



Evaluation de l'écologie trophique des Dugongs (*Dugong dugon*) de Nouvelle- Calédonie à partir des valeurs d'isotopes stables des tissus.

Rapport d'étude réalisé par

Martin THIBAULT

Convention tripartite :



Opération Cétacés, B.P. 12 827 98802 Nouméa, Nouvelle-Calédonie

Contact: op.cetaces.nc@gmail.com, martin.thibault@ird.fr

Web: www.operationcetaces.nc

RIDET: 476804 001

Mai 2023

Table des matières

Résumé.....	4
Introduction	5
Méthodes	7
Echantillonnage	7
Préparation et analyse	7
Analyses statistiques	8
Résultats.....	10
Différence de signature entre les différents tissus	10
Description des niches isotopiques.....	11
Comparaison des niches isotopiques	12
Modèles de mélange	13
Evolution de la signature isotopique avec l'âge.....	14
Discussion.....	15
Comparaison des niches isotopiques des veaux et des adultes	15
Estimation du régime alimentaire.....	16
Différences de comportement alimentaire entre les mâles et femelles	16
Evolution des rapports isotopiques avec l'âge.....	17
Conclusion.....	18
Références	19

Résumé

Le dugong (*Dugong dugon*) est un mammifère marin listé comme vulnérable à l'échelle globale par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). Avec une population inférieure à un millier d'individus, la Nouvelle-Calédonie apparaît comme une région possédant l'un des plus grands effectifs recensés à ce jour ce qui lui confère une très haute valeur de conservation. Située à l'extrême Est de l'aire de répartition de l'espèce, la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie est pourtant particulièrement isolée et vulnérable du fait d'une pression anthropique directe d'une part, mais aussi de son isolement génétique synonyme d'un faible potentiel de résilience face aux maladies. C'est pourquoi cette population vient d'être classée en danger d'extinction par l'UICN. Or, en Nouvelle-Calédonie les connaissances sur son régime alimentaire restent parcellaires ce qui limite notre capacité à prédire l'évolution de cette population de dugongs face à l'anthropisation de son habitat et au changement climatique. Il est donc important de comprendre la relation qui existe entre les dugongs et les herbiers marins côtiers. Pour cela deux approches méthodologiques sont possibles ; elles reposent soit sur l'observation directe et l'analyse de contenus digestifs, soit sur l'évaluation indirecte par le biais de traceurs moléculaires comme les isotopes stables. Les observations de dugongs étant rares, l'étude de leur contenus digestifs est limitée ; c'est pourquoi nous avons souhaité ici tirer avantage du réseau d'échouage et des prélèvements effectués lors de différentes études sur l'espèce pour étudier l'écologie trophique du dugong par le prisme des isotopes stables de l'azote et du carbone contenus dans des tissus déjà prélevés. Le rapport isotopique du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) est utilisé comme marqueur de la production primaire car il est déterminé lors de l'intégration du carbone au métabolisme au cours de la photosynthèse. Le rapport isotopique de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$) est utilisé comme témoin du niveau trophique car la forme isotopique légère (^{14}N) est préférentiellement utilisée dans les réactions métaboliques. Nous avons donc mesuré ces valeurs dans différents tissus prélevés sur des dugongs pour i) évaluer les variations entre les tissus, ii) évaluer la niche trophique et les différences potentielles entre les dugongs adultes mâles, femelles et les veaux, iii) estimer le régime alimentaire des adultes en s'appuyant sur une base de données de référence de ressources alimentaires potentielles pour l'espèce et iv) décrire une potentielle évolution du régime alimentaire des dugongs avec l'âge à partir des séquences temporelles contenues dans les stries dentaires. La présente étude met en lumière plusieurs éléments peu documentés de l'écologie trophique de l'espèce. Aucune différence notable n'a été mesurée dans la valeur isotopique des tissus échantillonnés dans différents organes. La niche trophique des veaux chevauche celle des femelles reflétant la longue période de soins aux jeunes. Nous formulons ainsi l'hypothèse d'un comportement alimentaire liée au sexe car nos résultats suggèrent que les mâles soient plus spécialistes dans leur comportement alimentaire tandis que les femelles consomment une gamme de ressources alimentaires plus larges au sein d'un espace géographique plus restreint. Enfin, bien que le niveau trophique des ressources alimentaires ne varie pas avec l'âge, les zones d'alimentation pourraient évoluer à l'âge de la maturité sexuelle. L'étude apporte ainsi de nouveaux éléments de compréhension sur l'espèce et pourra éclairer la conservation de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie.

Introduction

Le dugong (*Dugong dugon*) est un mammifère marin considéré comme vulnérable à l'échelle globale par l'Union internationale pour la Conservation de la Nature (Marsh and Sobtzick, 2015). Son aire de répartition s'étend en zones tropicales et subtropicales sur 48 pays et territoires de l'Indopacifique. Or, dans plusieurs régions, les populations de dugong sont menacées par des pressions anthropiques directes (le braconnage pour la consommation humaine) et des pressions indirectes parmi lesquelles la pollution, les collisions, les prises accessoires mais également la régression des habitats dont l'espèce dépend pour son alimentation (Garrigue et al., 2022). Le cumul de ces pressions est tel que certaines populations sont considérées à haut risque d'extinction (Marsh et al., 2011).

Avec une population inférieure à un millier d'individus, la Nouvelle-Calédonie apparaît comme une des régions possédant l'un des plus grands effectifs recensés à ce jour ce qui lui confère une très haute valeur de conservation (Cleguer, 2015a; Hagihara et al., 2018). Située à l'extrême Est de l'aire de répartition de l'espèce, la population de Nouvelle-Calédonie est particulièrement isolée et vulnérable du fait d'une pression anthropique directe, mais également de son isolement génétique synonyme d'un faible potentiel de résilience face aux maladies (Garrigue et al., 2022). Cette population a récemment été classée comme en danger par l'UICN (Hamel et al. 2022). Des études menées sur cette population ont permis d'évaluer la taille de la population (Cleguer, 2015b), de décrire sa répartition locale (Cleguer et al., 2015) et de quantifier l'occupation de différents habitats par les dugongs (Cleguer et al., 2020; Derville et al. 2022). Il semble maintenant important de comprendre les comportements alimentaires de cette population en analysant les liens qui l'unissent aux herbiers de phanérogames côtiers. En effet les connaissances sur son régime alimentaire sont encore parcellaires ce qui limite notre capacité à prédire l'évolution de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie face à l'anthropisation de son habitat et au changement climatique.

Si le domaine vital des dugongs comprend une grande variété d'habitats marins, le dugong est principalement herbivore ; c'est un spécialiste des phanérogames marines (Marsh et al., 1982). Il participe au bon fonctionnement des écosystèmes d'herbiers côtiers (Pimiento et al., 2020). En s'alimentant régulièrement sur les herbiers, il influence leur biomasse et leur composition tout en contribuant au maintien de leur qualité nutritive (A Preen, 1995). Une étude des contenus stomacaux a montré que le dugong consomme notamment les espèces de trois familles : *Hydrocharitaceae*, *Cymodoceaceae*, *Zosteraceae*. Cependant, la composition du régime alimentaire semble très variable en fonction de la zone géographique (Marsh et al., 2011). Parmi les espèces consommées, il semble que le dugong ait une préférence pour les espèces riches en nutriments et pauvre en fibres ; donc à forte valeur énergétique (Aragones et al., 2012; A Preen, 1995; Sheppard et al., 2010). Il est suspecté que la recherche de ressources riches en azote ou en carbohydrates participe à la sélection de ressources alimentaires par le dugong (Anderson, 1994; Sheppard et al., 2010). Les opportunités d'analyses de contenus stomacaux restant très limitées, nous avons choisi une méthode indirecte pour estimer le régime alimentaire des dugongs qui consiste à étudier leur signature en azote et en carbone et à la comparer aux valeurs de leurs ressources alimentaires potentielles.

L'étude de traceurs biochimiques dans les tissus vivant est une option méthodologique en plein essor en écologie trophique. Basée sur le postulat que les tissus des consommateurs reflètent la composition des tissus de leurs proies (DeNiro and Epstein, 1977), ces méthodes viennent compléter les méthodes directes lorsque celles-ci ont une portée limitée (Chouvelon et al., 2011). Lorsqu'il s'agit d'étudier les relations trophiques entre organismes vivants, l'approche la plus commune est la mesure des teneurs tissulaires en isotopes stables des principaux atomes constituant les tissus vivants : Carbone, Hydrogène, Oxygène, Azote, Phosphore et Soufre (Fry, 2006). Ces atomes sont présents naturellement sous plusieurs formes dans les tissus vivants : les « isotopes ». Ces formes diffèrent par leur composition en neutrons et sont dites « stables » lorsqu'elles ne se désintègrent pas. Les formes isotopiques dites « légères » (qui possèdent moins de neutrons) sont les formes préférentiellement utilisées dans les réactions enzymatiques en comparaison des formes plus « lourdes ». Il en résulte qu'à chaque réaction (ex : incorporation de l'alimentation dans les tissus), le ratio entre les formes isotopiques légères et lourdes de ces atomes est modifié (Peterson and Fry, 1987). C'est l'étude de ce rapport isotopique qui est utilisé pour décrire les niches et les interactions trophiques.

Le rapport isotopique du Carbone ($\delta^{13}\text{C}$) est particulièrement utilisé comme marqueur de la production primaire, car il est déterminé lors de l'intégration du carbone au métabolisme au cours de la photosynthèse. L'existence d'un gradient en $\delta^{13}\text{C}$ est généralement admise entre le milieu côtier et pélagique avec de plus faibles valeurs observées pour ce dernier (Hobson et al., 1994). Le rapport isotopique de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$) est utilisé comme témoin du niveau trophique car la forme isotopique légère (^{14}N) est préférentiellement utilisée dans les réactions métaboliques. Aussi, on considère qu'à chaque niveau trophique correspond un enrichissement moyen dans le rapport isotopique de l'azote (Minagawa and Wada, 1986). Dans cette étude nous avons utilisés les rapports isotopiques de l'azote et du carbone pour répondre à trois questions :

1. Quelles sont les différences de valeurs isotopiques du carbone et de l'azote dans les différents tissus des dugongs et en fonction de leur taille ou leur sexe ?
2. Quelle est l'étendue de la niche trophique des dugongs échantillonnés en fonction du sexe et de la taille des individus ?
3. D'après le signal isotopique des tissus de dugongs et celui de différentes espèces de phanérogames collectées dans les herbiers de Nouvelle-Calédonie, quelle pourrait être la composition du régime alimentaire des dugongs ?
4. Peut-on à partir de la valeur isotopique mesurées dans les dents de dugongs évaluer une évolution de leur régime alimentaire au fil du temps ?

Méthodes

Echantillonnage

Un total de 234 échantillons a été prélevé sur 35 dugongs échoués, 25 dugongs biopsiés à l'occasion de campagnes scientifiques de balisage, et trois individus ayant été saisis à la suite de tentatives de braconnage. Ces échantillons ont été collectés sur période étendue allant de 1940 à 2021 (**Figure 1**). Les échantillons correspondent à différents types de tissus incluant de la peau, du foie, du rein, du muscle et des dents (**Annexe 1**).

Par ailleurs, la quasi-totalité des individus échantillonnés étaient localisés le long de la côte ouest de la Grande Terre (32 sites sur 36), c'est-à-dire dans les zones de plus forte concentration de la population locale de dugong (**Figure 2**; Cleguer et al., 2015).

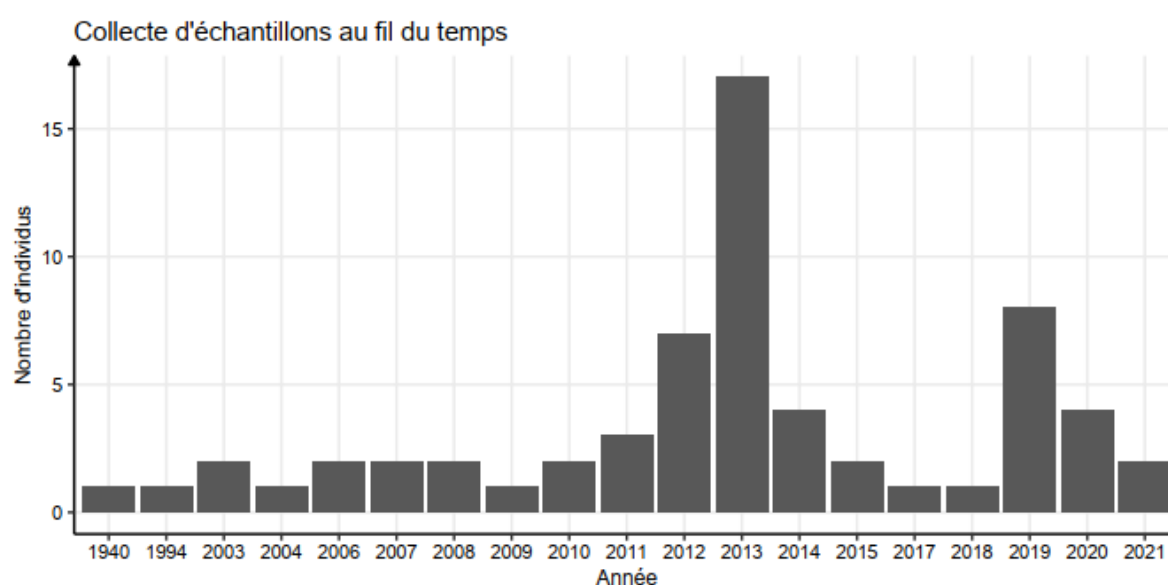


Figure 1. Distribution temporelle des individus sur lesquels des échantillons ont été collectés.

Préparation et analyse

Les échantillons de peau ont été conservés dans de l'éthanol (70°) jusqu'à leur préparation en laboratoire (Chouvelon et al., 2011). Les échantillons provenant des organes internes et des muscles ont été conservés congelés. Afin de faciliter la réduction en poudre de l'échantillon, un premier découpage aux ciseaux a été réalisé avant lyophilisation. L'éthanol a ensuite été évaporé et remplacé par de l'eau milli-Q puis les échantillons ont été congelés à -20°C. Après congélation, ils ont été lyophilisés pendant une durée de 48h. Une étape de délipidation a ensuite été réalisée en vue des analyses isotopiques (DeNiro et Epstein 1977). Pour cela, des sous-échantillons de quelques milligrammes ont été placés dans des tubes en verre de 15ml avec 4ml de cyclohexane, agités pendant 10 minutes, puis ont été centrifugés à 4500 tours/minute pendant 5 minutes. Le solvant a ensuite été éliminé et l'opération a été répétée 3 fois pour assurer une délipidation efficace.

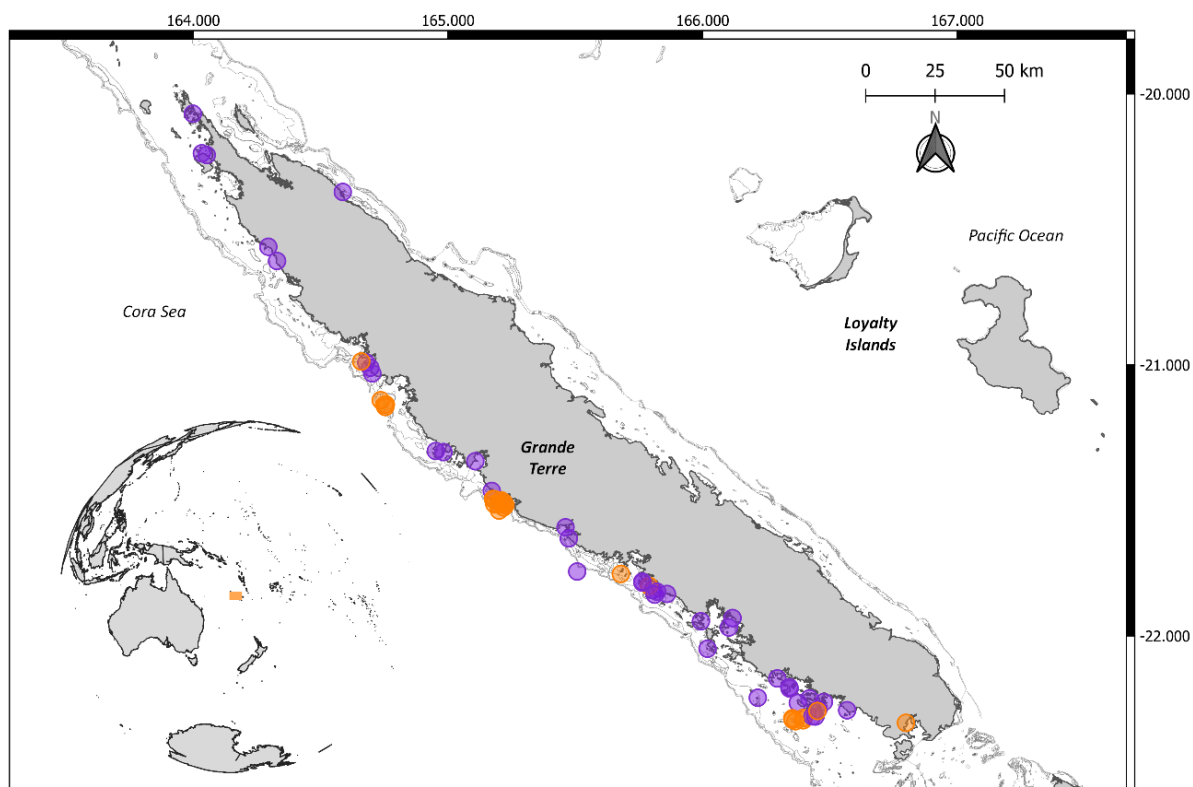


Figure 2. Distribution géographique des échantillons collectés sur des dugongs vivants lors de projets scientifiques (en orange) ou sur des dugongs morts dans le cadre d'échouages ou de saisies de braconnage (en violet).

Les dents ont été nettoyées puis conservées à sec. Il s'agit des incisives sur lesquelles l'âge de l'individu peut être estimé. Ces dents ne sont visibles que sur les mâles adultes et les vieilles femelles ; c'est pourquoi seul un petit nombre de dents étaient disponibles. Pour celles-ci ($n = 9$) l'âge avait préalablement été déterminé grâce au comptage des stries de croissance annuelle sur des coupes longitudinales réalisées à l'aide d'une scie à fil diamanté (Marsh et al., 1982). Les analyses isotopiques des échantillons de dentine ont été effectuées sur la poudre collectée entre chaque strie à l'aide d'une fraiseuse électrique (Cogrel 2017). Pour l'analyse isotopique en elle-même, 0,5 mg de poudre de chaque échantillon ont été analysés en microplaques par un spectromètre de masse (Thermo Scientific Delta V Advantage) couplé à un analyseur élémentaire (Thermo Scientific Flash EA1112). L'erreur standard liée aux mesures des isotopes est inférieure à 0,15‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et le $\delta^{15}\text{N}$.

Analyses statistiques

Les différences de valeur isotopiques en azote et carbone entre les différents tissus ont été évaluées par le biais de modèles linéaires mixtes avec distribution gaussienne et un effet aléatoire correspondant à l'individu échantillonné. Les deux modèles ont été construits grâce au logiciel R v.4.1.2 (R Core Team, 2022). Via le package « glmmTMB » (Brooks et al., 2017), le rapport isotopique a été considéré comme la variable réponse, et le type de tissu

comme prédicteur catégoriel. Les conditions d'application des modèles ont été vérifiées visuellement et statistiquement grâce au package « DHARMA » (Hartig and Lohse, 2022).

Les niches isotopiques ont été décrites selon la méthode de Fey et al., (2021). Des Polygones Convexes Minimums (MCP) ont été dessinés autour des nuages de points dans les deux dimensions correspondantes aux deux isotopes stables étudiés. Afin de prendre en compte la variabilité naturelle dans les échantillonnages, les niches isotopiques ont été décrites en sélectionnant les points les plus concentrés autour du barycentre (Jackson et al., 2011). Le ratio α de points conservés pour le calcul de la niche isotopique a été défini de telle façon qu'enlever un point supplémentaire n'affecte l'aire estimée que de manière résiduelle. La significativité de la superposition des niches trophiques a été évaluée via des tests de T^2 de Hotelling sur l'ensemble des observations (Turner et al. 2010).

Les comparaisons de niches isotopiques ont également été effectuées selon la méthode proposée par Fey et al., (2021). Une fois les α MCP déterminés, nous avons calculé le pourcentage de superposition de niche isotopique entre :

- Les mâles et les femelles > 2 m incluant les adultes et les juvéniles (Lanyon et al., 2021). Ce degré de superposition a été calculé comme la surface superposée divisée par la surface non superposée pour produire un taux de superposition indépendant (Thibault et al., 2021).
- Les adultes/juvéniles¹ et les veaux (< 2 m, Lanyon et al., 2021). Ce degré de superposition a été calculé comme la surface superposée divisée par la surface de la niche des veaux pour produire un taux de superposition reflétant la contribution des adultes à la niche des veaux.

Les modèles de mélange ont été construits sous R via le package « simmr » v. 0.4.5 (Parnell, 2021). Afin de limiter au maximum les biais potentiels liés à l'hétérogénéité dans l'échantillonnage, nous n'avons considéré que les échantillons de peau pour cette analyse. Seuls les échantillons collectés sur des dugongs échantillonnés dans le lagon Sud-Ouest (Ecoregion 1 comme identifié par Derville et al 2022) ont été utilisés pour cette analyse afin de correspondre à la localisation des échantillons de phanérogames disponibles dans la base de données de référence utilisée. Nous avons alors sélectionné une liste de ressources alimentaires candidates d'après les données de la littérature (Marsh et al., 2011; Preen, 1995; Whiting, 2002; Annexe 2).

Pour identifier une liste d'espèces ressources pour les dugongs adultes mâles et femelles, nous avons appliqué à leur niche isotopique des facteurs de correction extraits d'études spécifiques portant sur une espèce cousine, le lamantin car aucun facteur de correction n'existe à ce jour pour le dugong. Ces facteurs de correction correspondent à la différence de valeur isotopique entre les ressources alimentaires et la peau des lamantins, soit + 2,8 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et + 1,0 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$ (Alves-Stanley and Worthy, 2009). Ces facteurs permettent de corriger les valeurs mesurées dans différents tissus afin de pouvoir les comparer.

¹ A partir de maintenant le terme « adulte » comprendra les animaux d'une taille supérieure ou égale à deux mètres incluant donc les adultes et les juvéniles.

Des ellipses standards à 95% (Jackson et al., 2011) corrigées par ces facteurs ont été dessinées autour des valeurs isotopiques de huit mâles adultes et de sept femelles adultes. Elles sont utilisées comme masque pour sélectionner une liste de ressources alimentaires potentielles dans la liste des valeurs disponibles. Les ressources dont la valeur isotopique était incluse dans les ellipses corrigées ont été sélectionnées et utilisées dans les modèles de mélange.

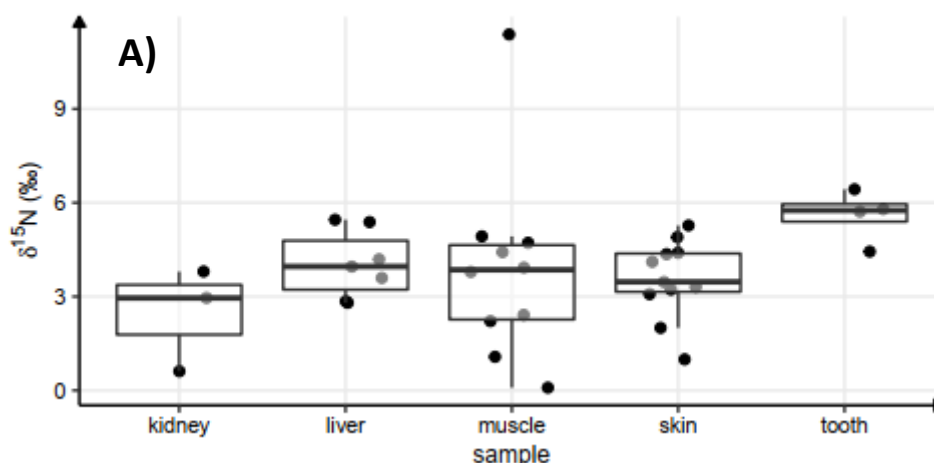
Pour neuf individus, des échantillons de dentines ont pu être prélevés à différentes profondeurs correspondant à plusieurs années successives. Nous avons évalué l'effet potentiel de l'âge sur la valeur isotopique contenue dans les dents de cinq dugongs mâles grâce à un modèle de MANOVA via le package « car » (Fox and Weisberg, 2018) en considérant les deux isotopes comme des variance réponses dépendantes, et l'âge comme prédicteur continu. Les autres dents provenaient d'une femelle et d'individus pour lesquels le sexe n'était pas connu.

Résultats

Le degré de conservation des individus échoués rend difficile la détermination de certains critères. Sur l'ensemble des 63 individus échantillonnés, le sexe a pu être identifié pour 24 femelles et 22 mâles ; pour les 17 individus restant le sexe n'est pas connu. L'âge a pu être déterminé pour 9 individus. L'âge médian est de 19 ans et les valeurs sont comprises entre 1 et 37 ans. En ce qui concerne la taille, la médiane est de 2,50 m pour des extrêmes allant de 1,05 m à 3,1 m (**Annexe 1**).

Différence de signature entre les différents tissus

Les échantillons de tissus disponibles n'ont pas mis en avant de différences significatives dans le rapport isotopique du carbone ($\text{Chi}^2=8.8$; $p \text{ value}>0.05$) ou de l'azote ($\text{Chi}^2=6.8$; $p \text{ value}>0.05$) en fonction des différents organes échantillonnés – peau, foie, rein, muscle, dent (**Figure 3, Annexe 1**).



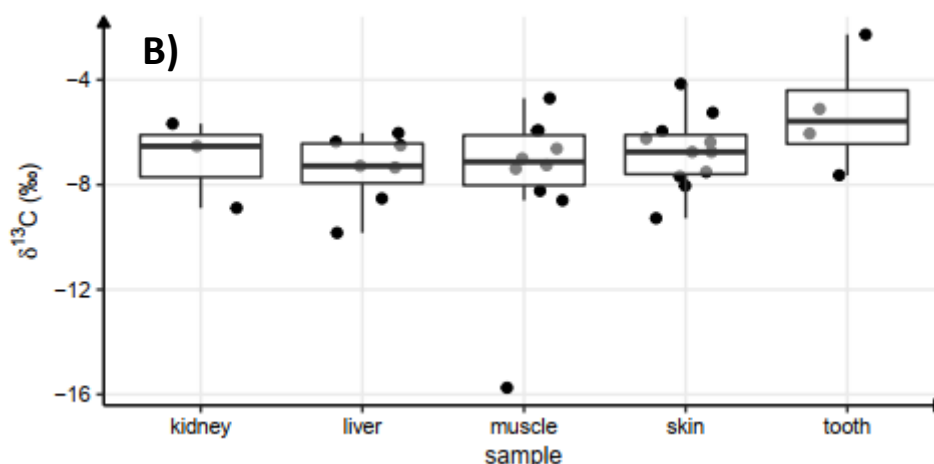


Figure 3. Rapports isotopiques moyens de A) l'azote et du B) carbone mesurés dans différents tissus de dugongs (rein, foie, muscle, peau, dent). Les points noirs et gris représentent les données mesurées.

Les échantillons de rein prélevés avaient une valeur moyenne de $\delta^{15}\text{N}$ de $2,8 \pm 1,0 \text{ ‰}$, les échantillons de foie $3,7 \pm 0,7 \text{ ‰}$, les échantillons de muscle $3,9 \pm 0,6 \text{ ‰}$, les échantillons de $3,6 \pm 0,6 \text{ ‰}$ et les échantillons de dent les plus récents entre $5,4 \pm 0,8 \text{ ‰}$. En ce qui concerne les valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$, elles étaient de $-7,5 \pm 1,0 \text{ ‰}$ pour les reins, $-7,4 \pm 0,7 \text{ ‰}$ pour le foie, $-7,6 \pm 0,6 \text{ ‰}$ pour les muscles, $-6,7 \pm 0,6 \text{ ‰}$ pour la peau et $-5,4 \pm 0,8 \text{ ‰}$ pour les dents. Nous avons donc décidé de baser la suite de notre étude sur les signatures isotopiques de la peau qui est l'organe ayant été collecté de manière constante sur les dugongs vivants ou morts.

Description des niches isotopiques

La niche isotopique des femelles mesurée sur la peau ($n = 21$) est plus large que celle des mâles adultes ($n = 15$) et des veaux ($n = 10$). Les résultats de la description des niches isotopiques sont présentés dans la **Table 1**. La niche isotopique des jeunes a été conçue en incluant 49% des 10 échantillons disponibles, qui étaient les plus concentrés autour du barycentre des nuages de points. L'aire du αMCP , qui représente la taille de la niche isotopique, correspondant était de $\text{TA}\alpha = 0,82$, soit 10% de la zone totale couverte par tous les échantillons disponibles ($\text{TA} = 7,99$). La niche isotopique des mâles adultes a été réalisée en incluant 33% des 15 échantillons disponibles. Elle présente une taille très similaire à celle des veaux, avec un $\text{TA}\alpha$ estimé à 0,89 qui représente également 10% de la zone totale occupée par les échantillons ($\text{TA} = 9,00$). En comparaison, l'espace isotopique occupé par la niche estimée des femelles est beaucoup plus large. Étant plus normalement distribué dans les deux dimensions isotopiques, la procédure de sélection α a sélectionné 60 % des 21 échantillons de dugongs pour concevoir l' αMCP . Cette sélection a produit un $\text{TA}\alpha$ de 2,96, c'est-à-dire trois fois plus large que ceux des jeunes et des mâles adultes. Pourtant, ce αMCP ne représentait encore qu'une petite partie, 22 %, de la zone totale couverte par tous les échantillons disponibles ($\text{TA} = 13,68$).

Table 1: Résumé des caractéristiques des α MCP correspondant aux veaux et aux dugongs adultes mâles et femelles, ainsi que les coordonnées des barycentres dans les deux dimensions isotopiques, le degré de superposition entre les niches des mâles et femelles adultes et juvéniles, et la part des niches adultes incluse dans celle des veaux.

Métrique	Veaux	Adultes mâles	Adultes femelles
TA	7,99	9,00	13,68
α	0,49	0,33	0,61
TA $_{\alpha}$	0,82	0,89	2,96
TA $_{\alpha}$ /TA	0,10	0,10	0,22
Barycentre $\delta^{13}\text{C}$	$-5,50 \pm 0,75 \text{ ‰}$	$-6,20 \pm 0,48 \text{ ‰}$	$-6,29 \pm 1,13 \text{ ‰}$
Barycentre $\delta^{15}\text{N}$	$2,72 \pm 0,75 \text{ ‰}$	$3,37 \pm 0,75 \text{ ‰}$	$2,44 \pm 0,54 \text{ ‰}$
Superposition		5,19% ($p = 0,01$)	
% de la niche des veaux		20,71% ($p = 0,50$)	65,39% ($p = 0,09$)

Comparaison des niches isotopiques

Les niches des mâles et des femelles adultes sont statistiquement différentes (Table 1). En plus de présenter des tailles différentes, elles occupent des positions différentes dans l'espace isotopique. Le chevauchement entre les deux niches isotopiques (α MCP) estimées correspond à 5,19 % de leur zone non chevauchante et les deux nuages de points totaux sont significativement séparés ($T^2 = 11,36$, $p = 0,009$). Cette différence est très probablement due à une valeur $\delta^{15}\text{N}$ globalement plus élevée (IC 95 % [0,18, 1,75]) dans les échantillons de peau des dugongs mâles adultes ($3,37 \pm 0,75 \text{ ‰}$) que dans ceux des femelles ($2,44 \pm 0,54 \text{ ‰}$).

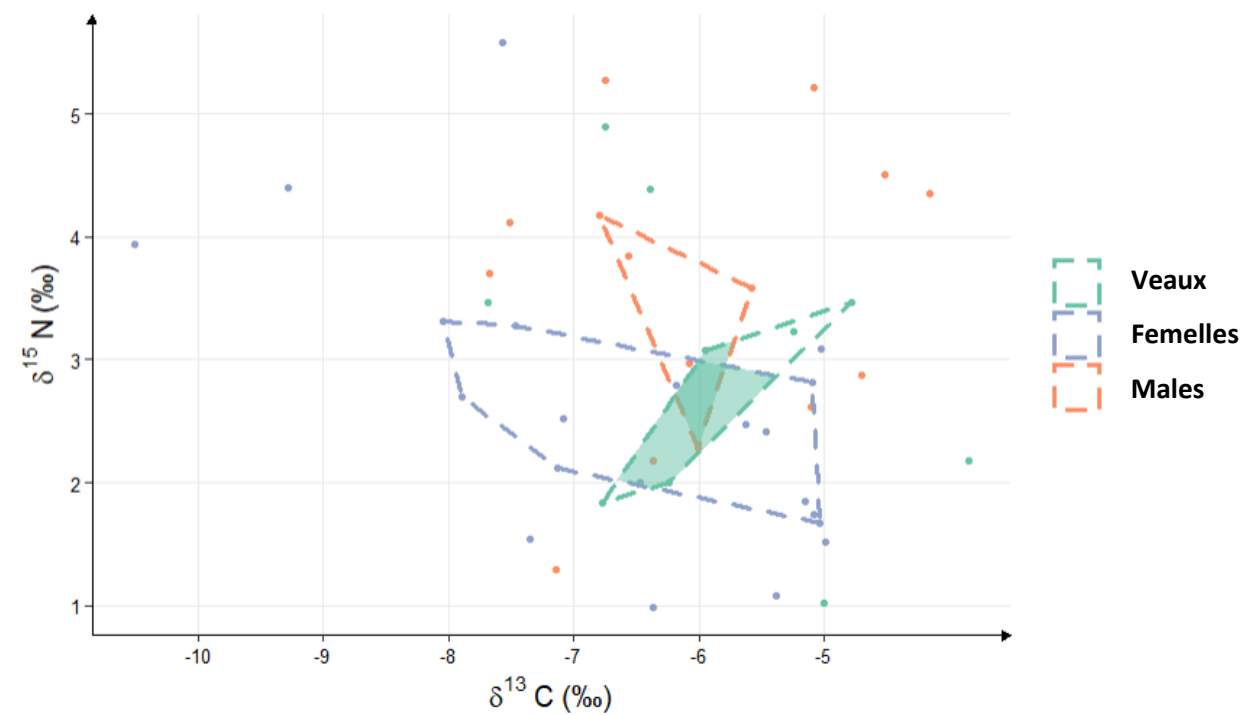


Figure 4. Niches isotopiques en $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des échantillons de peau de dugongs. Les couleurs représentent les trois différents groupes d'individus considérés (veaux : vert ; femelles adultes : violet ; mâles adultes : orange). Les lignes en pointilles représentent les α -MCP correspondants à chaque groupe.

La niche isotopique occupée par les échantillons de peau des veaux chevauche celle des mâles et des femelles adultes, comme le montrent les tests T^2 de ségrégation de niche non significatifs ($T^2 = 1,50$, $p = 0,50$ et $T^2 = 5,22$, $p = 0,09$ respectivement). Pourtant plus de 65 % de la niche des jeunes est incluse dans celle des femelles adultes alors que seulement 20 % est incluse dans celle des mâles adultes (**Figure 4**).

Modèles de mélange

Les ellipses standard à 95 % des mâles adultes chevauchent les valeurs isotopiques moyennes de neuf taxons : deux métazoaires, quatre plantes et trois chromistes (**Figure 5, 6**). Le modèle de mélange est dominé par deux phanérogames : *Halophila ovalis* qui représente 27,9% du régime alimentaire estimé, suivi par *Halodule uninervis* (18,4%). Dans l'ensemble, les plantes représentent près de 60% du régime alimentaire des dugongs mâles adultes. Trois *Turbinaria* (*T. conoides*, *T. ornata* et *T. sp.*) représentent près de 30% du mélange trophique estimé. Un mollusque, *Clypeomorus batillariaeformis*, et un Polychète se trouvent également dans l'espace isotopique des échantillons de peau des dugongs mâles adultes et représentent ici 6,7 et 5,0% du mélange trophique des mâles respectivement.

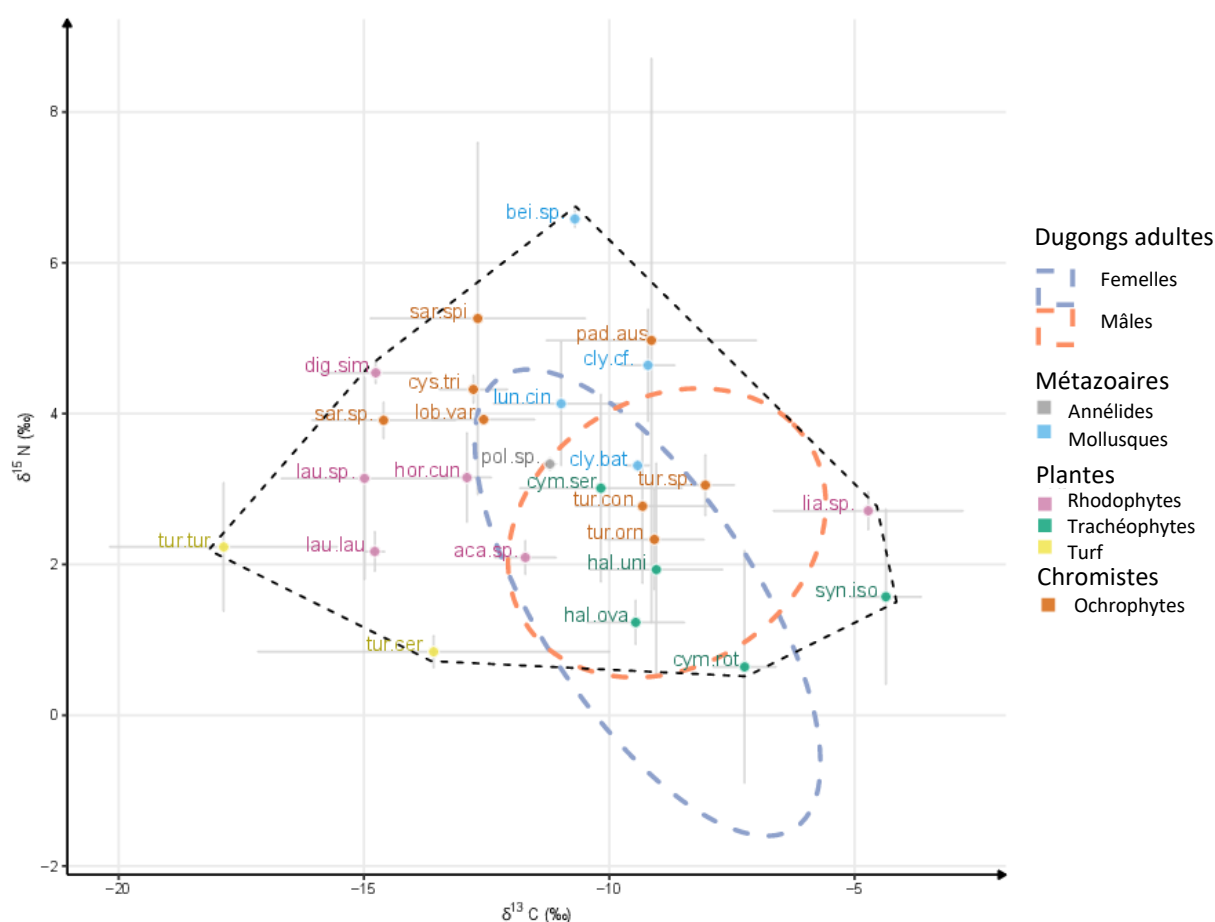


Figure 5. Graphique isotopique représentant les ellipses standards intégrant 95% des échantillons de peau des dugongs adultes mâles et femelles corrigées par leur facteur de correction ainsi que les valeurs moyennes des ressources alimentaires potentielles. Les ressources situées dans les ellipses sont celles qui ont ensuite été considérées pour les modèles de mélange. La zone en pointillés noirs représente la zone couverte par l'ensemble des sources potentielles.

Les ellipses standard isotopiques à 95% des femelles adultes chevauchent les valeurs isotopiques moyennes de 11 taxons : trois métazoaires, cinq plantes et trois chromistes (**Figures 5, 6**). Le modèle de mélange est dominé par *Halophila ovalis* qui représente 11,2% du régime alimentaire estimé, suivie par *Cymodocea rotundata* (10,7%, tableau supplémentaire 2). Dans l'ensemble, les plantes représentaient près de 50% du régime alimentaire des dugongs femelles adultes. Trois chromistes, *T. conoides*, *T. ornata* et *Lobophora variegata*, représentent 25% du mélange trophique estimé. Deux mollusques, *Clypeomorus batillariaeformis* et *Lunella cinerea*, ainsi qu'un Polychète se trouvent également dans l'espace isotopique des échantillons de peau des dugongs femelles adultes et représentent chacun environ 8% du mélange trophique des femelles.

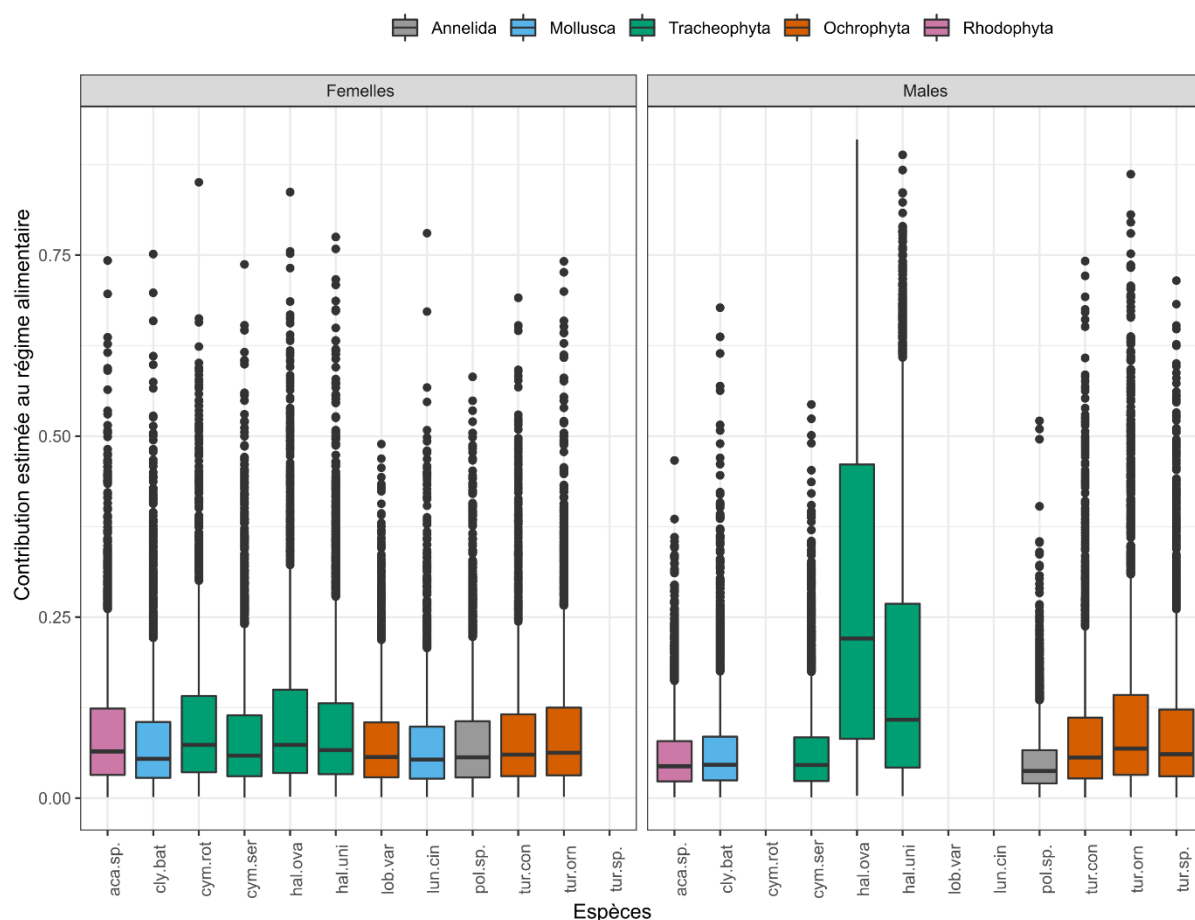


Figure 6. Contribution estimée de 12 espèces candidates (**Annexe 2**) au bol alimentaire des femelles et mâles dugongs adultes.

Evolution de la signature isotopique avec l'âge

Le modèle de MANOVA suggère que l'âge a un effet significatif sur les valeurs isotopiques du carbone et de l'azote mesurées dans les dents de dugongs ($T = 0,23$; $p < 0,001$). Le modèle indique que le rapport isotopique du carbone $\delta^{13}\text{C}$ augmente avec l'âge chez les mâles. En revanche, aucune tendance significative n'a été mise en évidence pour le rapport isotopique de l'azote en fonction de l'âge (**Figure 7**).

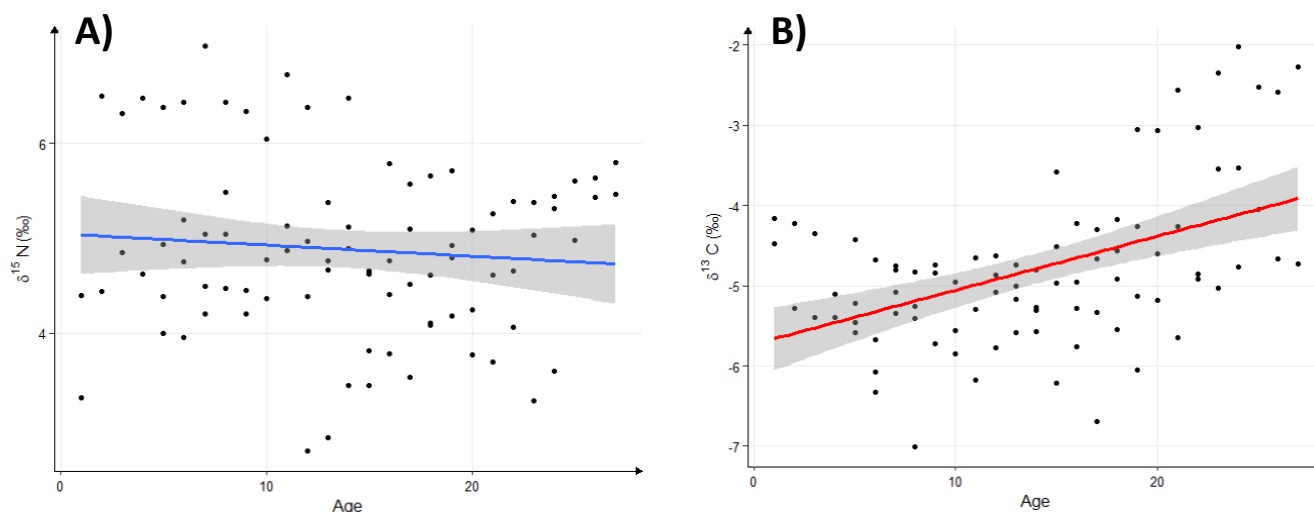


Figure 7. Evolution des rapports isotopiques de A) l'azote et du B) carbone dans la peau de cinq dugongs mâles en fonction de leur âge mesuré par l'analyse des stries de dentine.

Discussion

Même si elle ne concerne qu'un nombre restreint d'individus, la présente étude est la première à évaluer la niche trophique d'une population de dugongs à partir d'échantillons prélevés sur des individus d'âge et de sexe variable. En effet, jusqu'à présent, ce type d'approche n'avait été mené que sur un unique individu échoué au Japon (Yamamuro et al. 2004). Les résultats que nous présentons témoignent de différences notables entre les niches isotopiques et le bol alimentaires des dugongs mâles et femelles. La valeur isotopique de l'azote des tissus des mâles est supérieure à celle des femelles et les modèles de mélange obtenus suggèrent un régime alimentaire plus spécialisé chez les mâles que chez les femelles de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie. Les analyses de contenus stomacaux et les résultats des modèles de mélange confirment que l'espèce s'alimente principalement sur les herbiers de trachéophytes des genres *Cymodocea*, *Halophila* et *Halodule* (Marsh et al. 1982). L'utilisation des données isotopiques sur plusieurs individus nous permet à partir de ces observations de formuler de nouvelles hypothèses sur l'écologie trophique de cette population en danger.

Comparaison des niches isotopiques des veaux et des adultes

D'après nos résultats, les veaux partagent la plupart de leurs ressources alimentaires avec les adultes ce qui n'est pas surprenant puisqu'ils commencent à se nourrir d'herbes marines peu après leur naissance (Marsh et al., 1982). La niche isotopique des veaux ne se superpose qu'à la valeur de deux ressources alimentaires candidates dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie : la phanérogame *Halodule uninervis* et la macroalgue *Padina australis*. La première appartient aux genres les plus fréquents trouvés dans un ensemble de contenus stomacaux collectés chez des dugongs au Queensland, Australie (Marsh et al., 1982), et la seconde est une espèce fréquemment observée dans des habitats récifaux rocheux peu

profonds où des dugongs ont été observés en train de se nourrir dans la région de Darwin, Australie (Whiting, 2002).

Notre analyse révèle un chevauchement plus important de la niche isotopique des veaux avec celle des femelles qu'avec celle des mâles. Cela reflète sans doute le fait que les veaux restent avec les femelles pendant toute la période de lactation qui peut durer plus d'un et demi chez cette espèce (Marsh et al., 1984). Comme ils restent à proximité de leur mère jusqu'au sevrage, les jeunes dugongs suivent probablement les mêmes schémas de sélection du régime alimentaire, potentiellement transmis par l'apprentissage social de la mère à la progéniture. Une telle transmission de la sélection du régime alimentaire a été démontrée chez d'autres herbivores terrestres (Bolzan et al., 2020) mais aussi chez des mammifères marins tels que les lamantins de Floride ou les dauphins tachetés de l'Atlantique (Bender et al., 2008).

Estimation du régime alimentaire

Les résultats des modèles de mélange suggèrent qu'au sein du lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie le régime alimentaire des dugongs est composé d'herbiers de phanérogames à plus de 50% et de chromistes à moins de 30%. Ceci est conforme aux hypothèses de travail puisque les plus fortes densités de dugongs ont été observées (Cleguer et al, 2015, Cleguer et al 2015b) dans des zones d'herbiers, sur les côtes ouest et nord-est de la grande terre (Andréfouet et al 2021). Les phanérogames des genres *Halophila* suivi de *Halodule* semblent dominer le régime alimentaire, et ces deux espèces ne poussent pas seulement dans les eaux côtières peu profondes mais également sur les terrasses sédimentaires internes proche du récif barrière où des dugongs ont également été observés (Cleguer et al 2020, Derville et al 2022).

La modélisation a également révélé que des métazoaires telles que des polychètes et de petits mollusques pouvaient participer aux valeurs isotopiques des tissus du dugong (moins de 10% chacun), un résultat confirmé l'analyse de quelques contenus stomacaux (Brisset et al 2022). La consommation délibérée d'invertébrés par les dugongs a déjà été observée (e.g. Anderson, 1998) et interprétée comme une réponse à une raréfaction saisonnière des ressources alimentaires en hiver aux hautes latitudes (Keith-Diagne et al., 2022). Ici, la valeur des espèces de métazoaires chevauche davantage la niche trophique des femelles adultes et contribuent davantage à leur bol alimentaire estimé. Il serait donc imprudent de conclure ici sur une consommation directe ou indirecte de ces ressources. Seules des études spécifiques permettront de comprendre comment les dugongs s'adaptent au cycle de croissance des herbiers marins et s'ils ciblent spécifiquement d'autres sources telles que algues, mollusques ou polychètes lorsque la disponibilité des herbes marines évolue.

Différences de comportement alimentaire entre les mâles et femelles

La niche trophique des femelles adultes est plus large que celle des mâles en raison de variations plus importantes du $\delta^{13}\text{C}$ chez les femelles. Ceci suggère que les femelles exploitent une plus grande diversité de sources de matières organiques. Aucune différence de sexe ou

de taille dans le régime alimentaire des dugongs n'a été rapporté à ce jour, à l'exception des veaux allaitants (Johnstone et Hudson, 1981), mais la ségrégation sexuelle dans la recherche de nourriture n'est pas bien documentée chez les siréniens, contrairement aux cétacés et aux pinnipèdes pour lesquels elle a été plus largement décrite par Wearmouth et Sims (2008). Nos résultats suggèrent que le régime alimentaire des dugongs mâles est plus spécialisé que celui des femelles. Nous émettons l'hypothèse que les longues périodes de gestation et de lactation chez les femelles puissent expliquer ce résultat. Les femelles enceintes et allaitantes pourraient minimiser leur dépense énergétique en limitant leurs déplacements sur de longues distances et en concentrant leurs efforts de recherche de nourriture sur des zones plus petites qui peuvent englober une diversité de ressources alimentaires plus ou moins optimales. En comparaison, les mâles pourraient se déplacer davantage pour accéder aux ressources les plus nutritives. Cette hypothèse est difficile à tester chez le dugong car les femelles allaitantes sont exclues des études de suivi par satellite afin d'éviter tout risque d'interférence des balises avec leurs déplacements et leurs dépenses énergétiques (Cleguer et al., 2020 ; Derville et al., 2022). L'amplitude linéaire des mouvements observés en Nouvelle-Calédonie ne diffère pas significativement entre les mâles et les femelles (Cleguer et al., 2020), mais on a constaté que les mâles restent plus longtemps dans des zones spécifiques (Derville et al., 2022). Enfin des différences de comportement alimentaire du fait des contraintes d'élevage des veaux par les femelles ont été observée chez d'autres mammifères marins (par exemple, le phoque commun *Phoca vitulina* de Colombie-Britannique, Canada Schwarz et al., 2018).

Evolution des rapports isotopiques avec l'âge

Les analyses isotopiques des échantillons de dentine prélevées sur cinq individus nous ont permis d'explorer une potentielle évolution temporelle du régime alimentaire des dugongs de Nouvelle-Calédonie en lien avec leur maturité. Les échantillons analysés n'ont pas révélé d'évolution particulière de la valeur en $\delta^{15}\text{N}$ avec l'âge, ce qui suggère que les dugongs se nourrissent sur des ressources de même niveau trophique quel que soit leur âge. Ce résultat n'est pas surprenant puisqu'il est avéré que les dugongs complètent rapidement l'alimentation au lait maternel avec des végétaux, et que leur régime cible ensuite les herbiers marins (Marsh et al., 1984). Les modèles de mélange et l'estimation des niches isotopiques présentées dans cette étude corroborent ces observations.

En revanche, nos analyses suggèrent une évolution de la valeur de $\delta^{13}\text{C}$ contenue dans la dentine au fil de l'âge. Cette évolution, couplée à l'absence de signal en $\delta^{15}\text{N}$, suggère que les dugongs s'alimentent sur des sources de niveau trophique similaire mais dans des zones géographiques différentes. Dans une étude de la valeur isotopique de différents mammifères marins, Walker et al. (1999) avaient enregistré des résultats comparables sur les lamantins. Les dents des lamantins adultes avaient une valeur de ^{13}C légèrement plus élevées que celles des juvéniles. Comme cette évolution était couplée à une évolution de la valeur de $\delta^{15}\text{N}$, les auteurs considéraient qu'elle résultait du sevrage et de la disparition du lait maternel dans le régime alimentaire des adultes. Ici l'évolution progressive observée dans les dents de plusieurs individus pourraient indiquer un autre phénomène.

Si notre analyse linéaire met en avant une augmentation globale au fil du temps, la valeur des échantillons collectés semble augmenter aux alentours d'un âge estimé à d'une dizaine d'années. Or, cet âge correspond à l'âge estimé de maturité sexuelle chez les dugongs (Marsh et al., 1984). Il est donc possible que l'augmentation que nous observons dans la valeur de $\delta^{13}\text{C}$ des dents de dugongs correspondent à un changement de comportement qui intervient au moment de la maturité sexuelle. Cela est peu documenté chez les siréniens, mais a déjà été observé chez d'autres mammifères marins comme les baleines (Mendes et al. 2007). Le changement de source primaire de carbone est alors associé au moment où les nouveaux reproducteurs sont à la recherche de partenaires sexuels ce qui les amènent peut-être à couvrir de nouvelles localités. Cette hypothèse est vraisemblable pour les dugongs mais devrait être explorée plus en détail par des observations directes.

Conclusion

A partir d'échantillons prélevés de façon opportuniste sur des carcasses de dugongs échoués ou sur des animaux vivants capturés dans le cadre d'études diverses en Nouvelle-Calédonie, notre étude met en lumière plusieurs éléments peu documentés de l'écologie trophique de cette espèce. Premièrement l'absence de différence notable dans la valeur isotopique des différents tissus échantillonnés a été noté, mais cette différence est à prendre avec précaution du fait de l'hétérogénéité de l'échantillonnage. Deuxièmement, les valeurs mesurées dans la peau des veaux semblent refléter la longue période pendant laquelle ces jeunes animaux suivent les femelles en s'alimentant de leur lait et des ressources végétales qu'elles consomment. Ceci se traduit par une niche isotopique largement superposées entre les veaux et les femelles, superposition moins marquée avec les mâles adultes. Troisièmement, les mâles ont un régime alimentaire plus spécialisé que les femelles ce qui nous amène à formuler l'hypothèse d'une différence de comportement alimentaire en fonction du sexe. Une telle différence n'a pas encore été documenté chez les dugongs mais elle pourrait s'expliquer par une contrainte dans l'exploitation des ressources par les femelles enceintes ou allaitantes pour limiter les déplacements et minimiser ainsi la dépense énergétique. Au contraire, les mâles pourraient se déplacer plus librement et sélectionner d'avantage leurs ressources principales, les phanérogames marines. Enfin, les échantillons prélevés dans les dents suggèrent que le niveau trophique des ressources consommées ne varie pas avec l'âge, mais que les zones d'alimentation pourraient évoluer à partir de l'âge de maturité sexuelle des individus. Ces résultats apportent de nouveaux éléments de compréhension sur l'écologie trophique de l'espèce. Du point de vue de la conservation, les femelles pourraient ainsi être particulièrement sensibles aux perturbations des herbiers marins, notamment pendant la longue période de soins aux jeunes pendant laquelle leurs mouvements pourraient être limités en comparaison de ceux des mâles.

Références

- Alves-Stanley, C.D., Worthy, G.A.J., 2009. Carbon and nitrogen stable isotope turnover rates and diet–tissue discrimination in Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). *Journal of Experimental Biology* 212, 2349–2355. <https://doi.org/10.1242/jeb.027565>
- Anderson, P.K., 1994. Dugong distribution, the seagrass *Halophila spinulosa*, and thermal environment in winter in deeper waters of eastern Shark Bay, WA. *Wildl. Res.* 21, 381–387. <https://doi.org/10.1071/wr9940381>
- Anderson, P. K. (1998). Shark Bay dugongs (*Dugong dugon*) in summer. II: Foragers in a Halodule-dominated community.
- Andréfouet, S., Derville, S., Buttin, J., Dirberg, G., Wabnitz, C. C., Garrigue, C., & Payri, C. E. (2021). Nation-wide hierarchical and spatially-explicit framework to characterize seagrass meadows in New-Caledonia, and its potential application to the Indo-Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113036.
- Aragones, L.V., Lawler, I., Marsh, H., Domning, D., Hodgson, A., 2012. The role of Sirenians in Aquatic Ecosystems, in: Hines, E.M., Reynolds, J.E., Aragones, L.V., Mignucci-Giannoni, A.A., Marmontel, M. (Eds.), *Sirenian Conservation: Issues and Strategies in Developing Countries*. University Press of Florida. <https://doi.org/10.2307/j.ctvx079z0>
- Bender, C. E., Herzing, D. L., & Bjorklund, D. F. (2009). Evidence of teaching in Atlantic spotted dolphins (*Stenella frontalis*) by mother dolphins foraging in the presence of their calves. *Animal cognition*, 12, 43-53.
- Bolzan, A. M. S., Bonnet, O. J. F., Wallau, M. O., Basso, C., Neves, A. P., & de Faccio Carvalho, P. C. (2020). Foraging behavior development of foals in natural grassland. *Rangeland Ecology & Management*, 73(2), 243-251.
- Brisset, M., Derville, S., Andréfouët, S., Cleguer, C., Buttin, J., and Garrigue, C. (2022). Science en Herbe. Raising awareness about the importance of dugongs and their habitat in New Caledonia. Nouméa, New Caledonia. Rapport pour la CMS Dugong, 26p + annexes
- Brooks, M., E., Kristensen, K., Benthem, K., J. ,van, Magnusson, A., Berg, C., W., Nielsen, A., Skaug, H., J., Mächler, M., Bolker, B., M., 2017. glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal* 9, 378. <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066>
- Chouvelon, T., Spitz, J., Cherel, Y., Caurant, F., Sirmel, R., Mèndez-Fernandez, P., Bustamante, P., 2011. Inter-specific and ontogenic differences in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values and Hg and Cd concentrations in cephalopods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 433, 107–120. <https://doi.org/10.3354/meps09159>
- Cleguer, C., 2015a. Conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie : une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles. James Cook University, Nouméa.
- Cleguer, C., 2015b. Informing dugong conservation at several spatial and temporal scales in New Caledonia. James Cook University, Australia.

- Cleguer, C., Garrigue, C., Marsh, H., 2020. Dugong (Dugong dugon) movements and habitat use in a coral reef lagoonal ecosystem. *Endang. Species. Res.* 43, 167–181. <https://doi.org/10.3354/esr01061>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.007>
- Cogrel, J. (2017). Étude de l'écologie trophique des dugongs en Nouvelle-Calédonie. Master 2 Université de La Rochelle. 47p.
- DeNiro, M.J., Epstein, S., 1977. Mechanism of Carbon Isotope Fractionation Associated with Lipid Synthesis. *Science* 197, 261–263. <https://doi.org/10.1126/science.327543>
- Derville, S., Cleguer, C., & Garrigue, C. (2022). Ecoregional and temporal dynamics of dugong habitat use in a complex coral reef lagoon ecosystem. *Scientific Reports*, 12(1), 1-15.
- Fey, P., Letourneur, Y., Bonnabel, S., 2021. The α -minimum convex polygon as a relevant tool for isotopic niche statistics. *Ecological Indicators* 130, 108048. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108048>
- Fox, J., Weisberg, S., 2018. *An R Companion to Applied Regression*, Third Edition, SAGE Publications, Inc. ed. California.
- Fry, B., 2006. *Stable Isotope Ecology*, Springer Science. ed. New York.
- Garrigue, C., Bonneville, C.D., Cleguer, C., Oremus, M., 2022. Extremely Low mtDNA Diversity and High Genetic Differentiation Reveal the Precarious Genetic Status of Dugongs in New Caledonia, South Pacific. *Journal of Heredity* esac029. <https://doi.org/10.1093/jhered/esac029>
- Hagihara, R., Jones, R.E., Soltzick, S., Cleguer, C., Garrigue, C., Marsh, H., 2018. Compensating for geographic variation in detection probability with water depth improves abundance estimates of coastal marine megafauna. *PLOS ONE* 13, e0191476. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191476>
- Hamel, M., Marsh, H., Cleguer, C., Garrigue, C., and Oremus, M. (2022). Dugong dugon (New Caledonia subpopulation). , 1–22.
- Hartig, F., Lohse, L., 2022. DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models.
- Hobson, K.A., Piatt, J.F., Pitocchelli, J., 1994. Using Stable Isotopes to Determine Seabird Trophic Relationships. *The Journal of Animal Ecology* 63, 786. <https://doi.org/10.2307/5256>
- Jackson, A.L., Inger, R., Parnell, A.C., Bearhop, S., 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER – Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *Journal of Animal Ecology* 80, 595–602. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2011.01806.x>
- Johnstone, I. M., & Hudson, B. E. T. (1981). The dugong diet: mouth sample analysis. *Bulletin of Marine Science*, 31(3), 681-690.

- Keith-Diagne, L. W., Barlas, M. E., Reid, J. P., Hodgson, A. J., & Marsh, H. (2022). Diving and foraging behaviors. In *Ethology and Behavioral Ecology of Sirenia* (pp. 67-100). Cham: Springer International Publishing.
- Lanyon, J. M., Athousis, C., Sneath, H. L., and Burgess, E. A. (2021). Body scarring as an indicator of social function of dugong (*Dugong dugon*) tusks. *Marine Mammal Science* 37, 962–981. doi:10.1111/mms.12788
- Marsh, H., Channells, P., Heinsohn, G., Morrissey, J., 1982. Analysis of Stomach Contents of Dugongs From Queensland. *Wildl. Res.* 9, 55. <https://doi.org/10.1071/WR9820055>
- 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(6), 767-788.
- Marsh, H., O’Shea, T.J., Reynolds, J.E., 2011. Ecology and Conservation of the Sirenia: Dugongs and manatees, Cambridge University Press. ed.
- Marsh, H., Soltzick, S., 2015. IUCN Red List of Threatened Species: *Dugong dugon*. IUCN Red List of Threatened Species.
- Mendes, S., Newton, J., Reid, R. J., Zuur, A. F., & Pierce, G. J. (2007). Stable carbon and nitrogen isotope ratio profiling of sperm whale teeth reveals ontogenetic movements and trophic ecology. *Oecologia*, 151, 605-615.
- Minagawa, M., Wada, E., 1986. Nitrogen isotope ratios of red tide organisms in the East China Sea: A characterization of biological nitrogen fixation. *Marine Chemistry* 19, 245–259. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(86\)90026-5](https://doi.org/10.1016/0304-4203(86)90026-5)
- Parnell, A., 2021. simmr: A Stable Isotope Mixing Model.
- Peterson, B.J., Fry, B., 1987. Stable Isotopes in Ecosystem Studies. *Annual Reviews of Ecology and Systematic* 293–320.
- Pimiento, C., Leprieur, F., Silvestro, D., Lefcheck, J.S., Albouy, C., Rasher, D.B., Davis, M., Svenning, J.-C., Griffin, J.N., 2020. Functional diversity of marine megafauna in the Anthropocene. *Science Advances* 6, eaay7650. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay7650>
- Preen, A, 1995. Impacts of dugong foraging on seagrass habitats:observational and experimental evidence for cultivation grazing. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 124, 201–213. <https://doi.org/10.3354/meps124201>
- Preen, Anthony, 1995. Diet of Dugongs: Are They Omnivores? *Journal of Mammalogy* 76, 163–171. <https://doi.org/10.2307/1382325>
- R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing.
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2010.00374.x>

Schwarz, D., Spitzer, S. M., Thomas, A. C., Kohnert, C. M., Keates, T. R., & Acevedo-Gutiérrez, A. (2018). Large-scale molecular diet analysis in a generalist marine mammal reveals male preference for prey of conservation concern. *Ecology and Evolution*, 8(19), 9889-9905.

Thibault, M., Lorrain, A., Houlbrèque, F., 2021. Comment on Trophic strategy and bleaching resistance in reef-building corals. *Sci. Adv.* 7, eabd9453. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd9453>

Turner TF, Collyer ML, Krabbenhoft TJ. 2010. A general hypothesis-testing framework for stable isotope ratios in ecological studies. *Ecology* 91:2227–2233. DOI: 10.1890/09-1454.1.

Walker, J. L., & Macko, S. A. (1999). Dietary studies of marine mammals using stable carbon and nitrogen isotopic ratios of teeth. *Marine mammal science*, 15(2), 314-334.

Wearmouth, V. J., & Sims, D. W. (2008). Sexual segregation in marine fish, reptiles, birds and mammals: behaviour patterns, mechanisms and conservation implications. *Advances in marine biology*, 54, 107-170.

Whiting, S., 2002. Rocky Reefs Provide Foraging Habitat For Dugongs In The Darwin Region Of Northern Australia. *Aust. Mammalogy* 24, 147. <https://doi.org/10.1071/AM02147>

Yamamuro, M., Aketa, K., & Uchida, S. (2004). Carbon and nitrogen stable isotope ratios of the tissues and gut contents of a dugong from the temperate coast of Japan. *Mammal Study*, 29(2), 179-183.

ANNEXE 1 : Ensemble des échantillons prélevés et analysés par individus et leur valeurs d'isotopes stables correspondantes (Lat : latitude, Long : longitude en WGS84, ID : code de l'échouage ECAAAA-XX ou du tissu NCAA_XX, taille en m, Peau : tissu NCAA-XX).

Année	Mois	Lat	Long	Site	Origine	ID	Age	Sexe	Taille	Tissu	Strie	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C/N	Peau
1940	NA	NA	NA	NA	échoué	ec1940	6	NA	NA	dent	1	-3,2	4,0	3,0	NA
1940	NA	NA	NA	NA	échoué	ec1940	7	NA	NA	dent	2	-2,9	3,9	2,9	NA
1940	NA	NA	NA	NA	échoué	ec1940	8	NA	NA	dent	3	-3,1	3,9	3,0	NA
1940	NA	NA	NA	NA	échoué	ec1940	9	NA	NA	dent	4	-2,8	4,2	2,9	NA
1940	NA	NA	NA	NA	échoué	ec1940	10	NA	NA	dent	5	-2,8	4,2	2,9	NA
1940	NA	NA	NA	NA	échoué	ec1940	11	NA	NA	dent	6	-2,8	5,8	3,0	NA
1940	NA	NA	NA	NA	échoué	ec1940	12	NA	NA	dent	7	-3,4	4,9	3,0	NA
1940	NA	NA	NA	NA	échoué	ec1940	13	NA	NA	dent	8	-2,9	6,0	3,0	NA
1940	NA	NA	NA	NA	échoué	ec1940	14	NA	NA	dent	9	-3,3	6,4	3,0	NA
1940	NA	NA	NA	NA	échoué	ec1940	15	NA	NA	dent	10	-3,2	5,4	3,0	NA
1940	NA	NA	NA	NA	échoué	ec1940	16	NA	NA	dent	11	-3,0	5,6	3,0	NA
1940	NA	NA	NA	NA	échoué	ec1940	17	NA	NA	dent	12	-3,2	5,4	3,0	NA
1994	9	-22,26	166,39	kuendu	échoué	ec1994_02	1	m	2,8	dent	1	-4,2	4,4	2,9	NA
1994	9	-22,26	166,39	kuendu	échoué	ec1994_02	2	m	2,8	dent	2	-4,2	4,4	2,5	NA
1994	9	-22,26	166,39	kuendu	échoué	ec1994_02	3	m	2,8	dent	3	-4,4	4,9	3,0	NA
1994	9	-22,26	166,39	kuendu	échoué	ec1994_02	4	m	2,8	dent	4	-5,1	4,6	2,3	NA
1994	9	-22,26	166,39	kuendu	échoué	ec1994_02	5	m	2,8	dent	5	-5,2	4,9	2,0	NA
1994	9	-22,26	166,39	kuendu	échoué	ec1994_02	6	m	2,8	dent	6	-6,3	5,2	1,9	NA
1994	9	-22,26	166,39	kuendu	échoué	ec1994_02	7	m	2,8	dent	7	-5,1	5,0	1,9	NA
1994	9	-22,26	166,39	kuendu	échoué	ec1994_02	8	m	2,8	dent	8	-7,0	5,5	1,9	NA
2003	5	-22,32	166,41	noumea	biopsie	nc03_02	NA	NA	NA	peau	NA	-6,3	3,3	NA	nc03_02
2003	5	-22,32	166,41	noumea	biopsie	nc03_03	NA	NA	NA	peau	NA	-5,1	3,9	NA	nc03_03
2004	12	-21,00	164,67	voh	échoué	ec2004_04	NA	m	NA	peau	NA	-4,5	4,5	NA	nc04_53
2006	1	-22,28	166,47	ouemo	échoué	ec2006_01	NA	m	1,82	foie	NA	-7,3	5,5	3,8	NA

2006	1	-22,28	166,47	ouemo	échoué	ec2006_01	NA	m	1,82	muscle	NA	-7,3	4,7	3,5	NA
2006	1	-22,28	166,47	ouemo	échoué	ec2006_01	NA	m	1,82	peau	NA	-6,8	4,9	NA	nc06_02
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	19	m	2,54	foie	NA	-7,3	5,4	3,7	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	19	m	2,54	muscle	NA	-7,4	3,8	3,2	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	19	m	2,54	peau	NA	-6,8	5,3	NA	nc06_170
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	1	m	2,54	dent	1	-4,5	3,3	3,0	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	2	m	2,54	dent	2	-5,3	6,5	3,1	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	3	m	2,54	dent	3	-5,4	6,3	3,0	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	4	m	2,54	dent	4	-5,4	6,5	3,1	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	5	m	2,54	dent	5	-5,5	6,4	3,1	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	6	m	2,54	dent	6	-5,7	6,4	3,1	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	7	m	2,54	dent	7	-5,3	7,0	3,0	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	8	m	2,54	dent	8	-5,3	6,4	3,2	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	9	m	2,54	dent	9	-5,7	6,3	3,1	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	10	m	2,54	dent	10	-5,6	6,0	3,2	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	11	m	2,54	dent	11	-5,3	6,7	3,1	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	12	m	2,54	dent	12	-5,1	6,4	3,2	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	13	m	2,54	dent	13	-5,2	5,4	3,2	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	14	m	2,54	dent	14	-4,8	6,5	3,1	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	15	m	2,54	dent	15	-3,6	3,8	3,2	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	16	m	2,54	dent	16	-5,0	5,8	3,0	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	17	m	2,54	dent	17	-6,7	5,6	3,2	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	18	m	2,54	dent	18	-5,5	5,7	3,0	NA
2006	10	-22,26	166,49	tina	échoué	ec2006_13	19	m	2,54	dent	19	-6,0	5,7	3,0	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	9	NA	NA	dent	1	-2,9	2,9	3,1	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	10	NA	NA	dent	2	-2,9	2,6	3,0	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	11	NA	NA	dent	3	-2,9	2,7	3,1	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	12	NA	NA	dent	4	-3,0	2,9	3,1	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	13	NA	NA	dent	5	-2,8	3,9	3,1	NA

2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	14	NA	NA	dent	6	-2,9	4,0	3,1	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	15	NA	NA	dent	7	-3,0	4,2	3,1	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	16	NA	NA	dent	8	-3,0	3,7	3,0	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	17	NA	NA	dent	9	-3,8	3,5	2,9	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	18	NA	NA	dent	10	-3,7	3,7	2,9	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	19	NA	NA	dent	11	-3,3	3,5	2,9	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	20	NA	NA	dent	12	-3,9	3,4	3,1	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	21	NA	NA	dent	13	-3,2	3,1	2,9	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	22	NA	NA	dent	14	-3,5	3,7	3,0	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	23	NA	NA	dent	15	-3,6	3,6	3,0	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	24	NA	NA	dent	16	-4,0	4,3	3,1	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	25	NA	NA	dent	17	-3,5	3,3	3,0	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	26	NA	NA	dent	18	-4,0	3,7	3,0	NA
2007	3	-21,33	164,95	pindai	échoué	ec2007_09	27	NA	NA	dent	19	-4,9	3,4	3,0	NA
2007	9	-22,24	166,43	ducos	échoué	ec2007_06	NA	NA	NA	peau	NA	-6,8	4,2	NA	nc07_161
2008	8	-21,85	165,81	la_foa	échoué	ec2008_03	NA	NA	NA	peau	NA	-7,0	3,9	NA	nc08_169
2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	1	NA	NA	dent	1	-3,4	1,5	3,1	NA
2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	2	NA	NA	dent	2	-2,5	2,0	3,0	NA
2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	3	NA	NA	dent	3	-2,5	2,4	3,0	NA
2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	4	NA	NA	dent	4	-3,0	2,4	3,1	NA
2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	5	NA	NA	dent	5	-3,6	2,5	3,2	NA
2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	6	NA	NA	dent	6	-4,2	3,2	3,2	NA
2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	7	NA	NA	dent	7	-3,9	2,9	3,1	NA
2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	8	NA	NA	dent	8	-3,3	3,5	3,0	NA
2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	9	NA	NA	dent	9	-3,0	3,2	3,1	NA
2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	10	NA	NA	dent	11	-3,0	3,2	3,1	NA
2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	11	NA	NA	dent	11	-3,7	3,5	3,1	NA

2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	12	NA	NA	dent	12	-3,3	3,4	3,1	NA
2008	NA	-21,34	164,98	pindai	échoué	ec2008_06	13	NA	NA	dent	13	-3,3	3,1	3,2	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	37	f	2,83	rein	NA	-8,9	0,6	1,1	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	37	f	2,83	gras	NA	-5,2	0,0	0,2	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	37	f	2,83	foie	NA	-9,8	2,8	4,9	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	37	f	2,83	muscle	NA	-8,2	2,4	3,3	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	37	f	2,83	peau	NA	-8,0	3,3	NA	nc09_10
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	16	f	2,83	dent	1	-4,5	3,8	2,9	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	17	f	2,83	dent	2	-5,5	3,8	3,0	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	18	f	2,83	dent	3	-6,0	4,3	3,1	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	19	f	2,83	dent	4	-5,3	4,1	3,1	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	20	f	2,83	dent	5	-4,6	4,1	3,0	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	21	f	2,83	dent	6	-4,8	4,0	3,1	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	22	f	2,83	dent	7	-4,8	4,0	3,1	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	23	f	2,83	dent	8	-5,1	3,7	3,0	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	24	f	2,83	dent	9	-5,4	4,2	3,1	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	25	f	2,83	dent	10	-5,4	4,3	3,0	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	26	f	2,83	dent	11	-5,4	4,2	3,1	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	27	f	2,83	dent	12	-5,6	4,6	3,0	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	28	f	2,83	dent	13	-6,0	4,2	3,1	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	29	f	2,83	dent	14	-6,6	4,5	3,0	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	30	f	2,83	dent	15	-6,3	4,7	3,1	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	31	f	2,83	dent	16	-6,5	4,6	3,2	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	32	f	2,83	dent	17	-6,6	5,4	3,1	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	33	f	2,83	dent	18	-6,6	5,0	3,1	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	34	f	2,83	dent	19	-6,5	4,5	3,0	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	35	f	2,83	dent	20	-6,9	4,6	3,1	NA
2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	36	f	2,83	dent	21	-6,7	4,9	3,0	NA

2009	1	-22,31	166,46	noumea	échoué	ec2009_01	37	f	2,83	dent	22	-7,6	4,4	3,2	NA
2010	1	-21,48	165,17	bourail	échoué	ec2010_01	NA	m	NA	peau	NA	-4,6	2,9	NA	nc10_002
2010	6	-21,65	165,47	bourail	échoué	ec2010_02	NA	NA	NA	peau	NA	-3,1	5,2	NA	nc10_009
2011	4	-21,78	165,51	bourail	échoué	ec2011_02	NA	NA	NA	peau	NA	-5,8	3,6	NA	nc11_017
2011	12	-21,02	164,69	vavouto	échoué	ec2011_05	NA	m	1,16	foie	NA	-6,4	2,8	NA	NA
2011	12	-21,02	164,69	vavouto	échoué	ec2011_05	NA	m	1,16	peau	NA	-5,2	3,2	NA	nc11_265
2011	NA	-21,04	164,70	oundjo	braconné	ec2012_08	NA	NA	NA	peau	NA	-3,8	2,5	NA	nc12_002
2012	1	-22,24	166,23	mbo	échoué	ec2012_01	NA	f	NA	peau	NA	-5,0	1,5	NA	nc12_001
2012	2	-20,08	164,00	boat_pass	échoué	ec2012_02	NA	f	NA	peau	NA	-6,2	2,8	NA	nc12_158
2012	3	-22,31	166,45	meridien	échoué	ec2012_03	NA	NA	NA	peau	NA	-4,7	3,3	NA	nc12_159
2012	3	-21,83	165,79	la_foa	biopsie	638703a	NA	m	2,7	peau	NA	-7,7	3,7	NA	nc12_160
2012	3	-21,79	165,68	la_foa	biopsie	638706	NA	f	2,3	peau	NA	-7,1	2,5	NA	nc12_161
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	29	m	2,56	muscle	NA	-7,0	4,4	3,2	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	29	m	2,56	peau	NA	-7,5	4,1	3,8	nc12_155
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	12	m	2,56	dent	1	-4,6	2,8	3,0	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	13	m	2,56	dent	2	-4,7	2,9	2,9	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	14	m	2,56	dent	3	-5,3	3,4	3,1	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	15	m	2,56	dent	4	-5,0	3,4	3,0	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	16	m	2,56	dent	5	-5,3	3,8	3,1	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	17	m	2,56	dent	6	-4,7	3,5	3,1	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	18	m	2,56	dent	7	-4,2	4,1	3,1	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	19	m	2,56	dent	8	-4,3	4,8	3,0	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	20	m	2,56	dent	9	-4,6	3,8	3,0	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	21	m	2,56	dent	10	-4,3	3,7	3,0	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	22	m	2,56	dent	11	-4,9	4,7	3,0	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	23	m	2,56	dent	12	-5,0	5,0	3,1	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	24	m	2,56	dent	13	-4,8	5,3	3,0	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	25	m	2,56	dent	14	-4,0	5,0	3,0	NA

2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	26	m	2,56	dent	15	-4,7	5,4	3,0	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	27	m	2,56	dent	16	-4,7	5,5	3,0	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	28	m	2,56	dent	17	-5,0	6,2	3,0	NA
2012	9	-22,20	166,35	baie_de_toro_paita	échoué	ec2012_04	29	m	2,56	dent	18	-5,1	6,4	3,0	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	27	m	2,53	rein	NA	-5,7	3,8	3,5	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	27	m	2,53	foie	NA	-6,0	4,0	3,9	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	27	m	2,53	muscle	NA	-4,7	3,9	3,2	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	27	m	2,53	peau	NA	-4,2	4,4	NA	nc12_156
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	5	m	2,53	dent	1	-4,4	4,4	3,0	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	6	m	2,53	dent	2	-4,7	4,0	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	7	m	2,53	dent	3	-4,8	4,2	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	8	m	2,53	dent	4	-4,8	4,5	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	9	m	2,53	dent	5	-4,8	4,4	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	10	m	2,53	dent	6	-5,9	4,8	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	11	m	2,53	dent	7	-6,2	5,1	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	12	m	2,53	dent	8	-5,8	4,4	3,0	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	13	m	2,53	dent	9	-5,6	4,7	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	14	m	2,53	dent	10	-5,3	4,9	3,0	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	15	m	2,53	dent	11	-4,5	4,7	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	16	m	2,53	dent	12	-4,2	4,4	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	17	m	2,53	dent	13	-4,3	4,5	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	18	m	2,53	dent	14	-4,6	4,1	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	19	m	2,53	dent	15	-3,1	4,9	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	20	m	2,53	dent	16	-3,1	5,1	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	21	m	2,53	dent	17	-2,6	5,3	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	22	m	2,53	dent	18	-3,0	5,4	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	23	m	2,53	dent	19	-2,4	5,4	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	24	m	2,53	dent	20	-2,0	5,4	3,1	NA

2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	25	m	2,53	dent	21	-2,5	5,6	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	26	m	2,53	dent	22	-2,6	5,6	3,1	NA
2012	10	-22,29	166,59	mont_dore	échoué	ec2012_05	27	m	2,53	dent	23	-2,3	5,8	2,9	NA
2013	9	-22,32	166,37	seche_croissant	biopsie	668682	NA	f	2,8	peau	NA	-6,5	2,0	NA	nc13_130
2013	9	-22,33	166,38	seche_croissant	biopsie	668683	NA	f	2,6	peau	NA	-7,1	2,1	NA	nc13_132
2013	9	-22,29	166,47	baie_sainte_marie	biopsie	668681	NA	m	2,5	peau	NA	-6,6	3,8	NA	nc13_129
2013	10	-21,55	165,20	cap_goulvain	biopsie	668680	NA	f	2,7	peau	NA	-5,0	3,1	NA	nc13_134
2013	10	-21,51	165,18	cap_goulvain	biopsie	638703	NA	f	2,9	peau	NA	-5,2	1,9	NA	nc13_136
2013	10	-21,51	165,17	cap_goulvain	biopsie	668686	NA	f	2,3	peau	NA	-5,5	2,4	NA	nc13_137
2013	10	-21,53	165,19	cap_goulvain	biopsie	668687	NA	f	2,7	peau	NA	-5,1	2,8	NA	nc13_140
2013	10	-21,52	165,22	cap_goulvain	biopsie	668684	NA	m	2,2	peau	NA	-7,1	1,3	NA	nc13_138
2013	10	-21,51	165,21	cap_goulvain	biopsie	668675	NA	m	2,4	peau	NA	-6,0	2,3	NA	nc13_139
2013	10	-21,53	165,22	cap_goulvain	biopsie	668685	NA	m	2,3	peau	NA	-6,4	2,2	NA	nc13_141
2013	10	-21,54	165,22	cap_goulvain	biopsie	nc13_142	NA	m	NA	peau	NA	-4,7	2,9	NA	nc13_142
2013	10	-21,53	165,22	cap_goulvain	biopsie	nc13_143	NA	m	NA	peau	NA	-4,8	3,5	NA	nc13_143
2013	10	-21,53	165,20	cap_goulvain	biopsie	nc13_144	NA	f	NA	peau	NA	-5,6	2,5	NA	nc13_144
2013	NA	-22,32	166,37	seche_croissant	biopsie	nc13_131	NA	m	NA	peau	NA	-6,8	1,8	NA	nc13_131
2013	NA	-21,53	165,18	cap_goulvain	biopsie	nc13_135	NA	f	NA	peau	NA	-5,2	2,8	NA	nc13_135
2013	NA	-20,23	164,03	poum	braconné	ec2013_09	NA	NA	NA	peau	NA	-6,4	2,6	NA	nc13_163
2013	NA	-20,23	164,05	poum	braconné	ec2013_10	NA	NA	NA	peau	NA	-6,2	3,6	NA	nc13_164
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	24	m	2,55	peau	NA	-5,6	3,6	NA	nc14_001
2014	2	-21,37	165,10	nepou_poya	échoué	ec2014_03	NA	NA	NA	peau	NA	-3,8	2,2	NA	nc14_077
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	5	m	2,55	dent	1	-5,6	4,0	2,9	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	6	m	2,55	dent	2	-6,1	4,8	3,0	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	7	m	2,55	dent	3	-4,8	4,5	2,9	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	8	m	2,55	dent	4	-5,4	5,0	2,9	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	9	m	2,55	dent	5	-4,7	4,2	3,0	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	10	m	2,55	dent	6	-5,0	4,4	2,9	NA

2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	11	m	2,55	dent	7	-4,7	4,9	3,0	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	12	m	2,55	dent	8	-4,9	5,0	3,0	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	13	m	2,55	dent	9	-5,0	4,8	3,1	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	14	m	2,55	dent	10	-5,6	5,1	3,0	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	15	m	2,55	dent	11	-6,2	4,6	3,1	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	16	m	2,55	dent	12	-5,8	4,8	3,1	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	17	m	2,55	dent	13	-5,3	5,1	3,1	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	18	m	2,55	dent	14	-4,9	4,6	3,1	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	19	m	2,55	dent	15	-5,1	4,2	3,1	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	20	m	2,55	dent	16	-5,2	4,2	3,1	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	21	m	2,55	dent	17	-5,7	4,6	3,1	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	22	m	2,55	dent	18	-4,9	4,1	3,1	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	23	m	2,55	dent	19	-3,5	3,3	3,2	NA
2014	2	-22,21	166,36	baie_de_toro	échoué	ec2014_01	24	m	2,55	dent	20	-3,5	3,6	3,1	NA
2014	7	-21,81	165,77	la_foa_lebris	échoué	ec2014_04	NA	f	2,3	muscle	NA	-5,9	0,1	3,2	NA
2014	7	-21,81	165,77	la_foa_lebris	échoué	ec2014_04	NA	f	2,3	peau	NA	-6,4	1,0	NA	nc14_079
2014	11	-20,63	164,32	tangadiou_koumac	échoué	ec2014_06	NA	m	1,7	foie	NA	-8,5	4,2	3,8	NA
2014	11	-20,63	164,32	tangadiou_koumac	échoué	ec2014_06	NA	m	1,7	muscle	NA	-15,7	11,4	3,2	NA
2014	11	-20,63	164,32	tangadiou_koumac	échoué	ec2014_06	NA	m	1,7	peau	NA	-7,7	3,5	NA	nc14_078
2015	7	-21,96	166,00	baie_de_boukare	échoué	ec2015_08	NA	f	NA	muscle	NA	-8,6	4,9	3,2	NA
2015	7	-21,96	166,00	baie_de_boukare	échoué	ec2015_08	NA	f	NA	peau	NA	-9,3	4,4	NA	nc15_171
2015	12	-21,86	165,82	ouano_plage_sud	échoué	ec2015_07	NA	NA	NA	muscle	NA	-5,9	1,1	3,2	NA
2015	12	-21,86	165,82	ouano_plage_sud	échoué	ec2015_07	NA	NA	NA	peau	NA	-6,2	2,0	NA	nc15_172
2017	3	-20,37	164,58	pouebo	échoué	ec2017_01	NA	NA	2,75	peau	NA	-7,5	3,3	3,5	nc17_001
2018	1	-21,95	166,13	tomo	échoué	ec2018_01	NA	NA	2,5	peau	NA	-7,3	6,3	3,2	nc18_001
2019	1	-21,82	165,77	le_bris	échoué	ec2019_01	NA	m	3,1	peau	NA	-5,1	2,6	3,1	nc19_01
2019	6	-22,06	166,03	ile_ronde	échoué	ec2019_02	NA	NA	1,25	rein	NA	-6,5	3,0	3,5	NA
2019	6	-22,06	166,03	ile_ronde	échoué	ec2019_02	NA	NA	1,25	foie	NA	-6,5	3,6	3,5	NA

2019	6	-22,06	166,03	ile_ronde	échoué	ec2019_02	NA	NA	1,25	muscle	NA	-6,6	2,2	3,1	NA
2019	6	-22,06	166,03	ile_ronde	échoué	ec2019_02	NA	NA	1,25	peau	NA	-6,0	3,1	3,1	nc19_002
2019	8	-21,86	165,86	la_foa	échoué	ec2019_03	NA	NA	2,98	peau	NA	-7,9	2,7	3,2	nc19_003
2019	10	-21,00	164,65	voh	tagging	183559	NA	f	2,36	peau	NA	-10,5	3,9	3,2	nc19_200
2019	10	-21,14	164,73	kone	tagging	183558	NA	f	2,23	peau	NA	-5,0	1,7	3,1	nc19_201
2019	10	-21,17	164,75	kone	tagging	183561	NA	f	2,95	peau	NA	-5,1	1,7	3,2	nc19_202
2019	10	-21,16	164,75	kone	tagging	162403	NA	f	2,4	peau	NA	-5,4	1,1	3,2	nc19_203
2019	10	-21,16	164,74	kone	tagging	183560	NA	f	1,8	peau	NA	-5,0	1,0	3,2	nc19_204
2020	1	-20,57	164,29	koumac	échoué	ec2020_01	NA	NA	2,89	peau	NA	-5,7	1,8	3,1	nc20_001
2020	1	-22,17	166,31	port_laguere	échoué	ec2020_02	NA	NA	NA	peau	NA	-5,1	5,2	2,9	nc20_002
2020	7	-21,85	165,83	la_foa	échoué	ec2020_012	NA	f	2,65	peau	NA	-7,3	1,5	3,1	nc20_013
2020	8	-21,98	166,11	boulouparis	échoué	ec2020_013	NA	NA	NA	peau	NA	-6,1	3,0	2,8	nc20_014
2021	5	-21,61	165,46	NA	échoué	ec2021_01	NA	f	2,7	peau	NA	-7,6	5,6	3,0	nc21_002
2021	NA	-22,33	166,82	NA	biopsie	nc21_001	NA	NA	1,05	peau	NA	-6,4	4,4	3,1	nc21_001

Annexe 2: Liste des taxons candidats considérés dans les modèles de mélange alimentaire, et leurs contributions estimées au régime des mâles et des femelles dugongs adultes. Les valeurs des isotopes stables C et N (Moyenne $\pm$ SD, en ‰) sont issues de Briand et al, 2015 et Fey et al, 2019.

Domaine	Division	Genre	Especie	Abbrev.	$\delta^{13}\text{C} \pm sd$ (‰)	$\delta^{15}\text{N} \pm sd$ (‰)	Mâles	Femelles
METAZOANS								
	Annelida	polychaeta	sp.	<i>pol.sp.</i>	-11.21 ± 0.13	3.33 ± 0.08	$5.0 \pm 4.5 \%$	$8.2 \pm 7.8 \%$
	Mollusca	<i>Beiges</i>	sp.	<i>bei.sp.</i>	-10.70 ± 0.02	6.58 ± 0.11		
		<i>Clypeomorus</i>	<i>batillariaeformis</i>	<i>cly.bat</i>	-9.42 ± 0.24	3.31 ± 0.07	$6.7 \pm 6.4 \%$	$8.1 \pm 8.1 \%$
		<i>Clypeomorus</i>	<i>cf. brevis</i>	<i>cly.cf.</i>	-9.56 ± 0.83	5.10 ± 1.10		
		<i>lunella</i>	<i>cinerea</i>	<i>lun.cin</i>	-10.98 ± 1.38	4.13 ± 0.82		$7.8 \pm 7.6 \%$
CHROMISTA								
	Ochrophyta	<i>Cystoseira</i>	<i>trinoides</i>	<i>cys.tri</i>	-12.77 ± 0.69	4.32 ± 0.18		
		<i>Lobophora</i>	<i>variegata</i>	<i>lob.var</i>	-12.56 ± 1.04	3.92 ± 0.07		$7.6 \pm 7.1 \%$
		<i>Padina</i>	<i>australis</i>	<i>pas.aus</i>	-9.14 ± 2.14	4.97 ± 3.74		
		<i>Sargassum</i>	sp.	<i>sar.sp.</i>	-14.60 ± 1.46	3.91 ± 0.24		
		<i>Sargassum</i>	<i>spinuligerum</i>	<i>sar.spi</i>	-12.68 ± 2.19	5.26 ± 2.33		
		<i>Turbinaria</i>	<i>conoides</i>	<i>tur.con</i>	-9.32 ± 1.36	2.77 ± 1.02	$8.6 \pm 9.5 \%$	$9.0 \pm 9.2 \%$
		<i>Turbinaria</i>	<i>ornata</i>	<i>tur.orn</i>	-9.08 ± 1.01	2.33 ± 0.66	$11.2 \pm 12.3 \%$	$9.2 \pm 9.2 \%$
		<i>Turbinaria</i>	sp.	<i>tur.sp.</i>	-8.04 ± 0.59	3.05 ± 0.40	$9.7 \pm 9.6 \%$	
PLANTAE								
	Rhodophyta	<i>Acanthophora</i>	<i>spicifera</i>	<i>aca.spi</i>	-11.71 ± 0.62	2.09 ± 0.22	$6.1 \pm 5.6 \%$	$9.4 \pm 8.9 \%$
		<i>Digenea</i>	<i>simplex</i>	<i>dig.sim</i>	-14.76 ± 1.13	4.54 ± 0.14		
		<i>Hormophysa</i>	<i>cuneiformis</i>	<i>hor.cun</i>	-12.90 ± 0.49	3.15 ± 0.59		
		<i>Laurencia</i>	<i>laurencia</i>	<i>lau.lau</i>	-14.78 ± 0.20	2.17 ± 0.26		
		<i>Laurencia</i>	sp.	<i>lau.sp.</i>	-14.99 ± 1.69	3.14 ± 1.34		
		<i>Liagora</i>	sp.	<i>lia.sp.</i>	-4.72 ± 1.93	2.71 ± 0.25		
	Tracheophyta	<i>Cymodocea</i>	<i>serrulata</i>	<i>cym.rot</i>	-7.24 ± 0.64	0.64 ± 1.54	$6.5 \pm 6.4 \%$	$8.9 \pm 9.1 \%$
		<i>Cymodocea</i>	<i>rotundata</i>	<i>cym.ser</i>	-10.17 ± 1.65	3.01 ± 1.24		$10.7 \pm 10.2 \%$
		<i>Halodule</i>	<i>uninervis</i>	<i>hal.uni</i>	-9.46 ± 0.99	1.23 ± 0.29	$18.4 \pm 18.7 \%$	$9.9 \pm 10.0 \%$
		<i>Halophila</i>	<i>ovalis</i>	<i>hal.ova</i>	-9.04 ± 1.35	1.93 ± 1.41	$27.9 \pm 22.3 \%$	$11.2 \pm 11.4 \%$
		<i>Syringodium</i>	<i>isoetifolium</i>	<i>syn.iso</i>	-4.36 ± 0.72	1.57 ± 1.16		
	Turf	<i>turf</i>	<i>cera</i>	<i>tur.cer</i>	-13.58 ± 3.58	0.84 ± 0.21		
		<i>turf</i>	<i>turf</i>	<i>tur.tur</i>	-17.86 ± 2.32	2.23 ± 0.85		

