

Communautés biologiques et habitats coralliens de Ouano (Zone Côtière Ouest)



Organisation
 des Nations Unies
 pour l'éducation,
 la science et la culture



Lagons de Nouvelle-Calédonie :
 • diversité récifale et
 écosystèmes associés
 • inscrits sur la Liste du
 patrimoine mondial en 2008

- État des lieux 2020 -
- Maintien de l'intégrité -



Laurent Wantiez, Philippe Frolla, Daisy Goroparawa

2021

Dr Laurent Wantiez - UNC – BP R4 – 98851 Nouméa Cedex
 Tel 290 280 – Email : laurent.wantiez@unc.nc

Le rapport doit être cité de la façon suivante :

Wantiez L, Frolla P, Goroparawa (2021). Communautés biologiques et habitats coralliens de Ouano (Zone Côtière Ouest). Etat des lieux 2020. Maintien de l'intégrité. Province Sud de la Nouvelle-Calédonie, Université de la Nouvelle-Calédonie. 95 pages.

Les données et les résultats de ce rapport ne peuvent être utilisés pour une publication scientifique sans l'autorisation de Laurent Wantiez.

Crédits photos : Laurent Wantiez

1 SOMMAIRE

1	SOMMAIRE	3
2	RESUME.....	5
3	INTRODUCTION.....	8
4	MATERIEL ET METHODES	9
4.1	Stratégie d'échantillonnage	9
4.2	Techniques d'échantillonnage	10
4.2.1	Poissons	11
4.2.2	Macrobenthos	12
4.2.3	Habitat	13
4.3	Traitement des données	13
4.3.1	Etat des lieux en 2020.....	13
4.3.2	Performance de la réserve de Ouano et vérification du maintien de l'intégrité.....	15
4.4	Tableau de bord.....	15
5	ETAT DES LIEUX EN 2020	16
5.1	Caractéristiques écologiques générales	16
5.1.1	Poissons	16
5.1.1.1	Richesse et composition spécifique	16
5.1.1.2	Richesse spécifique par station, densité et biomasse	19
5.1.1	Macrobenthos	20
5.1.1	Habitat corallien	24
5.2	Organisation spatiale des récifs coralliens	25
5.2.1	Poissons	25
5.2.1.1	Caractéristiques générales	25
5.2.1.2	Structure des communautés	31
5.2.2	Macrobenthos	34
5.2.2.1	Caractéristiques générales	34
5.2.2.2	Structure des communautés	38
5.2.3	Habitat	40
5.2.3.1	Caractéristiques générales	40
5.2.3.2	Structure de l'habitat	43
5.3	Performance de la réserve de Ouano et maintien de l'intégrité du bien	45
5.3.1	Récifs coralliens	45
5.3.1.1	Poissons	45
5.3.1.2	Macrobenthos	65
5.3.1.3	Habitat	81
5.4	Herbiers.....	84
6	BILAN ET CONCLUSIONS	86

7	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	89
8	LISTE DES TABLEAUX	91
9	LISTE DES FIGURES.....	92
10	ANNEXE : LISTE DE REFERENCE DES TAXONS MACROBENTHIQUES POUR EVALUER L'INTEGRITE DU BIEN	94

2 RESUME

La réserve marine de Ouano a été créée par la province Sud en juin 2004. Elle inclut tous les écosystèmes de la côte jusqu'au récif barrière. Un premier état des lieux a été réalisé en 2004. La variabilité temporelle naturelle est étudiée depuis 2004 dans la réserve et les zones adjacentes non-protégées. Une surveillance effective de la réserve a été mise en place début 2007 ce qui marque le point zéro à partir duquel les effets de réserve sont quantifiés.

Cette étude est réalisée dans le cadre du suivi de l'intégrité des éléments du bien inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO. Elle est cofinancée par le Conservatoire d'Espaces Naturels de Nouvelle-Calédonie et l'Université de la Nouvelle-Calédonie. Les objectifs ont été de réaliser un bilan de santé des récifs de Ouano en 2020, d'évaluer la performance de la réserve et de vérifier le maintien de l'intégrité de cet élément du bien inscrit.

Le bilan de santé réalisé en 2020 fait état d'un écosystème en bonne santé. Les impacts anthropiques décelables sont limités et leur intensité n'a pas augmenté significativement. Les évolutions observées correspondent principalement à des variations naturelles et globalement favorables des populations et de l'habitat. Des effets de réserve sont toujours observés mais leur importance se réduisent depuis 2014 en raison d'une surveillance moins efficace liée au départ du bureau des gardes natures du site ainsi que de l'extension de leur champs d'action au domaine terrestre. L'intégrité s'est maintenue depuis 2004 avec une amélioration globale en raison de l'absence de perturbation majeure et d'un impact anthropique stable pendant la période. Ce bilan a été réalisé avant le passage de la dépression tropicale Lucas et du cyclone Niran en 2021.

Etat des lieux en 2020

Sur les récifs, 271 espèces de poissons appartenant à 39 familles ont été recensées. Ces espèces sont caractéristiques des formations coralliennes en bonne santé de Nouvelle-Calédonie. Les espèces commerciales comprenaient 64 espèces. La richesse spécifique a été de 58.2 espèces par station, la densité de 2.31 poisson/m² et la biomasse de 104.4 g/m². Les communautés s'organisent selon le type de récif (gradient côte-large) et le statut de protection. Les effets du facteur protection sont significatifs et sont le résultat des effets de réserve. La diversité par station et de la densité des Serranidae et des Acanthuridae commerciaux, ainsi que la biomasse des Acanthuridae sont supérieures dans la réserve. En revanche, l'inverse est observé pour la densité des Scaridae.

Les organismes macrobenthiques épigés coralliens font partie du cortège habituel des récifs coralliens. Il s'agit principalement de mollusques et, dans une moindre mesure, d'échinodermes. Les mollusques commerciaux sont fréquents et relativement abondants. La taille moyenne des bénitiers est petite (11.3 cm) en raison de la présence de nombreux juvéniles (recrutement favorable) et du déficit en spécimens de grande taille. La taille moyenne des trocas est importante (10.6 cm) et les gros spécimens dominant. Le suivi de 2020 se caractérise également par la fréquence et l'abondance des langoustes, notamment dans la réserve (20 spécimens). Les holothuries sont fréquentes mais les espèces à forte

valeur commerciale sont rares. Les communautés s'organisent naturellement en fonction du type de récif selon un gradient côte-large classique.

L'habitat corallien est diversifié et principalement abiotique (63.3%). Il n'a toujours pas totalement récupéré de l'impact du cyclone Erica en 2003, notamment sur les récifs frangeants. Les formations coralliennes (46.4% du substrat vivant) dominent le substrat vivant devant les végétaux mous (23.8% du substrat vivant). Le substrat abiotique est dominé par les débris (43.3% du substrat abiotique) et la dalle corallienne (41.8% du substrat abiotique). Les caractéristiques de l'habitat diffèrent en fonction du type de récif selon un gradient côte-large typique. Par ailleurs des différences structurelles naturelles existent également pour ces formations entre la réserve et les zones non protégées adjacentes.

Performance de la réserve

La surveillance de la réserve est active depuis 2007. Toutefois, la présence des gardes natures sur site d'un lieu où ils pouvaient surveiller toute la réserve s'est interrompue en 2014. De plus, leur domaine d'action a été étendu au domaine terrestre. Ce changement de gestion a entraîné une diminution de la surveillance de la réserve depuis 2014.

Pour les communautés de poissons, les effets des mesures de protection dans la réserve qui avaient été observés en 2009 et qui s'étaient amplifiés en 2014 sont toujours observables. A une exception près (densité des Serranidae commerciaux), les évolutions des composantes de l'ichtyofaune étudiées ont toujours été dans le sens des effets de réserves attendus ou sont restées stables. Au niveau structurel, les évolutions observées dans la réserve intègrent les effets de réserves depuis 2020. Toutefois pour les ressources, les effets de réserve sont moins marqués qu'en 2014, une diminution des valeurs moyennes étant observées pour certaines métriques entre 2014 et 2020. En 2020 certaines composantes des communautés de poissons ne semblent plus dans une phase de développement dans la réserve par rapport aux zones non protégées et se sont stabilisées voire ont régressé. Cette évolution pourrait être liée à un changement de mode de surveillance et à une augmentation du braconnage dans la réserve.

Les évolutions temporelles des composantes du macrobenthos étudiées ont également bénéficié des effets de réserve, notamment pour les trocas, les bédouilles et les langoustes. Au niveau structurel, les résultats indiquent que si la structure des communautés d'invertébrés cibles a évolué différemment dans la réserve et la zone non protégée au cours de la période, il n'est pas possible de lier ces évolutions à la mise en place de la surveillance.

Les évolutions de l'habitat ne sont pas liées aux mesures de protection.

Maintien de l'intégrité du bien

Au regard des résultats du suivi de 2020, le maintien de l'intégrité du bien est vérifié, les écosystèmes coralliens de la zone d'étude sont en bonne santé et les évolutions sont globalement favorables ou neutres. Les effets de réserves ainsi que des conditions environnementales globalement favorables, avec l'absence de perturbation majeure depuis le cyclone Erica (2003), ont contribué à ce bon état de santé.

A l'exception de la densité des Serranidae commerciaux, les évolutions des composantes de l'ichtyofaune étudiées ont toujours été dans le sens d'une amélioration ou de variations temporelles neutres. Les évolutions observées intègrent les effets de la protection dans la réserve et elles sont naturelles dans la zone non protégée en lien avec l'environnement et l'écologie des espèces. Pour les

macroinvertébrés les évolutions temporelles ont également été favorables ou neutres. Elles ont bénéficié des effets de réserve ou de conditions environnementales favorables. Les évolutions observées sont principalement naturelles en lien avec l'environnement et l'écologie des espèces. L'habitat continue de se développer depuis l'impact du cyclone Erica en 2003. La recolonisation corallienne progresse régulièrement mais le milieu n'a pas encore retrouvé ses caractéristiques pré-Erica. Ces résultats confirment le maintien de l'intégrité du bien.

Les tableaux de bord ressources et biodiversité confirment les résultats des analyses détaillées. Les ressources sont toujours impactées dans la zone d'étude. Le statut de la biodiversité s'améliore et correspond à un environnement en bonne santé. Il est cependant globalement moyen en raison d'un déficit en espèces emblématiques.

Synthèse ressources	Poisson	Effet de réserve
Synthèse biodiversité	Communautés en bonne santé Déficit en requins	

Les herbiers échantillonnés dans la zone d'étude abritent des communautés de poissons peu diversifiées et peu abondantes depuis le début des suivis. A ce jour, il est quasiment certain que ces herbiers sont naturellement pauvres.

3 INTRODUCTION

Le Conservatoire d'espaces naturels de la Nouvelle-Calédonie (CEN) et l'Université de la Nouvelle-Calédonie (UNC) ont engagé en 2020, un état des lieux des récifs de Ouano dans la Zone Côtière Ouest (ZCO), partie du bien inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO. Ce bilan de santé a été réalisé dans le cadre du suivi de l'intégrité du bien. Ce bilan de santé fait suite à un suivi régulier BACI-PS (1) débuté en 2004 à la demande de la province Sud dans le cadre de l'évaluation des performances de la réserve de Ouano (2; 3; 4), au premier suivi du patrimoine mondial dans le cadre de la vérification du maintien de l'intégrité du bien (5), et des suivis réalisés en interne par l'UNC (2005, 2007, 2008, 2010 et 2015). Le suivi de 2020 est cofinancé par le CEN et l'UNC.

L'état des lieux écologique a été réalisé par l'Université de la Nouvelle-Calédonie. Il concerne les communautés biologiques (poissons, macroinvertébrés épibenthiques) et l'habitat corallien. Cette opération a été réalisée sous la direction de Laurent Wantiez (UNC). Les relevés de terrain et la saisie des données ont été réalisés par Philippe Frolla (poissons et habitat, Frolla ingénieur écologue), Daisy Goroparawa (macroinvertébrés et habitat, EGLE SARL) et Laurent Wantiez (poissons et habitat, UNC). Le traitement, l'analyse des données et la rédaction du rapport ont été réalisés par Laurent Wantiez.

Ce rapport présente un état des lieux en 2020. Il a été établi à partir d'un effort d'échantillonnage stratifié en fonction des caractéristiques géomorphologiques de l'habitat corallien et du protocole BACI-PS mis en place pour tester les effets de réserve. Toutes les stations du réseau de suivi ont pu être échantillonnées lors du suivi de 2020. Toutefois, le bas du tombant de la station LF64 (hors réserve face à la presqu'île de Lebris) n'a pas pu être échantillonné en raison d'une visibilité trop faible (< 3 m) et de la présence d'un requin bouledogue (*Carcharhinus leucas*) de plus de 3 m sur le point de comptage. Cette approche a été validée par les études de caractérisation menées dans le cadre de la demande d'inscription des récifs de Nouvelle-Calédonie au patrimoine mondial. Elle permet d'obtenir une image satisfaisante de la diversité de l'écosystème corallien à partir d'un effort d'échantillonnage limité (6).

Après une présentation de la stratégie et des techniques d'échantillonnage, les caractéristiques des communautés biologiques et de l'habitat corallien sont décrites. La structure spatiale est analysée et les liens avec les caractéristiques environnementales sont identifiés. Les effets de réserves ont été quantifiés. Une analyse de l'évolution du bien entre 2004 et 2020 est ensuite réalisée. Un bilan sur le maintien de l'intégrité de Ouano ainsi que deux tableaux de bord (ressources et biodiversité) concluent le document.

4 MATERIEL ET METHODES

4.1 STRATEGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

La zone d'étude appartient à une des composantes de la zone 2, la Zone Côtière Ouest, identifiée dans la demande d'inscription au Patrimoine Mondial de l'UNESCO (7). Cette zone a été divisée en deux sous-unités. L'intégrité du bien est vérifiée dans la région de Ouano, objet du présent rapport, et dans la région de Bourail (8).

L'effort d'échantillonnage a été déterminé pour mesurer la performance de l'AMP de Ouano selon un protocole BACI-PS (Before After Control Impact Pair Series). Toutes les stations suivies depuis 2004 ont été échantillonnées (Figure 1 ; Tableau 1). Toutefois, le bas du tombant de la station LF64 (hors réserve face à la presqu'île de Lebris) n'a pas pu être échantillonné en raison d'une visibilité trop faible (< 3 m) et de la présence d'un requin bouledogue (*Carcharhinus leucas*) de plus de 3 m sur le point de comptage. La zone d'étude comprend la réserve naturelle de Ouano ainsi que les régions lagunaires non-protégées adjacentes situées au sud et au nord (Figure 1). Les trois composantes récifales lagunaires présentes (récif frangeant, récif intermédiaire et récif barrière interne) ont été échantillonnées ainsi que les herbiers. A l'intérieur de la réserve, six stations ont été échantillonnées dans chaque composante récifale et dans les herbiers (Figure 1, Tableau 1). Dans les zones adjacentes, quatre stations ont été échantillonnées dans chaque composante récifale, deux au nord et deux au sud, ainsi que deux stations dans les herbiers de la zone sud (Figure 1, Tableau 1). Les herbiers majeurs présents dans la zone nord, proche de l'AMP, sont localisés dans la baie de Champeyron où la visibilité réduite (< 2 m) ne permet pas un échantillonnage satisfaisant.

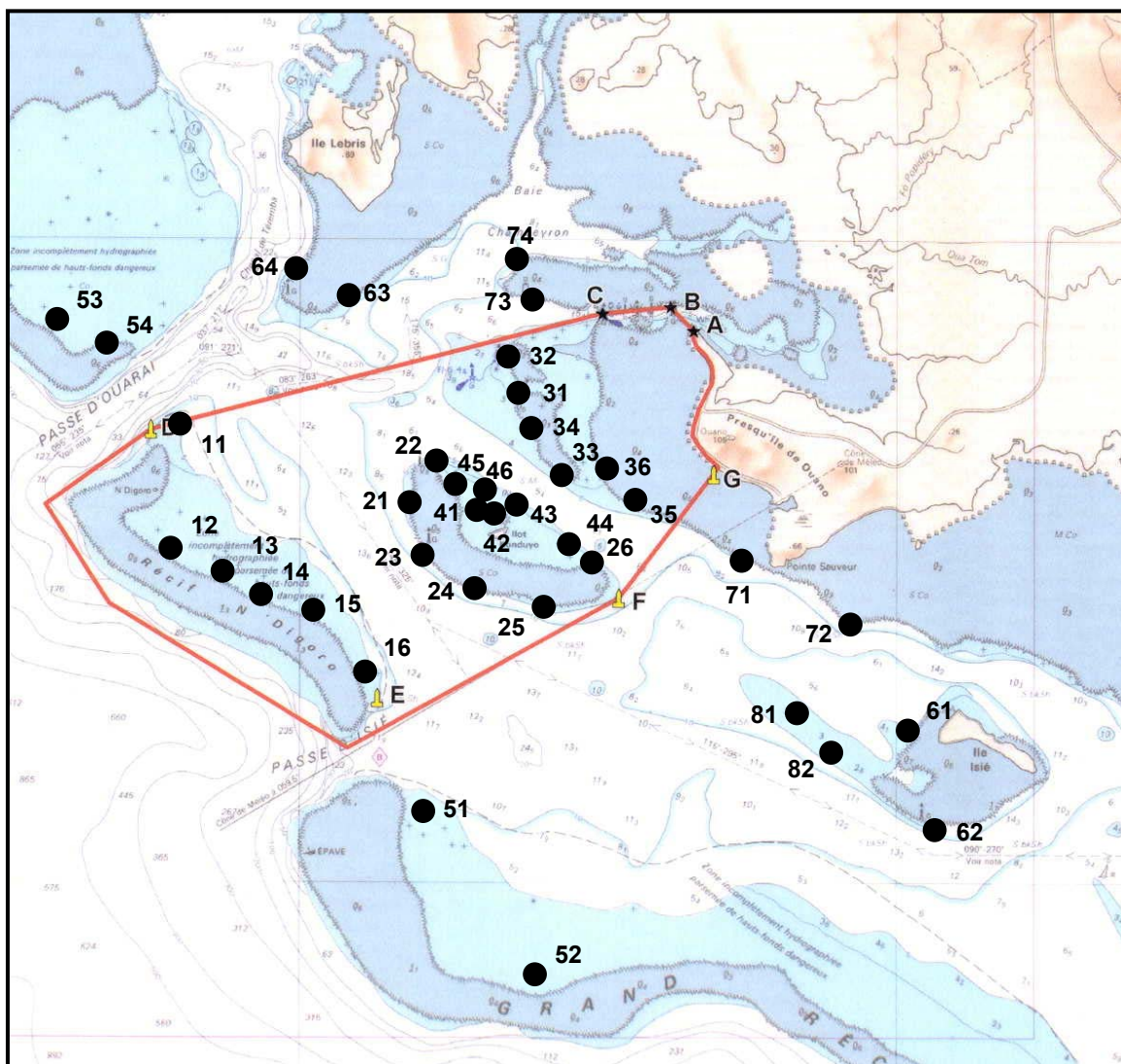


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude et des stations échantillonnées.
Les limites de la réserve marine sont figurées en rouge.

4.2 TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE

Les communautés biologiques et l'habitat corallien ont été étudiés à partir d'observations réalisées en plongée en scaphandre autonome. A chaque station les trois principales composantes géomorphologiques (platier, haut du tombant et bas du tombant) ont été échantillonnées dans le cas des formations coralliennes de grande taille ou trois points aléatoires dans le cas des patates coralliennes disséminées sur les fonds du lagon ou des herbiers.

Tableau 1 : Positions et caractéristiques des stations échantillonnées en 2020.

Les positions sont données en coordonnées WGS84. R : réserve ; NP : zone non protégée ; Prof : profondeur ; B : récif barrière interne ; I : récif intermédiaire ; F : récif frangeant ; H : herbier.

Station	Latitude	Longitude	Type	Statut	Date	Prof (m)	Type
LF11	21° 51.475' S	165° 44.056' E	Récif	R	15/11/20	2-5.7	B
LF12	21° 52.386' S	165° 44.148' E	Récif	R	15/11/20	1.5-3.9	B
LF13	21° 52.489' S	165° 44.514' E	Récif	R	15/11/20	1.5-3.7	B
LF14	21° 52.673' S	165° 44.827' E	Récif	R	14/11/20	1.5-4.2	B
LF15	21° 52.762' S	165° 45.167' E	Récif	R	14/11/20	1.5-4.5	B
LF16	21° 53.162' S	165° 45.592' E	Récif	R	14/11/20	1-2.5	B
LF21	21° 51.919' S	165° 46.119' E	Récif	R	17/11/20	1.8-5	I
LF22	21° 51.571' S	165° 46.271' E	Récif	R	12/11/20	2.3-5.6	I
LF23	21° 52.376' S	165° 46.253' E	Récif	R	17/11/20	3-6	I
LF24	21° 52.533' S	165° 46.722' E	Récif	R	17/11/20	2-5.6	I
LF25	21° 52.670' S	165° 47.263' E	Récif	R	17/11/20	1.9-4.2	I
LF26	21° 52.370' S	165° 47.676' E	Récif	R	12/11/20	1.4-3.3	I
LF31	21° 51.088' S	165° 47.049' E	Récif	R	19/11/20	1-2.5	F
LF32	21° 50.778' S	165° 46.853' E	Récif	R	12/11/20	1-3	F
LF33	21° 51.685' S	165° 47.418' E	Récif	R	16/11/20	1.5-3.4	F
LF34	21° 51.324' S	165° 47.216' E	Récif	R	19/11/20	1.7-3.5	F
LF35	21° 51.884' S	165° 48.030' E	Récif	R	16/11/20	1-3.5	F
LF36	21° 51.686' S	165° 47.719' E	Récif	R	16/11/20	1.3-3.1	F
LF41	21° 52.023' S	165° 46.750' E	Herbier	R	19/11/20	1.4	H
LF42	21° 52.016' S	165° 46.816' E	Herbier	R	19/11/20	1.8	H
LF43	21° 51.865' S	165° 46.978' E	Herbier	R	19/11/20	2.7	H
LF44	21° 52.269' S	165° 47.530' E	Herbier	R	19/11/20	2.7	H
LF45	21° 51.791' S	165° 46.494' E	Herbier	R	19/11/20	2	H
LF46	21° 51.861' S	165° 46.683' E	Herbier	R	19/11/20	2.8	H
LF51	21° 54.418' S	165° 46.104' E	Récif	HR	14/11/20	2-4.5	B
LF52	21° 55.591' S	165° 47.484' E	Récif	HR	13/11/20	1.5-4	B
LF53	21° 50.599' S	165° 43.142' E	Récif	HR	18/11/20	2.5-3.3	B
LF54	21° 50.827' S	165° 43.377' E	Récif	HR	18/11/20	2-2.6	B
LF61	21° 53.593' S	165° 50.277' E	Récif	HR	13/11/20	1.5-4.5	I
LF62	21° 54.382' S	165° 50.466' E	Récif	HR	13/11/20	2-6	I
LF63	21° 50.291' S	165° 45.527' E	Récif	HR	15/11/20	2.2-2.6	I
LF64	21° 50.168' S	165° 45.081' E	Récif	HR	18/11/20	1.5-7.4	I
LF71	21° 52.262' S	165° 48.728' E	Récif	HR	16/11/20	1.5-4.5	F
LF72	21° 52.573' S	165° 49.556' E	Récif	HR	13/11/20	1-5	F
LF73	21° 50.286' S	165° 47.090' E	Récif	HR	19/11/20	1-3.5	F
LF74	21° 50.039' S	165° 47.031' E	Récif	HR	18/11/20	1.3-1.8	F
LF 81	21° 53.672' S	165° 49.642' E	Herbier	HR	13/11/20	3	H
LF 82	21° 53.922' S	165° 49.690' E	Herbier	HR	13/11/20	6	H

4.2.1 Poissons

L'échantillonnage des peuplements de poissons a été réalisé selon la méthode du « point transect » (9). Chaque station est échantillonnée par 3 points. Deux plongeurs placés sur un point comptent tous les poissons qu'ils observent. Pour chaque poisson, un plongeur identifie l'espèce, estime sa longueur (longueur à la fourche) et sa distance au plongeur. Un des deux plongeurs est chargé d'inventorier les espèces de grande taille, l'autre échantillonne le reste de l'ichtyofaune (espèces de petite taille et espèces cryptiques). Cette technique permet d'augmenter l'efficacité des comptages en séparant les peuplements en deux ensembles d'espèces qui présentent des comportements différents.

La densité et la biomasse des peuplements de poissons ont été calculées en considérant les petites espèces présentes dans un cercle de 3 m autour du plongeur et les grandes espèces présentes dans le rayon de visibilité en se limitant à 10 m. Cette approche permet de minimiser les problèmes de détectabilité des petites espèces au-delà de 3 m et de prendre en compte les grandes espèces faciles à repérer jusqu'à 10 m et qui se tiennent à plus grande distance du plongeur.

L'ichtyofaune a été classée en plusieurs catégories pour l'analyse :

- Le peuplement total regroupe l'ensemble des espèces.
- Les Chaetodontidae regroupent les poissons papillons, indicatrices de la santé des récifs.
- Les espèces commerciales regroupent les espèces vendues sur les marchés et dans les commerces ou consommées en Nouvelle-Calédonie ainsi que certaines espèces emblématiques aujourd'hui protégées tel que le Napoléon (*Cheilinus undulatus*).

La richesse spécifique par station a été estimée à partir des trois points échantillonnés sur la station. La densité à chaque station a été calculée par :

$$D = \frac{\sum_{k=1}^3 D_k}{3} \text{ et } D_k = \frac{\sum_{i=1}^{N_l} n_i}{\pi R_1^2} + \frac{\sum_{j=1}^{N_s} n_j}{\pi R_2^2}$$

avec D : densité de la station (poisson/m²), D_k : densité au point k de la station (poisson/m²), n_i : abondance de l'espèce de grande taille i au point k, N_l : nombre total d'espèces de grande taille observées dans un rayon de visibilité R₁ (R₁ ≤ 10 m), n_j : abondance de l'espèce de petite taille j au point k, N_s : nombre total d'espèces de petite taille ou cryptiques dans un rayon R₂ (R₂ = 3 m).

Le poids des individus a été calculé à partir de relations longueur-poids connues (10; 11; 12). La biomasse à chaque station a été calculée par :

$$B = \frac{\sum_{k=1}^3 B_k}{3} \text{ et } B_k = \frac{\sum_{i=1}^{N_l} w_i}{\pi R_1^2} + \frac{\sum_{j=1}^{N_s} w_j}{\pi R_2^2}$$

avec B : biomasse de la station (g/m²), B_k : biomasse au point k de la station (g/m²), w_i poids de l'espèce de grande taille i au point k (g), w_j poids de l'espèce de petite taille ou cryptique j au point k (g/m²).

4.2.2 Macrobenthos

L'échantillonnage des macroinvertébrés épibenthiques a été réalisé le long de 3 transects de 20 m disposés perpendiculairement à la pente. Chaque transect est centré sur chacun des points de comptage des poissons. Les principaux organismes macrobenthiques épigés sont recensés dans une bande de 2.5 m de part et d'autre du transect (100 m²). La densité est calculée connaissant le nombre d'individus et la surface échantillonnée. La taille des trocas (diamètre à la base de la coquille) et des bénitiers (longueur d'une extrémité à l'autre d'une valve) a été mesurée (Figure 2).



Figure 2 : Mesure de la taille des trocas des bénitiers.

4.2.3 Habitat

L'habitat a été caractérisé en classant le type de fond selon différents critères sédimentologiques, pour les zones non colonisées par des organismes vivants, et selon le groupe biologique et la forme des colonies, pour les parties vivantes (Tableau 2). Cette méthode, dite 'Line Intercept Transect' est détaillée dans (13).

Le pourcentage de chaque catégorie de substrat à chaque station est calculé par :

$$\%_i = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \frac{L_{ik}}{L_t} 100$$

avec $\%_i$: pourcentage de la catégorie i, L_{ik} : longueur totale de la catégorie i au point k, L_t : longueur du transect (20 m).

4.3 TRAITEMENT DES DONNEES

4.3.1 Etat des lieux en 2020

Des diagrammes de type boîte à moustaches (Figure 3) ont été utilisés pour représenter les caractéristiques des communautés de poissons.

L'organisation spatiale des communautés biologiques et de l'habitat a été analysée par des comparaisons des caractéristiques moyennes d'un modèle de Permanova à 2 facteurs : (*statut de protection* x *type de récif*). Une analyse canonique des coordonnées principales (CAP) (13) de la matrice de dissimilarité de Bray-Curtis des densités des espèces/taxons à chaque station a été effectuée pour les poissons et les macroinvertébrés, sous contrainte du type de récif. La structure de l'habitat a été identifiée grâce à une CAP de la matrice de distance euclidienne des recouvrements des classes de substrat par station sous contrainte du type de récif.

Tableau 2 : Catégories de substrat retenues pour l'échantillonnage de l'habitat.

Catégories détaillées	Description	Catégories simplifiées
Corail mort (DC)	Mort récente - couleur blanche	Corail mort (DC)
Corail mort avec algues (DCA)	Corail mort recouvert d'algues	Corail mort (DC)
<i>Acropora</i>		
Branchu (ACB)	Au moins 2 niveaux de branches	Corail branchu tabulaire et foliaire (CBTF)
Encroûtant (ACE)		Corail massif et encroûtant (CME)
Submassif (ACS)		Corail submassif (CS)
Digité (ACD)	Branches en forme de doigts	Corail submassif (CS)
Tabulaire (ACT)	Branches aplaties horizontalement	Corail branchu tabulaire et foliaire (CBTF)
<i>Non-Acropora</i>		
Branchu (CB)	Au moins 2 niveaux de branches	Corail branchu tabulaire et foliaire (CBTF)
Encroûtant (CE)		Corail massif et encroûtant (CME)
Foliaire (CF)	Corail en forme de feuille	Corail branchu tabulaire et foliaire (CBTF)
Massif (CM)		Corail massif et encroûtant (CME)
Submassif (CS)		Corail submassif (CS)
<i>Fungia</i> (CMR)	Corail solitaire	Autres organismes (OT)
<i>Millepora</i> (CME)	Corail de feu	Autres organismes (OT)
Corail mou (SC)		Corail mou (SC)
Eponges (SP)		Autres organismes (OT)
Zoanthaires (ZO)		Autres organismes (OT)
Autres (OT)	Anémones, Gorgones, Bénéitiers, etc.	Autres organismes (OT)
Algues et phanérogames		
Assemblages (AA)		Macroalgues et autres végétaux (MAAV)
Calcaire (CA)	Algues calcaires encroûtantes	Algues calcaires (CA)
<i>Halimeda</i> (HA)		Macroalgues et autres végétaux (MAAV)
Macroalgue (MA)		Macroalgues et autres végétaux (MAAV)
Filamenteuse (TA)		Macroalgues et autres végétaux (MAAV)
Cyanobactéries (CYA)	Cyanobactéries filamenteuses	Macroalgues et autres végétaux (MAAV)
Abiotique		
Sable (S)	Particules < 2 cm	Sable (S)
Débris (R)	Particules > 2 cm	Débris (R)
Vase (SI)		Vase (SI)
Eau (WA)	Crevasse de plus de 50 cm de large	Eau (WA)
Dalle et blocs (RCK)		Dalle et blocs (RCK)

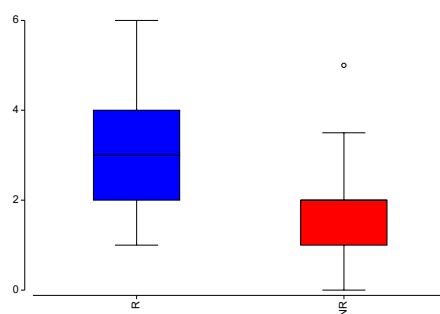


Figure 3 : Diagramme du type boîte à moustaches.

Une boîte est tracée s'étendant du premier quartile (25%) au troisième quartile (75%) de l'échantillon. Cet intervalle contient les 50% centraux des données. Une ligne verticale est tracée à la médiane (la valeur centrale). Des moustaches sont tracées à partir des bords de la boîte pour rejoindre la plus grande valeur des données et la plus petite valeur des données, à moins que des valeurs inhabituelles très éloignées de la boîte ne soient présentes. Les points inhabituels sont des points à plus de 1,5 fois la distance interquartile. Ils sont indiqués par un rond blanc. Si des points inhabituels sont présents, les moustaches sont tracées jusqu'à la plus grande valeur et la plus petite valeur qui ne sont pas suspectes.

4.3.2 Performance de la réserve de Ouano et vérification du maintien de l'intégrité

Le référentiel macrobenthos (liste des espèces échantillonnées) a évolué à partir de la campagne de 2014. Par conséquent, les données de 2014 et 2020 ont été filtrées et agglomérées conformément au référentiel antérieur (cf. annexe §10) avant comparaison. Les valeurs des métriques ou indicateurs calculés pour ces comparaisons peuvent donc différer de ceux de l'état des lieux 2014.

La performance de la réserve de Ouano et le maintien de l'intégrité du bien ont été analysés en utilisant un protocole BACI-PS (1) permettant de quantifier sans ambiguïté les effets de réserve depuis que les mesures de surveillance ont été mises en place (2007), tout en tenant compte de la variabilité temporelle naturelle. Un modèle de Permanova à 4 facteurs a été utilisé pour tester ces différences. Ce modèle intègre :

- 2 zones selon leur *statut de protection* : protégées et non protégées (facteur fixe).
- 2 niveaux de *surveillance* : avant (2004-2006) et après (2007-2020) la mise en place de la surveillance de la réserve (facteur fixe).
- 10 *années* hiérarchisées à la surveillance : 2004-2010, 2014-2015 et 2020 (facteur aléatoire).
- 30 *stations* hiérarchisées au statut de protection (facteur aléatoire).
- 2 interactions : *statut de protection* x *surveillance* permettant de détecter les effets de réserve et *statut de protection* x *année[surveillance]* permettant de statuer sur un maintien de l'intégrité différent selon le statut.
- Le modèle s'écrit : *station[statut de protection] x année[surveillance]*.

La performance de la réserve de Ouano et le maintien de l'intégrité ont également été analysés au niveau structurel grâce à une procédure « 2nd-stage MDS » (14), adaptée pour détecter les effets du temps sur la structure spatiale, et à des CAP (analyse canonique des coordonnées principales) sous différentes contraintes. Ces analyses ont été menées sur la matrice de dissimilarité de Bray-Curtis des densités des espèces/taxons à chaque station pour les poissons et les macroinvertébrés, et la distance euclidienne matrice classe de substrat-station du recouvrement (habitat).

4.4 TABLEAU DE BORD

Un tableau de bord du statut des ressources et un tableau de bord du statut de la biodiversité dans la zone d'étude ont été construits (15). Ces tableaux de bord sont synthétiques et ne reprennent que les indicateurs pertinents dans le cadre de cette étude. Ils sont synthétiques et uniquement indicatifs. Ils ne sauraient constituer un bilan exhaustif de l'état de santé de l'écosystème étudié et doivent être interprétés au regard des résultats détaillés de l'étude.

5 ETAT DES LIEUX EN 2020

5.1 CARACTERISTIQUES ECOLOGIQUES GENERALES

5.1.1 Poissons

5.1.1.1 Richesse et composition spécifique

Au total, 271 espèces appartenant à 39 familles ont été recensées en 2020 (Tableau 3). Les familles les plus diversifiées sont caractéristiques des formations récifo-lagonaires en bonne santé :

- Les Pomacentridae (demoiselles) : 40 espèces.
- Les Labridae (labres et girelles) : 37 espèces.
- Les Chaetodontidae (papillons) : 22 espèces.
- Les Serranidae (loches et barbiers) : 16 espèces.
- Les Acanthuridae (picots canaques et chirurgiens) : 15 espèces.
- Les Scaridae (perroquets) : 15 espèces.

Les Chaetodontidae, considérés comme indicateurs de la santé des récifs sont diversifiés (22 espèces) et présents sur toutes les stations de récif à l'exception de la station LF31 (Tableau 3). Les plus fréquents sont *Chaetodon citrinellus* (76.7% des stations récifales), *Chaetodon plebeius* (73.3% des stations récifales) et *Chaetodon lunulatus* (60.0% des stations récifales).

Au total, 64 espèces commerciales (23.6% des espèces) ont été recensées (Tableau 3). Il s'agit :

- Des Serranidae avec 12 espèces commerciales. La plus fréquente est *Epinephelus merra* (loche miel) observée sur 10 stations récifales (33.3% des stations récifales).
- Des Lethrinidae avec 7 espèces commerciales. *Lethrinus harak* (bossu d'herbe, 30.0% des stations récifales) est la plus fréquente devant *L. atkinsoni* (bossu doré, 20.0% des stations récifales). Les communards (*L. genivittatus* et *L. variegatus* ; 2 stations) ainsi que le bec de cane (*L. nebulosus* ; 1 station) ont également été observées dans les stations d'herbier.
- Des Scaridae avec 15 espèces commerciales. Quatre espèces ont été observées dans plus de 50% des stations récifales : *Chlorurus sordidus* (83.3% des stations récifales), *Scarus rivulatus* (66.7% des stations récifales), *S. psittacus* (63.3% des stations récifales) et *S. ghobban* (53.3% des stations récifales).
- Des Acanthuridae avec 10 espèces commerciales. Le dawa (*Naso unicornis*, 60.0% des stations récifales) et le picot canaque (*Acanthurus blochii*, 56.7% des stations récifales) sont les plus fréquents.
- Des Siganidae (picots) avec 8 espèces commerciales. Les picot gris, *Siganus argenteus* (30.0% des stations récifales) est le plus fréquent.

Tableau 3 : Liste des familles et des espèces de poissons échantillonnées dans le lagon de Ouano en 2020.
C : espèces commerciale ; P : présence ; R : réserve ; NP : zone non protégée.

Espèce	C	P	Espèce	C	P
ACANTHURIDAE (15)			<i>Chaetodon baronessa</i>		NR
<i>Acanthurus blochii</i>	C	R NR	<i>Chaetodon bennetti</i>		R NR
<i>Acanthurus dussumieri</i>	C	R	<i>Chaetodon citrinellus</i>		R NR
<i>Acanthurus mata</i>		R	<i>Chaetodon ephippium</i>		R NR
<i>Acanthurus nigricauda</i>	C	R NR	<i>Chaetodon flavirostris</i>		R NR
<i>Acanthurus nigrofuscus</i>		R NR	<i>Chaetodon kleinii</i>		R
<i>Acanthurus olivaceus</i>	C	R NR	<i>Chaetodon lineolatus</i>		R NR
<i>Acanthurus triostegus</i>		R NR	<i>Chaetodon lunulatus</i>		R NR
<i>Acanthurus xanthopterus</i>	C	R	<i>Chaetodon melannotus</i>		R NR
<i>Ctenochaetus striatus</i>		R NR	<i>Chaetodon mertensii</i>		R NR
<i>Naso annulatus</i>	C	R NR	<i>Chaetodon pelewensis</i>		R NR
<i>Naso brevirostris</i>	C	R NR	<i>Chaetodon plebeius</i>		R NR
<i>Naso tonganus</i>	C	R NR	<i>Chaetodon speculum</i>		R
<i>Naso unicornis</i>	C	R NR	<i>Chaetodon trifascialis</i>		R NR
<i>Zebrasoma scopas</i>		R NR	<i>Chaetodon ulietensis</i>		NR
<i>Zebrasoma velifer</i>		R NR	<i>Chaetodon unimaculatus</i>		R NR
APOGONIDAE (8)			<i>Chaetodon vagabundus</i>		R NR
<i>Apogon spp</i>		NR	<i>Forcipiger flavissimus</i>		R NR
<i>Cheilodipterus macrodon</i>		NR	<i>Heniochus acuminatus</i>		R
<i>Cheilodipterus quinquelineatus</i>		R NR	<i>Heniochus chrysostomus</i>		R NR
<i>Ostorhinchus aureus</i>		R	<i>Heniochus monoceros</i>		R NR
<i>Ostorhinchus cookii</i>		R	CIRRHITIDAE (3)		
<i>Ostorhinchus cyanosoma</i>		R	<i>Cirrhitichthys falco</i>		R NR
<i>Pristiapogon fraenatus</i>		R	<i>Paracirrhites arcatus</i>		R
<i>Zoramia leptacantha</i>		NR	<i>Paracirrhites forsteri</i>		R NR
AULOSTOMIDAE (1)			DIODONTIDAE (1)		
<i>Aulostomus chinensis</i>		R NR	<i>Diodon hystrix</i>		NR
BALISTIDAE (4)			ECHENEIDIDAE (1)		
<i>Balistoides viridescens</i>		R	<i>Echeneis naucrates</i>		NR
<i>Pseudobalistes fuscus</i>		R	GINGLYMOSTOMATIDAE (1)		
<i>Rhinecanthus aculeatus</i>		R NR	<i>Nebrius ferrugineus</i>		NR
<i>Sufflamen chrysopterum</i>		R NR	GOBIIDAE (5)		
BLENNIIDAE (6)			<i>Amblygobius phalaena</i>		R
<i>Atrosalarias holomelas</i>		R NR	<i>Gnatholepis anjerensis</i>		R
<i>Cirripectes castaneus</i>		R NR	<i>Istigobius rigilius</i>		R NR
<i>Cirripectes spp</i>		R	<i>Valenciennesia longipinnis</i>		R
<i>Meiacanthus atrodorsalis</i>		R NR	<i>Valenciennesia strigata</i>		NR
<i>Plagiotremus rhinorhynchus</i>		R NR	HAEMULIDAE (5)		
<i>Plagiotremus tapeinosoma</i>		R NR	<i>Diagramma pictum</i>	C	R
CAESIONIDAE (5)			<i>Plectorhinchus chaetodonoides</i>		R
<i>Caesio caerulea</i>		R NR	<i>Plectorhinchus gibbosus</i>		R
<i>Pterocaesio digramma</i>		R	<i>Plectorhinchus lessonii</i>		R
<i>Pterocaesio pisang</i>		R	<i>Plectorhinchus lineatus</i>		R NR
<i>Pterocaesio spp</i>		R	HOLOCENTRIDAE (8)		
<i>Pterocaesio trilineata</i>		R NR	<i>Myripristis berndti</i>		R
CARANGIDAE (7)			<i>Myripristis kuntzei</i>		NR
<i>Carangoides ferdau</i>	C	R	<i>Myripristis spp</i>		R
<i>Caranx ignobilis</i>		R	<i>Myripristis violacea</i>		R NR
<i>Caranx melampygus</i>	C	R	<i>Neoniphon sammara</i>		R NR
<i>Caranx papuensis</i>	C	R	<i>Sargocentron caudimaculatum</i>		NR
<i>Caranx spp</i>		R	<i>Sargocentron rubrum</i>		R
<i>Gnathanodon speciosus</i>	C	R	<i>Sargocentron spiniferum</i>		R
<i>Scomberoides lysan</i>		R	KYPHOSIDAE (1)		
CARCHARHINIDAE (2)			<i>Kyphosus vaigiensis</i>	C	NR
<i>Carcharhinus leucas</i>		NR	LABRIDAE (37)		
<i>Triaenodon obesus</i>		NR	<i>Anampses geographicus</i>		R NR
CHAETODONTIDAE (22)			<i>Anampses neoguinaicus</i>		R NR
<i>Chaetodon auriga</i>		R NR	<i>Bodianus loxozonus</i>		NR

Espèce	C	P	Espèce	C	P
<i>Cheilinus chlorourus</i>		R NR	MULLIDAE (11)		
<i>Cheilinus fasciatus</i>		R NR	<i>Mulloidichthys flavolineatus</i>		R NR
<i>Cheilinus trilobatus</i>		NR	<i>Mulloidichthys vanicolensis</i>		R NR
<i>Cheilinus undulatus</i>	C	R NR	<i>Parupeneus barberinoides</i>		R NR
<i>Cheilio inermis</i>		R NR	<i>Parupeneus barberinus</i>	C	R NR
<i>Choerodon graphicus</i>		R NR	<i>Parupeneus ciliatus</i>		R NR
<i>Coris aygula</i>		R NR	<i>Parupeneus cyclostomus</i>		R NR
<i>Coris dorsomacula</i>		R NR	<i>Parupeneus indicus</i>		R NR
<i>Coris gaimard</i>		R NR	<i>Parupeneus multifasciatus</i>		R NR
<i>Epibulus insidiator</i>		NR	<i>Parupeneus pleurostigma</i>		R NR
<i>Gomphosus varius</i>		R NR	<i>Upeneus spp</i>		R
<i>Halichoeres annularis</i>		R NR	<i>Upeneus tragula</i>		NR
<i>Halichoeres hortulanus</i>		R NR	MURAENIDAE (2)		
<i>Halichoeres margaritaceus</i>		R NR	<i>Gymnothorax meleagris</i>		R
<i>Halichoeres trimaculatus</i>		R NR	<i>Gymnothorax spp</i>		NR
<i>Hemigymnus melapterus</i>		R NR	NEMIPTERIDAE (4)		
<i>Iniistius spp</i>		R	<i>Scolopsis bilineata</i>		R NR
<i>Labrichthys unilineatus</i>		R NR	<i>Scolopsis ciliata</i>		NR
<i>Labroides dimidiatus</i>		R NR	<i>Scolopsis lineata</i>		R
<i>Macropharyngodon kuiteri</i>		R NR	<i>Scolopsis trilineata</i>		R NR
<i>Macropharyngodon meleagris</i>		R NR	PINGUIPEDIDAE (3)		
<i>Macropharyngodon negrosensis</i>		NR	<i>Parapercis australis</i>		R NR
<i>Novaculichthys taeniourus</i>		R NR	<i>Parapercis hexophtalma</i>		R NR
<i>Oxycheilinus bimaculatus</i>		R NR	<i>Parapercis millepunctata</i>		R NR
<i>Oxycheilinus unifasciatus</i>		R	POMACANTHIDAE (6)		
<i>Pseudocheilinus hexataenia</i>		R NR	<i>Centropyge bicolor</i>		R NR
<i>Stethojulis bandanensis</i>		R NR	<i>Centropyge bispinosa</i>		R NR
<i>Stethojulis notialis</i>		R NR	<i>Centropyge flavissima</i>		R NR
<i>Stethojulis strigiventer</i>		R NR	<i>Centropyge heraldi</i>		R NR
<i>Thalassoma amblycephalum</i>		R NR	<i>Centropyge tibicen</i>		R NR
<i>Thalassoma hardwicke</i>		R NR	<i>Pomacanthus imperator</i>		R NR
<i>Thalassoma lunare</i>		R NR	POMACENTRIDAE (40)		
<i>Thalassoma lutescens</i>		R NR	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>		R NR
<i>Thalassoma nigrofasciatum</i>		R NR	<i>Amblyglyphidodon curacao</i>		R NR
LETHRINIDAE (12)			<i>Amblyglyphidodon orbicularis</i>		R NR
<i>Gnathodentex aureolineatus</i>		R NR	<i>Amphiprion melanopus</i>		R
<i>Lethrinus atkinsoni</i>	C	R NR	<i>Cheiloprion labiatus</i>		R NR
<i>Lethrinus genivittatus</i>	C	R NR	<i>Chromis atripectoralis</i>		R NR
<i>Lethrinus harak</i>	C	R NR	<i>Chromis flavomaculata</i>		NR
<i>Lethrinus miniatus</i>	C	R	<i>Chromis margaritifer</i>		R NR
<i>Lethrinus nebulosus</i>	C	R NR	<i>Chromis retrofasciata</i>		NR
<i>Lethrinus rubrioperculatus</i>	C	NR	<i>Chromis viridis</i>		R NR
<i>Lethrinus spp</i>		R	<i>Chromis weberi</i>		R
<i>Lethrinus variegatus</i>	C	R NR	<i>Chrysiptera biocellata</i>		R NR
<i>Lethrinus xanthochilus</i>		R NR	<i>Chrysiptera caesifrons</i>		R NR
<i>Monotaxis grandoculis</i>		R NR	<i>Chrysiptera rollandi</i>		NR
<i>Monotaxis heterodon</i>		R NR	<i>Chrysiptera taupou</i>		R NR
LUTJANIDAE (8)			<i>Dascyllus aruanus</i>		R NR
<i>Lutjanus bohar</i>		R NR	<i>Dascyllus reticulatus</i>		R NR
<i>Lutjanus fulvivflamma</i>		R NR	<i>Dascyllus trimaculatus</i>		R NR
<i>Lutjanus fulvus</i>		R NR	<i>Neoglyphidodon melas</i>		R NR
<i>Lutjanus gibbus</i>		R NR	<i>Neopomacentrus azysron</i>		R
<i>Lutjanus kasmira</i>		R NR	<i>Plectroglyphidodon dickii</i>		R NR
<i>Lutjanus quinquelineatus</i>		R NR	<i>Plectroglyphidodon johnstonianus</i>		R NR
<i>Lutjanus russellii</i>		NR	<i>Plectroglyphidodon lacrymatus</i>		R NR
<i>Macolor niger</i>	C	R NR	<i>Pomacentrus adelus</i>		R NR
MALACANTHIDAE (1)			<i>Pomacentrus amboinensis</i>		R NR
<i>Malacanthus latovittatus</i>		R	<i>Pomacentrus bankanensis</i>		R NR
MICRODESMIDAE (1)			<i>Pomacentrus brachialis</i>		R NR
<i>Ptereleotris microlepis</i>		R	<i>Pomacentrus chrysurus</i>		R NR
MONACANTHIDAE (1)			<i>Pomacentrus coelestis</i>		R NR
<i>Cantherhines pardalis</i>		NR	<i>Pomacentrus imitator</i>		NR

Espèce	C	P	Espèce	C	P
<i>Pomacentrus moluccensis</i>		R NR	<i>Epinephelus cyanopodus</i>	C	R
<i>Pomacentrus nagasakiensis</i>		R NR	<i>Epinephelus hexagonadus</i>	C	NR
<i>Pomacentrus pavo</i>		R NR	<i>Epinephelus howlandi</i>	C	R
<i>Pomacentrus philippinus</i>		NR	<i>Epinephelus maculatus</i>	C	R
<i>Pomacentrus vaiuli</i>		R NR	<i>Epinephelus malabaricus</i>	C	R
<i>Stegastes fasciolatus</i>		R NR	<i>Epinephelus marginalis</i>		NR
<i>Stegastes gascoynei</i>		R NR	<i>Epinephelus merra</i>	C	R NR
<i>Stegastes nigricans</i>		R NR	<i>Epinephelus polyphemadion</i>	C	R
<i>Stegastes punctatus</i>		NR	<i>Plectropomus laevis</i>		R
<i>Stegastes spp</i>		NR	<i>Plectropomus leopardus</i>	C	R
PRIACANTHIDAE (1)			<i>Pseudanthias hypselosoma</i>		R
<i>Priacanthus hamrur</i>	C	NR	<i>Pseudanthias squamipinnis</i>		R NR
SCARIDAE (15)			<i>Variola louti</i>	C	R
<i>Calotomus carolinus</i>	C	NR	SIGANIDAE (8)		
<i>Chlorurus microrhinos</i>	C	R NR	<i>Siganus argenteus</i>	C	R NR
<i>Chlorurus sordidus</i>	C	R NR	<i>Siganus corallinus</i>	C	NR
<i>Hipposcarus longiceps</i>	C	R	<i>Siganus doliatus</i>	C	R NR
<i>Scarus chameleon</i>	C	R NR	<i>Siganus fuscescens</i>	C	R
<i>Scarus dimidiatus</i>	C	NR	<i>Siganus lineatus</i>	C	R NR
<i>Scarus flavipectoralis</i>	C	R	<i>Siganus puellus</i>	C	R NR
<i>Scarus frenatus</i>	C	NR	<i>Siganus spinus</i>	C	R NR
<i>Scarus ghobban</i>	C	R NR	<i>Siganus spp</i>	C	NR
<i>Scarus globiceps</i>	C	R NR	SPHYRAENIDAE (1)		
<i>Scarus niger</i>	C	R NR	<i>Sphyræna jello</i>		NR
<i>Scarus psittacus</i>	C	R NR	SYNODONTIDAE (2)		
<i>Scarus rivulatus</i>	C	R NR	<i>Synodus dermatogenys</i>		R
<i>Scarus schlegeli</i>	C	R NR	<i>Synodus variegatus</i>		R
<i>Scarus spp</i>	C	R NR	TETRAODONTIDAE (4)		
SCOMBRIDAE (1)			<i>Arothron nigropunctatus</i>		R NR
<i>Scomberomorus commerson</i>	C	R	<i>Canthigaster bennetti</i>		R
SCORPAENIDAE (1)			<i>Canthigaster compressa</i>		R NR
<i>Scorpaenodes spp</i>		R	<i>Canthigaster valentini</i>		R NR
SERRANIDAE (16)			ZANCLIDAE (1)		
<i>Cephalopholis argus</i>	C	R	<i>Zanclus cornutus</i>		R NR
<i>Cephalopholis urodeta</i>	C	R			
<i>Epinephelus coeruleopunctatus</i>	C	R			

Des espèces emblématiques ont également été observées en 2020 :

- Trois espèces de requins :
 - Un requin bouledogue (*Carcharhinus leucas*) : station LF64, 300 cm. Ce spécimen a été observé sur le point situé en bas de tombant où le comptage n'a pas pu être réalisé en raison d'une visibilité trop faible et pour raison de sécurité.
 - Un requin dormeur (*Nebrius ferrugineus*) : station LF54, 125 cm.
 - Un requin à ailerons blancs du lagon (*Triaenodon obesus*) : station LF52, 130 cm.
- Une carangue grosse tête (*Caranx ignobilis*) : station LF25, 110 cm.
- Cinq Napoléons (*Cheilinus undulatus*) : stations LF11, LF12, LF25 et LF62, 40 à 90 cm.

5.1.1.2 Richesse spécifique par station, densité et biomasse

La richesse spécifique par station, la densité et la biomasse moyennes sur l'ensemble des stations sont données dans le Tableau 4. Ces trois indices sont significativement plus importants sur les récifs que dans les herbiers (Mann-Withney, $p < 0.01$).

Sur les récifs, le nombre d'espèces commerciales par station représente 19.1% de l'ensemble des espèces à chaque station. Ces espèces sont plus faiblement représentées en densité (5.1%). En revanche, les espèces commerciales sont plus importantes en biomasse (44.3%) en raison de leur plus grande taille. Les Chaetodontidae sont diversifiés et fréquents. Ils représentent 11.5% des espèces par station, 7.9% de la densité et 3.6% de la biomasse. Ces différentes proportions sont caractéristiques de communautés de poissons en bonne santé en Nouvelle-Calédonie sans atteindre les niveaux de population des récifs éloignés (16; 17; 18), du Grand Lagon Nord (19) et de la réserve Merlet (20), notamment pour la biomasse des espèces commerciales (< 50% de la biomasse totale).

Les communautés de poissons ont été peu diversifiées et peu abondantes dans les herbiers durant la période d'échantillonnage (Tableau 4).

Tableau 4 : *Richesse spécifique, densité et biomasse moyennes dans la zone d'étude en 2020.*
Les valeurs moyennes sont données avec un intervalle de confiance de 95%.

	Richesse spécifique par station	Densité (poisson/m ²)	Biomasse (g/m ²)
Récifs			
Ichtyofaune totale	58.2 ± 5.8	2.306 ± 0.422	104.42 ± 59.46
Commerciaux	11.1 ± 1.5	0.118 ± 0.036	46.30 ± 33.65
Serranidae	0.8 ± 0.4	0.001 ± 0.001	1.83 ± 2.67
Lethrinidae	0.9 ± 0.4	0.012 ± 0.007	1.49 ± 0.79
Scaridae	4.6 ± 0.8	0.069 ± 0.034	5.18 ± 3.12
Acanthuridae	2.6 ± 0.5	0.022 ± 0.009	20.63 ± 13.90
Siganidae	1.1 ± 0.4	0.009 ± 0.006	2.93 ± 3.73
Chaetodontidae	6.7 ± 1.1	0.183 ± 0.041	3.72 ± 1.42
Herbiers			
Ichtyofaune totale	4.9 ± 4.9	0.242 ± 0.285	2.70 ± 3.27
Commerciaux	1.4 ± 1.7	0.035 ± 0.048	1.11 ± 1.44

1.1.1 Macrobenthos

Les organismes macrobenthiques épigés présents sur les stations échantillonnées font partie du cortège habituel des macroinvertébrés des récifs coralliens (Tableau 5). Il s'agit principalement de mollusques et, dans une moindre mesure, d'échinodermes.

Les caractéristiques moyennes du macrobenthos échantillonné dans la zone d'étude sont données dans le Tableau 6. En moyenne, 24.2 taxons ont été recensés par station. La densité est relativement importante avec 48.3 individus/100 m².

Les taxons les plus importants sont le bivalve *Pedum spondyloideum* (4.47 individus/100 m²) et l'annélide *Spirobranchus giganteus* (4.05 individus/100 m²) qui vivent encastrés dans les coraux massifs. L'éponge *Cliona orientalis* (3.28 colonies/100 m²) et les crinoïdes (*Comanthus* spp, 3.17 individus/100 m²) suivent par ordre d'importance.

Tableau 5 : Fréquence et densité (ind/100 m²) des espèces macrobenthiques épigées échantillonnées sur les récifs de la zone d'étude en 2020.

Espèces	Fréquence	Densité	Espèces	Fréquence	Densité
Eponges (2 taxons)			<i>Pedum spondyloideum</i>	21	4.472
<i>Cliona jullieni</i>	14	1.478	<i>Pinctada margaritifera</i>	4	0.056
<i>Cliona orientalis</i>	26	3.278	<i>Pteria penguin</i>	2	0.078
Mollusques			<i>Pteria</i> spp	15	2.789
Gastéropodes (45 taxons)			<i>Saccostrea cucullata</i>	2	0.033
<i>Astrarium rhodostomum</i>	12	0.289	<i>Septifer</i> spp	9	0.156
<i>Bursa</i> spp	1	0.011	<i>Spondylus</i> spp	4	0.078
<i>Cerithium echinatum</i>	1	0.011	<i>Streptopinna saccata</i>	2	0.022
<i>Cerithium nodulosum</i>	7	0.178	<i>Tridacna crocea</i>	23	2.172
<i>Chicoreus brunneus</i>	12	0.400	<i>Tridacna derasa</i>	2	0.022
<i>Conomurex luhuanus</i>	7	1.122	<i>Tridacna maxima</i>	7	0.156
<i>Conus capitaneus</i>	3	0.033	<i>Tridacna</i> spp	3	0.056
<i>Conus generalis</i>	1	0.011	<i>Tridacna squamosa</i>	13	0.378
<i>Conus leopardus</i>	2	0.022	Nudibranches (7 taxons)		
<i>Conus lividus</i>	6	0.133	<i>Chelidonura varians</i>	2	0.022
<i>Conus marmoreus</i>	1	0.011	<i>Glossodoris cincta</i>	1	0.011
<i>Conus miles</i>	1	0.011	<i>Halgerda johnsonorum</i>	1	0.011
<i>Conus miliaris</i>	7	0.089	<i>Hexabanchus sanguineus</i>	1	0.011
<i>Conus</i> spp	2	0.022	<i>Phyllidia picta</i>	2	0.022
<i>Conus vexillum</i>	3	0.033	<i>Phyllidiella lizae</i>	1	0.011
<i>Coralliophila violacea</i>	11	1.139	<i>Phyllidiella pustulosa</i>	2	0.033
<i>Cronia</i> spp	2	0.033	Crustacés (19 taxons)		
<i>Cypraea tigris</i>	3	0.044	<i>Alpheus lottini</i>	2	0.033
<i>Dendropoma</i> spp	2	0.033	<i>Alpheus</i> spp	6	0.289
<i>Drupa ricinus</i>	1	0.011	Axiidae indéterminés	9	0.556
<i>Drupa rubusidaeus</i>	1	0.011	<i>Calcinus latens</i>	6	0.222
<i>Drupella cornus</i>	18	1.233	<i>Calcinus minutus</i>	5	0.144
<i>Drupina grossularia</i>	9	0.167	<i>Calcinus pulcher</i>	2	0.089
<i>Haliotis ovina</i>	1	0.011	<i>Cymo quadrilobatus</i>	3	0.067
<i>Lambis lambis</i>	3	0.067	<i>Dardanus</i> spp	22	0.461
<i>Lambis truncata</i>	3	0.044	<i>Odontodactylus scyllarus</i>	3	0.033
<i>Latirolagena smaragdulus</i>	10	1.044	<i>Panulirus ornatus</i>	3	0.056
<i>Latirus polygonus</i>	1	0.011	<i>Panulirus versicolor</i>	8	0.167
<i>Lyncina vitellus</i>	1	0.011	<i>Rhynchocinetes durbanensis</i>	1	0.067
<i>Menathais tuberosa</i>	1	0.011	<i>Saron neglectus</i>	2	0.033
<i>Ovula ovum</i>	1	0.011	<i>Stenopus hispidus</i>	10	0.222
<i>Pseudovertagus aluco</i>	1	0.011	<i>Tetralia</i> spp	1	0.011
<i>Rochia nilotica</i>	10	0.300	<i>Trapezia bidentata</i>	3	0.089
<i>Siphonaria atra</i>	1	0.622	<i>Trapezia cymodoce</i>	2	0.044
<i>Tectus fenestratus</i>	3	0.056	<i>Trapezia rufopunctata</i>	2	0.044
<i>Tectus pyramis</i>	20	1.156	<i>Trapezia</i> spp	4	0.100
<i>Tectus virgatus</i>	2	0.044	Vers		
<i>Thuridilla gracilis</i>	1	0.011	Platyhelminthes (1 taxon)		
<i>Thuridilla splendens</i>	1	0.011	<i>Pseudoceros</i> spp	1	0.011
<i>Trochus maculatus</i>	4	0.056	Annélides (3 taxons)		
<i>Turbo chrysostomus</i>	12	0.656	<i>Loimia medusa</i>	1	0.011
<i>Turbo setosus</i>	10	0.511	<i>Sabellastarte</i> spp	7	0.156
<i>Tutufa rubeta</i>	1	0.011	<i>Spirobranchus giganteus</i>	15	4.050
<i>Vasum ceramicum</i>	3	0.067	Echinodermes		
<i>Vasum turbinellus</i>	6	0.261	Astérides (8 taxons)		
Bivalves (20 taxons)			<i>Acanthaster cf solaris</i>	3	0.033
<i>Alectryonella plicatula</i>	7	0.300	<i>Echinaster luzonicus</i>	7	0.167
<i>Anadara scapha</i>	3	0.111	<i>Fromia indica</i>	1	0.011
<i>Arca</i> spp	20	1.750	<i>Fromia milleporella</i>	5	0.111
<i>Arca ventricosa</i>	16	0.717	<i>Gomophia egyptiaca</i>	2	0.033
<i>Chama</i> spp	7	1.567	<i>Linckia laevigata</i>	6	0.133
<i>Hippopus hippopus</i>	2	0.022	<i>Linckia multifora</i>	7	0.111
<i>Isognomon isognomon</i>	19	2.522	<i>Nardoa novaecaledoniae</i>	8	0.244

Espèces	Fréquence	Densité	Espèces	Fréquence	Densité
Crinoïdes (1 taxon)			<i>Actinopyga mauritiana</i>	1	0.033
<i>Comanthus</i> spp	27	3.167	<i>Bohadschia argus</i>	2	0.022
Echinides (9 taxons)			<i>Holothuria atra</i>	7	0.478
<i>Diadema setosum</i>	5	0.133	<i>Holothuria coluber</i>	2	0.033
<i>Echinometra mathaei</i>	20	2.783	<i>Holothuria edulis</i>	8	0.244
<i>Echinostrephus aciculatus</i>	6	0.122	<i>Holothuria fuscogilva</i>	1	0.011
<i>Echinothrix calamaris</i>	2	0.033	<i>Holothuria fuscopunctata</i>	3	0.033
<i>Echinothrix diadema</i>	10	0.289	<i>Holothuria nobilis</i>	6	0.078
<i>Heterocentrotus mamillatus</i>	8	0.250	<i>Holothuria scabra</i>	1	0.011
<i>Parasalenia gratiosa</i>	1	0.033	<i>Stichopus chloronotus</i>	2	0.044
<i>Phyllacanthus imperialis</i>	3	0.033	<i>Stichopus herrmanni</i>	1	0.011
<i>Tripneustes gratilla</i>	3	0.033	Synaptidae indéterminés	2	0.056
Holothurides (13 taxons)			Ophiures		
<i>Actinopyga lecanora</i>	2	0.022	<i>Ophiothrix</i> spp	5	0.200

Tableau 6 : Richeesse taxonomique par station et densité du macrobenthos épibenthique dans la zone d'étude en 2020.

Les valeurs moyennes sont données avec un intervalle de confiance de 95%.

	Richeesse taxonomique par station	Densité (ind./300m ²)
Total macrobenthos	24.2 ± 2.2	48.32 ± 9.29
Annélides	-	4.22 ± 5.72
Eponges (clones)	-	4.76 ± 1.67
Mollusques		
Gastéropodes	7.0 ± 1.3	10.03 ± 2.89
Bivalves	6.0 ± 1.2	17.46 ± 6.37
Échinodermes		
Astérides	1.3 ± 0.5	0.84 ± 0.38
Crinoïdes	-	3.17 ± 1.64
Echinides	1.9 ± 0.5	3.71 ± 1.98
Holothurides	1.3 ± 0.5	1.08 ± 0.65

Les mollusques commerciaux sont fréquents et relativement abondants (Tableau 5) :

- Les bénitiers (6 espèces) sont diversifiés et fréquents (26 stations ; 86.7% des stations). Leur densité est importante (2.8 individus/100 m²) (21) mais leur taille moyenne reste faible (11.25 ± 0.96 cm). La distribution de fréquences des tailles est asymétrique vers les petits individus (Figure 4). Quatorze spécimens de 20 cm et plus ont été observés, notamment 4 *Tridacna squamosa* de grande taille (53, 45, 44 et 40 cm) et 2 *T. derasa* (44 et 43 cm). La taille du plus gros *T. squamosa* est supérieure à la référence CITES¹. Les populations sont largement dominées par la petite espèce *T. crocea* (77.0% des individus). La présence de grands individus indique que les effets de réserve deviennent significatifs (cf. §5.3.1.2). L'impact de la pêche est de moins en moins sensible et cette ressource se reconstitue lentement depuis la mise en place des mesures de protection et de surveillance.
- Les trocas (*Rochia nilotica*) sont fréquents (10 stations ; 0.30 individu/100 m²) pour une espèce qui n'est pas échantillonnée dans son habitat préférentiel. Par ailleurs, leur taille moyenne est importante (10.56 ± 1.03 cm) et la distribution de fréquence des tailles indique la dominance

¹ AC22 Doc. 10.2 Annex 8

des gros individus (Figure 5). La population de trocas apparaît donc en bonne santé, notamment dans la réserve (cf. § 5.3.1.2).

- Les langoustes sont fréquentes (12 stations, 20 spécimens, 0.22 individu/100 m²), notamment dans la réserve (cf. § 5.3.1.2). Il s'agit principalement de versicolores (*Panulirus versicolor*, 8 stations, 15 spécimens) et de porcelaines (*Panulirus ornatus*, 3 stations, 5 spécimens).
- Les holothuries sont fréquentes (73.3% des stations). Il s'agit principalement d'espèces de faible valeur commerciale (21). Toutefois, 3 espèces à forte valeur commerciale (*Holothuria fuscogilva*, *H. nobilis* et *H. scabra* ; 8 stations, 9 spécimens) et 4 espèces de valeur commerciale moyenne (*Actinopyga mauritiana*, *H. fuscopunctata*, *Stichopus chloronotus* et *Stichopus herrmanni* ; 6 stations, 11 individus) ont été observées. Ce résultat indique que l'impact de la pêche est de moins en moins sensible et que cette ressource se reconstitue lentement depuis la mise en place des mesures de protection et de surveillance (cf. § 5.3.1.2).
- Des sauteurs (*Conomurex luhanus* ; 7 stations, 101 spécimens) et des araignées (strombes) (*Lambis lambis* et *L. truncata* ; 5 stations, 10 spécimens) ont également été recensés.

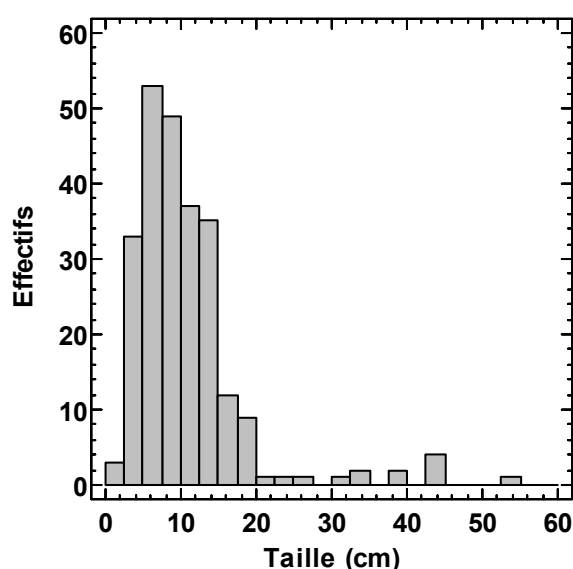


Figure 4 : Distribution de fréquence des tailles des bénitiers dans la zone d'étude en 2020.

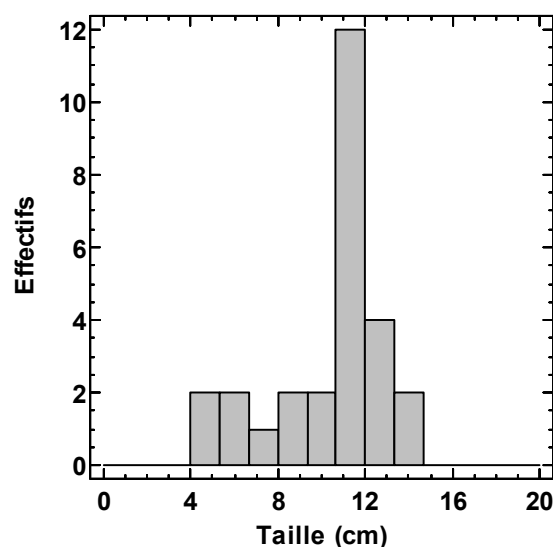


Figure 5 : Distribution de fréquence des tailles des trocas dans la zone d'étude en 2020.

1.1.1 Habitat corallien

Les caractéristiques moyennes de l'habitat corallien sont représentées dans la Figure 6. Le substrat est diversifié (les 29 classes de substrat sont représentées) et principalement abiotique (63.3%). Les formations coralliennes (46.4% du substrat vivant) et les végétaux mous (23.8% du substrat vivant) dominent le substrat vivant. Les coraux mous sont également fréquents (13.0% du substrat vivant). Le substrat abiotique est dominé par les débris (43.3% du substrat abiotique) et la dalle corallienne (41.8% du substrat non vivant).

Les formations coralliennes sont diversifiées. Dix des 12 catégories de forme ont été observées (Figure 7). En revanche, elles sont relativement peu développées (17.0% du substrat). Les *Acropora* branchus (26.1% des coraux) et les coraux massifs (25.34% des coraux) dominent devant les coraux submassifs (15.2% du substrat).

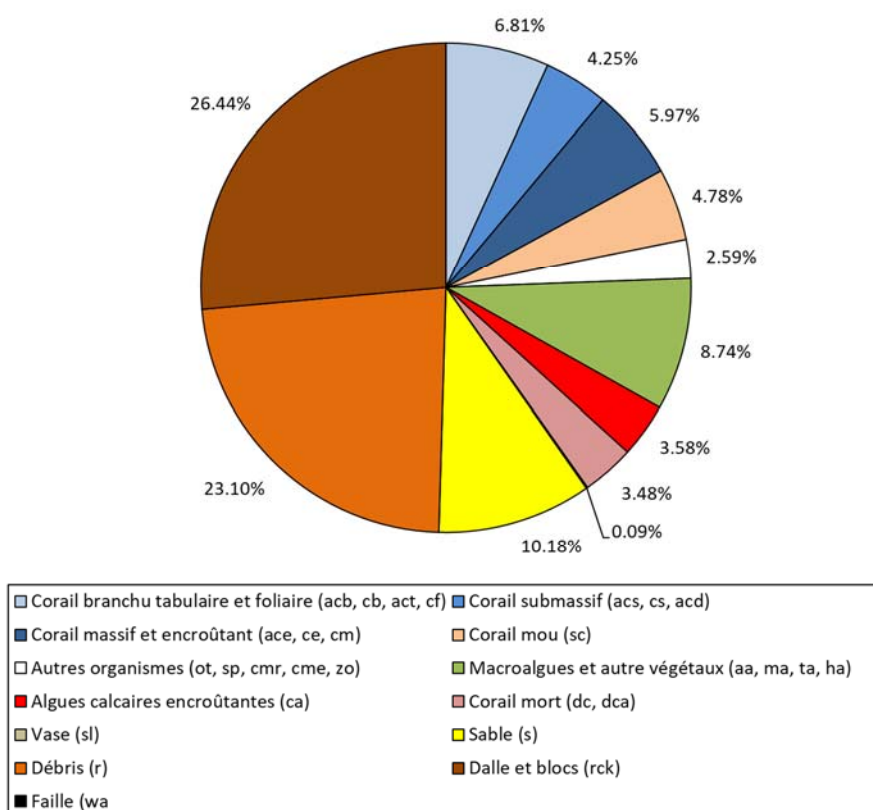


Figure 6 : Caractéristiques moyennes de l'habitat sur les récifs coralliens de la zone d'étude en 2020.

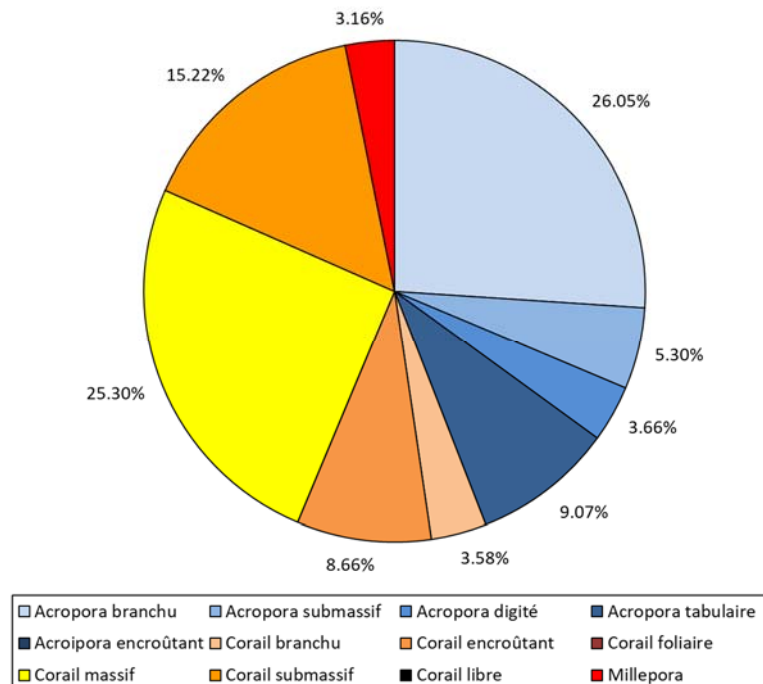


Figure 7 : Pourcentage moyen des différentes formes de corail vivant dans la zone d'étude en 2020.

5.2 ORGANISATION SPATIALE DES RECIFS CORALLIENS

L'organisation spatiale des communautés biologiques et de l'habitat a été étudiée en détail dans les rapports antérieurs (2; 3; 4). Depuis 2014, l'organisation spatiale est testée par une PERMANOVA (modèle [statut de protection x type de récif]) réalisée sur les caractéristiques générales et la structure des peuplements ou de l'habitat. L'évolution temporelle de cette organisation est analysée dans le § 5.3.

5.2.1 Poissons

5.2.1.1 Caractéristiques générales

Les différences des caractéristiques générales de l'ichtyofaune en fonction du statut de protection et du type de récif sont synthétisées dans le Tableau 7. En 2020, les différences observées concernent principalement le statut de protection et mettent en évidence certains effets de réserve.

La zone protégée abrite une diversité de Serranidae et d'Acanthuridae commerciaux par station significativement plus importante que les régions adjacentes non protégées (Tableau 7, Figure 8). Les estimations de densité et de biomasse sont très variables entre les stations. Les populations de Serranidae et d'Acanthuridae commerciaux sont significativement plus denses dans la réserve (Tableau 7, Figure 9). En revanche, l'opposé est observé pour la densité des Scaridae commerciaux. Cette tendance (non significative) est observée pour les espèces commerciales dans leur ensemble et les Chaetodontidae. La biomasse des Acanthuridae est plus importante dans la réserve que dans la zone non protégée (Tableau 7, Figure 10). La même tendance (non significative) est observée pour l'ensemble des espèces commerciales.

En 2020, les caractéristiques générales de l'ichtyofaune ont peu varié en fonction du type de récif (Tableau 7). Le récif frangeant abrite une population moins dense de Chaetodontidae (Figure 9) qui s'explique par une couverture corallienne moins développées (cf. § 5.2.3.1). La richesse spécifique par station des Acanthuridae commerciaux est supérieure sur le récif barrière interne (Figure 8). La richesse spécifique par station des Scaridae commerciaux des récifs frangeants est inférieure à celle des récifs intermédiaires (Figure 8).

Tableau 7 : Organisation spatiale des caractéristiques générales de l'ichtyofaune dans la zone d'étude en 2020 selon le statut de protection et le type de récif.

Les comparaisons ont été réalisées par une Permanova à 2 facteurs (statut x type de récif). NS : différences non significatives ($p > 0.10$) ; + : différences proches du seuil de significativité ($0.05 < p \leq 0.10$) ; * : différences significatives ($0.01 < p \leq 0.05$) ; ** : différences très significatives ($0.001 < p \leq 0.01$) ; R : réserve ; NP : zone non protégée ; F : récif frangeant ; I : récif intermédiaire ; B : récif barrière interne.

Richesse spécifique par station			
Composante	Statut	Type	Interaction
Total	NS	NS	NS
Commerciale	NS	NS	NS
Serranidae	** (NP < R)	NS	NS
Lethrinidae	NS	NS	NS
Scaridae	NS	* (F < I)	NS
Acanthuridae	** (NP < R)	* (F-I < B)	NS
Siganidae	NS	NS	NS
Chaetodontidae	NS	NS	NS
Densité			
Composante	Statut	Type	Interaction
Total	NS	NS	NS
Commerciale	+ (R < NP)	NS	NS
Serranidae	** (NP < R)	NS	NS
Lethrinidae	NS	NS	NS
Scaridae	** (R < NP)	NS	NS
Acanthuridae	* (NP < R)	NS	NS
Siganidae	NS	NS	NS
Chaetodontidae	+ (R < NP)	+ (F < I-B)	NS
Biomasse			
Composante	Statut	Type	Interaction
Total	NS	NS	NS
Commerciale	+ (NP < R)	NS	NS
Serranidae	NS	NS	NS
Lethrinidae	NS	NS	NS
Scaridae	NS	NS	NS
Acanthuridae	* (NP < R)	NS	NS
Siganidae	NS	NS	NS
Chaetodontidae	NS	+ (F < I-B)	NS

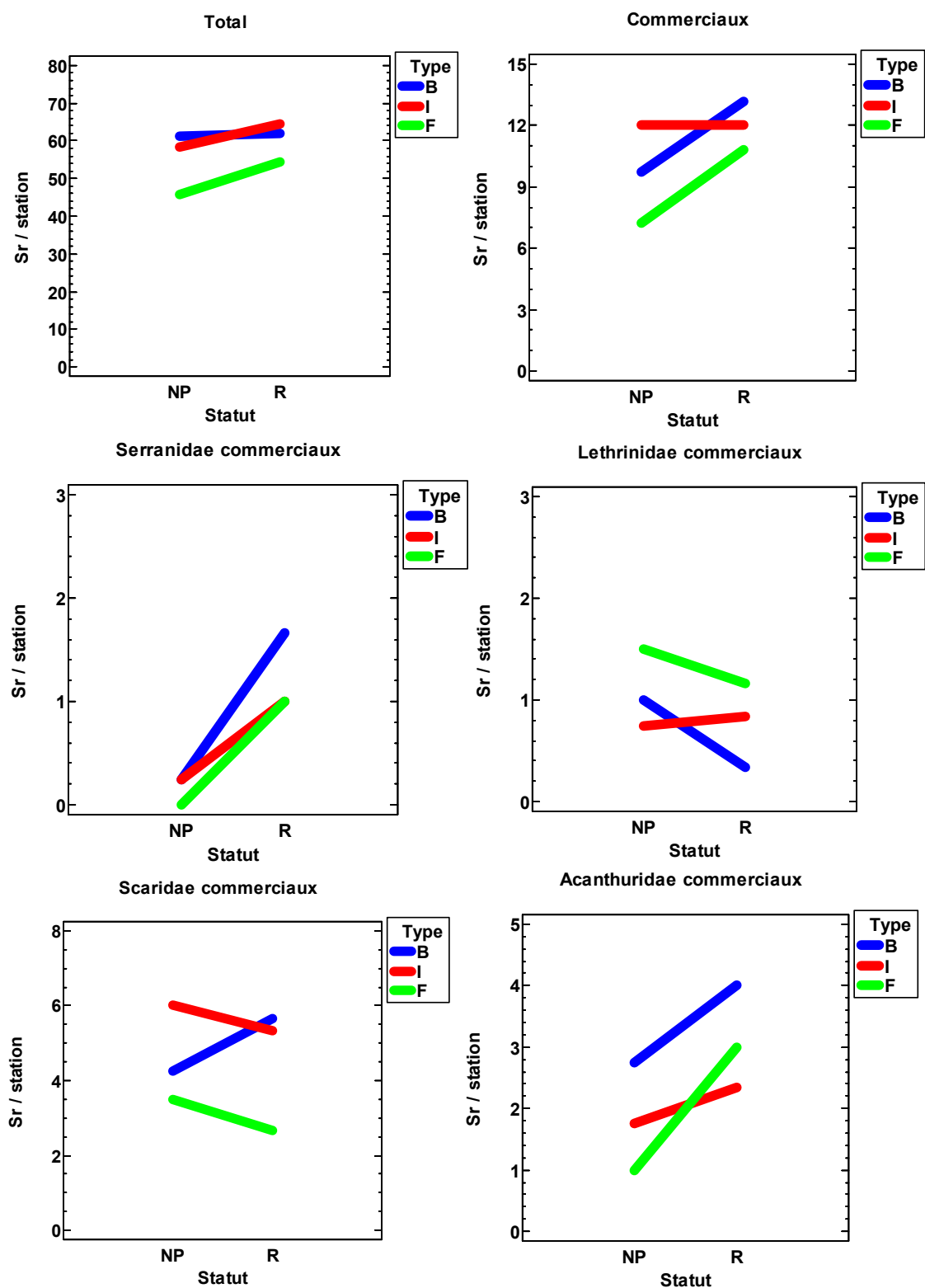


Figure 8 (1/2)

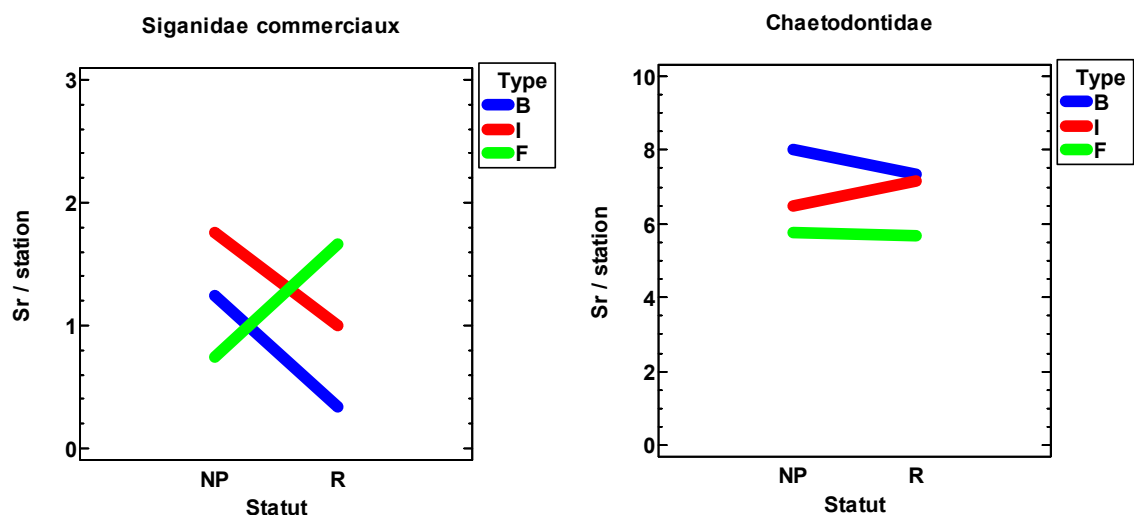


Figure 8 : Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour la richesse spécifique par station de l'ichtyofaune.

Le degré de significativité des différences est donné dans le Tableau 7. F : récif frangeant ; I : récif intermédiaire ; B : récif barrière interne ; NP : zone non protégée ; R : réserve.

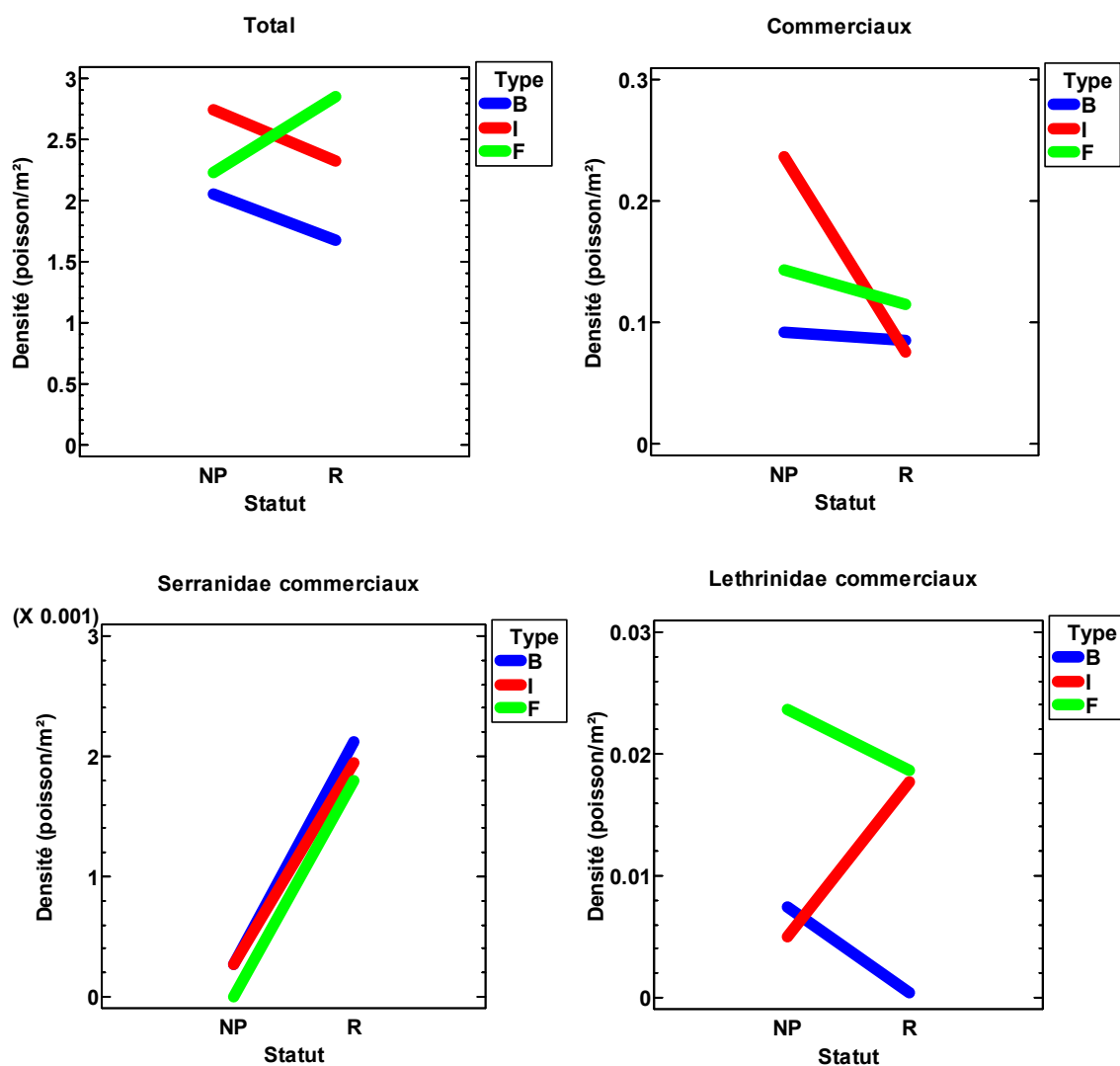


Figure 9 (1/2).

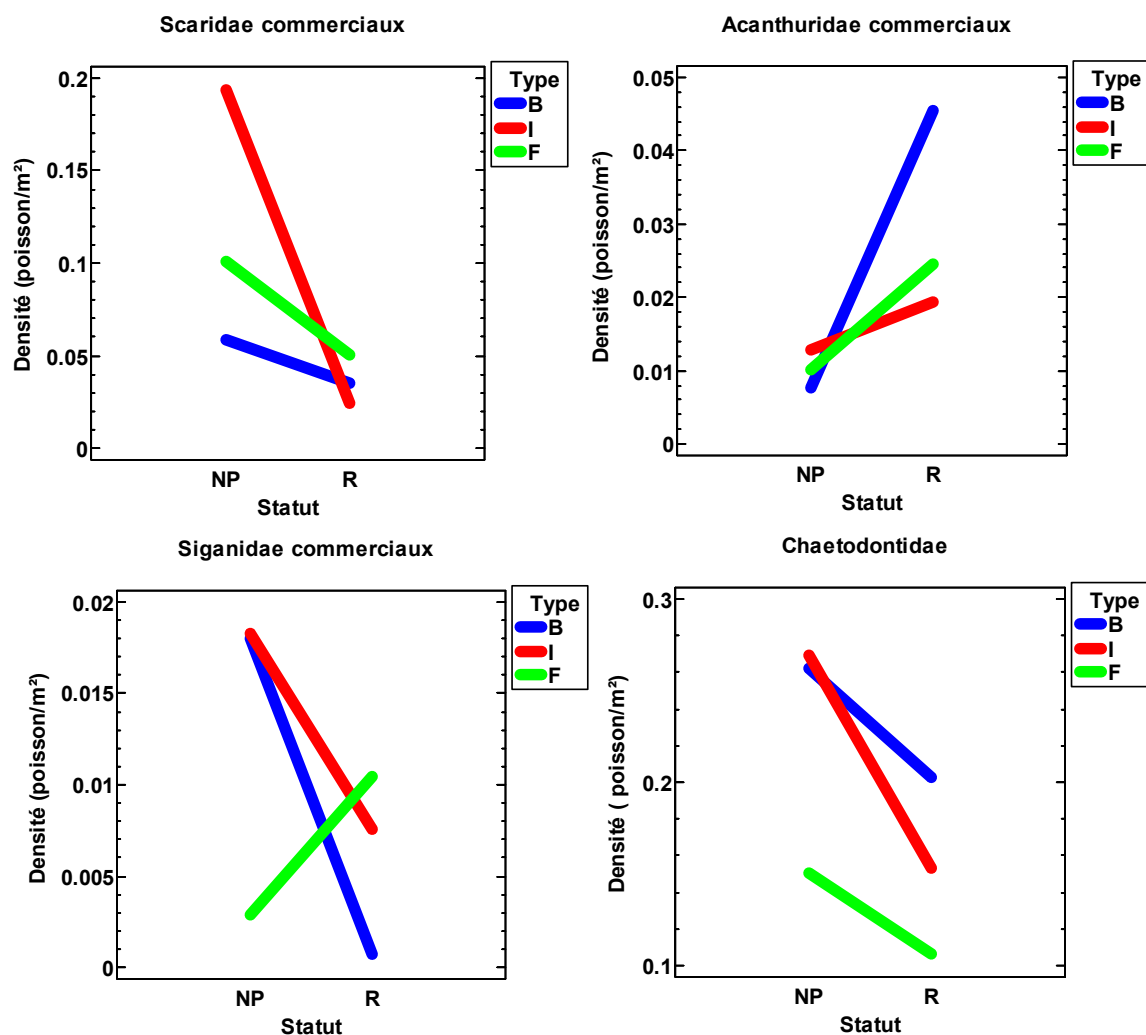


Figure 9 : Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour la densité (poissons/m²) de l'ichtyofaune.

Le degré de significativité des différences est donné dans le Tableau 7. F : récif frangeant ; I : récif intermédiaire ; B : récif barrière interne ; NP : zone non protégée ; R : réserve.

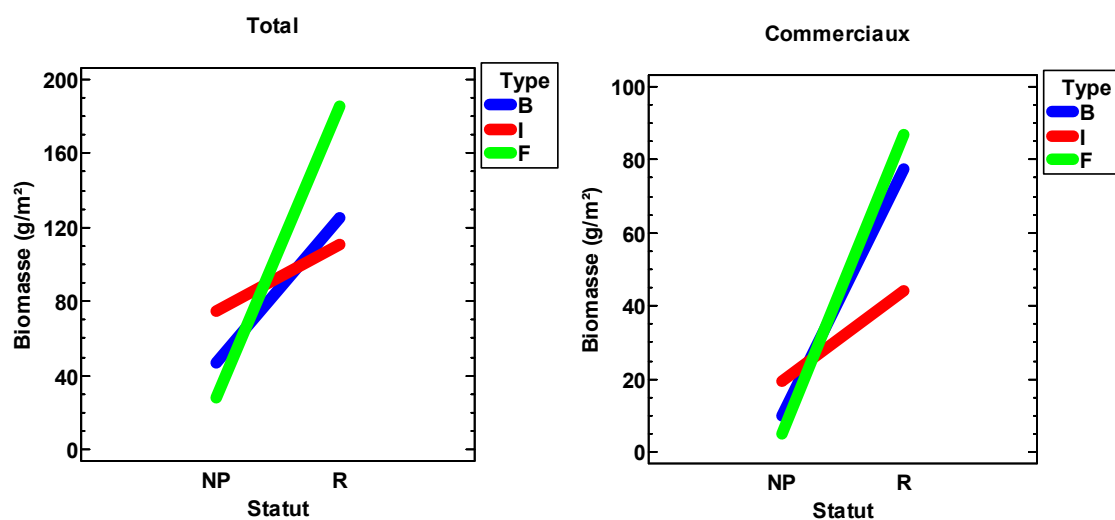


Figure 10 (1/2)

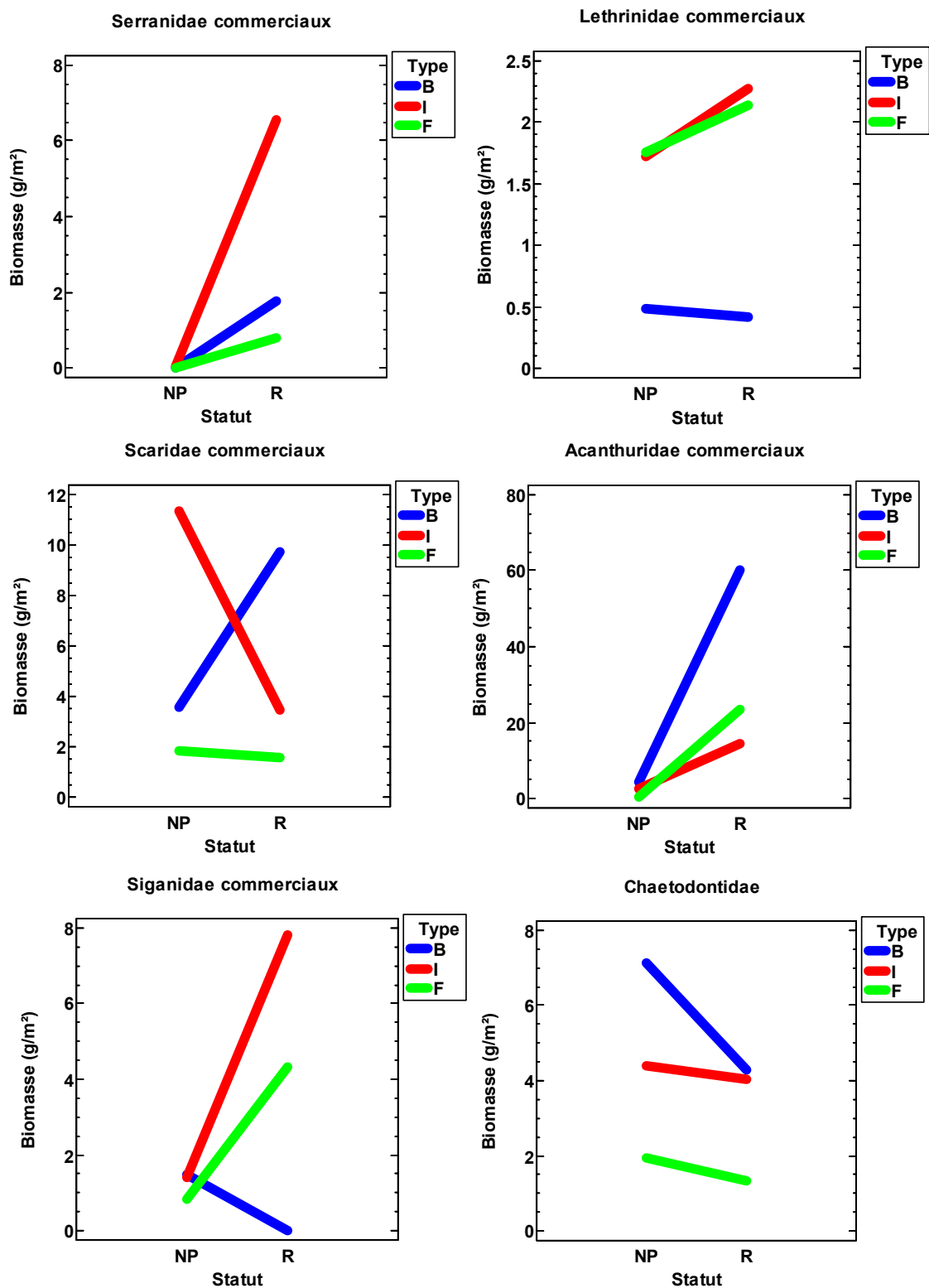


Figure 10 : Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour la biomasse (g/m²) de l'ichtyofaune.

Le degré de significativité des différences est donné dans le Tableau 7. F : récif frangeant ; I : récif intermédiaire ; B : récif barrière interne ; NP : zone non protégée ; R : réserve.

En ce qui concerne certaines espèces cibles privilégiées des pêcheurs :

- La saumonée (*Plectropomus leopardus*) n'a été observée que sur 2 stations de réserve (4 spécimens).
- Le perroquet Rédika (*Scarus ghobban*) ne présente pas de densité ni de biomasse significativement différentes entre la réserve et les zones non protégées (Permanova, $p > 0.05$). Toutefois, il est plus fréquent dans la réserve (61.7% des stations en réserve) que dans la zone non protégée (41.7% des stations non protégées).
- Le dawa (*Naso unicornis*) présente une fréquence, une densité et une biomasse très significativement supérieures dans la réserve (Permanova, $p \leq 0.01$) (Figure 11).

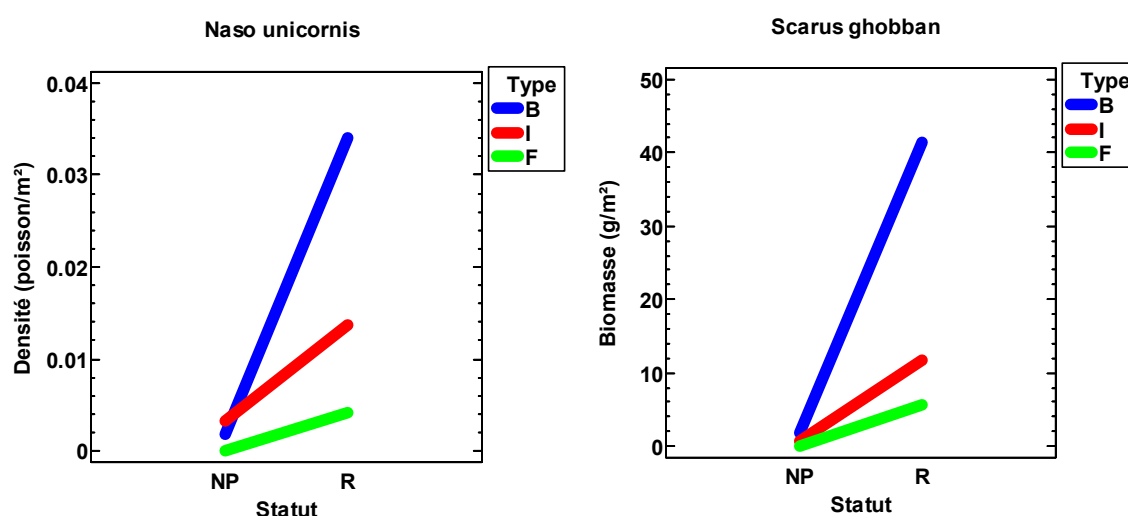


Figure 11 : Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour la densité et la biomasse du dawa (*Naso unicornis*).

F : récif frangeant ; I : récif intermédiaire ; B : récif barrière interne ; NP : zone non protégée ; R : réserve.

5.2.1.2 Structure des communautés

La Permanova indique un effet extrêmement significatif ($p \leq 0.001$) du type de récif et très significatif ($p \leq 0.01$) du statut de protection sur la structure des communautés de poissons. Les peuplements des 3 types de récif sont significativement différents (Permanova pair wise tests, $p \leq 0.01$). Il n'y a pas d'interaction entre les facteurs type de récif et statut de protection.

Effet du type de récif

L'analyse canonique des coordonnées principales (CAP) illustre cette organisation structurelle naturelle des communautés (Figure 12). Le type de récif est un facteur explicatif majeur des associations d'espèces observées. En effet, le modèle indique une classification correcte de 86.67% des stations. Toutes les stations de récif barrière interne sont bien classées. Les erreurs de classification concernent essentiellement des stations de récif intermédiaire (LF26, LF62 et LF63 classées en récif frangeant) et une station de récif frangeant (LF71) classée en récif intermédiaire. Ce résultat est logique en raison de l'étroitesse du lagon et de la proximité de ces 2 types de formations dont certaines sont

soumises à des conditions environnementales proches. Les principales espèces caractérisant ces 3 types d'assemblage sont conformes aux caractéristiques environnementales du site (Tableau 8).

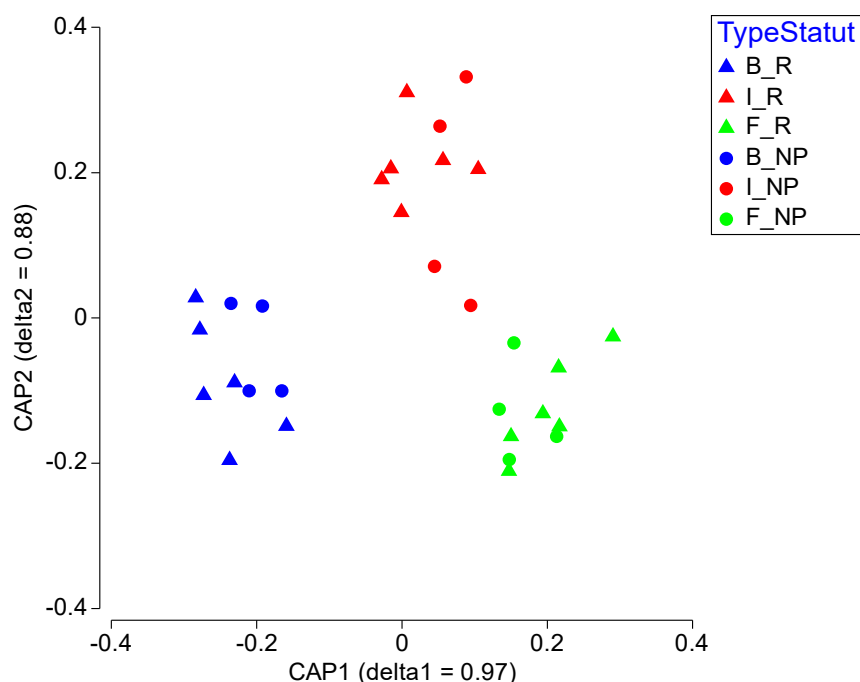


Figure 12 : Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice espèces/station de l'ichtyofaune sous la contrainte du facteur type de récif en 2020.

L'analyse canonique a été réalisée sur les 15 premières coordonnées principales (87.1% de l'inertie). Une validation croisée du modèle ($p < 0.001$) indique un pourcentage de classification correcte et stable de 86.7% ce qui est très satisfaisant (voir texte). R : réserve ; NP : zone non protégée ; B : récif barrière interne ; I : récif intermédiaire ; F : récif frangeant.

Tableau 8 : Principales espèces caractéristiques des assemblages identifiés dans la zone d'étude en 2020. Les espèces présentent une corrélation $> 50\%$ au plan factoriel de la CAP (Figure 12).

Récif barrière interne		
Chaetodontidae <i>Forcipiger flavissimus</i>	Pinguipedidae <i>Parapercis millepunctata</i>	Pomacentridae <i>Chrysiptera caesifrons</i>
Labridae <i>Coris gaimard</i> <i>Thalassoma nigrofasciatum</i> <i>Thalassoma lutescens</i>	Pomacanthidae <i>Centropyge flavissima</i>	<i>Pomacentrus bankanensis</i> <i>Pomacentrus chrysurus</i> <i>Stegastes fasciolatus</i> <i>Pomacentrus vaiuli</i>
Récif intermédiaire		
Blenniidae <i>Meiacanthus atrodorsalis</i>	Pomacentridae <i>Amblyglyphidodon curacao</i> <i>Chrysiptera taupou</i> <i>Pomacentrus adelus</i>	
Récif frangeant		
Acanthuridae <i>Zebrasoma velifer</i>	Labridae <i>Halichoeres trimaculatus</i> <i>Stethojulis notialis</i> <i>Thalassoma lunare</i>	Pomacentridae <i>Pomacentrus pavo</i>

Effet du statut de protection

En 2020, le statut de protection est également un facteur explicatif significatif des associations d'espèces observées. En effet, le modèle de CAP sous contrainte incluant le facteur statut est validé ($p < 0.05$) (Figure 13). Il indique une classification correcte du statut de protection de 76.7%. Trois stations de réserve sont mal classées (LF12, LF22 et LF24) ainsi que 4 stations non protégées (LF51, LF54, LF61 et LF74) dont les caractéristiques structurales se rapprochent des stations en réserve. Ce résultat est nouveau et il confirme que la mise en place progressive des effets de réserve a maintenant un impact sur la structure des assemblages de poissons (cf § 5.3.1.1). Cet impact se traduit par la présence d'espèces commerciales caractérisant les récifs en réserve : le picot kanak (*Acanthurus dussumieri*), la carangue bleue (*Caranx melampygus*), la carangue rayée (*Carangoides ferdau*), le bossu doré (*Lethrinus atkinsoni*), le perroquet bleu (*Chlorurus microrhinos*), le dawa (*Naso unicornis*) et le picot rayé (*Siganus lineatus*).

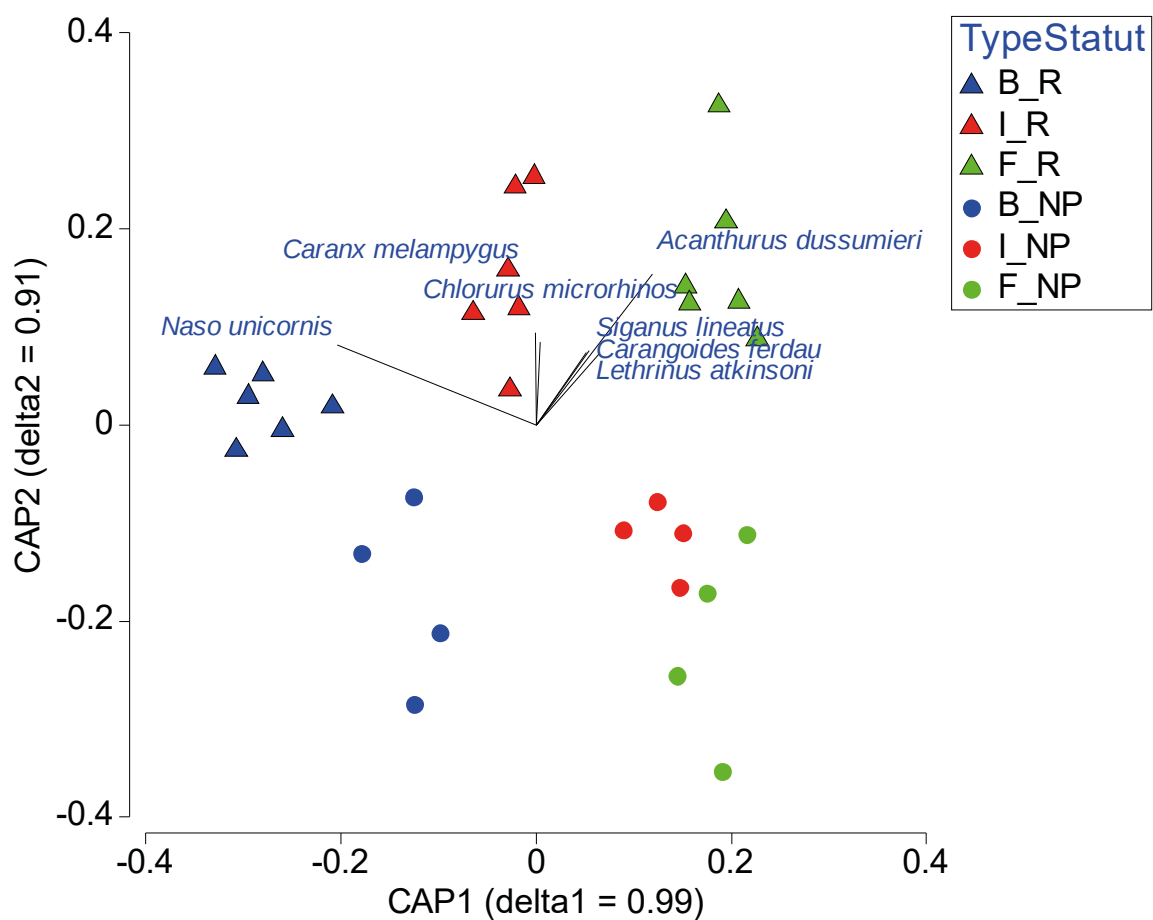


Figure 13 : Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice espèces/station de l'ichtyofaune sous la contrainte des facteurs statut de protection et type de récif en 2020.

L'analyse canonique a été réalisée sur les 17 premières coordonnées principales (90.6% de l'inertie). Une validation croisée du modèle ($p < 0.05$) indique un pourcentage de classification global stable de 60.7% qui est très satisfaisant pour le facteur statut de protection (76.7% ; voir texte). R : réserve ; NP : zone non protégée ; B : récif barrière interne ; I : récif intermédiaire ; F : récif frangeant. Les espèces commerciales présentant une corrélation > 0.2 à l'axe CAP2 sont représentées.

5.2.2 Macrobenthos

5.2.2.1 Caractéristiques générales

Les différences des caractéristiques générales du macrobenthos en fonction du statut de protection et du type de récif sont synthétisées dans le Tableau 9. En 2020, les différences observées sont naturelles et liées aux conditions environnementales des formations échantillonnées. Elles concernent principalement le type de récif. Toutefois, certaines différences sont liées au statut. Quand elles sont significatives elles indiquent une diversité toujours en faveur des récifs en réserve (diversité taxonomique totale, gastéropodes et holothurides), ce qui semble indiquer un effet des mesures de protections à l'échelle de certaines composantes des communautés de macroinvertébrés. Cet effet n'avait pas été mis en évidence jusqu'à maintenant. Les principales différences entre les types de récifs sont :

- Les communautés du récif barrière interne sont plus diversifiées et plus denses pour les gastéropodes et pour les échinides (Figure 14 ; Figure 15). En revanche, c'est dans ce type de formation que les bivalves et les holothurides sont les moins diversifiés et les moins abondants, la même tendance étant observée pour la densité des éponges clones (Figure 14 ; Figure 15).
- Les récifs intermédiaires se distinguent par une diversité taxonomique totale plus importante, notamment pour les bivalves (Figure 14 ; Figure 15). En revanche, elle est plus faible en holothurides. La densité des éponges clones et des bivalves est également plus importantes sur ces formations. En revanche, la densité des holothurides y est plus faible, notamment dans la réserve (Figure 14 ; Figure 15).
- Les récifs frangeants se caractérisent par une plus grande diversité d'holothurides, ces dernières étant également plus abondante dans la réserve (Figure 14, Figure 15). En revanche, la diversité taxonomique totale y est plus faible, notamment celle des gastéropodes (dans la réserve) et des échinides, ces derniers y étant également moins nombreux (Figure 14, Figure 15).

Tableau 9 : Organisation spatiale des caractéristiques générales du macrobenthos dans la zone d'étude en 2020.

Les comparaisons ont été réalisées par une Permanova à 2 facteurs (statut x type de récif). NS : différences non significatives ($p > 0.10$) ; + : différences proches du seuil de significativité ($0.05 < p \leq 0.10$) ; * : différences significatives ($0.01 < p \leq 0.05$) ; ** : différences très significatives ($0.001 < p \leq 0.01$) ; *** : différences extrêmement significatives ($p \leq 0.001$) ; R : réserve ; NP : zone non protégée ; F : récif frangeant ; I : récif intermédiaire ; B : récif barrière interne. Les résultats des tests *a posteriori* en Italiques sont proches des seuils de significativité ($0.05 < p \leq 0.10$).

Richesse taxonomique par station			
Composante	Statut	Type	Interaction
Total	+ (I : NP < R)	* (F < I)	NS
Gastéropodes	* (NP < R)	* (F < B)	NS
Bivalves	NS	*** (B < I < F)	NS
Astérides	NS	NS	*
Echinides	NS	** (F < I-B)	NS
Holothurides	+ (NP < R)	** (B-I < F)	NS
Densité			
Composante	Statut	Type	Interaction
Total	NS	NS	NS
Annélides	NS	NS	NS
Eponges	NS	* (B < I)	NS
Gastéropodes	NS	+ (R : F < B)	NS
Bivalves	NS	** (B < I-F)	NS
Astérides	NS	NS	* (I : NP < R)
Crinoïdes	NS	NS	NS
Echinides	NS	** (F < I < B)	NS
Holothurides	NS	** (R : B-I < F)	NS

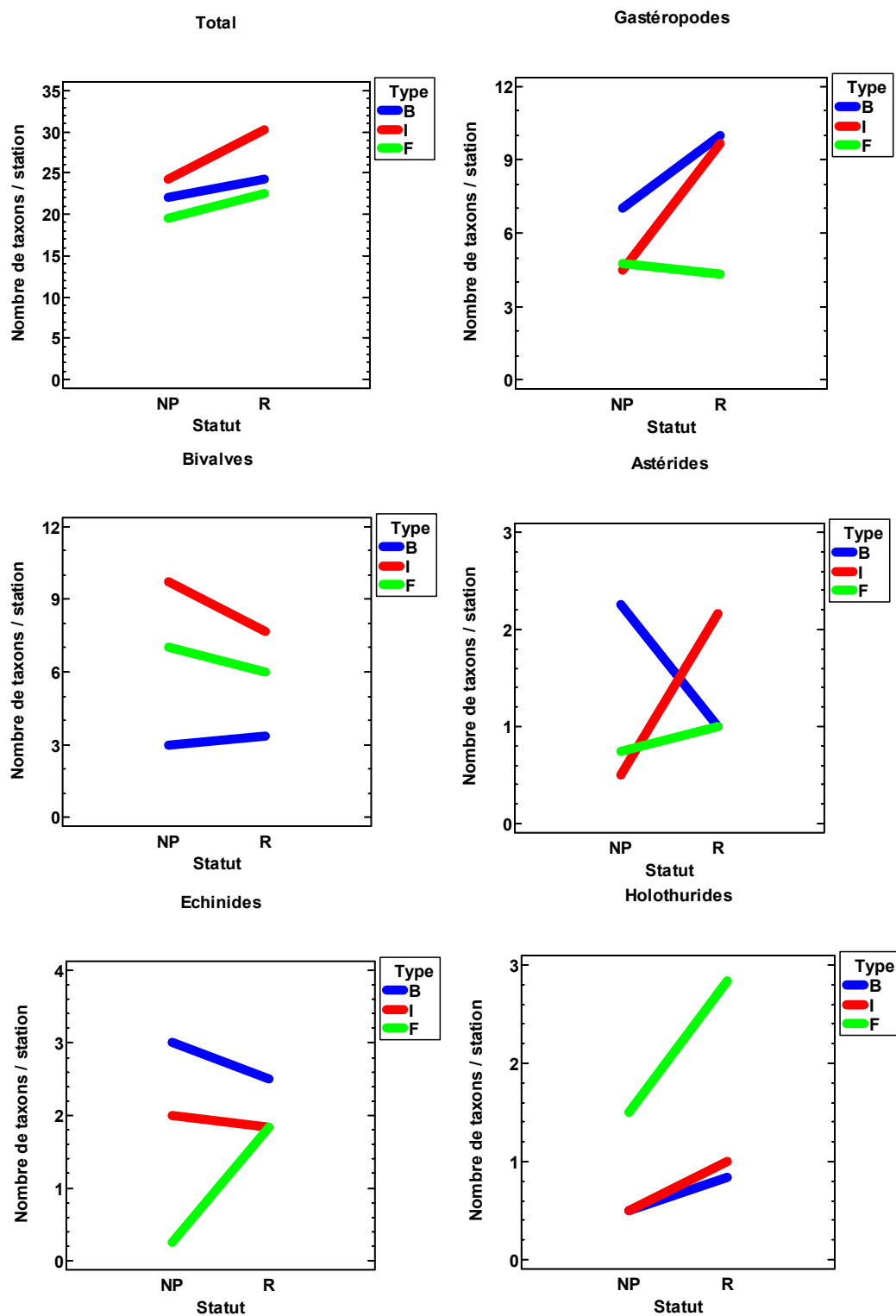


Figure 14 : Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour la richesse taxonomique par station des macroinvertébrés.

Le degré de significativité des différences est donné dans le Tableau 9. F : récif frangeant ; I : récif intermédiaire ; B : récif barrière interne ; NP : zone non protégée ; R : réserve.

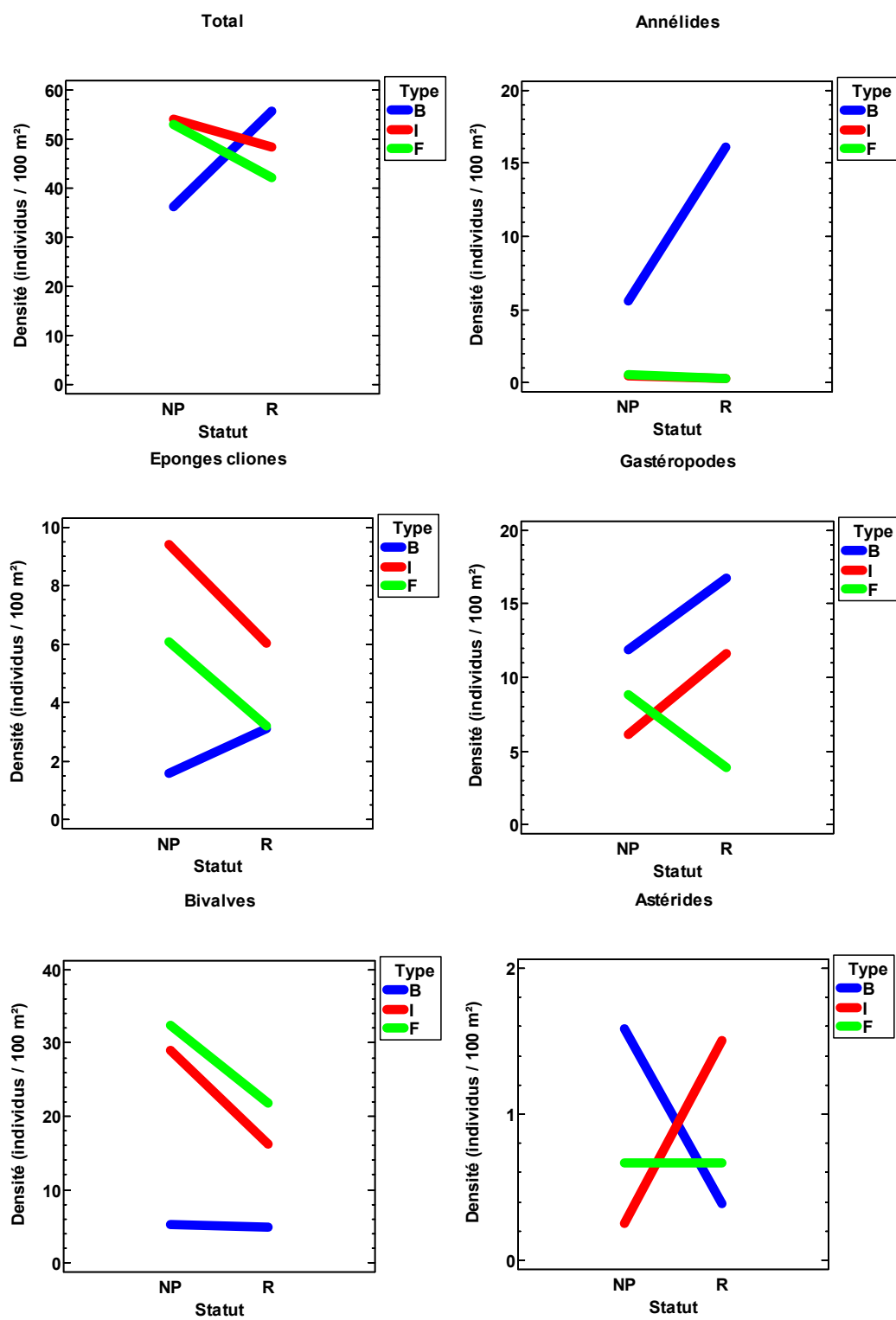


Figure 15 (1/2)

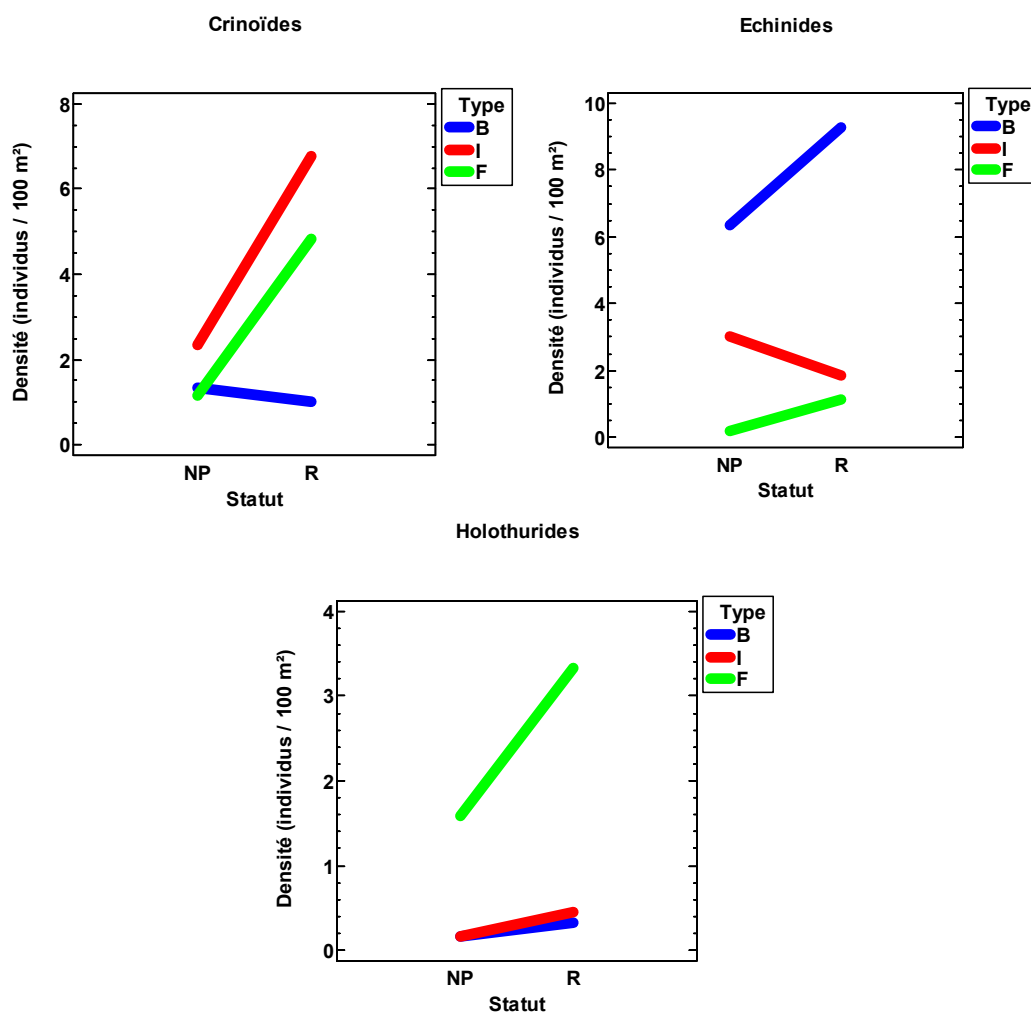


Figure 15 : Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour la densité (individu/100 m²) des macroinvertébrés.

Le degré de significativité des différences est donné dans le *Tableau 9*. F : récif frangeant ; I : récif intermédiaire ; B : récif barrière interne ; NP : zone non protégée ; R : réserve.

5.2.2.2 Structure des communautés

La Permanova indique un effet extrêmement significatif du facteurs type de récif ($p \leq 0.001$) sur la structure des communautés de macroinvertébrés. En revanche, le facteur statut n'est pas significatif ainsi que l'interaction entre type de récif et statut (Permanova, $p > 0.10$). Les 3 types de formations abritent des communautés significativement différentes (Permanova pair wise tests, $p \leq 0.01$).

L'analyse canonique des coordonnées principales (CAP) illustre une organisation structurale naturelle des communautés (Figure 16). Le type de récif est un facteur explicatif majeur des associations d'espèces observées. En effet, le modèle indique une classification correcte de 90.0% des stations. Toutes les stations de récif barrière interne et de récif intermédiaire sont bien classées. Les erreurs de classification concernent 3 stations de récif frangeant (LF32, LF71 et LF72 classées en récif intermédiaire). Ce résultat est logique en raison de l'étroitesse du lagon et de la proximité de ces 2 types de formations. Les stations de récif frangeant concernées sont situées face à la passe d'Isié

(LF71 et LF72) ou face à la passe de Uraï (LF32) (Figure 1) et sont soumises à des conditions environnementales proches du récif intermédiaire. Les principales espèces caractérisant ces 3 types d'assemblage sont conformes aux caractéristiques environnementales du site (Tableau 10), notamment des gastéropodes pour le récif barrière interne et des bivalves et des holothurides pour le récif frangeant.

En 2020, le statut de protection n'est pas un facteur explicatif significatif des associations d'espèces observées, contrairement au signal « effets de réserve » observé sur les communautés de poissons (cf §5.2.1.2). Ce résultat est confirmé par une analyse canonique des coordonnées principales (CAP) sous contrainte du statut de protection qui n'est pas significative ($p = 0.27$). Il montre que la mise en place progressive des effets de réserve n'a pas encore d'impact sur la structure des assemblages de macroinvertébrés. Le signal indiquant un effet des mesures de protections à l'échelle de certaines composantes des communautés de macroinvertébrés n'a pas encore d'impact détectable à l'échelle de l'ensemble des assemblages (cf § 5.2.2.1)

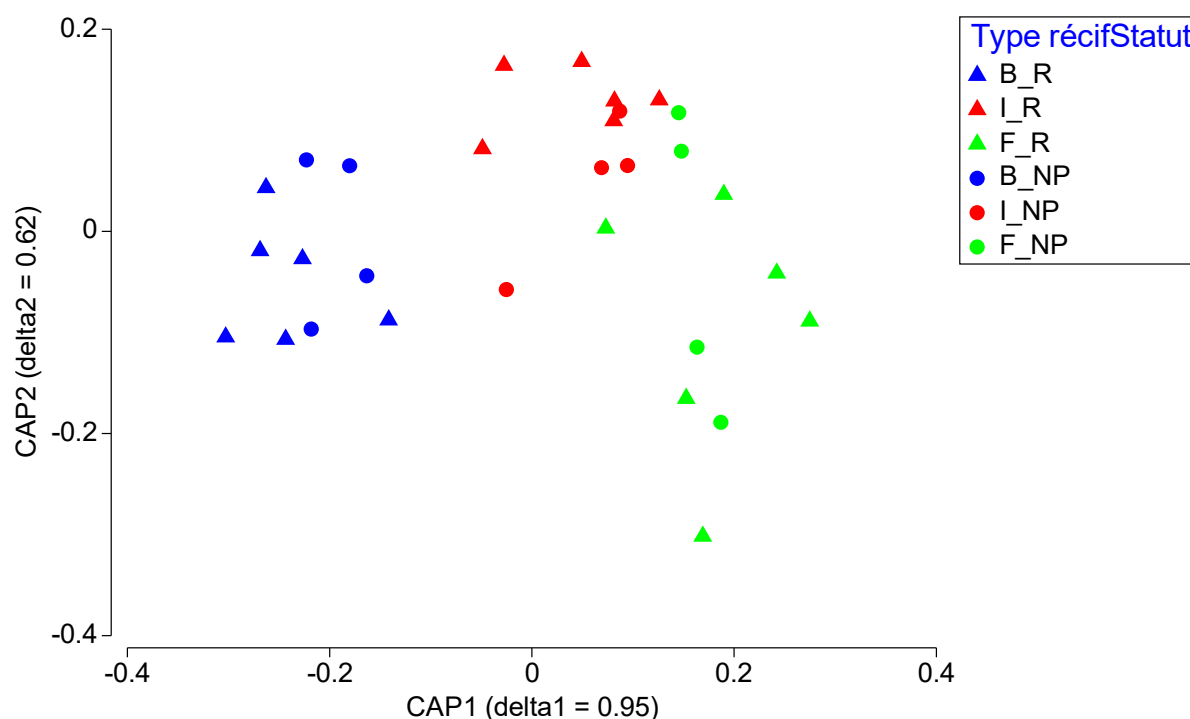


Figure 16 : Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice espèces/station des macroinvertébrés sous la contrainte du facteur type de récif en 2020.

L'analyse canonique a été réalisée sur les 6 premières coordonnées principales (64.2% de l'inertie). Une validation croisée du modèle ($p < 0.001$) indique un pourcentage de classification correcte et stable de 90.0% ce qui est très satisfaisant (voir texte). R : réserve ; NP : zone non protégée ; B : récif barrière interne ; I : récif intermédiaire ; F : récif frangeant.

Tableau 10 : Principales espèces caractéristiques des assemblages identifiés dans la zone d'étude en 2020.
Les espèces présentent une corrélation > 50% au plan factoriel de la CAP (Figure 12).

Récif barrière interne		
Gastéropodes	Bivalves	Annélides
<i>Astrarium rhodostomum</i>	<i>Tridacna crocea</i>	<i>Spirobranchus giganteus</i>
<i>Latirolagena smaragdulus</i>	<i>Tridacna squamosa</i>	Echinides
<i>Turbo chrysostomus</i>	Crustacés	<i>Heterocentrotus mamillatus</i>
<i>Turbo setosus</i>	<i>Dardanus</i> spp	<i>Echinometra mathaei</i>
		Ophiurides
		<i>Ophiothrix</i> spp
Récif intermédiaire		
Eponges	Bivalves	Crustacés
<i>Cliona jullieni</i>	<i>Arca ventricosa</i>	<i>Alpheus</i> spp
Gastéropodes		
<i>Chicoreus brunneus</i>		
<i>Drupella cornus</i>		
Récif frangeant		
Bivalves	Holothurides	
<i>Alectryonella plicatula</i>	<i>Holothuria atra</i>	
<i>Isognomon isognomon</i>	<i>Holothuria edulis</i>	
<i>Pedum spondyloideum</i>	<i>Stichopus chloronotus</i>	
<i>Pteria</i> spp	Synaptidae indéterminés	

5.2.3 Habitat

5.2.3.1 Caractéristiques générales

Les Permanova indiquent que certaines caractéristiques de l'habitat diffèrent en fonction du type de récif ou, dans une moindre mesure, du statut (Tableau 11) :

- L'habitat du récif barrière interne présente plus d'algues calcaires encroûtantes et moins de macroalgues et autres végétaux (Figure 17). Dans la réserve, il comprend également plus de dalle corallienne et moins de débris.
- L'habitat du récif intermédiaire présente des caractéristiques entre celles du récif barrière interne et celles des récifs frangeants (Figure 17). C'est notamment le cas pour les algues calcaires encroûtantes. Il se caractérise également par les coraux mous et les « autres organismes », notamment les éponges. Enfin dans la réserve, les débris y sont moins importants et la dalle plus importante que sur les récifs frangeants.
- L'habitat des récifs frangeants présente plus de macroalgues et autres végétaux (Figure 17). En revanche, les algues calcaires encroûtantes et les coraux mous y sont moins abondants. Les débris sont plus abondants et la dalle corallienne moins représentée sur les récifs frangeants de la réserve.

Par ailleurs, l'habitat de la zone en réserve présente globalement plus d'algues calcaires encroûtantes que l'habitat de la zone non protégée (Figure 17). En revanche, les formes coralliennes fragiles et les coraux morts en place y sont moins abondants.

Toutes les différences observées sont naturelles et conformes aux caractéristiques environnementales qui caractérisent chaque type de récif. Les différences entre réserve et zone non protégées ne sont pas dues au statut mais aux caractéristiques environnementales et aux évolutions temporelles naturelles. La réserve située entre 2 passes rapprochées subit une forte influence océanique, notamment hydrodynamique. Elle a été fortement affecté par le cyclone Erica en 2003, notamment les récifs frangeants (cf §5.3.1.3).

Tableau 11 : Organisation spatiale des caractéristiques générales de l'habitat dans la zone d'étude en 2020.

Les comparaisons ont été réalisées par une Permanova à 2 facteurs (statut x type de récif). NS : différences non significatives ($p > 0.10$) ; + : différences proches du seuil de significativité ($0.05 < p \leq 0.10$) ; * : différences significatives ($0.01 < p \leq 0.05$) ; ** : différences très significatives ($0.001 < p \leq 0.01$) ; *** : différences extrêmement significatives ($p \leq 0.001$) ; R : réserve ; NP : zone non protégée ; F : récif frangeant ; I : récif intermédiaire ; B : récif barrière interne.

Composante	Statut	Type	Interaction
Corail branchu tabulaires et foliaire	* (R < NP)	NS	NS
Corail submassif	NS	NS	NS
Corail massif et encroûtant	NS	NS	NS
Corail mou	NS	* (F < I)	NS
Autres organismes	NS	+ (B < I)	NS
Macroalgues et autres végétaux	NS	** (B-I < F)	NS
Algues calcaires encroûtantes	* (NP < R)	** (F < I < B)	NS
Corail mort	* (R < NP)	NS	NS
Sable	NS	NS	NS
Débris	NS	*	* (R : B-I < F)
Dalle et blocs	NS	**	* (R : F < B-I)

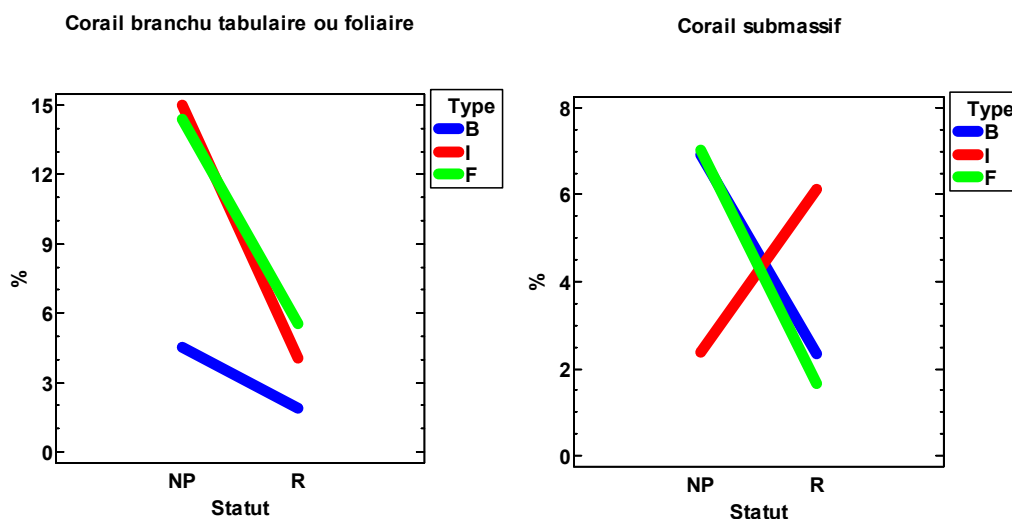


Figure 17 1/3

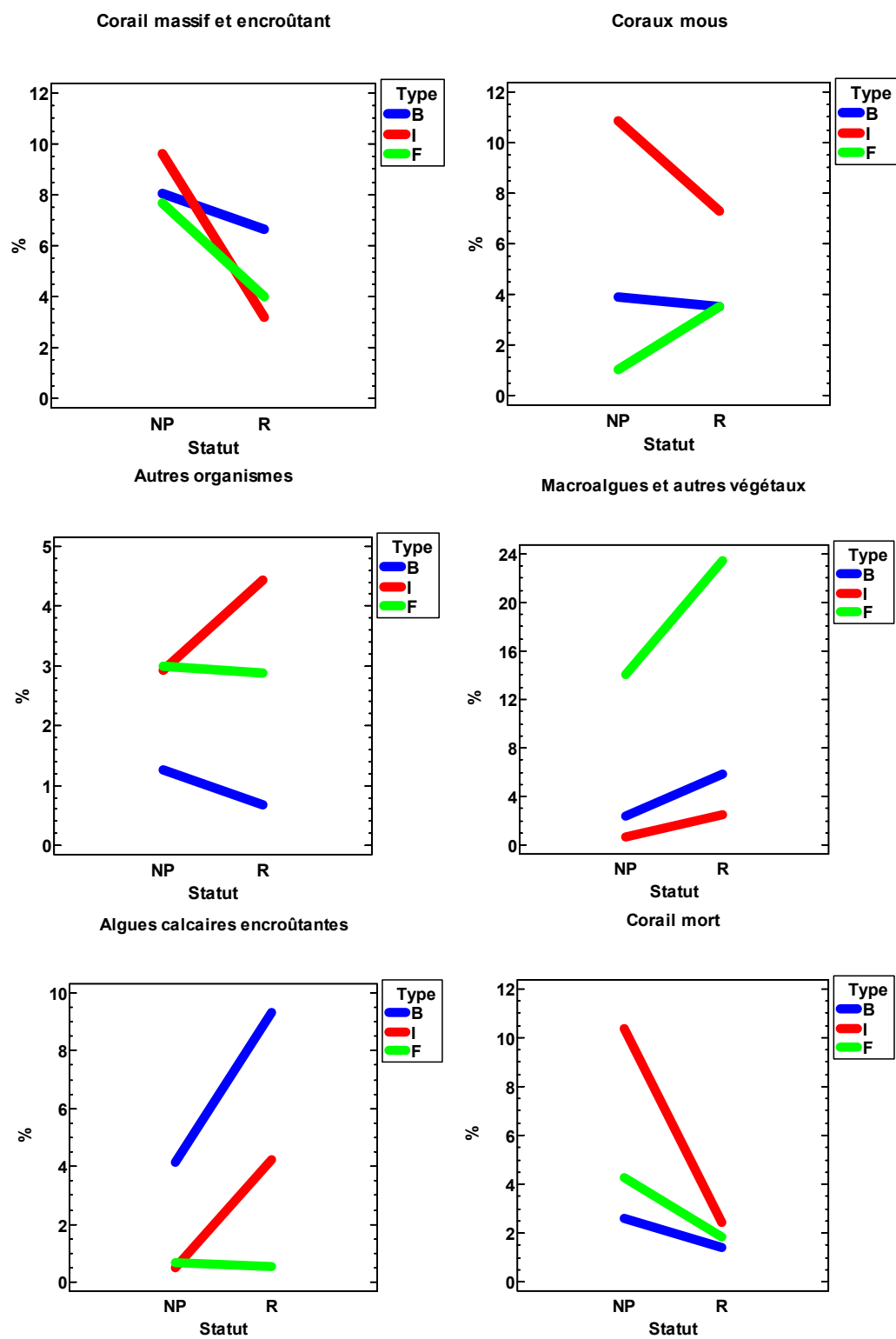


Figure 17 2/3

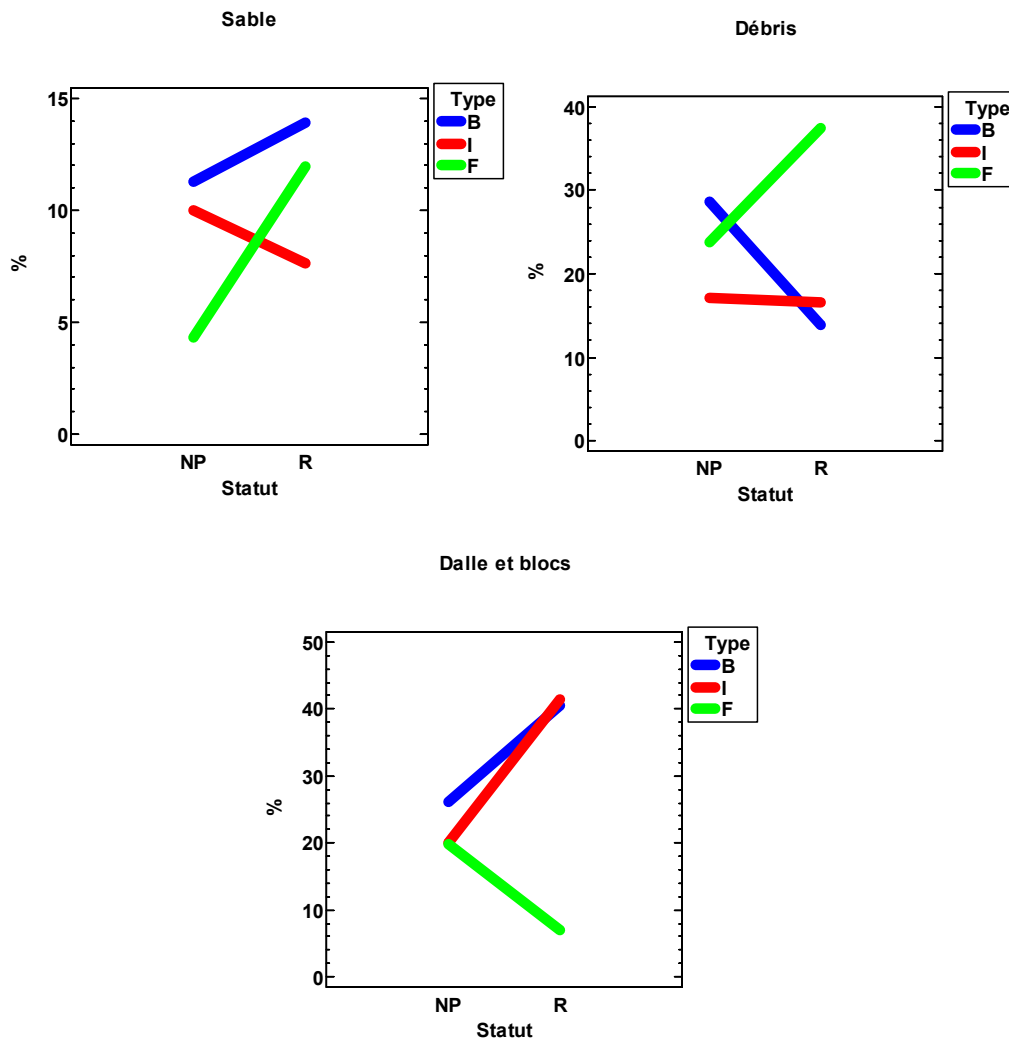


Figure 17 : Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour l'habitat de Ouano en 2020. Le degré de significativité des différences est donné dans le Tableau 11. F : récif frangeant ; I : récif intermédiaire ; B : récif barrière interne ; NP : zone non protégée ; R : réserve.

5.2.3.2 Structure de l'habitat

La Permanova indique une interaction significative ($p < 0.05$) entre les facteurs type de récif et statut sur la structure de l'habitat à Ouano en 2020. Dans la réserve l'habitat du récif frangeant est significativement différent de celui du récif intermédiaire et de celui du récif barrière interne (Permanova pair-wise tests, $p < 0.01$). En revanche, l'habitat des 3 types de récif n'est pas significativement différent dans la zone non protégée. Ces résultats sont conformes avec les caractéristiques de la zone et les résultats du §5.2.3.1.

L'analyse canonique des coordonnées principales (CAP) confirme cette organisation structurale de l'habitat corallien en fonction du type de récif (Figure 18). Le modèle indique une classification correcte de 70% des stations. Les erreurs de classification concernent majoritairement des stations de récif barrière interne qui présentent un habitat plus proche de celui des récifs intermédiaires (6 stations). Seules 2 stations de récif frangeant présentent les caractéristiques d'un récif intermédiaire, et une

station de récif intermédiaire celles d'un récif barrière interne. Ce résultat confirme que le gradient observé entre les 3 types de récif pour les caractéristiques générales (cf §5.2.3.1) est également significatif au niveau structurel. Les végétaux (AA, HA, MA), les éponges (SP), des coraux fragiles (ACB, CF) et les débris (R) sont typiques des récifs frangeants (Figure 18). Les coraux mous (SC), les *Millepora* (CME), les coraux morts en place (DCA) et la dalle corallienne caractérisent les récifs intermédiaires (Figure 18). Les *Acropora* digités (ACD), les coraux encroûtants (CE), les algues calcaires encroûtantes (CA), les cyanobactéries (CYA), le gazon algal (TA) et le sable (S) distinguent le récif barrière interne. (Figure 18).

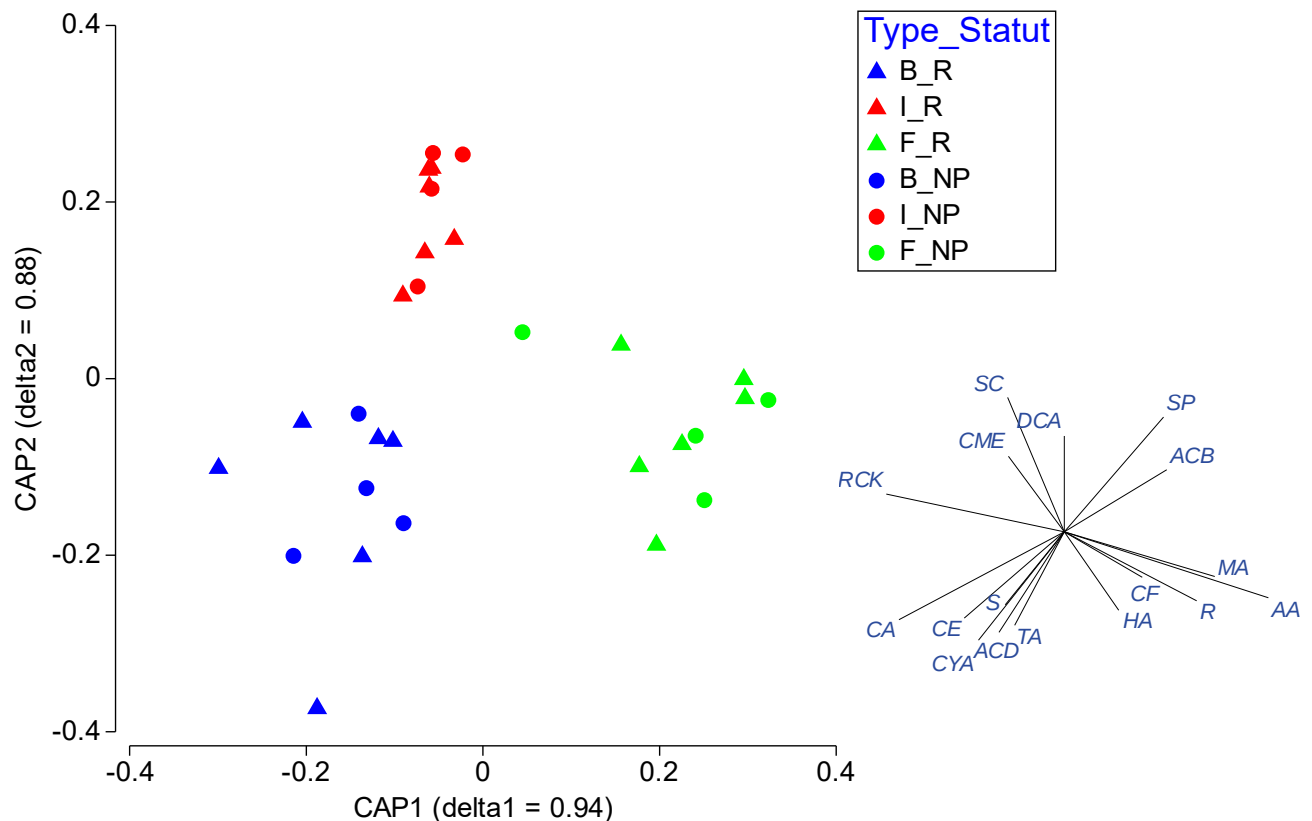


Figure 18 : Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) des caractéristiques de l'habitat sous la contrainte du facteur type de récif en 2020.

L'analyse canonique a été réalisée sur les 18 premières coordonnées principales (99.9% de l'inertie). Une validation croisée du modèle ($p < 0.05$) indique un pourcentage de classification stable de 70.0% ce qui est satisfaisant (voir texte). R : réserve ; NP : zone non protégée ; B : récif barrière interne ; I : récif intermédiaire ; F : récif frangeant. Les variables habitat représentées présentent une corrélation > 0.3 au premier plan canonique. Les codes des variables habitat sont donnés dans le *Tableau 2*.

S'il est pris en compte seul, le facteur statut est également discriminant (73.3% de classification correcte). Cependant, ces différences ne sont pas dues aux mesures de protection (cf §5.3.1.3). En effet, associé au facteur type de récif le modèle n'est plus validé (46.7% de classification correcte). Ce dernier résultat confirme l'interaction entre les 2 facteurs (cf §5.2.3.1) et montre que les différences entre l'habitat des récifs en réserve ou non protégé est dû à un environnement différent.

5.3 PERFORMANCE DE LA RESERVE DE OUANO ET MAINTIEN DE L'INTEGRITE DU BIEN

5.3.1 Récifs coralliens

5.3.1.1 Poissons

Une synthèse des comparaisons BACI-PS de l'évolution des communautés de poissons entre les 2 périodes 2004-2006 et 2007-2020 est présentée dans le Tableau 12. Ces comparaisons permettent de statuer sur la performance de la réserve de Ouano depuis la mise en place de la surveillance et le maintien de l'intégrité du bien inscrit au Patrimoine Mondial.

Performances de la réserve de Ouano

Les effets des mesures de protection dans la réserve qui avaient été observés en 2009 (4) et qui s'étaient amplifiés en 2014 (5) sont toujours observables. En 2020, ces effets sont significatifs pour 9 indicateurs comme en 2014 (Tableau 12). Ce résultat confirme que la protection associée aux mesures de surveillance a contribué à des évolutions différentes entre la réserve et les zones adjacentes non protégées. Toutefois, les effets de réserve semblent moins marqués qu'en 2014. Une diminution des valeurs moyennes est même observée pour certaines métriques entre 2014 et 2020. Par conséquent, en 2020 certaines composantes des communautés de poissons ne semblent plus dans une phase de développement dans la réserve par rapport aux zones non protégées mais se sont stabilisées voire ont régressé. Cette évolution pourrait être liée à un changement de mode de surveillance. En 2014 les gardes natures qui étaient affectés uniquement au milieu marin ont aussi été placés sur le domaine terrestre. De plus, jusqu'en 2014 le bureau des gardes natures se trouvait à Ouano, sur le sommet d'une butte d'où ils pouvaient surveiller la totalité de la réserve. La conséquence de ces changements a été une diminution de la surveillance qui a dû être accompagnée par une augmentation du braconnage dans la réserve. En résumé :

- La diversité totale sur l'ensemble de la zone a varié significativement au cours de la période d'étude (χ^2 , $p < 0.05$). Elle a été supérieure en 2014-2020 par rapport à celles de 2004 et 2009. En revanche, la diversité totale n'a également pas évolué différemment dans la réserve et les zones non protégées au cours de la période d'échantillonnage (χ^2 de proportion, $p > 0.05$) (Figure 19).
- Pour l'ensemble de l'ichtyofaune, la richesse spécifique par station et la densité ont bénéficié des effets de réserve (Tableau 12, Figure 20). Dans la réserve, la richesse spécifique par station et la densité ont augmenté depuis la mise en place des mesures de surveillance, alors qu'elles sont restées stables dans la zone non protégée. Toutefois, cette augmentation s'est faite avec un décalage temporel et elle est significative depuis 2014. La biomasse n'évolue pas significativement avec la surveillance ($p = 0.063$). Toutefois, la tendance suit celle de la richesse spécifique et de la densité, avec une évolution positive dans la réserve à partir de 2014 alors que la biomasse reste stable dans la zone non protégée.
- Pour les espèces commerciales, la richesse spécifique par station a bénéficié des effets de réserve (Figure 21, Tableau 12). Elle augmente globalement en réserve avec la mise en place des mesures de surveillance, alors qu'elle est restée stable dans la zone non protégée. Toutefois, cette augmentation n'est pas significative en raison d'une chute en 2020. Les résultats sont différents pour la densité pour laquelle il n'y a pas d'effet réserve de décelable. En revanche, la biomasse suit une évolution favorable plus marquée que la richesse spécifique. Après la mise en place des mesures de surveillance, la biomasse a significativement augmenté dans la réserve depuis 2014 ce qui n'est pas le cas dans la zone non protégée.

- Pour les Serranidae commerciaux, la richesse spécifique par station et la biomasse ont bénéficié des effets de réserve (Figure 22, Tableau 12). Depuis la mise en place des mesures de surveillance, la richesse spécifique a augmenté significativement dans la réserve alors qu'elle a diminué (variation non significative) dans la zone non protégée. Le même pattern est observé pour la biomasse avec une évolution positive significative en 2014 et 2015 par rapport à la période non surveillée. Toutefois, un signal négatif non significatif est enregistré en 2020. Aucun effet de réserve n'est mis en évidence pour la densité et un effet temporel négatif significatif est observé depuis 2014 où les évolutions temporelles sont similaires dans la réserve et la zone non protégée depuis le déménagement du bureau des gardes natures de Ouano.
- Pour les Lethrinidae commerciaux, aucun effet de réserve significatif n'a été observé pour la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse (Figure 23, Tableau 12). Toutefois, bien que non significatives les tendances moyennes sont toutes plus favorables dans la réserve que dans la zone non protégée.
- Pour les Scaridae commerciaux, aucun effet de réserve significatif n'a été observé pour la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse (Figure 24, Tableau 12). Toutefois, la biomasse a chuté significativement depuis 2014 dans la réserve. Ce pattern correspond au déménagement du bureau des gardes natures de Ouano.
- Pour les Acanthuridae commerciaux, les effets de réserves sont significatifs avec un décalage temporel (Figure 25, Tableau 12). L'augmentation de la richesse spécifique par station est significative à partir de 2014, celle de la biomasse devient significative en 2020. L'importante variabilité de la densité ne permet pas de détecter quand les effets de réserve deviennent significatifs mais l'évolution différente entre la réserve et la zone non protégée confirme leurs existences.
- Les Siganidae commerciaux n'ont pas présenté d'évolution de population significative en lien avec la mise en réserve (Figure 26, Tableau 12).
- Les Chaetodontidae n'ont pas présenté d'évolution de population significative en lien avec la mise en réserve (Figure 27, Tableau 12).

Les effets de la mise en place des mesures de protection dans la réserve se manifestent pour 3 espèces recherchées par les pêcheurs :

- La saumonée (*Plectropomus leopardus*) n'a été observée qu'une seule fois dans la zone non protégée. Elle n'a été observée dans la réserve que 2 fois avant la mise en place des mesures de surveillance. Elle a été observée dans la réserve à chaque suivi depuis que les mesures de surveillance sont mises en place. La densité et la biomasse sont maximales depuis 2014 (Figure 28).
- Les Napoléons (*Cheilinus undulatus*, espèce maintenant protégée) sont plus nombreux et plus gros dans la réserve. Ils sont très rares dans la zone non protégée (Figure 29).
- Le dawa (*Naso unicornis*) a bénéficié des effets de réserve (Figure 30, Tableau 12). La densité et la biomasse ont augmenté significativement dans la réserve après la mise en place des mesures de protection alors qu'elles n'ont pas varié significativement dans la zone non protégée.

Tableau 12 : Synthèse des comparaisons BACI-PS des périodes 2004-06 (AMP non surveillée) et 2007-20 (AMP surveillée) pour différentes composantes des communautés de poissons récifaux.

La couleur traduit une évolution dans le sens attendu des effets de réserve (bleu), correspondant à une évolution temporelle favorable indépendante des effets de réserve (vert) ou dans un sens défavorable aux communautés (rouge). P : statut de protection (R : réserve, NP : zone non protégée) ; S : surveillance (N : non surveillé, O : surveillé) ; A : année ; F1xF2 : interaction entre les facteurs F1 et F2. NS : non significatif ($p > 0.05$) ; * : différences significatives ($0.01 < p \leq 0.05$) ; ** : différences très significatives ($0.001 < p \leq 0.01$) ; *** : différences extrêmement significatives ($p \leq 0.001$).

Ichtyofaune totale	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station			*** (4 à 10) < (14-15-20)	** R : NS NP : NS	NS
Densité			*** (8-9) < (5-10-15-20) < 14	* R : NS NP : NS	NS
Biomasse			NS ($p = 0.057$)	NS ($p = 0.063$)	NS ($p = 0.085$)
Commerciaux	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station				* R : NS NP : NS	** R : (8 < 4-5-7-10-20) < 14 NR : (8-9-10) < (4-5-14-20)
Densité	NS	NS	* (6-8-9-15-20) < (4-5-7-10-14)	NS	NS
Biomasse		NS		NS	** R : (4-6-9) < (14-15-20) NP : (8-9) < (4-7)
Serranidae commerciaux	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station			NS	*** R : N < O O : NS (O < N)	NS
Densité	NS	NS	(6-14-15-20) < (5-8-9-10)	NS	NS ($p = 0.054$)
Biomasse			NS	* R : NS NP : NS	NS ($p = 0.072$)

Lethrinidae commerciaux	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station	NS	NS	* (4-9) < (14-15)	NS	NS
Densité	NS	NS	** 9 < (4-10)	NS	NS
Biomasse	NS	NS	NS	NS	NS
Scaridae commerciaux	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station	NS	NS	*** (4-6-8-9-10) < 14 4 < (5-7-14-20)	NS	NS (p = 0.074)
Densité	NS	NS	* (8-9-15-20) < (4-7-10-14)	NS	NS
Biomasse	NS	NS	*** (6-8-9-10-20) < (5-7)	NS	NS
Acanthuridae commerciaux	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station		NS		NS (p = 0.054)	*** R : (4-5-6-7) < (14-20) < 15 NP : (5-6-14-20) < (4-8)
Densité			** (5-6-7-14-15) < 4 6 < (4-8-9-10-14-15-20)	* R : NS NP : NS	NS
Biomasse		NS		NS (p = 0.053)	** R : (4-5-6-7-8-9-10) < 20 NP : 15 < (4-6-7-8-9-10-14-20)
Siganidae commerciaux	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station	NS	NS	NS	NS	NS
Densité	NS	NS	** 14 < (4-5-6-7-8-9-10-15)	NS	NS
Biomasse	NS	NS	NS	NS	NS
Chaetodontidae	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station	NS	NS	*** reste < (14-15-20)	NS	NS

Densité		NS		NS	*
					R : (4-5-6-7-8-9) < (14-15-20) NP : reste < (14-15-20)
Biomasse	NS	NS	*** 6-7 < 14-15-20	NS	NS
<i>Naso unicornis</i>					
	P	S	A	PxS	PxA
Densité			NS	** R : N < O NP : NS	NS (p = 0.078)
Biomasse			NS	* R : p = 0.08 NP : NS	NS

Maintien de l'intégrité du bien

Tous les indicateurs retenus pour caractériser l'ichtyofaune de la zone d'étude indiquent que les populations se sont développées ou n'ont pas subi d'évolution défavorable au cours de la période 2004-2006, à 1 exception près, la densité des Serranidae commerciaux (Figure 22, Tableau 12). Tous les effets de réserves présentés précédemment ont contribué à l'amélioration des communautés de poissons de Ouano. Par ailleurs, d'autres effets temporels positifs, indépendants de la mise en place des mesures de surveillance, ont également été observés (Tableau 12) :

- La richesse spécifique totale par station et la densité totale sont significativement supérieures depuis 2014 (Figure 20). Un pattern similaire est observé pour la biomasse totale (proche du seuil de significativité ; $p = 0.057$).
- La richesse spécifique totale par station et la biomasse des espèces commerciales sont supérieures depuis 2014 par rapport à 2009 et 2010, certaines différences étant significatives (Figure 21).
- La richesse spécifique par station des Scaridae commerciaux a augmenté de 2009 à 2014 et reste élevée en 2020 (Figure 24).
- La richesse spécifique par station et la densité des Chaetodontidae a augmenté de 2007 à 2014 puis s'est stabilisée à des niveaux élevés en 2015 et 2020 (Figure 27).

En revanche, la densité des Serranidae est minimale depuis 2014 (Figure 26).

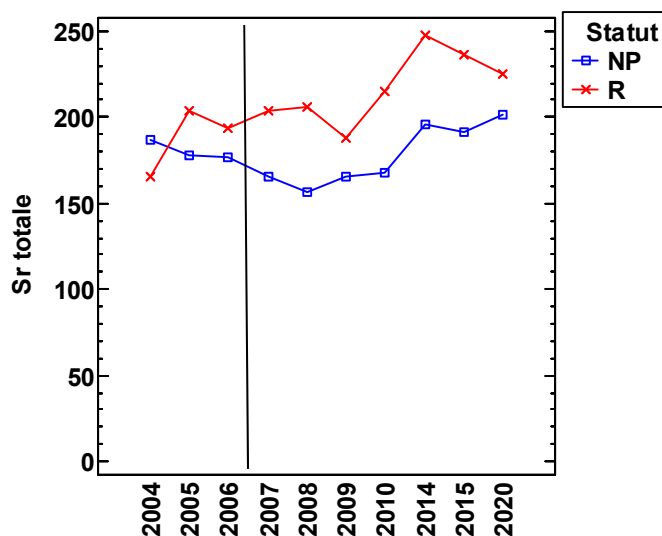


Figure 19 : Variations temporelles de la richesse spécifique totale des communautés de poissons des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.
La zone non protégée est en bleu et la réserve est en rouge. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

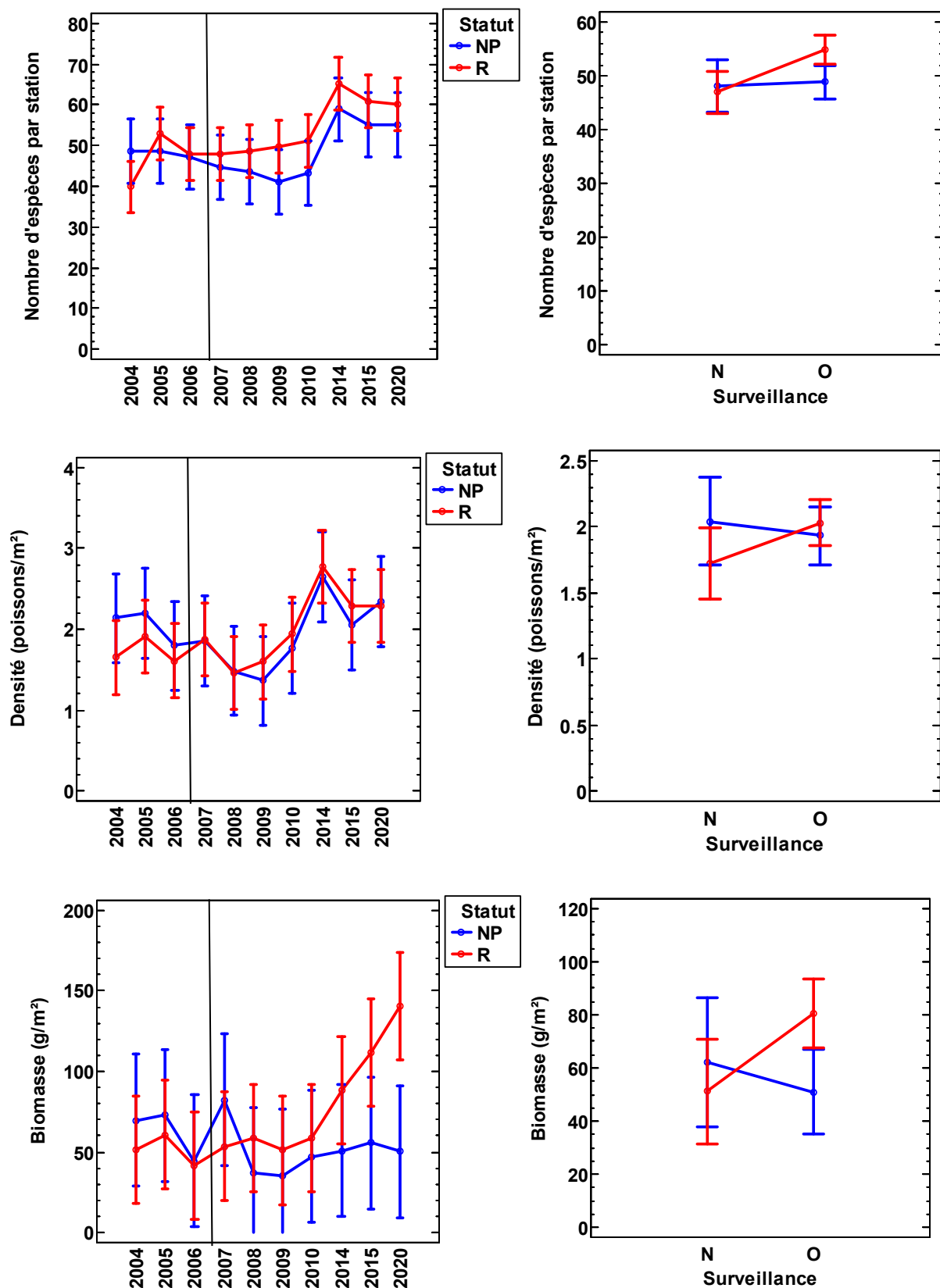


Figure 20 : Variations temporelles de la richesse spécifique par station de la densité et de la biomasse des communautés de poissons des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

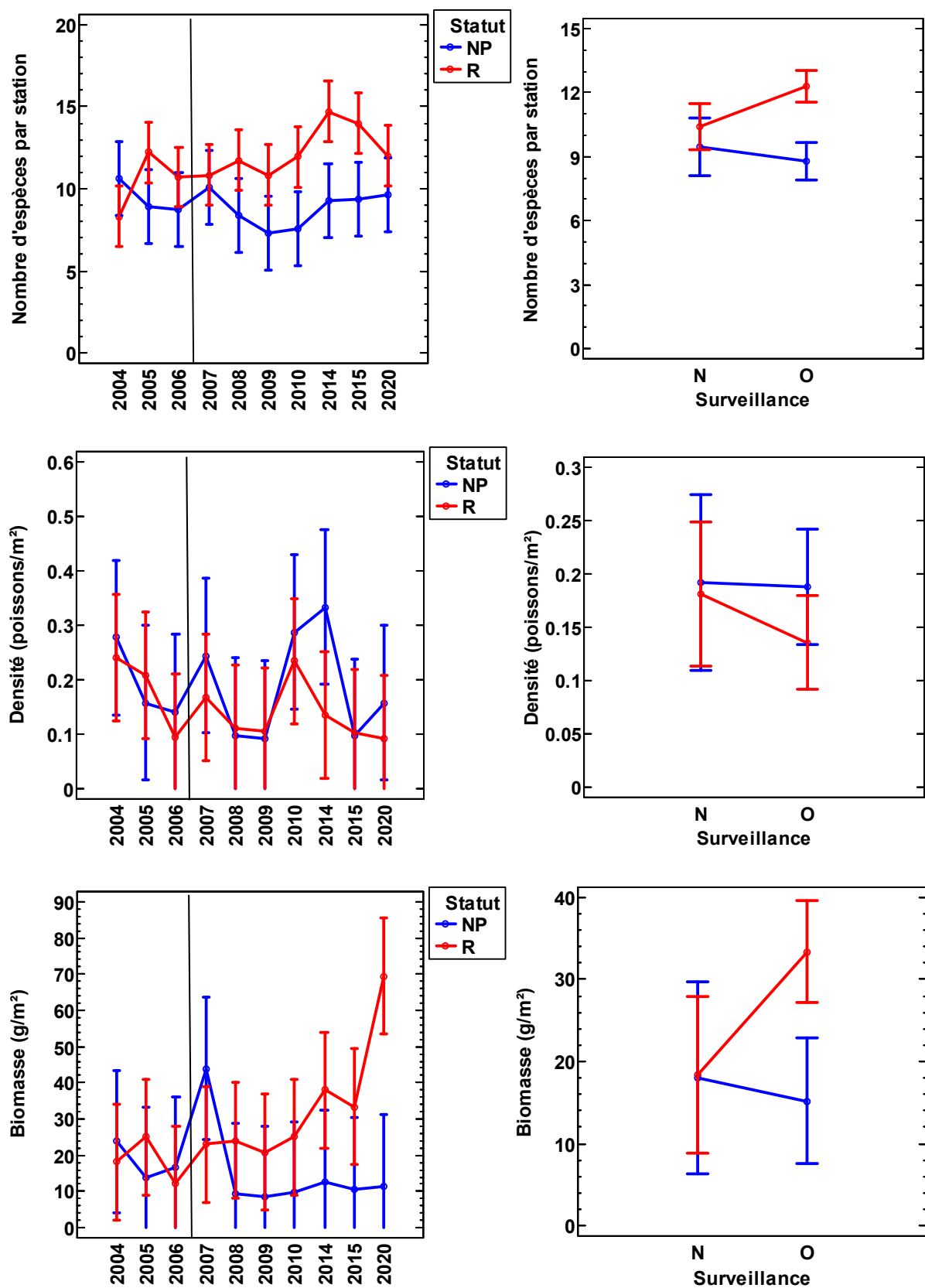


Figure 21 : Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des poissons commerciaux des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

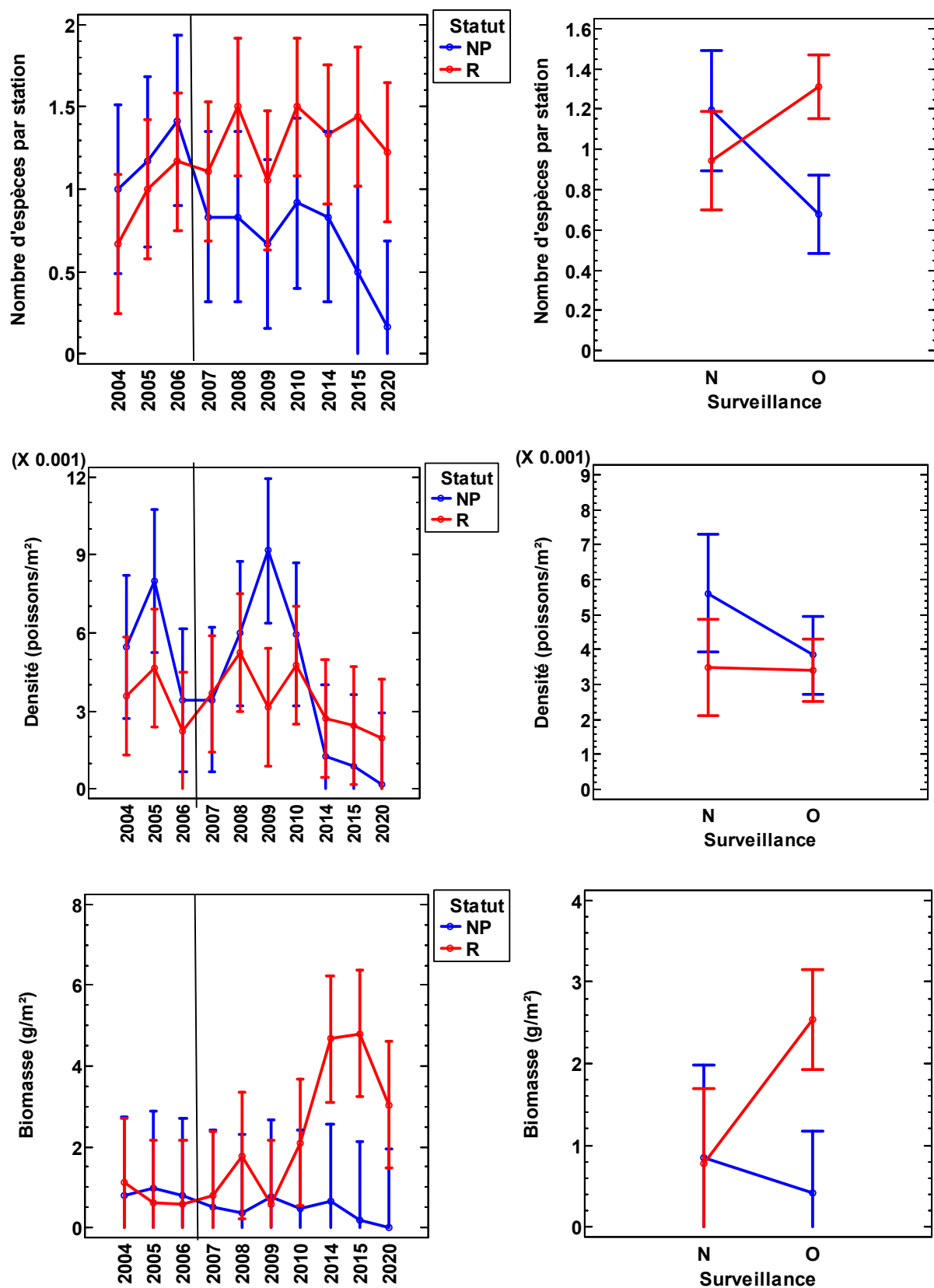


Figure 22 : Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des Serranidae commerciaux des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

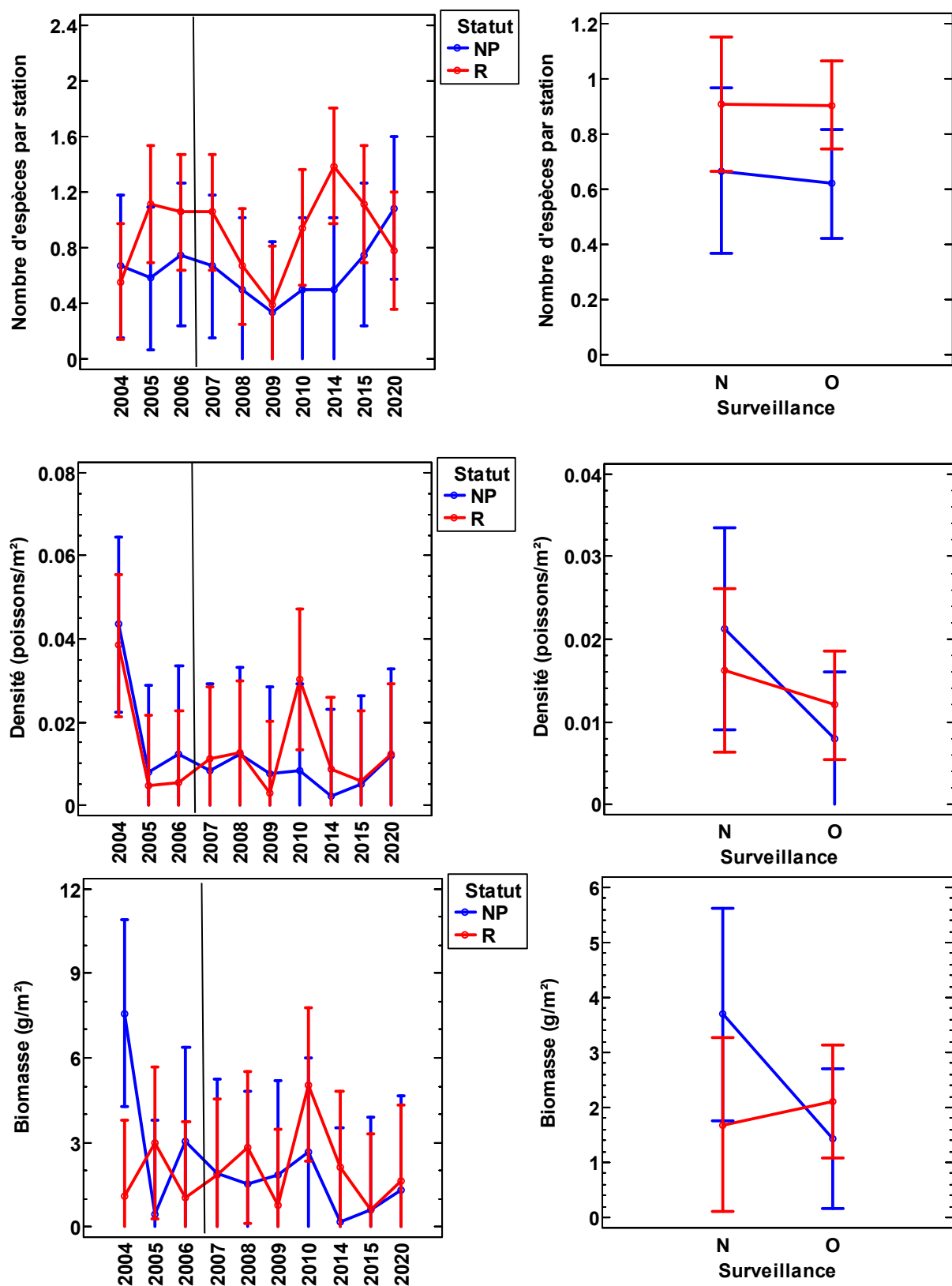


Figure 23 : Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des *Lethrinidae* commerciaux des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

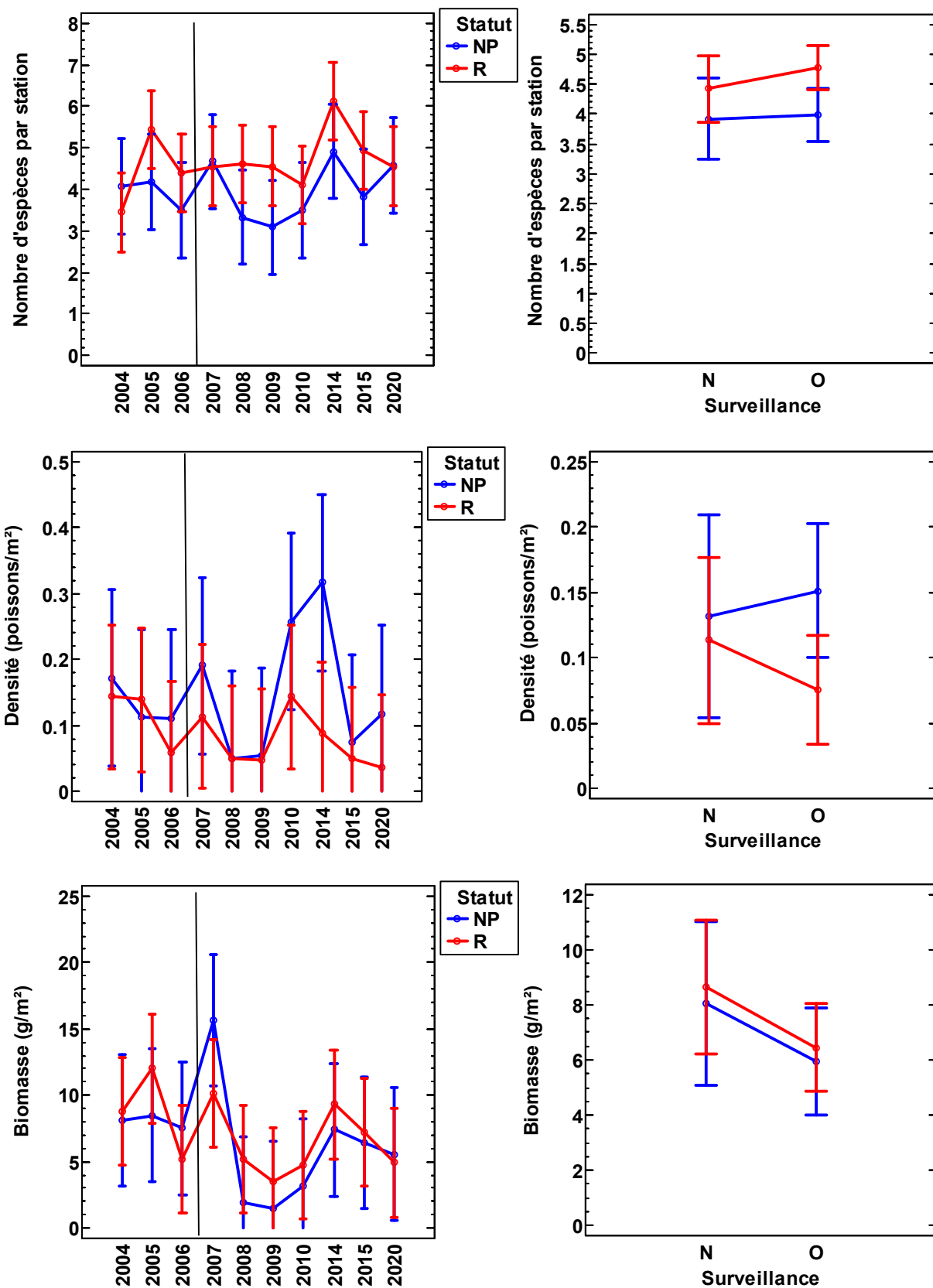


Figure 24 : Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des Scaridae commerciaux des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

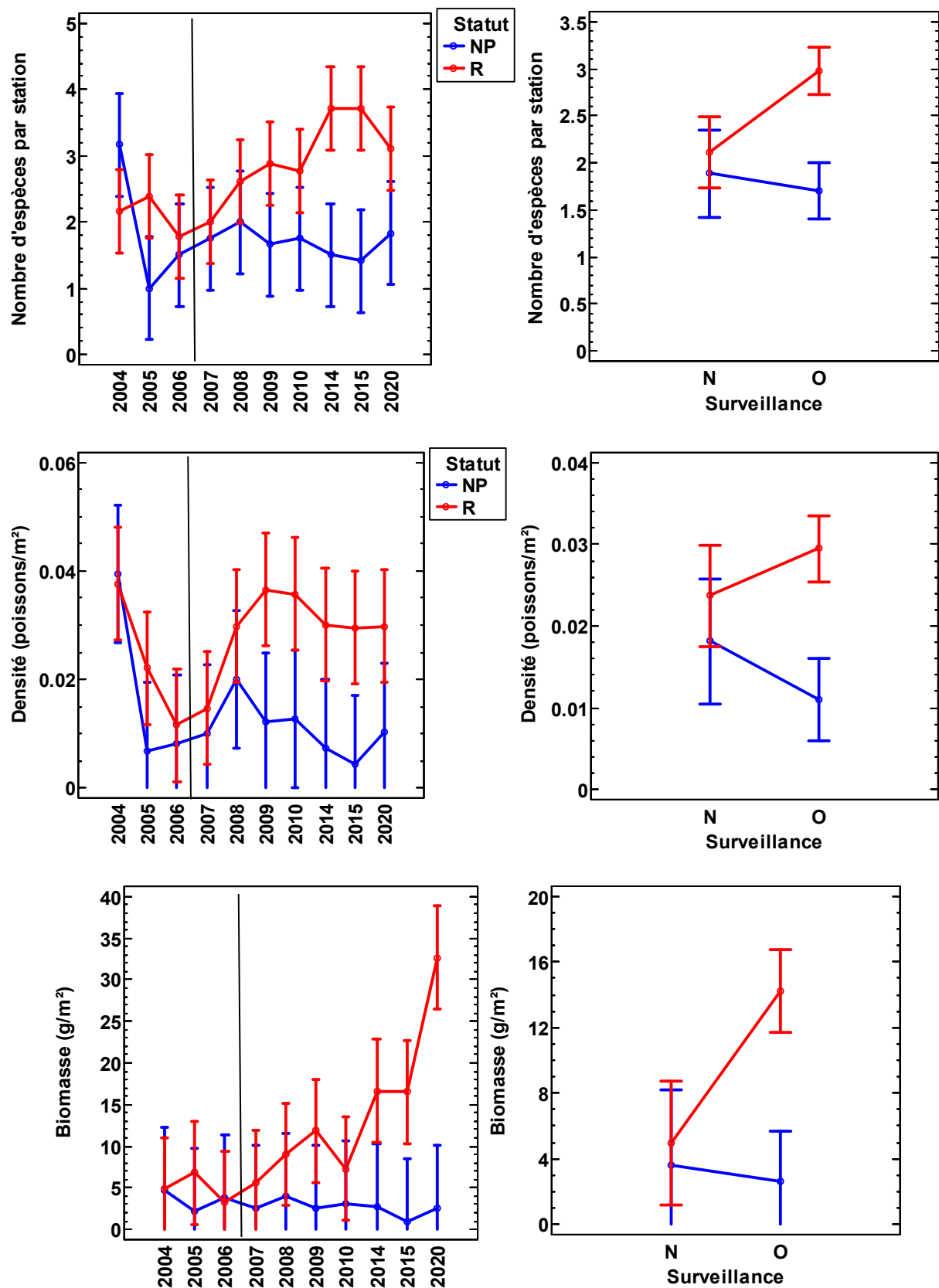


Figure 25 : Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des *Acanthuridae* commerciaux des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

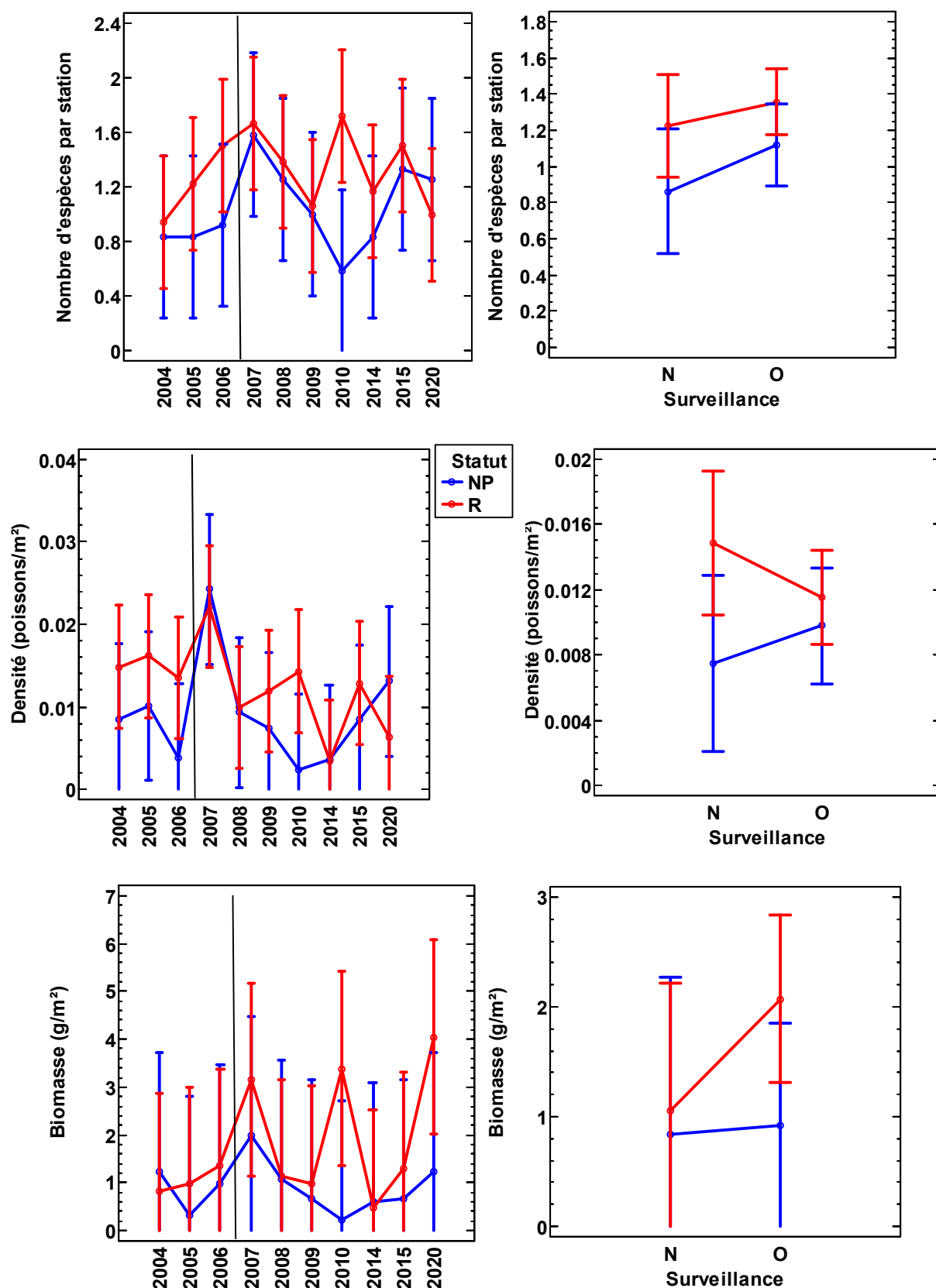


Figure 26 : Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des *Siganidae* commerciaux des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

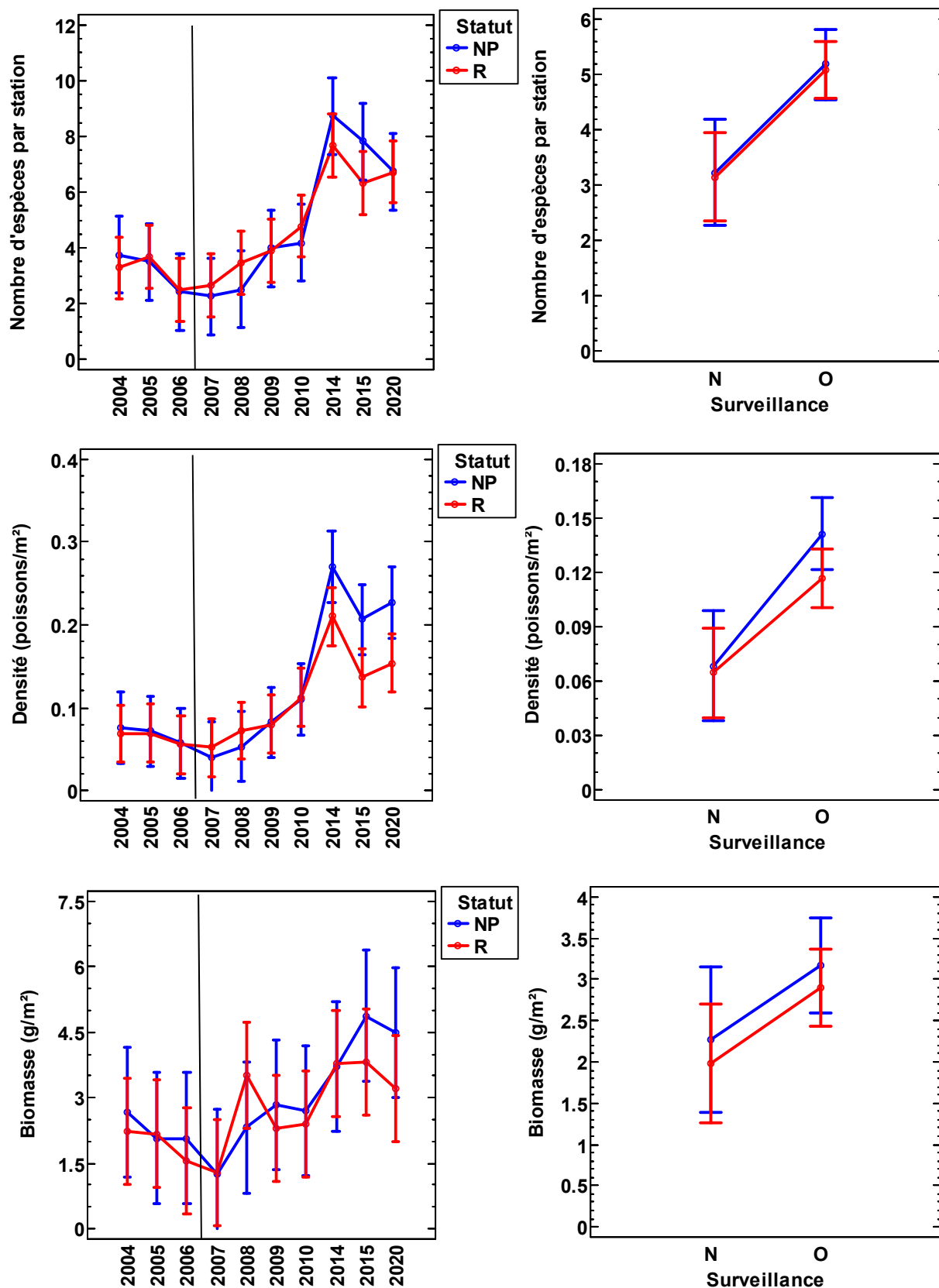


Figure 27 : Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des Chaetodontidae des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

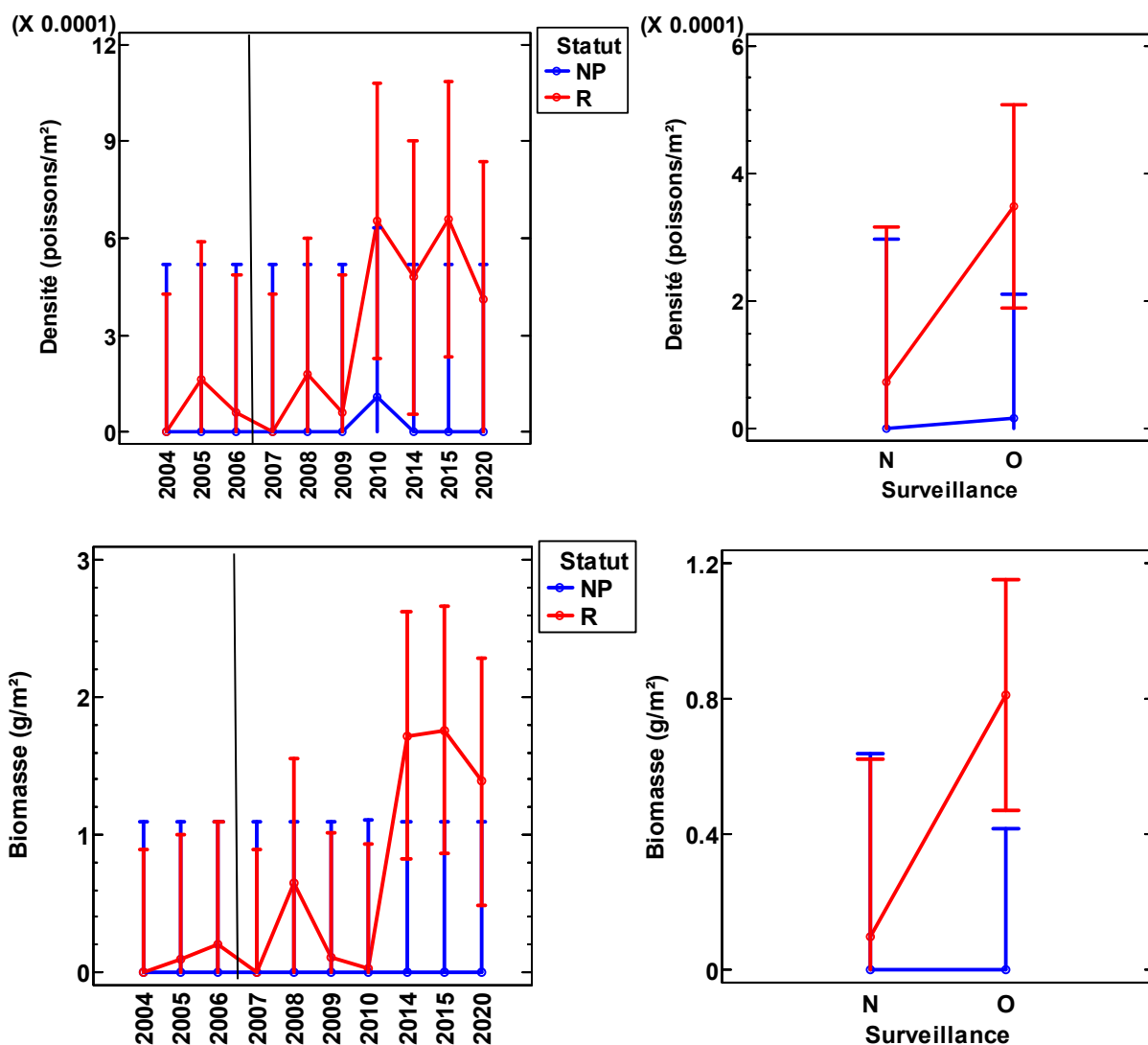


Figure 28 : Variations temporelles de la densité et la biomasse des saumonées (*Plectropomus leopardus*) des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

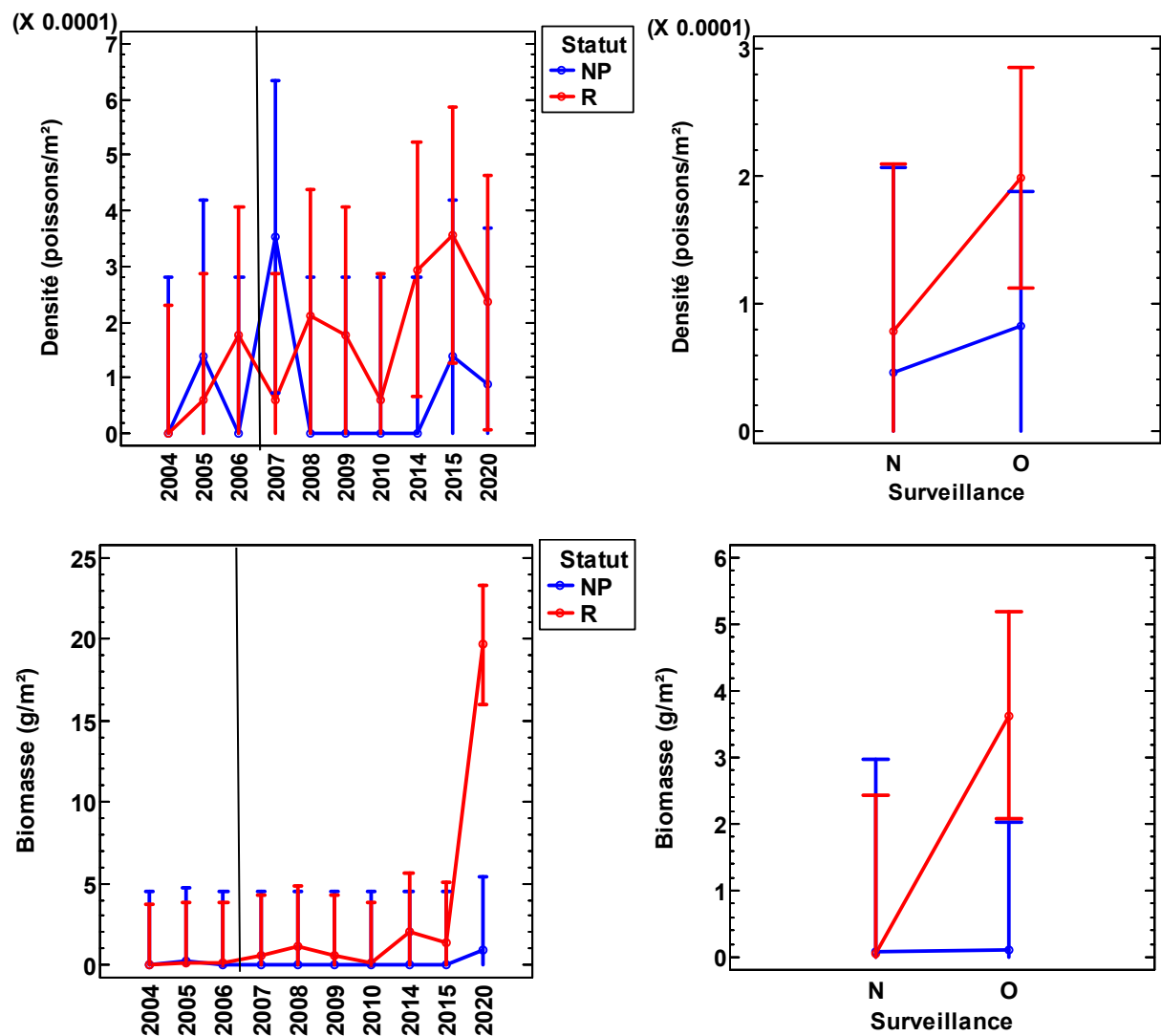


Figure 29 : Variations temporelles de la densité et la biomasse des Napoléon (*Cheilinus undulatus*) des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

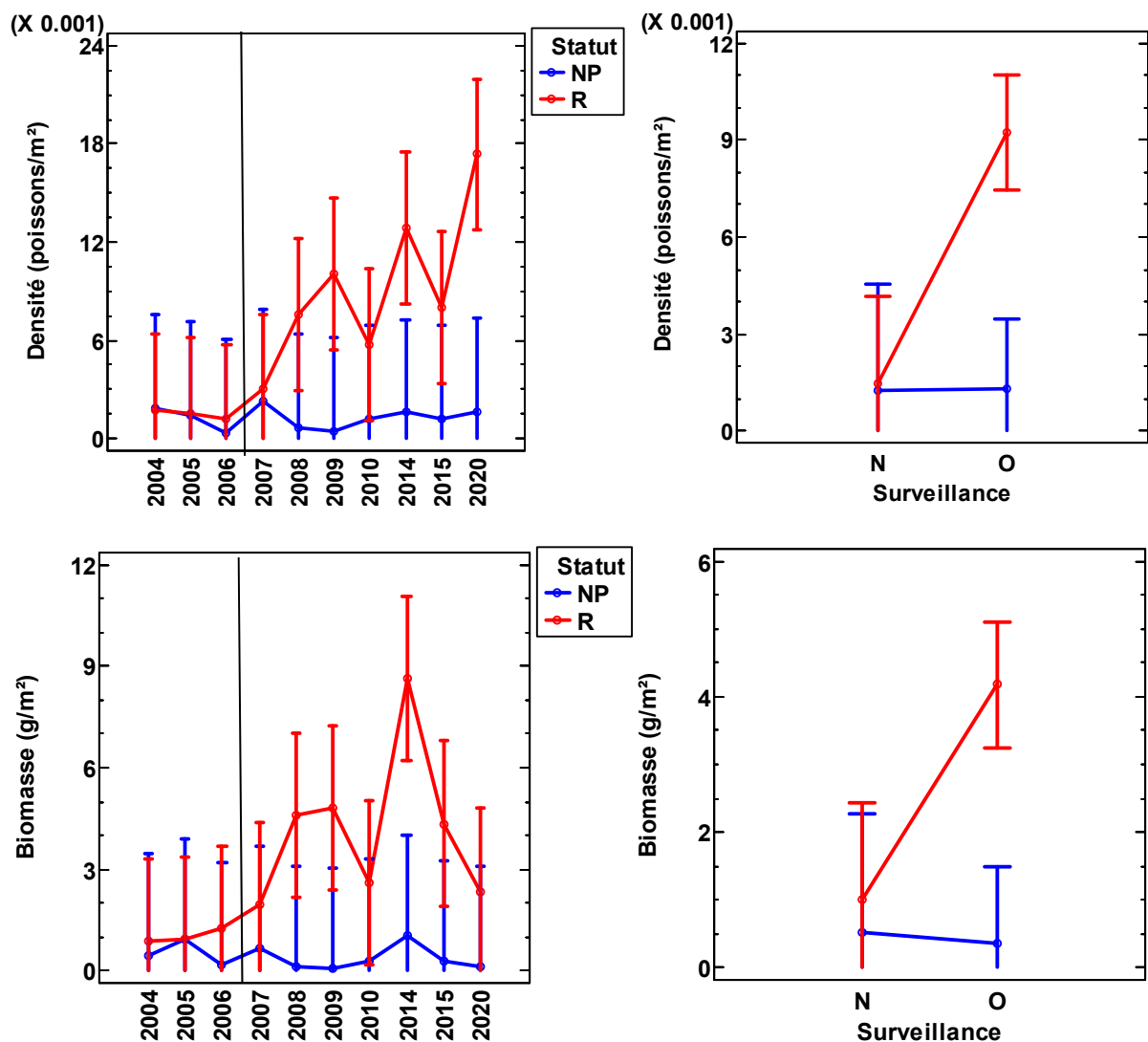


Figure 30 : Variations temporelles de la densité et la biomasse des dawas (*Naso unicornis*) des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

Evolution de la structure des communautés

Les effets de réserve mis en évidence par certains indicateurs ressources sont également observables au niveau structurel en 2020, ce qui n'était pas le cas en 2014. La Permanova réalisée sur la structure des communautés entre 2004 et 2020 n'indique pas d'interaction significative entre les facteurs statut et surveillance ($p > 0.05$). En revanche, l'interaction devient très significative entre les facteurs statut et année ($p < 0.01$). Ce résultat indique que les effets de réserve sur la structure des communautés de poissons sont apparus avec un décalage temporel et qu'il a fallu un certain délai pour qu'ils soient observables. Dans la réserve les assemblages ne sont pas significativement différents depuis 2014, les 3 derniers suivis (2014, 2015 et 2020) étant significativement différents de tous les autres. Dans la zone non protégée, d'une part l'assemblage de 2009 n'est pas significativement différent de celui de 2008 et de celui de 2010 et d'autre part celui de 2014 diffère de 2015 et 2020.

Deux analyses 2nd Stage-MDS ont été utilisées pour illustrer les variations temporelles, une pour la réserve et une pour la zone non protégée en raison de l'interaction significative entre les facteurs statut et année. (Figure 31). Les résultats des modèles sont difficiles à interpréter et les projections en 2 dimensions sont moyennement représentatives (stress > 0.1). Toutefois, elles permettent de confirmer que l'évolution temporelle des assemblages est différente dans les 2 zones. Elles montrent également une évolution structurelle en 2020 dans la réserve.

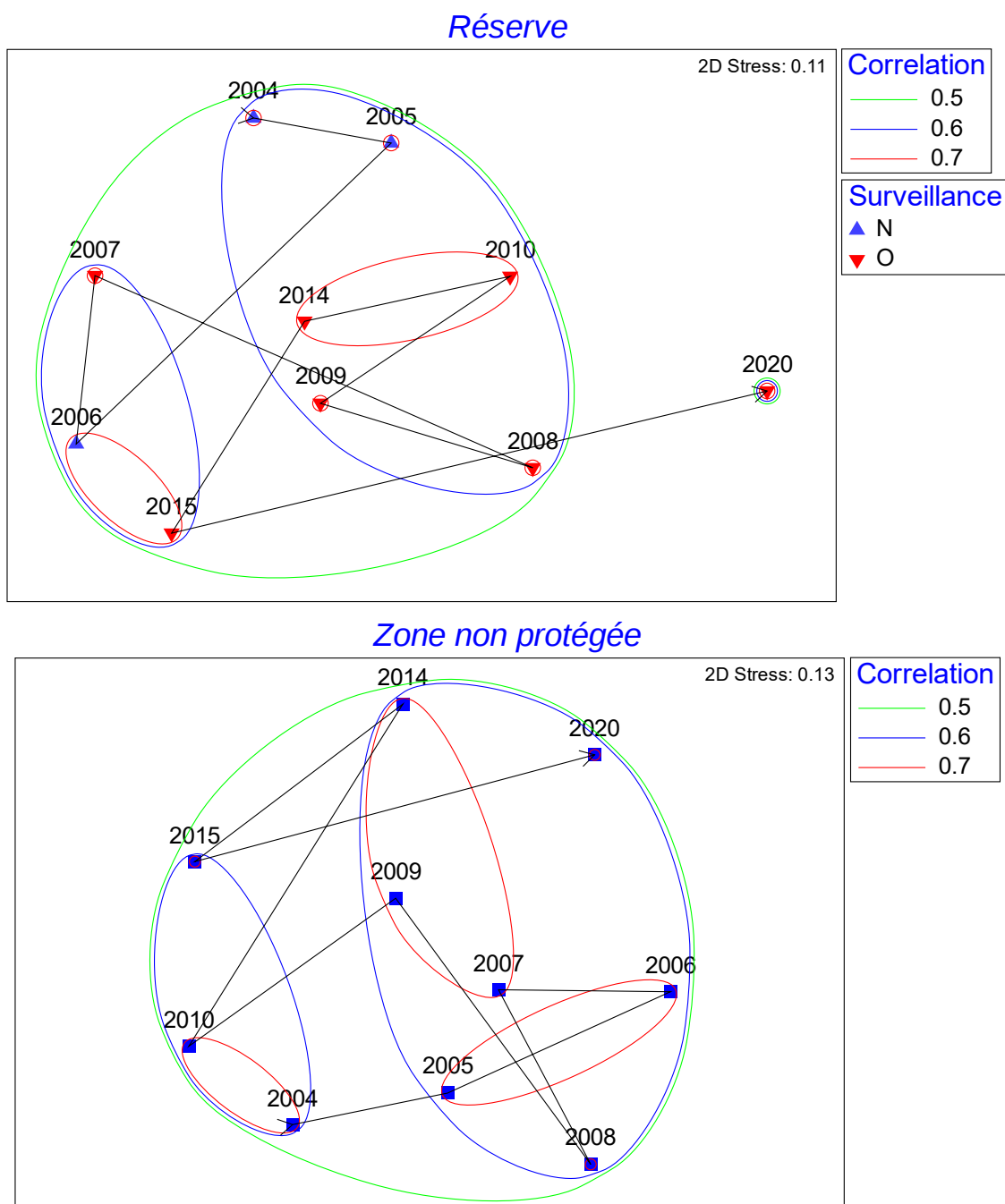


Figure 31 : 2nd Stage-MDS de l'évolution de la structure des communautés de poissons de Ouano de 2004 à 2020 a) dans la réserve et b) dans la zone non protégée.

Une analyse canonique des coordonnées principales (CAP) sous la contrainte des facteurs statut et surveillance permet de mieux expliquer les processus liés à la mise en place des mesures de surveillance dans la réserve. Cette analyse illustre l'évolution différente des assemblages de la réserve et de la zone non protégée après la mise en place des mesures de surveillance (Figure 32). Les assemblages les mieux classés sont ceux de la réserve après la mise en place de la surveillance (81.7% de bonne classification). Les autres modalités (réserve avant surveillance et zone non protégée quel que soit la période) sont moins bien identifiées (47 à 67% de bonne classification). Ce résultat souligne la spécificité des assemblages de réserve surveillée par rapport à ceux de la zone non protégée et de la réserve non surveillée. Les principales espèces caractéristiques de l'assemblage de réserve surveillée (corrélation au plan factoriel > 0.2) sont des espèces commerciales, notamment le dawa (*Naso unicornis*), le dawa à bosse (*Naso tonganus*), le dawa à longue corne (*Naso annulatus* et *Naso brevirostris*), une carangue (*Caranx papuensis*), le picot kanak (*Acanthurus blochii*), le perroquet blanc (*Hipposcarus longiceps*), le mékoua (*Aprion virescens*).

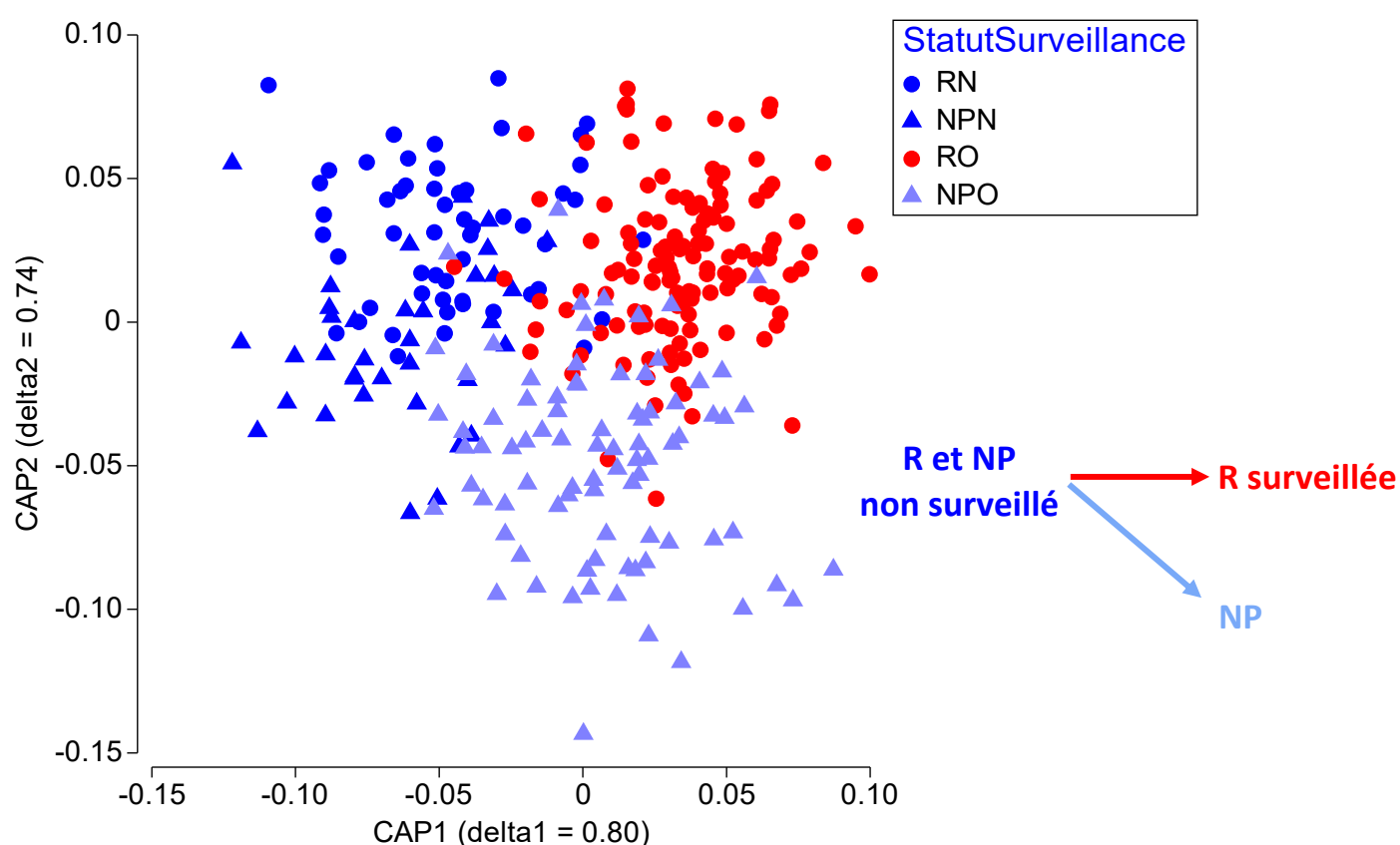


Figure 32 : Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice espèces/station de l'ichtyofaune sous la contrainte des facteurs statut et surveillance entre 2004 et 2020.

L'analyse canonique a été réalisée sur les 43 premières coordonnées principales (90.25% de l'inertie). Une validation croisée du modèle ($p < 0.001$) indique un pourcentage de classification correcte et stable de 68.7% ce qui est très satisfaisant (voir texte). R : réserve ; NP : zone non protégée ; O : surveillance de la réserve ; N : réserve non surveillée.

Deux analyses canoniques des coordonnées principales (CAP) ont été réalisées pour analyser les évolutions temporelles des assemblages et vérifier le maintien de l'intégrité de la zone d'étude. La première analyse a été effectuée sous la contrainte du facteur année (Figure 33). Elle illustre l'évolution des communautés à partir de 2014. Pour vérifier cette hypothèse une seconde analyse a été effectuée sur 2 intervalles temporels, les assemblages de 2004 à 2010 vs les assemblages de 2014 à 2020. Ce

second modèle est extrêmement significatif ($p < 0.001$) et présente un pourcentage très élevé de bonne classification 98.7%. Tous les échantillonnages postérieurs à 2010 sont bien classés par le modèle et uniquement 1.9% de mauvaise classification (4 échantillonnages) antérieurs à 2014 sont mal classés. Les assemblages de Ouano sont donc significativement différents depuis 2014. Cette évolution est favorable et correspond à une amélioration de la santé des communautés. Elle correspond notamment à la présence d'espèces caractéristiques (corrélation au plan factoriel > 0.2) qui témoignent de la bonne santé de l'écosystème corallien, notamment :

- Des poissons papillons (Chaetodontidae) : *Chaetodon auriga*, *C. baronessa*, *C. bennetti*, *C. citrinellus*, *C. ephippium*, *C. flavirostris*, *C. lineolatus*, *C. lunula*, *C. melanotus*, *C. mertensii*, *C. plebeius*, *C. speculum*, *C. unimaculatus*, *C. vagabundus*, *Forcipiger flavissimus*, *Heniochus acuminatus*, *H. chrysostomus*, *H. monoceros*.
- Des poissons anges (Pomacanthidae) : *Centropyge bicolor*, *C. tibicen*, *C. flavissima*.
- Des demoiselles (Pomacentridae) : *Abudefduf sexfasciatus*, *Dascyllus aruanus*, *Cheiloprion labiatus*, *Chrysiptera taupou*, *Pomacentrus nagasakiensis*, *P. pavo*, *P. vaiuli*.
- Des labres (Labridae) : *Anampses geographicus*, *Cheilinus fasciatus*, *Halichoeres richmondi*, *Thalassoma lunare*, *T. nigrofasciatum*.

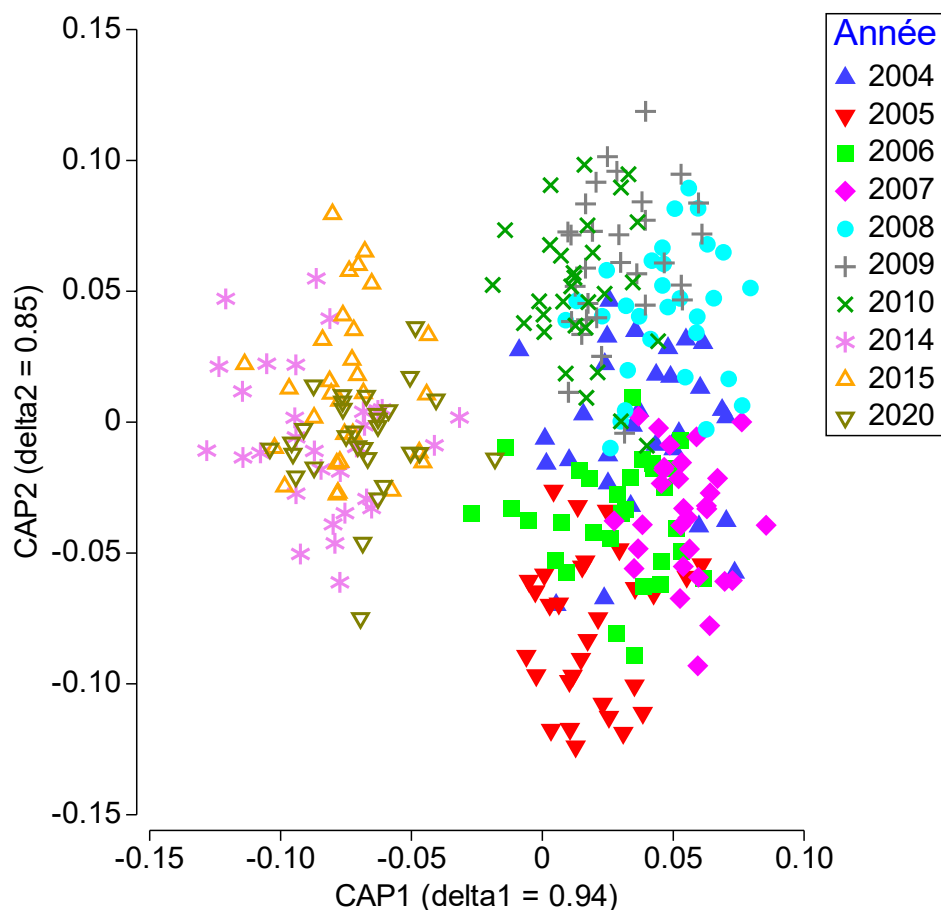


Figure 33 : Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice espèces/station de l'ichtyofaune sous la contrainte du facteur année entre 2004 et 2020.

L'analyse canonique a été réalisée sur les 49 premières coordonnées principales (94.3% de l'inertie). Une validation croisée du modèle ($p < 0.001$) indique un pourcentage de classification correcte et stable de 66.3% ce qui est satisfaisant (voir texte).

Bilan

En conclusion, à 1 exception près (densité des Serranidae commerciaux), les évolutions des composantes de l'ichtyofaune étudiées ont toujours été dans le sens des effets de réserve attendus, d'une amélioration indépendante du statut de protection ou de variations temporelles naturelles neutres. Au niveau structurel, les évolutions observées dans la réserve intègrent maintenant les effets de réserves. Elles sont naturelles dans la zone non protégée en lien avec l'environnement et témoignent d'une amélioration de la santé des communautés depuis 2014. Ce bilan est globalement positif. Il résulte des mesures de protection, de l'absence de perturbation majeure depuis le cyclone Erica. Toutefois, des effets négatifs sont observés dans la réserve pour certains indicateurs qui semblent en régression (significative ou non) depuis les maximums de 2014. Cette évolution coïncide avec le déménagement des gardes natures qui ont quitté leur local de Ouano. Ce local situé en hauteur sur une butte avait une position stratégique idéal puisqu'il était possible de contrôler l'ensemble des activités dans la réserve depuis ce site. Il est fort probable que la diminution de l'effort de surveillance avec le départ des gardes ait entraîné une augmentation de la pression de braconnage sur la ressource. Par ailleurs, les impacts de la dépression tropicale Lucas et du cyclone Niran ne sont pas pris en compte, le suivi ayant été réalisé avant leurs passages.

5.3.1.2 Macroenthos

Effets de réserve et maintien de l'intégrité du bien

Une synthèse des comparaisons BACI-PS de l'évolution des communautés macrobenthiques entre les 2 périodes 2004-2006 et 2007-2020 est présentée dans le Tableau 13. Ces comparaisons permettent de statuer sur la performance de la réserve de Ouano depuis la mise en place de la surveillance (interaction positive entre les facteurs statut et surveillance ou statut et année) et le maintien de l'intégrité du bien inscrit au Patrimoine Mondial à partir d'une liste d'espèces cibles (cf. annexe § 10). Des effets significatifs ont été mis en évidence pour 13 indicateurs (Tableau 13). Ces évolutions temporelles ont été favorables ou neutres. Elles ont bénéficié des effets de réserve ou de conditions environnementales favorables. En résumé :

- La diversité taxonomique cible totale sur l'ensemble de la zone n'a pas varié significativement au cours de la période d'étude (χ^2 , $p > 0.05$). Cependant, elle a augmenté dans la zone protégée depuis 2007 alors que les variations sont moins marquées dans la zone non protégée (variations non significatives) (Figure 34).
- La richesse taxonomique par station des taxons cibles ainsi que leur densité ont été maximales en 2014 et 2020 après être restées relativement stables entre 2005 et 2010 et minimales en 2004 (Figure 34).
- La richesse taxonomique des gastéropodes cibles ont été maximales en 2014 et 2020 (Figure 35). La densité n'a pas varié significativement au cours de la période.
- La richesse taxonomique par station des bivalves inférieure en 2004 est relativement stable depuis 2005 (Figure 36). La densité a été minimale en 2004 et maximale en 2014. Elle est intermédiaire et relativement stable en dehors de ces 2 années.
- La richesse taxonomique par station des astérides n'a pas varié significativement au cours de la période (Figure 37). La densité des astérides cibles est relativement stable à l'exception du maximum de 2014.
- La richesse taxonomique et la densité des échinides cibles sont relativement stables (Figure 38). En 2020 la densité est revenue à des niveaux moyens après le maximum observé en 2014.
- La richesse taxonomique des holothurides est relativement stable (Figure 39). Seul le minimum de 2004 est significativement différent du maximum de 2014. La densité des holothurides n'a pas varié significativement au cours de la période.

Des effets de réserve ont été observés pour les trocas, les bénitiers et les langoustes (Tableau 13) :

- La densité des trocas qui était en chute régulière dans la réserve entre 2004 et 2007 s'est stabilisée depuis que les mesures de surveillance ont été mises en place (Figure 40). Toutefois, elle reste relativement stable depuis 2007 et les populations ne semblent pas se reconstituer. Parallèlement, la taille moyenne qui était inférieure dans la réserve avant la surveillance a augmenté depuis qu'elle a été mise en place, ce phénomène étant plus marqué que dans la zone non protégée (Figure 40).
- La densité des bénitiers est en augmentation depuis 2009 (Figure 41), ce qui conforte les observations des autres éléments du bien et confirme un recrutement favorable ces dernières années observé sur l'ensemble des récifs de la Grande Terre. Cette augmentation est liée à des conditions environnementales favorables et elle est indépendante des mesures de protection. La taille moyenne est restée relativement stable dans la réserve depuis la mise en place de la surveillance alors qu'elle est en diminution (non significative) dans la zone non protégée (Figure 41).
- L'abondance des langoustes était exceptionnelle en 2014, notamment dans la réserve. Elle reste importante en 2020 (Figure 42).

Tableau 13 : Synthèse des comparaisons BACI-PS de période 2004-06 (AMP non surveillée) et 2007-20 (AMP surveillée) pour différentes composantes des communautés d'invertébrés récifaux cibles.

La liste des taxons cibles figure dans l'annexe §10. La couleur traduit une évolution dans le sens attendu des effets de réserve (bleu) ou une évolution temporelle indépendante des effets de réserve favorable (vert) ou défavorable (rouge). P : statut de protection (R : réserve, NP : zone non protégée) ; S : surveillance (N : non surveillé, O : surveillé) ; A : année ; F1xF2 : interaction entre les facteurs F1 et F2. NS : non significatif ($p > 0.05$) ; * : différences significatives ($0.01 < p \leq 0.05$) ; ** : différences très significatives ($0.001 < p \leq 0.01$) ; *** : différences extrêmement significatives ($p \leq 0.001$).

Macroinvertébrés cibles totaux	P	S	A	PxS	PxA
Taxons/station	NS	NS	*** 04 < reste < 14-20	NS	NS
Densité	NS	NS	*** 04 < reste < 14-20	NS	NS
Gastéropodes	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station	* NP < R	NS	*** 04-10 < 05 < 14-20 Reste < 14-20	NS	NS
Densité	NS	NS	NS	NS	NS
Bivalves	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station	NS	NS	*** 04 < 05 à 08-14-20	NS	NS
Densité	* R < NP	NS	*** 4 < 05 à 08-14-20 04-06-08-09-10 < 14	NS	NS
Astérides	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station	NS	NS	NS	NS	NS
Densité	NS	NS	** Reste < 14	NS	NS
Echinides	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station	NS	NS	*** 04 < 05 à 09-14-20 04-07-10 < 14	NS	NS
Densité	NS	NS	*** 04 < 06-07-14-20 04 à 06-08 à 10 < 14	NS	NS
Holothurides	P	S	A	PxS	PxA
Sr/station	NS	NS	* 04 < 14	NS	NS
Densité			NS	NS	NS
Trocas	P	S	A	PxS	PxA
Densité			NS	* R : O ↔ < N \ J NP : NS	NS
Taille			*** 04 à 06 < 07 à 10 < 20 04 à 06 < 14-20	* R : N < O NP : N < O	NS
Bénitiers	P	S	A	PxS	PxA
Densité	NS	NS	*** 04-05-08-09 < 14-20 04 à 10 < 20	NS	NS
Taille			NS	* R : NS NP : NS	NS
Langoustes	P	S	A	PxS	PxA
Densité	NS	NS	*** 04 à 07-09-10 < 14-20	NS	NS

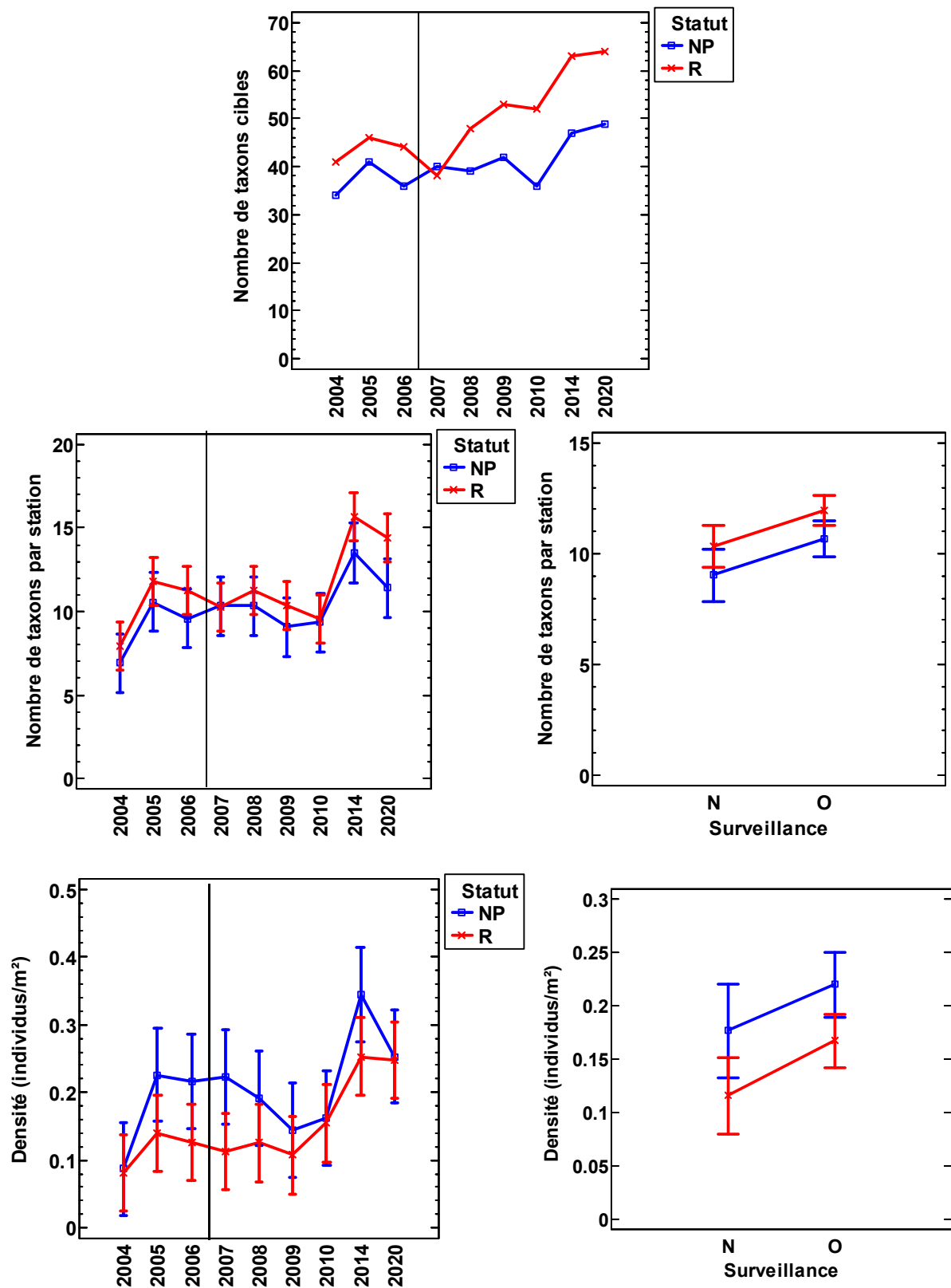


Figure 34 : Variations temporelles de la richesse taxonomique totale, par station et de la densité du macrobenthos cible des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

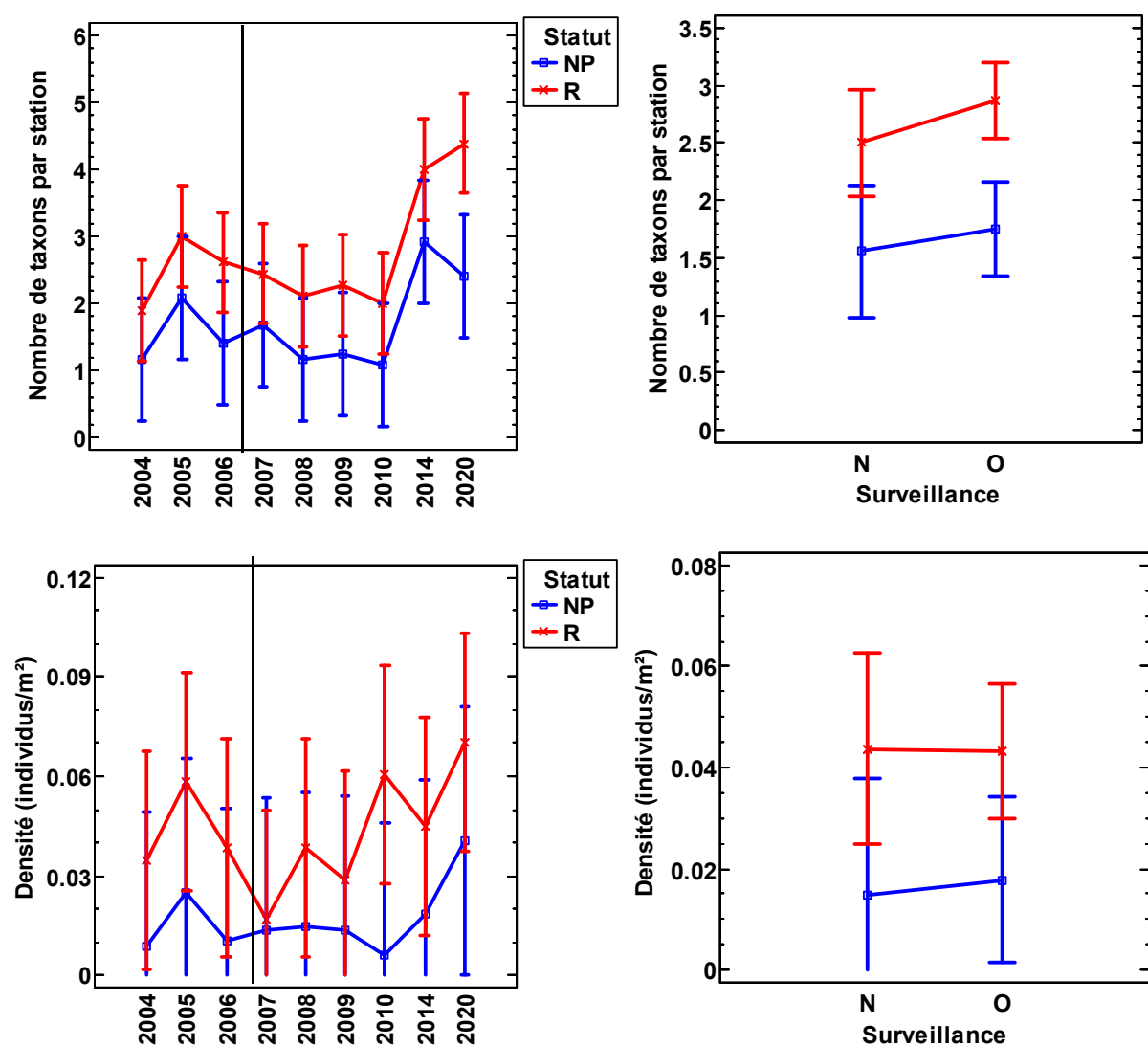


Figure 35 : Variations temporelles de la richesse taxonomique par station et de la densité des gastéropodes cibles des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

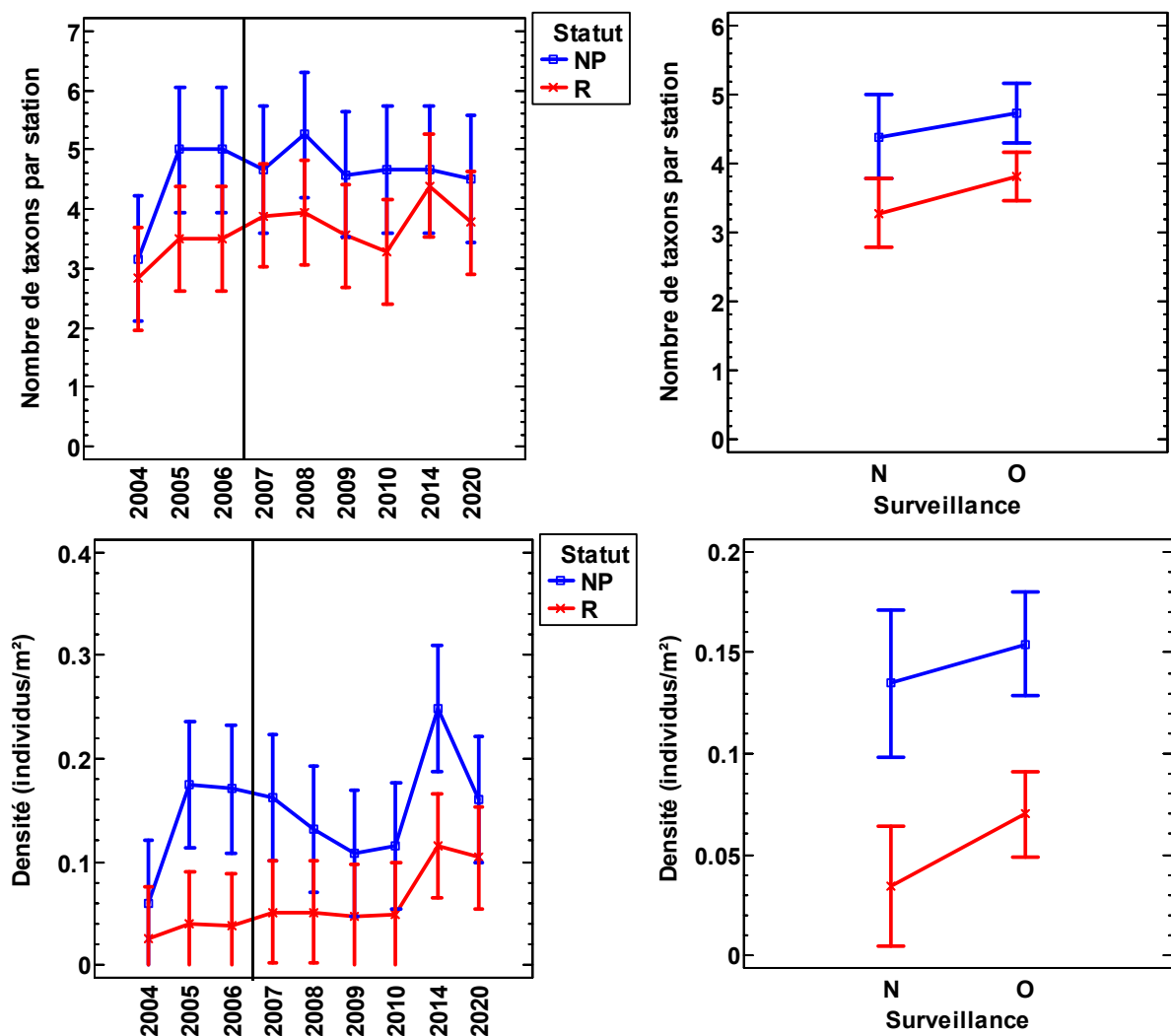


Figure 36 : Variations temporelles de la richesse taxonomique par station et de la densité des bivalves cibles des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

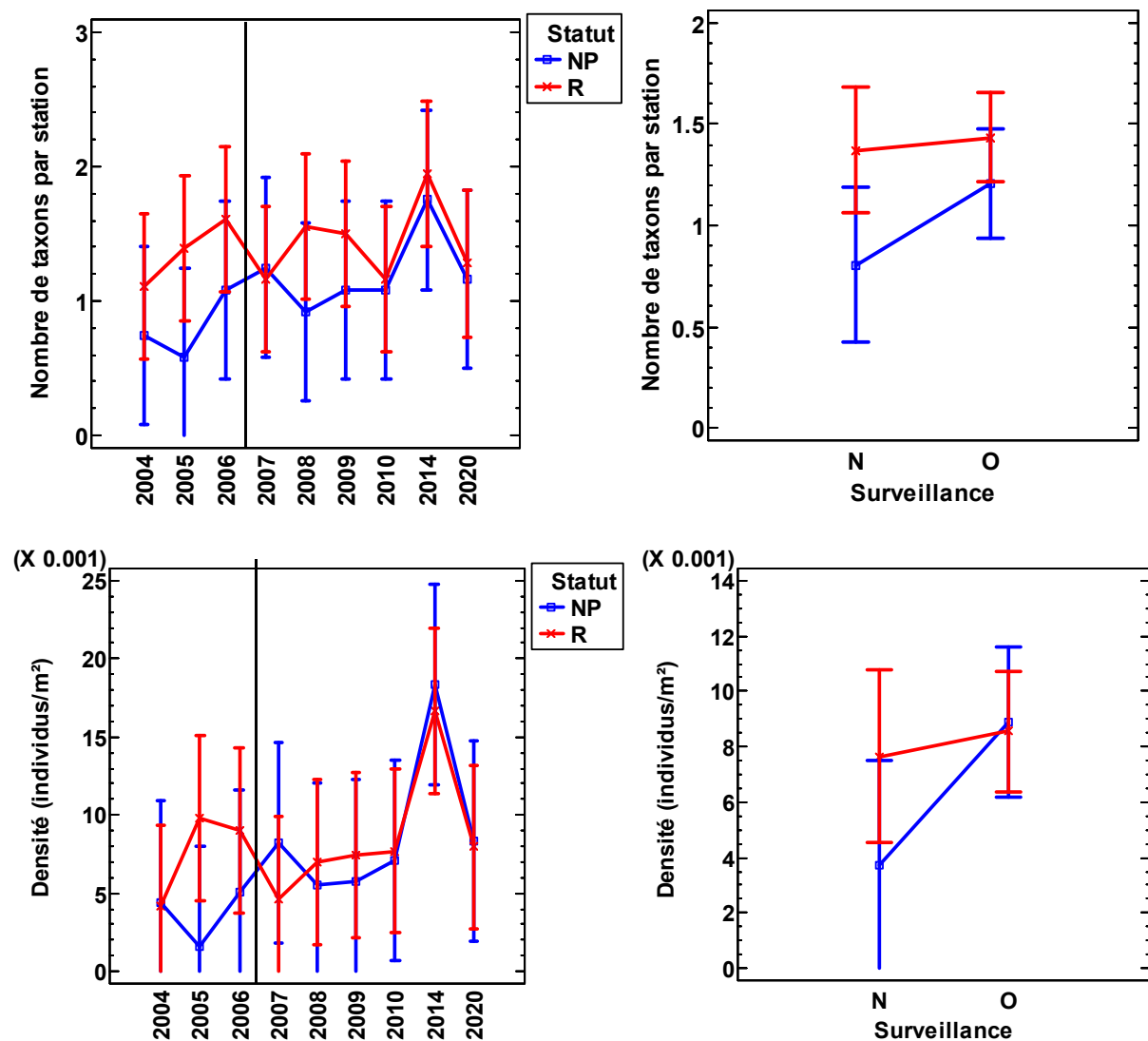


Figure 37 : Variations temporelles de la richesse taxonomique par station et de la densité des astérides cibles des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

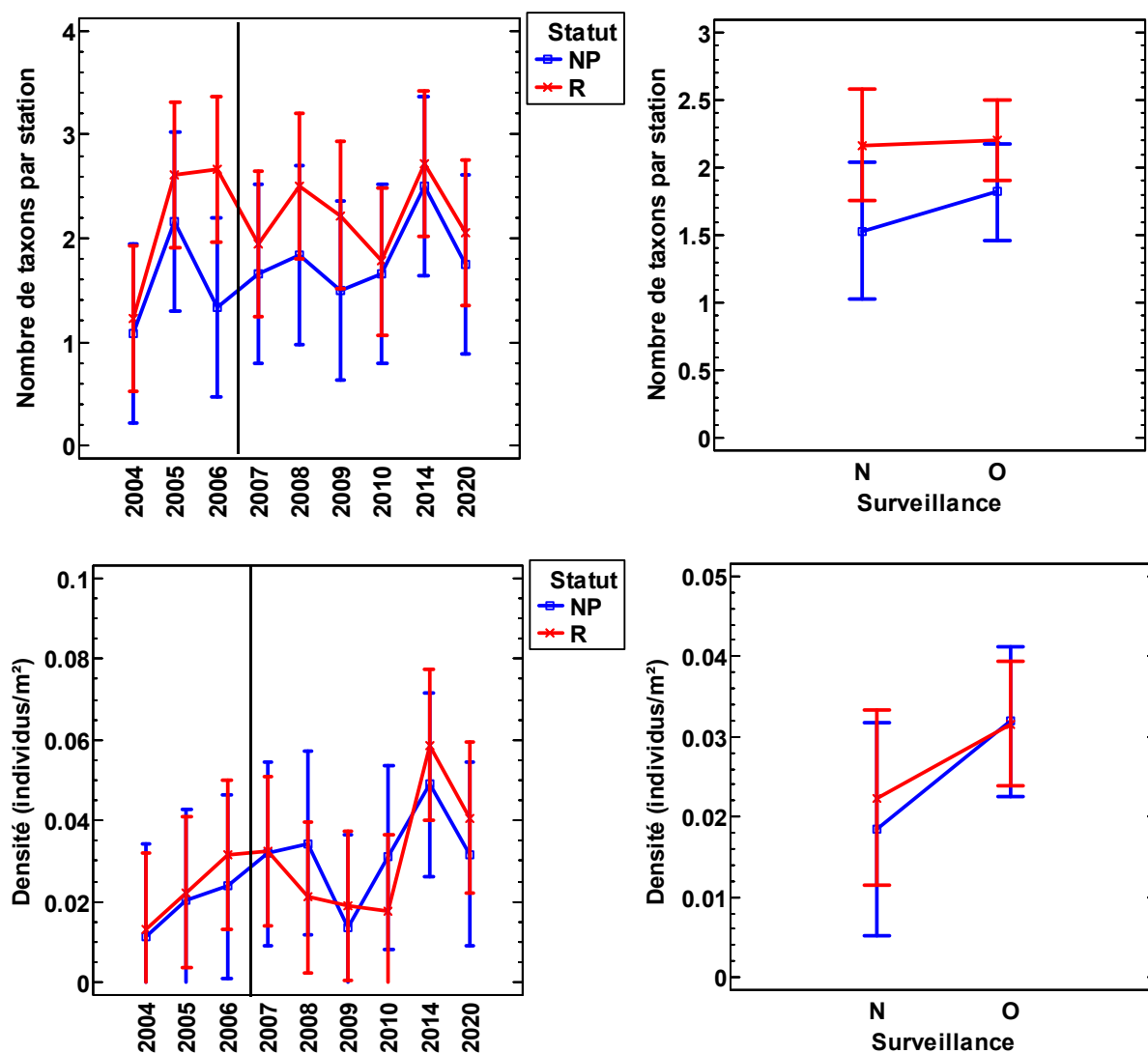


Figure 38 : Variations temporelles de la richesse taxonomique par station et de la densité des échinides cibles des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020. La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

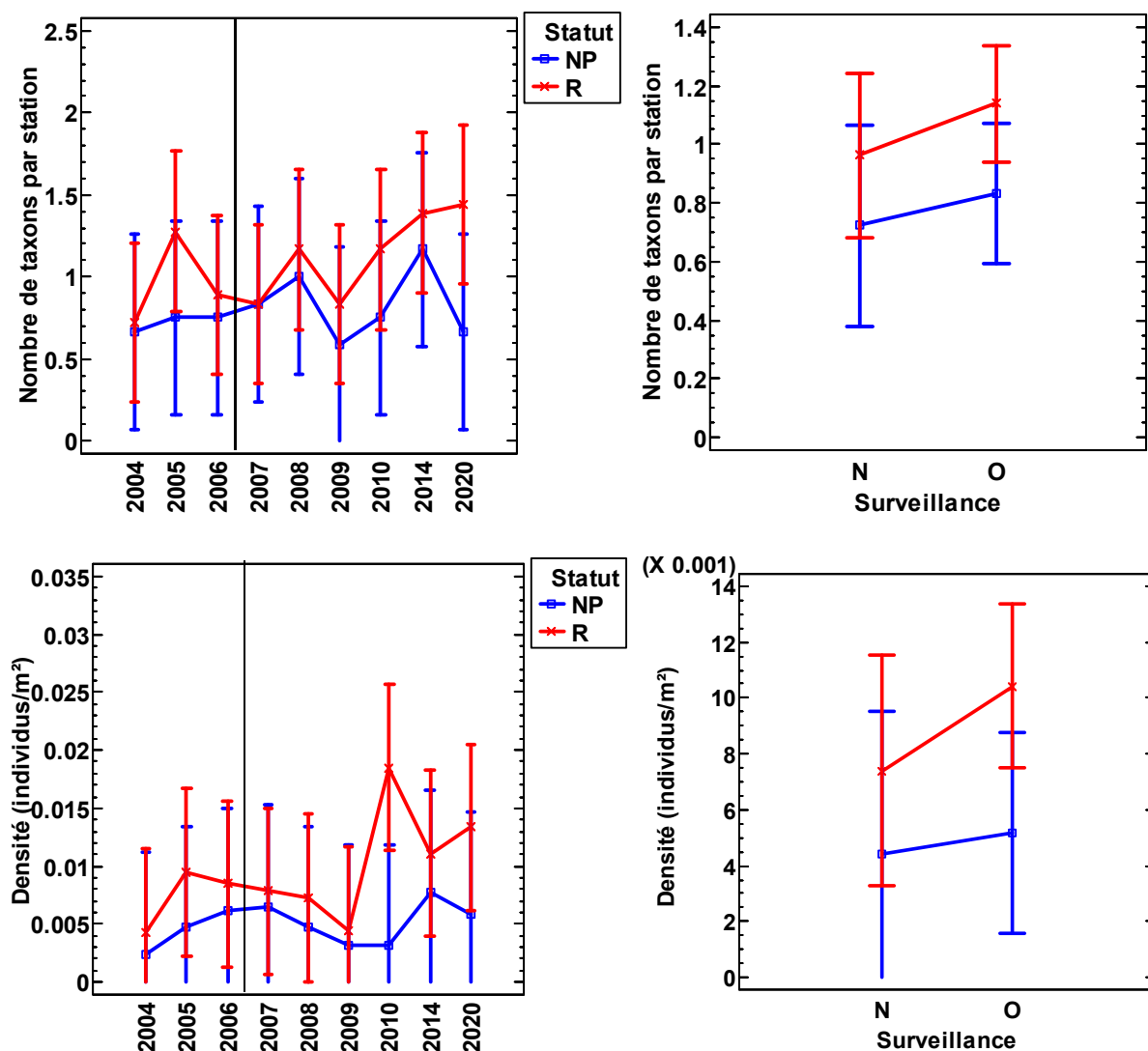


Figure 39 : Variations temporelles de la richesse taxonomique par station et de la densité des holothurides des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.
La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

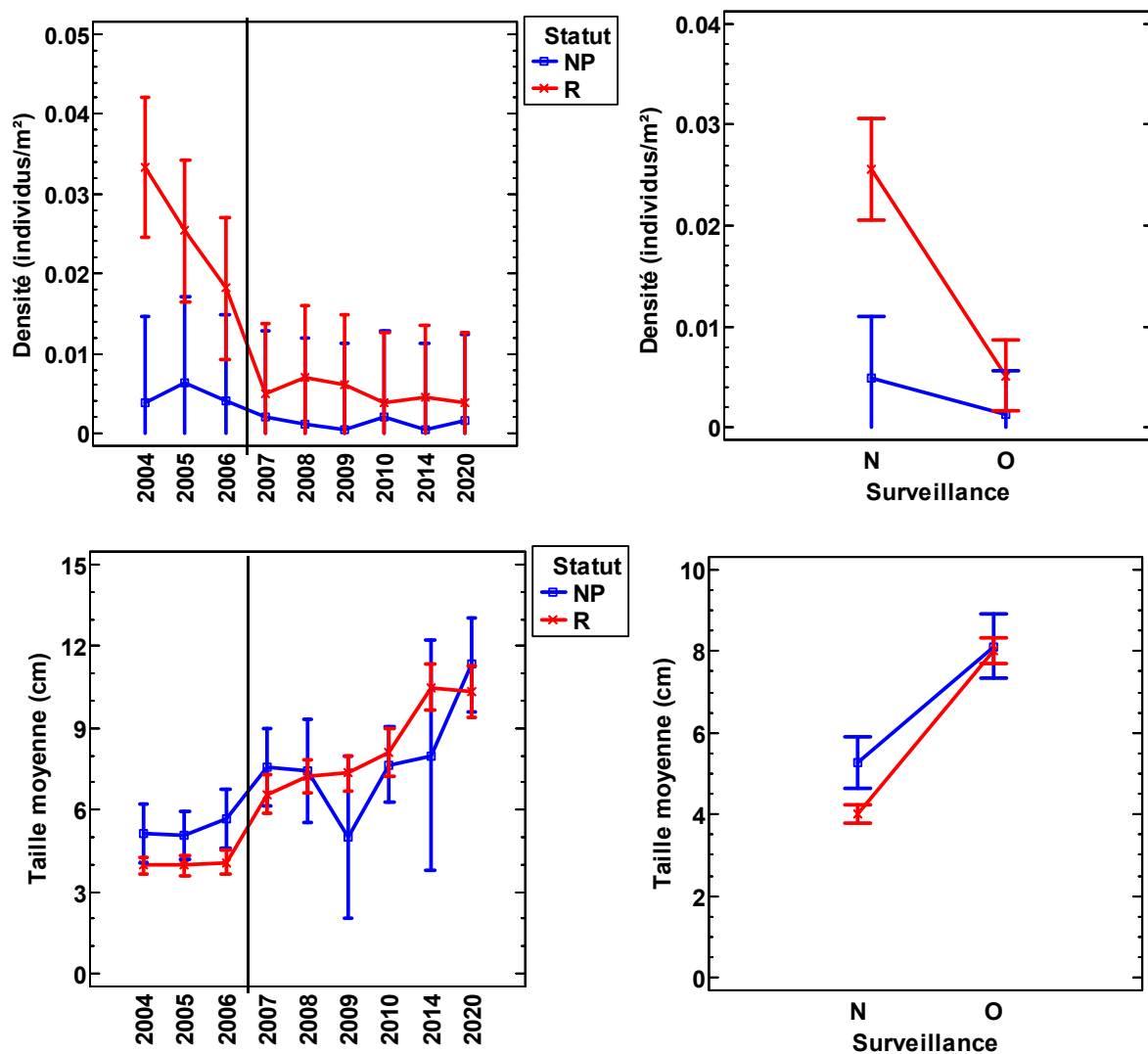


Figure 40 : Variations temporelles de la densité et de la taille moyenne des trocas (*Rochia nilotica*) des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.
La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

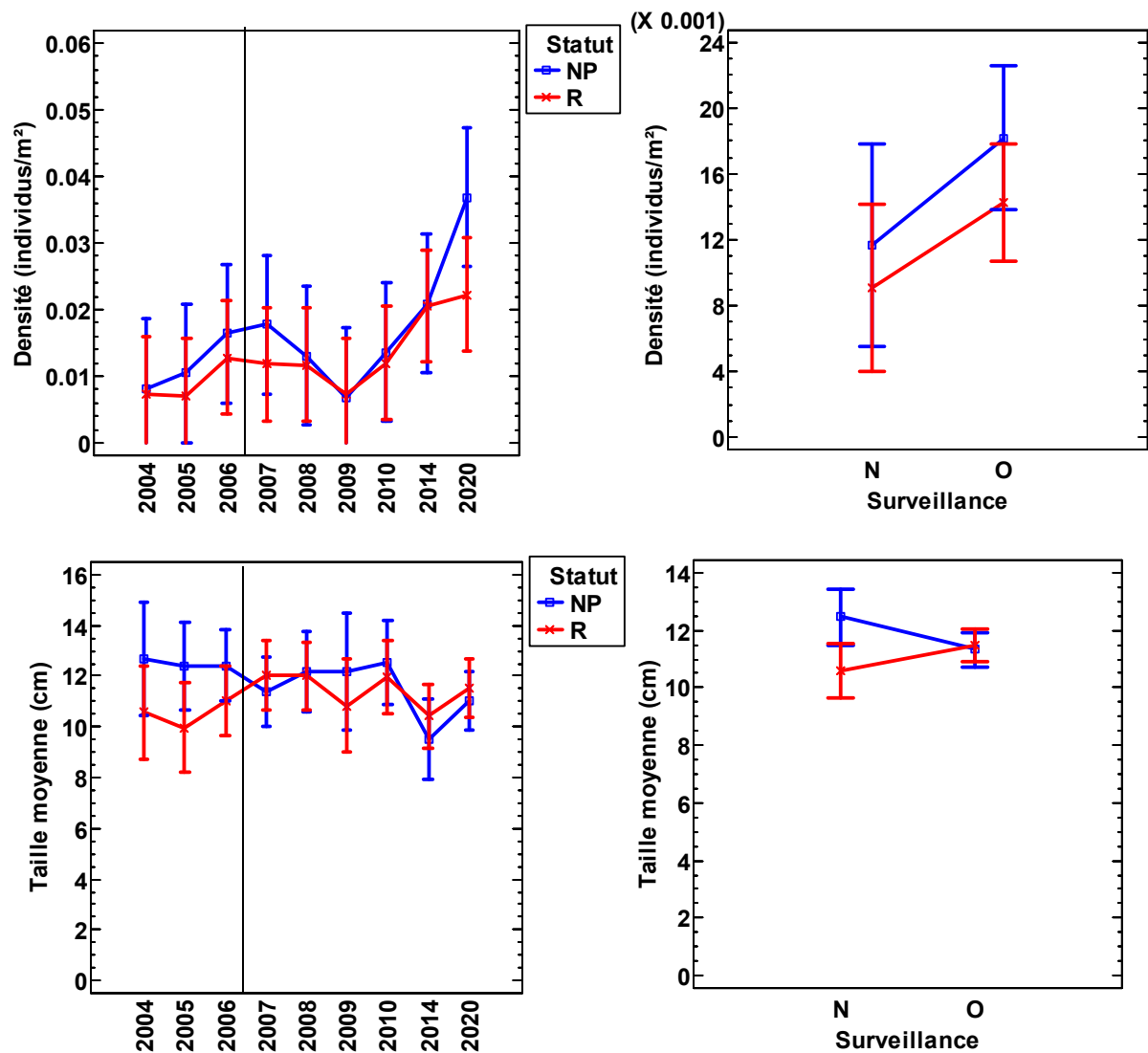


Figure 41 : Variations temporelles de la densité et de la taille moyenne des béditiers des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.
La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

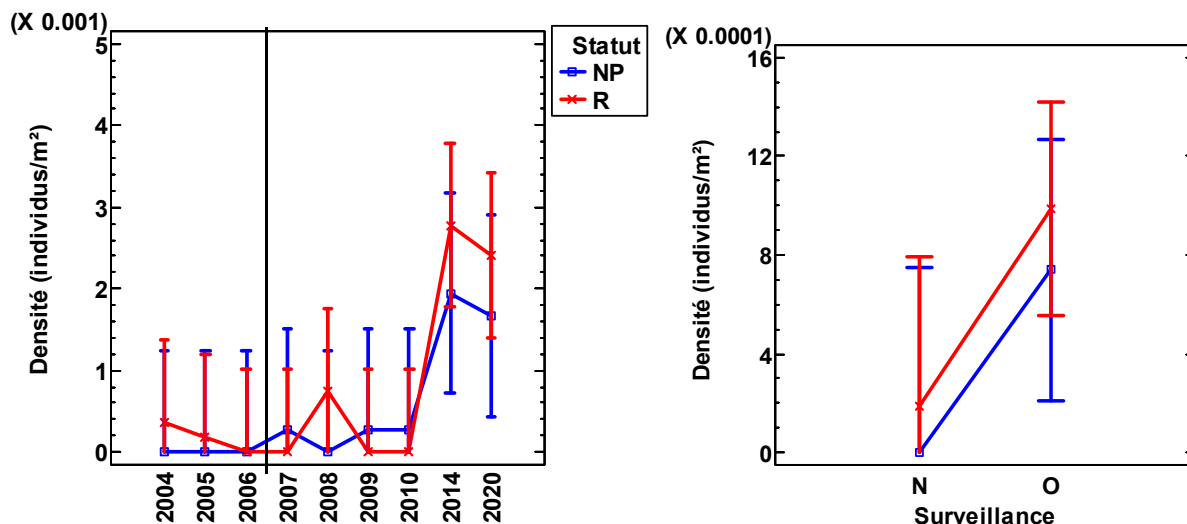


Figure 42 : Variations temporelles de la densité des langoustes des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.

La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve ; O : oui ; N : non. La ligne verticale correspond à la mise en place de la surveillance.

Evolution de la structure des communautés

La Permanova réalisée sur la structure des communautés entre 2004 et 2020 indique une interaction significative entre les facteurs année et statut de protection ($p < 0.05$). Dans la réserve chaque année la structure a été significativement différente. En revanche, dans la zone non protégée les évolutions sont moins marquées, notamment pour l'année 2008 qui n'est pas significativement différente des années 2005 à 2010. Par ailleurs, le facteur mise en place de la surveillance n'est pas significatif ni l'interaction [statut x surveillance]. Ces résultats indiquent que si la structure des communautés d'invertébrés cibles a évolué différemment dans la réserve et la zone non protégée au cours de la période, il n'est pas possible de lier ces évolutions à la mise en place de la surveillance. Ils confirment que pour les invertébrés les effets de réserve ne sont enregistrés que sur quelques indicateurs spécifiques (cf. ci-dessus) et qu'ils sont encore trop limités pour affecter la structure des communautés.

Deux analyses 2nd Stage-MDS ont été utilisées pour illustrer les variations temporelles, une pour la réserve et une pour la zone non protégée en raison de l'interaction significative entre les facteurs statut et année. (Figure 43). Les résultats des modèles sont complexes à interpréter mais représentatifs ($\text{stress} \leq 0.11$). Ils confirment que l'évolution temporelle est différente dans les 2 zones et une plus grande stabilité des communautés dans la zone non protégée (corrélations > 0.8 de 2007 à 2014).

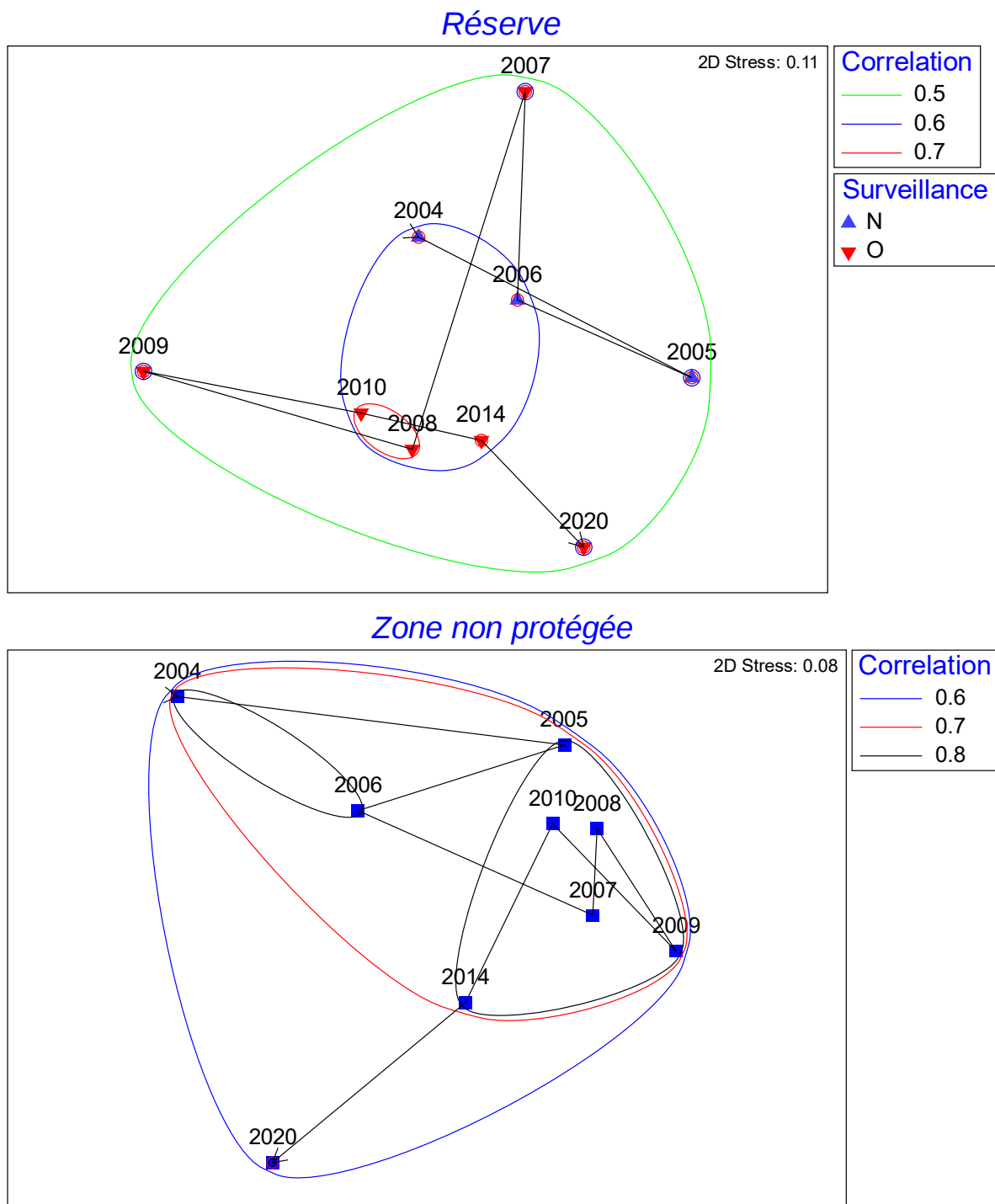


Figure 43 : 2nd Stage-MDS de l'évolution de la structure des communautés de macroinvertébrés cibles de Ouano de 2004 à 2020 a) dans la réserve et b) dans la zone non protégée.

Une analyse canonique des coordonnées principales (CAP) sous la contrainte des facteurs statut et surveillance ne permet pas d'identifier de processus liés à la mise en place des mesures de surveillance dans la réserve (Figure 44).

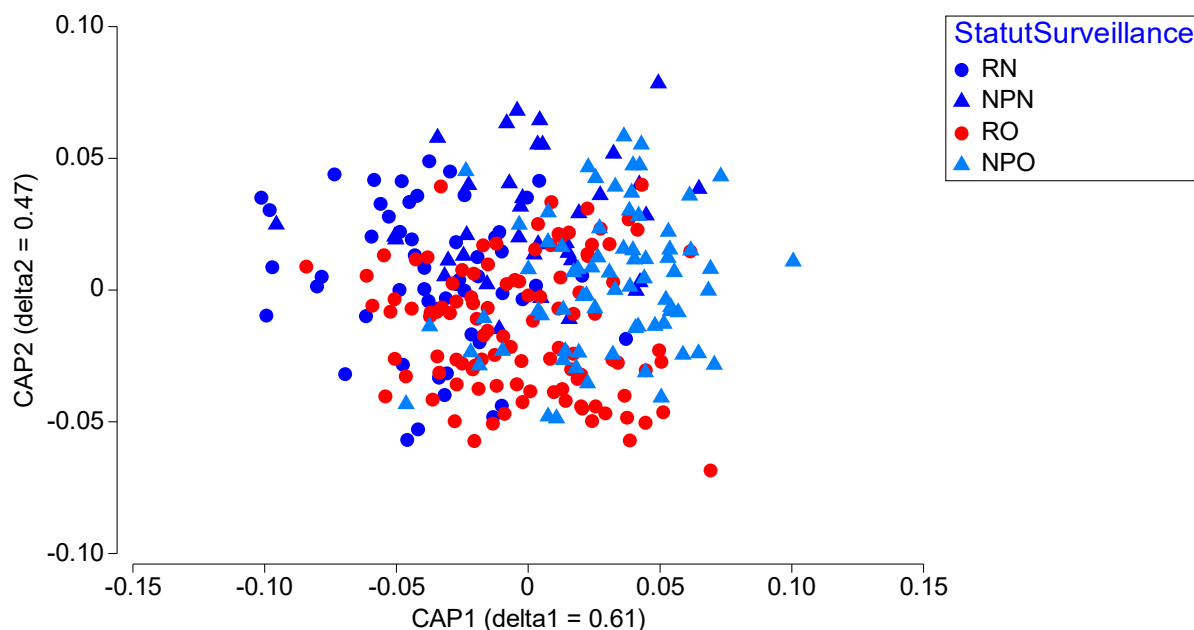


Figure 44 : Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice taxons/stations des macroinvertébrés cibles sous la contrainte des facteurs statut et surveillance entre 2004 et 2020. L'analyse canonique a été réalisée sur les 18 premières coordonnées principales (90.9% de l'inertie). Une validation croisée du modèle ($p < 0.001$) indique un pourcentage de classification de 47.8% ce qui est insuffisant (voir texte). R : réserve ; NP : zone non protégée ; O : surveillance de la réserve ; N : réserve non surveillée.

Deux analyses canoniques des coordonnées principales (CAP) ont été réalisées pour analyser les évolutions temporelles des assemblages et vérifier le maintien de l'intégrité de la réserve et de la zone non protégée sous la contrainte du facteur année (Figure 45). Elles illustrent une évolution des communautés plus importante à partir de 2014. Les communautés de 2014 et 2020 sont effectivement les mieux discriminées avec 88.9% et 91.7% de bonne classification pour 2014 et 83.3% et 75% de bonne classification pour 2020, respectivement dans la réserve et la zone non protégée. Pour vérifier cette hypothèse une seconde analyse a été effectuée sur 2 intervalles temporels, les assemblages de 2004 à 2010 vs les assemblages de 2014 à 2020. Ce second modèle est extrêmement significatif ($p < 0.001$) dans la réserve et dans la zone non protégée. Il présente un pourcentage très élevé de bonne classification de 98.4% dans la réserve et 97.2% dans la zone non protégée. L'évolution des assemblages de macroinvertébrés cibles de Ouano a donc été plus importante entre 2010 et 2014. Cette évolution est favorable et correspond à une amélioration de la santé des communautés. Elle correspond notamment à la présence d'espèces caractéristiques (corrélation au plan factoriel > 0.2) qui témoignent de la bonne santé de l'écosystème corallien, notamment :

- Des gastéropodes :
 - Réserve : *Astrarium rhodostomum*, *Chicoreus brunneus*, *Conus leopardus*, *Lambis truncata*, *Latirolagena smaragdulus*, *Tectus fenestratus*, *Tectus pyramis*, *Turbo chrysostomus*, *Turbo setosus*.
 - Zone non protégée : *Astrarium rhodostomum*, *Chicoreus brunneus*, *Latirolagena smaragdulus*, *Mancinella armigera*, *Tectus fenestratus*, *Tectus pyramis*, *Trochus maculatus*.
- Des bivalves :
 - Réserve : *Arca ventricosa*, *Pedum spondyloideum*, *Pteria* spp, *Spondylus* spp, *Tridacna crocea*, *Tridacna* spp.
 - Zone non protégée : *Pteria* spp, *Tridacna crocea*.

- Un nudibranche dans la réserve : *Phyllidia picta*.
- Des crustacés :
 - Réserve et Zone non protégée : *Dardanus* spp, *Panulirus versicolor*, *Stenopus hispidus*.
- Des astérides :
 - Réserve : *Linckia multifora*.
 - Zone non protégée : *Acanthaster* sp cf *solaris*, *Linckia multifora*.
- Des échinides :
 - Réserve : *Echinometra mathaei*, *Echinothrix diadema*, *Phyllacanthus imperialis*.
 - Zone non protégée : *Echinothrix diadema*, *Phyllacanthus imperialis*.
- Des holothurides :
 - Réserve : *Holothuria coluber*.
 - Zone non protégée : Synaptidae indéterminée.

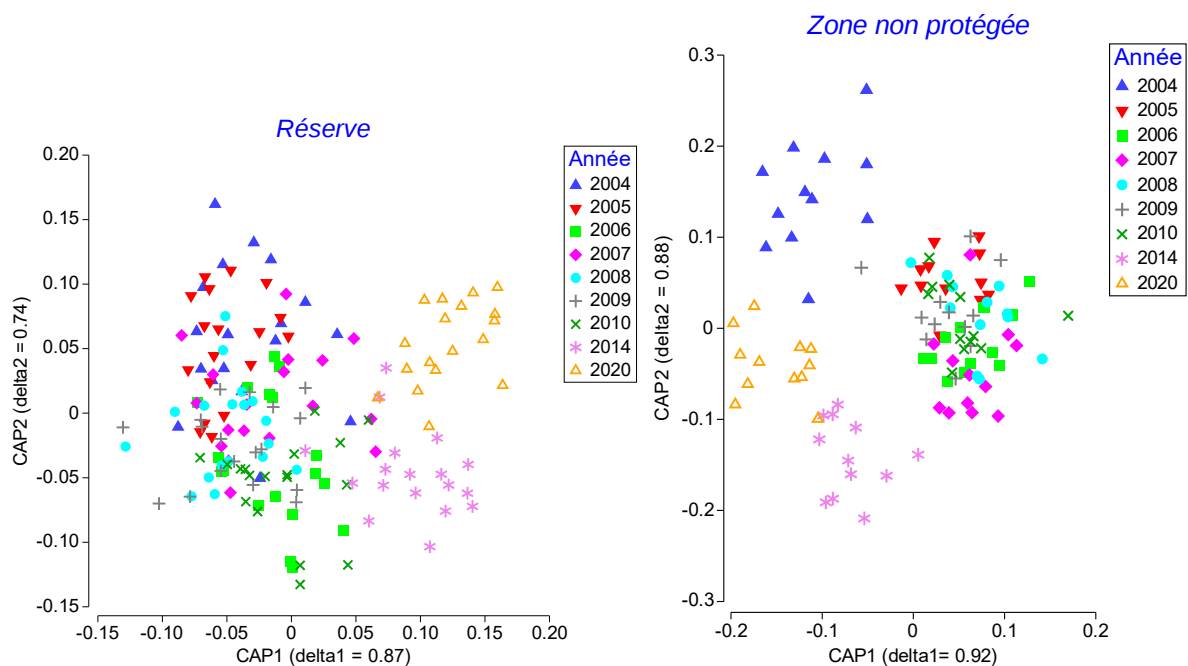


Figure 45 : Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice taxons/stations des macroinvertébrés cibles sous la contrainte du facteur année entre 2004 et 2020, a) dans la réserve et b) dans la zone non protégée..

L'analyse canonique a été réalisée sur les 16 premières coordonnées principales (88.3% de l'inertie) dans la réserve et les 20 premières coordonnées principales (99.2% de l'inertie) dans la zone non protégée. Une validation croisée du modèle ($p < 0.001$) indique un pourcentage de classification de 52.5% dans la réserve et 45.5% dans la zone non protégée (voir texte).

Evolution entre 2014 et 2020 (ensemble des macroinvertébrés épibenthiques)

L'échantillonnage des invertébrés a évolué en 2014 avec l'intégration de Ouano dans le réseau de suivi de la Zone Côtière Ouest du patrimoine mondial. L'ensemble des macroinvertébrés épibenthiques ont été échantillonnés. Une comparaison des caractéristiques de ces communautés a donc été faite entre 2014 et 2020.

A quatre exceptions près, les caractéristiques générales des communautés de macroinvertébrés épibenthiques n'ont pas varié significativement entre 2014 et 2020 (Tableau 14). La densité des

gastéropodes a augmenté significativement dans la réserve alors que la diversité des échinides et les densités des éponges et des astérides ont diminué significativement. La structure des communautés a également évolué significativement entre 2014 et 2020 (Permanova, $p < 0.001$). Une analyse canonique des coordonnées principales sous contrainte du facteur année confirme ce résultat avec 95% de bonne classification. Il y a une diversification des communautés en 2020 (Tableau 15) ce qui confirme le maintien de l'intégrité du bien.

Tableau 14 : Comparaisons des différentes composantes des communautés d'invertébrés récifaux (ensemble des taxons épibenthiques) entre 2014 et 2020..

P : statut de protection (R : réserve, NP : zone non protégée) ; A : année ; PxA : interaction entre les facteurs statut de protection et année. NS : non significatif ($p > 0.05$) ; * : différences significatives ($0.01 < p \leq 0.05$) ; ** : différences très significatives ($0.001 < p \leq 0.01$) ; *** : différences extrêmement significatives ($p \leq 0.001$).

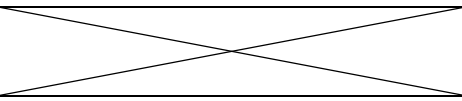
Taxons/station	P	A	PxA
Macroinvertébrés totaux	NS	NS	NS
Gastéropodes	NS	NS	NS
Bivalves	NS	NS	NS
Astérides	NS	NS	NS
Echinides	NS	** ↘	NS
Holothurides	NS	NS	NS
Densité	P	A	PxA
Macroinvertébrés totaux	NS	NS	NS
Annélides	NS	NS	NS
Eponges	NS	** ↘	NS
Gastéropodes			* R : ↗ NP : NS
Bivalves			NS
Astérides	NS	* ↘	NS
Crinoïdes	* R < NP	NS	NS
Echinides	NS	NS	NS
Holothurides	NS	NS	NS
Structure	P	A	PxA
	NS	***	NS

Tableau 15 : Principaux taxons macroinvertébrés caractéristiques des assemblages de 2014 et de 2020.

Les espèces ont une contribution au premier plan factoriel > 0.2.

Assemblage 2014		
Gastéropodes	Bivalves	Astérides
<i>Conus leopardus</i>	<i>Chama</i> spp	<i>Nardoa gomophia</i>
<i>Drupa</i> spp	<i>Periglypta reticulata</i>	Echinides
<i>Mancinella armigera</i>		<i>Echinostrephus</i> spp
		Holothurides
<i>Turbo</i> spp		<i>Holothuria atra</i>
Assemblage 2020		
Gastéropodes	Bivalves	Astérides
<i>Conomurex luhuanus</i>	<i>Arca ventricosa</i>	Astérides indéterminées
<i>Conus litteratus</i>	<i>Hippopus hippopus</i>	<i>Fromia indica</i>
<i>Coralliophila</i> spp	<i>Hyotissa</i> spp	<i>Fromia milleporella</i>
<i>Mitra</i> spp	<i>Isognomon</i> spp	<i>Nardoa novaecaledoniae</i>
<i>Rochia nilotica</i>	<i>Pedum spondyloideum</i>	Echinides
<i>Tectarius pagodus</i>	<i>Pinctada margaritifera</i>	<i>Diadema setosum</i>
<i>Trochus maculatus</i>	<i>Pinctada</i> spp	<i>Echinostrephus aciculatus</i>
<i>Turbo chrysostomus</i>	<i>Tridacna</i> spp	<i>Echinothrix calamaris</i>
<i>Turbo argyrostomus</i>	<i>Tridacna squamosa</i>	<i>Heterocentrotus mamillatus</i>
		<i>Mespilia globulus</i>
		<i>Parasalenia gratiosa</i>
		Holothurides
		<i>Holothuria nobilis</i>
		<i>Stichopus horrens</i>

Bilan

En conclusion, les évolutions temporelles des composantes du macrobenthos étudiées ont été favorables ou neutre et ont bénéficié des effets de réserve ou de conditions environnementales favorables. Des effets de réserve ont notamment été observés pour les trocas, les bénitiers et les langoustes. Au niveau structurel, les résultats indiquent que si la structure des communautés d'invertébrés cibles a évolué différemment dans la réserve et la zone non protégée au cours de la période, il n'est pas possible de lier ces évolutions à la mise en place de la surveillance. Les évolutions observées sont principalement naturelles en lien avec l'environnement et l'écologie des espèces. Ces résultats confirment le maintien de l'intégrité du bien.

5.3.1.3 Habitat

La structure simplifiée de l'habitat a évolué extrêmement significativement entre 2004 et 2020 (Permanova, $p < 0.001$) avec une interaction entre les facteurs statut et année (Permanova, $p < 0.01$). Par conséquent, les évolutions temporelles structurelles ont été différentes dans la réserve et dans la zone non protégée (Figure 46). Toutefois, la structure de l'habitat en 2020 n'est pas significativement différente de celles de 2004, 2005, 2007, 2014 et 2015 dans la réserve. Elle n'est pas significativement différente de celle de 2015 dans la zone non protégée où elle a plus évolué en raison du développement régulier de la couverture corallienne vivante depuis 2009 (voir ci-dessous). Ces résultats confirment le maintien de l'intégrité du bien. Les modifications structurelles observées durant la période concernent (Tableau 16) :

- Toutes les formes coralliennes fragiles (CBTF, CS et CME) dont le pourcentage de couverture en 2020 fait partie des valeurs les plus importantes.

- Les macroalgues et autres végétaux (MAAV) avec des pourcentages de recouvrement moyens en 2020.
- Les algues calcaires encroûtantes dont le pourcentage de recouvrement en 2020 fait partie des maximums mesurés au cours de la période.
- En contrepartie le substrat non vivant sable, débris et dalle corallienne ont globalement régressés en 2020 avec des valeurs faibles (sable et débris) ou moyenne (dalle corallienne).

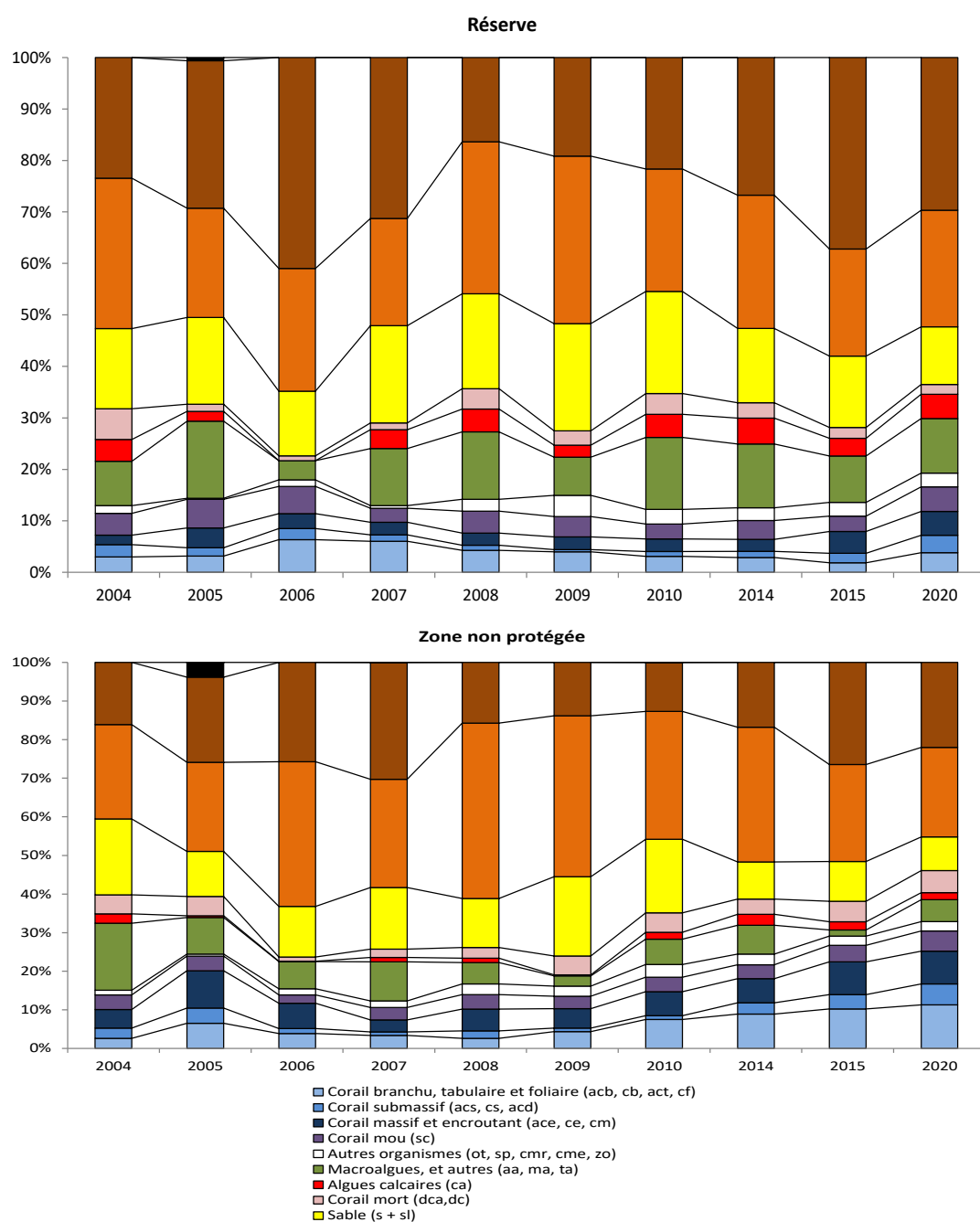


Figure 46 : Evolution des caractéristiques de l'habitat dans la réserve et dans la zone non protégée de 2004 à 2020.

Tableau 16 : Comparaisons de la structure simplifiée de l'habitat corallien de la zone d'étude entre 2014 et 2020.

P : statut de protection (R : réserve, NP : zone non protégée) ; A : année ; Px A : interaction entre les facteurs statut de protection et année. NS : non significatif ($p > 0.05$) ; * : différences significatives ($0.01 < p \leq 0.05$) ; ** : différences très significatives ($0.001 < p \leq 0.01$) ; *** : différences extrêmement significatives ($p \leq 0.001$). Les codes habitat sont détaillés dans le Tableau 2.

Catégorie	P	A	PxA
Structure simplifiée			* R : (04-05-07-14-15-20) NS NP : (15-20) NS
CBTF			*** R : (14-15) < 06 et 15 < (05 à 10 et 20) NP : (04-08-07) < (10-14-05-20)
CS	NS	*** (07 à 10) < 20 (07-09-10) < (04-05-15-20)	NS
CME	*** R < NP	*** Reste < (05-15-20)	NS
SC	NS	NS	NS
OT	NS	*** 05 < (05-06-07) < reste	NS
MAAV			* R : (04-06-09-15) < 05 et (06-09) < (05-08-10-14) NP : (09-15) < (04-05-07)
CA	NS	*** 06 < Reste (05-06-09) < (14-20)	NS
DC	NS	** (06-07) < reste	NS
S+SI	NS	*** (06-14-15-20) < (07-09-10) 20 < (04-05-07 à 10)	NS
R			* R : (05-07-15-20) < (08-09) NP : (04-05-07-15-20) < (08-09)
RCK	NS	*** (04-05-08 à 20) < (06-15) (04-08 à 10) < (05 à 07-15-20)	NS

Un protocole 2nd Stage-MDS utilisé pour illustrer ces variations temporelles de l'habitat confirme les résultats de la Permanova (Figure 47). La structure de l'habitat a évolué depuis 2004. L'impact des fortes houles d'ouest sur un habitat en reconstruction (post-Erica) est visible (groupe 2007-08-09). L'habitat a ensuite évolué favorablement à partir de 2010, il reste globalement similaire depuis (2010, 2014, 2015 et 2020) avec des caractéristiques proches de 2005. Une analyse canonique des coordonnées principales sous contrainte du facteur année confirme ces résultats en divisant la période de suivi en 3 périodes : 2004-2006 ; 2007-2009 ; 2010-2020.

En conclusion, l'habitat continue de se développer depuis l'impact du cyclone Erica en 2003. La recolonisation corallienne progresse régulièrement mais elle reste toujours limitée, notamment dans la réserve et le milieu n'a toujours pas retrouvé ses caractéristiques pré-Erica. Cependant, aucun impact anthropique majeur n'a affecté l'habitat de la zone d'étude au cours de la période. Il est important d'ajouter que ce bilan décrit une situation antérieure au passage de la dépression tropicale Lucas et du cyclone Niran.

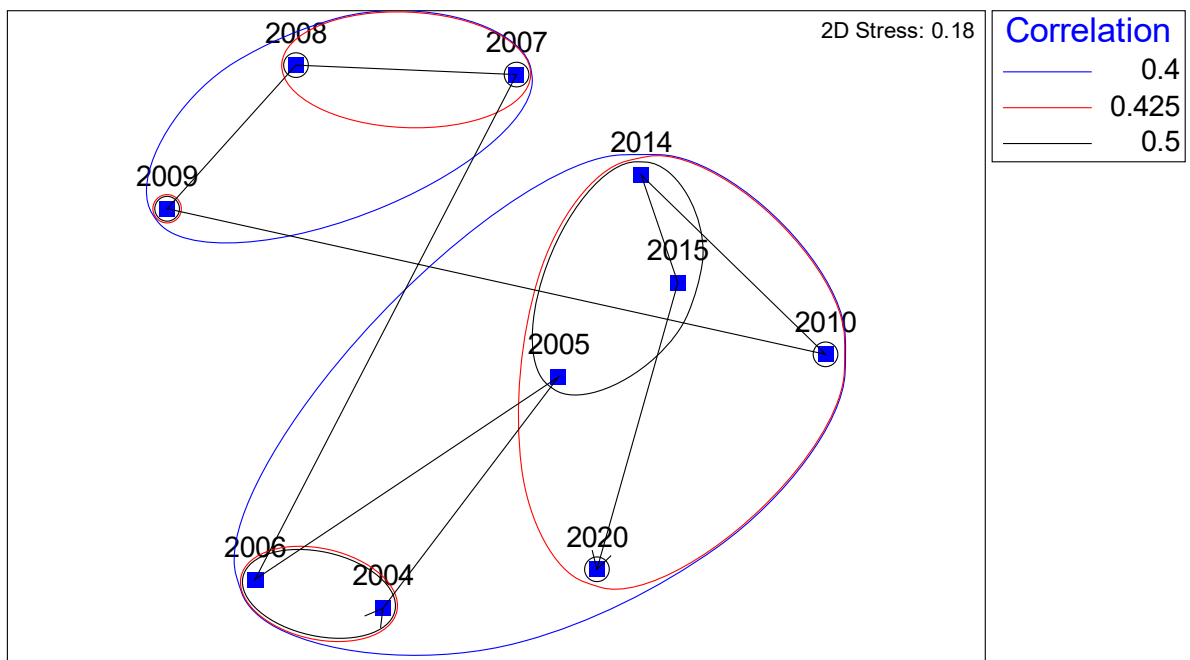


Figure 47 : Analyse 2nd Stage-MDS de l'évolution de la structure simplifiée de l'habitat de Ouano de 2004 à 2020.

5.4 HERBIERS

Les herbiers échantillonnés dans le cadre de cette étude sont très peu fréquentés par les poissons depuis le début des suivis. Une des hypothèses initiales avancée pour expliquer cette pauvreté était que les espèces n'avaient pas encore recolonisé cet écosystème malgré la mise en place des mesures de surveillance. En 2010, des modifications significatives des communautés de poissons avaient été observées dans la réserve avec l'apparition d'espèces cibles dans les herbiers de Konduyo les plus profonds (Lethrinidae, Acanthuridae et Serranidae). Il avait alors été émis l'hypothèse d'une mise en place d'effets de réserve plus tardifs que ceux observés sur les récifs. Les suivis de 2014, 2015 et 2020 n'ont pas permis de confirmer cette hypothèse (Figure 48). A ce jour, s'il est toujours possible que les effets de réserve ne soient pas encore significatifs, il est beaucoup plus probable que les herbiers de Konduyo soient naturellement pauvres.

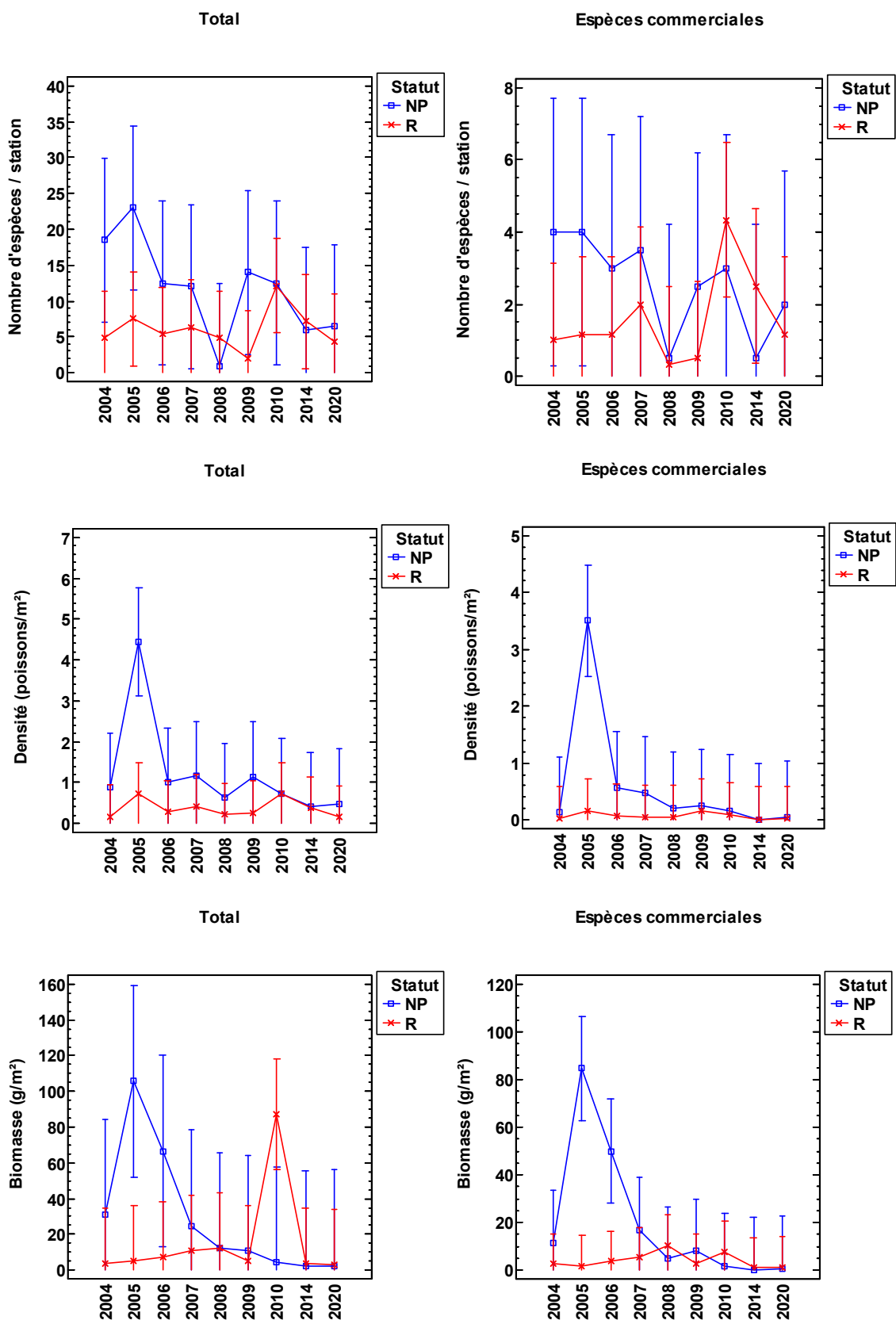


Figure 48 : Richesse spécifique, densité et biomasse de l'ichtyofaune des herbiers de Ouano entre 2004 et 2020.

La barre d'erreur correspond à l'intervalle de confiance. NP : zone non protégée ; R : réserve.

6 BILAN ET CONCLUSIONS

L'état des lieux réalisé en 2020 montre que les écosystèmes coralliens de Ouano sont en bonne santé. Au moment de l'échantillonnage ils bénéficiaient de l'absence de perturbations majeures depuis le cyclone Erica en 2003. Toutefois, l'habitat avait été impacté par de fortes houles d'ouest en 2008 et 2009, ce qui avait compromis les premiers signes de régénération corallienne qui avaient été observés. Depuis, la dépression tropicale Lucas (janvier 2021) et le cyclone Niran (mars 2021) ont probablement affecté la zone d'étude. Leurs impacts ne sont pas évalués dans ce bilan le suivi ayant été réalisé avant leurs passages.

Les premiers effets de réserve observés à la suite de la mise en place de la surveillance ont été mis en évidence en 2009. Pour les poissons, ils s'étaient amplifiés en 2014. En 2020 ils sont toujours observables. Ce résultat confirme que la protection associée aux mesures de surveillance a contribué à des évolutions différentes entre la réserve et les zones adjacentes non protégées. Toutefois, ils semblent moins marqués qu'en 2014. En 2020 certaines composantes des communautés de poissons se sont stabilisées ou ont régressé (*Serranidae* commerciaux, *Scaridae* commerciaux). Cette évolution est probablement liée à une augmentation du braconnage dans la réserve, liée à une diminution de la surveillance. En effet, le bureau des gardes natures de Ouano d'où il était possible de surveiller la totalité de la réserve, a été abandonné. Par ailleurs, les attributions des gardes natures ont également évolué puisqu'ils ne sont plus dédiés qu'au domaine maritime. Toutefois, des espèces emblématiques y sont maintenant régulièrement observées, notamment des requins, des Napoléons et une carangue grosse tête en 2020. Des effets de réserve sont également identifiés pour les macroinvertébrés épibenthiques, notamment les trocas, les bénitiers et les langoustes. Les holothuries sont fréquentes mais les espèces à forte valeur ajoutée restent rares. Toutefois, il semble que la fréquence des espèces à forte valeur commerciale augmente ce qui indiquerait que cette ressource se reconstituerait lentement depuis la mise en place des mesures de protection. Par conséquent, les niveaux de densité et de biomasse indiquent que les espèces commerciales sont encore impactées par la pêche mais si elles évoluent favorablement dans la réserve les conditions semblent moins favorables depuis 2014 alors que les conditions environnementales ont été favorables. En l'état il n'est pas possible de statuer sur la pérennité des effets de réserve en raison de la diminution de la présence des gardes natures. Seul le prochain suivi permettra de mesurer l'impact sur un plus long terme d'un départ de la zone. L'habitat est toujours diversifié et principalement abiotique. Les formations coralliennes et les végétaux mous dominant la composante vivante alors que le substrat abiotique est dominé par les débris et la dalle corallienne, comme en 2014. L'organisation structurelle est maintenue depuis 2014 et elle aussi conforme aux types de formations étudiées.

Le maintien de l'intégrité du bien a été vérifié entre 2004 et 2020. Pour les poissons, les effets de réserve ou des effets temporels indépendants ont entraîné une amélioration ou une stabilisation des différents indicateurs de l'état de santé. Une seule exception significative est observée, la chute de la densité des *Serranidae* commerciaux. La structure des communautés a également évolué significativement au cours de la période mais sans modifier l'organisation spatiale dans la zone. En 2020, les effets de réserve sont pour la première fois suffisants pour être observables au niveau structurel. Pour les invertébrés cibles suivis depuis 2004 les évolutions ont également toutes été favorables ou neutres, les communautés ayant bénéficié des effets de réserve ou de conditions environnementales favorables. Au niveau structurel les assemblages ont évolué favorablement, notamment depuis 2010. En 2020, l'habitat continue de se développer, depuis l'impact du cyclone Erica en 2003. La recolonisation corallienne progresse régulièrement mais le milieu n'a pas encore retrouvé ses caractéristiques pré-Erica, notamment sur les récifs frangeants de la réserve. Au moment du suivi aucun impact anthropique majeur n'avait affecté l'habitat de la zone d'étude au cours de la période. Toutefois, le début d'année 2021 a été marqué par le passage de la dépression tropicale Lucas et du cyclone Niran dont les effets ne sont pas connus et postérieurs au bilan présenté dans ce rapport.

Un tableau de bord du statut des ressources et un tableau de bord du statut de la biodiversité dans la zone d'étude ont été réalisés. Ils ont été construits selon la méthodologie développée dans le programme PAMPA (15). Ces tableaux de bord sont synthétiques et basés sur quelques métriques sélectionnées.

Les tableaux de bord ressources et biodiversité confirment les analyses approfondies (Tableau 17, Tableau 18). Ils indiquent une stabilisation de l'état de santé. Les effets de réserve sont toujours observables mais avec des évolutions différentes selon les indicateurs. Ils montrent également que la réduction des mesures de surveillance a diminué certains effets de réserve alors que les communautés sont toujours impactées. Il est peu probable que la situation s'améliore dans la réserve si le mode de surveillance n'évolue pas. La situation est plus contrastée dans la zone non protégée qui reste globalement stable. En 2020, les indicateurs ressources et de biodiversités restent moyens. Toutefois, l'état global de l'écosystème (structure des assemblages) continue de s'améliorer dans l'ensemble de la zone.

Tableau 17 : Tableau de bord du statut des ressources dans la zone d'étude.

La couleur indique l'état de l'indicateur en 2020 et la flèche son évolution entre 2014 et 2020 : bon (vert), moyen (jaune), médiocre (orange) et mauvais (rouge). R : réserve.

Indicateur	Interprétation	
Densité de saumonées	R →	Déficit de petits individus Effets de réserve Absente de NP
Biomasse de saumonées	R →	
Biomasse des Serranidae	R (↘)	Peuplement en régression ↘ effets de réserve
Densité des Lethrinidae	→	Population stable Pas d'effet de réserve visible
Biomasse des Lethrinidae	→	
Densité des <i>Naso</i> spp	R ↗	Effets de réserve
Biomasse des <i>Naso</i> spp	R ↗	
Synthèse ressources	Poissons	Effets de réserve

Tableau 18 : Tableau de bord du statut de la biodiversité dans la zone d'étude.

La couleur indique l'état de l'indicateur en 2020 et la flèche son évolution entre 2014 et 2020 : état de référence (bleu)², bon (vert), moyen (jaune), médiocre (orange) et mauvais (rouge). Sr : nombre d'espèces. R : réserve ; NP : zone non protégée.

Maintien d'un ensemble de peuplements et d'espèces représentatif de l'écosystème		
Indicateur	Interprétation	
Sr de poissons par station	→	Communautés stables
Sr des Chaetodontidae par station	→	Communautés stables
Conservation des espèces et habitats emblématiques, menacés localement, ou sous statut spécial, ou endémiques		
Indicateur	Interprétation	
Fréquence d'occurrence de <i>Cheilinus undulatus</i>	→	17% en R et 8% en NP Effets de réserve
Taille max de <i>Cheilinus undulatus</i>	R ↗	90 cm Effets de réserve
Fréquence d'occurrence des requins	R ↘ et NP ↗	0% en R et 25% en NP
Synthèse biodiversité		Communautés en bonne santé Déficit en requins

Les herbiers échantillonnés dans la zone d'étude abritent des communautés de poissons peu diversifiées et peu abondantes depuis le début des suivis. Le suivi de 2020 semble confirmer que ces herbiers sont naturellement pauvres.

² Pour les requins uniquement

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Schmitt, RJ et Osenderg, CW.** *Detecting ecological impacts. Concept and applications in coastal habitats.* San Diego : Academic Press, 1996.
2. **Wantiez, L.** *Communautés biologiques et habitats coralliens de la réserve de La Foa. Etat initial.* Nouméa : Université de la Nouvelle-Calédonie, 2005.
3. —. *Communautés biologiques et habitats coralliens de la réserve de La Foa. Suivi 2006. Variations temporelles 2004-06.* Nouméa : Université de la Nouvelle-Calédonie, 2007.
4. —. *Modalités temporelles d'efficience de la réserve naturelle de Ouano suite à la mise en oeuvre de moyens de surveillance. Suivi 2009. Variations temporelles 2004-09.* Nouméa : Province Sud de la Nouvelle-Calédonie, Aquarium des Lagon, Université de la Nouvelle-Calédonie, 2011.
5. **Wantiez, L, Frolla, F et Goroparawa, D.** *Communautés biologiques et habitats coralliens de Ouano (Zone Côtière Ouest). Etat des lieux 2014. Maintien de l'intégrité du bien.* Nouméa : Université de la Nouvelle-Calédonie, province Sud de la Nouvelle-Calédonie, 2015.
6. **Andrefouet, S et Wantiez, L.** Characterizing the diversity of coral reef habitats and fish communities found in a UNESCO World Heritage Site: The strategy developed for lagoons of New Caledonia. *Marine Pollution Bulletin.* 2010, Vol. 61, 612-620.
7. **Menu, S, Hebert, P et Services provinciaux.** *Les lagons de Nouvelle-Calédonie. Diversité récifale et écosystèmes associés. Dossier de présentation en vue de l'inscription sur la liste du Patrimoine Mondial de l'UNESCO au titre d'un bien naturel.* Paris : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Ministère de l'Outre Mer, Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, Province Sud, Province Nord, Province des Iles Loyauté, 2006.
8. **Wantiez, L, et al.** *Communautés biologiques et habitats coralliens de Bourail (Zone Côtière ouest). Etat de santé 2019. Maintien de l'intégrité.* Nouméa : Conservatoire des Espaces Naturels, Université de la Nouvelle-Calédonie, 2019.
9. **Buckland, St, et al.** *Introduction to distance sampling. Estimating abundance of biological populations.* Oxford : Oxford University Press, 2001.
10. **Kulbicki, M, et al.** Length-weight relationships of fish from the lagoon of New Caledonia. *NAGA ICLARM Quarterly.* 1993, Vol. April-July, 26-30.
11. **Letourneur, Y, Kulbicki, M et Labrosse, P.** Length-weight relationship of fishes from coral reefs and lagoons of New Caledonia. An update. *NAGA ICLARM Quarterly.* 1998, Vol. 21, 39-46.
12. **Fishbase.** [En ligne] <http://www.fishbase.org/search.php>.
13. **English, S, Wilkinson, C et V, Baker.** *Survey manual for tropical marine resources. 2nd edition.* Townsville, Australia : Australian Institute for Marine Science, 1997.
14. **Anderson, MJ, Gorley, RL et Clarke, KR.** *Permanova+ for Primer: guide to software and statistical methods.* Plymouth, UK : Primer-E, 2008.
15. **Clarke, KR et Warwick, RM.** *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation 2nd edition.* Plymouth, Royaume Uni : PRIMER-R Ltd, 2001.
16. **Wantiez, L, et al.** *Rapport du site Nouvelle-Calédonie. Programme PAMPA.* Nouméa : Ifremer, 2011.
17. **Wantiez, L, Bouilleret, F et Frolla, P.** *Evaluation de la biodiversité récifale des récifs Astrolabe et Pétri. Bilan de santé de l'habitat, de l'ichtyofaune et d'invertébrés cibles.* Nouméa : Université de la Nouvelle-Calédonie, 2016. p. 55.
18. **Wantiez, L, et al.** *Bilan de santé des communautés biologiques et de l'habitat des récifs coralliens de Walpole.* Nouméa : Université de la Nouvelle-Calédonie, 2019. p. 41.
19. —. *Etat initial et bilan de santé des communautés récifales et de l'habitat corallien des îlots Leliogat, Oua et Vauvillier.* Nouméa : Université de la Nouvelle-Calédonie, 2018. p. 53.
20. —. *Communautés biologiques et habitats coralliens du Grand Lagon Nord. Etat des lieux 2018. Maintien de l'intégrité du bien.* Nouméa : Université de la Nouvelle-Calédonie. Province Nord de Nouvelle-Calédonie, 2019.

21. **Wantiez, L, et al.** *Communautés biologiques et habitats coralliens de la réserve Merlet. Etat des lieux 2013. Maintien de l'intégrité du bien.* Nouméa : Province sud de la Nouvelle-Calédonie, Université de la Nouvelle-Calédonie, 2013.
22. **Purcell, SW, Gossuin, H et Agudo, NS.** *Status and management of sea cucumberfishery of La Grande Terre, New Caledonia.* Penang, Malaisie : World Fish Center, 2009. Studies and Reviews 1901.

8 LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Positions et caractéristiques des stations échantillonnées en 2020.	11
Tableau 2 :	Catégories de substrat retenues pour l'échantillonnage de l'habitat.	14
Tableau 3 :	Liste des familles et des espèces de poissons échantillonnées dans le lagon de Ouano en 2020.	17
Tableau 4 :	Richesse spécifique, densité et biomasse moyennes dans la zone d'étude en 2020.	20
Tableau 5 :	Fréquence et densité (ind/100 m ²) des espèces macrobenthiques épigées échantillonnées sur les récifs de la zone d'étude en 2020.	21
Tableau 6 :	Richesse taxonomique par station et densité du macrobenthos épibenthique dans la zone d'étude en 2020.	22
Tableau 7 :	Organisation spatiale des caractéristiques générales de l'ichtyofaune dans la zone d'étude en 2020 selon le statut de protection et le type de récif.	26
Tableau 8 :	Principales espèces caractéristiques des assemblages identifiés dans la zone d'étude en 2020.	32
Tableau 9 :	Organisation spatiale des caractéristiques générales du macrobenthos dans la zone d'étude en 2020.	35
Tableau 10 :	Principales espèces caractéristiques des assemblages identifiés dans la zone d'étude en 2020.	40
Tableau 11 :	Organisation spatiale des caractéristiques générales de l'habitat dans la zone d'étude en 2020.	41
Tableau 12 :	Synthèse des comparaisons BACI-PS des périodes 2004-06 (AMP non surveillée) et 2007-20 (AMP surveillée) pour différentes composantes des communautés de poissons récifaux.	47
Tableau 13 :	Synthèse des comparaisons BACI-PS de période 2004-06 (AMP non surveillée) et 2007-20 (AMP surveillée) pour différentes composantes des communautés d'invertébrés récifaux cibles.	67
Tableau 14 :	Comparaisons des différentes composantes des communautés d'invertébrés récifaux (ensemble des taxons épibenthiques) entre 2014 et 2020.	80
Tableau 15 :	Principaux taxons macroinvertébrés caractéristiques des assemblages de 2014 et de 2020.	81
Tableau 16 :	Comparaisons de la structure simplifiée de l'habitat corallien de la zone d'étude entre 2014 et 2020.	83
Tableau 17 :	Tableau de bord du statut des ressources dans la zone d'étude.	87
Tableau 18 :	Tableau de bord du statut de la biodiversité dans la zone d'étude.	88

9 LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Localisation de la zone d'étude et des stations échantillonnées.....	10
Figure 2 :	Mesure de la taille des trocas des bénitiers.....	13
Figure 3 :	Diagramme du type boîte à moustaches.....	14
Figure 4 :	Distribution de fréquence des tailles des bénitiers dans la zone d'étude en 2020.....	23
Figure 5 :	Distribution de fréquence des tailles des trocas dans la zone d'étude en 2020.....	23
Figure 6 :	Caractéristiques moyennes de l'habitat sur les récifs coralliens de la zone d'étude en 2020.....	24
Figure 7 :	Pourcentage moyen des différentes formes de corail vivant dans la zone d'étude en 2020.....	25
Figure 8 :	Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour la richesse spécifique par station de l'ichtyofaune.....	28
Figure 9 :	Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour la densité (poissons/m ²) de l'ichtyofaune.....	29
Figure 10 :	Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour la biomasse (g/m ²) de l'ichtyofaune.....	30
Figure 11 :	Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour la densité et la biomasse du dawa (<i>Naso unicornis</i>).....	31
Figure 12 :	Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice espèces/station de l'ichtyofaune sous la contrainte du facteur type de récif en 2020.....	32
Figure 13 :	Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice espèces/station de l'ichtyofaune sous la contrainte des facteurs statut de protection et type de récif en 2020.....	33
Figure 14 :	Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour la richesse taxonomique par station des macroinvertébrés.....	36
Figure 15 :	Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour la densité (individu/100 m ²) des macroinvertébrés.....	38
Figure 16 :	Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice espèces/station des macroinvertébrés sous la contrainte du facteur type de récif en 2020.....	39
Figure 17 :	Graphiques des interactions des facteurs statut et type de récif pour l'habitat de Ouano en 2020.....	43
Figure 18 :	Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) des caractéristiques de l'habitat sous la contrainte du facteur type de récif en 2020.....	44
Figure 19 :	Variations temporelles de la richesse spécifique totale des communautés de poissons des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.....	50
Figure 20 :	Variations temporelles de la richesse spécifique par station de la densité et de la biomasse des communautés de poissons des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.....	51
Figure 21 :	Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des poissons commerciaux des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.....	52
Figure 22 :	Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des Serranidae commerciaux des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.....	53
Figure 23 :	Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des Lethrinidae commerciaux des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.....	54
Figure 24 :	Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des Scaridae commerciaux des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.....	55
Figure 25 :	Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des Acanthuridae commerciaux des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.....	56
Figure 26 :	Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des Siganidae commerciaux des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.....	57
Figure 27 :	Variations temporelles de la richesse spécifique par station, la densité et la biomasse des Chaetodontidae des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.....	58
Figure 28 :	Variations temporelles de la densité et la biomasse des saumonées (<i>Plectropomus leopardus</i>) des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.....	59

Figure 29 :	Variations temporelles de la densité et la biomasse des Napoléon (<i>Cheilinus undulatus</i>) des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.	60
Figure 30 :	Variations temporelles de la densité et la biomasse des dawas (<i>Naso unicornis</i>) des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.	61
Figure 31 :	2 nd Stage-MDS de l'évolution de la structure des communautés de poissons de Ouano de 2004 à 2020 a) dans la réserve et b) dans la zone non protégée.	62
Figure 32 :	Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice espèces/station de l'ichtyofaune sous la contrainte des facteurs statut et surveillance entre 2004 et 2020.	63
Figure 33 :	Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice espèces/station de l'ichtyofaune sous la contrainte du facteur année entre 2004 et 2020.	64
Figure 34 :	Variations temporelles de la richesse taxonomique totale, par station et de la densité du macrobenthos cible des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.	68
Figure 35 :	Variations temporelles de la richesse taxonomique par station et de la densité des gastéropodes cibles des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.	69
Figure 36 :	Variations temporelles de la richesse taxonomique par station et de la densité des bivalves cibles des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.	70
Figure 37 :	Variations temporelles de la richesse taxonomique par station et de la densité des astérides cibles des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.	71
Figure 38 :	Variations temporelles de la richesse taxonomique par station et de la densité des échinides cibles des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.	72
Figure 39 :	Variations temporelles de la richesse taxonomique par station et de la densité des holothurides des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.	73
Figure 40 :	Variations temporelles de la densité et de la taille moyenne des trocas (<i>Rochia nilotica</i>) des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.	74
Figure 41 :	Variations temporelles de la densité et de la taille moyenne des bénitiers des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.	75
Figure 42 :	Variations temporelles de la densité des langoustes des récifs de la zone d'étude au cours de la période 2004-2020.	76
Figure 43 :	2 nd Stage-MDS de l'évolution de la structure des communautés de macroinvertébrés cibles de Ouano de 2004 à 2020 a) dans la réserve et b) dans la zone non protégée.	77
Figure 44 :	Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice taxons/stations des macroinvertébrés cibles sous la contrainte des facteurs statut et surveillance entre 2004 et 2020.	78
Figure 45 :	Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) de la matrice taxons/stations des macroinvertébrés cibles sous la contrainte du facteur année entre 2004 et 2020, a) dans la réserve et b) dans la zone non protégée.	79
Figure 46 :	Evolution des caractéristiques de l'habitat dans la réserve et dans la zone non protégée de 2004 à 2020.	82
Figure 47 :	Analyse 2 nd Stage-MDS de l'évolution de la structure simplifiée de l'habitat de Ouano de 2004 à 2020.	84
Figure 48 :	Richesse spécifique, densité et biomasse de l'ichtyofaune des herbiers de Ouano entre 2004 et 2020.	85

10 ANNEXE : LISTE DE REFERENCE DES TAXONS MACROBENTHIQUES POUR EVALUER L'INTEGRITE DU BIEN

L'échantillonnage des astérides, échinides et holothurides est exhaustif. Seules les espèces qui ont été observées durant la période de suivi sont listées dans le tableau.

Astéride	<i>Acanthaster planci</i>	Echinide	<i>Echinostrephus aciculatus</i>
Astéride	Astérides indéterminées	Echinide	<i>Echinostrephus</i> spp
Astéride	<i>Culcita novaeguineae</i>	Echinide	<i>Echinothrix calamaris</i>
Astéride	<i>Disasterina abnormalis</i>	Echinide	<i>Echinothrix diadema</i>
Astéride	<i>Echinaster luzonicus</i>	Echinide	<i>Heterocentrotus mamillatus</i>
Astéride	<i>Echinaster varicolor</i>	Echinide	<i>Mespilia globulus</i>
Astéride	<i>Fromia indica</i>	Echinide	<i>Parasalenia gratiosa</i>
Astéride	<i>Fromia milleporella</i>	Echinide	<i>Phyllacanthus imperialis</i>
Astéride	<i>Fromia monilis</i>	Echinide	<i>Tripneustes gratilla</i>
Astéride	<i>Fromia pacifica</i>	Gastéropode	<i>Astraliu rhodostomum</i>
Astéride	<i>Linckia laevigata</i>	Gastéropode	Capulidae indéterminés
Astéride	<i>Linckia multifora</i>	Gastéropode	<i>Chicoreus brunneus</i>
Astéride	<i>Nardoa gomophia</i>	Gastéropode	<i>Chicoreus ramosus</i>
Astéride	<i>Nardoa novaecaledoniae</i>	Gastéropode	<i>Conomurex luhuanus</i>
Astéride	<i>Protoreaster nodosus</i>	Gastéropode	<i>Conus bullatus</i>
Bivalve	<i>Anadara scapha</i>	Gastéropode	<i>Conus eburneus</i>
Bivalve	<i>Arca ventricosa</i>	Gastéropode	<i>Conus leopardus</i>
Bivalve	<i>Atrina vexillum</i>	Gastéropode	<i>Conus litteratus</i>
Bivalve	<i>Chama</i> spp	Gastéropode	<i>Conus magnificus</i>
Bivalve	<i>Fimbria fimbriata</i>	Gastéropode	<i>Conus magus</i>
Bivalve	<i>Gafrarium pectinatum</i>	Gastéropode	<i>Conus marmoreus</i>
Bivalve	<i>Hippopus hippopus</i>	Gastéropode	<i>Conus</i> spp
Bivalve	<i>Hytissa</i> spp	Gastéropode	<i>Conus</i> spp
Bivalve	<i>Isognomon</i> spp	Gastéropode	<i>Conus textile</i>
Bivalve	<i>Pedum spondyloideum</i>	Gastéropode	<i>Conus vexillum</i>
Bivalve	<i>Periglypta albocancellata</i>	Gastéropode	<i>Coralliophila</i> spp
Bivalve	<i>Periglypta reticulata</i>	Gastéropode	<i>Cypraea tigris</i>
Bivalve	<i>Periglypta</i> spp	Gastéropode	<i>Drupa</i> spp
Bivalve	<i>Pinctada margaritifera</i>	Gastéropode	<i>Lambis lambis</i>
Bivalve	<i>Pinctada</i> spp	Gastéropode	<i>Lambis truncata</i>
Bivalve	Pinnidae indéterminés	Gastéropode	<i>Mancinella armigera</i>
Bivalve	<i>Pteria</i> spp	Gastéropode	<i>Latirolagena smaragdulus</i>
Bivalve	<i>Saccostrea cucullata</i>	Gastéropode	<i>Mitra</i> spp
Bivalve	<i>Spondylus</i> spp	Gastéropode	<i>Mitra stictica</i>
Bivalve	<i>Tridacna crocea</i>	Gastéropode	<i>Monetaria caputserpentis</i>
Bivalve	<i>Tridacna derasa</i>	Gastéropode	<i>Natica</i> spp
Bivalve	<i>Tridacna maxima</i>	Gastéropode	<i>Ovula ovum</i>
Bivalve	<i>Tridacna</i> spp	Gastéropode	<i>Rochia nilotica</i>
Bivalve	<i>Tridacna squamosa</i>	Gastéropode	<i>Sinustrombus sinuatus</i>
Crustacé	<i>Dardanus</i> spp	Gastéropode	<i>Tectarius pagodus</i>
Crustacé	<i>Panulirus longipes bispinosus</i>	Gastéropode	<i>Tectus fenestratus</i>
Crustacé	<i>Panulirus ornatus</i>	Gastéropode	<i>Tectus pyramis</i>
Crustacé	<i>Panulirus</i> spp	Gastéropode	<i>Thromidia catalai</i>
Crustacé	<i>Panulirus versicolor</i>	Gastéropode	<i>Tridentarius dentatus</i>
Crustacé	<i>Stenopus hispidus</i>	Gastéropode	<i>Trigonostoma</i> spp
Echinide	<i>Diadema savignyi</i>	Gastéropode	<i>Trochus maculatus</i>
Echinide	<i>Diadema setosum</i>	Gastéropode	<i>Turbo argyrostomus</i>
Echinide	<i>Echinometra mathaei</i>	Gastéropode	<i>Turbo chrysostomus</i>

Gastéropode	Turbo setosus
Gastéropode	Turbo spp
Holothuride	Actinopyga echinites
Holothuride	Actinopyga mauritiana
Holothuride	Actinopyga miliaris
Holothuride	Bohadschia argus
Holothuride	Euapta godeffroyi
Holothuride	Holothuria atra
Holothuride	Holothuria coluber
Holothuride	Holothuria edulis
Holothuride	Holothuria edulis
Holothuride	Holothuria fuscopunctata
Holothuride	Holothuria nobilis

Holothuride	Holothuria scabra
Holothuride	Polyplectana kefersteini
Holothuride	Stichopus chloronotus
Holothuride	Stichopus horrens
Holothuride	Synapta maculata
Holothuride	Synaptidae indéterminés
Nudibranche	Hexabanchus sanguineus
Nudibranche	Phyllidia coelestis
Nudibranche	Phyllidia elegans
Nudibranche	Phyllidia picta
Nudibranche	Phyllidiella pustulosa
Nudibranche	Pteraeolidia ianthina
Nudibranche	Tambja morosa