



PROTEGE



Étude des stocks d'holothuries commerciales du lagon de l'atoll d'APATAKI - Archipel des Tuamotu

Rapport final et recommandations de gestion

CREOCEAN, GINGER-SOPRONER,
Southern Cross University

Octobre 2023



Pacific
Community
Communauté
du Pacifique



NOUVELLE
CALEDONIE



POLYNÉSIE FRANÇAISE



WALLIS ET FUTUNA



ILES PITCAIRN



DIRECTION DES
RESSOURCES MARINES
PU FA'AHOTU MOANA

creocean

GINGER
SOPRONER



Southern Cross
University

Le projet régional océanique des territoires pour la gestion durable des écosystèmes, PROTEGE, est un projet intégré qui vise à réduire la vulnérabilité des écosystèmes face aux impacts du changement climatique en accroissant les capacités d'adaptation et la résilience. Il cible des activités de gestion, de conservation et d'utilisation durables de la diversité biologique et de ses éléments en y associant la ressource en eau. Il est financé par le 11^{ème} Fonds européen de développement (FED) au bénéfice des territoires de la Nouvelle-Calédonie, de la Polynésie française, de Pitcairn et de Wallis et Futuna.

L'objectif général du projet est de construire un développement durable et résilient des économies des pays et territoires d'Outre-mer (PTOM) face au changement climatique en s'appuyant sur la biodiversité et les ressources naturelles renouvelables.

Le premier objectif spécifique vise à renforcer la durabilité, l'adaptation au changement climatique et l'autonomie des principales filières du secteur primaire. Il est décliné en deux thèmes :

- Thème 1 : la transition agro-écologique est opérée pour une agriculture, notamment biologique, adaptée au changement climatique et respectueuse de la biodiversité ; les ressources forestières sont gérées de manière intégrée et durable.
 - Thème 2 : les ressources récifo-lagonaires et l'aquaculture sont gérées de manière durable, intégrée et adaptée aux économies insulaires et au changement climatique.

Le second objectif spécifique veut renforcer la sécurité des services écosystémiques en préservant la ressource en eau et la biodiversité. Il se décline également en 2 thèmes :

- Thème 3 : l'eau est gérée de manière intégrée et adaptée au changement climatique
- Thème 4 : les espèces exotiques envahissantes sont gérées pour renforcer la protection, la résilience et la restauration des services écosystémiques et de la biodiversité terrestre.

La gestion du projet a été confiée à la Communauté du Pacifique (CPS) pour les thèmes 1, 2 et 3 et au programme régional océanique pour l'environnement (PROE) pour le thème 4, par le biais d'une convention de délégation signée le 26 octobre 2018 entre l'Union européenne, la CPS et le PROE. La mise en œuvre du projet est prévue sur 4 ans.

Ce rapport est cité comme suit :

Gilbert A., Baletaud F., Ravail B., Seguin F., Purcell S. (2023) Etude des stocks d'holothuries commerciales du lagon de l'atoll d'APATAKI - Archipel des Tuamotu – et recommandations de gestion. Rapport DRM - Projet PROTEGE, 54 pages + annexes

Cette publication a été produite avec le soutien financier de l'Union européenne. Son contenu relève de la seule responsabilité des auteurs et ne reflète pas nécessairement les opinions de l'Union européenne.

Partenaires

Cette étude a été réalisée par le groupement SOPRONER-CREOCEAN avec la contribution scientifique et technique de l'Université Southern Cross (SCU).

CREOCEAN est le mandataire de l'étude en charge de la logistique et des opérations de collecte des données de terrain avec la participation de la société POSS. CREOCEAN a également réalisé la cartographie support pour les estimations de stock.

SOPRONER est le co-traitant responsable du design, de la méthodologie pour la prise de données de terrain, de leur saisie et de l'analyse des données collectées. SOPRONER en collaboration avec le SCU a également été en charge de l'expertise des données et de la rédaction des recommandations de gestion.

Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué de manière significative à la réussite de cette étude. Nous tenons à remercier :

L'équipe de la DRM, composée de Magali Verducci, Jonas Tuahine, Mainui Tanetoa et Julius Mana, pour leur rôle essentiel dans l'organisation, l'accompagnement lors de la première semaine sur APATAKI, ainsi que pour leur précieuse contribution à l'échantillonnage et à l'administration des enquêtes.

L'équipe PROTEGE, en particulier Aurélie Thomassin, pour sa participation dans l'échantillonnage et l'administration des enquêtes.

La Mairie d'Apataki, notamment Monsieur le Maire Samuel Fauura et sa régisseuse Vairea Varoa, pour leur accueil chaleureux et leur soutien qui ont grandement facilité le bon déroulement de nos opérations.

Tous les pêcheurs et habitants qui ont généreusement partagé leurs connaissances et leur temps.

Enfin, nous exprimons notre gratitude envers l'OPC (Observatoire des Pêches de Nouvelle-Calédonie) pour avoir partagé avec nous des données récentes non publiées, mais indispensables pour les besoins de notre étude, notamment celles concernant les ratios de transformation et les tailles à maturité.

Table des matières

1. Introduction.....	9
1.1. Contexte et site d'étude.....	9
1.2. Objectifs de l'étude	10
2. Matériel et méthodes.....	12
2.1. Espèces d'holothuries d'intérêt sur Apataki	12
2.2. Campagne d'échantillonnage.....	13
2.2.1. Planning et organisation.....	13
2.2.2. Méthode de comptage.....	13
2.3. Estimation des stocks à l'échelle de l'atoll d'Apataki.....	15
2.3.1. Cartographie des habitats	15
2.3.2. Classification des transects.....	15
2.3.3. Habitat utile et surface utile.....	15
2.3.4. Analyses.....	15
2.3.5. Calcul des densités	16
2.3.6. Structures de poids et de taille.....	16
2.3.7. Calcul de la biomasse	16
2.4. Analyses de facteurs structurants	17
2.4.1. Préambule	17
2.4.2. Enquêtes auprès des pêcheurs.....	18
2.4.3. Comparaison zone perlière / non-perlière.....	18
2.4.4. Comparaison des densités par intensité de pêche	18
2.4.5. Comparaison de la phase lunaire (pleine lune, nouvelle lune)	19
2.5. Schéma bilan de la méthodologie d'estimation des stocks	19
2.6. Fiches bilans	21
2.7. Livrables numériques	21
3. Résultats.....	22
3.1. Cartographie.....	22
3.2. Effort d'échantillonnage et superficies utiles.....	24



3.3.	Cohérence entre l'échantillonnage et les zones d'intérêt pour les pêcheurs.....	25
3.4.	Densités des espèces rencontrées	26
3.5.	Structure en taille (Longueur)	30
3.6.	Biomasse totale, biomasse exploitable et biomasse de référence	32
3.7.	Effet de la perliculture	34
3.8.	Effet de la pêche.....	35
3.9.	Effet de la lune.....	36
4.	Discussion.....	37
4.1.	Recommandations pour un suivi long terme	37
4.1.1.	Un suivi standardisé, intégré et novateur	37
4.1.2.	Considérations scientifiques pour de futures études	38
4.2.	Recommandations pour une pêche durable.....	39
4.2.1.	Rappel du contexte d'exploitation des Tuamotu et sur Apataki.....	39
4.2.2.	Implications de gestion des résultats biologiques	41
4.2.3.	Considérations pour une approche écosystémique de la gestion des pêches	46
4.2.4.	Considérations socio-économiques.....	47
4.3.	Aperçu des mesures de gestion passées et potentielles à Apataki.....	48
4.4.	Recommandations opérationnelles pour la gestion des stocks.....	50
5	Bilan et perspectives	53
6	Annexe(s)	60
	Annexe 1 : Equations utilisées pour le calcul du poids à partir des relations taille-poids de la littérature scientifique.....	60
	Annexe 2 : Résultats statistiques et graphiques de l'analyse de l'effet de la perliculture.	60
	Annexe 3 : Résultats statistiques et graphiques de l'analyse de l'effet de la pêche.	63
	Annexe 4 : Résultats statistiques et graphiques de l'analyse de l'effet de la lune.	67

Résumé exécutif

Titre de l'étude	Etude des stocks d'holothuries commerciales du lagon de l'atoll d'APATAKI -Archipel des Tuamotu – et recommandations de gestion.
Auteurs	Gilbert A., Baletaud F., Ravail B, Seguin F, Purcell S.
Collaborateurs	Verducci M, Tuahine J, Tanetoa M et Mana J.
Editeurs	
Année d'édition du rapport	2023
Objectif	Afin d'évaluer le potentiel de reprise d'une exploitation, la DRM a lancé une étude sur les stocks d'holothuries commerciales du lagon de l'atoll d'APATAKI. L'étude a plusieurs finalités afin de mieux comprendre l'état des stocks d'holothuries, d'évaluer l'éventuel impact des fermes perlières sur ces stocks, d'identifier la présence de juvéniles d'holothuries et de recommander des mesures pour une gestion durable de la pêche et de suivi des stocks.
Contexte	Les stocks d'holothuries de Polynésie française ont globalement été peu exploités entre 1940 et 2008. Ce n'est qu'en 2008 qu'une exploitation commerciale a débuté. Entre 2008 et 2012, l'exploitation s'est intensifiée avec 3 tonnes exportées en 2008, 28 tonnes en 2009, 56 tonnes en 2010, 125 tonnes en 2011 et 126 tonnes en 2012. Cette situation a conduit la Polynésie française à réglementer la pêche des holothuries en 2012 avec un système de gestion spécifique (délibération n° 88-184 AT du 8 décembre 1988 modifiée, délibération n° 88-183 AT du 8 décembre 1988 modifiée et Arrêté n°573 CM du 25 avril 2013 modifié). De 2014 à 2017, la pêche aux holothuries sur l'atoll d'Apataki a été importante et représentait le deuxième plus grand volume d'exploitation commerciale de ces animaux dans les îles Tuamotu avec un cumul d'environ 5 tonnes principalement ciblé sur l'holothurie à mamelles blanches. Depuis et avec l'inscription des espèces d'holothuries à mamelles à l'annexe II de la CITES, l'exploitation est arrêtée.
Méthodologie	Des comptages en plongée de toutes les espèces d'holothuries ont été réalisés du 30/05/23 au 20/06/23 avec une méthode dérivée du transect couloir sur l'ensemble de l'atoll. Des mesures biométriques de taille (longueur et largeur) ont été relevées pour toutes les espèces présentes. L'échantillonnage a été réalisé sur des stations réparties sur l'ensemble de l'atoll, représentant tous les types d'habitats : couronne récifale, hoa ou chenaux, platier et pente interne, fond de lagon et pinacle, durant 21 jours de mission. Une cartographie des habitats spécifiques à Apataki a été réalisée afin de permettre le changement d'échelle pour les évaluations de stock. Les densités d'individus associées à un intervalle de confiance à 90 % (IC 90 %) ont été estimées pour chaque habitat et chaque espèce à partir des données de terrain. Les estimations de biomasse du stock par espèce, croisent les données de densité, de poids et de superficie des habitats où l'espèce a été observée (surface utile). Plusieurs biomasses associées au même intervalle de confiance (IC 90 %) ont été calculées : biomasse totale, biomasse féconde et biomasse autorisée suivant qu'il soit considéré respectivement l'ensemble des holothuries, la proportion d'holothuries supérieure à la W_{50f} (poids où 50 % des individus sont féconds) ou la proportion supérieure à la taille réglementaire. Une biomasse de référence correspondant à l'intervalle de confiance inférieur de la biomasse exploitable est proposée comme biomasse conservatrice du stock. Fort des résultats de cet échantillonnage, le document propose sur la base du cadre réglementaire en place en Polynésie française et de l'expertise du groupement, une série de recommandations pour une gestion durable de l'exploitation.



Résultats et conclusions	<p>Un total de 7 espèces a été observé sur l'ensemble de l'atoll : 4 espèces autorisées à la pêche commerciale en Polynésie française (<i>Actinopyga varians</i>, <i>Bohadschia argus</i>, <i>Thelenota ananas</i> et <i>Holothuria fuscogilva</i>) et 3 autres espèces (<i>Holothuria atra</i>, <i>Bohadschia vitiensis</i> et <i>Thelenota anax</i>).</p> <p>Les estimations de stock ont ainsi été calculées pour l'ensemble des espèces rencontrées. Le lagon profond, qui constitue environ 600 km² des 700 km² de surface utile aux stocks, a été exploré mais reste faiblement échantillonné. En attendant, ce stock réservoir pourrait représenter jusqu'à 50 % de la biomasse totale toutes espèces confondues. Aussi les estimations pour cette classe demeurent essentiellement indicatives en raison de leur manque de représentativité. En excluant la classe du lagon profond, l'estimation du stock accessible à la pêche s'élève à 3 168 tonnes, toutes espèces confondues.</p> <p>Dans cette configuration, les trois principales espèces représentent plus de 95% de la biomasse totale de l'atoll, dans l'ordre décroissant : H. atr (77% - 2452 t [1 656 ; 3 279]) > H. gil (11% - 359 t [199 ; 518]) > B. arg (7% - 226 t [153 ; 300]). Les quatre autres espèces cumulent moins de 5% : B. vit (1% - 44 t [11 ; 78]) > T. ana (1% - 35 t [11 ; 63]) > T. anx (1% - 30 t [2 ; 59]) > A. var (1% - 22 t [16 ; 28]).</p> <p>En considérant une approche halieutique combinant valeur économique, vulnérabilité à l'extinction, redondance fonctionnelle, densités actuelles et fréquences de taille des espèces échantillonnées, seules deux espèces présentent un potentiel d'exploitation : <i>Holothuria fuscogilva</i> et <i>Holothuria atra</i>. La déclinaison des estimations de stocks en quotas est détaillée dans le document suivant certaines hypothèses associées à des recommandations pour améliorer et renforcer le système de gestion actuel en place de Polynésie française. Il est notamment recommandé une mise à jour des tailles réglementaires (<i>Actinopyga varians</i> et <i>Holothuria atra</i>), la mise en place de réserves permanentes comme outil de gestion complémentaire, ainsi qu'une adaptation du carnet de pêche actuel nécessaire à la mise en place d'un suivi optimisé des CPUE.</p> <p>En l'absence de possibilité de mener des évaluations annuelles de l'état de santé des stocks, qui s'avèrent peu réalistes, le suivi des CPUE constitue un indicateur clé pour surveiller la santé des stocks. En appui à cet axe de gestion, et à l'instar des actions menées par l'IRD aux Seychelles, une étude technique de la relation entre les CPUE et l'abondance des holothuries par pêche expérimentale permettrait de calibrer cet indicateur et d'engager une dynamique avec les pêcheurs.</p> <p>Enfin, dans le contexte d'une co-gestion renforcée avec le Comité de gestion locale, il semble intéressant de mener une réflexion afin d'engager une gestion adaptative qui pourrait s'intégrer dans le système de gestion actuel.</p> <p>D'autre part, l'analyse de l'effet de certains facteurs (perliculture et lune notamment) sur les populations d'holothuries montre que ces questions doivent être abordées différemment. En effet les analyses conduites parallèlement aux évaluations des stocks ne permettent pas de conclure à la présence ou non d'un effet, probablement du fait de la faible puissance de l'échantillonnage.</p> <p>La mise en place d'un plan d'expérience avec des facteurs plus contrôlés, une plus grande réplication intégrant une analyse au niveau individuel, constitue des perspectives à considérer pour mieux étudier ces facteurs.</p>		
Limites de l'étude	Les estimations de stocks du lagon profond demeurent indicatives en raison de leur manque de représentativité. Les données de taille ou de poids à maturité sont issues d'autres régions du Pacifique. L'absence d'effet des facteurs lunes et de l'activité perlicole sont à prendre avec un regard critique du fait de la probable faible puissance des analyses réalisées, induite par les caractéristiques biologiques des holothuries notamment leur faible abondance.		
Evolutions	v1	Date de la version	30/10/2023

1. Introduction

1.1. Contexte et site d'étude

Les stocks d'holothuries de Polynésie française ont globalement été peu exploités entre 1940 et 2008. Ce n'est qu'en 2008 qu'une exploitation commerciale a débuté. Entre 2008 et 2012, l'exploitation s'est intensifiée avec 3 tonnes exportées en 2008, 28 tonnes en 2009, 56 tonnes en 2010, 125 tonnes en 2011 et 126 tonnes en 2012. Cette situation a conduit la Polynésie française à réglementer la pêche des holothuries en 2012 avec un système de gestion spécifique (Arrêté n°573 CM du 25 avril 2013 modifié). L'activité de pêche commerciale aux holothuries est interdite en tout temps sauf autorisation suivant une procédure cadrée et validée par un arrêté pris en Conseil des ministres. Afin de permettre une gestion durable de la ressource en holothuries, la réglementation limite la pêche commerciale à cinq espèces (*Actinopyga varians*, *Bohadschia argus*, *Holothuria fuscogilva*, *H. whitmaei* et *Thelenota ananas*), impose des tailles minimales par espèce, des quotas par espèce établis en nombre d'individus, la mise en place systématique de zones de « réserve », l'obligation de prélever à la main, l'interdiction de pêcher entre 18H00 et 6H00 et, enfin, un système d'agrément des commerçants en holothuries. Un comité de gestion local est également chargé de faire appliquer la réglementation sur place, de veiller au respect des quotas et tailles, et d'assurer la traçabilité des produits, du pêcheur au commerçant. Enfin, la traçabilité des produits depuis la pêche jusqu'à l'exportation est facilitée depuis 2014 grâce à la mise en place d'une base de données en ligne accessible par toutes les parties prenantes autorisées.

Apataki est l'atoll corallien qui a été retenu dans le cadre de l'étude. Situé dans l'archipel des Tuamotu, Apataki se trouve à 17 km à l'est d'Arutua, à 24 km au nord-est de Kaukura, et à 380 km au nord-est de Tahiti. C'est un atoll pratiquement rectangulaire de 36 km de longueur et 27,5 km de largeur pour une surface de terres émergées d'environ 20 km², réparties en une trentaine de motu. Le lagon d'une superficie de plus de 700 km² est accessible par deux passes (Tehera au Nord et Haniuru au sud ouest). Le lagon est majoritairement profond (supérieur à 20 m) et peut atteindre 50 mètres et plus. La population de l'atoll comptait 444 personnes en 2022 (Recensement général de la population, ISPF-INSEE insee.fr), principalement concentrée dans le village de Niutahi, sur le motu principal (Figure 1). Une production perlière existe et est répartie sur l'ensemble de l'atoll, avec une concentration sur la partie sud-ouest (proche du village) et sud-est (Figure 1). L'atoll a depuis 2012 fait l'objet de 4 périodes d'ouverture et d'exploitation des holothuries (2014, 2015, 2016, 2017) avec un cumul d'environ 5 tonnes principalement ciblé sur l'holothurie à mamelles blanches.

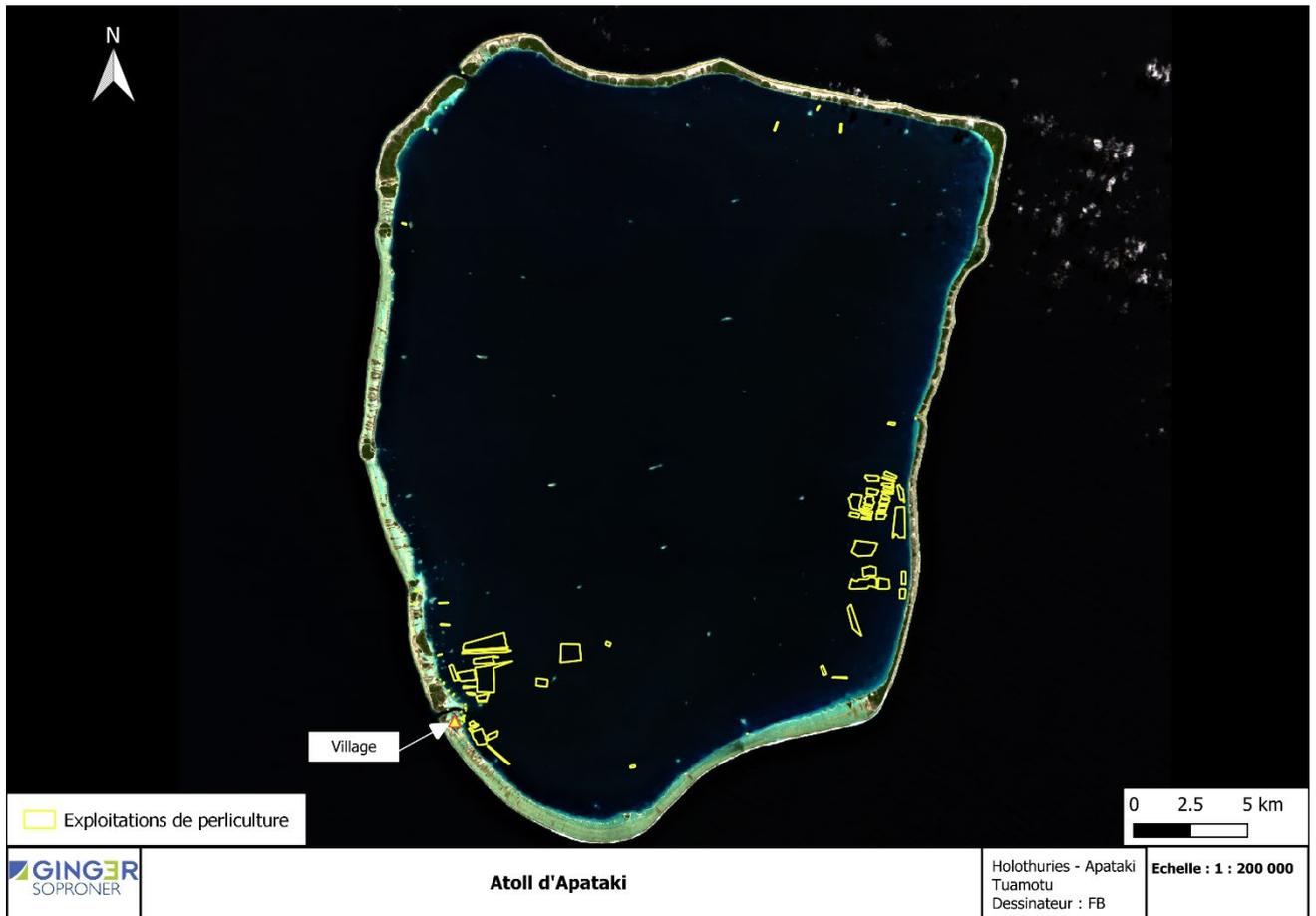


Figure 1 : Carte de l'atoll d'Apataki.

Le présent rapport d'expertise s'attache à présenter les méthodes, résultats et perspectives liés aux objectifs de l'étude « Estimation des stocks d'holothuries commerciales sur l'atoll d'Apataki, Tuamotu - Polynésie française, recommandations pour une pêche durable ». Ce rapport est complété par deux volets annexes : celui qui présente des « fiches bilans » décrites au chapitre 2.6 ainsi qu'un détail méthodologique de la cartographie réalisée appelé « note technique ».

1.2. Objectifs de l'étude

Les objectifs principaux de l'étude du cahier des charges sont rappelés ci-dessous :

1. Evaluer les stocks sur l'ensemble du lagon de Apataki jusqu'à la crête récifale (pente externe non incluse) des 5 espèces autorisées à la pêche commerciale et d'*Holothuria atra* (espèce faisant l'objet d'une demande d'inscription sur la liste des espèces autorisées à la pêche commerciale en Polynésie française) ainsi que *Bohadschia vitiensis* et *Thelenota anax* si elles sont présentes ;
2. Comparer la richesse spécifique et les densités d'holothuries observées au niveau des fermes perlières avec des sites témoins (d'habitat, de profondeur et de courantologie semblables), éloignés de l'influence de ces fermes, afin d'identifier un potentiel effet positif ou négatif, en termes d'abondance et de biomasse d'holothuries, de la stabulation d'huîtres perlières sur ces populations d'holothuries ;



3. Prospector sur l'atoll de Apataki uniquement quelques chenaux ou « hoa » pour rechercher la présence/absence de juvéniles d'holothuries à mamelles *H. fuscogilva* et *H. withmaei* ; et proposer en option de faire des comptages de ces juvéniles s'ils sont trouvés et de collecter des données biométriques et photographiques ;
4. Faire des recommandations pour améliorer la réglementation afin de permettre une pêche commerciale durable non préjudiciable pour la ressource. Ces recommandations s'appuieront sur la réglementation actuelle, la connaissance du système mis en place pour la pêche commerciale, ainsi que sur la convention internationale qui régleme le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction inscrites dans ses annexes dite Convention de Washington ou CITES ;
5. Faire des recommandations pour la mise en place d'un suivi des stocks à long terme à moindre coût.

2. Matériel et méthodes

2.1. Espèces d'holothuries d'intérêt sur Apataki

Les espèces d'holothuries considérées au cours de cette étude menée sur l'atoll d'Apataki sont regroupées dans le Tableau 1 et illustrées dans la Figure 2. Ces espèces au nombre de huit correspondent aux cinq espèces autorisées à la pêche commerciale et historiquement exploitées ainsi qu'aux espèces *Thelenota anax*, *Bohadschia vitiensis* et *Holothuria atra* dont l'inscription sur la liste des espèces autorisées à la pêche est envisagée. La valeur commerciale de ces espèces a été classée de manière semi-quantitative en trois classes selon leur valeur sur le marché chinois (Purcell et al., 2018 ; Purcell et al., 2023).

Notons que ce rapport considère les mesures de gestion spécifiques à l'activité commerciale et ne considère pas l'activité vivrière qui est anecdotique ou absente sur Apataki. Aussi pour toutes les espèces non autorisées à la pêche commerciale, la taille minimale unique de 15 cm¹ pour la pêche vivrière n'est pas considérée. En fonction du potentiel, des propositions de taille minimale spécifique seront proposées.

Tableau 1 : Liste des espèces d'holothuries d'intérêt de l'atoll d'Apataki considérées pour l'étude. Les informations relatives à la réglementation polynésienne ainsi que leur statut CITES et IUCN sont également fournies.

Espèce	Abréviation	Nom vernaculaire	Nom polynésien	Valeur commerciale	Longueur minimum frais (cm)	Longueur minimum sec (cm)	CITES	IUCN *
<i>Holothuria fuscogilva</i>	H.gil	Holothurie à mamelles blanches	Rori ù uouo	Forte	35	15	Annexe II	VU
<i>Holothuria whitmaei</i>	H.whi	Holothurie à mamelles noires	rori ù'ere'ere	Forte	30	15	Annexe II	EN
<i>Actynopyga varians</i>	A.var	Holothurie brune des brisants	Rori papa'o	Moyenne	20	10		VU
<i>Bohadschia argus</i>	B.arg	Holothurie léopard, vermicelle	Rori ruahine	Moyenne	40	15		LC
<i>Bohadschia vitiensis</i>	B.vit	Holothurie de sable brune	Brune des sables	Moyenne	Non autorisée			DD
<i>Thelenota ananas</i>	T.ana	Holothurie ananas	Rori painapo	Moyenne	45	20		EN
<i>Thelenota anax</i>	T.anx	Holothurie géante	Géante	Faible	Non autorisée			DD
<i>Holothuria atra</i>	H.atr	Holothurie à ocelles noires	Rori toto	Faible	Non autorisée			LC

*EN = En danger (menacé) / VU = Vulnérable (menacé) / LC = Préoccupation mineure / DD = Données insuffisantes

¹ En poids frais



Figure 2: Photographies des 8 espèces d'holothuries d'intérêt considérées dans l'étude et leurs abréviations.

2.2. Campagne d'échantillonnage

2.2.1. Planning et organisation

La campagne d'échantillonnage s'est déroulée sur la période du 30 mai au 20 juin 2023, totalisant 21 jours de terrain. Les équipes ayant pris part à l'échantillonnage ont été composées de douze personnes issues de SOPRONER, de CREOCEAN et de la DRM. Le détail de la logistique technique de la campagne est disponible dans le Rapport de phase B de l'étude.

L'échantillonnage des stocks d'holothuries d'intérêt a été mené de manière à couvrir l'ensemble de l'atoll d'Apataki dans la zone des 0-30 m de fond, limite collégiale de leur pêche. Le plan d'échantillonnage a été ensuite défini de manière à échantillonner les différentes strates d'habitat naturel de prédilection des espèces ciblées. L'emplacement et le dimensionnement des transects d'échantillonnage ont été déterminés au préalable à l'aide d'imagerie satellite, de données bathymétriques historiques ainsi que la cartographie millénium de la géomorphologie des habitats marins (cf. 2.3.1 et volet 3 – note technique). Une attention particulière aux zones d'activités perlicoles a également été donnée afin de 1) éviter tout risque d'interaction négative avec les installations perlières (emmêlement, dégradation,...) et 2) disposer de transects à proximité directe et en dehors de la zone d'influence des installations afin de réaliser une analyse complémentaire sur leur potentiel effet sur les stocks d'holothuries (cf. 2.4.3).

2.2.2. Méthode de comptage

Les comptages d'holothuries ont été réalisés à l'aide d'une méthode dérivée du transect couloir (English et al., 1997) qui consiste à compter toutes les holothuries présentes sur un couloir de 100 m de long et 2 m de large. Elle a été développée spécifiquement dans le cadre du programme PROTEGE en Nouvelle-Calédonie pour l'étude des stocks d'holothuries (Gilbert et al., 2022) Elle est rappelée ci-dessous.

Deux échantillonneurs placés à une distance de 5-10 m (selon la visibilité) avancent parallèlement en suivant un cap prédéfini. Selon la profondeur du site, trois variantes ont été utilisées :

- la marche pour les profondeurs de 50 cm et moins ;
- la nage en surface entre 50 cm et 5 m de profondeur ;
- et la plongée bouteille au-delà de 5 m de profondeur.

Pour obtenir une trace géographique des transects échantillonnés et estimer leur longueur réelle, une méthode de suivi GPS a été développée. Chaque binôme possédait un GPS fixé à une bouée, elle-même tractée en surface par un des échantillonneurs. Le GPS a été configuré pour enregistrer des positions toutes les dix secondes. Une montre, synchronisée à la seconde près au GPS a été utilisée pour déterminer les heures de début et de fin de chaque transect. Lorsque le GPS était facilement accessible (transect à pied), il était utilisé pour contrôler la distance parcourue. En plongée (apnée ou scaphandre), une durée de six minutes a été définie pour la réalisation de chaque transect, un travail préliminaire ayant montré qu'environ six minutes sont nécessaires pour parcourir 100 m dans des conditions de houle, de courant et de vent faible. Quelle que soit la méthode utilisée sur le terrain, il a été possible à partir du fichier GPS et des heures d'échantillonnage, d'extraire uniquement les traces GPS des transects et de calculer leur longueur exacte à 10 secondes près et selon la précision du GPS (1 – 3 m).

Pour un même « point d'échantillonnage », chaque binôme a réalisé 3 transects espacés par au moins une minute de nage/marche. Sur chaque transect, toutes les holothuries ont été dénombrées et identifiées au niveau de l'espèce. L'identification a été réalisée in situ dans la mesure du possible, ou a posteriori sur la base de photographies. La longueur et la largeur ont été mesurées au centimètre près à l'aide d'une réglette rigide pour les 10 premiers individus de chaque espèce rencontrée sur un transect (Figure 3). Par ailleurs, des photographies ont été prises régulièrement sur chaque transect afin de caractériser l'habitat.

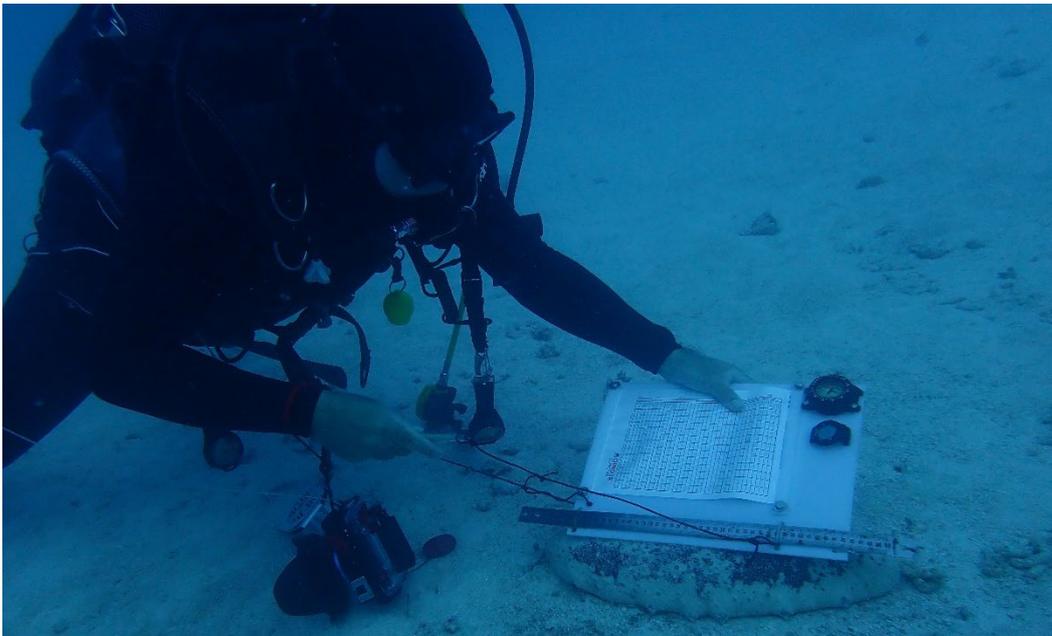


Figure 3: Photographie illustrant la mesure in situ de la longueur d'un individu de *Holothuria fuscogilva*.

2.3. Estimation des stocks à l'échelle de l'atoll d'Apataki

2.3.1. Cartographie des habitats

La cartographie a été réalisée en utilisant des données satellitaires Sentinel-2 du programme Copernicus couplées aux données bathymétriques du SHOM disponibles qui ne couvrent que 1/3 de la superficie totale de l'atoll. La bathy-morphologie a été réalisée par télédétection avec une édition manuelle pour certaines zones, notamment celles de ressacs et nuageuses. La typologie finale en 22 classes d'habitat a été choisie de manière à distinguer au mieux les zones de densités différentes, pour chaque espèce. Le détail de la méthodologie réalisée est présenté dans le volet 3 - note technique.

2.3.2. Classification des transects

L'attribution de l'habitat correspondant à chaque transect a été réalisée de manière semi-automatique à partir de la cartographie des habitats et des traces GPS des transects, selon le procédé suivant :

- (i) Extraction des points GPS composant le tracé aux heures du transect ;
- (ii) Projection des points sur la cartographie ;
- (iii) Attribution de l'habitat pour chaque point du tracé (fusion des tables attributaires par localisation) ;
- (iv) Choix de l'habitat ayant le plus d'occurrence sur l'ensemble des points du tracé comme habitat du transect.

Pour les transects chevauchant différents habitats, une vérification manuelle a été menée à partir des informations relevées in situ par l'échantillonneur (photographies, profondeur, substrat) pour réattribuer les habitats en cohérence avec les observations. In fine, chaque transect a été affecté à un unique habitat.

2.3.3. Habitat utile et surface utile

À l'issue de l'attribution des habitats aux transects, il a été possible de déterminer l'ensemble des habitats présentant des holothuries (= habitats utiles). La somme des surfaces des habitats utiles constitue la surface utilisée pour l'estimation totale du stock. Ces surfaces ont été calculées par espèce à l'échelle de l'atoll. Ces surfaces utiles permettent ainsi de pondérer les densités et l'effort d'échantillonnage déployé.

2.3.4. Analyses

L'ensemble des analyses descriptives, statistiques et graphiques ont été réalisées à l'aide des outils d'analyse classiques en open source QGIS (QGIS Development Team, 2023) et R (R Core Team, 2022).

Il est à noter que l'espèce d'holothurie à mamelles noires (Rori titi noir ou rori à l'ère'ère) *Holothuria whitmaei* n'a pas été observée lors de cette étude. En conséquence les analyses décrites ci-après ont été conduites sur les sept autres espèces d'intérêt présentées en 2.1.

2.3.5. Calcul des densités

Dans un premier temps, la densité est estimée par transect et par espèce à partir de l'abondance et de la surface du transect selon la formule :

$$D_{i,s} = \frac{A_{i,s}}{L_i * l_i} * 10^4$$

Avec

- $D_{i,s}$ la densité de l'espèce s sur le transect i (en ind/ha) ;
- $A_{i,s}$ l'abondance de l'espèce s sur le transect i ;
- L_i la longueur du transect i (en m) ;
- l_i la largeur du transect (2 m pour tous les transects).

Pour chaque espèce, la densité moyenne à l'échelle de l'atoll a été calculée par habitat utile ainsi que tout habitat utile confondu. Pour cela, la densité moyenne notée $\bar{D}_{h,s}$ (habitat h et espèce i) a été calculée à l'aide de la fonction *boot* et *boot.ci* du package R *boot* (2000 tirages avec remise) avec une association à un intervalle de confiance à 90%.

Compte tenu de la diversité des habitats et de l'étendue de la zone d'étude, tous les polygones de chaque habitat n'ont pas pu être échantillonnés. En effet, un même habitat peut être constitué de plusieurs polygones sur la carte des habitats, dont seul un sous-ensemble a été visité. Par hypothèse de travail, les polygones appartenant à un même habitat sont susceptibles d'abriter les mêmes configurations en termes de densité d'holothuries. Ainsi, suivant cette hypothèse, les stocks ont été calculés en considérant les surfaces de l'ensemble des polygones, échantillonnés ou non, d'un habitat.

2.3.6. Structures de poids et de taille

Le poids de chaque individu a été estimé à partir des relations biométriques taille-poids disponibles dans la littérature (Conand 1989, Purcell et al., 2009, Purcell et al. 2016, Hammond 2023) complétées par celles acquises in situ grâce à la contribution de la SCU. Des mesures biométriques (taille in situ, taille ex situ et poids sur le bateau) ont été prises lors des opérations de terrain pour permettre de choisir la meilleure relation biométrique pour chaque espèce et d'ajuster les coefficients des différentes relations taille in situ-poids, notamment pour 3 espèces (A.var, B.arg, H.gil) (Annexe 1). Ainsi, pour chaque espèce dont les individus ont été mesurés et pour chaque zone, une structure de taille et une structure en poids ont été réalisées :

- les structures de taille ont été représentées par des histogrammes avec un pas de 1 cm ;
- les structures de poids ont été réalisées à l'aide du package *agricolae* (R Core Team, 2022). Le pas de l'histogramme a été déterminé automatiquement et indépendamment pour chaque structure de poids.

2.3.7. Calcul de la biomasse

Les estimations de biomasse du stock par espèce croisent les données de densité, de structure en taille et de la superficie des habitats utiles à l'espèce à l'échelle de l'atoll. La biomasse sur un habitat est obtenue par le produit du poids moyen, de la densité et de la surface de l'habitat selon l'équation :

$$B_{h,s} = \bar{P}_s * \bar{D}_{h,s} * S_h$$

Avec

- $B_{h,s}$ la biomasse de l'espèce s sur l'habitat h (en t) ;
- \bar{P}_s le poids moyen des individus de l'espèce s sur la zone (en t) ;
- $\bar{D}_{h,s}$ la densité moyenne de l'espèce s sur l'habitat h (en ind/ha) ;
- et S_h la surface de l'habitat h au sein de la zone (en ha).

Ainsi pour chaque espèce et pour chacun des habitats l'intervalle de confiance de la biomasse est calculé en utilisant les bornes hautes et basses de la densité moyenne $\bar{D}_{h,s}$ par espèce et par habitat issue des opérations de bootstrap détaillées plus haut (voir 2.3.5). À partir des estimations de biomasse obtenues pour chaque espèce et chaque habitat, il a été possible de calculer des biomasses à l'échelle des habitats utiles et de l'ensemble des surfaces utiles. De plus, plusieurs biomasses associées à un intervalle de confiance à 90 % (IC 90 %) ont été calculées : biomasse totale, biomasse féconde et biomasse légale suivant qu'il soit considéré respectivement l'ensemble des holothuries, la proportion d'holothuries de poids supérieur au W_{50f}^2 ou la proportion supérieure à la taille réglementaire.

La biomasse légale ne considère que les espèces autorisées à la pêche commerciale en Polynésie française. Afin de regrouper l'ensemble des espèces considérées pour l'étude, le terme « biomasse exploitable » est employé. La biomasse exploitable des espèces non autorisées (ici *H. atra*) correspond à la biomasse féconde estimée pour l'espèce. En l'absence de données sur la taille légale ainsi que sur la fécondité, la biomasse exploitable des deux espèces *B. vitiensis*, et *T. anax* n'a pas été calculée.

La biomasse de référence (B_{ref}) se définit comme étant la valeur correspondant à l'intervalle de confiance inférieur de la biomasse légale (Skewes et al. 2010, Léopold et al., 2013, Murphy et al. 2021a). Ainsi pour notre étude, la biomasse de référence s'étend pour *H. atra* à la borne inférieure de l'IC 90% de l'estimation de sa biomasse féconde.

Sauf mention spéciale, les estimations de biomasse présentées dans ce rapport concernent la biomasse exprimée en tonnes de poids humide, animaux entiers non transformés. Les valeurs de poids sec fournies dans ce rapport sont issues de conversions faites grâce aux coefficients du dernier rapport de l'Observatoire des Pêcheries Côtières de Nouvelle Calédonie (NC Halieutik, 2015 ; Laplante et al., in prep).

La biomasse exploitable de chaque espèce a enfin été convertie en nombre d'individus, en divisant leur biomasse exploitable estimée par la taille moyenne des individus supérieure à la taille réglementaire. La taille moyenne de tous les individus féconds a été prise si l'espèce n'est pas réglementée pour la pêche commerciale (*H. atra*).

2.4. Analyses de facteurs structurants

2.4.1. Préambule

La prise en compte des savoirs et connaissances des pêcheurs est un gage d'une meilleure compréhension du projet par les pêcheurs enquêtés, d'un potentiel engagement et d'une efficacité tant dans la planification des opérations d'échantillonnage que dans la compréhension de l'activité de

² Poids pour lequel 50% des individus sont matures

pêche, de la distribution de la ressource et des zones d'intérêt. C'est dans cette optique que les enquêtes ont été réalisées.

En complément aux objectifs relatifs aux estimations des populations d'holothuries à l'échelle de l'atoll et conformément aux objectifs de l'étude, la recherche d'un éventuel effet de l'activité perlière a été intégrée suivant une stratégie d'échantillonnage de type contrôle/impact. De la même façon et bien que non initialement intégré, la recherche d'un effet de la lune a été évaluée. Enfin l'exploration des données collectées suivant les gradients de densité de pêche a été menée afin d'apprécier leur éventuelle influence sur les populations d'holothuries échantillonnées.

L'approche mise en place sur ces facteurs structurants est détaillée ci-après.

2.4.2. Enquêtes auprès des pêcheurs

Des données relatives à la pêche ont été collectées à l'aide d'un questionnaire administré par la DRM et la CPS auprès de 6 pêcheurs locaux. L'objectif était d'obtenir un tracé des zones de pêche et d'abondance des cinq espèces commerciales en faisant une synthèse de la connaissance et la perception des holothuries par les pêcheurs de manière semi-quantitative. Pour cela, un questionnaire a été utilisé, accompagné d'une carte papier de l'atoll d'Apataki sur laquelle chaque pêcheur participant a détourné les zones qu'il considérait pour la pêche et par espèce. Chaque zone est associée à un indice d'abondance semi-quantitatif de l'espèce entre 1 et 3. Le pêcheur est également interrogé sur la profondeur moyenne de pêche.

A l'issue des enquêtes sur le terrain, les données ont été numérisées et converties en couches spatiales identifiant les zones de pêche par pêcheur, puis en couche unique par espèce commerciale recensant le nombre de pêcheurs sur les zones fusionnées d'intersection des différents pêcheurs. L'ensemble de ces éléments est partagé sous forme d'archive numérique transmis à la DRM (BDD 1 / Enquêtes Pêcheurs et BDD 2 / Cartographie Enquêtes Pêcheurs, cf. 2.7).

2.4.3. Comparaison zone perlière / non-perlière

Parallèlement aux évaluations des stocks, un échantillonnage spécifique a été réalisé pour analyser le potentiel effet des exploitations perlières sur les populations d'holothuries. Elle consiste en l'analyse d'espaces dans ou à proximité directe d'exploitations (« perlicoles ») et en dehors (« non perlicoles »). Deux zones géographiques ont été intégrées dans cette analyse : celle proche du village dans le lagon sud-ouest et l'autre sur la portion sud-est (Figure 1)

Les variables de richesse spécifique, de densité par espèce ainsi que le poids par espèce ont été étudiées en fonction de l'influence de l'activité (perlière ou non) et sa localisation (ouest ou sud). L'influence de ces facteurs a été testée via une analyse de variance par permutation (package *LmPerm* sous R). En cas de p-value des tests < 0.05, l'effet est considéré significatif (influence, façade et/ou interaction de ces deux facteurs). En cas d'interaction significative sur un des tests, un test t deux à deux par permutation est réalisé pour déterminer quelle combinaison des deux facteurs est significative (package *RVAideMemoire* sous R).

2.4.4. Comparaison des densités par intensité de pêche

L'analyse des questionnaires a permis de digitaliser la densité déclarée (nombre de pêcheurs de 0 à 6) pour chacune des espèces sur l'ensemble de l'atoll. Cette variable peut être considérée comme un proxy de la pression de pêche, étant entendu que les zones communes identifiées par plusieurs

pêcheurs sont également plus sujet à l'exploitation. Aussi l'analyse de la structuration de la richesse spécifique, de la densité et du poids selon cette variable proxy hypothétique de pression a été réalisée. La richesse spécifique, les densités et les poids ont été testés séparément à l'aide d'une analyse de variance par permutation à un seul facteur (nombre de pêcheurs, package *LmPerm* sous R). En cas de p-value significative (< 0.05), l'analyse est suivie d'un test t deux à deux par permutation pour déterminer quelle modalité est significative (package *RVAideMemoire* sous R).

2.4.5. Comparaison de la phase lunaire (pleine lune, nouvelle lune)

Etant donné que l'échantillonnage s'est déroulé sur une période d'un mois, un test a été entrepris afin de déterminer le potentiel effet de la lune au cours de l'échantillonnage. Le début de l'échantillonnage (début juin 2023) était caractérisé par une phase de pleine lune tandis que le 18 juin marquait la nouvelle lune. Pour réaliser cette analyse, des transects ont été réalisés lors de la nouvelle lune sur des points GPS identiques ou à proximité directe de transects précédents réalisés en phase de pleine lune. Deux zones de l'atoll (Ouest et Sud) ont été ainsi rééchantillonnées afin d'obtenir deux facteurs de comparaison : la phase lunaire (Pleine, Nouvelle) et la façade (Ouest, Sud). Une analyse de variance par permutation à deux facteurs suivis de test post hoc t appariés par permutations ont été réalisés comme pour l'analyse de perliculture (c.f. 2.4.3).

2.5. Schéma bilan de la méthodologie d'estimation des stocks

La Figure 4 fait la synthèse de l'approche méthodologique mise en place dans le cadre de l'étude.

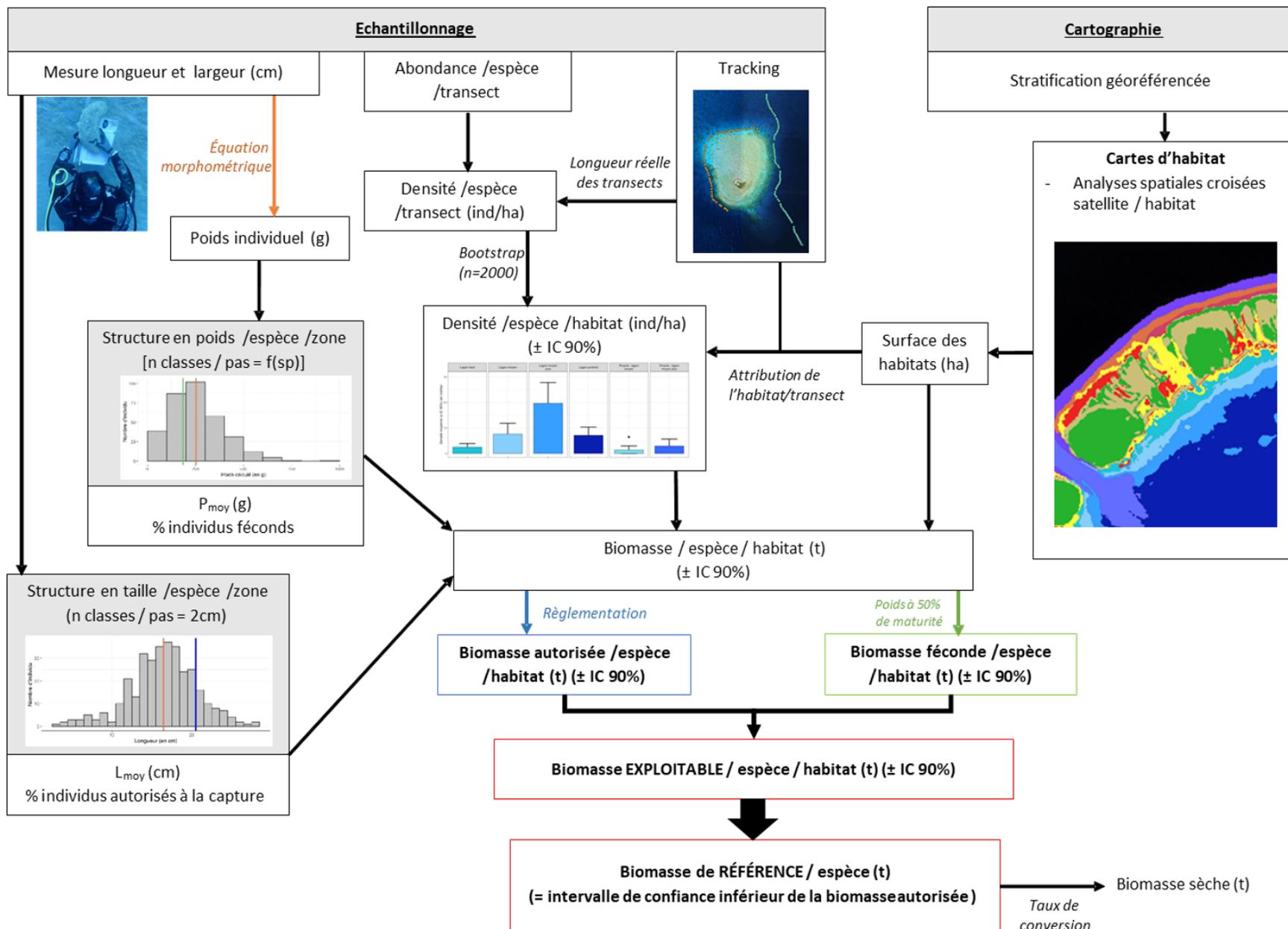
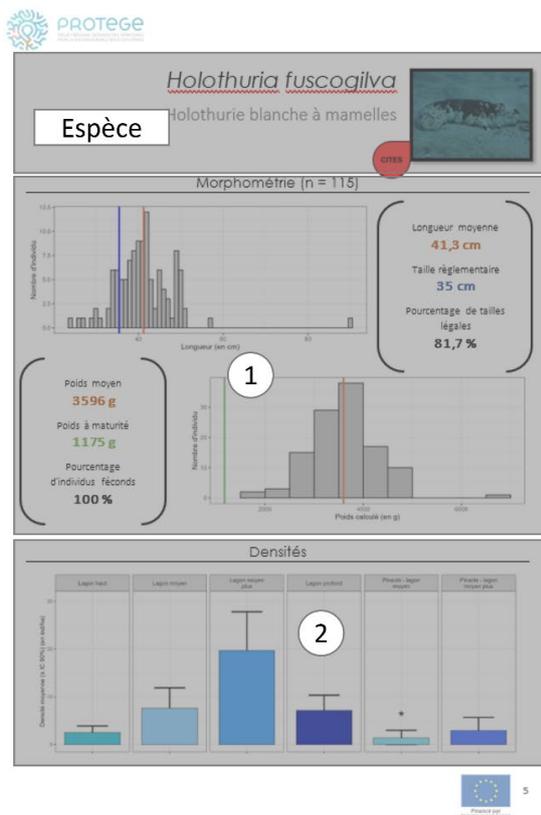
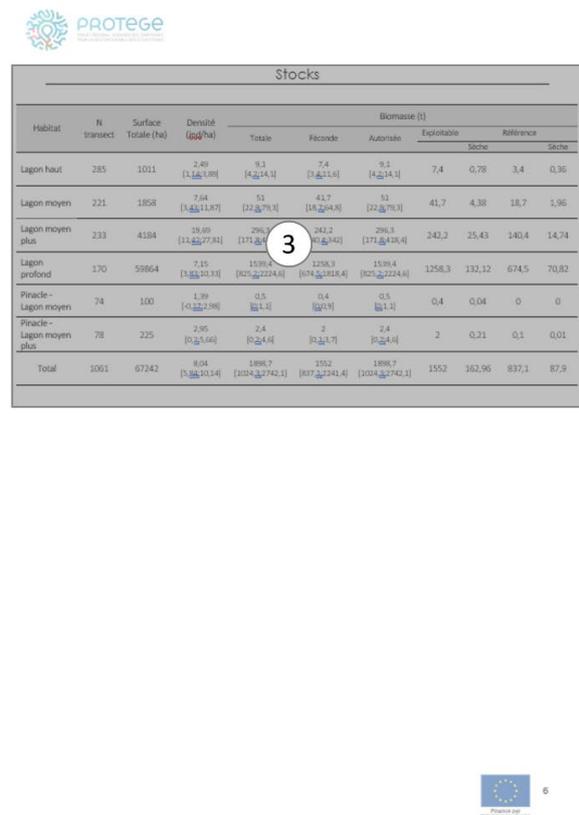


Figure 4 : Schéma bilan de la méthodologie utilisée pour calculer les stocks d'holothuries sur l'atoll d'Apataki

2.6. Fiches bilans

Pour l'atoll d'Apataki, un tableau bilan de l'échantillonnage est présenté au sein du volet 2 de ce rapport avec l'abondance des espèces observées. Un bilan par espèce est présenté ensuite et reprend :

- Une fiche bilan par espèce qui contient : (Figure 5) :
 - les structures en taille et en poids des individus mesurés ① ;
 - les densités observées pour chaque habitat où l'espèce a été observée ② (une correspondance des couleurs entre le graphique et la carte des habitats a été réalisée afin de faciliter la lecture) ;
 - le bilan des biomasses par habitat et sur l'ensemble des habitats ③.

Habitat	N transect	Surface Totale (ha)	Densité (ind/ha)	Biomasse (t)						
				Total	Féconde	Autaliste	Exploitable	Référence		
Lagon haut	285	1011	2,49 (1,16; 4,88)	9,1 (4,2; 14,1)	7,4 (3,1; 11,6)	9,1 (4,2; 14,1)	7,4	0,78	3,4	0,36
Lagon moyen	221	1858	7,64 (3,4; 11,87)	51 (22,6; 79,3)	41,7 (18,2; 64,8)	51 (22,6; 79,3)	41,7	4,38	18,7	1,96
Lagon moyen plus	233	4184	18,69 (11,6; 27,81)	296,3 (171,8; 420,8)	242,2 (141,6; 342,8)	296,3 (171,8; 420,8)	242,2	25,43	140,4	14,74
Lagon profond	170	59864	7,15 (3,8; 10,3)	1519,4 (825,2; 2224,6)	1258,3 (674,3; 1818,4)	1519,4 (825,2; 2224,6)	1258,3	132,12	674,5	70,82
Pinnacle-Lagon moyen	74	100	1,39 (0,1; 2,98)	0,5 (0,1; 1,1)	0,4 (0,1; 1,1)	0,5 (0,1; 1,1)	0,4	0,04	0	0
Pinnacle-Lagon moyen plus	78	225	2,95 (0,5; 6,6)	2,4 (0,2; 4,6)	2 (0,1; 3,7)	2,4 (0,2; 4,6)	2	0,21	0,1	0,01
Total	1061	67242	8,04 (5,8; 10,34)	1886,7 (1024,8; 2742,1)	1522 (837,2; 2241,4)	1886,7 (1024,8; 2742,1)	1552	162,96	837,1	87,9

Figure 5 : Présentation de l'agencement d'une fiche bilan pour une espèce

2.7. Livrables numériques

Le présent document est accompagné d'une série de livrables numériques d'archives avec :

- Un livrable « BDD 1 » comprenant :
 - Les modèles de fiches de terrain et de feuilles de saisie pour récolter la donnée brute ;
 - Les enquêtes numérisées administrées aux six pêcheurs.
- Un livrable « BDD 2 » comprenant :
 - Les fichiers SIG de la cartographie réalisée ;
 - Les bases de données brutes des données d'échantillonnage ;
 - Les bases de données issues des analyses ;
 - Les bases de données complémentaires utilisées pour les analyses ;
 - Les fichiers SIG issus de la numérisation des enquêtes menées auprès des pêcheurs.

3. Résultats

3.1. Cartographie

La cartographie réalisée (Figure 6) est constituée de 20 classes typologiques pour 750 km² de surface (Tableau 2). Sur les 750 km² environ 30 km² sont constitués par des surfaces végétalisées (hors d'eau). La zone profonde (Lagon et Pinnacle) représente 80% de la superficie totale et presque 90% de la superficie utile pour les stocks.

Tableau 2 : Bilan des surfaces cartographiées et échantillonnées.

Géomorphologie	Classe d'habitat	n Transects	Surface échantillonnée (ha)	Superficie en km ²	Densité de transects/km ²
Lagon	Lagon haut	285	8,3	10,11	28,2
	Lagon moyen	221	5,14	18,58	11,9
	Lagon moyen plus	233	4,77	41,84	5,6
	Lagon profond	170	3,37	598,64	0,3
Passe	Passe	30	0,88	1,04	28,8
Pinnacle	Pinnacle - Lagon haut	36	0,93	0,49	73,7
	Pinnacle - Lagon moyen	74	1,75	1	73,9
	Pinnacle - Lagon moyen plus	78	1,54	2,25	34,7
Platier	Platier bas	97	2,45	17,77	5,5
	Platier externe 1	8	0,37	1,48	5,4
	Platier externe 2	187	6,13	5,65	33,1
	Platier haut	75	1,68	8,93	8,4
Pinnacle	Pinnacle - Lagon profond	na	na	8,07	na
	Pinnacle - Platier bas	na	na	0,25	na
	Pinnacle - Platier haut	na	na	0,04	na
Pente externe	Pente externe	na	na	5,02	na
Végétation	Pinnacle - Végétation (hors d'eau)	na	na	0	na
	Végétation (hors d'eau)	na	na	20,69	na
Motu	Motus (hors d'eau)	na	na	8,02	na
	Pinnacle - Motus (hors d'eau)	na	na	0,01	na

La superficie utile cumulée (Tableau 2, Figure 6 et Figure 7) pour les stocks est donc de 707 km² d'habitats, constituée de 12 classes combinant bathymétrie et géomorphologie que l'on peut regrouper sous 4 grandes classes :

- une classe « Lagon » découpée en 4 sous-classes bathymétriques ;
- une classe « Passe » ;
- une classe « Platier » découpée en 4 suivant une combinaison, exposition océanique et profondeur ;
- une classe « Pinnacle » découpée en 3 sous-classes de profondeur.

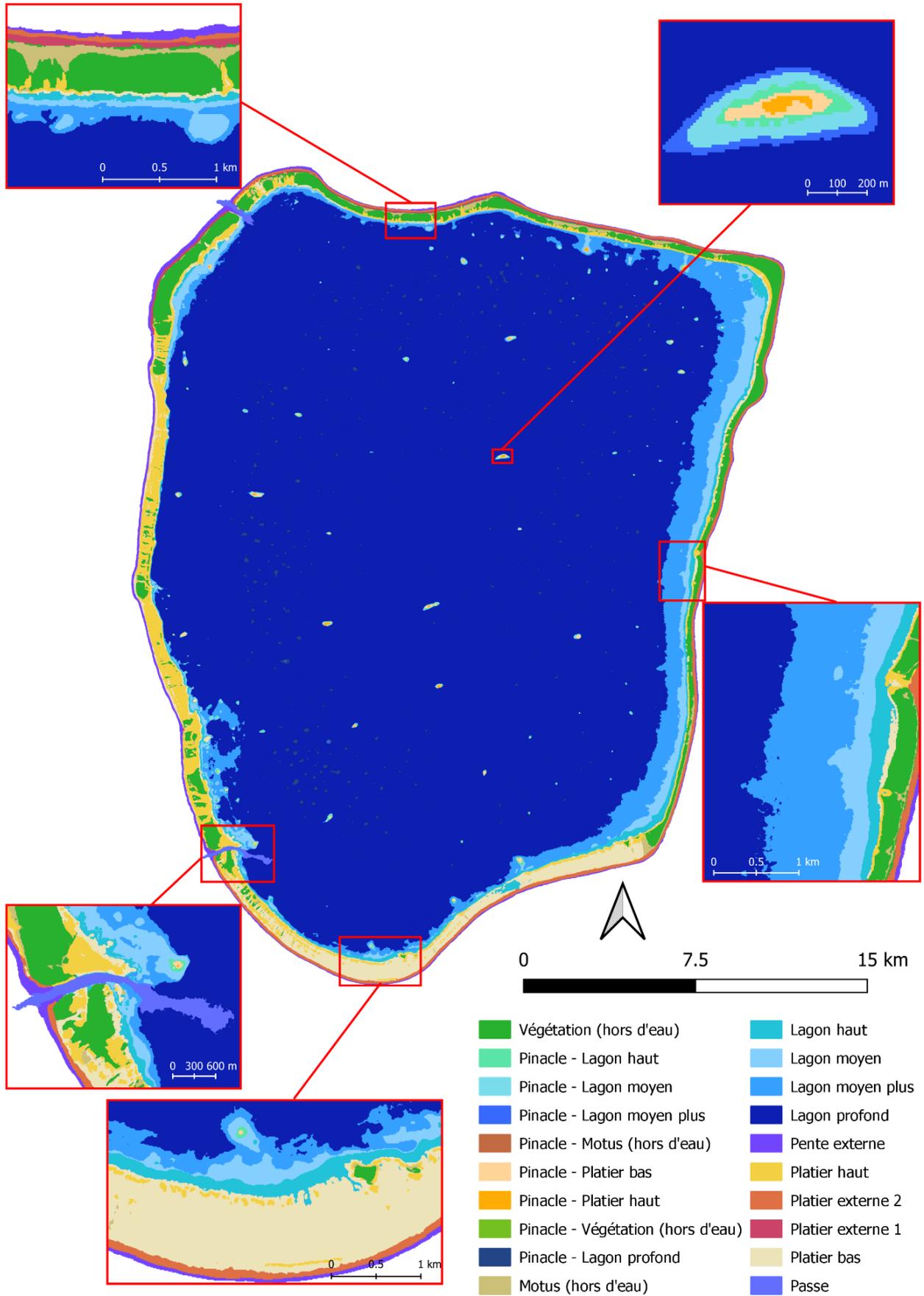


Figure 6 : Illustration du produit cartographique de 20 classes.

3.2. Effort d'échantillonnage et superficies utiles

L'effort d'échantillonnage total est constitué de 1 494 transects (Figure 7) pour une superficie cumulée échantillonnée de 37,3 ha (Equivalente à 53 terrains de football). Hors zone profonde (24 ± 5 mètres – Moy \pm sd - Figure 8), le nombre de transects par classe utile présente une certaine variabilité avec un effort d'échantillonnage par strate compris entre 5 trsct/km² et 74 trsct/km². Le lagon profond malgré un échantillonnage significatif (170 transects) présente un effort d'échantillonnage très faible $< 0,5$ trsct/km².

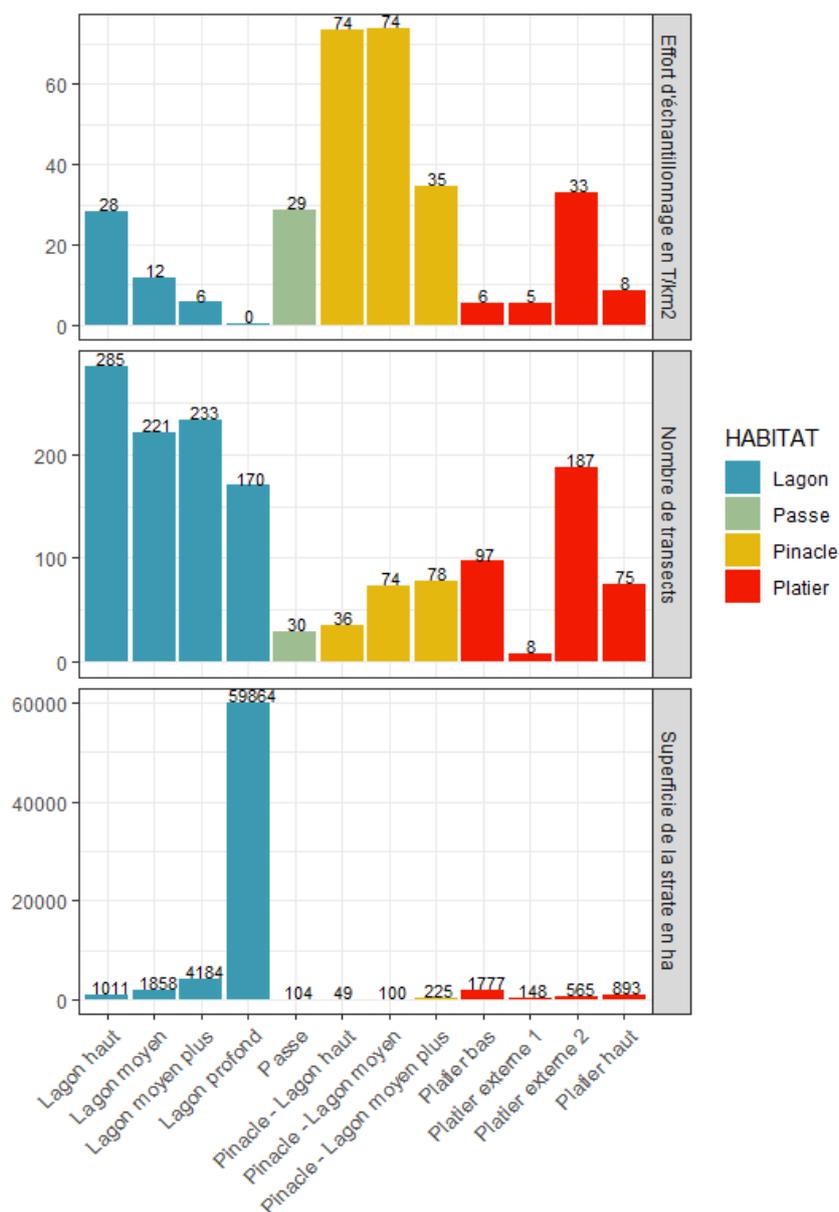
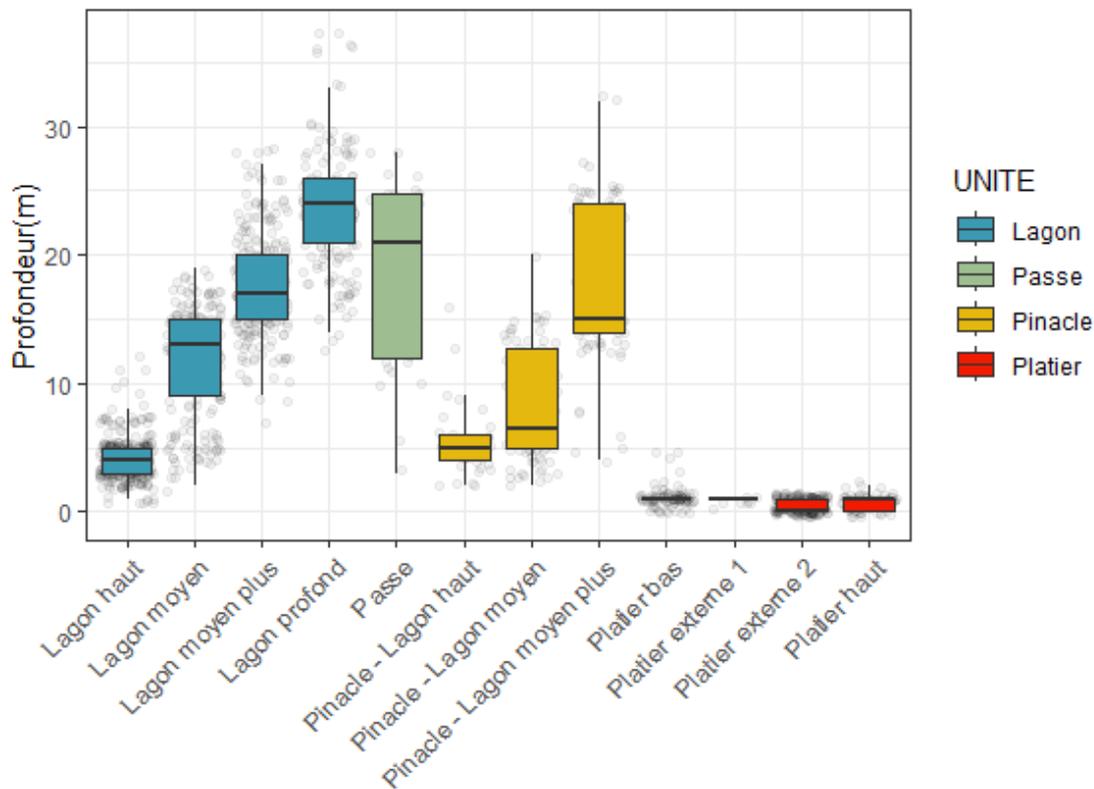


Figure 7 : Bilan de l'échantillonnage réalisé sur APATAKI par habitat : Superficie de la classe en ha (bas) ; Nombre de transects (milieu) et Effort d'échantillonnage en nombre de transects/km² (haut).

Les données de terrain permettent de caractériser les strates d'un point de vue bathymétrique (Figure 8). L'échantillonnage réalisé couvre ainsi l'ensemble des habitats depuis les zones peu profondes et exposées du platier jusqu'au lagon profond.



UNITE	Habitat	Moy	sd	Med	Min	Max	n
Lagon	Lagon haut	4	1,7	4	1	12	285
	Lagon moyen	12	4,1	13	2	19	221
	Lagon moyen plus	18	4,1	17	7	28	233
	Lagon profond	24	4,6	24	13	37	170
Passe	Passe	19	7,1	21	3	28	30
Pinnacle	Pinnacle - Lagon haut	5	2,9	5	2	16	36
	Pinnacle - Lagon moyen	8	4,4	6,5	2	20	74
	Pinnacle - Lagon moyen plus	18	6,3	15	4	32	78
Platier	Platier bas	1	0,8	1	0	5	97
	Platier externe 1	1	0,4	1	0	1	8
	Platier externe 2	0	0,5	0	0	1	187
	Platier haut	1	0,6	1	0	2	75

Figure 8 : Diagramme boîte à moustache des profondeurs par habitat (haut). Bilan des profondeurs mesurées (m) in situ pour chacune des 12 classes utiles : moyenne (Moy), écart-type (sd), médiane (Med), minimum (Min), maximum (Max), nombre de mesures (n) (bas).

Ainsi, l'échantillonnage a su respecter un minimum de 5 trsc²/km² excepté pour le lagon profond où l'effort d'échantillonnage reste insuffisant du fait de sa superficie et des contraintes liées à la plongée.

3.3. Cohérence entre l'échantillonnage et les zones d'intérêt pour les pêcheurs

Les enquêtes conduites sur la localisation des zones de pêche ont permis non seulement de créer une dynamique d'échanges mais également de s'assurer de la bonne couverture des zones et sites d'intérêt. Sur la base des échanges avec 6 pêcheurs, une cartographie de l'abondance moyenne déclarée de façon semi-quantitative ainsi que la densité des zones de pêche a été réalisée pour chacune des espèces.

A titre illustratif, la Figure 9 reprend les données de présence & d'abondance *in situ* et celles issues de la connaissance des pêcheurs enquêtés pour la principale espèce commerciale : *H. gil*. Elle illustre ainsi d'une bonne connaissance de la ressource par les pêcheurs enquêtés, de la fiabilité de l'approche par enquête et d'un échantillonnage ad hoc. Les cartes de ce format pour toutes les espèces sont disponibles dans le livrable numérique BDD2 « Cartographie Enquêtes Pêcheurs ».

Ces données ont également été utilisées dans le cadre de l'évaluation de l'effet de la pression de pêche sur les populations échantillonnées.

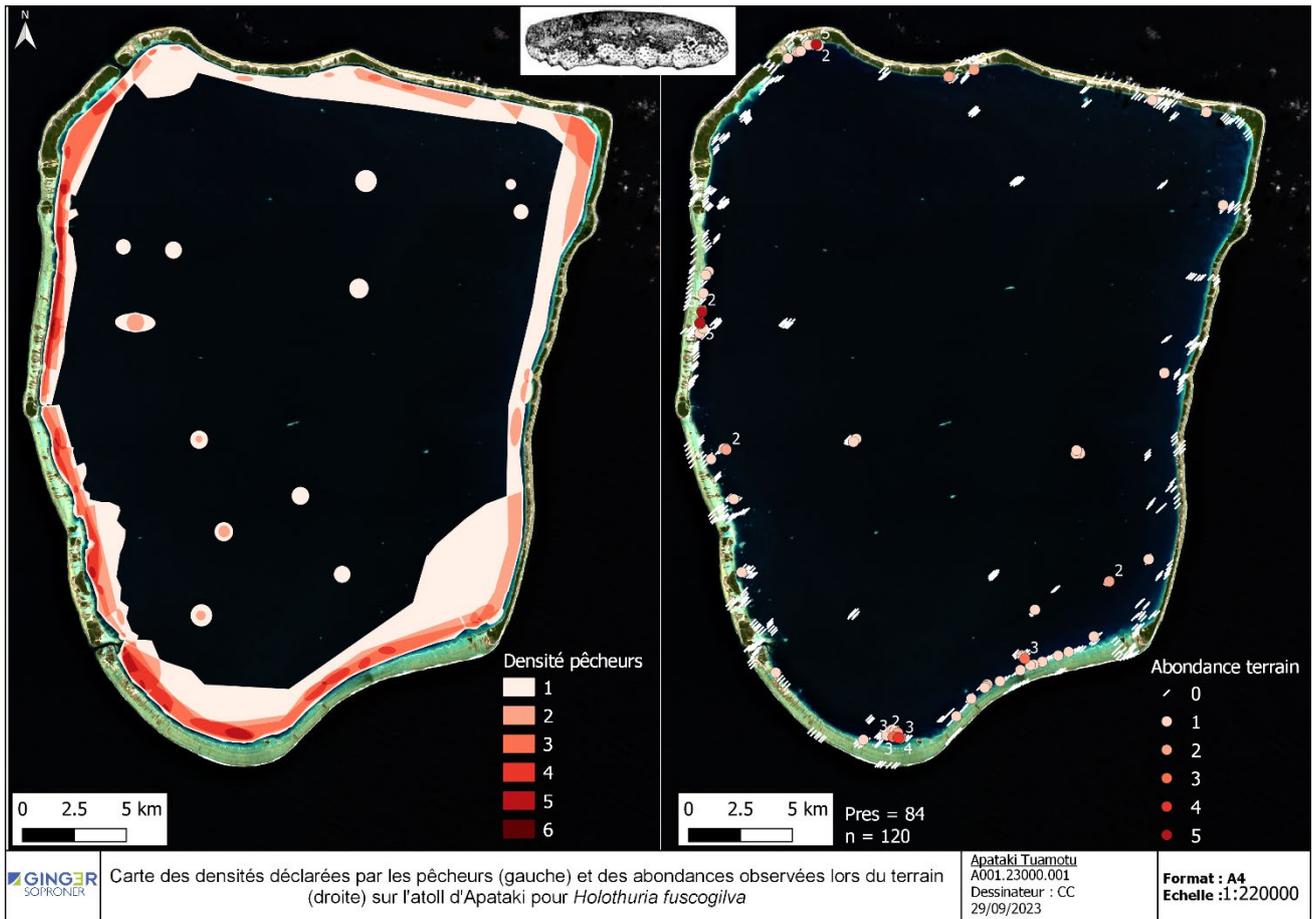


Figure 9 : Carte des densités déclarées issues de l'enquête des 6 pêcheur (gauche) et des abondances observées sur l'ensemble de la mission (droite)

3.4. Densités des espèces rencontrées

Au total 7 espèces d'holothuries ont été observées sur l'atoll avec des densités moyennes qui s'ordonnent dans l'ordre décroissant suivant (Figure 10) : *H. atra* >> *A. var* > *H. gil* ~ *B. arg* > *T. anx* ~ *T. ana* ~ *B. vit*. Malgré un effort d'échantillonnage significatif sur les habitats favorables pour l'espèce, l'holothurie à mamelles noires, *H. whi*, n'a pas été observée.

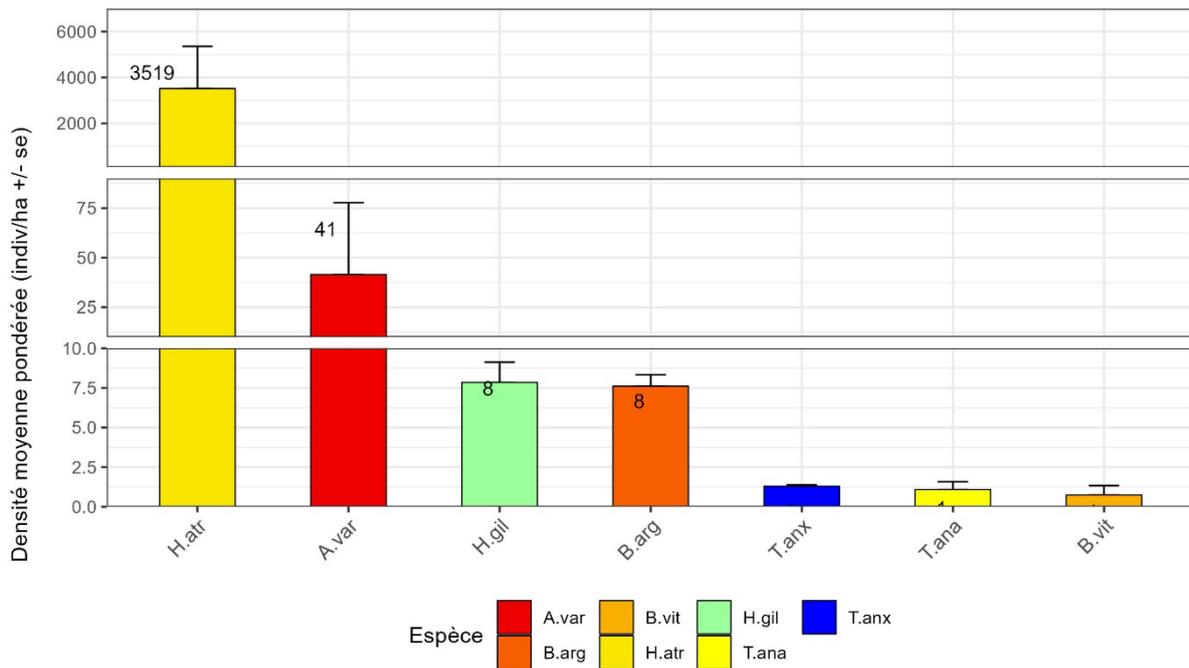


Figure 10 : Densité moyenne pondérée par les habitats utiles sur l'ensemble de l'atoll en indiv/ha. se : standard error ou erreur standard.

Les espèces rencontrées présentent une distribution bathymétrique (Figure 11) en cohérence avec les habitats et préférendum connus avec :

✓ Pour les espèces non CITES :

- H.atra est présente sur les platiers et hoa en zone très peu profonde ;
- H.var est présente sur les platiers exposés très peu profonds ;
- B.arg est présente avec une large répartition bathymétrique du platier jusqu'au lagon et un préférendum peu profond ;
- B.vit est présente avec une large répartition bathymétrique plutôt lagonaire et un préférendum moyennement profond.

✓ Pour les espèces CITES :

- H.gil est exclusivement lagonaire avec une large répartition et un préférendum profond ;
- T.anax présente un préférendum profond très similaire à H.gil ;
- T.ana présente un préférendum plutôt peu profond.

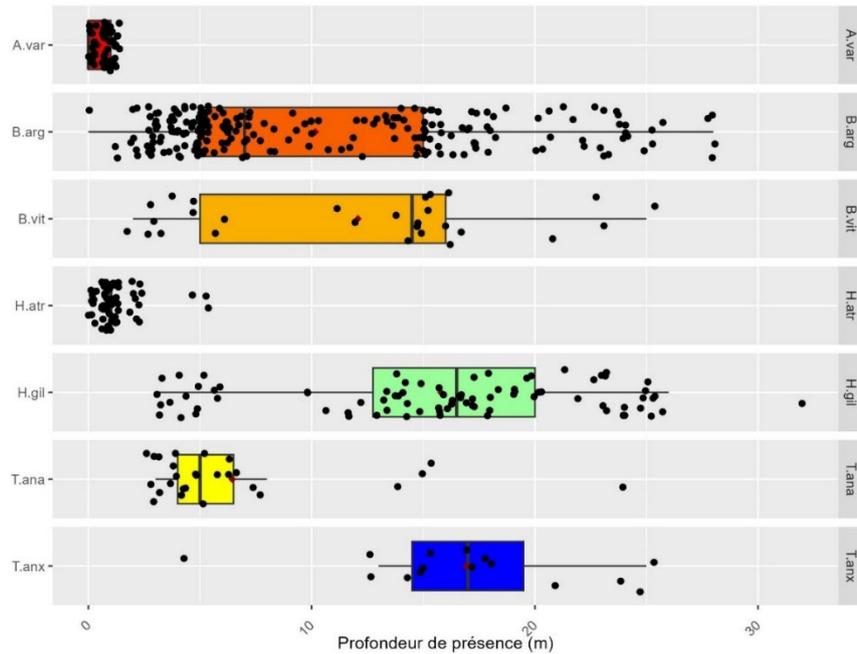


Figure 11 : Profondeur de présence (m) des 7 espèces échantillonnées.

En termes de densités, les niveaux constatés les plus élevés sont ceux de l'espèce non autorisée à la pêche commerciale *H. atra*. Elle présente une densité moyenne de 3 519 ind/ha (Figure 10). Les densités sont contrastées entre les 5 habitats (Figure 12) où l'espèce a été observée. On observe une densité faible et < à 80 ind/ha sur les strates lagonaires et le platier externe exposé. Les niveaux de densités sont élevés et supérieurs au seuil de la CPS³ sur le reste du platier (Pakoa et al., 2014 – Tableau 7). L'espèce présente toutefois une distribution spatiale non homogène avec des zones d'agrégation non discernables au niveau des habitats cartographiés.

A.var est la seconde espèce en densité moyenne. Elle est caractéristique des parties exposées du platier externe avec des densités moyennes en dessous des niveaux de référence de la CPS. On la retrouve également très ponctuellement sur le platier haut mais à des densités 100 fois plus faibles.

B. arg est l'espèce la plus ubiquiste avec une présence sur 10 des 12 habitats. La densité semble plus importante dans les zones peu profondes aussi bien du lagon qu'au niveau des pinacles. Les niveaux de densité pour l'ensemble des habitats sont faibles et en dessous des seuils de la CPS.

B.vit occupe les zones sédimentaires du lagon avec une plus forte affinité pour les pinacles où elle semble plus importante avec la profondeur. Les niveaux de densités sont faibles et en dessous des seuils CPS.

Les deux espèces de *Thelenota*, très récemment inscrites à l'annexe II de la CITES, présentent des niveaux très faibles et sous les seuils de référence. *Thelenota anax* n'est pas observée dans les zones peu profondes du haut de lagon et des pinacles.

Enfin *H.gil* est présente sur l'ensemble des classes du lagon et de 2 classes de pinacles. Elle n'a toutefois pas été observée sur les pinacles peu profonds. On note un gradient de densité croissant avec la profondeur jusqu'à la classe de bathymétrie médiane de 18 m où la densité est la plus élevée avec une valeur équivalente au niveau de référence de la CPS. La zone de lagon profond présente un niveau de densité similaire au lagon moyen avec un niveau de densité au-dessous du niveau de référence.

³ Pakoa et al., 2014 proposent des valeurs de densités de références régionales pour des populations en bon état de santé, cf. Figure 12.

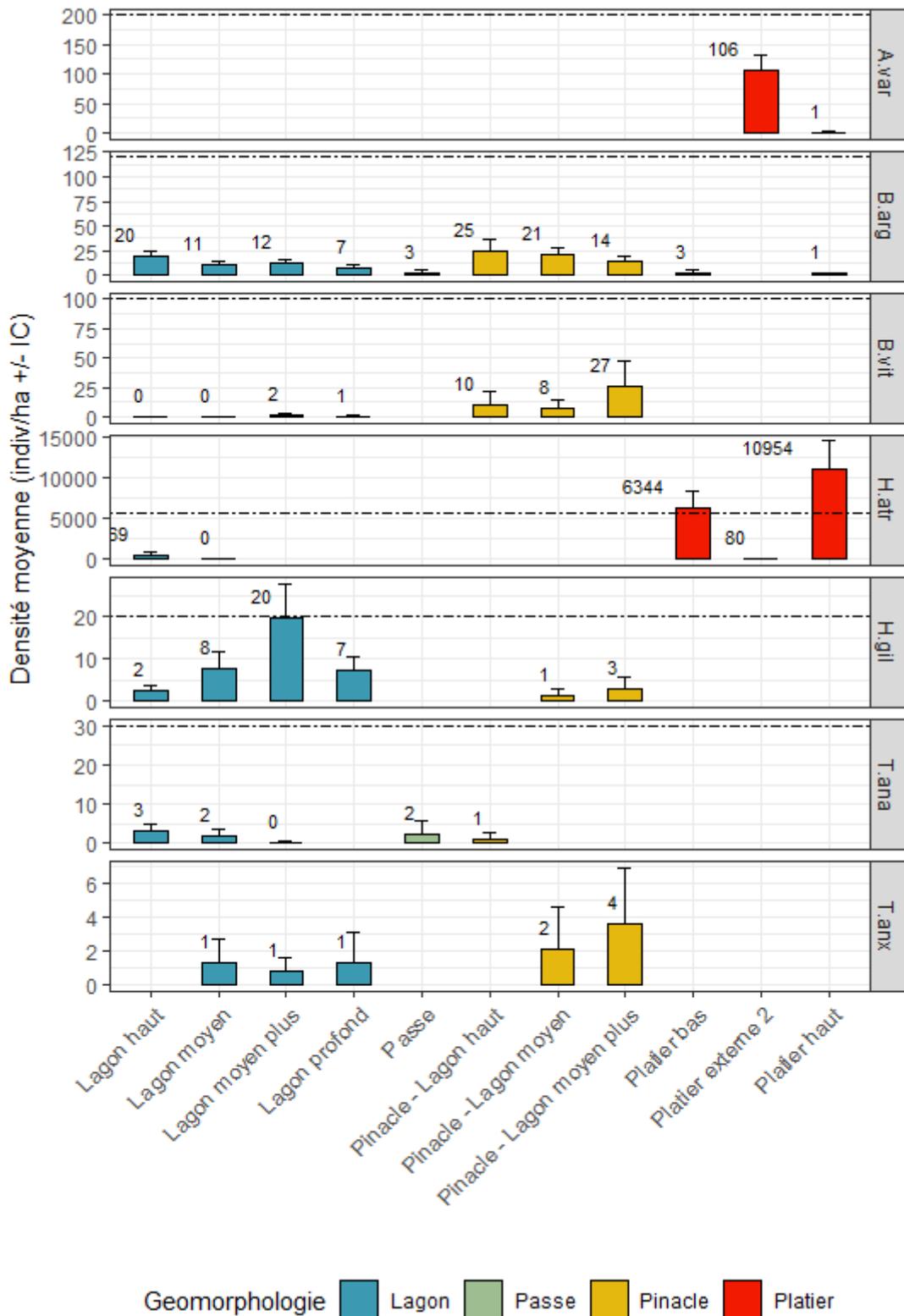


Figure 12 : Densité moyenne associée à l'intervalle de confiance par classe d'habitat par espèce. La ligne pointillé noir indique le niveau de référence proposé par la CPS.

3.5. Structure en taille (Longueur)

Les tailles moyennes (\pm sd⁴) par espèce et par classe d'habitat associées aux tailles à maturité disponibles dans la littérature (ligne rouge) ainsi qu'aux tailles minimales de capture (à l'état frais) réglementaires pour la pêche commerciale en Polynésie française (ligne bleue) offrent une première vision sur la structure des populations échantillonnées (Figure 13). Cette représentation est complétée par une analyse des structures de tailles (Figure 14) pour 4 espèces qui présentent un nombre suffisant d'observations : *H.gil* (n=115), *B.arg* (n=215), *A.var* (n=319) et *H.atr* (n=660). Les effectifs des deux espèces de *Thelenota* (*T. ana* (n=16) & *T. anx* (n=13)) et de *Bohadschia vitiensis* (n=41) ne permettent pas une analyse de structure en taille.

Les diagrammes de fréquence de taille illustrent la proportion de la population légalement exploitable par les pêcheurs (proportion des individus supérieurs à la taille réglementaire) ainsi que le stock de reproducteurs (proportion des individus supérieurs à la taille à maturité).

On constate ainsi que les populations de *A.var* et *H.atr* sont globalement immatures. On voit également que pour *A.var*, espèce commerciale, la taille moyenne est en dessous de la taille légale. Soulignons que la taille réglementaire apparaît non conservative car elle se situe en dessous de la taille à maturité. Les diagrammes de fréquence de taille complètent cette analyse et montrent que 92% de la population échantillonnée de *A.var* est immature et que moins de 17% appartient au stock exploitable. Ce constat est similaire avec *H.atr* où plus de 88% de la population est immature.

Pour *B.arg* et pour la majorité des classes d'habitat, la taille moyenne montre que les individus appartiennent au stock de géniteurs sans toutefois entrer dans le stock potentiellement exploitable du fait d'une taille moyenne inférieure à la taille légale. Les diagrammes de fréquence de taille montrent en effet que la population qui appartient au stock légal (ie au-dessus de la taille réglementaire) ne représente qu'une faible proportion du stock (27%) qui est composé à plus de 40% par des individus en dessous de la taille à maturité.

Pour *H.gil*, les holothuries mesurées sont pour la plupart matures (94%) et appartiennent au stock de reproducteurs, indépendamment de la classe d'habitat considérée. La proportion du stock en dessous de la taille réglementaire reste inférieure à 15% de l'échantillon. Si la recherche de juvéniles dans les Hoa inspectés n'a rien donné, l'échantillonnage sur l'ensemble de l'atoll montre que pour cette espèce CITES les plus petits individus mesurés sont situés autour de 25 cm.

Enfin, les quelques observations pour *T.ana* (n=16) montrent que les individus observés sont matures et au-dessus (ou proche) de la taille légale. L'absence de taille réglementaire, d'informations disponibles dans la bibliographie sur la taille à maturité pour *T.anx* associée à sa très faible abondance (n=13) empêche tout diagnostic pour cette espèce CITES. Il en est de même pour *B.vit* (n=41), espèce non commerciale sans référence de taille à maturité et dont la taille moyenne est comprise entre 31 et 42 cm.

⁴ Sd standard deviation ou écart-type

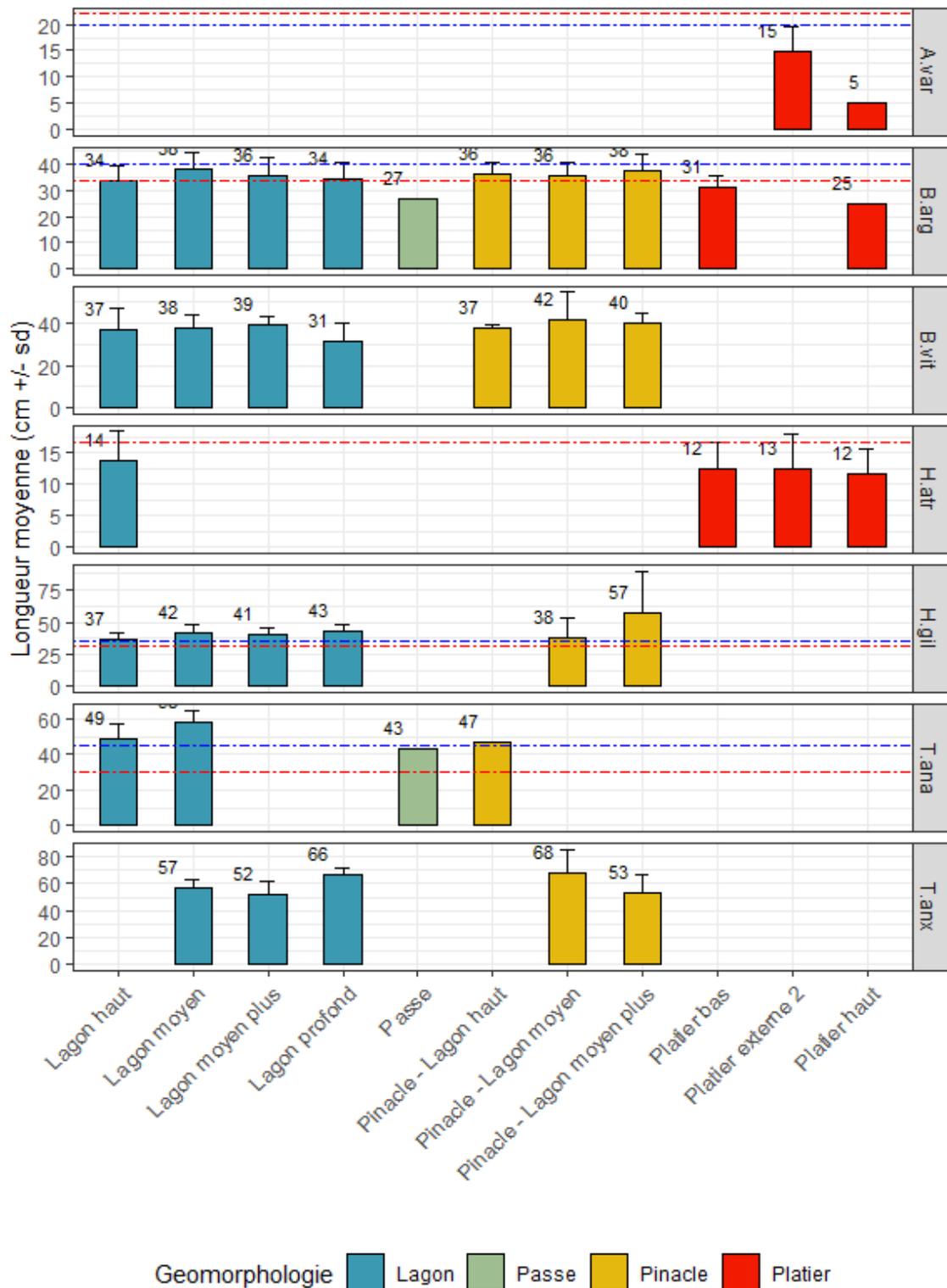


Figure 13 : Taille (Longueur en cm) moyenne (in situ) par classe d'habitat avec une illustration de la géomorphologie. Trait rouge = Taille à maturité. Trait bleu=Taille réglementaire (espèces commerciales).

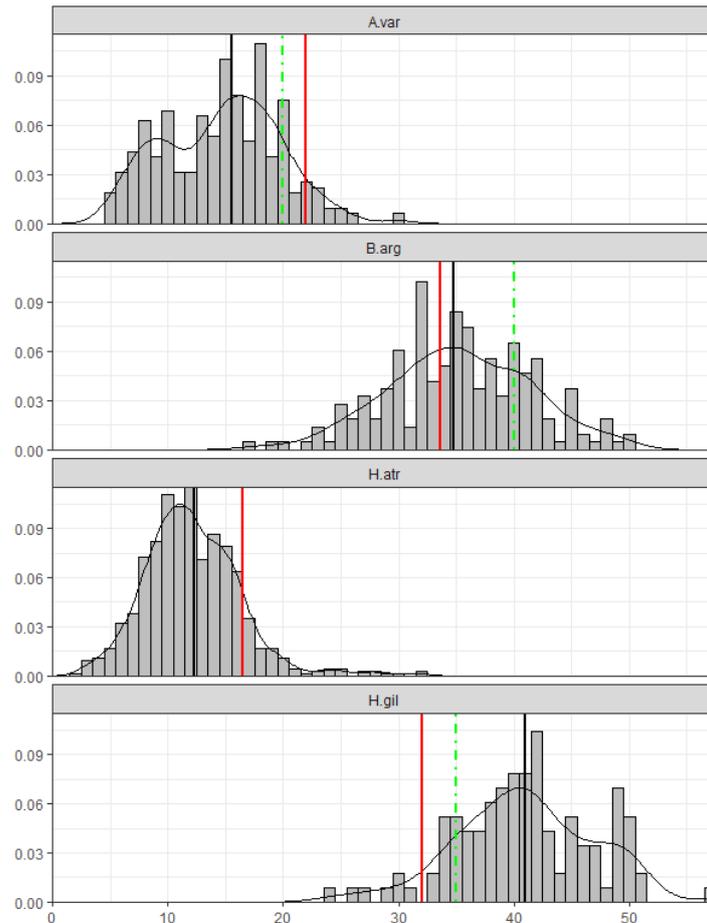


Figure 14 : Fréquence en taille pour les 4 espèces d'holothuries avec un échantillonnage suffisant à l'échelle de l'ensemble de l'atoll. La ligne verticale noire représente la taille moyenne, la ligne verticale rouge représente la taille à 50% de maturité, la ligne verticale verte représente la taille réglementaire commerciale lorsqu'elle existe en Polynésie française

3.6. Biomasse totale, biomasse exploitable et biomasse de référence

Les estimations de stocks (en poids frais entier) sont réalisées pour l'ensemble des espèces échantillonnées bien que leur pertinence puisse être limitée pour les espèces peu abondantes (T. ana, T. anx) et/ou avec une répartition mal représentée au niveau des classes d'habitat (H.atr).

Les estimations intègrent également le lagon profond qui cumule environ 600 km² des 700 km² de surface utile où l'effort d'échantillonnage reste faible. Les estimations sur cette classe restent purement indicatives du fait du manque de représentativité.

Sur l'ensemble des 12 classes d'habitats utiles (lagon profond inclus), une biomasse totale cumulée de 6 100 tonnes (poids frais entier) est estimée pour les 7 espèces rencontrées (Figure 15 A). Du fait de la combinaison entre les densités et la superficie cumulée des habitats utiles, 3 espèces cumulent 90% du total avec dans l'ordre décroissant : H.atr (40% - 2452 t [1 656 ; 3 279]) > H.gil (31% - 1899 t [1 024 ; 2 742]) > B.arg (19% - 1 184 t [772 ; 1594]). Les 4 autres espèces cumulent les 10% restant : T.anx (6% - 364 t [2 ; 859]) > B. vit (2% - 144 t [11 ; 295]) > T.ana (1% - 35 t [10 ; 63]) > A.var 0,5 % - 22 t [16 ; 28]).

En excluant la classe du lagon profond sous-échantillonné, l'estimation du stock correspondant au stock accessible pour la pêche cumule 3 168 tonnes toutes espèces confondues (Figure 15 B). Dans cette configuration les 3 mêmes espèces cumulent plus de 95% de la biomasse totale sur l'atoll, avec par ordre décroissant : H.atr (77% - 2452 t [1 656 ; 3 279]) > H.gil (11% - 359 t [199 ; 518]) > B.arg (7% - 226 t [153 ; 300]).

Les 4 autres espèces cumulent moins de 5% : B.vit (1% - 44 t [11 ; 78]) > T.ana (1% - 35 t [11 ; 63]) > T.anx (1% - 30 t [2 ; 59]) > A.var (1% - 22 t [16 ; 28]).

A

B

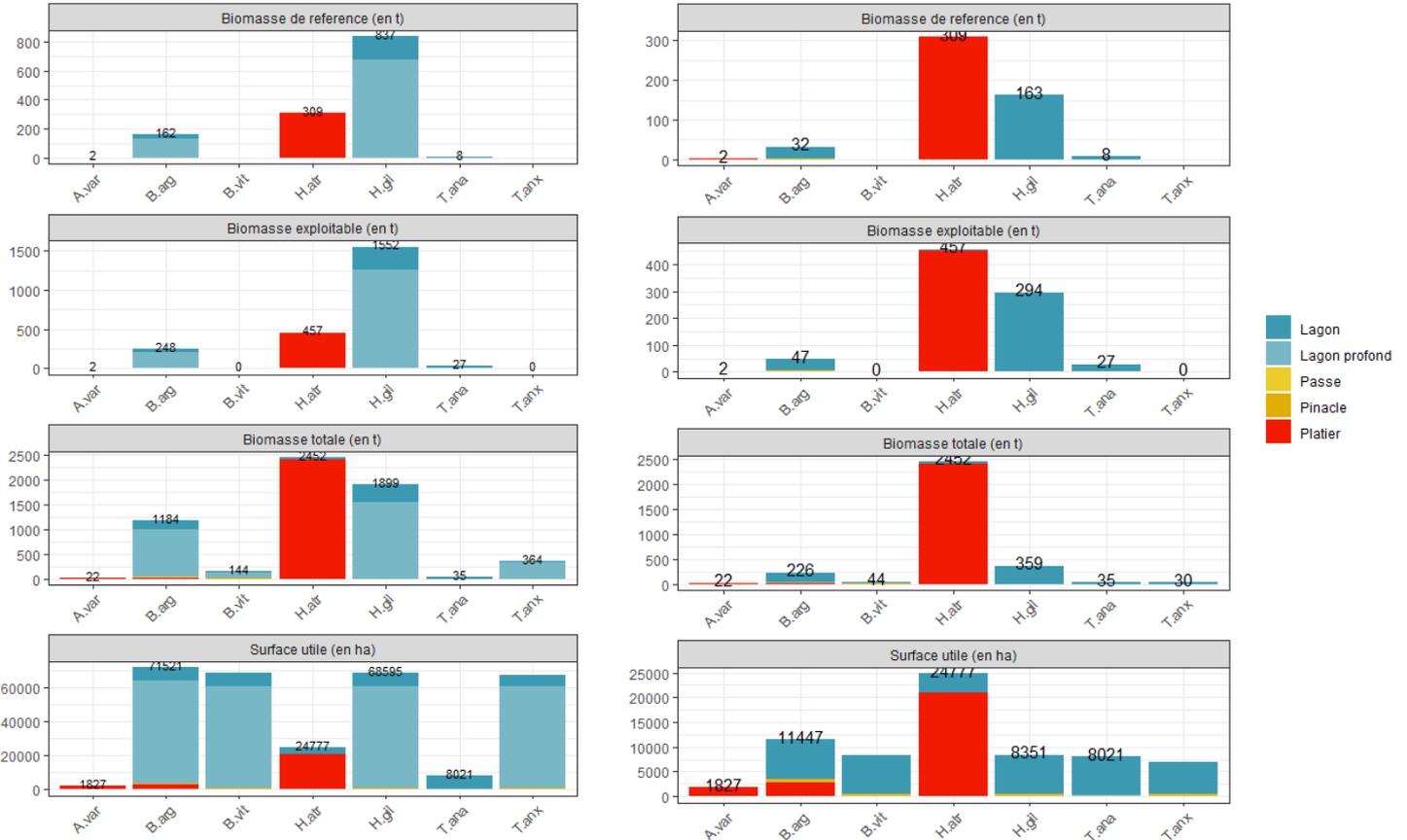


Figure 15 : Bilan des surfaces utiles (ha), Btot biomasse totale en tonnes (poids total entier), Bexp biomasse exploitable en tonnes (poids total entier) et Bref biomasse de référence en tonnes (poids total entier). A - Gauche le bilan intègre la classe d'habitat du lagon profond. B - Droite le bilan exclu cette zone sous échantillonnée.

La Figure 15 et le Tableau 3 présentent également la biomasse exploitable ainsi que la biomasse de référence en excluant le lagon profond. Les niveaux de biomasses de ses 2 estimations constituent les bornes de la biomasse sur laquelle un quota pourrait être envisagé en fonction du niveau de précaution souhaité.

Tableau 3 : Bilan par espèce de la biomasse exploitable en tonnes de poids frais (Bexp) et de poids sec transformé (Bexp_sec) ainsi que de la biomasse de référence en poids frais entier (Bref) et en poids sec transformé. La Bexp et Bref sont également converties en nombres d'individus en divisant la biomasse par la taille moyenne des individus exploitables ou féconds (H.atra) par espèces.

	Bexp (t)	Bref (t)	Bexp_Sec (t)	Bref_Sec (t)	Bexp (nb d'individus)	Bref (nb d'individus)
A.var	2,2	1,6	0,18	0,13	2 701	1 964
B.arg	47,3	32	4,64	3,15	13 674	9 251
B.vit	0	0	0	0	0	0
H.atr	457	308,7	36,1	24,39	1 810 626	1 223 064
H.gil	293,7	162,6	30,84	17,07	77 689	43 011
T.ana	26,6	7,8	1,55	0,45	5 414	1 588
T.anx	0	0	0	0	0	0

Les perspectives d'utilisation de ces estimations pour la gestion, avec la proposition d'éventuels quotas, doit d'un point de vue biologique considérer à la fois le facteur densité (nécessaire pour le maintien du succès des reproductions) mais également le facteur taille/démographie (nécessaire pour le maintien d'un stock de géniteurs). Ainsi, compte tenu des éléments précédents, des caractéristiques des habitats, des populations d'holothuries échantillonnées (Tableau 4) et des niveaux de biomasse en poids sec (Tableau 3), seuls deux espèces présentent un potentiel d'exploitation : H.gil et H.atr.

Tableau 4 : Synthèse des résultats clés des habitats et populations d'holothuries des 7 espèces échantillonnées dans la perspective d'une réouverture de l'exploitation commerciale.

Tableau 5 : Reprise de résultats clés des habitats et populations d'holothuries des 7 espèces échantillonnées dans la perspective d'une réouverture de l'exploitation commerciale

	Valeur	Densité	% population féconde	% de la population légale	% Superficie des habitats utiles (hors lagon profond > à 24 m)	% Fréquence de présence - N Transects présence sur N transects habitats utiles	Perspective d'exploitation
<i>Actinopyga varians</i>	Moyenne	Faible	Très faible	Très faible	13%	Très Fréquente - 32%	Exclue
<i>Bohadschia argus</i>	Moyenne	Faible	Moyenne	Très faible	93%	Fréquente - 15%	Exclue
<i>Bohadschia vitiensis</i>	Faible	Très Faible à Faible	NA	Non autorisée	68%	Rare - 2%	Exclue
<i>Holothurie atra</i>	Très faible	Moyenne à forte	Très faible	Non autorisée	56%	Peu Fréquente - 9%	Possible sous conditions
<i>Holothuria fuscogilva</i>	Forte	Faible à Moyenne	Forte	Forte	68%	Très peu Fréquente - 6%	Possible sous conditions
<i>Theélenota ananas</i>	Forte	Très Faible	Forte	Forte	66%	Rare - 3%	Exclue
<i>Thelenota anax</i>	Très faible	Très Faible	NA	Non autorisé	58%	Rare - 2%	Exclue

3.7. Effet de la perliculture

61 transects ont été considérés avec deux zones perlières, une sur la façade ouest et l'autre sur la façade est (Figure 22). 30 transects ont été caractérisés comme « Sous influence » (12 à l'ouest et 18 à l'est) et 31 transects à proximité mais considérés « Hors influence » (19 à ouest et 11 à l'est). **La comparaison statistique de la richesse et la densité des holothuries n'a révélé aucun effet significatif de la perliculture.** Le poids n'a pas pu être testé statistiquement par manque de valeurs de mesures des individus observés. Les graphiques et tableaux de résultats statistiques sont présentés en annexe 2.

Les résultats montrent ainsi que la perliculture n'a pas d'effet important, positif ou négatif, sur l'abondance et la diversité des holothuries à Apataki, avec un taux d'erreur statistique de faux positifs fixé à 5 %. L'absence d'effet significatif de l'activité sur les variables étudiées ne signifie pas que celle-ci n'influence pas les communautés. Dans les conditions rencontrées à Apataki, il est fort probable compte tenu des faibles niveaux d'abondance et d'une grande variabilité entre les observations que la capacité de détection d'effet soit relativement faible malgré l'effort d'échantillonnage significatif réalisé.

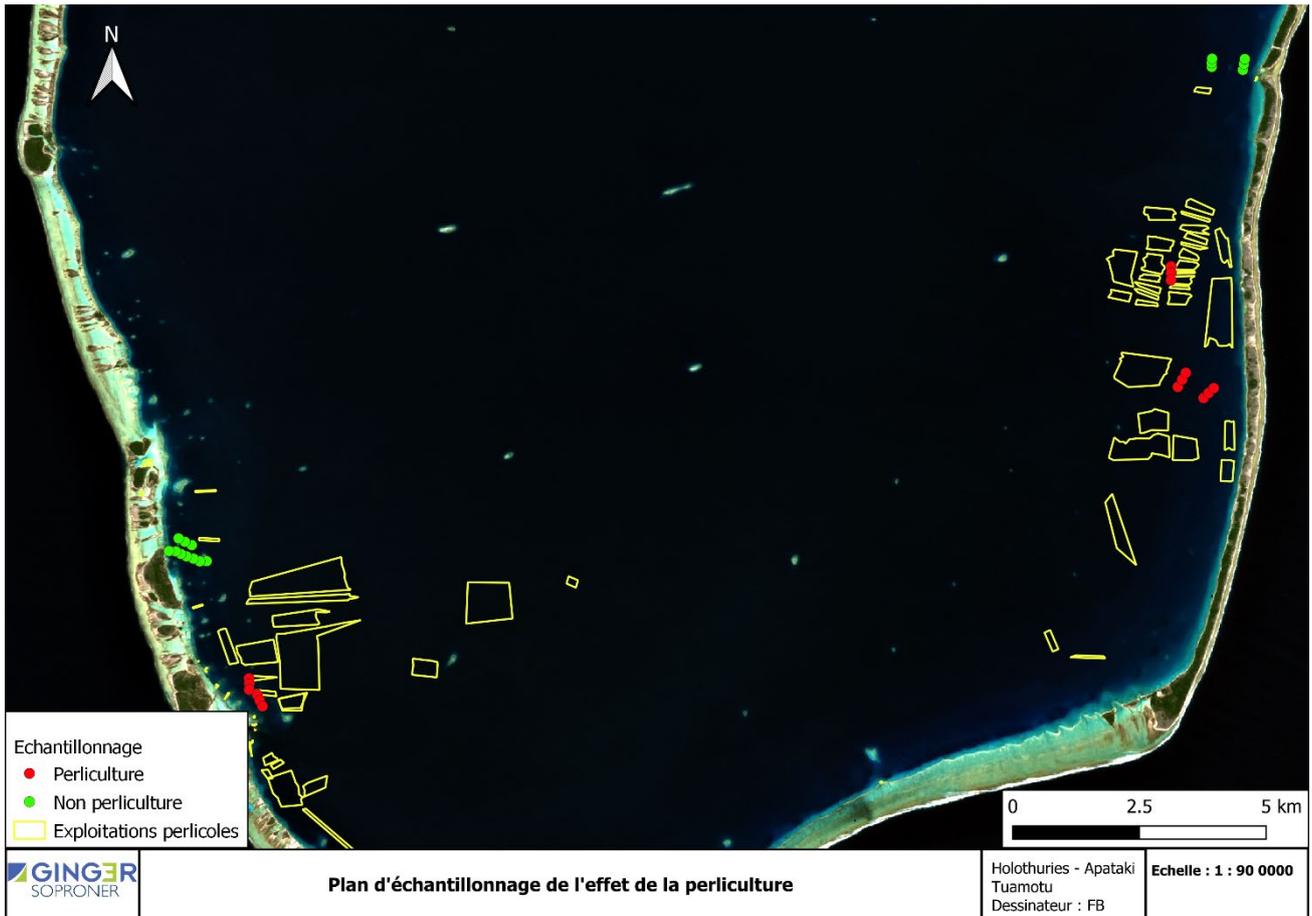


Figure 16: Carte des transects échantillonnés pour l'analyse de l'effet de la periculture.

3.8. Effet de la pêche

L'effet de la pêche a pu être testé en utilisant la présence déclarée des 6 pêcheurs qui ont répondu favorablement au questionnaire. La comparaison statistique de la densité a révélé un effet significatif positif du nombre de pêcheurs pour l'espèce *H.gil* (p -value < 0,001) et *B.arg* (p -value : 0,02). Pour *H.gil*, la densité apparaît plus élevée sur les transects présents dans les zones de pêche déclarées par 5 pêcheurs (via test post hoc). L'effet significatif observé sur *B.arg* est moins marqué et est distingué entre 0 et 1 pêcheur. Dans le contexte de l'étude de l'effet de la pêche, un effet inverse aurait été attendu avec la délimitation d'espaces de l'atoll potentiellement sous pression, influençant négativement les populations d'holothuries. La distribution de la donnée en relation avec la pression de pêche ne montre pas d'effet et reflète ainsi plutôt la distribution naturelle de l'abondance des holothuries, identifiées historiquement par les pêcheurs, dont la tendance est d'être plus forte dans les endroits ciblés par ceux-ci. L'absence d'effet peut également traduire une puissance d'échantillonnage insuffisante des pêcheurs (seulement six retours) et des holothuries lors de cette étude (nombre de transects).

La richesse spécifique et le poids des holothuries en fonction du nombre de pêcheurs n'ont révélé aucun effet significatif. Les graphiques et tableaux de résultats statistiques sont présentés en annexe 3.

3.9. Effet de la lune

66 transects ont été réalisés à deux semaines d'intervalle afin qu'ils soient soit en phase de pleine lune (1^{er} juin 2023, 30 transects) soit de nouvelle lune (16 juin 2023, 36 transects) (Figure 17). Parmi ces transects, 36 transects ont été réalisés sur la façade ouest de l'atoll et 30 sur la façade sud. La comparaison statistique de la richesse, de la densité et du poids des holothuries n'a révélé aucun effet significatif de la phase lunaire. Le poids n'a pu être testé statistiquement que sur *H.gil* par manque de valeurs de mesures des individus observés des autres espèces. Les graphiques et tableaux de résultats statistiques sont présentés en annexe 4. Il est à envisager que la faible puissance de l'échantillonnage attribué à cette analyse ne permette pas de conclure à la présence ou non d'un effet. L'effet de la lune pourrait être plus facilement décelable à une échelle de variabilité moins importante en considérant des individus dans un espace contrôlé et plus réduit que l'échelle large de deux façades de l'atoll.

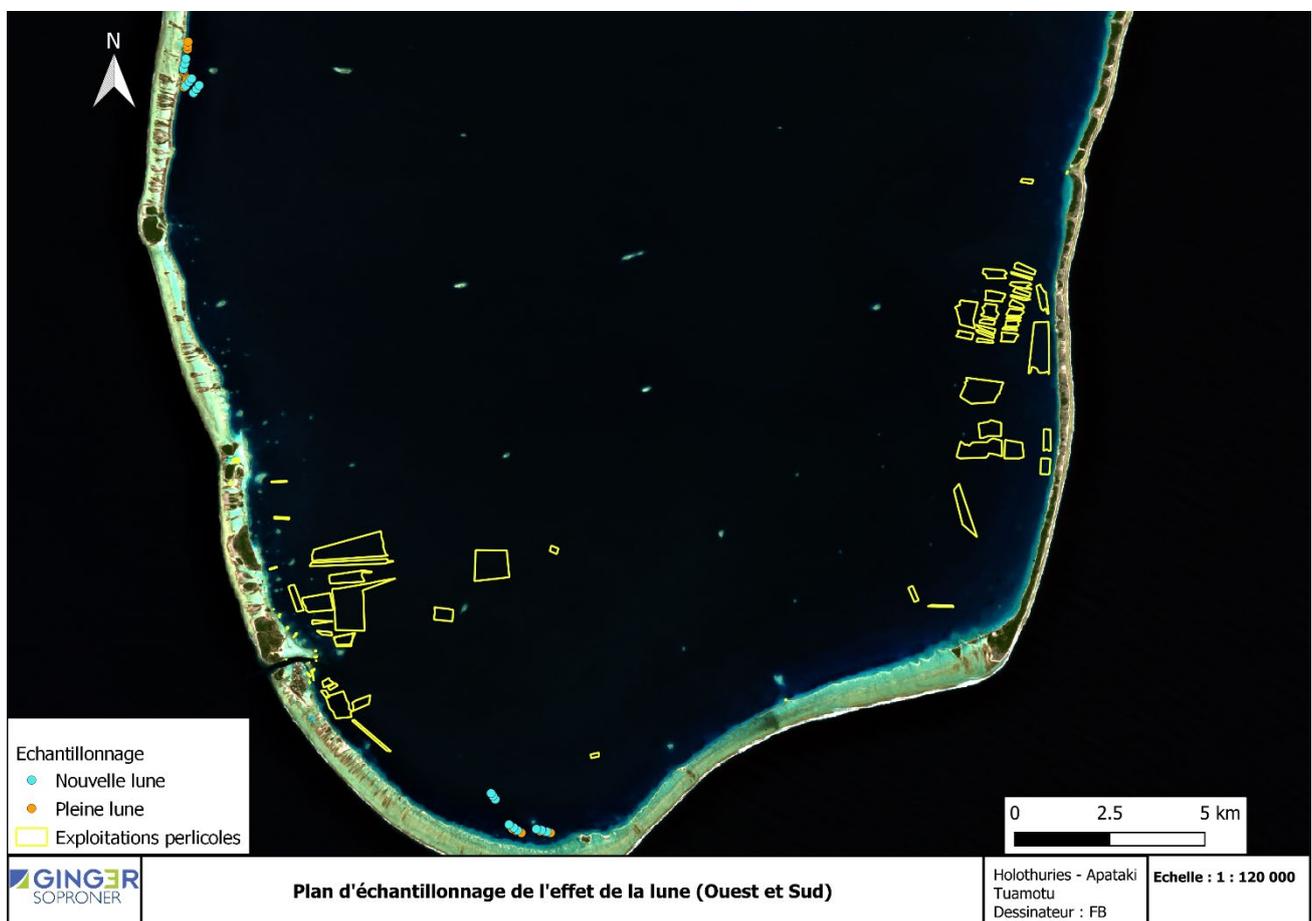


Figure 17 : Carte des transects échantillonnés pour l'analyse de l'effet de la lune.

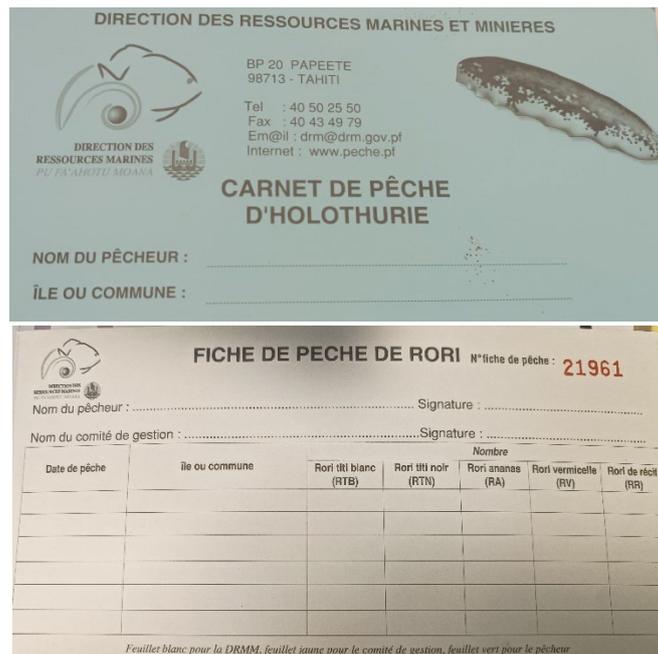
4. Discussion

4.1. Recommandations pour un suivi long terme

4.1.1. Un suivi standardisé, intégré et novateur

La méthodologie mise en place dans le cadre du programme PROTEGE et transférée à la DRM constitue une approche simple, optimisée et rigoureuse pour la collecte des informations standardisées sur les populations d'holothuries. L'approche générale, qui implique des plongeurs comptant les holothuries le long des transects dans différentes zones d'habitat, puis calculant les densités et l'abondance globale sur la base des zones de SIG, est la même que celle utilisée dans d'autres pêcheries d'holothuries (par exemple, Aumeeruddy et *al.* 2005, Purcell et *al.* 2009, Murphy et *al.* 2021a, Gilbert et *al.* 2022) et généralement similaires aux méthodes utilisées par le programme PROCFish-C de la CPS (Kronen et *al.* 2008). Cette méthode permet l'acquisition de variables de diversité, densité, taille et biomasse nécessaires pour la réalisation d'estimations de stocks comme pour la réalisation de suivis plus localisés qui permettent d'évaluer les possibles évolutions des peuplements tant dans l'espace que dans le temps. Le design expérimental et le dimensionnement doivent toutefois être adaptés aux objectifs, enjeux et particularités de l'espèce considérée et nécessite donc un travail spécifique et approfondi (Christie et *al.*, 2019).

Dans un contexte opérationnel, la fréquence recommandée pour la réalisation d'inventaires et de réévaluation des stocks est de l'ordre de 5-10 ans et doit être associée à un suivi renforcé de l'activité des pêcheurs à travers un suivi de leur captures (CPUE). Le carnet de pêche dans sa forme actuelle (Figure 18) constitue un élément clé de la traçabilité qui pourrait être complété pour le suivi des CPUE en intégrant un aspect spatial, une durée de la sortie ainsi qu'un nombre de pêcheurs embarqués. L'inspection des données déclaratives présente certains biais flagrants avec une déclaration intégrant les pêches de plusieurs pêcheurs (Gilbert Com. Pers). A cet effet, une réflexion sur la mise à jour de ce carnet (avec une option dématérialisée) associée à un guide opérationnel de bonne déclaration constitue des perspectives à conduire pour améliorer les modalités de gestion de la pêche.



DIRECTION DES RESSOURCES MARINES ET MINIERES
BP 20 PAPEETE
98713 - TAHITI
Tel : 40 50 25 50
Fax : 40 43 49 79
Em@il : drm@drm.gov.pt
Internet : www.peche.pt

DIRECTION DES RESSOURCES MARINES
PŪ TĀHĪTĪ MĀRĀNA

CARNET DE PÊCHE D'HOLOTHURIE

NOM DU PÊCHEUR : _____
ÎLE OU COMMUNE : _____

FICHE DE PECHE DE RORI N°fiche de pêche : **21961**

Nom du pêcheur : Signature :
Nom du comité de gestion : Signature :

Date de pêche	Île ou commune	Nombre				
		Rori tili blanc (RTB)	Rori tili noir (RTN)	Rori ananas (RA)	Rori vermicelle (RV)	Rori de réci (RR)

Feuillet blanc pour la DRMM, feuillet jaune pour le comité de gestion, feuillet vert pour le pêcheur

Figure 18 : Carnet de pêche d'holothuries mis en place par la DRM

En appui à cette gestion, à l’instar des actions menées par l’IRD aux Seychelles, une étude de la relation entre les CPUE et l’abondance des holothuries par pêche expérimentale permettrait de calibrer cet indicateur et d’engager une dynamique avec les pêcheurs.

La strate du lagon profond d’Apataki n’a pas pu être échantillonnée de façon significative du fait d’une superficie importante, des objectifs de l’étude centrée sur le stock accessible par les pêcheurs et des contraintes d’échantillonnage en plongée. L’absence de levés bathymétrique sur les 2/3 du lagon ne permet pas un sous-découpage du lagon profond par classe de profondeur, découpage qui aurait probablement permis d’augmenter la représentativité de l’effort d’échantillonnage et d’augmenter la biomasse exploitable et celle de référence. En attendant, ce stock réservoir pourrait représenter jusqu’à 50% de la biomasse totale toutes espèces confondues. Les données collectées montrent que 4 espèces y sont observées avec 2 espèces prépondérantes : *B. arg* et *H. gil* (Figure 12).

Ainsi pour des raisons budgétaires et des priorités d’étude dans la zone exploitée (0-25m) nous n’avons pas pu déployer d’inventaire profond avec un ROV. Les données collectées au niveau des holothuries à mamelles blanches en plongée montrent que les densités dans la classe de lagon profond sont plus faibles que sur le lagon moyen avec une distribution bathymétrique similaire à celle rencontrée en Nouvelle-Calédonie (Gilbert et al., 2022). L’échantillonnage au-delà des profondeurs de la présente étude permettrait de confirmer la tendance constatée et de mieux caractériser le stock réservoir. Les perspectives d’automatisation dans le traitement des données vidéo/photo par intelligence artificielle (Figure 19) avec une acquisition utilisant différents vecteurs (ROV/AUV) constitue un enjeu et devrait permettre d’offrir *in fine* une méthodologie d’acquisition et de traitement des données pour les suivis avec un coût optimisé pour les milieux profonds comme pour ceux réalisés aujourd’hui par des plongeurs.



Figure 19 : Exemple de détection et d’identification par machine Learning issue des 1er algorithmes calibrés par la CPS

4.1.2. Considérations scientifiques pour de futures études

Les études complémentaires sur la perliculture, la pêche ou encore la lune (réalisée additionnellement suite à des observations *in situ* invitant l’hypothèse d’un effet de la phase lunaire) peuvent être discutées sur leur pertinence au cours de cette étude dédiée aux stocks.

Concernant la perliculture, l’étude comparative se justifie avec la synergie potentielle que peut créer le développement de la filière perlière, entraînant un enrichissement du substrat environnant par les huîtres perlières, et ainsi la favorisation de l’abondance des holothuries à proximité. Cela peut représenter une piste d’intérêt pour l’avenir de la filière aquacole des holothuries, qui se développe, avec notamment l’exploitation de *H. fuscogilva* à Vairao sur la côte sud-ouest de Tahiti. L’absence d’effets observés et le design de cette

analyse secondaire comparée aux besoins d'échantillonnage pour l'évaluation des stocks, principal objectif de cette étude, démontre le besoin d'un échantillonnage dédié et adapté.

Malgré un échantillonnage conséquent à l'échelle de l'atoll, la distribution de l'abondance reste centrée sur zéro avec un nombre important de transects avec peu ou pas de comptage et de mesure par transect. Compte tenu de la nature de cette distribution log-normale centrée sur zéro (zero inflated), déterminer des effets entre des facteurs qui subdivisent la donnée au sein de cette distribution est contraignant car les méthodes statistiques restent peu puissantes dans ce genre de cas. Des études à l'échantillonnage dédié sur ces facteurs sont requises et permettraient de préciser les effets étudiés. Afin de déterminer l'effet d'un facteur à l'échelle écologique (ici la perliculture, la pression de pêche ou encore la lune), il convient de considérer un ensemble d'influences qui peuvent agir sur le modèle étudié (ici les holothuries) ; c'est-à-dire un ensemble de co-variables environnementales et humaines qui peuvent être modélisées avec la matrice des communautés des espèces d'holothuries observées, afin de déterminer quelle(s) co-variables sont responsables d'éventuelles différences observées. Dans le cadre d'un effet qui peut impacter l'holothurie à l'échelle individuelle, des méthodologies différentes à échelle réduite peuvent être envisagées afin de déterminer des effets sur le plan comportemental (e.g. enfouissement, fuite) ou physiologique et écotoxicologiques (e.g. croissance, décès, pollution).

4.2. Recommandations pour une pêche durable

4.2.1. Rappel du contexte d'exploitation des Tuamotu et sur Apataki

Le contexte de gestion de la pêcherie d'holothuries à Apataki est complexe. La récolte d'holothuries au sein de l'archipel des Tuamotu a eu lieu de manière intermittente depuis au moins 175 ans (Stein 2018). Une petite quantité d'espèces de grande valeur (vraisemblablement *H. fuscogilva*, *T. ananas* et *A. varians*) aurait été exploitée dans les îles Tuamotu en 2008. La pêche a de nouveau eu lieu dans de nombreux atolls des Tuamotu en 2009, 2011 et 2012. De 2014 à 2017, la pêche aux holothuries sur l'atoll d'Apataki a été importante et représentait le deuxième plus grand volume d'exploitation de ces animaux dans les îles Tuamotu (Stein 2018 - Tableau 6).

Tableau 6 : Quantités (kg) expédiées des îles vers Tahiti de 2014 à 2017 (Stein 2018)

N°	Ile	Nombre de campagnes de pêche	<i>Bohadschia argus</i>	<i>Actinopyga mauritiana</i>	<i>Thelenota ananas</i>	<i>Holothuria fuscogilva</i>	<i>Holothuria whitmaei</i>	Total général
1	Fakarava	4	667,9	191,5	56,2	5 346,1	131,4	6 393,0
2	Apataki	4	145,0	18,6	12,4	4 295,0	650,4	5 121,4
3	Kaukura	3	1 553,9	523,7	4,6	1 836,2	353,1	4 271,5
4	Toau	4	300,7	9,0	75,5	2 338,7	130,2	2 854,0
5	Makemo	4	1 156,5	214,1	6,0	128,3		1 504,9
6	Raraka	2	114,3	20,4	49,4	916,8	239,9	1 340,8
7	Raroia	2	1 267,6	7,0	15,0	4,0		1 293,6
8	Kauehi	3	251,7	19,6	14,4	626,0	96,0	1 007,7
9	North Maratea	2	314,0	139,0	10,0	94,0		557,0
10	Tahanea	1	190,5	36,1	9,7	10,9		247,2
11	Manihi	1	106,0	10,0		110,0		226,0
12	Faaite	4	81,1	81,4		53,6	0,5	216,6
13	Tahaa	2	24,9	14,9	19,4	135,3	12,5	207,0
14	Aratika	3	125,7	65,0	3,0	5,0		198,7
15	Niau	2		69,0	12,0			81,0
16	Vahitahi	2		1,7				1,7
Total général		43	6 299,7	1 421,1	287,5	15 899,9	1 614,0	25 522,1
%			24,7%	5,6%	1,1%	62,3%	6,3%	

La pêche s'est concentrée principalement sur *Holothuria fuscogilva*, avec près de 5 tonnes, bien que l'exploitation ait également inclus des quantités mineures de *Bohadschia argus* et de très petites quantités de *Thelenota ananas* et *Actinopyga varians*.

Il est important de rappeler ici que nous n'avons trouvé aucun individu de rori titi noir *H. whitmaei* lors de la phase terrain à Apataki. La contradiction avec les rapports antérieurs selon lesquels cette espèce faisait partie des captures de la pêcherie d'Apataki peut s'expliquer par l'identification erronée par les pêcheurs de variantes de couleur brun foncé du rori titi blanc (Figure 20). Par conséquent, les volumes d'exportation de *H. whitmaei* d'Apataki dans le Tableau 6 ci-dessus doivent être considérés comme *H. fuscogilva*. La question de savoir si les mêmes erreurs d'identification apparentes se sont produites ou non sur d'autres atolls ne peut être résolue dans cette étude. La DRM mentionne que ce biais est également probable au moins à Fakarava et Toau.



Figure 20 : Un rori titi blanc, *Holothuria fuscogilva*, totalement brun observé sur l'atoll d'Apataki au cours de cette étude. Photographie : S Purcell.

4.2.2. Implications de gestion des résultats biologiques

Les données biologiques peuvent être interprétées dans un contexte de gestion selon plusieurs angles. Les densités de chaque espèce peuvent être comparées à d'autres densités connues dans le Pacifique, les répartitions en profondeur peuvent renseigner sur certains aspects de la gestion et les distributions de fréquences de tailles renseignent sur les limites de taille minimale et d'autres considérations biologiques.

Les résultats sur les densités par hectare globalement et au sein des différentes méthodes d'enquête peuvent être comparés aux densités d'autres pays et aux « densités de référence régionales » proposées par la CPS (Pakoa et al. 2014 - Tableau 7). Les densités de référence de la CPS sont des moyennes du quart supérieur des estimations des densités les plus élevées réalisées à partir de l'ensemble de données des îles du Pacifique du précédent programme PROCFish-C. La CPS a utilisé le quart supérieur des densités étudiées car de nombreux sites de cet ensemble de données sont fortement exploités et donc, de manière très grossière, le quartile supérieur des abondances pourrait être considéré comme une situation normale ou un stock dans un bon état.

Tableau 7 : Densités de référence régionales des holothuries pour les îles du Pacifique (Source : Pakoa et al., 2014). *Actinopyga varians* (A.var) est présentée sous son ancien nom : *Actinopyga mauritiana*.

Common name	Scientific name	Code	Reference densities (ind. ha ⁻¹)	
			Manta	RBt; SBt
Lollyfish	<i>Holothuria atra</i>	LF	2,400	5,600*
Greenfish	<i>Stichopus chloronotus</i>	GF	1,000	3,500**
Chalkfish	<i>Bohadschia similis</i>	CHF	-	1,400***
Snakefish	<i>Holothuria coluber</i>	SNF	350	1,100*
Sandfish	<i>Holothuria scabra</i>	SF	-	700***
Pinkfish	<i>Holothuria edulis</i>	PF	250	260*
Surf redfish	<i>Actinopyga mauritiana</i>	SRF	20	200**
Brown sandfish	<i>Bohadschia vitiensis</i>	BSF	160	100*
Hairy blackfish	<i>Actinopyga miliaris</i>	HBF	-	150***
Curryfish	<i>Stichopus herrmanni</i>	CF	130	100*
Tigerfish / Leopardfish	<i>Bohadschia argus</i>	TF	50	120**
Flowerfish	<i>Pearsonothuria graeffei</i>	FF	50	100**
Black teatfish	<i>Holothuria whitmaei</i>	BTF	10	50*
Prickly redfish	<i>Thelenota ananas</i>	PRF	10	30**
Amberfish	<i>Thelenota anax</i>	AF	20	-
White teatfish	<i>Holothuria fuscogilva</i>	WTF	-	20*
Elephant trunkfish	<i>Holothuria fuscopunctata</i>	ETF	10	10*
Stonefish	<i>Actinopyga lecanora</i>	STF	-	10**

* = RBt and SBt combined; ** = RBt only; *** = SBt only.

Il existe de nombreuses lacunes que l'on pourrait souligner dans l'utilisation de telles valeurs, mais en l'absence de bonnes données comparatives, les densités de référence peuvent servir de guide à appliquer avec précaution. La CPS indique que ces densités de référence régionales pourraient représenter les valeurs cibles souhaitables pour une population exploitée. Selon eux, les populations à des densités inférieures à ces seuils « peuvent être moins en mesure de fournir des juvéniles pour maintenir ou augmenter la population ».

La productivité naturelle des atolls de Polynésie française doit également être prise en compte lors de l'application des densités régionales de référence de la CPS aux décisions de gestion. Il est désormais admis que la superficie des terres émergées est un facteur clé de la productivité de la pêche aux holothuries, les systèmes d'atolls étant considérés comme ayant des niveaux de productivité naturellement faibles (Eriksson et al., 2017). Cette dernière étude concluait que « les récoltes des atolls devront être plus petites par unité de surface que celles des îles hautes ». Ces résultats suggèrent que l'abondance des holothuries et la résilience à la pêche pourraient être naturellement faibles dans les atolls de Polynésie française. Une interprétation de ce

phénomène pourrait être que les densités de certaines espèces d'holothuries sur des atolls comme celui d'Apataki pourraient ne jamais atteindre les seuils de densité de référence régionaux proposés par la CPS sur la base de l'ensemble des îles du Pacifique. À cet égard, de faibles niveaux d'exploitation gérés par des quotas modestes ou d'autres mesures réglementaires pourraient être justifiés même si les densités de référence régionales de la CPS ne sont pas satisfaites.

Les profondeurs des stations d'échantillonnage d'Apataki sont comparables à celles échantillonnées dans le cadre du projet d'évaluation des stocks en Nouvelle-Calédonie (Gilbert et al., 2022). À Apataki, il y a comparativement moins de relevés effectués dans des profondeurs faibles de 0 à 2 m qu'en Nouvelle-Calédonie, principalement parce que ces habitats sont peu représentés à Apataki. Les platiers récifaux peu profonds constituent une zone d'habitat considérable en Nouvelle-Calédonie, mais pas à Apataki. Cela met en évidence un contraste important pour la gestion, à savoir que les habitats peu profonds constituent une petite partie de la zone d'habitat d'Apataki. Les paragraphes suivants abordent les éléments de discussion des résultats biologiques par espèce.

Actinopyga varians. Il y avait des densités modérées d'*Actinopyga varians* sur les platiers exposés des franges sud et ouest de l'atoll d'Apataki. Sur les côtés nord et est de l'atoll, les densités étaient très faibles. La densité moyenne de 106 ind ha⁻¹ dans les zones peu profondes étudiées à pied (voir Figure 12) est largement inférieure à la densité régionale de référence de la CPS de 200 ind ha⁻¹. Cependant, il convient de noter que nous n'avons pas étudié l'habitat peu profond situé du côté océan de la crête du récif. Cette zone d'habitat abrite des individus supplémentaires et il est possible qu'ils soient également plus grands que ceux que nous avons mesurés à pied. Bien que nos estimations de densité pour *A. varians* n'aient pas considéré cet habitat, cette zone exposée aux houles océaniques reste difficile d'accès pour les pêcheurs. Nos estimations de cette espèce en particulier peuvent donc être considérées comme des densités de la *population exploitable*, et non comme l'ensemble de la population présente.

Un résultat important est que la population d'*A. varians* à Apataki est principalement composée de petits individus, avec une longueur moyenne de 16 cm (Figure 14). La grande majorité des individus étaient inférieurs à la taille à la première maturité et inférieurs à la taille légale (20 cm). À titre de comparaison, en Nouvelle-Calédonie, la longueur moyenne d'*A. varians* était de 22,4 cm en Province Nord, 20,4 cm en Province Sud et 20,2 cm en Province des Îles (Gilbert et al., 2022). De plus, la taille minimale légale en Polynésie française pour *A. varians* est inférieure à la taille à première maturité connue de 22 cm pour cette espèce de Nouvelle-Calédonie (Conand, 1989). Les données d'Apataki pourraient indiquer que la population ne s'est pas complètement remise de la forte pression de pêche du passé ou que les animaux ont tendance à être petits dans la zone intertidale que nous avons étudiée. Du côté positif, le nombre de petits individus indique que le recrutement de jeunes individus dans la population est en cours.

A. varians est classée Vulnérable à l'extinction par l'UICN (Conand et al., 2013a). Cela signifie que les mesures de gestion doivent être prudentes afin d'éviter la surpêche.

Holothuria atra. A partir des résultats sur les densités (Figure 12), on pourrait conclure que *Holothuria atra* pourrait supporter une exploitation significative. Cependant, plusieurs points doivent être considérés, en lien avec leur abondance, leur valeur et leurs rôles écologiques.

Abondance : La densité moyenne de *H. atra* de 3 519 ind ha⁻¹ se compare favorablement aux densités de cette espèce ailleurs. Généralement, cette espèce est observée à des niveaux de 1000 ind ha⁻¹ dans les îles du Pacifique (Pakoa et al., 2014). Le rapport de la CPS suggère que des densités supérieures à 5600 ind ha⁻¹ constitueraient des stocks sains, et les densités à Apataki sont, sur deux des trois habitats du platier, au-dessus de cette densité de référence.

Ainsi, du seul point de vue des densités, on peut dire que les populations de *H. atra* à Apataki sont en bonne santé.

Bien que *Holothuria atra* ait été trouvée à des densités élevées, elle a été principalement trouvée sur les platiers récifaux entre 0 et 2 m de profondeur et cet habitat est, dans l'ensemble, relativement limité sur l'atoll.

Valeur : *Holothuria atra* est une espèce de très faible valeur commerciale. Elle a une valeur en Chine continentale, de 31 dollars américains par kg de poids sec (Purcell et al., 2018), ce qui constitue l'espèce avec la plus faible valeur parmi toutes les espèces exportées des îles du Pacifique. Aux Fidji, les pêcheurs n'ont pêché cette espèce que lorsque celles de valeurs élevées et moyennes ont été en grande partie épuisées (Pakoa et al., 2013), puis ont été fortement épuisées dans certains groupes d'îles (Lalavanua et al., 2017). À titre de référence, les prix de débarquement reçus par les pêcheurs pour *H. atra* frais aux Fidji (en 2017) n'étaient en moyenne que de 0,71 \$FJD (\approx 35 FCFP) par pièce pour les gros spécimens, et les gros spécimens séchés étaient vendus par les pêcheurs fidjiens en moyenne 13 \$FJD (\approx 600 FCFP) le kg. Aux Fidji, les petits individus attiraient des prix plus bas et les résultats d'Apataki (Figure 14) montrent que la grande majorité des individus sont de petite taille. La faible valeur marchande signifie que les pêcheurs devront les collecter par centaines afin d'espérer en tirer un revenu raisonnable. En conséquence, les taux de récolte de ces espèces peuvent être extrêmement élevés si les pêcheurs les ciblent, et l'épuisement de la ressource peut être rapide.

Rôles écologiques : *Holothuria atra* est caractérisée comme une espèce à croissance rapide et à reproduction précoce (Pakoa et al., 2013). C'est également l'une des rares espèces capables de se reproduire de manière asexuée par scission transversale (Conand 1996, Uthicke 2001). Ces caractéristiques en font une espèce dont on pourrait s'attendre à ce qu'elle se rétablisse plus rapidement de la pêche que les autres espèces d'holothuries. En revanche, dans les endroits où cette espèce est abondante, on sait qu'elle est capable de retourner de grandes quantités de sable récifal grâce à son alimentation (Uthicke 1999, Williamson et al., 2021). Elle joue un rôle de nettoyage pour la santé des sédiments (Purcell et al., 2016a). Ainsi, une limitation de l'exploitation, en laissant un nombre suffisant d'*H. atra* sur le récif, permettra de maintenir leurs rôles écologiques et répondra à une approche écosystémique de la pêche (voir FAO 2003).

En résumé, *H. atra* est présente à une densité relativement élevée, bien que la superficie de son habitat soit plutôt limitée à Apataki. Nous recommandons que la pêche de cette espèce soit autorisée, avec des limites de taille minimale strictes pour les animaux vivants et les produits séchés et un quota bien surveillé. Cela pourrait être une ressource accessible aux pêcheuses car cette espèce peut être capturée dans les eaux peu profondes en marchant à marée basse, ce qui est souvent un mode de pêche utilisé par les femmes (cf. 4.2.4). Cependant, nous notons que pour que la pêche soit rentable, cette espèce est généralement capturée en volumes bien élevés et les populations peuvent donc s'épuiser relativement rapidement si des limites de taille minimale et un quota ne sont pas surveillés. Un épuisement localisé à proximité des villages pourrait être attendu si la pêche était autorisée, même si elle devrait être réduite si les pêcheurs respectent la limite de taille minimale.

La limite de taille pour *Holothuria atra* vivante/fraîche pourrait être de 20 cm ou 25 cm, selon le niveau de précaution souhaité pour le stock. Ces tailles sont légèrement supérieures à la taille à première maturité (Figure 14). Une étude sur la taille de la première maturité sexuelle de *H. atra* en Polynésie française permettrait d'évaluer si cette limite de taille proposée est appropriée. Étant donné que la longueur séchée des autres espèces du genre *Holothuria* représente en moyenne 49 % de la longueur fraîche (Ram et al., 2016),

nous recommandons une longueur légale séchée de 10 cm ou 12 cm (si la limite de taille fraîche est de 20 ou 25 cm, respectivement). À titre de comparaison, la limite de taille vivante proposée pour les Fidji est de 30 cm et la limite de taille séchée est de 10 cm (Tabunakawai-Vakalalabure et *al.*, 2017).

Pour *H. atra*, nous recommandons un quota annuel à hauteur de 10 % de la biomasse de référence, car nous pensons que cette espèce connaîtrait une croissance rapide et pourrait se repeupler plus rapidement que de nombreuses autres espèces d'holothuries (Pakoa et *al.*, 2013). Cette proportion relativement élevée considère également que la grande majorité du stock actuel mesure bien moins de 20 ou 25 cm, de sorte que le risque de surpêche pour l'ensemble de la population est faible. Sur la base des estimations réalisées (Tableau 3) avec une biomasse exploitable de 457 tonnes et une biomasse de référence de 309 tonnes, le quota annuel recommandé pour les animaux frais entiers serait compris entre 46 et 31 tonnes pour l'ensemble de l'atoll d'Apataki. Cela équivaldrait à un quota compris entre 2,4 et 3,6 tonnes de produits séchés, sur la base des taux de conversion pour cette espèce estimés par Ngaluafe et Lee (2013). En considérant le poids moyen des individus féconds à Apataki (252 g) cela correspond à un quota annuel en nombre compris entre 122 306 et 181 062 individus.

Nous notons que cette espèce a une très faible valeur économique et qu'il pourrait être intéressant ou non pour les pêcheurs de la récolter à Apataki. Il s'agit d'une justification économique qui pourrait être déterminée par les pêcheurs eux-mêmes après avoir consulté les exportateurs et les prix de vente.

***Bohadschia argus* et *B. vitiensis*.** Les tailles de *B. argus* et de *B. vitiensis* à Apataki suggèrent que les pêcheurs seraient en mesure de capturer des animaux matures si un quota de capture de cette espèce était autorisé. Cependant, la taille moyenne de *B. argus* à Apataki (35 cm) est inférieure à la taille minimale légale autorisée de 40 cm en Polynésie française. Les deux espèces sont présentes sur la majorité des habitats dans tous les secteurs de l'atoll, ce qui signifie que les pêcheurs pourraient en trouver dans des sites proches du village et tout autour de l'atoll. Toutefois, les densités sont très faibles et inférieures aux densités de référence régionales de la CPS, ce qui suggère que les populations pourraient ne pas persister si la pêche était autorisée. Les volumes de récolte de *B. argus* à Apataki dans le passé n'étaient pas si importants (Tableau 6). Il est possible que certains *B. vitiensis* aient été récoltés en même temps et qu'ils soient tous deux considérés par les pêcheurs comme des « vermicelles » et enregistrés ensemble, bien que ce ne soit qu'une supposition. Les faibles densités actuelles ne peuvent probablement pas s'expliquer uniquement par une exploitation passée et sont donc probablement le signe d'une faible productivité naturelle de *B. argus* et *B. vitiensis* sur l'atoll d'Apataki. C'est presque certainement le cas pour *B. vitiensis*. Les populations de *B. argus* à Apataki pourraient avoir besoin de 10 ans supplémentaires pour se reconstituer.

***Holothuria fuscogilva*.** À l'instar de l'historique récent de la pêche sur les atolls de Fakarava, Toau et Raraka, l'exploitation des holothuries à Apataki s'est également concentrée principalement sur *Holothuria fuscogilva* (Stein 2018). Nous avons trouvé cette espèce à des densités moyennes pondérées de 8 ind ha⁻¹ dans les eaux profondes d'Apataki, à environ 10–25 m de profondeur. La densité moyenne à Apataki est similaire aux densités trouvées dans certains des habitats étudiés en Nouvelle-Calédonie, où ils sont fortement ciblés par les pêcheurs depuis des décennies (Gilbert et *al.*, 2022). La densité moyenne à Apataki n'est pas aussi élevée que la densité de référence régionale de la CPS de 20 ind ha⁻¹ constatée dans un quart des localités des îles du Pacifique. Cependant, la densité moyenne de *H. fuscogilva* dans l'habitat du lagon moyen plus est de 19,7 ind ha⁻¹ (Figure 12), soit une densité de stock qu'on peut qualifier de saine selon les densités régionales de référence de la CPS. Cette comparaison montre que les densités de *H. fuscogilva* à Apataki sont modérément faibles dans la plupart des habitats mais à des densités exploitables dans l'habitat du Lagon moyen plus. Comme indiqué précédemment, il faut considérer que les densités en Polynésie française sont moins susceptibles d'atteindre des niveaux élevés que sur les îles hautes du Pacifique occidental et pourraient être naturellement plus faibles (Eriksson et *al.*, 2017).

Un aspect en faveur de l'autorisation de la pêche de *H. fuscogilva* est sa valeur élevée, ce qui signifie que sa récolte présente un grand avantage économique pour les pêcheurs. Un autre aspect positif de la pêche est la grande taille des animaux ; beaucoup d'entre eux dépassaient la taille minimale légale. Cependant, sur la base de ce que nous savons des études sur les espèces étroitement apparentées *H. whitmaei* (Uthicke & Benzie 2002 ; Uthicke et al. 2004), il faut considérer que *H. fuscogilva* a également une longue durée de vie (de plusieurs décennies ou plus) et un faible taux de mortalité naturel, éléments biologiques qui illustrent de la sensibilité de l'espèce à la surexploitation.

Sur la base des densités de *H. fuscogilva* à Apataki, nous pouvons recommander que la pêche soit autorisée avec un modeste quota annuel, nonobstant les considérations concernant la CITES discutées ci-dessous. Pour l'espèce étroitement apparentée *H. whitmaei*, un taux de récolte annuel de seulement 5 % du stock vierge était suffisant pour provoquer un épuisement significatif de la ressource et entraîner une fermeture de la pêche à long terme (Uthicke, 2004). Par conséquent, pour éviter la surpêche, les quotas annuels pour ces espèces à rétablissement lent devraient représenter seulement 2 à 4 % du stock initial (non exploité) (Purcell et al., 2013). Dans le cas de *H. fuscogilva* sur l'atoll d'Apataki, la biomasse vierge (avant le début de la pêche avant 2008) est inconnue et n'est pas estimée dans cette étude.

Sur la base des estimations réalisées (Tableau 3) avec une biomasse exploitable de 162 tonnes et une biomasse de référence de 294 tonnes, le quota annuel recommandé pour les animaux frais entiers serait sur une base conservatrice de 2% compris entre 3 et 6 tonnes pour l'ensemble de l'atoll d'Apataki. Cela équivaut à un quota compris entre 341 et 617 kilos de produits séchés, sur la base des taux de conversion utilisés pour cette espèce (Laplante et al., in prep). En considérant le poids moyen des individus supérieurs à la taille légale à Apataki (3780 g) ce quota correspond à un quota en nombre compris entre 857 et 1 555 individus.

Un aspect justifié par cette étude est le statut de l'espèce *H. fuscogilva* qui est répertorié par l'UICN comme vulnérable à l'extinction (Conand et al., 2013b) ainsi que son inscription à l'Annexe II de la CITES. Nous rappelons que la décision concernant les avis de commerce non préjudiciable (ACNP) autorisant le commerce au titre de l'Annexe II de la CITES relève de l'autorité scientifique de chaque pays. Nous souhaitons donc simplement apporter des éléments pour éclairer une telle décision.

Lors de l'élaboration des ACNP, une considération clé est de savoir si la pêche proposée pourrait présenter un risque pour la durabilité à long terme des populations. Cela signifie que la pêche devrait se faire à un rythme prudent, de manière à ce que les densités de population soient saines et ne diminuent pas au fil des ans en raison du taux de récolte non durable. L'ACNP est déterminé sur la base d'une évaluation des risques réalisée par l'autorité scientifique (Rosser et Haywood, 2002). Cette évaluation devrait prendre en compte les densités de population et de leur résilience à la pêche, la fiabilité des données de déclaration et des mesures de gestion, y compris des réglementations telles que des limites de taille minimale, des quotas et des réserves permanentes (Di Simone et al., 2021).

Thelenota ananas. Cette espèce a été trouvée à de très faibles densités, en moyenne autour de 1 ind ha⁻¹ au total. Au mieux, la densité moyenne n'était que de 2 ind ha⁻¹ dans les eaux moyennement peu profondes d'Apataki, où les animaux peuvent être observés depuis la surface en plongée avec tuba. En comparaison, la densité à Apataki est inférieure aux densités trouvées dans les habitats de terrasse profonde et de passe étudiés en Nouvelle-Calédonie, où ils sont fortement ciblés par les pêcheurs depuis des décennies (Gilbert et al., 2022). La densité à Apataki est bien inférieure à la densité de référence régionale de la CPS, de 10 à 30 ind ha⁻¹, constatée dans un quart des localités des îles du Pacifique. Cette comparaison implique que les densités de *T. ananas* à Apataki sont très faibles et loin des niveaux qui pourraient être considérés comme sains ou suffisamment élevés pour justifier la pêche. De plus, *T. ananas* est l'une des sept espèces répertoriées par l'UICN dans la catégorie la plus à risque, « En danger d'extinction » (Conand et al., 2013c) et récemment

inscrite sur l'annexe II de la CITES (Di Simone et al 2023). Les populations de *T. ananas* à Apataki pourraient avoir besoin de 10 ans supplémentaires, voire plus, pour atteindre des niveaux sains permettant la pêche.

Thelenota anax. Semblable à son espèce sœur *T. ananas*, elle a été trouvée à de très faibles densités, en moyenne autour de 1 ind ha⁻¹ au total. Au mieux, la densité moyenne n'était que de 4 ind ha⁻¹ dans les eaux profondes d'Apataki. En comparaison, la densité à Apataki est bien inférieure aux densités moyennes trouvées dans les habitats de terrasse profonde étudiés en Nouvelle-Calédonie, où ils étaient couramment trouvés à des densités supérieures à 10 ind ha⁻¹ (Gilbert et al., 2022). La densité à Apataki est bien inférieure à la densité de référence régionale de la CPS de 20 ind ha⁻¹ constatée dans un quart des localités des îles du Pacifique.

Nous reconnaissons que *T. anax* n'a apparemment pas encore été récolté à Apataki et que les faibles densités actuelles ne peuvent pas être attribuées à une exploitation passée. Néanmoins, la comparaison avec la base de données de la CPS montre que les densités de *T. anax* à Apataki sont comparativement très faibles et loin des niveaux qui pourraient être considérés comme sains ou suffisamment élevés pour justifier la pêche.

Outre le problème des faibles densités, *T. anax* est l'une des espèces de *Thelenota* inscrites à l'Annexe II de la CITES. Cette inscription, entrera en vigueur en mai 2024 (Di Simone et al. 2023). Ainsi, toute pêche proposée de cette espèce pour l'exportation serait soumise à une détermination NDF (*Non Detrimental Funding*) selon laquelle la pêche ne mettrait pas en danger les stocks. Il convient également de noter que *T. anax* est l'une des espèces dont la valeur par kilo de produit est la plus faible, se vendant à seulement 31 \$USD (± 16 \$USD) par kg dans les magasins de Chine continentale (Purcell et al., 2018), et le bénéfice économique de la pêche ne serait pas significatif à moins que de très de gros volumes ne soient présents.

4.2.3. Considérations pour une approche écosystémique de la gestion des pêches

La livre de la FAO sur la gestion des pêcheries avec une approche écosystémique (FAO, 2003) préconise des principes pertinents pour la pêche des holothuries à Apataki. Les principes ne concernent pas seulement les habitats ou les écosystèmes naturels mais également les éléments du système de pêche, y compris les pêcheurs. Un pilier de cette philosophie de gestion est de considérer les implications plus larges de la pêche sur les services écosystémiques fournis par les animaux. Dans le cas présent, cela implique de réfléchir à la manière dont la récolte de différentes espèces d'holothuries à Apataki pourrait avoir un impact sur les systèmes récifaux et sur leur fonctionnement.

On sait que les holothuries jouent un rôle important dans les écosystèmes récifaux (Purcell et al., 2016a). En résumé, ces rôles sont les suivants :

1. agissent comme proie (surtout en tant que juvéniles) pour de nombreuses autres espèces, notamment les poissons,
2. servent d'hôtes aux organismes symbiotiques qui vivent sur ou dans les corps des holothuries,
3. aident à renouveler et à oxygéner les sédiments, les gardant en bonne santé, et
4. recyclent la matière organique fine présente dans les sédiments et rendent les nutriments disponibles pour être à nouveau absorbés par d'autres organismes récifaux, y compris les algues.

À cet égard, les décisions de gestion doivent prendre en compte quelles espèces sont importantes pour le traitement des sédiments et quels habitats bénéficient le plus des différentes espèces.

Les deux espèces de *Bohadschia* (*B. argus* et *B. vitiensis*) sont les seules espèces d'Apataki connues pour s'enfouir régulièrement dans les sédiments (Purcell et al., 2023). Par conséquent, en termes de services rendus au maintien de la santé des sédiments, ces espèces pourraient être considérées comme les plus importantes de toutes les espèces d'holothuries d'Apataki. On sait, d'après de nombreux récits (par des pêcheurs de Papouasie-Nouvelle-Guinée et Fidji), que l'élimination importante de ces espèces qui s'enfouissent conduit au

noircissement (anoxique) des couches de sédiments sous-jacentes (Purcell et *al.*, 2016a). Ce résultat est corroboré par une expérience scientifique portant sur une espèce d'holothurie enfouie, montrant que l'exclusion des holothuries peut entraîner une pénétration de l'oxygène dans les sédiments récifaux moindre que là où les holothuries sont présentes (Lee et *al.*, 2018). Ce rôle dans le renouvellement des sédiments devrait peser en faveur de réglementations plus conservatives pour *B. argus* et *B. vitiensis*.

Sur les crêtes des récifs d'Apataki, *Actinopyga varians* semble être l'un des rares invertébrés qui joue un rôle important dans l'élimination et la libération des sédiments des surfaces des récifs exposés. Un excès de sédiments sur les crêtes des récifs pourrait, par exemple, limiter la capacité des coraux à se déposer sur les surfaces (Birrell et al. 2005; Ricardo et *al.*, 2017). Par conséquent, *A. varians* pourrait jouer un rôle dans le maintien de la qualité de l'habitat sain sur les crêtes des récifs et il convient d'éviter son prélèvement excessif par la pêche.

Les espèces plus grandes sont susceptibles de jouer un rôle dans le recyclage des nutriments et de limiter le développement de tapis cyanobactériens sur les sédiments de différents habitats (Purcell et *al.*, 2016a). Dans certaines localités, comme en Nouvelle-Calédonie, d'autres grands invertébrés tels que les étoiles de mer détritivores (*Protoreaster* spp.) pourraient assurer ce rôle, mais ceux-ci semblent rares à Apataki. Nous avons vu peu d'autres espèces du macrobenthos se nourrissant de dépôts, ce qui signifie qu'il pourrait y avoir peu de redondance fonctionnelle des holothuries (cf. Hoey & Bellwood 2009). En d'autres termes, il semble y avoir peu d'autres espèces à Apataki qui puissent remplacer le rôle des holothuries si elles sont retirées de l'écosystème par la pêche. Sur la base des résultats de distribution en profondeur (Figure 11), *Thelenota ananas* serait importante dans les pentes intérieures du récif entre 3 et 8 m de profondeur, tandis que *Holothuria fuscogilva* et *Thelenota anax* contribueraient à ces rôles écosystémiques dans les eaux plus profondes sur le sable jusqu'à environ 25 m de profondeur. Le point ici est que laisser certains de ces animaux à des densités raisonnables contribuera probablement à sauvegarder une certaine résilience écologique dans le système récifal.

4.2.4. Considérations socio-économiques

Le besoin d'une diversification économique dans un contexte général de hausse des prix est un élément qui doit être pris en compte dans les décisions de gestion. Les pêcheurs font eux-mêmes partie de l'écosystème d'Apataki et leur bien-être devrait donc être une considération dans une approche écosystémique de la gestion des pêches (FAO, 2003). De toute évidence, l'industrie perlière d'Apataki constitue un pilier de l'économie de l'atoll, de sa communauté et des pêcheurs qui, ainsi, ne dépendent pas uniquement de la pêche aux holothuries, qui n'a pas été ouverte depuis 2017.

Les décisions concernant l'ouverture et les niveaux des quotas doivent intégrer pour chaque espèce les avantages financiers pour les pêcheurs et les coûts écologiques liés au retrait des holothuries de l'écosystème. De ce point de vue, les rendements financiers de *H. atra* semblent trop faibles pour justifier la perte de leur rôle écologique pour l'écosystème d'Apataki. En revanche, les rendements économiques de *H. fuscogilva* sont très élevés en termes d'individus et de poids d'animaux retirés de l'écosystème.

On sait que les pêcheurs et les pêcheuses ciblent différentes espèces d'holothuries et ils pêchent dans différents habitats, bien que ces deux comportements se chevauchent entre les deux sexes (Purcell et al. 2016b ; Purcell et *al.*, 2018). Cela signifie que les réglementations sur la pêche peuvent avoir des impacts différents sur les pêcheurs et sur les pêcheuses. Dans le cas d'Apataki, les habitants nous ont dit que les femmes récoltaient également des roris lorsque la pêche était ouverte, mais cela semble limité à *Actinopyga varians*, qu'elles récoltaient à marée basse sur les crêtes des récifs. Les pêcheurs (hommes) pratiquaient la plongée en apnée pour récolter les concombres de mer à des profondeurs modérées et plus profondes. Les réglementations sur les espèces d'eau peu profonde (*A. varians* et *H. atra*) auront un impact sur les pêcheuses

tandis que les réglementations sur les espèces d'eau profonde auront un impact sur les pêcheurs. Si l'exploitation des certains rori est autorisée, une approche inclusive en matière de genre consisterait à autoriser au moins un certain quota pour *H. atra* afin de reconnaître le rôle des femmes dans la pêche.

4.3. Aperçu des mesures de gestion passées et potentielles à Apataki

Fermetures de pêche. La mesure de gestion la plus importante mise en place par la DRM pour la pêcherie d'holothuries à Apataki est la fermeture de la pêcherie depuis 2017. Un autre atout du système polynésien en matière de gestion est celui des comités de gestion locaux qui intègre les parties prenantes locales (pêcheurs, commune et association de protection de la nature) qui répartissent les quotas de l'atoll entre les pêcheurs. Cette forme de cogestion est à maintenir.

Autorisation des pêcheurs. Le système de liste des pêcheurs autorisés à participer à la pêche commerciale à Apataki est une bonne réglementation qui devrait être encouragée à l'avenir. Cette mesure garantit que le quota de l'atoll n'est pas divisé en trop nombreuses petites allocations et que seuls les pêcheurs actifs se voient attribuer une part du quota.

Listes restreintes d'espèces autorisées. La liste restreinte des espèces autorisées est pertinente. Il s'agit d'une mesure favorable aux interdictions de certaines espèces, car elle contribue à empêcher la récolte de nouvelles espèces (Purcell et al., 2014).

Interdiction du pic. L'utilisation d'une tige métallique (« pic ») lestée descendue par une corde pour harponner les holothuries est interdite en Polynésie française. Des pêcheurs ont rapporté que cela était parfois utilisé sur l'atoll d'Apataki pour pouvoir récolter des rori titi blanc à des profondeurs difficiles à atteindre en plongée en apnée. Cela peut endommager les animaux, laisser des trous dans le produit final séché, et signifier que les eaux plus profondes constituent moins un refuge contre la pêche de ces holothuries.

Interdiction de la plongée à l'air comprimé. L'interdiction actuelle d'utiliser des équipements de plongée autonome ou de narguilé pour la collecte des holothuries en Polynésie française est appropriée. L'éloignement d'Apataki d'une chambre de compression destinée au traitement des accidents de plongée présente un grand risque. De plus, il ressort de nos enquêtes que l'essentiel du stock d'holothuries se trouve dans les profondeurs où les pêcheurs expérimentés peuvent plonger en apnée.

Fermetures saisonnières. Le recours à des périodes de fermeture pendant les périodes de reproduction n'a pas de justification logique pour les holothuries (voir Purcell 2010, pages 54-56). En effet, ces animaux ne sont pas significativement plus exposés au prélèvement pendant les périodes de reproduction. Le problème sous-jacent des fermetures saisonnières pendant la saison de reproduction est que les pêcheurs auront tendance à récolter plus intensément avant la fermeture, surtout s'il existe un quota de capture, et il y aura donc moins d'animaux à reproduire pendant la saison de reproduction lorsqu'il y a une fermeture saisonnière que ce qui aurait été le cas s'il n'y avait pas eu de fermeture saisonnière. Des saisons de pêche courtes pourraient être appliquées pour limiter le taux d'exploitation global, mais cela n'a rien à voir avec les saisons de reproduction.

Réserves. Au cours des 4 dernières années, lorsque la pêche aux holothuries était autorisée à Apataki, la pêche était fermée soit dans la moitié nord de l'atoll, soit dans la moitié sud. Cela signifie qu'il n'existait pas de réserves permanentes, ni même à long terme, où les stocks reproducteurs d'animaux pourraient être préservés pour former des groupes denses qui favoriseraient une reproduction très réussie. Au lieu de diviser l'atoll en deux, des réserves permanentes plus petites réparties dans différentes parties de l'atoll pourraient constituer une meilleure stratégie. Les études actuellement en cours à l'IRD sur les courants marins à Apataki permettront de décider d'une bonne conception spatiale des réserves.

La mise en place de 3 à 5 zones permanentes d'interdiction de prélèvement, chacune couvrant quelques kilomètres carrés (plusieurs centaines d'hectares chacune), constitue une solution pour protéger de bonnes

populations reproductrices d'holothuries et permettre l'approvisionnement en larves sur l'ensemble de l'atoll. D'après les connaissances acquises dans le cadre des opérations de terrain, cela devrait inclure quelques réserves permanentes dans les parties sud et ouest de l'atoll et une dans le nord-est. Les réserves devraient s'étendre de la crête du récif jusqu'à environ 1 km dans le lagon de l'atoll. Cela permettrait le développement et/ou le maintien de bonnes populations reproductrices de *H. fuscogilva*, *T. ananas*, *T. anax* et *A. varians*. Compte tenu de la longue durée de vie des holothuries (voir Uthicke et al., 2004 et Purcell et al., 2016c) et du caractère peu fréquent du recrutement (voir Uthicke, 2004), les réserves doivent être permanentes et ne pas être exploitées de manière intermittente.

Quotas. La gestion par quota n'a pas très bien fonctionné pour la plupart des pêcheries d'holothuries du Pacifique en raison de l'incapacité de surveiller les captures en temps opportun et des inégalités dans l'attribution des quotas entre les pêcheurs (Purcell, 2010 ; Purcell et al., 2014 ; Lee et al., 2020). Cependant, cette mesure réglementaire semble avoir été efficace en Polynésie française principalement parce que le quota de l'atoll est fixé par la DRM et qu'il est ensuite réparti et attribué aux pêcheurs par le comité de gestion de l'atoll. L'utilisation des quotas comme outil de gestion clé doit être maintenue avec une attention à porter sur le bon déroulement du processus déclaratif et la formation des pêcheurs à remplir correctement les formulaires de pêche afin que les données soient fiables. En outre, les quotas sont généralement fixés en fonction du poids des animaux (entiers ou éviscérés) dans les pêcheries d'holothuries (Purcell, 2010). De cette manière, la biomasse des animaux extraits de l'atoll peut être suivie dans le temps. Cela est pratiqué dans d'autres pêcheries comme dans le détroit de Torres en Australie (Plaganyi et al., 2019 ; Murphy et al., 2021a) ainsi qu'en Nouvelle-Calédonie, en Papouasie-Nouvelle-Guinée et dans le Queensland en Australie.

Tailles minimales. Les limites de taille minimale légale pour les holothuries séchées et fraîches constituent une réglementation importante. Les intervalles de 5 cm pour les limites de taille conviennent aux pêcheurs, en particulier pour les animaux vivants.

H. fuscogilva : Sur la base des données que nous avons collectées à Apataki sur les longueurs *in situ* et les poids de *H. fuscogilva*, l'équation longueur-poids pour estimer le poids corporel en grammes à partir des longueurs en cm est la suivante : poids = 29,414 * longueur^{0,7744}, où le poids est en grammes et la longueur en cm. Sur la base de cette équation, la taille limite actuelle de 35 cm équivaut à des animaux pesant 2,8 kg de poids corporel total. D'après les données provenant de *H. fuscogilva* transformées en Nouvelle-Calédonie (Laplante et al., in prep) cette longueur de corps frais correspondrait à un poids corporel séché de 15 cm. La limite actuelle de taille minimale séchée de 15 cm semble donc appropriée.

T. ananas : La limite de taille minimale séchée semble raisonnable. La limite de taille pour les animaux vivants de 45 cm doit être conservatrice et correspond à la limite de taille minimale en Nouvelle-Calédonie (Gilbert et al., 2022). Les animaux peuvent atteindre une longueur corporelle beaucoup plus grande (voir Purcell et al., 2016c ; Gilbert et al., 2022). La seule étude sur sa taille à maturité vient de Nouvelle-Calédonie (Conand 1989), où la moitié de la population commençait à devenir mature à 30 cm de longueur corporelle.

A. varians : Les limites de taille pour les animaux vivants et séchés semblent trop petites par rapport à sa taille à première maturité (22 cm ; Conand 1989). Dans la Province Sud et la Province des Îles de Nouvelle-Calédonie, la taille minimale légale est de 25 cm pour les animaux frais. Il s'agirait d'une limite de taille minimale plus appropriée pour la Polynésie française car cela signifierait qu'au moins la moitié de la population aurait dû atteindre la maturité et avoir eu une saison pour frayer avant de pouvoir être capturée (Purcell, 2010). Cela correspondrait à une longueur séchée de 10,7 cm (Ram et al., 2016), donc une limite de taille séchée appropriée pourrait être d'environ 11 cm.

B. argus : La limite de taille actuelle (40 cm) est légèrement supérieure à la taille moyenne constatée en Nouvelle-Calédonie (30 cm - Gilbert et al., 2022) et supérieure aux longueurs corporelles moyennes des

animaux mesurés lors des prospections à Apataki. Ainsi, si cette espèce était capturée, les pêcheurs pourraient légalement collecter environ la moitié des animaux rencontrés (Figure 14). La limite de taille séchée correspond bien à la taille légale vivante, selon un taux de conversion de l'Observatoire des Pêches de Nouvelle-Calédonie (Laplante et *al.*, in prep).

H. atra : Une limite de taille minimale légale devrait être fixée pour *Holothuria atra* si la récolte de cette espèce pour la pêche commerciale devenait autorisée. Comme indiqué précédemment, cela pourrait être de 20 cm ou 25 cm pour les animaux frais et de 10 cm pour les produits séchés. Il n'y avait qu'un faible pourcentage d'individus à Apataki qui avaient au moins cette longueur fraîche (Figure 14).

4.4. Recommandations opérationnelles pour la gestion des stocks

Les sections ci-dessus abordent les multiples dimensions à prendre en compte dans les décisions d'autoriser ou non la pêche de certaines espèces à Apataki. Le Tableau 8 résume cinq dimensions de chaque espèce à Apataki : valeur économique, vulnérabilité à l'extinction, redondance fonctionnelle, densités actuelles et fréquences de taille. Idéalement, la pêche serait autorisée pour les espèces ayant obtenu un score positif (tiques) pour la totalité ou la plupart des dimensions. La plupart des attributs négatifs (croix) pour une espèce suggèrent qu'il n'est peut-être pas conseillé d'autoriser la pêche de cette espèce.

Tableau 7 : Avantages et inconvénients d'autoriser la pêche de différentes espèces d'holothuries à Apataki. Les tiques désignent des aspects positifs en faveur de l'autorisation de la pêche ; les croix dénotent des aspects négatifs contre l'autorisation de la pêche.

Espèces	Valeur économique	Vulnérabilité d'extinction	Redondance fonctionnelle	Densité actuelle	Fréquence de taille
<i>Actinopyga varians</i>	✓	✗	✗✗	✗	✗
<i>Bohadschia argus</i>	✓	✓	✗✗	✗	✓
<i>Bohadschia vitiensis</i>	✓	✓	✗	✗✗	-
<i>Holothuria atra</i>	✗✗	✓✓	✗✗	✓✓	✗
<i>Holothuria fuscogilva</i>	✓✓	✗✗	✓	✓	✓✓
<i>Thelenota ananas</i>	✓✓	✗✗	✗	✗✗	-
<i>Thelenota anax</i>	✗	✗✗	✓	✗✗	-

Les notations pour certaines dimensions reposent sur un certain degré d'interprétation, mais devraient globalement contribuer à orienter les futures décisions de gestion. Sur la base de nos évaluations dans les cinq dimensions, seuls *H. atra* et *H. fuscogilva* sont des candidats appropriés pour la pêche et l'autorisation d'un quota de capture pour le moment. Cette recommandation est externe et indépendante des exigences relatives à une analyse d'avis de commerce non préjudiciable (ACNP) dans le cas de *H. fuscogilva*.

La pêche de *T. ananas* et de *T. anax* à ce stade à Apataki mettrait gravement en danger la persistance et la productivité à long terme de ces espèces. Compte tenu de leurs faibles densités et de l'inscription récente de ces espèces à l'Annexe II de la CITES, nous recommandons que des enquêtes de suivi des populations soient menées dans 10 ans pour voir si les populations ont augmenté jusqu'aux densités de référence régionales de la CPS.

Les densités actuelles de *B. argus* et de *B. vitiensis* à Apataki ne donnent pas confiance dans la durabilité future de ces ressources si la pêche était autorisée aujourd'hui. En ce qui concerne les espèces ci-dessus, nous recommandons également que des enquêtes de suivi des populations soient menées dans 10 ans pour voir si les populations ont augmenté jusqu'aux densités de référence régionales de la CPS.

Compte tenu des densités relativement faibles d'*A. varians* et de leurs petites tailles, il semble trop tôt pour autoriser un quota pour cette espèce. La population pourrait encore se remettre de la pêche passée. Nous

recommandons que des enquêtes de suivi des populations soient menées dans 5 ans pour voir si les densités et la taille moyenne des animaux ont augmenté dans une mesure qui pourrait justifier un quota de pêche.

Certaines modifications des limites de taille minimale actuelles pourraient être envisagées :

- Augmenter la longueur minimale vivante de *A. varians* à 25 cm.
- Si la pêche de *H. atra* est autorisée, établir une limite de taille minimale pour les produits frais et séchés.

Envisager de supprimer les fermetures saisonnières à titre de mesure réglementaire, puisque les animaux ne sont pas plus accessibles ou visibles pour les pêcheurs pendant la saison de frai (Purcell, 2010).

Planifier et établir 3 à 5 zones permanentes d'interdiction de pêche à différents endroits de l'atoll, chacune couvrant quelques kilomètres carrés. Cela devrait en inclure quelques-uns dans les sections sud, ouest et nord-est et les réserves devraient s'étendre de la crête du récif jusqu'à environ 1 km dans le lagon de l'atoll.

Une stratégie de gestion adaptative

En l'absence d'évaluation annuelles de l'état de santé des stocks, qui ne sont pas réalistes à effectuer, la DRM doit mettre en place des indicateurs clés de la santé des stocks pour les espèces dont elle autoriserait la pêche. Plusieurs indicateurs sont proposés dans un rapport de Plaganyi et *al.*, (2019). Aussi comme mentionné au chapitre - , nous suggérons d'utiliser les captures par unité d'effort (CPUE) comme indicateur principal et proxy des densités des stocks. Il existe toutefois certaines limites bien connues de l'utilisation des captures par unité d'effort, notamment le fait que la CPUE peut sembler stable du fait du déplacement des pêcheurs d'une zone à une autre, épuisant séquentiellement les stocks. Ceci est connu dans la littérature sur la pêche sous le nom d'hyperstabilité. Une certaine prudence s'impose donc.

Comme précisé au chapitre 4.1.1, le carnet de pêche dans sa forme actuelle pourrait bénéficier d'une mise à jour afin de calculer des CPUE en intégrant un aspect spatial, une durée de la sortie ainsi qu'un nombre de pêcheurs. A cet effet et pour maximiser la bonne utilisation des carnets déclaratifs, il pourrait être réalisé « un guide opérationnel de bonne déclaration ».

Des valeurs de CPUE/unité géographique stables d'une année à l'autre indiqueraient que la pression de pêche actuelle est soutenable et pourraient être utilisées pour satisfaire à l'approbation continue des ACNP pour la pêche de *H. fuscogilva*. Un autre indicateur de la santé des stocks serait la taille moyenne des animaux capturés (Plaganyi et *al.*, 2019). Ces données peuvent être difficiles à obtenir pour les animaux frais, mais pourraient être facilement estimées en mesurant les animaux séchés provenant des expéditions d'Apataki.

Il est préférable que le système de gestion s'adapte aux changements dans les indicateurs de santé des stocks. Les stratégies de capture dans certaines autres pêcheries, comme celle des holothuries du détroit de Torres (Plaganyi et *al.*, 2019), utilisent des règles de contrôle décisionnel qui dictent la manière dont la pêche sera modifiée dans les années à venir, sur la base des données des indicateurs.

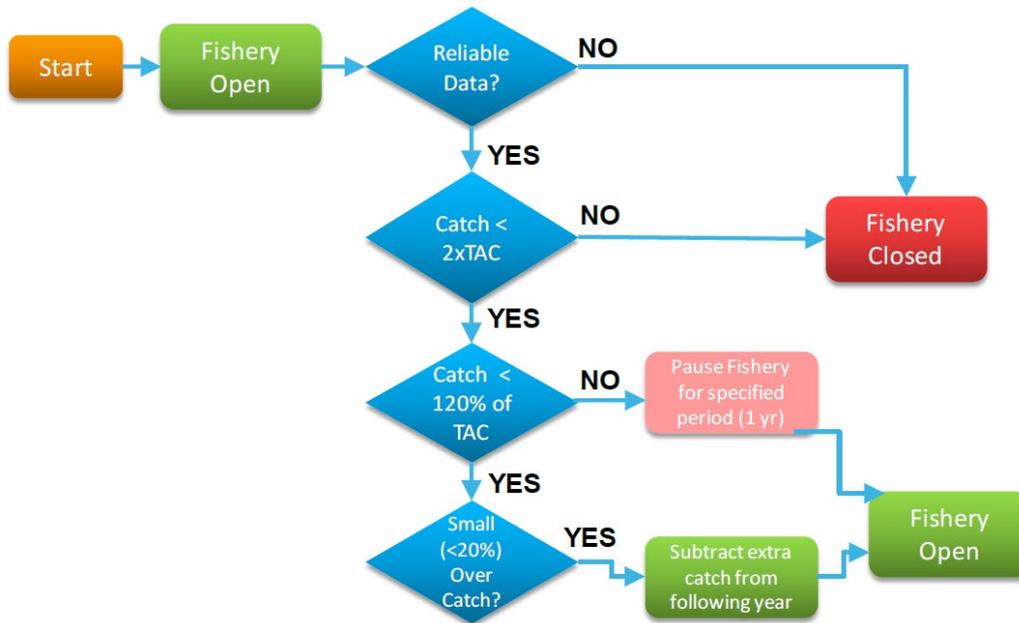


Figure 21 : Exemple de règles de contrôle décisionnel basées sur les captures pour une stratégie de récolte d'holothuries. Source : Plaganyi et al., 2019

Les règles de contrôle et les décisions associées sont préétablies et doivent permettre l'ajustement des quotas (et d'autres règles) sur un cycle de co-gestion annuel intégrant l'ensemble des acteurs. Par exemple, les règles doivent déterminer quels changements seront apportés au quota de l'année suivante si les quotas de l'année en cours sont dépassés ou si les CPUE diminuent jusqu'à un certain niveau (Figure 21).

5 Bilan et perspectives

La méthodologie mise en place en Nouvelle-Calédonie dans le cadre du programme PROTEGE et appliquée avec la DRM en Polynésie française représente une approche simple, optimisée et rigoureuse pour la collecte d'informations normalisées sur les populations d'holothuries. Elle a été déployée dans le cadre de l'évaluation de l'état des stocks d'holothuries de l'atoll d'Apataki.

Un total de 7 espèces constitué par un cortège de 4 espèces commerciales réglementées (*Actinopyga varians*, *Bohadschia argus*, *Thelenota ananas* et *Holothuria fuscogilva*) et de trois autres espèces réglementées pour l'autoconsommation (*Holothuria atra*, *Bohadschia vitiensis* et *Thelenota anax*) a été observé et échantillonné. Malgré un échantillonnage significatif, aucune preuve de la présence de l'espèce rori titi noir *Holothuria whitmaei* n'a été trouvée. Cette absence de confirmation contraste avec les rapports antérieurs qui mentionnaient cette espèce comme faisant partie des captures de la pêcherie d'Apataki, une contradiction qui pourrait s'expliquer par une mauvaise identification de variantes de couleur brun foncé du rori titi blanc par les pêcheurs.

Les estimations de stocks ont ainsi été calculées pour l'ensemble des espèces échantillonnées, même si pour les espèces moins abondantes, comme *Thelenota ananas* et *Thelenota anax*, elles peuvent avoir une pertinence limitée. Le lagon profond (z moyen > 24 m), qui constitue environ 600 km² des 700 km² de surface utile aux stocks, a été exploré mais reste faiblement échantillonné. L'absence de levés bathymétrique sur les 2/3 du lagon ne permet pas un sous-découpage du lagon profond par classe de profondeur. En attendant, ce stock réservoir pourrait représenter jusqu'à 50 % de la biomasse totale toutes espèces confondues. Les données collectées montrent que 4 espèces y sont observées avec 2 espèces prépondérantes : *Bohadschia argus* et *Holothuria fuscogilva*. Aussi les estimations pour cette classe demeurent essentiellement indicatives en raison de leur manque de représentativité. En excluant la classe du lagon profond, l'estimation du stock accessible à la pêche s'élève à 3 168 tonnes⁵, toutes espèces confondues. Dans cette configuration, les trois principales espèces représentent plus de 95% de la biomasse totale de l'atoll, dans l'ordre décroissant : H.atr (77% - 2452 t [1 656 ; 3 279]) > H.gil (11% - 359 t [199 ; 518]) > B.arg (7% - 226 t [153 ; 300]). Les quatre autres espèces cumulent moins de 5% : B.vit (1% - 44 t [11 ; 78]) > T.ana (1% - 35 t [11 ; 63]) > T.anx (1% - 30 t [2 ; 59]) > A.var (1% - 22 t [16 ; 28]).

En considérant une approche halieutique combinant valeur économique, vulnérabilité à l'extinction, redondance fonctionnelle, densités actuelles et fréquences de taille des espèces échantillonnées, seules deux espèces présentent un potentiel d'exploitation : *Holothuria fuscogilva* et *Holothuria atra*. La déclinaison des estimations de stocks en quotas est détaillée dans le document, suivant certaines hypothèses associées à des recommandations pour améliorer et renforcer le système de gestion actuel en place de Polynésie française. Ainsi, le présent document suggère notamment une mise à jour des tailles réglementaires (*Actinopyga varians* *Holothuria atra*), la mise en place de réserves permanentes comme outil de gestion complémentaire ainsi qu'une adaptation du carnet de pêche nécessaire à la mise en place d'un suivi optimisé des CPUE. En l'absence d'évaluations annuelles de l'état de santé des stocks, campagnes qui s'avèrent peu réalistes, le suivi des CPUE constitue un indicateur clé pour surveiller la santé des stocks. En appui à cet axe de gestion, et à l'instar des actions menées par l'IRD aux Seychelles, une étude technique de la relation entre les CPUE et l'abondance des holothuries par pêche expérimentale permettrait de calibrer cet indicateur et d'engager une dynamique avec les pêcheurs. Enfin, dans le contexte d'une co-gestion renforcée avec le Comité de gestion locale, il semble intéressant de mener une réflexion sur le concept d'une gestion adaptative qui pourrait s'intégrer relativement facilement dans le système de gestion actuel.

⁵ EPE équivalent poids entier frais

Le rapport aborde également certaines perspectives quant aux méthodologies pour l'échantillonnage des lagons profonds qui pour des raisons budgétaires et des priorités d'étude dans la zone exploitée (0-25m) n'a pas été échantillonnée avec un ROV. Les données collectées au niveau des holothuries à mamelles blanches en plongée montrent que les densités dans la classe de lagon profond sont plus faibles que sur le lagon moyen avec une distribution bathymétrique similaire à celle rencontrée en Nouvelle-Calédonie (Gilbert et *al.*, 2022). L'échantillonnage au-delà des profondeurs de la présente étude permettrait de confirmer la tendance constatée et de mieux caractériser le stock réservoir. Les perspectives d'automatisation dans le traitement des données vidéo/photo par intelligence artificielle avec une acquisition utilisant différents vecteurs (ROV/AUV) constitue un enjeu et devrait permettre d'offrir *in fine* une méthodologie d'acquisition et de traitement des données pour les suivis avec un coût optimisé pour les milieux profonds comme pour ceux réalisés aujourd'hui par des plongeurs.

Enfin, l'analyse de l'effet de certains facteurs (perliculture et lune notamment) sur les populations d'holothuries montrent que ces questions doivent être abordées différemment. En effet, les analyses conduites parallèlement aux évaluations des stocks ne permettent pas de conclure à la présence ou non d'un effet, probablement du fait de la faible puissance de l'échantillonnage. La mise en place d'un plan d'expérience avec des facteurs plus contrôlés, une plus grande réplique intégrant une analyse au niveau individuelle constituent des perspectives à considérer pour mieux aborder ces effets. Cette approche est aujourd'hui possible du fait d'une maîtrise de l'aquaculture de l'espèce par Tahiti Marine Products ainsi que du possible profilage individuel par photo-interprétation (Hammond & Purcell., 2023).

Références

- Aumeeruddy, R., Skewes, T., Dorizo, J., Carocci, F., Coeur de Lion, Harris, F., A. Henriette, C. y M. Cedras. 2005. Resource assessment and management of the Seychelles sea cucumber fishery. Report for FAO Project No. TCP/SEY/2902. Seychelles Fishing Authority, Seychelles, 37 pp.
- Birrell, C.L., McCook, L.J. and Willis, B.L., 2005. Effects of algal turfs and sediment on coral settlement. *Marine Pollution Bulletin* 51(1-4): 408-414.
- Christie, Alec P., et al., 2019. Simple study designs in ecology produce inaccurate estimates of biodiversity responses. *Journal of Applied Ecology* 56.12 (2019): 2742-2754.
- Conand, C., 1996. Asexual reproduction by fission in *Holothuria atra*: variability of some parameters in populations from the tropical Indo-Pacific. *Oceanologica Acta* 19(3-4): 209-216.
- Conand, C., Purcell, S. & Gamboa, R. 2013a. *Actinopyga mauritiana*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013: e.T180337A1616879. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T180337A1616879.en>. Accessed on 30 August 2023.
- Conand, C., Purcell, S. & Gamboa, R. 2013b. *Holothuria fuscogilva*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013: e.T200715A2681354. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T200715A2681354.en>. Accessed on 30 August 2023.
- Conand, C., Gamboa, R. & Purcell, S. 2013c. *Thelenota ananas*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013: e.T180481A1636021. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T180481A1636021.en>. Accessed on 30 August 2023.
- Di Simone, M., Horellou, A. and Conand, C., 2021. The listing of three sea cucumber species in CITES Appendix II enters into force. SPC Beche-de-mer Information Bulletin 41: 3-4.
- Di Simone, M., Horellou, A. and Conand, C., 2023. Inscription de trois nouvelles espèces d'holothuries à l'Annexe II de la CITES. SPC Beche-de-mer Information Bulletin 43: 20–22.
- Eriksson, H., Friedman, K., Amos, M., Bertram, I., Pakoa, K., Fisher, R. and Andrew, N., 2018. Geography limits island small-scale fishery production. *Fish and Fisheries* 19(2): 308-320.
- FAO (2003) Fisheries Management: The Ecosystem Approach to Fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 4, Suppl. 2. Rome, FAO. 112 p.
- Gilbert, A., Georget, S., Guillemot, N., Ton, C., Léopold, M., Purcell, S., Van Wynsberge, S., Andréfouët, S. (2022) État des lieux des stocks d'holothuries commerciales en Nouvelle-Calédonie (2021-2022) : Rapport détaillé des résultats. Rapport ADECAL Technopole – Projet PROTEGE, 65 pages + annexes 178 pages
- Hammond, A.R., Meyers, L., Purcell, S.W., 2020. Not so sluggish: movement and sediment turnover of the world's heaviest holothuroid, *Thelenota anax*. *Mar Biol* 167, 60.
- Hammond, A.R., Purcell, S.W. (2023) Limited long-term movement and slow growth of the sea cucumber *Pearsonothuria graeffei*. *Marine Ecology Progress Series* 704: 1–14
- Hoey, A.S. and Bellwood, D.R., 2009. Limited functional redundancy in a high diversity system: single species dominates key ecological process on coral reefs. *Ecosystems*, 12, pp.1316-1328.
- Kronen, M., Friedman, K., Pinca, S., Chapman, L., Awiva, R., Pakoa, K., Vigliola, L., Boblin, P., Magron, F. (2008). French Polynesia country report: Profiles and results from survey work at Fakarava, Maatea, Mataiea, Raivavae and Tikehau (September – October 2003, January – March 2004, April – June 2006). SPC, Noumea.
- Laplante, JF, Dziegala, LC, Chavance P. Gislard, S. Mise à jour des ratios de transformation et des tailles à maturité sexuelle d'holothuries commerciales en Nouvelle-Calédonie, OPC, en rédaction.
- Lee, S., Ford, A.K., Mangubhai, S., Wild, C. and Ferse, S.C., 2018. Effects of sandfish (*Holothuria scabra*) removal on shallow-water sediments in Fiji. *PeerJ*, 6, p.e4773.
- Lee, S., Govan, H., Bertram, I., Kinch, J. 2020. A comparison of sea cucumber fishery management plans, and

- implications for governance in Pacific Island countries. SPC Fisheries Newsletter 161: 34–39
- Léopold, M., Cornuet, N., Andréfouët, S., Moenteapo, Z., Duvauchelle, C., Raubani, J., Ham, J., & Dumas, P. 2013. Comanaging small-scale sea cucumber fisheries in New Caledonia and Vanuatu using stock biomass estimates to set spatial catch quotas. *Environmental Conservation*, 40(4), 367–379.
- Murphy, N., Plaganyi, E., Edgar, S., Salee, K. and Skewes, T., 2021a. Stock survey of sea cucumbers in East Torres Strait. AFMA Project 2019/0826. Final report. May 2021. CSIRO Australia.
- Murphy, N.E., Skewes, T.D. and Plagányi, É.E., 2021b. Updated conversion ratios for Beche-de-mer species in Torres Strait, Australia. SPC Beche-de-mer Information Bulletin 41: 5-7.
- Ngaluafe, P., Lee, J. 2013. Change in weight of sea cucumbers during processing: Ten common commercial species in Tonga. SPC Beche-de-mer Information Bulletin 33: 3-8.
- NC Halieutik. (2015). La première maturité sexuelle des holothuries : Données existantes et méthodologie pour la mise en place d' une étude (p. 24). Province Nord.
- Pakoa, K., Saladrau, W., Lalavanua, W., Valotu, D., Tuinasavusavu, I., Sharp, M., Bertram, I. (2013) The status of sea cucumber resources and fisheries management in Fiji. Secretariat of the Pacific Community, Noumea. 62 p.
- Pakoa, K., Friedman, K., Moore, B., Tardy, E. and Bertram, I., 2014. *Assessing tropical marine invertebrates: A manual for Pacific Island resource managers*. Noumea, NC: Secretariat of the Pacific Community.
- Plagányi, É., Murphy, N., Skewes, T., Fischer, M., Dutra, L., Dowling, N., Miller, M. (2019) Harvest Strategies for the Torres Strait Bêche-de-mer (sea cucumber) Fishery. AFMA Project 2016/0823. June 2019 Draft Final Report.
- Purcell, S.W. (2010) Managing sea cucumber fisheries with an ecosystem approach. Edited by Lovatelli, A., Vasconcellos, M. and Y. Yimin. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 520. FAO, Rome. 157 p.
- Purcell S.W., Gossuin H., Agudo N.S. (2009) Status and management of the sea cucumber fishery of La Grande Terre, New Caledonia. WorldFish Center Studies and Review N° 1901. The WorldFish Center, Penang, Malaysia. 136 p
- Purcell, S.W., Mercier, A., Conand, C., Hamel, J.-F., Lovatelli, A., Toral-Granda, V., Uthicke, S., (2013) Sea cucumber fisheries: global analysis of stocks, management measures and drivers of overfishing. *Fish and Fisheries* 14: 34–59
- Purcell, S.W., Lovatelli, A., Pakoa, K. (2014) Constraints and solutions to managing Pacific Island sea cucumber fisheries with an ecosystem approach. *Marine Policy* 45: 240-250
- Purcell, S.W., Conand, C., Uthicke, S. and Byrne, M., 2016a. Ecological roles of exploited sea cucumbers. In *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 54: 367-386.
- Purcell, S.W., Ngaluafe, P., Aram, K.T., Lalavanua, W. 2016b. Trends in small-scale artisanal fishing of sea cucumbers in Oceania. *Fisheries Research* 183: 99–110
- Purcell, S.W., Piddocke, T.P., Dalton, S.J., Wang, Y.-G. (2016c) Movement and growth of the coral reef holothuroids *Bohadschia argus* and *Thelenota ananas*. *Marine Ecology Progress Series* 551: 201-214
- Purcell, S.W., Williamson, D.H. and Ngaluafe, P., 2018. Chinese market prices of beche-de-mer: Implications for fisheries and aquaculture. *Marine Policy* 91: 58-65.
- Purcell, S.W., Lovatelli, A., González-Wangüemert, M., Solís-Marín, F.A., Samyn, Y. and Conand, C., 2023. *Commercially Important Sea Cucumbers of the World 2nd Edition*. FAO, Rome.
- QGIS Development Team. (2023). QGIS Geographic Information System (QGIS 3.28.3-Firenze) [Computer software]. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Ram, R., Chand, R.V., Zeng, C. and Southgate, P.C., 2016. Recovery rates for eight commercial sea cucumber species from the Fiji Islands. *Regional Studies in Marine Science* 8: 59-64.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

- Ricardo, G.F., Jones, R.J., Nordborg, M. and Negri, A.P., 2017. Settlement patterns of the coral *Acropora millepora* on sediment-laden surfaces. *Science of the Total Environment* 609: 277-288.
- Rosser, A., Haywood, M., 2002. Guidance for CITES Scientific Authorities: Checklist to assist in making non-detriment findings for Appendix II exports. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Xi + 146 p.
- Skewes, T., Murphy, N., McLeod, I., Dovers, E., Burridge, C. and Rochester, W., 2010. Torres Strait hand collectables, 2009 survey: Sea cucumber. Cleveland, QLD: CSIRO.
- Stein, A., 2018. Development and application of sea cucumber fishery regulations in French Polynesia. *SPC Fisheries Newsletter* 157: 40-59.
- Tabunakawai-Vakalalabure, M., Kuridrani, N., Lalavanua, W., Mangubhai, S., Bertram, I. (2017) Pre-export sizes of bêche-de-mer in Fiji. In S. Mangubhai, W. Lalavanua and S.W. Purcell (eds.). *Fiji's Sea Cucumber Fishery: Advances in Science for Improved Management*. Wildlife Conservation Society. Report No. 01/17. Suva, Fiji. pp. 38–46.
- Williamson, J.E., Duce, S., Joyce, K.E. and Raoult, V., 2021. Putting sea cucumbers on the map: projected holothurian bioturbation rates on a coral reef scale. *Coral Reefs*, 40 : 559-569.
- Uthicke, S., 1999. Sediment bioturbation and impact of feeding activity of *Holothuria (Halodeima) atra* and *Stichopus chloronotus*, two sediment feeding holothurians, at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Bulletin of Marine Science* 64(1): 129-141.
- Uthicke, S., 2001. Influence of asexual reproduction on the structure and dynamics of *Holothuria (Halodeima) atra* and *Stichopus chloronotus* populations of the Great Barrier Reef. *Marine and Freshwater Research* 52(2): 205-215.
- Uthicke, S., 2004. Overfishing of holothurians: lessons from the Great Barrier Reef. In: Lovatelli A., C. Conand, S. Purcell, S. Uthicke, J.-F. Hamel and A. Mercier (Eds.). *Advances in sea cucumber aquaculture and management*. FAO Fisheries Technical Paper No. 463. FAO, Rome
- Uthicke, S., Welch, D. and Benzie, J.A.H., 2004. Slow growth and lack of recovery in overfished holothurians on the Great Barrier Reef: evidence from DNA fingerprints and repeated large-scale surveys. *Conservation Biology* 18(5) : pp.1395-1404.

Table des Figures

Figure 1 : Carte de l'atoll d'Apataki.	10
Figure 2: Photos des 8 espèces d'holothuries d'intérêt considérées dans l'étude et leurs abréviations.	13
Figure 3: Photo illustrant la mesure in situ de la longueur d'un individu de <i>Holothuria fuscogilva</i>	14
Figure 4 : Schéma bilan de la méthodologie utilisée pour calculer les stocks d'holothurie sur l'atoll d'Apataki	20
Figure 5 : Présentation de l'agencement d'une fiche bilan pour une espèce.....	21
Figure 6 : Illustration du produit cartographique de 22 classes.....	23
Figure 7 : Bilan de l'échantillonnage réalisé sur APATAKI par habitat : Superficie de la classe en ha (bas) ; Nombre de transects (milieu) et Effort d'échantillonnage en nombre de transects/km ² (haut).	24
Figure 8 : Diagramme boîte à moustache des profondeurs par habitat (haut). Bilan des profondeurs mesurées (m) in situ pour chacune des 12 classes utiles : moyenne (Moy), écart-type (sd), médiane (Med), minimum (Min), maximum (Max) , nombre de mesures (n) (bas).	25
Figure 9 : Carte des densités déclarées issues de l'enquête des 6 pêcheur (gauche) et des abondances observées sur l'ensemble de la mission (droite).....	26
Figure 10 : Densité moyenne pondérée par les habitats utiles sur l'ensemble de l'atoll en ind/ha. se : standard error ou erreur standard.	27
Figure 11 : Profondeur de présence (m) des 7 espèces échantillonnées.....	28
Figure 12 : Densité moyenne associée à l'intervalle de confiance par classe d'habitat par espèce. La ligne pointillé noir indique le niveau de référence proposé par la CPS.....	29
Figure 13 : Taille (Longueur en cm) moyenne (in situ) par classe d'habitat avec une illustration de la géomorphologie. Trait rouge = Taille à maturité. Trait bleu=Taille réglementaire.	31
Figure 14 : Fréquence en taille pour les 4 espèces d'holothuries avec un échantillonnage suffisant à l'échelle de l'ensemble de l'atoll. La ligne verticale noire représente la taille moyenne, la ligne verticale rouge représente la taille à 50% de maturité, la ligne verticale verte représente la taille réglementaire lorsqu'elle existe en Polynésie française.....	32
Figure 15 : Bilan des surfaces utiles (ha), Btot biomasse totale en tonnes (poids total entier), Bexp biomasse exploitable en tonnes (poids total entier) et Bref biomasse de référence en tonnes (poids total entier). A- Gauche le bilan intègre la classe d'habitat du lagon profond. B - Droite le bilan exclu cette zone sous échantillonnée.....	33
Figure 16: Carte des transects échantillonnés pour l'analyse de l'effet de la perliculture.	35
Figure 17 : Carte des transects échantillonnés pour l'analyse de l'effet de la lune.	36
Figure 18 : Carnet de pêche d'holothurie mis en place par la DRM.....	37
Figure 19 : Exemple de détection identification par machine Learning issue des 1er algorithmes calibrés par la CPS.....	38
Figure 20 : Un rori titi blanc, <i>Holothuria fuscogilva</i> , totalement brun trouvé enregistré sur l'atoll d'Apataki au cours de cette étude. Photo : S Purcell.	40
Figure 21 : Exemple de règles de contrôle décisionnel basées sur les captures pour une stratégie de récolte d'holothuries. Source : Plaganyi et al. 2019.....	52

Figure 22 : Richesse spécifique moyenne des espèces d’holothuries par transect sur les 61 transects échantillonnés pour l’étude de l’effet de la perliculture, répartis par façade et influence perlicole. ET : Erreur-Type. 61

Figure 23 : Densité moyenne des espèces d’holothuries observées sur les 61 transects échantillonnés pour l’étude de l’effet de la perliculture, répartis par façade et influence perlicole. ET : Erreur-Type. 62

Figure 24 : Poids moyen des espèces d’holothuries échantillonnées sur les 61 transects échantillonnés pour l’étude de l’effet de la perliculture, répartis par façade et influence perlicole. Le nombre de mesures relevées pour calculer le poids est indiqué. ET : Erreur-Type..... 63

Figure 25 : Richesse spécifique moyenne de l’ensemble des transects sur l’atoll d’Apataki, toutes espèces d’intérêt confondues, en fonction du nombre de pêcheurs maximal toutes espèces autorisées confondues et reporté à l’emplacement de chaque transect. ET : Erreur-Type..... 64

Figure 26 : Densité moyenne par espèce autorisée observée de l’ensemble des transects sur l’atoll d’Apataki en fonction du nombre de pêcheurs de l’espèce reportée à l’emplacement de chaque transect. Le nombre de transects répertoriant l’espèce et associé au nombre de pêcheurs est indiqué. ET : Erreur-Type 65

Figure 27 : Poids moyen par espèce autorisée observée sur l’ensemble des transects de l’atoll d’Apataki, en fonction du nombre de pêcheurs de l’espèce reportée à l’emplacement de chaque transect. Le nombre de mesures relevées pour calculer le poids est indiqué. ET : Erreur-Type..... 66

Figure 28 : Densité moyenne des espèces d’holothuries observées sur les 61 transects échantillonnés pour l’étude de l’effet de la lune, répartis par façade et phase lunaire. Le nombre de mesures relevées pour calculer le poids est indiqué. ET : Erreur-Type..... 68

Figure 29 : Poids moyen des espèces d’holothuries observées sur les 61 transects échantillonnés pour l’étude de l’effet de la lune, répartis par façade et phase lunaire. ET : Erreur-Type. 69

6 Annexe(s)

Annexe 1 : Equations utilisées pour le calcul du poids à partir des relations taille-poids de la littérature scientifique

Actinopyga varians

$$W_f = 1.161 * \left(\pi * \frac{L_f}{2} * \frac{l_f}{2} \right)^{1.2852} \quad (1)$$

Bohadschia argus

$$W_f = 0.1709 * \left(\pi * \frac{L_f}{2} * \frac{l_f}{2} \right)^{1.6458} \quad (2)$$

Holothuria atra

$$W_f = .0036 * (L_f * 10)^{2.13} \quad (3)$$

Holothurie fuscogilva

$$W_f = 29.414 * \left(\pi * \frac{L_f}{2} * \frac{l_f}{2} \right)^{0.7744} \quad (4)$$

Thelenota ananas

$$W_f = 19.161 * \left(\pi * \frac{L_f}{2} * \frac{l_f}{2} \right)^{0.848} \quad (5)$$

Thelenota anax

$$W_f = 0.021 * \left(\pi * \frac{L_f}{2} * \frac{l_f}{2} \right)^{0.820} \times 1000 \quad (6)$$

Annexe 2 : Résultats statistiques et graphiques de l'analyse de l'effet de la perliculture.

Tableau 8: Abondance cumulée des espèces par modalité issue des 61 transects utilisés pour l'analyse de l'effet de la perliculture

	H.gil	B.arg	B.vit	T.anx
Sous influence – façade Ouest	0	5	0	1
Sous influence – façade Est	2	0	0	0
Hors influence – façade Ouest	1	4	0	0
Hors influence – façade Est	1	0	1	0

Tableau 9 : p-value des analyses de variance par permutation sur le test de l'effet de la perliculture (sous influence / hors influence) et la façade (Ouest, Est) ainsi que leur interaction sur la densité, la richesse spécifique et le poids des holothuries sur les 61 transects considérés pour cette analyse. Le test est mené toute espèce confondues (présentes sur les transects) pour la richesse spécifique, par

espèce et toutes espèces pour la densité et le poids lorsque la donnée le permet. L'effet est considéré significatif si la p-value est en dessous de 0.05 et marqué d'un astérisque.

Variable	Facteur	H.gil	A.var	B.arg	B.vit	T.a-	T.anx	H.atr	Toute espèce présentes
Richesse Spécifique	Perliculture	-	-	-	-	-	-	-	0.92
	Façade	-	-	-	-	-	-	-	0.15
	Interaction. P-F	-	-	-	-	-	-	-	0.48
Densité	Perliculture	0.90	-	0.33	0.15	-	0.62	-	1.00
	Façade	0.78	-	< 0,001*	0.15	-	0.62	-	0.88
	Interaction. P-F	0.98	-	0.38	0.15	-	0.62	-	0.10
Poids	Perliculture	-	-	-	-	-	-	-	-

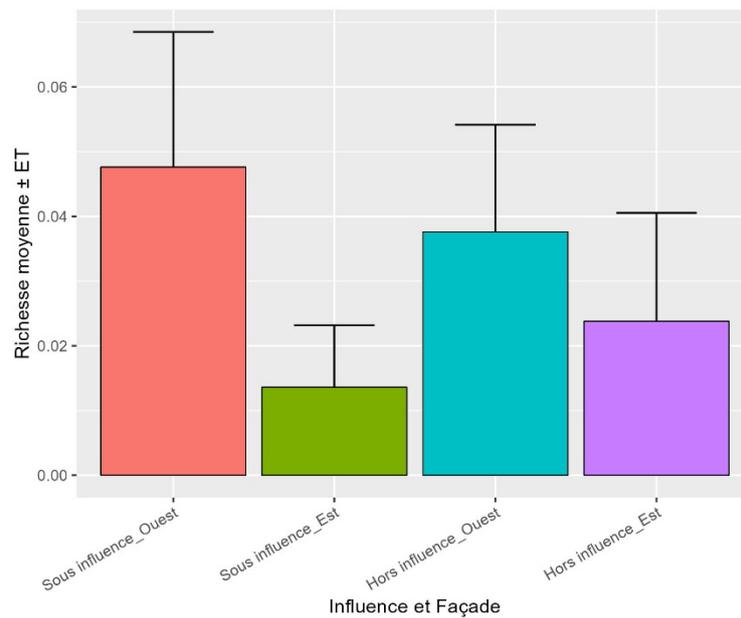


Figure 22 : Richesse spécifique moyenne des espèces d'holothuries par transect sur les 61 transects échantillonnés pour l'étude de l'effet de la perliculture, répartis par façade et influence perlicole. ET : Erreur-Type.

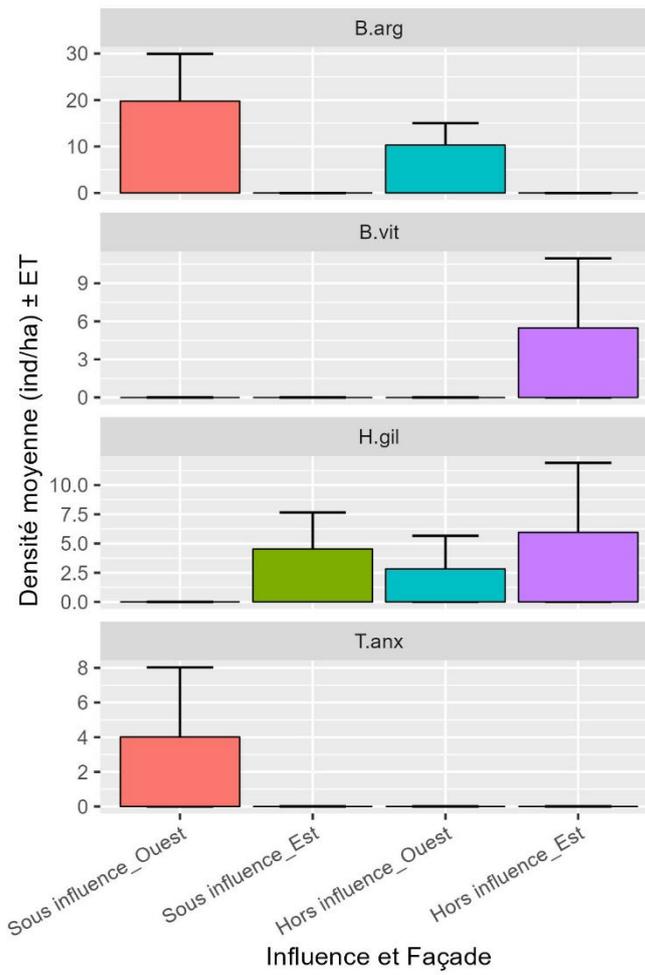


Figure 23 : Densité moyenne des espèces d'holothuries observées sur les 61 transects échantillonnés pour l'étude de l'effet de la perliculture, répartis par façade et influence perlicole. ET : Erreur-Type.

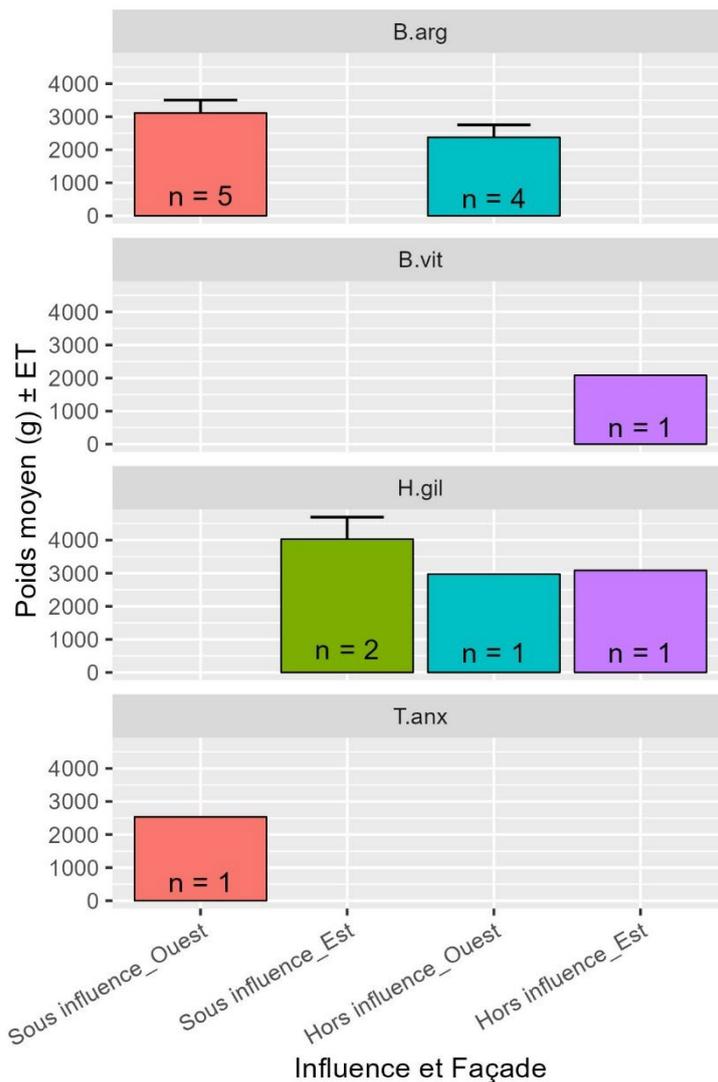


Figure 24 : Poids moyen des espèces d'holothuries échantillonnées sur les 61 transects échantillonnés pour l'étude de l'effet de la perliculture, répartis par façade et influence perlicole. Le nombre de mesures relevées pour calculer le poids est indiqué. ET : Erreur-Type.

Annexe 3 : Résultats statistiques et graphiques de l'analyse de l'effet de la pêche.

Tableau 10: p-value des analyses de variance par permutation sur le test de l'effet de la pêche (Nombre de pêcheur) sur la densité, la richesse spécifique et le poids des holothuries sur l'ensemble des transects échantillonnés. Le test est mené toute espèce confondue (présentes sur les transects) pour la richesse spécifique, par espèce et toute espèce pour la densité et le poids lorsque la donnée le permet. L'effet est considéré significatif si la p-value est en dessous de 0.05 et marqué d'un astérisque

Variable	Facteur	H.gil	A.var	B.arg	B.vit	T.a-	T.anx	H.atr	Toute espèce présentes
Richesse		-	-	-	-	-	-	-	0.07
Densité	Nombre de pêcheurs	< 0,001*	1.00	0.02*	-	0.06	-	-	-
Poids		0.06	0.07	0.78	-	-	-	-	-

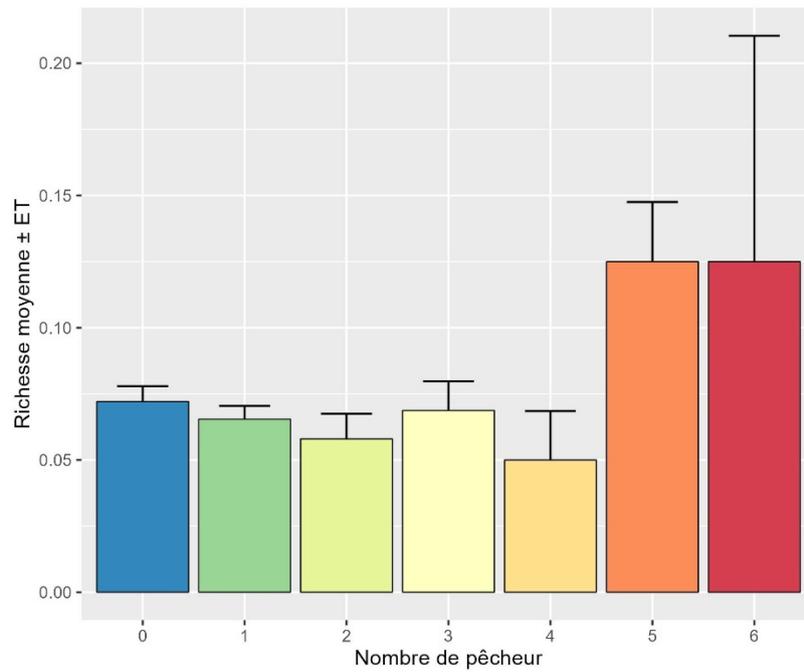


Figure 25 : Richesse spécifique moyenne de l'ensemble des transects sur l'atoll d'Apataki, toutes espèces d'intérêt confondues, en fonction du nombre de pêcheurs maximal toutes espèces autorisées confondues et reporté à l'emplacement de chaque transect. ET : Erreur-Type

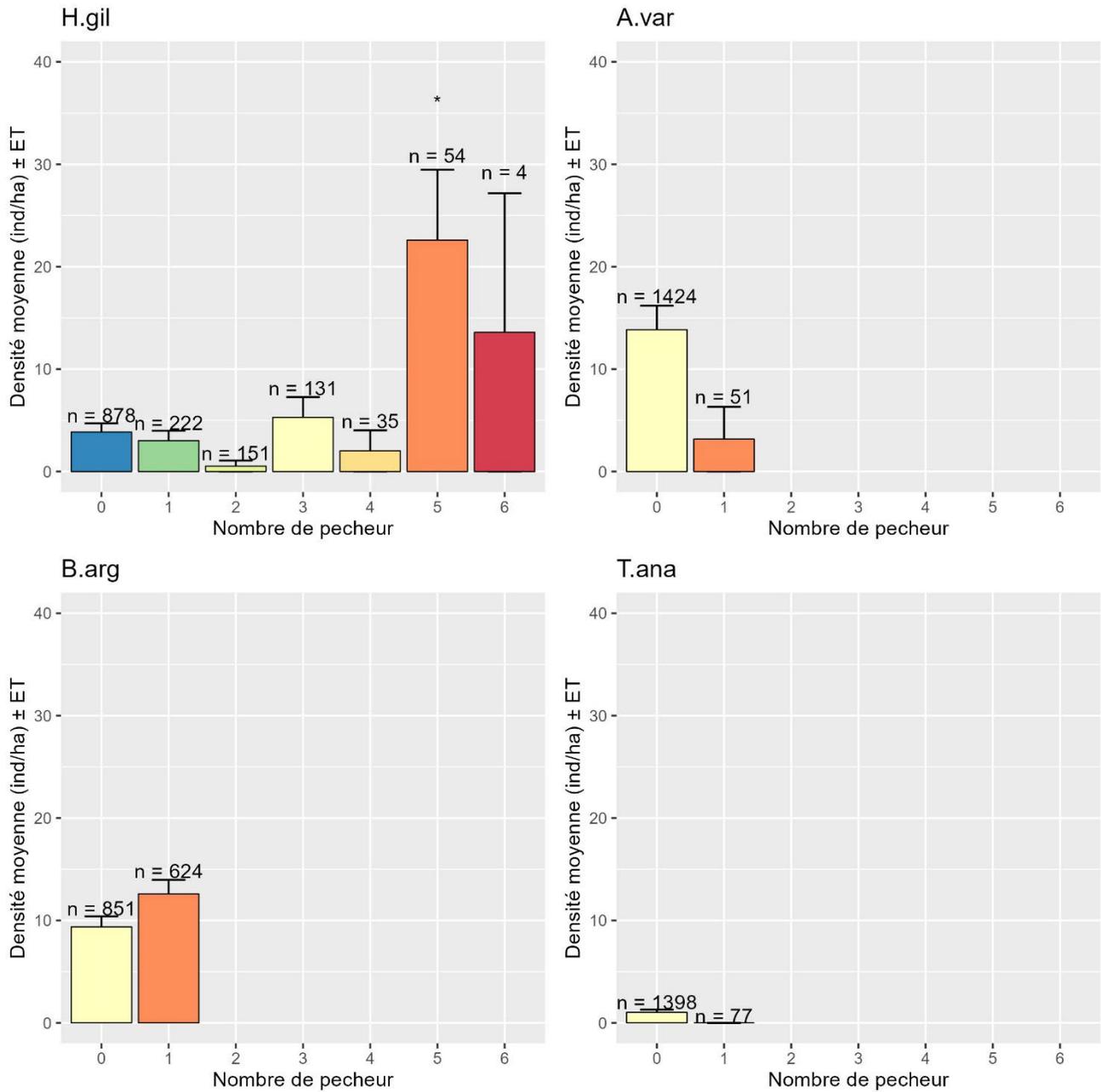


Figure 26 : Densité moyenne par espèce autorisée observée de l'ensemble des transects sur l'atoll d'Apataki en fonction du nombre de pêcheurs de l'espèce reportée à l'emplacement de chaque transect. Le nombre de transects répertoriant l'espèce et associé au nombre de pêcheurs est indiqué. ET : Erreur-Type

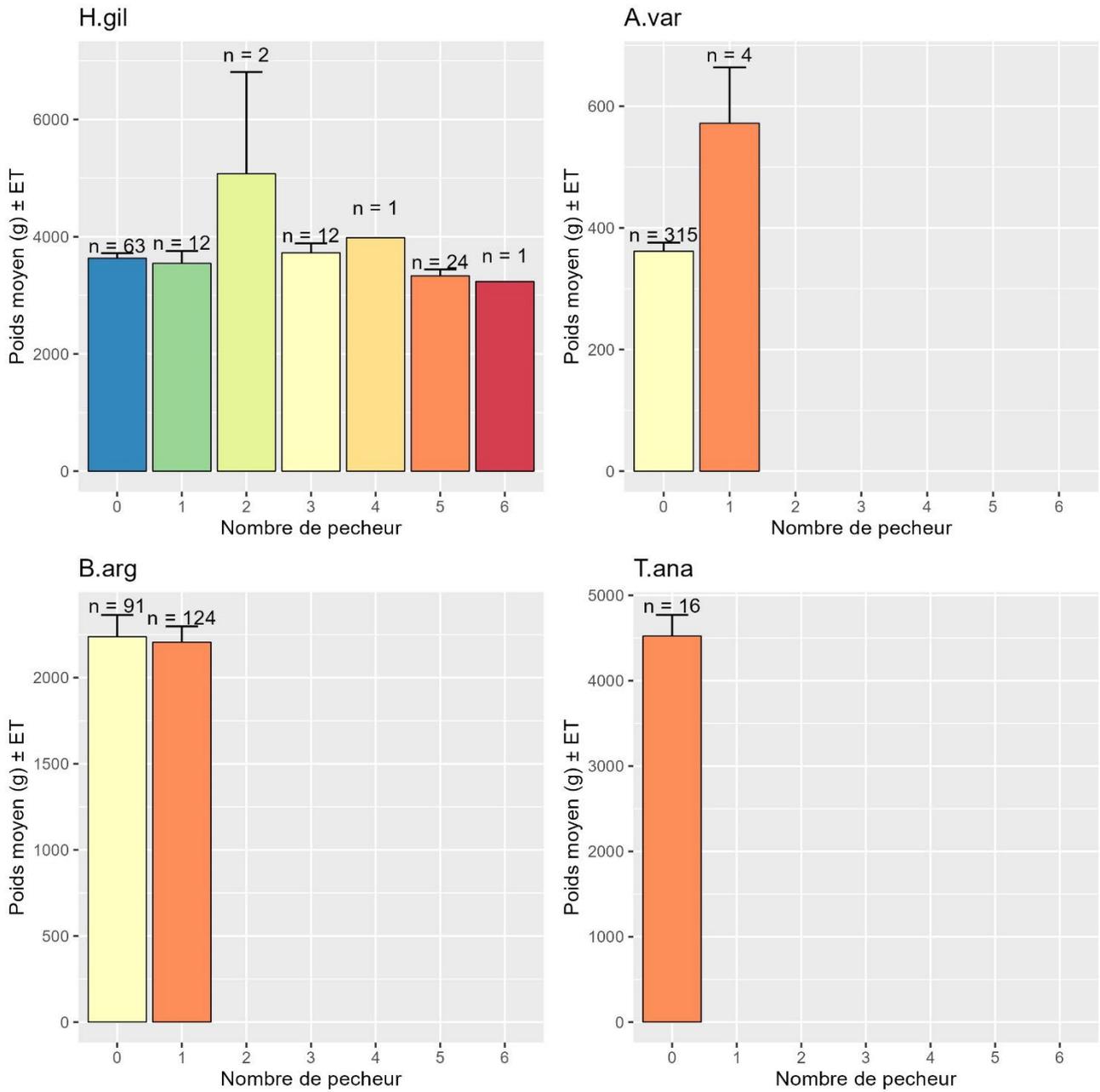


Figure 27 : Poids moyen par espèce autorisée observée sur l'ensemble des transects de l'atoll d'Apataki, en fonction du nombre de pêcheurs de l'espèce reportée à l'emplacement de chaque transect. Le nombre de mesures relevées pour calculer le poids est indiqué. ET : Erreur-Type

Annexe 4 : Résultats statistiques et graphiques de l'analyse de l'effet de la lune.

Tableau 11: Abondance cumulée des espèces par modalité issue des 66 transects utilisés pour l'analyse de l'effet de la lune

	H.gil	A.var	B.arg	B.vit	H.atr
Pleine lune – façade Ouest	10	2	1	0	0
Pleine lune – façade Est	11	0	4	0	0
Nouvelle Lune – façade Ouest	3	0	4	1	0
Nouvelle Lune – façade Est	6	0	8	0	306

Tableau 12 : p-value des analyses de variance par permutation sur le test de l'effet de la Lune (phase pleine / phase nouvelle) et la façade (Ouest, Sud) ainsi que leur interaction sur la densité, la richesse spécifique et le poids des holothuries sur les 66 transects considérés pour cette analyse. Le test est mené toutes espèces confondues (présentes sur les transects) pour la richesse spécifique, par espèce et toutes espèces pour la densité et le poids lorsque la donnée le permet. L'effet est considéré significatif si la p-value est en dessous de 0.05 et marqué d'un astérisque.

Variable	Facteur	H.gil	A.var	B.arg	B.vit	T.a-	T.anx	H.atr	Toute espèce présente
Richesse Spécifique	Lune	-	-	-	-	-	-	-	0.41
	Façade	-	-	-	-	-	-	-	0.29
	Interaction. P-F	-	-	-	-	-	-	-	0.30
Densité	Lune	0.06	1.00	0.24	1.00	-	-	1.00	1.00
	Façade	1.00	1.00	0.02*	1.00	-	-	0.88	0.09
	Interaction. P-F	0.56	1.00	0.67	1.00	-	-	0.88	0.25
Poids	Lune	0.28	-	-	-	-	-	-	-
	Façade	0.02*	-	-	-	-	-	-	-
	Interaction. P-F	0.39	-	-	-	-	-	-	-

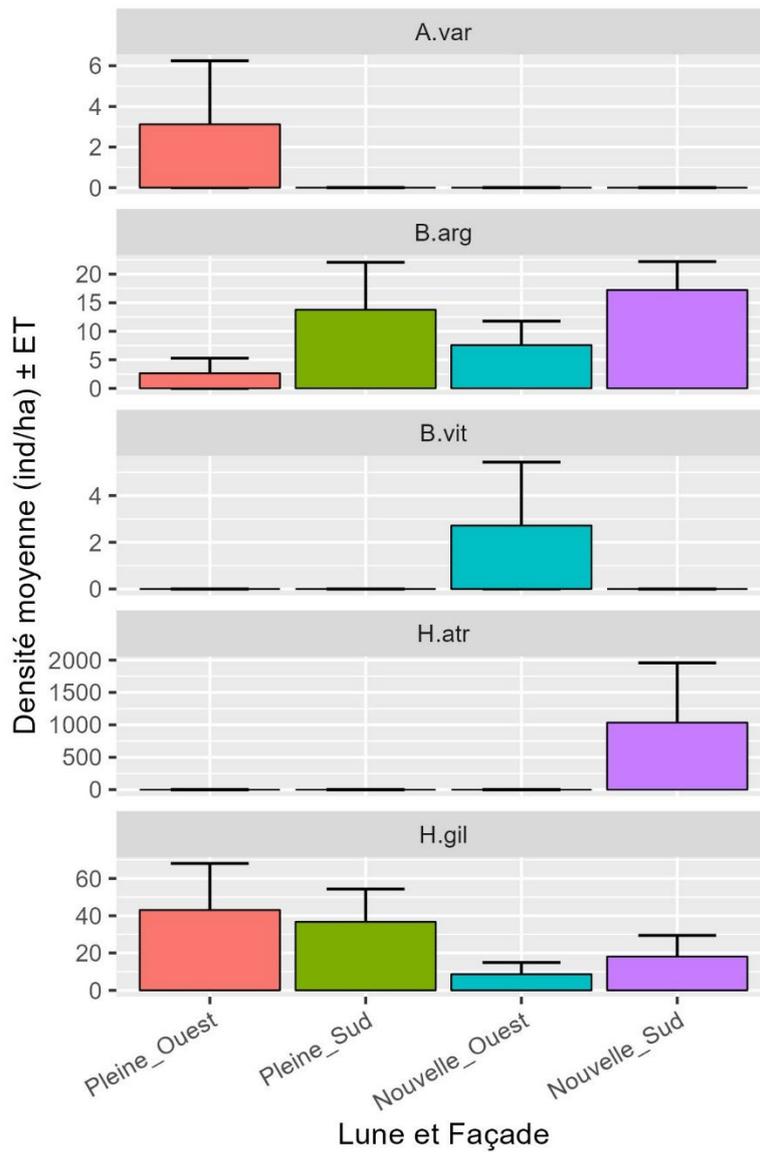


Figure 28 : Densité moyenne des espèces d'holothuries observées sur les 61 transects échantillonnés pour l'étude de l'effet de la lune, répartis par façade et phase lunaire. Le nombre de mesures relevées pour calculer le poids est indiqué. ET : Erreur-Type.

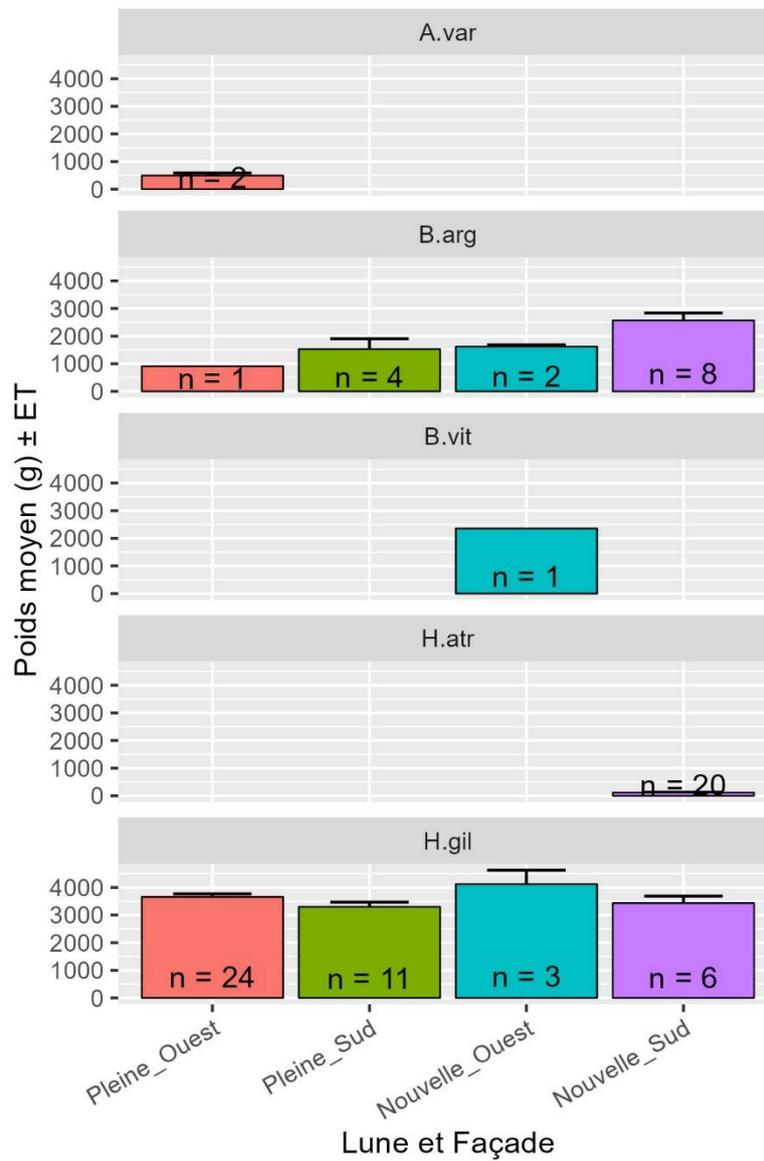


Figure 29 : Poids moyen des espèces d'holothuries observées sur les 61 transects échantillonnés pour l'étude de l'effet de la lune, répartis par façade et phase lunaire. ET : Erreur-Type. Des mesures supplémentaires issue de transects non valides ont été ajoutés