2012) Informing dugong movement and habitat use behaviour in New Caledonia – A pilot study. *SireNews*. 57-13.

Cleguer C., Garrigue C., Preston S., Liebsch N., Marsh H. (2015) Use of a Personal Watercraft to Safely and Quickly Catch Dugongs (*Dugong dugon*) in the coral reef lagoons of New Caledonia. *SireNews*.

Chapitres de livre

Cleguer C. & Pusineri C. (*en préparation*) The dugong. *Atlas des Mammifères Marins de France. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.*

Présentations à des conférences

Cleguer C. (2012) Dugong conservation in New Caledonia, past, present and future. Quelles recherches scientifiques en province Nord. Poindimié, New Caledonia.

Cleguer C., Grech A., Garrigue C., Marsh H. (2013) Spatially-explicit modelling of dugong distribution and relative density in New Caledonia as a tool for prioritizing local conservation initiatives. *20th Biennial conference on the Biology of Marine Mammals, Dunedin, New Zealand*.

Cleguer C., (2014) Aerial surveys as a tool to support the conservation of Sirenia. *Society for conservation biology, Suva, Fiji. (Co-convened symposium).*

Cleguer C., Fuentes M.P.B., Garrigue C., Grech A., Hamann M., Payri C., Marsh H. (15 décembre 2015) Heterogeneous habitat use by dugongs in tropical coral reef lagoons. *21st Biennial conference on the Biology of Marine Mammals, San Francisco, United States of America.*

Rapports

Garrigue C. & **Cleguer C.** (2013) Dugong movements in the Nouméa and the Bourail-Poya regions. *Rapport non publié pour l'Agence des Aires Marines Protégées*. 28p

Cleguer C., Oremus M., Garrigue C. (2012) Pilot study on dugong satellite tagging in New Caledonia. *Rapport non publié pour l'Agence des Aires Marines Protégées*. 33p + annexes

Garrigue C., **Cleguer C.**, Schaffar A. (2012a) Distribution and abundance of dugongs in New Caledonia, 2012. *Rapport de mission de la campagne de juin 2012*. 27p + annexes.

Garrigue C., **Cleguer C.**, Schaffar A., Oremus M. (2012b) Distribution and abundance of dugongs in New Caledonia, 2012. *Rapport de mission de la campagne de juin 2012*. 27p + annexes.

Garrigue C., **Cleguer C.,** Schaffar A. (2011a) Distribution and abundance of dugongs in New Caledonia, 2011. *Rapport de mission de la campagne de juin 2011*. 25p + annexes.

Garrigue C., **Cleguer C.**, Schaffar A., Oremus M. (2011b) Distribution and abundance of dugongs in New Caledonia, 2011. *Rapport de mission de la campagne de novembre 2011*. 25p + annexes.

Oremus M., Garrigue C., **Cleguer C.** (2011) Dugong genetic diversity in New Caledonia. *Rapport final*.

Oremus M., Garrigue C., **Cleguer C.** (2015) Dugong genetic diversity in New Caledonia. *Rapport final*.

Comptes rendus d'étape réalisés dans le cadre de la convention AAMP-IRD/11/107 du plan d'actions dugong 2010-2015

Cleguer C. (2012a) Conservation du dugong en Nouvelle-Calédoniec: une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles. *Compte rendu d'étape N°1*. 29p

Cleguer C. (2012b) Conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie : une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles. *Compte rendu d'étape N°2*. 18p

Cleguer C. (2013a) Conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie : une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles. *Compte rendu d'étape N°3*. 54p + Annexes

Cleguer C. (2013b) Conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie : une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles. *Compte rendu d'étape N°4*. 53p. + Annexes

Cleguer C. (2014) Conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie : une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles. *Compte rendu d'étape N°5*. 19p. + Annexes

Résumé

Comprendre l'écologie d'une espèce et les processus qui la menacent peut aider à identifier des sites de conservation afin d'améliorer les mesures de gestion. Ces informations sont souvent incomplètes ou tout simplement indisponibles à une échelle permettant des prises de décisions et la mise en place d'actions de conservation et de gestion efficaces. En effet, le coût et l'effort nécessaires pour recueillir ce type d'information, sont souvent élevés, notamment quand les espèces ciblées occupent de grands espaces.

Le dugong (*Dugong dugon*) est un mammifère marin herbivore qui est présent sur 13 0000 km de côtes dans la région de l'Indo-Pacifique. Une attention internationale particulière est portée sur cette espèce inscrite comme 'vulnérable' sur la liste rouge de l'UICN. Le dugong est notamment de plus en plus menacé par l'accroissement des activités anthropiques sur la plupart des littoraux dans son aire de répartition. Dans de nombreuses régions, la probabilité de survie et le statut du dugong sont inconnus. La collecte d'informations sur l'écologie du dugong dans ces régions permet d'améliorer l'efficacité des initiatives de conservation et de gestion de l'espèce.

L'archipel de Nouvelle-Calédonie, situé dans la région océanienne, se trouve à l'extrémité est de la zone de répartition mondiale du dugong. Le statut de conservation de cette espèce dans cette région est inconnu. La présence de cet animal charismatique dans les lagons de Nouvelle-Calédonie était l'un des critères retenu pour l'inscription de la majeure partie des lagons et récifs de l'archipel au patrimoine mondial de l'UNESCO. Toutefois, au commencement de la présente étude hormis la législation interdisant la chasse du dugong dans une grande partie du territoire, aucune mesure concrète de conservation du dugong n'était en place en Nouvelle-Calédonie pour assurer le maintien de la population.

Ce projet avait pour but d'étudier l'écologie des dugongs à différentes échelles spatio-temporelles en Nouvelle-Calédonie et de nourrir la réflexion engagée sur les stratégies de conservation de cette espèce sur le territoire.

Ce travail se décline en trois grands objectifs:

Objectif 1: Evaluer la variabilité temporelle de l'abondance relative des dugongs et les stratégies de conservation de l'espèce ;

Objectif 2: Accroître les connaissances sur l'écologie spatiale des dugongs dans les lagons de Nouvelle-Calédonie ;

Objectif 3: Contribuer à la réflexion sur les stratégies de conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie en s'appuyant sur les résultats obtenus dans les objectifs 1 & 2.

Le premier comptage aérien de dugongs effectué en Nouvelle-Calédonie en 2003 a permis une première estimation de l'abondance relative de la population qui était alors estimée à 1814 dugongs (±SE = 332). Cinq ans plus tard, en 2008, une seconde campagne aérienne portait cette estimation à 964 dugongs (±SE =241), posant la question du statut de la population de dugongs dans l'archipel. Dans ce contexte, quatre campagnes de comptage supplémentaires ont été programmées entre 2011 et 2012. J'ai coordonné ces campagnes durant les saisons fraîches et chaudes de 2011 (n = 2 survols) et de 2012 (n = 2 survols) avec pour objectif principal la mise à jour de l'estimation de l'abondance relative de la population de dugongs en Nouvelle-Calédonie et sa variabilité dans l'espace et le temps. Les estimations obtenues à partir de ces quatre campagnes varient entre 649 (± SE = 195) et 1227 (± SE = 296) dugongs. Elles ne sont pas significativement différentes de celle de 2008, mais sont significativement inférieures à l'estimation issue de la campagne de 2003. Aucun effet saisonnier n'a été détecté sur les estimations et il est difficile voire impossible d'établir avec certitude la ou les raisons à l'origine des variations observées dans l'estimation des effectifs obtenus en 2003 avec ceux mesurés en 2008, 2011 et 2012. Différentes hypothèses peuvent toutefois être avancées pour expliquer cette variation d'abondance tels que : une réduction réelle de la population de dugongs, des déplacements temporaires au sein de la zone d'étude, et des biais divers associés à la probabilité de détection des dugongs. Chacune de ces hypothèses est discutée dans cette étude qui met aussi en avant certains aspects méthodologiques pouvant être améliorés dans les futures campagnes de comptage ainsi que la nécessité d'acquérir des informations robustes sur la mortalité des dugongs en Nouvelle-Calédonie.

J'ai ensuite utilisé les données obtenues à partir de la série chronologique de comptages aériens, pour développer un modèle spatial représentant la répartition des différentes classes de densités relatives de dugongs autour de la Grande-Terre. Ce modèle a permis de déterminer la répartition et les zones à forte concentration de dugongs grâce aux séries de données acquises par observations aériennes entre 2003 et 2012. Depuis 2003, les dugongs sont majoritairement répartis sur la côte ouest et nord-est de la Grande-Terre. Les zones à forte concentration sont distribuées de manière hétérogène. Des zones d'importance que nous appellerons 'hot spots', sont situées dans les régions de Nouméa, Ouano, Bourail-Poya, Koumac et Pouebo. Les dugongs sont peu présents au centre de la côte Est ainsi que dans les grands lagons nord et sud sans que cela signifie que les animaux n'utilisent pas ces zones pour transiter entre les hot spots.

Bien que les dugongs n'aient pas été explicitement pris en compte dans la conception des réseaux d'Aires Marines Protégées (AMP) en Nouvelle-Calédonie, il était toutefois intéressant

d’évaluer rétrospectivement la capacité des réseaux actuels d'AMPs à protéger les dugongs des menaces anthropiques qui influent directement sur leur survie. Pour cela, j’ai utilisé le modèle spatial de répartition des différentes classes de densités relatives de dugongs et les couches représentants les AMPS de Nouvelle-Calédonie. J’ai quantifié le degré de chevauchement entre les mailles de densités relatives de dugongs et chaque type d’AMP en place au moment de l’étude. Cette analyse montre que la plupart des zones présentant une forte concentration de dugongs est faiblement couverte par les AMPs dont la réglementation pourrait fournir un niveau de restriction des activités anthropiques suffisant pour limiter la mortalité des dugongs. Cette analyse n’a pas pour but de remettre en question les réseaux actuels d’AMP puisque ceux-ci n’étaient pas conçus pour la protection des dugongs mais de fournir un outil essentiel à la réflexion sur les zones où les futures mesures de conservation et de gestion devront être conduites pour améliorer la protection de l’espèce en Nouvelle-Calédonie.

Identifier et évaluer les menaces qui influent directement la survie des dugongs adultes constituent une des priorités de conservation de l’espèce. L'exposition des animaux à ces menaces peut être évaluée rapidement à l’aide d’un système d'information géographique (SIG) permettant d’identifier les domaines prioritaires de conservation à condition que l'information spatiale sur la distribution des pressions anthropiques soit disponible. Ces pressions incluent la chasse, la prise non-intentionnelle dans les filets de pêche et les collisions avec les bateaux. Malheureusement les données relatives aux pressions directes exercées sur cette espèce sont incomplètes ou inexistantes. C’est pourquoi j’ai été amené à réaliser mon analyse des pressions à deux échelles spatiales en fonction des types de données disponibles. A l’échelle de la Grande-Terre, j’ai tenté d’évaluer les niveaux d’exposition des dugongs aux risques de chasse et de prise non-intentionnelle dans les filets de pêche. Pour cela, j’ai utilisé les données issues de la série chronologique des comptages aériens et un jeu de données des activités de pêche autour de la Grande-Terre utilisé comme ‘proxy’. A une échelle locale, j’ai essayé de déterminer les zones où les risques de collision entre embarcations marines et dugongs étaient les plus élevées, afin d’identifier des zones où le ralentissement de la vitesse des embarcations pourrait être proposé. Pour cela j’ai utilisé la série chronologique mentionnée ci-dessus ainsi que des données de bathymétrie. L'exposition des dugongs à la chasse et aux prises accidentelles dans les filets de pêche se produit principalement sur la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie, dans les régions de Bourail-Poya, de Voh-Koné-Pouembout, de Koumac et de Nouméa ainsi que dans plusieurs baies situées entre Boulouparis et Ouano. Les risques de collision sont mineurs dans la région de Voh-Koné-Pouembout. En revanche, dans la région du grand Nouméa, trois zones peuvent être proposées pour un ralentissement de la vitesse des embarcations.

La faible prise en compte des mammifères marins dans les outils de conservation tels que les AMPs provient souvent de la nature extrêmement mobile de ces animaux et de la difficulté à définir leurs besoins spécifiques en matière d'habitat. Dans mon étude, une fois les zones hot spots de dugongs détectées, il était important de documenter le déplacement des animaux au sein des lagons entourant la Grande-Terre afin d'adapter les stratégies de conservation au comportement des animaux. Pour cela, 12 dugongs ont été équipés de balises satellitaires afin : (1) de caractériser les déplacements des dugongs de Nouvelle-Calédonie ; (2) d'estimer la taille de leurs domaines vitaux et d'identifier leurs aires d'activités préférentielles ; et (3) d'identifier d'éventuels couloirs de déplacement empruntés par l'espèce pour transiter d'une aire préférentielle (ou d'une zone hot spot détectée par les survols) à une autre. Les animaux balisés ont affiché des comportements de déplacements individuels comme cela a déjà été observé dans d'autres régions du monde. L'étendue de leur mouvement était relativement large par rapport à la taille de la Grande-Terre, et dépassait les limites provinciales. Les mouvements de certains animaux s'étendaient même au-delà du récif -barrière, comme dans le cas de trois dugongs ayant quitté le lagon et utilisé la pente externe du récif-barrière pour se déplacer entre deux baies situées dans la région de Bourail-Poya. Tous les dugongs balisés sont revenus sur leur lieu de capture suite à leur déplacement. L'analyse du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs montre (1) que les animaux utilisent l'ensemble du complexe récifal présent dans leur domaine vital, incluant les zones côtières peu profondes (côte ouest) les lagons profonds (région de Nouméa) voire les pentes externes, (2) qu'il n'y a pas de différence majeure dans l'utilisation de l'espace entre le jour et la nuit, (3) qu'une proportion importante du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs est localisée dans des zones où la présence d'herbiers marins n'est pas confirmée, et (4) que les dugongs balisés de la région Bourail-Poya ont évolué principalement dans le Parc Provincial de la Zone Côtière Ouest qui inclut une surface importante du secteur récifo-lagonaire, alors que vers Nouméa les voies de déplacement des dugongs restent plutôt cantonnées aux zones profondes du lagon et recoupent peu les emprises des AMPs qui concernent plutôt les zones récifales dans cette région.

La région de Bourail-Poya sur la côte ouest de la Grande-Terre abrite l'un des plus grands herbiers intertidaux ainsi que les plus fortes densités de dugongs de Nouvelle-Calédonie. Cette région est également connue pour ces regroupements de dugongs (c.-à-d. : groupe de plus de 10 animaux) sur la pente externe du récif-barrière, à l'extérieur du lagon. Ces comportements singuliers ont fait l'objet d'une partie d'un chapitre de l'étude. Il s'agissait d'étudier les effets de la saison et de la marée sur le nombre et la distribution des dugongs dans la région de Bourail-Poya ainsi que les variations spatio-temporelles des regroupements de dugongs afin de mieux planifier la conservation et la gestion de l'espèce dans cette région.

Pour cela j’ai utilisé des données collectées aux cours de survols aériens effectués toutes les deux semaines pendant 18 mois, de février 2012 à mi-août 2013, au-dessus des principaux habitats de la région de Bourail-Poya. L’utilisation de l’habitat par les dugongs dans cette région a ensuite été comparée aux données de température de l’eau de mer enregistrées dans la zone durant la période d’étude. Les résultats montrent qu’un plus grand nombre de dugongs fréquente la région pendant la saison fraîche. Les dugongs étaient principalement observés au-dessus des herbiers intertidaux à marée haute indépendamment de la saison. En revanche, des différences saisonnières ont été détectées lorsque la marée restreignait l’accès aux herbiers avec notamment une proportion plus élevée de dugongs sur la pente externe du récif-barrière pendant la saison fraîche. Durant la saison chaude l'utilisation de la pente externe était moins prononcée et les dugongs étaient majoritairement observés à l'intérieur du lagon dans les chenaux entourant les herbiers intertidaux. En l’état actuel des connaissances et des données disponibles, la mise en relation de ces résultats avec les données de température de l’eau suggère qu’un comportement de thermorégulation constitue l’explication la plus plausible de la variation des effectifs de dugongs et de l'utilisation de l’habitat dans cette région. Une étude plus approfondie est nécessaire pour évaluer l'effet d'autres facteurs externes, notamment les changements temporels de disponibilité et de qualité des herbiers et l'abondance des requins prédateurs de dugongs.

L’analyse des données de survols de la région de Bourail-Poya montre également des regroupements de dugongs à l'intérieur du lagon pendant la saison chaude et à l'extérieur pendant la saison fraîche. Des images aériennes et sous-marines ont été collectées sur les regroupements situés à l'extérieur du lagon. Leur analyse suggère que les animaux se regroupent pour se reposer. Aucun comportement social autre que ceux existant entre les mamans et leurs veaux n’a été identifié. Les regroupements dans cet habitat spécifique peuvent être également dus à la température de l’eau plus chaude en hiver à l’extérieur du lagon, au plus grand nombre de dugongs présents dans la région à cette saison, à la faible superficie de la pente externe du récif- barrière, à la distance aux prairies d'herbiers et au risque de prédation par les requins. Enfin, ces résultats montrent que certaines zones, bien que dépourvues d’herbier, constituent des habitats clés pour les dugongs et doivent être considérées dans la mise en place d’un plan de conservation et de gestion des dugongs en Nouvelle-Calédonie.

Ce travail fournit de nouvelles connaissances sur l'écologie spatiale des dugongs dans un écosystème de récif corallien tout en mettant à disposition des gestionnaires de l’environnement de nombreux outils permettant d’améliorer la conservation et la gestion des dugongs dans la région. L’utilisation de ces outils doit prendre en compte le fait que la gestion de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie doit impérativement être coordonnée à une échelle écologique pertinente indépendante des limites géographiques provinciales. Compte tenu de la

place du dugong dans la société néo-calédonienne, une consultation des différentes communautés est nécessaire afin de maximiser l'implication des populations autochtones et locales dans la gestion de la population de dugongs. Pour finir, une liste d'objectifs et d'actions articulés sous deux grands thèmes est proposée : (1) la conservation et la gestion de la population de dugongs en Nouvelle-Calédonie, et (2) la recherche appliquée à la conservation et à la gestion de la population de dugongs en Nouvelle-Calédonie. Cette liste constitue, dans ce contexte, une base nécessaire aux discussions qui doivent maintenant avoir lieu entre les acteurs de la protection de l'environnement de Nouvelle-Calédonie. Les recherches futures devront porter sur une meilleure évaluation de la mortalité notamment celle liée aux pratiques illicites tel que le braconnage ; cette menace devant urgemment être localisée et éliminée si l'on souhaite sauvegarder la population de dugongs. Pour cela une réflexion devra avoir lieu sur la manière dont la conformité à la loi pourrait être assurée.

Sommaire

Comité de thèse i

Ethique ii

Publications produites durant le doctorat iii

Résumé vi

Sommaire xii

Liste des Figures xv

Liste des Tableaux xxi

Chapitre 1: Introduction générale 1

1.1 Introduction 3

1.4 Livrables et objectifs 4

Chapitre 2: Variabilité temporelle de la taille de la population de dugongs en Nouvelle-Calédonie 5

2.1 Introduction 6

2.2 Méthode 6

2.3 Résultats 20

2.4 Discussion 31

(1) Déclin réel de la population de dugongs entre 2003 et 2008 32

(2) Déplacements temporaires au sein de la zone d'étude 34

(3) Biais associés à la probabilité de détection mais non-corrigés 35

2.5 Conclusion 36

Chapitre 3: Distribution des dugongs et couverture par les réseaux d'Aires Marines Protégées 39

3.1 Introduction 40

3.2 Méthode 41

3.3 Résultats 45

3.5 Discussion 52
3.6 Conclusion 55

Chapitre 4: Spatialisation des pressions directes exercées sur la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie 57

4.1 Introduction 58
4.2 Méthode 60
4.3 Résultats 61
4.4 Conclusion 65

Chapitre 5: Déplacement des dugongs dans les lagons de Nouvelle-Calédonie 67

5.1 Introduction 68
5.2 Méthode 69
5.3 Résultats 83
5.4 Discussion 103
5.5 Conclusion 106

Chapitre 6 : Changements saisonniers de l'abondance et de l'utilisation de l'habitat par les dugongs dans la région de Bourail-Poya 109

6.1 Introduction 111
6.2 Méthode 111
6.3 Résultats 117
6.4 Discussion 124
6.5 Conclusion 128

Chapitre 7: Discussion générale 129

7.1 Contribution à planification de la conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie 130

7.2 Eléménts clés à considérer pour la conservation et la gestion des dugongs en Nouvelle-Calédonie 131

7.3 Etudes complémentaires sur les dugongs et les herbiers marins à mettre en perspectives 135

7.4 Conclusion 137

Bibliographie 141

Annexe A 169

Annexe B 179

Annexe C 183

Annexe D 189

Annexe E 197

Annexe F 199

Liste des Figures

Figure 2.1: Cessna 206 à six places utilisé lors des campagnes de 2011-2012..... 8

Figure 2.3 : Zones d'observation et zone aveugle..... 9

Figure 2.4: Plan et effort d'échantillonnage pour les comptages aériens de dugongs réalisés en Nouvelle-Calédonie en 2011 et 2012..... 13

Figure 2.5: Système d'évaluation de la couverture nuageuse (extrait de English et al. 1997)..... 14

Figure 2.6 : Dugong observé à l'intérieur de la radiale (© Opération Cétacés)..... 15

Figure 2.7: Nombre (A) de groupes de dugongs, (B) d'individus, et (C) d'individus par radiale pour chaque bloc au cours de la série temporelle de survols pour les dugongs de Nouvelle-Calédonie. Les teintes de gris varient selon la campagne de survol. Notez que cette figure exclut l'observation d'un regroupement de 69 dugongs (dont 5 veaux) réalisée dans le bloc 2 en juin 2011. Ce regroupement a cependant été inclus dans l'analyse d'estimation de la population..... 23

Figure 2.8: Abondance relative des dugongs de Nouvelle-Calédonie ; (A) par campagne de survol, et (B) par bloc / campagne de survol. 24

Figure 2.9: Log $_e$ de la densité relative des dugongs (par km^2) sur la base des observations de dugongs au cours des survols aériens réalisés en Nouvelle-Calédonie entre 2003 et 2012. Les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance à 95% et les lignes horizontales dans les cases représentent la moyenne. Les cercles représentent les valeurs estimées de densité relative de dugongs pour chaque radiale incluse dans l'analyse. 26

Figure 2.10: Log $_e$ de densité relative de dugongs (par km^2) pour chaque bloc et par année de survol. Les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance à 95% et les lignes horizontales dans les cases représentent la moyenne. Les points noirs représentent les valeurs estimées de densité relative de dugongs pour chaque radiale incluse dans l'analyse..... 28

Figure 2.11: Proportion de veaux (A) par campagne de survol, et (B) au sein des blocs par campagne de survol. Les lignes horizontales dans les cases de la figure (A) représentent la moyenne. 29

Figure 2.12: Distribution de la fréquence des observations de dugongs en fonction de la bathymétrie au cours des campagnes de survol réalisées en Nouvelle-Calédonie entre 2003 et 2012. 31

Figure 3.1 : Exemple de variogramme pour l'ensemble du jeu de données. 43

Figure 3.2: Modèle spatial représentant la répartition des différentes classes de densités relatives de dugongs (DRD) autour de la Grande-Terre (nombre de dugongs observés par km^2, maille = 2,56km^2) (A), sur la côte nord-est (B), sur la côte ouest (C), et dans le sud de la Grande-Terre (D). La plupart des zones à forte DRD sont distribuées sur la côte ouest et nord-est de la Grande-Terre. Une zone à très forte DRD a été détectée dans la région de Bourail-Poya. Notez que: (1) les zones UNESCO de la province des Iles Loyauté et récifs d'Entrecasteaux ne sont pas représentés dans cette figure ; (2) les cartes d'observations de dugongs pour chaque session de comptages aériens sont présentés dans l'annexe A Figure A.1. 46

Figure 4.1: Évaluation spatiale du niveau d'exposition des dugongs à la chasse et aux prises accidentelles dans les filets de pêche en province nord. La représentation est faite par province pour mieux visualiser les differentes zones de couleur Comme expliqué tout au long de la thèse, la gestion des risques encourus par les dugongs doit être envisagée à plusieurs échelles spatiales, y compris l'échelle interprovinciale. 62

Figure 4.2: Évaluation spatiale du niveau d'exposition des dugongs à la chasse et aux prises accidentelles dans les filets de pêche en province sud. La représentation est faite par province pour des raisons de résolution de la carte. Comme expliqué tout au long de la thèse, la gestion des risques encourus par les dugongs doit être développée à plusieurs échelles spatiales, y compris l'échelle interprovinciale. 63

Figure 4.3: Zones proposées pour le ralentissement de la vitesse des embarcations dans l'objectif de réduire le risque de collision entre les embarcations et les dugongs dans la région du grand Nouméa. 64

Figure 5.1: Sites d'étude, localisation des captures de dugongs (représenté par des étoiles) et représentation de l'étendue des mouvements des dugongs. Une lettre a été attribuée à chaque dugong pour faciliter la référence à chaque animal (voir également le Tableau 5.3). 70

Figure 5.2: Utilisation d'un moto-marine pour l'approche et la capture de dugongs en Nouvelle-Calédonie: (A) des sauteurs principaux poursuivant un dugong en eau

peu profonde, au-dessus d'un récif corallien, le sauteur principal assis à l'arrière de l'embarcation pointe du doigt l'animal pour éviter de le perdre de vue ; (B et C) approche à distance de capture ; (D) le sauteur principal tente une capture de l'animal. 72

Figure 5.3: Dugong placé dans la civière fixée au bateau d'assistance. 73

Figure 5.4: Dugong sécurisé sur le bateau d'assistance (© Patrice Plichon). 73

Figure 5.5: Représentation d'une balise GPS-ARGOS attachée à un dugong (A) ; (adapté de Marsh et Rathbun, 1990) et une photographie du système de balisage (B). Voir l'annexe B pour plus de détails sur la conception du système d'attache de la balise. 74

Figure 5.6 : Fixation de la balise sur le dugong. 75

Figure 5.7 : Mesures du dugong. 75

Figure 5.8 : Libération du dugong (© Patrice Plichon). 76

Figure 5.9: Le dugong s'éloigne, équipé de la balise (en bleu). 76

Figure 5.10: Détails des déplacements, du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs balisés dans la région de Bourail-Poya. Ces cartes représentent les données filtrées collectées au cours du suivi de chaque individu. Les Figures A, B et C représentent les déplacements des sept dugongs. Les triangles de couleur représentent le lieu de capture de chaque animal. La Figure D représente les points GPS-QFP-résolus de l'individu L qui a effectué un aller-retour entre le Cap Goulvain et la baie de Bourail en utilisant la pente externe du récif-barrière à l'extérieur du lagon. La Figure E représente le domaine vital et les aires préférentielles des individus A, B, D, E, F, H sans pondération de temps de suivi de chaque individu. Notez la terre en marron clair, le récif-barrière en gris foncé et les zones de récifs en gris clair. 92

Figure 5.11: Détails des déplacements, du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs balisés dans la région de Ouano. Ces cartes représentent les données filtrées collectées au cours du suivi de chaque individu. La Figure A représente les déplacements des deux dugongs. Les triangles de couleur représentent le lieu de capture de chaque animal. La Figure B représente le domaine vital et les aires préférentielles combinées des deux individus sans pondération de temps de suivi de chaque individu. Notez la terre en marron clair, le récif-barrière en gris foncé et les zones de récifs en gris clair. 94

Figure 5.12: Détails des déplacements, du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs balisés dans la région de Nouméa. Ces cartes représentent les données filtrées collectées au cours du suivi de chaque individu. La Figure A représente les déplacements des deux dugongs. Les triangles de couleur représentent le lieu de capture de chaque individu. La Figure B représente le domaine vital et les aires préférentielles combinées des deux individus sans pondération de temps de suivi de chaque individu. Notez la terre en marron clair, le récif-barrière en gris foncé et les zones de récifs en gris clair. 96

Figure 5.13: Tailles du domaine vital et de l'aire préférentielle des dugongs balisés dans trois régions de Nouvelle-Calédonie. Les lignes à l'intérieur des boîtes représentent la médiane. Les boîtes représentent l'écart interquartile. Les moustaches représentent les valeurs minimales et maximales tandis que les points indiquent les valeurs pour chaque individu. Attention aux différences d'échelles des axes Y entre les deux figures..... 97

Figure 5.14: Etude du chevauchement du domaine vital et des aires préférentielles de dugongs balisés dans la région (A ; individu J) de Bourail-Poya, (B ; individu A) de Ouano, et (C ; individu D) de Nouméa pour le jour et la nuit. 99

Figure 5.15 : Etude du chevauchement entre le domaine vital, les aires préférentielles des dugongs capturés (A) dans la région de Bourail-Poya, (B) de Ouano, et (C) de Nouméa, avec les herbiers marins cartographiés (Andréfouët et al., 2010). Les diagrammes circulaires représentent la proportion du domaine vital et des aires préférentielles s'étendant (zone en vert) ou non (zone grisée) sur les herbiers marins..... 100

Figure 5.16: Proportion du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs balisés en fonction des classes bathymétrique dans les trois sites d'étude. 101

Figure 5.17: Temps passé par chaque dugong balisé dans chaque type d'Aire Marine Protégée (AMP) en Nouvelle-Calédonie. Une catégorie composite appelée « Réserve naturelle (UICN IV) & Parcs Provincial (UICN II) » a été créé pour une meilleure représentation graphique parce que ces deux types d'AMPs se chevauchent dans certaines régions de Nouvelle-Calédonie. Les réserves naturelles qui ne se chevauchent pas avec un Parc Provincial ne sont pas représentées car elles n'ont été utilisées que pour 0,2% du temps de suivi d'un dugong (individu E). De la même manière les réserves de nature sauvage (UICN Ib) ne sont pas représentées dans cette figure, car aucune position n'y a été enregistrée. 102

Figure 6.1: Plan d'échantillonnage pour le comptage de dugongs et le relevé de température de l'eau dans la région de Bourail-Poya sur la côte centre-ouest de la Nouvelle-Calédonie. Les images satellites (à gauche) de la région correspondent (A) aux herbiers et les chenaux, (B) aux les récifs réticulés, et (C) à la sortie du chenal nord et la pente externe du récif-barrière. Source des images satellites : Basemap dans le logiciel ARCGIS10.2 (ESRI 2013). 113

Figure 6.2: Effectifs de dugongs dénombrés par survols pour chaque mois à marée haute et marée basse dans la région de Bourail-Poya. 120

Figure 6.3: Regroupement de 69 dugongs observé sur la pente externe du récif-barrière à l'extérieur du lagon dans la région de Bourail-Poya le 22 juin 2011. 121

Figure 6.4: Proportion de regroupements de dugongs par mois à l'extérieur (colonnes grises) et à l'intérieur du lagon (colonnes blanches) en relation avec la différence de température moyenne mensuelle minimale de l'eau de mer entre la pente externe du récif-barrière et le chenal sud. La ligne pointillée noire permet de visualiser les variations de la température minimum de l'eau entre la pente externe et le chenal (valeurs positives : température plus chaude ; valeurs négatives : températures plus froides)..... 121

Figure 6.5: Pourcentage d'observations de dugongs dans chaque habitat pour chaque catégorie saison-marée. L'intensité d'échantillonnage a été constante au sein et entre chaque catégorie saison-marée. 123

Figure 7.1: Superposition du modèle de distribution et de densités des dugongs avec l'utilisation de l'espace (domaine vital et aire préférentielle) de trois dugongs balisés dans la région du grand Nouméa..... 132

Figure A.1: Map of the raw dugong sightings from the (A) cool season of 2003, (B) warm season of 2008, (C) cool season of 2011, (D) warm season of 2011, (E) cool season of 2012, (F) warm season of 2012..... 177

Figure B.1: Belt and silicone tube..... 180

Figure B.2: Stainless steel buckle and corrodible link. 181

Figure B.3: Joiners and tether 182

Figure F.1: Fishing activity collected from interviews conducted throughout the main island of New Caledonia by a local audit company and compiled by Pilcher *et al* .(2014). Fishing activity was binned into three categories based on their frequency distribution: low fishing (no fishing zones drawn), medium fishing

(1-3 overlaps in fishing zones), high fishing (4-10 overlaps in fishing zones). 200

Liste des Tableaux

Tableau 2.1 : Description des blocs échantillonnés 12

Tableau 2.2: Octa et couverture nuageuse 14

Tableau 2.3 : Echelle de beaufort 14

Tableau 2.4 : Codes de réflexion du soleil à la surface de la mer 15

Tableau 2.5 : Codes de turbidité des eaux de surface 15

Tableau 2.6: Temps d'interruption (en jours) des survols et temps nécessaire pour compléter les comptages de dugongs dans le bloc 1 21

Tableau 2.7: Comparaisons des densités relatives de dugongs par année de comptage. 25

Tableau 2.8: Comparaison des densités relatives dugongs par bloc. 27

Tableau 2.9: Estimations du niveau de mortalité anthropique tolérable (PBR) avec Rmax=0.3 et RF=0.5 30

Tableau 3.1: Les aires marines protégées (AMP) en Nouvelle-Calédonie et leur pertinence pour la protection du dugong (Bertaud 2011 ; province nord 2008 ; province sud 2009). Les AMPs sont classées par ordre de niveau de protection allant de la plus forte protection à la plus faible protection pour les dugongs... 48

Tableau 5.1 : Type d'embarcation utilisée par région. 78

Tableau 5.2 : Matériel nécessaire à l'ensemble du processus de balisage d'un dugong. 78

Tableau 5.3: Informations relatives aux dugongs équipés de balises GPS-ARGOS en 2012 et 2013 en Nouvelle-Calédonie. Une lettre d'identité a été attribuée à chaque dugong pour faciliter leur les références aux animaux dans le texte. 86

Tableau 5.4: Temps de suivi, détails sur les positions et sur le domaine vital ainsi que l'aire préférentielle de chaque dugong balisé en Nouvelle-Calédonie. Une valeur d'indice de chevauchement (UDOI) ≥ 1 signifie qu'il y existe un degré élevé de chevauchement du domaine vital ou de l'aire préférentielle d'un dugong entre le jour et la nuit (voir également la Figure 4.11). Les tailles du domaine vital, de l'aire préférentielle et l'UDOI ont été calculées pour les dugongs suivis pendant plus de sept jours. Le terme 'nd' représente donc les dugongs pour lesquels ses valeurs n'ont pas été calculées. Le terme 'UD'

correspond à la distribution de l'utilisation (voir 'comparaison de l'usage journalier des domaines vitaux et des aires préférentielles'). 88

Tableau 5.5: Analyse de la distance et des caractéristiques des mouvements des 12 dugongs balisés en Nouvelle-Calédonie. Chaque individu (sauf C suivi pendant trois jours seulement) est retourné sur son lieu de capture après s'en être éloigné. Aucun dugong ne s'est éloigné à plus de huit kilomètres de la côte. Les dugongs J, K, L, ont utilisé l'extérieur du Récif-barrière avant d'effectuer de courtes visites à 20km au sud de la baie de Bourail..... 89

Tableau 6.1: Détails des habitats identifiés dans la région de Bourail-Poya. 112

Tableau 6.2: Température moyenne mensuelle minimum de l'eau (°C, ± SD) sur la pente externe du récif-barrière, dans le chenal sud et dans l'herbier central entre mi-août 2012 et mi-août 2013..... 118

Tableau 6.3: Pourcentage d'observations de dugongs dans chaque habitat pour chaque catégorie saison-marée..... 123

Table A.1: Details of the survey design used for the dugong relative abundance and density analysis. 169

Table A.2: Availability probability estimates (SEs) for various strata of survey depths and turbidities calculated from data on artificial dugong models and the individual dive profiles of telemetered wild dugongs. (Extracted from Pollock et al. 2006). 169

Table A.3: Details of the number and proportion of transects for which no dugongs have been sighted in any surveys in New Caledonia for the four blocks used in the dugong relative abundance and density analysis. 169

Table A.4: Comparison of the standardized estimates of dugong relative abundance and standard errors (±SE) obtained using the Pollock *et al.* (2006) methodology for the dugong aerial surveys conducted in New Caledonia between 2003 and 2012. Details of the counts of dugong groups, individual dugongs, dugong per transect, and calf sightings are also included. 170

Table A.5: Details of group sizes of dugongs sighted during the aerial surveys conducted between 2003 and 2012 in New Caledonia and used for the dugong relative abundance and density analysis. 171

Table A.6: Count (A) and zero-inflation (B) model coefficients with Negative Binomial distribution of dugong relative density across survey years and blocks. The reference level for year is 2003 and 1 for block. 172

Table A.7: Results of (A) log-linear analysis and (B) general linear hypotheses and multiple comparisons to compare the interactions between blocks in the proportion of dugong calves. 174

Table A.8: Results of log-linear model developed to analyze the relationship between the proportion of dugong sightings and water depth categories and survey year during the time series of dugong aerial surveys in New Caledonia. 175

Table A.9: Estimated sustainable levels of mortalities from anthropogenic sources for dugongs in New Caledonia. 175

Table D.1: Number of dugongs observed per habitat, season and tide in the Bourail-Poya region. Percentages are represented between brackets in the table..... 189

Table D.2: Aerial and underwater video footage of dugong herds over the fore reef shelf in the Bourail-Poya region in New Caledonia. 189

Table D.3: Extract of the dugong behavioural focal follow protocol developed by Hodgson (2004). Dugong behavioural category and specific behaviour identified from the dugong herds filmed over the fore reef shelf in the Bourail-Poya region are written in bold and italic. 190

Table D.4: Probability of seeing at least one dugong herd inside and outside the lagoon in across tides in the Bourail-Poya region obtained directly from the dugong sighting data. 191

Table D.5: Details of dugong herd observations in the Bourail-Poya region in New Caledonia. 192

Table D.6: Results of Analysis of Deviance for log-linear model with Poisson distribution and log link function. Response was the total number of dugongs counted per survey. 195

Chapitre 1: Introduction générale

1.1 Introduction

Le dugong ou vache marine (*Dugong dugon*) est l'unique représentant de la famille des Dugongidae (Siréniens). Il est présent de l'est du continent africain jusqu'au Vanuatu. Unique mammifère herbivore strictement marin, le dugong est une espèce côtière soumise à des pressions anthropiques croissantes (p. ex. pression de pêche accidentelle, trafic maritime, destruction de l'habitat, chasse).

Le dugong est protégé par plusieurs textes internationaux. La Convention Internationale sur le Commerce des Espèces Menacées (CITES) de 1973 le répertorie dans son Annexe I relative aux espèces les plus menacées. Elle en interdit « le commerce international de leurs spécimens ». Il est listé dans l'Annexe II de la Convention de Bonn de 1979 relative aux espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CEM) qui énumère les espèces ayant « un état de conservation défavorable ainsi que celles pouvant bénéficier d'une manière significative d'une coopération internationale » (CMS 2009). Il est également inscrit sur la Liste Rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) où il bénéficie du statut d'espèce vulnérable (Marsh 2008).

En Nouvelle-Calédonie, le dugong figure parmi les symboles emblématiques du territoire. Un « plan d'actions dugong » structuré selon quatre volets complémentaires (gouvernance, connaissance, éducation/communication, mise en place d'un « plan de conservation ») est en cours depuis 2010. Il est piloté par l'Agence des Aires Marines Protégées en partenariat avec un Groupe Technique restreint réunissant la province Nord, la province Sud, la province des Iles Loyauté, le Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, le Sénat Coutumier, l'Etat, les ONGs WWF-NC et Opération Cétacés.

Le présent projet de doctorat portant sur l'étude de l'écologie spatiale des dugongs à différentes échelles temporelles autour de la Grande-Terre de la Nouvelle-Calédonie, s'inscrit dans cette démarche et son objectif vise à acquérir des connaissances nécessaires à la mise en place d'un plan de conservation et de gestion de l'espèce. Les travaux ont été réalisés au *College of Marine and Environmental Sciences* de l'Université de James Cook (JCU) en Australie et au sein de l'UMR ENTROPIE de l'IRD à Nouméa en Nouvelle-Calédonie. Le présent document constitue la synthèse finale de ce projet de doctorat.

1.4 Livrables et objectifs

Livrables

T0 : inscription du doctorant auprès des écoles doctorales (janvier 2012 à JCU, Australie et mai 2012 à l'UPMC, France (signature de la convention de co-tutelle de thèse en mars 2012).

Le calendrier prévisionnel décrit dans la convention AAMP/11/107 se décline en 5 étapes. Le présent document constitue le compte rendu de l'étape 5 décrite ci-dessous:

T0 + 36 mois : Remise du manuscrit de thèse en anglais et résumé étendu en français ; remise du SIG rassemblant l'ensemble des données utilisées dans le cadre de la thèse ; remise de la synthèse complète en français.

Objectifs

Mon projet de thèse avait pour but d'étudier l'écologie spatiale des dugongs à différentes échelles spatio-temporelles en Nouvelle-Calédonie et de contribuer à la réflexion sur les stratégies de conservation de cette espèce à l'échelle du territoire.

Ce travail se décline en trois grands objectifs:

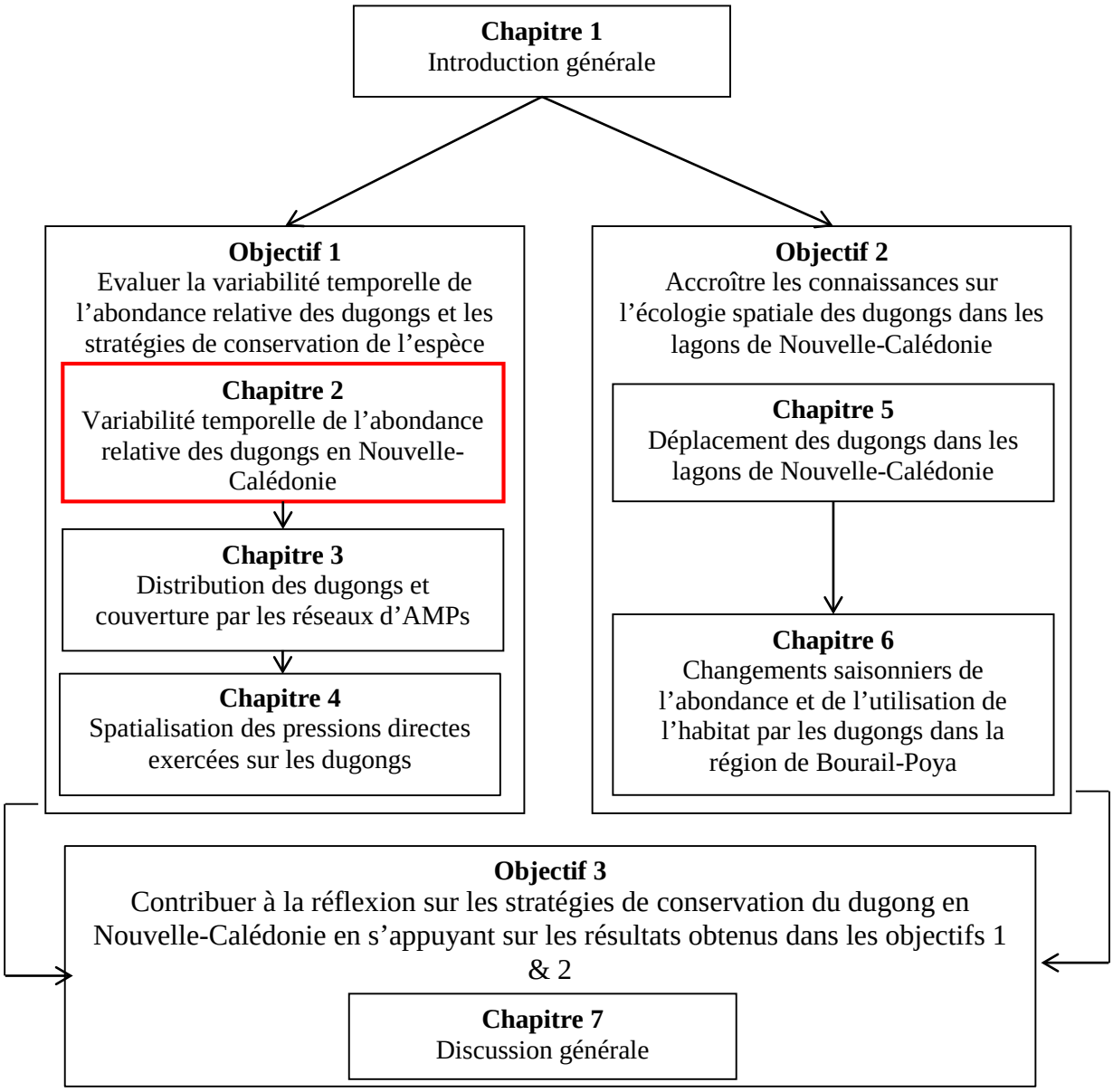
Objectif 1: Evaluer la variabilité temporelle de l'abondance relative des dugongs et les stratégies de conservation de l'espèce ;

Objectif 2: Accroître les connaissances sur l'écologie spatiale des dugongs dans les lagons de Nouvelle-Calédonie ;

Objectif 3: Contribuer à la réflexion sur les stratégies de conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie en s'appuyant sur les résultats obtenus dans les objectifs 1 & 2.

Des restitutions de la thèse ont été effectuées dans différentes régions de la Nouvelle-Calédonie au cours du mois de septembre 2015. Les points de discussion les plus importants issus de ces restitutions sont intégrés dans ce rapport.

Chapitre 2: Variabilité temporelle de la taille de la population de dugongs en Nouvelle-Calédonie



2.1 Introduction

Détecter un changement temporel de l'abondance d'une espèce au statut de conservation préoccupant permet de mieux évaluer le statut de cette espèce et d'agir efficacement pour sa conservation. En Nouvelle-Calédonie, des comptages aériens ont été effectués autour de la Grande-Terre durant la saison fraîche de 2003 et la saison chaude de 2008 (Garrigue et al., 2008). Les estimations d'abondance relative issues de ces survols étaient de 1814 dugongs (±SE = 332) en saison fraîche et de 964 dugongs (±SE =241) en saison chaude. L'intervalle de temps entre les deux survols (cinq années) et le manque de connaissances sur la biologie et l'écologie spatiale du dugong en Nouvelle-Calédonie rendaient délicate l'interprétation de cette variation. Des survols supplémentaires étaient donc nécessaires pour déterminer de façon plus précise l'évolution de la taille de la population de dugongs en Nouvelle-Calédonie.

Détecter des changements d'abondance nécessite de multiples comptages sur une longue durée et de préférence à la même période de l'année pour éviter un éventuel effet saisonnier (Caughley 1977 ; Aragones et al., 1997). Les campagnes de 2003 et 2008, menées avant mes recherches, ont été effectuées à différentes saisons car l'objectif visait à déterminer une éventuelle variation saisonnière dans la distribution des dugongs autour de la Grande-Terre. Les quatre campagnes de comptages supplémentaires que j'ai mené durant les saisons fraîches et chaudes de 2011 et 2012 ont permis d'accroitre le nombre de données disponibles pour vérifier l'existence d'un effet saisonnier non seulement dans la distribution de l'espèce autour de la Grande-Terre mais également dans les estimations d'abondance. Les jeux de données antérieurs ont été reconsidérés dans une analyse globale incluant les résultats obtenus au cours des quatre nouvelles campagnes. Les résultats présentés ici reprennent l'ensemble des données d'observations.

2.2 Méthode

Méthode de comptage aérien

Les mammifères marins possèdent une grande aptitude à se déplacer dans un habitat marin ouvert (Hoelzel et al. 2002). C'est pourquoi les survols aériens qui permettent de couvrir de grandes surfaces rapidement, constituent une méthode adaptée pour estimer l'abondance et la distribution des dugongs (Marsh et al, 2011). Cette méthode est utilisée depuis plus de vingt ans pour étudier cette espèce dans au moins 20 pays dont l'Australie (Heinsohn et al., 1976, Marsh et al., 2011).

Des estimations d'abondance minimale de dugongs ont été obtenues à partir de survols menés parallèlement au trait de côte (Marsh et al., 2002). Cependant, ces méthodes ne fournissent pas d'estimations précises des populations parce que : (1) seule une partie de l'habitat potentiel est échantillonnée, certains animaux pouvant échapper au dénombrement ; (2) les résultats ne peuvent pas être extrapolés aux zones non échantillonnées parce que l'échantillonnage n'est pas aléatoire ; et (3) les comptages ne sont pas ajustés en fonction des erreurs liées à la probabilité de perception des individus. Grâce à de vastes campagnes de survols Marsh et Sinclair (1989) et Pollock et al. (2006) ont standardisé la disponibilité des animaux et les biais liés à la perception de l'observateur dans le but d'affiner l'estimation de la distribution et de l'abondance relative des dugongs. Ils ont appliqué la méthode du 'transect en bande' qui consiste à compter les dugongs observés le long d'une radiale, dans une bande de largeur fixe, définie au préalable. Cette méthode considère que tous les individus observés dans la bande ont la même probabilité d'être observé (Marsh, 1995b). Il existe d'autres méthodes de comptage comme le transect en ligne. Cette dernière nécessite de mesurer la distance perpendiculaire entre les animaux observés et l'avion, mesure difficile à effectuer sur les dugongs qui restent trop peu de temps en surface (Pollock et al., 2006). Les transects ici nommés 'radiales' sont regroupés en différents secteurs géographiques appelés blocs (Figure 2.3) qui recouvrent l'ensemble de la zone d'étude.

Critères de vol

En Nouvelle-Calédonie les vols sont réalisés à l'aide d'un Cessna 206 à six places (Figure 2.1). La vitesse de vol est de 90 nœuds ; cette vitesse s'entend en vitesse au sol. En Australie les vols s'effectuent à une altitude de 500 pieds à l'aide d'avions bimoteurs. En Nouvelle-Calédonie en l'absence d'avion bimoteur à ailes hautes l'altitude de vol est fixée à 900 pieds (274m) pour des raisons de sécurité. Cette altitude permet également de couvrir une plus grande zone en survolant un plus faible nombre de radiales qu'à 500 pieds.



Figure 2.1: Cessna 206 à six places utilisé lors des campagnes de 2011-2012.

Les radiales sont matérialisées à l'aide de marques apposées sur les structures bâbord et tribord de l'avion (Figure 2.2). La position de ces marques est définie en fonction de la surface d'observation souhaitée (ici 400m), de l'altitude de vol (274m) et de la taille des observateurs. Elles délimitent une largeur de 400m de chaque côté de l'avion (Figure 2.2) ; la largeur totale théoriquement échantillonnée couvre donc 800m. Il existe une zone dite 'aveugle' sous l'avion où aucune observation n'est possible (Figure 2.3). Elle est calculée en fonction de la distance au sol entre les limites inférieures de perception des observateurs de chaque côté de l'avion.

La zone aveugle (B) est une zone située sous l'avion où aucune observation n'est possible durant le survol d'une radiale. Elle est calculée comme suit:

$$\mathbf{B = d.\ a/\ h}$$

Où

(d) = distance au sol entre chaque limite inférieure d'observation, démarquée par les structures fixées de chaque côté de l'avion (en mètre) ;

(a) = altitude de vol (en mètre) ;

(h) = moyenne des hauteurs des observateurs dans l'avion (en mètre).

Dans cette étude la zone aveugle mesurait en moyenne 532m.

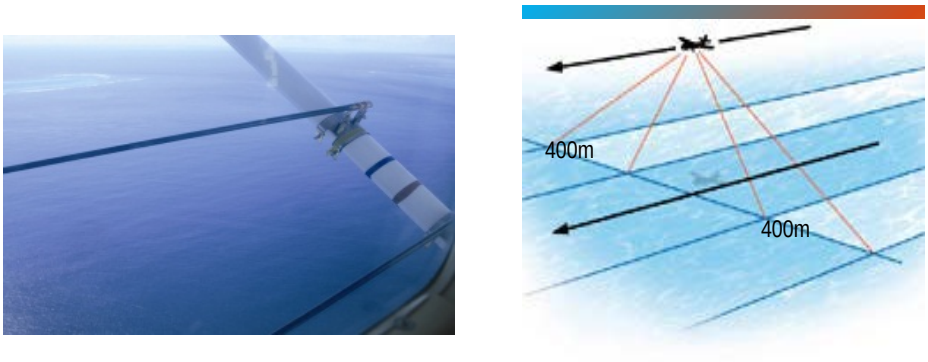


Figure 2.2: Barres de délimitation de la radiale et schéma explicatif des surfaces observées (© Claire Garrigue).

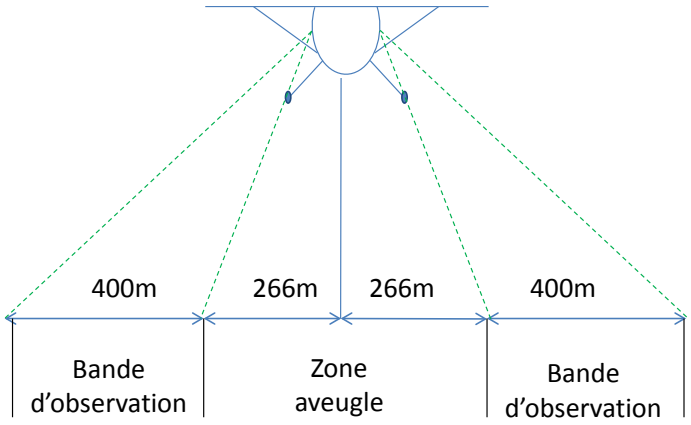


Figure 2.3 : Zones d'observation et zone aveugle

Les données d'observation de dugongs ont tout d'abord été filtrées (modification et/ou suppression de données aberrantes, vérification des coordonnées géographiques). Elles ont ensuite été intégrées dans ArcGis (vs. 10.0 ; ESRI, 2004). Une couche vectorielle incorporant ces observations a été créée à partir des différents jeux de données.

L'altitude et la vitesse de l'avion sont maintenues constantes pendant le survol des radiales puisque l'analyse des résultats est basée sur une probabilité d'observation qui dépend de ces paramètres. L'assiette de l'avion est conservée parfaitement horizontale afin que les deux radiales conservent la même largeur. Un relevé régulier des éventuelles variations de l'altitude de l'avion est effectué ; il servira à calculer la surface réellement échantillonnée. L'avion survole chaque radiale selon des coordonnées GPS préétablies. Les survols sont réalisés par

temps clair et mer calme et si possible lorsque le vent n'excède pas force 3 sur l'échelle de Beaufort.

Equipe et relevé des données

L'équipe est composée d'un pilote, d'un coordinateur de vol et de deux observateurs (l'un à bâbord, l'autre à tribord). Chaque observateur annonce sur l'interphone dont est équipé l'avion, tous les dugongs observés de son côté. Les observations sont enregistrées en direct sur un micro-ordinateur par le coordinateur de vol. Parallèlement toutes les conversations échangées entre les observateurs et le coordinateur sont enregistrées sur un micro enregistreur digital afin de pouvoir vérifier ultérieurement toutes les données saisies et d'effectuer les corrections nécessaires.

Effort d'échantillonnage

Pour l'ensemble des survols réalisés entre 2003 et 2012 la zone d'étude correspond à l'ensemble des lagons entourant la Grande-Terre, de l'île des Pins et aux îles Bélep. Cette zone d'étude a été divisée en 8 secteurs géographiques appelés blocs. La comparaison par bloc et par radiale des plans d'échantillonnage 2003-08 et 2011-12 figure dans l'annexe A Tableau A.1.

Effort d'échantillonnage 2003-2008

L'effort d'échantillonnage mis en œuvre lors des survols de 2003 et 2008 a été défini en fonction des facteurs suivants :

- Zone où le dugong est, ou a été chassé pour raisons coutumières ;
- Zone où la présence d'herbier de phanérogames est connue ou soupçonnée.

Dans les zones répondant aux critères définis ci-dessus, l'effort d'échantillonnage a été intensifié et des radiales ont été réalisées tous les 2,5 MN (côtes est et ouest de la Grande-Terre). Dans les autres zones du lagon elles ont été effectuées tous les 5 MN (lagons nord et sud de la Grande-Terre). L'effort d'échantillonnage théorique varie entre 8,4% et 16,9% selon les blocs (Tableau 1). Ce plan d'échantillonnage avait été organisé de manière à obtenir la distribution des dugongs sur une zone s'étendant de la côte au récif-barrière, à déterminer les habitats préférentiels des dugongs, et à calculer un indice d'abondance relative pour chaque bloc. Afin de répondre à ces objectifs, 156 radiales avaient été définies (Figure 2.4). Elles s'étendent de la côte vers le large. Les coordonnées (latitude et longitude) de début et de fin de chaque radiale ont été relevées sur les cartes marines du SHOM couvrant les lagons de la Grande-Terre. Le trait de côte constitue l'arrêt naturel des radiales coté terre ; la ligne de sonde de 500m a été choisie comme limite coté large. Dans le cas où cette profondeur se situait à plus

de 1 MN de l'extérieur du Récif-barrière, la radiale a été arrêtée à la distance de 1 MN de celui-ci.

Effort d'échantillonnage 2011-2012

Les résultats obtenus à partir des survols de 2003 et 2008 ont été utilisés pour effectuer des modifications du plan et de l'intensité d'échantillonnage autour de la Grande-Terre (Tableau 1). Dans les zones où peu de dugongs avaient été observés au cours des survols précédents (<10 dugongs observés), l'espacement entre les radiales a été fixé à 5MN. Dans les zones où la présence de dugong semblait rare (< 5 dugongs observés), l'espacement a été porté à 10 MN. Dans les zones où le dugong est ou a été chassé pour des raisons coutumières, ou bien lorsque la présence d'herbier de phanérogames est connue ou soupçonnée, l'espacement a été conservé à 2,5 MN. Enfin il a été fixé à 1,25 MN sur une partie de la côte ouest où les dugongs avaient été observés en importante concentration lors des survols précédents. L'effort d'échantillonnage théorique représente entre 4,5 et 34% de la surface des blocs (Tableau 2.1).

Tableau 2.1 : Description des blocs échantillonnés

Bloc	Superficie des blocs 2003-2008 (km^2)	Superficie des blocs 2011-2012 (km^2)	Espacement des radiales 2003-2008 (MN)	Espacement des radiales 2011-2012 (MN)	Intensité d'échantillonnage 2003-2008 (%)	Intensité d'échantillonnage 2011-2012 (%)	Nombre de radiales 2003-2008	Nombre de radiales 2011-2012
1	1972	3303	2,5	2,5	16,04	16,82	22	30
2	1482	1346	2,5	1,25	16,92	34,00	32	65
3	2123	2136	2,5	2,5	15,92	16,88	25	26
4	1796	2530	2,5	2,5	15,23	17,35	23	36
5	3910	2454	5	5	8,57	8,82	33	20
6	1904	3120	5	10	8,35	5,39	7	4
7	4717	2963	5	10	8,40	4,50	14	6
8*	-	706		2,5		16,30	-	12
Total	17903	18558	-	-	-	-	156	199

* Le bloc 8 a été défini suite aux résultats de 2003-2008 et pour les survols de 2011-2012 afin d'augmenter l'effort d'échantillonnage dans la région de Thio.

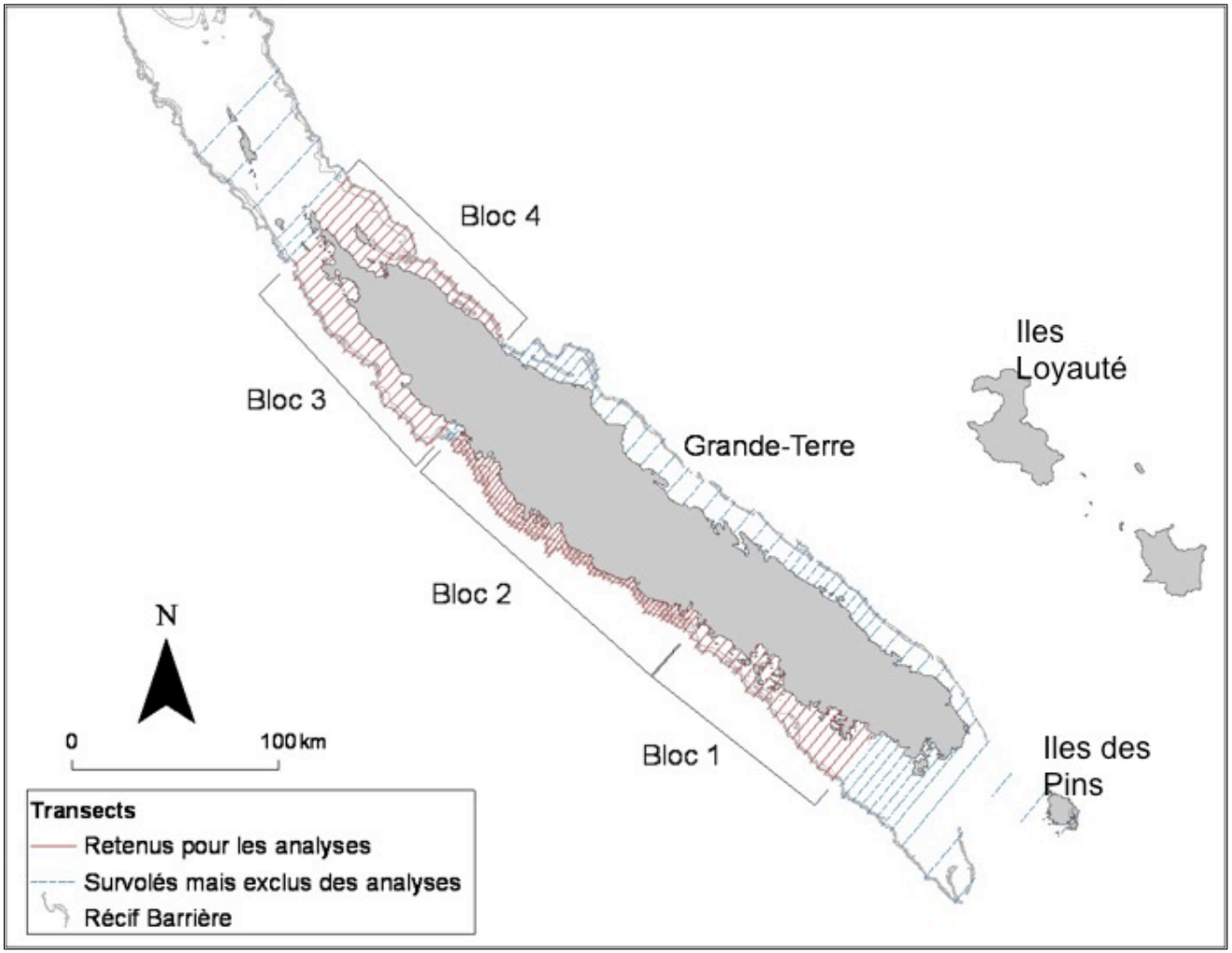


Figure 2.4: Plan et effort d'échantillonnage pour les comptages aériens de dugongs réalisés en Nouvelle-Calédonie en 2011 et 2012.

Paramètres environnementaux

Les paramètres environnementaux sont recueillis pour apporter un facteur de correction à la probabilité d'apercevoir un dugong dans une radiale lors de l'analyse des données. Les conditions environnementales (état de la mer, turbidité et éblouissement) sont relevées par le coordonnateur de vol toutes les deux minutes ou à chaque variation. La couverture nuageuse est notée au début de chaque radiale. En conformité avec la notation aéronautique elle est exprimée en Octa (Figure 2.5 et Tableau 2.2). L'état de la mer est défini selon l'échelle de Beaufort (Tableau 2.3)

Tableau 2.1: Octa et couverture nuageuse

Octa	Couverture nuageuse
0	0%
1	12,5%
2	25%
3	37,5%
4	50%
5	62,5%
6	75%
7	87,5%
8	100%

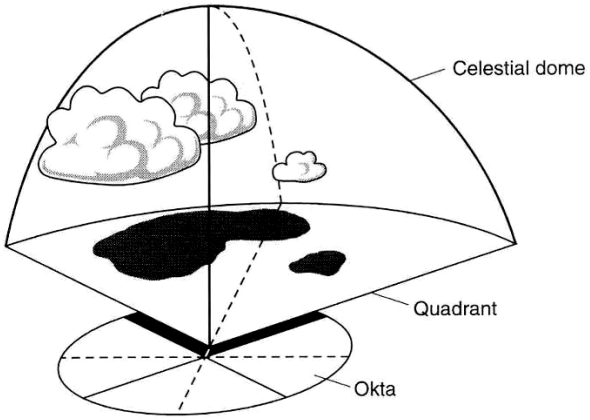


Figure 2.5: Système d'évaluation de la couverture nuageuse (extrait de English et al. 1997)

Tableau 2.2 : Echelle de beaufort

Force	Vitesse moyenne	Etat de la mer
0	< 1 nœud	Miroir
1	1-3 nœuds	Quelques rides
2	4-6 nœuds	Vaguelettes ne déferlant pas
3	7-10 nœuds	Les moutons apparaissent
4	11-16 nœuds	Petites vagues, de nombreux moutons

L'éblouissement dû à la réflexion des rayons de soleil sur la surface de l'eau à l'intérieur de la radiale d'observation est annoncé par chaque observateur à chaque variation ou sur demande du coordinateur de vol. La turbidité est annoncée par l'observateur pour chaque observation de dugongs et à chaque variation par le coordinateur de vol. La réflexion et la turbidité sont définies selon les codes présentés dans les Tableau 2.4 et 2.5.

Tableau 2.3 : Codes de réflexion du soleil à la surface de la mer

Code de réflexion	Critères
1	Pas de réflexion
2	< 25 % de réflexion dans la zone de la radiale
3	Entre 25 et 50 % de réflexion dans la zone de la radiale
4	> 50% de réflexion dans la zone de la radiale

Tableau 2.4 : Codes de turbidité des eaux de surface

Code de turbidité	Critères
1	Le fond est nettement visible
2	Le fond est visible mais indistinct
3	L'eau est claire mais profonde, ne permettant pas de voir le fond
4	L'eau est turbide

Informations sur les animaux observés

Pour chaque observation de dugong l'observateur indique s'il s'agit d'une observation effectuée dans ou en dehors de la bande de 400m prédéfinie (Figure 2.6).

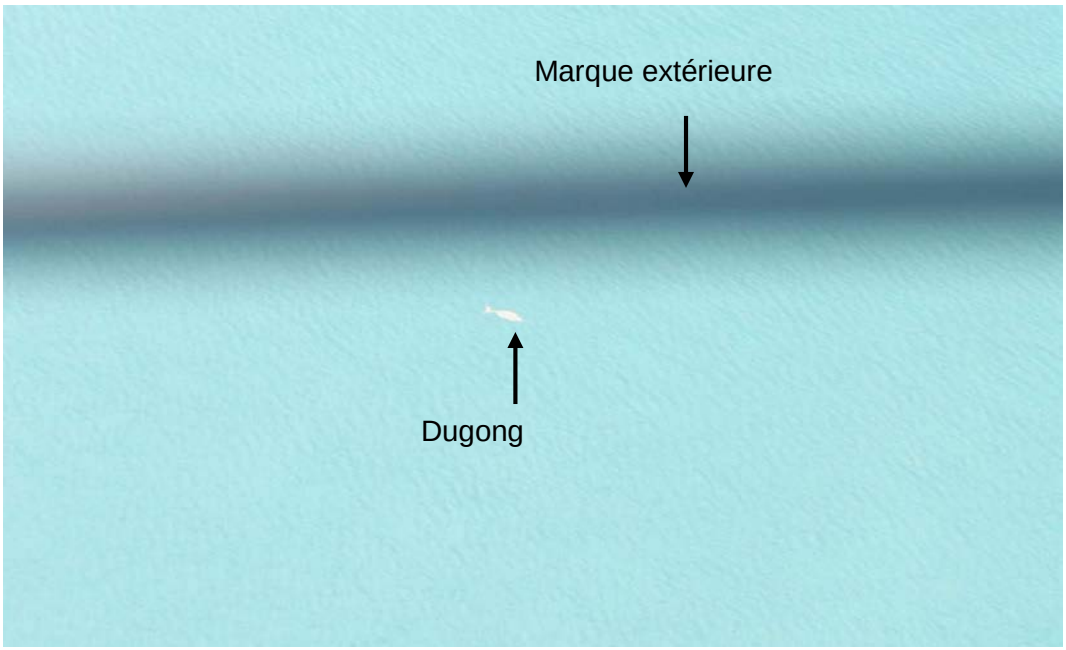


Figure 2.6 : Dugong observé à l'intérieur de la radiale (© Opération Cétacés)

Chez les dugongs la présence de paire mère/petit est définie ainsi :

- Deux animaux en contact l'un avec l'autre ;
- L'un des animaux appelé « veau » mesurant au maximum 2/3 de la taille du second appelé « mère ».

Traitement des données

A la fin de chaque survol les données brutes sont vérifiées. Pour cela les enregistrements acoustiques sont écoutés afin de corriger les erreurs ou d'ajouter les omissions éventuelles. Les données sont ensuite géo-référencées par la mise en relation des heures enregistrées dans le microordinateur avec celles des tracés GPS associés.

Les données sont ultérieurement divisées en deux jeux de données : le premier contient l'ensemble des données dites 'validées' correspondant aux observations de dugongs effectuées à l'intérieur des radiales validées, le second contient l'ensemble des observations effectuées à l'intérieur les radiales non validées, les observations effectuées au cours du survol des radiales validées mais en dehors de la bande des 400m d'observation, et les observations réalisées en transit. Les analyses et résultats présentés ci-dessous contiennent uniquement le premier jeu de données.

Analyses

Estimations de l'abondance relative des dugongs

Les données de survols aériens ont été harmonisées afin que les jeux de données 2003-2008 et 2011-2012 puissent être comparés. Il existait en effet, des variations dans les intensités d'échantillonnage et la répartition géographique des blocs entre les deux séries de campagnes. Les plans d'échantillonnage ont dû être pondérés en modifiant les références géographiques des blocs à comparer. Les quatre blocs retenus et modifiés pour les analyses de densités inter-blocs et inter-campagnes sont présentés dans la figure 2.4.

L'estimation de l'abondance qui a été réalisée en suivant la méthode de Pollock et al. (2006) est fonction du nombre d'animaux observés, de la surface échantillonnée et de la probabilité (Pi) de détecter un animal dans la radiale. Les données brutes récoltées au cours du survol des radiales sont pondérées en fonction la probabilité de détection d'un animal ((**Pi**), Marsh & Sinclair 1989b) composée de de trois facteurs liés à **PSi** : probabilité d'échantillonner la radiale, **PDi** :

probabilité de disponibilité d'un animal, **PPi** : probabilité de percevoir un animal (Marsh & Sinclair 1989a, b ; Pollock et al., 2006).

Pi = (PSi.PDi.PPi)

Ces probabilités sont détaillées ci-dessous :

- *Probabilité d'échantillonner la radiale (**PSi**)*

Le premier facteur permet de tenir compte de la surface réellement échantillonnée. Cette dernière est calculée pour chaque bloc en sommant les surfaces échantillonnées estimées à partir de la longueur de chaque radiale et de la moyenne des altitudes relevées par l'altimètre de bord pendant leur survol.

- *Probabilité de disponibilité de l'animal (**PDi**)*

La disponibilité de l'animal pour l'échantillonnage est relative au temps passé par l'animal en surface, lorsqu'il est disponible pour l'observation. Elle prend en compte les conditions environnementales telles que la turbidité de l'eau et l'état de la mer, qui servent à calculer une classe de détection à laquelle est associée une probabilité de détection de l'animal.

Ces probabilités s'appuient sur des recherches menées en Australie et relatives au comportement des dugongs et à leur temps de plongée (Chilvers et al., 2004), ainsi que sur des études expérimentales au cours desquelles des maquettes de dugongs, grandeur nature, ont été placées en mer à différentes profondeurs et observées à partir d'un hélicoptère sous les différentes combinaisons de turbidité et d'état de la mer pouvant être rencontrées au cours des survols (Pollock et al., 2006 ; Sobtzick en cours). La turbidité et l'état de la mer, notés pour chaque observation de dugong, permettent ainsi d'y associer une probabilité de détection.

- *Probabilité de percevoir un animal (**PPi**)*

Il s'agit de la probabilité de perception visuelle ; c'est à dire le fait que l'observateur voit un animal disponible dans la radiale. Ce facteur représente l'erreur due aux observateurs. En pratique, elle nécessite la présence d'un binôme d'observateurs de chaque côté de l'avion. La comparaison des observations réalisées par le binôme permet de calculer la probabilité de perception de chaque observation grâce à une analyse de capture-recapture. La probabilité utilisée dans cette étude est celle estimée en Australie dans le cas où un seul observateur est présent de chaque côté de l'avion. Elle est de 0,72 (s = 0,0159) par observateur (Pollock et al., 2006).

Une estimation du nombre d'animaux par bloc (**Nhat**) est ensuite calculée en suivant la formule ci-dessous puis les blocs sont additionnés pour établir une estimation globale.

$$\mathbf{Nhat = S\ [(1/Pi).n]}$$

Avec **n** correspondant au nombre de dugongs dénombrés au cours de l'observation. La densité (D) est obtenue pour chaque bloc en divisant Nhat par la surface du bloc exprimée en km².

Comparaison des densités relatives de dugongs

Comme il existait des radiales pour lesquelles aucune observation de dugongs n'avait été réalisée (Annexe A Tableau A.2), un modèle d'inflation en zéro a été utilisé. Une distribution binomiale négative a été appliquée car elle correspondait le mieux au jeu de données (Zuur et al., 2012). L'analyse statistique nécessite au moins cinq observations de dugongs dans chaque bloc pour chaque campagne de survol ; les calculs ont donc été menés uniquement sur les blocs 1, 2, 3 et 4. Pour évaluer l'effet aléatoire dû aux radiales, seules les radiales ayant été survolées au cours des six campagnes de survol ont été inclus dans les analyses.

Pour explorer les variations temporelles et spatiales de la densité relative de dugongs (basée sur le nombre corrigé de dugongs par radiale), la saison, l'année et le bloc ont été utilisés comme variables explicatives. Les modèles ont été générés en utilisant le package 'pscl' du programme 'R' (Zeileis et al., 2007). Deux éléments principaux ont été générés à partir des modèles: (1) le nombre de dugongs en considérant la surface des radiales (km^2) comme pondération, pour les radiales sur lesquelles au moins un dugong a été observé au cours de la série chronologique de survols (2) une composante d'inflation en zéro fournissant une estimation du nombre de radiales sur lesquelles aucun dugong a été aperçu. Des modèles avec et sans effet saisonnier en tant que variable explicative catégorique ont été comparés. Ils n'étaient pas significativement différents, indiquant l'absence d'effet saisonnier sur la densité relative de dugongs en Nouvelle-Calédonie depuis 2003. Les deux survols effectués en 2011 et en 2012 ont donc pu être combinés pour évaluer les changements inter annuels de densités relatives des dugongs.

Proportion de veaux

Une régression logistique a été utilisée pour examiner l'existence d'une variation de la proportion mamans-veaux en fonction des années et entre les blocs. Le nombre total de dugongs observés a été utilisé pour pondérer le modèle parce que ce nombre variait en fonction des années et des blocs. Des comparaisons multiples ont été menées pour examiner les différences entre les blocs (package 'glht-multcomp' du programme 'R'; Hothorn et al., 2008).

Changements temporels dans la répartition des dugongs en fonction de la bathymétrie

Un modèle log-linéaire a été utilisé pour examiner la distribution du nombre corrigé de dugongs en fonction des classes bathymétriques et/ou au fil des campagnes de survol. Le modèle bathymétrique de Lefèvre et al. (Institut de Recherche pour le Développement ; non publié) a été utilisé pour effectuer cette analyse. Chaque observation de dugong était affectée à l'une des classes bathymétriques suivantes: < 5m, 5-10m, 10-15m, 15-20m et > 20m. Afin de tenir compte des différences de superficie de ces classes (p. ex. la classe de profondeur de 15-20m ne représentait que 841km^2 par rapport à la classe < 5m qui recouvrait 2068km^2) la superficie de chacune a été pondérée dans le modèle log-linéaire.

Analyse du 'Potential Biological Removal' (PBR) ou niveau de mortalité anthropique tolérable

Le 'Potential Biological Removal, (PBR)' est défini comme le niveau de mortalité anthropique tolérable (Wade, 1998). Il correspond au nombre maximum d'individus pouvant être retiré d'une population tout en permettant le maintien durable du stock. Ce taux ne prend pas en compte les mortalités d'origine naturelle. Le PBR a été adopté par les services de gestion de l'environnement des Etats Unis à la place des études tentant de détecter un déclin dans l'abondance des populations de mammifères marins. Le PBR est également utilisé comme outil de gestion des stocks de dugongs en Australie et notamment dans le Détroit de Torrès pour la gestion des chasses traditionnelles de dugongs (Marsh et al. 2004, 2007). Cette approche consiste à limiter la mortalité d'origine anthropique à un niveau qui n'excède pas celui que la population peut supporter sans décroitre (Reeves et Brownell, 2009).

Le PBR est calculé selon la formule suivante décrit par Wade (1998) et adapté par la suite par Marsh et al. (2004 et 2007) pour les dugongs:

$$PBR = N_{min} \times 0{,}5R_{max} \times RF$$

L'estimation de la taille minimale d'une population (Nmin) est définie comme le 20ème percentile d'une distribution log-normale basée sur l'estimation du nombre d'animaux (N) dans ce stock. La valeur (N) correspond à l'estimation de la taille de la population calculée à l'aide de la méthode de Pollock et al. (2006) et décrite plus haut dans ce rapport. La valeur Nmin est calculée selon la formule suivante (Wade, 1998):

$$N_{min} = \frac{N}{\exp(z\sqrt{\ln(1 + CV^2)}}$$

z est une variable aléatoire normale ici égale à 0,842 et correspondant au 20ème percentile.

Rmax est le taux maximal de croissance de la population et 0,5Rmax est un substitut du taux de croissance pour un niveau maximal de productivité nette (Wade, 1998). Compte tenu du faible niveau d'information disponible sur la démographie de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie, une valeur de R_{max} de 0,03 a été utilisée suivant les recommandations faites par Marsh et al. (2004) sur l'étude du PBR. Cette valeur est fondée sur des estimations empiriques de l'âge à la première reproduction et sur la fécondité obtenue par Boyd et al. (1999) et Kwan (2002). Enfin, RF représente un facteur de récupération de 0,5 qui compense les incertitudes liées aux biais potentiels de l'estimation de N_{min}, et R_{max} ou aux erreurs dans la détermination de la structure des stocks.

2.3 Résultats

Conditions environnementales

Les survols ont été effectués dans les meilleures conditions météorologiques possibles (c.-à-d. mer calme avec un vent faible < 19km/h et une faible couverture nuageuse) et à des moments de la journée où l'éblouissement est faible (milieu de matinée et / ou de l'après-midi). Les temps d'arrêts au sol ont varié entre 19 et 58 jours (Tableau 2.6). Ceux-ci étaient dus à la mauvaise météo et à des soucis logistiques (p. ex. la maintenance de l'avion). En 2003, les survols ont été interrompus durant 13 jours consécutifs (5-17 juin 2003) en raison de forts vents du nord générés par un cyclone tropical de catégorie 3 (Météo-France 2014). Néanmoins, les vitesses de vent moyennes quotidiennes et maximales enregistrées pendant cette interruption ne diffèrent pas de celles mesurées au cours des autres campagnes de survol (Tableau 2.6). En 2008, les forts alizés et la pluie ont retardé la finalisation de la campagne empêchant tous survols pendant 58 jours mais les blocs /radiales survolés après cette période d'interruption n'auraient de toute façon pas été pris en compte dans les estimations d'abondance en raison du faible nombre d'observations de dugongs dans ces régions.

Une analyse post-hoc du nombre de jours nécessaire pour compléter le comptage du bloc 1 au cours du survol de 2003 a été conduite car c'est dans ce bloc que les estimations de l'abondance relative de dugongs étaient sensiblement différentes de celles mesurées au cours des campagnes postérieures. Le délai dans le comptage a été utilisé comme proxy de la probabilité de double comptage de dugongs. Le nombre de jours nécessaire pour compléter les survols du bloc 1 ont varié entre un (saison chaude 2011) et 25 jours (saison fraîche 2012). Le nombre de jours

d'interruption de survol du bloc 1 en juin 2003 était similaire à celui des survols réalisés en 2012 (Tableau 2.6).

Tableau 2.6: Temps d'interruption (en jours) des survols et temps nécessaire pour compléter les comptages de dugongs dans le bloc 1.

Date de survol	juin 2003 (saison fraîche)	jan 2008 (saison chaude)	juin 2011 (saison fraîche)	nov 2011 (saison chaude)	juin 2012 (saison fraîche)	nov 2012 (saison chaude)
Temps d'interruption (jours)	19	58	19	25	32	27
Temps additionnel nécessaire au survol du bloc 1 (jours)	21	2	2	1	25	21
Vent moyen journalier (km/h) pendant les périodes d'interruption de survol du bloc 1[a].	21	na[b]	na[b]	na[b]	21	21
Vent maximum journalier (km/h) pendant les périodes d'interruption de survol du bloc 1.	45	na[b]	na[b]	na[b]	48	43

[a] Information issue de Météo France (2014).

[b] Non applicable car il n'y a pas eu d'interruption de survol.

Abondance relative des dugongs

Les estimations de l'abondance relative confirment que la Nouvelle-Calédonie abrite une importante population de dugongs à l'échelle mondiale. Les estimations varient entre 2026 dugongs en juin 2003 (± SE = 553, CV=0.27 ; Figure2.8, Annexe A Tableaux A4 et A5 ; les cartes d'observations de dugongs pour toutes les années de l'étude sont présentées dans l'annexe A figure A.1) et 606 dugongs en janvier 2008 (± SE = 200, CV=0.33). Les estimations issues

des campagnes de comptage les plus récentes varient entre 649 dugongs en novembre 2011 (± SE = 195, CV=0.30) et 1227 dugongs en juin 2012 (± SE = 296, CV=0.25). Aucune estimation d'abondance n'a pu être établie pour le lagon nord, le centre de la côte Est de la Grande-Terre et le lagon sud car le nombre de groupes de dugongs observés dans ces régions était trop faible pour effectuer les calculs qui nécessitent un minimum de 5 groupes de dugongs observés par bloc.

Les estimations d'abondance relative des dugongs en Nouvelle-Calédonie varient entre 100 et 500 individus par bloc dans tous les blocs indépendamment de l'année ou de la campagne de survol, sauf pour le bloc 1, pour lequel, en 2003, l'abondance a été estimée à 919 dugongs (± SE = 414 ; Figure 2.8B). Le nombre de groupes de dugongs, d'individus et d'individus par radiale / bloc est également plus élevé dans le bloc 1 en 2003 que dans tout autre bloc / année (Figure 2.7AC, Annexe A Tableau A.4). La comparaison entre les blocs montre que pour la plupart d'entre eux, les estimations de la taille de la population de dugong en 2003 sont au-dessus des estimations calculées pour les autres années de survol (à l'exception du bloc 3 ; Figure 2.8B).

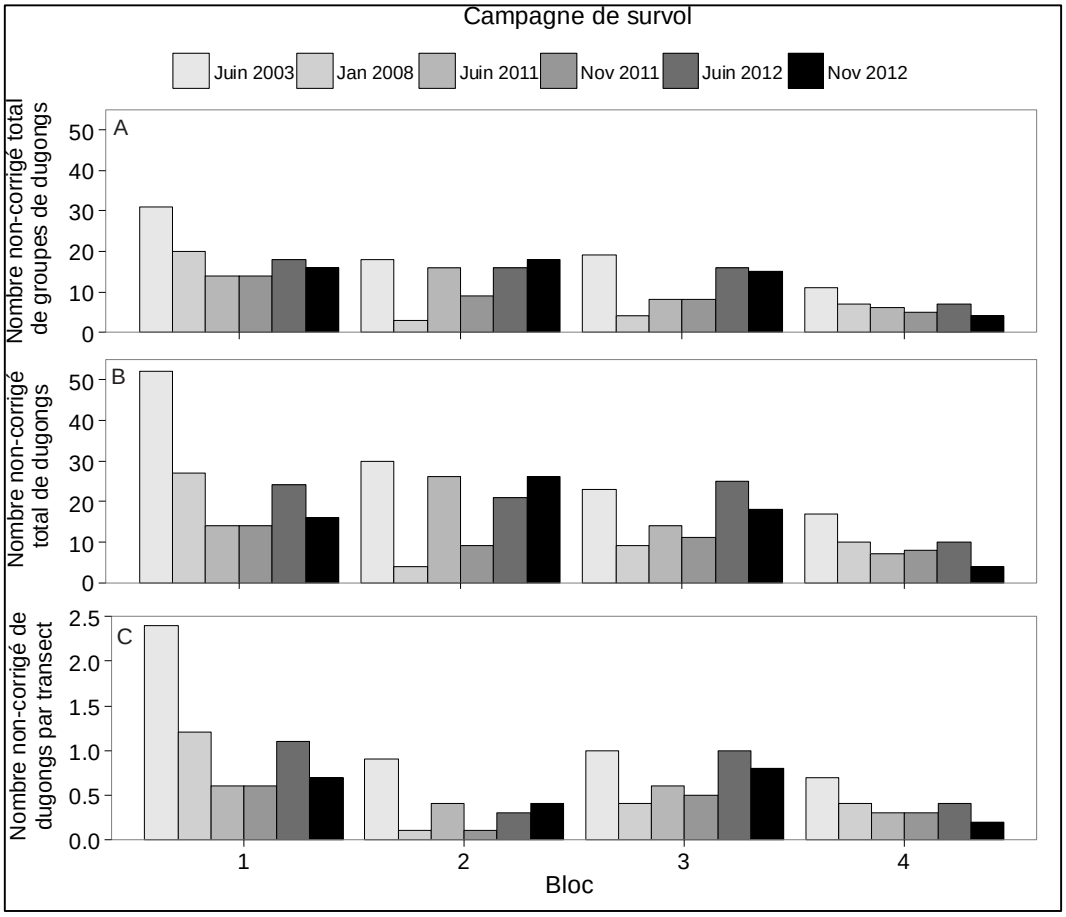


Figure 2.7: Nombre (A) de groupes de dugongs, (B) d'individus, et (C) d'individus par radiale pour chaque bloc au cours de la série temporelle de survols pour les dugongs de Nouvelle-Calédonie. Les teintes de gris varient selon la campagne de survol. Notez que cette figure exclut l'observation d'un regroupement de 69 dugongs (dont 5 veaux) réalisée dans le bloc 2 en juin 2011. Ce regroupement a cependant été inclus dans l'analyse d'estimation de la population.

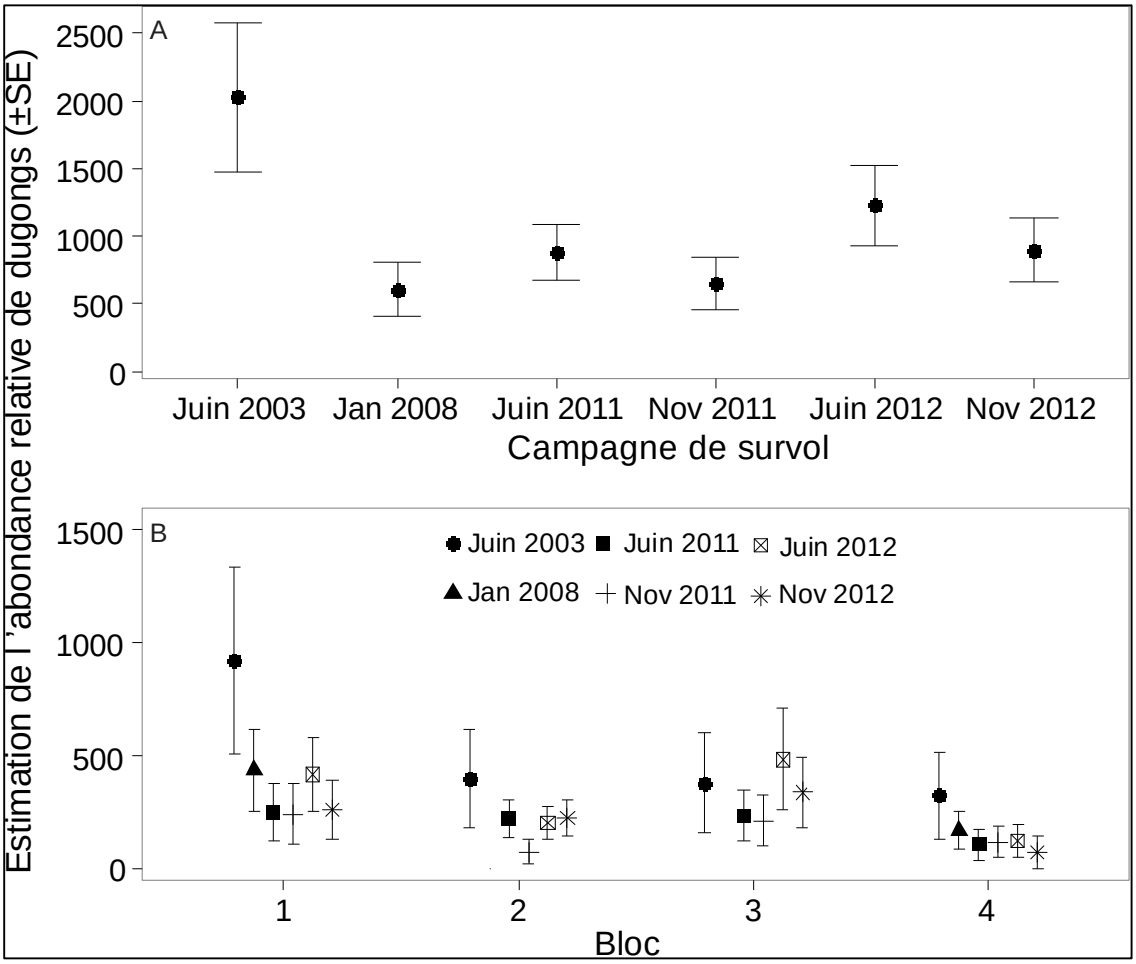


Figure 2.8: Abondance relative des dugongs de Nouvelle-Calédonie ; (A) par campagne de survol, et (B) par bloc / campagne de survol.

Densités relatives de dugongs

Les variables année et bloc ont un effet sur le nombre de dugongs comptés mais il n'existe aucune interaction significative entre année et bloc. Ce résultat signifie que la variation de la densité relative de dugongs pour un bloc ne varie pas significativement au cours des années. Un modèle sans interaction entre les variables année et bloc a été construit pour décrire la densité relative des dugongs au fil des années puis entre les blocs.

Comparaison par année

La densité relative de dugongs était significativement plus élevée en 2003 qu'au cours des autres années ($p < 0,05$ pour toutes les années de comptage, df=15 ; Tableau 2.7, Figure 2.9, Annexe A Tableau A.6). La densité relative de dugongs n'était pas significativement différente entre 2008, 2011 et 2012.

Tableau 2.7: Comparaisons des densités relatives de dugongs par année de comptage.

Année	**Comptage[a]**			
	2003	**2008**	**2011**	**2012**
2003		↓*[b, c]	↓**	↓*
2008	↑*			
2011	↑**			
2012	↑*			

[a] Estimations issues des comptages incluant les biais dus à l'observation et à la surface des radiales.

[b] Exemple pour faciliter l'interprétation : le nombre de dugongs compté était significativement plus faible en 2008 qu'en 2003.

[c] Codes de significativité: < 0,001 = *** ; 0,001 to < 0,01 = ** ; 0,01 to ≤0,05 = *

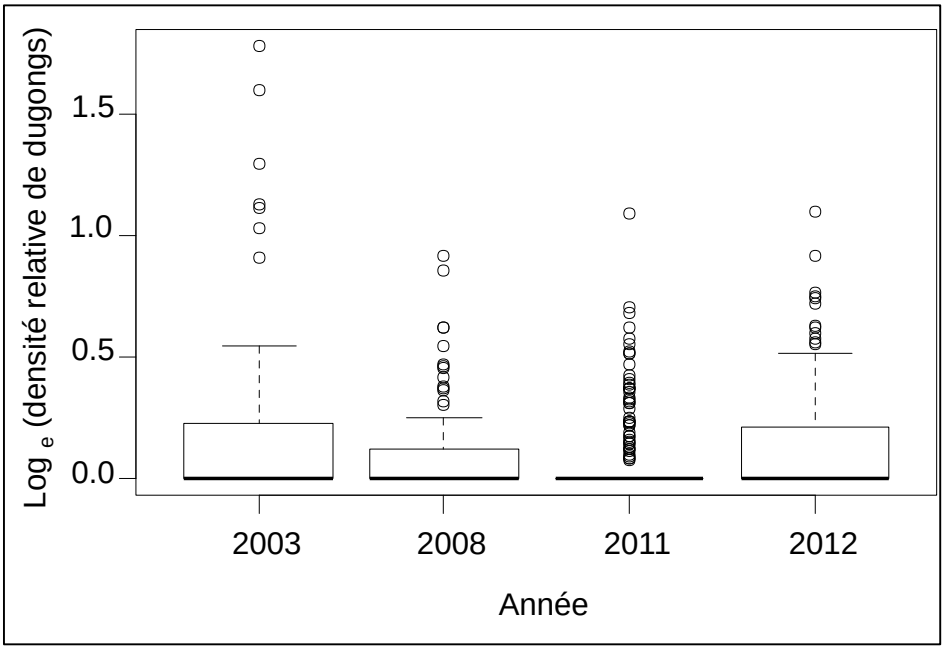


Figure 2.9: Log $_e$ de la densité relative des dugongs (par km^2) sur la base des observations de dugongs au cours des survols aériens réalisés en Nouvelle-Calédonie entre 2003 et 2012. Les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance à 95% et les lignes horizontales dans les cases représentent la moyenne. Les cercles représentent les valeurs estimées de densité relative de dugongs pour chaque radiale incluse dans l'analyse.

Comparaison par bloc

Pour les le comptage de radiales avec > 0 dugong observé, la densité relative de dugongs dans le bloc 1était généralement nettement plus faible que dans le bloc 2 ($p < 0,01$, df=15) et le bloc 3 ($p < 0,05$, df=15). En revanche, elle n'était pas significativement différente du bloc 4 (Tableau 2.8 et Figure 2.10). La densité relative de dugongs dans le bloc 4 était significativement plus faible que dans les blocs 2 ($p < 0,001$, df=15) et 3 ($p < 0,05$, df=15) pour les radiales où des dugongs ont été observés.

Pour la composante à inflation zéro, il y avait beaucoup moins de radiales sans observation de dugongs dans le bloc 1 que dans tout autre bloc ($p < 0,001$, df = 15 pour toutes les comparaisons de blocs).Ceci indique que les observations de dugongs sont plus étalées dans le bloc 1 que dans les autres blocs (Tableau 2.8). Le nombre de radiale sans observation de dugong était le plus élevé dans le bloc 2 ce qui signifie que les observations de dugongs étaient plus regroupées dans ce bloc.

Tableau 2.8: Comparaison des densités relatives dugongs par bloc.

Bloc	**Comptage**			
	1	**2**	**3**	**4**
1		↑**[b, c]	↑**	
2	↓**			↓**
3	↓**			↓*
4		↑**	↑*	
Bloc	**Inflation zéro[d]**			
	1	**2**	**3**	**4**
1		↑***[b]	↑***	↑***
2	↓***		↓***	↓***
3	↓***	↑***		
4	↓***	↑***		

[a] Estimations issues des comptages incluant les biais dus à l'observation et à la surface des radiales.

[b] Exemple pour faciliter l'interprétation : pour les radiales avec >0 dugong observé il y avait plus de dugongs dans le bloc 2 que dans le bloc 1, mais il y avait plus de radiales sans dugongs dans le bloc 2 que dans le bloc 1.

[c] Codes de significativité: < 0,001 = *** ; 0,001 to < 0,01 = ** ; 0,01 to ≤0,05 = *

[d] Comparaison entre blocs du nombre de radiales où aucun dugong n'a été compté.

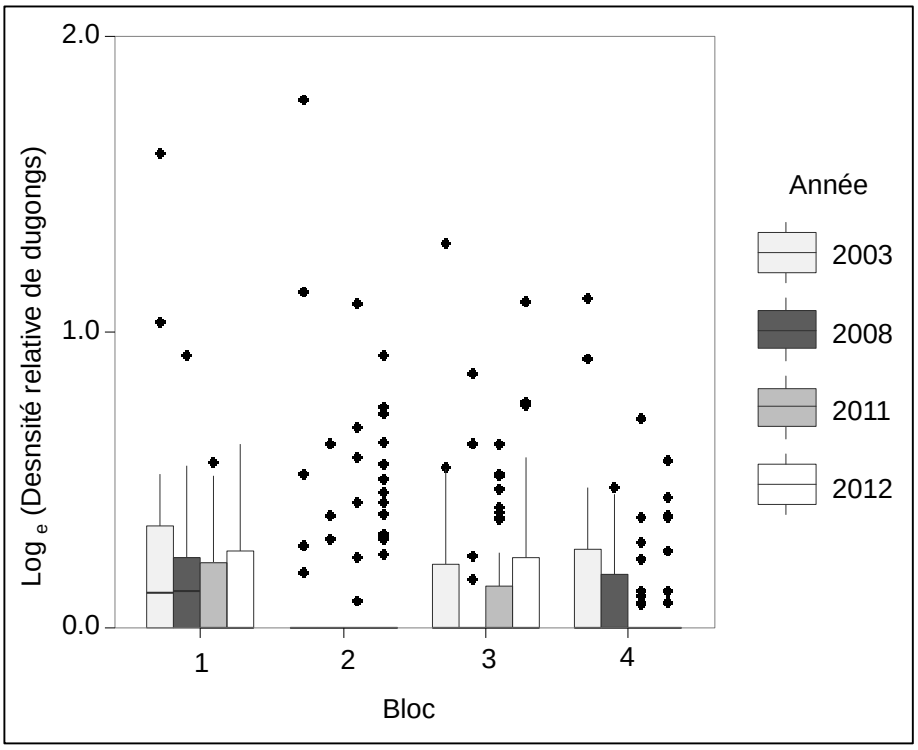


Figure 2.10: Log $_e$ de densité relative de dugongs (par km^2) pour chaque bloc et par année de survol. Les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance à 95% et les lignes horizontales dans les cases représentent la moyenne. Les points noirs représentent les valeurs estimées de densité relative de dugongs pour chaque radiale incluse dans l'analyse.

Proportion de veaux

La proportion de veaux a augmenté entre juin 2003 (7,4%) et juin 2011(18,0%). Elle a ensuite diminué pour atteindre sa valeur la plus faible en novembre 2012 (4,7%). Cependant ces variations ne sont pas significatives (Figure 2.11A, Annexe A Tableau A.7). La proportion de veaux dans les blocs 3 et 4 est significativement plus élevée que dans le bloc 1 (tests de comparaisons multiples de Tukey, $p \leq 0,05$, z-value = 2662 et 3387 respectivement ; Figure 2.11B). La proportion de veaux dans le bloc1 a varié entre 11,0% en janvier 2008 et aucun veau observé en juin 2011, novembre 2011 et 2012.

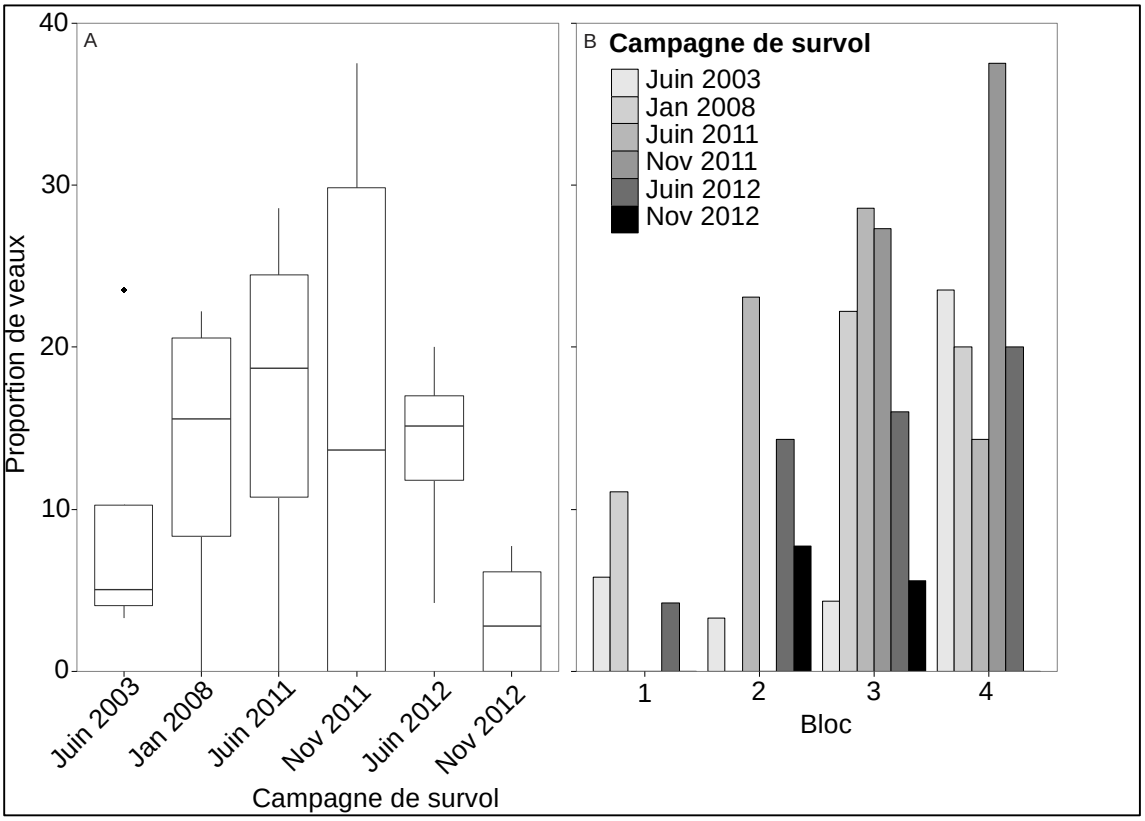


Figure 2.11: Proportion de veaux (A) par campagne de survol, et (B) au sein des blocs par campagne de survol. Les lignes horizontales dans les cases de la figure (A) représentent la moyenne.

PBR - Niveau de mortalité anthropique tolérable (PBR)

Les estimations du niveau de mortalité anthropique tolérable (PBR) pour la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie sont résumées dans le Tableau 2.9. Le PBR varie de 12 individus par an en 2003 à 3 individus par an en 2008. Les PBRs issues des campagnes de survol les plus récentes varient de 4 à 8 individus par an.

Tableau 2.9: Estimations du niveau de mortalité anthropique tolérable (PBR) avec Rmax=0.3 et RF=0.5.

Campagne de survol	Facteur de récupération (RF)	N	SE	CV	Nmin	PBR (Rmax= 0,03)
Juin-03	0,5	2026	553	0,27	1617	12
Jan-08	0,5	606	200	0,33	462	3
Juin-11	0,5	834	207	0,25	728	5
Nov-11	0,5	655	201	0,31	507	4
Juin-12	0,5	1181	299	0,25	1005	8
Nov-12	0,5	1137	251	0,22	724	5

Variabilité temporelle de la distribution des dugongs en fonction de la bathymétrie

Les dugongs ont été observés dans des eaux allant jusqu'à 239m de profondeur (données non corrigées par les fluctuations des marées allant jusqu'à 2m) en dehors du lagon sur la pente externe du Récif-barrière (chapitres 4 et 5). Au cours des survols réalisés en Nouvelle-Calédonie les dugongs ont majoritairement été observés dans des eaux < à 10m de profondeur (respectivement 245 et 265 dugongs, représentant 24% et 26% du nombre total d'animaux comptés pour les classes < 5 m et 5 à 10 m, Figure 2.12). La distribution des dugongs (pondérée en fonction de la surface de la classe de profondeur) varie considérablement selon les classes de profondeur mais elle ne varie pas au fil des campagnes de survols. Ceci signifie que les dugongs ne semblent pas avoir utilisé de profondeurs significativement différentes au cours du temps (Annexe A Tableau A.8).

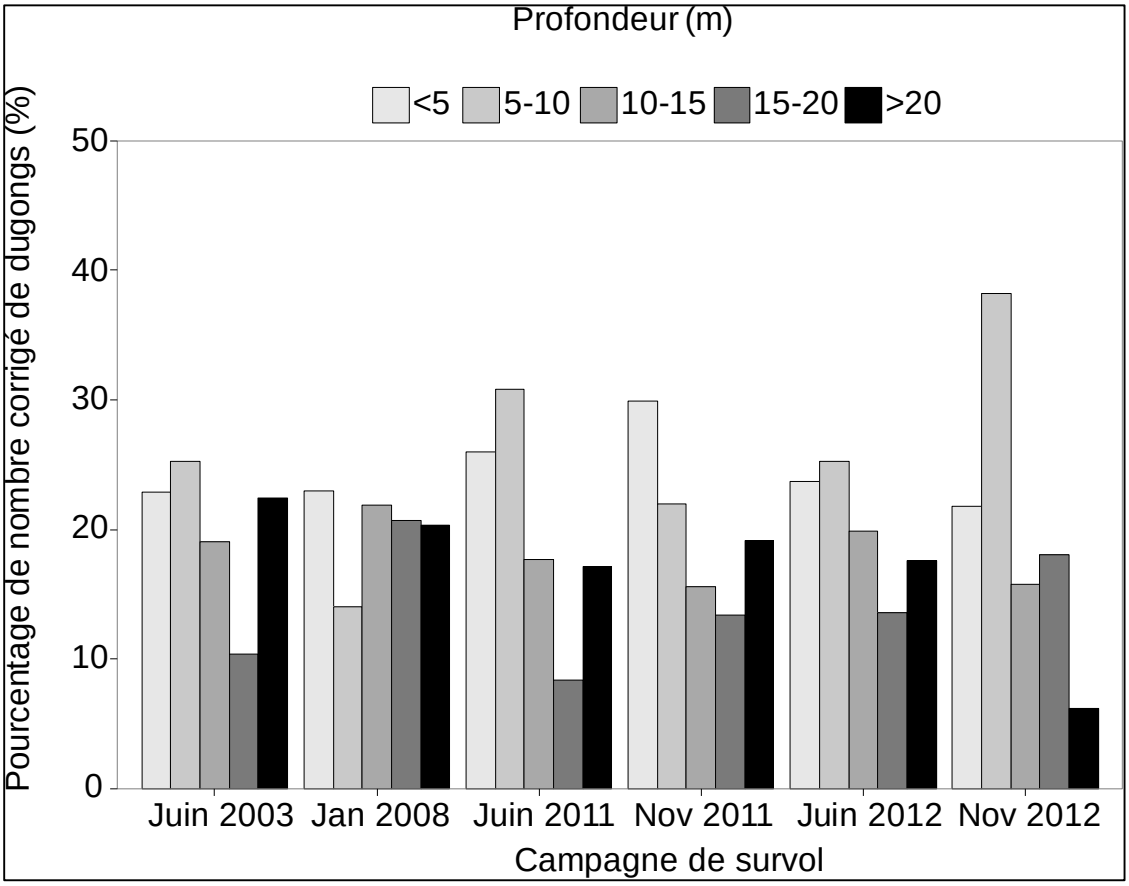


Figure 2.12: Distribution de la fréquence des observations de dugongs en fonction de la bathymétrie au cours des campagnes de survol réalisées en Nouvelle-Calédonie entre 2003 et 2012.

2.4 Discussion

Il existe une différence significative entre l'estimation d'abondance relative de dugongs entre 2003 et 2008-2011-2012 mais pas de différence significative entre 2008 et les plus récentes estimations. Sur la base de ces résultats, on peut émettre l'hypothèse que la variation de l'estimation d'abondance relative de dugongs entre 2003 et les années suivantes peut provenir : (1) d'un déclin réel de la population de dugongs entre 2003 et 2008 ; (2) de déplacements temporaires de dugongs au sein de la zone d'étude ; ou (3) de biais associés à la probabilité de détection des dugongs mais qui n'ont pas pu être corrigés dans l'analyse. Un examen approfondi de ces hypothèses a été conduit au cours de ce travail. Il est synthétisé ci-dessous.

(1) Déclin réel de la population de dugongs entre 2003 et 2008

Pour valider cette hypothèse il est nécessaire de supposer que la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie est une population 'fermée' (c.-à-d. qu'il n'y a peu ou pas d'entrée/sortie de dugongs au sein de la zone d'étude). Cette hypothèse est probablement vraie puisqu'il a été montré que les dugongs de Nouvelle-Calédonie sont isolés géographiquement des populations environnantes (Oremus et al., 2011, 2015).

Toutefois, si cette hypothèse est exacte cela signifie que la population de dugongs a diminué de 45% entre 2003 et 2008 (sur la base de la différence entre la valeur inférieure de l'erreur standard des estimations de 2003 et la valeur supérieure de l'erreur standard des estimations de 2008), suite à des menaces anthropiques ou naturelles non-durables ou une combinaison de ces deux facteurs (voir Cleguer 2010 et /ou manuscrit de thèse pour une définition complète de ces termes).

Menaces anthropiques

Les principales menaces anthropiques portant atteinte à la survie des dugongs dans leur aire de répartition globale existent en Nouvelle-Calédonie (p. ex. menaces directes dont le braconnage, les collisions fatales avec des embarcations à moteur, et indirectes comme la dégradation des herbiers sous-marins, voir chapitre 4). Cependant nous ne disposons pas d'informations historiques suffisantes et robustes pour déterminer si ces menaces sont la cause principale des variations d'estimation d'abondance mesurées.

Le nombre de carcasses de dugongs récupérées en Nouvelle-Calédonie est faible. Il a légèrement augmenté passant d'une carcasse par an en 1999, 2000 et 2002 (n = 3) à 2,3 carcasses par an entre 2003 et 2008 (n = 14 ; Garrigue et al. 2009) puis à trois carcasses par an entre 2009 et 2012 (n = 12). Les causes de mortalité des dugongs ont pu être identifiées dans 40% cas. Elles incluent: la collision avec des embarcations (13%) et la tentative de prise illégale d'animaux (27% ; Claire Garrigue com. pers.). Le nombre de carcasses de dugongs récupérées est clairement sous-estimé étant donné que les informations apportées ci-dessus sont issues de collectes opportunistes non-standardisées et principalement orientées vers les régions urbaines du sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie où est basé Opération Cétacés, association non-

gouvernementale qui centralise à ce jour les données d'échouages des mammifères marins de Nouvelle-Calédonie.

Le niveau de mortalité anthropique tolérable calculé à partir des estimations d'abondance de dugongs mesurées entre 2011 et 2012 indique qu'un retrait de plus de 4 à 8 dugongs par an engendre une diminution de la population. Les chiffres indiqués ci-dessus étant très probablement sous-estimés on peut donc conclure que la mortalité des dugongs due à des activités anthropiques en Nouvelle-Calédonie est certainement au-dessus du niveau de mortalité anthropique tolérable. Néanmoins ces informations restent insuffisantes pour prouver que l'activité anthropique explique à elle seule le déclin de la population de dugongs observé entre 2003 et 2008.

Informations obtenues à l'issue des restitutions de septembre 2015

A l'issue de restitutions des résultats de la thèse des discussions ont porté sur le braconnage notamment avec des pêcheurs professionnels (région Bourail, province sud) et gardes nature (Poya, province nord). Il apparaissait clairement pour ces personnes que les chiffres issus de l'analyse PBR étaient atteints en l'espace de « un ou deux mois » dans chacune de ces deux régions.

Menaces naturelles

Les changements temporels d'abondance et de distribution des herbiers entrainent des niveaux inhabituels de mortalité de dugongs (Sobtzick et al. 2012). La perte d'herbiers peut notamment provoquer un retardement de la maturité sexuelle et une baisse de fréquence de la reproduction chez les femelles. Aucune évidence de dégradation à grande échelle des herbiers de Nouvelle-Calédonie et aucun événement météorologique exceptionnel pouvant laisser supposer une telle dégradation n'ont pu être identifiés entre 2003 et 2008. Aucune carcasse de dugong n'a été identifiée comme étant atteinte de maladie. Aucune évidence d'un taux de prédation accrue entre 2003 et 2008 n'est disponible. Il n'y a donc pas de preuve tangible que la population de dugongs ait diminuée entre 2003 et 2008 suite à des menaces naturelles inhabituelles.

Veaux

Si la population de dugongs avait été soumise à une importante perte d'habitat, une réduction de la fécondité et une augmentation de la mortalité néonatale reflétées par un faible taux de veaux aurait dû être détectées, comme cela a pu être observé en Australie suite à des événements météorologiques extrêmes (Preen et Marsh1995 ; Marsh et al., 2011 ; Sobtzicket al., 2012). Or, (1) il n'existe aucune preuve de dégradation majeure de l'habitat dans les lagons de Nouvelle-

Calédonie (voir ci-dessus) et (2) le pourcentage de veaux observés pendant les comptages aériens a augmenté entre 2003 et 2008.

(2) Déplacements temporaires au sein de la zone d'étude

Les dugongs sont très mobiles (voir chapitre 5). En Australie et dans le Golfe d'Arabie, les mouvements des dugongs au sein des zones d'étude et entre les zones d'étude et les régions adjacentes non survolées sont une des causes de fluctuations dans les estimations d'abondance relative de dugongs (Hagihara et al., 2014 ; Gales et al., 2004 ; Marsh et al., 2004 ; Preen et al., 2012 ; Sobtzick et al., 2014). La Nouvelle-Calédonie est un archipel isolé. Le plan d'échantillonnage mis en œuvre a couvert tous les lagons entourant la Grande-Terre. Il est donc peu probable que les dugongs se soient déplacés hors de la zone d'étude entre 2003 et 2008 et ne soient pas revenus.

L'absence d'interaction significative entre les variables année et bloc pour la densité relative de dugongs suggère qu'elle ne varie pas dans ce bloc au cours du temps. Cela signifie qu'aucun déplacement en masse de dugongs n'a eu lieu entre les blocs de comptage entre les campagnes de survol. Cependant un certain nombre de dugongs pourrait s'être déplacé à l'intérieur de ces blocs pendant ou entre les campagnes de survols (voir chapitre 5).

Comme les dugongs sont capables de se déplacer rapidement sur de grandes distances il est possible qu'une proportion de dugongs ait été comptée à plusieurs reprises au cours d'une campagne de survol. Les risques de double comptage augmentent avec le temps passé au sol par les équipes. L'incapacité de finaliser rapidement le comptage dans des régions où les dugongs sont abondants et potentiellement capables de se déplacer sur de longues distances peut avoir un effet significatif sur les estimations. Pour que l'écart d'estimation de l'abondance relative de la population de dugongs entre 2003 et 2008 puisse être expliqué par le double comptage il aurait donc fallu que les périodes de temps passées au sol soient plus longues en 2003 qu'au cours des autres années de survol. Or ceci n'était pas le cas ; il est donc peu probable que seul le double comptage puisse expliquer ces variations d'estimations.

(3) Biais associés à la probabilité de détection mais non-corrigés

Les méthodes utilisées pour l'estimation de l'abondance relative des dugongs considèrent que la durée passée par un dugong en surface ne varie pas en fonction de la profondeur des fonds sur lesquels il se trouve. Cependant, de récentes études australiennes sur le comportement de plongée des dugongs montrent que cette hypothèse est erronée et que le temps passé en surface varie avec la profondeur de l'eau et selon le comportement de plongée de l'animal (Hagihara et al., 2014). La probabilité d'observer un dugong en surface est plus faible lorsque ce dernier se situe sur des profondeurs comprises entre 5 et 25m que lorsqu'il se trouve au-dessus de fonds inférieurs ou supérieurs à ces valeurs (Hagihara et al., 2014). Ainsi, les variations des estimations d'abondance de dugongs mesurées en Nouvelle-Calédonie pourraient au moins partiellement être expliquées par la différence de profondeur sur laquelle les dugongs ont été observés en 2003 par rapport aux autres campagnes de survol. Cependant l'analyse de la répartition des observations de dugongs par rapport à la bathymétrie, effectuée dans cette étude, ne soutient pas cette hypothèse. Les données sur le comportement de plongée des dugongs collectées durant le projet de doctorat (voir chapitre 5) permettront d'effectuer une révision des estimations de la taille de la population de dugongs et d'étudier cette hypothèse.

L'erreur due à l'observateur est une variable importante dans tout comptage aérien de la faune sauvage (probabilité de perception ; Caughley 1974). Elle inclut des observations manquées, une mauvaise identification des espèces et le comptage d'animaux observés en dehors des radiales (Fuentes et al., 2015.). Le comptage aérien des dugongs mené en 2003 en Nouvelle-Calédonie constitue le tout premier survol de mégafaune marine de la région. Nous ne pouvons donc pas rejeter l'hypothèse que l'erreur due à l'observateur participe également aux variations observées entre les comptages de 2003 et les suivants malgré l'expérience de l'équipe embarquée en 2003. L'évaluation du biais due à l'observateur n'a jamais pu être conduite au cours des comptages aériens réalisés en Nouvelle-Calédonie. Cette évaluation permettrait d'inclure une correction plus précise de l'erreur due à l'observateur dans les estimations d'abondance future.

2.5 Conclusion

Détecter un déclin dans une petite population de mammifères marins est difficile et peut souvent prendre plusieurs années même si des campagnes de comptage sont menées fréquemment (Taylor et Gerrodette 1993 ; Marsh 1995 ; Taylor et al., 2007). Marsh (1995) a calculé qu'il faudrait au minimum une dizaine d'années de survols aériens mensuels pour détecter une diminution de 5% dans une population d'environ 100 dugongs avec des niveaux d'erreurs statistiques acceptables.

Les analyses des données collectées au cours des comptages aériens de dugongs conduits en Nouvelle-Calédonie s'étendent sur une dizaine d'années ; ils montrent que les dugongs étaient significativement plus abondants en 2003 qu'en 2008, 2011 et 2012. Leur abondance relative n'a plus variée significativement depuis 2008.

Si le déclin détecté dans la population de dugongs est réel, celle-ci pourrait être inscrite dans la catégorie 'en danger' selon les critères A2b et C1 de la Liste rouge de l'UICN (UICN 2012a, b). Cependant, mon étude montre qu'il est actuellement impossible de conclure avec certitude sur la raison pour laquelle l'estimation de l'abondance relative des dugongs en Nouvelle-Calédonie mesurée en 2003 est différente de celles obtenues les autres années. Globalement, mes résultats mettent en évidence l'importance:

1. De répliquer les comptages de référence (ici le premier comptage de 2003), afin de réduire les incertitudes dans l'interprétation des résultats ;
2. De finaliser les survols le plus rapidement possible afin de diminuer les risques de double comptage d'animaux. Un protocole décisionnel pourrait être développé pour déterminer les conditions dans lesquelles une région (bloc) devrait être complètement re-survolée afin de réduire les risques de double comptage ;

Plus spécifiquement et dans le cas de l'étude de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie, ce travail a également permis de mettre en avant:

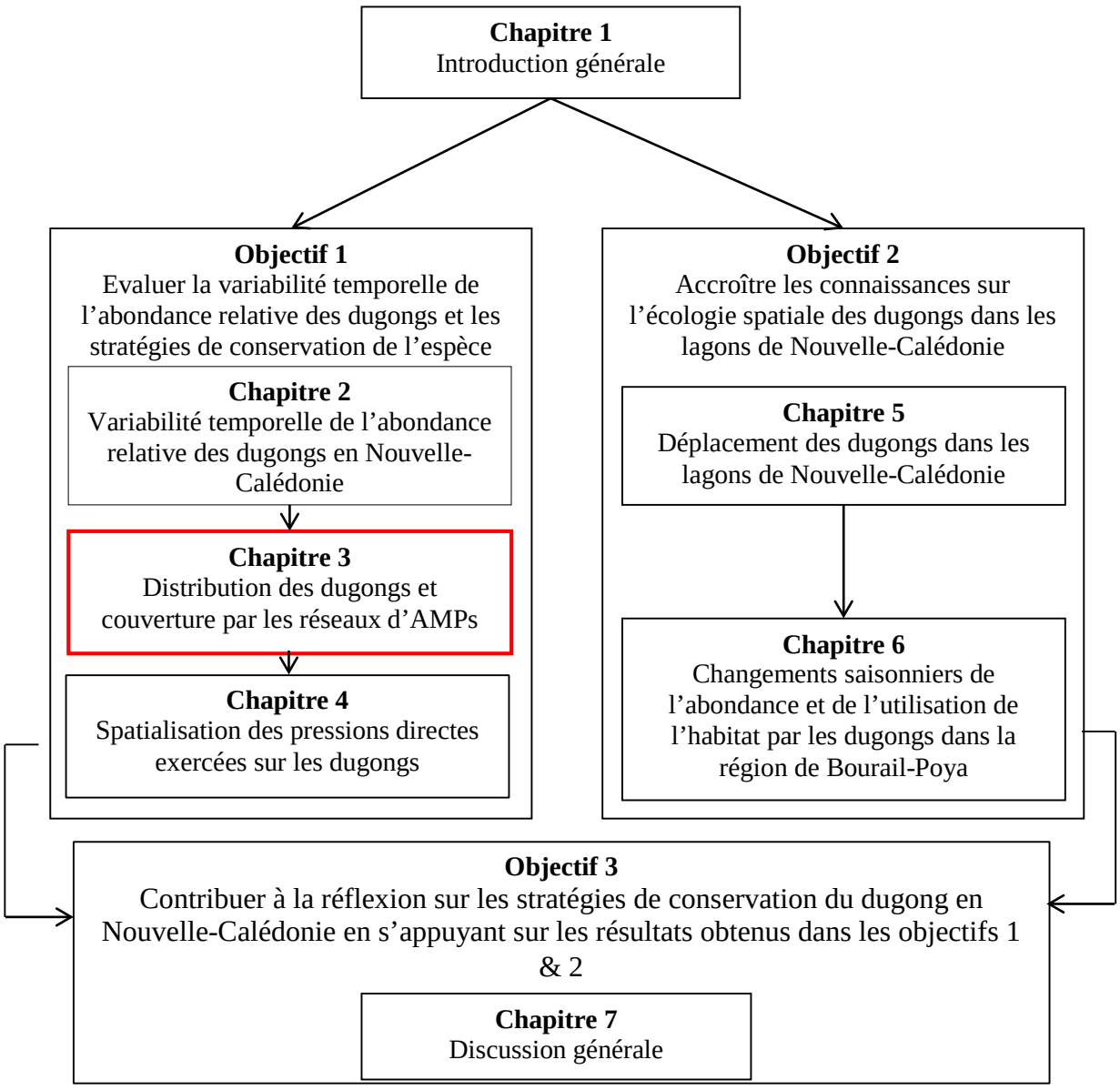
1. L'absence de données robustes sur les taux de mortalité annuelle de dugongs et leurs causes à l'échelle de l'archipel néo-calédonien ;
2. Le braconnage qui pourrait avoir lieu à un rythme supérieur au niveau de mortalité anthropique tolérable pour la population ;
3. L'absence de suivi de l'état de santé des herbiers marins à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie ;

4. La nécessité d'adresser les biais associés à la probabilité de détection des dugongs tels que :

    a. Les biais de disponibilité des dugongs (étude en cours par le Dr. Rie Hagihara de l'Université de James Cook) ;
    b. Les biais de perception des dugongs. Ces biais doivent être évalués lors des prochaines campagnes de comptage de dugongs en Nouvelle-Calédonie via :
        i. La formation théorique et pratique d'observateurs ;
        ii. L'utilisation d'un avion permettant le comptage d'animaux par deux rangs d'observateurs au lieu d'un (quatre observateurs expérimentés au lieu de deux). Cette configuration permettra la marque-recapture et donc l'évaluation du biais de perception. Un avion bimoteur est recommandé par mesure de sécurité.

En conclusion, même si la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie représente à ce jour une des plus importantes au monde, elle reste de petite taille. Détecter un déclin ou une augmentation réelle de cette population dans un laps de temps concordant avec la mise en place d'outils de conservation et de gestion est impossible. C'est pourquoi la mise en place de ces outils ne doit pas reposer uniquement sur l'évolution de la taille de la population mais les estimations de PBR peuvent etre utilisées comme indicateur de l'effort de conservation à produire pour assurer la survie de l'espèce. Les chapitres suivants fournissent des informations supplémentaires sur l'écologie spatiale des dugongs en Nouvelle-Calédonie qui peuvent également être prises en compte, sans attendre une preuve de déclin, pour améliorer la protection de l'espèce sur le territoire.

Chapitre 3: Distribution des dugongs et couverture par les réseaux d'Aires Marines Protégées



3.1 Introduction

Les aires marines protégées (AMPs) de Nouvelle-Calédonie ont été conçues pour atténuer les effets négatifs des activités humaines sur la biodiversité marine et les écosystèmes lagonaires, pour la plupart inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 2008. Une des raisons explicites de l'inscription des lagons au patrimoine mondial de l'UNESCO était la présence d'une population importante de dugongs (UNESCO 2009). En effet, la responsabilité de la Nouvelle-Calédonie dans la survie de l'espèce dans la région océanienne est cruciale (Marsh et al., 2012). Protéger une espèce aussi charismatique que le dugong (« espèce parapluie ») peut également étendre la protection à d'autres espèces côtières moins médiatisées (Jones et al., 1995 ; Marsh et Morales Vela 2012).

Les AMPs constituent un des outils permettant d'accroitre la protection des dugongs menacés par les activités anthropiques. La mise en place d'AMPs nécessite cependant des buts et des objectifs de conservation explicites afin de s'assurer d'une représentation adéquate des éléments de la biodiversité à protéger. Le but est l'énoncé général de ce que l'AMP souhaite réaliser. L'objectif est une mesure, si possible quantitative, de ce qui doit être accompli pour atteindre ce but (Margules et Pressey 2000). Au moment de la conception des réseaux d'AMPs actuellement en place en Nouvelle-Calédonie, aucun objectif spécifique ne visait la conservation des dugongs. La capacité de ces réseaux à protéger l'espèce reste donc inconnue. C'est pourquoi un état des lieux était nécessaire afin d'évaluer la manière dont les AMPs protègent l'espèce et d'identifier les zones de faible protection pouvant bénéficier d'un renforcement des efforts de conservation dans le futur.

J'ai développé un modèle spatial représentant la répartition des différentes classes de densités relatives de dugongs (DRD) autour de la Grande-Terre en utilisant les données obtenues au cours des comptages aériens (chapitre 2). J'ai ensuite comparé ce modèle avec les réseaux d'AMPs afin d'évaluer le taux de recouvrement entre les différents types d'AMPs et les différentes classes de densités de dugongs. Le modèle issu de cette étude constitue un outil essentiel pouvant être utilisé pour accroitre la conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie. Une discussion est apportée à la fin de ce chapitre sur les facteurs potentiels responsables du décalage spatial entre les zones à fortes densités de dugongs et les AMPs ayant le potentiel de les protéger face aux activités anthropiques.

3.2 Méthode

Traitement des données

Les données d'observation de dugongs issues des campagnes de comptage de 2011 et 2012 ont été intégrées à celles collectées en 2003 et 2008 dans un SIG commun. Ces données ont été utilisées pour développer un modèle spatial de la répartition des différentes classes de densités relatives de dugongs (DRD) autour de la Grande-Terre.

Le modèle géostatistique suit la méthode développée par Marsh et Grech (2007) et Grech et al. (2011) ; il a été adapté à la configuration spatiale des lagons de Nouvelle-Calédonie et aux méthodes d'acquisition des données d'observation de dugongs. La taille des mailles utilisées pour cette analyse est de 1,6km x 1,6km = 2,56km^2. Cette maille :

- Permet de tenir compte: (a) des légères variations d'altitude de l'avion qui affectent la largeur de la bande d'observation le long de la radiale, et (b) de la zone aveugle située sous l'avion où aucune observation ne peut être effectuée (voir chapitre 2) ;
- Entre dans la tranche des échelles recommandée dans le critère B13 de la Liste Rouge de l'UICN concernant les espèces vulnérables (UICN, 2001 et 2004).

Pondération des données de comptage 2003-08 avec les données 2011-2012

Quatre champs ont été ajoutés à la table attributaire pour la comparaison des données obtenues avec des efforts d'échantillonnage différents. Les champs sont présentés ci-dessous :

Calcul de l'intensité d'échantillonnage

Pour chaque observation de dugong l'intensité d'échantillonnage (SI) de la radiale où l'observation a été faite, a été ajoutée. La valeur SI correspond à la proportion de la zone réellement échantillonnée dans un bloc par rapport à la surface totale de ce bloc.

Extrapolation du nombre d'animaux observés

Le nombre de dugongs observés a été extrapolé en tenant compte de l'intensité d'échantillonnage du bloc correspondant. Ainsi, pour chaque observation, le nombre de dugongs observés au cours d'une observation (U) a été multiplié par l'intensité d'échantillonnage (SI) de la radiale sur laquelle l'individu ou le groupe d'individus a été repéré :

U x SI

Nombre moyen de dugongs par radiale

L'intensité moyenne d'échantillonnage a été calculée (N étant le nombre de campagne de survol):

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} SI}{N}$$

Calcul de l'indice moyen d'abondance de dugong par maille

Chaque valeur issue de l'extrapolation du nombre d'animaux observés a ensuite été divisée par l'intensité moyenne d'échantillonnage de la radiale associée à l'observation. Enfin, la valeur issue de ce calcul a été divisée par le nombre de fois où la radiale a été survolée (S) :

$$\left(\frac{\underline{\mathbf{U \times SI}}}{\frac{\sum_{i=1}^{n} SI}{N}} \right) / (S)$$

L'étape suivante a consisté à générer une représentation du territoire sous la forme d'un maillage au format raster. Ce type de format est utilisé préférentiellement pour représenter des informations telles que des facteurs démographiques ou des densités de population. Le maillage était représenté dans le système géodésique WGS-84 avec une projection en UTM-58S. Les couches vectorielles des observations de 2003, 2008, 2011 et 2012 ont ensuite été projetées en UTM-58S pour éviter un décalage des données avec ce fond de carte.

Analyse

L'analyse spatiale a nécessité l'utilisation de l'extension Spatial Analyst de ArcGis qui permet à l'utilisateur de créer, d'interroger ou d'analyser des informations s'appuyant sur des fichiers au format raster. Elle permet aussi d'effectuer des traitements combinés entre des données raster, comme la Grande-Terre représentée sous forme d'un maillage, et des données vecteur, comme la couche de points des observations de dugongs. Spatial Analyst est donc l'outil le plus approprié pour répondre à la question posée dans cette étude. L'analyse spatiale a permis d'obtenir les densités d'animaux en effectuant une interpolation du nombre moyen de dugongs

par radiale pour chaque maille de 2,56km². Cette maille offre une résolution plus fine que la maille utilisée dans la méthode de densité de noyau de Bordin (2009). Différentes méthodes proposées par cette extension ont été testées dont l'estimation par krigeage.

Le krigeage est une méthode d'interpolation spatiale qui estime les valeurs inconnues à partir d'un voisinage de points échantillonnés. Elle permet également de calculer les erreurs d'estimation en enlevant les valeurs jugées aberrantes. Parmi les différents types de krigeage, le krigeage universel qui est utilisé en Australie a été sélectionné. Il permet l'estimation spatiale d'une distribution univariée dont la variable est non-stationnaire. Cela signifie que la série de variables est soumise à des tendances comme la variation saisonnière et qu'elle peut évoluer dans le temps. L'utilisation du krigeage universel nécessite une étape préalable correspondant à une « autocorrélation spatiale » des données qui permet de détecter la dépendance spatiale des relations entre deux échantillons en fonction de leur distance de séparation et d'estimer la force de cette dépendance (Vasiliev 1996 ; Figure 3.1). Un variogramme a été appliqué aux couches de données à modéliser en utilisant l'extension de Geostatistical Analyst d'ArcGIS.

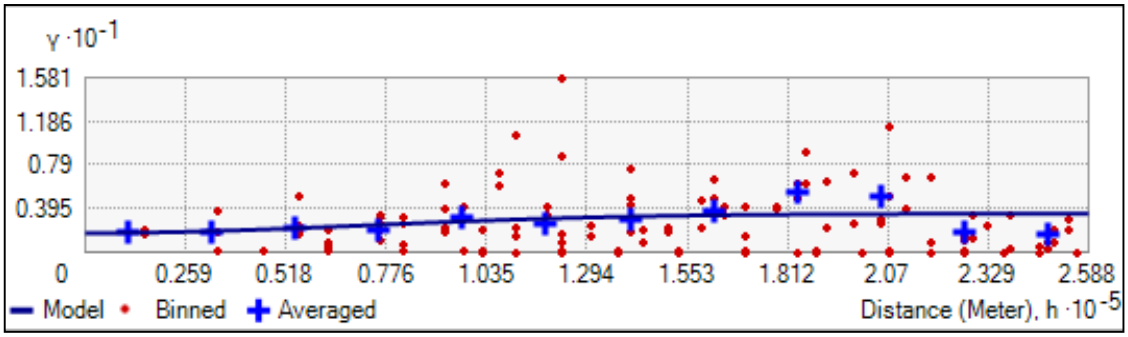


Figure 3.1 : Exemple de variogramme pour l'ensemble du jeu de données.

La méthode de densité de noyau qui avait été utilisée par Bordin (2009) permettait de créer une surface continue en calculant la densité des entités de points représentées ici par les observations d'animaux. Cependant la taille du rayon de recherche utilisée par Bordin (2009) a engendré une extrapolation importante des données. La méthode de krigeage universel a donc été retenue puisqu'elle apportait une meilleure représentation de la réalité. Un sous échantillonnage de 30% de chaque lot de données d'observation de dugongs a été réalisé et modélisé afin de tester la validité du modèle sur l'ensemble des données.

Une phase de discrétisation en quatre classes a été appliquée sur chaque couche de densité générée par le krigeage (Tableau 3.1). Cette méthode consiste à séparer les valeurs où se situent les plus grands intervalles entre deux classes de valeurs successives (Lépinard, 2008). La

reclassification de ces quatre intervalles sous l'extension Spatial Analyst a ensuite permis de générer une couche définissant un indice de densité relative de dugongs (DRD) allant de faible à très fort pour chaque maille issue du modèle.

Tableau 3.1 : Valeurs et classes de densités relatives de dugongs (DRD) pour la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie.

Valeur de DRD (dugongs/2,56km^2)	Classe de DRD
0	Faible
0 – 0,10	Moyenne
0.10 – 0,5	Forte
> 0,5	Très forte

Distribution des dugongs autour de la Grande-Terre

Un test statistique basé sur l'indice *I* de Moran été appliqué à l'ensemble des données d'observation de dugongs. Il consiste à définir l'autocorrélation spatiale qui est caractérisée par une corrélation entre les mesures géographiquement voisines d'un phénomène mesuré. En d'autres termes ce test permet de vérifier l'homogénéité de la distribution des dugongs autour de la Grande-Terre. Les valeurs de l'indice *I* de Moran ont été transformées en un indice 'z-score' pour lequel les valeurs >1,96 ou < -1.96 indiquent une autocorrélation spatiale significative avec un taux d'erreur de 5 %.

Analyse de la répartition des unités de gestion de dugongs en Nouvelle-Calédonie

La couche vectorielle issue du modèle spatial intégrant l'ensemble des observations de dugongs depuis 2003 a été utilisée pour calculer la superficie (km^2) et la proportion (%) occupée par les différentes classes de DRD dans les réseaux d'aires marines protégées des province nord et sud ainsi que dans les zones inscrites au Patrimoine Mondial de l'UNESCO. Toutes les couches étaient représentées dans le système géodésique WGS84 avec une projection en UTM58S.

3.3 Résultats

Le modèle de distribution des densités relatives de dugongs en Nouvelle-Calédonie révèle une distribution hétérogène et clustérisée des dugongs dans les lagons de la Grande-Terre (I de Moran, z-score = 15,99, $p \leq 0,0001$; Figure 3.2). La densité relative moyenne de dugongs dans l'ensemble de la zone d'étude est de 0,01dugongs/km^2 ; elle varie de 0 à 1,49 dugongs/km^2. La densité relative de dugong prédite par le modèle et les données brutes issues des comptages aériens sont fortement corrélés (validation croisée, analyse RMSS= 0,98). Les densités relatives de dugongs (DRD) sont très fortes dans la région de Bourail-Poya sur la côte ouest, au nord de la province sud à seulement quelques kilomètres de la limite administrative avec la province nord (Figure 3.2 et 3.3). Les fortes DRD sont localisées dans plusieurs régions de la côte ouest: près de Koumac, au nord de Voh, en zone proche et au sud de Nékoro, dans la région Moindou et entre Nouméa et Paita ; et sur la côte nord-est entre Pouebo et Touho (Figure 3.2).

Les zones de DRD fortes et très fortes sont peu couvertes par les AMPs alors qu'elles offrent des niveaux élevés de restriction des activités anthropiques, synonymes de pression directe sur les dugongs. Les zones à DRD très fortes sont absentes des réserves intégrales (UICN IA), des réserves sauvages (UICN IB), des réserves naturelles (UICN IV) et des réserves de gestion durable de l'UICN (VI). Par contre, elles sont couvertes par une zone UNESCO (22%) et par le parc provincial de la zone côtière Ouest (ICUN II, 90%, Figure 3.3). La plupart des zones à fortes DRD sont réparties pour 74% en dehors des AMPs et 39% dans les zones réglementées : parcs provinciaux (12%) et zones UNESCO (17%).

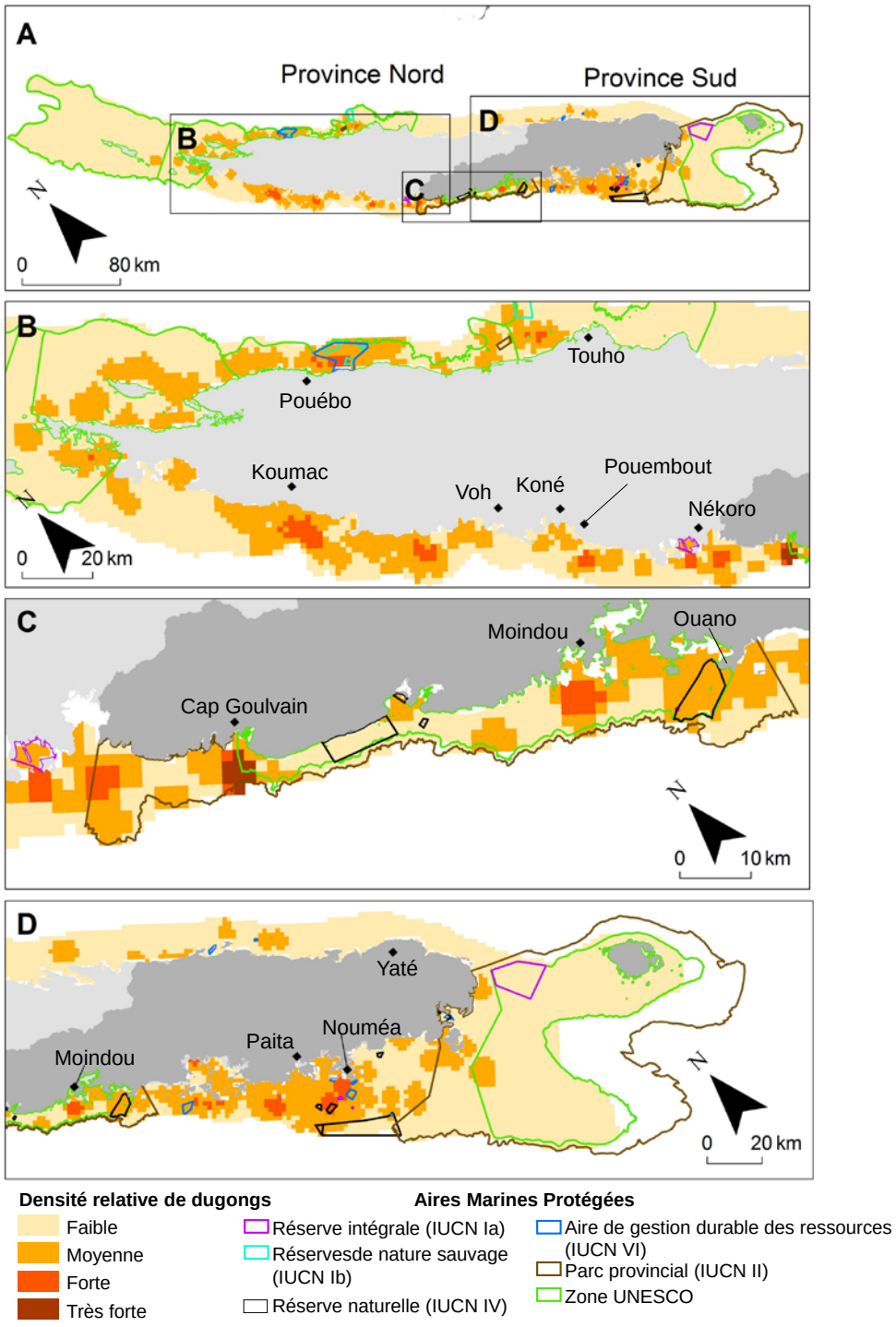


Figure 3.2: Modèle spatial représentant la répartition des différentes classes de densités relatives de dugongs (DRD) autour de la Grande-Terre (nombre de dugongs observés par km^2, maille = 2,56km^2) (A), sur la côte nord-est (B), sur la côte ouest (C), et dans le sud de la Grande-Terre (D). La plupart des zones à forte DRD sont distribuées sur la côte ouest et nord-est de la Grande-Terre. Une zone à très forte DRD a été détectée dans la région de Bourail-Poya. Notez que: (1) les zones UNESCO de la province des Iles Loyauté et récifs d'Entrecasteaux ne sont pas représentés dans cette figure ; (2) les cartes d'observations de

dugongs pour chaque session de comptages aériens sont présentés dans l'annexe A Figure A.1.

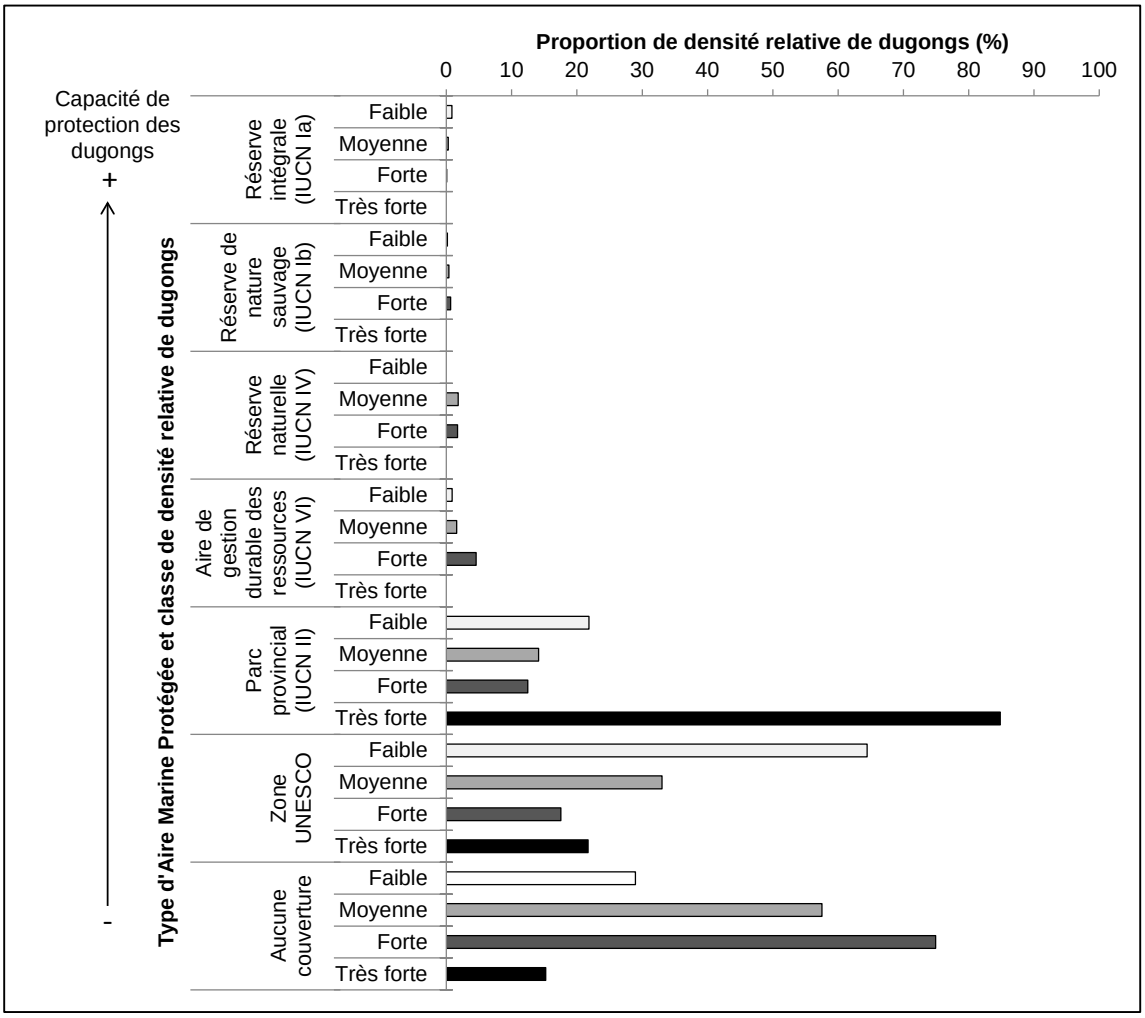


Figure 3.3: Fréquence de chaque classe de densité relative de dugongs pour chaque type d'aire marine protégée en Nouvelle-Calédonie. Quatre-vingt-quatre pourcents des très fortes densités relatives de dugongs sont couvertes par le Parc Provincial de la Zone Côtière Ouest (UICN II). La somme des pourcentages dans chaque classe de densité n'équivaut pas à 100% du fait du chevauchement de certaines AMPs.

Tableau 3.1: Les aires marines protégées (AMP) en Nouvelle-Calédonie et leur pertinence pour la protection du dugong (Bertaud 2011 ; province nord 2008 ; province sud 2009). Les AMPs sont classées par ordre de niveau de protection allant de la plus forte protection à la plus faible protection pour les dugongs.

Catégorie IUCN	Type d'AMP	Localisation	Nom	Date de création (année)	Objectif de gestion et pertinence pour la protection du dugong
Ia	Réserve intégrale	Province nord	Réserve Naturelle Intégrale de la Baie de Nékoro	2000	Préserver l'ensemble des composantes de la biodiversité dans un état naturel exemplaire pour la recherche scientifique et la surveillance continue de l'environnement. **Pertinence pour la protection du dugong:** réduction des activités humaines, utilisation de la zone et impacts strictement contrôlés et limités.
		Province sud	Ilot Goéland	1996	
			N'Digoro	1998	
			Récif Sèche Croissant	1994	
			Yves Merlet	1995	
Ib	Réserve de nature sauvage	Province nord	Réserve de Nature Sauvage de Dohimen	2009	Préserver les caractéristiques naturelles intactes sans modifications significatives de la zone.
			Réserve de Nature Sauvage de Pewhane	2009	
			Réserve de Nature Sauvage de Whan-denece Pouarape	2009	

Catégorie IUCN	Type d'AMP	Localisation	Nom	Date de création (année)	Objectif de gestion et pertinence pour la protection du dugong
			Réserve de Nature Sauvage de Whanga ledane	2009	**Pertinence pour la protection du dugong:** limitation des activités de pêche (permis spéciaux), aucune perturbation de la faune, limitation de l'accès humain (permis spéciaux)
IV	Réserve naturelle	Province sud	Aiguille de la baie de Prony	1993	Maintenir, conserver et réhabiliter les populations d'espèces endémiques, emblématiques ou menacées et restaurer leur habitat. **Pertinence pour la protection du dugong:** toute pêche est interdite.
			Epave du Humboldt	1996	
			Grand port	1993	
			Grand récif Aboré et de la passe de Boulari	2006	
			Ile Verte	1995	
			Ilot Bailly	1995	
			Ilot Larégnère	1998	
			Ilot Signal	1989	

Catégorie IUCN	Type d'AMP	Localisation	Nom	Date de création (année)	Objectif de gestion et pertinence pour la protection du dugong
			Ouano	2004	
			Passe de Dumbéa	1994	
			Poé	2006	
			Roche Percée et de la Baie des Tortues	1993	
VI	Aire de gestion durable des ressources	Province nord	Aire de Gestion Durable des Ressources de Hyabe-Le Jao	2009	Dans le cadre d'une gestion active, concilier la protection durable de la biodiversité et des valeurs naturelles, culturelles et paysagères au développement d'activités compatibles. (IUCN IV). **Pertinence pour la protection du dugong:** dépend du plan de gestion de chaque aire marine protégée.
		Province sud	Ilot Amédée	1995	
			Ilot Canard	1993	
			Ilot Casy	2006	
			Ilot Maitre	1993	
			Ilot Moinde-Ouemie	1995	
			Ilot Ténia	Inconnue	
			Pointe Kuendu	2005	

Catégorie IUCN	Type d'AMP	Localisation	Nom	Date de création (année)	Objectif de gestion et pertinence pour la protection du dugong
			Ilot Amédée	1994	
II	Parc Provincial	Province nord	Parc Provincial de Hyega	2009	Garantir la stabilité des processus écologiques, préserver les exemples représentatifs des régions, de communautés biologiques, de ressources génétiques et d'espèces, en encadrant les activités et les besoins des populations locales. **Pertinence pour la protection du dugong:** Préserver l'équilibre naturel.
		Province sud	Parc de la Zone Côtière Ouest	2009	
			Parc du Grand Lagon sud	2009	

[a] En Nouvelle-Calédonie, les Parcs Provinciaux ne répondent pas à la définition de l'UICN des aires protégées de catégorie II car ils permettent l'utilisation du parc par le publique et les activités extractives telles que la pêche (Dudley 2008).

3.5 Discussion

Localiser les sites où les dugongs sont abondants et potentiellement menacés par des activités anthropiques et déterminer la manière dont l'espèce est protégée face à ces pressions, sont deux phases essentielles à la conservation et la gestion de l'espèce à long terme. Mon analyse souligne un décalage spatial entre les zones à forte densité de dugongs et les AMPs présentant des caractéristiques suffisantes pour protéger cette espèce des activités anthropiques. La distribution des dugongs autour de la Grande-Terre est hétérogène. Et certaines zones à forte densité de dugongs se trouvent dans des régions fortement soumises aux activités humaines comme la région du grand Nouméa ou celle de Voh-Koné-Pouembout.

J'ai identifié cinq facteurs susceptibles d'expliquer *a posteriori* le décalage spatial existant entre les régions de Nouvelle-Calédonie à fortes densités de dugongs et les AMPs dont le statut est suffisant pour protéger l'espèce face aux activités anthropiques. Je discute chacun de ces facteurs en détail dans ma thèse et j'en présente une synthèse ci-dessous. Des pistes de réflexion sont ensuite abordées de façon à ce que la planification et la mise en place de nouvelles AMPs en Nouvelle-Calédonie permettent d'accroitre la conservation d'espèces en danger comme le dugong.

Absence de but et d'objectif de conservation explicite

Par le passé, les aires protégées terrestres ont été principalement sélectionnées en fonction de la beauté des paysages et de la nature sauvage (Lockwood et al., 2012). Ce processus de sélection a également été utilisé dans le milieu marin (Margules et Pressey 2000 ; Devillers et al., 2014), y compris en Nouvelle-Calédonie. Or l'objectif principal des aires protégées devrait être la conservation à long terme de la nature, des services écosystémiques et des valeurs culturelles associés (Dudley 2008). Pour qu'une AMP soit efficace, il est nécessaire d'identifier son but et de définir des objectifs de conservation clairs (Margules et Pressey 2000 ; Pressey et Bottrill 2009).

Mon étude démontre que l'absence de but et d'objectif de conservation favorise le risque de décalage spatial entre une espèce nécessitant protection et la localisation d'une AMP. Le but et les objectifs de conservation doivent: (1) intégrer voire prioriser certains éléments de la biodiversité voire les espèces les plus menacées, en particulier si leur protection bénéficie à d'autres espèces moins charismatiques; et (2) refléter autant que possible les besoins des communautés côtières (Dobbs et al. 2008 ; Devillers et al., 2014). Par exemple, la protection de la population de dugongs était un des buts de la nouvelle planification du parc marin de la

grande barrière de corail australienne en 2003. La protection de 50% de toutes les zones à fortes densités de dugongs était un des objectifs explicites de cette planification (Dobbs et al., 2008). Une approche fondée sur des objectifs similaires et bien définis devrait être appliquée dans d'autres régions, notamment en Nouvelle-Calédonie afin d'améliorer la protection des espèces menacées (McCook et al., 2010).

Non prise en compte d'information spatiale sur la répartition des dugongs

Les informations disponibles sur la distribution des dugongs obtenues au cours des survols de 2003, n'ont pas été prises en compte pour la planification des AMPs mises en place après cette date. L'absence d'utilisation de ces informations explique en partie le décalage observé dans le recouvrement entre les espaces protégés et les zones hautement fréquentées par les dugongs. De manière générale, les informations sur la répartition spatiale, le déplacement, la migration, et les zones d'alimentation et de reproduction des mammifères marins sont souvent limitées car très coûteuses à obtenir. Les régions pour lesquelles les données sont limitées reçoivent souvent peu ou pas de protection, même si elles peuvent constituer des zones clés pour des espèces au statut de conservation préoccupant comme c'est le cas pour de nombreuses espèces de mammifères marins (Hooker et Gerber 2004 ; Hoyt 2012). La conception d'AMPs nécessite l'utilisation des meilleures données écologiques disponibles. Lorsque les données sont absentes, l'opinion d'experts peut être utilisée pour localiser les zones clés nécessitant la mise en place d'outils de protection (p. ex. voir Fernandes et al., 2005).

Incompatibilité entre les échelles spatiales des AMPs et celles des zones à fortes densités relatives de dugongs

Les réseaux d'AMPs de la Nouvelle-Calédonie ont été conçus et sont gérés aux échelles provinciales qui ne correspondent pas nécessairement à l'échelle écologique du dugong qui se déplacent sur des distances couvrant de grands espaces comme cela est exposé au chapitre 5 et comme cela a été également montré en Australie (Preen et Marsh1995 ; Marsh et Lawler 2002 ; Gales et al., 2004 ; Marsh et al., 2004). Les études télémétriques, menées par Gredzens et al. (2014) montrent que les animaux traversent les frontières internationales comme cela a été observé dans le Détroit de Torres, situé entre l'Australie et la Papouasie-Nouvelle-Guinée. L'amplitude de ces mouvements soulignent la nécessité d'envisager la gestion de l'espèce à une échelle écologiquement pertinente traversant si nécessaire les juridictions en place (Marsh et al., 2002, 2011).

Protection résiduelle

En Nouvelle-Calédonie, de manière générale, les zones à fortes densités relatives de dugongs bénéficient actuellement d'une faible protection face aux menaces anthropiques directes (filets de pêche, trafic maritime plaisancier) et indirectes (impact de l'urbanisation croissante du littoral, de l'agriculture et du développement d'industries minières côtières sur les herbiers marins) dans les régions où ces pressions sont les plus fortes. La prise en compte insuffisante des habitats et des espèces clés dans la définition des aires protégées, bien connue dans le domaine terrestre (Scott et al., 2001), est devenue également une préoccupation dans le milieu marin (Dryden et al., 2008 ; Edgar 2011). Cet état de fait qualifié de « protection résiduelle » (Devillers et al., 2014) est constaté lorsque les aires protégées sont implantées dans des régions délaissées ou à faible potentiel commercial ou industriel tandis que les régions au pouvoir commercial élevé sont moins protégées. La protection résiduelle pose un sérieux problème pour la conservation de la plupart des espèces marines côtières qui ont besoin d'un effort de protection appuyé (Margules et Pressey 2000). Une forte volonté et un leadership politique sont donc nécessaires pour transformer les connaissances scientifiques en stratégies de conservation et de gestion efficaces et non-résiduelles (Day et Dobbs 2013).

Mauvaise application des catégories IUCN à certaines aires marines protégées

Parmi les AMPs qui couvrent les zones à fortes densités relatives de dugongs certaines permettent les activités extractives telles que la pêche alors qu'elles sont définies comme aires protégées de catégorie II selon l'IUCN. Or dans cette catégorie la pêche commerciale ou récréative est inappropriée (Dudley 2008). Il est important de veiller à ce que l'application exacte des catégories de l'UICN aux AMPs soit respectée parce qu'elle: (1) veille à ce que la catégorisation de l'IUCN demeure respectée à l'échelle internationale; et (2) permet le suivi des progrès de conservation de la biodiversité définie dans les objectifs nationaux et internationaux (Fitzsimons 2011). En outre, l'application erronée des catégories de l'IUCN peut générer une illusion de protection (Agardy et al., 2011) qui peut fragiliser la confiance et le respect du public envers les AMPs et entrainer ainsi des effets négatifs sur leur gestion. Des efforts sont donc nécessaires pour clarifier les définitions des catégories IUCN des AMPs en Nouvelle-Calédonie ainsi que le cadre global dans lequel elles s'inscrivent.

3.6 Conclusion

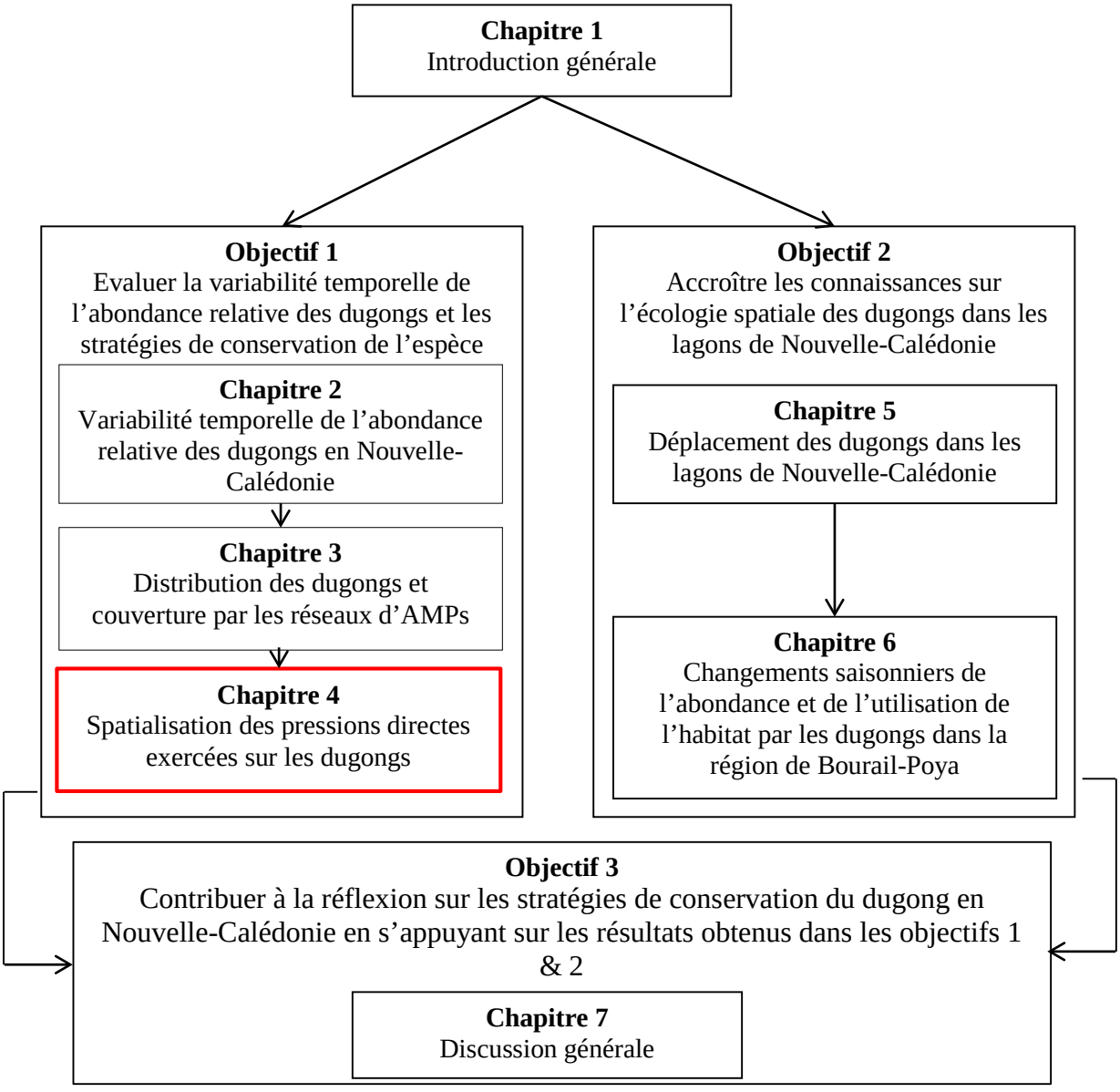
Les résultats de cette étude fournissent des éléments de référence pour améliorer la protection des dugongs en Nouvelle-Calédonie. Cette protection pourrait être renforcée en veillant à ce que les buts et les objectifs de conservation pour cette espèce soient clairement définis et en s'appuyant sur la liste de recommandations établie ci-après pour élaborer un outil décisionnel opérationnel. La cartographie des usages et des pressions existant sur les dugongs et leur habitat constitue un élément essentiel pour aider à la planification de la protection (voir chapitre 4 pour plus de détails) (p. ex., Grech et Marsh 2008 ; Redfern et al., 2013). En outre, il existe d'autres approches de conservation - non-spatiales – (c.-à-d., autres que la mise en place d'AMPs), tels que l'engagement communautaire, l'éducation publique et l'instauration de codes de pratiques environnementales qui pourraient être considérées pour améliorer la conservation des dugongs sur le territoire (Kenchington et Day 2011; Day et Dobbs 2013).

En guise de synthèse, une liste non exhaustive de points pouvant aider à la planification de la conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie, est proposée ci-dessous. Ces considérations sont génériques et sont pour la plupart connues des gestionnaires.

(1) Utiliser les meilleures données disponibles sur les espèces cibles et/ou utiliser le principe de précaution (p. ex. évaluer les risques possibles lorsque la donnée scientifique est incomplète). Le cas échéant et si nécessaire, utiliser les connaissances issues d'études menées dans d'autres régions du monde (p. ex. données sur la biologie des dugongs).
(2) Définir un/des buts et des objectifs explicites et spécifiques de conservation, et les traduire en valeurs quantitatives.
(3) Veiller à ce que les limites de compétence et les considérations politiques n'entravent pas la planification efficace.
(4) Concevoir une AMP en veillant à ne pas favoriser des régions peu utilisées et/ou présentant un faible potentiel commercial (« réserve résiduelle »).
(5) Suivre les cadres de conservation internationaux dans la conception d'une AMP.
(6) Consulter les communautés concernées par la mise en place de nouvelles AMPs et veiller à ce qu'elles aient une attitude positive envers le fonctionnement de ces dernières. Ce point est primordial car une attitude allant à l'encontre de la mise en place d'AMPs de la part de ces communautés, en particulier dans des régions où la surveillance en mer est insuffisante constitue un risque d'échec des objectifs de conservation (McMahon 2005 ; Arias et al., 2014).

(8) Optimiser les chances de conservation des dugongs en utilisant une approche de gestion 'adaptative' consistant à ce que les mesures de gestion prises soient fréquemment évaluées et modifiées si nécessaire.

Chapitre 4: Spatialisation des pressions directes exercées sur la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie



4.1 Introduction

Les dugongs sont des mammifères qui atteignent leur maturité sexuelle tardivement et qui se reproduisent très peu tout au long de leur vie. Par conséquent, leur survie, en particulier celle des adultes, est essentielle au maintien de la population (Marsh et al., 2011). L'identification et l'évaluation des menaces influant directement sur la survie des adultes constituent donc une priorité pour la conservation de l'espèce. Lorsque l'information spatiale sur la distribution des menaces anthropiques est disponible, l'exposition des dugongs aux menaces peut rapidement être évaluée dans un système d'information géographique (SIG) permettant ainsi l'identification des zones de conservation prioritaires. C'est l'approche que Grech et Marsh (2008) ont utilisée pour évaluer rapidement le risque encouru par les dugongs adultes de la grande barrière de corail australienne dans un contexte d'activités humaines multiples.

Bordin (2009) a listé les menaces exercées sur les dugongs en Nouvelle-Calédonie à partir d'entretiens conduits avec des responsables de l'environnement des provinces nord et sud. La chasse et les prises accidentelles de dugongs figurent parmi les menaces directes mais les données sur ces pressions sont disparates, fragmentaires ou indisponibles. Toutefois à l'appui des données acquises dans d'autres régions du monde sur l'impact des prises accidentelles de dugongs par les pêcheries, et vu l'importance des activités de pêche en Nouvelle-Calédonie il est raisonnable de penser que cette pression à un effet sur la population calédonienne de dugongs.

Malgré l'interdiction quasi-totale de prise de dugongs, le braconnage persiste en Nouvelle-Calédonie, en particulier dans les régions éloignées. Des entretiens menés en 2005 (Harris, 2005) en province nord et en 2006 (TNS 2005) en province sud montrent que, respectivement, 55% et 20% des ménages ont consommé de la viande de dugong dans l'année précédant l'interview, notamment pendant les repas de famille et les fêtes coutumières. Depuis ces entretiens, plusieurs éléments indiquent que le braconnage persiste (Membres du Groupe Technique du Plan d'Action Dugong 2010-2015). Il s'agit notamment, d'échouage de dugongs résultant de tentatives de braconnage et/ou des témoignages se référant à des actes de chasse (anonyme. com. pers.). Au cours de mon étude, j'ai moi-même été témoin de stockage de viande de dugong dans un congélateur.

Informations obtenues à l'issue des restitutions de septembre 2015

A l'issue des restitutions des résultats de la thèse, des discussions ont porté sur le braconnage notamment avec des pêcheurs professionnels (région Bourail, province sud) et gardes nature (Poya, province nord). Il apparaissait clairement pour ces personnes que la chasse au dugong persistait et était fréquente que ce soit en province sud ou en province nord.

Les collisions entre embarcations marines et dugongs sont également constatées en Nouvelle-Calédonie (ESCAL&A2EP 2011). Dans d'autres régions de l'aire de répartition du dugong -en Australie, Thaïlande, Malaisie - les collisions ont principalement lieu dans les zones urbanisées et portuaires (Marsh et al., 2011). La probabilité de collision entre un dugong et une embarcation est élevée dans les eaux peu profondes (typiquement < 5m) où la concentration de dugongs est forte (Maitland et al., 2006 ; Hodgson et Marsh 2007). Les données disponibles, bien que limitées, sur les circonstances de ce type d'accident, suggèrent que le risque de collision est positivement corrélé à la vitesse du navire et que les dugongs évitent plus facilement un navire qui ne déjauge pas qu'un engin rapide (Hodgson 2004). En Floride, la diminution de la vitesse des bateaux dans certaines régions a considérablement réduit le risque de collision avec les lamantins (Glaser et Reynolds 2003 ; Laist et Shaw 2006 ; Calleson et Frohlich 2007).

Des voies de transit maritime ou des zones de ralentissement sont ainsi utilisées pour réduire le risque de collisions entre embarcations et dugongs. Ces zones de ralentissement sont généralement mises en place dans des eaux peu profondes où les dugongs sont présents en forte concentration. En Nouvelle-Calédonie, les informations issues des échouages et celles recueillies par le biais de l'enquête sur les collisions nous ont permis de constater que de telles zones existent dans la région du Grand Nouméa mais qu'elles sont rares dans la région de Voh-Koné-Pouembout (ESCAL et A2EP2011 ; Claire Garrigue com. pers.).

Dans ce chapitre j'ai réalisé une évaluation spatiale du niveau d'exposition des dugongs à la chasse et aux prises accidentelles dans les filets de pêche à l'échelle de la Grande-Terre et des risques de collision pour la région de Nouméa.

4.2 Méthode

Pressions de chasse et de prises accidentelles dans les filets de pêche

En Nouvelle-Calédonie, il n'y a pas de données spatiales disponibles sur le taux et la fréquence de prise intentionnelle de dugongs. C'est pourquoi un jeu de données sur les pêcheries informelles utilisant des filets de pêche, disponible à l'échelle de la Grande-Terre, a été utilisé comme proxy. Nous faisons l'hypothèse qu'une rencontre opportuniste entre un dugong et un pêcheur peut se traduire par une tentative de chasse (province nord, com. pers.). En effet, on peut raisonnablement considérer que ces rencontres constituent, dans le contexte actuel, le meilleur indicateur de chasse aux dugongs et que la probabilité d'interaction entre un dugong et un pêcheur augmentera avec le nombre de dugongs et le nombre de pêcheurs présents dans une zone donnée.

Pour réaliser une évaluation rapide du niveau d'exposition des dugongs à des pressions potentielles de chasse ou de prises accidentelles dans les filets de pêche à l'échelle des lagons de la Grande-Terre, j'ai utilisé l'approche développée par Grech et Marsh (2008). Pour cela, j'ai utilisé le modèle spatial de répartition des différentes classes de densités relatives de dugongs développé dans le chapitre 3 et des données de pêche recueillies à partir d'entretiens menés à l'échelle de la Grande-Terre par une société d'audit, coordonnés par l'Agence des Aire Marines Protégées de Nouvelle-Calédonie et compilées par Pilcher et al. (2014) (voir Annexe F Figure F.2.). Pour faciliter l'analyse et son interprétation, j'ai fusionné les classes de fortes et très fortes densités relatives de dugongs. Les activités de pêche déclarées par les personnes interrogées ont été divisées en trois catégories en fonction de leur fréquence: faible niveau de pêche (pas de zone de pêche établie), niveau de pêche moyen (lorsque 1 à 3 zones de pêche se chevauchent), et pêche forte (lorsque 4 à 10 zones de pêche se chevauchent). La superposition entre le modèle spatial de répartition des différentes classes de densités relatives de dugongs et la couche des zones d'activité de pêche au filet a ensuite permis d'évaluer le niveau d'exposition des dugongs à la chasse et aux prises accidentelles dans les filets de pêche.

Pressions de collisions avec les embarcations marines

J'ai identifié les zones où les risques de collision entre embarcations et dugongs sont les plus élevés sur la base de deux critères: la densité relative de dugongs et la bathymétrie. L'analyse a été conduite dans deux régions où la circulation des bateaux est importante: la zone du grand

Nouméa et celle de Voh-Koné-Pouembout. Étant donné le manque d'information sur l'intensité du trafic maritime à des échelles spatiales appropriées (voir toutefois Jollit et al., 2010), j'ai supposé que l'activité nautique était constante dans ces deux régions. J'ai également considéré que la probabilité que les dugongs soient heurtés par des embarcations était plus forte dans les zones peu profondes (<5m à marée basse).

L'analyse exploratoire a révélé qu'aucune zone peu profonde ne chevauchait une zone à forte densité relative de dugongs dans la région Voh-Koné-Pouembout, ceci peut constituer une explication plausible à l'apparente absence de collision signalée dans cette région. L'analyse s'est donc focalisée sur la région du grand Nouméa pour laquelle j'ai superposé le modèle spatial de répartition des différentes classes de densités relatives de dugongs avec une couche bathymétrique (Lefevre et al., non-publié). Les zones peu profondes pour lesquelles les dugongs sont présents en fortes densités ont été retenues comme candidates pour des zones de ralentissement.

4.3 Résultats

Pressions de chasse et de prises accidentelles dans les filets de pêche

L'exposition des dugongs à la chasse et aux prises accidentelles dans les filets de pêche se produit principalement sur la côte ouest de la Grande-Terre dans les régions de Bourail-Poya, de Voh-Koné-Pouembout et de Koumac, de Nouméa, ainsi que dans plusieurs baies situées entre Boulouparis et Ouano (Figures 4.1 et 4.2). Sur la côte est, la seule zone de forte exposition des dugongs à la chasse et aux prises accidentelles dans les filets de pêche est située en face de Pouebo. Ces zones 'hot spots'doivent constituer les zones prioritaires pour les futures actions de conservation afin d'atténuer le risque de chasse et de prise accidentelle dans les filets de pêche. Cette évaluation pourra être affinée lorsque des informations supplémentaires seront disponibles sur ces menaces.

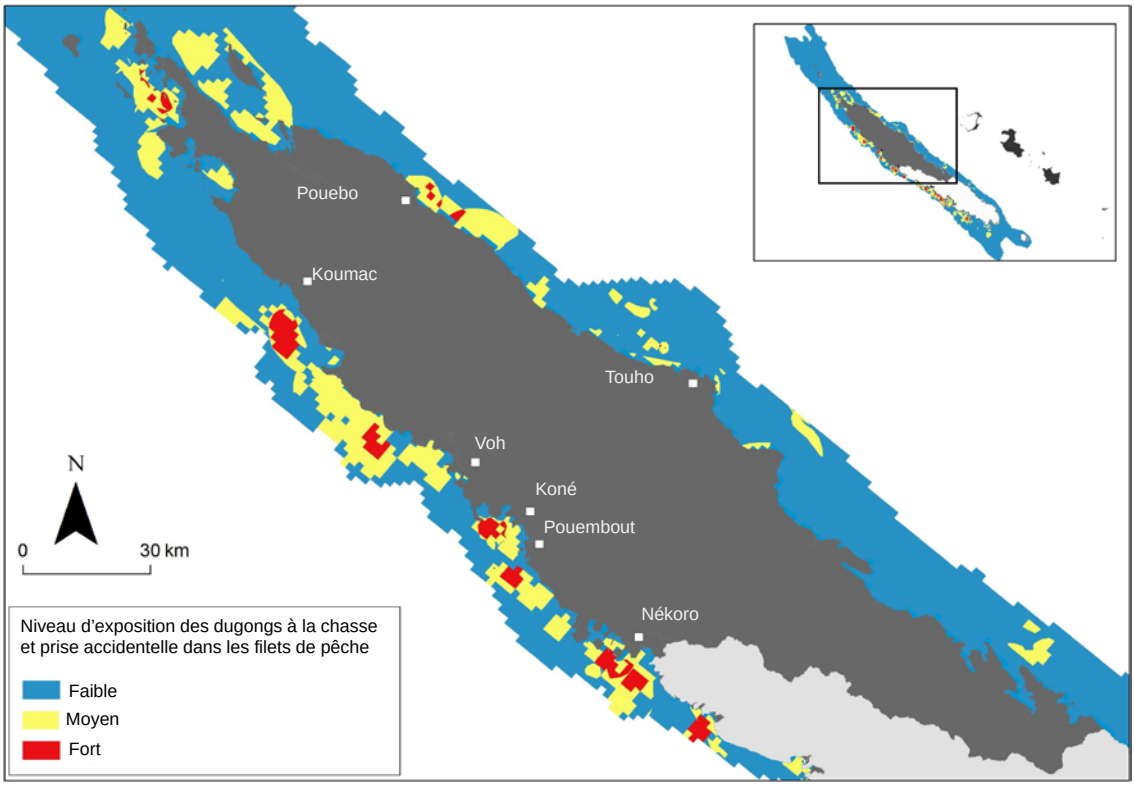


Figure 4.1: Évaluation spatiale du niveau d'exposition des dugongs à la chasse et aux prises accidentelles dans les filets de pêche en province nord. La représentation est faite par province pour mieux visualiser les differentes zones de couleur Comme expliqué tout au long de la thèse, la gestion des risques encourus par les dugongs doit être envisagée à plusieurs échelles spatiales, y compris l'échelle interprovinciale.

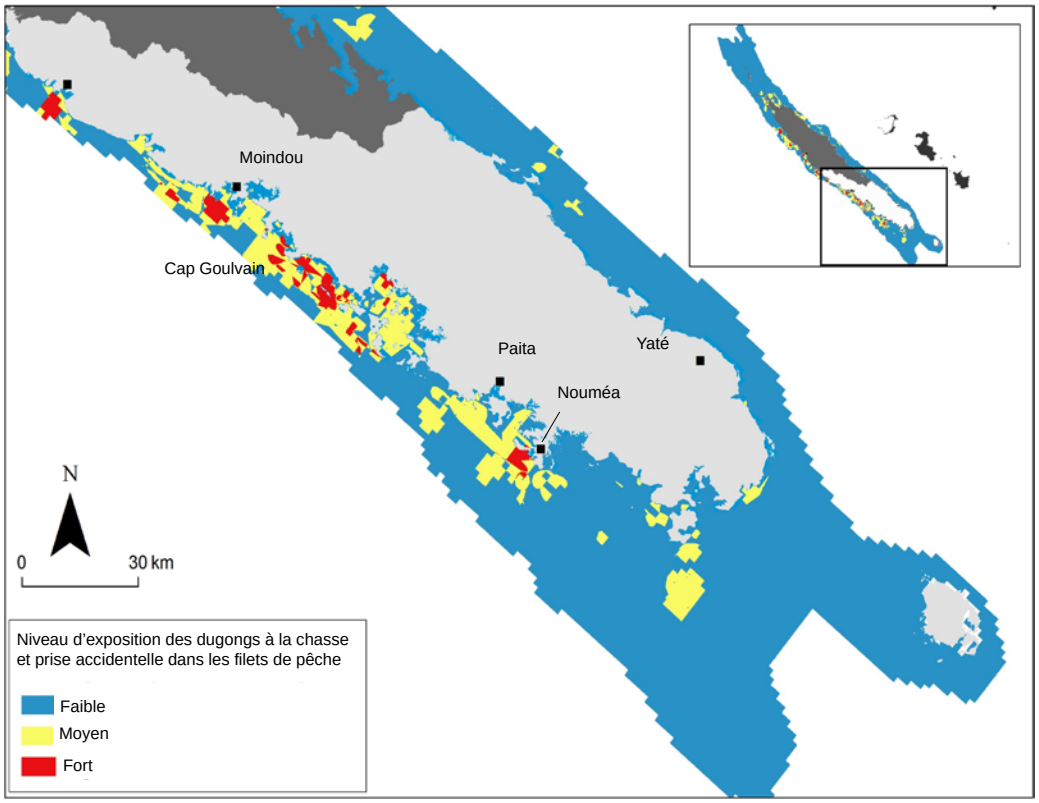


Figure 4.2: Évaluation spatiale du niveau d'exposition des dugongs à la chasse et aux prises accidentelles dans les filets de pêche en province sud. La représentation est faite par province pour des raisons de résolution de la carte. Comme expliqué tout au long de la thèse, la gestion des risques encourus par les dugongs doit être développée à plusieurs échelles spatiales, y compris l'échelle interprovinciale.

Pressions de collisions avec les embarcations

Trois zones candidates pour le ralentissement de la vitesse des embarcations ont été détectées. La première est adjacente à la ville de Nouméa ; la seconde se situe entre l'îlot Maître, Sèche Croissant, le récif de Larégnère et Larégnère ; et la troisième se trouve autour de l'îlot Mba au nord de Nouméa (Figure 4.3).

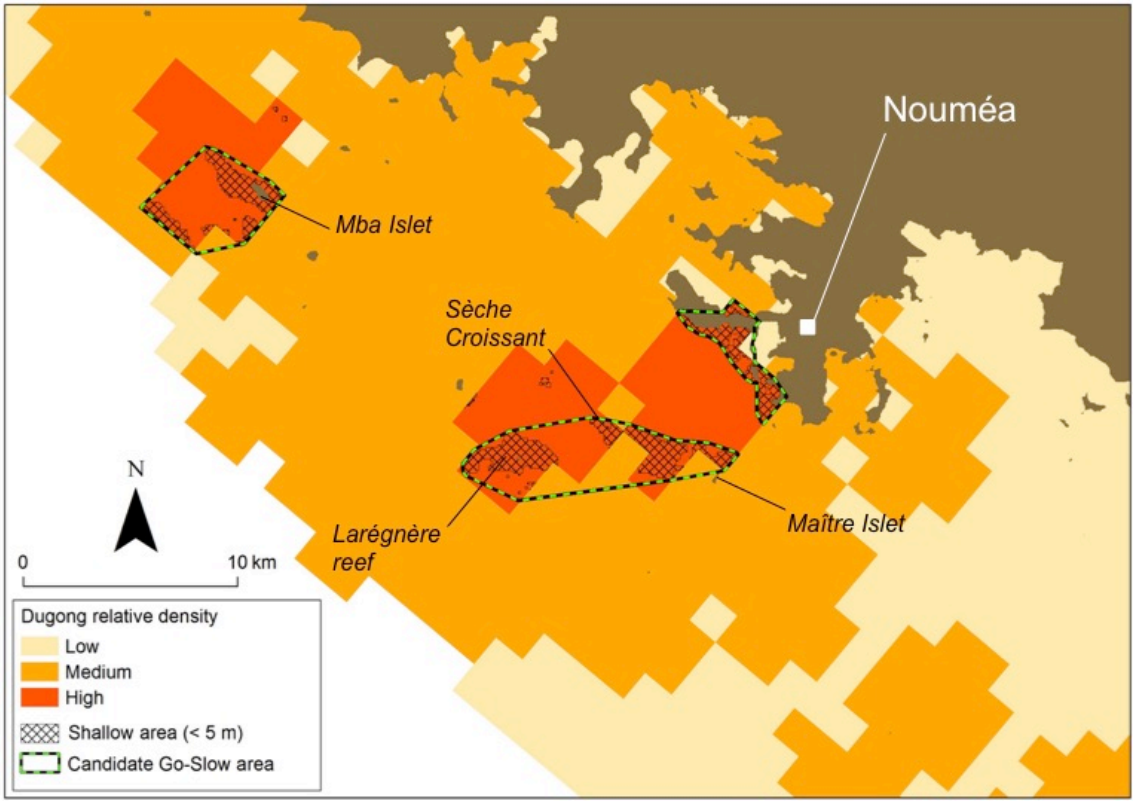


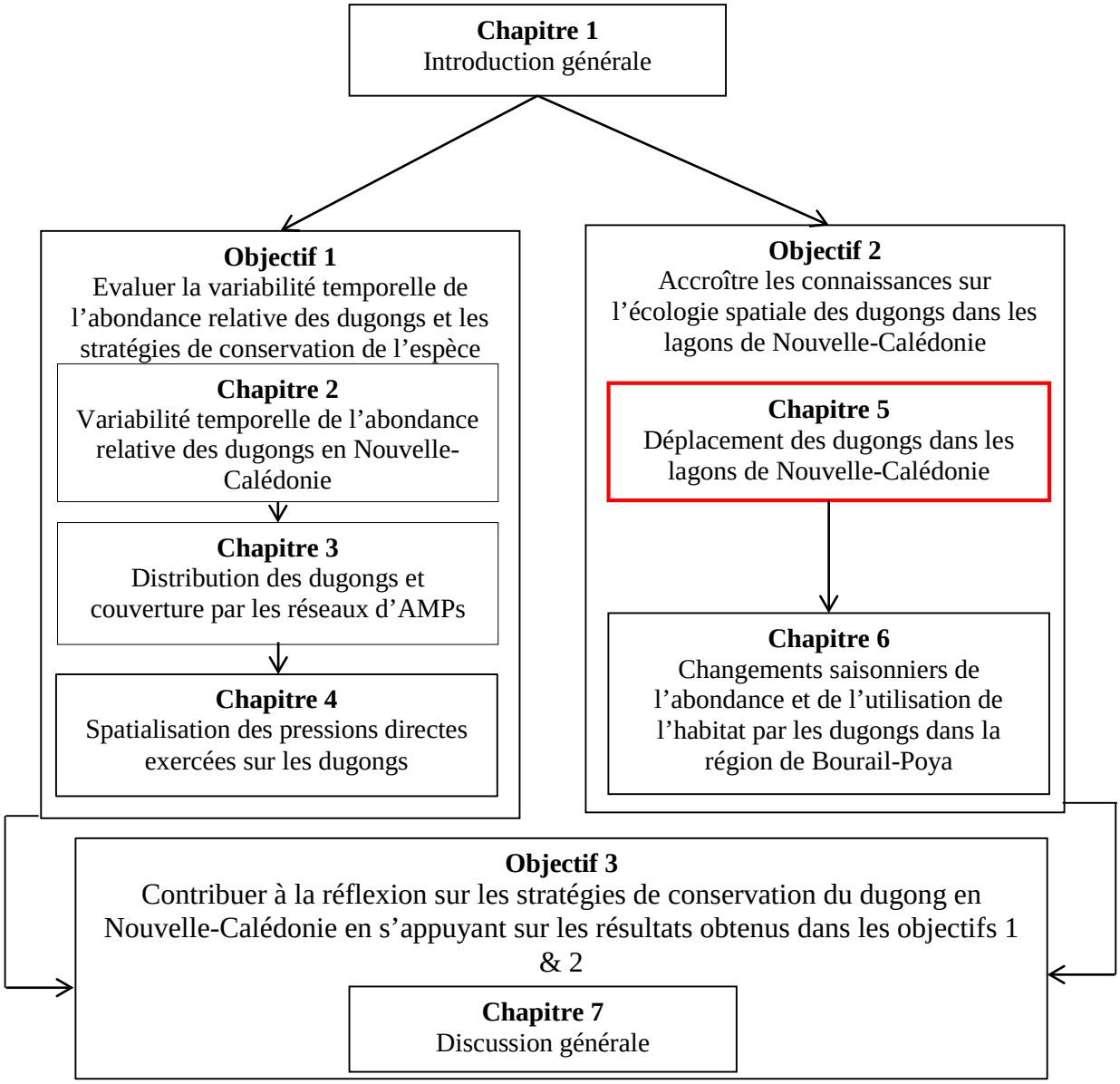
Figure 4.3: Zones proposées pour le ralentissement de la vitesse des embarcations dans l'objectif de réduire le risque de collision entre les embarcations et les dugongs dans la région du grand Nouméa.

4.4 Conclusion

L'étude présentée ci-dessus a permis d'identifier les zones où les dugongs sont susceptibles d'être exposés à des pressions de chasse et de prise dans les filets de pêche autour de la Grande-Terre. Les cartes présentées dans ce chapitre pourront servir d'outils décisionnels lors de la mise en place d'un plan d'action pour l'amélioration de la protection des dugongs. Il est cependant important de noter que les couches représentant ces pressions sont des proxies qui ont été utilisés pour pallier au manque de données disponibles sur ces pressions. Une étude ciblant ces deux pressions devrait être conduite dès que possible afin d'affiner l'analyse présentée ici.

Les collisions entre les embarcations et les dugongs sont une des causes reconnues de la mortalité des dugongs dans la région de Nouméa. La mise en place de zones de ralentissement telles que celles proposées dans ce chapitre permettrait déjà de réduire les risques de collision dans cette région.

Chapitre 5: Déplacement des dugongs dans les lagons de Nouvelle-Calédonie



5.1 Introduction

Obtenir des informations spatialement explicites sur les habitudes de déplacement d'espèces au statut de conservation préoccupant est crucial pour l'élaboration de stratégies de conservation et de gestion, y compris dans la conception d'aires marines protégées (AMPs) (Cañadas et al., 2005 ; Lovvorn et al., 2009 ; Hoyt 2012 ; Hussey et al., 2015). La compréhension de l'utilisation de l'espace par la mégafaune marine au sein d'environnements côtiers faisant face à des pressions anthropiques croissantes est essentielle à leur conservation. C'est notamment le cas pour le dugong.

Les informations acquises sur la manière dont les dugongs utilisent l'espace sont utilisées dans la mise en place de mesures de conservation et de gestion de l'espèce en Australie. Les connaissances des couloirs de déplacement et des aires préférentielles acquises par télémétrie ont permis la mise en place d'un zonage avec des réserves à vocation diverses dans la région du Great Sandy Strait dans l'état du Queensland (Sheppard 2008). Les informations obtenues ont montré que les dugongs effectuaient des déplacements saisonniers en dehors des réserves dans l'ouest de l'Australie (Holley 2006) et qu'ils utilisaient très peu le sanctuaire conçu spécifiquement pour leur protection dans le Détroit de Torres (Gredzens et al., 2014). Ces exemples soulignent l'importance de ce type de données, largement utilisées par les gestionnaires de ces régions, pour améliorer la protection des dugongs et de leur habitat.

L'analyse de l'abondance relative des dugongs en Nouvelle-Calédonie effectuée dans le chapitre 2 suggère que les dugongs ne se déplacent pas en masse entre les blocs de comptage mais il est possible que des mouvements existent à l'intérieur de ces blocs. Dans le chapitre 3, j'ai utilisé les données de comptages aériens pour modéliser la distribution des dugongs et leur densité relative autour de la Grande-Terre. Dans le présent chapitre, j'utilise la télémétrie satellitaire pour examiner l'ampleur et l'hétérogénéité de l'utilisation de l'espace par les dugongs dans les lagons. Ici, mes principaux objectifs de recherche étaient les suivants: (1) déterminer s'il existe des tendances de déplacement chez les dugongs ; (2) estimer la taille de leurs domaines vitaux et identifier leurs aires préférentielles ; et (3) identifier les couloirs de déplacement utilisés pour transiter d'une aire préférentielle à une autre. Les implications écologiques des résultats sont discutées et les implications de conservation et de gestion sont abordées dans la discussion générale.

5.2 Méthode

Sites d'étude

Douze dugongs ont été capturés dans trois régions différentes de la côte ouest de la Grande-Terre : sept vers Bourail-Poya, deux vers Ouano et trois vers Nouméa (Figure 5.1 et Tableau 5.1). Ces régions ont été choisies car les dugongs y sont abondants, ce qui souligne l'importance des enjeux de conservation mais augmente également les chances de capture. Les douze dugongs ont été équipés de balises satellitaires (une pour chaque individu), d'enregistreurs de plongée (TDR, une pour chaque individu) et de transmetteurs acoustiques (sur sept dugongs). Ces derniers n'ont été posés que sur les dugongs capturés vers Bourail-Poya car c'est dans cette région que des récepteurs acoustiques ont été déployés pour enregistrer les données de déplacement (voir « matériel de balisage » ci-dessous).

La région de Bourail-Poya est la plus reculée des trois. Située à environ 200km au nord de Nouméa, elle abrite les plus fortes densités de dugongs de Nouvelle-Calédonie (Cleguer et al., 2015 ; chapitre 3). Le lagon s'y étend sur environ quatre kilomètres de large. Il est peu profond (< 10m) au niveau du récif réticulé et dans les zones d'herbiers intertidaux, et plus profond (> 10m) dans les chenaux. Au nord de cette région, le lagon s'élargit atteignant 15km de large tandis qu'il se resserre vers le sud. La région de Ouano est située à mi-chemin entre celles de Bourail-Poya et Nouméa. Le lagon y mesure environ 10km de large et il est moins profond dans sa partie nord (en moyenne < 10m) que dans sa partie sud (en moyenne > 10m). Dans la région de Nouméa le lagon sud-ouest présente une forme d'entonnoir ; sa largeur varie de 40km au sud-est à environ 5km au nord-ouest et sa profondeur moyenne atteint environ 17m.

Capture et balisage des dugongs

Les autorisations nécessaires pour pouvoir capturer et baliser les 12 dugongs ont été sollicitées et obtenues auprès des services Provinciaux de Nouvelle-Calédonie d'une part et de l'Université de James Cook d'autre part (voir page ii).

La capture des dugongs, nécessaire pour le balisage, est particulièrement difficile. La méthode du rodéo a été utilisée pour approcher et immobiliser les dugongs (Lanyon et al. 2006). Elle est détaillée ci-dessous.

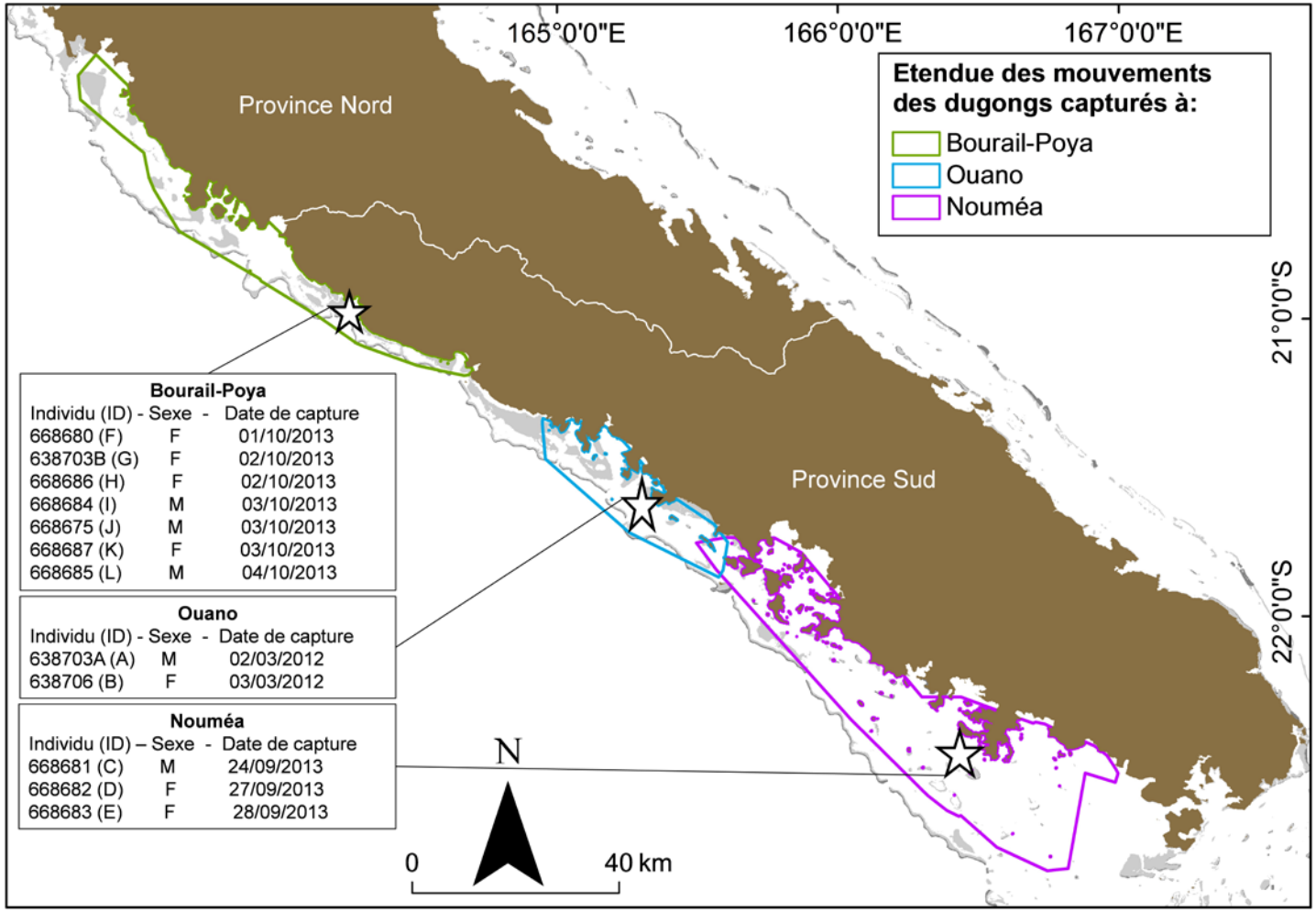


Figure 5.1: Sites d'étude, localisation des captures de dugongs (représenté par des étoiles) et représentation de l'étendue des mouvements des dugongs. Une lettre a été attribuée à chaque dugong pour faciliter la référence à chaque animal (voir également le Tableau 5.3).

Repérage

Pour repérer un dugong, tous les bateaux (voir détails des embarcations dans la partie « Embarcations et ULM » plus bas) avancent à une vitesse constante d'environ 10 nœuds et l'ensemble des personnes embarquées participent à la recherche des animaux.

L'utilisation d'un engin aérien facilite la surveillance rapide d'une large zone augmentant significativement les chances de repérer les dugongs. En dirigeant les embarcations vers un animal jusqu'à ce que le bateau établisse un contact visuel avec celui-ci, elle contribue à l'approche et à la capture des dugongs. La zone d'observation est déterminée par les équipes maritimes et aériennes en amont de chaque sortie. Le vol débute lorsque les bateaux sont à poste dans la zone d'observation prédéterminée. Lors de ce projet, un ULM a été utilisé avec un pilote placé du côté gauche de l'appareil et un observateur du côté droit. Ce dernier était chargé de repérer les dugongs, et de communiquer leur position par VHF à l'équipe en mer.

Poursuite

Dès qu'un animal est repéré, le bateau de poursuite (ici un jet-ski) tente de l'approcher pour le capturer (Figure 5.2A). Pour cela il est nécessaire d'accélérer car l'animal a tendance à fuir à l'approche d'une embarcation à moteur. Le pilote est aidé par le sauteur qui lui indique la trajectoire à suivre pour s'approcher de l'animal en toute sécurité, en pointant ce dernier du doigt. Le dugong est un animal puissant, particulièrement au niveau de sa nageoire caudale qui lui sert à se propulser. C'est pourquoi avant de tenter la capture, il est nécessaire de fatiguer l'animal et d'attendre qu'il ait effectué trois respirations minimum lors de sa remontée en surface. Lorsque le dugong est à portée de capture les sauteurs se jettent à l'eau et l'immobilise manuellement par la caudale puis au niveau des nageoires pectorales (Figure 5.2B-D). Dans le cas où l'animal s'approche de zones profondes, la capture peut être effectuée sans attendre trois respirations afin d'éviter de le perdre durant la poursuite

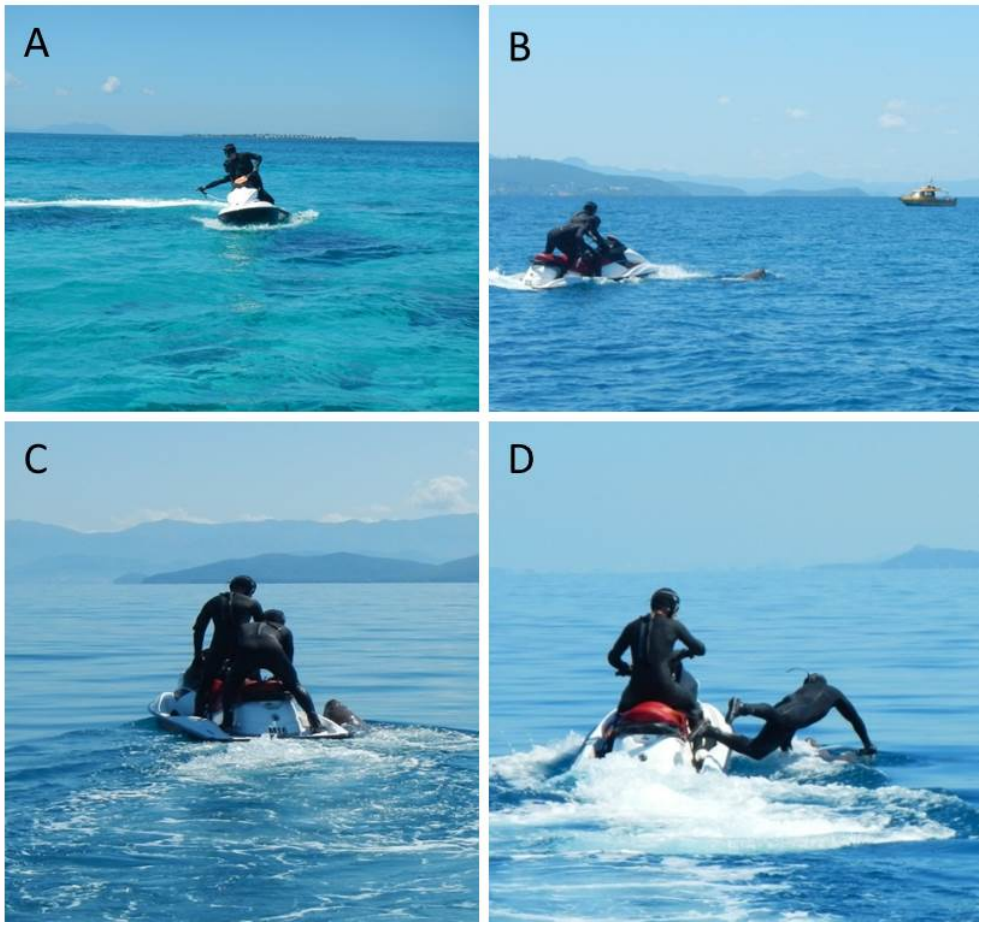


Figure 5.2: Utilisation d'un moto-marine pour l'approche et la capture de dugongs en Nouvelle-Calédonie: (A) des sauteurs principaux poursuivant un dugong en eau peu profonde, au-dessus d'un récif corallien, le sauteur principal assis à l'arrière de l'embarcation pointe du doigt l'animal pour éviter de le perdre de vue ; (B et C) approche à distance de capture ; (D) le sauteur principal tente une capture de l'animal.

Capture et sécurisation de l'animal

Une fois l'animal capturé, l'embarcation d'assistance s'approche. Une corde fixée à l'arrière de l'embarcation est attachée à la queue de l'animal qui est alors placé dans une civière fixée au bateau de manière à limiter ses mouvements tout en lui permettant de continuer à respirer normalement sans se blesser (Figure 5.3).



Figure 5.3: Dugong placé dans la civière fixée au bateau d'assistance.

Le balisage peut alors débuter. Les personnes présentes dans l'embarcation de sécurité restent en retrait, et s'assurent du bon déroulement de la manipulation. Lorsque l'eau peu profonde permet aux participants de se tenir debout sur le fond, il n'est pas nécessaire de sécuriser l'animal au bateau (Figure 5.4).



Figure 5.4: Dugong sécurisé sur le bateau d'assistance (© Patrice Plichon).

Mise en place de la balise

La balise est mise en marche et son état de fonctionnement est vérifié une dernière fois à l'aide du récepteur VHF portable grâce à la fréquence des bips sonores émis. La balise est fixée à un cordon de 3 mètres de long relié à une ceinture (Figure 5.5) qui est attachée autour du pédoncule caudal du dugong. Ce système permet à la balise de flotter à la surface lorsque l'animal se trouve dans des petits fonds augmentant ainsi la fréquence d'émission des signaux vers les

satellites. Par souci de sécurité il est prévu que le cordon puisse se rompre dans le cas où l'animal se trouverait immobilisé ; par exemple si le cordon se trouvait retenu dans les racines de palétuviers de la mangrove ou dans un récif corallien.

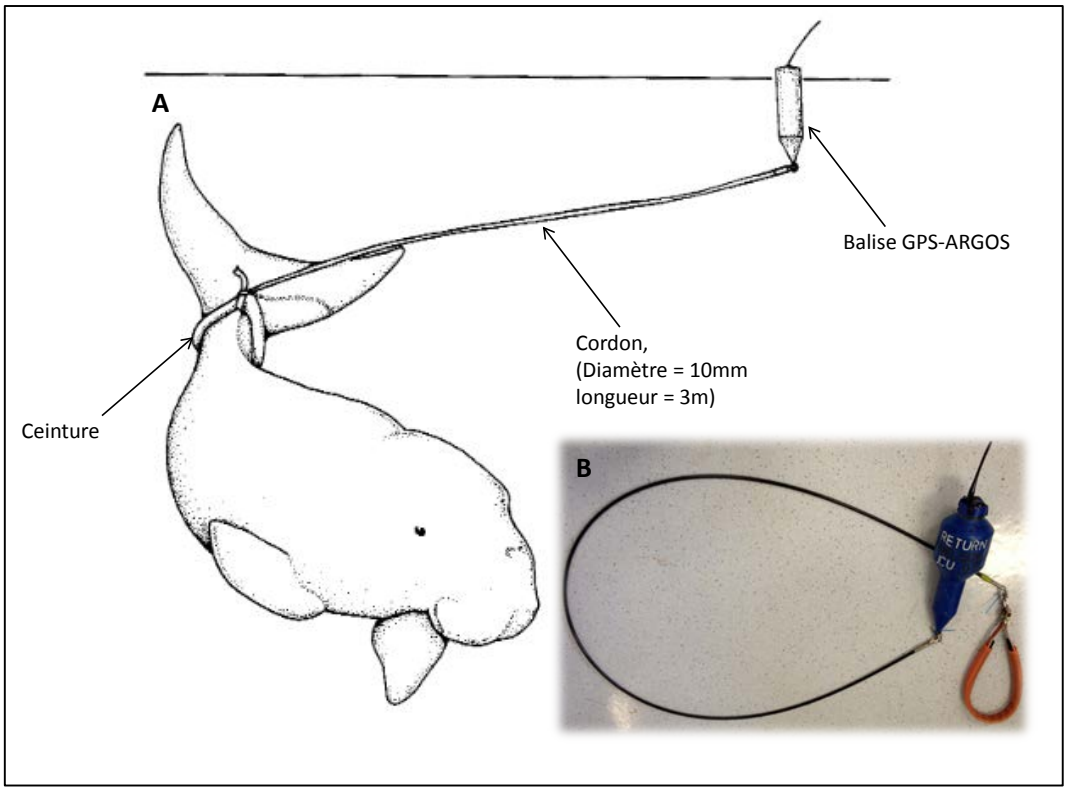


Figure 5.5: Représentation d'une balise GPS-ARGOS attachée à un dugong (A) ; (adapté de Marsh et Rathbun, 1990) et une photographie du système de balisage (B). Voir l'annexe B pour plus de détails sur la conception du système d'attache de la balise.

L'enregistreur de plongée (TDR) est fixé sur le cordon. Il se détache donc en même temps que la balise. Il doit être retrouvé pour collecter les données enregistrées. Le cordon portant l'enregistreur de plongée et relié à la balise satellite est fixé à la ceinture. La ceinture est attachée autour du pédoncule caudal (Figure 5.6).



Figure 5.6 : Fixation de la balise sur le dugong.

Pendant ce temps, la longueur totale l'animal est mesurée (Figure 5.7) ; son sexe est relevé (distance entre les fentes anale et génitale, présence de mamelles sous les pectorales, de défenses) et un échantillon de peau est prélevé pour analyses génétiques.



Figure 5.7 : Mesures du dugong.

Une fois l'ensemble ceinture-cordon-balise en place, la corde qui sécurise l'animal au niveau de la nageoire caudale est détachée. La civière est dégagée et le dugong est alors libéré (Figure 5.8 et 5.9).



Figure 5.8 : Libération du dugong (© Patrice Plichon).



Figure 5.9: Le dugong s'éloigne, équipé de la balise (en bleu).

Informations collectées durant la phase de terrain

Pour chaque dugong balisé au cours de la mission, les informations suivantes ont été relevées :

- ✓ La date ;
- ✓ L'heure de repérage ;
- ✓ L‘heure de la capture ;
- ✓ L'heure de la sécurisation ;
- ✓ L'heure de libération de l'animal ;
- ✓ Les coordonnées géographiques de la capture (la latitude et la longitude relevées sur un GPS en degré, et minutes décimales en WGS84) ;
- ✓ Le numéro de la ceinture posée sur le pédoncule caudal du dugong ;
- ✓ Le numéro de la balise satellitaire-GPS ;
- ✓ Le numéro du TDR ;
- ✓ Le numéro de la balise acoustique ;
- ✓ La taille ;
- ✓ Le sexe ;
- ✓ La présence éventuelle de mamelles ;
- ✓ La présence éventuelle de dents (défenses) ;
- ✓ Le numéro de la biopsie.

Les trajets parcourus au cours des sorties en mer ont été enregistrés à l’aide de GPS (degré, minute, centième). Les positions ont ensuite été cartographiées à l’aide du programme ArcMap (ArcGIS 10). Les trajets sont disponibles dans les rapports de mission (Garrigue et Cleguer 2013, Cleguer et al., 2012).

Embarcations et ULM

Deux embarcations rigides équipées de moteurs hors-bords, un jet ski et un ULM ont été utilisées pour le balisage (Tableau 5.1).

Tableau 5.1 : Type d'embarcation utilisée par région.

Lieu	Type d'embarcations - Affiliation
Nouméa	Plate – IRD Bateau –Smartwave (QualityBoats) Jet-ski– Loca Jet ULM –Centre ULM Nakutakoin
Bourail-Poya	Plate – Service environnement province nord Plate – IRD Jet ski – Loca Jet ULM – SARL Air Passion
Ouano	Plate – IRD Plate – Lucky Fogliani Jet-ski– Province sud ULM –Centre ULM du Cap

Matériel de balisage

Le matériel nécessaire au repérage, à l'approche, à la capture et au balisage d'un dugong est détaillé dans le Tableau 5.2.

Tableau 5.2 : Matériel nécessaire à l'ensemble du processus de balisage d'un dugong.

Activité	Matériel
Approche, repérage et capture	
Communiquer	VHF portables
Localiser les lieux de capture et les déplacements des bateaux	GPS portables
Protéger les sauteurs	Combinaisons, casques
Maintenir le dugong près du bateau	Corde, mousquetons, flotteurs en polystyrène, civière
Sécuriser les déplacements en mer	Balises de détresse, gilets de sauvetage
Déployer le traceur	Attache rapide, cordon, bouée flottante, lance
Libération du traceur	Xylocaïne, seringue 5ml, pince, cutter
Balisage	

Poser une balise satellitaire et un enregistreur de profondeur	Balise TMT 462 GPS/ARGOS et enregistreur de profondeur MK9
Poser une balise une balise acoustique	Balise acoustique V16
Attacher la balise à la queue de l'animal	'Tether' (cordon spécial de 3m de long, Figure 1), tube chirurgicale
Fixer le cordon à la queue de l'animal	Clefs à pipe
Suivi post-balisage	
Suivre le déplacement / récupérer les balises	Récepteur VHF, antenne de réception
Mesures et biopsie	
Relever la longueur et le tour de taille de l'animal	Décamètre
Prélever un échantillon de peau	Kit génétique (gants latex, scalpel, coupe cors, tubes eppendorfs, solution d'éthanol à 70%)

Les balises utilisées au cours de la mission sont des Gen4 développées par la société Telonics (USA, Figure 5.5). Chaque balise comprend un émetteur satellitaire, un GPS et un émetteur VHF. L'émetteur satellitaire permet la géo-localisation de l'animal par effet doppler. Les satellites transmettent les données au centre Argos qui les restituent à leur propriétaire. Le temps de transmission du GPS est compris entre 30 et 90 secondes en supposant un ciel dégagé (Telonics 2013). La précision du GPS est de 2-10m. Le système Gen4 est également doté de la technologie d'acquisition rapide de position intitulé 'Quick FixPseudoranging' (QFP) qui a été développée notamment pour le suivi de mammifères marins car certaines espèces restent trop peu de temps en surface pour que les GPS standards puissent acquérir un positionnement. La technologie QFP permet d'obtenir une position en moins de 3 secondes après l'arrivée de la balise en surface. Les positions QFP sont classées en trois catégories de précision de localisation: QFP-résolu, QFP-incertaine, et QFP-non-résolu. Telonics (2012) stipule que 98.4% des positions de QFP-résolues sont comprises dans une zone de 30m autour de la position réelle, tandis que les positions QFP-incertaines se trouvent dans les 75m, et les positions de QFP-non-résolues sont à plus de 100m.

Des enregistreurs de plongée (TDRs, Wildlife Computers, USA) ont également été déployés. Ils permettent d'acquérir des mesures de pression de l'eau toutes les 2 secondes pour déterminer la profondeur à laquelle se trouve l'animal. Les données sont archivées dans l'enregistreur qui doit donc être récupéré pour les obtenir. Ces données n'ont pas été utilisées dans la thèse ; elles sont actuellement en cours d'analyse par le Dr. Rie Hagihara.

Les balises acoustiques (Société Vemco, Canada) émettent des bips sonores à des fréquences irrégulières et supérieures à un signal par minute. Les signaux sont captés par des récepteurs acoustiques lorsque les animaux passent dans un rayon d'environ 400m de celui-ci. Les données sont archivées dans les récepteurs immergés qui doivent donc être relevés régulièrement. Elles n'ont pas été utilisées dans la thèse. Elles sont actuellement analysées dans le cadre d'une collaboration entre l'aquarium des lagons, l'université de James Cook et Opération Cétacés.

Traitement des données

Toutes les données brutes sont transmises par les balises au réseau ARGOS (Argos-system.org), puis téléchargées et décryptées via le logiciel fourni par le fabricant (Telonics Data Converter). Ensuite, les données sont converties dans le système de projection Universal Transverse Mercator (UTM) 58S. Les données acquises avant la capture de chaque dugong (lorsque la balise se trouve sur le bateau) et après le détachement des balises sont supprimées. Le détachement d'un émetteur est détecté par: (1) la fréquence constante de transmission de données GPS, et (2) le type de déplacement de la balise. Un déplacement constant et suivant le rythme des marées signifie que la balise dérive tandis qu'un positionnement fixe indique que l'émetteur est retenu par un obstacle (type rocher ou récif corallien).

La technologie QFP étant relativement nouvelle, des techniques de filtrages des données ont dû être développées pour s'assurer de la fiabilité et de la précision des positions acquises. Comme l'analyse décrite plus bas nécessite une précision élevée, les données ont tout d'abord été filtrées selon les trois catégories de précision décrites plus haut et seules les données appartenant aux catégories GPS et QFP-résolu ont été retenues afin de maintenir une précision du jeu de données à 30m. Une deuxième étape de filtrage a ensuite permis d'éliminer les données aberrantes ; il s'agit:

(1) *Des erreurs de vitesse:* les points indiquant une vitesse de déplacement > 10km/h ont été supprimés (vitesse maximale de déplacement d'un dugong selon Marsh et al., 1981) ;

(2) *Des doublons temporels:* lorsque deux points ont été obtenus au même moment, celui présentant la meilleure classe de précision a été retenu ;

(3) *Des points à terre:* les points localisés à plus de 30m à l'intérieur des terres (estimation de l'erreur des données QFP) ont été supprimés.

Après filtrage de l'ensemble du jeu de données, les points de localisation de chaque dugong balisé ont été standardisés en regardant les localisations restantes dans des cycles de 1h et en

sélectionnant le point le plus précis au sein de chaque cycle. Le point retenu correspond alors à celui qui:

(1) Détient la meilleure qualité de liaison satellite (nombre de satellites utilisés pour calculer une position) ;
(2) Lorsque plusieurs points sont de même qualité, le point ayant la plus faible erreur de positionnement est retenu. Lorsque plusieurs points ont la même erreur de positionnement, le point le plus proche du temps médian de localisation dans chaque cycle est retenu.

Un cycle de 1h a été choisi afin de retenir un maximum de points tout en minimisant les différences du nombre de points collectés par jour entre les animaux. Ces cycles permettent également de réduire les effets d'autocorrélation et les effets de différences de performance entre émetteurs. Cette étape est nécessaire pour éviter que les différences de taille des échantillons (nombre de points de localisation) n'affectent de manière significative les estimations des domaines vitaux (Boyle et al., 2009).

Analyse

Les données issues de tous les dugongs balisés ont été utilisées pour mesurer la durée de suivi des déplacements et pour explorer l'étendue des mouvements des dugongs. Les données de trois des dugongs balisés ont ensuite été exclues des analyses s'intéressant au domaine vital et aux aires préférentielles car les émetteurs GPS sont restés en place pendant trop peu de temps (moins d'une semaine) pour permettre une analyse robuste (Tableau 5.4).

Etendue des mouvements

Dans chaque site d'étude, l'étendue des mouvements des dugongs a été calculée à l'aide de l'outil 'Minimum Bounding Geometry' de ArcGIS 10.2 (ESRI, 2013) qui permet de définir les polygones convexes minimum (MCP) recouvrant l'ensemble de la zone où les animaux se sont déplacés.

La distance maximale d'un dugong à son lieu de capture a ensuite été déterminée par la méthode du 'Least-cost Path Analysis' dans ArcGIS 10.2.

Domaines vitaux et aires préférentielles

Le domaine vital correspond à la surface traversée par l'individu pendant ses activités normales de recherche de nourriture, de reproduction et de soin aux jeunes (Burt 1943). L'estimation du

domaine vital consiste à quantifier l'importance de différentes zones pour l'animal. On utilise pour cela une une fonction de densité appelée Distribution d'Utilisation (ci-après UD) correspondant à la probabilité de distribution des positions d'un animal dans l'espace.

On considère le domaine vital comme étant la plus petite aire où l'animal passe 95% de son temps. L'utilisation du seuil de 95% pour définir le domaine vital est en accord avec le seuil de probabilité communément admis pour valider statistiquement une hypothèse. Dans la présente étude, j'ai utilisé ce seuil de 95% de temps passé dans une zone pour définir le domaine vital (95% UD) (Worton 1989), et le seuil de 50% (50% d'UD) pour obtenir les aires que je nommerai "aires préférentielles" dans le reste de ce document. Cette analyse s'est faite à une résolution de 30m (précision du jeu de données retenu). Plusieurs paramètres de lissage ont été testés, y compris la méthode des moindres carrés par validation croisée (LSCV), lissage par validation croisée (SCV), biais de validation croisée (BCV) et probabilité de validation croisée (CVH). A la suite des analyses exploratoires, la méthode de CVH a été retenue comme paramètre de lissage car elle s'est avérée être la plus pertinente au plan biologique pour l'ensemble du jeu de données. De plus, elle est cohérente avec d'autres analyses récentes de domaines vitaux de dugongs (Gredzens et al 2014 ; Zeh et al 2015). Les tailles des domaines vitaux et des aires préférentielles des neuf dugongs balisés retenus pour cette analyse ont été calculées dans ArcMap 10.2 à partir des polygones de contours de kernel à 95% et 50% d'UD obtenus à l'aide du logiciel Geospatial Modelling Environment (GME ; Beyer, 2012). Les sections de polygones chevauchant les terres ont été effacées avant que la taille de chaque polygone n'ait été calculée.

Comparaisons de l'usage journalier des domaines vitaux et des aires préférentielles

J'ai calculé les domaines vitaux et aires préférentielles diurnes et nocturnes pour chaque dugong en séparant les positions acquises le jour (de 6h à 18h) et la nuit (de 18h à 6h). La comparaison des domaines vitaux et des aires préférentielles utilisés le jour et la nuit a été réalisée pour chaque dugong: (1) en calculant et en comparant les tailles des domaines vitaux et des aires préférentielles ; (2) en mesurant le degré de chevauchement des domaines vitaux et des aires préférentielles pour chaque individu à l'aide d'un Indice de chevauchement de Distribution d'utilisation: UDOI (Fieberg et Kochanny 2005). Les calculs de l'UDOI ont été effectués avec le logiciel R (R Development Core Team 2010) en utilisant le paquet 'adehabitatHR' (Calenge et Calenge 2015). Cet indice est égal à zéro lorsque les domaines vitaux ne se chevauchent pas. Il est égal à 1 lorsque les domaines vitaux se recouvrent totalement et sont uniformément répartis. Un UDOI peut prendre une valeur supérieure à 1 lorsque les domaines vitaux comparés sont

non-uniformément répartis et ont un degré élevé de chevauchement (Fieberg et Kochanny 2005).

Utilisation des herbiers et de la bathymétrie

Un modèle bathymétrique avec une résolution de 100m généré par Lefèvre et al. (Institut de Recherche pour le Développement ; 2013 non-publié) a été utilisé pour déterminer les tranches bathymétriques utilisées par chaque dugong balisé. Les profondeurs ont été reclassées par classe de profondeur de 5m et le modèle converti du format raster au format vecteur pour permettre une superposition avec les polygones des domaines vitaux et des aires préférentielles (également au format vecteur). La superficie du domaine vital et de l'aire préférentielle de chaque dugong a été calculée pour chaque classe de profondeur.

Un seul jeu de données d'herbiers marins sous forme de couche cartographique géo référencée est disponible à une échelle spatiale compatible avec les déplacements des dugongs. Cette couche représente l'étendue maximale des herbiers marins peu profonds (< 5m) ; elle a été générée à partir d'images Landsat (Andréfouët et al., 2010). Je l'ai utilisée pour identifier les zones de chevauchement entre ces herbiers et le domaine vital ainsi que l'aire préférentielle de chaque dugong balisé. Il est important de signaler que les dugongs peuvent utiliser des herbiers marins n'ayant pas été identifiés dans cette couche qui est limité aux herbiers présents dans les faibles profondeurs (< 5m).

Utilisation des Aires Marines Protégées

Une couche de SIG comprenant toutes les AMPs en place en Nouvelle-Calédonie a été intégrée dans ArcGIS. Elle a été superposée avec les positions de chaque dugong balisé. Le pourcentage de positions situées dans chaque type d'AMP a ensuite été calculé afin d'obtenir une indication du temps passé par chaque dugong au sein de ces AMPs.

5.3 Résultats

Capture et balisage des dugongs

Sur les 12 animaux capturés et balisés, sept étaient des femelles et cinq étaient des mâles. La taille des individus balisés varie de 2,15 à 2,90m avec une moyenne de 2,52m, ± SE = 0,07m (Tableau 5.3). Aucune différence statistiquement significative n'a été mise en évidence entre la taille des mâles et celle des femelles (test indépendant T: p = 0,13).

Le temps moyen entre le début de la poursuite et la libération des 12 dugongs a été de 15 min 44 s (temps minimum = 7 min, temps maximum = 44 min ; Tableau 5.3). Le temps maximum reflète les circonstances dans lesquelles l'individu D a été capturé. Ce dugong, aperçu dans des eaux profondes (> 10m) mais claires de Nouméa, n'a pas tenté de fuir la moto-marine lors de la phase d'approche et ne s'est donc pas fatigué. La capture de ce dugong s'est donc avérée très difficile et a demandé plus de temps pour être effectuée en toute sécurité.

Positions filtrées

Au total, 6241 positions sur 16262 ont été retenues pour l'analyse. Ce nombre varie entre 33 et 2720 par individu. Une moyenne de 14 positions filtrées a été obtenue par dugong et par jour (± SE = 0,94 ; Tableau 5.4). La variabilité inter-individu du nombre de positions est faible au sein de chaque site d'étude. Elle varie entre 16 et 21 positions par individu à Ouano, 11 et 13 à Nouméa et entre 10 et 16 dans la région de Bourail-Poya. Le nombre de positions est réparti de façon homogène entre le jour (48% des positions obtenues entre 6h et 18h) et la nuit (52% des positions obtenues entre 18h et 6h) tout au long de la période de suivi des dugongs (Tableau 5.4).

Durée du suivi et distance au lieu de capture

La durée au cours de laquelle les dugongs ont été suivis grâce aux balises s'étale entre trois et 192 jours (moyenne = 3,9 jours, médiane = 18 jours, ±SE = 15,31 jours, n = 12 individus ; Tableau 5.4). L'étendue des mouvements des 12 dugongs balisés reflète l'orientation sud-est/nord-ouest de la Grande Terre et la largeur des lagons (Figure 5.1). Les mouvements des sept dugongs capturés dans la région de Bourail-Poya s'étalent sur environ 100km. Ils s'étendent de la baie de Koné à celle de Bourail (Figures 5.1 et 5.10). Les mouvements des deux dugongs capturés près de Ouano s'étendent sur 46km entre Moindou et le nord de l'îlot Ténia (Figures5.1 et 5.11). Un chevauchement de l'étendue des mouvements des dugongs balisés à Ouano et à Nouméa a été détecté près de l'îlot Ténia (Figure 5.1). Les mouvements des dugongs balisés à proximité de Nouméa s'étendent jusqu'à l'îlot Rédika situé à 25km au sud de Nouméa (Figures 5.1 et 5.12).

Les dugongs se sont déplacés à une distance maximale moyenne de 37,7km (± SE = 5,2) de leur lieu de capture (fourchette: 13,8km à 72,9km ; Tableau 5.5). La distance maximale parcourue par un dugong n'est pas significativement corrélée avec la durée du suivi (coefficient de corrélation de Pearson=-0,14). L'individu I balisé dans la région de Bourail-Poya est celui qui s'est déplacé le plus loin de son lieu de capture (Figure 5.10Aet Tableau 5.5), parcourant 73km au nord de la région de Bourail-Poya pour se rendre sur le plateau de Koniène en province nord.

En revanche l'individu H a effectué la plus courte distance, restant entre le Cap Goulvain et la passe de Poya à 14km de son lieu de capture (Figure 5.10B et Tableau 5.5).

Tableau 5.3: Informations relatives aux dugongs équipés de balises GPS-ARGOS en 2012 et 2013 en Nouvelle-Calédonie. Une lettre d'identité a été attribuée à chaque dugong pour faciliter leur les références aux animaux dans le texte.

Site d'étude	Numéro du transmetteur	Identification	Position de la capture (Lat/Lon en degrés décimaux)	Date de balisage	Sexe	Taille (m)	Heure de repérage	Heure de capture	Heure de libération	Temps entre le début d'approche et la libération	Durée de la capture
Ouano	638703A	A	-21,82 / 165,8	2/03/2012	Mâle	2,7	na	na	na	na	0:20:00
	638706	B	-21,78 / 165,66	3/03/2012	Femelle	2,3	na	na	na	na	0:12:00
Nouméa	668681	C	-22,29 / 166,47	24/09/2013	Mâle	2,5	14:24:00	14:26:00	14:36:00	00:12:00	0:10:00
	668682	D	-22,32 / 166,37	27/09/2013	Femelle	2,8	9:16:00	9:51:00	10:00:00	00:44:00	0:09:00
	668683	E	-22,33 / 166,38	28/09/2013	Femelle	2,6	11:37:00	11:40:00	11:44:00	00:07:00	0:04:00
Bourail-Poya	668680	F	-21,52 / 165,2	1/10/2013	Femelle	2,7	10:55:00	11:18:00	11:28:00	00:33:00	0:10:00
	638703B	G	-21,51 / 165,18	2/10/2013	Femelle	2,9	8:53:37	8:54:21	9:02:00	00:08:23	0:07:39
	668686	H	-21,51 / 165,17	2/10/2013	Femelle	2,3	8:49:10	8:49:20	8:57:23	00:08:13	0:08:03
	668684	I	-21,52 / 165,22	3/10/2013	Mâle	2,2	9:09:09	9:13:34	9:18:31	00:09:22	0:04:57

	668675	J	-21,51 / 165,21	3/10/2013	Mâle	2,4	7:57:09	8:02:50	8:08:30	00:11:21	0:05:40
	668687	K	-21,53 / 165,19	3/10/2013	Femelle	2,7	8:34:35	8:35:16	8:41:51	00:07:16	0:06:35
	668685	L	-21,53 / 165,22	4/10/2013	Mâle	2,3	9:25:00	9:34:40	9:41:44	00:16:44	0:07:04

Tableau 5.4: Temps de suivi, détails sur les positions et sur le domaine vital ainsi que l'aire préférentielle de chaque dugong balisé en Nouvelle-Calédonie. Une valeur d'indice de chevauchement (UDOI) ≥ 1 signifie qu'il y existe un degré élevé de chevauchement du domaine vital ou de l'aire préférentielle d'un dugong entre le jour et la nuit (voir également la Figure 4.11). Les tailles du domaine vital, de l'aire préférentielle et l'UDOI ont été calculées pour les dugongs suivis pendant plus de sept jours. Le terme 'nd' représente donc les dugongs pour lesquels ses valeurs n'ont pas été calculées. Le terme 'UD' correspond à la distribution de l'utilisation (voir 'comparaison de l'usage journalier des domaines vitaux et des aires préférentielles').

Site d'étude	Indentification	Durée du suivi (jour)	Nombre de points positions retenues	Nombre moyen de positions retenues par jour	Nombre de positions diurnes (6h-18h)	Nombre de positions nocturnes (18h-6h)	Taille du domaine vital (95% d'UD/km^2)	Aire préférentielle (50% d'UD/km^2)	Indice de chevauchement (UDOI)
Ouano	A	26	535	21	252	283	45,60	5,00	1,37
	B	21	356	16	152	204	117,40	17,40	1,46
Nouméa	C	3	33	11	15	18	nd	nd	nd
	D	13	156	12	83	73	455,80	47,20	1,25
	E	40	505	13	242	263	250,30	12,30	2,02
Bourail-Poya	F	12	137	11	74	63	206,00	42,60	1,20
	G	7	67	10	34	33	nd	nd	nd
	H	20	261	13	132	129	74,10	12,60	0,91
	I	16	191	13	102	89	82,10	3,90	4,66
	J	76	1223	16	582	641	12,80	1,00	1,88
	K	5	57	11	32	25	nd	nd	nd
	L	192	2720	16	1305	1415	12,40	2,30	1,18

Tableau 5.5: Analyse de la distance et des caractéristiques des mouvements des 12 dugongs balisés en Nouvelle-Calédonie. Chaque individu (sauf C suivi pendant trois jours seulement) est retourné sur son lieu de capture après s'en être éloigné. Aucun dugong ne s'est éloigné à plus de huit kilomètres de la côte. Les dugongs J, K, L, ont utilisé l'extérieur du Récif-barrière avant d'effectuer de courtes visites à 20km au sud de la baie de Bourail.

Site d'étude	Indentification	Distance maximale au lieu de capture (km)	Distance à la côte (km)			Dugong retournant à son lieu de capture après un déplacement	Commentaire
			min	max	moyenne (± SD)		
Ouano	A	28,08	0,02	3,90	0,89 (0,60)	Oui	-
	B	38,59	0,01	6,25	1,59 (1,47)	Oui	Etendue de déplacement chevauchant celle de l'individu E
Nouméa	C	25,04	0,04	2,59	0,53 (0,53)	No	-
	D	31,82	0,09	6,77	1,81 (1,51)	Oui	-
	E	67,99	0,00	5,12	1,21 (1,09)	Oui	Etendue de déplacement chevauchant celle de l'individu B
Bourail-Poya	F	49,69	0,07	6,35	2,74 (1,42)	Oui	Déplacement traversant les limites administratives
	G	41,13	0,07	5,44	2,25 (1,33)	Oui	Déplacement traversant les limites administratives & utilisation de la pente externe du récif-barrière

Site d'étude	Indentification	Distance maximale au lieu de capture (km)	Distance à la côte (km)			Dugong retournant à son lieu de capture après un déplacement	Commentaire
			min	max	moyenne (± SD)		
	H	13,78	0,03	5,49	1,74 (1,31)	Oui	-
	I	72,86	0,05	7,78	1,13 (1,65)	Oui	Déplacement traversant les limites administratives
	J	19,21	0,07	5,16	1,06 (0,61)	Oui	Utilisation de la pente externe du récif-barrière
	K	32,94	0,68	5,60	2,28 (0,90)	Oui	Utilisation de la pente externe du récif-barrière
	L	31,72	0,00	4,56	0,49 (0,44)	Oui	Utilisation de la pente externe du récif-barrière

Description des déplacements, du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs

Bourail-Poya

Les sept dugongs balisés dans la région de Bourail-Poya ont des déplacements individuels ce qui signifie qu'ils se déplacent différemment les uns des autres (Figure 5.10A, C). Trois dugongs (F, H et I) se sont déplacés vers le nord (Figure 5.10A, B), tandis que les individus J, K et L, ont passé leur temps entre leurs lieux de capture et la baie de Bourail située à environ 20km au sud (Figure 5.10C). Les individus J, K et L se sont déplacés du Cap Goulvain à la baie de Bourail en suivant la pente externe du récif-barrière sans marquer d'arrêt.

Les données issues des déplacements de cinq des sept dugongs balisés ont été utilisées pour calculer le domaine vital et l'aire préférentielle qui s'avèrent relativement restreints pour quatre d'entre eux (H, I, J, L). En effet, leur domaine vital variait de 12,4 à 82,1km^2 (médiane = 43,5km^2 ; Figure 5.13 et Tableau 5.4) et leurs aires préférentielles recouvraient 1 à 12,6km^2 (Figures 4.4E et 4.7). Pour le cinquième animal (I) une superficie sensiblement plus large définissait son domaine vital (206km^2) et son aire préférentielle (6km^2) (Tableau 5.4). Les zones les plus utilisées se situent entre le Cap Goulvain et la passe de Poya, autour de la passe de Mueo et sur plusieurs plateaux récifaux situés au nord de la péninsule de Pindaï (Figure 5.10E).

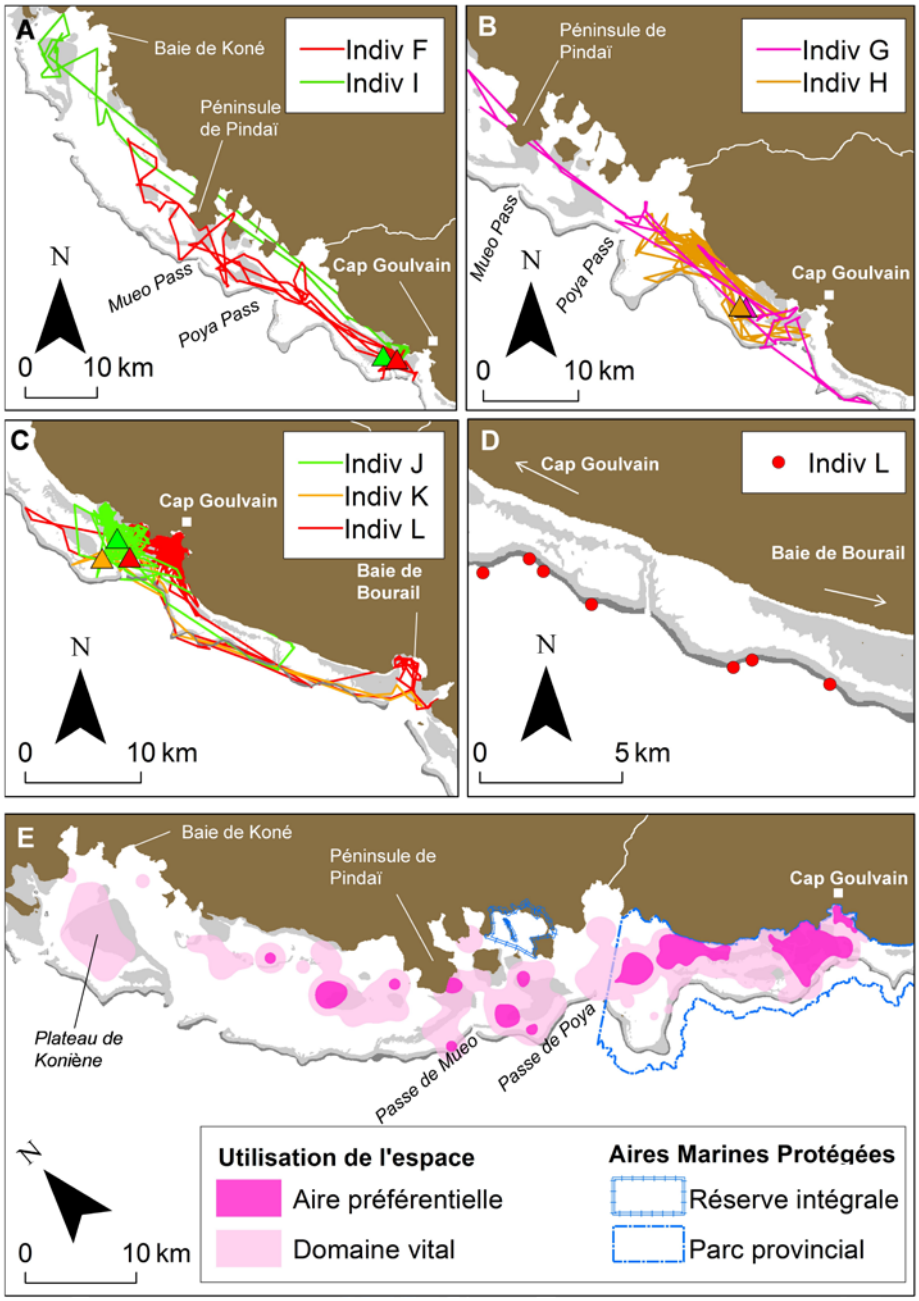


Figure 5.10: Détails des déplacements, du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs balisés dans la région de Bourail-Poya. Ces cartes représentent les données filtrées collectées au cours du suivi de chaque individu. Les Figures A, B et C représentent les déplacements des sept dugongs. Les triangles de couleur représentent le lieu de capture de chaque animal. La Figure D représente les points GPS-QFP-résolus de l'individu L qui a effectué un aller-retour entre le Cap Goulvain et la baie de Bourail en utilisant la pente externe du récif-barrière à l'extérieur du lagon. La Figure E représente le domaine vital et les aires préférentielles des individus A, B, D, E, F, H sans pondération de temps de suivi de chaque individu. Notez la terre en marron clair, le récif-barrière en gris foncé et les zones de récifs en gris clair.

Ouano

Un des deux dugongs balisés dans la région de Ouano (individu A) a utilisé principalement trois baies adjacentes : la baie de Moindou, celle de Ouaraï et celle de Chambeyron (Figure 5.11A). Le deuxième dugong (individu B) était plus mobile. Il est tout d'abord resté cinq jours dans les environs de la baie de Moindou où il avait été capturé, effectuant de brèves excursions quotidiennes vers les complexes récifaux adjacents mais situés à l'intérieur de la barrière de corail (Figure 5.11A). Au cours de son quatrième déplacement en dehors de la baie de Moindou, ce dugong a parcouru une boucle de 10 jours, de près de 38km vers le sud, jusqu'à l'îlot Ténia en passant par la baie Chambeyron pour ensuite retourner vers son lieu de capture.

Le domaine vital de l'individu A s'étendait sur 35,8km^2 et son aire préférentielle représentait 5,3km^2. Le domaine vital et l'aire préférentielle de l'individu B étaient plus larges, respectivement 117,4 et 17,40km^2 (Figure5.13 et Tableau 5.4). Les domaines vitaux et les aires préférentielles de ces deux animaux présentent des tailles similaires à celles des dugongs balisés dans la région de Bourail-Poya (Figure 5.13). Les zones les plus utilisées sont situées (1) près de la côte, dans les baies de Moindou, Ouaraï et Chambeyron et (2) plus près du récif-barrière entre la passe de Coupée Mara et la passe de Ouarai et près de la passe d'Isié (Figure 5.11B).

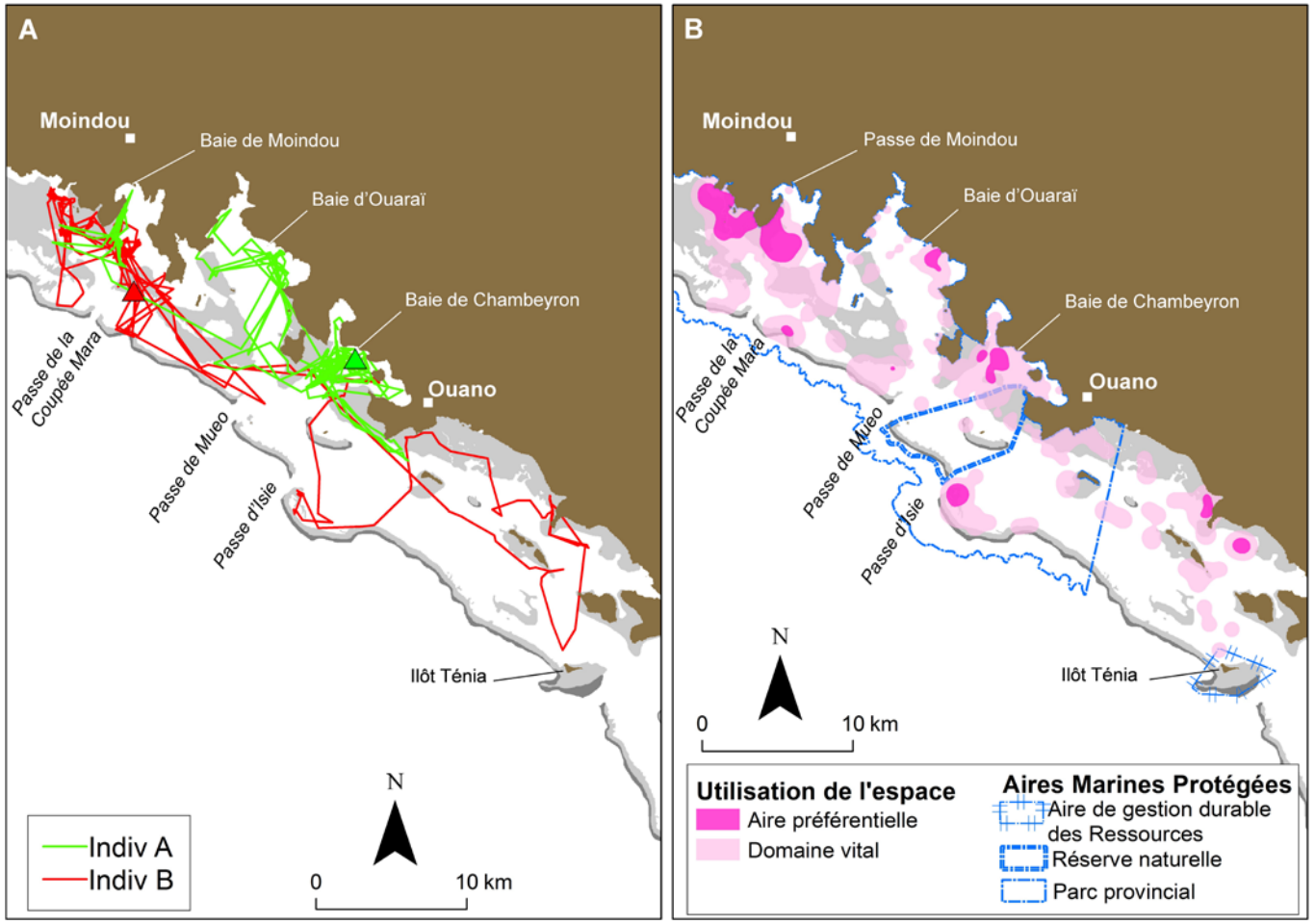


Figure 5.11: Détails des déplacements, du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs balisés dans la région de Ouano. Ces cartes représentent les données filtrées collectées au cours du suivi de chaque individu. La Figure A représente les déplacements des deux dugongs. Les triangles de couleur représentent le lieu de capture de chaque animal. La Figure B représente le domaine vital et les aires préférentielles combinées des deux individus sans pondération de temps de suivi de chaque individu. Notez la terre en marron clair, le récif-barrière en gris foncé et les zones de récifs en gris clair.

Nouméa

Comme dans la région de Bourail-Poya et celle de Ouano les déplacements des trois dugongs balisés dans la région de Nouméa étaient individuels. Un des animaux (individu D) s'est déplacé dans trois zones différentes (Figure 5.12A). Il a tout d'abord entrepris une boucle de cinq jours jusqu'à la baie de Plum située au sud de Nouméa avant de retourner vers son lieu de capture. Le jour suivant son retour, cet individu a entrepris une nouvelle boucle, de trois jours cette fois, pour se rendre vers l'îlot Ndié, puis vers les îlots Ndué et Mba avant de revenir à l'îlot Maître. Un jour après son retour il s'est déplacé vers le sud et est resté au nord de l'îlot Amédée pendant plus d'une journée avant de revenir à l'îlot Maître. L'individu E a transité à deux reprises entre la zone de l'îlot Maître et l'îlot Puen où il a passé la plupart de son temps (Figure 5.12A). L'individu C s'est déplacé vers le sud nageant très près de la côte (distance moyenne à la côte de 0,53km côte ± SD 0,53) pendant deux jours avant que la balise ne se détache.

La taille des domaines vitaux et des aires préférentielles des individus D et E est nettement supérieure à celles des dugongs suivis dans les régions de Bourail-Poya et de Ouano (Figure 5.13 et Tableau 5.4). A titre d'exemple le domaine vital de l'individu D était de 455,8km^2 et son aire préférentielle s'étendait sur 47,2km^2 (Figure 5.13). Les zones les plus utilisées par les dugongs balisés se situent autour de l'îlot Maître, vers la baie de Plum, près de l'îlot Amédée et à côté de l'îlot Puen (Figure 5.12B).

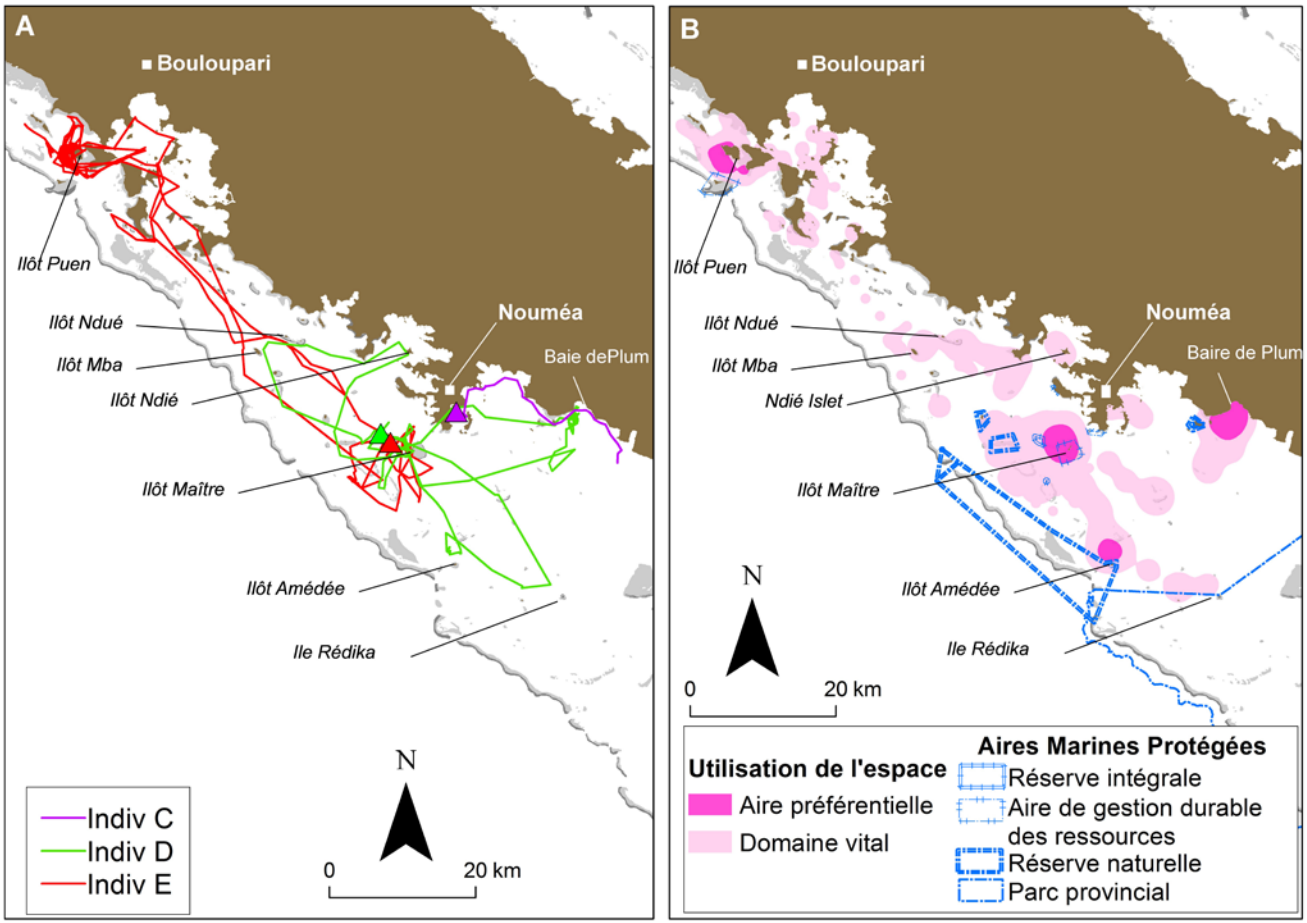


Figure 5.12: Détails des déplacements, du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs balisés dans la région de Nouméa. Ces cartes représentent les données filtrées collectées au cours du suivi de chaque individu. La Figure A représente les déplacements des deux dugongs. Les triangles de couleur représentent le lieu de capture de chaque individu. La Figure B représente le domaine vital et les aires préférentielles combinées des deux individus sans pondération de temps de suivi de chaque individu. Notez la terre en marron clair, le récif-barrière en gris foncé et les zones de récifs en gris clair.

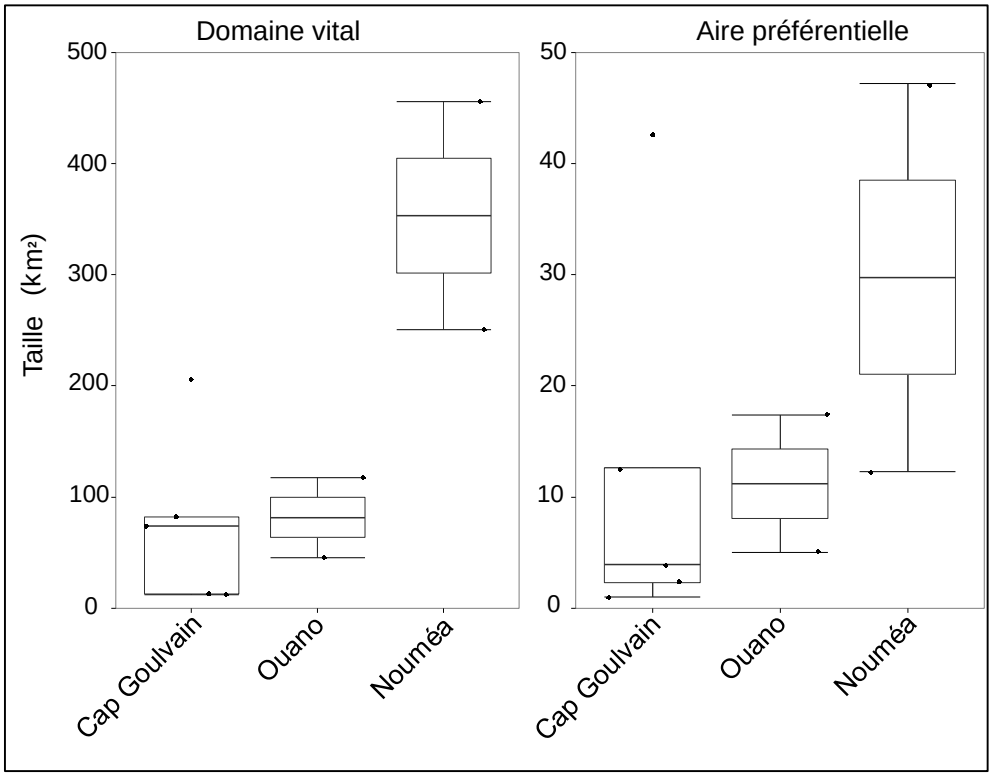


Figure 5.13: Tailles du domaine vital et de l'aire préférentielle des dugongs balisés dans trois régions de Nouvelle-Calédonie. Les lignes à l'intérieur des boîtes représentent la médiane. Les boîtes représentent l'écart interquartile. Les moustaches représentent les valeurs minimales et maximales tandis que les points indiquent les valeurs pour chaque individu. Attention aux différences d'échelles des axes Y entre les deux figures.

Comparaisons journalières des domaines vitaux et des aires préférentielles

Aucune différence n'a été détectée dans la taille des domaines vitaux et des aires préférentielles utilisés le jour et la nuit dans les trois sites d'étude (Figure 5.14AC). Les indices de chevauchement (UDOI) varient entre 0,9 et 4,66 (Tableau 5.4) indiquant que les dugongs utilisent les mêmes domaines vitaux et aires préférentielles le jour et la nuit.

Utilisation des herbiers et de la colonne d'eau

Les dugongs balisés dans les régions de Bourail-Poya et de Ouano utilisent des eaux peu profondes (> 70% des domaines vitaux des dugongs se situent dans la classe de profondeur < 5m). En revanche, les domaines vitaux et les aires préférentielles des dugongs balisés dans la région de Nouméa se trouvent dans des eaux plus profondes (Figure 5.16). Dans les trois sites d'étude une proportion élevée du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs est située dans des zones où aucune information n'est disponible quant à la présence d'herbier (Figure 5.15A-C). Dans la région de Nouméa, plus de 90% du domaine vital des dugongs et plus de 85% de leurs aires préférentielles se situent dans des zones où la présence d'herbier n'est pas documentée (Figure 5.15C). Il en est de même pour la région de Bourail-Poya et Ouano où la plupart des aires préférentielles des dugongs ne chevauchent pas les herbiers connus et cartographiés (Figure 5.15A-B).

Utilisation des Aires Marines Protégées

Les dugongs balisés ont passé peu de temps au sein des aires marines protégées susceptibles d'offrir une protection élevée face aux activités anthropiques. En revanche six des sept dugongs balisés dans la région de Bourail-Poya ainsi que les deux dugongs balisés dans la région de Ouano ont passé plus 70% du temps de suivi à l'intérieur du Parc Provincial de la Zone Côtière Ouest (Parc de classe UICNII, voir chapitre 3) (Figure 5.17). Dans la région de Nouméa les dugongs ont passé plus de 90% du temps de suivi à l'extérieur de toute AMP (Figure 5.17).

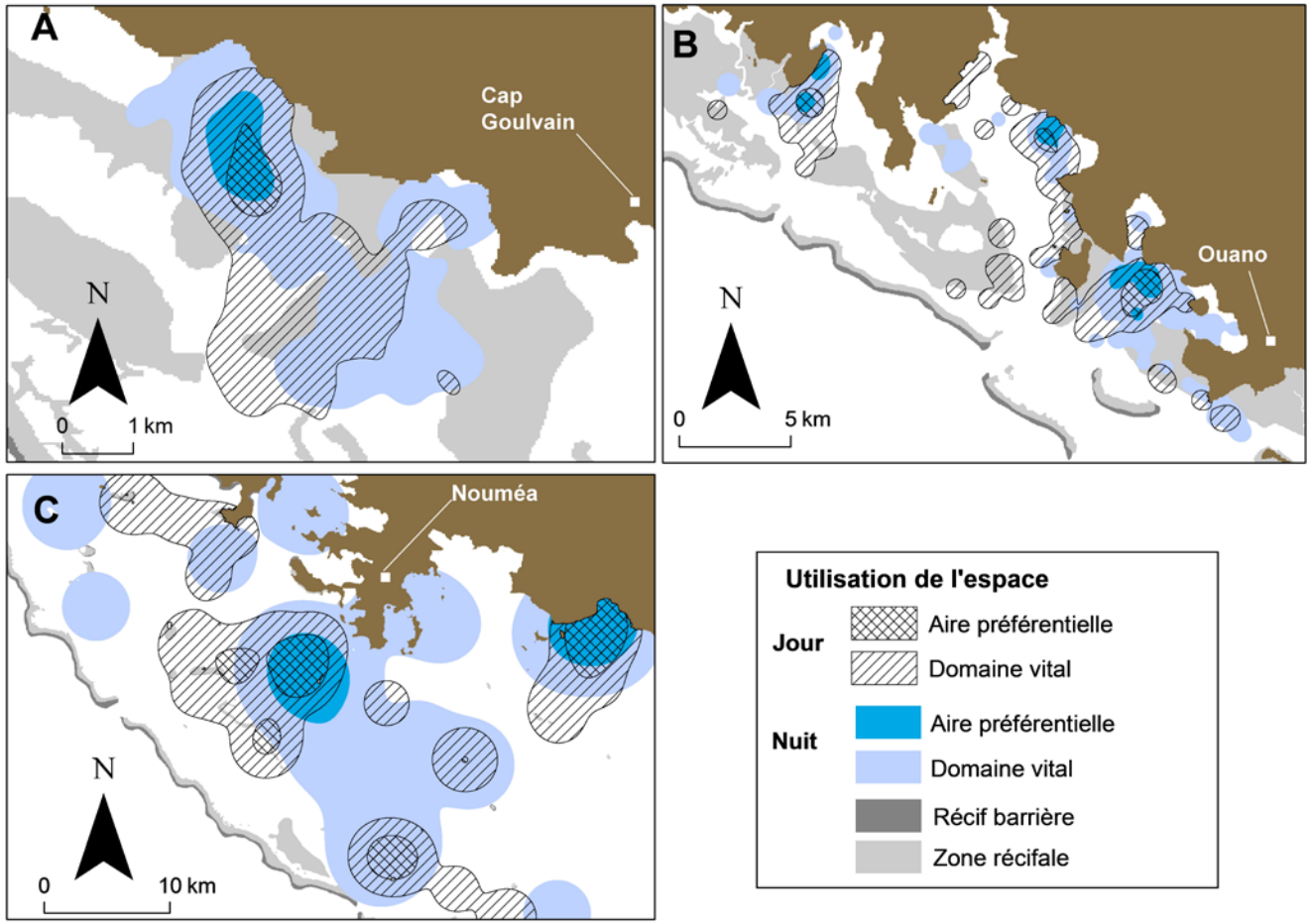


Figure 5.14: Etude du chevauchement du domaine vital et des aires préférentielles de dugongs balisés dans la région (A ; individu J) de Bourail-Poya, (B ; individu A) de Ouano, et (C ; individu D) de Nouméa pour le jour et la nuit.

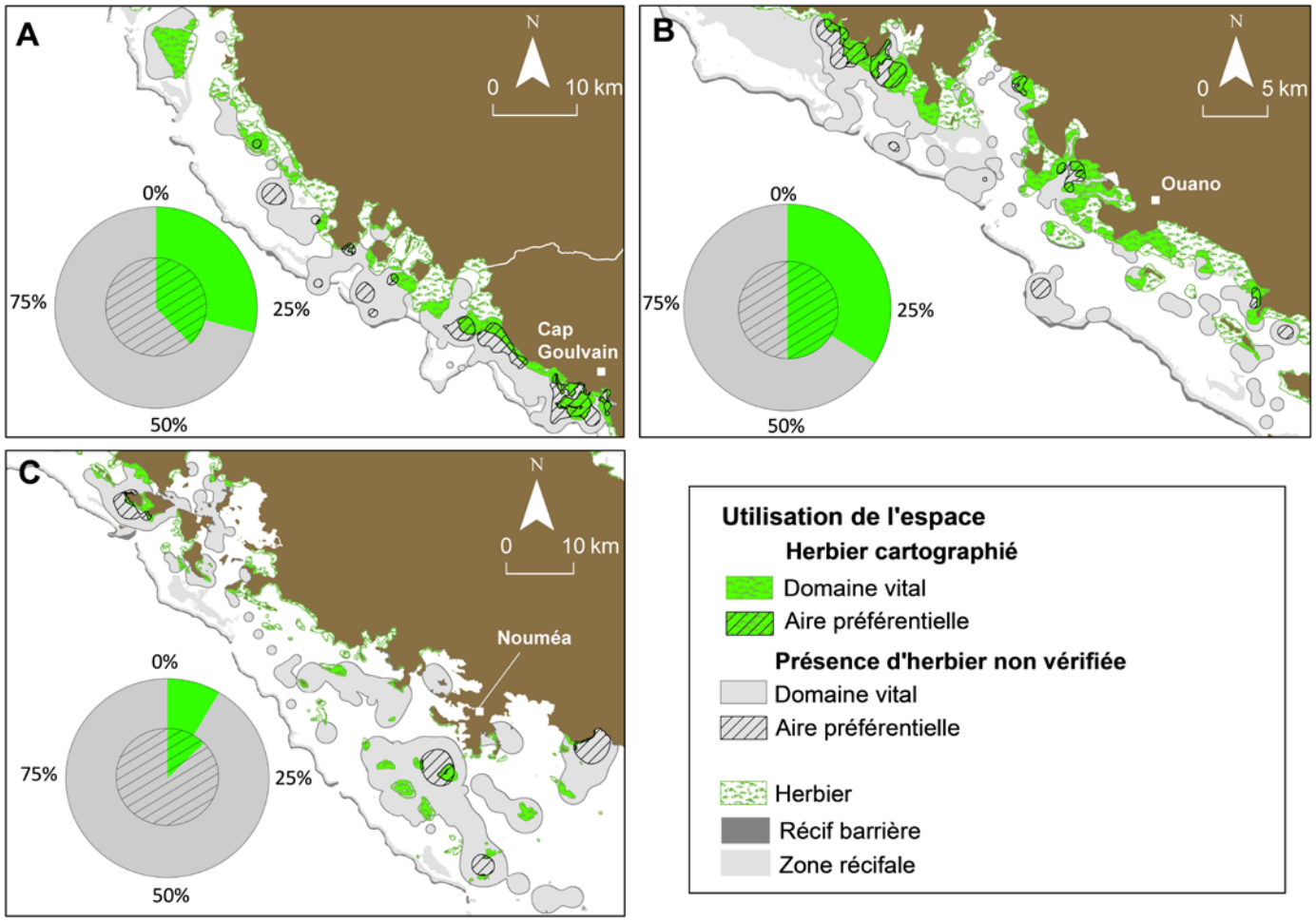


Figure 5.15 : Etude du chevauchement entre le domaine vital, les aires préférentielles des dugongs capturés (A) dans la région de Bourail-Poya, (B) de Ouano, et (C) de Nouméa, avec les herbiers marins cartographiés (Andréfouët et al., 2010). Les diagrammes circulaires représentent la proportion du domaine vital et des aires préférentielles s'étendant (zone en vert) ou non (zone grisée) sur les herbiers marins.

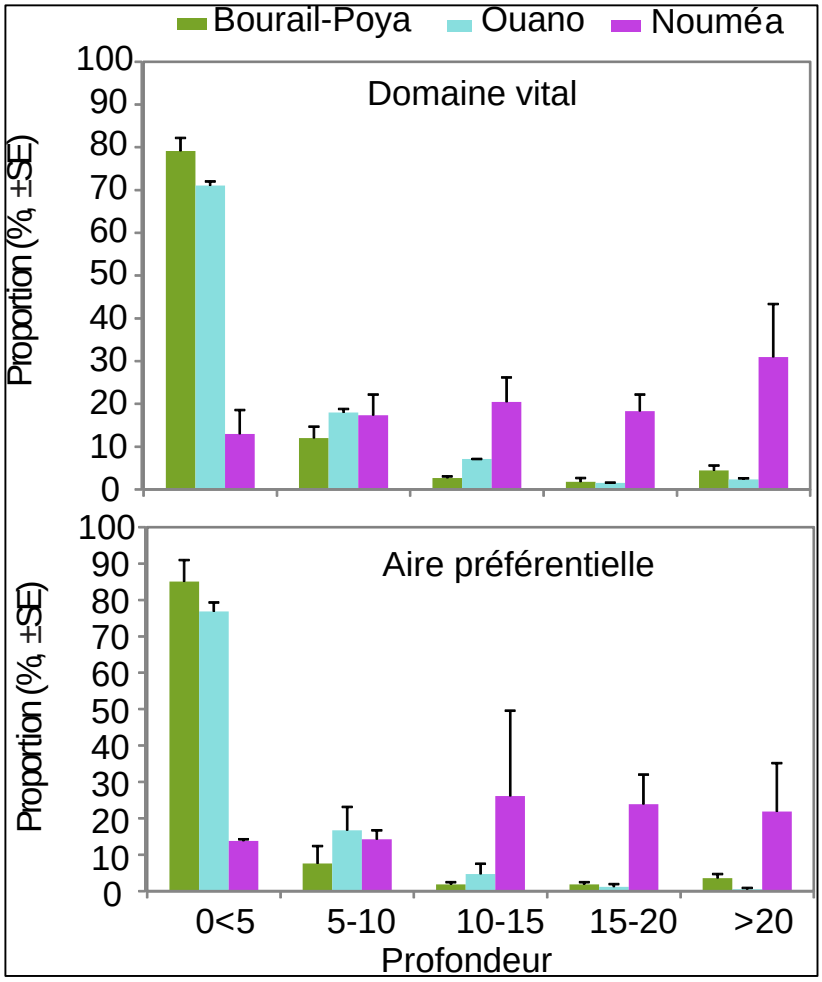


Figure 5.16: Proportion du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs balisés en fonction des classes bathymétrique dans les trois sites d'étude.

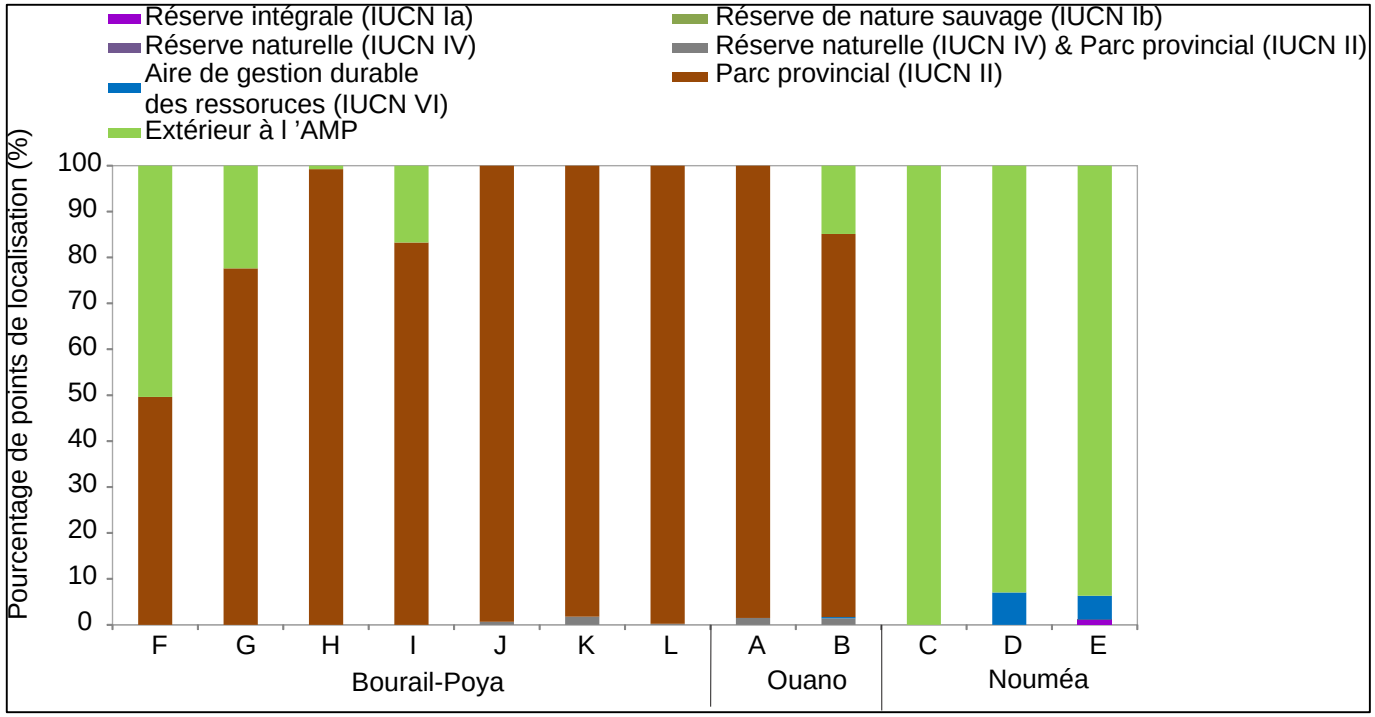


Figure 5.17: Temps passé par chaque dugong balisé dans chaque type d'Aire Marine Protégée (AMP) en Nouvelle-Calédonie. Une catégorie composite appelée « Réserve naturelle (UICN IV) & Parcs Provincial (UICN II) » a été créé pour une meilleure représentation graphique parce que ces deux types d'AMPs se chevauchent dans certaines régions de Nouvelle-Calédonie. Les réserves naturelles qui ne se chevauchent pas avec un Parc Provincial ne sont pas représentées car elles n'ont été utilisées que pour 0,2% du temps de suivi d'un dugong (individu E). De la même manière les réserves de nature sauvage (UICN Ib) ne sont pas représentées dans cette figure, car aucune position n'y a été enregistrée.

5.4 Discussion

Le suivi télémétrique des dugongs en Nouvelle-Calédonie confirme la grande variabilité de déplacement des dugongs, comme cela a été observé dans d'autres régions (Marsh et Rathbun 1990 ; De Iongh et al., 1998 ; Holley 2006 ; Sheppard et al., 2006 ; Gredzens et al., 2014). Tous les animaux à l'exception d'un, sont revenus vers leur site de capture après un déplacement plus ou moins lointain et complexe. Les dugongs sont capables de parcourir de grandes distances à l'intérieur des lagons ainsi que le long de la pente externe pour se rendre d'une baie à une autre. De par le caractère complexe de leurs déplacements, leur conservation constitue un défi pour la gestion de l'espèce en Nouvelle-Calédonie. L'aspect écologique des résultats présentés dans ce chapitre est discuté ci-dessous tandis que les implications de gestion sont discutées dans la discussion générale du document.

Hétérogénéité des comportements de déplacements

Alors que certains dugongs présentent des comportements sédentaires, d'autres ont nagé sur de grandes distances, se déplaçant jusqu'à 70 kilomètres de leur lieu de capture (Tableau 4.3). Dans les eaux tropicales et subtropicales du Queensland, du Territoire du nord australien et dans les îles tropicales de l'est de l'Indonésie les dugongs montrent la même hétérogénéité dans leur déplacement, certains parcourent de petites distances (<15km, n = 26 individus) tandis que d'autres effectuent de grandes déplacements (> 15km, n = 44 individus ; Sheppard et al., 2006 ; Gredzens et al., 2014 ; De Iongh et al., 1998).

Mon étude ne révèle aucune différence en fonction du sexe des animaux, les femelles parcourant d'aussi grandes distances que les mâles. Une analyse de pédigrée menée sur un très large échantillonnage de dugongs de la côte est australienne (n = 1002 dugongs) suggère que les mâles se déplaceraient plus régulièrement et sur de plus grandes distances que les femelles (Cope et al., 2015). La taille, trop petite, de mon échantillon ne permet pas de tester ces comportements en Nouvelle-Calédonie.

Certains déplacements pourraient être affectés par la capture. Cela pourrait, par exemple, être le cas des individus K et I, qui ont parcouru de grandes distances moins d'une journée après leur capture. En revanche, l'individu L s'est déplacé du Cap Goulvain à la baie de Bourail le long de la pente externe du récif-barrière 110 jours après sa capture, suggérant que tous les déplacements à grandes distances ne peuvent pas être expliqués uniquement par une réaction à la capture. Ce résultat est cohérent avec ceux d'autres études (Sheppard et al., 2006 ; Gredzens et al., 2014 ; Zeh et al., sous presse).

Comparaisons régionales

La taille des domaines vitaux et des aires préférentielles ainsi que leur distribution par classe de profondeur diffère entre la région de Nouméa et les régions de Bourail-Pyoa et de Ouano. En effet dans la region de Nouméa les tailles du domaine vital et des aires préférentielles sont largement supérieures (échantillonnage insuffisant pour une comparaison statistique) à celles mesurées dans les régions de Bourail-Poya et de Ouano. C'est également dans cette région que les dugongs utilisent des eaux plus profondes, avec 70% des domaines vitaux des individus suivis situées dans des eaux > 10m. Des différences régionales de ce type ont également été observées en Australie où le domaine vital des dugongs du Détroit de Torres, est beaucoup plus grand (médiane = 942,6km^2) que celui des dugongs de la côte est Australienne (Shoalwater Bay, médiane = 60,6km^2 ; Gredzens et al., 2014).

Au large de Nouméa le lagon est large et profond (> 10m). Dans cette région, les eaux peu profondes (<10 m) ne représentent qu'une faible proportion et elles sont principalement limitées aux zones entourant les îlots (Bonvallot et al., 2012). La majeure partie des herbiers présents y sont subtidaux (Garrigue 1995) bien que de petits platiers récifaux et quelques zones côtières peu profondes abritent également des zones d'herbiers denses (Hily et al., 2010). Les données télémétriques montrent que même si les dugongs balisés dans la région de Nouméa visitent les platiers récifaux peu profonds (p. ex. le récif entourant l'îlot Maître) et les eaux côtières peu profondes adjacentes à la ville, ils utilisent principalement les zones plus profondes. En revanche, les régions de Ouano et de Bourail-Poya sont caractérisées par des lagons beaucoup plus étroits et peu profonds. Les herbiers y sont principalement localisés dans les zones côtières et sur les platiers peu profonds. Les différences de taille et de géomorphologie des lagons dans ces trois sites d'études expliquent les différences observées dans la taille et la distribution bathymétrique du domaine vital et des aires préférentielles des dugongs.

On ne peut pas rejeter l'hypothèse que l'utilisation des zones profondes par les dugongs de Nouméa puisse également être liée aux perturbations anthropiques. Il existe des preuves de dugongs morts percutés par des embarcations en face de Nouméa (ESCAL et A2EP 2011 ; Claire Garrigue com. pers.) mais la fréquence de ces collisions reste inconnue. De tels accidents mortels entre embarcations et dugongs existent dans de nombreuses autres régions du monde et en particulier là où les activités anthropiques côtières sont importantes (Marsh et al., 2011). A Moreton Bay près de Brisbane, réside l'une des plus grandes populations de dugongs d'Australie. Les dugongs sont régulièrement heurtés par des embarcations dans les zones peu profondes à marée basse. Hodgson (2004) et Hodgson et Marsh (2007) ont étudié le

comportement des dugongs à l'approche des bateaux dans cette région. Une des premières réponses des dugongs à l'approche d'un bateau est de se déplacer vers des eaux plus profondes. Dans la région de Burrum Heads, au nord d'Hervey Bay sur la côte ouest Australienne, les dugongs utilisent les eaux profondes pendant la journée. Sheppard et al. (2007) ont suggéré que les activités anthropiques telles que le trafic maritime élevé au cours de la journée, dissuadent les dugongs de venir se nourrir dans les zones côtières peu profondes. Ceci n'a pas été détecté dans la région de Nouméa mais un échantillonnage plus important dans cette région est nécessaire pour s'en assurer.

Hétérogénéité de l'utilisation de l'espace

En général, la distribution des dugongs coïncide largement avec celle des herbiers (Marsh et al., 2002, 2011). L'hétérogénéité de la distribution des herbiers cartographiés dans les lagons de Nouvelle-Calédonie peut expliquer en partie la façon dont les dugongs se déplacent. Au cours de cette étude les dugongs balisés ont intensivement utilisé des zones pour lesquelles aucune cartographie d'herbier n'était disponible, mais il est cependant probable qu'ils y soient présents. Par exemple, la zone située entre l'îlot Maître et Sèche Croissant a été intensivement utilisée par deux dugongs balisés. La présence d'herbiers dans cette zone est connue ; elle a été signalée durant les toutes premières études des associations de macrophytes des habitats benthiques du lagon sud-ouest (Garrigue, 1995). Les dugongs balisés ont également fait un usage intensif de zones où la présence d'herbiers est peu probable, y compris dans les fonds d'arrière-récif adjacents à la barrière de corail des régions de Bourail-Poya et de Ouano. L'opportunité d'utiliser les données de déplacement de dugongs pour prospecter des zones d'herbiers non-cartographiés est abordée dans la discussion finale de ce document (chapitre 7).

Couloirs de déplacement

Sheppard et al. (2006) ont suggéré que les dugongs se déplacent pour faire face aux changements de l'abondance et de la qualité des herbiers lorsque cela est nécessaire. Mes résultats corroborent cette hypothèse et suggèrent que les dugongs conservent une mémoire spatiale des zones clés où sont situées leurs ressources alimentaires et qu'ils les visitent périodiquement. Certains déplacements étaient directs sans qu'aucun arrêt ne soit observé. C'est le cas pour les individus J, K et L balisés dans la région de Bourail-Poya qui se sont rendus directement dans la baie de Bourail, ou de l'individu E balisé près de l'îlot Maître qui s'est déplacé sur 60km à deux reprises jusqu'à l'îlot Puen sans effectuer d'escale. Cet animal a contourné des zones identifiées comme importantes pour les dugongs lors des comptages aériens (voir chapitre 3). Des comportements similaires de déplacements directs sans escale ont

été documentés en Australie par exemple pour deux dugongs qui ont entrepris une «visite» d'une journée de l'île d'Hinchinbrook vers Cleveland Bay, situé 150km au sud, sans s'arrêter (Sheppard et al., 2006).

Bien qu'aucune preuve de structure sociale n'ait été mise en évidence chez les dugongs, mis à part le lien unissant une maman à son petit, l'utilisation de couloirs de déplacement permettant de relier deux zones clés peut refléter une transmission matrilinéaire et une mémoire spatiale développée (Sheppard et al., 2006 ; Marsh et al., 2011). Cette hypothèse est confortée par des suivis menés sur des lamantins de Floride qui ont montré que les veaux sont fidèles aux zones fréquentées par leurs mères (Deutsch et al., 2003). Fait intéressant, la plupart des lamantins de Floride élevés en captivité et libérés à l'état de sub-adultes le long de la côte atlantique n'entreprennent pas de migration saisonnière, malgré le comportement migratoire noté pour plus de 87% de la population sauvage (Deutsch et al., 2003).

Le déplacement de dugongs sur de grandes distances suivant des couloirs spécifiques suggère également une grande capacité d'orientation et de navigation. L'analyse des données n'a révélé aucun changement journalier dans le comportement de déplacement. Par exemple, les dugongs transitant dans la région Bourail-Poya ont nagé de jour comme de nuit le long de la pente externe du récif-barrière. Des études récentes du déplacement des dugongs à Moreton Bay (Zeh et al., 2015) et dans le Détroit de Torres (Gredzens et al., 2014) ont montré des résultats similaires.

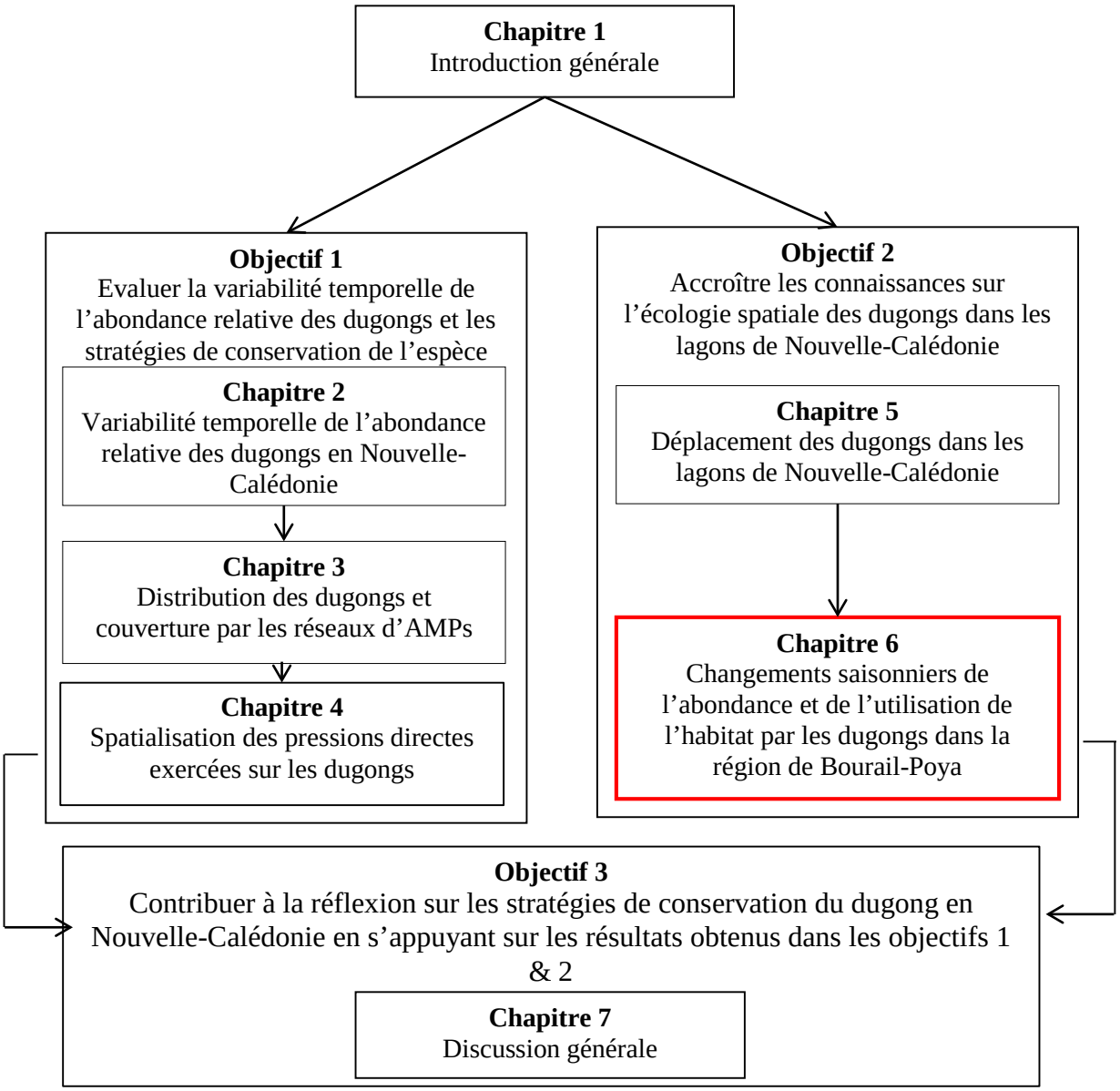
Les déplacements de certains dugongs dans la région de Bourail-Poya pourraient s'expliquer par la géomorphologie de l'habitat ainsi que les risques de prédation. Le lagon entre ces deux baies est très étroit (largeur moyenne = 2km) et peu profond (profondeur moyenne <5m). Il est caractérisé par des formations récifales réticulées (Andréfouët et al., 2004), qui peuvent limiter les mouvements des animaux de grande taille comme les dugongs en particulier à marée basse. Les risques d'embuscade par des prédateurs sont également probables. L'un des facteurs ou une combinaison des deux pourrait expliquer la raison pour laquelle les dugongs utilisent la pente externe du récif-barrière pour se déplacer d'une baie à une autre.

5.5 Conclusion

Les dugongs de Nouvelle-Calédonie sont présents dans différents types d'environnements, dans des régions où le lagon est large et profond mais également dans des régions où le lagon est étroit et peu profond, forçant les animaux à s'adapter. Le déplacement à grandes échelles spatiales des dugongs a des implications pour la conservation et la gestion de l'espèce qui sont

abordés au chapitre 7. Les résultats issus de ce chapitre renforcent ceux issus des comptages aériens et confirment que la gestion de l'espèce doit être effectuée à une échelle spatio-temporelle écologique plutôt qu'à l'échelle des limites géographiques ou administratives telles que les limites provinciales. Compte tenu de l'hétérogénéité des déplacements des dugongs et de l'environnement dans lequel ils évoluent un échantillonnage plus important serait nécessaire pour documenter l'utilisation de l'espace par les dugongs dans d'autres zones lagonaires. Cet échantillonnage complémentaire devrait être réalisé rapidement afin de mieux comprendre le déplacement des dugongs dans les régions fortement impactées par les activités anthropiques telles que Nouméa et Voh-Koné-Pouembout.

Chapitre 6 : Changements saisonniers de l'abondance et de l'utilisation de l'habitat par les dugongs dans la région de Bourail-Poya



6.1 Introduction

Situé sur la côte centre-ouest de la Grande-Terre de la Nouvelle-Calédonie, la région de Bourail-Poya abrite l'un des plus larges herbiers intertidaux (17km^2) et l'une des plus fortes densités de dugongs de Nouvelle-Calédonie (Payri et al., 2005 ; voir aussi les chapitres 2 et 3). Le lagon dans cette région est étroit, et l'accessibilité à la majorité des herbiers intertidaux est limitée par l'amplitude des marées, forçant les dugongs à utiliser lors des basses mers, des habitats coralliens adjacents où les herbiers sont absents ou présents en très faible quantité. C'est également dans cette région que des regroupements de dugongs ont été observés de temps à autre sur la pente externe du récif-barrière depuis la première observation faite en 2004 par Garrigue et al. (2008). La raison et la fréquence de ces regroupements restent inconnues.

L'objectif de ce chapitre était donc d'étudier les éventuels effets saisonniers ainsi que l'action de la marée sur le nombre de dugongs, leur utilisation de l'habitat et leurs regroupements dans la région de Bourail-Poya afin de fournir une base d'information robuste pour la conservation et la gestion de l'espèce dans cette région. Des relevés aériens ont été effectués pendant 18 mois à marée basse et à marée haute afin de documenter les changements saisonniers et l'effet du marnage dans la distribution et le nombre de dugongs observés dans les herbiers et les habitats coralliens. J'ai utilisé ces données ainsi que des observations opportunistes de regroupements de dugongs pour explorer l'occurrence spatiale et temporelle de ces regroupements. Enfin, j'ai utilisé des vidéos aériennes et sous-marines pour étudier le comportement des dugongs au sein des regroupements observés sur la pente externe du récif-barrière.

6.2 Méthode

Site d'étude

Les lagons qui entourent la Grande-Terre de Nouvelle-Calédonie, en particulier sur la côte ouest, abritent des structures récifales parmi les plus diverses au monde (Andréfouët et al., 2004). Dans la région de Bourail-Poya le lagon s'étend sur une largeur d'environ quatre kilomètres ; il est beaucoup plus étroit que dans les régions nord et sud de la côte ouest où il atteint respectivement une largeur de 15 et 30km (Bonvallot et al., 2012).

L'identification des habitats de la région de Bourail-Poya utilisée dans ce chapitre est inspirée de l'Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie (Andréfouët et al., 2004) et d'une carte générique des herbiers marins peu profonds (< 5m) produite à partir d'images Landsat,

constituant le meilleur ensemble de données disponibles sur les herbiers à l'échelle de cette étude (Andréfouët et al., 2010). La taille de chaque habitat a été calculée grâce au logiciel ArcGIS 10.2 (ESRI 2013) en additionnant la superficie de chaque portion d'un même habitat (km^2). Quatre classes d'habitats ont été identifiées (Tableau 6.1). Trois d'entre-elles sont situées à l'intérieur du lagon: (1) les herbiers intertidaux ($17km^2$), (2) les récifs réticulées ($20,5km^2$), et (3) les chenaux profonds ($5,6km^2$). La quatrième, correspondant à la pente externe du récif-barrière ($14,2km^2$), se situe à l'extérieur du lagon entre la crête récifale et la pente externe s'enfonçant dans les eaux océaniques profondes (Figure 6.1 et Tableau 6.1 ; Andréfouët et al., 2004 ; Payri et al., 2005 ; Andréfouët et al., 2010). Les herbiers marins dans la région de Bourail-Poya sont absents de la pente externe et des récifs réticulés et sont rares voire absents dans les chenaux où l'eau est profonde (jusqu'à 86m de profondeur aux abords des passes) et trouble (Hily et al., 2010).

Tableau 6.1: Détails des habitats identifiés dans la région de Bourail-Poya.

Classe d'habitat	Taille (km^2)	Profondeur (m)[b]			Présence/absence d'herbier[a]
		Moyenne (± SD)	Médiane	Maximale	
Herbiers	17,4	0,98 (1,99)	0,3	4,7	Six espèces de phanérogames dominées par *Cymodocea serrulata*
Récif réticulés	20,5	1,8 (2,57)	1,5	20,3	Absent
Chenaux	6,8	27,4 (15,8)	29,9	86,0	Probablement rare
Pente externe	14,2	29,17 (14,75)	29,2	97,3	Absent

[a] Source Payri *et al.* (2005).

[b] Valeurs de profondeur issues du modèle bathymétrique de Lefevre *et al.* (Institut de Recherche pour le Développement ; non-publié).

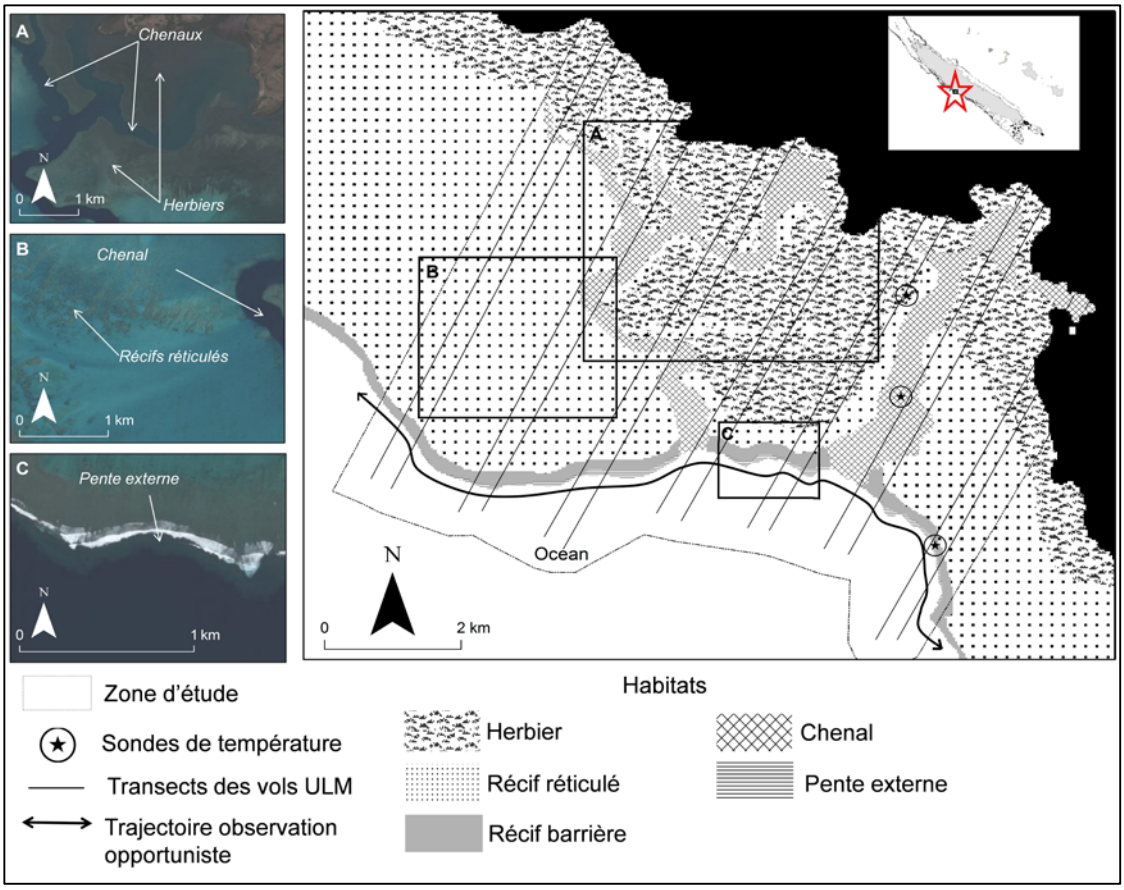


Figure 6.1: Plan d'échantillonnage pour le comptage de dugongs et le relevé de température de l'eau dans la région de Bourail-Poya sur la côte centre-ouest de la Nouvelle-Calédonie. Les images satellites (à gauche) de la région correspondent (A) aux herbiers et les chenaux, (B) aux les récifs réticulés, et (C) à la sortie du chenal nord et la pente externe du récif-barrière. Source des images satellites : Basemap dans le logiciel ARCGIS10.2 (ESRI 2013).

Variables environnementales

Des sondes de température ont été utilisées pour mesurer la température de l'eau (Sea-Bird SBE56v0.96, précision ±0.002°C). Elles ont été déployées dans les sites suivants: (1) sur la bordure sud de l'herbier central à une profondeur de deux mètres ; (2) dans le chenal sud à 17m de profondeur et (3) sur la pente externe dans la partie sud du site d'étude à 20m de profondeur (Figure 6.1). Les enregistreurs de température ont été déployés le 15 août 2012 et la température a été enregistrée toutes les dix minutes pendant la durée de l'étude.

La dynamique des marées des lagons de Nouvelle-Calédonie est généralement dominée par les marées semi-diurnes dont l'amplitude ne varie pas significativement au cours d'une journée ou entre les saisons (Bonvallot et al., 2012).

Survols aériens

Survols des radiales

Soixante-deux survols ont été effectués le long des radiales (Figure 6.1), de la mi-février 2012 jusqu'à la mi-août 2013. Le but visait à compter les dugongs et à détecter d'éventuelles variations temporelles de leur abondance et de la fréquentation des différents habitats dans la région de Bourail-Poya. Vingt-neuf survols ont été menés au cours de la saison chaude telle que définie par Météo-France (Météo-France 2014) dont 15 survols à marée haute et 14 à marée basse (Annexe D Tableau D.1). Trente-trois survols ont été effectués au cours de la saison fraîche (sensu Météo-France 2014), 16 à marée haute et 17 à marée basse.

Les observateurs et le pilote ont suivi un entrainement théorique et pratique en amont de l'étude. Les survols ont été réalisés à l'aide d'un ULM biplace de type Fly Synthesis Storch. L'unique observateur était assis à tribord à côté du pilote. Pour limiter les biais liés à l'observateur, le même observateur a effectué la plupart des relevés et seuls cinq des 62 survols ont été menés par l'observateur secondaire.

Les survols ont été réalisés à une vitesse au sol constante de 60 nœuds. Afin de répondre aux exigences de sécurité en place en Nouvelle-Calédonie pour un avion monomoteur volant au-dessus de l'eau, les vols ont été effectués à 900 pieds (274m) d'altitude. Voler à cette altitude permet également à l'observateur d'avoir une meilleure vision des grands groupes de dugongs (Marsh et Sinclair, 1989a, b). Les survols ont été conduits environ toutes les deux semaines (intervalle moyen entre les survols = 16,2jours, ±SE = 1.4) et ont nécessité en moyenne 46,6 minutes (± SE = 0,68 ; temps excluant les temps de transit entre l'aérodrome et le site d'étude). Les survols ont été menés à marée haute et basse si possible le même jour et par temps calme avec des vents < 20km/h et une couverture nuageuse < 6 octas afin de minimiser les biais d'observation dus à une mauvaise visibilité.

Le protocole de survol (strip transect ou transect en bande et ici nommé radiale) est similaire à celui utilisé lors des survols de la Grande-Terre (voir chapitre 2) ; un ruban de couleur est fixé sur l'aile tribord de l'ULM afin de délimiter un transect de 400m de large sur la surface de l'eau (voir chapitre 2 Figure 2.2). Le comptage des dugongs s'effectue dans cette bande. Le site d'étude d'une superficie totale de 60km^2, était couvert par 14 radiales organisées en paire. La distance intra-paire était de 350m tandis que la distance inter-paire était d'un kilomètre. Cette configuration était nécessaire car l'observation n'était effectuée que d'un seul côté de l'ULM. Elle permet un échantillonnage intensif (59%) tout en limitant les risques de double-comptage d'animaux. Les 14 radiales ont été survolées au cours de chaque survol. Il n'y avait donc pas de

variation de l'effort d'échantillonnage au cours de l'étude. Tous les dugongs et les requins de grande taille (> 2m) ont été comptés et la classe d'habitat dans laquelle chaque observation de dugong était faite a également été relevée. Toutes les données étaient enregistrées sur un enregistreur audio.

Données opportunistes issues des transits aériens

Des données ont été collectées pendant 41 transits effectués au-dessus de la pente externe du récif-barrière dans la région de Bourail-Poya. Toutes les observations de regroupements de dugongs ont été recherchées dans ces données (≥ 10dugongs formant une agrégation distincte ; Lanyon, 2003). Ces observations ont été effectuées par des équipes d'observateurs formés au comptage de dugongs et travaillant sur une autre zone d'étude située plus au nord de la Grande-Terre. L'altitude de vol a été ajustée à 900 pieds (274m) lors du passage au-dessus de la pente externe de la région de Bourail-Poya afin de maximiser les observations de dugongs.

Données opportunistes issues de vidéos aériennes et sous-marines

Des séquences vidéo aériennes et sous-marines des regroupements de dugongs sur la pente externe du récif-barrière étaient disponibles pour l'analyse. Les vidéos aériennes ont été prises par un photographe de la province sud depuis un hélicoptère (Martial Dosdane. com. pers.). Sept vidéos aériennes ont été tournées le 7 juillet 2011 et quatre le 16 juillet 2012. Une vidéo sous-marine a été prise par les gardes natures de la province sud lorsque ces derniers étaient en repérage palme-masque-tuba sur la pente externe le 18 avril 2011 (Romain Laigle. com. pers. Annexe D Tableau D.2).

Analyse

Utilisation de l'habitat

Le nombre total de dugongs observés a été relevé pour chaque marée et pour chaque mois de l'année. La variable réponse était le nombre total de dugongs observés dans chaque combinaison mois-marée, divisé par le nombre correspondant de survols.

L'interaction entre le nombre total de dugongs observés dans chaque classe d'habitat (herbier, chenal, récif réticulé, pente externe), la saison et la marée a été évaluée à l'aide d'une régression log-linéaire via des modèles linéaires généralisés (GLM) en utilisant une distribution de Poisson (McCullough et Nelder, 1989). La taille de chaque habitat était incluse comme moyen de pondération dans les modèles. L'hypothèse nulle testée considérait qu'il n'y avait pas

d'interaction entre l'habitat, la marée et la saison. Le jeu de données a ensuite été divisé en catégories saison-marée (c.-à-d. saison fraîche-marée basse, saison fraîche-marée haute, saison chaude-marée basse, saison chaude- marée haute) et la proportion de dugongs observés dans chaque habitat a été calculée pour chacune de ces catégories. Les valeurs obtenues ont été divisées en quatre classes de pourcentage d'observations de dugongs (c.-à-d. 0-25, 25-50, 50-75, 75-100%). Une couleur a été affectée à chacune de ces classes pour faciliter la représentation visuelle des proportions d'observations de dugongs par habitat et dans chaque catégorie de saison-marée via le logiciel ArcGIS 10.2 (ESRI 2013).

Regroupements de dugongs

Les observations de regroupement de dugongs ont été analysées à une échelle spatiale: (1) à l'intérieur ou à l'extérieur du lagon ; et à une échelle temporelle (2) par mois. Les données de comptage issues du survol des radiales et des vols en transit ont été combinées pour étudier les regroupements de dugongs observés sur la pente externe du récif-barrière car les vols en transit ont été réalisés uniquement à l'extérieur du lagon. La corrélation entre les changements de température de l'eau et les observations de regroupements de dugongs a ensuite été examinée. Pour cela, la différence de température moyenne minimale mensuelle de l'eau de la pente externe et des herbiers a été examinée. Un test de corrélation de rang de Spearman (Zar, 1998) a été effectué pour évaluer la corrélation entre la probabilité de voir au minimum un regroupement de dugongs et la différence entre ces températures moyennes. L'analyse a porté préférentiellement sur les températures minimales de l'eau en faisant l'hypothèse que ces températures minimales peuvent déclencher une modification du comportement des dugongs. En effet, cette espèce est connue pour être sensible au refroidissement de l'eau dans d'autres régions du monde (voir Marsh et al., 2011 et la section 'discussion' plus bas pour une revue sur ce sujet). La corrélation entre les regroupements de dugongs et les cycles de marée a été testée en utilisant le test exact de Fisher (Upton 1992). Pour chaque regroupement de dugongs observés, le nombre et la localisation des grands requins a également été examiné. Enfin le protocole de comportement de dugongs développé par Hodgson (2004) a été utilisé pour l'étude des vidéos afin d'identifier le comportement des dugongs dans les regroupements observés sur la pente externe du récif-barrière (Annexe D Tableau D.3).

6.3 Résultats

Température de l’eau

Les variations de la température de l'eau relevées dans la région de Bourail-Poya concordent avec les saisons telles que définies par Météo France (2015). La saison fraîche a débuté en avril lorsque la température de l'eau a diminué dans les trois habitats surveillés. La saison chaude s’est étendue d'octobre à mars. Pendant la saison fraîche, la température moyenne mensuelle minimum de l'eau était significativement plus élevée sur la pente externe du récif-barrière que dans le chenal sud et dans l’herbier central (comparaisons multiples de Tukey, $p < 0,0001$, Tableau 6.2). La différence entre la température moyenne mensuelle minimum de l'eau sur la pente externe du récif-barrière et dans le chenal sud devient positive en avril et culmine en mai à 1,9 °C (Tableau 6.2). Une tendance similaire a été observée de mai à octobre entre l’herbier central et la pente externe du récif-barrière où la température de l’eau était significativement plus élevée de 0,1 à 1,1 °C. Pendant la saison chaude, les différences de température de l'eau sont spatialement inversées: la température moyenne mensuelle minimum de l'eau est significativement plus élevée dans le chenal sud (jusqu'à 1,1 °C de différence ; comparaisons multiples de Tukey, $p < 0,0001$) et sur l’herbier central (jusqu'à 0,8 °C de différence ; comparaisons multiples de Tukey, $p < 0,0001$) que sur la pente externe du récif-barrière (Tableau 6.2).

Tableau 6.2: Température moyenne mensuelle minimum de l'eau (°C, ± SD) sur la pente externe du récif-barrière, dans le chenal sud et dans l'herbier central entre mi-août 2012 et mi-août 2013.

Mois	Pente externe[a]	Chenal sud[a]	Herbier central	Différence de température moyenne mensuelle minimum de l'eau	
	Moyenne minimale	Moyenne minimale	Moyenne minimale	Pente externe – Herbier	Pente externe – Chenal
Janvier	24,5 (0,9)	25,6 (1,2)	25,3 (0,9)	-0,8	-1,1
Février	26 (0,4)	26,5 (0,9)	26,2 (0,4)	-0,2	-0,5
Mars	25,6 (0,7)	26,0 (1,0)	25,8 (0,7)	-0,2	-0,4
Avril	25,0 (0,8)	25,0 (1,0)	25,2 (0,7)	-0,2	0,0
Mai	24,8 (0,6)	22,9 (1,0)	23,7 (0,8)	1,1	1,9
Juin	23,6 (0,2)	22,1 (0,6)	22,7 (0,4)	0,9	1,5
Juillet	22,9 (0,3)	21,2 (1,4)	21,9 (1,2)	1,0	1,7
Août	22,6 (0,2)	21,1 (1,0)	22,0 (0,5)	0,6	1,5
Septembre	22,4 (0,1)	21,3 (1,0)	22,0 (0,5)	0,4	1,0
Octobre	22,8 (0,4)	22,7 (1,2)	22,7 (0,7)	0,1	0,1
Novembre	23,7 (0,5)	24,2 (1,2)	23,8 (0,6)	-0,1	-0,5
Décembre	24,6 (0,6)	25,5 (0,9)	24,6 (0,7)	0,0	-0,9

Effets des saisons et des marées sur le nombre de dugongs observés

Le nombre de dugongs observés dans la région de Bourail-Poya varie selon les saisons. Les dugongs observés au cours des survols effectués pendant la saison chaude étaient moins nombreux (n = 172 dugongs au cours de 29 survols, médiane = 5, Figure 6.2 et Annexe D Tableau D.1) que pendant la saison fraîche (n = 599 dugongs au cours de 33 survols, médiane = 18) (test de Mann-Whitney, $p < 0,01$). C'est au mois de février et de décembre que le minimum de dugongs a été observé (respectivement n = 5 et 7 dugongs observés par survol) alors qu'ils étaient plus nombreux aux mois de juin (n = 50 dugongs observés par survol), de juillet (n = 41 dugongs observés par survol) et d'août (n = 40 dugongs observés par survol).

Regroupements de dugongs

Des regroupements de dugongs (Figure 6.3) ont été observés au cours de 27 des 103 survols effectués dans la région (26% ; survols des radiales et transits). La proportion des regroupements observés n'est pas significativement différente entre les survols des radiales et les observations opportunistes réalisées pendant les transits ($X2 = 1,153$, $df=1$, $p=0,283$). Au total, six regroupements de dugongs ont été observés à l'intérieur du lagon et 21 à l'extérieur. Une différence saisonnière est notée dans l'emplacement des regroupements de dugongs (Figure 6.4) qui sont observés à l'intérieur du lagon durant la saison chaude, tandis que pendant la saison fraîche ils se situent en dehors du lagon.

La probabilité d'observer au moins un regroupement de dugongs à l'extérieur du lagon est de 0,12 à marée haute et de 0,38 à marée basse et, à l'intérieur du lagon, elle est de 0,03 à marée haute et de 0,17 à marée basse (Annexe D, Tableau D.4). Ces variations ne sont pas significatives que ce soit à l'extérieur ou à l'intérieur du lagon (test exact de Fisher, $p = 0.29$). À quatre reprises, des regroupements de dugongs ont été observés au même endroit le même jour, mais à des différentes heures de la marée (Annexe D, Tableau D.5). Par exemple, un regroupement de 57 dugongs a été observé à l'étal de basse mer, sur la pente externe du récif-barrière lors du survol des radiales le 14 mai 2012. Un plus petit groupe composé de 20 dugongs a été aperçu au même endroit lors du survol des radiales à l'étal de pleine mer six heures plus tard.

Entre les mois d'avril et de septembre les températures minimales moyennes mensuelles de l'eau de mer sur la pente externe du récif-barrière étaient 1,9°C supérieures à celles du chenal sud (Tableau 6.2). Il existe une forte corrélation positive entre la proportion de regroupements de dugongs sur la pente externe du récif-barrière et la différence des températures minimales

moyennes mensuelles entre la pente externe et le chenal sud (coefficient de corrélation de Spearman, n =12, r = 0,858, p <0,01).

Aucun requin n'a été observé dans le voisinage d'un regroupement de dugongs (Annexe D Tableau D.5). Cependant, des requins ont été occasionnellement vus au cours d'un survol où une observation de regroupement a été faite mais dans un habitat différent. Un requin a par exemple été observé au-dessus des herbiers, à marée basse, le 27 juin 2013, lorsque deux regroupements de dugongs étaient observés sur la pente externe du récif-barrière à environ 2,5km (distance mesurée en ligne droite).

Le comportement des dugongs au sein des regroupements n'a pu être établi qu'à une seule occasion, le 13 novembre 2012 lors des survols de radiales. Ce jour, un troupeau a été aperçu au-dessus des herbiers à l'intérieur du lagon. Les panaches de sédiments indiquaient que les dugongs étaient en train de se nourrir.

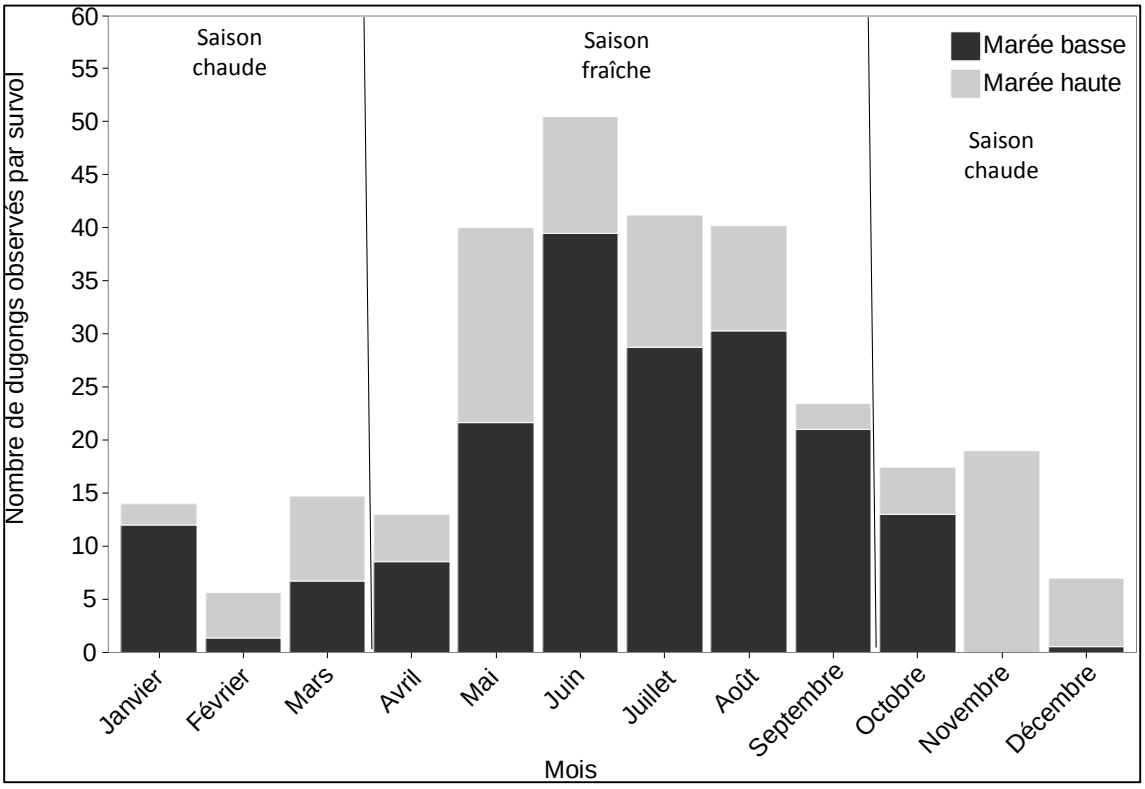


Figure 6.2: Effectifs de dugongs dénombrés par survols pour chaque mois à marée haute et marée basse dans la région de Bourail-Poya.



Figure 6.3: Regroupement de 69 dugongs observé sur la pente externe du récif-barrière à l'extérieur du lagon dans la région de Bourail-Poya le 22 juin 2011.

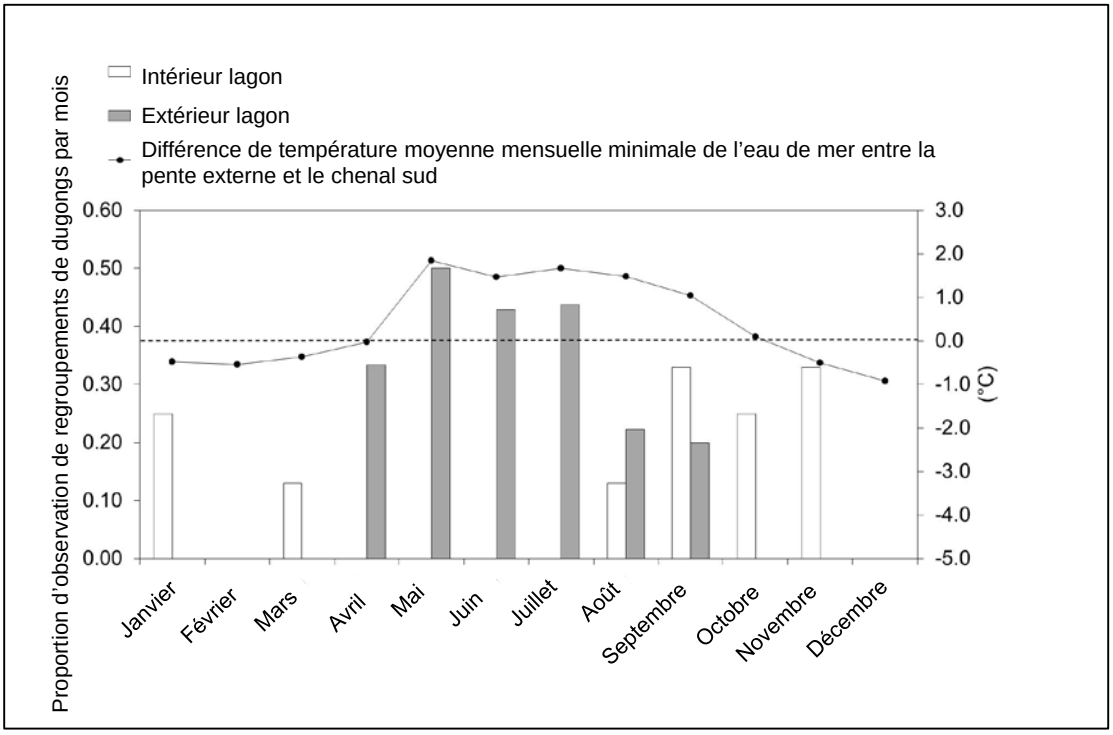


Figure 6.4: Proportion de regroupements de dugongs par mois à l'extérieur (colonnes grises) et à l'intérieur du lagon (colonnes blanches) en relation avec la différence de température moyenne mensuelle minimale de l'eau de mer entre la pente externe du récif-barrière et le chenal sud. La ligne pointillée noire permet de visualiser les variations de la température minimum de l'eau entre la pente externe et le chenal (valeurs positives : température plus chaude ; valeurs négatives : températures plus froides).

Comportement des dugongs

Les différents comportements identifiés au sein des regroupements étaient les suivants : repos, animal tournant sur lui-même, respiration, socialisation et nutrition. Les vidéos étaient trop courtes (la plus longue durait 24 min) et ne ciblaient pas suffisamment un groupe d'animaux particulier pour permettre des examens de suivi focaux complets (Annexe E). Le comportement alimentaire observé était limité aux veaux tétant le lait de leur mère. Globalement les dugongs se reposaient à la surface et dans la colonne d'eau à mi-profondeur. Les veaux reposaient sur le dos ou sur le côté de leur mère. Les événements sociaux (sensu Hodgson 2004) observés étaient de l'ordre du passage d'un animal à proximité d'un autre, de jonction de groupes ou de nage lente en dehors d'un groupe. Aucun comportement pré-copulatoire ou d'accouplement n'a été identifié.

Utilisation de l'habitat

Un plus grand nombre de dugongs a été observé à marée basse qu'à marée haute pendant toute la saison fraîche (Figure 6.5). En revanche, pendant la saison chaude aucune tendance n'a été notée par rapport aux marées ; la plupart des dugongs ont été observés à marée haute en novembre, décembre, février et mars tandis qu'ils étaient plus nombreux à marée basse au mois de janvier et d'avril.

La répartition des dugongs dans les quatre habitats identifiés varie avec l'alternance des saisons et des marées (Tableau 6.3). Le modèle log-linéaire a révélé une interaction significative entre les variables habitat-saison-marée ($G2 = 68,5$, $df = 4$, $p < 0,0001$; Annexe D Tableau D.6) et une interaction significative entre la marée et l'habitat ($G2 = 372,68$, $dl = 4$, $p <0,0001$), la marée et la saison ($G2 = 35,17$, $df = 1$, $p < 0,0001$) et la saison et l'habitat ($G2 = 107,70$, $df = 4$, $p < 0,0001$). Le jeu de données a donc été divisé en catégories saison-marée afin de comparer l'usage de l'habitat par les dugongs pour chacune de ces catégories (Tableau 6.3).

A marée haute, le pourcentage de dugongs présents au-dessus des herbiers était plus élevé que pour les autres habitats, indépendamment de la saison (Figure 6.5 et Tableau 6.3). Ce pourcentage change avec la saison, les dugongs y étant plus de deux fois plus nombreux pendant la saison chaude que pendant la saison fraîche. Les dugongs semblent utiliser la pente externe du récif-barrière préférentiellement à la saison fraîche et à marée basse plutôt qu'à marée haute (plus de deux fois plus) (Figure6.5 et Tableau 6.3). Les dugongs ont été observés sur le récif réticulé principalement à marée basse pendant la saison chaude et à marée haute lors de la saison fraîche. Les chenaux sont utilisés par les dugongs à marée basse lorsque les herbiers

se découvrent et en particulier durant la saison chaude lorsque la température moyenne mensuelle minimale de l'eau y est plus chaude que sur la pente externe du récif-barrière (Figure 6.5 et Tableau 6.3).

Tableau 6.3: Pourcentage d'observations de dugongs dans chaque habitat pour chaque catégorie saison-marée.

Marée-Saison	Habitat			
	Herbier	**Récif réticulé**	**Chenal**	**Pente externe**
Basse-Fraîche	3	7	31	59
Basse-Chaude	0	23	73	4
Haute-Fraîche	36	28	14	22
Haute-Chaude	79	6	16	0

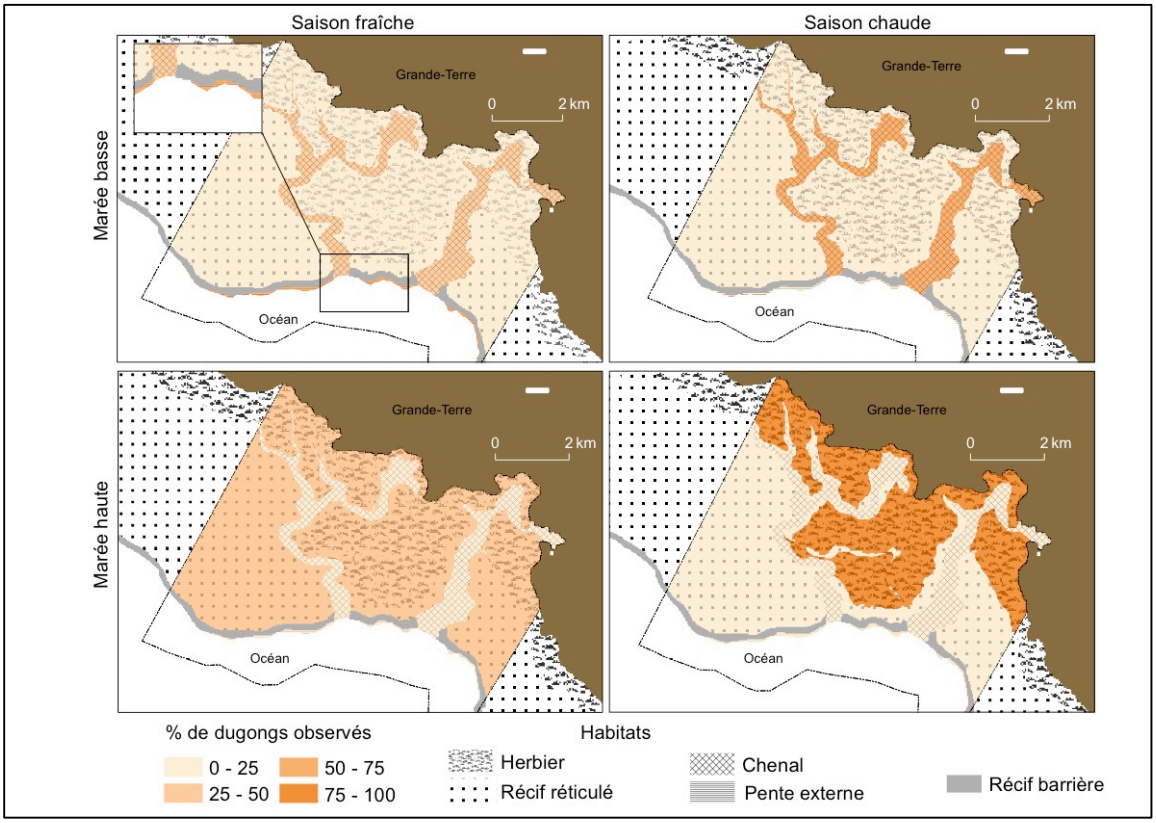


Figure 6.5: Pourcentage d'observations de dugongs dans chaque habitat pour chaque catégorie saison-marée. L'intensité d'échantillonnage a été constante au sein et entre chaque catégorie saison-marée.

6.4 Discussion

Une influence de la saison et de la marée a été mise en évidence sur l'abondance des dugongs, leur comportement et leur utilisation de l'habitat dans la région de Bourail-Poya. Une différence notable dans la localisation des regroupements de dugongs en fonction de la saison a également été détectée. Pendant la saison fraîche, la température de l'eau est plus élevée à l’extérieur qu’à l’intérieur du lagon. Cette différence de température s’inverse pendant la saison chaude. L’ensemble de ces résultats suggère qu’un comportement de thermorégulation chez les dugongs pourrait expliquer les changements d’abondance et d’utilisation de l’habitat dans cette région. Cette hypothèse est discutée en détail dans la thèse et résumée ci-dessous, en tenant compte de l’influence potentielle d’autres facteurs.

Comportement de thermorégulation

La thermorégulation est un élément clé dans le maintien de l'homéostasie chez les mammifères (Cossins et Bowler1987 ; Terrien et al., 2011). Les capacités de thermorégulation sont fortement liées à l'équilibre énergétique, les animaux cherchant constamment à limiter les coûts énergétiques de la normothermie (Terrien et al., 2011). De nombreux mammifères utilisent des mécanismes comportementaux afin de réduire les coûts énergétiques de la thermorégulation (Cabanac et al., 1970 ; Baldwin1974 ; Gordon1985 ; Flouris2011). Par exemple, les cochons sauvages qui peuplent les systèmes fluviaux dans les pâturages semi-arides australiens, tentent de réduire ce coût en se réfugiant sous le couvert continu des systèmes arborescents. La nécessité d'accéder aux forêts lorsque les températures sont élevées contraint donc le comportement de ces animaux, les amenant à utiliser les zones alimentaires adjacentes (Choquenot et Ruscoe 2003).

La thermorégulation est un problème important pour les mammifères marins qui passent la totalité ou une grande partie de leur vie dans l'eau, car ce milieu a une conductivité 25 fois plus grande que l'air et les températures y sont généralement inférieures à la température corporelle des animaux (Pabst et al., 1999 ; Rosen et al., 2007 ; Satinoff 2011). Les mammifères marins régulent leur température corporelle à la fois morphologiquement (p. ex. utilisation de leur fourrure, graisse sous-cutanée du corps) et par le biais d’adaptations comportementales.

Les Siréniens ont une alimentation herbacée qui est énergétiquement faible par rapport à la nourriture des mammifères marins carnivores (Aragones et al., 2012). Ils ont un taux métabolique relativement faible, une conductance thermique limitée par rapport aux mammifères marins vivant en eaux froides et une capacité limitée à augmenter leur taux

métabolique pour contrer la perte de chaleur (Gallivan et Meilleur 1980 ; Irvine 1983). C'est pourquoi les Siréniens modifient leur comportement afin de réduire la perte d'énergie due à la conductance thermique. Ce comportement a été largement étudié en Floride où les températures de l'eau durant l'hiver peuvent être fatales pour les lamantins lors de fronts froids (Bossart et al., 2003, 2004). Dans cette région, les lamantins répondent aux basses températures en effectuant des migrations saisonnières locales vers des sources d'eau chaude naturelle ou aux abords de rejets d'eaux chaudes industrielles (Laist et Reynolds 2005 ; Deutsch et al., 2006). Dans certains cas l'halocline est inversée, entrainant une hausse de température au fond de l'eau qui incite les lamantins à passer plus de temps en profondeur (Stith et al., 2011).

La différence de température d'environ 2°C pourrait conduire les dugongs à utiliser la pente externe du récif-barrière en saison fraîche afin de réduire le transfert de chaleur du centre du corps vers la peau. Passer d'une température de 22,9 °C dans le chenal sud (la température la plus fraîche enregistrée en mai dans cet habitat) à une température de 24,8 °C sur la pente externe, permettrait de réduire le transfert de chaleur de 13,5%. Le comportement est inversé durant la saison chaude lorsque l'eau est plus chaude à l'intérieur du lagon que sur la pente externe.

Un plus grand nombre de dugongs a été observé dans la région de Bourail-Poya en saison fraîche qu'en saison chaude. L'augmentation de l'effectif pourrait être le résultat d'une stratégie visant à réduire le coût énergétique nécessaire pour accéder aux eaux chaudes. Le lagon étant plus étroit dans la région de Bourail-Poya que dans d'autres régions de la côte ouest l'effort pour effectuer le déplacement entre les zones d'alimentation et les eaux chaudes extérieures au lagon y est moins grand. Le coût énergétique associé est donc potentiellement plus faible dans cette région que dans d'autres où le lagon est plus large. Une volonté de reduction du cout énergétique due au deplacement couplée à une forte abondance et à une stratégie de thermoregulation en saison fraîche pourraient expliquer pourquoi les dugongs se regroupent proche des passes lorsqu'ils sont à l'exterieur du lagon.

Réduction du risque de prédation

Le besoin de minimiser le risque de prédation pour maximiser la survie est essentiel pour une espèce comme le dugong qui a un taux de reproduction lent et une longue durée de vie. Les principaux prédateurs des dugongs sont les grands requins tels que le requin tigre. Les preuves d'attaques directes de requin sur les dugongs sont résumées dans Marsh et al. (2011).

Les dugongs minimisent la prédation par le comportement: (1) en réduisant le risque de rencontre avec un prédateur (2) en utilisant un refuge et/ou en augmentant leur chance d'évasion

(Wirsing et al., 2007a). Ces stratégies peuvent échouer si les dugongs sont pris en embuscade dans les récifs réticulés, comme cela a été observé par Garrigue et al., (2008). Dans la région de Bourail-Poya, les chenaux, adjacents aux récifs réticulés, offrent un accès à des eaux profondes pour échapper à la prédation. Leur profondeur et leur turbidité pourraient cependant limiter la capacité des dugongs à détecter les attaques de requins venant du fond. Or pour un dugong, la prédation ventrale est plus dangereuse que les attaques venant du haut parce que dorsalement les organes vitaux du dugong sont protégés par la cage thoracique (Marsh et al., 2011). La pente externe du récif-barrière située à l'extérieur du lagon offre un accès à des eaux océaniques profondes mais la faible pronfondeur de cet habitat (sous la forme de terrasse) dans lequel les dugongs évoluent leur offre également une visibilité du fond, limitant ainsi les attaques ventrales. Une enquête plus approfondie sur les changements saisonniers d'abondance et d’utilisation de l'habitat par les requins dans la région de Bourail-Poya est nécessaire pour évaluer l'influence de la prédation des requins sur les dugongs.

Pâturage des herbiers par les dugongs

Les variations saisonnières du nombre de dugongs observés dans la région de Bourail-Poya résultent probablement du déplacement d’individus en dehors de la zone d'étude. L’herbivorie dans certains environnements récifaux, en particulier dans les environnements lagonaires, peut modifier de manière significative la productivité des herbiers (Unsworth et al., 2007 ; Coles et al., 2011), qui à son tour peut affecter la distribution et l'abondance des herbivores qui en dépendent pour se nourrir. Le pâturage des dugongs influence les processus microbiens, la biomasse et la productivité des herbiers, la structure des communautés et leur composition spécifique, la qualité des aliments ainsi que la présence d’animaux benthiques associés tels que les invertébrés marins (Marsh et al., 2011). Le temps de reconstitution des herbiers suite à la perturbation engendrée par le pâturage des dugongs varie en fonction de la période de l'année et du lieu (McMahon 2005). En Floride, les espèces telles que *Halodule wrightii* et *Syringodium filiforme* montrent des croissances significatives au cours d’une année après que les lamantins s’en soient intensément nourris durant les trois mois d'hiver (Lefebvre et al., 2000). La reprise de croissance de ces plantes permet aux lamantins de revenir dans la même zone pour s’y nourrir l'hiver suivant. Il est donc raisonnable de supposer que le changement saisonnier de l’abondance des dugongs observés dans la région de Bourail-Poya puisse résulter d’un effet de pâturage saisonnier des herbiers. Cependant, il n’existe aujourd’hui aucune preuve permettant de rejeter ou d'étayer cette hypothèse, qui n’exclut pas l'hypothèse de comportement de thermorégulation discutée auparavant.

Interactions sociales entre individus

Les interactions sociales entre les individus sont une explication peu probable des changements temporels d'abondance et de distribution spatiale des dugongs dans la région de Bourail-Poya. Les séquences vidéo disponibles pour l'analyse, bien que peu nombreuses, indiquent que les dugongs qui se regroupent sur la pente externe du récif-barrière se reposent. Aucune interaction sociale autre que celle des mères et de leurs petits n'a été détectée. Hodgson (2004) a mené une étude plus exhaustive sur le comportement des dugongs qui forment des troupeaux en utilisant un système de vidéo montée sur un ballon dirigeable à Moreton Bay en Australie. Celle-ci conclu que les dugongs ne formaient pas de troupeaux pour faciliter les interactions sociales ni pour se reposer ou réduire le risque de prédation. Selon Hodgson (2004) les agrégations de dugongs à Moreton Bay facilitent la stimulation de la croissance des espèces pionnières d'herbiers que les dugongs affectionnent particulièrement (Preen 1992, 1995 ; Hodgson 2004). Toutefois, les résultats d'Hodgson sont biaisés par le fait que ses observations de regroupements de dugongs n'ont été effectuées qu'au-dessus de prairies d'herbiers. La situation dans la région de Bourail-Poya est très différente car la pente externe du récif-barrière est dépourvue d'herbier. Il ne fait aucun doute, à partir des vidéos, que les dugongs observés à cet endroit se reposaient du moins au moment où ces vidéos ont été tournées. Ainsi, bien que le pâturage des herbiers puisse être en partie responsable des changements d'abondance de dugongs dans la région, cette théorie ne peut pas expliquer la formation de regroupements de dugongs sur la pente externe. Des données complémentaires sont nécessaires. L'utilisation de drones pourrait, par exemple, être envisagée car elle permettrait d'étendre les observations initiées dans ce travail et de documenter plus abondamment le comportement des dugongs afin d'obtenir une meilleure compréhension des raisons de ces regroupements de dugongs à l'extérieur du lagon et du rôle de chaque individu au sein de ses troupeaux.

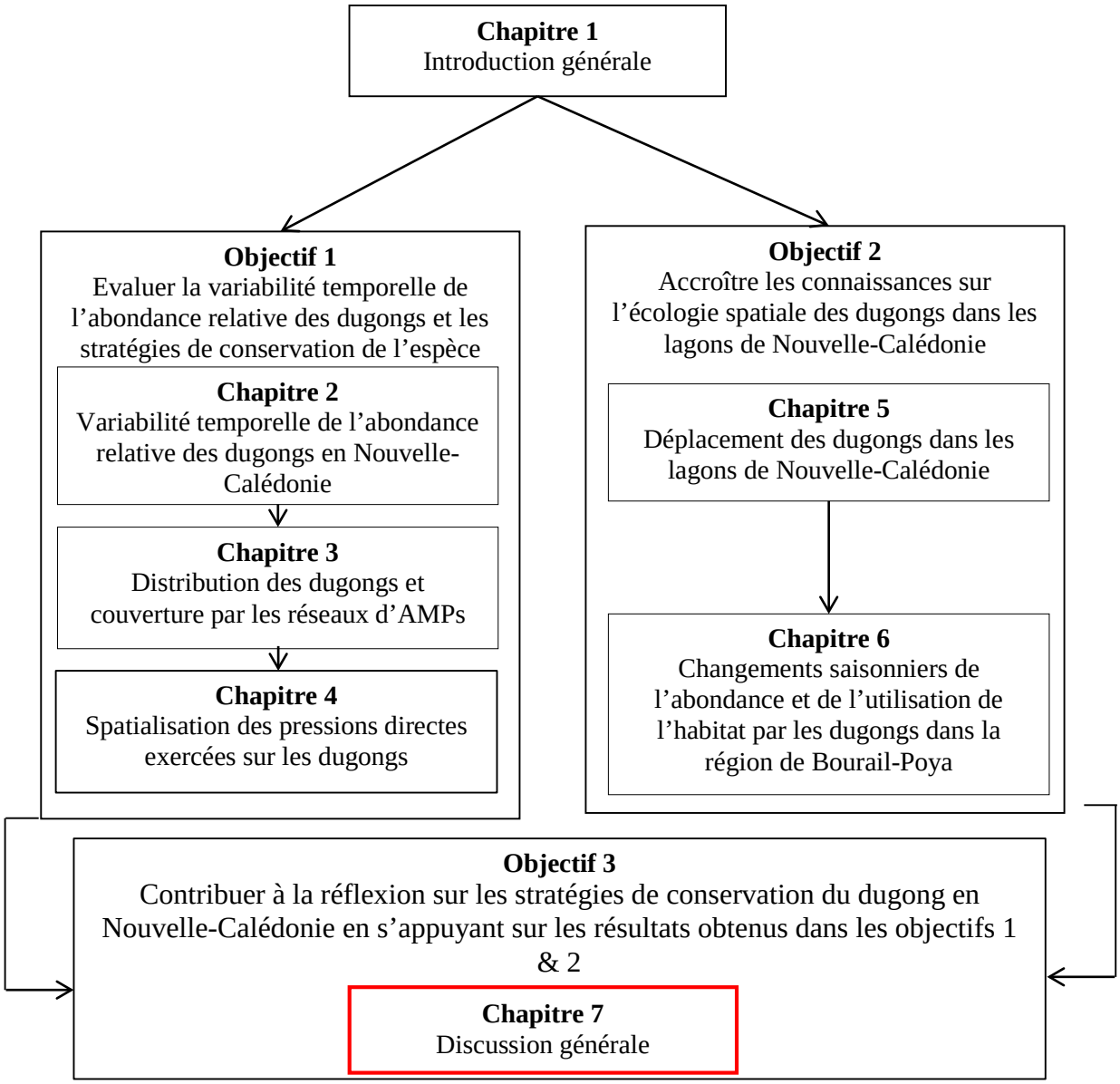
Réduction des risques liés à l'interaction avec l'homme

Le trafic maritime et notamment les embarcations rapides sont un véritable danger pour les Siréniens car ceux-ci n'ont pas le temps de réagir à l'approche d'une embarcation rapide et sont, de ce fait, régulièrement heurtés par ces dernières (Hodgson et Marsh2007). Bien qu'aucune étude de comportement n'ait jamais été menée dans des régions où le trafic maritime est peu intense comme c'est le cas pour Bourail-Poya, j'émets l'hypothèse que les perturbations causées par les activités humaines ont peu de chance d'avoir influées sur les résultats obtenus dans ce travail. En effet l'activité humaine relevée durant les survols était très faible puisque seuls dix bateaux ont été observés au cours des 62 survols. Le niveau d'activité humaine dans cette région pourrait cependant être en passe d'évoluer et un accroissement des activités est probable suite au développement touristique et de loisir actuellement en cours dans la région.

6.5 Conclusion

Cette étude montre que la saison (et donc les changements de température d’eau) et les marées influencent fortement le nombre et la répartition des dugongs dans la région de Bourail-Poya. Les résultats montrent également qu’en plus des zones d’herbiers, les habitats tels que la pente externe du récif-barrière ou les chenaux constituent des zones importantes pour les dugongs. La thermorégulation semble être un facteur clé dans le comportement des dugongs qui doivent faire face aux changements saisonniers et choisir leurs habitats de façon à limiter les pertes énergétiques. Une étude plus approfondie sur l'effet des variations saisonnières sur la disponibilité et la qualité des herbiers et sur les pressions de prédation par les grands requins est nécessaire pour évaluer l’impact de ces facteurs sur l’abondance et la distribution des dugongs dans la région. Une étude comportementale devrait être mise en place afin de mieux comprendre la cause des regroupements de dugongs à l’extérieur du lagon et le rôle de chaque individu au sein de ses regroupements et ainsi adapter au mieux les mesures de gestion de ces regroupements.

Chapitre 7: Discussion générale



7.1 Contribution à planification de la conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie

Face à la perte continuelle de la biodiversité mondiale, le Programme pour l'Environnement des Nations Unies (UNEP) a élaboré la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) avec l'intention, en partie, de "permettre la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses composantes et le partage équitable des ressources génétiques" (Balmford et al., 2005). La conservation du dugong rentre dans les objectifs de cette convention.

Le dugong est un élément important des écosystèmes côtiers tropicaux et subtropicaux. Le statut de la plupart de ces écosystèmes ainsi que des dugongs sont très préoccupants dans la majeure partie de l'aire de répartition de l'espèce au sein de la région Indo-ouest Pacifique (Marsh et al., 2011). La capacité d'agir en faveur de la protection des dugongs face aux perturbations anthropiques devrait être plus élevée dans les pays et territoires ayant un indice de développement humain (HDI) très élevé. En effet, ces pays et territoires ont généralement la capacité de mettre en œuvre des mesures efficaces de conservation et de traiter des questions de conservation de la faune sauvage, alors que ce n'est malheureusement pas le cas pour de nombreux pays et territoires moins développés (Marsh et al., 2011).

La Nouvelle-Calédonie est l'un des pays les plus riches de la région océanienne (ISEE 2014). Elle reçoit des transferts financiers de la France métropolitaine -qui possède un indice de développement humain très élevé- et de l'Union Européenne et les activités minières y sont en plein essor. La capacité de la Nouvelle-Calédonie à mettre en place des actions de recherche et de conservation pour améliorer la protection des dugongs est donc, en théorie, plus élevée que dans tout autre pays ou territoire d'Océanie à l'exception de l'Australie. Comme cela a été expliqué dans les chapitres1 et 2, les résultats des premières campagnes de comptage de dugongs menés en 2003 et en 2008 en Nouvelle-Calédonie (Garrigue et al., 2008, 2009), ont renforcé l'intérêt et intensifié les préoccupations des gestionnaires de l'environnement sur le devenir de l'espèce. C'est dans ce contexte que le Plan d'Action Dugong 2010-2015 a été rédigé et que les acteurs de l'environnement et membres du Plan d'Action ont décidé de mettre en chantier des études spécifiques sur l'écologie des populations de dugongs de la Nouvelle-Calédonie. Cette étude doctorale est un des résultats de cet investissement. Elle fournit aux membres de ce plan d'action et à la communauté calédonienne des données de référence et des outils qui devraient permettre d'améliorer la conservation et la gestion de la population de dugongs.

7.2 Eléments clés à considérer pour la conservation et la gestion des dugongs en Nouvelle-Calédonie

Une gestion à plusieurs échelles spatiales

Les instances en charge de la conservation et de la gestion de la population de dugongs en Nouvelle-Calédonie fonctionnent à l'échelle provinciale dans le contexte réglementaire du territoire. Cette étude montre que les zones importantes pour les dugongs se situent à la fois en province nord et en province sud. Les dugongs franchissent régulièrement ces frontières juridictionnelles. C'est pourquoi la gestion de la population de dugongs doit être coordonnée à une échelle écologique pertinente pour l'espèce, en mettant en place des mécanismes de gestion transversale entre les autorités provinciales. Comme l'a souligné Sheppard (2008),"une population de dugongs localisée dans une baie doit être considérée non comme une entité isolée mais comme un élément fluctuant d'une métapopulation dynamique".

Les résultats issus de ce doctorat soulignent également la nécessité de mettre en œuvre des actions de conservation à l'échelle locale. La région de Bourail-Poya a été choisie comme cas d'étude parce qu'elle abrite l'une des plus fortes concentrations de dugongs et d'immenses herbiers. Les discussions qui ont eu lieu lors des restitutions des résultats de la thèse au mois de septembre 2015 ont suggéré qu'une activité de braconnage importante existe dans cette région. Aux risques importants de braconnage, s'ajoute le développement d'activités sur le littoral qui s'accompagnera de l'accroissement des usages du domaine maritime, engendrant de nouvelles pressions anthropiques auxquelles les dugongs devront faire face. Des mesures visant à atténuer les risques liés à l'urbanisation du littoral doivent rapidement être mise en place en concertation et en collaboration avec les usagers de la région.

Quelle que soit l'échelle spatiale sur laquelle les actions de conservation et de gestion seront mises en place, les communautés locales de toutes origines devraient être consultées et leur participation aux prises de décisions affectant leur usage quotidien des ressources marines doit être envisagée. Des exemples de gestion communautaire des populations de dugongs, notamment sur des projets menés dans différentes régions d'Australie, sont disponibles dans la littérature (Havemann et al., 2005 ; Marsh et al., 2011 ; Butler et al., 2012).

Un renforcement de la capacité des aires marines protégées dans la protection des dugongs

Bien que les données de balisage ne concernent qu'un petit nombre d'animaux, elles apportent des données précieuses quant à l'utilisation de l'espace par les dugongs. Elles montrent que le déplacement et l'utilisation de l'espace (Chapitre 5) coïncident avec le modèle spatial de distribution et de densités relatives obtenu suite aux survols (p. ex. Figure7.1) et confirment que (1) les zones à fortes densités de dugongs sont largement utilisées par les dugongs même si ceux-ci transitent d'une zone 'hot spot' à une autre et que (2) les dugongs passent peu de temps au sein des AMPs qui présentent des caractéristiques suffisantes pour protéger cette espèce de la plupart des activités anthropiques. Ces résultats pourraient d'ores et déjà être considérés pour revisiter le périmètre des AMPs actuellement en place et l'étendre aux zones sensibles (chapitre 3).

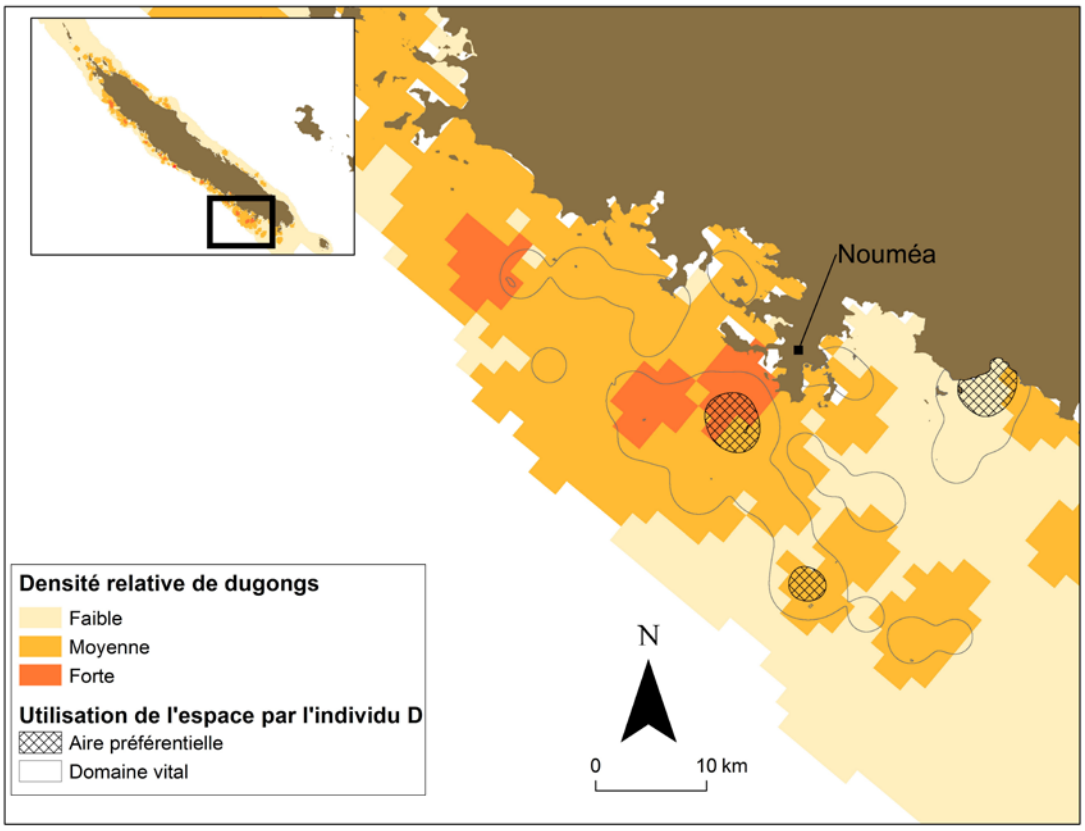


Figure 7.1: Superposition du modèle de distribution et de densités des dugongs avec l'utilisation de l'espace (domaine vital et aire préférentielle) de trois dugongs balisés dans la région du grand Nouméa.

Dans la région du patrimoine mondial de la grande barrière de corail australienne, un réseau d'AMPs, dont l'un des buts est de protéger les dugongs, a été mis en place en se basant sur un modèle de distribution et de densités relatives de dugongs similaire à celui développé dans mon étude. L'objectif de ce réseau était notamment de couvrir 50% des zones à fortes densités de dugongs dans la région (Marsh et Lawler 2000 ; Dobbs et al., 2008 ; Grech et Marsh 2008). L'utilisation de filets de pêche dans ces nouvelles AMPs a été interdite ainsi que dans d'autres régions identifiées comme couloirs de déplacement afin de réduire les risques de prises non intentionnelles de dugongs par les activités de pêche (GBRMPA 2007 ; Sheppard 2008). L'application de telles mesures en Nouvelle-Calédoie nécessitera au préalable de mieux cerner la question des prises non-intentionnelles et de les quantifier spatialement. En effet, selon les régions concernées la réalité de ces captures accidentelles n'est pas appréciée de la même manière par les différents acteurs, en tout cas c'est ce qui est ressorti des échanges qui ont eu lieu en septembre 2015 à l'occasion des diverses restitutions de ma thèse.

Toutefois, et dans l'immédiat, sur la base des réseaux d'AMPs actuellement en place et à la lumière des données nouvellement acquises, une réflexion entre les gestionnaires, les scientifiques et les usagers de la mer devrait permettre de revisiter le zonage des AMPs afin d'accroitre la protection des dugongs

Dans la discussion du chapitre 3, des pistes de réflexion sont proposées pour informer et faire avancer ces discussions. De telles pratiques sont courantes. En Australie, par exemple, l'examen d'une section du parc marin de la grande barrière de corail a indiqué que certaines réserves intégrales avaient été mal réparties et ne pouvaient donc pas assurer la protection de plusieurs espèces au statut de conservation préoccupant. Par conséquent le zonage a été modifié en suivant un protocole de planification avec des buts et des objectifs précis de façon à augmenter la couverture de certains éléments clés de la biodiversité (Fernandes et al., 2005). Une telle approche pourrait être mise en place à l'échelle de la Grande-Terre de la Nouvelle-Calédonie si les AMPs venaient à être re-planifiées.

Règlementation et conformité

La question de la chasse du dugong et de son illégalité est un élément clé dans la perspective d'une protection accrue de l'espèce en Nouvelle-Calédonie. La sensibilisation du public étant un des principaux objectifs du Plan d'action Dugong 2010-2015, le groupe technique s'est doté d'un comité élargi qui s'est attelé activement à cette question en développant notamment des outils tels que spots télévisées, calendriers représentant des dessins d'enfants d'école, livrets éducatifs, autocollants, etc. L'enquête anthropologique menée récemment dans le nord-est et dans les régions côtières du centre-ouest de la Nouvelle-Calédonie indique que les gens savent que tuer un dugong en Nouvelle-Calédonie est illégal (Dupont 2015). La question de la non-conformité aux lois est un problème fréquent dégradant les objectifs sociaux, environnementaux et économiques (Haken 2011). Des méthodes d'enquêtes sociales existent pour mieux comprendre la conformité ou non aux lois. Les réponses à ces enquêtes sont susceptibles d'être biaisées et divergentes de la réalité lorsque la non-conformité est perçue comme un comportement clandestin. La littérature sur les méthodes d'étude de la conformité aux lois a été récemment revue par Arias (2015). Ces méthodes pourraient être reprises et discutées au sein du comité du Plan d'Action Dugong 2010-2015 pour renforcer l'action de sensibilisation sur la question de l'illégalité de la chasse et les conséquences de ces activités sur la population de dugongs.

Comme dans bien des pays, les réglementations environnementales sont difficiles à mettre en œuvre en Nouvelle-Calédonie (Sourisseau et al., 2010). La répartition des responsabilités entre le gouvernement français, le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, et les provinces est un des facteurs limitant l'application de la réglementation. Par exemple, la pêche maritime et les règlementations côtières relatives aux AMPs sont de la responsabilité des autorités provinciales mais leur suivi et leur application sont également du ressort du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie. La capacité limitée à contrôler les activités humaines dans les lagons qui entourent la Grande-Terre est un autre problème majeur pour les acteurs de la conservation de la faune marine sauvage. En conclusion, un des grands défis devant être rapidement abordé par les organismes de conservation de la faune marine sauvage sera de mettre en place une stratégie efficace d'application des lois environnementales en Nouvelle-Calédonie ainsi que d'apporter les crédits nécessaires pour assurer le respect des lois existantes.

Surveillance de la population de dugongs

Comme indiqué au chapitre 2, détecter un déclin ou une augmentation de l'abondance de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie est très difficile voire impossible dans un laps de temps compatible avec des mesures de gestion (Taylor et Gerrodette 1993 ; Marsh 1995 ; Taylor et al., 2007). Néanmoins, les comptages aériens de dugongs en Nouvelle-Calédonie ont permis (1) d'actualiser les estimations d'abondance, (2) de confirmer l'absence d'effet saisonnier sur ces estimations, (3) de déterminer la variation spatiale des proportions de veaux autour de la Grande-Terre, (3) de développer un modèle spatial de distribution et de densités relatives des dugongs, (4) de déterminer la variation temporelle de cette distribution, (5) de fournir aux gestionnaires de l'environnement un outil pour améliorer la capacité des réseaux d'AMPs à protéger les dugongs. Il est nécessaire et important de poursuivre régulièrement les comptages aériens de dugongs afin de continuer l'acquisition de données et de permettre la surveillance à long terme de l'abondance et de la distribution de l'espèce.

Compte tenu du manque d'information robuste sur les mortalités naturelles et anthropiques en Nouvelle-Calédonie, il est difficile de déterminer si le niveau de mortalité anthropique est tolérable ou non. Des mesures doivent être mises en place rapidement pour collecter des informations fiables et robustes sur la mortalité des dugongs au cours d'une année. La mise en place d'un réseau de collecte des données d'échouages devrait pouvoir rapidement être effectuée sur la base d'un suivi participatif de la part des communautés locales afin que le réseau soit accepté, connu de tous et ait quelque chance de perdurer. La mise en place d'un réseau d'acquisition de données sur la mortalité des dugongs en Nouvelle-Calédonie peut également représenter une opportunité de collecter des données sur les autres espèces de grande faune marine sauvage (tortues, mammifères marins, etc..).

7.3 Etudes complémentaires sur les dugongs et les herbiers marins à mettre en perspectives

Cartographie des herbiers subtidaux

Les herbiers marins sont en déclin dans le monde entier (Waycott et al., 2009). Diverses activités anthropiques telles que les dragages, l'urbanisation des littoraux, les dommages associés à la surexploitation des ressources côtières, les activités de nautiques de plaisance et la surcharge en nutriments et en sédiments provenant des bassins versants nuisent aux herbiers (Cambridge et McComb1984 ; Court et Wyllie-Echeverria 1996 ; Coles et al.,2003 ;. Orth et al.,

2006 ; Waycott et al., 2009). En Nouvelle-Calédonie, l'accroissement de la population sur les littoraux et le développement d'exploitations minières, agricoles et aquacoles, en particulier sur la côte ouest de la Grande-Terre, exercent inévitablement des pressions sur les écosystèmes marins côtiers et les herbiers associés (Hily et al., 2010).

Les herbiers marins peu profonds (< 5m) de la Nouvelle-Calédonie ont été cartographiés par télédétection (Andréfouët et al., 2010). Cette couche a été utilisée dans mes analyses relatives à l'utilisation de l'habitat par les dugongs (chapitres 5 et 6). Toutefois, la résolution et les informations fournies par cette étude cartographique ne sont pas suffisantes pour ce type d'analyse. En effet, les herbiers présents dans les zones > 5m de profondeur, même si leur densité est faible, demeurent des zones de nutrition clés pour les dugongs (Holley et al 2006 ; Sheppard et al 2007, 2009.). Or, à ce jour nous manquons de données quantitatives sur ces herbiers profonds à l'échelle de la Grande-Terre.

Une protection efficace des dugongs nécessitera inévitablement la localisation et la protection des herbiers dont ils dépendent. C'est pourquoi des études menant à une cartographie des herbiers marins profonds de Nouvelle-Calédonie doivent être menées dès que possible. Le modèle spatial de distribution et de densités relatives de dugongs développé dans le chapitre 3 ainsi que les données de déplacements et les informations sur le domaine vital et les aires préférentielles des dugongs, acquises dans le chapitre 5, constituent des indicateurs pouvant aider au développement de nouvelles études sur les herbiers marins subtidaux des lagons de Nouvelle-Calédonie.

Comprendre l'écologie nutritionnelle des herbivores est essentiel pour une bonne estimation de leur démographie et de leur répartition spatiale (Choat et Clements 1998). Le régime alimentaire des Siréniens a traditionnellement été étudié par l'examen de l'intestin, de la bouche, et l'analyse de contenus des matières fécales et des contenus stomacaux (Marsh et al., 2011). Ces méthodes fournissent une idée de la nourriture récemment ingérée par un animal. Cependant, la mesure du rapport des isotopes stables de divers tissus, comme celle menée sur les lamantins de Floride par exemple, peut fournir des informations sur l'alimentation d'animaux à long terme (Alves-Stanley et digne 2009 ; Alves-Stanley et al., 2010). En Nouvelle-Calédonie, il y a eu à ce jour peu d'opportunité pour recueillir des contenus stomacaux de dugongs (Claire Garrigue. com. pers.). En revanche, la collection de tissus mous, notamment grâce au projet de balisage décrit dans le chapitre 5, est une piste intéressante pour effectuer des analyses isotopiques afin de fournir des premières informations sur le régime alimentaire des dugongs en Nouvelle-Calédonie.

Ecologie spatiale des dugongs

L'étude du déplacement des dugongs en Nouvelle-Calédonie détaillée au chapitre 5 a permis d'acquérir des premières informations sur l'hétérogénéité des déplacements ainsi que sur le domaine vital et les aires préférentielles des dugongs dans différentes régions autour de la Grande-Terre. La technologie QFP (chapitre 5) a permis d'identifier pour la première fois des couloirs de déplacement permettant aux dugongs de transiter d'une baie à une autre. Ce type de donnée, impossible à obtenir à partir de survols, fournit donc des informations complémentaires pour améliorer les mesures de conservation de l'espèce et de son habitat. L'extension de ce type de suivi à d'autres dugongs permettra probablement d'identifier d'autres voies de déplacements autour de la Grande-Terre.

La taille de l'échantillonnage dans certaines régions et la durée du suivi des animaux, restreinte à la saison chaude, limitent les conclusions de mon étude. Le suivi d'un nombre plus important de dugongs dans la région de Nouméa permettrait d'affiner les mesures de conservation et de gestion qui ne se reposent à ce jour que sur le déplacement de trois individus balisés. Une étude complémentaire pourrait être conduite afin de déterminer si les dugongs utilisent l'espace différemment pendant la saison fraîche. Le suivi satellitaire de dugongs au début de la saison fraîche dans la région de Bourail-Poya pourrait aussi nous permettre d'améliorer nos connaissances sur le comportement de thermorégulation suggéré au chapitre 6.

La récupération de 11 balises à l'issue de l'étude offre la possibilité de poursuivre les recherches sur le déplacement des dugongs dans les lagons de Nouvelle-Calédonie. Des discussions devraient être rapidement lancées sur le devenir de ces balises et l'opportunité de mettre en place une nouvelle campagne de balisage pour étendre la connaissance sur les déplacements des dugongs sur le territoire.

7.4 Conclusion

La conservation et la gestion de la population de dugongs en Nouvelle-Calédonie était jusqu'à aujourd'hui limitée notamment par le manque d'information sur l'écologie spatiale de l'espèce. Mon doctorat a permis d'aborder cette thématique et de fournir une base de données de référence pour la conservation et la gestion de l'espèce à plusieurs échelles spatio-temporelles. Outre les différents grands axes de recherche qui devraient être mis en place pour continuer à augmenter la connaissance et affiner la compréhension des dugongs et de leurs habitats, un effort urgent doit porter sur la question de la mortalité par braconnage et par prise non-intentionnelle dans les filets de pêche. De même une attention particulière devra être portée à la

question de la non-conformité aux lois et règles et aux mesures à développer pour renforcer le respect de la loi.

Pistes de réflexions

En guise de conclusion, je propose ci-après une liste d'objectifs et d'actions déclinée sous deux grands thèmes : (1) la conservation et la gestion de la population de dugongs, et (2) l'augmentation de la connaissance pour améliorer la conservation et la gestion de la population de dugongs. Les objectifs et actions listés ci-dessous sont issus des résultats obtenus durant mon doctorat mais aussi des échanges avec les membres du Plan d'Action Dugong 2010-2015 tout au long de ces années de travail et au cours des différentes restitutions de septembre 2015. Cette liste constitue une base de réflexion pour nourrir les discussions qui devront intéresser les différents acteurs de la protection de l'environnement de Nouvelle-Calédonie. Une fois finalisée cette liste devrait aider à la mise en place d'actions efficaces pour la conservation et la gestion de la population de dugongs et de leur habitat en Nouvelle-Calédonie.

FICHE PISTES DE REFLEXION

Thème 1: CONSERVATION ET GESTION			
Objectif : Accroître la protection des dugongs et de leur habitat			
ID	**Actions**	**Priorité**	**Chapitre référence**
1	Protéger les zones à fortes et très fortes densités relatives de dugongs face à toutes pressions directes connues	Elevée	3, 7
2	Protéger les couloirs de déplacement des dugongs face à toutes pressions directes connues	Elevée	5, 7
3	Protéger les aires préférentielles des dugongs révélées par le balisage des animaux	Elevée	5, 7
4	Réduire les risques de collision entre embarcations marines et dugongs par la mise en place de couloir/zones de ralentissement de la vitesse	Elevée	4, 7
5	Eliminer le braconnage des dugongs	Elevée	2, 3, 7
6	Mettre en place un réseau d'échouage	Elevée	2, 7

Thème 2: ACCROITRE LA CONNAISSANCE POUR AMELIORER LA CONSERVATION ET LA GESTION DE LA POPULATION DE DUGONGS			
Objectif 1: Acquérir des données sur la mortalité des dugongs			
ID	**Actions** **(*Méthode d'acquisition ou donnée disponible)***	**Priorité**	**Chapitre référence**
1	Quantifier et spatialiser le braconnage des dugongs *(Etude sur la prise intentionnelle de dugongs)*	Elevée	na
2	Estimer et spatialiser le taux de mortalité annuelle naturelle et anthropique de dugongs (*Réseau d'échouage)*	Elevée	2
Objectif 2 : Suivre l'évolution du statut de la population de dugongs			
1	Suivre l'évolution de l'abondance relative et de la distribution des dugongs *(Comptages aériens)*	Elevée	2
2	Améliorer la caractérisation de la diversité génétique présente en Nouvelle-Calédonie *(Echantillons disponibles et supplémentaire directe ou opportuniste (via études balisage))*	Moyenne	Oremus et al. (2015)

Objectif 3 : Comprendre l'interaction des dugongs avec leur habitat			
1	Suivre le déplacement et l'utilisation de l'habitat par les dugongs. Augmentation de l'échantillonnage dans des régions clés (p. ex. lagon sud-ouest) et/ou échantillonnage dans de nouvelles régions (p. ex. côte nord-est et ouest, îles loyautés) *(Balises disponibles (n = 11))*	Elevée	5
2	Etude du régime alimentaire des dugongs *(Tissus de dugongs échoués et biopsiés)*	Moyenne	7
Objectif 4 : Suivre l'évolution de l'abondance, composition spécifique et distribution des herbiers			
1	Cartographier les herbiers profonds (> 5m de profondeur) autour de la Grande-Terre *(Indicateur dugong : modèle de distribution des dugongs et aires préférentielles des dugongs balisés)*	Elevée	5, 7
2	Suivi de l'abondance et de la composition spécifique des herbiers dans les zones à forte concentration de dugongs *(Etude in-situ)*	Moyenne	7

Bibliographie

AGARDY, T., BRIDGEWATER, P., CROSBY, M. P., DAY, J., DAYTON, P. K., KENCHINGTON, R., LAFFOLEY, D., MCCONNEY, P., MURRAY, P. A., PARKS, J. E. & PEAU, L. 2003. Dangerous targets? Unresolved issues and ideological clashes around marine protected areas. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems,* 13**,** 353-367.

AGARDY, T., DI SCIARA, G. N. & CHRISTIE, P. 2011. Mind the gap: Addressing the shortcomings of marine protected areas through large scale marine spatial planning. *Marine Policy,* 35**,** 226-232.

ALLEN, S., MARSH, H. & HODGSON, A. 2004. Occurrence and conservation of the Dugong (Sirenia: Dugongidae) in New South Wales. *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales,* 125**,** 211-216.

ALVES-STANLEY, C. D. & WORTHY, G. A. 2009. Carbon and nitrogen stable isotope turnover rates and diet–tissue discrimination in Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). *The Journal of experimental biology*, 212, 2349-2355.

ALVES-STANLEY, C. D., WORTHY, G. A. & BONDE, R. K. 2010. Feeding preferences of West Indian manatees in Florida, Belize, and Puerto Rico as indicated by stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 402, 255-267.

ANDERSON, P. 1986. Dugongs of Shark Bay, Australia-Seasonal migration, water temperature, and forage. *Natl. Geogr. Res.,* 2**,** 473-490.

ANDERSON, P. K. 1994. Dugong Distribution, the Seagrass *Halophila spinulosa*, and Thermal Environment in Winter in Deeper Waters of Eastern Shark Bay, Western-Australia. *Wildlife Research,* 21**,** 381-388.

ANDERSON, P. K. & BARCLAY, R. M. 1995. Acoustic signals of solitary dugongs: physical characteristics and behavioral correlates. *Journal of Mammalogy,* 76**,** 1226-1237.

ANDERSON, P. & BIRTLES, A. 1978. Behaviour and Ecology of the Dugong, Dugong Dugon (Sirenia): Observations in Shoalwater and Cleveland Bays, Queensland. *Wildlife Research,* 5**,** 1-23.

ANDRÉFOUËT, S., TORRES-PULLIZA, D., DOSDANE, M., KRANENBURG, C. & MURCH, B. 2004. Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie. *IFRECOR Nouvelle-Calédonie, IRD, Nouméa,* 26.

ANDRÉFOUËT, S., CABIOCH, G., FLAMAND, B. & PELLETIER, B. 2009. A reappraisal of the diversity of geomorphological and genetic processes of New Caledonian coral reefs: a synthesis from optical remote sensing, coring and acoustic multibeam observations. *Coral Reefs,* 28**,** 691-707.

ANDRÉFOUËT, S., PAYRI, C., KULBICKI, M., SCOPÉLITIS, J., DALLEAU, M., MELLIN, C., SCAMPS, M. & DIRBERG, G. 2010. Mesure, suivi et potentiel économique de la diversité de l'habitat récifo-lagonaire néo-calédonien : inventaire des herbiers, suivi des zones coralliennes et rôle des habitats dans la distribution des ressources en poissons de récifs. *Rapport Conventions Sciences de la Mer.* Biologie Marine, IRD Centre de Nouméa / ZoNéCo.

ANDREWS, R. D., PITMAN, R. L. & BALLANCE, L. T. 2008. Satellite tracking reveals distinct movement patterns for Type B and Type C killer whales in the southern Ross Sea, Antarctica. *Polar Biology,* 31**,** 1461-1468.

ARAGONES, L. & MARSH, H. 2000. Impact of dugong grazing and turtle cropping on tropical seagrass communities. *Pacific Conservation Biology,* 5**,** 277-288.

ARAGONES, L. V., JEFFERSON, T. A. & MARSH, H. 1997. Marine mammal survey techniques applicable in developing countries. *Asian Marine Biology,* 14**,** 15-39.

ARAGONES, L. V., LAWLER, I., MARSH, H., DOMNING, D. & HODGSON, A. 2012. The role of sirenians in aquatic ecosystems. *Sirenian conservation: issues and strategies in developing countries. University Press of Florida, Gainesville, FL***,** 4-11.

ARIAS, A. 2015. Understanding and managing compliance in the nature conservation context. *Journal of environmental management,* 153**,** 134-143.

ARIAS, A., PRESSEY, R. L., JONES, R. E., ÁLVAREZ-ROMERO, J. G. & CINNER, J. E. 2014. Optimizing enforcement and compliance in offshore marine protected areas: a case study from Cocos Island, Costa Rica. *Oryx***,** 1-9.

BAILEY, H. & THOMPSON, P. M. 2009. Using marine mammal habitat modelling to identify priority conservation zones within a marine protected area. *Marine Ecology Progress Series,* 378**,** 279-287.

BALDWIN, B. 1974. Behavioural thermoregulation. *Heat Loss from Animals and Man: Assessment and Control.* Butterworths London.

BALMFORD, A., BENNUN, L., TEN BRINK, B., COOPER, D., CÔTÉ, I. M., CRANE, P., DOBSON, A., DUDLEY, N., DUTTON, I. & GREEN, R. E. 2005. The convention on biological diversity's 2010 target. *Science,* 307.

BAUER, G. B., COLBERT, D. E., GASPARD III, J. C., LITTLEFIELD, B. & FELLNER, W. 2003. Underwater visual acuity of Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). *International Journal of Comparative Psychology,* 16.

BAYLISS, P. 1986. Factors Affecting Surveys of Marine Fauna, and their Relationship to a Census of Dugongs in the Coastal Waters of the Northern Territory. Australian Wildlife Research, 13: 27-37.

BEARZI, M. 2012. Cetaceans and MPAs should go hand in hand: A case study in Santa Monica Bay, California. *Ocean & Coastal Management,* 60**,** 56-59.

BENSON, S. R., CROLL, D. A., MARINOVIC, B. B., CHAVEZ, F. P. & HARVEY, J. T. 2002. Changes in the cetacean assemblage of a coastal upwelling ecosystem during El Niño 1997–98 and La Niña 1999. *Progress in Oceanography,* 54**,** 279-291.

BERTRAM, C. & BERTRAM, K. R. 1970. Dugongs in Ceylon. *Oryx,* 10**,** 362-364.

BEYER, H.L. 2012. Geospatial Modelling Environment (Version 0.6.0.0). Available: http://www.spatialecology.com/gme

BJØRGE, A. 2001. How persistent are marine mammal habitats in an ocean of variability? *Marine Mammals.* Springer.

BLECKMANN, H. 1986. Role of the lateral line in fish behaviour. *The behaviour of teleost fishes.* Springer.

BOGRAD, S. J., BLOCK, B. A., COSTA, D. P. & GODLEY, B. J. 2010. Biologging technologies: new tools for conservation. Introduction. *Endangered Species Research,* 10**,** 1-7.

BONVALLOT, J., GAY, J.-C. & E., H. 2012. *Atlas de la Nouvelle-Caledonie,* Marseille-Noumea.

BORDIN, A. 2009. *Identification d'aires de conservation prioritaires pour la population de dugongs qui utilise les lagons de Nouvelle-Calédonie.* MSc dissertation, Université de La Rochelle & Opération Cétacés.

BOSSART, G. D., MEISNER, R. A., ROMMEL, S., GHIM, S. & JENSON, A. B. 2003. Pathological features of the Florida manatee cold stress syndrome. *Aquatic Mammals,* 29**,** 9-17.

BOSSART, G. D., MEISNER, R. A., ROMMEL, S. A., LIGHTSEY, J. D., VARELA, R. A. & DEFRAN, R. 2004. Pathologic Findings in Florida Manatees (*Trichechus manatus latirostris*). *Aquatic Mammals,* 30**,** 434-440.

BOWEN, W. 1997. Role of marine mammals in aquatic ecosystems. *Marine Ecology Progress Series,* 158**,** 74.

BOWEN, W. D. & SINIFF, D. B. 1999. Distribution, population biology, and feeding ecology of marine mammals. *Biology of marine mammals***,** 423-484.

BOYD, I. L., LOCKYER, C. & MARSH, H. D. 1999. Reproduction in marine mammals. *In:* REYNOLDS III, J. E. & ROMMEL, S. A. (eds.) *Biology of marine mammals.* Washington, D.C.: Smithsonian Institute Press.

BOYLE, S. A., LOURENÇO, W. C., DA SILVA, L. R. & SMITH, A. T. 2009. Home range estimates vary with sample size and methods. *Folia Primatologica,* 80**,** 33-42.

BRAULIK, G. 2015. Finally: Announcement from Mexico on Vaquita Conservation. http://www.iucn-csg.org/index.php/2015/01/15/finally-announcement-from-mexico-on-vaquita-conservation. (Accessed 25 jul 2015).

BROWN, R. F., WRIGHT, B. E., RIEMER, S. D. & LAAKE, J. 2005. Trends in abundance and current status of harbor seals in Oregon: 1977–2003. *Marine Mammal Science,* 21**,** 657-670.

BUTCHART, S. H., WALPOLE, M., COLLEN, B., VAN STRIEN, A., SCHARLEMANN, J. P., ALMOND, R. E., BAILLIE, J. E., BOMHARD, B., BROWN, C. & BRUNO, J. 2010. Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science,* 328**,** 1164-1168.

BUTLER, J. R., TAWAKE, A., SKEWES, T., TAWAKE, L. & MCGRATH, V. 2012. Integrating traditional ecological knowledge and fisheries management in the Torres Strait, Australia: the catalytic role of turtles and dugong as cultural keystone species. *Ecology and Society,* 17**,** 1-19.

CABANAC, M., DUCLAUX, R. & GILLET, A. 1970. Thermoregulation comportementale chez le chien: effects de la fievre et de la thyroxine. *Physiology & behavior,* 5**,** 697-704.

CALENGE, C. & CALENGE, M. C. 2015. Package ‘adehabitat’.

CALLESON, C. S. & FROHLICH, R. K. 2007. Slower boat speeds reduce risks to manatees. *Endangered Species Research,* 3**,** 295-304.

CAMBRIDGE, M. & MCCOMB, A. 1984. The loss of seagrasses in Cockburn Sound, Western Australia. I. The time course and magnitude of seagrass decline in relation to industrial development. *Aquatic Botany,* 20**,** 229-243.

CAÑADAS, A., SAGARMINAGA, R., DE STEPHANIS, R., URQUIOLA, E. & HAMMOND, P. 2005. Habitat preference modelling as a conservation tool: proposals for marine protected areas for cetaceans in southern Spanish waters. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems,* 15**,** 495-521.

CATO, D. H. 1978. Marine biological choruses observed in tropical waters near Australia. *The Journal of the Acoustical Society of America,* 64**,** 736-743.

CAUGHLEY, G. 1974. Bias in Aerial Survey. *The Journal of Wildlife Management,* 38**,** 921-933.

CAUGHLEY, G. 1977. Sampling in aerial survey. *The Journal of Wildlife Management***,** 605-615.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY 2015. The world factbook. Available: https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/nc.html

CHILVERS, B. L., DELEAN, S., GALES, N. J., HOLLEY, D. K., LAWLER, I. R., MARSH, H. & PREEN, A. R. 2004. Diving behaviour of dugongs, Dugong dugon. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,* 304**,** 203-224.

CHOAT, J. & CLEMENTS, K. 1998. Vertebrate herbivores in marine and terrestrial environments: a nutritional ecology perspective. *Annual Review of Ecology and Systematics,* 375-403.

CHOQUENOT, D. & RUSCOE, W. A. 2003. Landscape complementation and food limitation of large herbivores: habitat-related constraints on the foraging efficiency of wild pigs. *Journal of Animal Ecology,* 72, 14-26.

CLEGUER, C. 2010. Le dugong (Dugong dugon), monographie de l'espèce, état des lieux des connaissances et des méthodologies d'études. Propositions d'actions en vue d'améliorer les connaissances relatives au dugong en Nouvelle-Calédonie. *In:* PROTEGEES, A. D. A. M. (ed.).

CLEGUER, C., GRECH, A., GARRIGUE, C. & MARSH, H. 2015. Spatial mismatch between marine protected areas and dugongs in New Caledonia. *Biological Conservation,* 184**,** 154-162.

CMS 2009. Appendices I and II of the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (CMS).

CMS. 2010. *Convention on Migratory Species.* [Online]. Available at: http://www.cms.int. .

CMS. 2014. *Memorandum of Understanding on the Conservation and Management of Dugongs (Dugong dugon) and their Habitats throughout their Range* [Online]. Available: http://www.cms.int/species/dugong/index.htm (accessed 14 Feb 2014).

CMS. 2015. *Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals - Memorandum of Understanding on the Conservation and Management of Dugongs (Dugong dugon) and their Habitats throughout their Range* [Online]. http://www.cms.int/species/dugong/index.htm (accessed 11 June 2015). Available: http://www.cms.int/species/dugong/index.htm (accessed 14 Feb 2014).

COLES, R. G., MCKENZIE, L. J. & CAMPBELL, S. J. 2003. Chapter 11: The seagrasses of eastern Australia. In: SHORT, E. P. G. A. F. T. (ed.) *World Atlas of Seagrasses.* University of California Press, Berkley, USA COLYVAN, M., BURGMAN, M. A., TODD, C. R., RESIT AKÇAKAYA, H. & BOEK, C. 1999. The treatment of uncertainty and the structure of the IUCN threatened species categories. Biological Conservation, 89, 245-249.

COLES, R. G., MCKENZIE, L., RASHEED, M., MELLORS, J., TAYLOR, H., DEW, K., MCKENNA, S., SANKEY, T., CARTER, A. & GRECH, A. 2007. *Status and trends of seagrass habitats in the Great Barrier Reef World Heritage Area*, Department of Primary Industries and Fisheries.

COLES, R., GRECH, A., RASHEED, M., MCKENZIE, L., UNSWORTH, R. & SHORT, F. 2011. Seagrass ecology and threats in the tropical Indo-Pacific bioregion. *Seagrass: Ecology, Uses and Threats. Hauppauge: Nova Science Publishers***,** 225-240.

COLYVAN, M., BURGMAN, M. A., TODD, C. R., RESIT AKÇAKAYA, H. & BOEK, C. 1999. The treatment of uncertainty and the structure of the IUCN threatened species categories. *Biological Conservation,* 89**,** 245-249.

COPE, R., POLLETT, P., LANYON, J. & SEDDON, J. 2015. Indirect detection of genetic dispersal (movement and breeding events) through pedigree analysis of dugong populations in southern Queensland, Australia. *Biological Conservation,* 181**,** 91-101.

COSSINS, A. R. & BOWLER, K. 1987. *Temperature biology of animals*, Springer Science & Business Media.

COSTA, D. P. & KOOYMAN, G. L. 1982. Oxygen consumption, thermoregulation, and the effect of fur oiling and washing on the sea otter, Enhydra lutris. *Canadian Journal of Zoology,* 60**,** 2761-2767.

CRAIN, C. M., HALPERN, B. S., BECK, M. W. & KAPPEL, C. V. 2009. Understanding and managing human threats to the coastal marine environment. *Annals of the New York Academy of Sciences,* 1162**,** 39-62.

DAVID, G., LEOPOLD, M., DUMAS, P. S., FERRARIS, J., HERRENSCHMIDT, J. B. & FONTENELLE, G. 2010. Integrated coastal zone management perspectives to ensure the sustainability of coral reefs in New Caledonia. *Marine Pollution Bulletin,* 61**,** 323-334.

DAVIDZON, M. I. 2012. Newton's law of cooling and its interpretation. *International Journal of Heat and Mass Transfer,* 55**,** 5397-5402.

DAWES, C. J. 1998. *Marine botany*, John Wiley & Sons.

DAWSON, S., WADE, P., SLOOTEN, E. & BARLOW, J. A. Y. 2008. Design and field methods for sighting surveys of cetaceans in coastal and riverine habitats. *Mammal Review,* 38**,** 19-49.

DAY, J. C. & DOBBS, K. 2013. Effective governance of a large and complex cross-jurisdictional marine protected area: Australia's Great Barrier Reef. *Marine Policy,* 41**,** 14-24.

DE IONGH, H. H., LANGEVELD, P. & VAN DER WAL, M. 1998. Movement and Home Ranges of Dugongs Around the Lease Islands, East Indonesia *Marine Ecology,* 19**,** 179-193.

DEUTSCH, C. J., REID, J. P., BONDE, R. K., EASTON, D. E., KOCHMAN, H. I. & O'SHEA, T. J. 2003. Seasonal movements, migratory behavior, and site fidelity of West Indian manatees along the Atlantic Coast of the United States. *Wildlife Monographs***,** 1-77.

DEUTSCH, C., EDWARDS, H. & BARLAS, M. 2006. Florida manatee foraging behavior around a winter warm-water refuge. *Final Report to the Wildlife Foundation ofFlorida. Grant No. CWT0405-12. FWCIFWRI file FCWT0405-12-F*.

DEVILLERS, R., PRESSEY, R. L., GRECH, A., KITTINGER, J. N., EDGAR, G. J., WARD, T. & WATSON, R. 2014. Reinventing residual reserves in the sea: are

we favouring ease of establishment over need for protection? *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*.

DI MININ, E. & TOIVONEN, T. 2015. Global Protected Area Expansion: Creating More than Paper Parks. *BioScience***,** biv064.

DIJKGRAAF, S. 1963. The functioning and significance of the lateral-line organs. *Biological Reviews,* 38**,** 51-105.

DOBBS, K., FERNANDES, L., SLEGERS, S., JAGO, B., THOMPSON, L., HALL, J., DAY, J., CAMERON, D., TANZER, J. & MACDONALD, F. 2008. Incorporating dugong habitats into the marine protected area design for the Great Barrier Reef Marine Park, Queensland, Australia. *Ocean & Coastal Management,* 51**,** 368-375.

DRYDEN, J., GRECH, A., MOLONEY, J. & HAMANN, M. 2008. Rezoning of the Great Barrier Reef World Heritage Area: does it afford greater protection for marine turtles? *Wildlife Research,* 35**,** 477-485.

DUDLEY, N. 2008. *Guidelines for applying protected area management categories*, IUCN.

DUPONT, A. 2015. Évaluation de la place du dugong dans la société néo-calédonienne. Plan d'action dugong Nouvelle-Caledonie 2010-2015.*Rapport final.*

EAGLES, P. F., MCCOOL, S. F., HAYNES, C. D., PHILLIPS, A. & PROGRAMME, U. N. E. 2002. *Sustainable tourism in protected areas: Guidelines for planning and management*, IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

EDGAR, G. J. 2011. Does the global network of marine protected areas provide an adequate safety net for marine biodiversity? *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems,* 21**,** 313-316.

EDGAR, G. J., RUSS, G. R. & BABCOCK, R. C. 2007. Marine protected areas. *Marine Ecology***,** 533-555.

EROS, C., MARSH, H., BONDE, R., O'SHEA, T., BECK, C., RECCHIA, C., DOBBS, K., TURNER, M., LEMM, S. & PEARS, R. 2007. *Procedures for the salvage and necropsy of the Dugong (Dugong Dugon)-2007*, Great Barrier Reef Marine Park Authority.

ESCAL & A2EP 2011. Enquête sur les pressions exercées par les activités nautiques sur la population de dugongs en Nouvelle Calédonie. Agence des Aires Marine Protegees.

ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands: CA: Environmental Systems Research Institute.

ESRI 2013. ArcGIS Desktop: Release 10.2. Redlands: CA: Environmental Systems Research Institute.

FEDAK, M. A., ANDERSON, S. S. & CURRY, M. G. 1983. Attachment of a radio tag to the fur of seals. *Journal of Zoology,* 200**,** 298-300.

FERNANDES, L., DAY, J., LEWIS, A., SLEGERS, S., KERRIGAN, B., BREEN, D., CAMERON, D., JAGO, B., HALL, J. & LOWE, D. 2005. Establishing Representative No-Take Areas in the Great Barrier Reef: Large-Scale Implementation of Theory on Marine Protected Areas. *Conservation Biology,* 19**,** 1733-1744.

FIEBERG, J. & KOCHANNY, C. O. 2005. Quantifying home-range overlap: the importance of the utilization distribution. *Journal of Wildlife Management,* 69**,** 1346-1359.

FITZSIMONS, J. A. 2011. Mislabeling marine protected areas and why it matters—a case study of Australia. *Conservation Letters,* 4**,** 340-345.

FLORES, P. A. & BAZZALO, M. 2004. Home ranges and movement patterns of the marine tucuxi dolphin, *Sotalia fluviatilis*, in Baía Norte, southern Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Mammals,* 3**,** 37-52.

FLOURIS, A. D. 2011. Functional architecture of behavioural thermoregulation. *European journal of applied physiology,* 111**,** 1-8.

FOX, H. E., MASCIA, M. B., BASURTO, X., COSTA, A., GLEW, L., HEINEMANN, D., KARRER, L. B., LESTER, S. E., LOMBANA, A. V. & POMEROY, R. S. 2012. Reexamining the science of marine protected areas: linking knowledge to action. *Conservation Letters,* 5**,** 1-10.

FUENTES, M., BELL, I., HAGIHARA, R., HAMANN, M., HAZEL, J., HUTH, A., SEMINOFF, J., SOBTZICK, S. & MARSH, H. 2015. Improving in-water estimates of marine turtle abundance by adjusting aerial survey counts for perception and availability biases. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,* 471**,** 77-83.

GAINES, S. D., WHITE, C., CARR, M. H. & PALUMBI, S. R. 2010. Designing marine reserve networks for both conservation and fisheries management. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 107**,** 18286-18293.

GALES, N., HINDELL, M. & KIRKWOOD, R. 2003. *Marine Mammals: Fisheries, Tourism and Management Issues: Fisheries, Tourism and Management Issues*, Csiro Publishing.

GALES, N., MCCAULEY, R. D., LANYON, J. M. & HOLLEY, D. 2004. Change in abundance of dugongs in Shark Bay, Ningaloo and Exmouth Gulf, Wertern Australia: evidence for large-scale migration. *Wildlife Research,* 31.

GALLIVAN, G. & BEST, R. 1980. Metabolism and respiration of the Amazonian manatee (*Trichechus inunguis*). *Physiological zoology***,** 245-253.

GARRIGUE, C. 1987. Les macrophytes benthiques du lagon Sud-Ouest de la Nouvelle-Calédonie (cartes des principaux groupements). *Rapports scientifiques de techniques sciences de la mer.* Nouméa.

GARRIGUE, C. 1995. Macrophyte associations on the soft bottoms of the south-west lagoon of New Caledonia: description, structure and biomass. *Botanica Marina,* 38**,** 481-492.

GARRIGUE, C. 1998. Distribution and biomass of microphytes measured by benthic chlorophyll a in a tropical lagoon (New Caledonia, South Pacific). *Hydrobiologia,* 385**,** 1-10.

GARRIGUE, C. & PATENAUDE, N. 2004. Statut de la population de dugongs en Provinces Nord et Sud de Nouvelle-Calédonie. *Rapport final.*

GARRIGUE, C., PATENAUDE, N. & MARSH, H. 2008. Distribution and abundance of the dugong in New Caledonia, southwest Pacific. *Marine Mammal Science,* 24**,** 81-90.

GARRIGUE, C., OREMUS, M., SCHAFFAR, A. & PATENAUDE, N. 2009. Etude du statut de la population de dugongs en provinces Nord et Sud 2008. *Rapport final.*

GASPARI, S. 1994. *Haul-out behaviour, site fidelity and vigilance of common seals (Phoca vitulina) and grey seals (Halichoerus grypus) in the tees Estuary.* Durham University.

GBRMPA 2007. Great Barrier Reef Marine Park Authority Position Statement on the conservation and management of protected species in relation to the Queensland East Coast Inshore Finfish Fishery: 2007 position statement.

GBRMPA 2011. Extreme Weather and the Great Barrier Reef. *In:* AUSTRALIA, C. O. (ed.). Great Barrier Reef Marine Park Authority.

GERRODETTE, T. 1987. A Power Analysis for Detecting Trends. *Ecology,* 68**,** 1364-1372.

GERSTEIN, E. 2002. Manatees, Bioacoustics and Boats Hearing tests, environmental measurements and acoustic phenomena may together explain why boats and animals collide. *American Scientist,* 90**,** 154-163.

GESCHKE, K. & CHILVERS, B. L. 2010. Managing big boys: a case study on remote anaesthesia and satellite tracking of adult male New Zealand sea lions (*Phocarctos hookeri*). *Wildlife Research,* 36**,** 666-674.

GIBBS, J. P., DROEGE, S. & EAGLE, P. 1998. Monitoring populations of plants and animals. *BioScience***,** 935-940.

GIBBS, J. P., SNELL, H. L. & CAUSTON, C. E. 1999. Effective monitoring for adaptive wildlife management: lessons from the Galapagos Islands. *The Journal of Wildlife Management***,** 1055-1065.

GILBERT, J. 1999. Review of previous Pacific walrus surveys to develop improved survey designs. Marine mammal survey and assessment methods. AA Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 75-84.

GILLESPIE, A. 2005. The Dugong Action Plan for the South Pacific: An Evaluation Based on the Need for International and Regional Conservation of Sirenians. *Ocean Development & International Law,* 36**,** 135-158.

GLADSTONE, W., KRUPP, F. & YOUNIS, M. 2003. Development and management of a network of marine protected areas in the Red Sea and Gulf of Aden region. *Ocean & Coastal Management,* 46**,** 741-761.

GLASER, K. & REYNOLDS, III J. E. 2003. *Mysterious manatees,* University press of Florida.

GORDON, C. J. 1985. Relationship between autonomic and behavioral thermoregulation in the mouse. *Physiology & behavior,* 34**,** 687-690.

GRECH, A. & MARSH, H. 2007. Prioritising areas for dugong conservation in a marine protected area using a spatially explicit population model. *Applied GIS,* 3**,** 1-14.

GRECH, A. & MARSH, H. 2008. Rapid Assessment of Risks to a Mobile Marine Mammal in an Ecosystem Scale Marine Protected Area. *Conservation Biology,* 22**,** 711-720.

GRECH, A., SHEPPARD, J. & MARSH, H. 2011. Informing Species Conservation at Multiple Scales Using Data Collected for Marine Mammal Stock Assessments. *Plos One,* 6.

GREDZENS, C., MARSH, H., FUENTES, M. M., LIMPUS, C. J., SHIMADA, T. & HAMANN, M. 2014. Satellite Tracking of Sympatric Marine Megafauna Can Inform the Biological Basis for Species Co-Management. *Plos One,* 9**,** e98944.

GROVES, C. 2003. *Drafting a conservation blueprint: a practitioner's guide to planning for biodiversity,* Island Press.

GROVES, C. R., JENSEN, D. B., VALUTIS, L. L., REDFORD, K. H., SHAFFER, M. L., SCOTT, J. M., BAUMGARTNER, J. V., HIGGINS, J. V., BECK, M. W. & ANDERSON, M. G. 2002. Planning for Biodiversity Conservation: Putting Conservation Science into Practice A seven-step framework for developing regional plans to conserve biological diversity, based upon principles of conservation biology and ecology, is being used extensively by the nature conservancy to identify priority areas for conservation. *BioScience,* 52**,** 499-512.

GUILLEMOT, N., LÉOPOLD, M., CUIF, M. & CHABANET, P. 2009. Characterization and management of informal fisheries confronted with socio-economic changes in New Caledonia (South Pacific). *Fisheries Research,* 98**,** 51-61.

HAGIHARA, R., JONES, R. E., GRECH, A., LANYON, J. M., SHEPPARD, J. K. & MARSH, H. 2014. Improving population estimates by quantifying diving and surfacing patterns: A dugong example. *Marine Mammal Science,* 30**,** 348-366.

HAKEN, J. 2011. Transnational crime in the developing world. *Global financial integrity*.

HARINGTON, C. 2008. The evolution of Arctic marine mammals. *Ecological Applications,* 18, S23-S40.

HARRIS 2005. Etude de la consommation des tortues et des vaches marines en Province Nord. *In:* ENQUETE (ed.). Noumea.

HARTMAN, D. S. 1979. *Ecology and behavior of the manatee (Trichechus manatus) in Florida,* American Society of Mammalogists Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

HAVEMANN, P., THIRIET, D., MARSH, H. & JONES, C. 2005. Decolonising conservation? Traditional use of marine resources agreements and dugong hunting in the Great Barrier Reef World Heritage Area. *Environmental and Planning Law Journal,* 22**,** 258-280.

HEITHAUS, M. R. & DILL, L. M. 2002. Food availability and tiger shark predation risk influence bottlenose dolphin habitat use. *Ecology,* 83**,** 480-491.

HEMMINGA, M. A. & DUARTE, C. M. 2000. *Seagrass ecology,* Cambridge University Press.

HILY, C., DUCHÊNE, J., BOUCHON, C., BOUCHON-NAVARO, Y., GIGOU, A., PAYRI, C. & VÉDIE, F. 2010. *Les herbiers de phanérogames marines de l'outre-mer français,* IFRECOR, Conservatoire du littoral.

HINES, E. M., REYNOLD, J., MIGNUCCI-GIANNONI, A., ARAGONES, L. & MARMONTEL, M. 2012. *Sirenian Conservation: Issues and Strategies in Developing Countries,* Gainesville, USA.

HODGSON, A. J. 2004. *Dugong behaviour and responses to human influences.* PhD, James Cook University.

HODGSON, A. J. & MARSH, H. 2007. Response of dugongs to boat traffic: the risk of disturbance and displacement. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,* 340**,** 50-61.

HODGSON, A. J., KELLY, N. & PEEL, D. 2013. Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying marine fauna: a dugong case study. *Plos One,* 8**,** e79556.

HOLLEY, D. K. 2006. *Movement patterns and habitat usage of Shark Bay dugongs.* Master of Science, Edith Cowan University.

HOLLEY, D. K., LAWLER, I. R. & GALES, N. J. 2006. Summer survey of dugong distribution and abundance in Shark Bay reveals additional key habitat area. *Wildlife Research,* 33**,** 243-250.

HOOKER, S. K. & BAIRD, R. W. 2001. Diving and ranging behaviour of odontocetes: a methodological review and critique. *Mammal Review,* 31**,** 81-105.

HOOKER, S. K. & GERBER, L. R. 2004. Marine Reserves as a Tool for Ecosystem-Based Management: The Potential Importance of Megafauna. *BioScience,* 54**,** 27-39.

HORGAN, P., BOOTH, D., NICHOLS, C. & LANYON, J. M. 2014. Insulative capacity of the integument of the dugong (*Dugong dugon*): thermal conductivity, conductance and resistance measured by in vitro heat flux. *Marine Biology,* 161**,** 1395-1407.

HOTHORN, T., BRETZ, F. & WESTFALL, P. 2008. Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal,* 50**,** 346-363.

HOYT, E. 2012. *Marine Protected Areas for Whales, Dolphins and Porpoises: A world handbook for cetacean habitat conservation and planning*, Routledge.

HUSAR, S. L. 1978. Dugong dugon. *American Society of Mammalogists,* 88**,** 1-7.

HUSSEY, N. E., KESSEL, S. T., AARESTRUP, K., COOKE, S. J., COWLEY, P. D., FISK, A. T., HARCOURT, R. G., HOLLAND, K. N., IVERSON, S. J. & KOCIK, J. F. 2015. Aquatic animal telemetry: A panoramic window into the underwater world. *Science,* 348**,** 1255642.

INGRAM, S. N. & ROGAN, E. 2002. Identifying critical areas and habitat preferences of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Marine Ecology Progress Series,* 244**,** 247-255.

IRVINE, A. B. 1983. Manatee metabolism and its influence on distribution in Florida. *Biological Conservation,* 25**,** 315-334.

ISEE. 2014. *Recensement de population* [Online]. Available: http://www.isee.nc/population/population.html. [Accessed 10 July 2015]

IUCN. 2012a. IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN. iv + 32pp.

IUCN 2012b. Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN. iii +41pp.

IUCN. 2015. *IUCN Red List of threatened species: version 2015.2* [Online]. http://www.iucnredlist.org/. Available: http://www.iucnredlist.org/ [Accessed 05 July 2015].

JACOB, T. & GARDES, L. 2010. Propositions relatives au développement des connaissances de la population de dugongs en Nouvelle-Calédonie. Période 2010-2012. *Agence des Aires Marines Protégées. Nouméa, New* Caledonia.

JEFFERSON, T. A., LEATHERWOOD, S. & WEBBER, M. A. 1993. *Marine mammals of the world*, Food & Agriculture Org.

JOHNSON, D. H. 2002. The Importance of Replication in Wildlife Research. The *Journal of Wildlife Management,* 66, 919-932.

JOHNSTONE, I. M. & HUDSON, B. E. T. 1981. The Dugong Diet - Mouth Sample Analysis. *Bulletin of Marine Science,* 31**,** 681-690.

JOLLIT, I., LÉOPOLD, M., GUILLEMOT, N., DAVID, G., CHABANET, P., LEBIGRE, J. & FERRARIS, J. 2010. Geographical aspects of informal reef fishery systems in New Caledonia. *Marine Pollution Bulletin,* 61**,** 585-597.

JONES, G., KALY, U., ZANN, L. & KAILOLA, P. 1995. Conservation of rare, threatened and endemic marine species in Australia. *State of the marine environment report for Australia, Technical Annex,* 1.

KENCHINGTON, R. & DAY, J. 2011. Zoning, a fundamental cornerstone of effective Marine Spatial Planning: lessons learnt from the Great Barrier Reef, Australia. *Journal of Coastal Conservation,* 15**,** 271-278.

KENNY, A., CATO, I., DESPREZ, M., FADER, G., SCHÜTTENHELM, R. & SIDE, J. 2003. An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil,* 60**,** 411-418.

KOMATSU, T., IGARASHI, C., TATSUKAWA, K., SULTANA, S., MATSUOKA, Y. & HARADA, S. 2003. Use of multi-beam sonar to map seagrass beds in Otsuchi Bay on the Sanriku Coast of Japan. *Aquatic Living Resources,* 16**,** 223-230.

KWAN, D. 2002. *Towards a sustainable indigenous fishery for dugongs in Torres Strait : a contribution of empirical data analysis and process.* .PhD thesis, James Cook University.

LAIST, D. W. & REYNOLDS, III J. E. 2005. Influence of power plants and other warm-water refuges on Florida manatees. *Marine Mammal Science,* 21**,** 739-764.

LAIST, D. W. & SHAW, C. 2006. Preliminary evidence that boat speed restrictions reduce deaths of Florida manatees. *Marine Mammal Science,* 22**,** 472-479.

LANYON, J. M. 2003. Distribution and abundance of dugongs in Moreton Bay, Queensland, Australia. *Wildlife Research,* 30**,** 397-409.

LANYON, J. M., JOHNS, T. & SNEATH, H. L. 2005. Year-round presence of dugongs in Pumicestone Passage, south-east Queensland, examined in relation to water temperature and seagrass distribution. *Wildlife Research,* 32**,** 361-368.

LANYON, J. M., SLADE, R. W., SNEATH, H. L., BRODERICK, D., KIRKWOOD, J. M., LIMPUS, D., LIMPUS, C. J. & JESSOP, T. 2006. A method for capturing dugongs (Dugong dugong) in open water *Aquatic Mammals,* 32**,** 196-201.

LEBLIC, I., 2008. Vivre de la mer, vivre avec la terre… en pays kanak. Savoirs et techniques des pêcheurs kanak du sud de la Nouvelle-Calédonie, Collection Travaux et documents océanistes, Société des Océanistes Quai Branly, Paris, pp. 283.

LE BORGNE, R., DOUILLET, P., FICHEZ, R. & TORRÉTON, J.-P. 2010. Hydrography and plankton temporal variabilities at different time scales in the southwest lagoon of New Caledonia: A review. Marine Pollution Bulletin, 61, 297-308.

LEFEBVRE, L., ACKERMAN, B., PORTIER, K. & POLLOCK, K. 1995. Aerial survey as a technique for estimating trends in manatee population size-problems and prospects. Population biology of the Florida manatee. National Biological Service Information and Technology *Report,* 1**,** 63-74.

LEFEBVRE, L. W., REID, J. P., KENWORTHY, W. J. & POWELL, J. A. 2000. Characterizing manatee habitat use and seagrass grazing in Florida and Puerto Rico: implications for conservation and management. *Pacific Conservation Biology,* 5**,** 289-298.

LEGIFRANCE 2015. Consitution du 4 octobre 1958. Available: http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006071194#0

LEVIN, M. J. & PFEIFFER, C. J. 2002. Gross and microscopic observations on the lingual structure of the Florida manatee *Trichechus manatus latirostris*. *Anatomia, Histologia, Embryologia,* 31, 278–285.

LOCKWOOD, M., WORBOYS, G. & KOTHARI, A. 2012. *Managing protected areas: a global guide*, Routledge.

LOUIS-HARRIS 2005. Etude de la consommation des tortues et dugong en province Nord.

LOURIE, S. A. & VINCENT, A. C. 2004. Using biogeography to help set priorities in marine conservation. *Conservation Biology,* 18**,** 1004-1020.

LOVVORN, J. R., GREBMEIER, J. M., COOPER, L. W., BUMP, J. K. & RICHMAN, S. E. 2009. Modeling marine protected areas for threatened eiders in a climatically changing Bering Sea. *Ecological Applications,* 19**,** 1596-1613.

MAITLAND, R., LAWLER, I. & SHEPPARD, J. 2006. Assessing the risk of boat strike on Dugongs *Dugong dugon* at Burrum Heads, Queensland, Australia. *Pacific Conservation Biology,* 12**,** 321-326.

MANN, D. A., COLBERT, D. E., GASPARD, J. C., CASPER, B. M., COOK, M. L., REEP, R. L. & BAUER, G. B. 2005. Temporal resolution of the Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*) auditory system. *Journal of Comparative Physiology A,* 191**,** 903-908.

MARCOTTE, M. 2006. Steller watch: Timing of weaning and seasonal patterns in numbers and activities of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) at a year-round haulout site in southeast Alaska.

MARGULES, C. R. & PRESSEY, R. L. 2000. Systematic conservation planning. *Nature,* 405**,** 243-253.

MARSH, H. 1980. Age Determination of the Dugong (*Dugong dugon* (Müller)) Northern Australia and its Biological Implications. *In:* COMMISSION, R. O. T. I. W. (ed.).

MARSH, H. 1986. The status of the dugong in Torres Strait. *In:* HAINES, A. K., WILLIAMS, G. C. & COATES, D. (eds.) *Torres Strait Fisheries Seminar*. Canberra.

MARSH, H. 1995. The life history, pattern of breeding, and population dynamics of the dugong. Proceedings of a workshop on manatee population biology. US Fish and Wildlife. Service Technical Report.

MARSH, H. 2008. *Dugong dugon. In: IUCN red list of threatened species* [Online]. Available: http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/6909/0 (accessed 02 nov 2013).

MARSH, H. & KWAN, D. 2008. Temporal variability in the life history and reproductive biology of female dugongs in Torres Strait: The likely role of sea grass dieback. *Continental Shelf Research,* 28**,** 2152-2159.

MARSH, H. & LAWLER, I. R. 2000. Dugong distribution and abundance in the northern Great Barrier Reef Marine Park. *In:* AUTHORITY, G. B. R. M. P. (ed.).

MARSH, H. & LAWLER, I. R. 2002. Dugong distribution and abundance in the northern Great Barrier Reef Marine Park-November 2000.

MARSH, H. & MORALES-VELA, B. 2012. Guidelines for developing protected areas for sirenians. *In:* HINES, E., REYNOLDS, III J. E., MIGNUCCI-GIANNONI, A., ARAGONES, L. & MARMONTEL, M. (eds.) *Sirenian conservation: issues and strategies in developing countries.* Gainesville: University Press of Florida.

MARSH, H. & RATHBUN, G. B. 1990. Development and Application of Conventional and Satellite Radio Tracking Techniques for Studying Dugong Movements and Habitat Use. *Australian Wildlife Research,* 17**,** 83-100.

MARSH, H. & SAALFELD, W. K. 1989. Distribution and Abundance of Dugongs in the Northern Great Barrier-Reef Marine Park. Australian Wildlife Research, 16, 429-440.

MARSH, H. & SINCLAIR, D. F. 1989a. Correcting for visibility bias in strip transect aerial surveys of aquatic fauna. *Journal of Wildlife Management,* 53**,** 1017-1024.

MARSH, H. & SINCLAIR, D. F. 1989b. An experimental evaluation of dugong and sea turtle aerial survey techniques. *Australian Wildlife Research,* 16**,** 639-650.

MARSH, H., GARDNER, B. R. & HEINSOHN, G. E. 1981. Present-day hunting and distribution of dugongs in the Wellesley Islands (Queensland): implications for conservation. *Biological Conservation,* 19**,** 255-267.

MARSH, H., CHANNELLS, P. W., HEINSOHN, G. E. & MORRISSEY, J. 1982. Analysis of Stomach Contents of Dugongs from Queensland. *Australian Wildlife Research,* 9**,** 55-67.

MARSH, H., HEINSOHN, G. E. & MARSH, L. M. 1984. Breeding Cycle, Life-History and Population-Dynamics of the Dugong, *Dugong dugon* (Sirenia, Dugongidae). *Australian Journal of Zoology,* 32**,** 767-788.

MARSH, H., PRINCE, R. I. T., SAAFELD, W. K. & SHEPHERD, R. 1994. The distribution and abundance of the dugong in Shark Bay, Western Australia. *Wildlife Research,* 21**,** 149-161.

MARSH, H., EROS, C., CORKERON, P. & BREEN, B. 1999. A conservation strategy for dugongs: implications of Australian research. *Marine and Freshwater Research,* 50**,** 979-990.

MARSH, H., PENROSE, H., EROS, C. & HUGUES, J. 2002. Dugong: status reports and action plans for countries and territories. . *In:* UNEP (ed.) *Early warning and assessment report series.* Nairobi: United Nations Environement Programme.

MARSH, H., ARNOLD, P. A., FREEMAN, M., HAYNES, D., LAIST, D., READ, A. J., REYNOLDS, J. & KASUYA, T. 2003. Strategies for conserving marine mammals. *In:* GALES, N., HINDELL, M. & KIRKWOOD, J. (eds.) *Marine mammals: Fisheries, Tourism and Management issues.* Victoria, Australia.

MARSH, H., LAWLER, I. R., KWAN, D., DELEAN, S., POLLOCK, K. & ALLDREDGE, M. 2004. Aerial surveys and the potential biological removal technique indicate that the Torres Strait dugong fishery is unsustainable. *Animal Conservation,* 7**,** 435-443.

MARSH, H., O'SHEA, T. J. & REYNOLDS III, J. E. 2011. *Ecology and conservation of the sirenia: dugongs and manatees*, Cambridge Univ Pr.

MASINI, R. J., ANDERSON, P. K. & MCCOMB, A. J. 2001. A Halodule-dominated community in a subtropical embayment: physical environment, productivity, biomass, and impact of dugong grazing. *Aquatic Botany,* 71**,** 179-197.

MCCOOK, L. J., AYLING, T., CAPPO, M., CHOAT, J. H., EVANS, R. D., DE FREITAS, D. M., HEUPEL, M., HUGHES, T. P., JONES, G. P., MAPSTONE, B., MARSH, H., MILLS, M., MOLLOY, F. J., PITCHER, C. R., PRESSEY, R. L., RUSS, G. R., SUTTON, S., SWEATMAN, H., TOBIN, R., WACHENFELD, D. R. & WILLIAMSON, D. H. 2010. Adaptive management of the Great Barrier Reef: A globally significant demonstration of the benefits of networks of marine reserves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 107**,** 18278-18285.

MCCULLOUGH, P. & NELDER, J. A. 1989. Generalized linear models. London: Chapman & Hall.

MCMAHON, K. 2005. *Recovery of Subtropical Seagrasses from Natural Disturbances*, University of Queensland.

MEAGER, J. J. & LIMPUS, C. 2014. Mortality of inshore marine mammals in eastern Australia is predicted by freshwater discharge and air temperature. Plos One, 9, e94849.

MEAGER, J. J., LIMPUS, C. J. & SUMPTON, W. 2013. A review of the population dynamics of dugongs in southern Queensland: 1830-2012. *CJ and Sumpton, W.* Brisbane: Department of Environment and Heritage Protection, Queensland Government.

MÉTÉO-FRANCE 2014. *Climat en Nouvelle-Caledonie* [Online]. Available: http://www.meteo.nc/climat/climat-en-nc [Accessed 8 July 2014].

MIKSIS-OLDS, J. L., DONAGHAY, P. L., MILLER, J. H., TYACK, P. L. & REYNOLDS, J. E. 2007. Simulated vessel approaches elicit differential responses from manatees. Marine Mammal Science, 23, 629-649.

MILLS, M., PRESSEY, R. L., WEEKS, R., FOALE, S. & BAN, N. C. 2010. A mismatch of scales: challenges in planning for implementation of marine protected areas in the Coral Triangle. *Conservation Letters,* 3**,** 291-303.

MORRISON, P., ROSENMANN, M. & ESTES, J. A. 1974. Metabolism and thermoregulation in the sea otter. *Physiological zoology***,** 218-229.

MoU 2007. *Memorandum of Understanding on the conservation and management of dugongs (Dugong dugon) and their habitats throughout their range* [Online]. Available: http://www.cms.int/species/dugong/index.htm. [Accessed 25 June 2015].

NIETSCHMANN, B. 1984. Hunting and ecology of dugongs and green turtles, Torres Strait, Australia. *In:* REPORTS, N. G. S. R. (ed.).

NIETSCHMANN, B. & NIETSCHMANN, J. 1981. Good dugong, bad dugong-bad turtle, good turtle. *Natural History,* 90**,** 54-62.

NISHI, J. S., BUCKLAND, L. & TERRITORIES, N. 2000. *An aerial survey of caribou on western Victoria Island (5-17 June 1994),* Department of Resources, Wildlife, and Economic Development, Government of the Northwest Territories.

NORRIS, A. L. & KUNZ, T. H. 2012. *Effects of solar radiation on animal thermoregulation*, INTECH Open Access Publisher.

NORTON-GRIFFITHS, M. 1978. *Counting animals,* African Wildlife Leadership Foundation.

ODELL, D. K. 1974. Behavioral thermoregulation in the California sea lion. *Behavioral biology,* 10**,** 231-237.

OLAVO, G., COSTA, P. A., MARTINS, A. S. & FERREIRA, B. P. 2011. Shelf-edge reefs as priority areas for conservation of reef fish diversity in the tropical Atlantic. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems,* 21**,** 199-209.

OREMUS, M., GARRIGUE, C. & CLEGUER, C. 2011. Isolement et diversité génétique des dugongs de Nouvelle-Calédonie. Rapport final.

OREMUS, M., GARRIGUE, C. & CLEGUER, C. 2015. Etude genetique complementaire sur le statut de la population de dugong de Nouvelle-Caledonie. Rapport final. 44p. + annexes.

ORTH, R. J., CARRUTHERS, T. J., DENNISON, W. C., DUARTE, C. M., FOURQUREAN, J. W., HECK, K. L., HUGHES, A. R., KENDRICK, G. A., KENWORTHY, W. J. & OLYARNIK, S. 2006. A global crisis for seagrass ecosystems. *Bioscience,* 56**,** 987-996.

PABST, D., ROMMEL, S. & MCLELLAN, W. 1999. The functional morphology of marine mammals. *Biology of marine mammals***,** 15-72.

PALKA, D. & HAMMOND, P. 2001. Accounting for responsive movement in line transect estimates of abundance. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences,* 58**,** 777-787.

PAULY, D., CHRISTENSEN, V., GUENETTE, S., PITCHER, T. J., SUMAILA, U. R., WALTERS, C. J., WATSON, R. & ZELLER, D. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature,* 418**,** 689-695.

PAYRI, C. 2006. Revised checklist of marine algae (Chlorophyta, Rhodophyta and Ochrophyta) and seagrasses (Marine Angiosperma) of New Caledonia. *In:* PAYRI, C. & RICHER DE FORGES, B. (eds.) *Compendium of marine species from New Caledonia.*

PAYRI, C., ANDREFOUET, S., MENOU, J. L. & WABNITZ, C. 2005. Inventaire floristique des phanérogames des herbiers de la région du Cap Goulevain. *In:* ZONECO, R. (ed.).

PILCHER, N. J., WILLIAMS, J., HOPKINS, G., HESS, D. & JAOUEN, L. 2014. CMS-UNEP Questionnaire Survey: Assessment of Dugong Distribution and interactions with small-scale fisheries. CMS-UNEP Office Abu Dhabi, United Arab Emirates

PINET, P. R. 2011. Invitation to oceanography, Jones & Bartlett Publishers.

POLLOCK, K., MARSH, H., LAWLER, I. R. & ALLDREDGE, M. 2006. Estimating Animal Abundance in Heterogeneous Environments: An Application to Aerial Surveys for Dugongs. *Journal of Wildlife Management,* 70**,** 255-262.

POMEROY, R. & DOUVERE, F. 2008. The engagement of stakeholders in the marine spatial planning process. *Marine Policy,* 32**,** 816-822.

POMPA, S., EHRLICH, P. R. & CEBALLOS, G. 2011. Global distribution and conservation of marine mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 108**,** 13600-13605.

POPLE, A., CLANCY, T., THOMPSON, J. & BOYD-LAW, S. 1998. Aerial survey methodology and the cost of control for feral goats in western Queensland. *Wildlife Research,* 25**,** 393-407.

POPOV, V. & SUPIN, A. 1990. Electrophysiological studies of hearing in some cetaceans and a manatee. *Sensory abilities of cetaceans.* Springer.

PREEN, A. 1989. The status and conservation of dugongs in the Arabian region. *MEPA coastal and marine management series report, No. 10.*

PREEN, A. 1992. *Interactions between dugongs and seagrasses in subtropical environment.* PhD Thesis, James Cook University.

PREEN, A. 1995. Diet of Dugongs: Are They Omnivores? *Journal of Mammalogy,* 76**,** 163-171.

PREEN, A. & MARSH, H. 1995. Response of Dugongs to Large-Scale Loss of Seagrass from Hervey Bay, Queensland, Australia. *Wildlife Research,* 22**,** 507-519.

PREEN, A., MARSH, H., LAWLER, I., PRINCE, R. & SHEPHERD, R. 1997. Distribution and abundance of dugongs, turtles, dolphins and other megafauna in Shark Bay, Ningaloo Reef and Exmouth Gulf, Western Australia. *Wildlife Research,* 24**,** 185-208.

PREEN, A., DAS, H., AL-RUMAIDH, M. & HODGSON, A. 2012. Dugongs in Arabia. *In:* HINES, E., REYNOLDS, III J. E., MIGNUCCI-GIANNONI, A., ARAGONES, L. & MARMONTEL, M. (eds.) *Sirenian conservation: Issues and Strategies in Developping Countries.* Gainesville: University Press of Florida.

PRESSEY, R. L. & BOTTRILL, M. C. 2009. Approaches to landscape-and seascape-scale conservation planning: convergence, contrasts and challenges. *Oryx,* 43**,** 464-475.

PRESSEY, R. L., CABEZA, M., WATTS, M. E., COWLING, R. M. & WILSON, K. A. 2007. Conservation planning in a changing world. *Trends in Ecology & Evolution,* 22**,** 583-592.

PROVINCE NORD 2008. Code de l'environnement de la Province nord. http://www.province-nord.nc/documents/deliberations/DDEE/Code%20Environnement.pdf.

PROVINCE SUD 2009. Code de l'environnement de la province Sud. http://www.province-sud.nc/sites/default/files/CODE%20ENVIRONNEMENT-MAI.pdf.

PULLIN, A. S. & KNIGHT, T. M. 2003. Support for decision making in conservation practice: an evidence-based approach. *Journal for Nature Conservation,* 11**,** 83-90.

PULLIN, A. S., KNIGHT, T. M., STONE, D. A. & CHARMAN, K. 2004. Do conservation managers use scientific evidence to support their decision-making? *Biological Conservation,* 119**,** 245-252.

PURVIS, A., AGAPOW, P. M., GITTLEMAN, J. L. & MACE, G. M. 2000. Nonrandom extinction and the loss of evolutionary history. *Science,* 288**,** 328-330.

QUANG, P. X. & BECKER, E. F. 1996. Line transect sampling under varying conditions with application to aerial surveys. *Ecology***,** 1297-1302.

RADFORD, C., STANLEY, J., TINDLE, C., MONTGOMERY, J. & JEFFS, A. 2010. Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures. *Mar Ecol Prog Ser,* 401**,** 21-29.

RANDS, M. R., ADAMS, W. M., BENNUN, L., BUTCHART, S. H., CLEMENTS, A., COOMES, D., ENTWISTLE, A., HODGE, I., KAPOS, V. & SCHARLEMANN, J. P. 2010. Biodiversity conservation: challenges beyond 2010. *Science,* 329**,** 1298-1303.

REDFERN, J. V., MCKENNA, M. F., MOORE, T. J., CALAMBOKIDIS, J., DEANGELIS, M. L., BECKER, E. A., BARLOW, J., FORNEY, K. A., FIEDLER, P. C. & CHIVERS, S. J. 2013. Assessing the Risk of Ships Striking Large Whales in Marine Spatial Planning. *Conservation Biology,* 27**,** 292-302.

REEP, R. & SARKO, D. K. 2009. Tactile hair in Manatees. *Scholarpedia,* 4**,** 6831.

REEP, R., MARSHALL, C. & STOLL, M. 2002. Tactile hairs on the postcranial body in Florida manatees: A mammalian lateral line? *Brain, behavior and evolution,* 59**,** 141-154.

REEP, R. L., GASPARD, J. C., SARKO, D., RICE, F. L., MANN, D. A. & BAUER, G. B. 2011. Manatee vibrissae: evidence for a “lateral line” function. *Annals of the New York Academy of Sciences,* 1225**,** 101-109.

REID, J. P., BONDE, R. K. & O'SHEA, T. J. 1995. Reproduction and mortality of radio-tagged and recognizable manatees on the Atlantic Coast of Florida. *In:* O'SHEA, T. J., ACKERMAN, B. B. & PERCIVAL, H. F. (eds.) *Information and Technology Report.* National Biological Service.

REYNOLDS III, J. E., MARSH, H. & RAGEN, T. J. 2009. Marine mammal conservation. *Endangered Species Research,* 7**,** 23-28.

RIDGWAY, S. H. 1998. *Handbook of marine mammals: the second book of dolphins and the porpoises,* Elsevier.

RIZZARI, J. R., FRISCH, A. J. & MAGNENAT, K. A. 2014. Diversity, abundance, and distribution of reef sharks on outer-shelf reefs of the Great Barrier Reef, Australia. *Marine Biology,* 161**,** 2847-2855.

ROBBINS, B. D. & BELL, S. S. 2000. Dynamics of a subtidal seagrass landscape: seasonal and annual change in relation to water depth. *Ecology,* 81**,** 1193-1205.

ROJAS-BRACHO, L., REEVES, R. R. & JARAMILLO-LEGORRETA, A. 2006. Conservation of the vaquita *Phocoena sinus*. *Mammal Review,* 36**,** 179-216.

ROSEN, D. A., WINSHIP, A. J. & HOOPES, L. A. 2007. Thermal and digestive constraints to foraging behaviour in marine mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences,* 362**,** 2151-2168.

ROWAT, D., GORE, M., MEEKAN, M. G., LAWLER, I. R. & BRADSHAW, C. J. 2009. Aerial survey as a tool to estimate whale shark abundance trends. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,* 368**,** 1-8.

SANDBROOK, C. 2015. What is conservation? *Oryx,* 49**,** 565-566.

SATINOFF, E. 2011. Behavioral thermoregulation in the cold. *Comprehensive Physiology*.

SCHOFIELD, G., SCOTT, R., DIMADI, A., FOSSETTE, S., KATSELIDIS, K. A., KOUTSOUBAS, D., LILLEY, M. K. S., PANTIS, J. D., KARAGOUNI, A. D. & HAYS, G. C. 2013. Evidence-based marine protected area planning for a highly mobile endangered marine vertebrate. *Biological Conservation,* 161**,** 101-109.

SCOTT, J. M., DAVIS, F. W., MCGHIE, R. G., WRIGHT, R. G., GROVES, C. & ESTES, J. 2001. Nature reserves: Do they capture the full range of America's biological diversity? *Ecological Applications,* 11**,** 999-1007.

SECRETARIAT 2009. Regional Plan of Action–Coral Triangle Initiative on coral reefs, fisheries and food security (CTI-CFF). *Interim Coral Triangle Initiative Secretariat, Jakarta*.

SHEPPARD, J. K. 2008. *The spatial ecology of dugongs: applications to conservation management.* PhD, James Cook University.

SHEPPARD, J. K., PREEN, A. R., MARSH, H., LAWLER, I. R., WHITING, S. D. & JONES, R. E. 2006. Movement heterogeneity of dugongs, Dugong dugong (Müller), over large spatial scales. *Journal of Experimental Biology and Ecology,* 334**,** 64-83.

SHEPPARD, J. K., LAWLER, I. R. & MARSH, H. 2007. Seagrass as pasture for seacows: Landscape-level dugong habitat evaluation. *Estuarine Coastal and Shelf Science,* 71**,** 117-132.

SHEPPARD, J. K., JONES, R. E., MARSH, H. & LAWLER, I. R. 2009. Effects of Tidal and Diel Cycles on Dugong Habitat Use. *Journal of Wildlife Management,* 73**,** 45-59.

SHEPPARD, J. K., MARSH, H., JONES, R. E. & LAWLER, I. R. 2010. Dugong habitat use in relation to seagrass nutrients, tides, and diel cycles. *Marine Mammal Science,* 26**,** 855-879.

SHIMADA, T., JONES, R., LIMPUS, C. & HAMANN, M. 2012. Improving data retention and home range estimates by data-driven screening. *Marine Ecology Progress Series*.

SHORT, F. T. & WYLLIE-ECHEVERRIA, S. 1996. Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental conservation,* 23**,** 17-27.

SHORT, F., CARRUTHERS, T., DENNISON, W. & WAYCOTT, M. 2007. Global seagrass distribution and diversity: a bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,* 350**,** 3-20.

SINGLETON, R. L. & ROBERTS, C. M. 2014. The contribution of very large marine protected areas to marine conservation: Giant leaps or smoke and mirrors? *Marine Pollution Bulletin*.

SOBTZICK, S., HAGIHARA, R., GRECH, A. & MARSH, H. 2012. Aerial survey of the urban coast of Queensland to evaluate the response of the dugong population to the widespread effects of the January 2011 floods and Cyclone Yasi.

SOBTZICK, S., HAGIHARA, R., PENROSE, H., GRECH, A., CLEGUER, C. & MARSH, H. 2014. An assessment of the distribution and abundance of dugongs in the Northern Great Barrier Reef and Torres Strait. A Report for the Department of the Environment, National Environmental Research Program (NERP).

SOURISSEAU, J.-M., PESTAÑA, G., GÉRONIMI, V. & SCHEMBRI, P. 2010. Politiques publiques et développement durable dans le monde rural calédonien. *Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires***,** 9-23.

SPREP 2012. Pacific Islands Regional Marine Species Programme. SPREP (ed.). Apia, Samoa: Secretariat of the Pacific Regional Environment Programme 2013.

STEJNEGER, L. 1887. How the Great Northern Sea-Cow (Rytina) Became Exterminated. *The American Naturalist,* 21**,** 1047-1054.

STITH, B. M., REID, J. P., LANGTIMM, C. A., SWAIN, E. D., DOYLE, T. J., SLONE, D. H., DECKER, J. D. & SODERQVIST, L. E. 2011. Temperature

inverted haloclines provide winter warm-water refugia for manatees in southwest Florida. *Estuaries and Coasts,* 34**,** 106-119.

SUTHERLAND, W. J. 2008. *The conservation handbook: research, management and policy,* John Wiley & Sons.

SUTHERLAND, W. J., PULLIN, A. S., DOLMAN, P. M. & KNIGHT, T. M. 2004. The need for evidence-based conservation. *Trends in Ecology & Evolution,* 19**,** 305-308.

TAYLOR, B. L. & GERRODETTE, T. 1993. The uses of statistical power in conservation biology: the vaquita and northern spotted owl. *Conservation Biology,* 7**,** 489-500.

TAYLOR, B. L., MARTINEZ, M., GERRODETTE, T., BARLOW, J. & HROVAT, Y. N. 2007. Lessons from monitoring trends in abundance of marine mammals *Marine Mammal Science,* 23**,** 157-175.

TAYLOR, H. A. & RASHEED, M. 2010. *Torres Strait Dugong Sanctuary seagrass baseline survey,* Department of employment, Economic Development and Innovation.

TELONICS. 2013. GEN GPS systems manual. Available at: http://www.telonics.com/documents.php?mode=requestForm&document=GPSGEN4-8383J.PDF.

TERRIEN, J., PERRET, M. & AUJARD, F. 2011. Behavioral thermoregulation in mammals: a review. *Frontiers in Bioscience***,** 1428-44.

THEOBALD, D. M. 2003. Targeting conservation action through assessment of protection and exurban threats. *Conservation Biology,* 17**,** 1624-1637.

TNS 2005. Enquête sur la consommation des dugongs en province Sud.

UNDP 2010. Human Development Report. The Real Wealth of Nations: Pathways to Human Development. *In:* PROGRAMME, U. N. D. (ed.).

UNESCO 2009. *Lagoons of New Caledonia: Reef Diversity and Associated Ecosystems* [Online]. Available at: whc.unesco.org/en/list/1115/documents/. [Accessed 17 January 2012].

UNSWORTH, R. K., TAYLOR, J. D., POWELL, A., BELL, J. J. & SMITH, D. J. 2007. The contribution of scarid herbivory to seagrass ecosystem dynamics in the Indo-Pacific. *Estuarine, Coastal and Shelf Science,* 74**,** 53-62.

UPTON, G. J. 1992. Fisher's exact test. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (Statistics in Society)***,** 395-402.

WADE, P. R. 1998. Calculating limits to the allowable human-caused mortality of cetaceans and pinnipeds. *Marine Mammal Science,* 14**,** 1-37.

WAYCOTT, M., DUARTE, C. M., CARRUTHERS, T. J. B., ORTH, R. J., DENNISON, W. C., OLYARNIK, S., CALLADINE, A., FOURQUREAN, J. W., HECK, K. L., HUGHES, A. R., KENDRICK, G. A., KENWORTHY, W. J., SHORT, F. T. & WILLIAMS, S. L. 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 106**,** 12377-12381.

WEAVER, P. & JOHNSON, D. 2012. Biodiversity: think big for marine conservation. *Nature,* 483**,** 399-399.

WHITE, F. N. & ODELL, D. K. 1971. Thermoregulatory behavior of the northern elephant seal, Mirounga angustirostris. *Journal of Mammalogy,* 52**,** 758-774.

WHITING, S. D. 2002. Rocky Reefs Provide Foraging Habitat For Dugongs In The Darwin Region Of Northern Australia. *Australian Mammalogy,* 24**,** 147-150.

WHITING, S. D. 2008. Movements and distribution of dugongs (*Dugong dugon*) in a macro-tidal environment in northern Australia. *Australian Journal of Zoology,* 56**,** 215-222.

WIRSING, A. J., HEITHAUS, M. R. & DILL, L. M. 2007a. Can measures of prey availability improve our ability to predict the abundance of large marine predators? Oecologia, 153, 563-568.

WIRSING, A. J., HEITHAUS, M. R. & DILL, L. M. 2007b. Can you dig it? Use of excavation, a risky foraging tactic, by dugongs is sensitive to predation danger. Animal Behaviour, 74, 1085-1091.

WIRSING, A. J., HEITHAUS, M. R. & DILL, L. M. 2007c. Fear factor: do dugongs (*Dugong dugon*) trade food for safety from tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*)? Oecologia, 153, 1031-1040.

WIRSING, A. J., HEITHAUS, M. R. & DILL, L. M. 2007d. Living on the edge: dugongs prefer to forage in microhabitats that allow escape from rather than avoidance of predators. Animal Behaviour, 74, 93-101.

ZACHARIAS, M. A. & ROFF, J. C. 2001. Use of focal species in marine conservation and management: a review and critique. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems,* 11**,** 59-76.

ZAR, J. H. 1998. Spearman rank correlation. *Encyclopedia of Biostatistics*.

ZEH, D. R., HEUPEL, M. R., LIMPUS, C. J., HAMANN, M., FUENTES, M. M., BABCOCK, R. C., PILLANS, R. D., TOWNSEND, K. A. & MARSH, H. 2015. Is acoustic tracking appropriate for air-breathing marine animals? Dugongs as a case study. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,* 464**,** 1-10.

ZEH, D. R., HEUPEL, M., HAMANN, M., LIMPUS, C. J. & MARSH, H. in review. Quick Fix GPS technology highlights risk to marine animals moving between protected areas. *Endangered Species Research.*

ZEILEIS, A., KLEIBER, C. & JACKMAN, S. 2007. Regression models for count data in R.*Research Report Series* .Department of Statistics and Mathematics, 53.

ZIELINSKI, W. J. & STAUFFER, H. B. 1996. Monitoring Martes populations in California: survey design and power analysis. *Ecological Applications***,** 1254-1267.

ZUUR, A. F., SAVELIEV, A. A. & IENO, E. N. 2012. *Zero inflated models and generalized linear mixed models with R*, Highland Statistics Limited Newburgh.

Annexe A

Table A.1: Details of the survey design used for the dugong relative abundance and density analysis.

Block	Area covered (km^2)	Distance between transects (NM)		Sampling Intensity (%)		Number of transects surveyed	
		Jun 2003-Jan 2008	Jun & Nov 2011-2012	Jun 2003-Jan 2008	Jun & Nov 2011-2012	Jun 2003-Jan 2008	Jun & Nov 2011-2012
1	1841	2.50	2.50	16.04	16.82	22	22
2	1300	2.50	1.25	16.92	34.00	32	63
3	1948	2.50	2.50	15.92	16.88	24	24
4	1749	2.50	2.50	15.23	17.35	23	23
Total	**6838**	-	-	-	-	**101**	**132**

Table A.2: Availability probability estimates (SEs) for various strata of survey depths and turbidities calculated from data on artificial dugong models and the individual dive profiles of telemetered wild dugongs. (Extracted from Pollock et al. 2006).

Water quality	Depth range	Visibility of sea floor	Maximum depth of visibility of models[a] (m)	Depth zone of visibility (m)[b] to calculate p_a	p_a (SE)
Optimal sea state					
Clear	Shallow	Clearly visible	Bottom	All	1
Variable	Variable	Visible but unclear	2.44	2.5	0.65 (0.0452)
Clear	>5m	Not visible	4.32	4.0	0.46[d] (0.057)
Turbid	Variable	Not visible	1.23	1.5[c]	0.47 (0.0525)
Marginal sea state					
Clear	Shallow	Clearly visible	Bottom	Bottom	1
Variable	Variable	Visible but unclear	1.21	1.5[c]	0.47 (0.0525)
Clear	>5m	Not visible	0.69	1.5[c]	0.30[d] (0.0724)
Turbid	Variable	Not visible	1.43	1.5[c]	0.47 (0.0525)

[a] Average for models 2.0 and 2.5 m long.
[b] Maximum depth used to calculate p_a from the telemetered animals.
[c] Based on minimum dive depth detectable on 15 telemetered wild dugongs. (See text for explanation.)
[d] Based on records from 4 dugongs with mean, median, and modal maximum dives of >6 m and a corresponding subset of the data from 1 dugong that spent considerable time in water >5 m deep. (See text for explanation.)

Table A.3: Details of the number and proportion of transects for which no dugongs have been sighted in any surveys in New Caledonia for the four blocks used in the dugong relative abundance and density analysis.

Number of occasions a zero value was recorded	Number of transects	Percentage (%)

1	9	6.8
2	11	8.3
3	24	18.2
4	36	27.3
5	24	18.2
6	28	21.2
Total	**132**	**-**

Table A.4: Comparison of the standardized estimates of dugong relative abundance and standard errors (±SE) obtained using the Pollock *et al.* (2006) methodology for the dugong aerial surveys conducted in New Caledonia between 2003 and 2012. Details of the counts of dugong groups, individual dugongs, dugong per transect, and calf sightings are also included.

	Block	**Survey year**					
		Jun 2003	**Jan 2008**	**Jun 2011**	**Nov 2012**	**Jun 2012**	**Nov 2012**
No. groups	1	31	20	14	14	18	16
	2	18	3	16	9	16	18
	3	19	4	8	8	16	15
	4	11	7	6	5	7	4
	Total	**79**	**34**	**44**	**36**	**57**	**53**
No. dugongs	1	52	27	14	14	24	16
	2	30	4	26[a]	9	21	26
	3	23	9	14	11	25	18
	4	17	10	7	8	10	4
	Total	**122**	**50**	**61**	**42**	**80**	**64**
No. dugongs per transect	1	2.36	1.23	0.63	0.63	1.10	0.73
	2	0.94	0.12	0.41B	0.14	0.33	0.41
	3	0.96	0.37	0.58	0.46	1.04	0.75

	Block	Survey year					
		Jun 2003	**Jan 2008**	**Jun 2011**	**Nov 2012**	**Jun 2012**	**Nov 2012**
	4	0.74	0.43	0.30	0.35	0.43	0.17
	Total	**1.21**	**0.49**	**0.46**	**0.32**	**0.6**	**0.48**
No. calves (%)[b]	1	3 (5.8%)	3 (11.1%)	0	0	1 (4.2%)	0
	2	1 (3.3%)	0	6 (23.1%)	0	3 (14.3%)	2 (7.7%)
	3	1 (4.3%)	2 (22.2%)	4 (28.6%)	3 (27.3%)	4 (16.0%)	1 (5.6%)
	4	4 (23.5%)	2 (20.0%)	1 (14.3%)	3 (37.5%)	2 (20.0%)	0
	Total	**9 (7.4%)**	**7 (14.0%)**	**11 (18.0%)**	**6 (14.3%)**	**10 (12.5%)**	**3 (4.7%)**
Population estimate (SE)	1	919 (414)	435 (181)	250 (128)	243 (132)	417 (162)	261 (132)
	2	401 (219)	Tfs[c]	220 (82)	75 (56)	203 (74)	225 (83)
	3	380 (223)	Tfs[c]	233 (112)	213 (113)	484 (225)	338 (156)
	4	326 (192)	170 (85)	107 (68)	117 (70)	123 (75)	73 (71)
	Total	**2026 (553)**	**606 (200)**	**881 (201)**	**649 (195)**	**1227 (296)**	**898 (231)**
Coefficient of variation		**0.27**	**0.33**	**0.24**	**0.30**	**0.25**	**0.22**

[a] In addition, one herd of 69 dugongs (including 5 calves) was sighted and added to the final population estimate as explained in chapter 2.

[b] Excluding calves sighted in herds,

[c] too few sightings to estimate dugong abundance (< 5 dugong group sightings).

Table A.5: Details of group sizes of dugongs sighted during the aerial surveys conducted between 2003 and 2012 in New Caledonia and used for the dugong relative abundance and density analysis.

Dugong group size	Block	Survey year					
		Jun 2003	**Jan 2008**	**Jun 2011**	**Nov 2011**	**Jun 2012**	**Nov 2012**
Mean	1	1.7	1.4	1	1	1.3	1
Median		1	1	1	1	1	1
Max		5	3	1	1	4	1
Mean	2	1.7	1.3	1.6[a]	1	1.3	1.4

Median		1	1	1	1	1	1
Max		7	2	4	1	2	5
Mean		1.2	2.3	1.8	1.4	1.6	1.2
Median	3	1	1.5	1	1.5	1	1
Max		3	5	4	2	3	3
Mean		1.5	1.4	1.2	1.6	1.4	1
Median	4	1	1	1	1	1	2
Max		3	2	2	2	4	1

[a] Dugong herd of 69 individuals excluded from the table.

Table A.6: Count (A) and zero-inflation (B) model coefficients with Negative Binomial distribution of dugong relative density across survey years and blocks. The reference level for year is 2003 and 1 for block.

(A) Count model coefficients					
	Estimates	**Std. Error**	**Z value**	**Pr (> |z|)**	**Sig.**
(Intercept)	-0.5009	0.1864	-2.687	0.00721	**[b]
year2008	-0.5431	0.2496	-2.176	0.02959	*
year2011	-0.8622	0.2132	-4.043	5.27E-05	***
year2012	-0.7409	0.204	-3.633	0.00028	***
block2	0.6623	0.218	3.038	0.00238	**
block3	0.3827	0.1921	1.992	0.04637	*
block4	-0.2597	0.2173	-1.195	0.23207	
(B) Zero-inflation model coefficient					
	Estimates	**Std. Error**	**Z value**	**Pr (> |z|)**	**Sig.**
(Intercept)	-3.23253	0.34439	-9.386	< 2e-16	***
year2008	0.47777	0.36533	1.308	0.190947	
year2011	0.44278	0.32027	1.383	0.166815	
year2012	0.05114	0.31755	0.161	0.872063	
block2	2.61628	0.32954	7.939	2.03E-15	***

block3	1.06889	0.3129	3.416	0.000635	***
block4	1.21574	0.35717	3.404	0.000664	***

[a] estimated from corrected counts with area of transect as an offset

[b] significance codes: < 0.001 = *** ; 0.001 to < 0.01 = ** ;0.01 to ≤0.05 = *

Table A.7: Results of (A) log-linear analysis and (B) general linear hypotheses and multiple comparisons to compare the interactions between blocks in the proportion of dugong calves.

A				
	Estimate	**Std. Error**	**z value**	**Pr (> |z|)**
(Intercept)	-2.6295	0.5008	-5.25	< 0.0001
block2	0.8749	0.4908	1.783	0.087461
block3	1.2925	0.4684	2.76	< 0.01
block4	1.6645	0.4899	3.398	< 0.001
Jun-03	-0.7586	0.5301	-1.431	0.17295
Jun-11	0.18	0.536	0.336	0.74164
Jun-12	-0.2803	0.5308	-0.528	0.60516
Nov-11	-0.1247	0.5935	-0.21	0.83643
Nov-12	-1.3192	0.7143	-1.847	0.0846
Null deviance: 40.433 on 23 degrees of freedom				
Residual deviance: 18.125 on 20 degrees of freedom				
B				
2 - 1 = 0	0.8412	0.4923	1.709	0.31729
3 - 1 = 0	1.2701	0.4772	2.662	< 0.05
4 - 1 = 0	1.7104	0.505	3.387	< 0.01
3 - 2 = 0	0.4288	0.4128	1.039	0.72519
4 - 2 = 0	0.8692	0.4446	1.955	0.20402
4 - 3 = 0	0.4403	0.4278	1.029	0.73096

Table A.8: Results of log-linear model developed to analyze the relationship between the proportion of dugong sightings and water depth categories and survey year during the time series of dugong aerial surveys in New Caledonia.

Analysis of deviance	Df	Deviance	Residual Df	Residual Deviance	Pr (> Chi)
Null			272	471.84	
Year	5	15.702	267	456.14	0.06231
Depth	4	154.074	263	302.07	< 0.0001
Year x Depth	20	21.044	243	281.02	0.82698

Table A.9: Estimated sustainable levels of mortalities from anthropogenic sources for dugongs in New Caledonia.

Date of Survey	Recovery Factor (R.F.)	N	SE	CV	Nmin	Potential Biological Removal (PBR)				
						Rmax =0.01	Rmax =0.02	Rmax =0.03	Rmax =0.04	Rmax =0.05
Jun-03	0.5	2026	553	0.27	1617	4	8	12	16	20
Jan-08	0.5	606	200	0.33	462	1	2	3	5	6
Jun-11	0.5	881	201	0.23	728	2	4	5	7	9
Nov-11	0.5	649	195	0.30	507	1	3	4	5	6
Jun-12	0.5	1227	898	0.24	1005	3	5	8	10	13
Nov-12	0.5	898	231	0.26	724	2	4	5	7	9

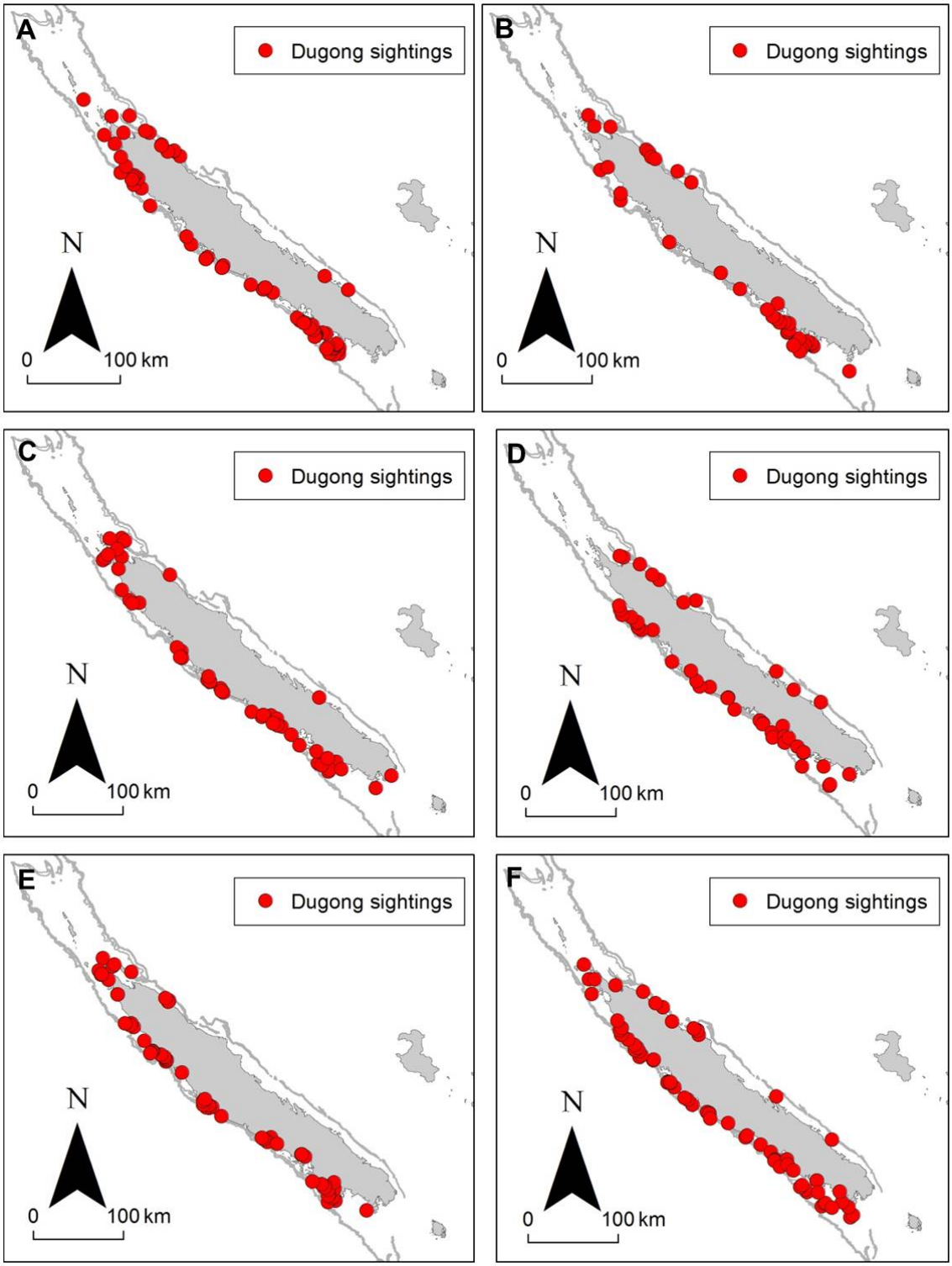


Figure A.1: Map of the raw dugong sightings from the (A) cool season of 2003, (B) warm season of 2008, (C) cool season of 2011, (D) warm season of 2011, (E) cool season of 2012, (F) warm season of 2012.

Annexe B

Satellite tag attachment device for dugong tracking studies

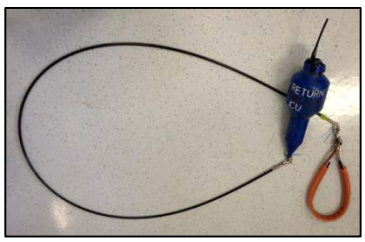
Details of design

Version 1.0, November 2014

Overview

The dugong belt assembly was developed to deploy TMT 462 GPS/ARGOS tags on adult dugongs for tracking purposes. This system allows the tag to float at the water surface when the animal is in shallow waters, increasing the frequency of transmission of signals to passing satellites. The apparatus was developed by Helene Marsh's research group in collaboration with Dr. James Powell (Sea to Shore Alliance, Florida, USA).

The satellite tag is attached to the animal's peduncle near the tail via a three-meter long flexible tether fitted with a padded belt. This belt assembly incorporates: (1) a weak link at the peduncle end of the tether that can be broken by the animal if it becomes entangled in marine obstructions such as coral or mangroves ; and (2) a backup corroding link comprised of a zinc bolt in a stainless steel shackle. The weak link breaks when subjected to a force of around 160kg (average adult weight of a dugong is above 300kg and ranges up to 530kg). The breakage point was determined empirically in collaboration with James Cook University engineers. The zinc bolt slowly corrodes in a galvanic reaction in seawater and releases the belt to ensure the satellite tag is eventually detached from the dugong.






Belt

The belt is constructed to prevent any abrasion on the dugong's skin (Figure B.1). The sizes of the belt and silicone tube were determined from field studies and by testing different belt sizes on adult dugongs.

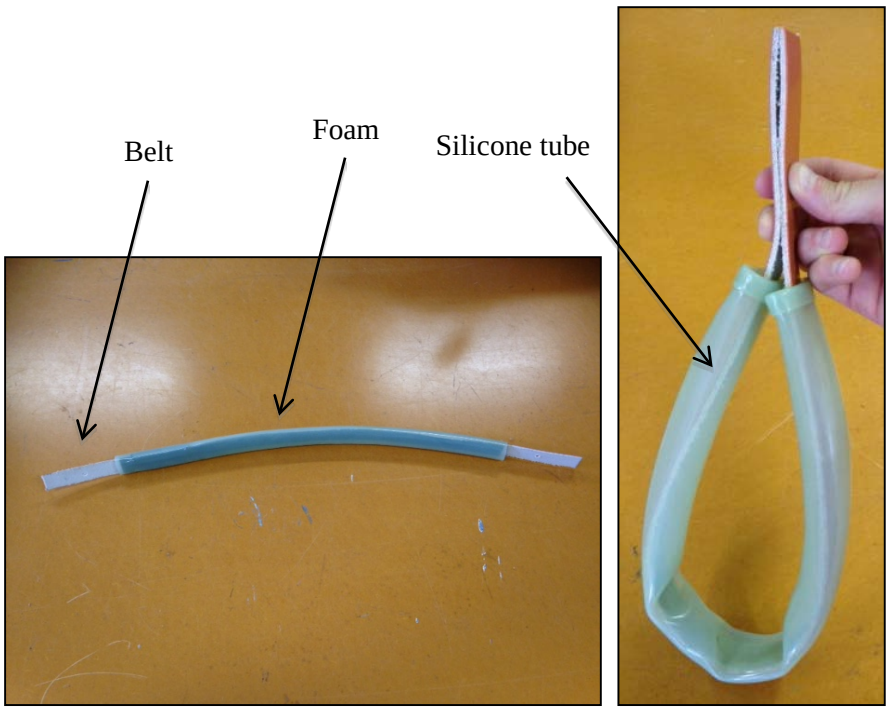


Figure B.1: Belt and silicone tube

The belt is constructed of:

- Machine belting 4mm thick x 23mm wide x 800mm long.
- A strip of foam glued to the belt 23mm wide x 650mm long

Silicone tubing 27mm ID x 30mm OD x 650mm long.

Buckle and corrodible link

The stainless steel buckle (Figure B.2A, B.2B) secures the ends of the belt around the dugong peduncle, which is then fastened in place by the zinc bolt (Figure B.2B, B.2C). This bolt is first hollowed out by a drill then the point is sharpened on a lathe in order to: (1) allow it to cut through the belting as it is tightened into place with a socket wrench until it sits flush with the opposite side of the buckle (Figure B.2D), and (2) help speed up the corrosive reaction. The corrodible link breakpoint timing varies with environmental factors (i.e., water salinity, water

TC) and pressure from the dugong's peduncle. This reaction has taken a minimum of six months to occur in field deployments in Moreton Bay, Australia. After being attached, the buckle is wrapped into a Velcro band to prevent any abrasion onto the dugong's skin (Figure B.2E).

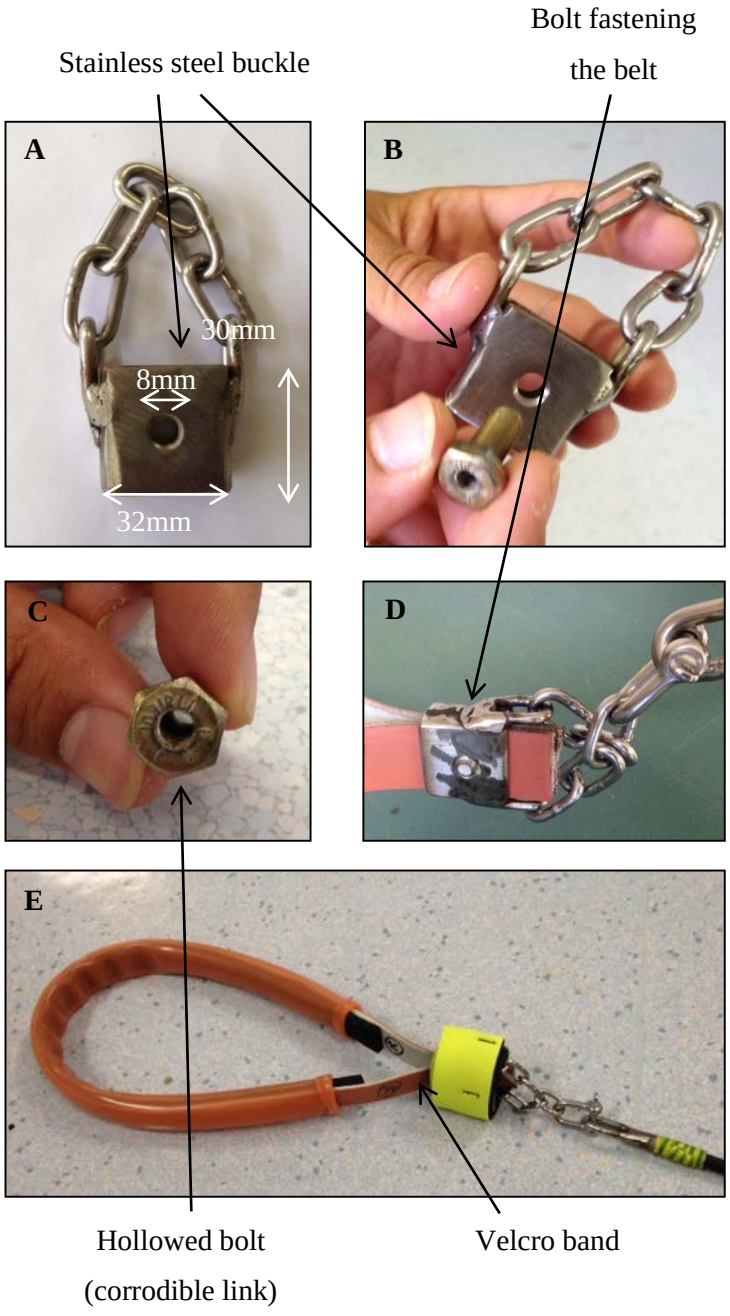


Figure B.2: Stainless steel buckle and corrodible link.

Joiners, weak link and tether

The tether is an acetal plastic rod (10mm diameter and 3m long). Stainless steel joiners are fastened to each end of the plastic tether using stainless steel blind rivets (3.2mm diameter x 15mm length). These are drilled a minimum of 10mm from the tips of the plastic tether. The peduncle end of the tether incorporates a weak link allowing the dugong to break free if it gets entangled in marine obstructions. The weak link is created by drilling two 9/64*9/64 diameter holes perpendicularly through the tether approximately 20mm from the tip of the belt end of the tether (Figure B.3A). The weak link should be within the stainless steel joiner and not visible. Diameters of the drilled holes determine the strength of the weak link.

The tether is joined to both the satellite tag and the buckle by stainless steel D-shackles (10mm ; Figure B.3B). These are firmly tightened in place with a pair of pliers and a small cable tie or stainless steel tie wire to prevent the pin coming loose.

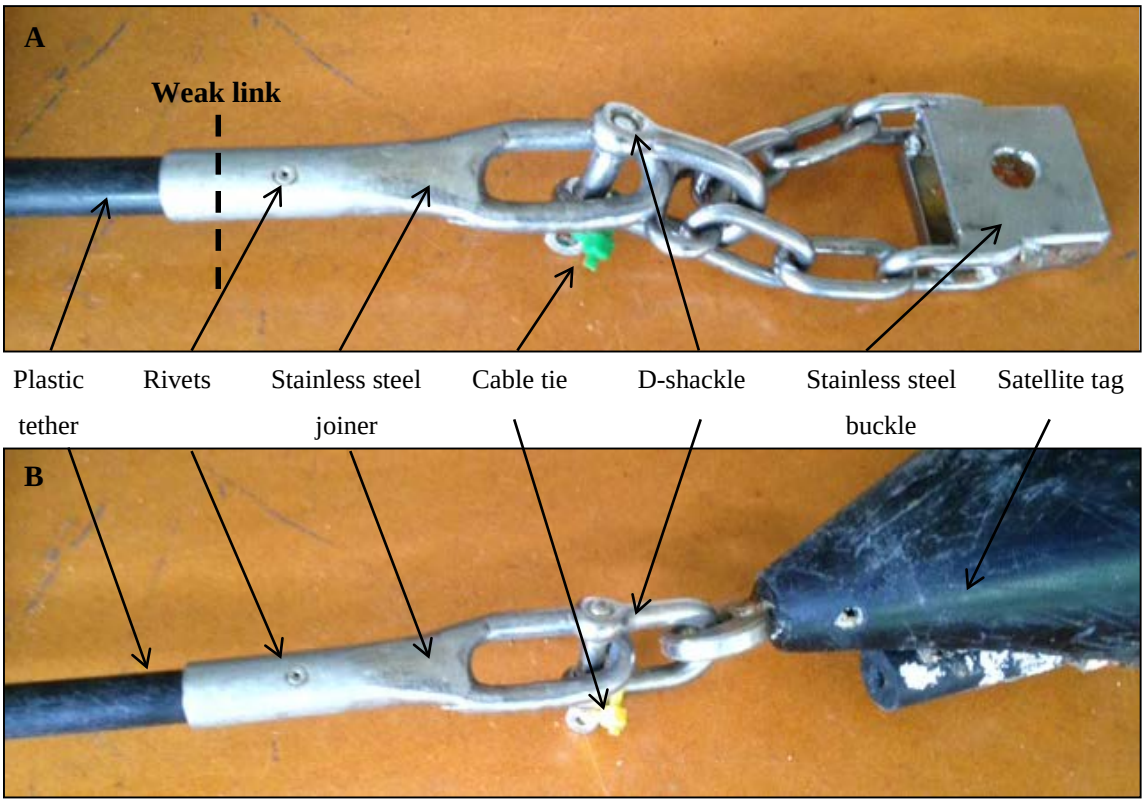


Figure B.3: Joiners and tether

Annexe C



Dugong (*Dugong dugon*) Monitoring Protocols for determining pursuit and capture during research

June 2013

Dr Mark Flint
BVSc, BSc(Hons), MApplSc, MPhil, PhD, MAIBiol
Director, *Vet*-MARTI unit
School of Veterinary Science
The University of Queensland
Gatton, Queensland, 4343
m.flint@uq.edu.au

Introduction

The capture of wild sirenia for biological sampling can be a stressful event for the animal involved. These species are at risk of stress-induced morbidity and mortality initiated by pursuit and capture. As such, to minimise risks of adverse events occurring during biological investigations, it is imperative only healthy animals from within the population are sampled and all efforts are made to minimise the restraint period. The caveat to this risk-minimisation strategy is when the sampling of sick or injured animals is required to obtain a disease diagnosis or to provide medical intervention.

The following are external clinical signs for veterinarians and biologists to assess at the start of pursuit to determine whether a dugong should be excluded from capture, requires immediate release during restraint, or requires medical intervention post release. This list is not meant to be exhaustive, rather provide a baseline of indicators that can be developed and further defined for specific locations and environmental conditions.

These clinical signs are used under the assumption the dugong will remain in the water during restraint. For dugongs that are held out of the water during restraint, additional monitoring is required.

Assessment should only be performed by an appropriately qualified veterinarian or senior biologist.

Indicators for exclusion to be assessed at the start of pursuit

Assessment during pursuit should be the first stage of diligence and rapid health assessment.

Biological criteria for exclusion includes:

- Presence of an attendant calf with target animal.
- Target animal is less than 2.2m in length.
- The dugong shows evidence of recent capture (e.g., flagging tape applied to the titanium tag, as is the practice for those caught in Moreton Bay by UQ/ Sea World).

To identify if animals are medically compromised and the cessation of pursuit is required, exclusion criteria should incorporate at least:

- Evidence of overt skin conditions such as lesions, sloughing of skin, hyperkeratosis and depigmentation of the skin ;

- An assessment of body condition including visual estimation of loss of soft tissue mass (predominantly adipose tissue) around the peduncle and neck resulting in the vertebral column appearing more prominent ;
- Evidence of abnormal behaviour such as:
  - Accelerated respiration rate
  - Prolonged periods of resting on the bottom of the water column during pursuit and/or
  - Erratic behaviour.

Indicators for immediate release to be assessed during restraint

On capture (restraint), the above criteria should be reassessed by an appropriately qualified veterinarian or senior biologist as the animal is being secured to the vessel. This will minimise the risk of restraining an animal that should have been excluded but was not due to missing indicators during the often-rapid pursuit stage.

In addition, based on ongoing monitoring, restraint should incorporate exclusion criteria of:

- Heart and respiration rates:
  - Heart rate should be between 40-100bpm. Outside of this range is a criterion for release.
  - Development of cardiac arrhythmias.
  - Respiration rate should be between 1-15 breaths every TWO minutes. Outside of this range is a criterion for release.
  - Development of laboured or staccatic respiration.
  - If the heart or breathing stops, this is a medical emergency and veterinary intervention is required immediately.
- Posture:
  - Curling up
  - Lethargy or flaccid (limp- loss of muscle tone) behaviour
  - Inability to maintain buoyancy or position in the water column
- Other key indicators:
  - Muscle tremors
  - Loss of consciousness

Indicators for the need for medical intervention during post-release monitoring

On release, the dugong should be observed to be swimming normally, breathing and actively moving away from the boat until it is out of sight. If there is any evidence of compromise, the

animal should be followed at a safe distance for additional observation with intent and capacity to recapture and administer emergency veterinary care.

Recapture/ further assessment criteria should include:

- Erratic swimming/behaviour or loss of ability to swim away from the boat
- Laboured breathing or signs of difficulty breathing
- Buoyancy disorders (e.g., over inflation of lungs)
- Signs of trauma caused by capture and/or restraint

What if the dugong caught meets the exclusion criteria and is compromised?

If a potentially or confirmed unhealthy dugong is to be caught for treatment or further assessment, in addition to the above considerations, preparations should be made for humane euthanasia and/or transportation by road or sea to an appropriate facility capable of administering triage and medical care.

If the animal is to be returned to the water, the attending veterinarian has a Duty of Care and must make a presumptive diagnosis and, if treatment is required, prescribe appropriately.

All actions on compromised animals should carefully consider all aspects of animal welfare. These decisions should only be made by an appropriately qualified veterinarian or senior biologist.

Checklist

Exclusion criteria for capturing and restraining wild dugong

Red fontsuggests exclude / veterinary intervention required.

All measurements other than skin condition and body condition should be on-going assessments and therefore multiple records for each criterion should occur for each dugong.

Dugong ID: _____	**Date:** _____	**Time:** _____		
Pursuit				
Biological	< 2.2m long **Y*** N	Attendant Calf **Y**N	Recent tagging **Y**N	
Skin condition	Peeling **Y*** N	Raised **Y**N	Blanched **Y**N	Lesions **Y**N
Body Condition	Peanut head **Y**N	Spine Neck **Y**N	Spine Peduncle **Y**N	
Behaviour	Resp Rate 1-2bpm 3-5bpm **> 5bpm**	Swimming **Resting**	Normal **Abnormal**	
Restraint				
Heart rate	**<40 bpm**	40-100Bpm	**> 100 bpm**	Arrhythmia **Y** N
Respiration Rate	**< 1 per 2 min**	1-15 per 2 min	**> 15 per 2 min**	Laboured **Y** N
Posture	Curling **Y** N	Lethargic **Y** N	Limp **Y** N	Buoyant Y **N**
Other	Tremors **Y** N	Stimuli response Y **N**		
Release				
Behaviour	Swims away Y **N**	Swims straight Y **N**		
Respiration	Laboured **Y** N	Difficulty **Y** N		
Posture	Buoyant Y **N**	Sinking **Y** N	Cannot dive **Y** N	
Trauma	Bleeding **Y** N	Loss of limb use **Y** N		

Annexe D

Table D.1: Number of dugongs observed per habitat, season and tide in the Bourail-Poya region. Percentages are represented between brackets in the table.

Season	Tide	No. surveys	No. of dugongs observed				
			Fore reef shelf	Channel	Reef flat	Seagrass meadow	Total
Cool	High tide	16	40 (22)	26 (14)	50 (28)	65 (36)	181
	Low tide	17	247 (59)	131 (31)	29 (7)	11 (3)	418
	Total	**33**	**287 (48)**	**157 (26)**	**79 (13)**	**76 (13)**	**599**
Warm	High tide	15	0 (0)	14 (16)	5 (6)	71 (79)	90
	Low tide	14	3 (4)	60 (73)	19 (23)	0 (0)	82
	Total	**29**	**3 (2)**	**74 (43)**	**24 (14)**	**71 (41)**	**172**
Grand total		**62**	**290 (38)**	**231 (30)**	**103 (13)**	**147 (19)**	**771**

Table D.2: Aerial and underwater video footage of dugong herds over the fore reef shelf in the Bourail-Poya region in New Caledonia.

Source of data	Date	No. video footages	Length of video (hh:mm:ss)	
			Min	Max
Province Sud helicopter patrol video footage	7/07/2011	7	00:00:30	00:05:50
	12/07/2012	4	00:01:15	00:24:03
Province Sud underwater video footage	18/04/2011	1	-	-

Table D.3: Extract of the dugong behavioural focal follow protocol developed by Hodgson (2004). Dugong behavioural category and specific behaviour identified from the dugong herds filmed over the fore reef shelf in the Bourail-Poya region are written in bold and italic.

Behavioural category	**Specific behaviour**			
Feeding	• Horizontal	• At angle	• With plumes	• ***Suckling***
Travelling	• Slow	• Cruising	• Fast	• Attempted surface
	• Follow mother	• Halt	• Back track	• Abrupt flee
	• Circling novel stimuli	• Follow on mother's back		
Resting	• ***At surface***	• ***Mid-water column***	• On substrate	• ***On mother's back***
	• ***At mother's side***			
Socialising	• Approach	• Rapid approach	• Follow	• Herding
	• ***Swim away***	• ***Swim away fast***	• Abrupt flee from other	• ***Join***
	• Tail swipe sideways	• Tail raised	• Tail swipe raised	• Tail swipe with flip
	• Tails touch	• Swim over	• ***Close pass by***	• Note to tail
	• Nose to tail push	• Nose to nose	• Nose to side	• Nose to side push
	• Body rub	• Receiving body rub	• Attempted mount	• Calf retrieval
	• Over back retreat	• Spurt		
Rolling	• Full roll on substrate	• Half roll on substrate	• Full roll mid-water	• ***Half roll mid-water***
	• Front rub	• Tail push		
Surfacing	• ***Surface***	• ***Almost synchronised surface with other individual or mother***	• ***Exactly synchronised surface with other individual or mother***	• ***Over back surface during ascent or descent or both***

Table D.4: Probability of seeing at least one dugong herd inside and outside the lagoon in across tides in the Bourail-Poya region obtained directly from the dugong sighting data.

		Low	**Flood**	**High**	**Ebb**
Probability of seeing at least one dugong herd	Inside the lagoon	0.17	0.00	0.03	0.00
No. of flights		30	1	29	2
Probability of seeing at least one dugong herd	Outside the lagoon	0.21	0.38	0.12	0.31
No. of flights		34	13	43	13

Table D.5: Details of dugong herd observations in the Bourail-Poya region in New Caledonia.

Source of data	Date (dd/mm/yyyy)	Habitat type	Time of observation (hh:mm:ss)	Tide	No. dugong herds sighted	Herd size	Presence of shark (Group size)	Location of shark sighting
Dedicated transect surveys	23/03/2012	Reef flat	14:40:59	Low	1	15	No	-
	14/05/2012[1]	Fore reef shelf	09:21:24	Low	1	57	No	-
	14/05/2012[1]	Fore reef shelf	15:09:15	High	1	20	Yes (2)	Reef flat
	29/07/2012	Fore reef shelf	08:49:06	Ebb	1	16	No	-
	13/08/2012	Fore reef shelf	11:21:13	Low	1	32	No	-
	27/08/2012	Fore reef shelf	12:31:40	Low	1	11	No	-
	25/09/2012	Channel	09:37:47	Low	1	10	No	-
	25/10/2012	Channel	10:35:15	Low	1	17	No	-
	13/11/2012	Seagrass meadow[b]	07:39:29	High	1	10	No	-
	22/01/2013	Channel	10:56:20	Low	1	16	Yes (1)	Reef flat
	03/06/2013	Fore reef shelf	10:37:57	Low	1	33	No	-
	27/06/2013	Fore reef shelf	16:30:15	Low	2	10 & 11	Yes (1)	Seagrass meadow
	24/07/2013	Fore reef shelf	14:49:15	Low	1	40	No	-
	22/08/2013	Channel	15:09:43	Low	1	11	Yes (1)	Seagrass meadow

Source of data	Date (dd/mm/yyyy)	Habitat type	Time of observation (hh:mm:ss)	Tide	No. dugong herds sighted	Herd size	Presence of shark (Group size)	Location of shark sighting
Transiting flights	1/07/2003	Fore reef shelf	09:48:00	High	1	45	No	-
	23/04/2004		10:44:32	High	1	16	No	-
	27/05/2008		10:35:20	Flood	2	66 & 10	No	-
	02/07/2008		10:47:42	Ebb	1	50	No	-
	03/09/2008		11:20:59	Ebb	2	10 & 30	No	-
	20/04/2009[a]		10:24:51	Low	1	20	No	-
	20/04/2009[a]		13:45:39	Flood	1	11	No	-
	29/05/2009[a]		07:36:45	Flood	1	12	No	-
	29/05/2009[a]		11:05:22	High	1	≥ 70	No	-
	07/07/2009[a]		07:36:37	High	2	12 & 11	No	-
	07/07/2009[a]		11:00:06	Ebb	3	15 & 11 & 19	No	-
	22/06/2011		09:58:11	Flood	1	69	No	-
	30/07/2013		09:08:05	Flood	1	30	No	-

Source of data	Date (dd/mm/yyyy)	Habitat type	Time of observation (hh:mm:ss)	Tide	No. dugong herds sighted	Herd size	Presence of shark (Group size)	Location of shark sighting
Province Sud helicopter patrol video footage	07/07/2011	Fore reef shelf	Unknown	-	2	17 & 51	No	-
	12/07/2012		Unknown	-	1	≥ 28	No	-
Province Sud underwater video footage	18/04/2011		10:00:00	Low	1	Un-known	No	-

[a] Another dugong herd was sighted on the same day but at a different stage of the tide.

[b] The only dugong herd observed on the seagrass meadow was characterised as a feeding herd creating sediment plumes.

Table D.6: Results of Analysis of Deviance for log-linear model with Poisson distribution and log link function. Response was the total number of dugongs counted per survey.

	Df	Deviance Res	Df Resid.	sid. Dev Pr (> Chi)	
NULL			19	1306.59	
tide	1	69.05	18	1237.54	< 0.0001
season	1	273.43	17	964.11	< 0.0001
habitat	4	380.01	13	584.1	< 0.0001
tide:season	1	35.17	12	548.93	< 0.0001
tide:habitat	4	372.68	8	176.25	< 0.0001
season:habitat	4	107.7	4	68.54	< 0.0001
tide:season:habitat	4	68.54	0	0	< 0.0001

Annexe E

Aerial and underwater footage of dugong aggregations on the fore reef shelf in the Bourail-Poya region, New Caledonia

Included as DVD in hard copy of the thesis and provided as a separate file for e-thesis users.

Annexe F

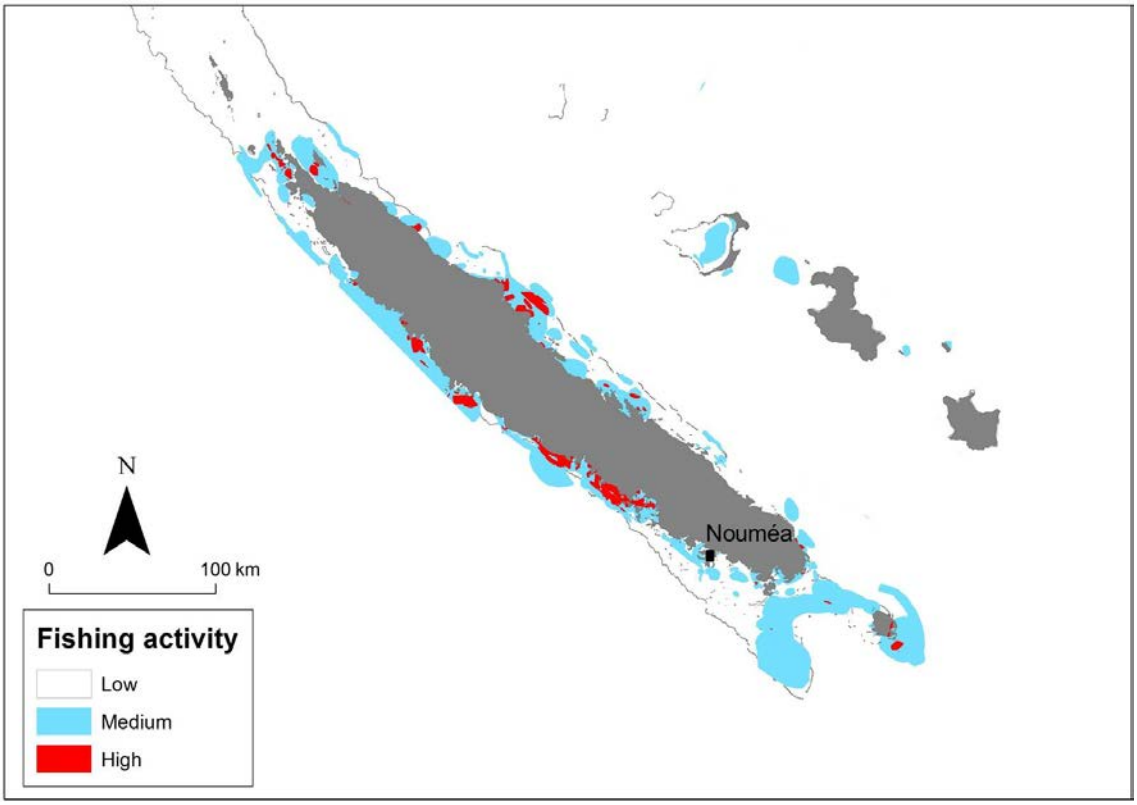


Figure F.1: Fishing activity collected from interviews conducted throughout the main island of New Caledonia by a local audit company and compiled by Pilcher *et al* .(2014). Fishing activity was binned into three categories based on their frequency distribution: low fishing (no fishing zones drawn), medium fishing (1-3 overlaps in fishing zones), high fishing (4-10 overlaps in fishing zones).

Contacts et renseignements

A propos de cette étude :

Christophe CLEGUER

PhD, Université de James Cook – IRD UMR ENTROPIE –Université de Pierre et Marie Curie

christophe.cleguer@my.jcu.edu.au

A propos du plan d'action dugong :

Lionel GARDES

Chef d'antenne Nouvelle-Calédonie de l'Agence des aires marines protégées

lionel.gardes@aires-marines.fr

Tél : 00 (687) 23 17 03

Plan d'actions dugong 2010 2015 en Nouvelle-Calédonie