Résultats des suivis ichtyologiques des Zones d'Activités Sous-Marines du Carbet (ZASM)

2019 -2022

Février 2023

L'ASSO-MER

Partenaires techniques et financiers :

Rapport final n°R-2022-12-01

Décembre 2022

Étude réalisée pour la Ville du Carbet et intégrant les projets de sciences participatives mis en œuvre sur la période 2019 – 2021 de L'Asso-Mer avec le soutien financier de l'Office de l'Eau (ODE) et la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Martinique et d'Entreprises & Environnement (E&E).

Contributeurs au rapport final :

Auteurs principaux : Valentin Teillard, Florian Theveux, Célia Ortolé & Gipsy Deledda-Tramoni

Partenaires techniques et financiers du projet :

- La Ville du Carbet.
- Entreprises & Environnement (E&E).
- Carbet des Sciences de la Martinique (CCSTI Martinique).
- Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Martinique (DEAL).
- L'Office de l'Eau Martinique (ODE).
- Le Parc Naturel Marin de Martinique (PNMM)
- Club subaquatique de Case-Pilote (CSCP)
- Surcouf Dive à Saint-Pierre

Mots-Clés : *Zones d'activités sous-marines, abondance, suivis participatifs, ressources halieutiques, Carbet.*

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Valentin Teillard, Florian Theveux, Célia Ortolé, Gipsy Deledda-Tramoni (2022). Analyse du suivi ichtyologique des Zones d'Activités Sous-Marines (ZASM) du Carbet sur la période 2019-2021. L'Asso-Mer/Rapport final-202211-1. 25 p.

Nota : La méthodologie employée et les résultats obtenus n'engagent que les auteurs de ce rapport.

Table des matières

Introduction 4

Matériel et méthodes 5

a) Caractéristiques générales des ZASM 5

b) Méthodes de suivi par ZASM 7

c) Etude des résultats concernant la ZASM du Pothuau 9

Résultats 10

Évolution de l'abondance moyenne et de la richesse spécifique par zone 10

Évolution de l'abondance et de la richesse spécifique par transects et par zone 12

Étude de l'évolution de l'abondance chez les espèces 13

Étude de la taille des individus 15

Discussion 16

Abondance 16

Richesse spécifique 16

Étude de l'évolution de l'abondance chez les espèces 16

Étude de la taille des individus 17

Taille de la ZASM du Pothuau 17

Conclusion 17

Bibliographie 18

Annexes 21

Introduction

La Martinique est une petite île de 1.125 km² située sur l'arc antillais en zone Caraïbe. Elle est caractérisée par un fort taux d'endémisme autant sur terre qu'au niveau de sa faune marine (H. Legrand, Y. Rousseau, C. Pérès & J.-P. Maréchal, 2006[19]). L'endémisme de ce territoire, présente un fort intérêt patrimonial pour la sauvegarde des espèces, la diversité génétique et la diversité spécifique.

Aujourd'hui, la biodiversité mondiale est en baisse et tout comme elle, la biodiversité de Martinique est en danger. En conséquence, sur 427 espèces indigènes, près de 15 % sont menacées (UICN,2020[30]). Les activités humaines sont la cause principale de cette baisse avec une action directe (braconnage, surpêche) ou indirecte (pollution, destruction des habitats, transports d'espèces invasives, etc.) sur les écosystèmes (Ceballos et al., 2010[3]). Ces différentes activités impactent fortement les milieux marins et créent des déséquilibres planétaires. Un des exemples les plus parlant sur le milieu marin est l'évaluation des stocks halieutiques. Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'agriculture, environ 35,4 % des stocks halieutiques sont surexploités en 2019 (FAO, 2022[8]). La diminution des ressources marines est difficilement quantifiable, mais est aujourd'hui perçue par la population locale très attachée à certains produits de la mer (Lambis : Lobatus gigas (Linnaeus,1758) ; Chatrou : Octopus sp. ; Coulirou : Selar crumenophthalmus (Bloch, 1793) ; etc.). La pêche est ainsi une activité importante, mais qui ne permet pas pour autant de satisfaire la consommation locale. En effet, la demande en produits de la mer est plus élevée en Martinique qu'en métropole (Gobert et Reynal., 2000[15]). De fait, 15 % des poissons frais que consomment les Martiniquais sont issus de la pêche locale, contre 40 % en 1988 (Laisne et Viel, 2018[18]).

La conservation de la biodiversité présente aujourd'hui plusieurs enjeux : l'autosuffisance alimentaire, la protection des habitats ou encore la conservation de la diversité génétique. Pour répondre à ces enjeux de conservation, des moyens de protection et des mesures de restrictions peuvent être mis en place. C'est sur ce constat et ce besoin de conserver le patrimoine naturel que les premiers travaux ont fait bénéficier à la Martinique d'une réserve naturelle régionale marine, la réserve Albert Falco, créée en 2014 sur la commune du Prêcheur (arrêté N14-1624-1 du 22 octobre 2014). Par la suite, sur le même constat d'une baisse des stocks halieutiques (disciplines liées à la pêche) et d'une dégradation du milieu (ancres, filets, braconnage), des zones d'activités sous-marines (ZASM) ont été créées au Carbet par la Cille du Carbet en 2016 (arrêté R02-2016-12-13-002). Situées à chaque extrémité de la commune du Carbet, deux zones ont été retenues : la caye Pothuau située au Sud de la pointe Marouba, au bout de la plage du Coin ; et l'épave de l'Amélie au sud de l'anse Turin appelée communément zone des Raisiniers. Dans les deux zones, le niveau de gestion est le même : il est interdit de pêcher, de pratiquer la chasse sous-marine et d'ancrer son bateau.

Les deux ZASM présentent des intérêts soit patrimoniaux soit écologiques et leur mise en protection interroge sur l'évolution de la richesse spécifique et de l'abondance des communautés qu'elles abritent. La bonne santé écologique des habitats qui les composent notamment sur le plan fonctionnel est encore à démontrer. La structure du peuplement ichtyologique reflète la qualité et l'état de santé global du milieu car, une forte abondance, une grande diversité et la présence de chaque groupe trophique suggèrent que l'écosystème est fonctionnel, stable et en bon état de santé. Au contraire, une faible abondance et une faible diversité de poissons sont le signe d'un écosystème perturbé par des pressions qui peuvent toucher directement les communautés ichtyologiques ou impacter leur habitat.

Ainsi, L'ASSO-MER s'est vu confier, par la mairie du Carbet, la mission de coordination, de mise en place de ces ZASM et le suivi scientifique sur les deux zones. Ce rapport concerne uniquement les résultats des suivis scientifiques. Pour assurer cette mission, ce sont près d'une trentaine de bénévoles de L'ASSO-MER qui ont été formés au protocole de suivi ichtyologique et benthique (identification *in vivo* d'espèces) et qui ont permis de récolter les données nécessaires à l'étude de l'évolution des communautés ichtyologiques de la ZASM du Pothuau. La ZASM des Raisiniers n'a pas été analysée dans ce rapport mais fait également l'objet d'un inventaire et d'un suivi des communautés ichtyologiques dans le temps. Les résultats de cet inventaire sur l'ensemble des années de suivi seront présentés en 2023 et intégreront les données collectées en 2022.

L'objectif de cette étude est de savoir s'il y a une amélioration des stocks ichtyologiques et de répondre à la question de la présence d'un potentiel « effet réserve » dans la ZASM du Pothuau. Ce qui est communément appelé « Effet

Réserve » est l'ensemble des incidences positives à la suite des mesures de protection sur les écosystèmes marins (Bell, 1983[2] ; Francour, 1989[9]). Dans ce cas, la mesure de protection est la ZASM du Pothuau et les effets positifs qui sont testés concernent principalement l'augmentation de l'abondance et de la richesse spécifique des communautés ichtyologiques, mais également l'augmentation de la taille moyenne et maximale des individus. Les effets « Réserve » positifs directs cités ci-dessus et étudiés dans ce rapport, dépendent de nombreux paramètres comme des habitats considérés, du délai qui sépare la mise en protection de la zone et le lancement des suivis, du non-respect de la réglementation ou d'un éventuel effet « bordure » mais également des communautés étudiées. Il est donc important de prendre en compte le rôle de ces paramètres dans l'interprétation des résultats.

Matériel et méthodes

Le suivi scientifique et participatif des ZASM du Pothuau et des Raisiniers a débuté en 2019. Les financements attribués à L'ASSO-MER prévoient la caractérisation de l'état initial et 2 sorties/an pour le suivi de l'effet réserve à hauteur de 8 plongeurs par sortie (1 sortie = une demi-journée). Pour notre étude, le suivi de l'effet réserve est réalisé sur la faune ichtyologique particulièrement.

La caractérisation des peuplements ichtyologiques de la zone du Pothuau a commencé le 16/02/2019. Le suivi scientifique est réalisé durant la période habituellement appelée le Carême (de janvier à juin) et s'est effectué le long de 7 transects linéaires (100 m) positionnés perpendiculairement à la côte. Parmi ces 7 transects, 4 transects ont été réalisés au sein de la ZASM et les 3 autres ont ainsi servis de transects témoins (hors ZASM). Le deuxième suivi réalisé constitue celui de la caractérisation des peuplements ichtyologiques de la zone des Raisiniers sur la même période à la date du 02/03/2019 et sous la forme d'un inventaire le long d'un transect de 100 m, traversant de long en large la ZASM. Ces deux premiers suivis à la fois sur la zone du Pothuau et de celle des Raisiniers constituent dans le cadre de ce compte-rendu, l'état initial de la caractérisation des peuplements ichtyologiques des ZASM.

Les autres opérations de comptage en plongée hyperbare sur les ZASM ont ensuite repris à la date du 27/10/2019 en période d'hivernage (de juillet à décembre). Par la suite, les opérations ont continué en 2020 avec les suivis n° 2 et 3 ainsi qu'en 2021 avec les suivis n°3 et 4. L'ensemble du calendrier des suivis est reporté dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Calendrier des suivis réalisés par L'ASSO-MER sur les ZASM du Pothuau et des Raisiniers sur la période 2019-2021.

ZASM	Date	Période	Identification du suivi	Nombre de plongeurs
Pothuau	16/02/2019	Carême – 2019	Etat initial	8
Raisiniers	02/03/2019	Carême – 2019	Etat initial	2
Raisiniers	26/10/2019	Hivernage – 2019	N°1	2
Pothuau	27/10/2019	Hivernage – 2019	N°1	8
Pothuau	14/06/2020	Carême – 2020	N°2	8
Raisiniers	15/06/2020	Carême – 2020	N°2	2
Pothuau	25/10/2020	Hivernage – 2020	N°3	8
Raisiniers	26/10/2020	Hivernage – 2020	N°3	2
Pothuau	20/06/2021	Carême – 2021	N°4	8
Raisiniers	16/07/2021	Carême – 2021	N°4	2
Raisiniers	10/12/2021	Hivernage – 2021	N°5	2
Pothuau	14/12/2021	Hivernage – 2021	N°5	6

En plus du suivi ichtyologique, un suivi du substrat a été effectué en utilisant la méthode du Point Intercept transect. Ces données complémentaires sont intéressantes à connaître, car les organismes du récif sont en interrelation et constituent un réseau trophique complexe, un véritable système en interaction sensible aux perturbations liées aux paramètres biotiques et abiotiques. Connaitre le substrat présent sous chaque transect va également nous permettre de comparer les communautés ichtyologiques, car ces compositions dépendent de ce substrat.

a) Caractéristiques générales des ZASM

La zone du Pothuau est une zone côtière comportant une réglementation particulière depuis le 13 décembre 2016. Elle s'étend sur une surface de 1 000 m de longueur et 200 m de large, soit 200 000 m² et une profondeur allant de 0 à 30 mètres environ (Fig. 1). Cette zone présente des fonds marins d'un grand intérêt écologique. En effet, à la fois composée d'herbiers de phanérogames marins, de fonds sableux et de récifs coralliens (cayes non bio-construites), la diversité des paysages (s'ils sont en bon état écologiques) confère à la ZASM des rôles multiples : nurseries, abris et corridors écologiques.

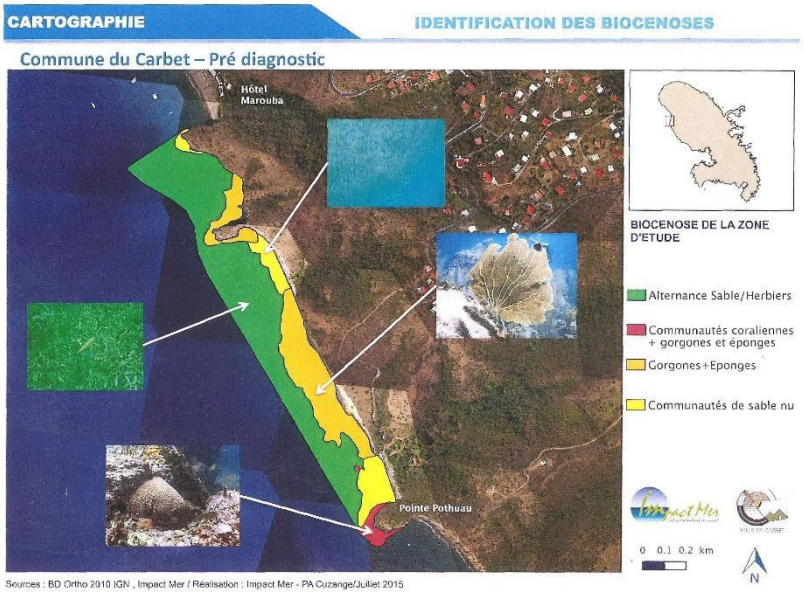


Figure 1 : Carte présentant les différentes biocénoses de la ZASM du Pothuau. Source : Impact Mer, 2010.

La ZASM des Raisiniers est bordée par la plage de l'anse Turin à l'Est. Elle présente un site d'intérêt patrimonial et écologique grâce à l'épave « L'Amélie » qui fût coulée naturellement suite à l'éruption volcanique de 1902. Cette épave est colonisée par des coraux, éponges et gorgones permettant la venue de nombreuses populations faunistiques. La ZASM des Raisiniers est un polygone à quatre côtés dont les bords inégaux ont une longueur approximative de 85 m (Fig. 2). La surface totale de cette zone est d'environ 7 500 m².

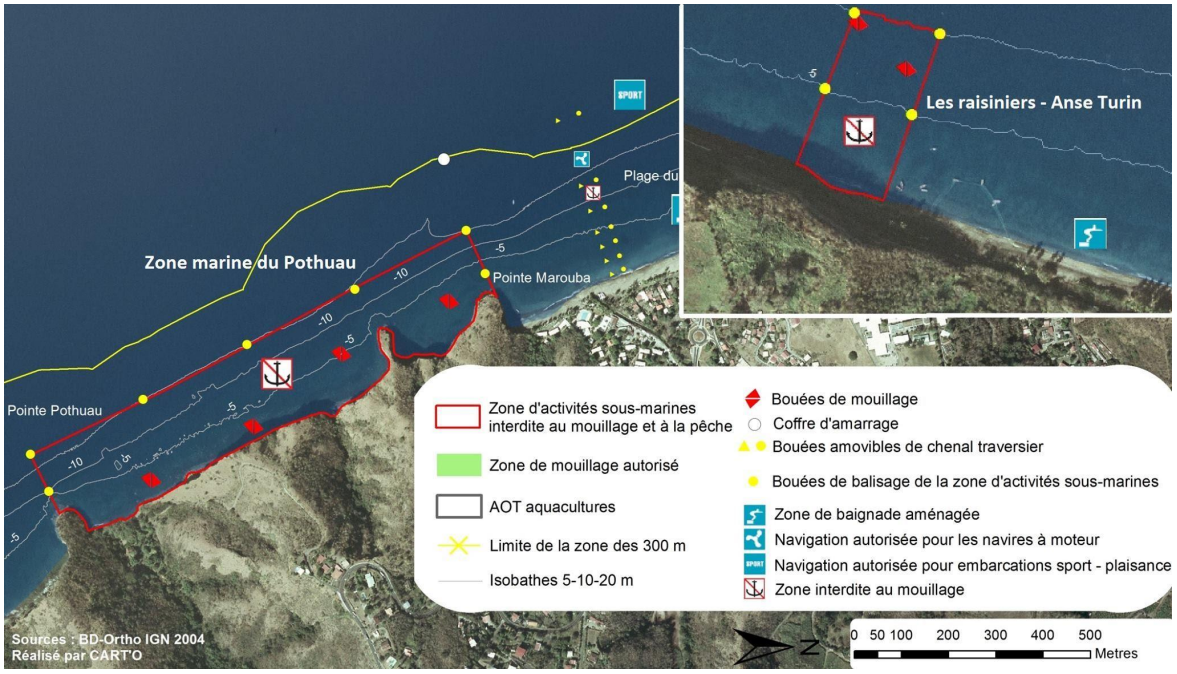


Figure 2 : Situation géographique des ZASM du Pothuau et des Raisiniers. Source : BD-Ortho IGN 2004.

b) Méthodes de suivi par ZASM

• Le suivi par transect de la ZASM du Pothuau

La méthode des transects pour caractériser la faune ichtyologique repose sur le comptage des présence/absence par classe de taille et par espèce/classe piscicole sur une longueur précise. Cette méthode est essentiellement utilisée pour quantifier l'abondance et la composition des communautés d'organismes. L'observateur effectue l'échantillonnage en se déplaçant de chaque côté d'un ruban gradué et comptabilise les organismes qui se trouvent dans la bande délimitée par la largeur « 4 m » sur la longueur totale du transect. Dans les zones de grande diversité, le comptage des poissons peut être réparti en plusieurs passages ou entre plusieurs plongeurs.

Sur la zone du Pothuau, il a été décidé de mettre en place des transects perpendiculaires à la côte afin d'évaluer les populations ichtyologiques présentes (Fig. 3). Un transect représente une ligne physique, matérialisée par un décamètre permettant d'étudier notre site en suivant un protocole scientifique. Le décamètre est ensuite déroulé sur le bateau, afin d'éviter un dérangement trop important de la faune avant le comptage. Les points de début et de fin des transects ont été relevés avec le GPS afin de s'assurer de la bonne répétitivité du suivi. Les transects témoins situés en dehors de la zone ont été placés de la même façon en ajoutant un poids à une extrémité du décamètre pour qu'il coule. Ici encore, les points GPS de chaque extrémité ont été pris afin de s'assurer de la bonne répétitivité du suivi. Dans la ZASM du Pothuau, quatre transects de suivi de 100 m de long chacun, sont réalisés par les plongeurs hyperbares bénévoles de l'association avec l'accompagnement et le soutien technique du Club Subaquatique de Case-Pilote (CSCP) et du club de plongée de Saint-Pierre Surcouf Dive.

Trois autres transects témoins de longueur équivalente (100 m) sont réalisés en dehors de la zone (Fig. 3). L'intérêt de mettre en place cette série de transects est de pouvoir sur le long terme assurer la répétabilité des opérations de comptage et ainsi d'assurer une comparaison des données recueillies. L'évolution de l'abondance des ressources sur ces transects à l'intérieur de la ZASM et de celle observée sur les transects témoins permettra d'évaluer comparativement l'effet de la mise en place de la ZASM (l'effet réserve).

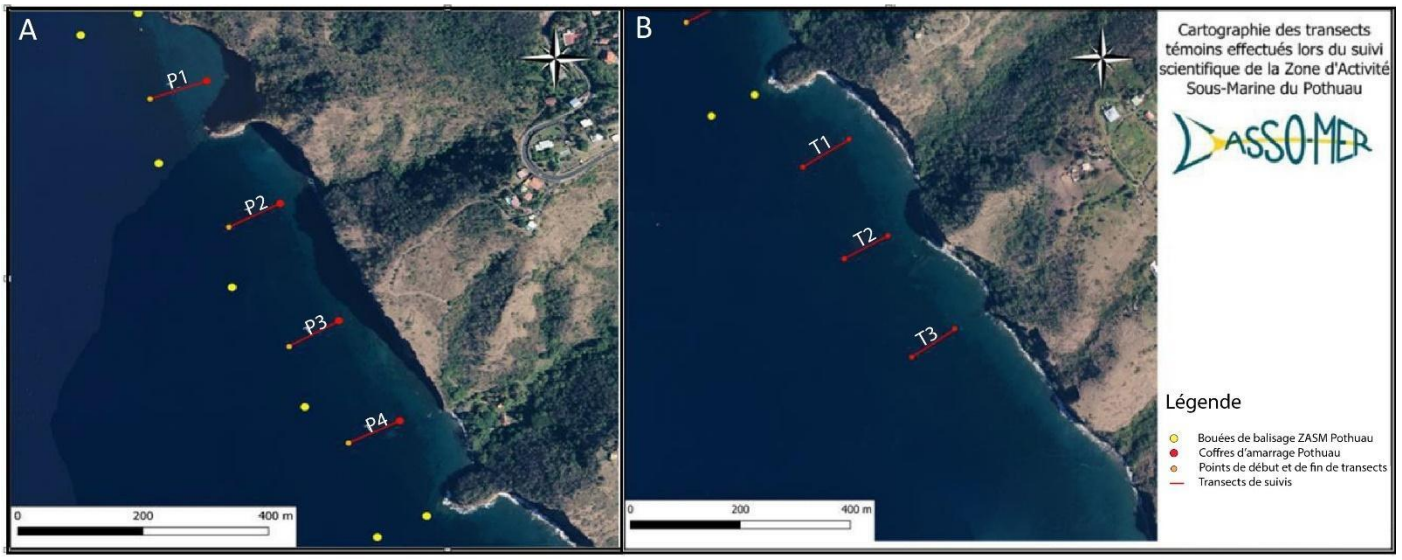


Figure 3 : Cartographie des transects réalisés au sein de la ZASM du Pothuau et de la zone témoin. Dans la zone du Pothuau (A), ils sont au nombre de 4 et numérotés comme suit : P1, P2, P3 et P4. Dans la zone témoin (B), ils sont au nombre de 3 et numérotés comme suit : T1, T2 et T3.

Afin de pouvoir étudier au mieux l'évolution des communautés ichtyologiques, les substrats associés à chaque transect ont été identifiés. Les habitats des transects de la zone du Pothuau sont constitués de plusieurs substrats. Les transects P1 et P2 ont pour unique substrat de l'herbier. Le transect P3 est constitué d'un mélange de zones sableuses et de zones rocheuses. Le transect P4 est quant à lui constitué d'un mélange de zones rocheuses et de zones d'herbiers. Enfin, la zone témoin constituée des transects T1, T2 et T3 a pour unique substrat de l'herbier (Tableau 2).

Tableau 2 : Informations concernant les différents transects. La zone sur laquelle les transects ont été effectués, le nom donné à ces transects et le substrat associé.

Zone	**Nom des transects**	**Substrat**
Pothuau	P1	Herbier
	P2	Herbier
	P3	Sableux rocheux
	P4	Rocheux herbier
Témoin	T1	Herbier
	T2	Herbier
	T3	Herbier

Sur l'ensemble des suivis concernant la zone du Pothuau et la zone témoin, la totalité des transects n'a pas pu être effectué. En effet, certains évènements climatiques, problèmes matériels ou l'indisponibilités des plongeurs ont occasionnellement empêché le suivi de tous les transects. Les transects réalisés sont présentés par jour dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Tableau reprenant les transects qui ont été effectués aux différentes dates de suivi.

Dates de suivi	Transects réalisé - Pothuau	Transects réalisé - Témoin
16/02/2019	P1, P2, P3, P4	
27/10/2019	P1, P2, P3, P4	T1, T2, T3
14/06/2020	P1, P2, P3, P4	T1, T2, T3
25/10/2020	P1, P2, P3, P4	T1, T2, T3
20/06/2021	P1, P2, P3, P4	T1
14/12/2021	P2, P3, P4	

• Le suivi de la ZASM des Raisiniers

La zone des Raisiniers présente une superficie restreinte qui par conséquent ne permet pas la mise en place de multiples transects. Ainsi, le suivi se réalise le long d'un seul et unique transect qui réalise une courbe traversant la zone sur sa largeur. Matérialisé à l'aide d'un décamètre lors de l'opération, le transect couvre l'ensemble des deux habitats présents sur le site : à la fois des herbiers de type *Halophila stipulacea* et les 80 m de débris de l'épave de l'Amélie coulée par 8 m de fond. Une fois le décamètre déroulé sur le fond, l'inventaire des peuplements ichtyologiques est réalisé par deux plongeurs hyperbares qui suivent le transect tout en réalisant le comptage des espèces présentes (Fig. 4).

Date : Lieux/Transect : Équipe :
Début : Fin : Profil profondeur :

	Espèce	[0-20 cm]	]20-40 cm]	]40-60cm]	>60cm*
1.	Argentés (bancs de) : caillu, coulirou, pisquettes				
2.	Baliste & Bourses				
3.	Barracuda / Bécunes				
4.	Blanches				
5.	Barbarin				
6.	Carangues/sérioles				
7.	Chirurgiens				
8.	Lambis**				
9.	Gorettes				
10.	Marignans/Mombins/Soleil				
11.	Mérous "moyens" et gros				
12.	Labridés (capitaine, paroquette)				
13.	Poissons-anges				
14.	Poissons-perroquets				
15.	Raies				
16.	Rascasse volante (= Poisson-lion)				
17.	Sardes				
18.	Sardes queue jaune				

Commentaires /autres observations

Figure 4 : Feuille de suivi imperméable permettant d'assurer le comptage des groupes d'espèces rencontrées durant l'inventaire par les observateurs.

Lors de l'inventaire, les plongeurs formés à l'identification *in vivo* des espèces piscicoles doivent renseigner à la fois le nombre de poissons observés et catégoriser ces derniers par classe de taille directement sous l'eau. Bien que les conditions de plongée soient moins contraignantes sur la ZASM des Raisiniers que sur celle du Pothuau, la diversité des groupes d'espèces présents sur l'épave de l'Amélie demande ainsi une aisance dans la reconnaissance des espèces piscicoles rencontrées.

Le matériel prévu pour assurer les suivis réalisés sur la ZASM du Pothuau et les inventaires du site des Raisiniers sont les suivants : un décamètre par binôme, une montre de plongée par personne, un poids de 5 kg, deux GPS, une feuille imprimée sur papier étanche par observateur, une plaquette équipée d'élastiques (fixation des feuilles de comptage) par observateur. La topographie du site du Pothuau ne permet pas d'y accéder par la plage.

c) Étude des résultats concernant la ZASM du Pothuau

Cette étude a pour but de montrer l'évolution des peuplements ichtyologiques de la ZASM du Pothuau tout en comparant cette évolution à celle de la zone témoin.

Normalisation des données

Les données d'observations concernant le lambi et les élasmobranches (raies et requins) ont été traitées à part et n'ont donc pas été pris en compte dans cette étude. L'évolution de leur abondance en fonction des classes de taille est cependant représentée annexe 1.

Calcul de l'abondance et de la richesse spécifique

L'abondance pour chaque transect a été calculée en prenant le nombre d'individus comptés sur ces transects puis en divisant ce nombre par la surface observée lors de ce transect. La surface correspond pour un transect à 100 m de long et 4 m de large donc à 400 m². Le même calcul a été effectué dans le cas de l'abondance par zone en prenant le nombre d'individus par zone divisé par la surface observée dans cette zone. La richesse spécifique a quant à elle été calculée en prenant pour chaque transect le nombre de groupes d'espèces où il y a présence d'individus. Les moyennes d'abondance et de richesse spécifique sont présentées sans écart-type (la fréquence des suivis étant trop faible).

Test de corrélation de Kendall

Afin d'évaluer l'évolution de l'abondance de chaque groupe d'espèces au cours du temps, une corrélation de Kendall a été effectuée. Cette corrélation a été choisie, car la distribution de cette abondance ne suivait pas une loi normale, il fallait donc un test non-paramétrique. Ce test de corrélation a été effectué à l'aide de la fonction « cor.test » du package « stats » sur le logiciel R studio.

Résultats

Évolution de l'abondance moyenne et de la richesse spécifique par zone

Le suivi effectué de 2019 à 2021 permet de montrer qu'il y a une augmentation relativement constante de l'abondance moyenne sur le site du Pothuau (Fig. 5). Cette moyenne augmente en effet pour passer de 0.05 individu par m² en février 2019 à 0.2 individus par m² en juin 2021. Elle finit par diminuer en décembre 2021 pour arriver à une abondance de 0.095 individu par m². Cependant, cette moyenne n'est représentée à cette date que par les transects P2, P3 et P4.

Les courbes représentant la richesse spécifique au cours du temps nous montrent une certaine stabilité dans le cas de la zone du Pothuau. En effet, la richesse spécifique dans cette zone est relativement stable au cours du temps avec des valeurs allant de 14 à 16 groupes ichtyologiques.

Cependant, afin de comparer correctement l'abondance et la richesse spécifique moyenne, il nous faut prendre uniquement les transects effectués sur un même substrat. Dans ce cas, il s'agit du substrat dit « herbier » incluant les transects P1 et P2 de la zone Pothuau et la totalité des transects de la zone témoin (T1, T2 et T3). Ces abondances et richesses spécifiques moyennes pour le substrat herbier sont représentées figure 6.

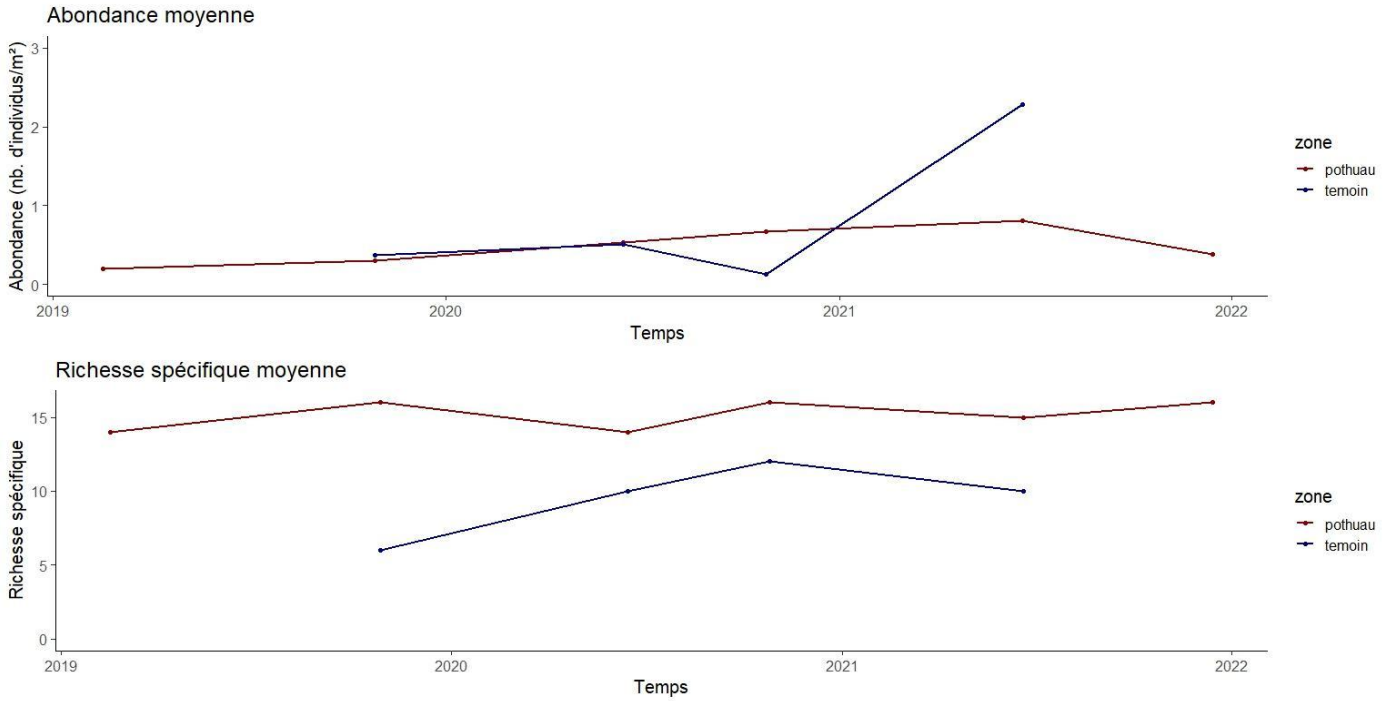


Figure 5 : Abondance moyenne et richesse spécifique moyenne pour la zone de Pothuau et pour la zone témoin sur la période allant de février 2019 à juin 2021. Cette moyenne est calculée sur la base des transects P1, P2, P3 et P4 effectués dans la zone Pothuau et des transects T1, T2 et T3 dans la zone témoin.

L'abondance moyenne présentée figure 6 dans le cas de la zone du Pothuau va d'abord stagner en 2019 avec des valeurs proches de 0.23 individu/m² puis va être multipliée par 5 pour atteindre la valeur de 1.18 individu/m² en octobre 2020. Cette abondance va ensuite diminuer pour atteindre 0.87 individu/m² en juin 2021 puis 0.36 individu/m² en décembre 2021. Cependant, cette dernière moyenne n'est composée que du transect P2.

L'abondance moyenne dans le cas de la zone témoin est un peu plus élevée que la zone du Pothuau en octobre 2019 avec une valeur de 0.37 individu/m². Elle va augmenter en juin 2020 avec une valeur de 0.51, puis diminuer en octobre 2020 pour atteindre sa plus basse valeur de 0.13 individu/m² et enfin augmenter considérablement pour atteindre 2.29 individus/m² en juin 2021. Cette dernière valeur moyenne n'est cependant représentée que par le transect T1 (le transect témoin le plus proche de la zone Pothuau).

La richesse spécifique dans le cas de la zone de Pothuau va suivre des diminutions et augmentations successives. Ces diminutions correspondent aux périodes de carême avec des valeurs faibles allant de 7 à 8 groupes d'espèces en février 2019, juin 2020 et juin 2021. Les augmentations correspondent aux périodes d'hivernage avec des valeurs de 10, 12 et 13 groupes d'espèces respectivement en octobre 2019, octobre 2020 et décembre 2021. Cette richesse spécifique en hivernage est ainsi en constante augmentation.

La richesse spécifique dans le cas de la zone témoin va d'abord augmenter, cette richesse spécifique va doubler en passant de 6 groupes d'espèces en octobre 2019 à 12 groupes en octobre 2020. Puis cette richesse va un peu diminuer pour atteindre les 10 groupes d'espèces en juin 2021.

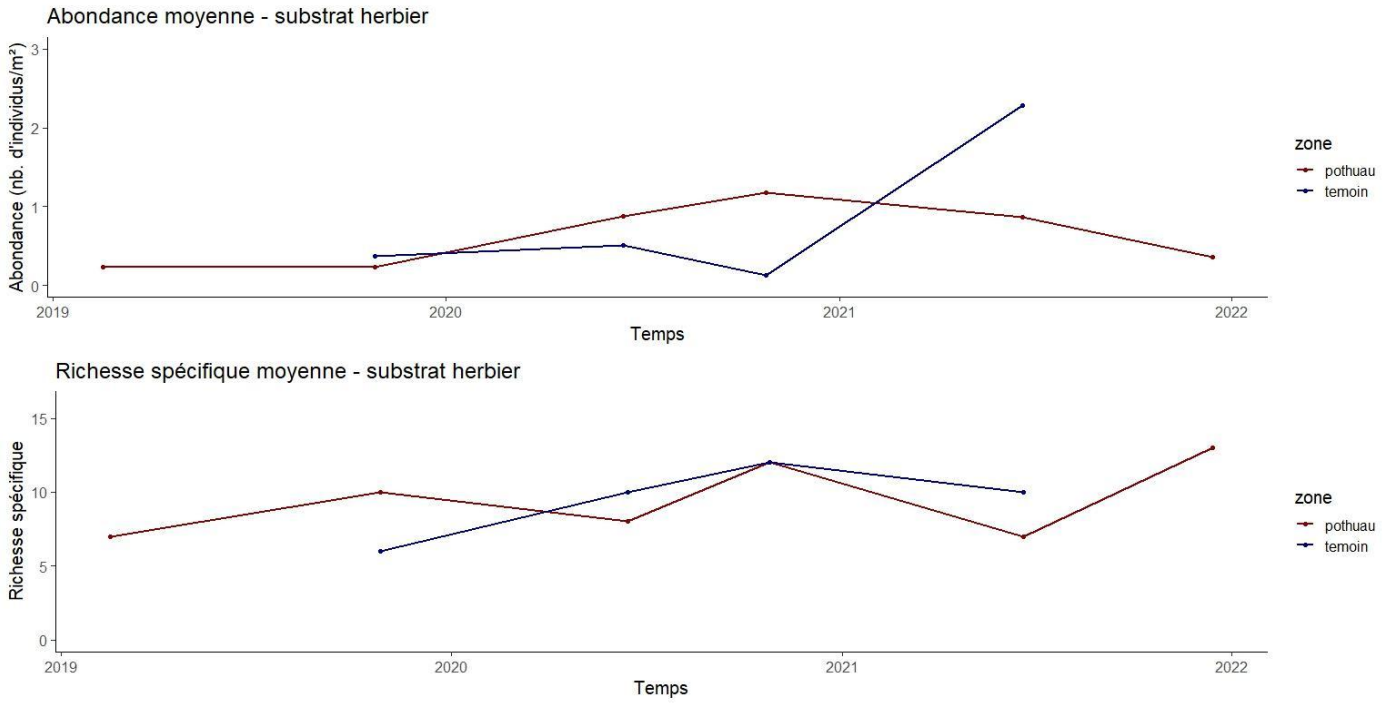


Figure 6 : Abondance moyenne et richesse spécifique moyenne pour la zone de Pothuau et pour la zone témoin sur la période allant de février 2019 à juin 2021. Cette moyenne est calculée sur la base des transects effectués sur le substrat « herbier ». Il s'agit donc des transects P1 et P2 pour la zone pothuau et des transects T1, T2 et T3 pour la zone témoin.

Évolution de l'abondance et de la richesse spécifique par transects et par zone

L'abondance de tous les groupes d'espèces répertoriés ainsi que la richesse spécifique sont représentées en fonction du temps pour les différents transects réalisés (Figure 7 et 8). Pour la période d'étude, toutes les données ne sont pas présentes. Il manque en effet les données de tous les transects de la zone témoin pour le premier suivi en février 2019. Il manque également les données des transect P1 et T1 pour le dernier suivi du 12/2021 ainsi que les données des transects T2 et T3 pour les suivis du 07/2021 et du 12/2021 (Tab. 3). Les résultats relatifs aux suivis associés sont donc à prendre avec parcimonie.

Les abondances pour les différents transects représentées figure 7 montrent une certaine stabilité pour la zone du Pothuau entre le mois de février 2019 et octobre 2019. Les valeurs d'abondances sont assez proches entre les différents transects avec des valeurs allant de 0.06 à 0.4 individus/m², mais sans grande variation durant cette période. Par la suite, tous les transects de la zone Pothuau révèlent entre 2019 et la fin de l'année 2021 une abondance en forte augmentation puis une diminution, cette augmentation ne se fait pas au même moment pour tous les transects. Seul le transect P4 reste relativement stable avec une légère augmentation entre juin et décembre 2021.

Dans le cas de la zone témoin, malgré une ressemblance dans le pattern de variation des transects T1 et T2, les transects T1, T2 et T3 vont avoir leurs propres variations au cours du temps.

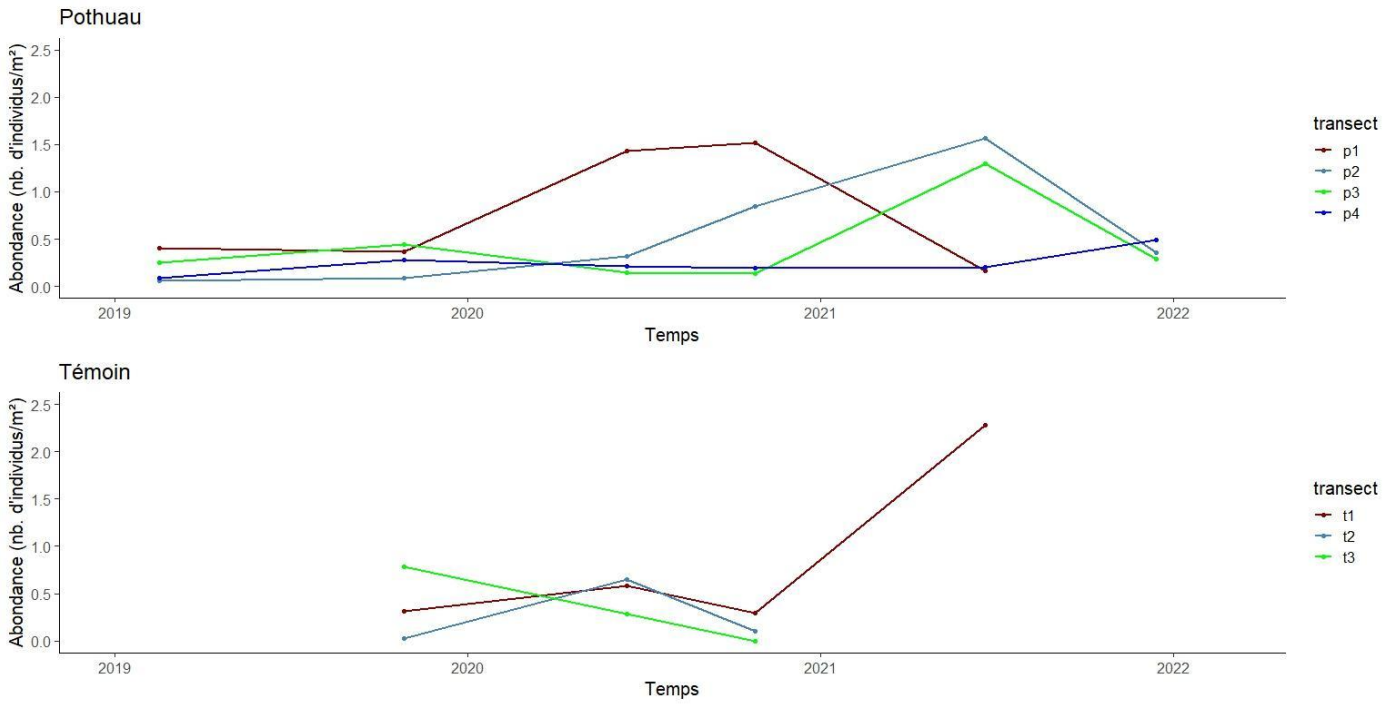


Figure 7 : Abondance en nombre d'individus/m² pour chaque transect effectué dans la zone du pothuau et la zone témoin sur la période allant de février 2019 à Juin 2021.

La richesse spécifique pour la zone Pothuau (Fig. 8) montre une même évolution pour les transects P1, P2 et P4 avec une augmentation en période d'hivernage et une diminution en période de carême. Seul le transect P4 ne suit pas cette évolution. Les transects P1 et P2 caractérisés par un substrat homogène « herbier » vont révéler une richesse spécifique plus faible que le transect P3 qui a un substrat dit « sableux rocheux » et que le transect P4 qui a un substrat dit « rocheux herbier ». Dans le cas de la zone témoin, il y a également une augmentation de la richesse spécifique pour les transects T1, T2 et T3 entre octobre 2019 et juin 2020 puis le transect T3 va diminuer à l'inverse des transects T1 et T2 qui vont présenter une faible augmentation.

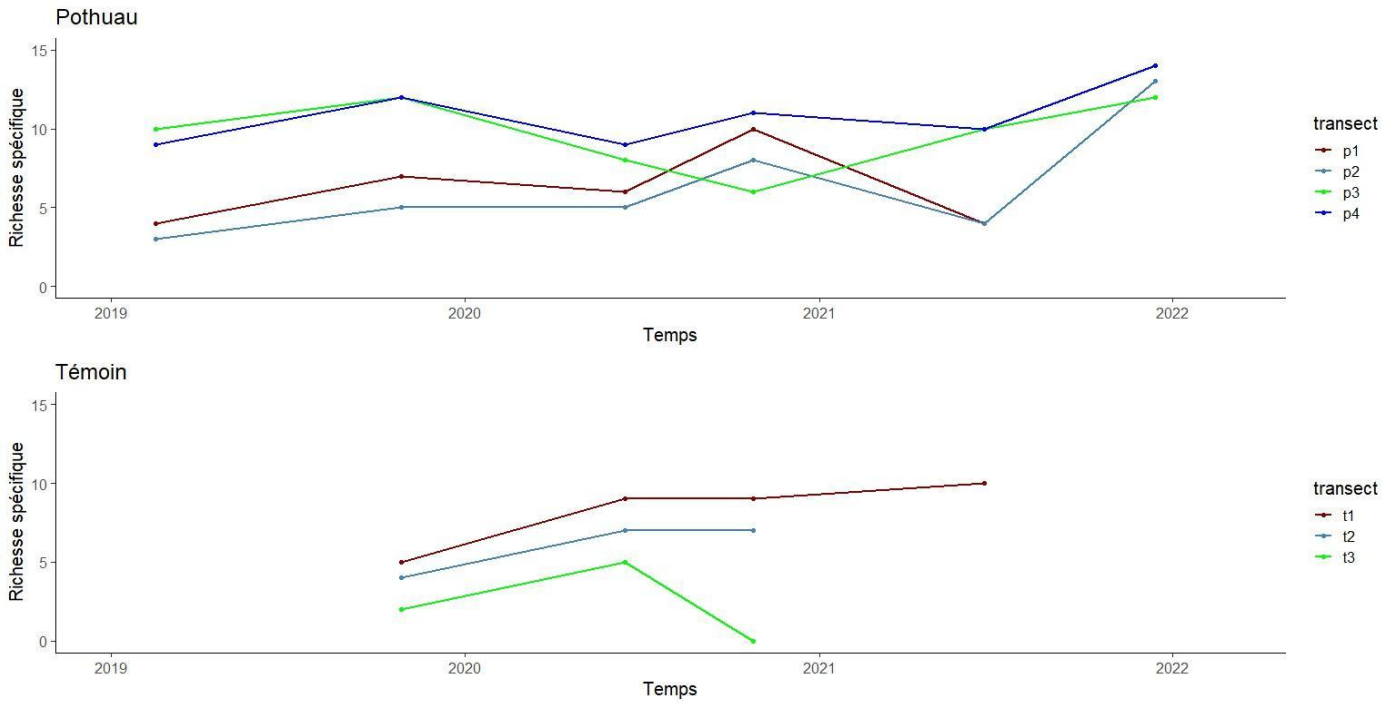


Figure 8 : Richesse spécifique pour chaque transect effectué dans la zone du Pothuau et la zone témoin sur la période allant de février 2019 à juin 2021. La richesse spécifique correspond au nombre de groupes d'espèces recensés.

Étude de l'évolution de l'abondance chez les espèces

Une corrélation de Kendall a été effectuée pour les différents groupes ichtyologiques dans la zone du Pothuau ainsi que dans la zone témoin. Il en ressort dans la zone du Pothuau (Tab. 4) que plusieurs groupes ichtyologiques montrent une corrélation significativement positive (p-value < 0.05). Il s'agit du groupe des Balistes et Bourses avec un tau de 0.39, du groupe des Chirurgiens avec un tau de 0.37 et du groupe des Sardes à queue jaune avec un tau de 0.35. Il y a donc une augmentation significative de l'abondance de ces groupes ichtyologiques dans la zone du Pothuau. Le groupe des Gorettes montre également une augmentation positive avec un tau de 0.31 et une p-value de 0.06, ce qui n'est donc pas significatif mais qui est très proche de cette valeur limite de 0.05.

Dans la zone témoin (Tab.5), la corrélation de Kendall ne montre pas d'évolution significative d'une catégorie de poisson en particulier au cours du temps. Cependant, certaines espèces ont une p-value proche de la limite admise de 0.05. C'est le cas principalement de la catégorie Marignans, Mombins, Soleil avec une p-value de 0.057 qui avec un tau de 0.58 montre une augmentation de leur abondance au cours du temps.

Les catégories Poissons-perroquets et Rascasse volante n'ayant pas été observées sur la zone témoin lors des différents transects aucune corrélation de Kendall n'a pu être effectuée. Il n'y a donc pas de valeur de tau et de p-value pour ces deux catégories de poissons.

Tableau 4 : Présentation du tau et de la p-value résultant du test de corrélation de Kendall pour la zone du Pothuau. Ce test a été effectué pour chaque groupe ichtyologiques en étudiant la corrélation de l'abondance de ce groupe d'espèces avec le temps. Les valeurs de p-value en gras représentent les valeurs significatives (< 0.05), les valeurs de p-value en rouge sont celles > à 0.05 mais proche de cette limite.

Catégorie de poissons	**tau**	**p-value**
Argentes	0,049703	0,771130122
Balistes et bourses	0,389249	**0,022231056**
Barracuda et bécunes	0,224336	0,199006454
Blanches	0,097312	0,571093905
Barbarin	0,004866	0,977199595
Carangues et sérioles	0,089583	0,611517321
Chirurgiens	0,367441	**0,020757169**
Gorettes	0,313963	0,0598587
Marignans, mombins et soleil	0,038925	0,819148982
Mérous	0,293381	0,081116157
Labridés, capitaine et paroquette	0,138112	0,397442054
Poissons ange	-0,04251	0,806514679
Poissons perroquets	-0,2656	0,12251047
Rascasse volante	0,255248	0,153867187
Sardes	0,056368	0,735996009
Sardes à queue jaune	0,347919	**0,041722371**

Tableau 5 : Présentation du tau et de la p-value résultant du test de corrélation de Kendall pour la zone témoin. Ce test a été effectué pour chaque catégorie ichtyologique en étudiant la corrélation de l'abondance de ce groupe d'espèces avec le temps. Les valeurs de p-value en rouge sont celles > à 0.05 mais proches de cette limite.

Catégorie de poissons	**tau**	**p-value**
Argentes	-0,486864496	0,089886522
Balistes et bourses	0,288675135	0,331659237
Barracuda et bécunes	0,277777778	0,366060675
Blanches	0,382276426	0,199927269
Barbarin	0,5	0,103741678
Carangues et sérioles	0,216644561	0,45605654
Chirurgiens	0,282889475	0,296342438
Gorettes	0,525493854	0,080162984
Marignans, mombins et soleil	0,583333333	0,057677444
Mérous	-0,384900179	0,195537785
Labridés, capitaine et paroquette	0,243332132	0,381583089
Poissons ange	0,378516649	0,173486875

Poissons perroquets	NA	NA
Rascasse volante	NA	NA
Sardes	-0,133440128	0,628191228
Sardes à queue jaune	-0,025125945	0,925117936

Étude de la taille des individus

L'abondance des individus a été moyennée en fonction de leurs classes de taille pour la zone du Pothuau ainsi que pour la zone témoin (Fig. 9). Seuls les transects effectués sur un substrat herbier ont été pris en compte afin que ces données d'abondance soient comparables entre la zone témoin (ne contenant que des substrats d'herbier) et la zone du Pothuau.

Classe 0 – 20 cm : Dans le cas du Pothuau, l'abondance des espèces appartenant à la classe de taille 0 - 20 cm montre une augmentation constante en passant de 0.21 en février 2019 à 1.16 individus/m² en octobre 2020. Puis elle va diminuer pour atteindre 0.87 en juin 2021 et 0.34 en décembre 2021. Cependant, cette dernière valeur n'est représentée que par le transect P2. Dans le cas de la zone témoin, l'évolution de l'abondance de la classe 0 – 20 cm ne va pas montrer de pattern. Entre octobre 2019 et octobre 2020, l'abondance va varier entre 0.12 et 0.49 individu/m² pour ensuite augmenter rapidement en passant à 2.28 individus/m² en juin 2021. Cette classe de taille 0 – 20 cm va représenter tout au long de l'étude entre 91 et 100 % de l'abondance totale sur la zone du Pothuau ainsi que sur la zone témoin.

Classe 20 – 40 cm : La classe des poissons mesurant entre 20 et 40 cm est représentée dans presque la totalité du suivi sur le site du Pothuau. Elle n'est pas représentée en juin 2020. Sur le site témoin, cette classe de taille n'est représentée qu'en juin et en octobre 2020. L'abondance de poissons compris dans cette classe de taille va ainsi varier entre 0 et 0.012 pour le site du Pothuau et entre 0 et 0.010 pour le site témoin. Elle va représenter entre 0 et 5.3 % de l'abondance totale sur la zone du Pothuau et entre 0 et 6.2 % pour la zone témoin.

Classe 40 – 60 cm : La classe des poissons mesurant entre 40 et 60 cm est représentée en février 2019, octobre 2020 et décembre 2021 dans le cas de la zone du Pothuau. Cette même classe n'est représentée qu'en octobre 2020 pour la zone témoin. Cependant en février 2019 et en décembre 2021, il n'y a pas eu de transects dans la zone témoin. En octobre 2020 l'abondance des individus de la classe de taille 40 – 60 cm est de 0.0088 individu/m² pour la zone du Pothuau contre 0.0016 individu/m² dans la zone témoin. Le nombre d'individus est à cette date 5.5 fois plus élevé dans la zone du Pothuau. Cette classe de taille représente sur l'abondance totale entre 0 et 3.2 % pour la zone du Pothuau et entre 0 et 1.25 % pour la zone témoin.

Classe > 60 cm : La classe des poissons dont la taille est supérieure à 60 cm n'est pas représentée lors de ce suivi sur les transects dont le substrat est de l'herbier.

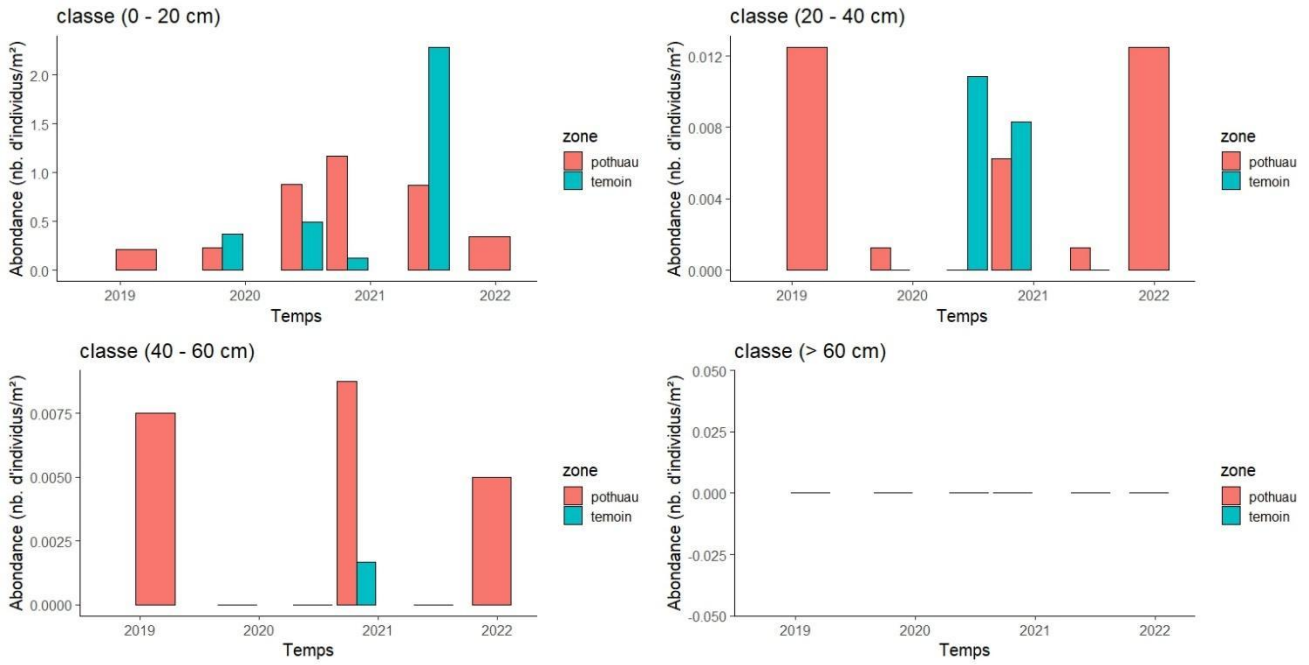


Figure 9 : Barplot montrant l'évolution de la moyenne des abondances pour chaque classe de taille au cours du temps pour la zone du Pothuau et la zone témoin. Seuls les transects effectués sur un substrat herbier ont été pris en compte.

Discussion

L'évaluation de l'impact des mesures de protection sur les écosystèmes marins est communément appelée "Effet Réserve " (Bell, 1983[2] ; Francour, 1989[9]). L'ensemble des impacts observés lors d'un effet réserve ont été rassemblés par T. SEVERIN en 2001[27]. Ces impacts concernent principalement la structure des communautés qui va se voir être modifiée. Plusieurs de ces paramètres décrivant la structure des communautés ont été pris en compte dans cette étude (abondance des espèces, richesse spécifique et taille des individus). Plusieurs facteurs décrivant l'effet réserve ne l'ont pas été et méritent une attention dans les prochaines études (biomasse, reproduction, l'émigration ainsi que le recrutement larvaire ou encore le respect de la réglementation ou encore les activités de pêche en bordure de zone).

Cette discussion reprend les différents paramètres décrivant la structure des communautés qui ont été pris en compte dans cette étude. Tous les points discutés doivent être considérés en intégrant la faible quantité de données récoltées lors des différents suivis. En effet, la surface maximum échantillonnée dans la zone du Pothuau est de 4 * 400 m² = 1600 m² ce qui correspond à 0.8 % des 200 000 m² de la zone du Pothuau.

Abondance

L'un des premiers facteurs qui est considéré lors de l'étude d'un effet réserve est l'évolution de l'abondance. Dans le cas de la zone Pothuau (Fig. 6), en prenant uniquement les transects sur un substrat herbier, il y a une augmentation qui se produit au bout des huit premiers mois et qui continue pendant 1 an avant de redescendre. Il est important de continuer le suivi dans le temps afin de voir si ces variations sont dues au déplacement aléatoire des espèces dans la zone ou s'il y a une réelle tendance qui s'inscrit dans le temps. En comparant cette évolution à celle de la zone témoin, on se rend compte qu'après cette augmentation la zone de Pothuau a une abondance plus élevée que la zone témoin mis à part lors du suivi de juin 2021 où l'abondance de la zone témoin augmente très fortement pour atteindre une valeur de 2.29 individus/m². Cependant, cette dernière valeur est difficilement interprétable sachant que la moyenne d'abondance de ce dernier suivi n'est représentée que par le transect T1.

Les données ne sont pour l'instant pas suffisantes pour répondre à la question de l'augmentation de l'abondance générale dans la zone du Pothuau. Afin de répondre à cette question, il faudrait multiplier les transects sur substrat dit « herbier » à la fois sur la zone Pothuau et sur la zone témoin et continuer le suivi dans le temps.

Richesse spécifique

Le deuxième facteur étudié lorsque l'on veut savoir s'il y a un effet réserve est la richesse spécifique. La richesse spécifique dans une zone protégée est, si les conditions sont identiques, supérieure à la richesse spécifique d'une zone non protégée dans le cas d'un effet réserve (Chauvet *et al*., 1991[4] ; McClanahan, 1994[22] ; Harmelin *et al*., 1995[17] ; Barnabe & Barnabe, 1997[1] ; Francour *et al*., 1997[12] ; Nowlis & Roberts, 1997[23] ; Wantiez *et al*., 1997[31] ; Garces, 1998[13] ; Roberts, 1998[25] ; Francour, 2000[11] ; Lubchenco & Warner, 2001[20]). Dans la ZASM du Pothuau (Fig. 6), la richesse spécifique augmente et diminue en fonction des périodes (carême et hivernage), cependant les valeurs hautes retrouvées lors de l'hivernage augmentent de manière constante. Cette augmentation est à mettre en perspective avec l'augmentation de la richesse spécifique du site témoin. Dans les deux cas, il y a une tendance à l'augmentation sur les deux zones.

Dans le même cas que pour l'abondance, multiplier les transects dans les deux zones sur un même substrat permettrait de faire des tests statistiques plus rigoureux permettant de savoir s'il y a une différence entre les deux zones. Un autre point important serait de ne pas regrouper les espèces, les familles ou les genres de poissons, mais de garder ces niveaux de classification distincts. Cette formation de groupe fait perdre de l'information concernant la richesse spécifique.

Étude de l'évolution de l'abondance

Un autre effet qui découle de l'effet réserve est ce qui s'appelle l'effet cascade (Barnabe et Barnabe, 1997[1]). Il s'agit de la conséquence de la mise en réserve de la zone, protégeant ainsi les grands prédateurs (espèces cibles). Le nombre de prédateurs augmente donc sous cet effet, ce qui entraînerait une diminution des espèces herbivores.

Dans le cas de la zone du Pothuau, trois groupes de poissons montrent une augmentation significative au cours du temps. Ces trois groupes sont les Balistes et Bourses, les Chirurgiens et les Sardes à queue jaune. Les Chirurgiens sont principalement herbivores (Duran et al., 2019[7]), les Sardes à queue jaune, les Balistes et Bourses sont omnivores et se nourrissent à la fois de petits poissons, d'invertébrés benthiques et d'algues (De la Morinière et al., 2003[6]; Mancera-Rodríguez & Castro-Hernández, 2015[21] ; Dance, 2017[5]). Ce ne sont donc pas les grands prédateurs qui montrent une augmentation mais principalement des espèces d'intérêt comme les herbivores.

Une étude de Sala (1997)[26] propose l'idée que l'effet cascade ne serait possible que dans des réseaux trophiques simples et présentant peu d'intermédiaires.

Les autres espèces n'ont pas montré de corrélation significative entre leur abondance et le temps de mise en réserve. Cependant, parmi ces espèces certaines ont présenté dans ce test de corrélation un p-value très proche de la limite significative. Une augmentation du nombre de transects permettrait une meilleure évaluation de cette corrélation.

Étude de la taille des individus

Un autre aspect pouvant être représentatif de l'effet réserve est ce que l'on appelle l'effet refuge. L'effet refuge part du principe que la mise en réserve va permettre l'augmentation de la richesse spécifique, l'augmentation de la taille moyenne et maximale et l'augmentation de la reproduction (Francour, 1993[10]; Francour, 2000[11] ; Francour *et al*., 1997[12] ; Smith *et al.,* 1997[29]). Dans le cas de la taille des individus sur le site de Pothuau, une seule classe montre une tendance à l'augmentation. Il s'agit de la classe 0 – 20 cm. Cette classe montre une augmentation pendant les deux premières années puis une faible diminution de celle-ci. La question de l'augmentation de la taille moyenne et maximale demanderait une modification de la méthode en mesurant la taille exacte de chaque espèce ce qui n'est pas possible en faisant un suivi par transect. Cependant, continuer le suivi sur un plus long terme permettrait de voir si dans les classes de taille les plus élevées le nombre d'individus tend à augmenter.

Taille de la ZASM du Pothuau

Il faut dans ce questionnement d'effet réserve également se demander si les caractéristiques de la ZASM du Pothuau permettent biologiquement un effet réserve. Si la réserve ne contient qu'une petite partie du territoire et de la zone de déplacement des espèces d'intérêts que ce soit des adultes ou des larves, cette réserve ne pourra pas se maintenir (Halpern & Warner, 2003[16]). Une étude de Shanks *et al*, 2003[28] a permis de mettre en évidence une taille moyenne qui serait adaptée à la dispersion des espèces et propose une taille de 4 à 6 km de diamètre pour contenir au minimum les espèces à faible dispersion. En comparaison à la taille du ZASM du Pothuau qui est de 1 km sur 200 m, il serait intéressant d'agrandir la zone de protection pour permettre une plus grande efficacité. La zone étant fortement contrainte par une bathymétrie importante sur l'axe Est-Ouest (perpendiculaire à la côte), il serait notamment pertinent de proposer un allongement de la zone sur l'axe Nord-Sud afin de permettre l'évaluation d'un effet réserve significatif.

Conclusion

La zone d'activité sous-marine du Pothuau est une initiative importante pour la protection de l'environnement marin. Le prélèvement et les différentes activités nautiques sont interdits dans le but de préserver certaines espèces d'intérêt dans la zone, mais également pour la préserver de la dégradation du milieu. Cette étude a pour objet principal de regarder l'évolution des communautés ichtyologiques d'intérêt afin de voir si la création de cette ZASM a un impact positif sur ces communautés dans le temps.

Tout d'abord, les résultats concernant l'évolution de la richesse spécifique et de l'abondance au cours du temps montrent qu'il n'y a pas de variation significative dans la zone du Pothuau. Cependant, la faible quantité de données récoltées lors du suivi peut éventuellement masquer la présence d'une tendance concernant ces deux paramètres étudiés.

En s'intéressant à l'évolution de l'abondance des espèces indépendamment les unes des autres, cette étude a montré une tendance à l'augmentation qui est significative au cours du temps pour trois groupes d'espèces dans la zone du Pothuau. Cette tendance à l'augmentation concerne le groupe des Balistes et Bourses, celui des Chirurgiens ainsi que celui des Sardes à queue jaune. Aucune tendance n'est observée dans la zone dite témoin où la pêche et l'ancrage sont autorisés. Enfin, l'étude de la classe de taille des espèces dans la ZASM ne nous indique pour l'instant aucune augmentation de la taille des individus. Elle nous informe que la classe majoritaire est celle de 0 à 20 cm et qu'elle représente plus de 90 % des individus.

Les incertitudes générées à la fois par la méthodologie et la fréquence des suivis réalisés mais également par le faible contrôle du respect de la réglementation, ne permettent donc pas de conclure sur la présence d'un effet réserve dans la ZASM du Pothuau. Des efforts pourront ainsi être fait pour améliorer cela, comme formaliser les signalements liés au braconnage dans la zone et le non-respect de la zone de non-mouillage. Il manque encore des moyens pour le contrôle du respect de la règlementation et il y a un manque de visibilité de l'espace règlementé. Ce sont autant d'actions favorables à l'observation des effets positifs de l'effet réserve et qui sont en train de se structurer autour des zones d'activités sous-marines du Carbet. Ainsi, l'augmentation du nombre d'individus de certains groupes d'espèces observés au cours des dernières années de suivi va dans ce sens. Quelques communautés d'herbivores sont notamment sur la bonne voie et il reste à poursuivre les efforts d'observation, voir même, les renforcer dans les

prochaines années qui seront déterminantes pour l'évolution de la zone et des communautés qu'elle abrite. Il est proposé dans cette étude d'augmenter le nombre de transects par habitat et de proposer un allongement de la zone dans l'axe Nord-Sud, en plus de l'extension de la zone qui est déjà envisagée sur l'axe Est-Ouest. Selon la littérature, il est fort probable que l'ensemble des effets positifs comme le débordement[1] des ressources halieutiques au-delà de la zone protégée soit perceptible à compter d'un certain délai (6-9 ans) (Garcia, *et al,* 2013[14]). Une meilleure évaluation de ces communautés et un meilleur contrôle de la zone sur les deux volets ciblés par la réglementation (interdiction de pêche et d'ancrage forain) permettront de répondre très prochainement à la question d'un effet réserve.

Bibliographie

1. Barnabe G. & Barnabe-quet R., 1997. Ecologie et aménagement des eaux côtières. *Ed. Tec. et Doc*. 301p.

2. Bell J.D., 1983. Effects of depth and marine reserve fishing restriction on the structure of a rocky reef fish assemblage in the north-western Mediterranean Sea. *J. Appl. Ecol.* 20 : 357-369.

3. Ceballos G., Garcia A., Ehrlich P. R., 2010. The sixth extinction crisis: Loss of animal populations and species. J. Cosmology vol 8, 1821–1831.

4. Chauvet C., Barnabe G., Bayle-sempere J., Bianconi C.H., Francour P., Garcia-rubies A., Harmelin J.G., Miniconi R., Pais A. & Robert P., 1991. Recensement du mérou *Epinephelus guaza* (Linnaeus, 1758) dans les réserves et parcs marins des côtes méditerranéennes françaises. In : Les espèces marines à protéger en Méditerranée, Boudouresque C.F., Avon M. & Gravez V. *Eds. GIS Posidonie Publ.* Marseille : 277-290.

5. Dance K. M., 2017. *Feeding ecology of gray triggerfish (Balistes capriscus) and red snapper (Lutjanus campechanus) at artificial reefs in the northwest Gulf of Mexico* (Doctoral dissertation).

6. De La Morinière E. C., Pollux B. J. A., Nagelkerken I., & Van der Velde G., 2003. Diet shifts of Caribbean grunts (Haemulidae) and snappers (Lutjanidae) and the relation with nursery-to-coral reef migrations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *57*(5-6), 1079-1089.

[1] « Effet de débordement » : l'un des effets positifs directs pour les activités de pêche qui caractérise l'effet « Réserve ». Il consiste à observer une migration des individus adultes vers l'extérieur de la zone protégée. Il est cependant important de noter qu'une distillation des larves et des juvéniles rend la mesure de protection plus bénéfique sur le long terme pour ces mêmes acteurs.

7. Duran A., Adam T. C., Palma L., Moreno S., Collado-Vides L., & Burkepile D. E., 2019. Feeding behavior in Caribbean surgeonfishes varies across fish size, algal abundance, and habitat characteristics. *Marine Ecology*, *40*(4), e12561.

8. FAO. 2022. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022. https://www.fao.org/3/cc0461fr/online/sofia/2022/status-of-fishery-resources.html

9. Francour F., 1989. Les peuplements ichtyologiques de la réserve de Scandola, Corsica. *Rev. Ecol. (Terre vie)*. 46 : 65-81.

10. Francour F., 1993. Analyse pluriannuelle de l'Effet Réserve sur l'ichtyofaune de la réserve naturelle de Scandola (Corse, Méditerranée Nord-Occidentale). *Mar. Life*. 3 (1-2) : 83-93 .

11. Francour F., 2000. L'Effet Réserve : passé, présent et avenir. *Colloque sur les Aires Marines Protégées en Méditerranée du 09 au 11 novembre 2000.*

12. Francour P., Sartoretto S. & Harmelin J.G., 1997. Synthèse des connaissances et des acquis sur les aires marines protégées de Méditerranée : éléments raisonnés pour leur création et leur mise en place. *Premier séminaire international sur Mobilisation, Exploitation et Conservation des Ressources Naturelles* In : Dossier "zones marines protégées". 1998. Parc National de Port-Cros :1-19.

13. Garces L., 1998. Marine coastal conservation in San Salvador Island, Philippines. *NAGA*. *The ICLARM Quarterly*. 59.

14. Garcia, S. M., Gascuel, D., Henichart, L. M., Boncoeur, J., Alban, F., & Monbrison, D. D.,2013. Les aires marines protégées dans la gestion des pêches.

15. Gobert B. et Reynal L., 2000. Les ressources démersales des Antilles et leur exploitation. Dans La pêche aux Antilles (Martinique et Guadeloupe). Blanchet G., Gobert B. et Guérédrat J. A. (eds). Ed. IRD, 49- 65.

16. Halpern B. S., & Warner R. R., 2003. Matching marine reserve design to reserve objectives. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *270*(1527), 1871-1878.

17. Harmelin-Vivien M., Harmelin J.G. & Leboulleux V., 1995. Microhabitat recruitment for settlement of juveniles Sparid fishes on Mediterranean rocky shore. *Hydrobiologia.* 300/301 : 309-320.

18. Laisne L. et Viel F., 2018. Renouvellement de la flotte dans les départements d'Outre-mer (DOM). pp. 63.

19. Legrand H., Rousseau Y., Pérès C. & Maréchal J.P., 2006. suivi écologique des récifs coralliens des stations ifrecor en Martinique de 2001 à 2006.

20. Lubchenco J. & Warner R., 2001. Citing of no-take areas, scientists call for new networks of marine reserve. *MPA news.* 8 (2) : 4.

21. Mancera-Rodríguez N. J., & Castro-Hernández, J. J., 2015. Feeding ecology of the planehead filefish Stephanolepis hispidus (Pisces: Monacanthidae), in the Canary Islands area. *Revista de biología marina y oceanografía*, *50*(2), 221-234.

22. Mc Clanahan T.R., 1994. Kenyan coral reef lagoon fish : effects of fishing, substrate complexity, and sea urchins. *Coral Reefs*.13 : 231-241.

23. Nowlis J.S. & Roberts C.M., 1997. You can have your fish and eat it, too : theoretical approach to marine reserves design. *Proc. 8th Int. Coral Reef Sym.* 2 : 1907-1910.

24. Reynal L., Demanèche S., Guyader O., Bertrand J., Berthou P., Dromer C., Bruneau M., Bellanger M., Merrien C., Guegan F., Lespagnol P., Pitel M., Jézéquel M., Leblond E., Daurès F., 2011. Projet pilote du Système d'Informations Halieutiques (SIH) Martinique (2007-2010). Premières données sur la pêche en Martinique (2009-2010), Ifremer-SIH-2013/06/30. http://archimer.ifremer.fr/doc/00156/26762/, 176 p.

25. Roberts C.M., 1998. Permanent no-take zone : a minimum standard for effective marine protected areas. *Coral reef*. 96-100.

26. Sala E., 1997. The role of fishes in the organisation of a Mediterranean sublittoral community. II. Epifaunal communities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 212 : 45-60.

27. Séverin, T., 2001. *Effet réserve: synthèse bibliographique en milieu marin et mise en place d'un protocole de suivi à La Réunion* (Doctoral dissertation).

28. Shanks, A. L., Grantham, B. A., & Carr, M. H., 2003. Propagule dispersal distance and the size and spacing of marine reserves. *Ecological applications*, *13*(sp1), 159-169.

29. Smith L.M.P., Bell J.D. & Mapstone B.D., 1997. Testing the use of a marine protected area to restore and manage invertebrate fisheries at the Arnavon Islands, Solomon Island : choice of methods and preliminary results. *Proc. 8th Int. Coral Reef Sym.* 2 : 1937-1942.

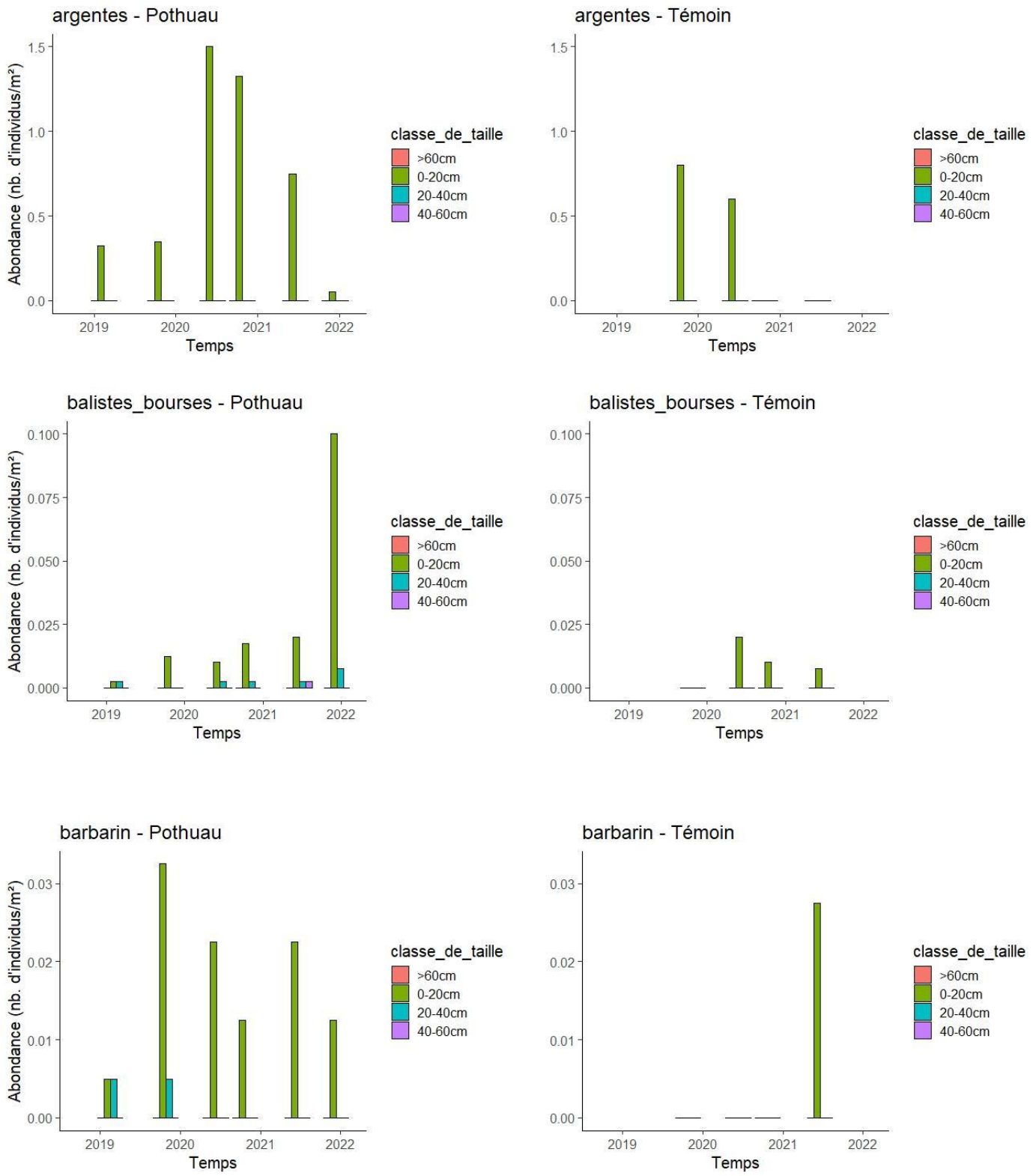
30. UICN, 2020: https://inpn.mnhn.fr/docs/LR_FCE/Fascicule_liste_rouge_faune_martinique_2020_04_vf.pdf

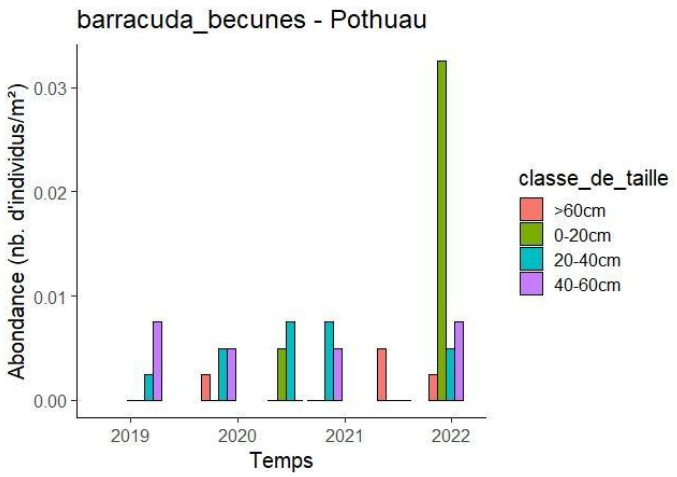
31. Wantiez L., Thollot P. & Kulbicki M., 1997. Effects of marine reserves on coral reef fish communities from five islands in New Caledonia. *Coral Reef*. 16 : 215-224.

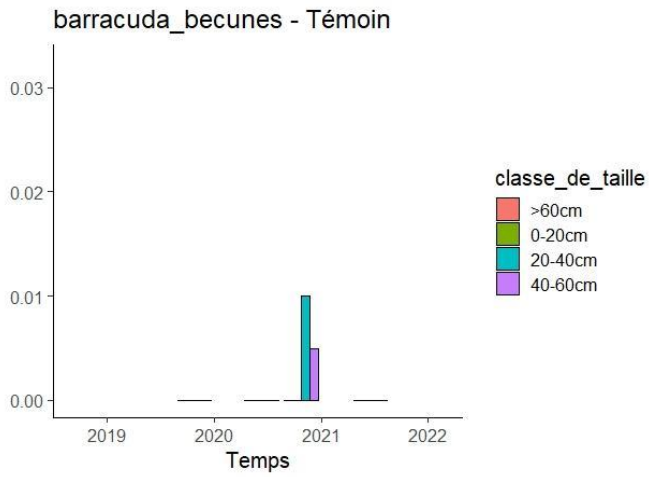
32. Weiss J., Duchêne J., Le Blond S., Reynal L., Derridj O., Demanèche S., Berthou P., Le Roy E., Leblond E., 2019. Synthèse des pêcheries de Martinique 2018. Ifremer-sih-2019.04, 19 p.

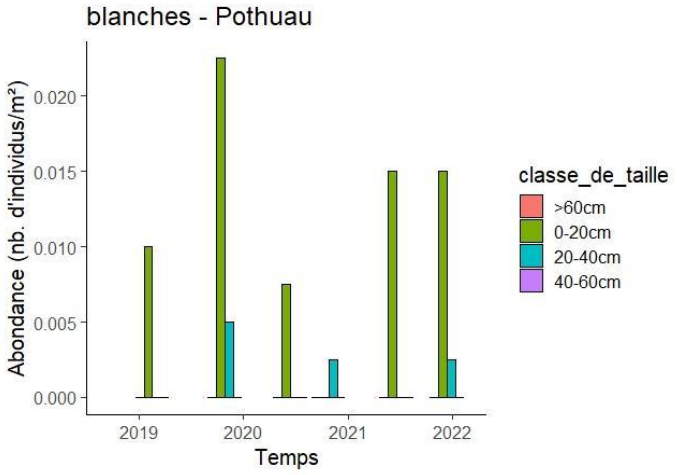
Annexes

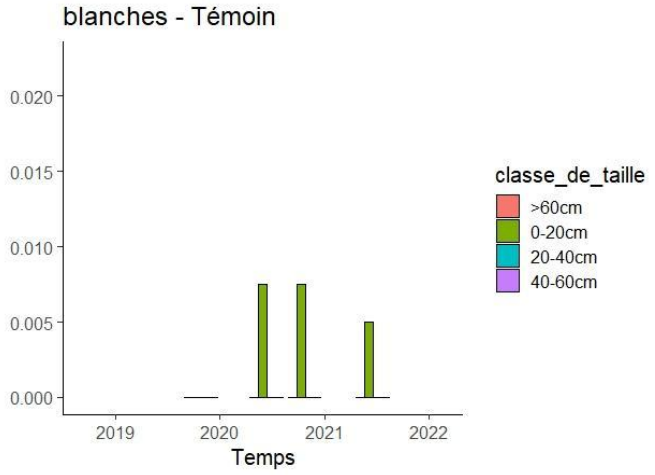
Annexe 1 : Ensemble de bar-plots représentant l'évolution de l'abondance d'un groupe ichtyologique en fonction de sa classe de taille et de la zone d'étude pour une période allant du 16/02/2019 au 14/12/2021.

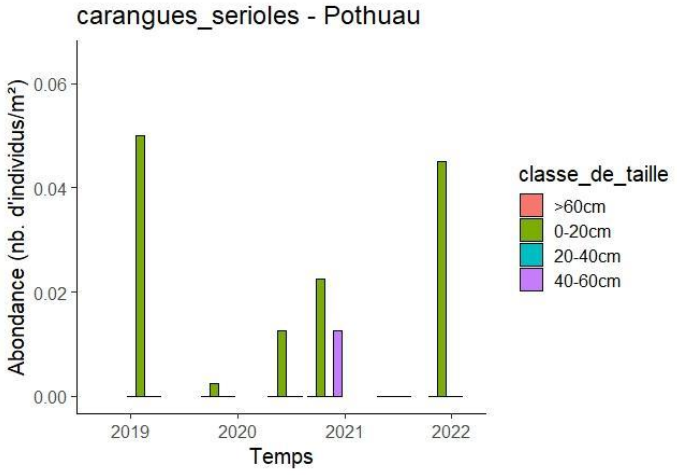


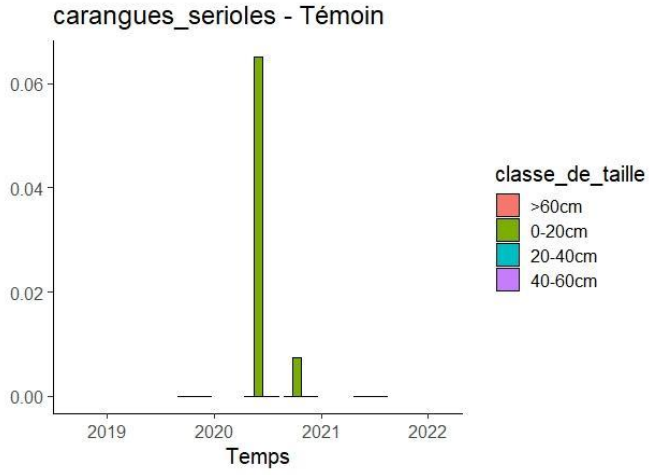

barracuda_becunes - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.03
0.02
0.01
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

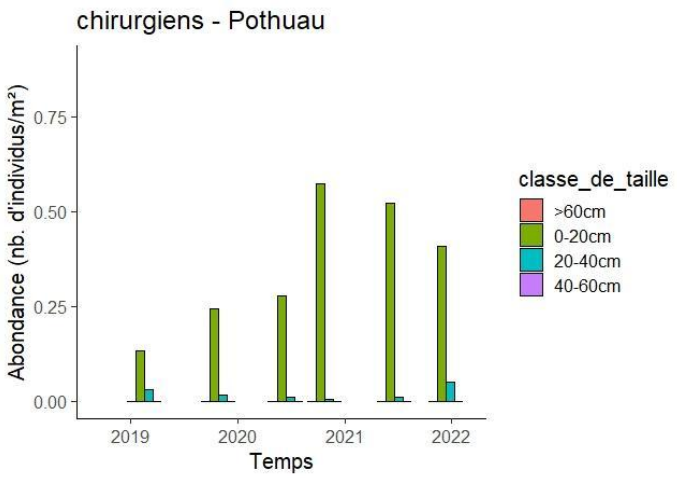

barracuda_becunes - Témoin
0.03
0.02
0.01
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

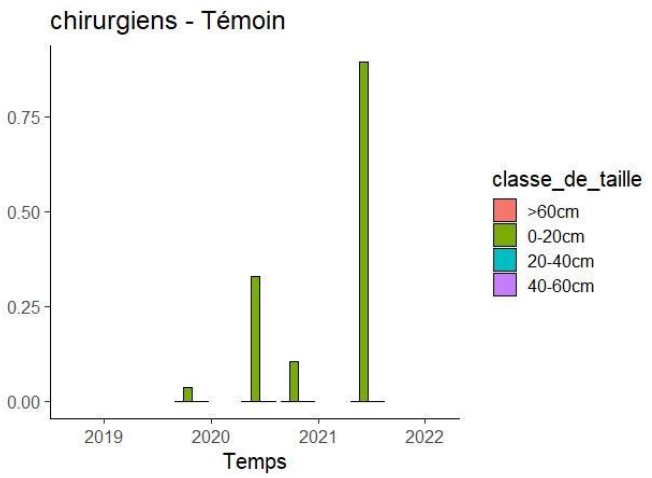

blanches - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

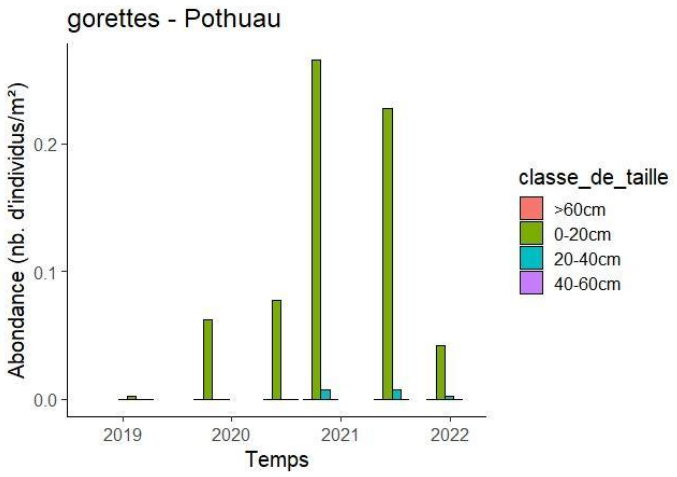

blanches - Témoin
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

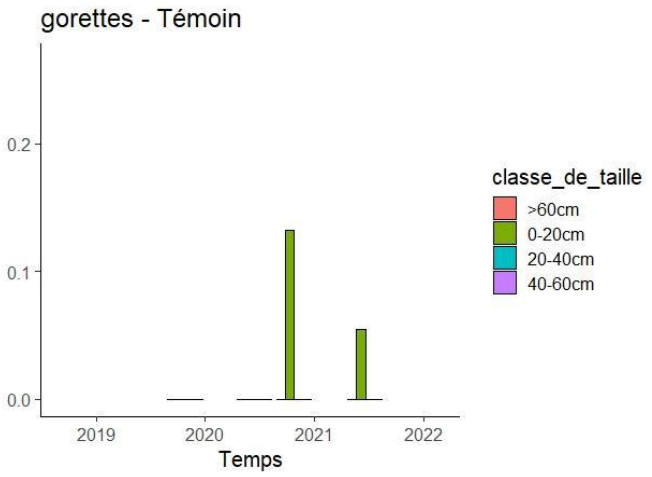

carangues_serioles - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.06
0.04
0.02
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

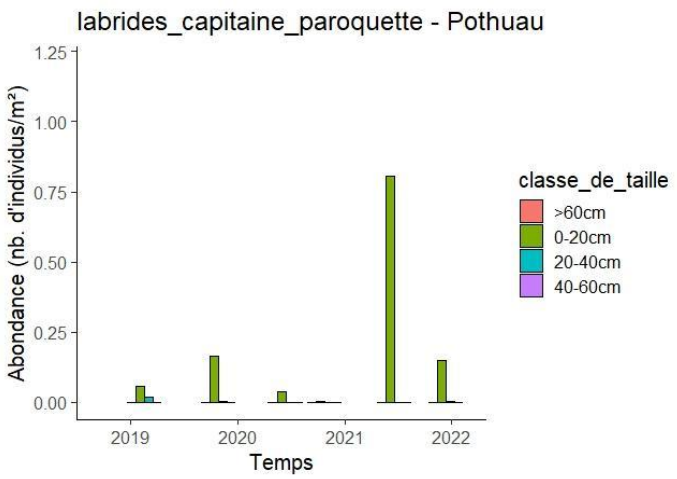

carangues_serioles - Témoin
0.06
0.04
0.02
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

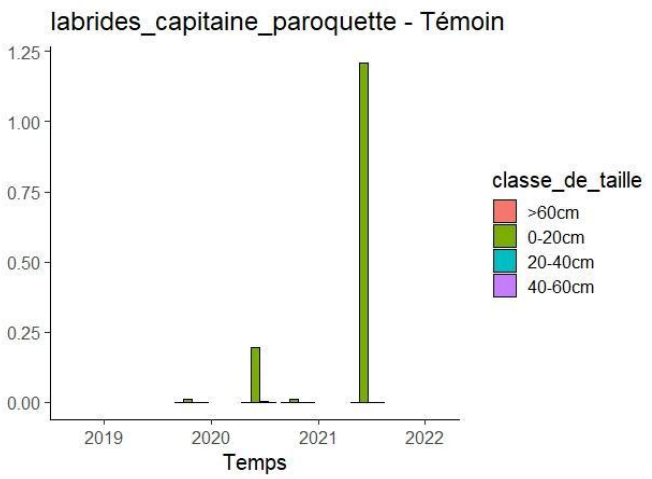

chirurgiens - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.00
0.25
0.50
0.75
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

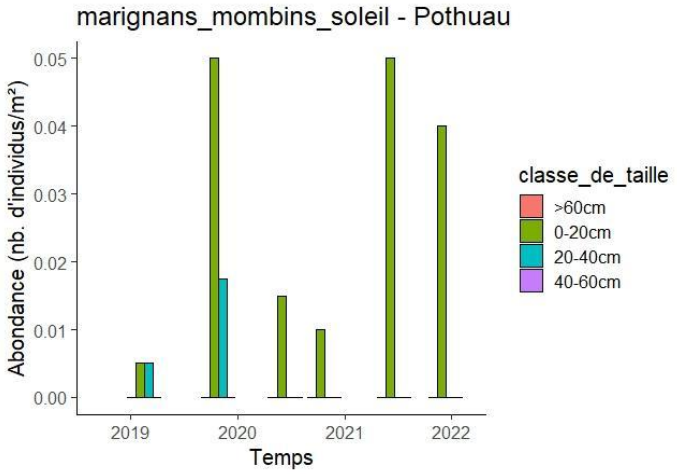

chirurgiens - Témoin
0.00
0.25
0.50
0.75
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

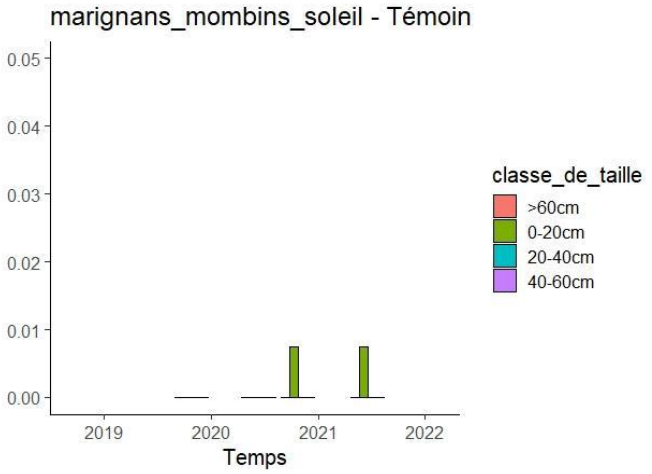

gorettes - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.0
0.1
0.2
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

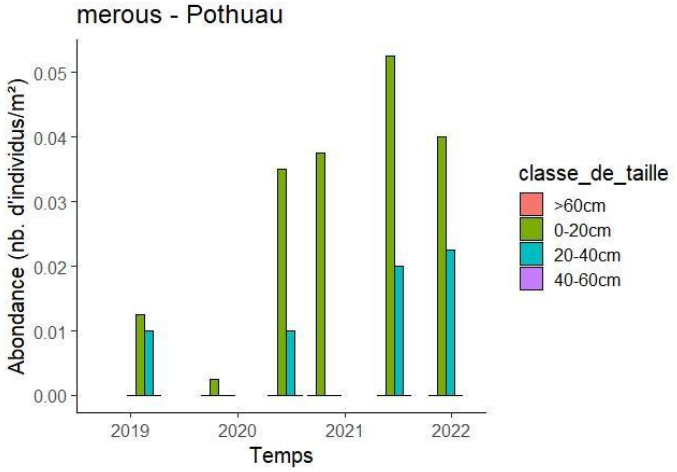

gorettes - Témoin
0.0
0.1
0.2
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

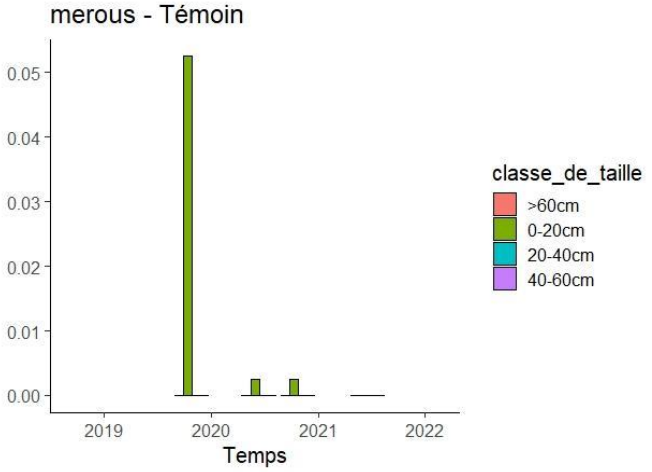

labrides_capitaine_paroquette - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.00
0.25
0.50
0.75
1.00
1.25
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

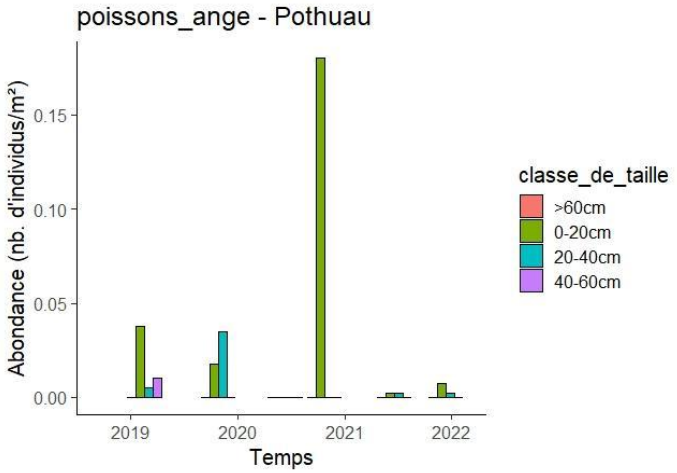

labrides_capitaine_paroquette - Témoin
0.00
0.25
0.50
0.75
1.00
1.25
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

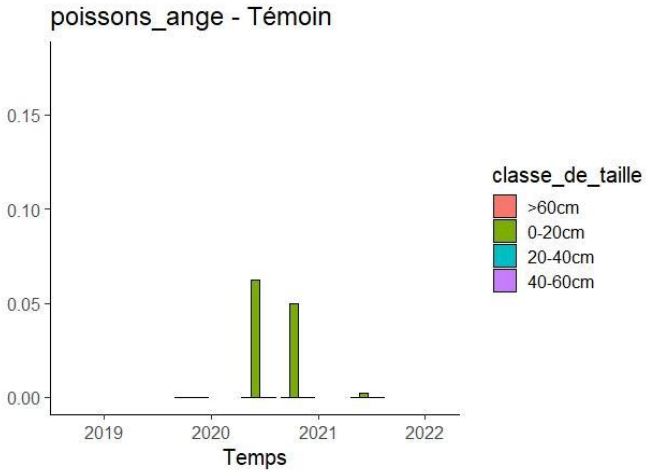

marignans_mombins_soleil - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

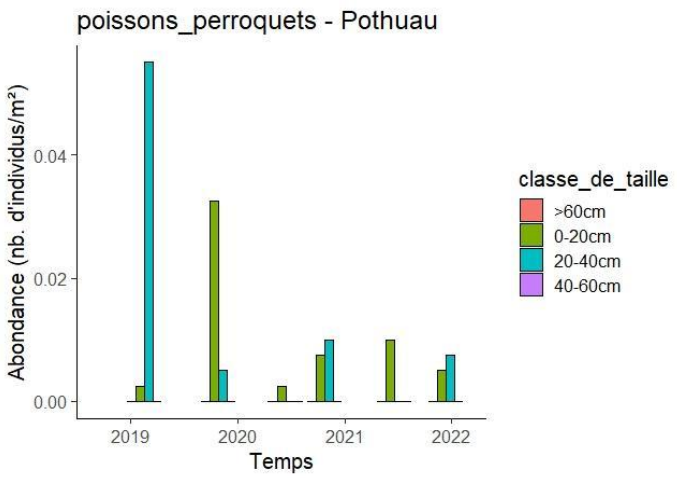

marignans_mombins_soleil - Témoin
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

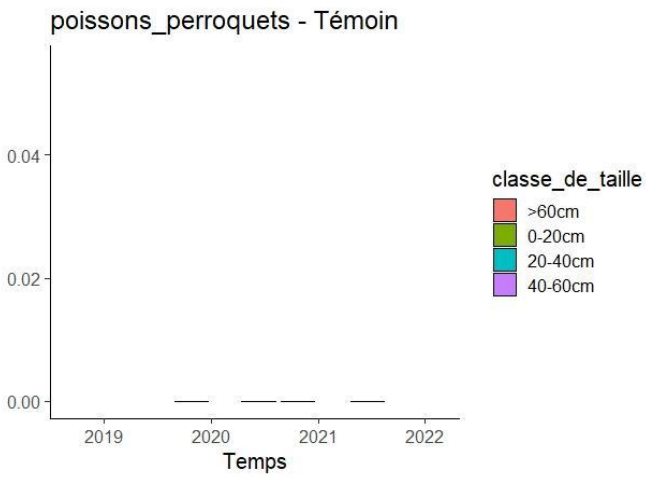

merous - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

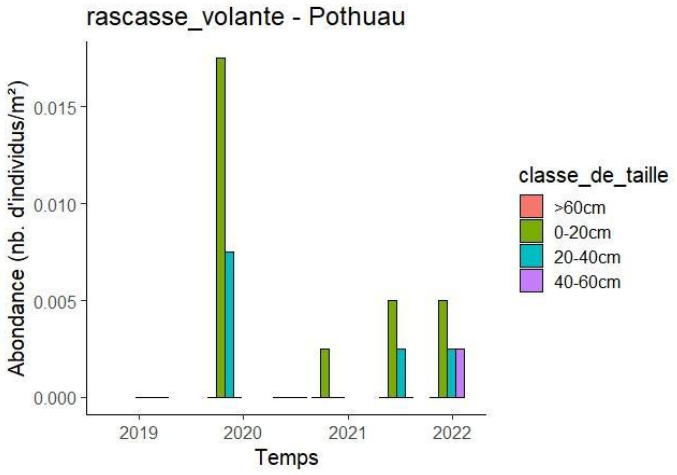

merous - Témoin
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

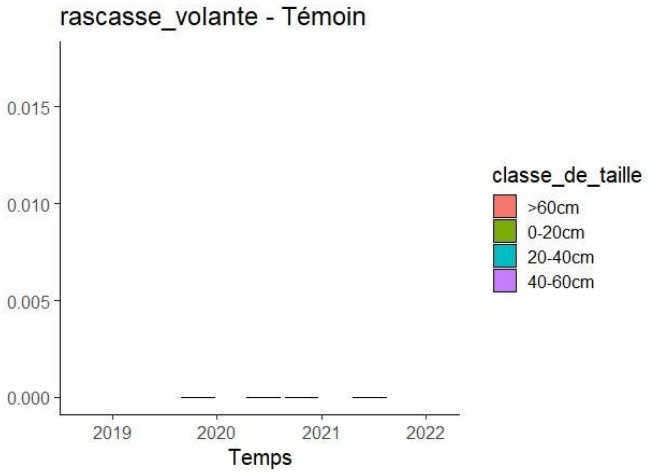

poissons_ange - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.15
0.10
0.05
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

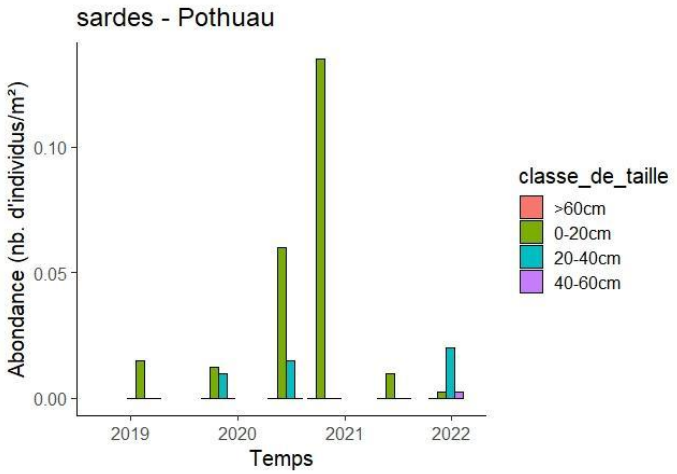

poissons_ange - Témoin
0.15
0.10
0.05
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

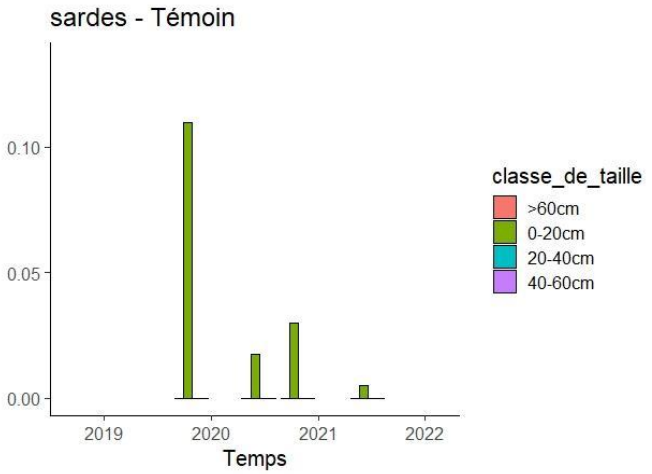

poissons_perroquets - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.04
0.02
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

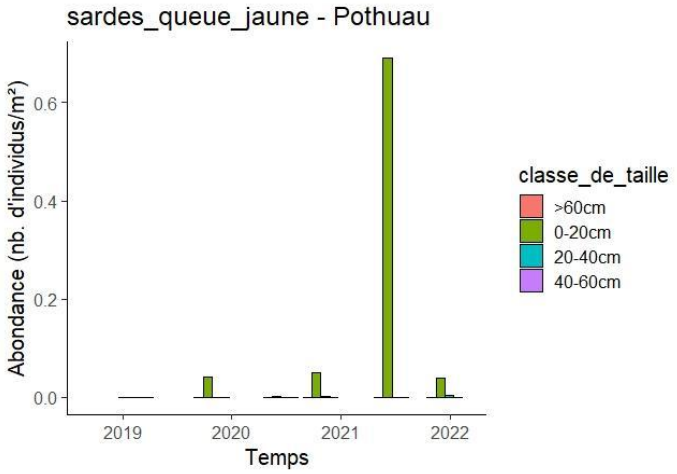

poissons_perroquets - Témoin
0.04
0.02
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

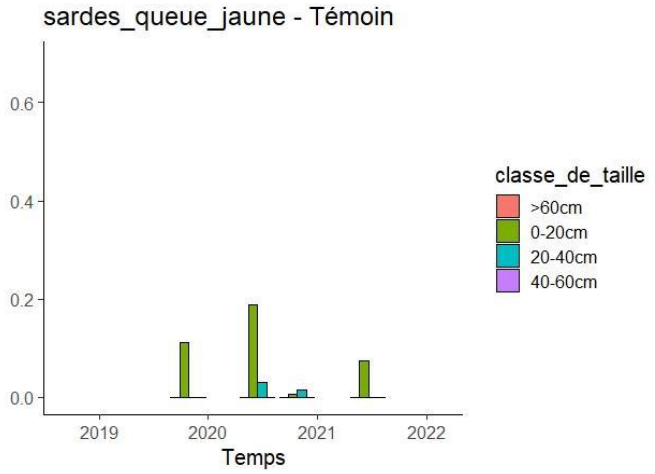

rascasse_volante - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.015
0.010
0.005
0.000
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

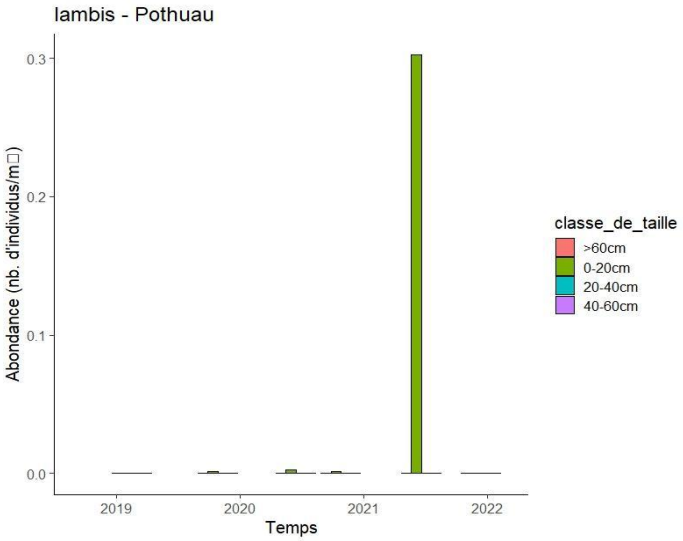

rascasse_volante - Témoin
0.015
0.010
0.005
0.000
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

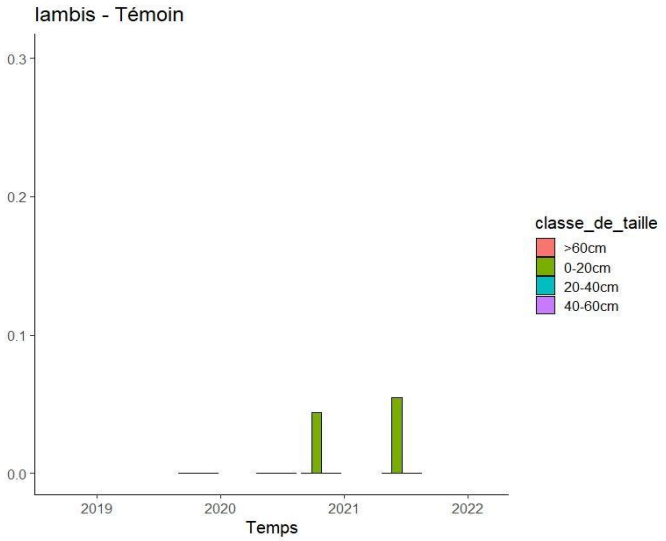

sardes - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.10
0.05
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

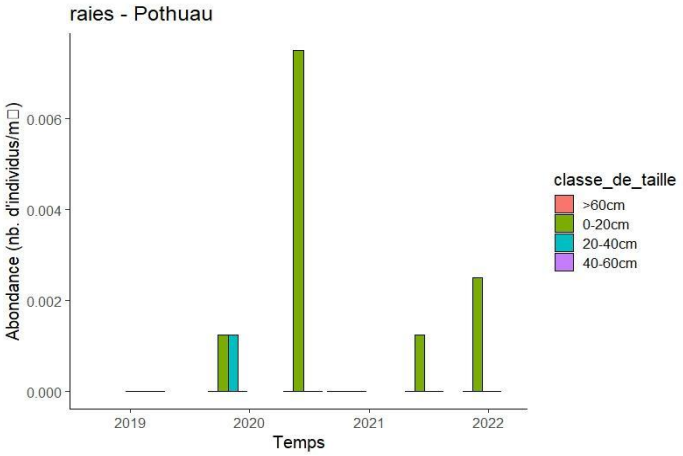

sardes - Témoin
0.10
0.05
0.00
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

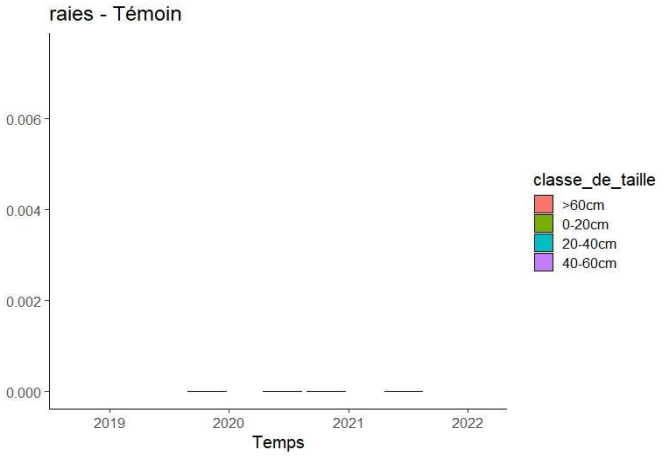

sardes_queue_jaune - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m²)
0.0
0.2
0.4
0.6
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm


sardes_queue_jaune - Témoin
0.0
0.2
0.4
0.6
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm


lambis - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m□)
0.0
0.1
0.2
0.3
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm


lambis - Témoin
0.0
0.1
0.2
0.3
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm


raies - Pothuau
Abondance (nb. d'individus/m□)
0.000
0.002
0.004
0.006
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm


raies - Témoin
0.000
0.002
0.004
0.006
2019
2020
2021
2022
Temps
classe_de_taille
>60cm
0-20cm
20-40cm
40-60cm

Annexe 2 : résultats obtenus en 2022

Tableau 1 : résumé des points fixes et les profondeurs associées effectués pendant le suivi 2022.

Date	Zone	Substrat	profondeur	Nb du points
16/08/2022	Pothuau	Herbier	5	6
16/08/2022	Pothuau	Herbier	10	3
16/08/2022	Pothuau	Herbier	15	3
16/08/2022	Pothuau	Rocheux	5	0
16/08/2022	Pothuau	Rocheux	10	2
16/08/2022	Pothuau	Rocheux	15	2
16/08/2022	Témoin	Herbier	5	5
16/08/2022	Témoin	Herbier	10	6
16/08/2022	Témoin	Herbier	15	6
16/08/2022	Témoin	Rocheux	5	2
16/08/2022	Témoin	Rocheux	10	0
16/08/2022	Témoin	Rocheux	15	0
12/12/2022	Pothuau	Herbier	5	4
12/12/2022	Pothuau	Herbier	10	5
12/12/2022	Pothuau	Herbier	15	5
12/12/2022	Pothuau	Rocheux	5	2
12/12/2022	Pothuau	Rocheux	10	1
12/12/2022	Pothuau	Rocheux	15	1
12/12/2022	Témoin	Herbier	5	6
12/12/2022	Témoin	Herbier	10	6
12/12/2022	Témoin	Herbier	15	6
12/12/2022	Témoin	Rocheux	5	0
12/12/2022	Témoin	Rocheux	10	0
12/12/2022	Témoin	Rocheux	15	0

Abondance et richesse spécifique moyenne

L'abondance et la richesse spécifique moyenne ont été calculées pour les zones du pothuau et pour la zone témoin. L'abondance moyenne en 2022 est de 1.19 et 1.14 individus/m² pour la zone du Pothuau et de 5.43 et 2.02 individus/m² dans la zone témoin. La richesse spécifique moyenne est de 4.69 espèces par transects en août 2022 et 5.11 espèces par transect en décembre 2022 pour la zone du Pothuau. Cette richesse est en moyenne plus élevée que la zone témoin qui obtient des valeurs de 3.95 et 4.44 espèces par transect en août et en décembre 2022 respectivement. Aucun test statistique n'a été effectué mais l'erreur standard représentée par les barres d'erreurs laissent à penser que la différence d'abondance entre la zone pothuau et la zone témoin est significative contrairement à la différence de richesse spécifique entre les deux zones.

Tableau 2 : Données d'abondance et de richesse spécifique moyenne pour la zone du pothuau et la zone témoin. Mean = moyenne, se = erreur standard, n = nombre de points fixe étudiés.

Numéro de suivi	zone	variable	n	mean	se
6	pothuau	Abondance	16	1.19	0.266

6	Pothuau	Richesse spé	16	4.69	0.956
7	Pothuau	Abondance	18	1.14	0.212
7	pothuau	Richesse spé	18	5.11	0.685
6	témoin	Abondance	19	5.43	3.93
6	témoin	Richesse spé	19	3.95	0.468
7	témoin	Abondance	18	2.02	0.478
7	témoin	Richesse spé	18	4.44	0.525

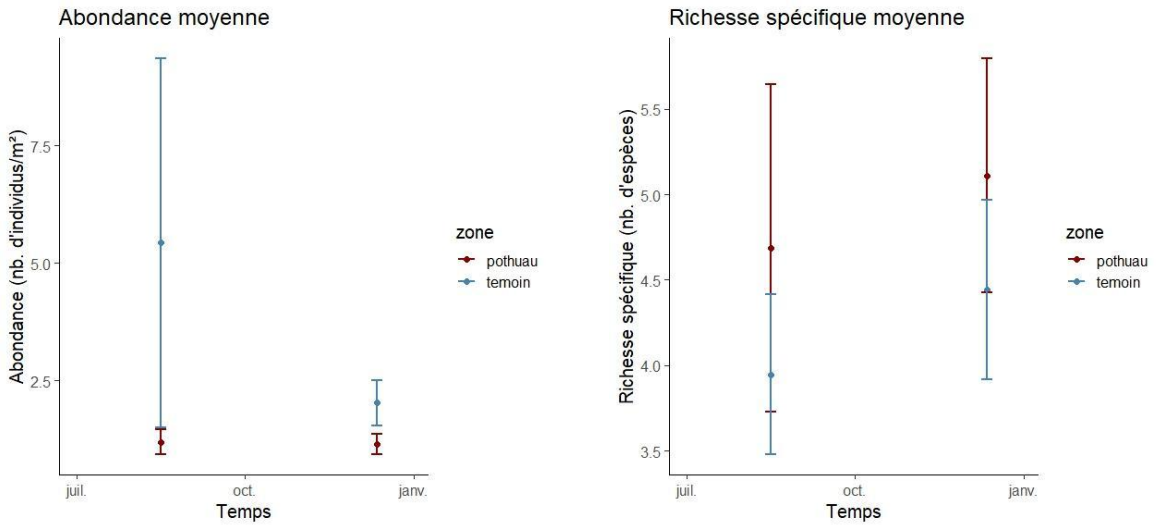


Figure 1 : abondance et richesse spécifique moyenne pour les zones du pothuau et la zone témoin. Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard.

Il y a une différence entre ces données et l'étude de 2021, la richesse spécifique présentée ici est réellement moyenné entre les points fixes (transect 1 = espèce a et b, transect 2 = espèce b et c => richesse spécifique = 2). Ce qui était effectué sur l'étude de 2021 c'était la richesse spécifique totale présente sur une zone (transect 1 = espèce a et b, transect 2 = espèce b et c => richesse spécifique = 3). Si tu veux comparer voici la même version que pour l'étude précédente pour l'année 2022 (fig. 2). La richesse spécifique en août 2022 est de 14 pour la zone témoin et 16 pour la zone pothuau. En décembre 2022 les deux richesses spécifiques totales se rejoignent à 15 « catégories d'espèces » dans les 2 zones.

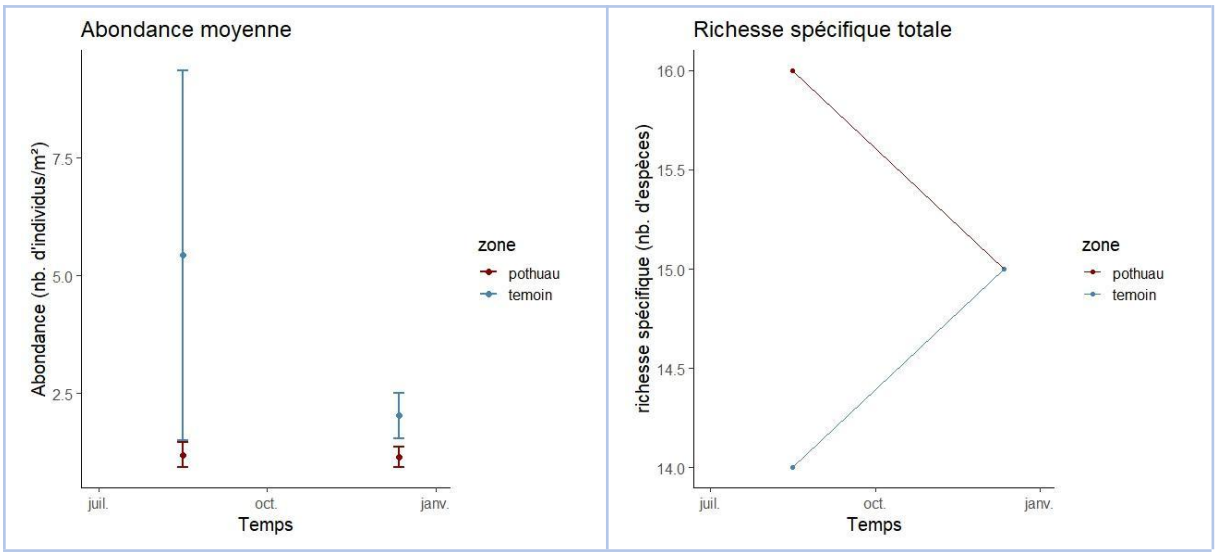


Figure 2 : abondance moyenne et richesse spécifique totale pour les zones du pothuau et la zone témoin. Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard.

Abondance et richesse spécifique moyenne par substrat

Tableau 3 : Données d'abondance et de richesse spécifique moyenne pour la zone du pothuau et la zone témoin en fonction de leur substrat. Mean = moyenne, se = erreur standard, n = nombre de points fixe étudiés.

Numéro de suivi	zone	substrat	variable	n	mean	se
6	pothuau	herbier	abondance	12	1,049	0,316
6	pothuau	herbier	Richesse spé	12	3,833	1,058
7	pothuau	herbier	abondance	14	1,124	0,235
7	pothuau	herbier	Richesse spé	14	4,714	0,699
6	témoin	herbier	abondance	17	5,988	4,385
6	témoin	herbier	Richesse spé	17	4,118	0,461
7	témoin	herbier	abondance	18	2,022	0,478
7	témoin	herbier	Richesse spé	18	4,444	0,525
6	pothuau	Rocheux	abondance	4	1,609	0,496
6	pothuau	Rocheux	Richesse spé	4	7,25	1,75
7	pothuau	Rocheux	abondance	4	1,194	0,557
7	pothuau	Rocheux	Richesse spé	4	6,5	1,936
6	témoin	Rocheux	abondance	2	0,672	0,672
6	témoin	Rocheux	Richesse spé	2	2,5	2,5

L'abondance moyenne dans le cas du substrat herbier est quasiment la même que celle sur tout substrat. Elle est de 1.049 et de 1.124 individus/m² pour la zone du Pothuau en août et décembre 2022 et de 5.988 et 2.022 individus/m² pour la zone témoin en août et décembre 2022. La ou c'est assez intéressant c'est qu'au contraire sur substrat rocheux l'abondance est plus importante dans la zone du pothuau avec une valeur de 1.609 contre 0.672 individus/m² dans la zone témoin en août 2022. Dans le cas de la richesse spécifique, elle est à peu près équivalente sur substrat herbier pour les deux zones avec une valeur de 3.833 et 4.714 espèces par transects pour la zone du pothuau contre 4.118 et 4.444 espèces par transects pour la zone témoin respectivement en août et décembre 2022. Dans le cas du substrat rocheux, la richesse spécifique est plus importante dans la zone du pothuau avec des valeurs de 7.25 espèces par points contre 2.5 pour la zone témoin. Il y a également des tests à faire pour vérifier la significativité des résultats.

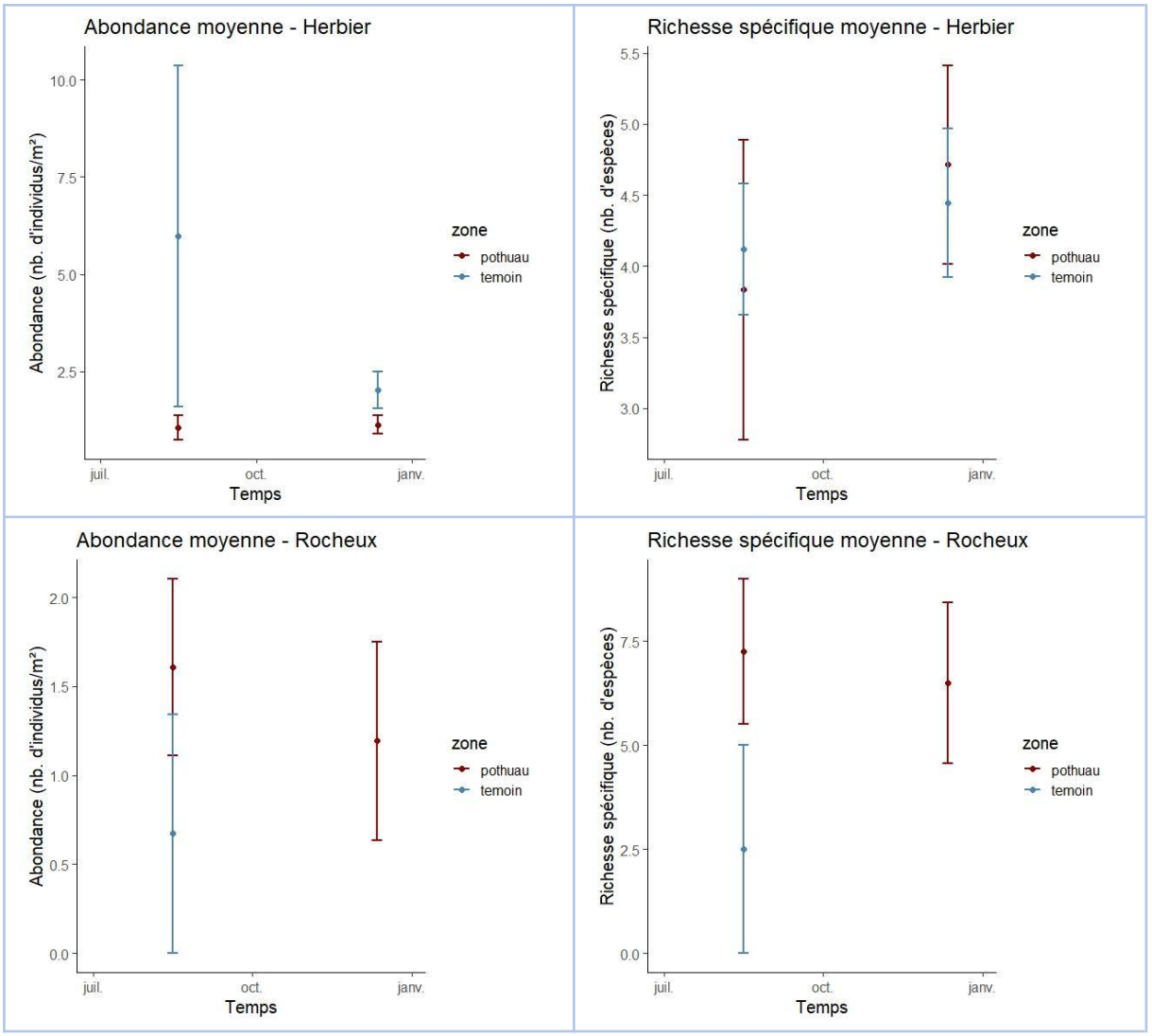


Figure 3 : Abondance et richesse spécifique moyenné pour les zones du pothuau et la zone témoin en fonction du substrat. Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard.

Abondance et richesse spécifique moyenne par profondeur

L'abondance et la richesse spécifique de tous les transects 2022 ont été moyennés en fonction de la profondeur. Dans le cas de l'abondance, seul la moyenne d'abondance de la zone témoin à 10m de profondeur montre une réelle différence. Étant donné l'erreur standard très élevée, cette différence semble être la conséquence du comptage d'un banc important de poissons. Dans l'absolue, que ce soit pour l'abondance ou pour la richesse spécifique, il n'y a pas de différence importante entre les profondeurs. Il faut encore une fois faire un test pour connaître la significativité de ces informations.

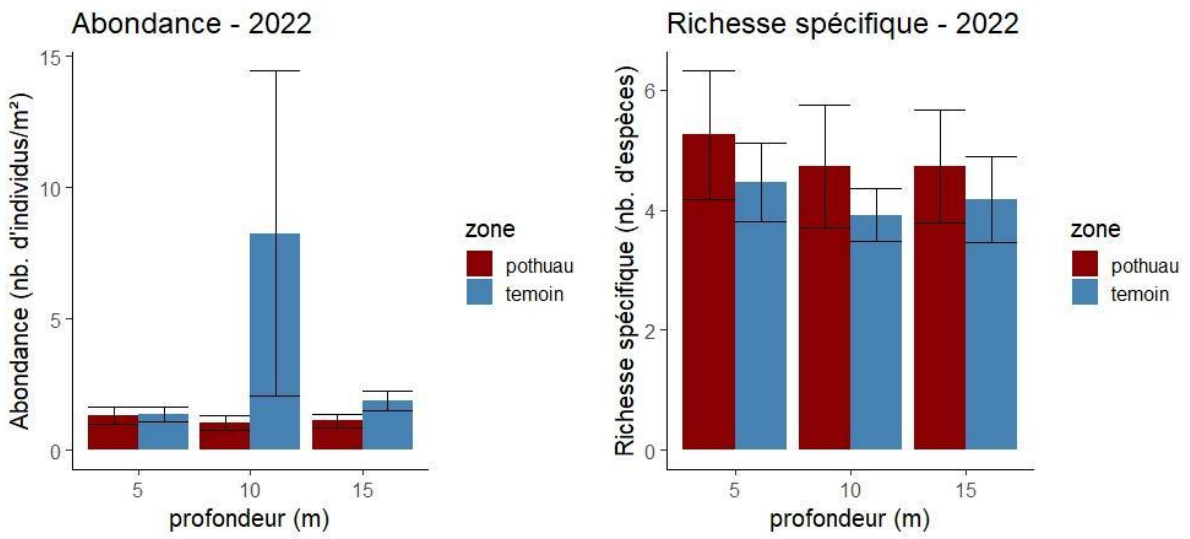


Figure 3 : Barplot représentant l'abondance et la richesse spécifique moyenne pour la zone du pothuau et la zone témoin en fonction de la profondeur. Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard.

Abondance moyenne par classe de taille

L'abondance moyenne a été représentée sous forme de barplot en fonction des classes de taille et de la zone d'étude. Cette abondance est supérieure dans la zone témoin comparé à la zone du pothuau pour la classe 0-20 cm avec des valeurs de 5.718 et 2.022 individus/m² contre 1.032 et 1.047 dans la zone pothuau. Pour les classes de taille 20-40cm et 40-60 cm l'abondance est supérieur dans la zone du pothuau et quasi inexistante dans la zone témoin. La classe > 60cm ne montre aucune abondance dans les deux zones.

Tableau 4 : Abondance moyenne et écart type pour la zone du pothuau et la zone témoin en 2022 tout substrat confondu. n = nombre de transects pris en compte, mean = moyenne, se = erreur standard.

zone	date	classe_de_taille	n	mean	se
pothuau	16/08/2022	>60cm	16	0	0
pothuau	16/08/2022	0-20cm	16	1,032	0,215
pothuau	16/08/2022	20-40cm	16	0,141	0,085
pothuau	16/08/2022	40-60cm	16	0,015	0,01
pothuau	12/12/2022	>60cm	18	0	0
pothuau	12/12/2022	0-20cm	18	1,047	0,195
pothuau	12/12/2022	20-40cm	18	0,088	0,039
pothuau	12/12/2022	40-60cm	18	0,004	0,004
temoin	16/08/2022	>60cm	18	0	0
temoin	16/08/2022	0-20cm	18	5,718	4,143
temoin	16/08/2022	20-40cm	18	0,012	0,006
temoin	16/08/2022	40-60cm	18	0	0
temoin	12/12/2022	>60cm	18	0	0
temoin	12/12/2022	0-20cm	18	2,022	0,478
temoin	12/12/2022	20-40cm	18	0	0
temoin	12/12/2022	40-60cm	18	0	0

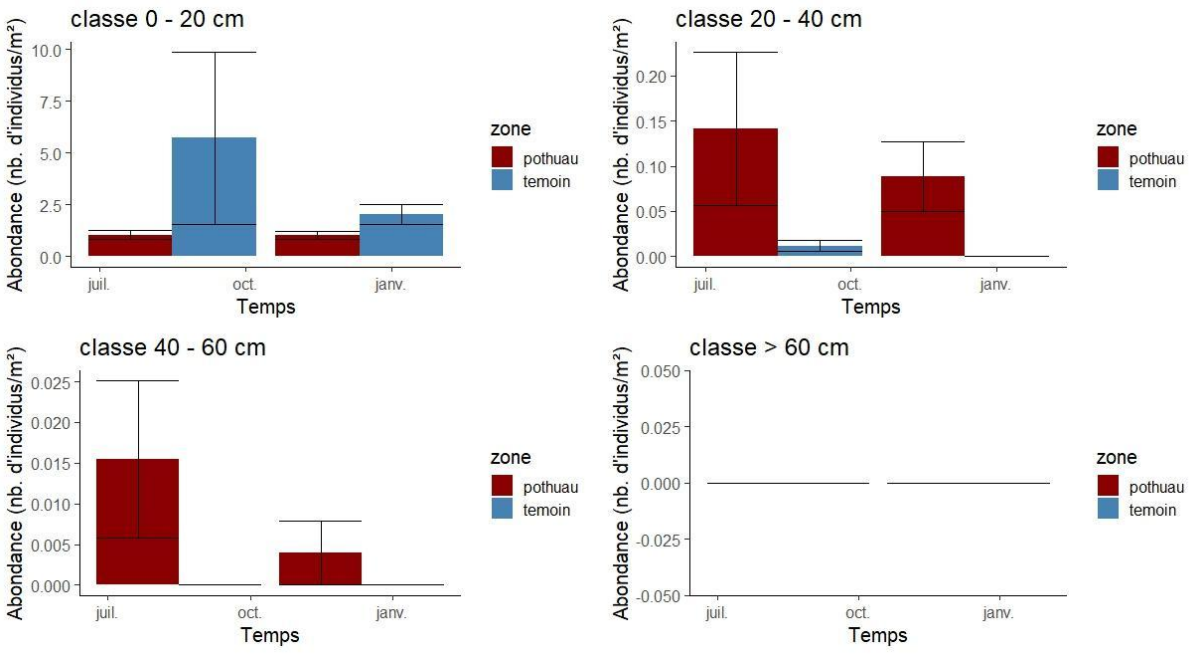


Figure 4 : Abondance moyenne et écart type pour la zone du pothuau et la zone témoin en 2022 tout substrat confondu.

Abondance par classe de taille – herbier

Dans le cas de l'abondance moyenne par classe de taille pour le substrat herbier on obtient quasiment les mêmes résultats que sur tout substrat.

Tableau 5 : Abondance moyenne et écart type pour la zone du pothuau et la zone témoin en 2022 pour le substrat herbier. n = nombre de transects pris en compte, mean = moyenne, se = erreur standard.

zone	date	classe_de_taille	n	mean	se
pothuau	16/08/2022	>60cm	12	0	0
pothuau	16/08/2022	0-20cm	12	0,881	0,228
pothuau	16/08/2022	20-40cm	12	0,165	0,113
pothuau	16/08/2022	40-60cm	12	0,003	0,003
pothuau	12/12/2022	>60cm	14	0	0
pothuau	12/12/2022	0-20cm	14	1,064	0,23
pothuau	12/12/2022	20-40cm	14	0,061	0,03
pothuau	12/12/2022	40-60cm	14	0	0
temoin	16/08/2022	>60cm	17	0	0
temoin	16/08/2022	0-20cm	17	5,975	4,386
temoin	16/08/2022	20-40cm	17	0,012	0,007
temoin	16/08/2022	40-60cm	17	0	0
temoin	12/12/2022	>60cm	18	0	0
temoin	12/12/2022	0-20cm	18	2,022	0,478
temoin	12/12/2022	20-40cm	18	0	0
temoin	12/12/2022	40-60cm	18	0	0

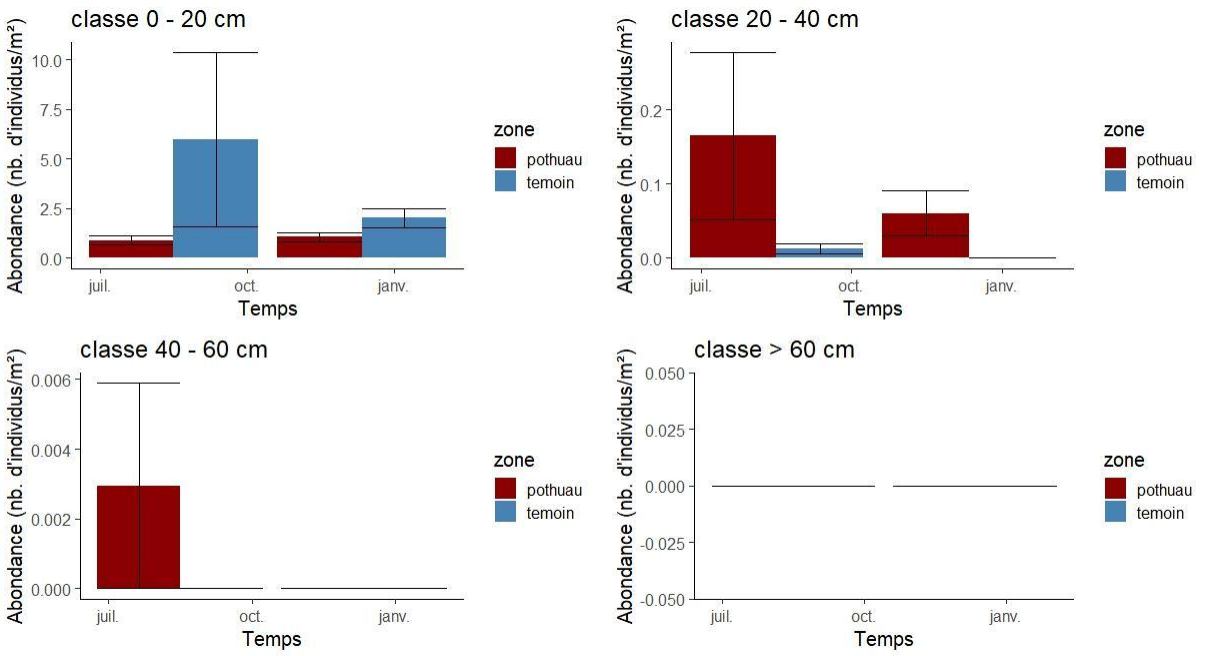


Figure 5 : Abondance moyenne et écart type pour la zone du pothuau et la zone témoin en 2022 substrat herbier.

Abondance par classe de taille – rocheux

L'abondance par classe de taille dans le cas d'un substrat rocheux n'est pas réellement comparable car dans la zone témoin il n'y a qu'un transect qui est représenté, il n'y a donc pas suffisamment de données pour les comparer.

Tableau 6 : Abondance moyenne et écart type pour la zone du pothuau et la zone témoin en 2022 pour le substrat rocheux. n = nombre de transects pris en compte, mean = moyenne, se = erreur standard.

zone	date	classe_de_taille	n	mean	se
pothuau	16/08/2022	>60cm	4	0	0
pothuau	16/08/2022	0-20cm	4	1,485	0,508
pothuau	16/08/2022	20-40cm	4	0,071	0,041
pothuau	16/08/2022	40-60cm	4	0,053	0,034
pothuau	12/12/2022	>60cm	4	0	0
pothuau	12/12/2022	0-20cm	4	0,99	0,407
pothuau	12/12/2022	20-40cm	4	0,186	0,142
pothuau	12/12/2022	40-60cm	4	0,018	0,018
temoin	16/08/2022	>60cm	1	0	
temoin	16/08/2022	0-20cm	1	1,344	
temoin	16/08/2022	20-40cm	1	0	
temoin	16/08/2022	40-60cm	1	0	

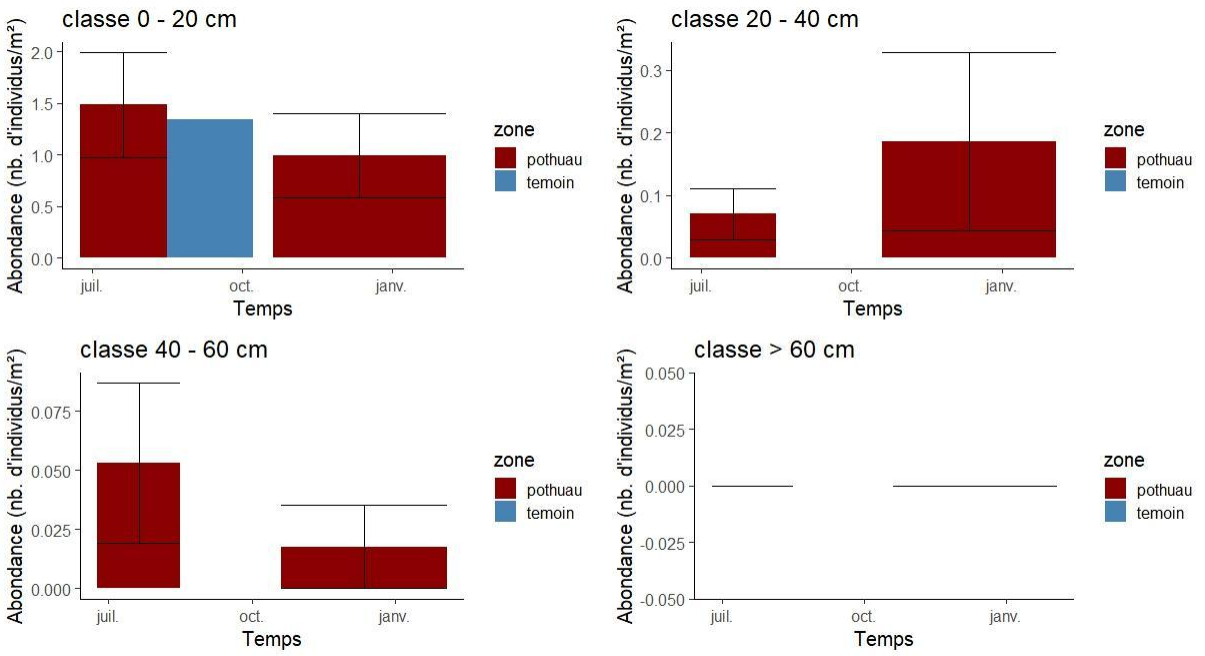


Figure 6 : Abondance moyenne et écart type pour la zone du pothuau et la zone témoin en 2022 substrat rocheux.