



Inventaire des communautés récifales de la baie Kwé, baie de Port Boisé et baie de Prony– Etat des lieux 2021 et évolution temporelle

Janvier 2022

DEPARTEMENT: Environnement

Devis n°: L.0091



Agence Nouméa • 1Bis rue Berthelot, BP 3583, 98846 Nouméa Cedex
Tél. (687) 28 34 80 • Fax (687) 28 83 44 • secretariat@soproner.nc

 **GINGER**
SOPRONER

ÉVOLUTION DU DOCUMENT

Ind.	Date	Ingénieur de projet	Autres contributeurs	Description des mises à jour
1	09/02/2022	Tom HEINTZ	Nicolas GUILLEMOT, Antoine GILBERT	Création du document
2	21/04/2022	Tom HEINTZ	Nicolas GUILLEMOT, Antoine GILBERT	Modifications selon les commentaires de Adrien BERTAUD

Citation : Heintz T, Guillemot N, Gilbert A (2022) Inventaire des communautés récifales de la baie Kwé, baie de Port Boisé et baie de Prony– Etat des lieux 2021 et évolution temporelle. Rapport technique + Annexes : 170pp

SOMMAIRE

RÉSUMÉ EXÉCUTIF	9
EQUIPE ET CONDITIONS D'INTERVENTION.....	15
INTRODUCTION	17
MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	19
I. ZONE D'ÉTUDE ET STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE	20
I.1. Situation générale	20
I.2. Zone d'échantillonnage – secteur BKBP	21
I.3. Zone d'échantillonnage – secteur de prony	21
I.4. Implantation des stations	23
II. LIEN AVEC LES ÉTUDES PRÉCÉDENTES ET BILAN DES DONNÉES DISPONIBLES	24
II.1. Secteur de BKBP	24
II.2. Secteur de Prony	24
III. SUIVI DU SUBSTRAT ET DES COMMUNAUTÉS CORALLIENNES	26
III.1. Echantillonnage	26
III.2. Analyse des données	28
IV. SUIVI PHOTO/VIDÉO.....	32
IV.1. Photo-quadrats permanents	32
IV.2. Vidéo-transects	33
IV.3. Photo-transects et autres photos.....	33
V. SUIVI DES PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES	34
V.1. protocoles in situ mis en œuvre en 2021.....	34
V.2. Caractérisation et description des peuplements ichtyologiques.....	35
V.3. Démarche analytique pour l'étude des peuplements ichtyologiques et de leurs variations	38
VI. SUIVI DE LA FAUNE MACROBENTHIQUE DE FONDS DURS.....	41
VI.1. Echantillonnage	41
VI.2. Analyse des données	41
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	44
I. SUBSTRAT.....	45
I.1. Etat du substrat en 2021.....	45
I.2. Modélisation de type CI pour la détection de signal d'impact et évolution temporelle.....	52
II. PHOTO-QUADRATS	60
III. ETAT DE SANTÉ DES COMMUNAUTÉS CORALLIENNES	62
III.1. Prévalence de lésions coralliennes en 2021	62
III.2. Modélisation de type CI sur la prévalence de lésions coralliennes entre 2019 et 2021 – secteur BKBP	67
III.3. Pression sédimentaire	70
IV. PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES	74
IV.1. Etat des lieux en 2021	74
IV.2. Modélisation de type CI pour la détection de signal d'impact et évolutions temporelles.....	85
V. INVERTÉBRÉS MACROBENTHIQUES.....	94
V.1. Etat des lieux en 2021	94
V.2. Modélisation de type CI pour la détection de signal d'impact et évolution temporelle.....	102
CONCLUSION	113
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	115
ANNEXES	120
ANNEXE I : DESCRIPTION ET PLAN DES STATIONS.....	121
Secteur BKBP	121
Secteur Prony	129
Planche photo représentative des stations	141

ANNEXE II : CARACTÉRISTIQUES DU SUBSTRAT PAR STATION.....	143
<i>Etat des lieux en 2021</i>	<i>143</i>
<i>Evolution temporelle entre 2019 et 2021 – secteur BKPb.....</i>	<i>147</i>
ANNEXE III : ÉTAT DE SANTÉ DES COMMUNAUTÉS CORALLIENNES	150
<i>Prévalence de lésions coralliennes totales et par famille et par station en 2021 – secteur de Prony.....</i>	<i>150</i>
<i>Prévalence de lésions coralliennes totales et par famille et par station en 2019 et 2021 – secteur de BKPb.....</i>	<i>152</i>
ANNEXE IV : ESPÈCES DE POISSONS OBSERVÉES LORS DE LA CAMPAGNE DE 2021 ET CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES.....	154
ANNEXE V: DENSITÉ, BIOMASSE ET RICHESSE SPÉCIFIQUE DE POISSONS PAR STATION EN 2021	158
<i>Secteur de Prony</i>	<i>158</i>
<i>Secteur de BKPb</i>	<i>161</i>
ANNEXE VI : CARACTÉRISTIQUES DES PEUPELEMENTS MACROBENTHIQUES PAR STATION	164
<i>Densité par groupe, sous groupe et richesse spécifiques moyennes par station en 2021 – secteur de Prony.....</i>	<i>164</i>
<i>Densité par groupe, sous groupe et richesse spécifiques moyennes en 2019 & 2021 – secteur de BKPb.....</i>	<i>167</i>

Liste des illustrations

Figure 1 : Positionnement des stations de suivi	22
Figure 2 : Piquet en Y marquant le départ de la station (gauche), numérotation des piquets. 13 : Transect T01, piquet 3 (droite).....	23
Figure 3 : Plongeur effectuant des relevés LIT et maladies	26
Figure 4 : Positionnement des stations utilisées pour la comparaison des données à celles des sites du RORC/ACROPORA dans la région (source : Georep).....	30
Figure 5 : Exemple de quadrat photographique en 2019 (gauche) et 2020 (droite) sur ST31	32
Figure 6 : Déroulement schématisé d'un comptage en plongée selon la méthode des transects à largeur variable (Source : Labrosse et al. 2001).	34
Figure 7 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différents substrats généraux par zone du secteur de Prony en 2021	46
Figure 8 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes familles coralliennes par zone du secteur de Prony en 2021 ..	47
Figure 9 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes formes coralliennes par zone du secteur de Prony en 2021 ...	47
Figure 10 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différents substrats généraux par zone du secteur de BKPB en 2021....	48
Figure 11 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes familles coralliennes par zone du secteur de BKPB en 2021 ..	49
Figure 12 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes formes coralliennes par zone du secteur de BKPB en 2021 ..	50
Figure 13 : Couverture corallienne moyenne totale (haut) et par forme (bas), pour les stations du RORC (campagne 2021 : Site de Prony), les stations du réseau Acropora (Campagne 2019 : Sites de Yaté, Ile Ouen) et les stations de ce présent suivi.....	51
Figure 14 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différents substrats généraux par zone du secteur BKPB en 2019 et 2021	52
Figure 15: Evolution du substrat entre 2019 (gauche) et 2021 (droite) sur ST32, ST31 et ST34 en baie Kwé. Flèche : tapis d'assemblages d'algues non fixées sur ST32.....	54
Figure 16 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes familles coralliennes par zone du secteur BKPB en 2019 et 2021	55
Figure 17 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes formes coralliennes par zone du secteur BKPB en 2019 et 2021	55
Figure 18 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différents substrats généraux par zone du secteur BKPB entre 2011 et 2021 sur les transects uniques conservés par station.....	56
Figure 19 : Présence d'Acanthasters sur STX02 (gauche) et ST02_O (droite), témoins de lésions récentes de prédation sur des coraux.....	57
Figure 20 : Couverture moyenne (%) indicative des différents substrat par station et zone du secteur de Prony entre 2011 et 2021 (source données: EMR 2011, Aquaterra 2008-2020).....	58
Figure 21 : Couverture moyenne (%) indicative des deux grands groupes de familles coralliennes par station et zone du secteur de Prony entre 2011 et 2021 (source données: EMR 2011, Aquaterra 2008-2020).....	59
Figure 22: Photo-quadrats en 2019 (gauche) et 2021 (droite) sur deux quadrats de ST31 et ST32 (Baie Kwé) deux quadrats de ST37 et ST39 (Port Boisé).....	61
Figure 23 : Prévalence de lésions coralliennes (% $\pm$ ET) par zone au sein du secteur de Prony. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/sédimentation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation.....	62
Figure 24 : Prévalence de lésions coralliennes (% $\pm$ ET) par zone et par famille au sein du secteur de Prony. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/sédimentation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation	63
Figure 25 : Prévalence de lésions coralliennes (% $\pm$ ET) par zone au sein du secteur de BKPB. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/sédimentation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation.....	64
Figure 26 : Photographie de Black Band Disease sur ST38 (haut - gauche) et de Skeletal Eroding Band sur ST34 (haut - droite) et prédation par Drupella sur ST34 (bas)	65
Figure 27 : Prévalence de lésions coralliennes (% $\pm$ ET) par zone et par famille au sein du secteur de BKPB. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/sédimentation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation	66

Figure 28 : Invasion de <i>Drupella</i> sur une colonie d' <i>Acropora</i> branchu sur ST39.....	66
Figure 29 : Prévalence de lésions coralliennes (% $\pm$ ET) par zone au sein du secteur de BKP en 2019 et 2021. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/sédimentation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation	67
Figure 30 : Prévalence de lésions coralliennes (%) par famille et par zone au sein du secteur de BKP en 2019 et 2021. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/sédimentation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation	68
Figure 31 : illustration des lésions coralliennes fréquemment rencontrées : A : <i>Porites</i> sp. totalement blanchi, B : Blanchissement partiel sur <i>Porites</i> sp., C : Pigmentation rose sur <i>Porites</i> sp., D : Malformation sur <i>Porites</i> sp., E : Compétition entre <i>Porites</i> sp. et des algues, F : sédimentation sur <i>Turbinaria</i> sp., G : Prédation d' <i>Acanthaster</i> sur <i>Acropora</i> sp., H : Skeletal Eroding Band sur <i>Acropora</i> sp.	69
Figure 32 : Couverture de vase (%) par typologie en 2019 et 2021 en zone BKP.....	70
Figure 33 : Prévalence de lésions coralliennes liées à la sédimentation/compétition (% $\pm$ ET) par typologie en 2019 et 2021	71
Figure 34 : Compétition entre algues et coraux sur ST38 (haut gauche), ST39 (haut droite), ST36 (bas gauche) et ST37 (bas droite) reflétant globalement l'état général des colonies coralliennes sur les stations de sorties de baie.....	71
Figure 35 : Couverture de vase par zone et stations dans le secteur de Prony en 2021	73
Figure 36 : Densité détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des trois zones du secteur de Prony en 2021. Les barres d'erreur correspondent aux écart-types.....	76
Figure 37 : Biomasse détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des trois zones du secteur de Prony en 2021. Les barres d'erreur correspondent aux écart-types.....	77
Figure 38 : Richesse spécifique détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des trois zones du secteur de Prony en 2021. Les barres d'erreur correspondent aux écart-types.	78
Figure 39 : Densité détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux zones en 2021. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type.....	81
Figure 40 : Biomasse détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux zones en 2021. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type.....	82
Figure 41 : Richesse spécifique détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux zones en 2021. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type.....	83
Figure 42 : Variations temporelles des paramètres de densité entre 2019 et 2021, pour chacune des deux zones (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). Les variables marquées d'un « * » sont celles présentant un effet significatif du facteur d'interaction « Campagne x Zone » à l'issue des modélisations Control-Impact. ET : Ecart-Type.....	87
Figure 43 : Variations temporelles des paramètres de biomasse entre 2019 et 2021, pour chacune des deux zones (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). Les variables marquées d'un « * » sont celles présentant un effet significatif du facteur d'interaction « Campagne x Zone » à l'issue des modélisations Control-Impact. ET : Ecart-Type.....	88
Figure 44 : Variations temporelles des paramètres de richesse spécifique entre 2019 et 2021, pour chacune des deux zones (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). Les variables marquées d'un « * » sont celles présentant un effet significatif du facteur d'interaction « Campagne x Zone » à l'issue des modélisations Control-Impact. ET : Ecart-Type.....	89
Figure 45 : Variations temporelles des paramètres de densité sur la période historique disponible, pour chacune des deux zones, sur la base de l'unique transect commun par station entre les différentes campagnes (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). ET : Ecart-Type.	90
Figure 46 : Variations temporelles des paramètres de biomasse sur la période historique disponible, pour chacune des deux zones, sur la base de l'unique transect commun par station entre les différentes campagnes (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). ET : Ecart-Type.	91
Figure 47 : Variations temporelles des paramètres de richesse spécifique sur la période historique disponible, pour chacune des deux zones, sur la base de l'unique transect commun par station entre les différentes campagnes (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). ET : Ecart-Type.	92
Figure 48 : Variations temporelles des valeurs uniques de densité, biomasse, et richesse spécifique sur les stations pour lesquelles un historique existe, sur la base d'un seul transect commun par station (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité).....	93
Figure 49 : Richesse spécifique par zone en 2021 dans le secteur de Prony.....	94
Figure 50 : Densité moyenne (/100m ²) d'échinodermes et de mollusques par zone dans le secteur de Prony	95

Figure 51 : Densité moyenne (/100m ²) de chaque sous groupe par zone dans le secteur de Prony	95
Figure 52 : Densité moyenne (/100m ²) de genres remarquables par zone du secteur de Prony en 2021	96
Figure 53: Indice moyen de couverture (± ET) pour les groupes taxonomiques coloniaux par zone dans le secteur de Prony.....	97
Figure 54 : Richesse spécifique par zone en 2021 dans le secteur de BKPB.....	98
Figure 55 : Densité moyenne (/100m ²) d'échinodermes et de mollusques par zone dans le secteur de BKPB.....	99
Figure 56 : Densité moyenne (/100m ²) de chaque sous groupe par zone dans le secteur de BKPB.....	99
Figure 57 : Densité moyenne (/100m ²) de genres remarquables par zone du secteur de BKPB en 2021	100
Figure 58: Indice moyen de couverture (± ET) pour les groupes taxonomiques coloniaux par zone dans le secteur de BKPB.....	101
Figure 59 : Densité moyennes d'invertébrés cibles du RORC sur les stations de cette présente étude (2021), des stations RORC (2021) et des stations ACROPORA (2019)	102
Figure 60 : Richesse spécifique (n espèces) par zone en 2019 et 2021 dans le secteur de BKPB	102
Figure 61 : Densité par groupe (/100m ²) par zone en 2019 et 2021 dans le secteur de BKPB.....	103
Figure 62 : Densité par sous-groupe (/100m ²) par zone en 2019 et 2021 dans le secteur de BKPB	104
Figure 63 : Densité de genres remarquables (/100m ²) par zone en 2019 et 2021 dans le secteur de BKPB	105
Figure 64 : Evolution de l'indice de couverture d'invertébrés coloniaux entre 2019 et 2021 par zone dans le secteur de BKPB.....	106
Figure 65 : Evolution de la richesse spécifique d'invertébrés entre 2011 et 2021 dans les deux baies avec un transect unique par station dans le secteur de BKPB.....	107
Figure 66: Evolution de la densité d'invertébrés par groupe entre 2011 et 2021 dans les deux baies avec un transect unique par station dans le secteur de BKPB	107
Figure 67 : Evolution de la densité d'invertébrés par sous-groupe entre 2011 et 2021 dans les deux baies avec un transect unique par station dans le secteur de BKPB.....	108
Figure 68: Evolution de la densité de genres remarquables d'invertébrés entre 2011 et 2021 dans les deux baies avec un transect unique par station dans le secteur de BKPB.....	109
Figure 69 : Evolution de la richesse spécifique d'invertébrés entre 2011 et 2021 sur les stations de chaque zone avec un transect unique par station dans le secteur de Prony.....	109
Figure 70 : Evolution de la densité d'invertébrés par groupe entre 2011 et 2021 sur les stations de chaque zone avec un transect unique par station dans le secteur de Prony.....	110
Figure 71 : Evolution de la densité d'invertébrés par sous-groupe entre 2011 et 2021 sur les stations de chaque zone avec un transect unique par station dans le secteur de Prony	111
Figure 72 : Evolution de la densité de genres remarquables d'invertébrés entre 2011 et 2021 sur les stations de chaque zone avec un transect unique par station dans le secteur de Prony	112

Liste des tableaux

Tableau 1 : Planning et conditions d'échantillonnage	16
Tableau 3 : Liste des stations de suivi – Baie de Prony et coordonnées GPS du piquet de départ de la station (Lambert NC)	21
Tableau 4 : Bilan des données brutes disponibles par station pour le transect commun utilisé lors de la campagne de 2021	25
Tableau 5 : Catégories de substrat retenues pour l'échantillonnage en LIT (English et al. 1997)	27
Tableau 6 : Regroupement de catégories réalisé pour l'analyse des données du LIT	29
Tableau 7 : Types de variables utilisés pour la caractérisation, l'analyse et la modélisation des peuplements ichtyologiques et de leurs variations spatio-temporelles.....	37
Tableau 8 : Liste des espèces d'invertébrés coloniaux et classes de recouvrement.	41
Tableau 9 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) pour chaque type de substrat sur les données de couverture transformées (racine carrée) en 2021 sur le secteur de Prony.....	46
Tableau 10 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) pour chaque type de substrat sur les données de couverture transformées (racine carrée) en 2021 sur le secteur de BKP. NS : Non significatif, * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$	49
Tableau 11 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne×Zone) pour chaque type de substrat sur les données de couverture transformées (racine carrée) sur le secteur de BKP. NS : Non significatif, * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$	53
Tableau 12 : Evolution de l'état de santé des colonies coralliennes dans les quadrats des stations du secteur BKP entre 2019 et 2021.	60
Tableau 13 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) sur les prévalences de lésions coralliennes transformées (racine carrée) sur le secteur de Prony en 2021	63
Tableau 14 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) sur les prévalences de lésions coralliennes transformées (racine carrée) sur le secteur de BKP en 2021	65
Tableau 15 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne et Zone) sur les prévalences de lésions coralliennes transformées (racine carrée) sur le secteur de BKP en 2021	68
Tableau 16 : Niveaux moyens de densité, de biomasse et de richesse spécifique observés en 2021 dans chacune des trois zones. Les écart-types pour les moyennes sont fournis entre parenthèses.	75
Tableau 17 : Résultats détaillés des analyses testant la significativité des différences des paramètres ichtyologiques entre les trois zones du secteur de Prony. NS : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$	79
Tableau 18 : Niveaux moyens de densité, de biomasse et de richesse spécifique observés en 2021 dans chacune des deux zones. Les écart-types pour les moyennes sont fournis entre parenthèses.	80
Tableau 19 : Résultats détaillés des analyses testant la significativité des différences des paramètres ichtyologiques entre les deux zones. NS : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$	84
Tableau 20 : Résultats des modélisations CI pour la détection de signaux de perturbation potentiels sur l'ichtyofaune dans le secteur de Baie Kwé -Port Boisé (représentés par le facteur d'interaction « Campagne x Zone »). NS : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$	86
Tableau 21:Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) sur les données transformées (racine carrée) de Richesse spécifique totale et de densité par groupe dans le secteur de Prony. NS : Non significatif, *** : $p < 0,001$	95
Tableau 22 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) sur les données transformées (racine carrée) de Richesse spécifique totale et de densité par groupe dans le secteur de Prony NS : Non significatif, ** : $p < 0,01$	98
Tableau 23 : Résultats des modélisations CI pour la détection de signaux de perturbation potentiels sur la faune macrobenthique dans le secteur de Baie Kwé -Port Boisé (représentés par le facteur d'interaction « Campagne x Zone »). NS : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$	103

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

L'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie – OEIL, et le Comité Consultatif Coutumier Environnemental (CCCE), ont missionné SOPRONER pour la réalisation d'une campagne de suivi des communautés récifales des Baies Kwé et de Port Boisé (secteur BKPB) et de la baie de Prony (secteur de Prony) en novembre 2021.

Contexte et historique

Concernant le secteur BKPB, cette campagne intervient à la suite de suivis réalisés sur les mêmes 8 stations, dans une configuration différente en 2011, 2013 et 2014, et dans une configuration identique, plus robuste, en 2019. En effet, afin d'améliorer la probabilité de détection d'impact, l'étude est ciblée sur le haut du tombant depuis 2019 avec une réplication de 3 transects sur cet habitat au sein de chaque station. Les stations suivies complètent le réseau de suivi réglementaire de PRNC (Prony Resources Nouvelle Calédonie), ce dernier ne disposant pas de stations biologiques réglementaires dans les deux baies ciblées. La baie Kwé dite « d'impact » est sous l'influence de bassins versants situés sur le périmètre d'exploitation de PRNC alors que la baie de Port Boisé, dite de « contrôle », n'est pas sous influence directe de l'activité de PRNC. Le substrat, les lésions coralliennes, les peuplements ichtyologiques et les peuplements macrobenthiques ont été échantillonnés lors de cette campagne 2021. Des quadrats photographiques permanents ont également été échantillonnés une seconde fois en 2021.

Concernant le secteur de Prony, la campagne 2021 intervient à la suite d'une campagne réalisée en 2011 sur 7 stations avec une stratégie d'échantillonnage identique à celle qui avait été implémentée sur le secteur de BKPB en 2011, 2013 et 2014. En 2021, ces 7 mêmes stations ont été visitées, ainsi qu'une station commune au suivi réglementaire de PRNC, et 4 nouvelles stations. Comme pour le secteur de BKPB en 2019, la configuration des stations a été optimisée en ciblant le haut du tombant avec l'installation de 3 transects sur cet habitat au sein de chaque station. La zone « Port de Prony » située à proximité du port de PRNC et la zone « Baie Nord », dite « d'impact » car sous l'influence de bassins versants situés sur le périmètre d'exploitation de PRNC, sont comparées à la zone « Grand Port », dite de « contrôle » puisqu'elle est exempte d'activité minière sur ses bassins versants amonts. Chacune de ces trois zones contient 4 stations de suivi.

Substrat

Concernant le secteur BKPB, la campagne de 2021 montre en moyenne une forte similarité des caractéristiques du substrat entre les deux zones (Baie Kwé et baie de Port Boisé) avec une couverture corallienne comprise entre 15 et 20%, dominée par les Acroporidae, et la présence de coraux de feu (Millepora) à hauteur d'environ 5%.

En termes d'évolution entre 2019 et 2021, aucun signal d'impact n'est détecté statistiquement sur les substrats coralliens totaux, par famille et par formes. Toutefois, une diminution de couverture corallienne (-12%), concernant principalement les Acroporidae, est observée en baie Kwé sur les deux stations de fond de baie. Les quadrats et vidéos montrent une forte dégradation sur les colonies coralliennes, probablement liée à de fortes précipitations (dessalure et/ou sédimentation) entre 2019 et 2021. La période entre les deux campagnes a notamment été marquée par le passage de 5 événements climatiques (Uesi, Gretel, Harold, Lucas, Niran) ayant provoqués de fortes précipitations. Cette tendance s'accompagne d'une augmentation de la couverture d'algues (turf, macroalgues, assemblages) dans les deux baies. Enfin, la couverture de cyanobactéries qui était non négligeable dans les deux baies en 2019 est quasiment nulle en 2021 confirmant le caractère variable des observations faites en 2019. L'évolution temporelle étudiée entre 2011 et 2021 sur un design plus limité (seulement 1 transect en commun entre les deux campagnes par station) confirme cette tendance constatée entre 2019 et 2021 et relativise la baisse de couverture corallienne observée en baie Kwé : en effet, la couverture corallienne de 2021 y reste proche ou supérieure à celle observée entre 2011 et 2014.

Concernant le secteur de Prony, la campagne de 2021 montre également en moyenne une forte similarité des caractéristiques du substrat entre les trois zones avec une couverture corallienne

comprise entre 15 et 25%, dominée par les Acroporidae et Poritidae, et toutefois quelques différences entre stations selon les zones. Les autres catégories de substrat présentent également des couvertures semblables dans chaque zone. En termes d'évolution entre 2011 et 2021 (ou 2007 et 2021) sur les stations disponibles avec un transect unique, une tendance générale à la baisse de la couverture corallienne est observée dans la baie de Prony. Dans les zones baie Nord et Grand Port, cette baisse atteint parfois -30/40% sur certaines stations alors que les stations de la zone Port de Prony ont vu leur couverture initialement faible se réduire davantage. Les tendances à la baisse de la couverture corallienne généralisée à la majorité des stations de la baie de Prony entre 2011 et 2021 semblent étroitement liées à des invasions d'*Acanthaster* passées (répertoriées entre 2015 et 2020 grâce à l'outil OREANET de l'IRD) ou récentes. Plusieurs gros individus ont en effet été observés sur certaines stations, à l'origine de lésions coralliennes récentes (cf. parties dédiées).

Parmi toutes les stations échantillonnées en 2021, et en comparaison aux stations de suivi participatif du RORC (2021) ou ACROPORA (2019) du secteur, les données montrent une forte hétérogénéité de la couverture corallienne par station (1% à 60%). Les stations ST32 (Baie Kwé) et ST12 (Port de Prony) de notre réseau sont les plus pauvres avec une couverture corallienne quasi nulle en 2021.

Photo-quadrats

Le bilan réalisé sur les 10 photo-quadrats par station du secteur BKPB en 2019 et 2021 illustre la tendance observée sur le substrat par LIT avec 100% de dégradation/mortalité des colonies coralliennes des stations de fond de baie Kwé. En sortie de cette baie, le bilan est partagé entre dégradation partielle/totale dans une moindre mesure (20/40%) et croissance corallienne (40%). A l'inverse, les quadrats de la baie de Port Boisé montrent une majorité de croissance corallienne (63%), avec toutefois de la dégradation partielle (25%) ou totale (8%) réparties de façon homogène au sein de la baie.

Etat de santé des coraux scléactiniaires

Concernant le secteur BKPB, la campagne de 2021 montre une prévalence de lésions liées à la sédimentation/compétition avec les algues supérieure en baie Kwé (72%) que Port Boisé (59%). Ces lésions sont logiquement plus fréquentes sur les stations de fond de baie Kwé (>80%) mais toutefois bien présentes en sortie de baie (40 à 60%). En baie de Port Boisé, leur prévalence est moins hétérogène selon leur localisation dans la baie. Aucune pullulation de maladies coralliennes de l'Indo-Pacifique n'a été observée (3 cas de « skeletal eroding band » sur la totalité des deux baies) les malformations coralliennes étant également présentes à une prévalence très faible (<0,2%). Enfin, une prévalence non négligeable de lésions de prédation a été observée dans les deux baies (7 à 9%), liée à la présence de pullulations localisées de gastéropodes corallivores du genre *Drupella*.

En termes d'évolution entre 2019 et 2021, aucun signal d'impact statistique n'est observé sur la prévalence de chaque type de lésions dans ce secteur. Toutefois, une forte augmentation de la prévalence de lésions de sédimentation/compétition est observée dans les deux baies (cf. section dédiée à la pression sédimentaire). Les autres types de lésions ne montrent pas de fortes évolutions hormis les lésions de prédation qui étaient peu présentes en 2019 et davantage présentes en 2021 dans les deux baies avec ces pullulations localisées de *Drupella*. L'étude des lésions par famille montre que la majorité des familles est touchée par les lésions de compétition/sédimentation chaque année.

Concernant le secteur de Prony, la campagne de 2021 montre que les lésions liées à la sédimentation/compétition sont les plus fréquentes sur les colonies dans chaque zone avec une prévalence moyenne plus faible que pour le secteur BKPB et comprise entre 40% et 55%. Dans les zones Grand Port et Baie Nord, les stations les plus enfoncées en fond de baie sont davantage touchées par ce type de lésions. Aucune maladie corallienne de l'Indo-Pacifique n'a été observée en baie de Prony et la prévalence de malformations coralliennes est faible dans chaque zone

(<0,1%). Les autres types de lésions montrent des prévalences très faibles dans chaque zone à l'exception des lésions de prédation atteignant 10% au Port de Prony, 7% en baie Nord et 1% à Grand Port. Ces lésions sont quasiment exclusivement liées à la présence récurrente d'Acanthasters dans la zone confirmant la tendance décrite sur le substrat.

Pression sédimentaire

La pression sédimentaire peut être indirectement évaluée à travers la couverture de vase issue du LIT (Line Intercept Transect) et la prévalence de lésions coralliennes liées à la sédimentation/compétition.

Dans le secteur de BKPB, l'analyse combinée de ces deux variables semble indiquer une pression sédimentaire d'origine terrigène plus importante en baie Kwé (dite d'impact potentiel au regard de l'activité de PRNC) qu'en baie de Port Boisé, avec un apport de particules fines lors d'événements pluvieux contribuant à une augmentation de la couverture de vase et de la mortalité (totale et/ou partielle) des coraux, davantage en fond de baie. L'état de santé des coraux dégradés, lié à cette sédimentation/compétition, a augmenté entre 2019 et 2021 dans les deux baies mais également en sortie de baie, indiquant potentiellement une dégradation générale de la qualité de l'eau pouvant compromettre l'état de santé des coraux directement ou indirectement (compétition avec macroalgues/Halimeda). L'étude réalisée sur la physico-chimie de l'eau et du sédiment dans les deux baies en 2020 (Moreton *et al.* 2020) montre que, malgré son statut de zone de référence, la baie de port Boisé n'est pas dénuée d'influence minière, par la présence de mines orphelines sur son bassin versant, mais également par une circulation hydrodynamique des eaux dans la zone pouvant créer des apports depuis la baie Kwé. Ce contexte pourrait expliquer un phénomène généralisé de dégradation de la qualité de l'eau dans les deux baies, à l'origine de nos observations sur la prévalence de lésions coralliennes.

Dans le secteur de Prony, l'analyse combinée de ces deux variables indique une pression sédimentaire moindre que sur le secteur BKPB et sans différence entre les zones.

Ichtyofaune

Sur le secteur de Prony, les données issues de la campagne 2021 ont mis en évidence une homogénéité des caractéristiques ichtyofaunistiques entre les trois zones qui composent ce secteur. Les similitudes se retrouvent au niveau des paramètres quantitatifs (densité, biomasse) et de la richesse spécifique, ainsi que dans leurs déclinaisons structurelles. Ces caractéristiques, telles qu'observées en 2021, ne montrent pas d'anomalie structurelle notable et apparaissent cohérentes avec le type de récifs présent dans ces zones (récifs frangeants abrités sous influence terrigène et sous influence d'une pression de pêche correspondant à une population rurale diffuse). La densité totale et la richesse spécifique totale apparaissent globalement inférieures en 2021 vis-à-vis des valeurs observées en 2011 (respectivement 5 et 4 stations inférieures sur les 7 stations pour lesquelles un historique indicatif est disponible), tandis qu'une tendance inverse est observée pour la biomasse totale. Sur ST12, l'historique intermédiaire 2012-2020 issu du suivi de PRNC est apparu difficilement comparable, notamment pour la biomasse et la richesse spécifique.

Sur le secteur de BKPB, la stratégie d'échantillonnage mise en place en 2019 offre désormais une configuration analytique adéquate pour étudier l'évolution de l'ichtyofaune et y rechercher avec rigueur d'éventuels signaux d'impact des activités de PRNC. A ce titre, les modélisations Contrôle/Impact n'ont présenté qu'une rare significativité du facteur d'interaction « Campagne x Zone » (24 cas non-significatifs sur 27 cas testés¹) indiquant des profils de variations similaires

¹ L'absence de variation statistique significative au cours d'une période de suivi suggère que la variable en question est restée stable, tant concernant de possibles variations ponctuelles que concernant des tendances générales continues à la hausse ou à la baisse. Dans certains cas, l'examen graphique peut certes suggérer des variations apparentes entre les valeurs moyennes des différentes années, mais il convient alors de considérer le niveau de variabilité spatio-temporelle correspondant à ces valeurs. En ce sens, l'absence de significativité statistique signifie que les évolutions éventuellement observées ne reflètent pas de réel changement et que le paramètre peut être considéré comme stable en regard de ses fluctuations naturelles.

entre zone sous influence (Baie Kwé) et zone de contrôle (Port Boisé) entre 2019 et 2021. De plus, les profils de variation associés aux trois cas significatifs ne correspondaient pas à des signaux d'impact sur l'ichtyofaune.

Ces résultats peuvent être mis en parallèle des résultats obtenus concernant les habitats coralliens, étant donné les liens forts existant entre ichtyofaune et habitats. En cohérence avec le diagnostic ichtyofaunistique, les caractéristiques des habitats locaux et notamment le recouvrement corallien n'ont pas montré de signal d'impact dans ce secteur entre 2019 et 2021. L'obtention d'une troisième année de données permettra toutefois de disposer d'une série temporelle plus informative pour étudier la trajectoire conjointe des habitats et de l'ichtyofaune dans ce secteur.

A titre indicatif, l'historique plus large indique une stabilité générale des densités en 2021 vis-à-vis des campagnes antérieures (2011, 2013 et 2014) sur les deux zones, et montre que les augmentations de biomasse observées en 2021 s'inscrivent davantage dans un retour aux niveaux historiques après des valeurs ponctuellement basses en 2019 dans la zone de la Baie Kwé. La richesse spécifique apparaît globalement plus élevée sur ce secteur en 2021 par rapport à l'historique disponible.

Invertébrés

Concernant le secteur BKPB, la campagne de 2021 montre une diversité totale d'invertébrés légèrement supérieure en baie de Port Boisé qu'en baie Kwé. Les densités d'échinodermes et de mollusques sont similaires dans les deux baies, avec une forte dominance des mollusques dont la densité est équitablement répartie entre gastéropodes et bivalves dans chaque baie. Parmi les genres remarquables, aucune invasion d'*Acanthaster* n'est identifiée alors que des pullulations de *Drupella* très localisées sur 3 stations (ST34, ST38/39) sont confirmées à travers les données de densité. Concernant les organismes coloniaux, leurs couvertures sont faibles dans chaque zone à l'exception des coraux scléractiniaires. Les indices de couverture de coraux mous (*Alcyonnaires*), de coraux de feu (*Milleporina*) et de *Lobophora* sont supérieurs en baie de Port Boisé.

En termes d'évolution entre 2019 et 2021, aucun signal d'impact statistique n'est détecté sur la diversité totale ou les densités d'échinodermes et de mollusques. La densité d'échinodermes montre toutefois une légère diminution dans chaque zone entre les deux dates, liée aux *Astérides* essentiellement et à relativiser compte tenu de la faible densité d'échinodermes observée en moyenne chaque année dans chaque zone ($< 12,5$ indiv/100m²). Une augmentation de la densité de mollusques est observée dans les deux zones, principalement des gastéropodes, parmi lesquels les *Drupella* contribuent fortement. Parmi les genres d'invertébrés remarquables, les *Acanthasters*, *Coralliophila* et bénitiers (genre *Tridacna*) affichent chaque année des densités nulles ou très faibles dans chaque zone. Concernant les organismes coloniaux, peu d'évolutions sont observées entre 2019 et 2021 : seule une légère augmentation de la couverture de macro-algues *Lobophora* est détectée sur les deux stations de fond de baie de Port Boisé, conformément à la tendance observée par LIT. L'évolution temporelle étudiée entre 2011 et 2021 sur un design plus limité montre une stabilisation de la diversité depuis 2014 en baie de Port Boisé alors qu'une baisse est observée en baie Kwé entre 2019 et 2021. La densité d'échinodermes ne montre pas d'évolution particulière dans aucune des baies entre 2011 et 2021 alors que celle de mollusques est maximale en 2021 dans toutes les baies, principalement du fait des gastéropodes comme cela a été observé sur le nouveau design. Concernant les genres remarquables, les densités de chaque genre restent très faibles chaque année depuis 2011, malgré la présence d'invasions très localisées de *Drupella* mises en évidence en 2021 dans chaque zone.

Concernant le secteur Prony, la campagne de 2021 montre une diversité totale légèrement supérieure en Baie Nord (17,5 espèces en moyenne) par rapport aux autres zones (13 à 14 espèces en moyenne). En termes de densités, les mollusques et plus particulièrement les bivalves dominent les peuplements avec une densité totale d'invertébrés (échinodermes + mollusques) significativement supérieure en zone de contrôle (Grand Port, environ 200 indiv/100m²) par rapport aux deux autres zones (entre 75 et 100 indiv/100m²). Deux stations de la zone Grand Port bénéficient en effet de fortes densités de bivalves du genre *Barbatia* (ST18_O) ou du genre *Ptera*

(STX06). Parmi les genres remarquables, les densités sont faibles avec toutefois 5 individus d'*Acanthasters*/100m² observés sur STX02 confirmant les signes de prédateurs récents sur les coraux. Cette densité reste inférieure aux abondances moyennes observées sur les 17 sites de prolifération d'*Acanthaster* observés en Nouvelle-Calédonie entre 2015 et 2019 (7,22 indiv/100m²).

L'évolution temporelle étudiée entre 2011 et 2021 sur un design limité montre une baisse de diversité sur le transect du Port de Prony lié à l'absence de Gastéropodes et Echinides en 2021. A l'inverse, elle a peu évolué à Grand Port et augmenté en Baie Nord. Concernant les densités par groupe et malgré des tendances difficilement interprétables, une baisse de la densité de bivalves est observée sur deux stations de Baie Nord, plus précisément liée aux espèces *Arca ventricosa* (ST05_O) et *Pteria sp.* (ST13_O). Enfin, concernant la densité de genres remarquables, aucune invasion d'organisme corallivore (*Acanthaster*, *Drupella*, *Coralliophila*) n'a été observée lors des campagnes.

Parmi toutes les stations échantillonnées en 2021, et en comparaison aux stations de suivis participatifs du RORC (2021) ou ACROPORA (2019) du secteur, les données montrent que les stations de Baie Kwé et Port Boisé obtiennent les plus faibles densités d'invertébrés depuis 2019 dans la zone.

Conclusion

Dans le secteur de BKPB, la modélisation de type Contrôle/Impact réalisée sur les différents compartiments entre 2019 et 2021 montre l'absence de signal d'impact significatif lié aux activités de PRNC sur cette période. Toutefois, une dégradation des habitats coralliens est observée sur les stations de fond de baie Kwé, probablement liée à l'apport de fortes quantités d'eau douce et de sédiments générées par les phénomènes climatiques extrêmes survenus en Nouvelle-Calédonie en 2020 et 2021. Une augmentation de la prévalence des lésions coralliennes liées à la sédimentation et à la compétition avec les algues, généralisée aux deux baies étudiées (Port Boisé et Kwé) suggère, en parallèle à ce constat, une dégradation générale de la qualité de l'eau dans ce secteur.

Dans le secteur de Prony, la campagne de 2021 a permis de mettre en place une stratégie d'échantillonnage robuste qui permettra à l'avenir de réaliser une modélisation de type Contrôle/Impact sur l'ensemble du secteur de Prony (incluant les zones Port de Prony, Baie Nord et grand Port), selon une approche statistiquement rigoureuse et identique à celle désormais implémentée sur le secteur de BKPB. L'état des lieux réalisé ici montre une forte similarité entre chaque zone pour chaque compartiment, avec de nombreuses stations dégradées par des invasions d'*Acanthasters* passées. Ainsi, la campagne de 2021 a permis de caractériser efficacement les communautés récifales dans les cinq zones échantillonnées et d'en mesurer la variabilité intrinsèque dans une optique d'analyses statistiques. Elle a permis de mettre en œuvre les démarches analytiques nécessaires à un diagnostic rigoureux concernant l'influence du complexe de PRNC sur les communautés récifales de la Baie Kwé, à travers une approche Control-Impact. Cette approche devra impérativement être poursuivie selon un schéma analytique identique lors des prochaines campagnes dans ce secteur et inclure le nouveau réseau de stations du secteur de Prony.

Les résultats de ce rapport démontrent l'importance de réaliser une campagne d'échantillonnage annuelle au regard des événements climatiques et autres perturbations pouvant avoir lieu annuellement. Cette fréquence permet de faciliter l'identification des causes étant à l'origine d'évolutions importantes en les corrélant aux différents événements de l'année écoulée (épisode de blanchissement thermique, invasion d'*Acanthasters*, cyclones, activités industrielles et minières).

Enfin, cette deuxième campagne réalisée sur un design de type Contrôle / Impact dans la zone BKPB montre la nécessité de croiser les résultats obtenus avec d'autres suivis environnementaux répartis des bassins versants jusqu'au milieu marin pour tenter de mieux discriminer la contribution de l'activité minière dans les perturbations observées sur les récifs coralliens.

EQUIPE ET CONDITIONS D'INTERVENTION

Tom HEINTZ : diplômé de l'Université James Cook (Townsville - Australie), ingénieur de projet en écologie marine au sein de la société SOPRONER est le coordinateur de l'étude. Il a implanté les stations, échantillonné le substrat et les maladies coralliennes, réalisé les photos/vidéos. Il a également analysé des données sur le substrat, les maladies coralliennes et le macrobenthos.

Nicolas GUILLEMOT : ingénieur halieute de l'ENSAR, docteur en sciences environnementales et halieutique, gérant de la société DEXEN. Il a réalisé les analyses statistiques des données ichtyologiques, et l'interprétation des données ichtyologiques.

Daisy GOROPARAWA : Co-gérante de la société EGLE, plongeuse professionnelle et taxonomiste des invertébrés. Elle a réalisé les relevés sur le macrobenthos.

Pierre LABOUTE : consultant, issu de l'ORSTOM et auteur de nombreux ouvrages sur la faune marine de Nouvelle-Calédonie. Il a réalisé les relevés sur l'ichtyofaune.

Christophe CLEDOR : gérant de la société EGLE, capitaine 200 et plongeur professionnel (CAH2B) est le responsable logistique des moyens à la mer.

La mission a été réalisée dans les conditions suivantes et selon le planning suivant (Tableau 1) :

Tableau 1 : Planning et conditions d'échantillonnage

Date	Station	Heure départ	Heure sortie	Profondeur	T°C eau	courant	Visibilité	Force vent (nœuds)	Direction vent
15/11/2021	ST18_O	9h20	11h20	4	25	nul	9	5	ESE
15/11/2021	ST22_O	11h45	13h30	3,5	25	faible	10	10	ESE
16/11/2021	ST03_O	11h45	13h15	4	25	nul	8	5	ESE
16/11/2021	STX01	7H50	9H20	3	26	nul	7	5	ESE
16/11/2021	ST01_O	10H	11H	4,5	24	nul	8	10	ESE
17/11/2021	ST02_O	7h50	9h20	4	24	nul	8	5	ESE
17/11/2021	ST05_O	9h40	11h	4	24	faible	8	5	ESE
17/11/2021	ST13_O	11h20	12h45	3	25	nul	7	10	ESE
18/11/2021	ST12	7h50	8h50	5	24	nul	7	5	ESE
18/11/2021	STX02	9h10	10h10	4	24	nul	10	5	ESE
18/11/2021	STX05	10h40	11h50	3	26	nul	7	10	ESE
18/11/2021	STX06	12h20	13h30	3	27	nul	10	10	ESE
22/11/2021	ST37	9h55	11h40	2	25	nul	7	15	SE
22/11/2021	ST36	12h	13h45	3	25	nul	8	10	SE
23/11/2021	ST32	8h30	9h45	3	25	nul	5	5	SE
23/11/2021	ST31	10h	11h50	2,5	25	faible	6	5	SE
23/11/2021	ST33	12h10	14h10	3	25	nul	8	5	SE
24/11/2021	ST34	8h25	10h30	3	25	nul	9	5	SE
24/11/2021	ST39	10h45	12h45	3	24	nul	7	5	SE
24/11/2021	ST38	13h	15h	4	25	nul	7	5	SE

INTRODUCTION

L'Observatoire de l'Environnement en Nouvelle Calédonie (OEIL) et le Comité Consultatif Coutumier Environnemental (CCCE) ont missionné SOPRONER pour la réalisation d'un état des lieux des communautés récifales dans la baie Kwé, la baie de Port Boisé et la baie de Prony en 2021.

Cet inventaire fait suite à la réalisation de plusieurs inventaires successifs :

En baie Kwé (BK) et baie de Port Boisé (BPB): en 2011², 2013³, 2014⁴, 2019⁵ dans les deux baies ; La baie Kwé sous influence du bassin versant exploité par Prony Resources Nouvelle-Calédonie (PRNC) et la baie de Port Boisé identifiée hors d'influence du complexe minier.

En baie de Prony (BP): en 2011⁶, et/ou depuis 2007 dans trois zones de la baie : Baie Nord, Port de Prony sous influence des bassins versants exploités par PRNC et Grand port, identifiée hors d'influence du complexe minier.

En 2014, l'OEIL a également commandité à la demande de la province Sud une étude pour mener une réflexion consacrée à l'optimisation du plan de suivi réglementaire du milieu marin imposé à l'exploitant Vale NC. A l'issue de ce travail, un plan de suivi optimisé répondant pleinement aux objectifs définis par les gestionnaires a été remis à l'autorité publique en 2015⁷. Cette campagne de suivi est établie sur la base des recommandations formulées dans cette étude.

L'objet de la présente étude est de mettre en œuvre les actions de suivi des communautés récifales préconisées par l'OEIL et qui sont complémentaires aux suivis réglementaires actuellement menés par l'exploitant.

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Mettre en place un réseau de 12 stations en baie de Prony sur la base d'une nouvelle stratégie d'échantillonnage ;
- Entretenir le réseau de 8 stations implanté en baie de Port Boisé et baie Kwé en 2019 ;
- Réaliser un état des lieux pour caractériser les communautés récifales dans ces trois baies en 2021 ;
- Comparer le substrat et les communautés d'invertébrés des trois baies échantillonnées en 2021 à des sites proches suivis par le RORC (Réseau d'Observation des Récifs Coralliens) et le réseau ACROPORA ;
- Evaluer quantitativement et statistiquement l'évolution de ces communautés au sein des baies Kwé et de Port Boisé (secteur BKPB) entre 2011 et 2021 selon une stratégie CI (Contrôle-Impact), et plus précisément entre 2019 et 2021 selon la nouvelle stratégie d'échantillonnage ;
- Evaluer quantitativement l'évolution de ces communautés au sein des différentes stations de la baie de Prony (secteur de Prony) entre 2011 et 2021 ;
- Discuter l'évolution de l'état de santé des trois baies (Prony, Kwé et Port Boisé) au regard de l'activité industrielle de PRNC et d'autres facteurs naturels influençant les caractéristiques écologiques des récifs.

² Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/2469>

³ Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/5688>

⁴ Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/10153>

⁵ Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/29881>

⁶ Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/2469>

⁷ Bouvet G. & Guillemot N. 2015. Révision du plan de suivi du milieu marin dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale Nouvelle-Calédonie. OEIL. 160 pages. Document confidentiel.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

I. ZONE D'ÉTUDE ET STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

I.1. SITUATION GÉNÉRALE

La zone d'étude concerne la baie Kwé, la baie de Port Boisé et la baie de Prony comportant trois zones d'échantillonnage (Grand Port, Port de Prony et Baie Nord), situées au sud de la Nouvelle-Calédonie (Figure 1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

I.1.1. Secteur de baie kwé et baie de Port Boisé (nommé secteur BKPB dans le reste du document)

La baie Kwé se situe en aval de différents bassins versants sous influence de l'activité minière de PRNC alors que la baie de Port Boisé est considérée comme une baie de contrôle puisqu'elle n'est *a priori* l'exutoire d'aucun bassin versant sous l'influence de l'industriel.

I.1.2. Secteur de Prony

La baie de Prony est l'exutoire de plusieurs bassins versants dont :

- Les bassins versants du Port de Prony (Zone Port de Prony) ;
- Le bassin versant du Creek Baie Nord sous influence de l'usine de traitement de PRNC et le bassin versant Kadji sous influence de la base vie (Zone Baie Nord) ;
- Les bassins versant hors d'influence des activités de PRNC (Zone Grand Port).

I.2. ZONE D'ÉCHANTILLONNAGE – SECTEUR BKPB

La zone échantillonnée est présentée sur la Figure 1.

Elle comporte 8 stations de suivi réparties en 2 zones, décrites dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Liste des stations de suivi – Baie Kwé et Port Boisé et coordonnées GPS du piquet de départ de la station (Lambert NC)

Secteur	Zone	Impact/contrôle	Station	X	Y
BKPB	Baie Kwé	Impact potentiel	ST31	206601	501370
			ST32	206516	501086
			ST33	205964	501696
			ST34	205822	501333
	Baie Port Boisé	Contrôle	ST38	205769	499263
			ST39	205689	498717
			ST36	204692	499372
			ST37	205203	500074

Les plans de stations sont disponibles en Annexe I.

I.3. ZONE D'ÉCHANTILLONNAGE – SECTEUR DE PRONY

La zone échantillonnée est présentée sur la Figure 1.

Elle comporte 12 stations de suivi réparties en 3 zones, décrites dans le Tableau 2.

Tableau 3 : Liste des stations de suivi – Baie de Prony et coordonnées GPS du piquet de départ de la station (Lambert NC)

Secteur	Zone	Impact/contrôle	Station	X	Y
	Grand Port	Contrôle	STX05	209373	485935
			STX06	209143	486593
			ST18_O	208045	486553
			ST22_O	207675	485523
	Baie Prony Baie Nord	Impact potentiel	ST01_O	206677	490291
			ST02_O	207558	489592
			ST03_O	207754	490252
			ST05_O	208584	490019
	Port de Prony	Impact potentiel	STX01	206546	490701
			STX02	204065	492168
			ST12	205056	492068
			ST13_O	206142	491145

Les plans de stations sont disponibles en Annexe I.

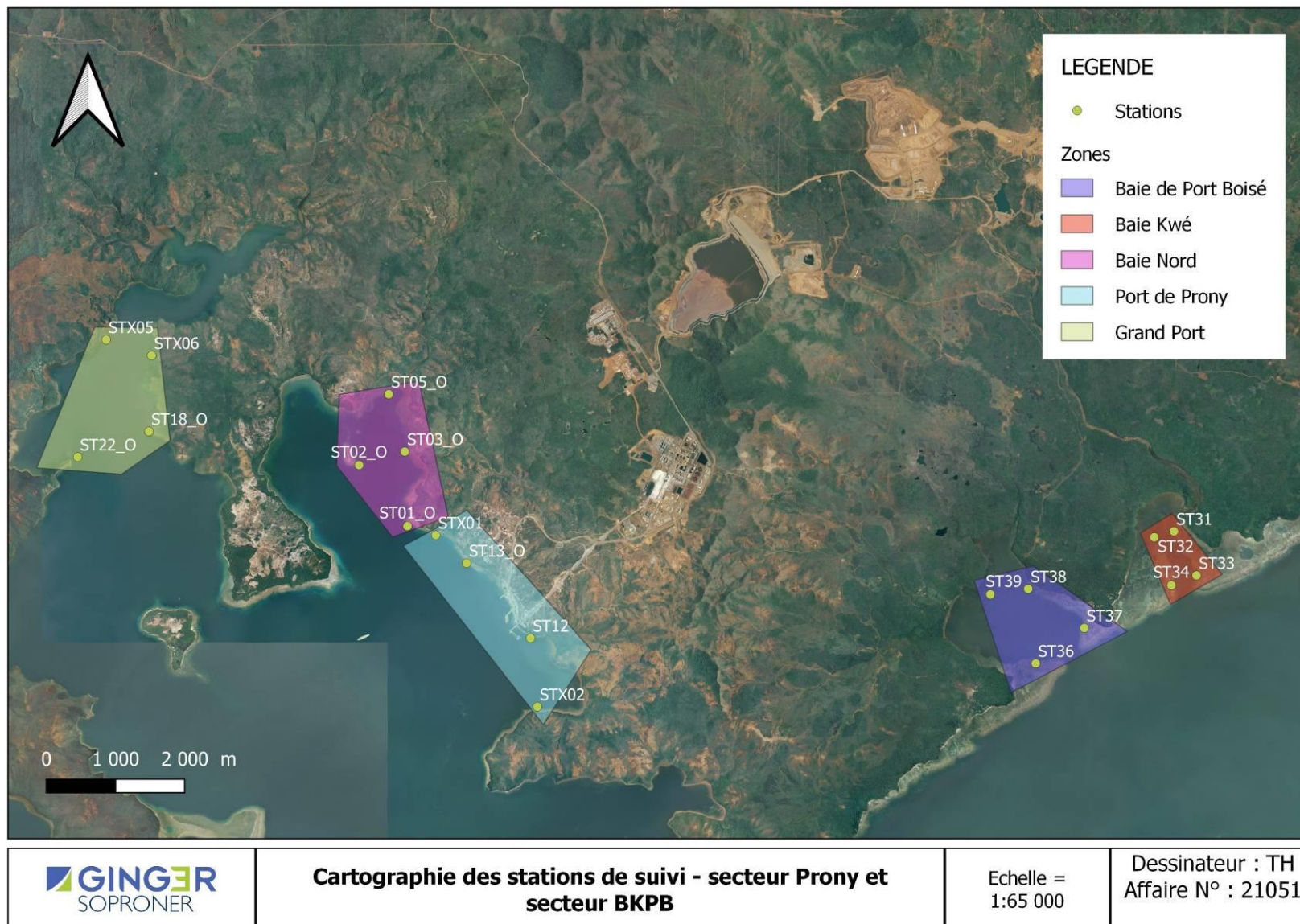


Figure 1 : Positionnement des stations de suivi

I.4. IMPLANTATION DES STATIONS

Sur chaque station, le point GPS fournit (Tableau 2 et Tableau 3) constitue le point de départ de la station marqué par un piquet en Y (Figure 2). Les stations sont ensuite composées de 3 transects de 20m disposés en série, séparés de 10m chacun sur le haut de tombant et à une profondeur relativement homogène.

Les transects sont placés en série afin de garantir l'inventaire d'un unique habitat sur toute la station et d'optimiser la recherche des piquets lors des prochaines campagnes. Lors de l'implantation des 3 transects, il a été vérifié que le milieu était suffisamment homogène sur toute la longueur de la station pour permettre une mise en place de transects en série. Un piquet comportant une étiquette est présent tous les 5m pour chaque transect (exemple : 13 pour le transect T01, piquet 3, cf Figure 2). Le début de T01 est marqué par un piquet en Y alors que le début T02 et T03 sont marqués par deux piquets simples en doublon.



Figure 2 : Piquet en Y marquant le départ de la station (gauche), numérotation des piquets. 13 : Transect T01, piquet 3 (droite)

II. LIEN AVEC LES ÉTUDES PRÉCÉDENTES ET BILAN DES DONNÉES DISPONIBLES

II.1. SECTEUR DE BKPB

La campagne de 2019 (Heintz *et al.* 2020) avait permis de réaliser les diagnostics suivants selon les données disponibles antérieurement à la campagne :

- Comparaison des données aux campagnes antérieures à 2019 restreinte aux études réalisées sur les stations communes à cette présente étude : EMR (2011), EMR (2013), SQUALE (2014). Bien que plusieurs études aient été réalisées en baie Kwé en 1994 (Thollot & Wantiez 1994), 2000 (Sarraména 2000) et 2007 (Melanopus 2007), celles-ci ont été réalisées sur des stations différentes en utilisant des méthodes différentes, rendant tout diagnostic d'évolution discutable et peu pertinent.
- Comparaison temporelle entre 2011, 2013, 2014, 2019 et 2019 basée sur la prise en compte de l'unique transect commun à chacune des campagnes, les stratégies antérieures ayant utilisé 3 transects à des profondeurs différentes.

En 2021 et suite à la mise en place d'une stratégie d'échantillonnage optimisée en 2019 basée sur l'utilisation de 4 stations par zone, comportant chacune 3 transects sur un habitat unique (haut de tombant), le diagnostic suivant est réalisé :

- Une comparaison temporelle, entre 2019 et 2021, basée sur la prise en compte des 3 transects par station, permettant une analyse de type CI (Contrôle-Impact) statistique à l'échelle des zones.
- Comparaison temporelle entre 2011, 2013, 2014, 2019 et 2021 basée sur la prise en compte de l'unique transect commun à chacune des campagnes, les stratégies antérieures ayant utilisé 3 transects à des profondeurs différentes. Ce diagnostic reste toutefois purement informatif afin d'apprécier la tendance de dévolution depuis 2011.

II.2. SECTEUR DE PRONY

Parmi les stations échantillonnées en baie de Prony (Tableau 4):

- Une station (ST12) est issue du suivi réglementaire réalisé par PRNC depuis 2007 en utilisant la stratégie d'un transect par habitat sur le format A, B, C. Cette station dispose ainsi d'un transect commun avec notre étude : le transect A placé à 5m de fond.
- Six stations sont issues d'une étude réalisée par l'OEIL (EMR 2011) en utilisant également la stratégie d'un transect par habitat sur le format A, B, C. Ces stations disposent ainsi d'un transect commun avec notre étude : le transect B placé généralement sur le haut de tombant (3m de fond).

En 2021, le diagnostic temporel suivant est réalisé :

- Comparaison temporelle entre 2007 et 2021 (ST12) ou 2011 et 2021 (autres stations) basée sur la prise en compte de l'unique transect commun à chacune des campagnes, les stratégies antérieures ayant utilisé 3 transects à des profondeurs différentes.

Ce diagnostic reste toutefois purement informatif et est utilisé uniquement afin d'obtenir une tendance générale sur l'évolution de l'état de santé des récifs dans le secteur de Prony, pour les raisons suivantes :

- Absence des piquets implantés anciennement sur les stations à l'exception de ST12 qui fait l'objet d'un suivi annuel depuis 2007. Les transects communs ne sont ainsi pas placés à l'identique entre les campagnes sauf pour ST12, induisant un biais important sur l'évolution temporelle des données ;
- Utilisation d'un transect unique par station, avec un nombre limité de stations par zone, ne permettant pas le calcul de moyennes et de comparaison statistique temporelle permettant d'identifier la variabilité au sein d'une même station.

Tableau 4 : Bilan des données brutes disponibles par station pour le transect commun utilisé lors de la campagne de 2021

Secteur	Zone	Contrôle / Impact	Station	Campagnes précédentes disponibles sur 1 T	Données LIT	Données invertébrés	Données poissons
Prony	Grand Port	Contrôle	STX05	-			
			STX06	-			
			ST18_O	2011	Oui	Oui	Oui
			ST22_O	2011	Oui	Oui	Oui
	Baie Nord	Impact potentiel	ST01_O	-			
			ST02_O	2011	Oui	Oui	Oui
			ST03_O	2011	Oui	Oui	Oui
			ST05_O	2011	Oui	Oui	Oui
	Port de Prony	Impact potentiel	ST12	2007 à 2020	Oui	Non	Oui
			STX01	-			
			STX02	-			
			ST13_O	2011	Oui	Oui	Oui

Ces contraintes, impliquant une faible pertinence et robustesse de cette comparaison temporelle par station, justifient une limitation de l'analyse à l'utilisation de quelques grands indicateurs d'état de santé des récifs qui sont les suivants :

- Substrat : Couverture de coraux durs et coraux mous
- Invertébrés : Diversité totale, densité pour les Mollusques et Echinodermes et par sous-groupe (sauf pour ST12 car les données brutes disponibles sont uniquement semi-quantitatives)
- Poissons : Densité, diversité et biomasse totales

Par ailleurs, aucune analyse de l'évolution temporelle à l'échelle des zones n'est réalisée, par manque de réplication au sein des zones ne permettant pas un calcul de moyennes (Tableau 4). En effet, deux zones (Grand Port et Port de prony) ne sont pourvues que de deux stations.

III. SUIVI DU SUBSTRAT ET DES COMMUNAUTÉS CORALLIENNES

Les méthodologies d'échantillonnage des différents compartiments sont restées strictement identiques entre 2019 et 2021.

III.1. ECHANTILLONNAGE

La caractérisation du substrat a été effectuée à l'aide de deux méthodes :

- Le Line Intercept Transect (LIT) donnant des informations de couverture de substrat ;
- Le comptage des colonies coralliennes, ainsi que la caractérisation de leur état de santé afin de caractériser les communautés coralliennes et de détecter la présence de perturbations.

III.1.1. LIT

La méthode du LIT est largement utilisée pour la description des habitats coralliens et fournit des données en pourcentage de couverture de différentes catégories de substrat sur une longueur donnée.

Sur chacun des 3 transects linéaires LIT de 20m de long, un ruban métré est déployé et la distance au dessus de chaque type de substrat est mesurée afin d'obtenir un pourcentage de substrat sur une distance de 20m (Figure 3). Les catégories définies par English et al. (1997) ont été retenues pour caractériser la nature du substrat sous le ruban (Tableau 5).



Figure 3 : Plongeur effectuant des relevés LIT et maladies

Afin d'affiner la qualité des données et d'apprécier la diversité et la sensibilité corallienne des stations, chaque colonie corallienne a été relevée au niveau du genre. Une correspondance est toutefois gardée avec les catégories de English et al. (1997) afin de garder une continuité avec les campagnes précédentes.

Tableau 5 : Catégories de substrat retenues pour l'échantillonnage en LIT (English et al. 1997)

Codes	Signification	Description
dc	Corail mort récemment	Couleur blanche sans polypes
dca	Corail mort en place recouvert d'algues	Corail mort recouvert d'algues
acb	Acropora branchu	Au moins 2 niveaux de branches
acs	Acropora submassif	
acd	Acropora digité	Branches en forme de doigts
act	Acropora tabulaire	Branches aplaties horizontalement
ace	Acropora encroûtant	
cb	Corail branchu	Au moins 2 niveaux de branches
ce	Corail encroûtant	
cf	Corail foliaire	Corail en forme de feuille
cm	Corail massif	
cs	Corail submassif	
cmr	Fungia spp.	Corail solitaire
cme	Millepora spp.	Corail de feu
sc	Corail mou	
sp	Eponge	
zo	Zoanthaires	
ot	Autres organismes	Ascidies, anémones, gorgones, bénitiers
aa	Assemblage d'algues	
ma	Macrophyte	
ta	Turf algaires	
ca	Algues calcaires	
hali	Halimeda spp.	
Her	Herbier	
s	Sable	Particules < 2 cm
r	Débris	2 cm = particules < 10 cm
si	Vase	
wa	Crevasse	Crevasse de plus de 50 cm
rck	Roches et dalle corallienne	

III.1.2. Densité de colonies coralliennes et prévalence de lésions coralliennes

Pour caractériser les communautés coralliennes et leur état de santé sur les stations, les transects utilisés pour le LIT ont été utilisés en échantillonnant un couloir de 2m de large (1m de chaque côté

du ruban). Au sein de cette zone de 40m², chaque colonie corallienne a été recensée au niveau du genre et classifiée soit en bonne santé, soit perturbée selon un type de lésions particulier.

Les types de lésions observées ont été classés comme suit :

- Blanchissement (total et partiel)
- Pigmentation (décoloration, spots)
- Malformations coralliennes
- Prédation (étoiles de mer *Acanthaster*, coquillages *Drupella* ou *Coralliophila*, poissons, autre)
- Lésion liée à la sédimentation/compétition avec les algues
- Maladie corallienne (White syndrome, Black band disease, Skeletal eroding band, Brown band disease, Black death, Ulcerative white spots, cf Beeden et al. 2008)

III.2. ANALYSE DES DONNÉES

D'un point de vue général, les données sont décrites par zone au sein de chaque secteur (secteur de Prony et secteur de BKP). Les données par station sont illustrées en Annexe II et permettent d'affiner les tendances observées par baie, en différenciant notamment les fonds des sorties de baies.

III.2.1. LIT

Pour l'analyse des données obtenues selon English et al. (1997), un regroupement par type de substrat a été effectué comme suit :

- Coraux scléractiniaires
- Coraux Acroporidae
- Coraux Non-Acroporidae
- Coraux morts récemment
- Coraux mous
- Autres organismes
- Algues calcaires
- Algues
- Corallines
- Substrats abiotiques

Afin d'affiner le diagnostic, les données de couverture de coraux scléractiniaires ont été regroupées dans un second temps par formes (branchues, sub-massives, massives, digitées, tabulaires, encroûtantes, foliaires, solitaires), par famille corallienne (si les données sont disponibles) ou en différenciant les Acroporidae des non-Acroporidae.

L'analyse sur le substrat est réalisée selon trois types de regroupements (Tableau 6).

Tableau 6 : Regroupement de catégories réalisé pour l'analyse des données du LIT

Général	Forme corallienne	Famille coralliennes ou	Acroporidae/Non-Acroporidae
Abiotique	Corail branchu	Toutes familles	Acroporidae
Algues	Corail digité		Non-Acroporidae
Algues calcaires	Corail encroutant		
Autre faune	Corail foliaire		
Corail millepora	Corail massif		
Corail mort récemment	Corail millepora		
Coraline	Corail solitaire		
Coraux scléactiniaires	Corail sub-massif		
Coraux mous	Corail tabulaire		
Cyanobactéries	Coraux mous		

III.2.1.1. Etat des lieux 2021

Les données récoltées ont permis de calculer la couverture (en %) des différents substrats étudiés par transect, station et par zone. Une description des substrats par zone est ainsi réalisée pour chaque secteur.

- Secteur BKPB
- Secteur Prony

Afin d'apprécier la significativité des différences observées entre zones au sein de chaque secteur pour chaque type de substrat, une analyse de variance (ANOVA) à un facteur (Zone) a été réalisée, en vérifiant que les données remplissent les conditions de normalité et d'homogénéité des variances nécessaires à ce type de test (Zar 1999). Dans le cas où une différence significative apparaît, un test post-hoc de Tukey HSD est réalisé afin d'identifier l'origine de la différence observée.

Les couvertures de substrat par station sont fournies en Annexe II.

III.2.1.2. Comparaison à des sites de la région en 2019 et 2021

Grâce au Réseau d'Observation des Récifs Coralliens (RORC) de Nouvelle-Calédonie, l'état de santé de certains récifs calédoniens est évalué chaque année depuis 1997. Ce réseau de surveillance s'est étoffé au fil du temps pour atteindre, fin 2019, 82 stations de suivi sur les trois provinces. Les observations sont réalisées par des plongeurs bénévoles formés et encadrés par des scientifiques. Elles sont ensuite partagées avec les gestionnaires et le grand public.

Une comparaison des couvertures coralliennes relevées en 2021 dans le cadre de cette étude en baies Kwé, Port Boisé et de Prony est réalisée avec une sélection de 2 récifs suivis dans le cadre du RORC (en 2021) et 5 récifs suivis par le réseau Acropora (en 2019, pas d'échantillonnage en 2020 et 2021) situés à proximité de la zone d'étude. La méthodologie utilisée pour ces suivis participatifs utilise 4 transects de 20m par station et relève la couverture de coraux par la méthode du PIT (Point Intercept Transect) en utilisant 40 points par transects de 20m (1 point tous les 50cm).

Sept stations réparties sur 3 sites ont été choisies pour les comparaisons (Figure 4) :

- Site de Prony (2 stations : Casy, Bonne anse)
- Site de l'île Ouen (2 stations : Bodjo, Da Moa)
- Site de Yaté (3 stations : Mwarémwa (anciennement Paradis), Bekwé, Wé Jouo (anciennement Passe de Toémo))

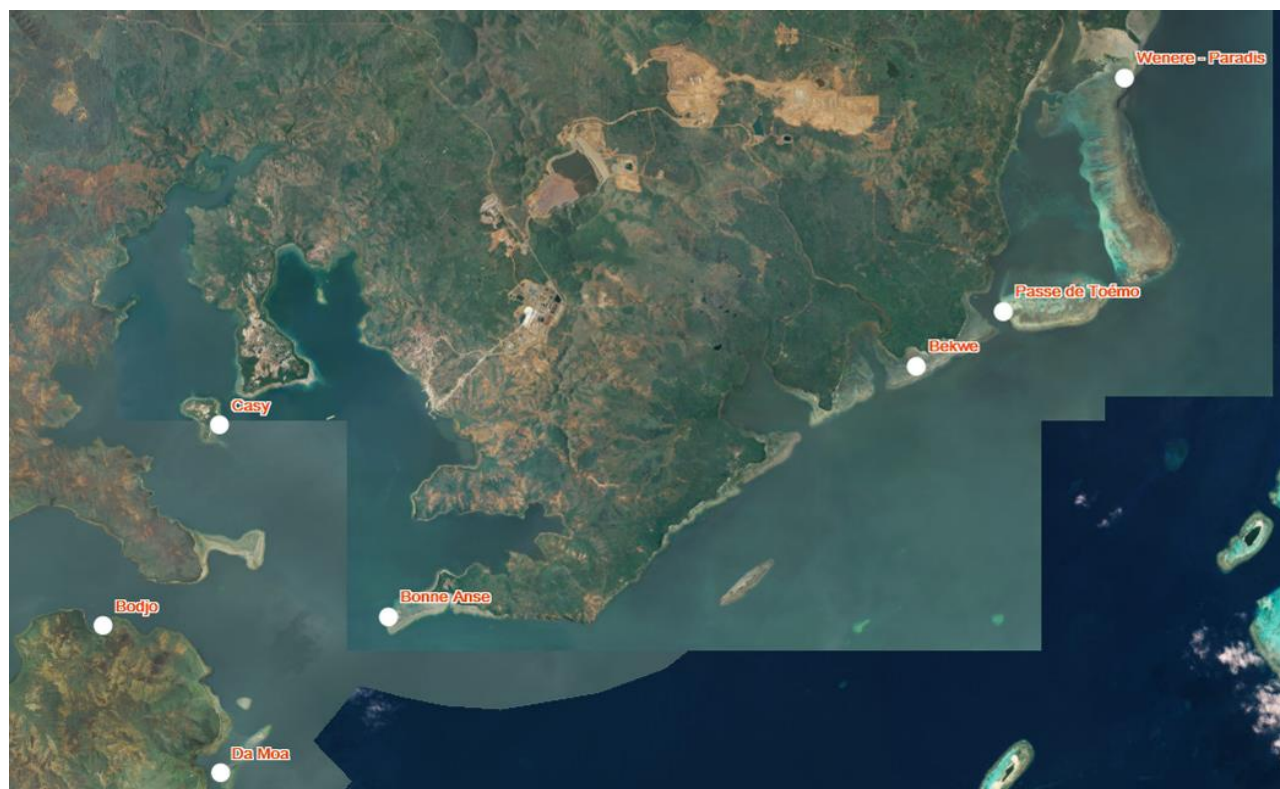


Figure 4 : Positionnement des stations utilisées pour la comparaison des données à celles des sites du RORC/ACROPORA dans la région (source : Georep)

III.2.1.1. Evolution temporelle entre 2019 et 2021– Secteur de BKBP

La stratégie d'échantillonnage mise en place sur ce secteur en 2019 permet dorénavant de réaliser une analyse temporelle pertinente de type CI en utilisant des stations contenant chacune 3 transects. Des analyses de variance (ANOVA) à deux facteurs (Campagne et Baie) ont été réalisées sur la couverture de chaque type de substrat afin d'évaluer la significativité de chacun des facteurs individuellement mais également de l'interaction entre ces deux facteurs. Les données ont été transformées (racine carrée) afin de remplir les conditions de normalité des données et d'homogénéité des variances exigées pour ce type de test (Zar 1999).

Le facteur « Campagne » correspond à l'analyse comparée entre les campagnes de terrain. Une évolution significative de ce facteur traduit une différence statistique (positive ou négative) de la variable étudiée entre les campagnes toutes zones confondues. Ces différences témoignent d'évolutions temporelles.

Le facteur « Zone » correspond à l'analyse comparée des deux baies (Kwé vs Port Boisé) constituée chacune par 4 stations. Une évolution significative de ce facteur traduit une différence statistique (positive ou négative) de la variable étudiée entre les zones toutes campagnes confondues. Ces différences témoignent de différences spatiales.

L'apparition d'une interaction « Campagne x Baie » significative correspond donc à l'apparition d'une évolution (positive ou négative) d'au moins une baie entre les campagnes. Cette interaction traduit donc la présence d'évolutions différentes dans le temps selon les baies. Dans le reste du document on utilisera le terme signal d'impact pour parler de l'interaction significative « Campagne x Baie ».

Dans le cas différences significatives ($p < 0,05$) notamment de l'interaction, un test post-hoc de Tukey a été réalisé afin de déceler quelles campagnes sont à l'origine des différences observées.

Aussi dans le cadre de cette étude, une attention particulière est à porter lors de l'apparition d'une évolution significative négative en baie Kwé alors qu'une évolution positive ou neutre est observée en baie de Port Boisé puisqu'elle constitue *a priori* un signal d'impact potentiel de l'activité de PRNC.

III.2.1.1. Evolution temporelle entre 2011 et 2021 sur transect unique – Secteur de BKPB

Sur la base du travail réalisé en 2019 (Heintz *et al.* 2020), l'évolution de la couverture des différents substrats est décrite par zone entre 2011 et 2021 en utilisant l'unique transect commun de chaque station à chaque campagne depuis 2011. Cette partie permet de confirmer la tendance observée entre 2019 et 2021 avec le nouveau design plus robuste mais également de situer l'évolution 2019-2021 dans une période plus longue : 2011-2021.

III.2.1.1. Evolution temporelle entre 2011 et 2021 sur transect unique – Secteur de Prony

L'évolution de la couverture des différents substrats est décrite par station entre 2011 (ou 2007 pour ST12) et 2021 en utilisant l'unique transect commun de chaque station à chaque campagne semestrielle de Octobre/Novembre depuis 2007 ou 2011.

III.2.2. Suivi des communautés coralliennes

III.2.2.1. Etat de santé des colonies coralliennes en 2021

L'état de santé des colonies est décrit selon la prévalence (%) des différentes lésions totales et par famille en utilisant le transect comme répliquat au sein de chaque station.

Pour la prévalence de chaque type de lésions, une analyse comparative entre zone a été réalisée au sein de chaque secteur (Prony et BKPB). Après transformation (racine carrée) afin de remplir les conditions de normalité des données et d'homogénéité des variances exigées pour ce type de test (Zar 1999), une ANOVA à un facteur (Baie) a été réalisée afin d'évaluer la significativité des différences observées entre baies. Un test post hoc de Tukey a ensuite été réalisé afin d'identifier l'origine des différences observées.

Les prévalences de lésions par famille et par station sont fournies en Annexe III.

III.2.2.2. Evolution de la densité et des prévalences de lésions coralliennes entre 2019 et 2021 pour le secteur de BKPB

Comme pour le substrat, une analyse de type CI est rendue possible en comparant l'évolution temporelle des prévalences de lésions coralliennes de la baie Kwé, de celle de la baie de Port Boisé. Des analyses de variance (ANOVA) à deux facteurs (Campagne et Baie) ont été réalisées afin d'évaluer la significativité de chacun des facteurs individuellement mais également de l'interaction entre ces deux facteurs.

Les caractéristiques des analyses réalisées sont identiques à celles du III.2.1.1.

IV. SUIVI PHOTO/VIDÉO

Afin d'illustrer l'état écologique des stations et les données récoltées, deux approches ont été mises en œuvre :

- L'utilisation de 10 quadrats photographiques permanents de 50cm×50cm (0,25m²) par station ;
- La réalisation de transects vidéos, photo-transects, vidéo générales des stations et panorama photographiques au début et à la fin de chaque station.

Ces deux approches ont été également utilisées en 2019 dans le secteur de BKPB.

IV.1. PHOTO-QUADRATS PERMANENTS

Sur chaque station, 10 quadrats permanents de 50cm×50cm (0,25m²) ont été implantés et numérotés (2 piquets en diagonale dont un étiqueté sur le format suivant : Q01 à Q10) le long des 3 transects de 20m. Un plan de situation des quadrats par station est fourni en complément de ce rapport.

Chaque quadrat a été photographié à une hauteur permettant d'apprécier la totalité de la surface interne du quadrat, de surface et de périmètre connus.

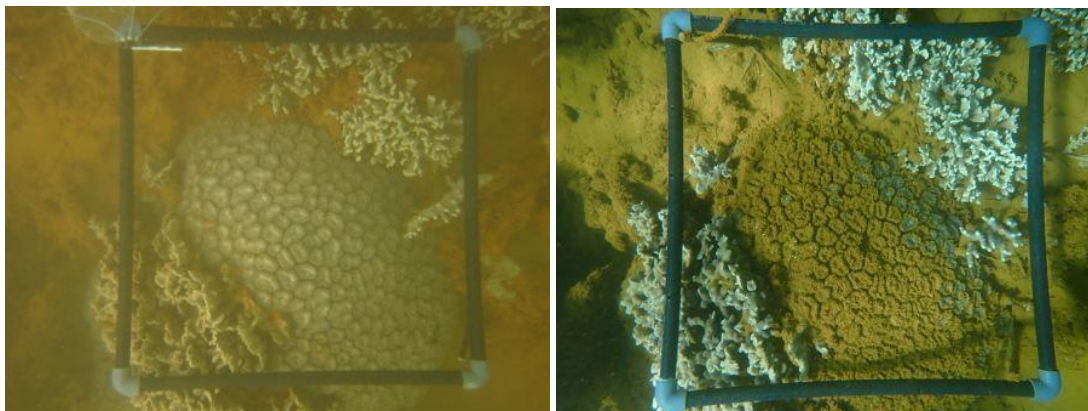


Figure 5 : Exemple de quadrat photographique en 2019 (gauche) et 2020 (droite) sur ST31

Les photo-quadrats de chaque station ont été archivés et transmis au format numérique à l'OEIL et au CCCE.

Dans le secteur de BKPB, les quadrats ont fait l'objet de photographies en 2019 et 2021. Une analyse de l'évolution de l'état de santé des colonies coralliennes présentes dans ces quadrats est ainsi proposée par station dans une partie dédiée (Résultats, partie II.) :

Pour chaque station, l'évolution de l'état de santé de la principale colonie corallienne présente dans chaque quadrat ou de la majorité des colonies si elles sont globalement de tailles équivalentes, a été renseignée comme :

- Croissance corallienne
- Absence d'évolution
- Dégradation partielle (colonies partiellement mortes, exemple en Figure 5)
- Dégradation totale (colonies mortes)

Ainsi pour chaque station, un pourcentage de quadrats (pour 10 quadrats, un quadrat représentant 10%) est renseigné pour chacune de ces catégories d'évolutions. Le pourcentage moyen par zone est la moyenne de chacun des pourcentages obtenus par station.

IV.2. VIDÉO-TRANSECTS

À des fins d'archivage, chaque transect de 20m a été filmé verticalement à hauteur fixe (environ 1m) et à vitesse constante et lente permettant un arrêt sur image.

Une vidéo d'ambiance générale de chaque station a également été réalisée. Ces vidéos ont été transmises au format numérique à l'OEIL et au CCCE.

IV.3. PHOTO-TRANSECTS ET AUTRES PHOTOS

Enfin, chaque transect de 20m a été photographié à 0m, 5m, 10m et 15m (cf dossiers en complément). Les colonies coralliennes remarquables ont également été photographiées.

V. SUIVI DES PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES

Cette partie décrit :

- 1) Les méthodes et protocoles mis en œuvre lors de la collecte des données de suivi des peuplements ichthyologiques récifo-lagonaires dans les zones d'étude, tels que réalisés lors de la campagne 2021 ;
- 2) Les méthodes de traitements et d'analyses statistiques utilisées en vue d'étudier les caractéristiques et les évolutions historiques de l'ichtyofaune locale.

V.1. PROTOCOLES *IN SITU* MIS EN ŒUVRE EN 2021

V.1.1. Protocole d'échantillonnage et observations visuelles en plongée

Sur chaque station, les peuplements ichthyologiques ont été évalués le long d'un transect de 50 m, par observation visuelle en plongée (*Underwater Visual Census* : UVC). La méthode de comptage utilisée est l'échantillonnage par transect à largeur variable (*Distance Sampling*, Buckland *et al.* 1993).

Lors de l'échantillonnage, un plongeur ichthyologue progresse le long du transect et recense l'ensemble des poissons observés. Toutes les espèces de poissons observables sont prises en compte.

Pour chaque observation, le plongeur note (Figure 6) :

- L'espèce ;
- Le nombre d'individus observés ;
- La taille moyenne des individus (longueur à la fourche, en cm) ;
- La distance (en m) du poisson au transect. Dans le cas d'un banc monospécifique, le plongeur note la distance du poisson le plus proche (d_1) et du poisson le plus éloigné (d_2).

À la suite de l'échantillonnage de chaque station, les données collectées sont saisies par le plongeur dans une base de données standardisée, puis contrôlées et archivées en vue de leur traitement.

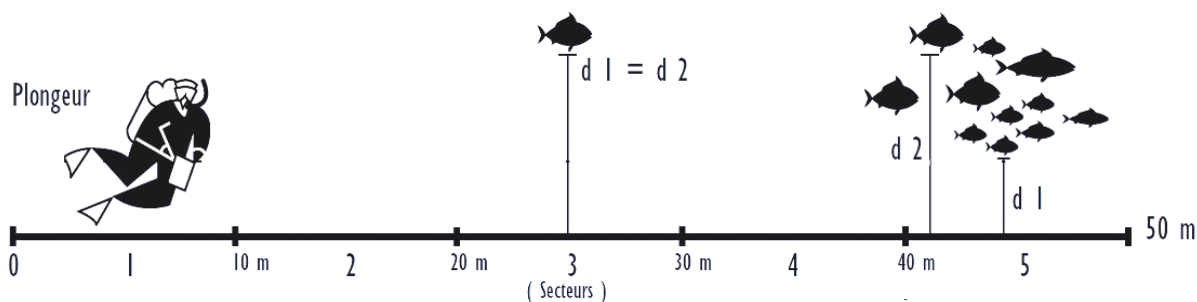


Figure 6 : Déroulement schématique d'un comptage en plongée selon la méthode des transects à largeur variable (Source : Labrosse *et al.* 2001).

V.2. CARACTÉRISATION ET DESCRIPTION DES PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES

Cette partie décrit les modes de calcul des différents descripteurs de l'ichtyofaune, ainsi que la construction des variables qui seront utilisées pour la caractérisation et l'analyse de l'ichtyofaune. Elle détaille également les méthodes d'analyse de données et d'analyses statistiques mises en œuvre.

V.2.1. Calcul des niveaux de densité, biomasse, et richesse spécifique

Pour chaque transect, les données issues des observations visuelles en plongée permettent de calculer les principaux paramètres décrivant l'ichtyofaune locale : densité, biomasse et richesse spécifique.

Les densités (notées D , en nombre de poissons/m²) et les biomasses (notées B , en g de poissons/m²) caractérisant chaque espèce ont été calculées selon les algorithmes propres à la méthode des distances moyennes pondérées (Kulbicki & Saramegna 1999, également rappelés dans Chabanet et al. 2010).

- La densité D d'une espèce est donnée par la formule :

$$D = \frac{\sum_i n_i}{2 \times dm \times L}$$

Où,

- n_i est le nombre de poissons notés pour l'observation i (i.e. un ou plusieurs dans le cas d'un banc)
- L est la longueur du transect (ici, 50 m ou 20 m selon les campagnes)
- dm est la distance moyenne pondérée de l'espèce sur la station, elle est donnée par la formule :

$$dm = \frac{\sum_i n_i \times \left(\frac{d1_i + d2_i}{2} + 0,5 \right)}{\sum_i n_i}$$

Où, $d1_i$ et $d2_i$ sont les distances d'observation de l'observation i

- La biomasse B d'une espèce est donnée par la formule :

$$B = \frac{\sum_i n_i \times P_i}{2 \times dm \times L}$$

Où,

- n_i est le nombre de poissons notés pour l'observation i (i.e. un ou plusieurs dans le cas d'un banc)
- dm est la distance moyenne pondérée de l'espèce sur la station (même formule que précédemment)
- L est la longueur du transect (ici, 50 m ou 20 m selon les campagnes)
- P_i est le poids des individus de l'observation i . Ce poids peut être obtenu à partir de la taille observée T_i des individus, selon la formule longueur-poids suivante :

$$P_i = a \times (T_i)^b$$

Où, a et b sont deux coefficients morphométriques, dont les valeurs pour les espèces considérées proviennent de Kulbicki *et al.* (2005a).

- La richesse spécifique (notée RS, en nombre d'espèces/station) est directement donnée par le nombre d'espèces observées sur un transect.

V.2.2. Description détaillée des peuplements ichthyologiques

Les formules précédentes permettent d'obtenir les niveaux de densité, de biomasse et de richesse spécifique pour l'ensemble du peuplement observé sur une station, et fournissent ainsi de premiers éléments de caractérisation. En vue d'analyser la structure écologique et fonctionnelle de l'ichtyofaune locale, une décomposition de ces descripteurs selon différentes catégories d'intérêt est indispensable, notamment selon les critères suivants : groupes taxonomiques, groupes trophiques, et potentiel commercial.

Taxonomie - La décomposition des paramètres décrivant les peuplements selon les familles, genres et espèces qui les composent fournit des informations sur leur structure écologique et son évolution. La nature des taxons présents sur une station donnée est en effet reliée à la nature des habitats et aux conditions environnementales propres à cette station, et donc à leur éventuelle perturbation. Lors des analyses, un focus particulier sera notamment réalisé sur les Chaetodontidae et les Pomacentridae, qui constituent des indicateurs reconnus du niveau de perturbation des habitats coralliens et des peuplements biologiques qui y sont liés (Pomacentridae : Roberts & Ormond 1987, Jones 1991, Graham *et al.* 2006, Wilson *et al.* 2008 ; Chaetodontidae : Hourigan *et al.* 1988, Roberts *et al.* 1992, Öhman & Rajasuriya 1998, Jones *et al.* 2004).

Groupes trophiques - Décrire et analyser les peuplements ichthyologiques selon une approche fonctionnelle, en parallèle d'une approche taxonomique classique, fournit des informations complémentaires et directement reliées au fonctionnement et à la dynamique de l'écosystème observé (Hooper *et al.* 2002, McGill *et al.* 2006, Petchey & Gaston 2006). Ce type d'approche permet en effet d'aborder la structure des peuplements sous l'angle des fonctions que remplissent les différentes espèces au sein de l'écosystème (Steele 1991, Schwartz *et al.* 2000, Petchey & Gaston 2002a et 2002b, Guillemot *et al.* 2011). Parmi les différentes fonctions possibles, la fonction trophique des peuplements ichthyologiques permet en particulier d'apporter des informations précieuses pour expliquer d'éventuelles variations anormales de richesse spécifique, de densité ou de biomasse. Afin de permettre ce type d'analyse, les espèces observées ont été classées selon quatre grands groupes trophiques : carnivores, herbivores, piscivores et planctonophages, sur la base d'informations tirées de FishBase® (Froese & Pauly 1997), FISHEYE (Labrosse *et al.* 1999), Kulbicki *et al.* (2005b), et Kulbicki (comm. pers. 2016).

Potentiel commercial - Tel que suggéré dans le cahier des charges du suivi environnemental marin, une liste restreinte d'espèce dite « commerciales » a été utilisée lors des comptages (cf. protocole ci-dessus). Cette liste, historiquement utilisée dans le cadre des suivis marins en Nouvelle-Calédonie, regroupe les espèces présentant un potentiel commercial dans le Pacifique Sud. Bien que toutes ces espèces ne soient pas systématiquement consommées en Nouvelle-Calédonie, il est intéressant de prendre en compte cette distinction lors de l'étude de la structure des peuplements ichthyologiques, notamment afin de distinguer une éventuelle perturbation sélective des peuplements.

Pour chacune des catégories taxonomiques, trophiques et commerciales décrites précédemment, les niveaux de densité, de biomasse et de richesse spécifique ont été calculés à partir des formules susmentionnées, afin de produire un panel détaillé et complet de variables descriptives de l'ichtyofaune. Les compilations de données et calculs nécessaires à la construction des différentes variables ont été réalisés avec les logiciels Microsoft Excel® et R software®.

Le Tableau 7 présente de manière synthétique les grands types de variables qui constitueront la base des analyses descriptives et statistiques utilisées par la suite.

La liste de l'ensemble des espèces observées lors de la campagne 2021, ainsi que toutes les informations nécessaires aux calculs et traitements décrits précédemment (famille, genre, espèce, coefficients morphométriques a et b, potentiel commercial, groupe trophique) sont fournies en Annexe IV.

Il convient enfin de noter que lors des estimations de densité et de biomasse, certaines observations ponctuelles ont été écartées des calculs en raison du très fort biais d'estimation qu'elles auraient induit, faussant la recherche de signaux de perturbation de l'ichtyofaune. Il s'agit essentiellement des requins et raies occasionnellement observés et dont l'occurrence sur un transect reste très aléatoire au moment du comptage.

Tableau 7 : Types de variables utilisés pour la caractérisation, l'analyse et la modélisation des peuplements ichtyologiques et de leurs variations spatio-temporelles.

Paramètre	Catégorie	
Densité ; biomasse ; richesse spécifique	Toutes espèces	
	Potentiel commercial	Espèces "commerciales"
		Espèces "non-commerciales"
	Groupe trophique	Herbivores
		Carnivores
		Planctonophages
		Piscivores
	Chaetodontidae	
	Pomacentridae	

V.3. DÉMARCHE ANALYTIQUE POUR L'ÉTUDE DES PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES ET DE LEURS VARIATIONS

V.3.1. Approche analytique générale

Dans le secteur de Prony, le plan d'échantillonnage initié en 2021 et dont la vocation est d'être implémenté régulièrement dans le cadre d'un futur suivi diffère des plans d'échantillonnage mis en œuvre historiquement (en 2011 par l'OEIL, ou en routine semestriellement par PRNC). Dans ce contexte et conformément au cahier des charges de l'OEIL, les travaux suivants ont été réalisés :

- 1) Caractérisation de l'ichtyofaune observée en 2021 et comparaison statistique des peuplements présents entre les trois zones que comporte ce secteur ;
- 2) Examen de l'évolution temporelle indicative de l'ichtyofaune, dans la mesure des données historiques disponibles et de leur potentiel de comparaison aux données collectées en 2021.

Dans le secteur de BKPB, le plan d'échantillonnage mis en place en 2019 et reconduit à l'identique en 2021 permet d'aborder une première série temporelle de données à protocole constant. Dans ce contexte, l'approche analytique mise en œuvre afin d'étudier la dynamique spatio-temporelle de l'ichtyofaune suite à la campagne 2021 a pu reposer sur les travaux suivants :

- 1) Caractérisation de l'ichtyofaune observée en 2021 et comparaison statistique des peuplements présents entre les deux zones que comporte ce secteur ;
- 2) Modélisation statistique selon un schéma *Control-Impact* (cf. détails en partie suivante) visant à détecter d'éventuels signaux de perturbations de l'ichtyofaune dans la zone sous influence des activités de PRNC (baie Kwé) ;
- 3) Examen de l'évolution temporelle indicative de l'ichtyofaune, dans la mesure des données historiques disponibles et de leur potentiel de comparaison aux données collectées en 2021.

Pour chaque paramètre d'ichtyofaune, la description d'une zone est fondée sur la valeur moyenne des stations qu'elle contient. Ceci permet de prendre en compte la variabilité spatiale existant au sein de chaque zone. L'utilisation de cette réplication est indispensable à la réalisation d'analyses statistiques étudiant la structure spatiale et temporelle des peuplements locaux.

Les valeurs, paramètres, et résultats relatifs aux données historiques de l'OEIL (2011, 2013, 2014, selon les stations) ont été intégralement recalculés conjointement aux données 2019 et 2021 dans le cadre du présent travail, afin d'assurer une parfaite cohérence dans les modes de traitements, filtres, et formules de calculs utilisées pour l'ensemble des jeux de données. Les résultats pour l'ensemble de ces cinq campagnes correspondent donc strictement au plan analytique et aux calculs présentés dans ce Matériels & Méthodes, sans considération des éventuels traitements et choix analytiques réalisés dans le cadre des rendus associés aux précédentes campagnes.

Concernant les valeurs, paramètres, et résultats relatifs aux données historiques issues du plan de suivi de PRNC, les données brutes n'ont pas été rendues disponibles dans le cadre de la présente étude (seules certaines variables synthétiques et déjà calculées ont été transmises), empêchant donc tout recalcul harmonisé des paramètres entre les différentes campagnes disponibles (2012 à 2020). Les limites associées à ce volet des comparaisons historiques sont détaillées dans la partie correspondante.

Pour l'ensemble de la phase analytique, le risque de première espèce α a été fixé à 0,05. La réalisation et la validation des analyses, les transformations éventuellement appliquées aux données, l'ensemble des tests afférents, et les représentations des résultats ont été effectués à l'aide des logiciels Microsoft Excel® et R Software®.

V.3.2. Comparaison spatiale de l'ichtyofaune entre zones en 2021

Afin de comparer les caractéristiques de l'ichtyofaune entre zones et afin de tester la significativité des différences éventuellement observées, des tests statistiques univariés (un facteur « Zone ») ont été réalisés sur chacune des 27 variables décrivant l'ichtyofaune, pour chacun des deux secteurs inventoriés en 2021 (Prony et BKPB).

En vue de choisir le type d'analyse le plus adapté, il a tout d'abord été déterminé si les données propres à chaque variable répondaient aux exigences de mise en œuvre de tests paramétriques (i.e. distribution gaussienne et homoscedasticité des données) (Scherrer 1984, Zar 1999). Lorsque les conditions nécessaires étaient remplies, des tests t de Student ou des ANOVA ont été utilisés (selon le nombre de zones) afin d'étudier l'effet du facteur « Zone » sur la variable en question. Dans le cas contraire, des tests non-paramétriques de type Mann-Whitney ou de Kruskal-Wallis (selon le nombre de zones) ont remplacé les tests paramétriques (Zar 1999).

A l'issue de ces analyses, l'amplitude et le profil des différences significatives éventuellement mises en évidence ont été caractérisés graphiquement.

V.3.3. Modélisations CI pour une recherche de signaux d'impact sur la période 2019-2021

De même que pour les autres compartiments biologiques, la détection de signaux d'impact sur des peuplements ichtyologiques se heurte à la difficulté de dissocier les effets respectifs des nombreux facteurs naturels et anthropiques qui influencent ces peuplements (Osenberg et al. 1994, Pitcher et al. 1998). Ce problème est particulièrement important s'agissant des écosystèmes coralliens, qui sont caractérisés par une grande diversité et une hétérogénéité spatiale et temporelle importante, répondant à un déterminisme complexe (Sale et al. 1984, Connell & Kingsford 1998, Kulbicki et al. 2007, Guillemot et al. 2010). Dans le cas présent, l'objectif est donc de pouvoir dissocier au mieux les éventuels effets de l'activité du complexe industriel et minier de PRNC des fluctuations naturelles de fond de l'ichtyofaune (Roset et al. 2007, Guillemot 2009).

Dans cette optique, il apparaît indispensable d'adopter une approche de type CI (*Control-Impact*), rendue possible par l'échantillonnage simultanée de la Baie Kwé et de la Baie de Port-Boisé, cette dernière étant assimilée à une zone de référence. Selon ce type d'approche, qui fait foi internationalement et depuis de nombreuses années pour la définition de plans de surveillance environnementaux (Underwood 1992 ; Underwood 1994 ; Osenberg et al. 1994), une détection fiable des changements écologiques doit s'effectuer par analyse de l'évolution des différences entre zones sous influence et zones de référence. Examiner le différentiel de variation temporelle entre ces deux zones (nommé ici interaction « Campagne x Baie ») permet seul de détecter de manière rigoureuse des signaux de perturbation (i.e. de déterminer si les variations observées en zone sous influence peuvent effectivement être attribuées à l'impact étudié ou si elles sont la conséquence d'autres phénomènes).

D'un point de vue analytique, la mise en œuvre de cette démarche doit s'appuyer sur des modèles statistiques permettant de prendre en compte simultanément plusieurs facteurs explicatifs afin d'en dissocier les effets et les interactions. En particulier, les modèles linéaires généralisés (GLM, *Generalized Linear Models*) sont classiquement utilisés pour modéliser des données de comptage portant sur les peuplements ichtyologiques, dont les caractéristiques et la structuration se prêtent bien à ce type de méthode statistique. Typiquement, la forme générique d'un modèle comprenant deux variables explicatives est de la forme :

$$Y \sim X1 + X2 + X1*X2 + \varepsilon$$

Avec,

Y : variable à expliquer (ex. densité totale, biomasse des Chaetodontidae, etc.)

X1 et X2 : variables explicatives (ex. zone, année, etc.)

$X1 \times X2$: facteur d'interaction entre les variables explicatives $X1$ et $X2$

ε : résidus du modèle statistique

Dans le cas présent, les modèles mis en œuvre seront donc de la forme :

$$Y \sim \text{campagne} + \text{zone} + \text{campagne} \times \text{zone} + \varepsilon$$

Pour chacune des 27 variables ichtyologiques considérées (Tableau 7), des modèles de ce type ont été construits puis exécutés sur la base des données historiques 2019-2021. Lorsqu'un signal potentiel de perturbation a été détecté sur l'un des paramètres décrivant l'ichtyofaune (i.e. réponse significative du facteur d'interaction « campagne*zone »), un examen approfondi des données est réalisé afin de préciser l'amplitude et le profil de cette variation, et d'en discuter les implications vis-à-vis des objectifs de surveillance.

V.3.4. Evolutions temporelles indicatives par zone sur la période 2011-2021

L'historique de suivi et les caractéristiques des données disponibles étant différents entre le secteur de Prony et le secteur de BKPB, il convient d'aborder l'étude de leurs évolutions temporelles de manière distincte.

Dans le secteur de BKPB, l'ensemble de l'historique de données disponible provient de campagnes de l'OEIL (2011, 2013, 2014, puis 2019 et 2021 selon le format de suivi définitif). De même que pour les autres compartiments biologiques, les plans d'échantillonnage apparaissent différents entre ces campagnes, et seul un transect par station (position et profondeur équivalente) a pu être considéré pour des comparaisons temporelles sur l'ensemble de cette période. Dans le cas de l'ichtyofaune, s'ajoute également un biais lié à la longueur des transects de comptage : 20 m pour les données 2011, 2013, 2014, et 50 m pour les données 2019 et 2021. Bien que les formules de calcul tiennent compte de la longueur de comptage, l'évolution de celle-ci engendre une appréhension différente des peuplements ichtyologiques locaux et constituent donc un biais supplémentaire vis-à-vis des autres compartiments biologiques échantillonnés.

Dans le secteur de Prony, les données historiques correspondent à la campagne menée par l'OEIL en 2011 d'une part, et aux données de suivi du milieu marin de PRNC (fréquence semestrielle) dont seule la station ST12 (Port de Prony) est commune au plan d'échantillonnage de la présente étude. Pour ce secteur, on retrouve les mêmes biais de comparaison que ceux décrits pour le secteur de BKPB (longueur différente de comptage et plan d'échantillonnage différents entre les suivis, un seul transect en commun par station), auxquels s'ajoutent sur ST12 l'indisponibilité des données brutes relatives au suivi de PRNC (dont l'accès aurait permis d'assurer une pleine cohérence des modes de calculs entre campagnes, cf. V.3.1).

VI. SUIVI DE LA FAUNE MACROBENTHIQUE DE FONDS DURS

VI.1. ECHANTILLONNAGE

L'inventaire des macro-invertébrés benthiques a pour objectif de caractériser les communautés benthiques au sein de chaque station de suivi. Certains invertébrés coloniaux ont également été inventoriés via l'évaluation de leur taux de recouvrement des fonds.

La technique utilisée est celle du couloir fixe, sur 5 mètres de large (2,5m de part et d'autre du ruban métré). Lors des dénombrements d'individus, les espèces prises en compte ont été les échinodermes (astérides, holothurides, crinoïdes, ophiures et échinides) et les mollusques (gastéropodes et bivalves). Seuls les individus de taille supérieure à 1 cm ont été recensés. Lorsqu'une espèce est rencontrée, elle est identifiée (au mieux au niveau de l'espèce) et dénombrée (nombre d'individus de cette espèce). Par ailleurs les bénitiers et trocas communs (*Rochia nilotica*) ont été mesurés.

Les invertébrés coloniaux ont été recensés en leur attribuant des classes de recouvrement au sein de chaque transect. Les classes de recouvrement et la liste des espèces cibles sont fournies au Tableau 8.

Tableau 8 : Liste des espèces d'invertébrés coloniaux et classes de recouvrement.

Cnidaires	Coraux scléactiniaires	Classe de recouvrement	Taux de recouvrement
	Alcyonnaires	0	0%
	Antipathaires	1	1-5%
	Gorgones	2	6-25%
	<i>Milleporina</i>	3	26-50%
	<i>Stolonifera</i>	4	51-75%
Eponges	Genre <i>Cliona</i>	5	>75%
	Genre <i>Spheciospongia</i>		
Ascidies coloniales	Toutes		
Macroalgues	Genre <i>Asparagopsis</i>		
	Genre <i>Lobophora</i>		

VI.2. ANALYSE DES DONNÉES

VI.2.1. Calculs de densité et de richesse taxonomique

Les données brutes ont permis de calculer la richesse spécifique totale (en nombre d'espèces) et les densités d'invertébrés en prenant comme unité de base le transect (pour rappel : 20 mètres de long par 5 mètres de large, soit 100 m² de récif).

Les densités ont été calculées à plusieurs niveaux d'agrégation :

- Par groupe taxonomique

- Par sous groupe taxonomique
- Pour certains genres remarquables dont le profil est présenté ci-dessous.

Acanthaster	Acanthaster	Coralliophila	Drupella	Tridacna	Tridacna
Etoile de mer corallivore responsable de la destruction de nombreux récifs dans toute la région Indo-Pacifique	Etoile de mer corallivore responsable de la destruction de nombreux récifs dans toute la région Indo-Pacifique	Gatropode corallivore de la famille Coralliophilidae	Gatropode corallivore de la famille Muricidae. Se regroupe en forte densité et peut impacter de large surfaces de corail	Petit crabe fortement lié à son habitat corallien (colonie de Pocilloporidae). Défend son habitat de prédation par les Acanthaster notamment	Bénitier inscrit sur l'annexe II de la liste CITES
					

VI.2.1.1. Etat des lieux 2021

Les données récoltées ont permis de calculer la richesse spécifique totale et la densité par groupe, sous-groupe et genre remarquable ainsi que l'indice de couverture des organismes coloniaux par transect, station et par zone. Une description des communautés d'invertébrés est ainsi réalisée pour chaque secteur.

- Secteur BKPB
- Secteur Prony

Afin d'apprécier la significativité des différences observées entre zones au sein de chaque secteur pour chaque taxa, une analyse de variance (ANOVA) à un facteur (Zone) a été réalisée, en vérifiant que les données remplissent les conditions de normalité et d'homogénéité des variances nécessaires à ce type de test (Zar 1999). Les données ont été transformées (racine carrée) avant le test pour remplir ces conditions. Dans le cas où une différence significative apparaît, un test post-hoc de Tukey HSD est réalisé afin d'identifier l'origine de la différence observée.

VI.2.1.1. Comparaison à des sites de la région en 2019 et 2021

Comme pour le substrat, une comparaison des densités moyennes d'espèces cibles suivies par le RORC est réalisée entre les stations de ce présent suivi (2021), celles du RORC (2021) et celles du réseau ACROPORA (2019) (cf plan d'échantillonnage présenté en III.2.1.2).

Les suivis RORC/ACROPORA sont basés sur l'inventaire d'espèces cibles choisies pour leur rôle écologique ou indicatrices de l'exploitation des ressources marines par l'homme : les données du suivi de cette présente étude ont été restreintes aux espèces cibles du RORC afin d'en permettre la comparaison. La liste des espèces RORC et leur dénomination est dans les rapports annuels RORC/ACROPORA⁸.

⁸ : Exemple de rapport ACROPORA en ligne : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/29867>

VI.2.1.2. Evolution temporelle entre 2019 et 2021– Secteur de BKBP

La stratégie d'échantillonnage mise en place sur ce secteur en 2019 permet dorénavant de réaliser une analyse temporelle robuste de type CI en utilisant des stations contenant chacune 3 transects. Un GLM identique à celui utilisé pour la faune ichthyologique a été utilisé afin d'identifier la présence de signaux d'impact sur les richesses spécifiques et densités par groupe.

Les densités par sous-groupes étant faibles et liées au caractère cryptique, peu abondant et souvent nocturne des espèces suivies, aucune analyse statistique n'est réalisée sur leurs densités. On rappelle que la densité d'invertébrés pour la majorité des sous-groupes ne fournit pas un pouvoir de détection élevé d'impact d'origine sur les récifs frangeants (Van Winsberge et al. 2017).

Les caractéristiques des analyses réalisées sont identiques à celles du V.3.3.

VI.2.1.3. Evolution temporelle entre 2011 et 2021 sur transect unique – Secteur de BKPB

Sur la base du travail réalisé en 2019 (Heintz et al. 2020), l'évolution des communautés d'invertébrés est décrite par zone entre 2011 et 2019 en utilisant l'unique transect commun de chaque station à chaque campagne depuis 2011. Cette partie permet de confirmer la tendance observée entre 2019 et 2021 avec le nouveau design plus robuste mais également de situer l'évolution 2019-2021 dans une période plus longue : 2011-2021.

VI.2.1.1. Evolution temporelle entre 2011 et 2021 sur transect unique – Secteur de Prony

Une comparaison indicative est réalisée sur la diversité totale et les densités par groupes et sous-groupes entre les campagnes de 2011 et 2021 pour les stations ayant été échantillonnées sur ces deux campagnes.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I. SUBSTRAT

I.1. ETAT DU SUBSTRAT EN 2021

I.1.1. Secteur de Prony

Les couvertures de substrat observées en 2021 sur chaque zone de la baie de Prony montrent globalement une forte similarité entre zones (Figure 7, Tableau 9). Le substrat abiotique (sable, vase, débris et blocs nus) domine avec une couverture moyenne par zone variant de 48% à 63%. Les classes de substrat vivant sont principalement représentées par les coraux scléractiniaires (16 à 22%), les algues (turf, macroalgues et assemblages d'algues : 7 à 17%) et les algues calcaires (Halimeda : 0 à 11%).

La couverture corallienne est comprise entre 15 et 25% dans chaque zone et aucune différence significative n'est détectée entre zones. Parmi les familles et formes de coraux scléractiniaires présentes, seuls les coraux solitaires (famille Fungidae) présentent une couverture significativement supérieure au Port de Prony, en comparaison avec celle de Grand Port, mais elle reste faible dans chaque zone (< 5%). Globalement, la couverture corallienne est dominée par les familles Acroporidae et Poritidae dans chaque zone. L'examen des données par station (Annexe II) montre toutefois des disparités entre stations sur la couverture d'Acroporidae au sein de la zone Grand Port, et sur la couverture de Poritidae au sein de la zone Port de Prony.

La couverture de coraux mous est significativement supérieure en zone Baie Nord (7,5%) en comparaison aux deux autres zones (proche de 1%). Cette tendance est généralisée à toutes les stations de la zone Baie Nord (Annexe II).

Les autres substrats ne montrent pas de différences significatives entre zones à l'exception des algues calcaires et l'autre faune mais leurs couvertures restent minimales dans chaque zone.

Ainsi en termes de comparaison de type CI entre Grand Port et les deux autres zones sous impact potentiel (Baie Nord et Port de Prony), l'analyse des substrats montre que ce zonage apparaît cohérent pour une analyse de type CI dans le temps. A ce stade, aucune différence marquante n'est observée entre zone sur les substrats utilisés comme indicateur d'état de santé des récifs (couvertures coralliennes et couverture de coraux mous principalement).

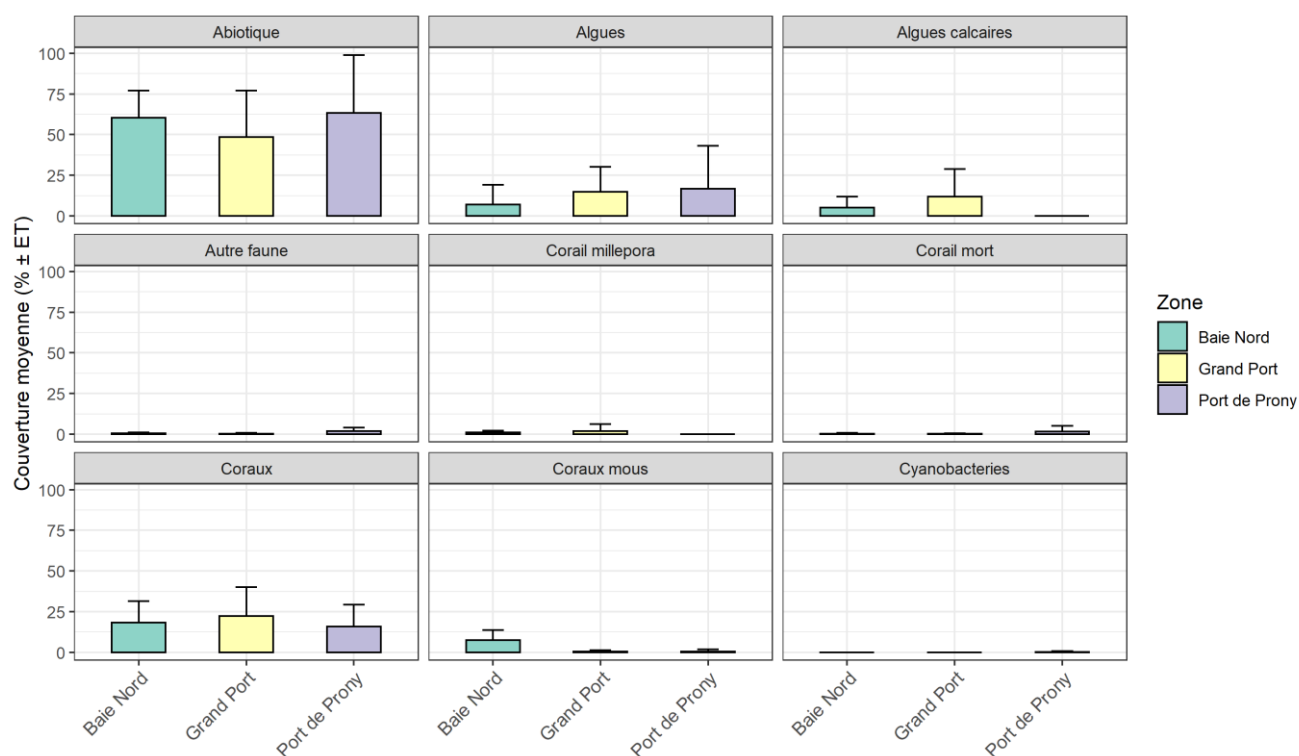


Figure 7 : Couverture moyenne (% ± ET⁹) des différents substrats généraux par zone du secteur de Prony en 2021

Tableau 9 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) pour chaque type de substrat sur les données de couverture transformées (racine carrée) en 2021 sur le secteur de Prony

Substrat	p value	Post hoc
Abiotique	NS	
Algues	NS	
Algues calcaires	**	Port de Prony<Grand Port
Autre faune	*	Port de Prony>Grand Port
Corail millepora	NS	
Corail mort récemment	NS	
Coraux	NS	
Coraux mous	***	Baie Nord>Grand Port, Port de Prony
Cyanobacteries	NS	
Acroporidae	NS	
Agariciidae	NS	
Alcyoniidae	***	Baie Nord>Grand Port, Port de Prony
Dendrophyllidae	NS	
Euphyllidae	NS	
Fungiidae	*	Port de Prony>Grand Port
Lobophyllidae	NS	
Merulinidae	NS	
Milleporidae	NS	
Pocilloporidae	NS	
Poritidae	NS	
Psammocoridae	NS	
Siderastreidae	NS	
Corail branchu	NS	
Corail digité	NS	
Corail encroutant	NS	
Corail foliaire	NS	
Corail massif	NS	
Corail millepora	NS	
Corail solitaire	*	Port de Prony>Grand Port
Corail sub-massif	NS	
Corail tabulaire	NS	

⁹ ET : Ecart-type

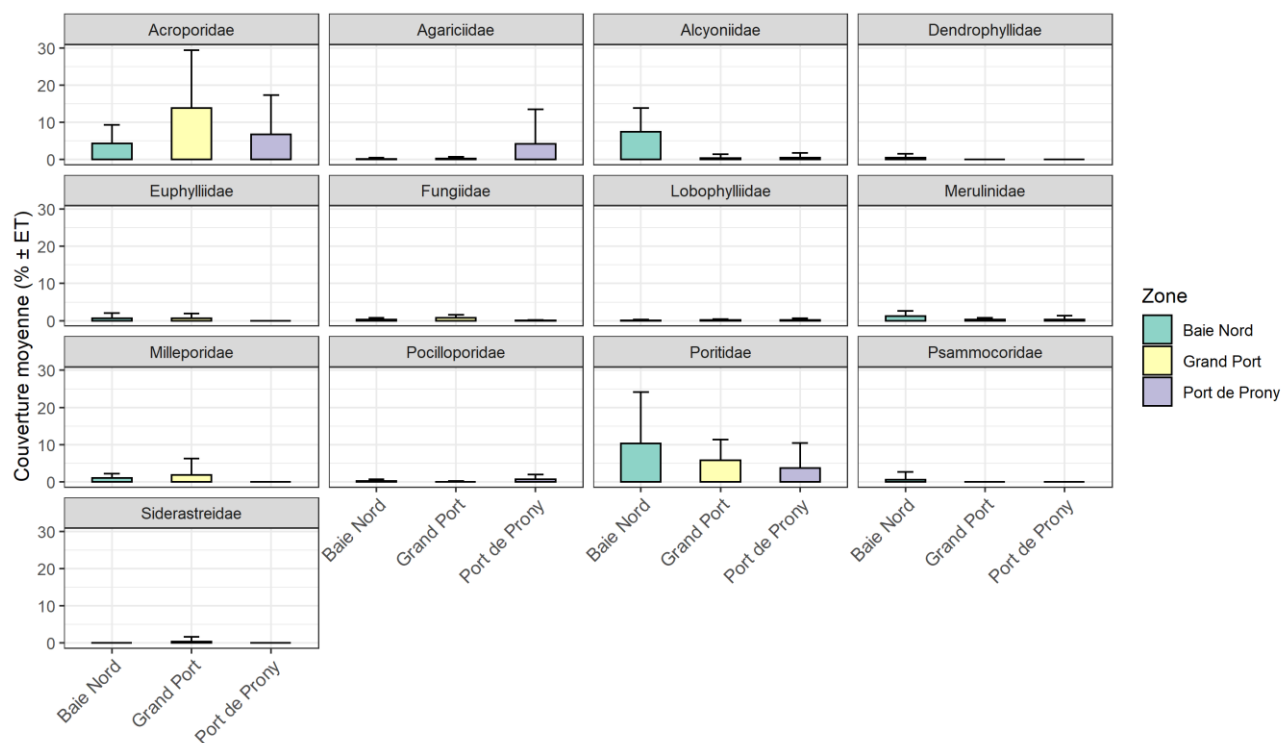


Figure 8 : Couverture moyenne ($\pm$ ET) des différentes familles coralliennes par zone du secteur de Prony en 2021

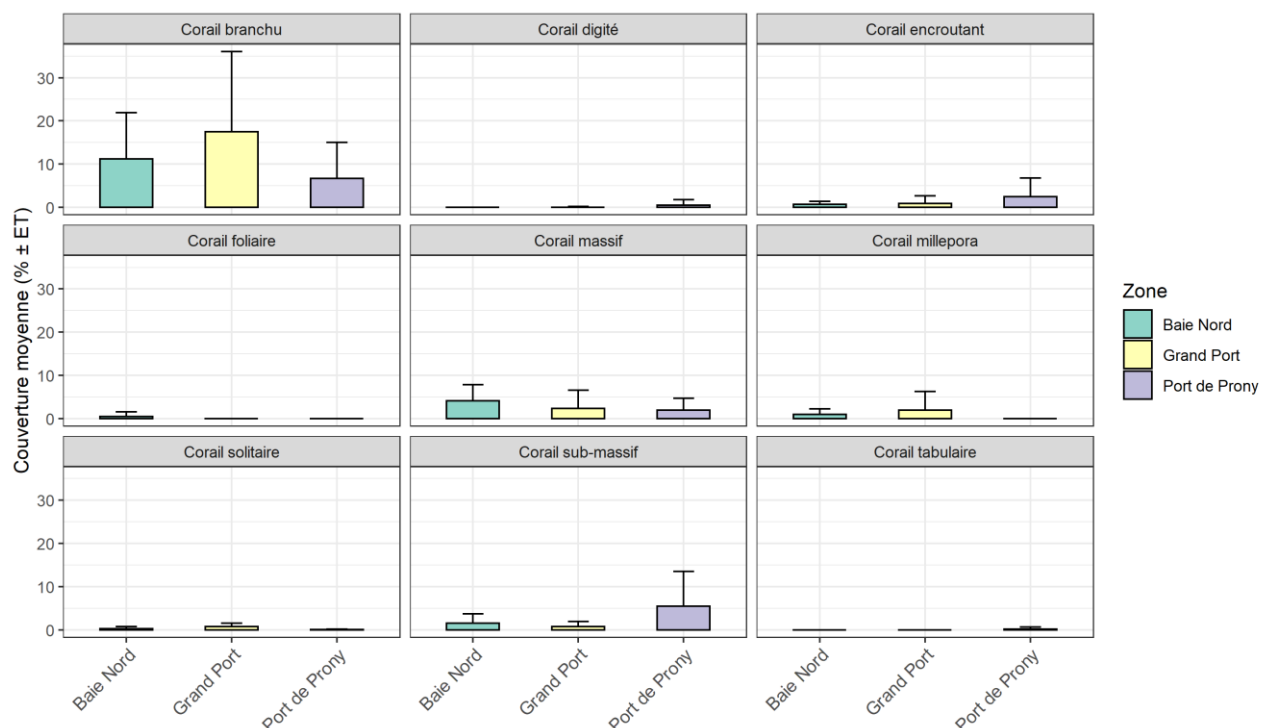


Figure 9 : Couverture moyenne ($\pm$ ET) des différentes formes coralliennes par zone du secteur de Prony en 2021

I.1.1. Secteur de BKPB

Comme dans le secteur de Prony, les couvertures de substrat observées en 2021 montrent globalement une forte similarité entre baies dans le secteur BKPB.

La couverture corallienne est comprise entre 15 et 20% dans les deux baies. Parmi les familles et formes de coraux scléractiniaires présentes, aucune différence significative n'est observée entre les deux baies. Globalement, la couverture corallienne est dominée par les Acroporidae dans chaque baie avec toutefois une forte variabilité entre stations au sein de la baie Kwé pour cette famille (Annexe II). Le corail de feu est présent dans les deux baies avec une couverture moyenne proche de 5%.

La couverture de coraux mous est significativement supérieure à Port Boisé (1,7%) qu'en baie Kwé, celle-ci étant nulle dans cette dernière baie. Les autres substrats ne montrent pas de différences significatives entre zones à l'exception des algues calcaires et l'autre faune mais leurs couvertures restent minimales dans chaque zone.

Ainsi, aucune différence marquante n'est observée entre zone sur les substrats utilisés comme indicateur d'état de santé des récifs (couvertures coralliennes et couverture de coraux mous principalement).

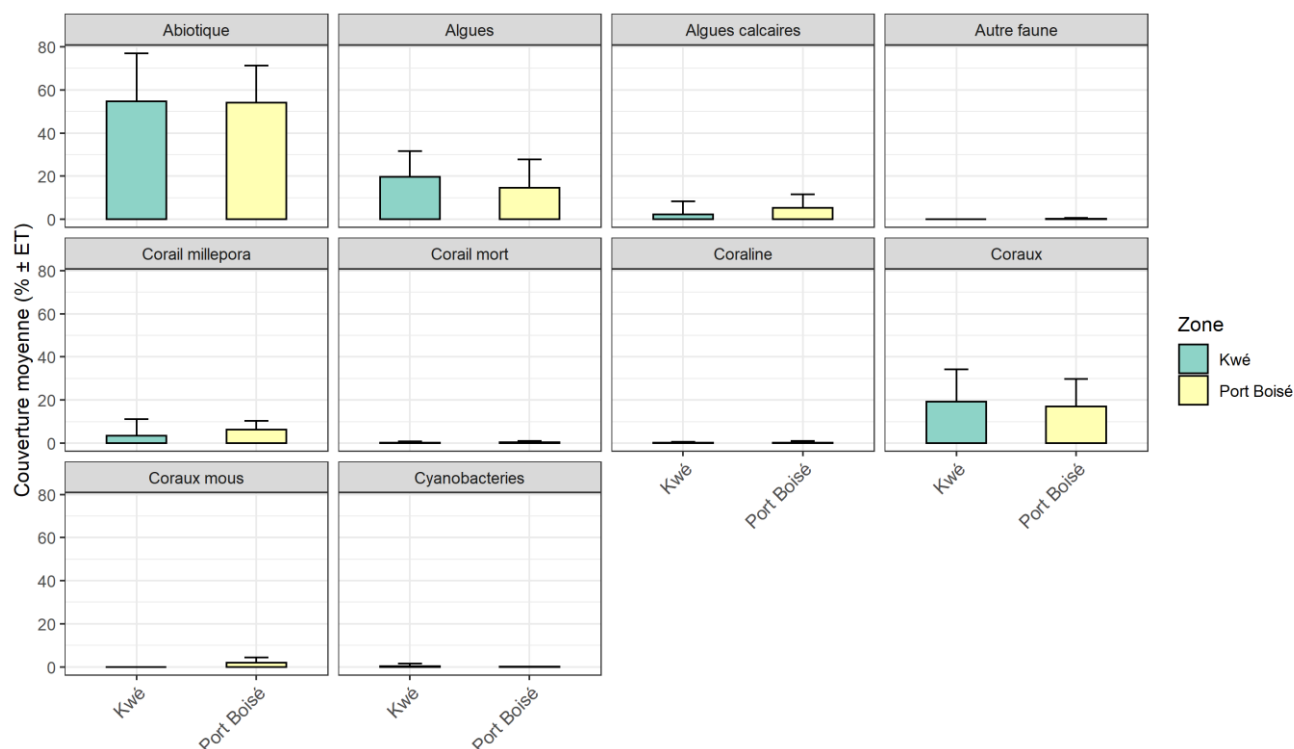


Figure 10 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différents substrats généraux par zone du secteur de BKPB en 2021

Tableau 10 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) pour chaque type de substrat sur les données de couverture transformées (racine carrée) en 2021 sur le secteur de BKP. NS : Non significatif, * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; * : $p < 0,001$**

Substrat	p value	Post hoc
Abiotique	NS	
Algues	NS	
Algues calcaires	NS	
Autre faune	NS	
Corail millepora	*	Port Boisé > Baie Kwé
Corail mort récemment	NS	
Coraux	NS	
Coraux mous	***	Port Boisé > Baie Kwé
Cyanobacteries	NS	
Acroporidae	NS	
Agariciidae	NS	
Alcyoniidae	***	Port Boisé > Baie Kwé
Dendrophyllidae	NS	
Euphyllidae	NS	
Incertae sedis	NS	
Lobophyllidae	NS	
Merulinidae	NS	
Milleporidae	NS	
Pocilloporidae	NS	
Poritidae	NS	
Corail branchu	NS	
Corail digité	NS	
Corail encroutant	NS	
Corail foliaire	NS	
Corail massif	*	Port Boisé < Baie Kwé
Corail millepora	NS	
Corail solitaire	NS	
Corail sub-massif	NS	
Corail tabulaire	NS	

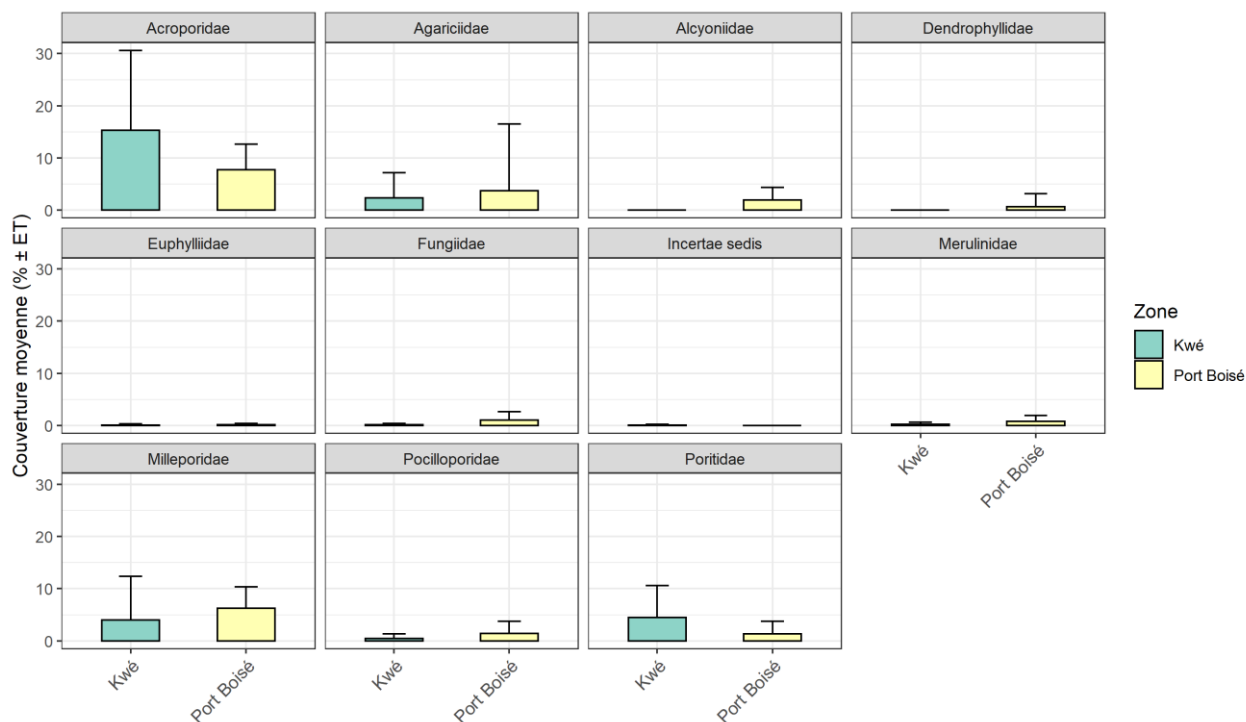


Figure 11 : Couverture moyenne (% ± ET) des différents familles coralliennes par zone du secteur de BKP en 2021

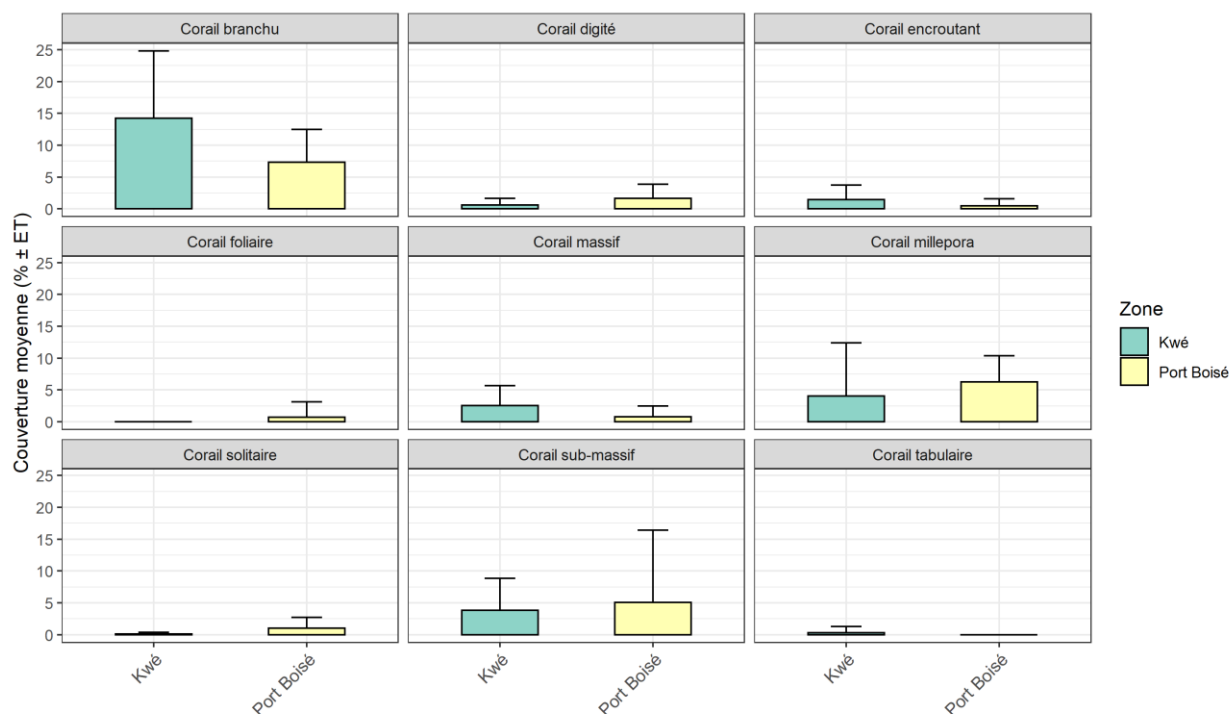


Figure 12 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes formes coralliennes par zone du secteur de BKPB en 2021

I.1.2. Comparaison aux substrats relevés par le RORC en 2021 et le réseau Acropora en 2019 sur les stations environnantes

Afin de mener une analyse comparative avec d'autres récifs suivis à proximité de la zone d'étude, il a été fait appel aux données du RORC (Réseau d'Observation des Récifs Coralliens) de Nouvelle-Calédonie, pour la campagne de suivi 2021, et aux données du réseau Acropora, pour la campagne de 2019, avec l'accord de leurs propriétaires (sites de Yaté et de l'île Ouen : Comité Consultatif Coutumier Environnemental CCCE et Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie - OEIL ; site de Prony : province Sud *via* le Conservatoire d'espaces naturels). Afin de permettre une comparaison entre les données de cette étude et celles des autres sites, le corail de feu (*Millepora*) a été inclus dans les coraux vivants.

Les couvertures coralliennes totales et par forme, sur chaque station du RORC (2021), du réseau Acropora (2019) et du réseau OEIL/CCCE (2021) sont présentées sur la Figure 13. Les tendances suivantes ressortent de cette comparaison :

- Les couvertures coralliennes, particulièrement variables selon les stations, oscillent entre 1% et 60% environ.
- Les stations ST32 (Baie Kwé) et ST12 (Port de Prony) du réseau OEIL/CCCE sont les plus pauvres avec une couverture corallienne quasi nulle en 2021.
- Les couvertures de coraux branchus et les autres formes dominant globalement chaque station. (Figure 13).

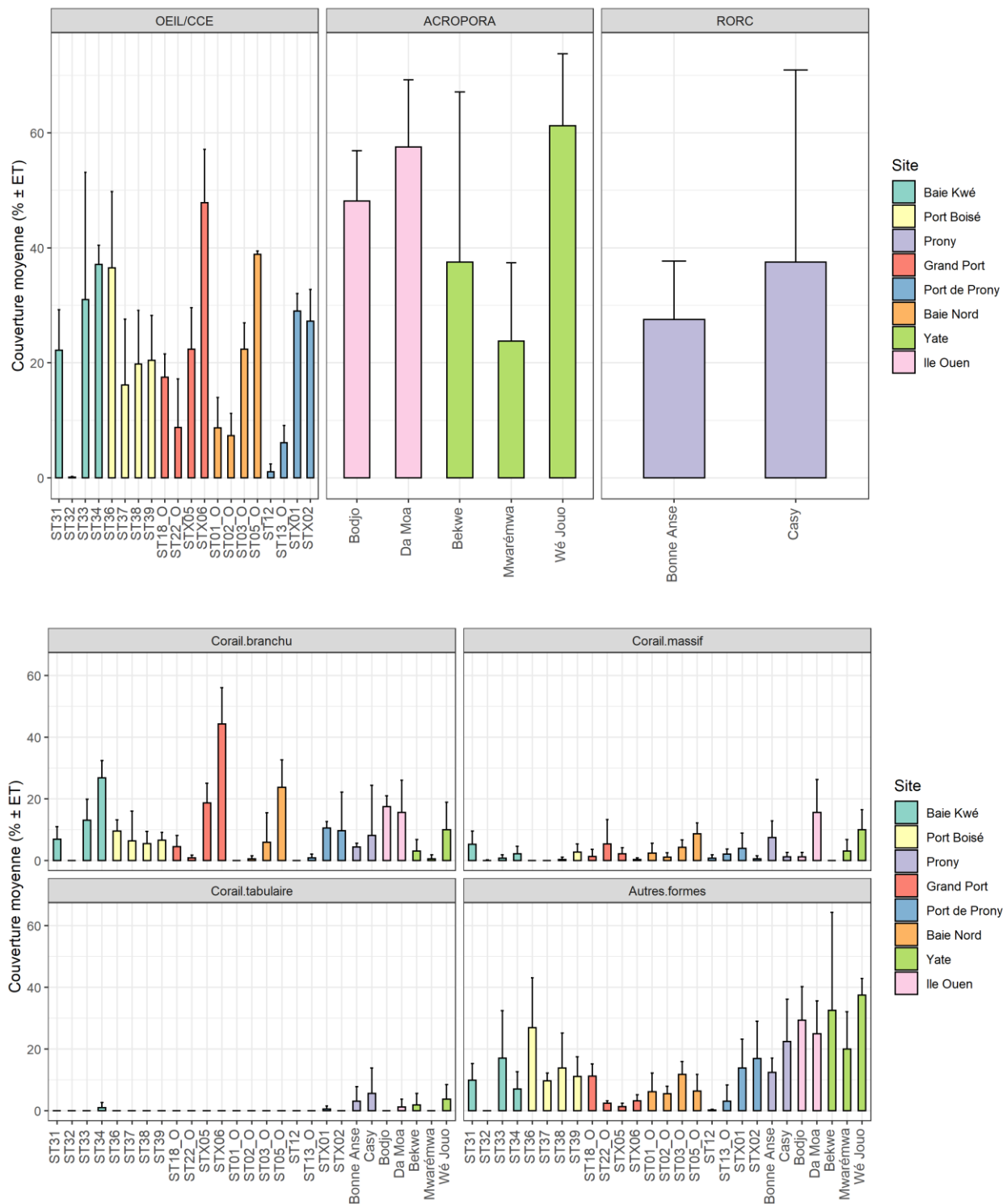


Figure 13 : Couverture corallienne moyenne totale (haut) et par forme (bas), pour les stations du RORC (campagne 2021 : Site de Prony), les stations du réseau Acropora (Campagne 2019 : Sites de Yaté, Ile Ouen) et les stations de ce présent suivi

I.2. MODÉLISATION DE TYPE CI POUR LA DÉTECTION DE SIGNAL D'IMPACT ET ÉVOLUTION TEMPORELLE

I.2.1. Modélisation de type CI entre 2019 et 2021 – secteur BKP

L'analyse de l'évolution des différents substrats entre 2019 et 2021 par baie montre l'absence de signal d'impact (interaction Campagne×Zone significative, Tableau 11) sur les substrats coralliens totaux, par famille et par formes (Figure 14). Concernant les autres catégories de substrat, seules les algues calcaires montrent une augmentation de couverture en baie de Port Boisé, comparée à une stagnation en baie Kwé, traduites par une interaction significative.

On remarque toutefois une diminution de couverture corallienne en baie Kwé (31% à 19%) comparée à une stagnation en baie de Port Boisé (environ 17% chaque année). Cette diminution est principalement liée à la famille Acroporidae, notamment aux coraux de formes branchues (Figure 16 et Figure 17).

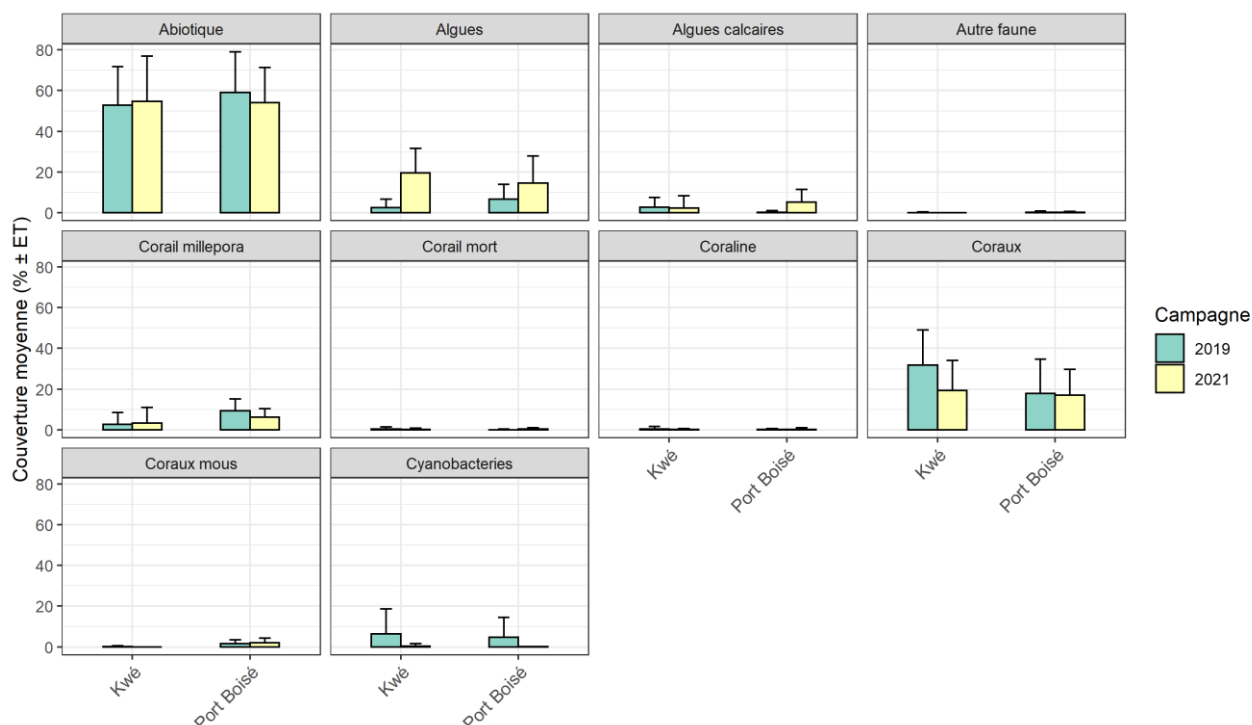


Figure 14 : Couverture moyenne (% ± ET) des différents substrats généraux par zone du secteur BKP en 2019 et 2021

L'examen des données par station montre que les diminutions observées en baie Kwé sont liées principalement aux deux stations de fond de baie (ST31 : 40% à 22% ; ST32 : 14% à 0%) mais également à la station ST34 (52% à 37%) située en en sortie de baie (Annexe II). Les deux stations de fond de baie semblent avoir subi un impact lié à de fortes précipitations (désalure et/ou sédimentation) entre 2019 et 2021, ayant impacté massivement de nombreuses colonies. Cette perturbation est illustrée par la présence de nombreuses colonies coralliennes mortes anciennement, recouvertes de turf et de sédiments telles que présentées sur la Figure 15, et confirmée par les photo-quadrats (cf II).

Une augmentation de la couverture d'algues est observée en baie Kwé (+17%) mais également en baie de Port Boisé (+8%) dans une moindre mesure (cf Figure 15). En baie Kwé, cette augmentation est liée à la mortalité corallienne observée (turf recouvrant des coraux morts, assemblages d'algues) mais également à l'apparition de tapis d'algues non fixées (plusieurs genres dont Padina) sur la

station ST32 (cf flèche sur Figure 15). En baie de Port Boisé, cette augmentation de couverture semble davantage liée à l'apparition d'assemblages d'algues (Halimeda, turf, macroalgues) sur du substrat abiotique ou entre les coraux. Cette évolution est observable aussi bien sur des stations de fond de baie que de sortie de baie (Annexe II).

Enfin, la couverture de cyanobactéries qui était proche de 5% dans chaque baie en 2019 est devenue quasiment nulle en 2021 confirmant le caractère saisonnier des observations faites en 2019.

Tableau 11 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne×Zone) pour chaque type de substrat sur les données de couverture transformées (racine carrée) sur le secteur de BKPB. NS : Non significatif, * : $p<0,05$; ** : $p<0,01$; * : $p<0,001$**

Substrat	Campagne	Zone	Campagne×Zone	Post hoc
Abiotique	NS	NS	NS	
Algues	***	NS	NS	2021>2019
Algues calcaires	NS	NS	*	Augmentation à Port Boisé, Stagnation à baie Kwé
Autre faune	NS	*	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Corail millepora	NS	***	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Corail mort récemment	NS	NS	NS	
Coraux	NS	NS	NS	
Coraux mous	NS	***	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Cyanobacteries	**	NS	NS	
Acroporidae	NS	*	NS	Baie Kwé > Port Boisé
Agariciidae	NS	NS	NS	
Alcyoniidae	NS	***	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Dendrophyllidae	NS	NS	NS	
Euphyllidae	NS	NS	NS	
Fungiidae	NS	NS	NS	
Incertae sedis	NS	NS	NS	
Lobophyllidae	NS	NS	NS	
Merulinidae	NS	*	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Milleporidae	NS	***	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Pocilloporidae	NS	*	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Poritidae	NS	***	NS	Baie Kwé > Port Boisé
Corail branchu	NA	**	NA	Baie Kwé > Port Boisé
Corail digité	NA	NA	NA	
Corail encroûtant	NA	NA	NA	
Corail foliaire	NA	NA	NA	
Corail massif	NA	***	NA	Baie Kwé > Port Boisé
Corail millepora	NA	NA	NA	
Corail solitaire	NA	NA	NA	
Corail sub-massif	NA	NA	NA	
Corail tabulaire	NA	NA	NA	

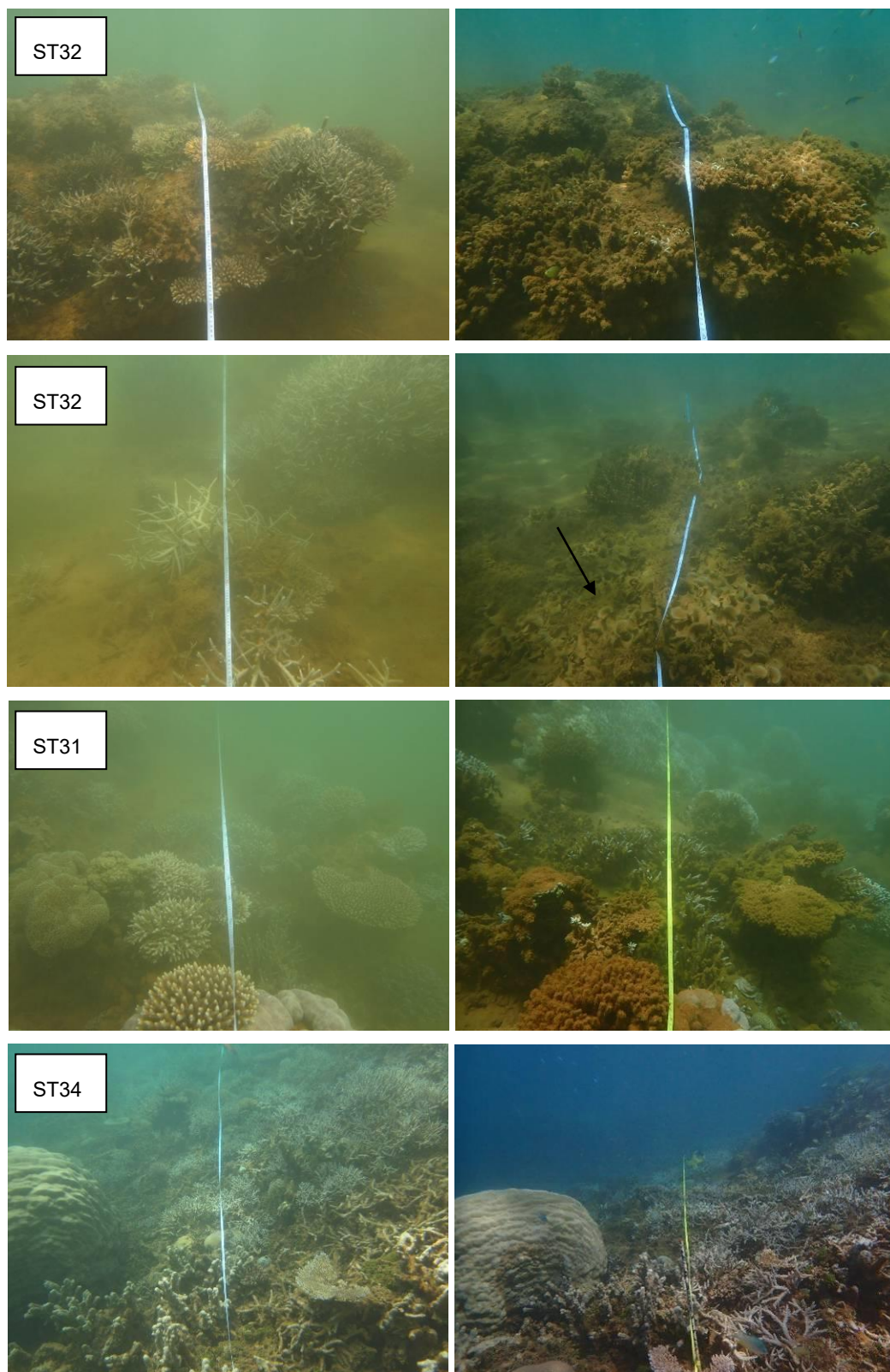


Figure 15: Evolution du substrat entre 2019 (gauche) et 2021 (droite) sur ST32, ST31 et ST34 en baie Kwé. Flèche : tapis d'assemblages d'algues non fixées sur ST32.

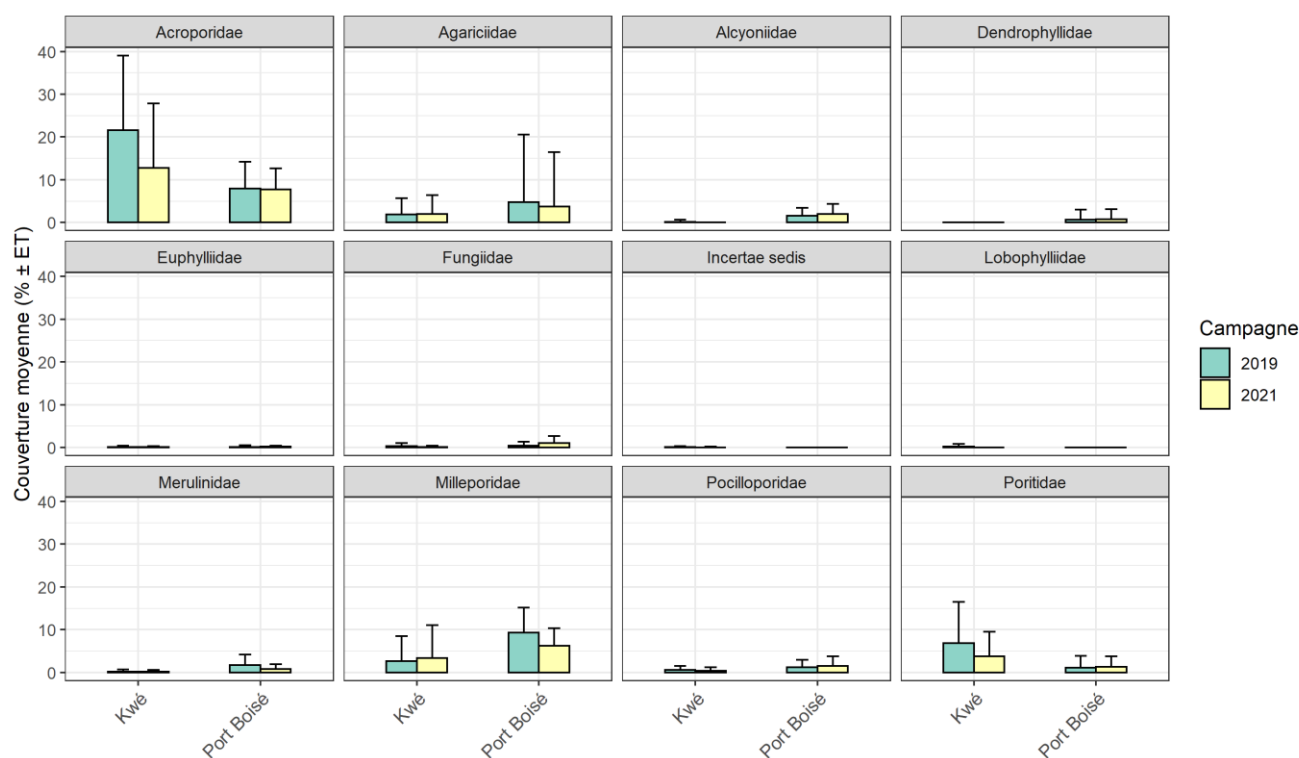


Figure 16 : Couverture moyenne ($\% \pm$ ET) des différentes familles coralliennes par zone du secteur BKPB en 2019 et 2021

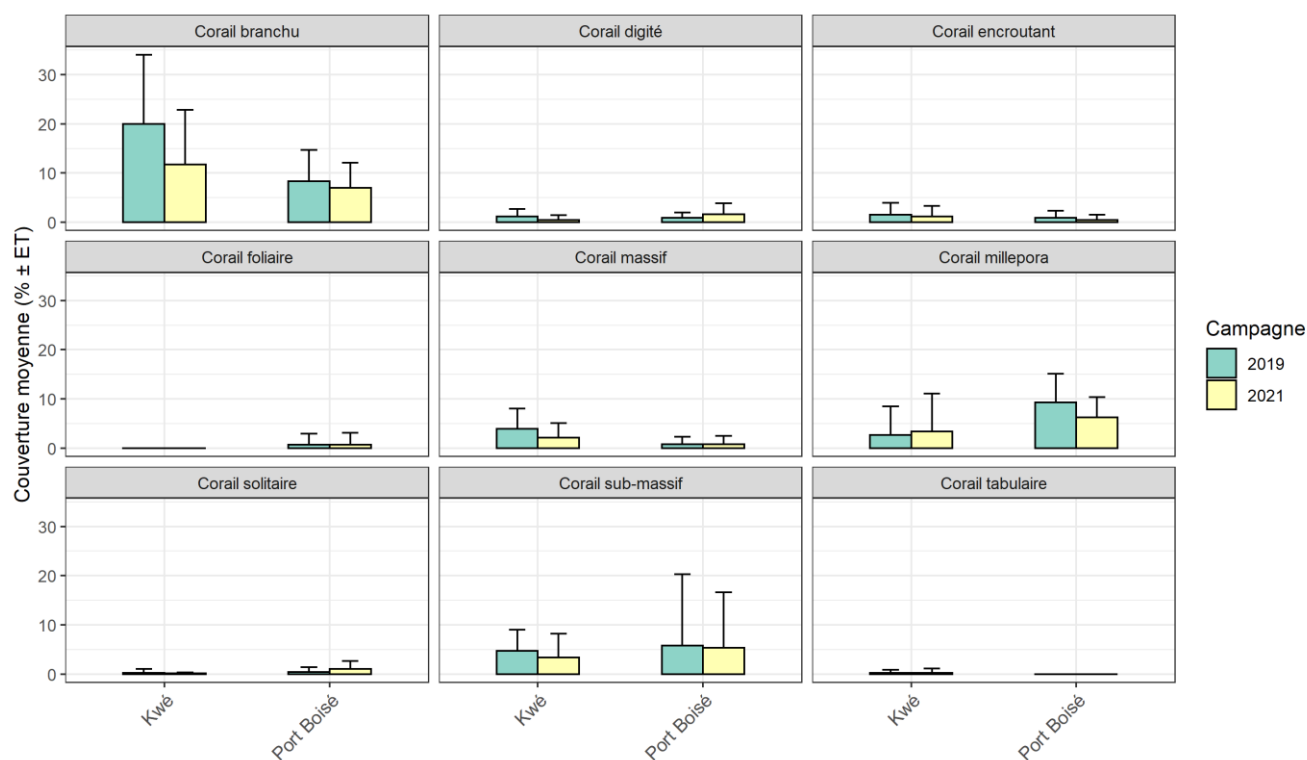


Figure 17 : Couverture moyenne ($\% \pm$ ET) des différentes formes coralliennes par zone du secteur BKPB en 2019 et 2021

I.2.1. Modélisation de type CI entre 2011 et 2021 – secteur BKP (1 transect unique)

L'analyse de l'évolution temporelle du substrat sur un transect unique conservé par station depuis 2011 confirme la tendance observée entre 2019 et 2021 sur le nouveau design mis en place en 2019 (3 transects par station, cf partie précédente). En effet, la diminution de couverture corallienne observée en baie Kwé est confirmée ici alors qu'elle légèrement diminué en baie de Port Boisé (Figure 18).

La tendance observée entre 2011 et 2021 relativise la baisse de couverture corallienne observée entre 2019 et 2021 en baie Kwé, sa couverture corallienne de 2021 étant toujours proche ou supérieure à celle observée entre 2011 et 2014.

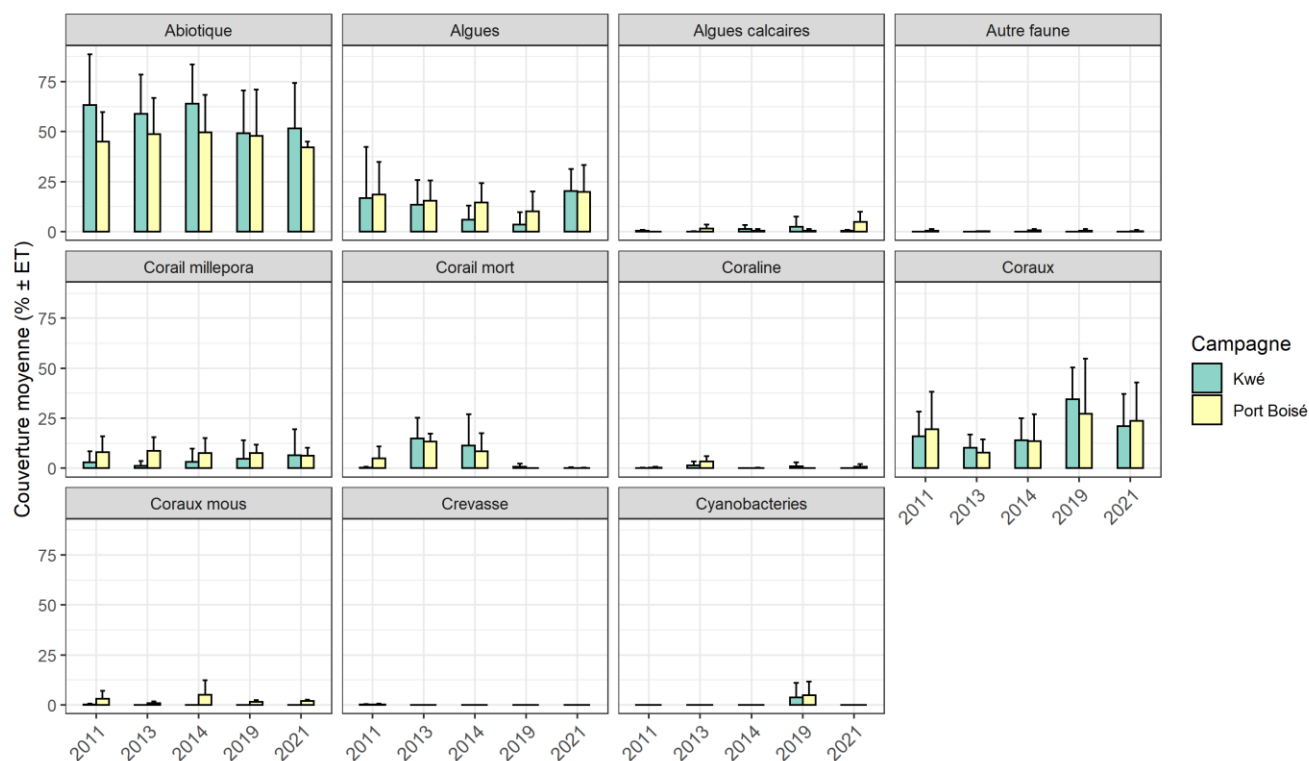


Figure 18 : Couverture moyenne (% ± ET) des différents substrats généraux par zone du secteur BKP entre 2011 et 2021 sur les transects uniques conservés par station

I.2.2. Evolution temporelle entre 2011 et 2021 – secteur Prony (1 transect unique)

Globalement, l'étude de l'évolution temporelle indicative des substrats sur les stations disposant de données antérieures à 2021 sur un transect unique montre une tendance générale à la baisse de la couverture corallienne en baie de Prony (Figure 20).

Dans les zones de baie Nord et Grand Port, une baisse de couverture corallienne est observée entre 2011 et 2021 sur la majorité des stations (hormis ST03_O). Cette baisse atteint -30/40% dans certains cas et semble liée aussi bien aux Acroporidae que Non-Acroporidae (Figure 21). Dans la zone du Port de Prony, les deux stations bénéficiaient initialement d'une faible couverture corallienne (<10%) qui s'est d'avantage réduite en 2021. Sur la station particulière ST12 bénéficiant de données annuelles depuis 2008, on observe une baisse régulière de cette couverture depuis 2018 pour devenir quasiment nulle en 2021.

Peu d'évolutions sont observées sur les couvertures de coraux mous qui restent généralement faibles sur la totalité des stations, hormis ST02_O (Baie Nord) qui a vu sa couverture bondir de 5% à 20% environ en 10 ans.

Les observations réalisées en 2021 ont montré la présence de quelques gros individus d'*Acanthaster* sur 8 des 12 stations échantillonnées en baie de Prony dont la structure laisse supposer des invasions passées sur les six dernières années (présence de nombreux débris coralliens et corail mort en place). Les tendances à la baisse de la couverture corallienne généralisée à la majorité des stations entre 2011 et 2021 semblent étroitement liées à ces invasions pour les raisons suivantes :

- L'analyse des lésions coralliennes fait apparaître des lésions récentes de prédation d'*Acanthaster* sur les stations où certains individus sont encore présents (Figure 19).
- L'outil participatif OREANET de l'IRD (www.oreanet.ird.nc) dont les résultats ont fait l'objet d'une publication scientifique (Dumas et al. 2020) confirme des épisodes d'invasions d'*Acanthaster* en baie de Prony entre 2015 et 2020.



Figure 19 : Présence d'*Acanthaster* sur STX02 (gauche) et ST02_O (droite), témoins de lésions récentes de prédation sur des coraux

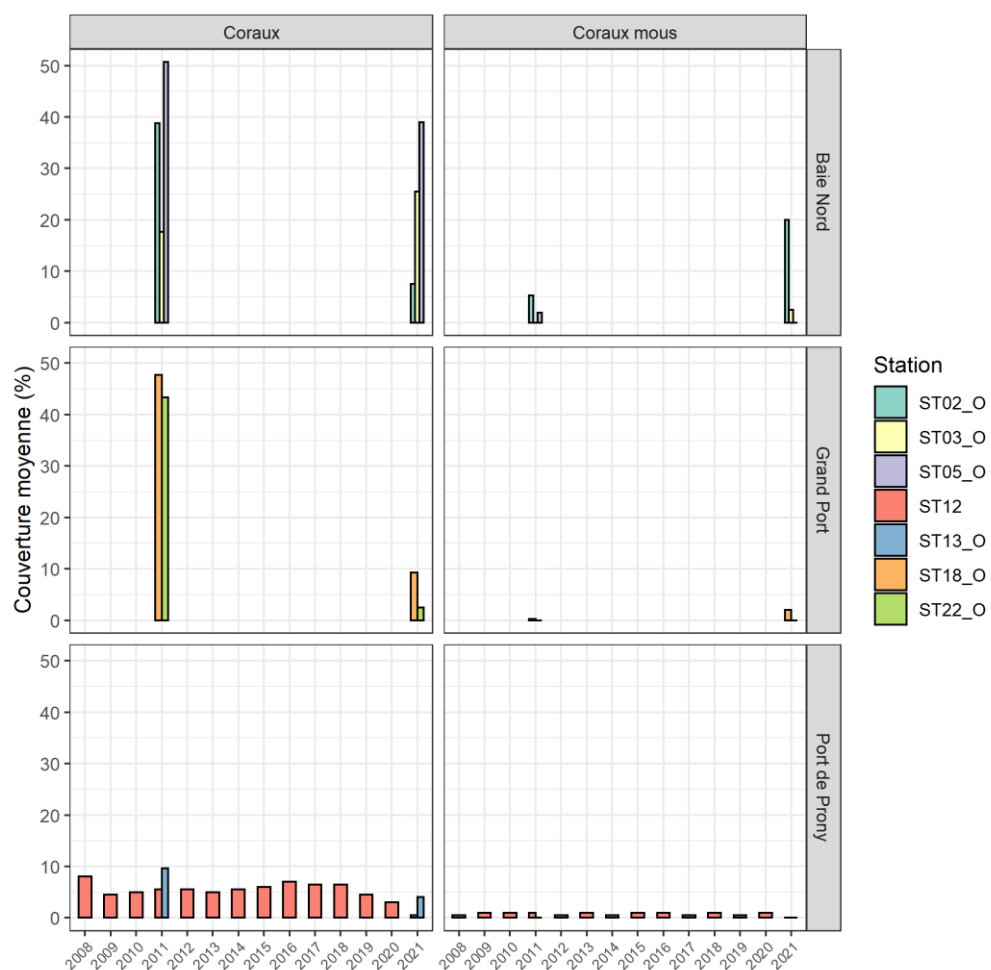


Figure 20 : Couverture moyenne (%) indicative des différents substrat par station et zone du secteur de Prony entre 2011 et 2021 (source données: EMR 2011, Aquaterra 2008-2020)

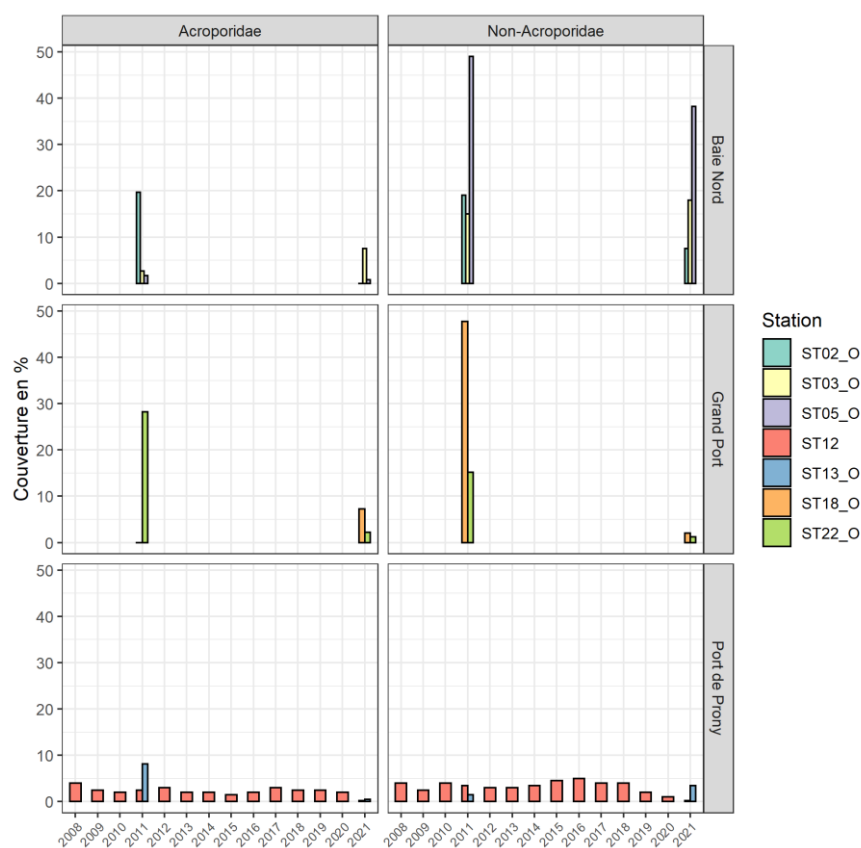


Figure 21 : Couverture moyenne (%) indicative des deux grands groupes de familles coralliennes par station et zone du secteur de Prony entre 2011 et 2021 (source données: EMR 2011, Aquaterra 2008-2020)

II. PHOTO-QUADRATS

En baie Kwé et Port Boisé, les 10 quadrats permanents par station mis en place en 2019 ont été photographiés à nouveau en 2021. Ces photos ont un pouvoir d'illustration de la croissance corallienne ou perturbation passées entre 2019 et 2021. Un bilan sur l'évolution de l'état de santé des colonies coralliennes est présenté dans le Tableau 12.

Tableau 12 : Evolution de l'état de santé des colonies coralliennes dans les quadrats des stations du secteur BKPB entre 2019 et 2021.

Zone	Station	Croissance corallienne	Absence d'évolution	Dégradation partielle	Dégradation totale
Port Boisé	ST36	80%	0%	20%	0%
	ST37	50%	10%	20%	20%
	ST38	50%	10%	40%	0%
	ST39	70%	0%	20%	10%
Moyenne		63%	5%	25%	8%
Kwé	ST31	0%	0%	100%	0%
	ST32	0%	0%	30%	70%
	ST33	60%	0%	30%	10%
	ST34	20%	0%	50%	30%
Moyenne		20%	0%	53%	28%

Ce bilan confirme les tendances observées par le LIT :

- Une forte dégradation des colonies coralliennes en fond de baie Kwé (ST31 et ST32) avec 100% de colonies mortes ou dégradées partiellement
- Une dégradation plus faible en sortie de baie Kwé (40 à 80%), compensée par de la croissance corallienne (20 à 60% des colonies)
- Une dominance de croissance corallienne sur toute la baie de Port Boisé (63% des colonies concernées en moyenne) avec toutefois une dégradation impactant 25% des colonies et 8% de mortalité totale.

Des exemples d'évolutions sont illustrés sur la Figure 22 pour chaque baie.

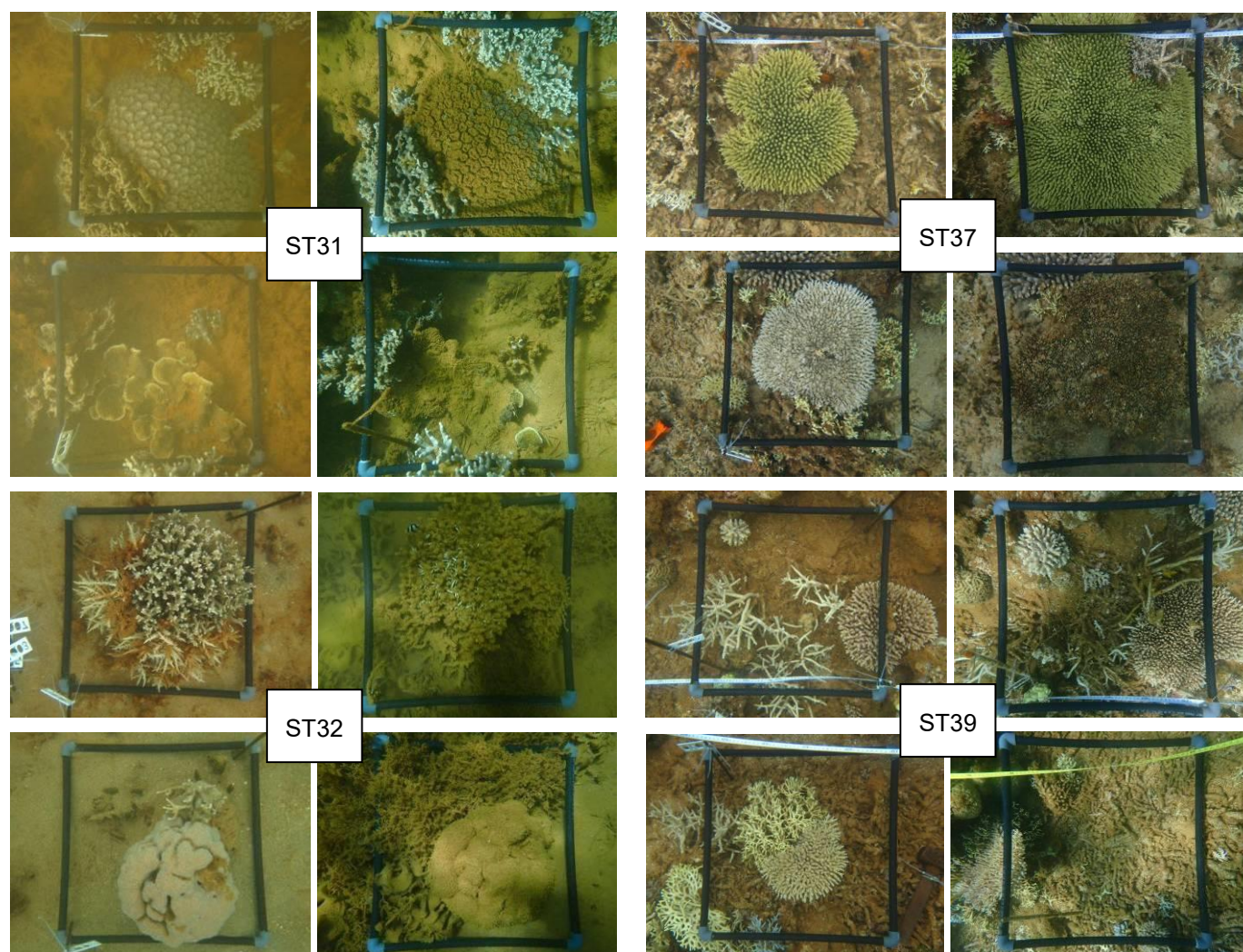


Figure 22: Photo-quadrats en 2019 (gauche) et 2021 (droite) sur deux quadrats de ST31 et ST32 (Baie Kwé) deux quadrats de ST37 et ST39 (Port Boisé)

III. ETAT DE SANTÉ DES COMMUNAUTÉS CORALLIENNES

III.1. PRÉVALENCE DE LÉSIONS CORALLIENNES EN 2021

III.1.1. Secteur de Prony

Les lésions liées à la sédimentation/compétition sont les plus observées sur les colonies dans chaque zone avec une prévalence moyenne comprise entre 40% et 55% (Figure 23) indiquant une pression sédimentaire élevée dans toute la baie de Prony. Une forte variabilité entre stations au sein de chaque zone est toutefois enregistrée (cf Annexe III) particulièrement Grand Port et Baie Nord où les stations les plus enfoncées en fond de baie sont davantage touchées par ce type de lésions.

Les lésions de prédation sont significativement supérieures au niveau du Port de Prony (>10%) qu'en baie Nord (environ 7%) ou à Grand Port (1%). Ces lésions sont quasiment exclusivement liées à la présence récurrente d'Acanthasters dans la zone. Au niveau du Port de Prony, l'examen des données par station montre la plus forte prévalence de ces lésions sur STX02 (environ 40%, cf Figure 19) avec la présence de gros individus toujours actifs, et sur ST13_O dans une moindre mesure.

Aucune maladie corallienne de l'Indo-Pacifique n'a été observée en baie de Prony et la prévalence de malformations coralliennes est faible dans chaque zone (<0,1%). Enfin, le blanchissement (total et partiel) reste également limité dans chaque zone (<3,5%) n'indiquant pas de stress généralisé en cours sur les stations lors de la campagne.

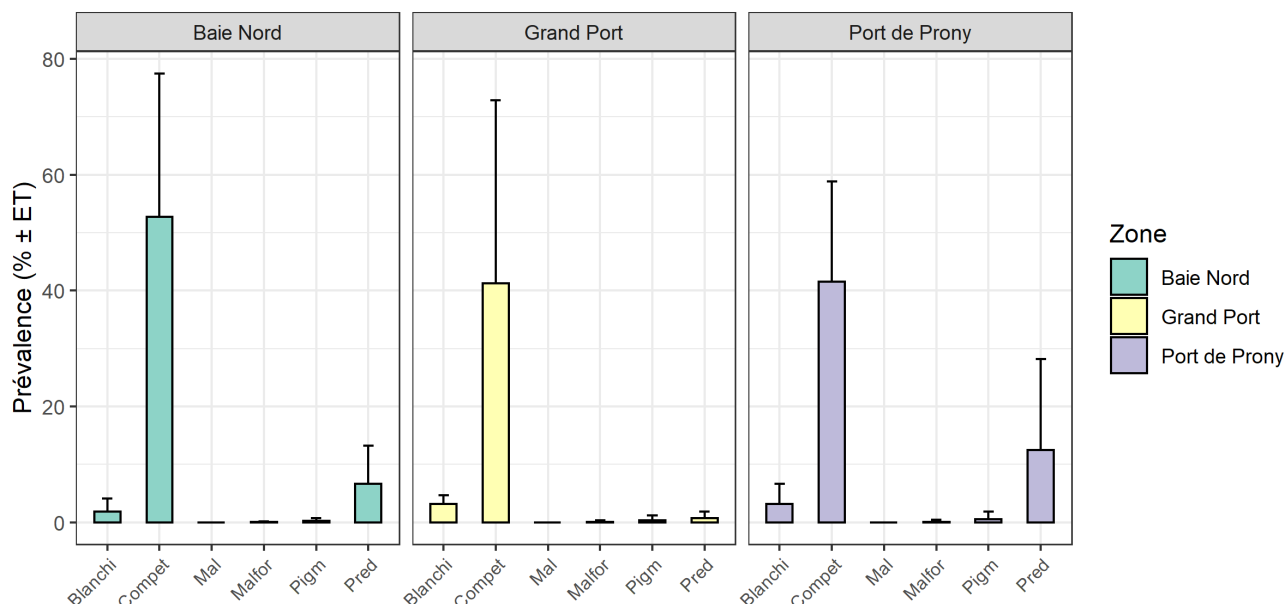


Figure 23 : Prévalence de lésions coralliennes (% ± ET) par zone au sein du secteur de Prony. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/sédimentation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation

Tableau 13 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) sur les prévalences de lésions coralliennes transformées (racine carrée) sur le secteur de Prony en 2021

Prévalence	Zone	Post hoc
Blanchissement	NS	
Compétition	NS	
Malformation	NS	
Pigmentation	NS	
Prédation	**	Port de Prony > Grand Port, Baie Nord
Maladie	NS	

L'examen des prévalences de lésions par familles coralliennes montre que :

- La totalité des familles est touchée par les lésions de sédimentation/compétition dans chaque zone, indiquant une influence généralisée de ces perturbations à l'échelle de la baie et des taxons ;
- Le blanchissement touche d'avantage les familles Pocilloporidae et Euphyllidae (dans une moindre mesure) dans chaque zone. Cette tendance confirme les observations faites en 2019 en zone de BKP (Heintz et al. 2020) et que la famille Pocilloporidae (genres *Seriatopora*, *Pocillopora* et *Stylophora*) figure parmi les familles les plus sensibles au blanchissement généralement (Marshall & Baird 2000; Edwards *et al.* 2001; McClanahan *et al.* 2004) ;
- Les lésions de prédation liées aux *Acanthasters* touchent la plupart des familles coralliennes dans les zones Grand Port et Baie Nord.

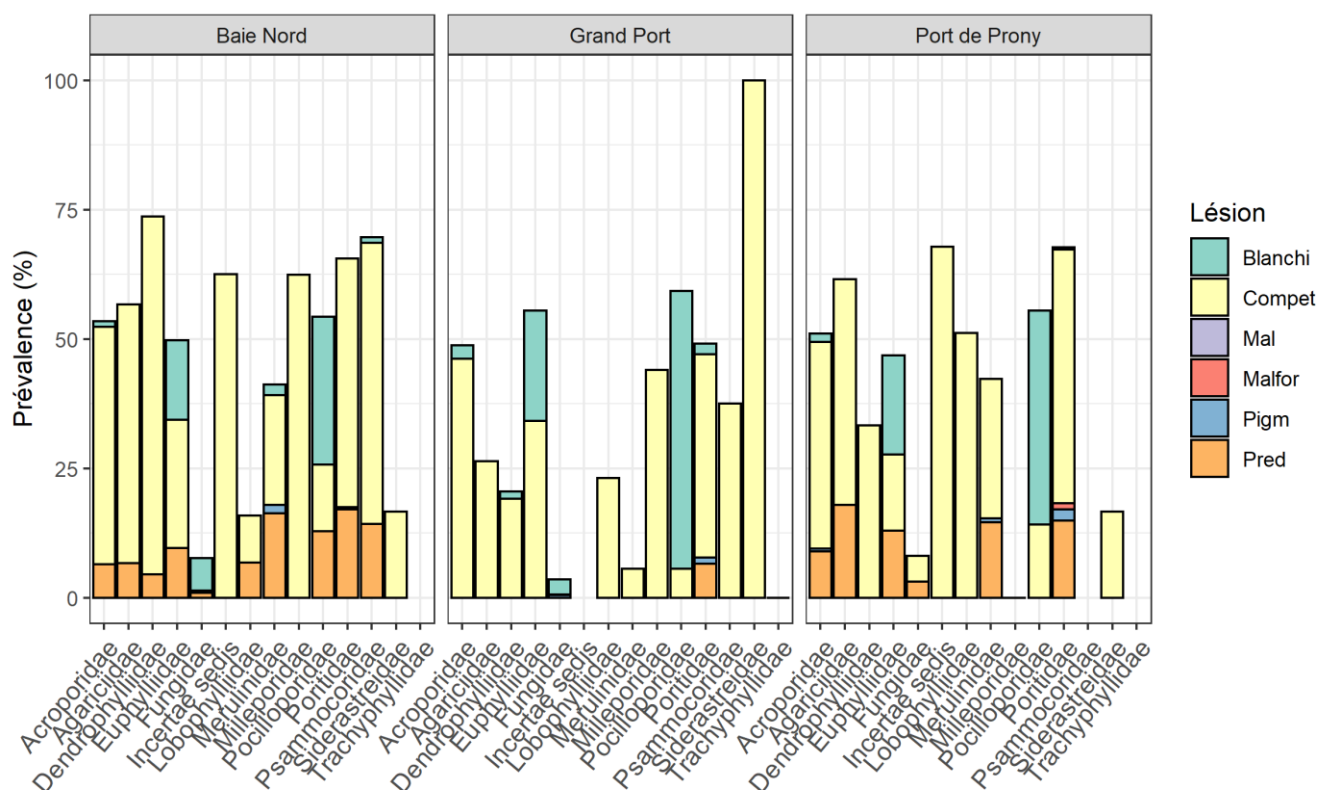


Figure 24 : Prévalence de lésions coralliennes (% ± ET) par zone et par famille au sein du secteur de Prony. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/sédimentation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation

III.1.2. Secteur de BKPB

En 2021, aucune différence significative dans les prévalences de lésions coralliennes n'est détectée entre baie Kwé et baie de Port Boisé (Figure 25 et Tableau 14).

On observe toutefois que les lésions de sédimentation/compétition, qui sont les plus prépondérantes dans chaque baie, sont en moyenne plus fréquentes en baie Kwé (72%) qu'en baie de Port Boisé (59%) avec une forte variabilité intra-baie. L'examen des données par station (Annexe III) montre que ces lésions sont logiquement plus fréquentes en fond de baie Kwé (ST31 et ST32 : >80%) qu'en sortie de baie où elles sont toutefois bien présentes (ST33 et ST34 : 40 à 60%). En baie de Port Boisé, cette différenciation est moins marquée avec 3 stations bénéficiant d'une prévalence proche de 65% (ST36, 37 et 38) et une station dont la prévalence est proche de 38% (ST39).

Concernant les maladies coralliennes de l'Indo-Pacifique, leur prévalence reste très faible par baie avec seulement (Figure 26):

- Deux cas de Skeletal Eroding Band observés en baie Kwé (ST33 et ST34) ;
- Un cas de Skeletal Eroding Band observé en baie de Port Boisé (ST38).

Cette tendance ne reflète donc pas de pullulations de maladies coralliennes, les malformations coralliennes étant également présentes à une prévalence très faible par baie (<0,2%).

Enfin, parmi les autres types de lésions, le blanchissement reste peu fréquent (<0,6% dans chaque baie) alors que les lésions de prédation présentent une prévalence non négligeable dans chaque baie (9% en baie Kwé et 7% en baie de port Boisé). L'examen des données brutes et des données par station montre que cette tendance est liée à des pullulations localisées de *Drupellas* sur ST34 (Kwé) et ST38, ST39 (Port Boisé). Ainsi, à l'inverse de la baie de Prony où les *Acanthasters* sont responsables de ce type de lésions, les *Drupellas* sont mis en cause dans la zone BKPB.

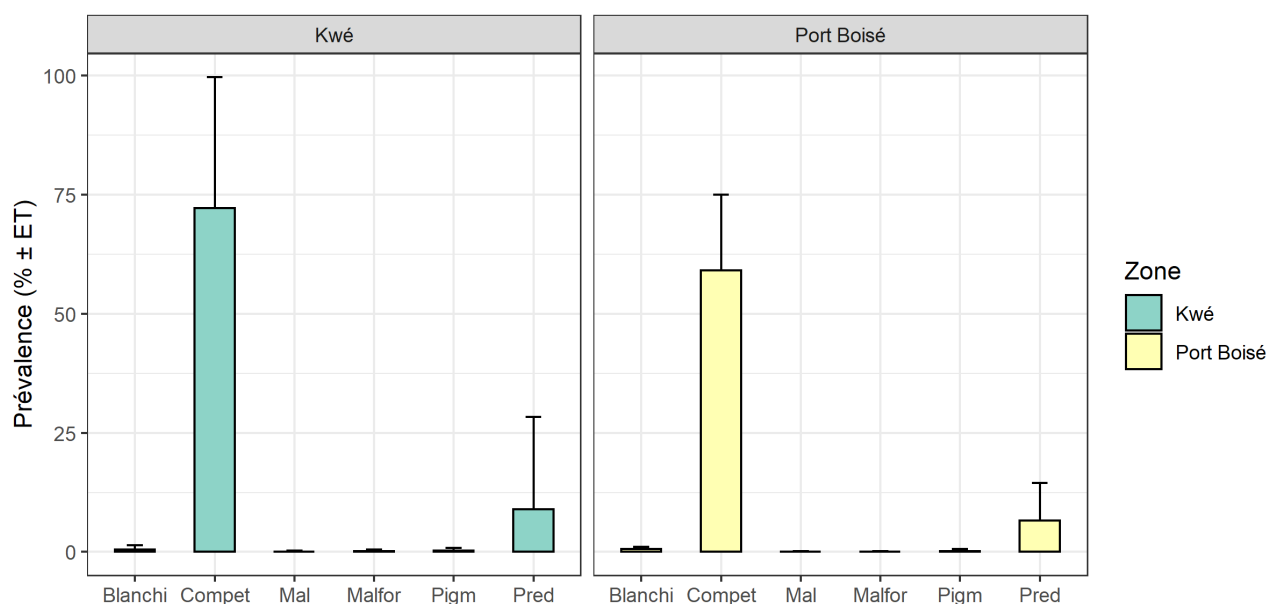


Figure 25 : Prévalence de lésions coralliennes (% ± ET) par zone au sein du secteur de BKPB. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/sédimentation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation

Tableau 14 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) sur les prévalences de lésions coralliennes transformées (racine carrée) sur le secteur de BKPB en 2021

Prévalence	Zone	Post hoc
Blanchissement	NS	
Compétition	NS	
Malformation	NS	
Pigmentation	NS	
Prédation	NS	
Maladie	NS	

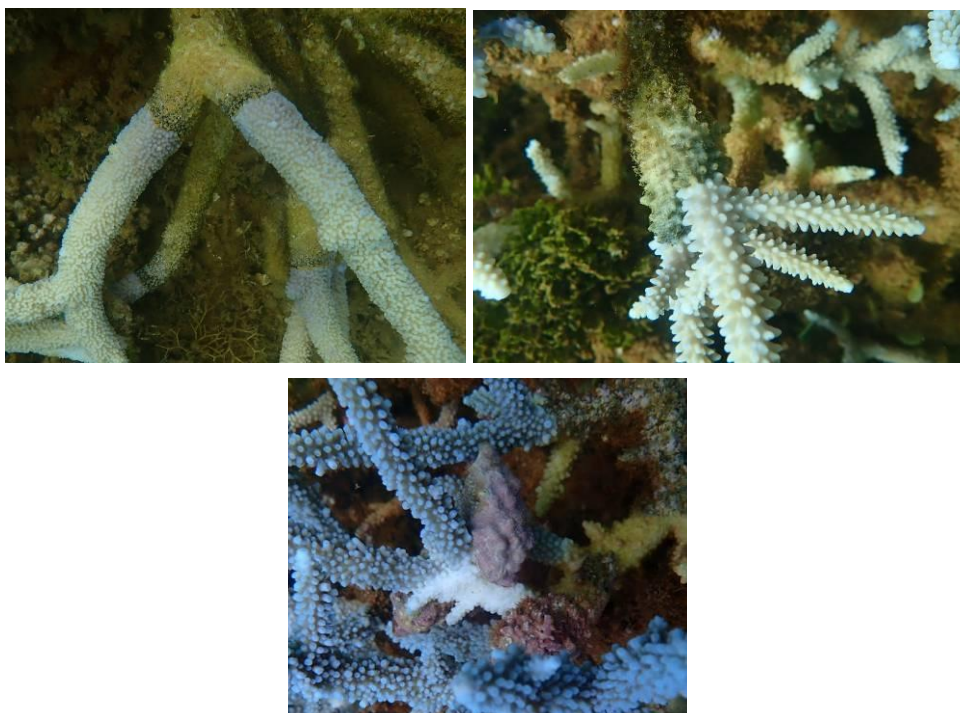


Figure 26 : Photographie de Black Band Disease sur ST38 (haut - gauche) et de Skeletal Eroding Band sur ST34 (haut - droite) et prédation par Drupella sur ST34 (bas)

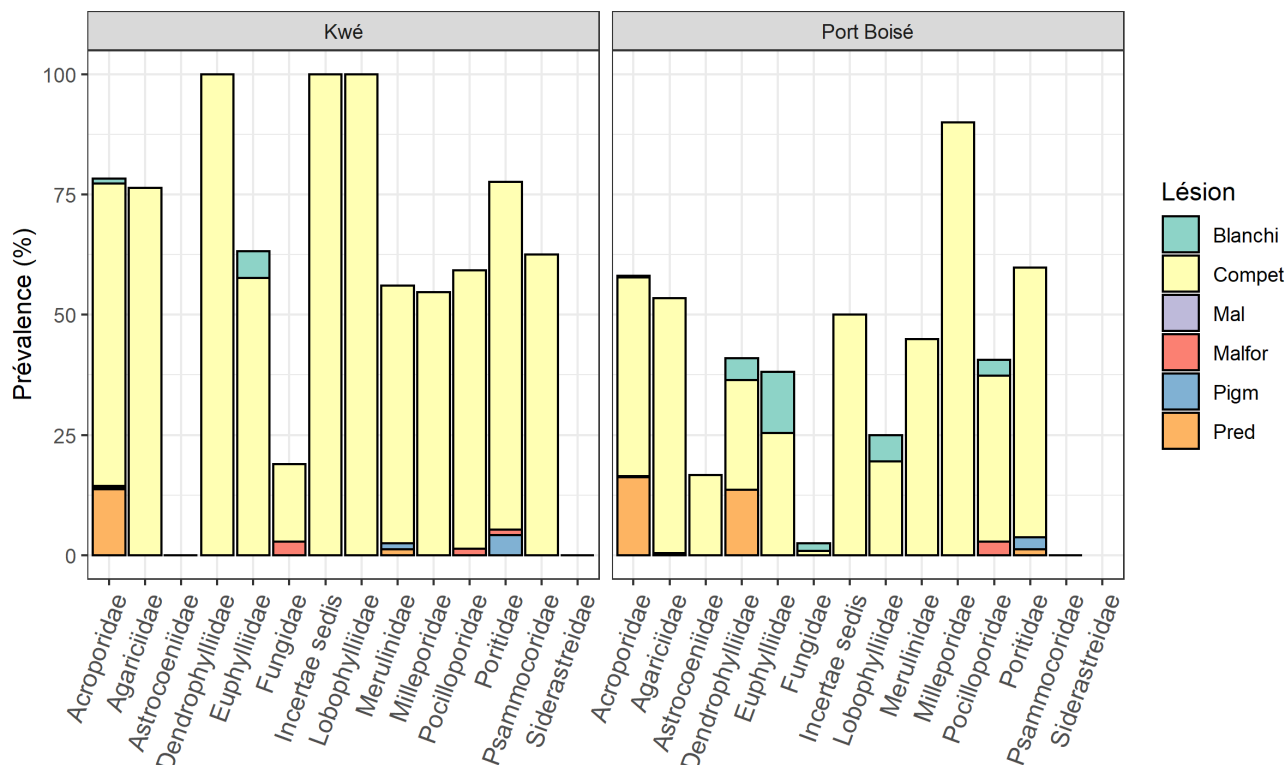


Figure 27 : Prévalence de lésions coralliennes (% ± ET) par zone et par famille au sein du secteur de BKPB. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/sédimentation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation

L'examen des prévalences de lésions par familles coralliennes montre que :

- La totalité des familles est touchée par les lésions de sédimentation/compétition dans chaque baie, indiquant une influence généralisée de ces perturbations à l'échelle des baies et des taxons ;
- Les lésions de prédation liées aux *Drupella* touchent principalement les familles *Acroporidae* (genres *Montipora*, *Montipora* et *Isopora* principalement) et *Dendrophylliidae* (genre *Turbinaria*) (Figure 28).



Figure 28 : Invasion de *Drupella* sur une colonie d'*Acropora* branchu sur ST39

III.2. MODÉLISATION DE TYPE CI SUR LA PRÉVALENCE DE LÉSIONS CORALLIENNES ENTRE 2019 ET 2021 – SECTEUR BKPB

La modélisation de type CI accompagnée de son test ANOVA à deux facteurs ne montre pas de signal d'impact (interaction Campagne×Zone non significative) sur la prévalence de chaque type de lésions corallienne entre 2019 et 2021 en BKPB (Figure 29 et Tableau 15).

On observe une forte augmentation (facteur 3 environ) de la prévalence de lésions liées à la sédimentation/compétition dans les deux zones avec pour chaque année une prévalence légèrement supérieure en baie Kwé qu'en baie de port Boisé. Cette tendance fait l'objet d'une attention particulière dans la section III.3.

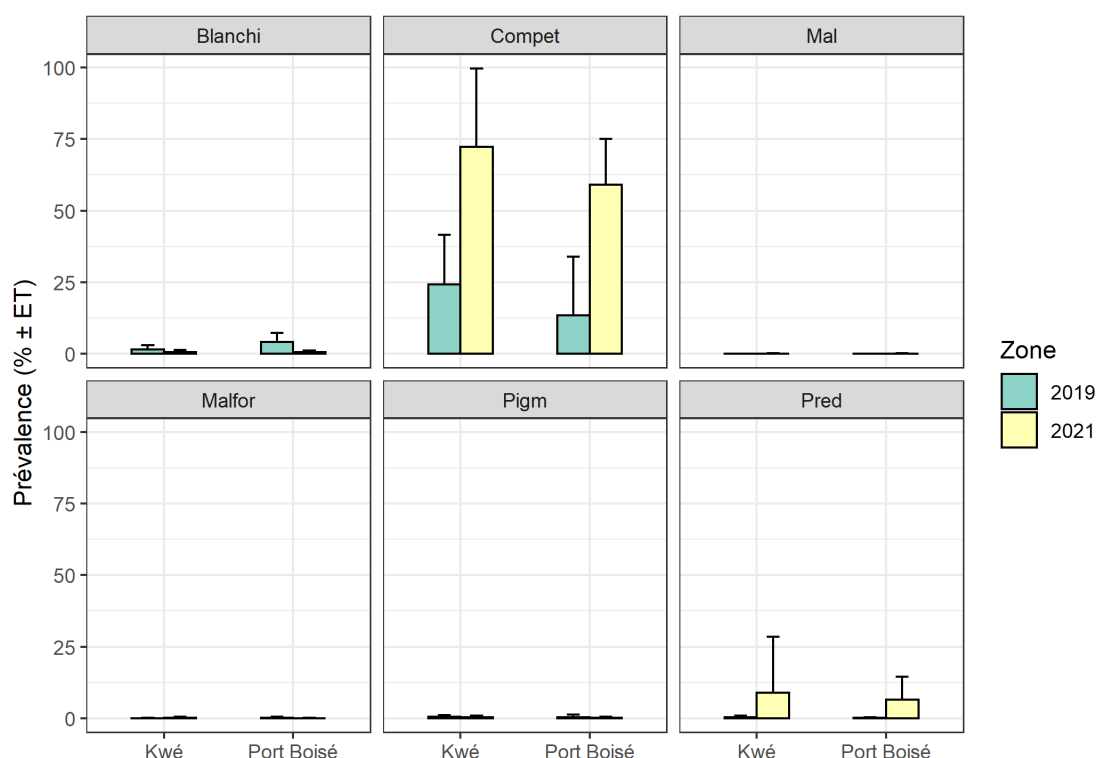


Figure 29 : Prévalence de lésions coralliennes (% ± ET) par zone au sein du secteur de BKPB en 2019 et 2021. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/sédimentation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation

Les autres types de lésions ne montrent pas d'évolutions particulières à l'exception :

- Du blanchissement qui est moins prévalent dans les deux zones en 2021 que 2019 pour atteindre de très faibles prévalences (<0,6%) ;
- Des lésions de prédation qui étaient très peu présentes en 2019 et dont la prévalence a fortement augmenté, à la suite de la présence de petites invasions localisées de *Drupella* sur les stations ST34 (Kwé) et ST38, ST39 (Port Boisé) en 2021.

Tableau 15 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne et Zone) sur les prévalences de lésions coralliennes transformées (racine carrée) sur le secteur de BKPB en 2021

Prévalence	Campagne	Zone	Campagne×Zone	Post hoc
Blanchissement	***	**	NS	2019>2021, Port Boisé> Kwé
Compétition	***	NS	NS	2021>2019
Malformation	NS	NS	NS	
Pigmentation	NS	NS	NS	
Prédation	**	NS	NS	2021>2019
Maladie	NS	NS	NS	

L'examen des prévalences de lésions par familles (Figure 30) montre que l'augmentation de prévalence des lésions liées à la sédimentation/compétition touche toutes les familles en 2021, indiquant un phénomène généralisé aux deux baies. Les lésions de prédation ne concernent pas les mêmes familles en 2019 et 2021 et concernent principalement les Acroporidae en 2021, suite aux invasions localisées de *Drupella*.

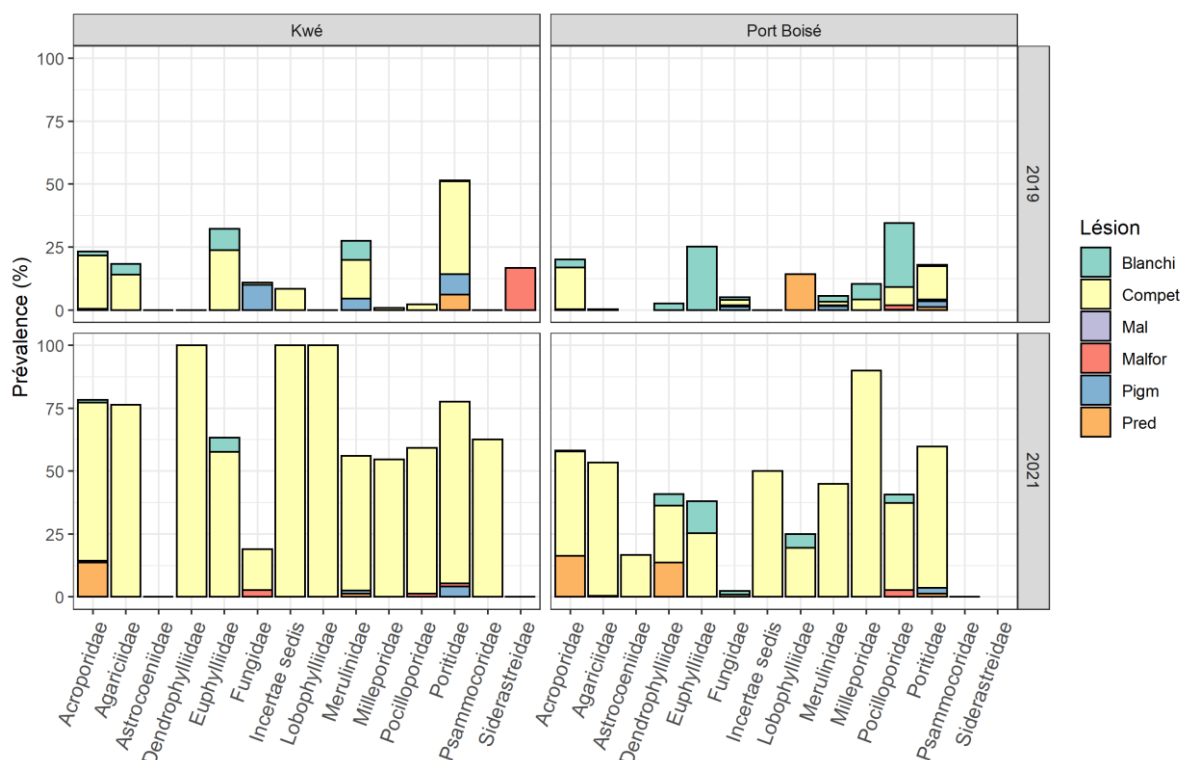


Figure 30 : Prévalence de lésions coralliennes (%) par famille et par zone au sein du secteur de BKPB en 2019 et 2021. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/sédimentation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation

Des photographies des lésions fréquemment rencontrées en Nouvelle-Calédonie sont présentées sur la Figure 31.

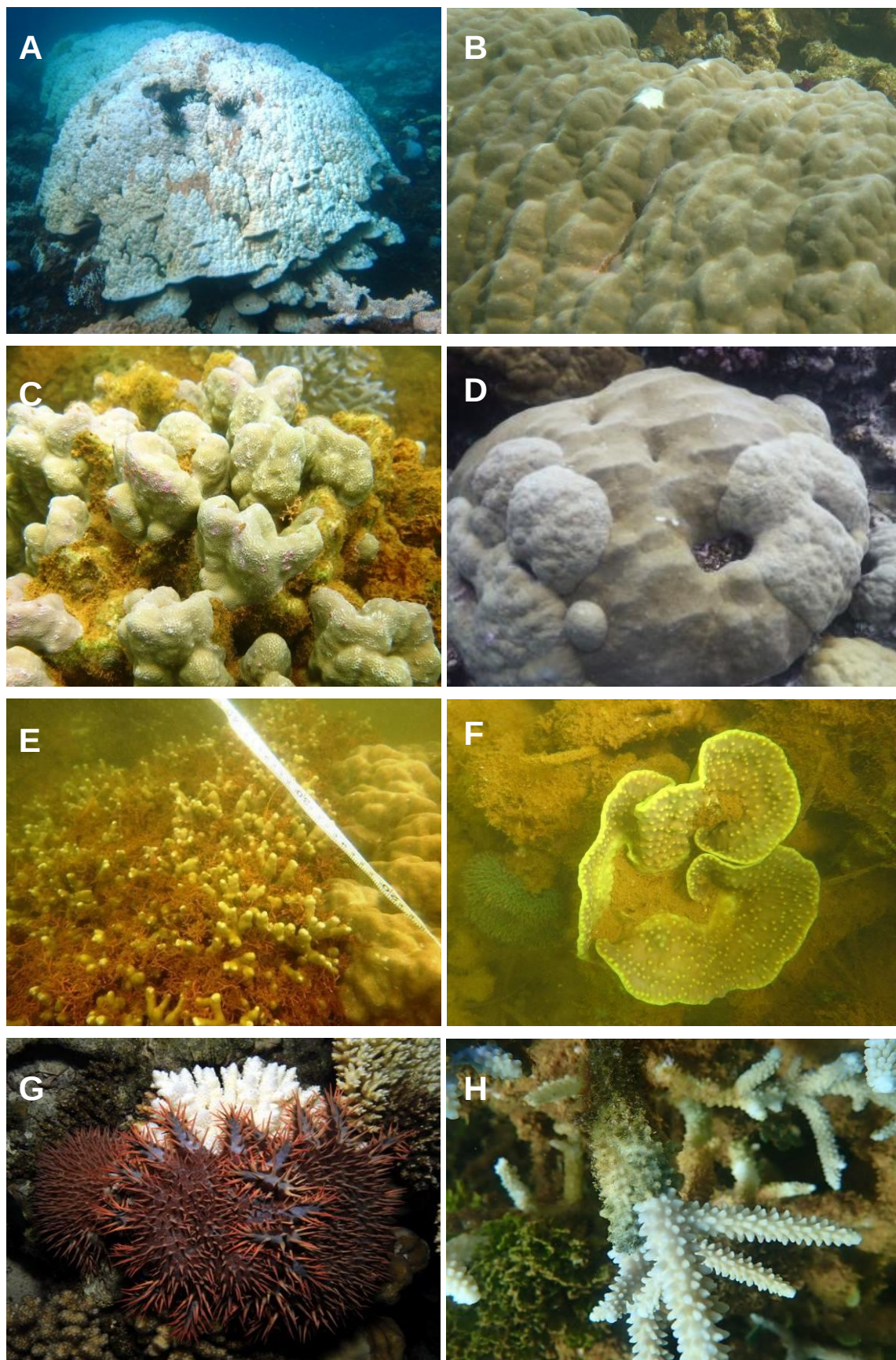


Figure 31 : illustration des lésions coralliennes fréquemment rencontrées : A : *Porites* sp. totalement blanchi, B : Blanchissement partiel sur *Porites* sp., C : Pigmentation rose sur *Porites* sp., D : Malformation sur *Porites* sp., E : Compétition entre *Porites* sp. et des algues, F :

sédimentation sur *Turbinaria* sp., G : Prédation d'*Acanthaster* sur *Acropora* sp., H : Skeletal Eroding Band sur *Acropora* sp.

III.3. PRESSION SÉDIMENTAIRE

III.3.1. Evolution 2019-2021 – secteur de BKP

Dans cette étude, la pression sédimentaire peut être indirectement évaluée à travers la couverture de vase issue du LIT et la prévalence de lésions coralliennes liées à la sédimentation/compétition.

L'analyse de la couverture de vase en 2019 et 2021 montre une forte augmentation de sa couverture en fond de baie Kwé (+ 25%, Figure 32), confirmant une pression sédimentaire accrue entre ces dates, à l'origine de dépôts sédimentaires de particules fines. Ces dépôts sont probablement liés aux événements climatiques extrêmes survenus en Nouvelle Calédonie en 2020 et 2021, et renforcés par le phénomène La Niña présent depuis 2020. En baie de Port Boisé, la couverture de vase reste faible (<5%) même si elle a légèrement augmenté en 2021.

En sortie de baie, la couverture de vase reste infime chaque année dans chaque baie.

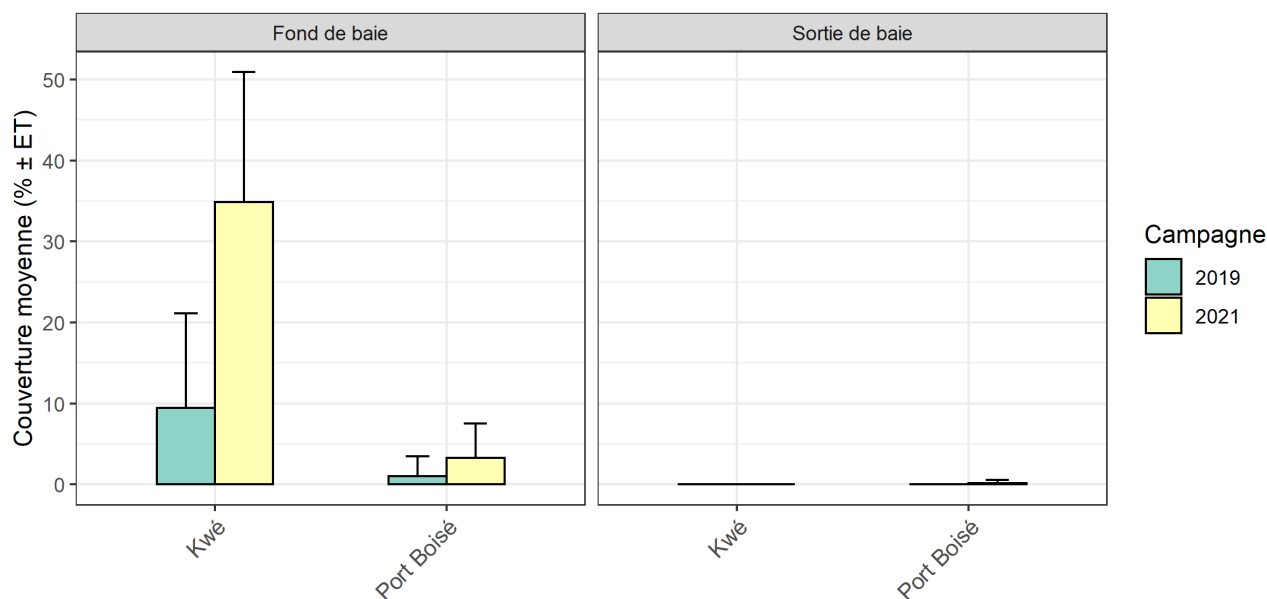


Figure 32 : Couverture de vase (%) par typologie en 2019 et 2021 en zone BKP

Les lésions coralliennes liées à la sédimentation/compétition montrent une forte augmentation de prévalence aussi bien en fond qu'en sortie de baie dans les deux baies (Figure 33).

En fond de baie, leur prévalence reste environ deux fois plus élevée en baie Kwé que Port Boisé chaque année confirmant une pression sédimentaire plus élevée en baie Kwé, comme cela avait été déjà observé en 2019 (Heintz et al. 2020). La forte augmentation de ce type de lésion, d'avantage en baie Kwé, confirme les observations faites sur la couverture de vase qui a également augmenté.

La forte augmentation de prévalence de lésions liées à la sédimentation/compétition observée en sortie des deux baies en 2021 semble également liée à la compétition entre macroalgues/turf/Halimeda et coraux (Figure 34). En effet, la présence de ces algues à

proximité directe des colonies coralliennes induit une compétition pouvant être à l'origine d'un état de santé compromis des colonies (cf Figure 34).

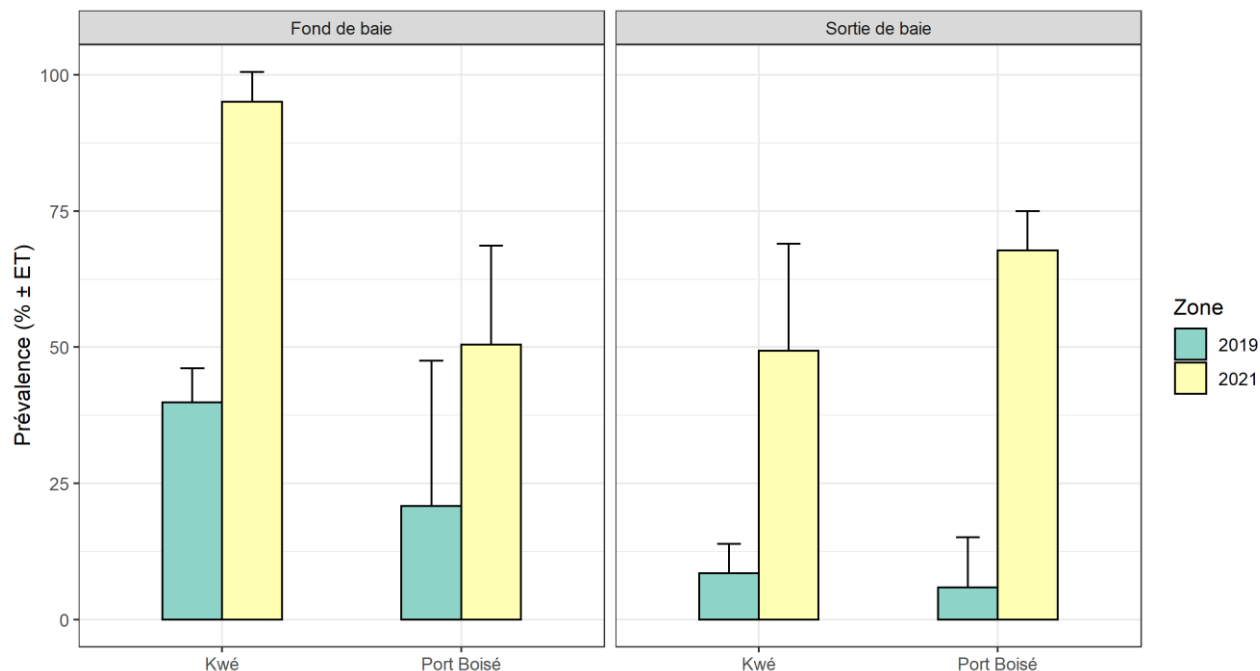


Figure 33 : Prévalence de lésions coralliennes liées à la sédimentation/compétition (% ± ET) par typologie en 2019 et 2021

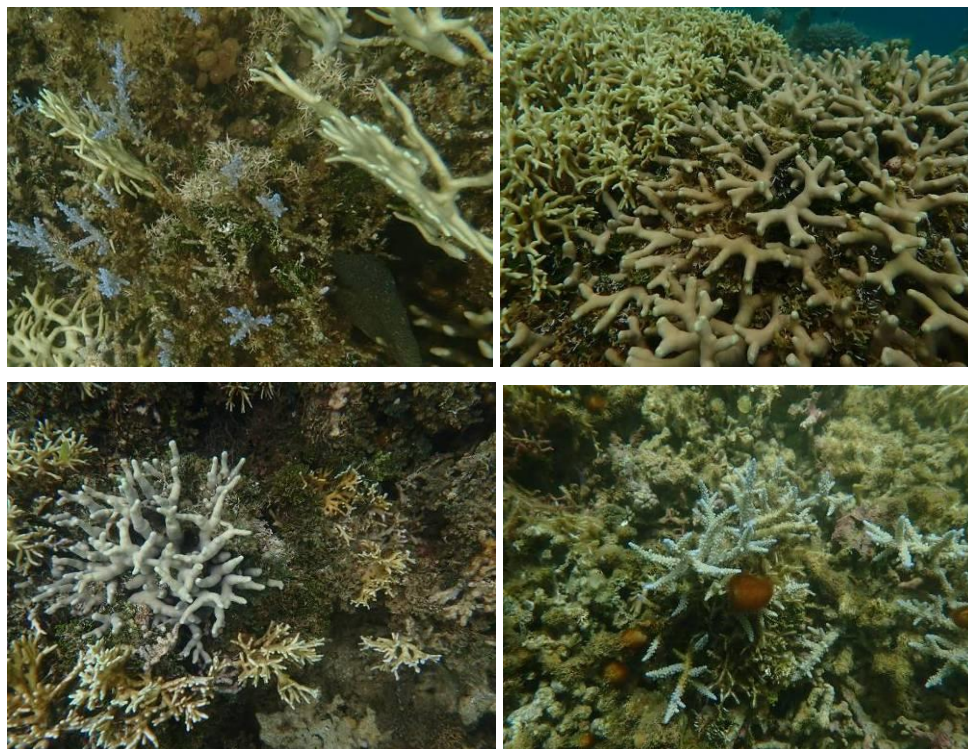


Figure 34 : Compétition entre algues et coraux sur ST38 (haut gauche), ST39 (haut droite), ST36 (bas gauche) et ST37 (bas droite) reflétant globalement l'état général des colonies coralliennes sur les stations de sorties de baie

Ainsi, l'analyse combinée de ces deux variables semble indiquer une pression sédimentaire d'origine terrigène toujours plus importante en baie Kwé, qui semble apporter des particules fines lors d'événements pluvieux contribuant à une augmentation de la couverture de vase et de la mortalité (totale et/ou partielle) des coraux en fond de baie.

L'activité minière de PRNC présente sur les bassins versants de la baie Kwé contribue potentiellement à ces différences entre les deux baies, bien que le lessivage des sols soit influencé par de nombreux facteurs (incendies, surface végétalisée, type de sols etc.). L'état de santé des coraux dégradé lié à cette sédimentation/compétition a augmenté entre 2019 et 2021 dans les deux baies, également en sortie de baie, indiquant potentiellement une dégradation générale de la qualité de l'eau sur la période. Cette dégradation à travers une augmentation de la turbidité dans les baies lors d'événements pluviométriques récurrents peut en effet favoriser le développement d'algues à la base des coraux comme cela est observé dans les deux baies (Figure 33, De'ath & Fabricius 2010, Wenger et al. 2016).

L'étude réalisée sur la physico-chimie de l'eau et du sédiment dans les deux baies en 2020 (Moreton et al. 2020) montre que la baie de port Boisé n'est pas dénuée d'influence minière par la présence de mines orphelines sur son bassin versant mais également par une circulation hydrodynamique des eaux dans la zone pouvant créer des apports depuis la baie Kwé. Ces observations pourraient expliquer un phénomène généralisé de dégradation de la qualité de l'eau dans les deux baies étant à l'origine de nos observations sur la prévalence de lésions coralliennes.

III.3.2. Secteur de Prony – 2021

Dans le secteur de Prony, la typologie fond de baie/sortie de baie ne s'applique pas, les stations de Baie Nord et du Port de Prony n'étant pas situées selon un gradient dans une baie à part entière. La couverture de vase reste faible dans les 3 zones (<10%) avec un maximum au Port de Prony avec toutefois une forte variabilité selon les stations (Figure 35). Dans cette zone, la station à proximité du Port (ST12) bénéficie de la plus forte couverture (environ 20%), suivie de STX01 (environ 13%).

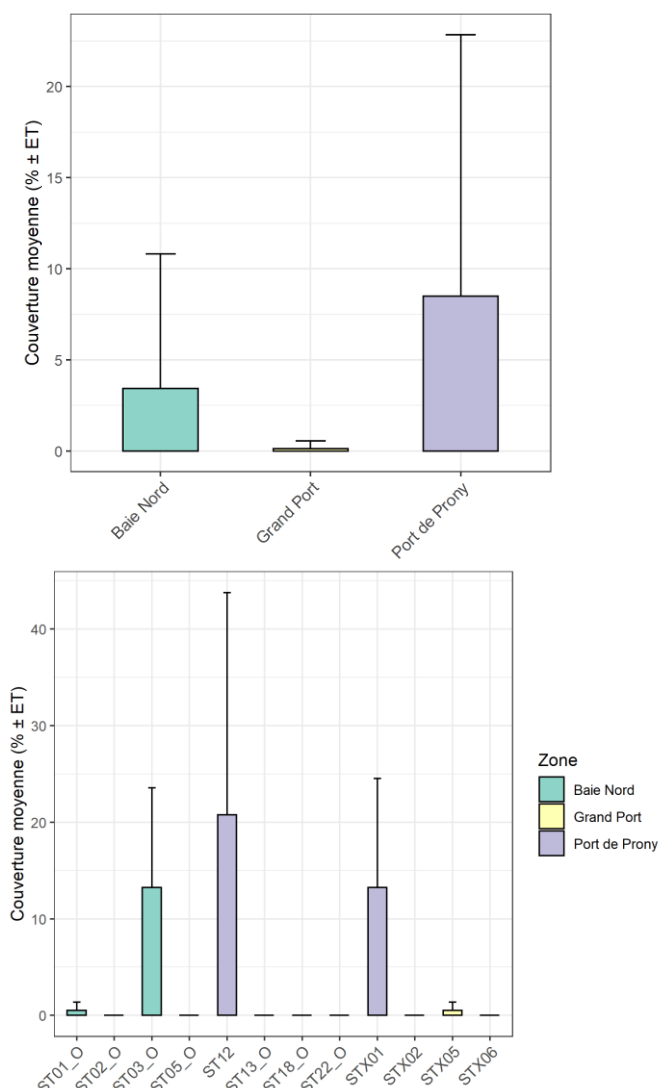


Figure 35 : Couverture de vase par zone et stations dans le secteur de Prony en 2021

La prévalence de lésions sédimentaires/compétition est globalement équivalente entre zones (Figure 23). La combinaison de cette variable avec la couverture de vase qui reste inférieure à 10% dans chaque zone ne semble pas indiquer de différence dans la pression sédimentaire entre zone. On rappelle que la couverture de vase sur les stations reste très dépendante du placement initial des rubans sur les transects et que l'utilisation de la couverture de vase comme proxy sera plus appropriée lors de la prochaine campagne pour indiquer une potentielle dégradation du milieu, comme cela a été observé en baie Kwé en 2021. L'utilisation de pièges séquentiels afin de caractériser le taux de sédimentation dans les baies constitue une méthodologie complémentaire pour mieux caractériser la pression sédimentaire dans les différentes zones d'études. Ces données permettront de compléter les observations faites sur le compartiment biologique.

IV. PEUPLEMENTS ICTHYOLOGIQUES

IV.1. ETAT DES LIEUX EN 2021

IV.1.1. Secteur de Prony

IV.1.1.1. Caractéristiques générales à l'échelle du secteur

Sur l'ensemble de la zone d'étude, un total de 125 espèces correspondant à 71 genres et 29 familles de poissons a été recensé lors de la campagne 2021.

La densité moyenne observée est de 2,99 individus/m², avec une densité maximum de 9,32 individus/m² atteinte sur la station STX02. La biomasse moyenne observée est de 54,4 g/m², avec une biomasse maximum de 110,1 g/m² sur la station ST22. La richesse spécifique moyenne observée est de 33,4 espèces, avec une richesse maximum de 53 espèces sur la station ST34.

En Annexe V, l'intégralité des valeurs calculées pour chaque paramètre ichthyologique sur chaque station de ce secteur est fournie.

IV.1.1.2. Caractéristiques des peuplements dans chaque zone de ce secteur

Le Tableau 16 présente les niveaux moyens de densité, biomasse et richesse spécifique au sein des trois zones de ce secteur.

La Figure 36, la Figure 37 et la Figure 38 fournissent des représentations graphiques de ces valeurs (respectivement en densité, en biomasse, et en richesse spécifique) permettant de visualiser les niveaux au sein des zones et la dispersion associée (écart-types).

Le Tableau 17 présente les résultats statistiques de la comparaison des paramètres d'ichtyofaune entre les trois zones.

Tableau 16 : Niveaux moyens de densité, de biomasse et de richesse spécifique observés en 2021 dans chacune des trois zones. Les écart-types pour les moyennes sont fournis entre parenthèses.

		Baie Nord	Grand Port	Port de Prony
Densité (ind./m²)	Toutes espèces	2,9 (±0,5)	2,2 (±0,3)	3,9 (±1,9)
	Non-commerciaux	2,5 (±0,5)	1,8 (±0,4)	3,8 (±1,9)
	Commerciaux	0,4 (±0,1)	0,4 (±0,2)	0,1 (±0)
	Herbivores	0,4 (±0,1)	0,3 (±0,1)	0,3 (±0,1)
	Carnivores	0,2 (±0,1)	0,1 (±0)	0,3 (±0,1)
	Planctonophages	2,3 (±0,5)	1,8 (±0,4)	3,2 (±2)
	Piscivores	0 (±0)	0 (±0)	0,1 (±0,1)
	Chaetodontidae	0 (±0)	0 (±0)	0,1 (±0)
	Pomacentridae	2,3 (±0,4)	1,7 (±0,4)	3,4 (±1,9)
Biomasse (g/m²)	Toutes espèces	52,7 (±10,7)	70,5 (±20)	40 (±14,6)
	Non-commerciaux	9,9 (±2)	9 (±1,2)	12,7 (±2,5)
	Commerciaux	42,9 (±9,8)	61,5 (±19,2)	27,3 (±12,8)
	Herbivores	25 (±6,7)	40,2 (±13,2)	23 (±12,8)
	Carnivores	7,8 (±1,5)	11,1 (±5,5)	9,4 (±2,5)
	Planctonophages	14 (±5,5)	9,8 (±6,1)	6,1 (±2,3)
	Piscivores	6 (±5,1)	9,4 (±5)	1,4 (±1)
	Chaetodontidae	0,6 (±0,2)	0,4 (±0,3)	2,1 (±0,8)
	Pomacentridae	6,5 (±1,5)	5,4 (±0,8)	6,6 (±2,3)
Richesse spécifique	Toutes espèces	33,8 (±3)	31,3 (±4,2)	35,3 (±7)
	Non-commerciaux	22 (±2,3)	20,5 (±1,8)	26 (±5,6)
	Commerciaux	11,8 (±1,3)	10,8 (±2,4)	9,3 (±1,5)
	Herbivores	9,8 (±1,1)	11,5 (±1,8)	8,3 (±2,7)
	Carnivores	13,8 (±2,8)	11,5 (±1,6)	15,8 (±2,5)
	Planctonophages	8,3 (±0,9)	6,5 (±0,6)	9,8 (±2,1)
	Piscivores	2 (±1)	1,8 (±0,6)	1,5 (±0,3)
	Chaetodontidae	4,3 (±1,7)	2 (±0,7)	3,5 (±0,9)
	Pomacentridae	9,5 (±0,5)	8,8 (±0,5)	9,8 (±2)

La **densité** totale est d'un niveau similaire entre les zones de Baie Nord et Grand Port, tandis qu'elle apparaît supérieure dans la zone du Port de Prony. Ceci est toutefois à rapprocher de la forte dispersion des données autour de la moyenne (illustrée ici par les écart-types) sur cette dernière zone. Cette dispersion et la densité moyenne plus élevée constatée en 2021 est associée à une valeur particulièrement haute sur STX02 alors que les deux autres stations de cette zone présentent des niveaux de densité similaires à ceux retrouvés ailleurs dans ce secteur. Plusieurs groupes de *Pomacentrus aurifrons* de très petite taille, correspondant à plusieurs milliers d'individus, ont en effet été observés ponctuellement sur cette station en 2021. Cette observation, probablement en lien avec un phénomène de recrutement récent, que l'on retrouve occasionnellement sur les récifs frangeants similaires, correspond davantage à une expression des fluctuations naturelles de l'ichtyofaune qu'à l'indication d'une différence de fond dans la structure ichthyofaunistique sur cette station et plus généralement sur cette zone. En cohérence, les résultats statistiques n'indiquent pas de différence significative entre les trois zones en 2021.

Par ailleurs, la structure en densité de l'ichtyofaune (déclinaison selon le potentiel commercial, les groupes trophiques, et les deux familles indicatrices) apparaît similaire entre zones. Ceci est visible graphiquement et confirmé par les résultats statistiques, pour lesquels aucun paramètre de densité ne présente de différence significative entre zones. Cette

structuration est caractérisée par une très forte dominance des Pomacentridae, et consécutivement des planctonophages et des espèces non-commerciales, et une très faible contribution des espèces commerciales. Les piscivores sont quasi-absents, et les carnivores et herbivores présents en proportions comparables et faibles, très largement inférieures aux planctonophages. Les Chaetodontidae apparaissent par ailleurs très peu abondants sur l'ensemble des zones du secteur. Cette structuration de la densité de l'ichtyofaune est caractéristique de récifs frangeants abrités sous influence terrigène (Kulbicki 2006) et ne présente pas d'anomalie structurelle notable en 2021.

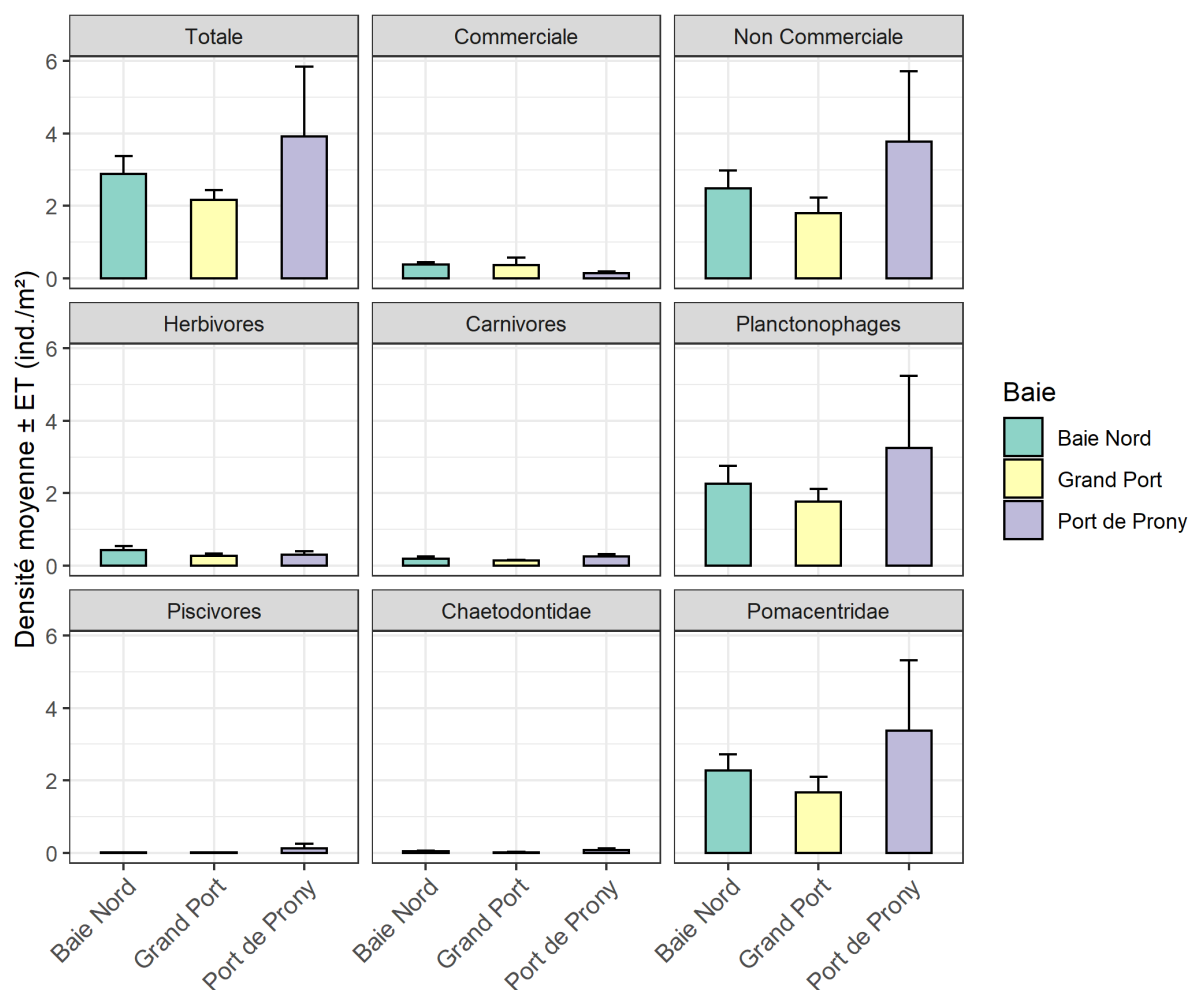


Figure 36 : Densité détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des trois zones du secteur de Prony en 2021. Les barres d'erreur correspondent aux écart-types.

La **biomasse** totale présente des niveaux globalement modérés sur l'ensemble des zones et caractéristiques de ce type de récifs frangeants, relativement abrité et probablement soumis à une pression de pêche non-négligeable étant donné sa situation géographique. La biomasse totale apparaît légèrement supérieure dans la zone de Grand Port, sans toutefois que cette différence n'apparaisse significative statistiquement (en lien avec l'importante variabilité qui caractérise classiquement ce paramètre).

De même que pour la densité, la déclinaison détaillée de la biomasse suit une structure semblable entre les trois zones. Cette structure est caractérisée par une large dominance des espèces commerciales, comme cela est classiquement le cas pour la biomasse (reliée à la taille des individus observés), et notamment des herbivores (en particulier sur Grand Port,

où les Scaridae apparaissent particulièrement contributifs pour ce paramètre). Les carnivores et les planctonophages présentent des niveaux similaires, et peu de variabilité inter-zone. Cette similitude de la structure en biomasse entre les trois zones est confirmée par les résultats statistiques, qui ne font apparaître aucune différence significative entre zones.

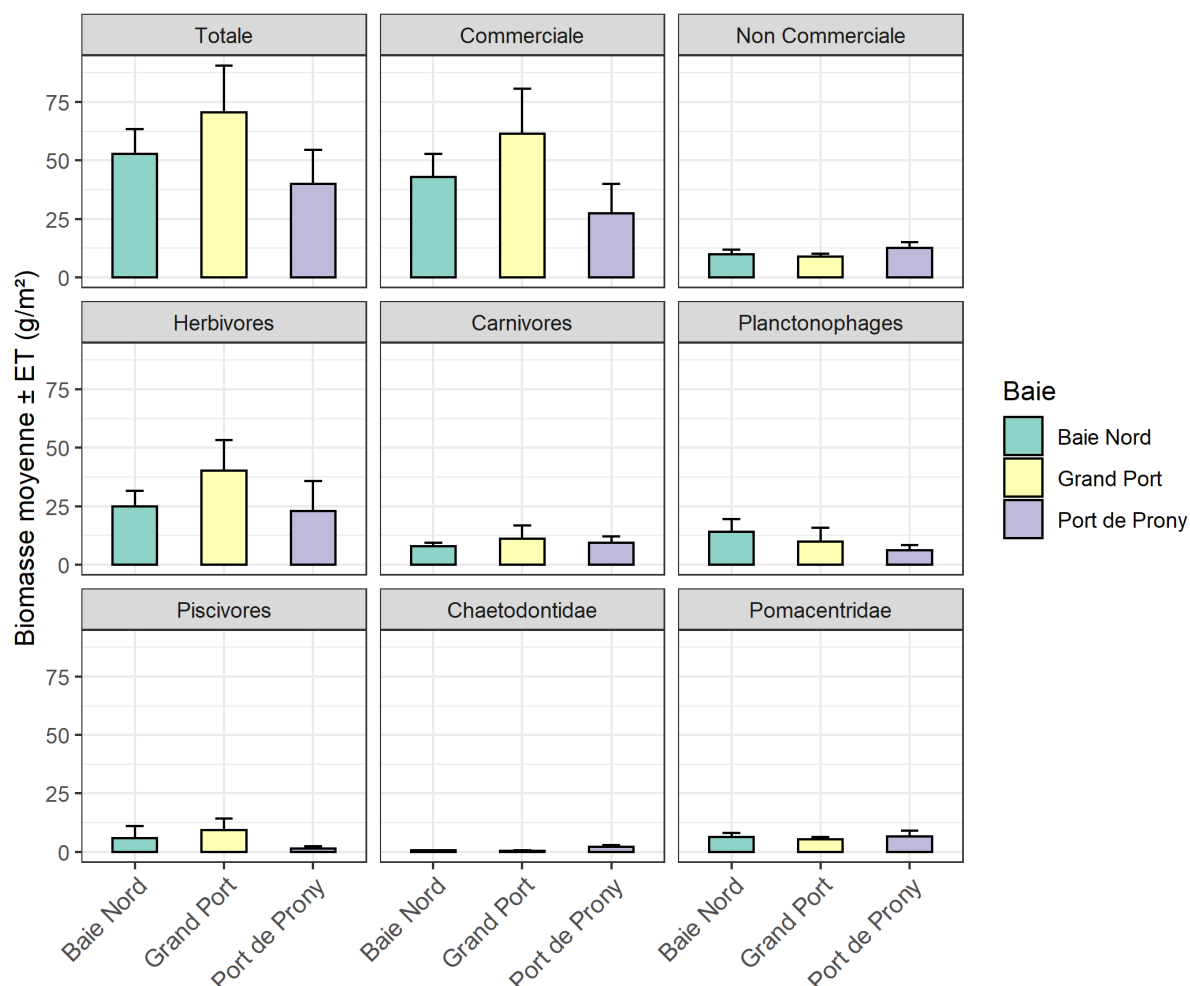


Figure 37 : Biomasse détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des trois zones du secteur de Prony en 2021. Les barres d'erreur correspondent aux écart-types.

La **richesse spécifique** totale est d'un niveau très semblable entre les trois zones (entre 30 et 35 espèces par station en moyenne), et correspond à un degré de diversité modéré pour ce type de biotope (Kulbicki 2006). La structure en richesse spécifique apparaît très similaire entre les zones, avec toutefois une diversité légèrement plus marquée des herbivores dans la zone de Grand Port, et des Chaetodontidae en Baie Nord. Globalement, la richesse spécifique est largement dominée par les carnivores, suivis par les herbivores, les planctonophages et, dans une moindre mesure, les piscivores. Les Pomacentridae apparaissent particulièrement diversifiés sur l'ensemble des zones de ce secteur.

En cohérence avec les niveaux observés, aucune différence significative entre zone n'a été détectée à l'issue des analyses statistiques.

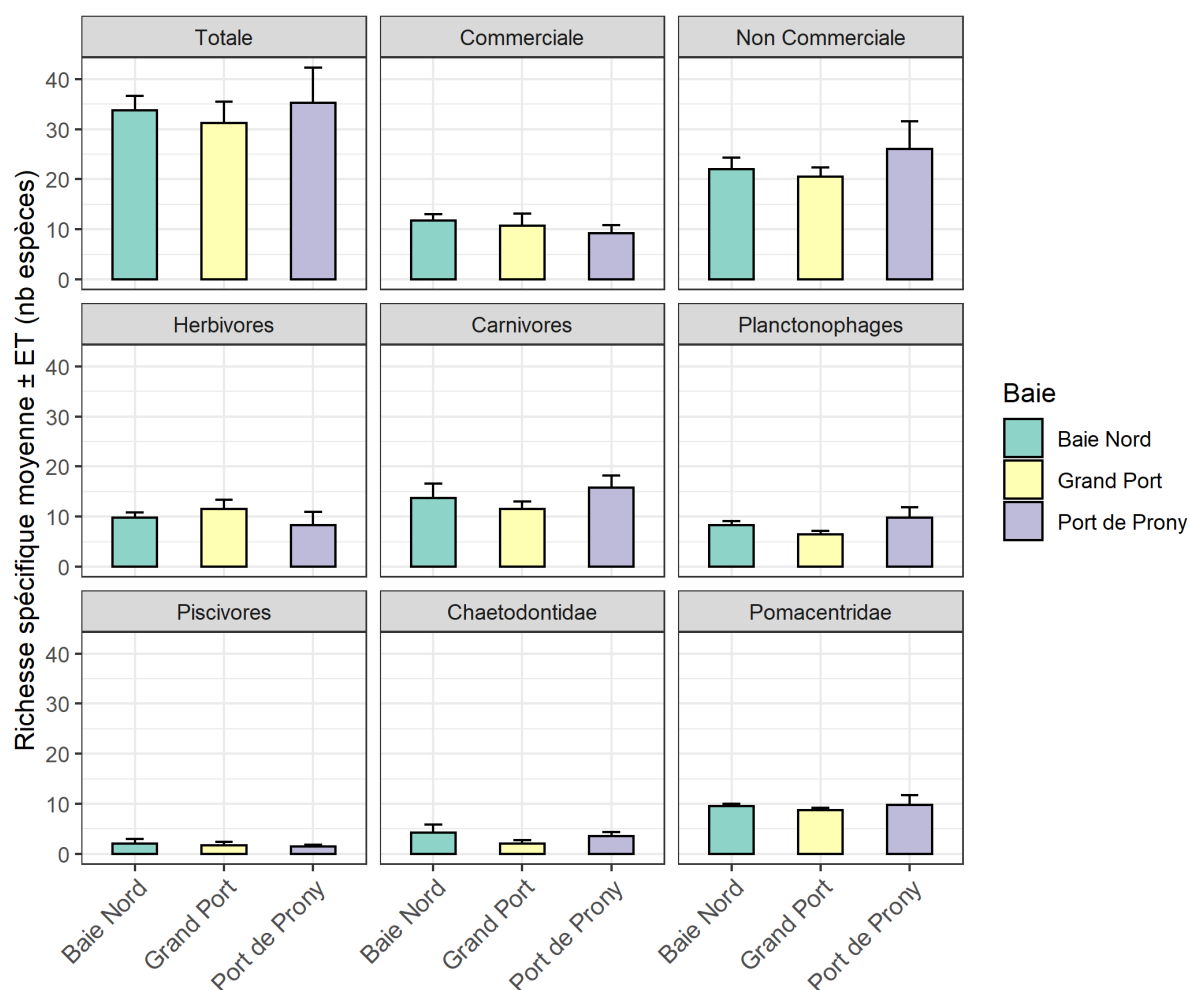


Figure 38 : Richesse spécifique détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des trois zones du secteur de Prony en 2021. Les barres d'erreur correspondent aux écart-types.

En conclusion, les caractéristiques de l'ichtyofaune récifale observée apparaissent similaires en 2021 entre les trois zones du secteur de Prony, tant en termes de niveaux absolus que de structuration selon les différents critères structurels considérés (potentiel commercial, groupes trophiques, familles indicatrices en milieu sous influence minière et/ou terrigène), et ce pour la quasi-totalité des paramètres considérés.

Les niveaux de densité, biomasse, et richesses spécifiques observés en 2021 et leur déclinaison fonctionnelle sont caractéristiques de ce type de récifs (frangeants abrités sous influence terrigène marquée et sous influence d'une pression de pêche correspondant à une population rurale diffuse) (Kulbicki 2006), ne montrent pas d'anomalie structurelle notable, et attestent de peuplements ichtyologiques globalement sains.

Tableau 17 : Résultats détaillés des analyses testant la significativité des différences des paramètres ichthyologiques entre les trois zones du secteur de Prony. NS : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; * : $P < 0,001$.**

		Significativité des variations entre zones	Détails (si différence significative)
Densité (ind./m²)	Toutes espèces	ns	-
	Commerciaux	ns	-
	Non-commerciaux	ns	-
	Herbivores	ns	-
	Carnivores	ns	-
	Planctonophages	ns	-
	Piscivores	ns	-
	Chaetodontidae	ns	-
	Pomacentridae	ns	-
Biomasse (g/m²)	Toutes espèces	ns	-
	Commerciaux	ns	-
	Non-commerciaux	ns	-
	Herbivores	ns	-
	Carnivores	ns	-
	Planctonophages	ns	-
	Piscivores	ns	-
	Chaetodontidae	ns	-
	Pomacentridae	ns	-
Richesse spécifique	Toutes espèces	ns	-
	Commerciaux	ns	-
	Non-commerciaux	ns	-
	Herbivores	ns	-
	Carnivores	ns	-
	Planctonophages	ns	-
	Piscivores	ns	-
	Chaetodontidae	ns	-
	Pomacentridae	ns	-

IV.1.2. Secteur de BKPB

IV.1.2.1. Caractéristiques générales à l'échelle du secteur

Sur l'ensemble de la zone d'étude, un total de 144 espèces correspondant à 77 genres et 31 familles de poissons a été recensé lors de la campagne 2021.

La densité moyenne observée est de 3,92 individus/m², avec une densité maximum de 5,79 individus/m² atteinte sur la station ST31. La biomasse moyenne observée est de 108,7 g/m², avec une biomasse maximum de 282,9 g/m² sur la station ST34. La richesse spécifique moyenne observée est de 51,4 espèces, avec une richesse maximum de 66,0 espèces sur la station ST34.

En Annexe V, l'intégralité des valeurs calculées pour chaque paramètre ichthyologique sur chaque station de ce secteur est fournie.

IV.1.2.2. Caractéristiques des peuplements dans chaque zone de ce secteur

Le Tableau 18 présente les niveaux moyens de densité, biomasse et richesse spécifique au sein des deux zones de ce secteur.

La Figure 39, la Figure 40 et la Figure 41 fournissent des représentations graphiques de ces valeurs (respectivement en densité, en biomasse, et en richesse spécifique) permettant de visualiser les niveaux au sein des deux zones et la dispersion associée (écart-types).

Le Tableau 19 présente les résultats statistiques de la comparaison des paramètres d'ichtyofaune entre les deux zones.

Tableau 18 : Niveaux moyens de densité, de biomasse et de richesse spécifique observés en 2021 dans chacune des deux zones. Les écart-types pour les moyennes sont fournis entre parenthèses.

		Baie Kwé	Port Boisé
Densité (ind./m²)	Toutes espèces	4,7 (±0,9)	3,2 (±0,8)
	Non-commerciaux	4 (±0,6)	2,9 (±0,5)
	Commerciaux	0,6 (±0,2)	0,3 (±0,1)
	Herbivores	1,2 (±0,5)	0,9 (±0,2)
	Carnivores	0,9 (±0,2)	0,7 (±0,1)
	Planctonophages	2,5 (±0,7)	1,6 (±0,4)
	Piscivores	0 (±0)	0 (±0)
	Chaetodontidae	0,1 (±0)	0,1 (±0,1)
	Pomacentridae	2,9 (±0,4)	2,2 (±0,4)
Biomasse (g/m²)	Toutes espèces	154,4 (±43,2)	62,9 (±18,7)
	Non-commerciaux	31,2 (±8)	25,9 (±1,5)
	Commerciaux	123,2 (±41,3)	37 (±18,7)
	Herbivores	96 (±41,6)	37,4 (±18)
	Carnivores	20,7 (±5,9)	12,2 (±2,5)
	Planctonophages	13,8 (±7,8)	7,9 (±1,8)
	Piscivores	23,9 (±11,4)	5,4 (±1,9)
	Chaetodontidae	1,3 (±0,2)	1,2 (±0,6)
	Pomacentridae	11,2 (±2,6)	14,7 (±3,2)
Richesse spécifique	Toutes espèces	54 (±6,7)	48,8 (±4,1)
	Non-commerciaux	40,8 (±3,8)	38,8 (±3,2)
	Commerciaux	13,3 (±3,1)	10 (±1,4)
	Herbivores	14,5 (±4,4)	15,3 (±2,7)
	Carnivores	26 (±3,8)	24,3 (±3,2)
	Planctonophages	10,8 (±1,8)	8 (±1,4)
	Piscivores	2,8 (±0,9)	1,3 (±0,3)
	Chaetodontidae	3,5 (±0,3)	5,5 (±1,4)
	Pomacentridae	13,3 (±1,5)	13 (±1,1)

La **densité** totale apparaît supérieure en Baie Kwé, bien que cette différence ne soit pas significative statistiquement (en lien avec une dispersion non-négligeable des valeurs autour de la moyenne pour ce paramètre). Cette densité supérieure est majoritairement à relier à une densité accrue des Pomacentridae, et consécutivement des planctonophages et plus généralement des espèces non-commerciales, auxquelles cette famille est fortement contributrice. Exceptée la différence notable sur cette famille, la structure en densité de l'ichtyofaune apparaît similaire entre les deux zones, comme illustré graphiquement et

confirmé par les résultats statistiques (aucun paramètre de densité ne présente de différence significative entre zones).

Outre la forte dominance des Pomacentridae, la structure en densité observée dans les deux zones est caractérisée par une densité faible en espèces commerciales (nulle pour les piscivores) et une très faible densité en Chaetodontidae. Les herbivores et les carnivores représentent, en proportions similaires, l'essentiel de la densité en dehors des planctonophages. De même que pour le secteur de Prony, cette structuration de la densité de l'ichtyofaune est caractéristique des récifs frangeants retrouvés dans les écosystèmes de baie (faible exposition et influence terrigène significative) (Kulbicki 2006), et ne présente pas d'anomalie structurelle notable en 2021.

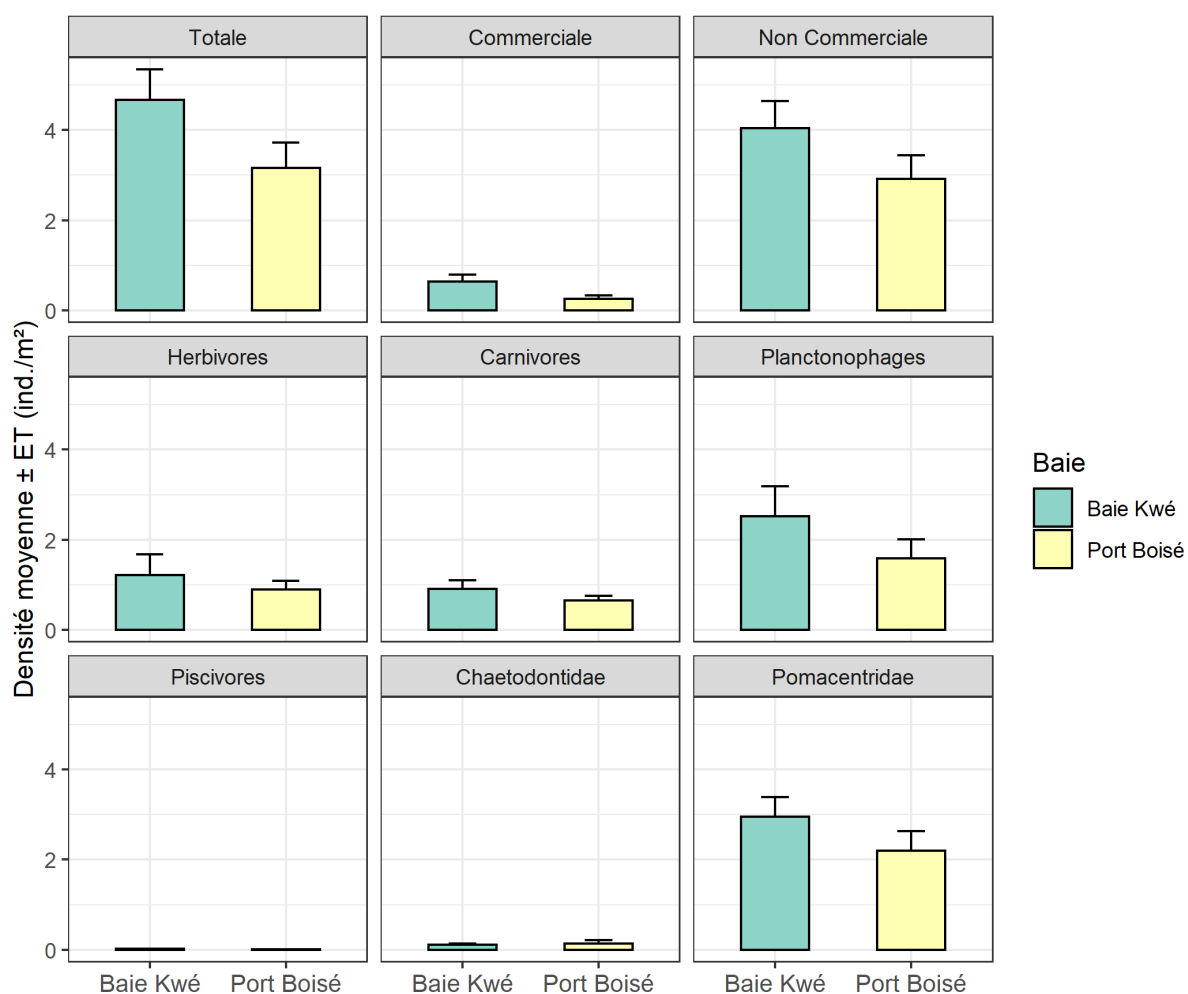


Figure 39 : Densité détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux zones en 2021. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type.

La **biomasse** totale apparaît nettement supérieure en baie Kwé sans toutefois que cette différence ne soit significative statistiquement (notamment en lien avec une variabilité inter-station particulièrement importante dans cette zone, comme illustrée ci-dessous par les écart-types). Cette dispersion élevée constatée en 2021 trouve pour origine l'observation de deux bancs de *Scarus rivulatus* (cumulant plusieurs centaines d'individus de taille 20-30 cm) au moment des comptages sur les stations ST32 et ST34. En dehors de ces deux occurrences, les niveaux de biomasse apparaissent stables et similaires à ceux retrouvés

dans les autres stations et zones de ce secteur. S'agissant d'une espèce grégaire et très mobile, cette observation est certes indicatrice des peuplements locaux mais reste fortuite et aléatoire sur un transect de comptage unique. Cette augmentation ponctuelle de la biomasse dans cette zone correspond donc davantage à une expression des aléas d'observation d'espèces fortement mobiles qu'à une réelle caractéristique différenciant l'ichtyofaune de cette zone. En cohérence, les résultats statistiques n'indiquent pas de différence significative entre les deux zones en 2021.

Plus généralement, et à l'exception d'une valeur particulièrement haute pour les herbivores (cf. précédemment), la déclinaison de la biomasse suit une structure similaire entre les deux zones, comme confirmé par les résultats statistiques qui ne font apparaître aucune différence significative. De même que pour le secteur de Prony, cette structure est caractérisée par une dominance des espèces commerciales et notamment des herbivores (en particulier en baie Kwé), suivis des carnivores puis des planctonophages. Les piscivores apparaissent particulièrement contributifs en Baie Kwé, tandis que les Chaetodontidae et les Pomacentridae sont peu contributifs dans les deux zones.

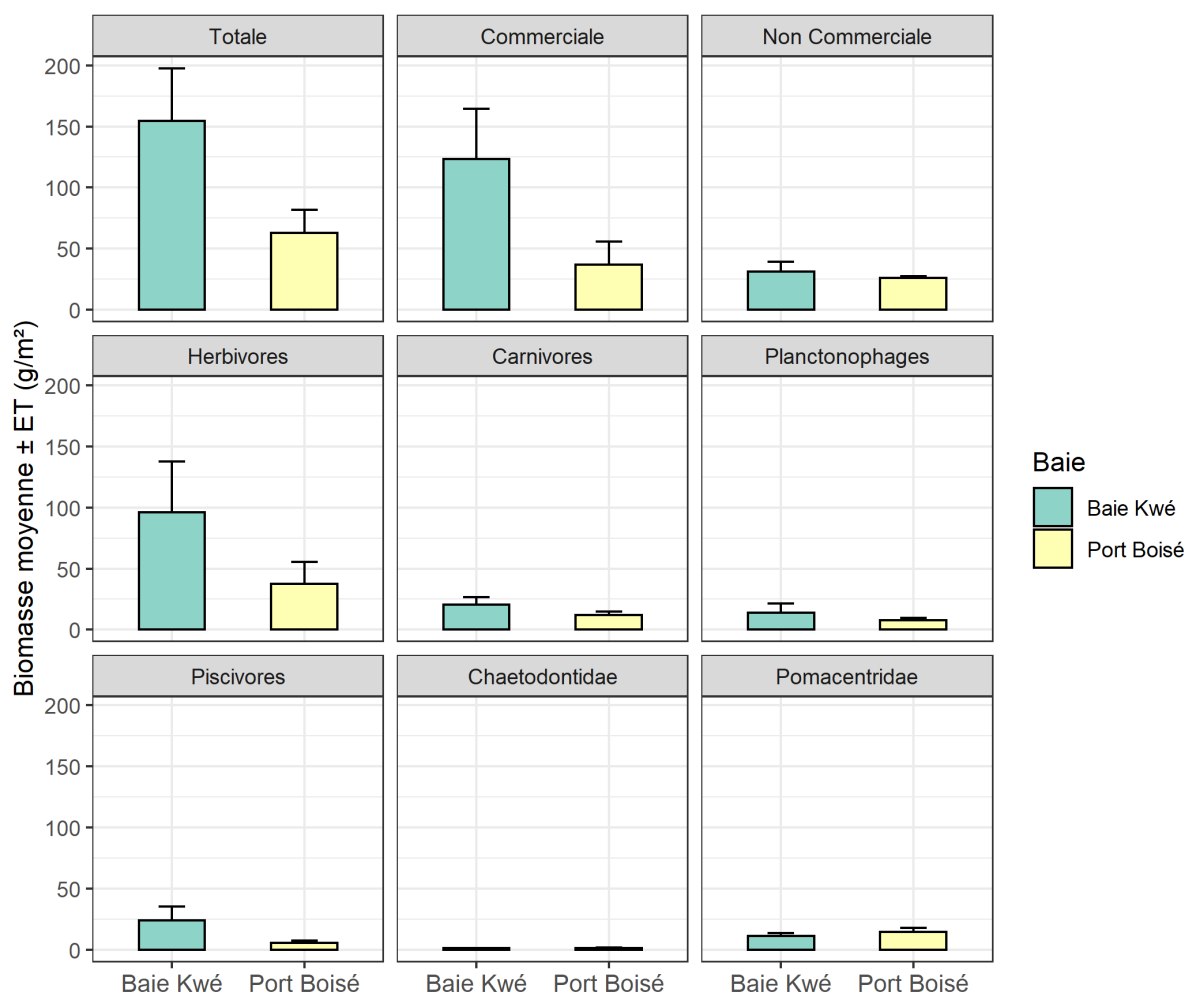


Figure 40 : Biomasse détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux zones en 2021. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type.

La **richesse spécifique** totale est d'un niveau semblable entre les deux zones et correspond à un niveau de diversité relativement élevé pour ce type de biotope (Kulbicki 2006). La

structure en richesse spécifique apparaît similaire également entre zones, avec toutefois une diversité légèrement plus marquée sur l'ensemble des groupes trophiques en Baie Kwé. En cohérence avec les niveaux observés, aucune différence significative entre baies n'a été détectée à l'issue des analyses statistiques.

Dans les deux zones, la richesse spécifique est largement dominée par les carnivores (représentant environ la moitié des espèces observées), suivis par les herbivores, les planctonophages et, dans une moindre mesure, les piscivores. Les Pomacentridae apparaissent particulièrement diversifiés, ainsi que les Chaetodontidae sur Port Boisé.

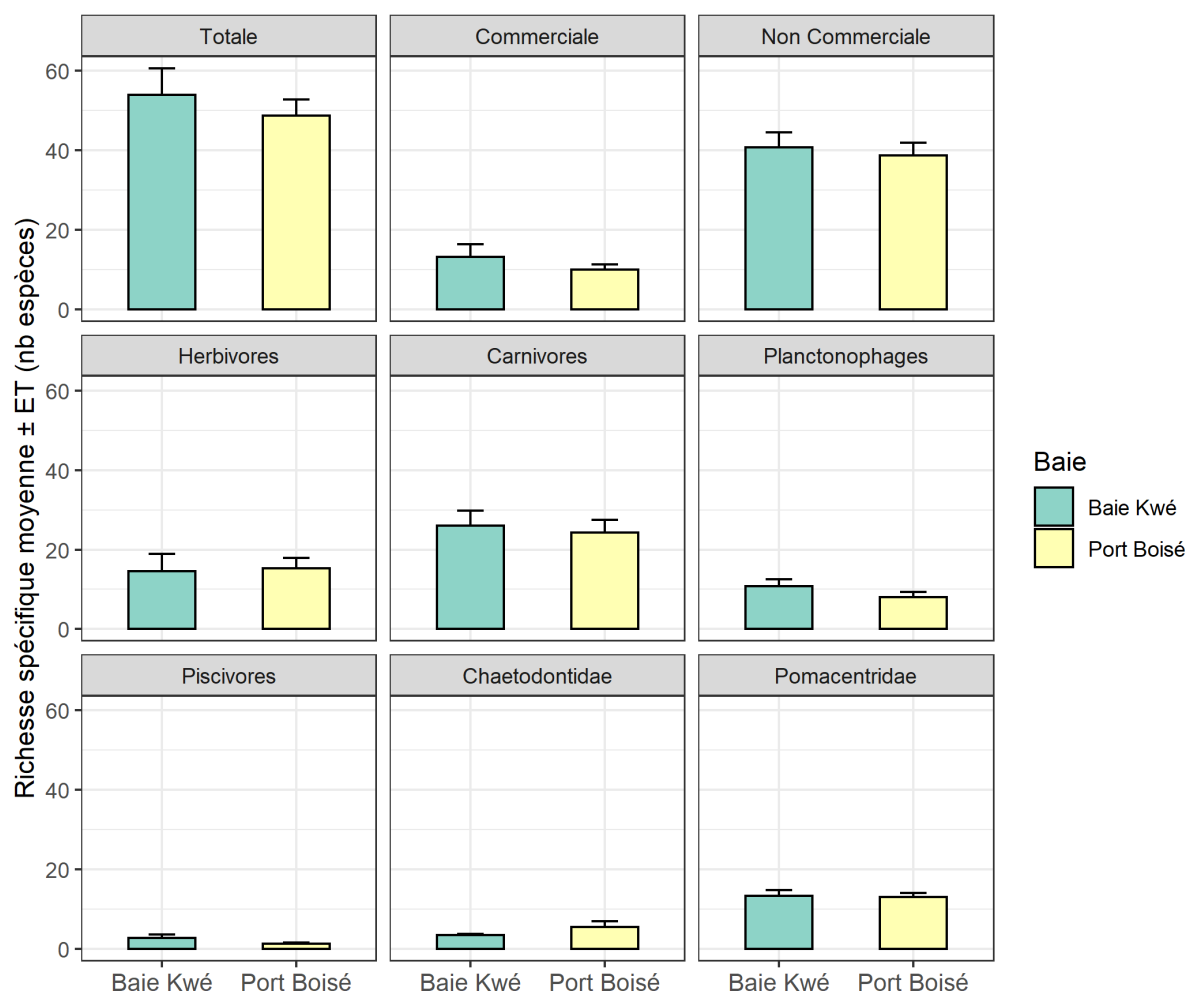


Figure 41 : Richesse spécifique détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux zones en 2021. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type.

Les caractéristiques de l'ichtyofaune récifale observée en 2021 dans les deux zones apparaissent proches en termes de structuration ichtyofaunistique (potentiel commercial, groupes trophiques, familles indicatrices), malgré des niveaux absolus globalement plus élevés en Baie Kwé.

Les niveaux de densité, biomasse, et richesses spécifiques observés en 2021 et leur déclinaison fonctionnelle apparaissent caractéristiques des profils de récifs retrouvés dans ces deux zones (récifs frangeants abrités sous influence terrigène marquée et sous influence d'une pression de pêche correspondant à une population rurale diffuse) (Kulbicki 2006). Ils ne montrent pas d'anomalie structurelle notable et, au même titre que l'ichtyofaune observée

dans le secteur de Prony en 2021, et attestent de peuplements ichtyologiques sains dans ce contexte.

Tableau 19 : Résultats détaillés des analyses testant la significativité des différences des paramètres ichtyologiques entre les deux zones. NS : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; * : $P < 0,001$.**

		Significativité des variations entre zones	Détails (si différence significative)
Densité (ind./m²)	Toutes espèces	ns	-
	Commerciaux	ns	-
	Non-commerciaux	ns	-
	Herbivores	ns	-
	Carnivores	ns	-
	Planctonophages	ns	-
	Piscivores	ns	-
	Chaetodontidae	ns	-
	Pomacentridae	ns	-
Biomasse (g/m²)	Toutes espèces	ns	-
	Commerciaux	ns	-
	Non-commerciaux	ns	-
	Herbivores	ns	-
	Carnivores	ns	-
	Planctonophages	ns	-
	Piscivores	ns	-
	Chaetodontidae	ns	-
	Pomacentridae	ns	-
Richesse spécifique	Toutes espèces	ns	-
	Commerciaux	ns	-
	Non-commerciaux	ns	-
	Herbivores	ns	-
	Carnivores	ns	-
	Planctonophages	ns	-
	Piscivores	ns	-
	Chaetodontidae	ns	-
	Pomacentridae	ns	-

IV.2. MODÉLISATION DE TYPE CI POUR LA DÉTECTION DE SIGNAL D'IMPACT ET ÉVOLUTIONS TEMPORELLES

IV.2.1. Modélisation de type CI entre 2019 et 2021 – secteur BKPB

Cette partie présente les résultats des analyses statistiques qui constitueront désormais le point focal des diagnostics d'évolution de l'ichtyofaune au fur et à mesure du prolongement de la série temporelle de données selon le plan d'échantillonnage mis en place en 2019, à savoir les modélisations de type CI (*Control-Impact*).

Le Tableau 20 présente les résultats des modèles statistiques réalisés sur les variables décrivant les peuplements ichtyologiques des deux zones. La colonne « Effet Zone » indique s'il existe une différence significative entre la zone sous influence du complexe industriel et minier (Baie Kwé) et sa zone de référence (toutes années confondues). La colonne « Effet Campagne » indique s'il existe des variations temporelles significatives (toutes zones confondues). Enfin, la colonne « Interaction Campagne x Zone » indique s'il existe une évolution différentielle entre zone sous influence et zone de référence, pouvant alors indiquer un effet spécifique à l'une de ces zones. Les deux premières colonnes de résultats sont fournies à titre indicatifs des résultats d'analyse, et c'est essentiellement sur la dernière colonne que se fonde la détection éventuelle de signaux d'impact.

Les Figure 42, Figure 43, et Figure 44 fournissent à titre indicatif les graphiques d'évolution 2019-2021 de l'ensemble des variables analysées. Seules les variables pour lesquelles une significativité du facteur d'interaction « Campagne x Zone » a été détectée à l'issue des modèles seront approfondies, car susceptibles d'indiquer un signal d'impact¹⁰.

Trois paramètres présentent un effet significatif de l'interaction « Campagne x Zone » :

- la densité des espèces commerciales ;
- la biomasse totale ;
- la biomasse des espèces commerciales.

Dans les trois cas, il s'agit d'une tendance à l'augmentation en zone sous influence entre 2019 et 2021, associée à des niveaux stables en zone de référence.

L'examen des données de comptage et des profils graphiques des autres paramètres montre que ces augmentations en Baie Kwé ne concernent pas une espèce ou un groupe d'espèce isolé, mais concernent une large part de la fraction commerciale de l'ichtyofaune. Concernant la densité, les carnivores et les herbivores dans leur ensemble suivent des profils similaires (bien que non significatifs statistiquement). Il en va de même pour la biomasse concernant ces deux groupes trophiques ainsi que les piscivores.

L'ensemble de ces variations différentielles pointe donc vers une évolution positive et globale des paramètres quantitatifs de l'ichtyofaune en zone sous influence de 2019 à 2021 et ne constitue donc pas ici un signal d'impact potentiel.

¹⁰ Il convient ici de noter que certains graphiques semblent parfois faire apparaître des évolutions différentielles entre zones pour certains paramètres pourtant non significatifs à l'issue des modèles. A ce titre, il s'avère primordial de considérer la variabilité (illustrée par les écart-types) associée aux valeurs étudiées, et notamment son amplitude par rapport à l'amplitude des variations observées, afin de comprendre pourquoi ce type de variation n'indique pas nécessairement un signal de perturbation.

Tableau 20 : Résultats des modélisations CI pour la détection de signaux de perturbation potentiels sur l'ichtyofaune dans le secteur de Baie Kwé - Port Boisé (représentés par le facteur d'interaction « Campagne x Zone »). NS : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; * : $P < 0,001$.**

		Effet Zone	Effet Campagne	Interaction Campagne x Zone	
		Significativité	Significativité	Significativité	Détail
Densité (ind./m²)	Toutes espèces	ns	ns	ns	-
	Non-commerciaux	ns	ns	ns	-
	Commerciaux	ns	ns	* (p=0,048)	Augmentation en Baie Kwé / Stabilité sur Port Boisé
	Herbivores	ns	ns	ns	-
	Carnivores	ns	ns	ns	-
	Planctonophages	ns	ns	ns	-
	Piscivores	ns	ns	ns	-
	Chaetodontidae	ns	ns	ns	-
	Pomacentridae	ns	ns	ns	-
	Toutes espèces	ns	** (p=0,008)	* (p=0,023)	Augmentation en Baie Kwé / Stabilité sur Port Boisé
Biomasse (g/m²)	Non-commerciaux	ns	* (p=0,014)	ns	-
	Commerciaux	ns	* (p=0,014)	* (p=0,037)	Augmentation en Baie Kwé / Stabilité sur Port Boisé
	Herbivores	ns	* (p=0,045)	ns	-
	Carnivores	ns	ns	ns	-
	Planctonophages	ns	ns	ns	-
	Piscivores	ns	* (p=0,023)	ns	-
	Chaetodontidae	ns	ns	ns	-
	Pomacentridae	ns	ns	ns	-
	Toutes espèces	ns	ns	ns	-
	Non-commerciaux	ns	ns	ns	-
Richesse spécifique	Commerciaux	ns	ns	ns	-
	Herbivores	ns	ns	ns	-
	Carnivores	ns	ns	ns	-
	Planctonophages	ns	ns	ns	-
	Piscivores	ns	ns	ns	-
	Chaetodontidae	ns	ns	ns	-
	Pomacentridae	ns	ns	ns	-

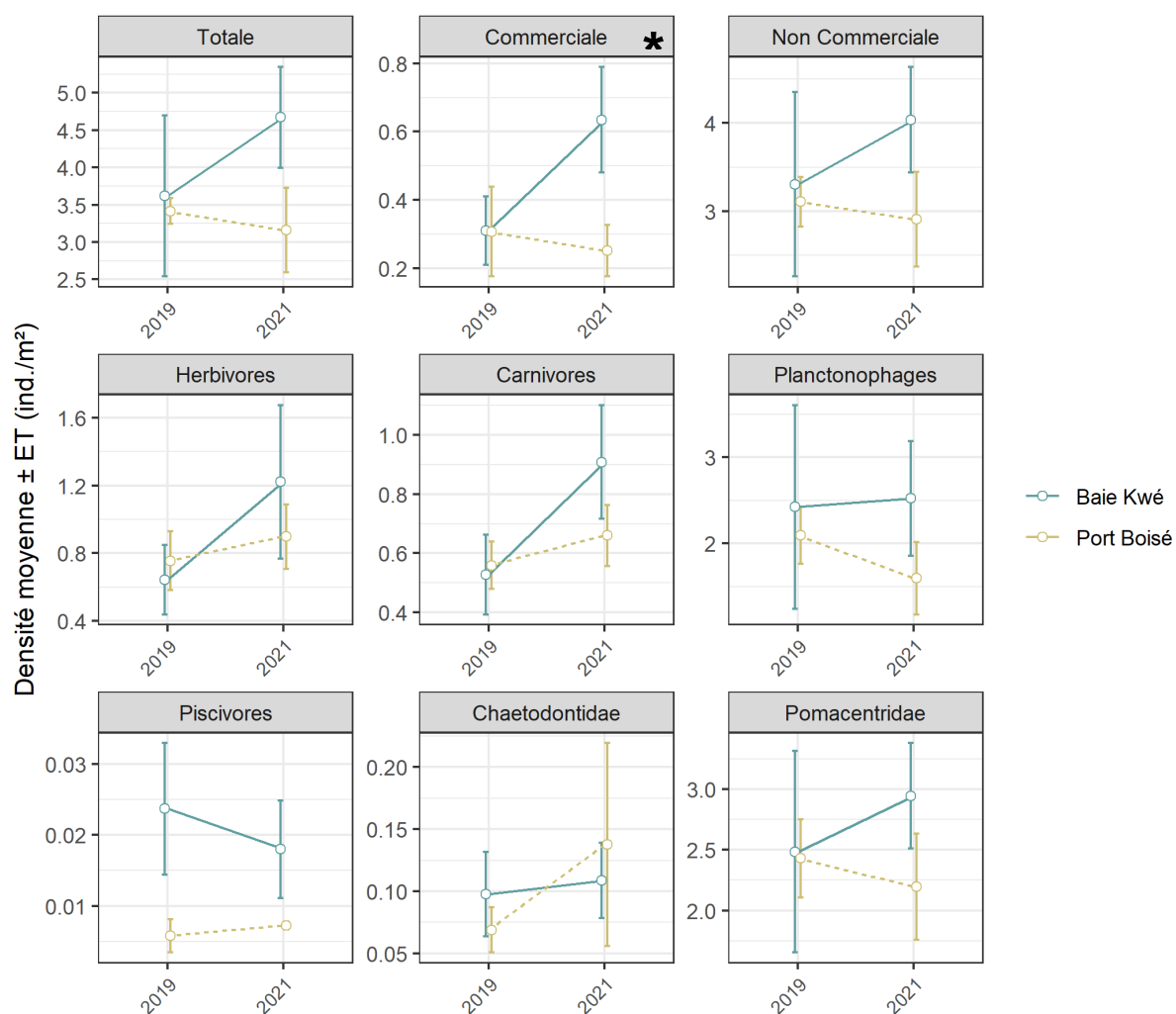


Figure 42 : Variations temporelles des paramètres de densité entre 2019 et 2021, pour chacune des deux zones (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). Les variables marquées d'un « * » sont celles présentant un effet significatif du facteur d'interaction « Campagne x Zone » à l'issue des modélisations *Control-Impact*. ET : Ecart-Type.

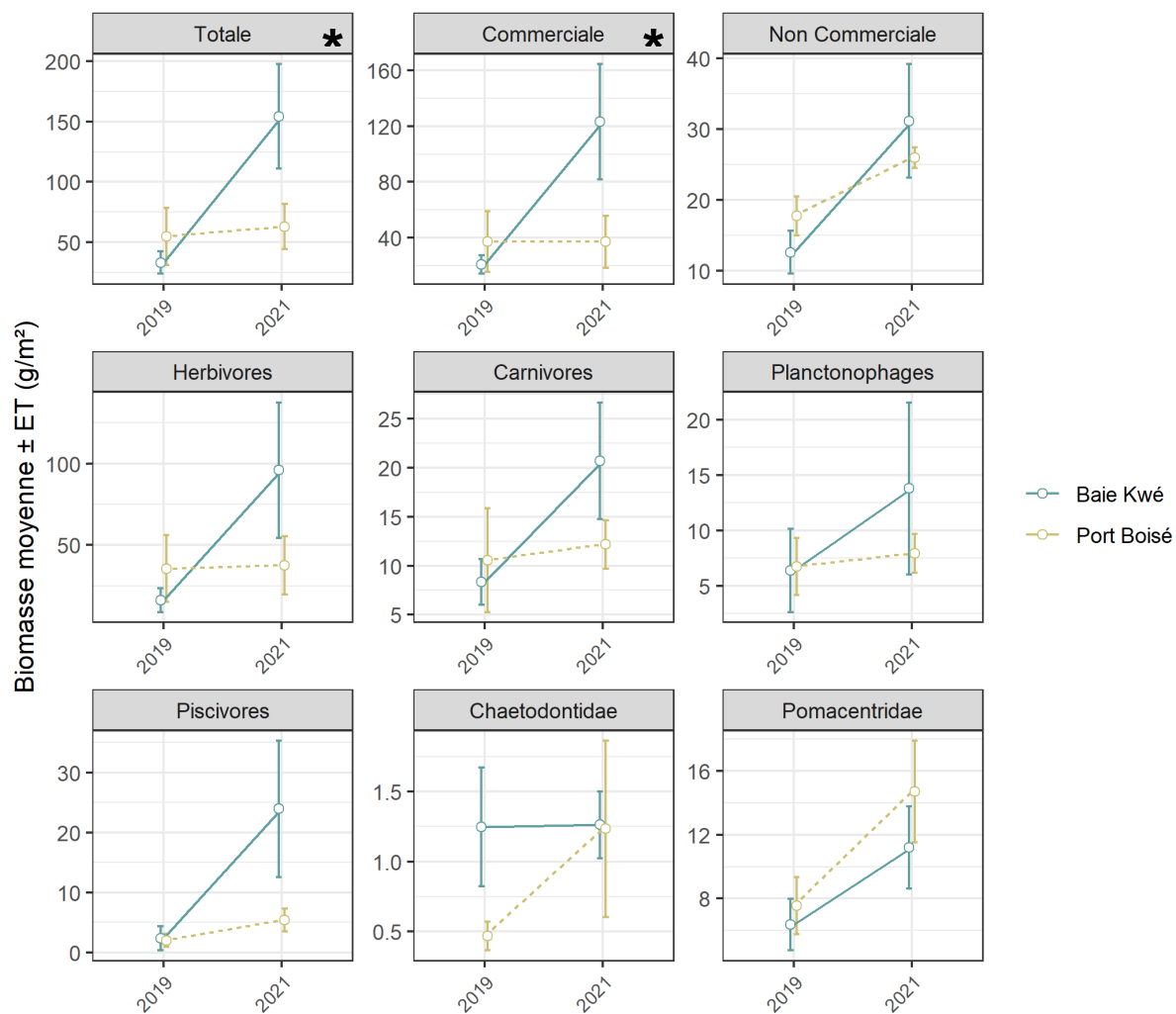


Figure 43 : Variations temporelles des paramètres de biomasse entre 2019 et 2021, pour chacune des deux zones (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). Les variables marquées d'un « * » sont celles présentant un effet significatif du facteur d'interaction « Campagne x Zone » à l'issue des modélisations *Control-Impact*. ET : Ecart-Type.

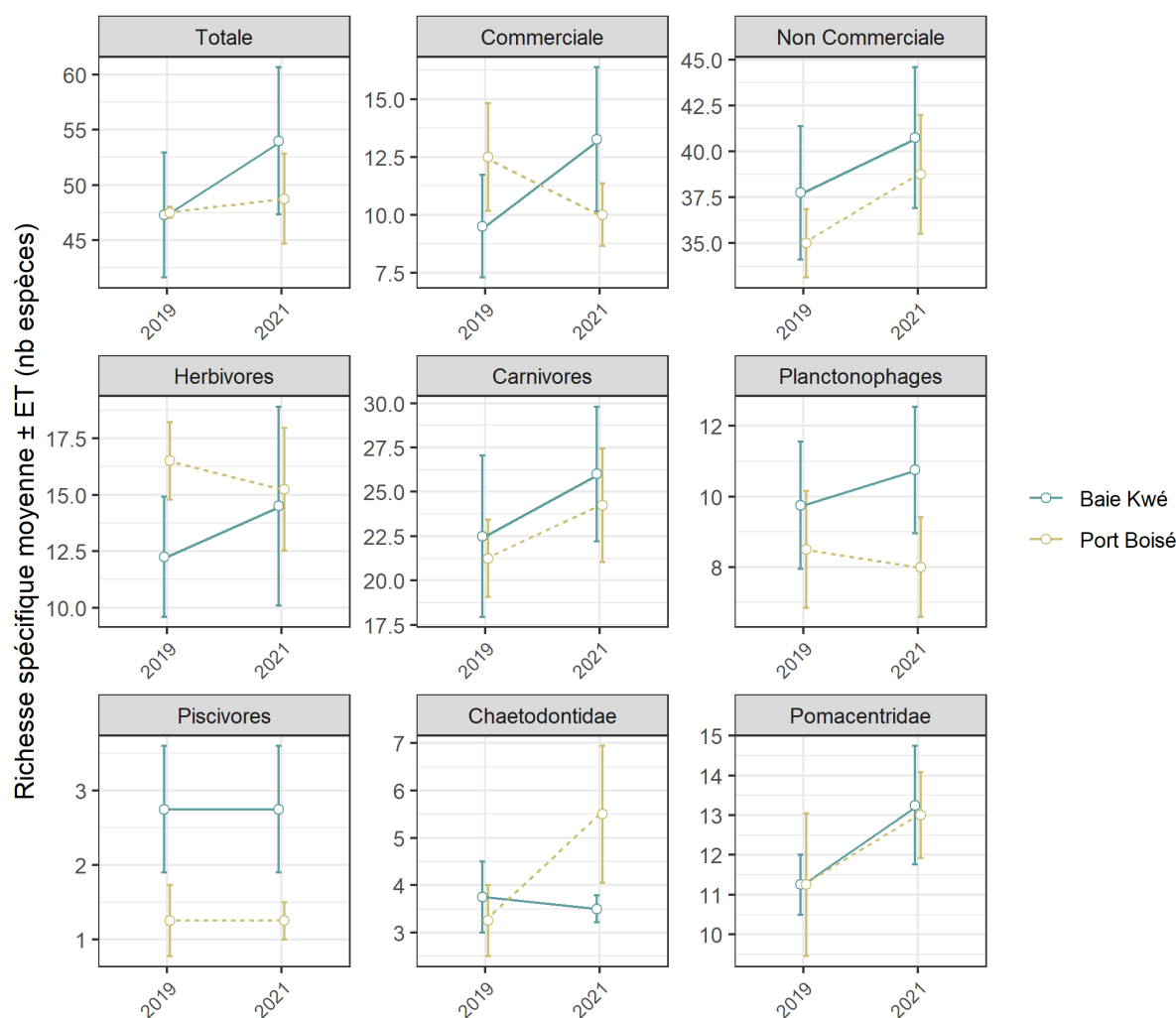


Figure 44 : Variations temporelles des paramètres de richesse spécifique entre 2019 et 2021, pour chacune des deux zones (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). Les variables marquées d'un « * » sont celles présentant un effet significatif du facteur d'interaction « Campagne x Zone » à l'issue des modélisations *Control-Impact*. ET : Ecart-Type.

IV.2.2. Evolution temporelle indicative entre 2011 et 2021 – secteur BKP (1 transect unique)

Comme détaillé dans la description des matériels et méthodes, l'examen des évolutions temporelles 2011-2021 doit être considéré comme n'étant qu'indicatif et sujet à des interprétations précautionneuses en raison de biais importants entre les campagnes antérieures à 2019 et les deux dernières campagnes présentant un plan d'échantillonnage stabilisé.

S'agissant des paramètres de densité, le profil de diminution générale observé de 2011 à 2019 en Baie Kwé se prolonge en 2021 par une réaugmentation des niveaux pour les herbivores et carnivores (et dans une moindre mesure pour les espèces commerciales et l'ensemble du peuplement), et par une stabilisation pour les autres paramètres. En baie de Port Boisé, la stabilité historique constatée pour la majorité des paramètres depuis 2013 se prolonge en 2021 (à l'exception d'une augmentation ponctuelle concernant les Chaetodontidae).

En termes de biomasse, l'augmentation notable constatée entre 2019 et 2021 permet de retrouver les niveaux observés historiquement pour la majorité des paramètres en baie Kwé. Ceci fait ressortir les valeurs 2019 comme étant des valeurs particulièrement basses en regard des campagnes disponibles (avec lesquelles les niveaux 2021 sont donc cohérents). En baie de Port Boisé, les niveaux observés en 2021 apparaissent cohérents avec les niveaux observés depuis 2013, excepté pour les carnivores où ils restent faibles et pour les Chaetodontidae où ils apparaissent élevés en regard de l'historique disponible.

Enfin, en baie Kwé, les profils temporels des paramètres de richesse spécifique positionnent les valeurs 2021 comme étant parmi les plus élevées de l'historique disponible (ou *a minima* stables vis-à-vis des valeurs constatées lors des précédentes campagnes). Il en va de même en baie de Port Boisé, à l'exception de quelques variables indiquant une diminution récente (notamment les piscivores et les espèces commerciales).

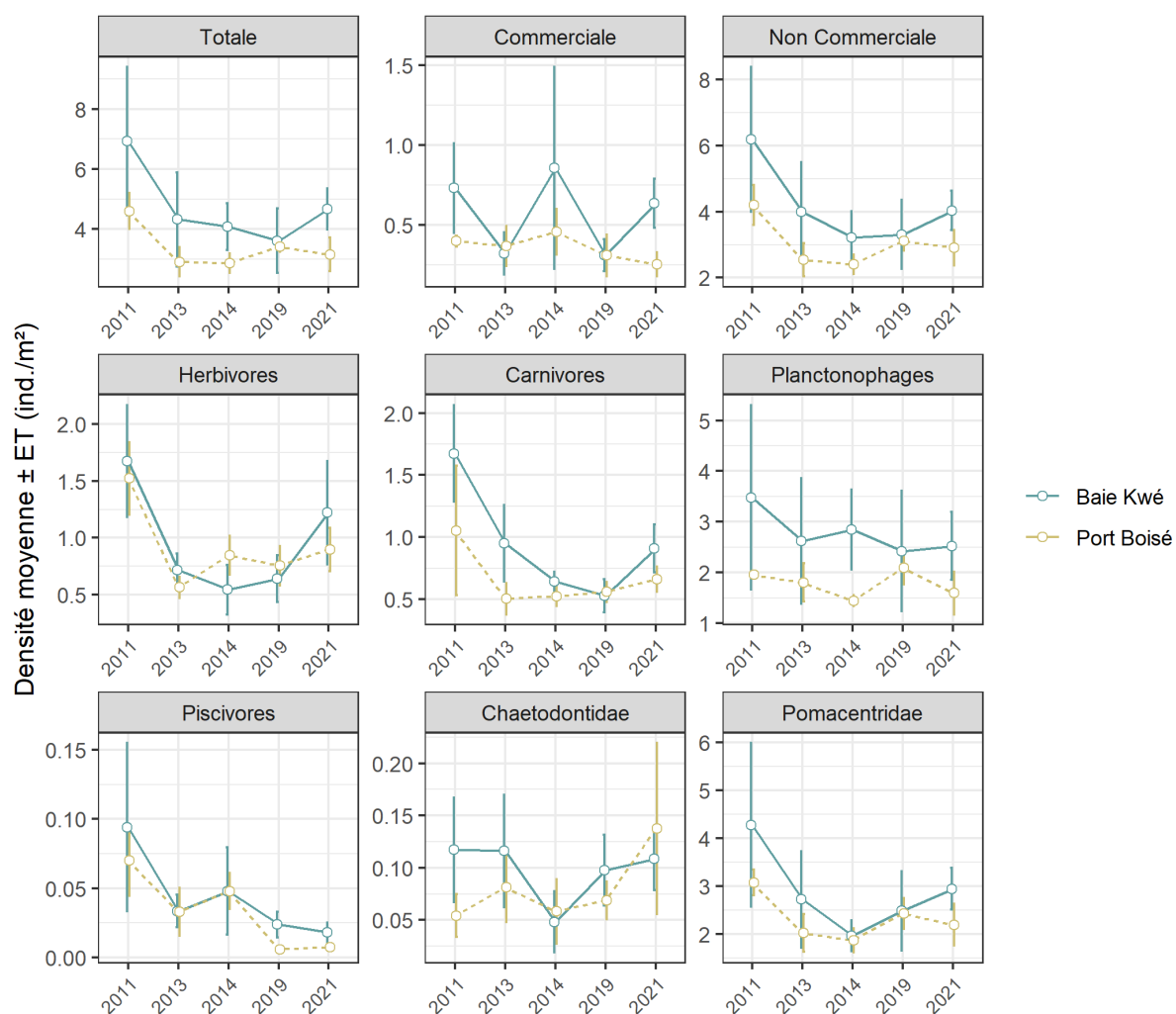


Figure 45 : Variations temporelles des paramètres de densité sur la période historique disponible, pour chacune des deux zones, sur la base de l'unique transect commun par station entre les différentes campagnes (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). ET : Ecart-Type.

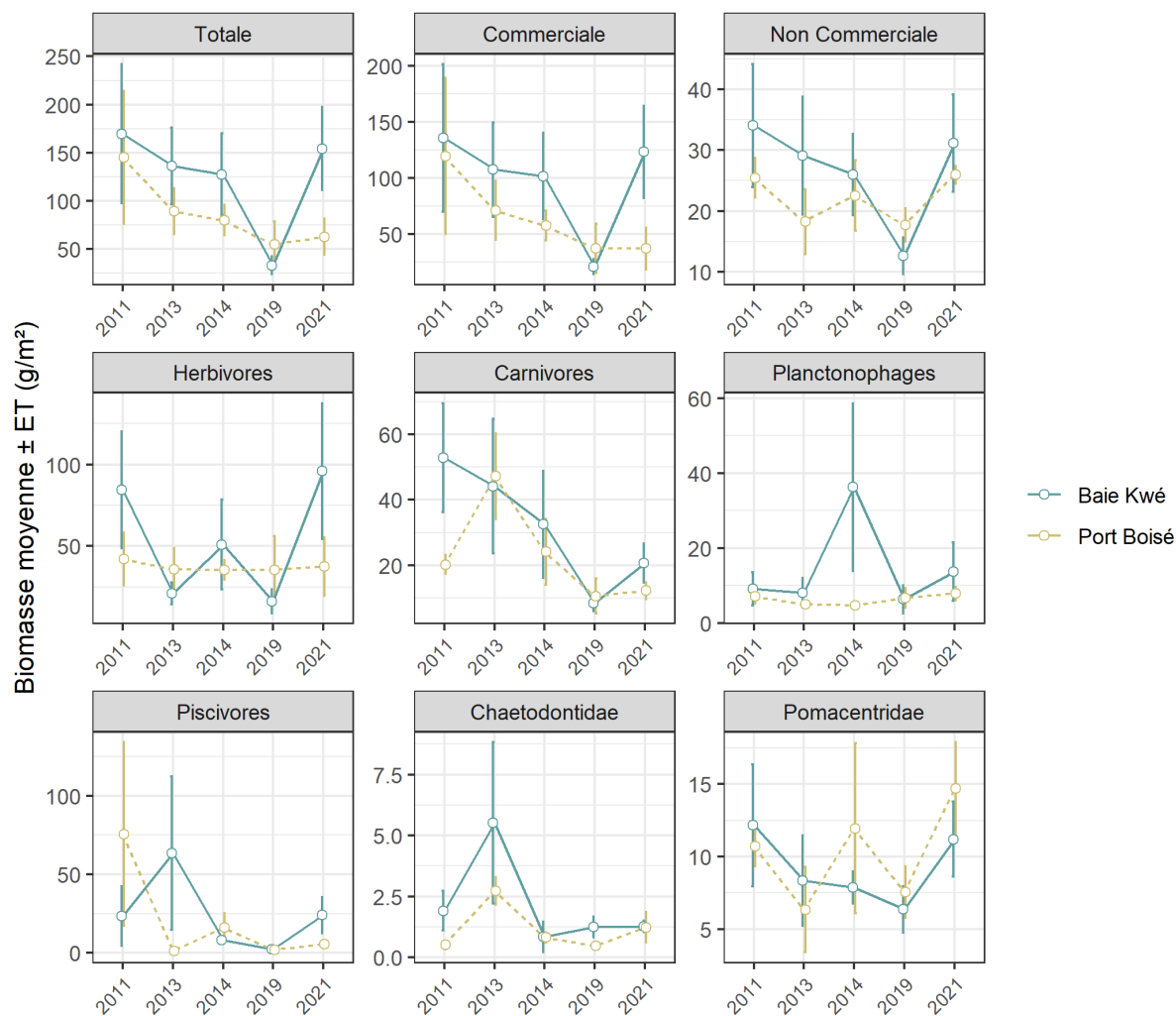


Figure 46 : Variations temporelles des paramètres de biomasse sur la période historique disponible, pour chacune des deux zones, sur la base de l'unique transect commun par station entre les différentes campagnes (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). ET : Ecart-Type.

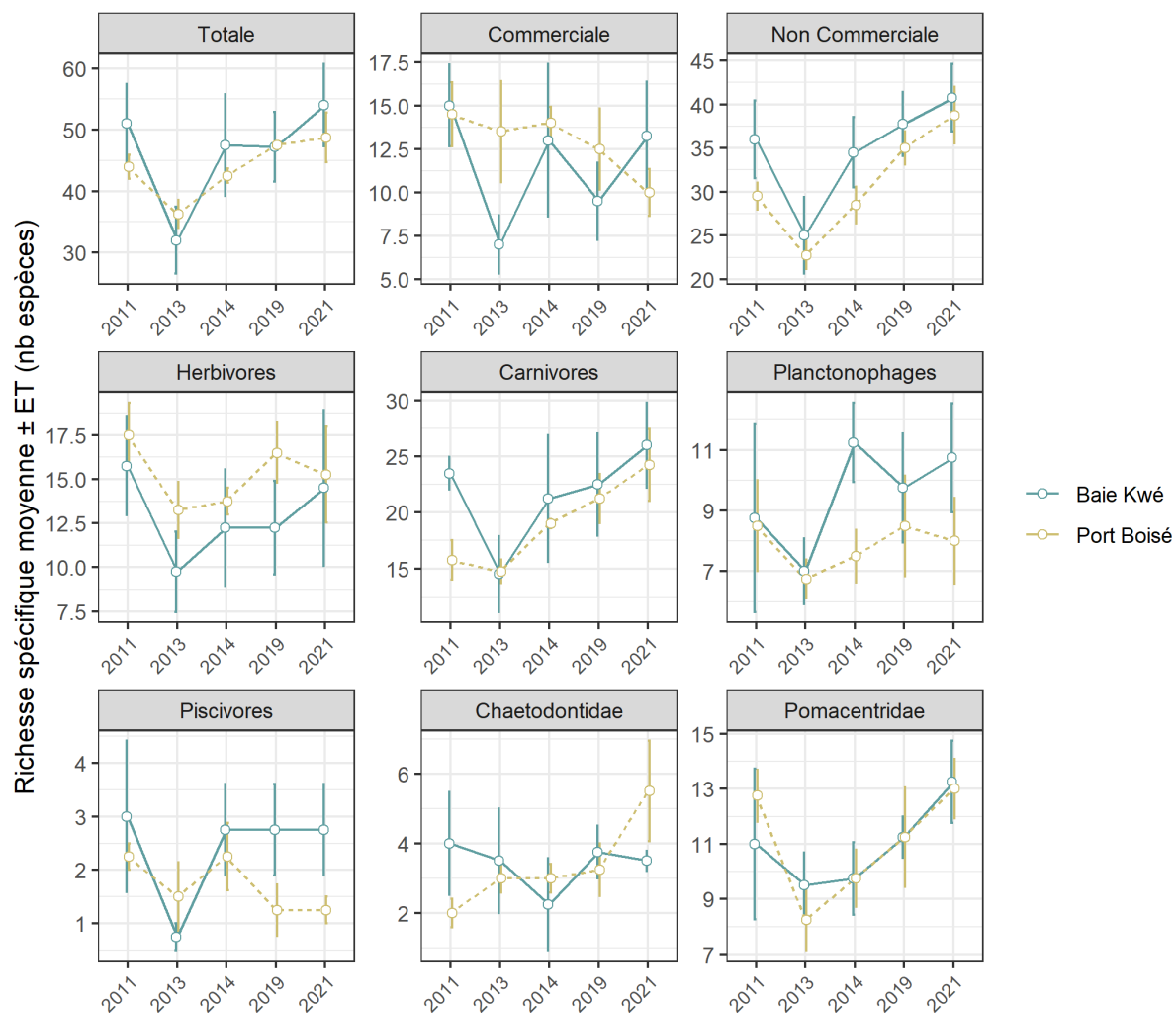


Figure 47 : Variations temporelles des paramètres de richesse spécifique sur la période historique disponible, pour chacune des deux zones, sur la base de l'unique transect commun par station entre les différentes campagnes (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). ET : Ecart-Type.

IV.2.3. Evolution temporelle indicative entre 2011 et 2021 – secteur Prony (1 transect unique)

De manière encore plus marquée que pour secteur de Baie Kwé et Port Boisé et en raison de différents facteurs détaillés dans la description des matériels et méthodes, l'examen des évolutions temporelles 2011-2021 sur le secteur de Prony doit être considéré comme étant indicatif et sujet à des interprétations précautionneuses en raison de biais importants entre la campagne 2021 et les campagnes antérieures.

La densité totale présente des valeurs inférieures en 2021 sur la majorité des stations disponibles (à l'exception de ST03 et ST13 où elle apparaît légèrement supérieure). Sur ST12 où un historique plus complet est disponible, les valeurs de densités apparaissent faibles et fluctuantes, sans qu'aucun profil clair ne se distingue.

La biomasse totale présente à l'inverse des valeurs supérieures en 2021 sur la plupart des stations (à l'exception de ST02 et ST05). Sur ST12, les valeurs 2011 et 2021 apparaissent comparables et très supérieures aux valeurs observées entre ces deux campagnes dans le cadre du suivi de PRNC.

La richesse spécifique présente les profils d'évolutions variés selon les stations : trois stations indiquent une augmentation, trois stations indiquent une diminution, tandis que sur ST12 on retrouve un schéma similaire à celui déjà constaté pour la biomasse (valeurs 2011 et 2021 très supérieures aux valeurs de diversité relevées en routine dans le cadre du suivi de PRNC).

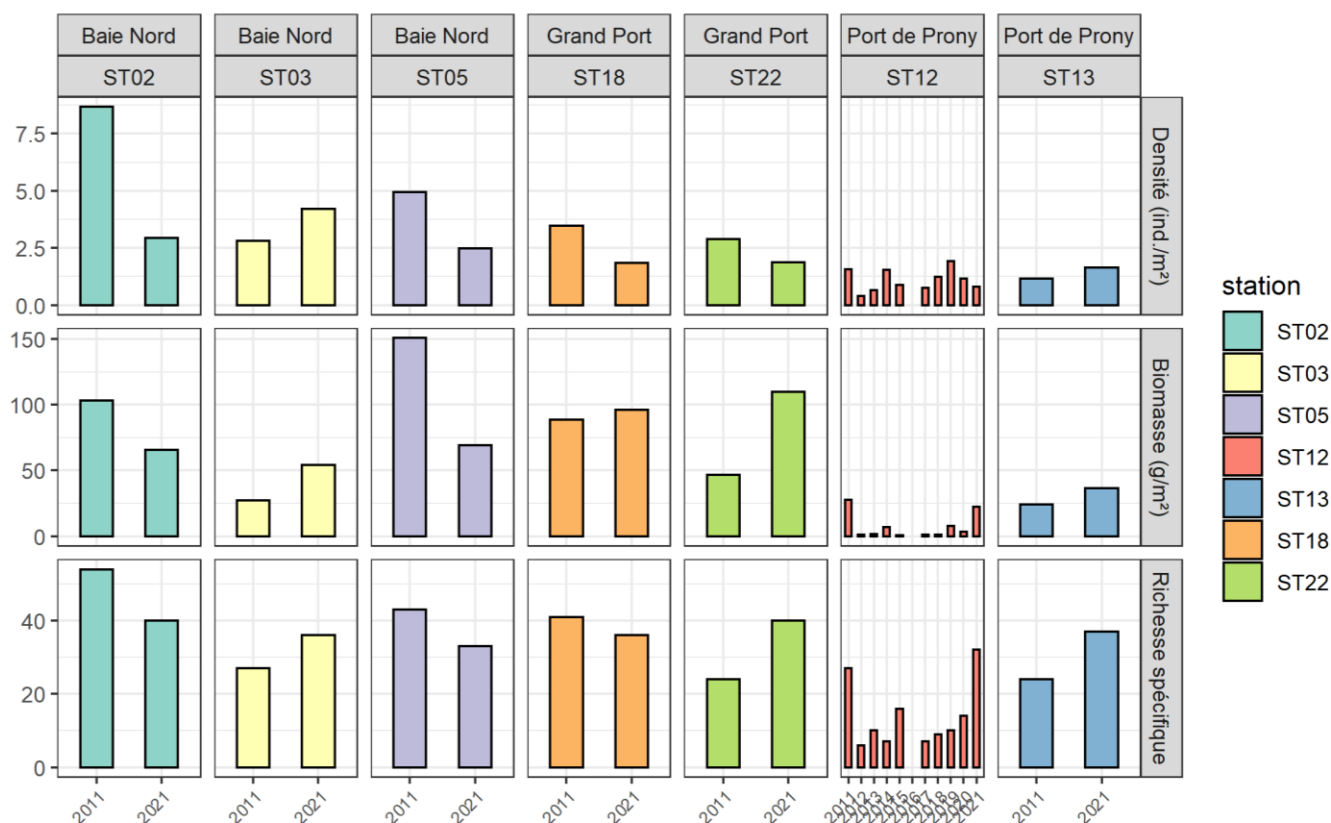


Figure 48 : Variations temporelles des valeurs uniques de densité, biomasse, et richesse spécifique sur les stations pour lesquelles un historique existe, sur la base d'un seul transect commun par station (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité).

V. INVERTÉBRÉS MACROBENTHIQUES

V.1. ETAT DES LIEUX EN 2021

Les graphiques de richesse spécifiques, densité par groupe, densité par sous-groupe et indice de groupes coloniaux par station sont fournis en Annexe VI.

V.1.1. Secteur de Prony

La richesse spécifique d'invertébrés (mollusques et échinodermes) est comprise entre 12,5 et 17,5 espèces en moyenne sur les 3 zones en 2021 avec un maximum en baie Nord et un minimum en Port de Prony, dont les valeurs sont significativement différentes (Figure 49 et Tableau 21).

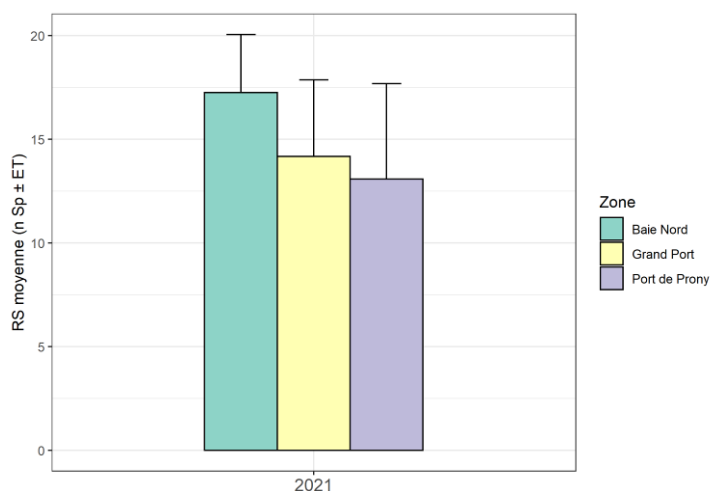


Figure 49 : Richesse spécifique par zone en 2021 dans le secteur de Prony

En termes de densité, une forte similarité dans la densité d'échinodermes est observée entre zones (Anova NS, Figure 49 et Tableau 21) avec une densité comprise entre 30 et 35 indiv/100m², dominée par les oursins (Echinidés, Figure 51).

La densité de mollusques est significativement supérieure à Grand Port, comparé aux deux autres zones (Anova : $p < 0,001$) avec toutefois une forte hétérogénéité entre stations au sein de la zone Grand Port (Annexe VI) avec deux stations (ST18_O et STX06) dont la densité est proche de 250 indiv/100m². L'examen des données par espèce montre que cette forte densité est liée aux bivalves *Barbatia* sp sur ST18_O et *Pteria* sp. sur STX06.

Globalement, la densité de mollusques est très largement dominée par les bivalves dans chaque zone.

Tableau 21: Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) sur les données transformées (racine carrée) de Richesse spécifique totale et de densité par groupe dans le secteur de Prony. NS : Non significatif, * : $p < 0,001$**

Variable	Groupe	p value	Post hoc
Richesse spécifique	Totale	NS	Baie Nord > Port de Prony
Densité	Mollusques	***	Grand Port > Baie Nord, Port de Prony
	Echinodermes	NS	

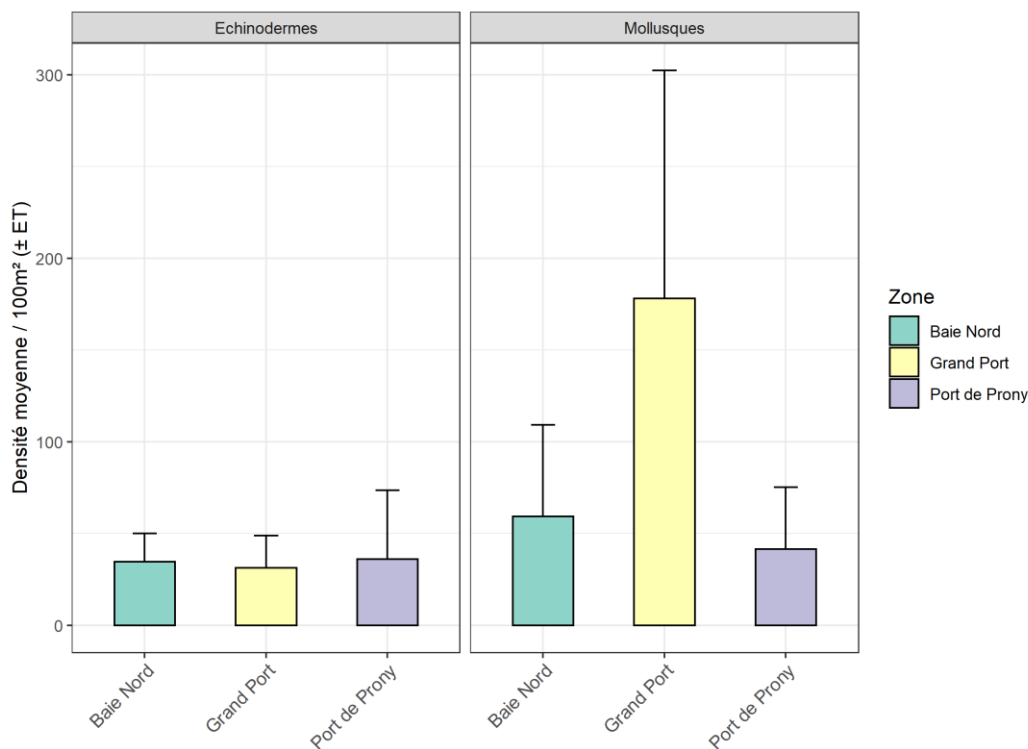


Figure 50 : Densité moyenne (/100m²) d'échinodermes et de mollusques par zone dans le secteur de Prony

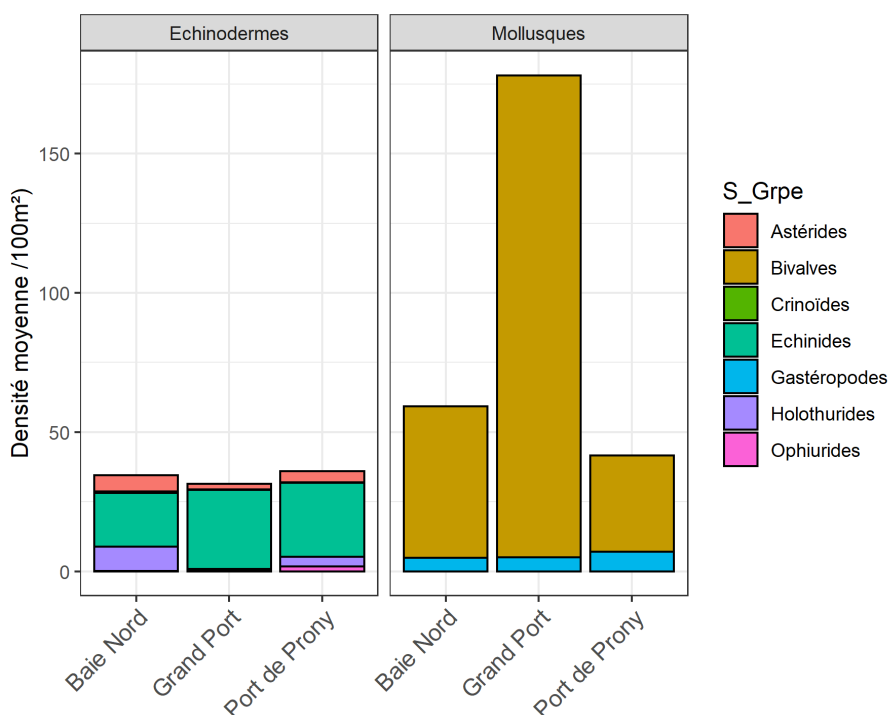


Figure 51 : Densité moyenne (/100m²) de chaque sous groupe par zone dans le secteur de Prony

Parmi les genres remarquables, aucune invasion d'Acanthaster n'est actuellement identifiée dans chaque zone avec toutefois environ 5 individus /100m² relevés sur STX02 (Annexe VI), confirmant l'origine probable des observations faites sur les lésions de cette station. Bien qu'élevée, cette densité reste sous la densité moyenne observée sur les 17 sites de prolifération étudiés entre 2015 et 2019 en Nouvelle Calédonie (7,22 indiv/100m², Dumas et al. 2021).

La densité des autres genres remarquables est également faible dans chaque zone.

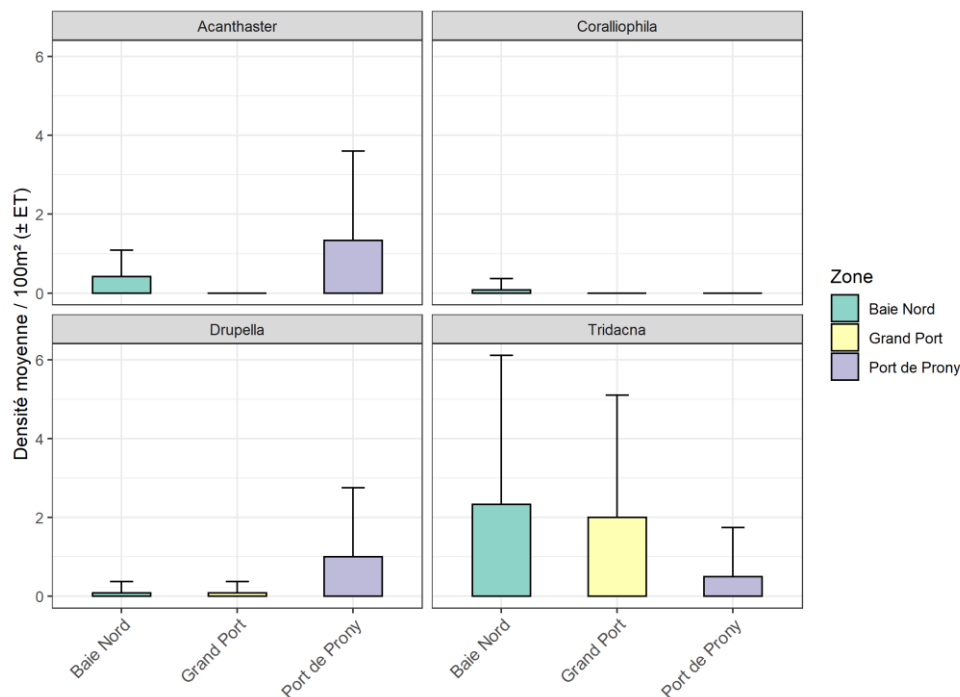


Figure 52 :Densité moyenne (/100m²) de genres remarquables par zone du secteur de Prony en 2021

Concernant les organismes coloniaux, les tendances suivantes sont observées (Figure 53) :

- Les coraux scléractiniaires présentent les indices de couverture les plus élevés dans chaque zone et reflètent globalement les couvertures obtenues par LIT ;
- Les autres organismes montrent des couvertures faibles (proche d'un indice 1 : 1 à 5%) voir nulles dans chaque zone (gorgones, macroalgues du genre Asparagopsis).

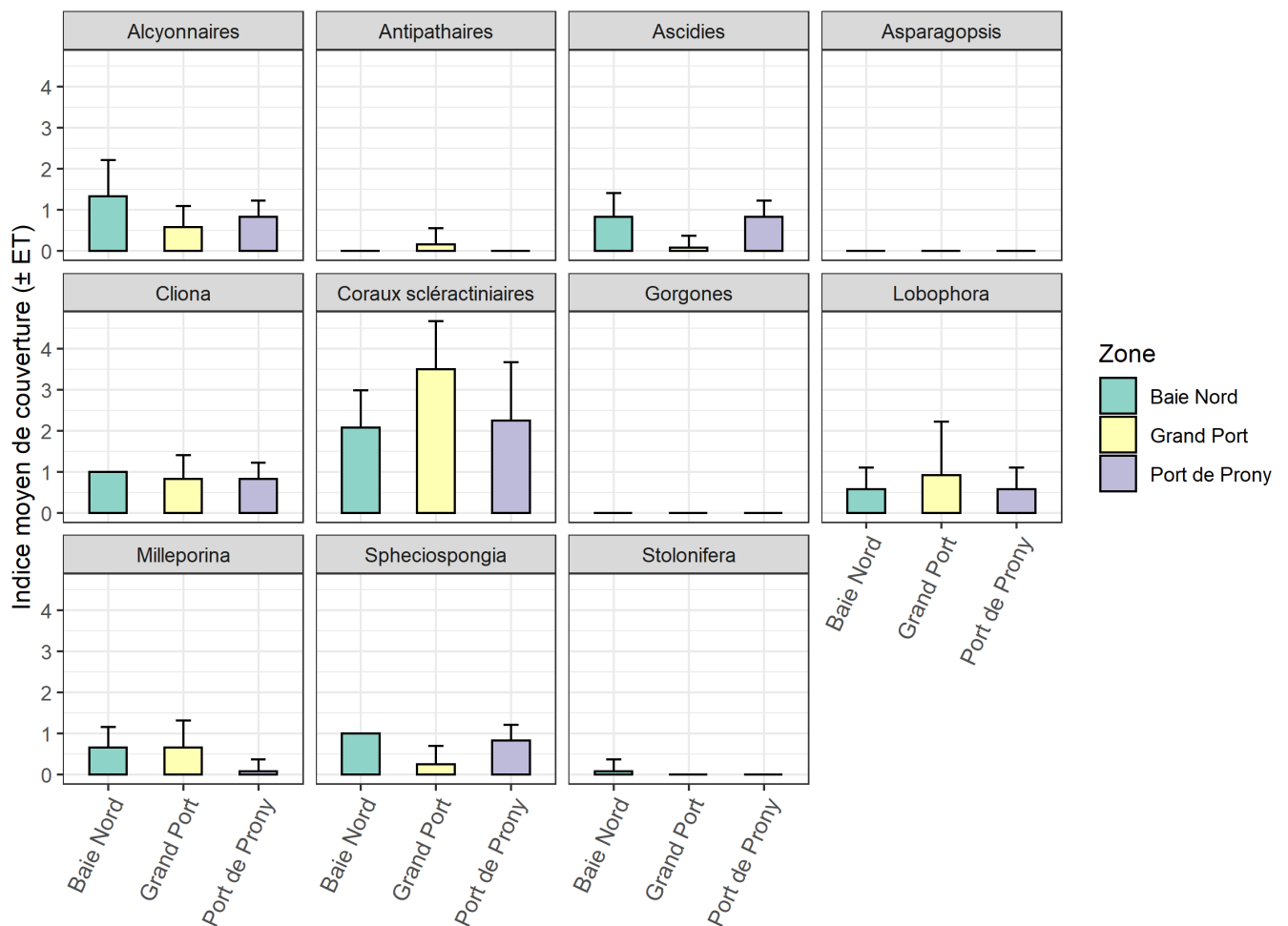


Figure 53: Indice moyen de couverture ($\pm$ ET) pour les groupes taxonomiques coloniaux par zone dans le secteur de Prony

V.1.2. Secteur de BKPB

La richesse spécifique d'invertébrés (mollusques et échinodermes) est légèrement supérieure en baie de port Boisé qu'en baie Kwé en 2021 (12,2 et 9,8 espèces respectivement) sans que cette différence ne soit significative (Figure 54 et Tableau 22)

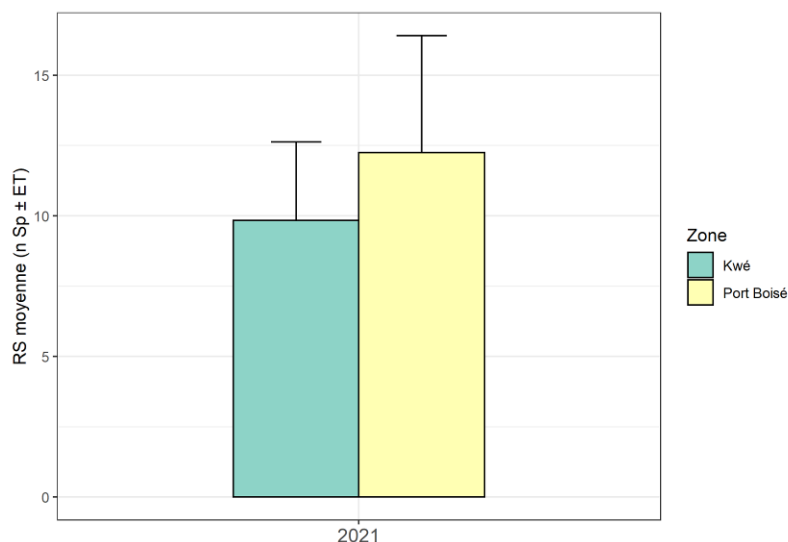


Figure 54 : Richesse spécifique par zone en 2021 dans le secteur de BKP

Tableau 22 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) sur les données transformées (racine carrée) de Richesse spécifique totale et de densité par groupe dans le secteur de Prony NS : Non significatif, ** : $p < 0,01$

Variable	Groupe	p value	Post hoc
Richesse spécifique	Totale	NS	
Densité	Mollusques	NS	
	Echinoderme	**	Port Boisé > Baie Kwé

En termes de densité, une forte similarité dans la densité de mollusques est observée entre les deux baies (densité proche de 50 indiv/100m²) alors que les bivalves et gastéropodes contribuent à parts égales dans cette densité, à la différence des zones de Prony largement dominées par les bivalves (Figure 56).

La densité d'échinodermes est beaucoup plus faible que celle des mollusques dans les deux zones, mais celle-ci est significativement plus élevée en baie de port Boisé avec une densité proche du double (Figure 54). Les Astérides, Echinides, Holothurides contribuent à cette différence.

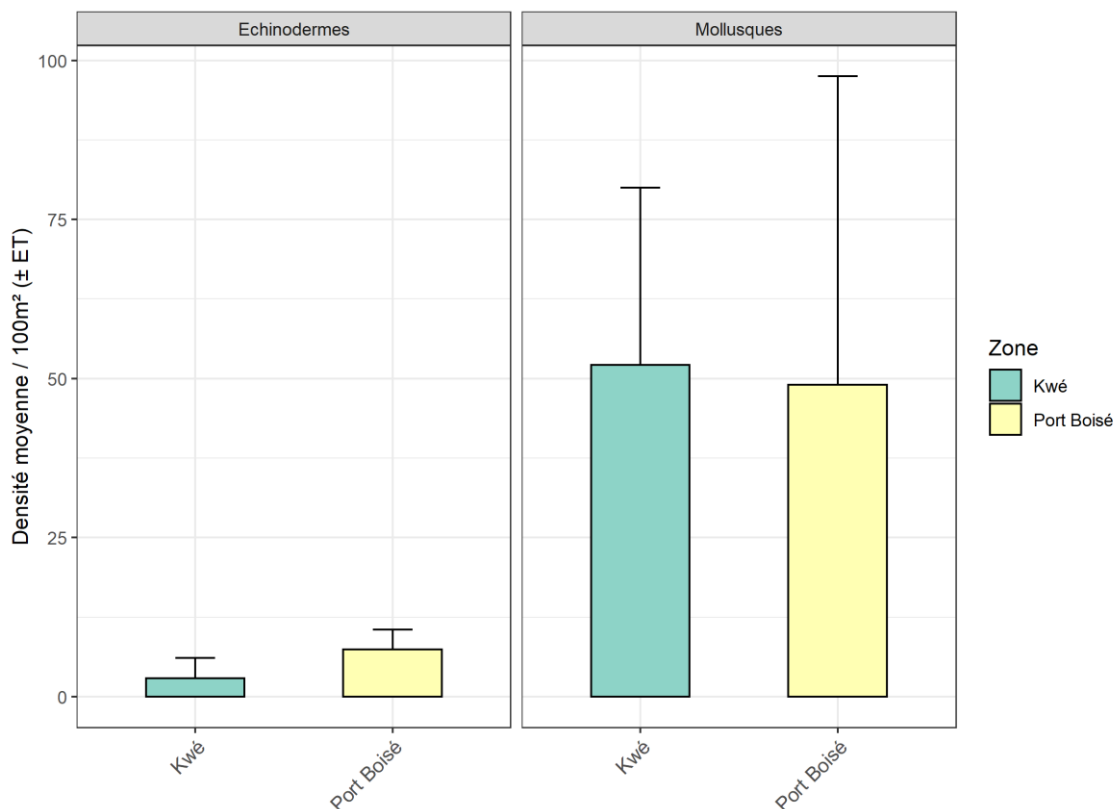


Figure 55 : Densité moyenne (/100m²) d'échinodermes et de mollusques par zone dans le secteur de BKPB

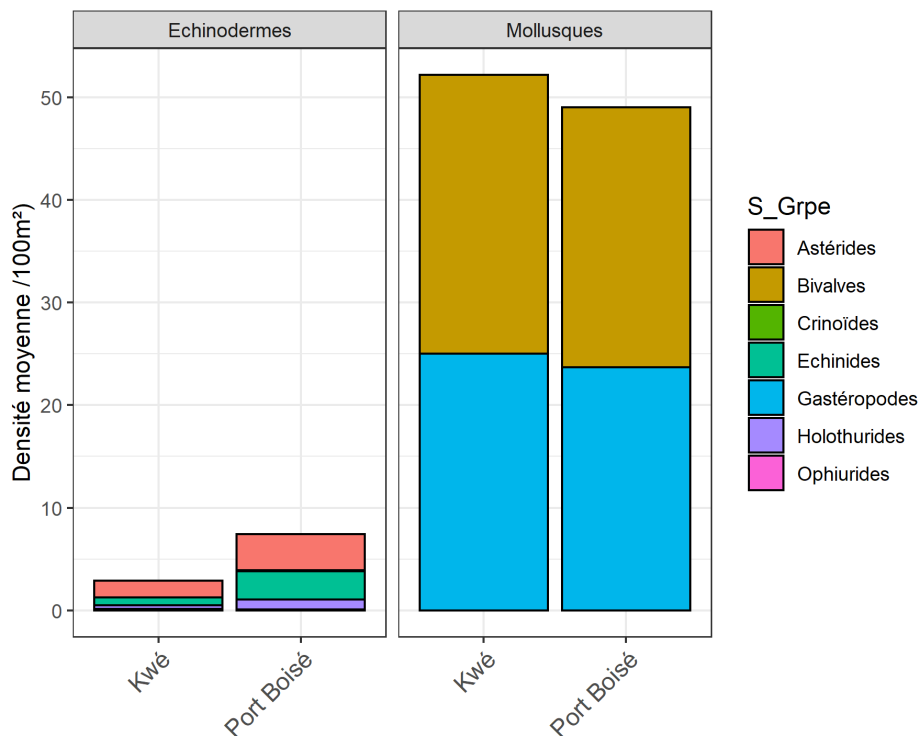


Figure 56 : Densité moyenne (/100m²) de chaque sous groupe par zone dans le secteur de BKPB

Parmi les genres remarquables, aucune invasion d'Acanthaster n'est actuellement identifiée dans chaque zone alors que les invasions localisées de Drupella sur ST34 (Baie Kwé) ou ST38/39 (Port Boisé) (cf Annexe VI) sont reflétées par une densité comprise entre 10 et 20 indiv/100m² dans les deux zones. La densité des autres genres remarquables est faible dans chaque zone.

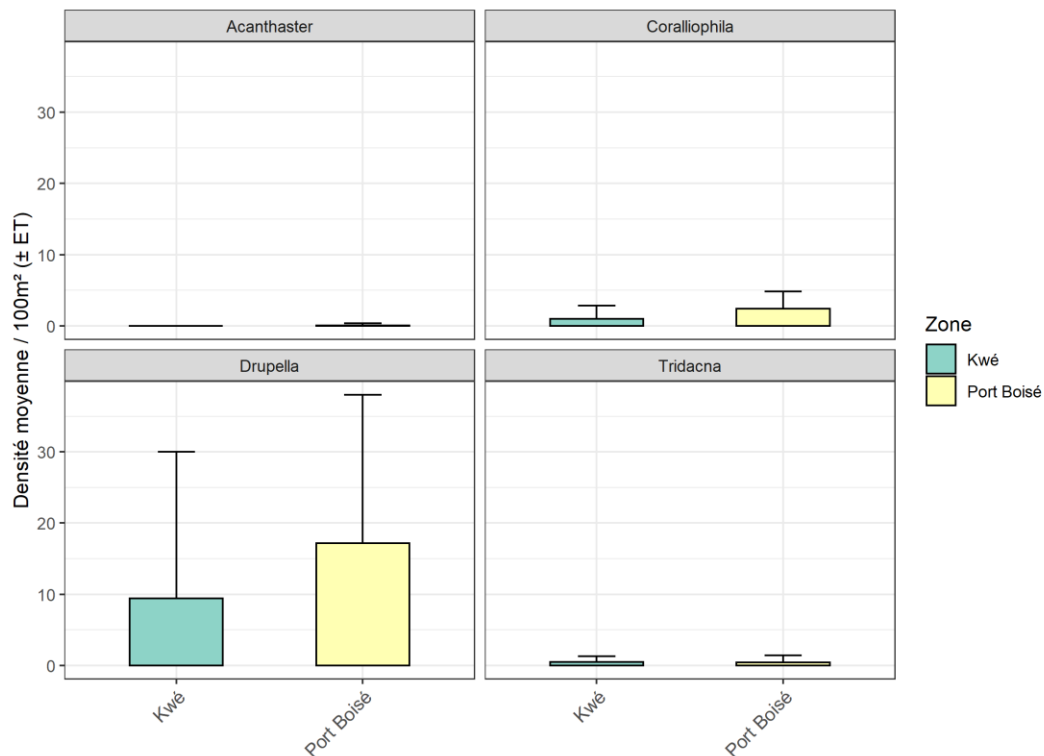


Figure 57 : Densité moyenne (/100m²) de genres remarquables par zone du secteur de BKPB en 2021

Concernant les organismes coloniaux, les tendances suivantes sont observées (Figure 58) :

- Les coraux scléractiniaires présentent les indices de couverture les plus élevés dans chaque zone ;
- Les autres organismes montrent des couvertures faibles (proche d'un indice 1 : 1 à 5%) voir nulles dans chaque zone (Gorgones, Antipathaires) ;
- Les indices de couverture de coraux mous (Alcyonnaires), de coraux de feu (Milleporina) et de Lobophora sont supérieurs en baie de Port Boisé ;

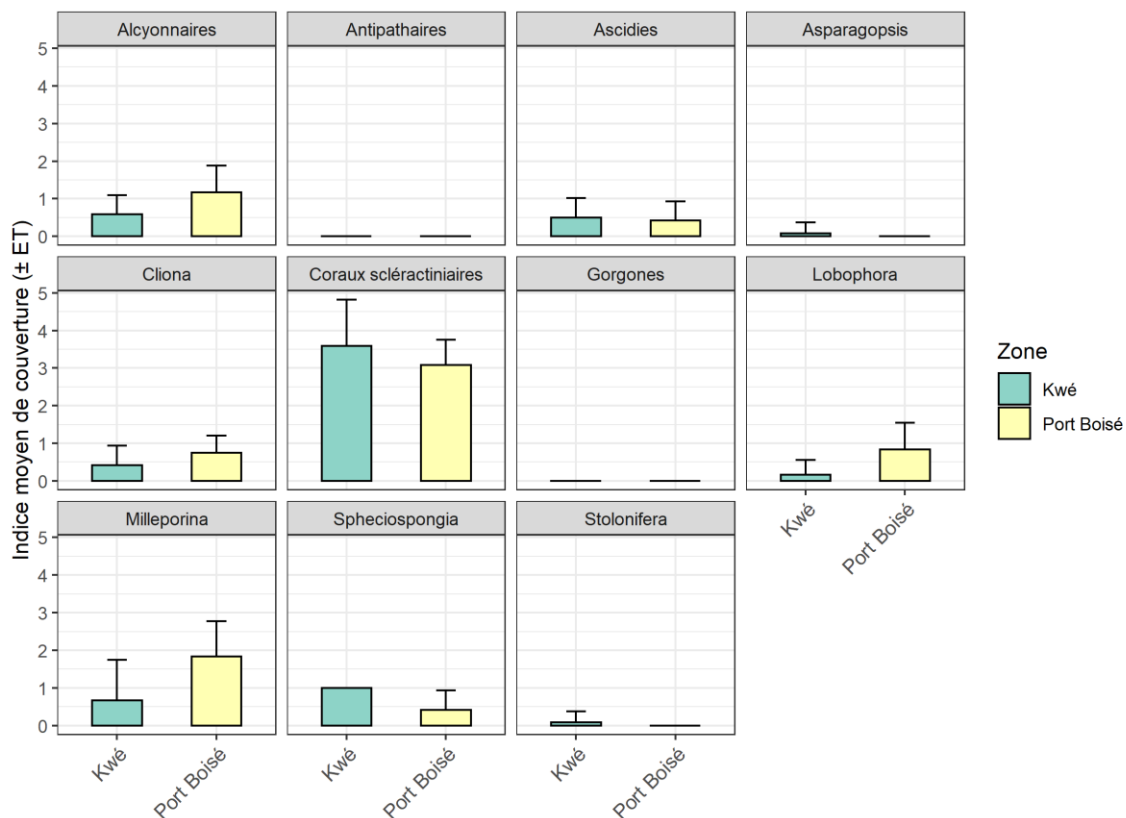


Figure 58: Indice moyen de couverture ($\pm$ ET) pour les groupes taxonomiques coloniaux par zone dans le secteur de BKPB

V.1.3. Comparaison à des sites de la région en 2019 et 2021

La comparaison des différentes stations montre une densité totale d'invertébrés cibles très variable selon les stations (Figure 59). Les tendances suivantes ressortent de cette comparaison :

- Les stations de baie Kwé et Port Boisé (ST31 à ST39) obtiennent les plus faibles densités d'invertébrés cibles ;
- Les densités des stations de Baie Nord et Grand Port, et certaines de la zone du Port de Prony se démarquent par une densité plus élevée d'oursins diadèmes que les autres stations ;
- Les stations de l'île Ouen se démarquent par une densité nettement plus élevée d'autres oursins que les autres stations.

Globalement, cette analyse géographique montre, comme pour le substrat, une forte hétérogénéité des densités de peuplements macrobenthiques cibles selon les stations et selon les zones.

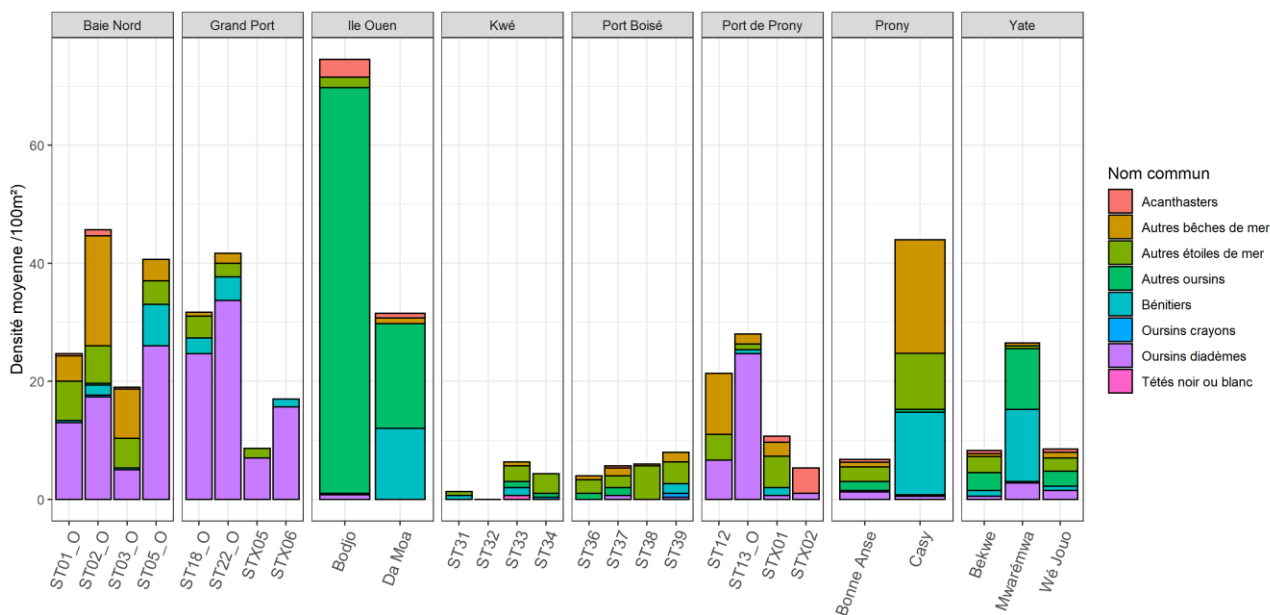


Figure 59 : Densité moyennes d'invertébrés cibles du RORC sur les stations de cette présente étude (2021), des stations RORC (2021) et des stations ACROPORA (2019)

V.2. MODÉLISATION DE TYPE CI POUR LA DÉTECTION DE SIGNAL D'IMPACT ET ÉVOLUTION TEMPORELLE

V.2.1. Modélisation de type CI entre 2019 et 2021 – secteur BKPB

Aucun signal d'impact n'est détecté sur la richesse spécifique entre 2019 et 2021 (Tableau 23 et Figure 60). En moyenne, le nombre d'espèce a très peu évolué dans chaque zone entre ces deux dates.

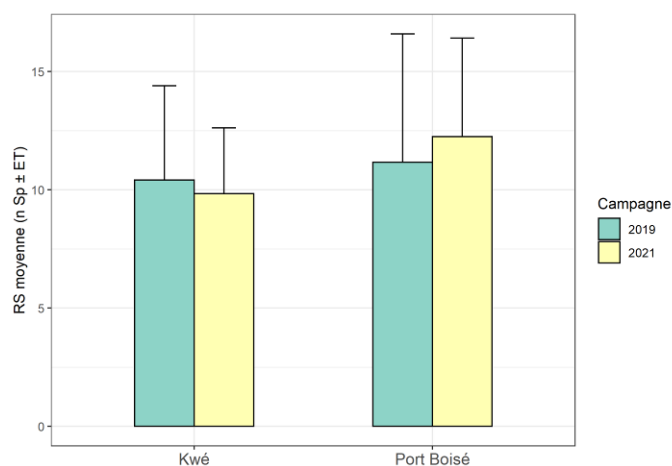


Figure 60 : Richesse spécifique (n espèces) par zone en 2019 et 2021 dans le secteur de BKPB

Tableau 23 : Résultats des modélisations CI pour la détection de signaux de perturbation potentiels sur la faune macrobenthique dans le secteur de Baie Kwé -Port Boisé (représentés par le facteur d'interaction « Campagne x Zone »). NS : non-significatif ; * : significatif avec $P<0,05$; ** : $P<0,01$; * : $P<0,001$.**

Variable	Taxa	Campagne	Zone	Campagne×Zone	Post hoc
Richesse spécifique	Totale	NS	NS	NS	
Densité	Mollusques	NS	NS	NS	
	Echinodermes	*	***	NS	Port Boisé>Kwé, 2019>2021
	Astérides	NS	***	***	Faibles densités et faible normalité des données
	Bivalves	***	***	***	2021>2019, Kwé > Port Boisé, Augmentation en
	Crinoïdes	NS	NS	NS	Port Boisé, 2019 et 2021 (Tableau 23).

Les densités par groupe ne montrent pas de signal d'impact entre 2019 et 2021 (Tableau 23).

La densité d'échinodermes montre une diminution dans chaque zone entre les deux dates (Figure 61) principalement liée aux Astérides (Figure 62), les autres sous-groupes (Echinides, Gastéropodes, Crinoïdes et Crinoïdes) bénéficiant de densités très faibles dans chaque zone. L'examen des données par station (Annexe VI) montre que la diminution de densité d'Astérides, est principalement liée aux deux stations de sortie de baie Kwé (ST33 et ST34), la densité des stations de fond de baie étant initialement très faible en 2019. En baie de Port Boisé, elle est d'avantage liée aux stations de fond de baie (ST38/39) et à l'espèce *Echinaster luzonicus* (étoile de mer rouge) dont la densité a fortement baissé sur ces stations. Toutes ces évolutions sont toutefois à relativiser compte tenu de la faible densité d'échinodermes observée en moyenne dans chaque zone, chaque année ($< 12,5$ indiv/100m²).

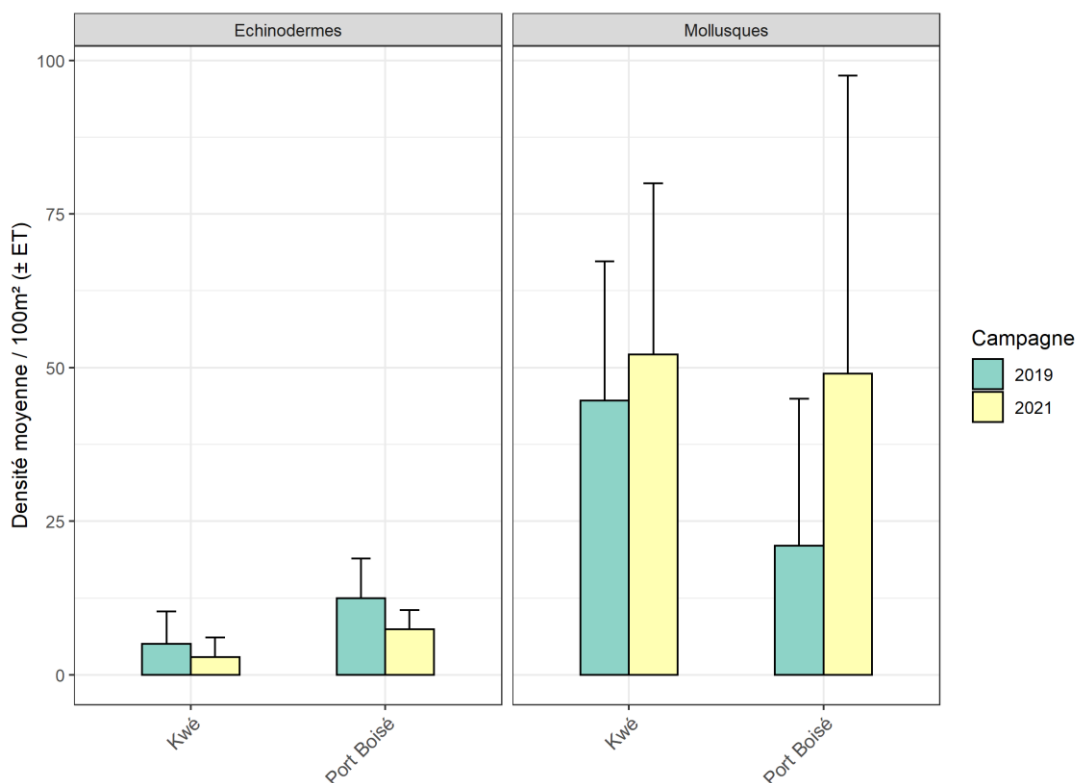


Figure 61 : Densité par groupe (/100m²) par zone en 2019 et 2021 dans le secteur de BKP

Concernant les mollusques et à l'inverse des échinodermes, une augmentation de densités est observée dans chaque zone, et plus particulièrement en baie de Port Boisé (Figure 61). Cette augmentation est liée aux gastéropodes dans les deux zones et aux bivalves dans une moindre mesure en baie de Port Boisé (Figure 62). L'examen des données par station (Annexe VI) montre que l'augmentation de densité de gastéropodes est liée aux stations de sortie de baie Kwé (ST33/34) et aux stations de fond de baie de port Boisé (ST38/39).

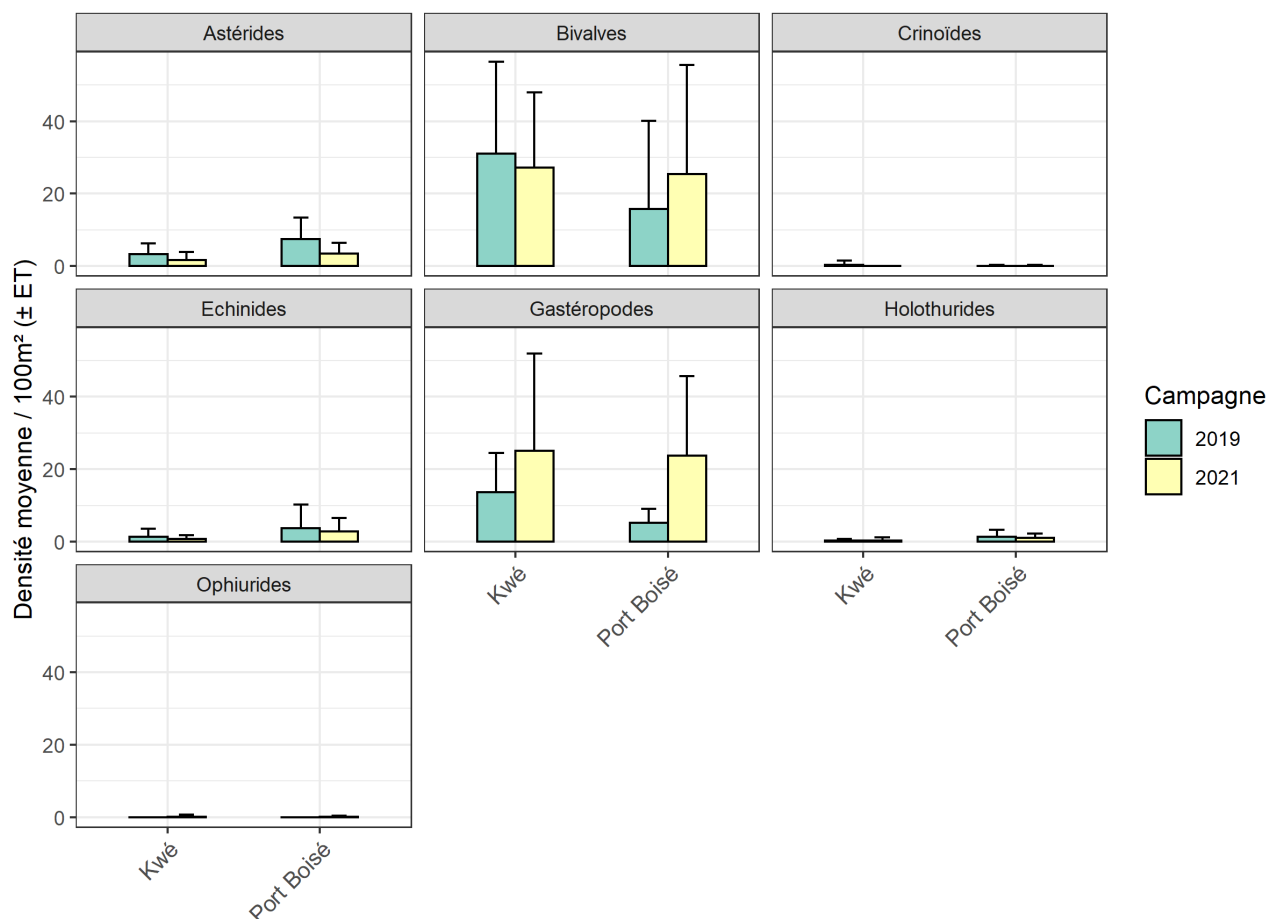


Figure 62 : Densité par sous-groupe (/100m²) par zone en 2019 et 2021 dans le secteur de BKPB

Parmi les genres d'invertébrés remarquables, les Acanthasters, Coralliophilas et bénitiers (genre *Tridacna*) bénéficient chaque année de densités nulles ou très faibles dans chaque zone (Figure 63). Seul le gastéropode corallivore *Drupella* montre une augmentation de densité dans chaque baie et plus particulièrement en baie de Port Boisé, contribuant fortement à l'augmentation de densité des gastéropodes décrite ci-dessus. En effet, l'examen des données par station (Annexe VI) confirme les invasions localisées observées en sortie de baie Kwé (ST34) et en fond de baie de Port Boisé (ST38/39).

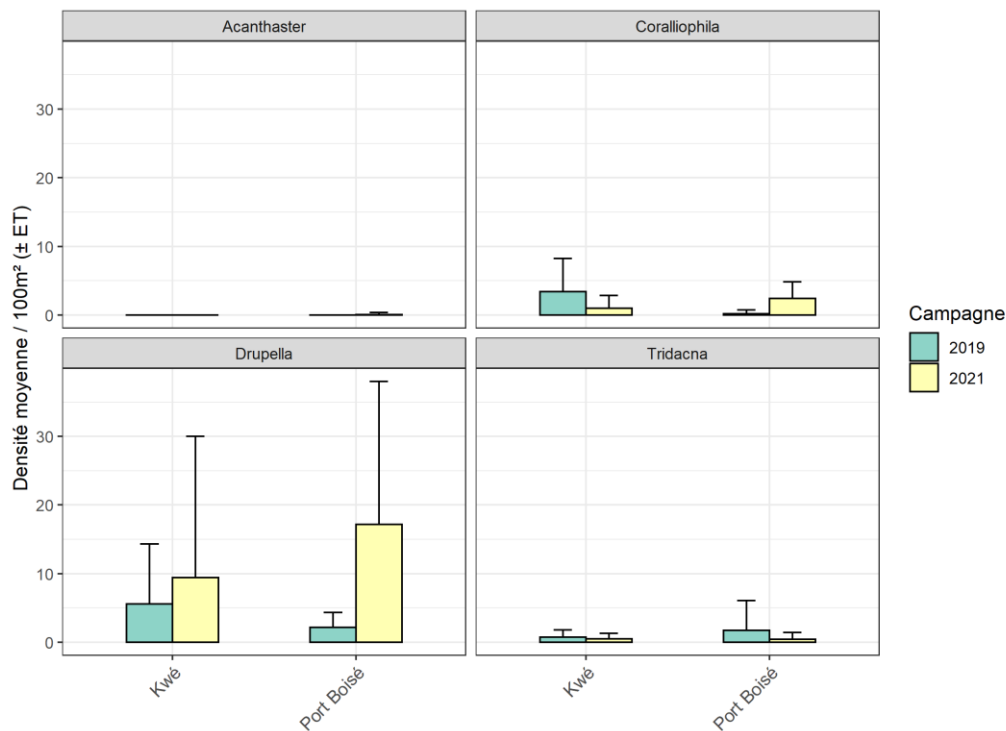


Figure 63 : Densité de genres remarquables (/100m²) par zone en 2019 et 2021 dans le secteur de BKPB

Concernant les organismes coloniaux, les tendances suivantes sont observées (Figure 64) :

- Les coraux scléractiniaires montrent une augmentation de leur indice de couverture moyen dans chaque baie. Cette évolution n'est pas en cohérence avec celle obtenue avec le LIT. On retiendra la tendance observée par le LIT, celle obtenue à travers cette approche semi-quantitative étant sujet à un plus grand biais ;
- Les alcyonnaires et les coraux de feu ne montrent pas d'évolutions particulières dans chaque baie ;
- Les autres organismes montrent des couvertures faibles (proche d'un indice 1 : 1 à 5%) voir nulles dans chaque zone chaque année (Gorgones, Antipathaires, Ascidies, Asparagopsis, éponges clones et Spheciospongia, Lobophora). On note toutefois une augmentation de la couverture de macroalgues Lobophora, principalement en baie de Port Boisé, qui était quasi nulle en 2019. L'examen des données par station (Annexe VI) montre que cette augmentation est principalement liée aux stations de fond de baie ST38/39, confirmant la tendance observée par le LIT avec une tendance à l'augmentation de la couverture d'assemblages d'algues (macroalgues, turf, Halimeda).

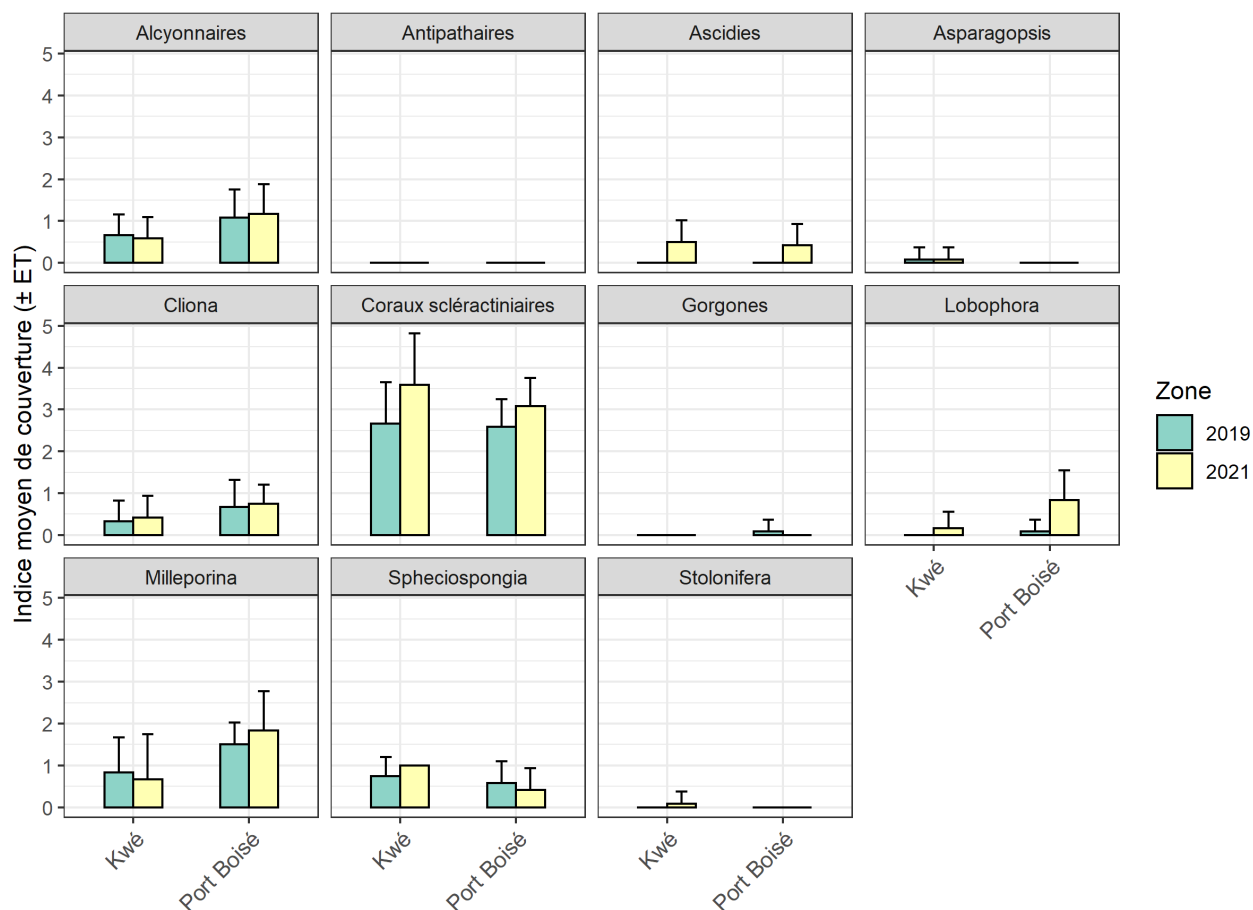


Figure 64 : Evolution de l'indice de couverture d'invertébrés coloniaux entre 2019 et 2021 par zone dans le secteur de BKPB

V.2.2. Modélisation de type CI entre 2011 et 2021 – secteur BKPB (1 transect unique)

L'évolution de la richesse spécifique d'invertébrés dans chaque baie entre 2011 et 2021 confirme une stabilisation depuis 2014 en baie de Port Boisé alors qu'une baisse est observée en baie Kwé entre 2019 et 2021, probablement liée à la dégradation de la couverture corallienne entre ces deux dates. Cette tendance est toutefois beaucoup moins prononcée sur le nouveau réseau installé en 2019 (cf section précédente) que sur cette analyse sur transect unique. L'absence d'Holothurides et de Crinoïdes sur les stations de baie Kwé en 2021 semble contribuer à cette baisse de diversité mais seuls de rares individus avaient été observés sur une seule station en 2019.

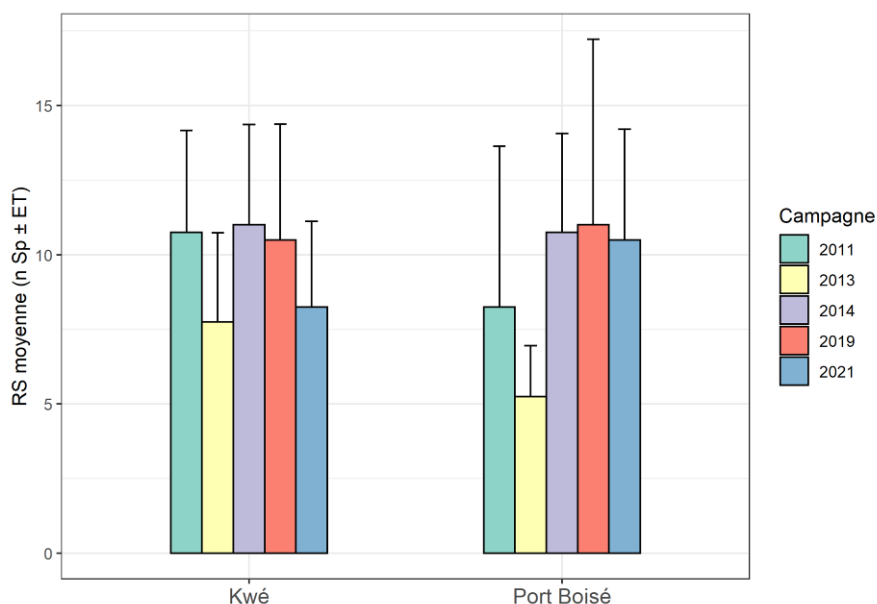


Figure 65 : Evolution de la richesse spécifique d'invertébrés entre 2011 et 2021 dans les deux baies avec un transect unique par station dans le secteur de BKPB

Les densités d'échinodermes restent globalement faibles et stables dans chaque baie entre 2011 et 2021 alors que la densité de mollusques est maximale en 2021 sur la période avec une forte augmentation entre 2013-2019 et 2021 (Figure 66). L'examen des données par sous-groupe confirme la tendance observée sur le nouveau réseau installé en 2019 avec une augmentation de densité liée principalement aux gastéropodes (Figure 67).

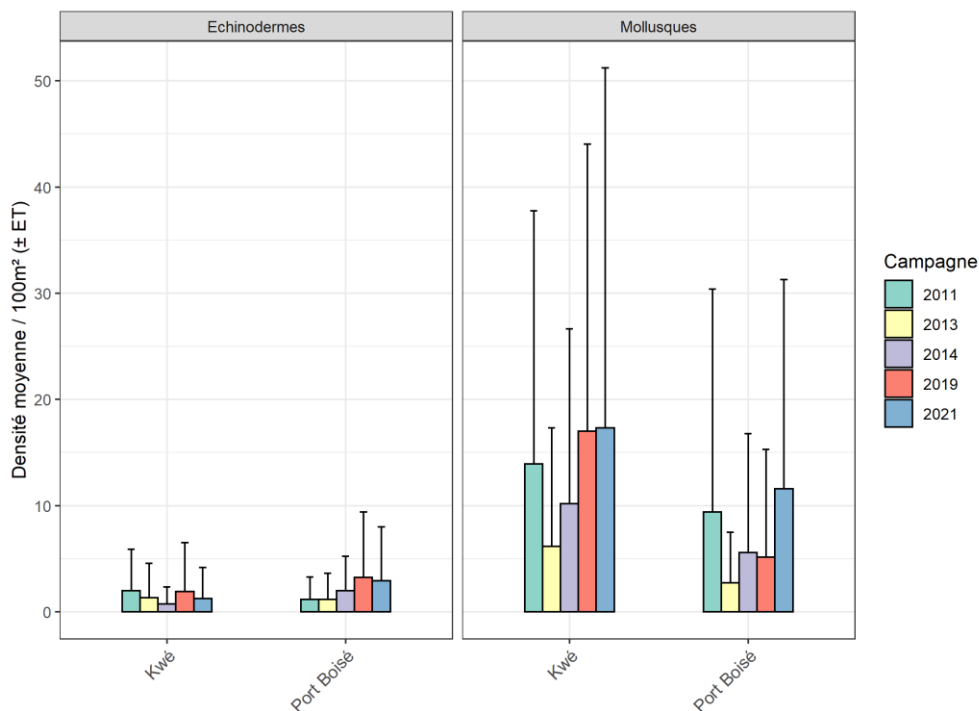


Figure 66: Evolution de la densité d'invertébrés par groupe entre 2011 et 2021 dans les deux baies avec un transect unique par station dans le secteur de BKPB

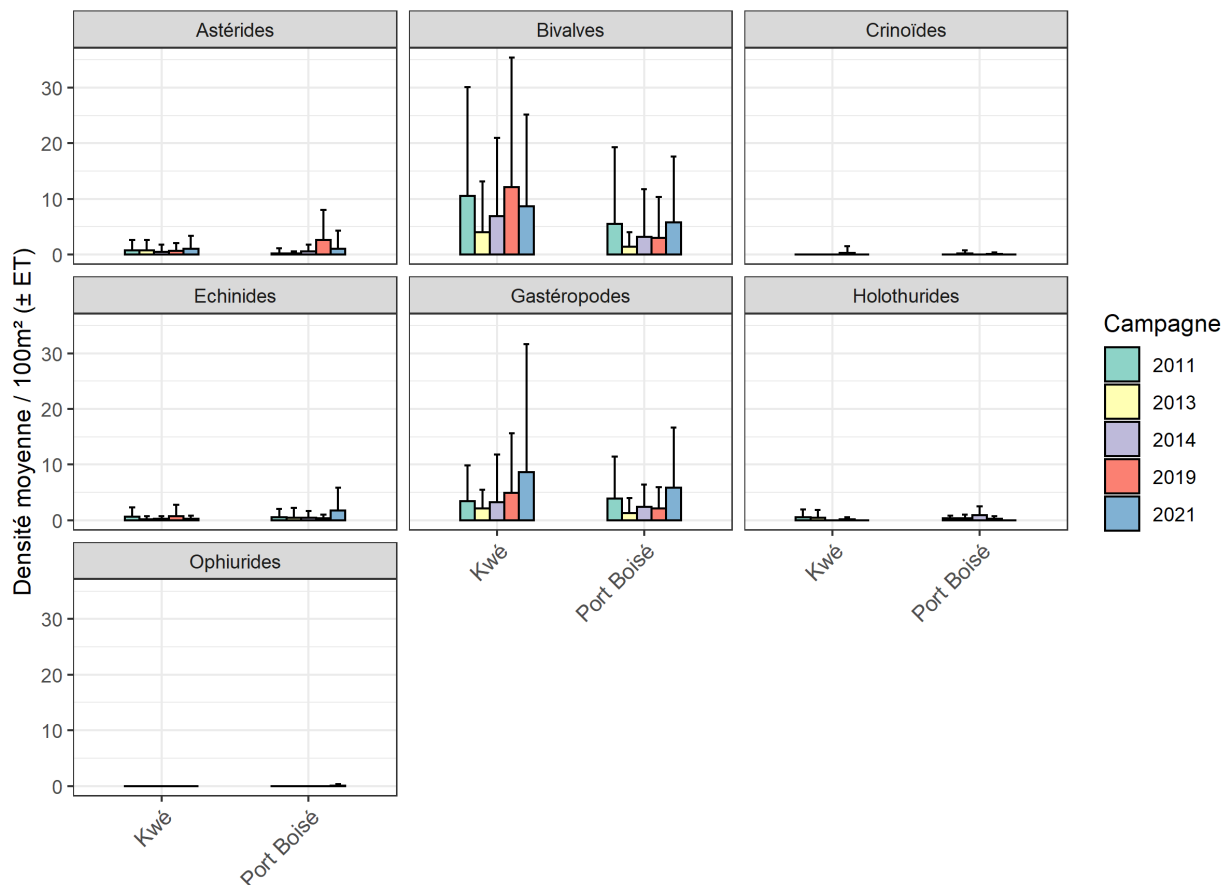


Figure 67 : Evolution de la densité d'invertébrés par sous-groupe entre 2011 et 2021 dans les deux baies avec un transect unique par station dans le secteur de BKPB

Concernant les genres remarquables, les densités de chaque genre restent très faibles chaque année depuis 2011 (Figure 68), confirmant le caractère très localisé des invasions de *Drupella* observées sur le nouveau réseau. Les densités moyennées par zone pour ce gastéropode corallivore sont faibles avec une forte variabilité inter-stations.

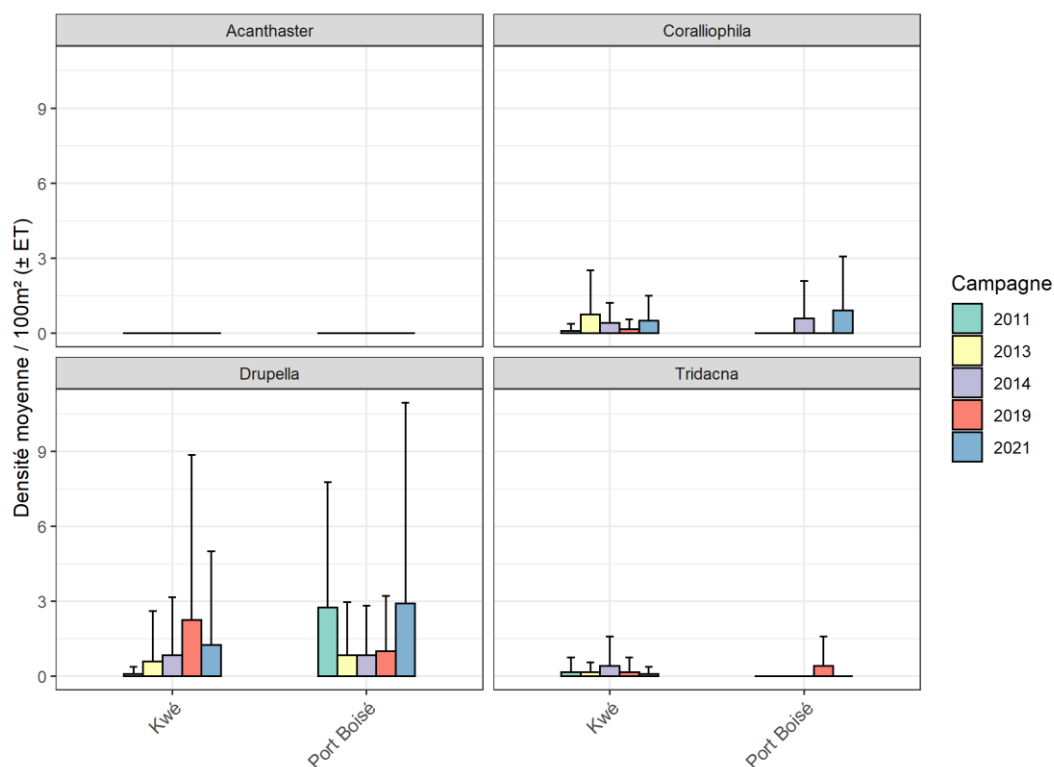


Figure 68: Evolution de la densité de genres remarquables d'invertébrés entre 2011 et 2021 dans les deux baies avec un transect unique par station dans le secteur de BKPB

V.2.3. Evolution temporelle entre 2011 et 2021 – secteur Prony (1 transect unique)

Compte tenu du faible nombre de stations disponibles par zone avec un transect unique, l'étude de l'évolution temporelle est réalisée par station. Cette tendance reste purement indicative, les transects n'ayant pas été disposés au même endroit en 2011 et 2021 par l'absence de piquets.

La richesse spécifique montre une tendance à la hausse sur les stations de Baie Nord, comparée à une absence d'évolution à Grand Port et une baisse sur l'unique station du Port de Prony. Cette baisse semble liée principalement à l'absence de plusieurs espèces de Gastéropodes et Echinides en 2021.

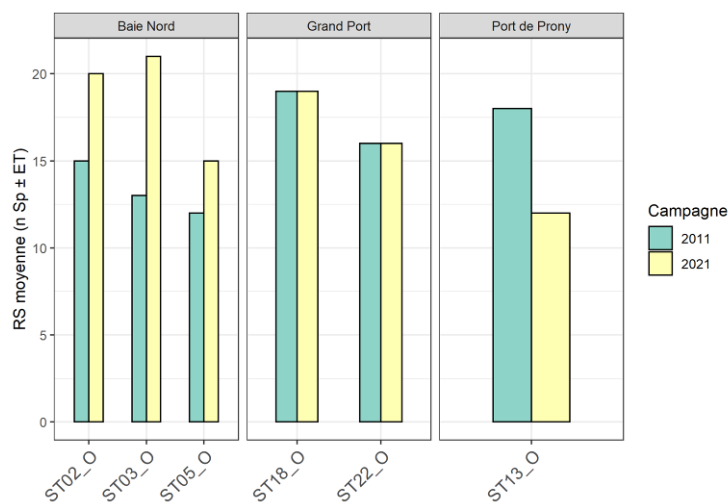


Figure 69 : Evolution de la richesse spécifique d'invertébrés entre 2011 et 2021 sur les stations de chaque zone avec un transect unique par station dans le secteur de Prony

L'évolution des densités par groupe (Figure 70) montre des variations entre 2011 et 2021 variables selon les stations et difficilement interprétables avec un unique transect par station situé à un endroit différent selon les années. En termes de signaux d'impact, on remarque une forte diminution de densité de mollusques sur deux stations de zone d'impact potentiel (ST05_O et ST13_O) liée principalement au sous-groupe des bivalves (Figure 71) et plus précisément aux espèces *Arca ventricosa* (ST05_O) et *Pteria sp.* (ST13_O), peuplant généralement des pinacles coralliens du genre *Porites sp.* (Têtes jaunes).

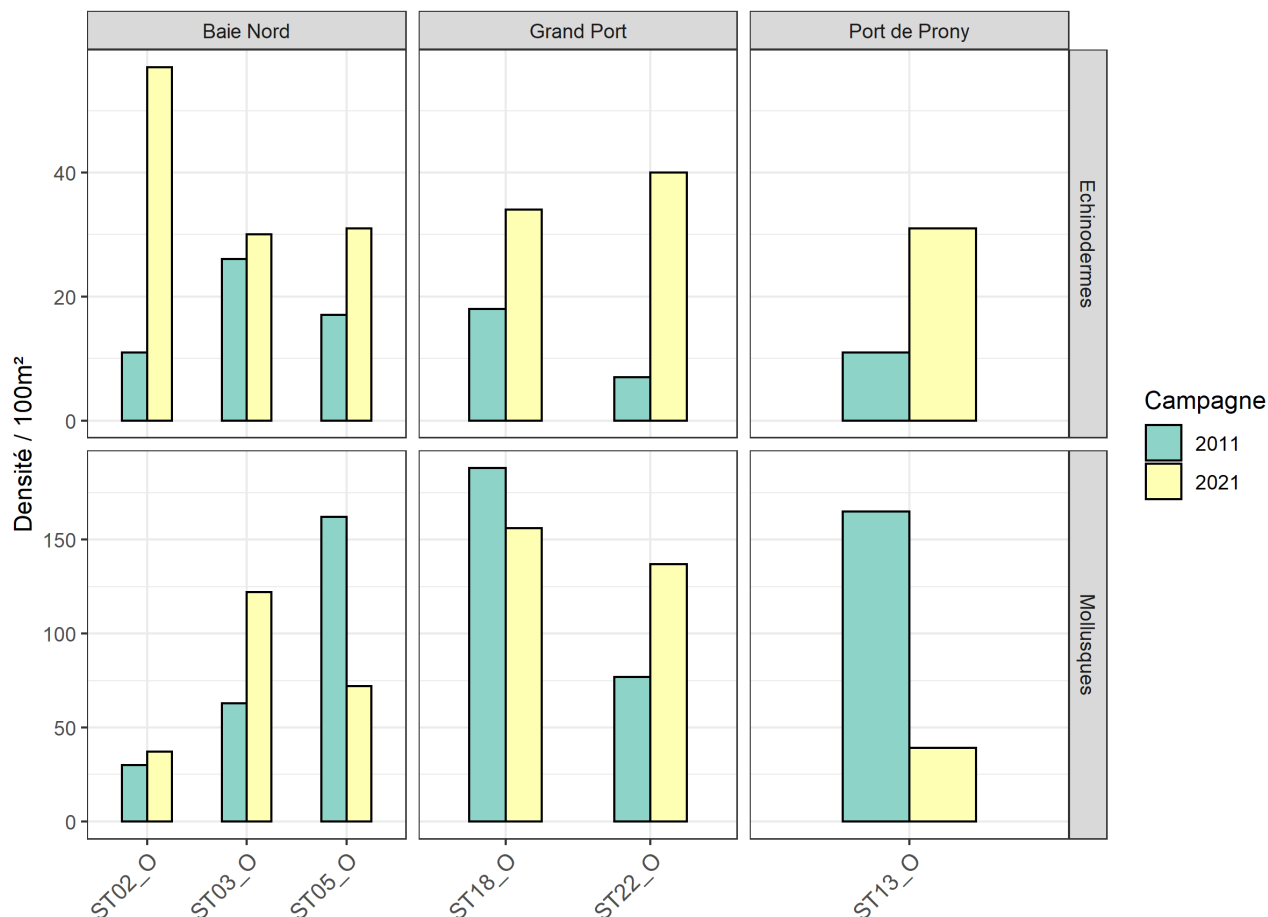


Figure 70 : Evolution de la densité d'invertébrés par groupe entre 2011 et 2021 sur les stations de chaque zone avec un transect unique par station dans le secteur de Prony

Enfin, concernant la densité de genres remarquables (Figure 72), aucune invasion d'organisme corallivore (*Acanthaster*, *Drupella*, *Coralliophila*) n'a été observée à chaque campagne sur chaque station et la densité de bénitiers a augmenté sur chaque station de baie Nord et Grand port.

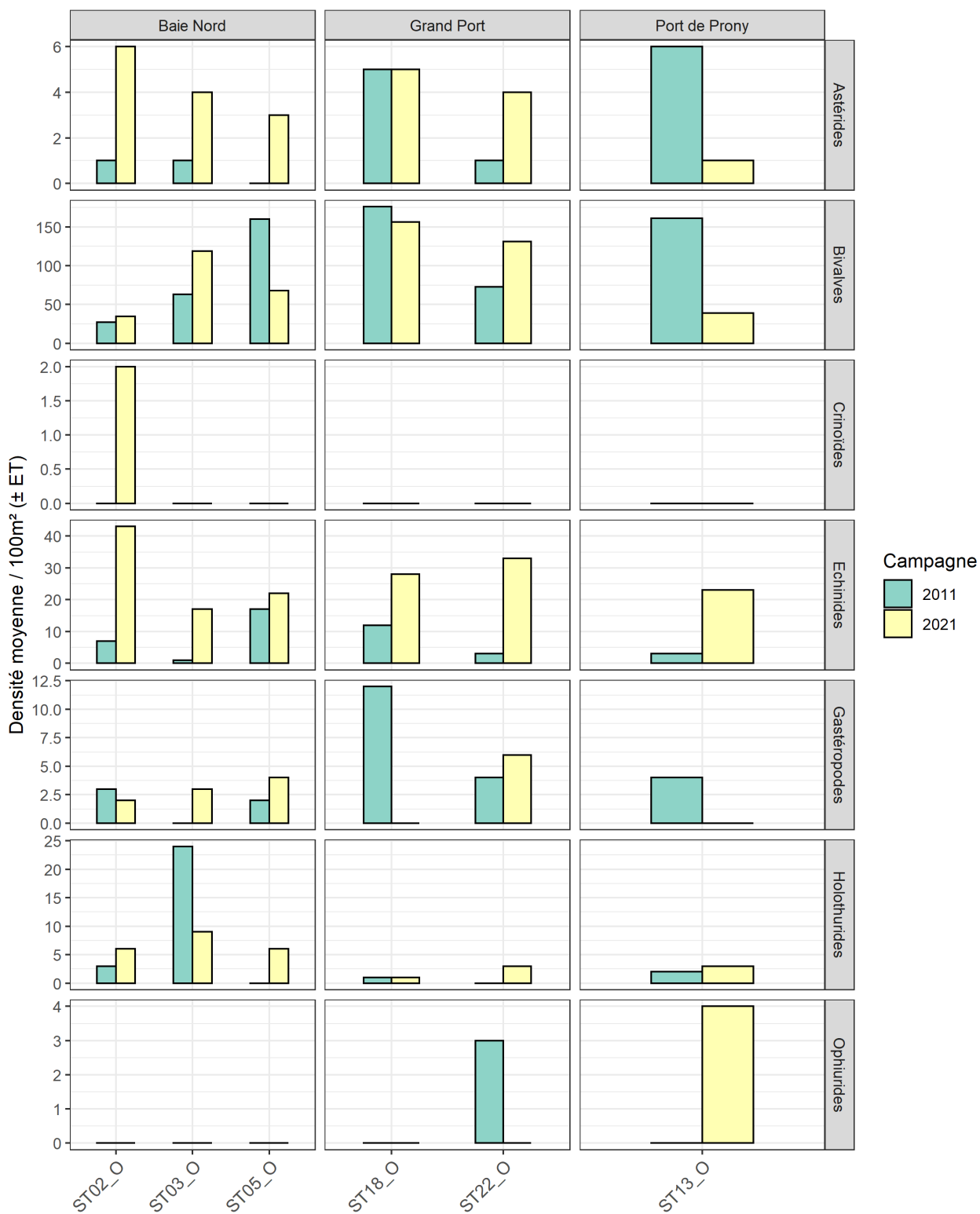


Figure 71 : Evolution de la densité d'invertébrés par sous-groupe entre 2011 et 2021 sur les stations de chaque zone avec un transect unique par station dans le secteur de Prony

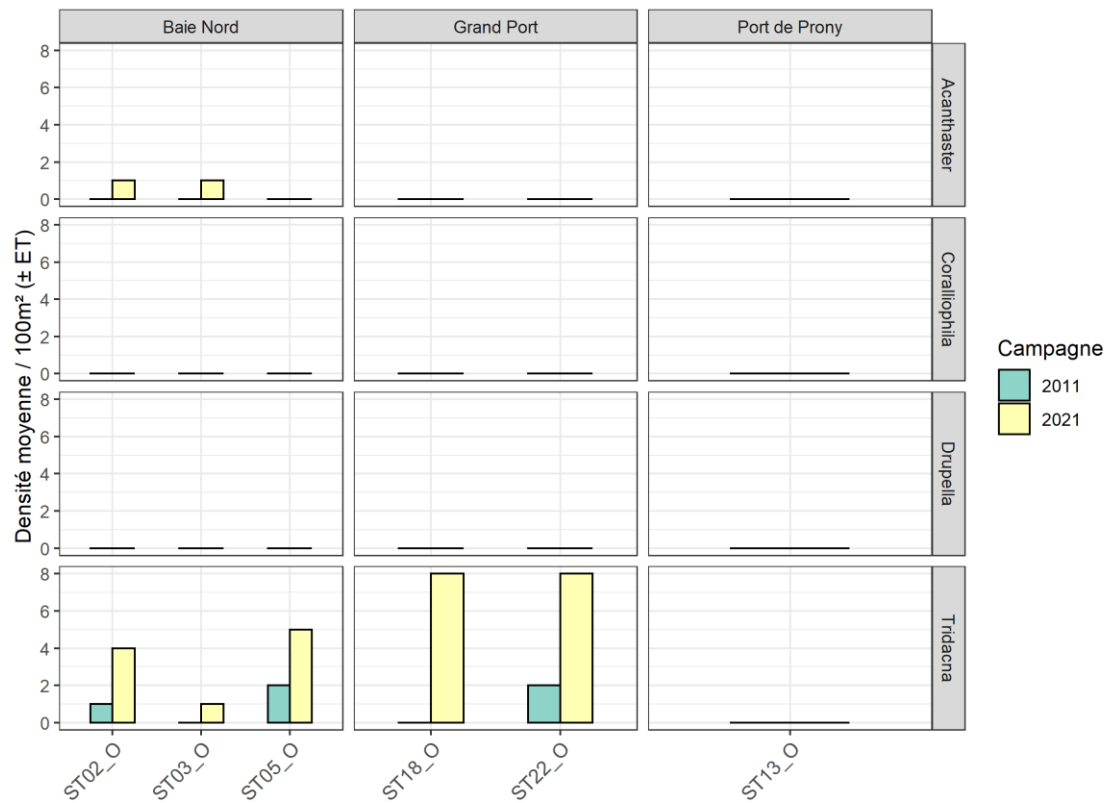


Figure 72 : Evolution de la densité de genres remarquables d'invertébrés entre 2011 et 2021 sur les stations de chaque zone avec un transect unique par station dans le secteur de Prony

CONCLUSION

La campagne de 2021 a permis de caractériser les communautés récifales des zones de BKPB et de Prony sur 20 stations selon une stratégie d'échantillonnage identique basée par l'utilisation de 3 transects par station placés sur le haut de tombant. Cette stratégie permet la réalisation d'une modélisation de type Contrôle/Impact robuste entre 2019 et 2021 dans le secteur de BKPB et d'envisager ce type d'analyse dans le secteur de Prony à partir de la prochaine campagne.

Dans le secteur de BKPB, la modélisation de type Contrôle/Impact réalisée sur les différents compartiments entre 2019 et 2021 montre l'absence de signal d'impact lié aux activités de PRNC. Toutefois, une dégradation des habitats coralliens est observée sur les stations de fond de baie Kwé liée probablement à de fortes pluies ayant généré de forts apports d'eau douce chargées en sédiments en fond de baie, potentiellement alimentés par l'activité minière présent sur les bassins versants en amont. Une augmentation de la prévalence des lésions coralliennes liée à la sédimentation et à la compétition avec les algues, généralisée aux deux baies étudiées (Port Boisé et Kwé) suggère en parallèle à ce constat, une dégradation générale de la qualité de l'eau dans ce secteur.

Dans le secteur de Prony, la campagne de 2021 a permis de mettre en place une stratégie d'échantillonnage robuste qui permettra à l'avenir de réaliser une modélisation de type Contrôle/Impact entre le Port de Prony, Baie Nord et la zone de grand Port identifiée comme contrôle. L'état des lieux réalisé ici montre une forte similarité entre chaque zone pour chaque compartiment, avec de nombreuses stations dégradées par des invasions d'Acanthasters passées.

Les analyses de ce présent rapport montrent l'importance de réaliser une campagne d'échantillonnage annuelle au regard des événements climatiques et autres perturbations pouvant avoir lieu annuellement. Cette fréquence permet de faciliter l'identification des causes étant à l'origine d'évolutions importantes en les corrélant aux différents événements de l'année écoulée (épisode de blanchissement thermique, invasion d'Acanthasters, cyclones, accident industriel). Enfin, cette deuxième campagne réalisée sur un design de type CI dans la zone BKPB montre la nécessité de croiser les résultats obtenus avec d'autres suivis environnementaux répartis des bassins versants jusqu'au milieu marin pour tenter de mieux interpréter la contribution de l'activité minière dans les perturbations observées sur les récifs coralliens.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aquaterra (2012-2020) Données récoltées dans le cadre du programme de suivi du milieu marin de PRNC
- Beeden R, Willis BL, Raymundo LJ, Page CA, Weil E (2008) Underwater cards for assessing coral health on Indo-Pacific Reefs. Coral Reef Targeted Research and Capacity Building for Management Program. Currie Communications, Melbourne
- Bessey C., Babcock R. C., Thomson D. P. & Haywood M. D. E. (2018). Outbreak densities of the coral predator *Drupella* in relation to in situ *Acropora* growth rates on Ningaloo Reef, Western Australia. *Coral Reefs* 37, 985–993.
- Bouvet G. & Guillemot N. 2015. Révision du plan de suivi du milieu marin dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale Nouvelle-Calédonie. OEIL. 160 pages. Document confidentiel.
- Buckland ST (1993) Distance sampling - Estimating abundance of biological populations. London: Chapman and Hall Editions.
- Chabanet P, Ralambondrainy H, Amanieu M, Faure G, Galzin R (1997) Relationships between coral reef substrata and fish. *Coral Reefs* 16:93-102.
- Chabanet P, Guillemot N, Kulbicki M, Sarramégna S, Vigliola L (2010) Baseline study of the spatio-temporal patterns of reef fish communities prior to a major mining project in New Caledonia (South Pacific). *Marine Pollution Bulletin* 61 : 598-611.
- Connell SD, Kingsford MJ (1998) Spatial, temporal and habitat-related variation in the abundance of large predatory fish at One Tree Reef, Australia. *Coral Reefs* 17: 49-57.
- De'ath G, Fabricius K. Water quality as a regional driver of coral biodiversity and macroalgae on the Great Barrier Reef. *Ecol Appl.* 2010 Apr;20(3):840-50. doi: 10.1890/08-2023.1. PMID: 20437968.
- Dumas, P., Fiat, S., Durbano, A. *et al.* Citizen Science, a promising tool for detecting and monitoring outbreaks of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster* spp.. *Sci Rep* **10**, 291 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57251-8>
- Dumas P, Oremus M, Cailleton C & Gilbert A (2021) Proliférations d'acanthasters : Enjeux de gestion dans le contexte calédonien. Synthèse de connaissances. WWF, IRD, 2021. 16 p.
- EMR (2011) Communautés récifales dans le perimetre d'influence de VALE NC : Etat de référence en 2011. Partie 1. 662pp
- EMR (2013) Communautés récifales dans les baie Kué et Port Boisé : Evolution de l'état de santé des communautés en 2013. 354pp.
- English S, Wilkinson C and Baker V (1997) Survey Manual for Tropical Marine Resources. 2nd Edn., Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia, ISBN-13: 9780642259530, Pages: 390
- Froese R, Pauly D (1997) FishBase 97: concepts, design and data sources. ICLARM (éd.), Manila.
- Graham NAJ, Wilson SK, Jennings S, Polunin NVC, Bijoux JP, Robinson J (2006) Dynamic fragility of oceanic coral reef ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103(22): 8425-8429.
- Guillemot N (2005) Analyse des peuplements de poissons récifaux dans la zone de Koné (Nouvelle-Calédonie) et optimisation du plan d'échantillonnage pour le suivi d'un impact anthropique sur les ressources halieutiques. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, 71p.
- Guillemot N (2009) Les peuplements de poissons récifaux et leur exploitation dans la zone de Voh-Koné-Pouembout (Nouvelle-Calédonie) : caractérisation, indicateurs et enjeux de suivi. Mémoire de doctorat, 350p.

- Guillemot N, Chabanet P, Le Pape O (2010) Cyclone effects on coral reef habitats in New Caledonia (South Pacific). *Coral Reefs* 29(2): 445-453.
- Guillemot N, Kulbicki M, Chabanet P, Vigliola L (2011) Functional redundancy patterns reveal non-random assembly rules in a species-rich marine assemblage. *PLoS ONE* 6(10): e26735.
- Heintz T, Guillemot N, Job S, Gilbert A (2020) Inventaire des communautés récifales de la baie Kwé et de la baie de port Boisé – Etat des lieux 2019 et évolution temporelle. Rapport technique + Annexes : 140pp
- Hill J & Wilkinson C. (2004) *Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs*. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Version 1, 1-116.
- Hooper DU, Solan M, Symstad A, Diaz S, Gessner MO, Buchmann N, Degrange V, Grime P, Hulot F, Mermillod-Blondin F, Roy J, Spehn E, van Peer L (2002) Species diversity, functional diversity and ecosystem functioning. In: *Biodiversity and ecosystem functioning. Synthesis and perspectives*. Oxford University Press.
- Hourrigan T, Tricas T, Reese E (1988) Coral reef fishes as indicators of environmental stress in coral reefs. In: Soule D, Kleppel G (eds) *Marine organisms as indicators* 6:107-35.
- Job S (2019). Réseau d'observation des récifs coralliens (RORC) de Nouvelle-Calédonie. Campagne 2018-2019. Sites des îles Loyauté. Rapport CORTEX. Province des îles Loyauté. 76 p. + annexes 155 p.
- Job S (2020). Réseau d'observation des récifs coralliens (RORC) de Nouvelle-Calédonie. Campagne 2018-2019. Sites de Yaté, île Ouen et île des Pins. Rapport CORTEX. CCCE/OEIL. 59 p. + annexes 49 p.
- Jones GP (1991) Post-recruitment processes in the ecology of coral reef fish populations: a multifactorial perspective. In: Sale PF (éd.) *The ecology of fishes on coral reefs*. Academic Press, San Diego.
- Jones GP, McCormick MI, Srinivasan M, Eagle JV (2004) Coral decline threatens fish biodiversity in marine reserves. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 101: 8251-8253.
- Kulbicki M (2006) *Ecologie des poissons lagunaires de Nouvelle Calédonie*. Thèse Doctorat EPHE, Université de Perpignan : 189 pages + annexes 500 pages
- Kulbicki M, Sarraména S (1999) Comparison of density estimates derived from strip transect and distance sampling for underwater visual census: a case study of Chaetodontidae and Pomacanthidae. *Aquatic Living Resources* 12: 315-325.
- Kulbicki M, Guillemot N, Amand M (2005a) A general approach to length-weight relationships for New Caledonian lagoon fishes. *Cybium* 29(3): 235-252.
- Kulbicki M, Bozec Y-M, Labrosse P, Letourneur Y, Mou Tham G, Wantiez L (2005b) Diet composition of carnivorous fishes from coral reef lagoons of New Caledonia. *Aquatic Living Resources* 18(3): 231-250.
- Kulbicki M, Sarraména S, Letourneur Y, Wantiez L, Galzin R, Mou-Tham G, Chauvet C, Thollot P (2007) Short-term temporal changes in the structure of a coral reef fish assemblage in a New Caledonian protected area: relative influence of opening to fishing. *Journal of Experimental Ecology and Biology* 353: 145-163.
- Labrosse P, Letourneur Y, Kulbicki M, Magron F (1999) Fisheye: A new database on the biology and ecology of lagoon and reef fishes of the South Pacific. Example of its use on the ecology of commercial herbivorous fishes. *Proceedings of the 5th Indo-Pacific Fish Conference* 1: 657-672.
- Labrosse P, Kulbicki M, Ferraris J (2001) *Comptage visuel de poissons en plongée : conditions d'utilisation et de mise en oeuvre*. Manuel CPS/IRD.
- McGill BJ, Enquist BJ, Weiher E, Westoby M (2006) Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 178-185.

- McClanahan TR, Baird AH, Marshall PA, Toscano MA (2004). Comparing bleaching and mortality responses of hard corals between southern Kenya and the Great Barrier Reef, Australia. *Mar Poll Bull* 48: 327–335
- Moreton B, Drouzy M, Fernandez JM. 2020. Suivi du milieu marin dans les baies Kwe et de Port Boisé : acquisition de données physicochimiques dans le sédiments et la colonne d'eau. Campagne de janvier 2020 à avril 2020. Contrat AEL/OEIL 86p.
- Öhman MC, Rajasuriya A, Svensson S (1998) The Use of Butterflyfishes (Chaetodontidae) as Bio-Indicators of Habitat Structure and Human Disturbance. *Ambio* 27(8): 708-716.
- Osenberg CW, Schmitt RJ, Holbrook SJ, Abu-Saba KE, Flegal AR (1994) Detection of Environmental Impacts: Natural Variability, Effect Size, and Power Analysis. *Ecological Applications* 4(1): 16-30.
- Petchey OL, Gaston KJ (2002a) Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology Letters* 5:402-411.
- Petchey OL, Gaston KJ (2002b) Extinction and the loss of functional diversity. *Proceedings of the Royal Society of London, Biological Sciences* 269:1721–1727.
- Petchey OL, Gaston KJ (2006) Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters* 9: 741-758.
- Pitcher JT, Hart PJB, Pauly D (1998) Reinventing fisheries management. *Fish Fish. Ser.* 23.
- Roberts CM, Ormond RF (1987) Habitat complexity and coral reef diversity and abundance on Red Sea fringing reefs. *Marine Ecology Progress Series* 41: 1-8.
- Roberts CM, Dawson Shepherd AR, Ormond RF (1992) Large-scale variation in assemblage structure of Red Sea butterfly fishes and angel fishes. *Journal of Biogeography* 19: 239-50.
- Roset N, Grenouillet G, Goffaux D, Pont D, Kestemont P (2007) A review of existing fish assemblage indicators and methodologies. *Fisheries Management and Ecology* 14: 393–405.
- Sale PF, Doherty PJ, Eckert GJ, Douglas WA, Ferrell DJ (1984) Large scale spatial and temporal variation in recruitment to fish populations on coral reefs. *Oecologia* 64(2): 191-198.
- Scherrer B (1984) Biostatistique. Gaetan Morin Editions.
- Schwartz MW, Brigham CA, Hoeksema JD, Lyons KG, Mills MH, van Mantgem PJ (2000) Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation ecology. *Oecologia* 122(3):297-305.
- Squale (2014) Inventaire des communautés récifales de la baie Kwé et de la baie de Port Boisé - Etat des lieux en 2014 et évolution temporelle. 236pp.
- Steele JH (1991) Marine functional diversity. *Bioscience* 41:470-474.
- Syms C, Jones GP (2000) Disturbance, habitat structure, and the dynamics of a coral-reef fish community. *Ecology* 81: 2714-2729.
- Tittensor DP, Micheli F, Nyström M, Worm B (2007). Human impacts on the species–area relationship in reef fish assemblages. *Ecology Letters* 10 (9): 760-772.
- Underwood AJ (1992) Beyond *BACI*: The Detection of Environmental Impacts on Populations in the Real, but Variable, World. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 161(2): 145-178.
- Underwood AJ (1994) On beyond *BACI*: Sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. *Ecological Applications* 4(1): 3-15.
- Van Wynsberge S, Gilbert A, Guillemot N, Heintz T, Tremblay-Boyer L. (2017) Power analysis as a tool to identify statistically informative indicators for monitoring coral reef disturbances. *Environ Monit Assess.* doi: 10.1007/s10661-017-6021-4

Wenger AS, Williamson DH, da Silva ET, Ceccarelli DM, Browne NK, Petus C, Devlin MJ. Effects of reduced water quality on coral reefs in and out of no-take marine reserves. *Conserv Biol.* 2016 Feb;30(1):142-53. doi: 10.1111/cobi.12576. Epub 2015 Sep 23. PMID: 26132810.

Wilson SK, Burgess SC, Cheal AJ, Emslie M, Fisher R (2008) Habitat utilization by coral reef fish: implications for specialists vs. generalists in a changing environment. *Journal of Animal Ecology* 77: 220–228.

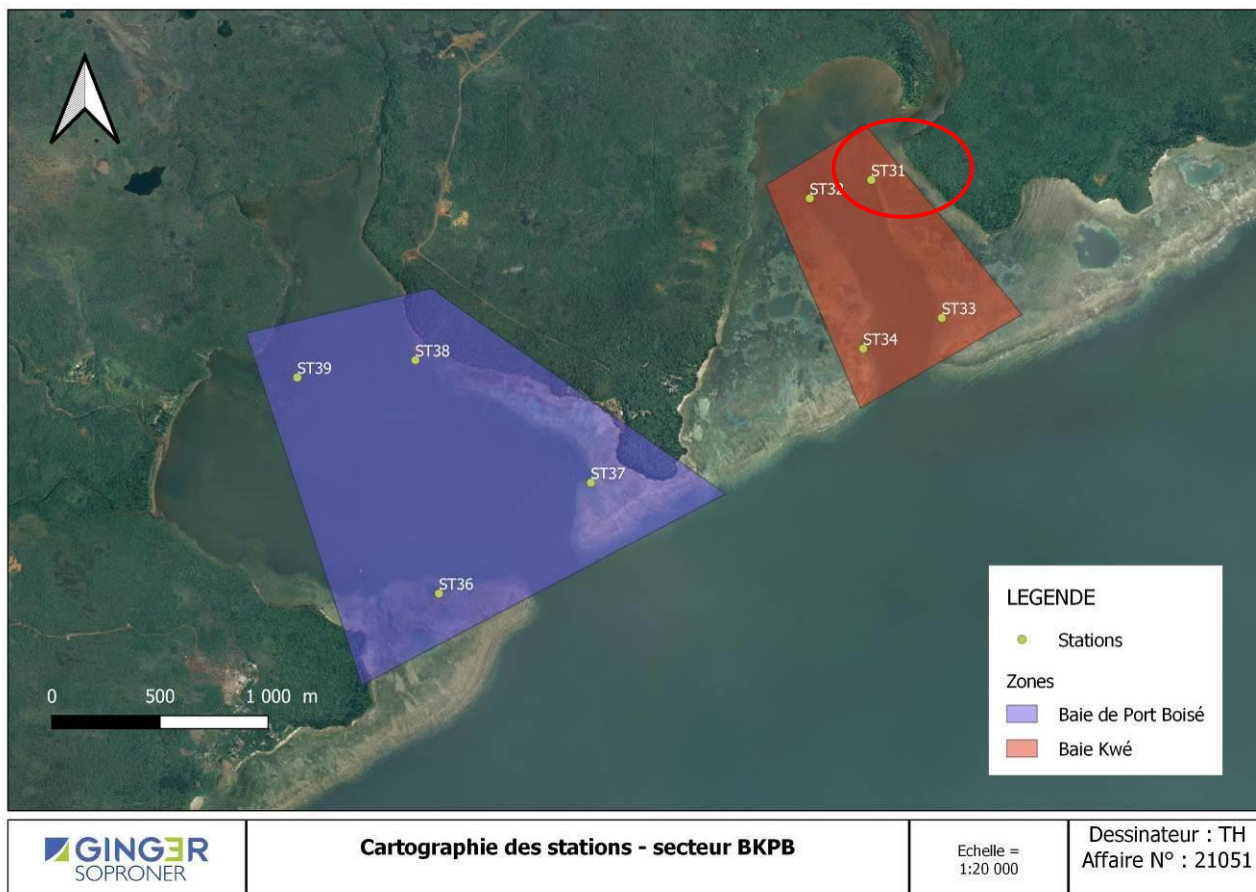
Zar JH (1999). *Biostatistical Analysis*, 4th Edition. Prentice Hall International, London.

ANNEXES

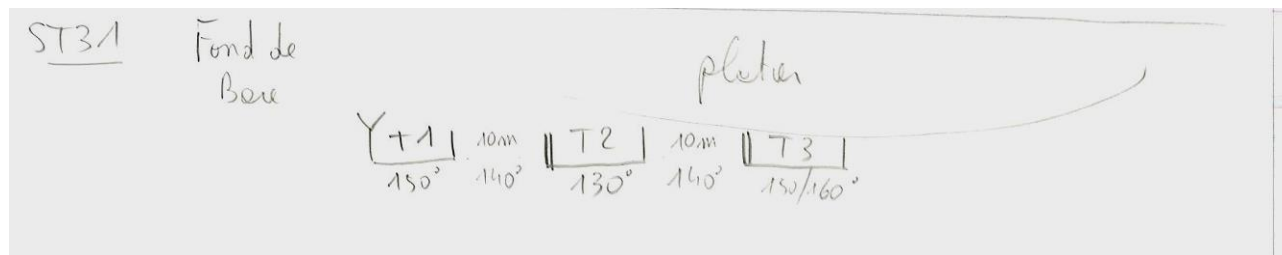
ANNEXE I : DESCRIPTION ET PLAN DES STATIONS

SECTEUR BKPB

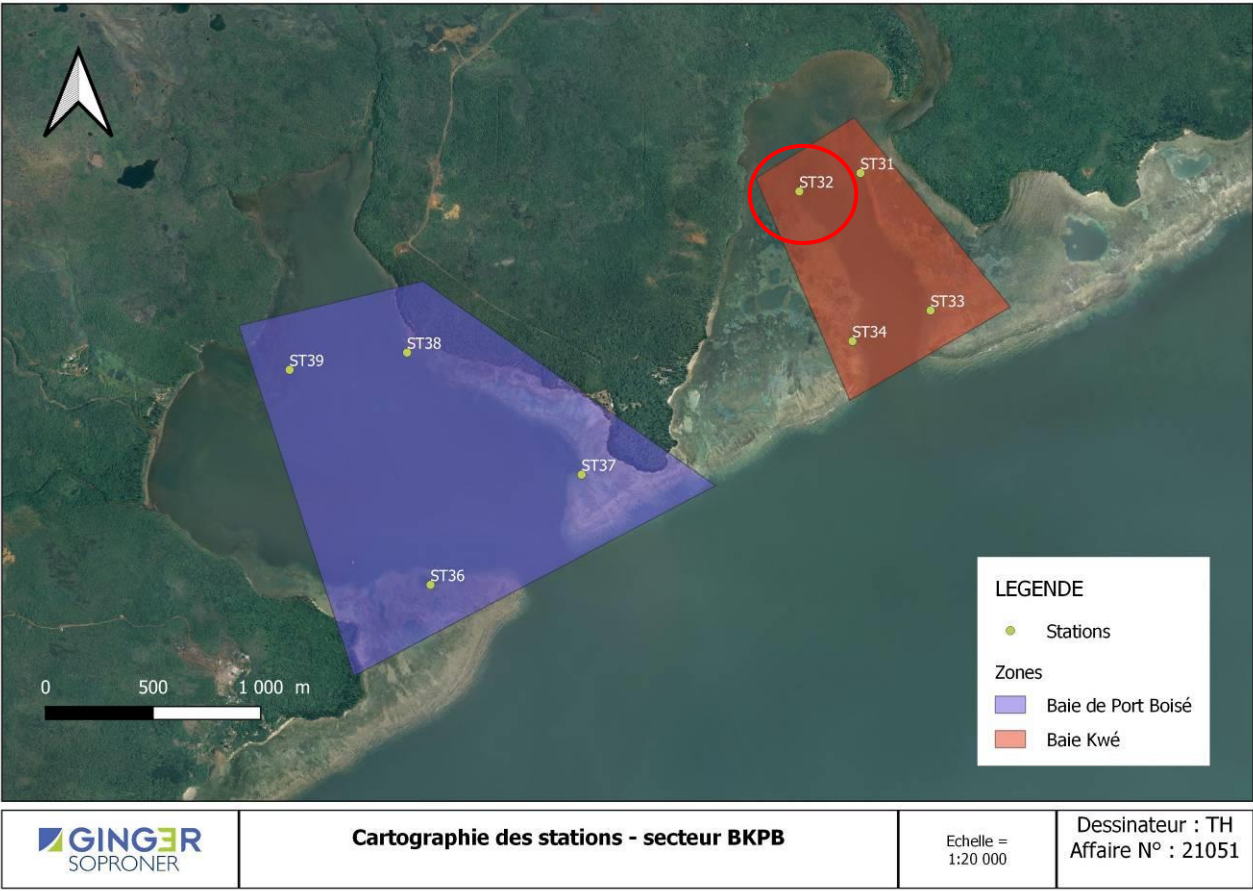
ST31



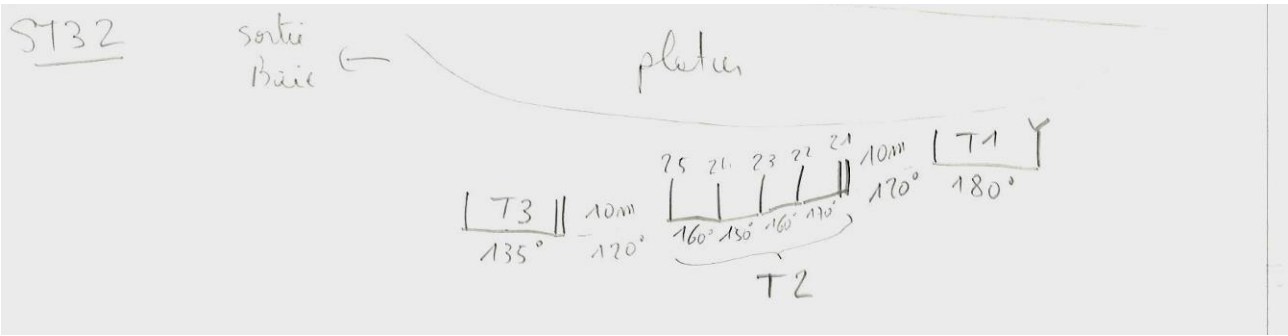
Profondeur au départ de la station : 2m



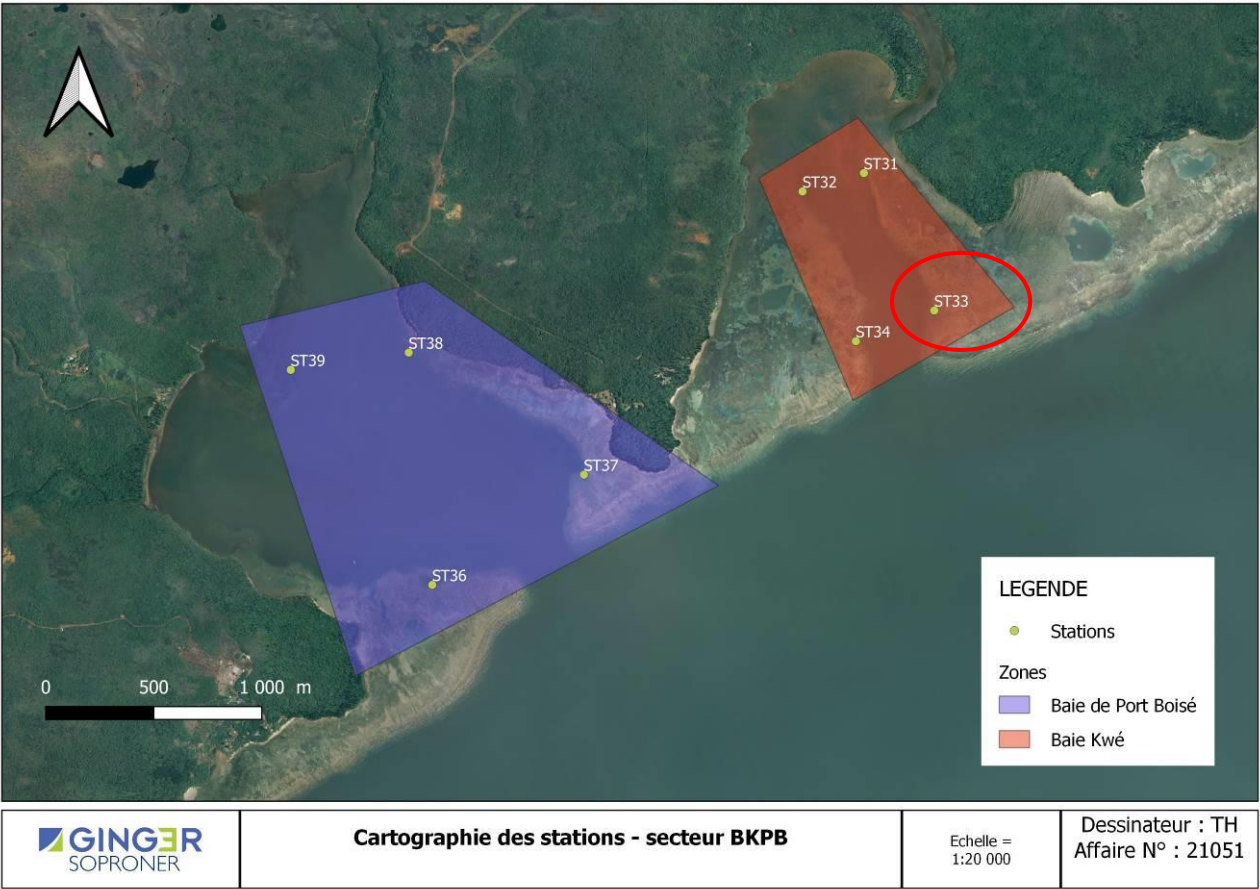
ST32



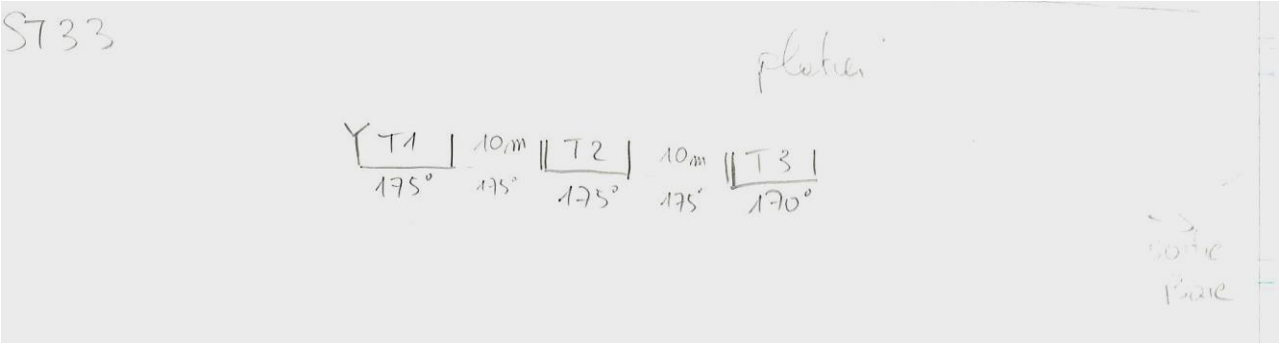
Profondeur au départ de la station : 2m



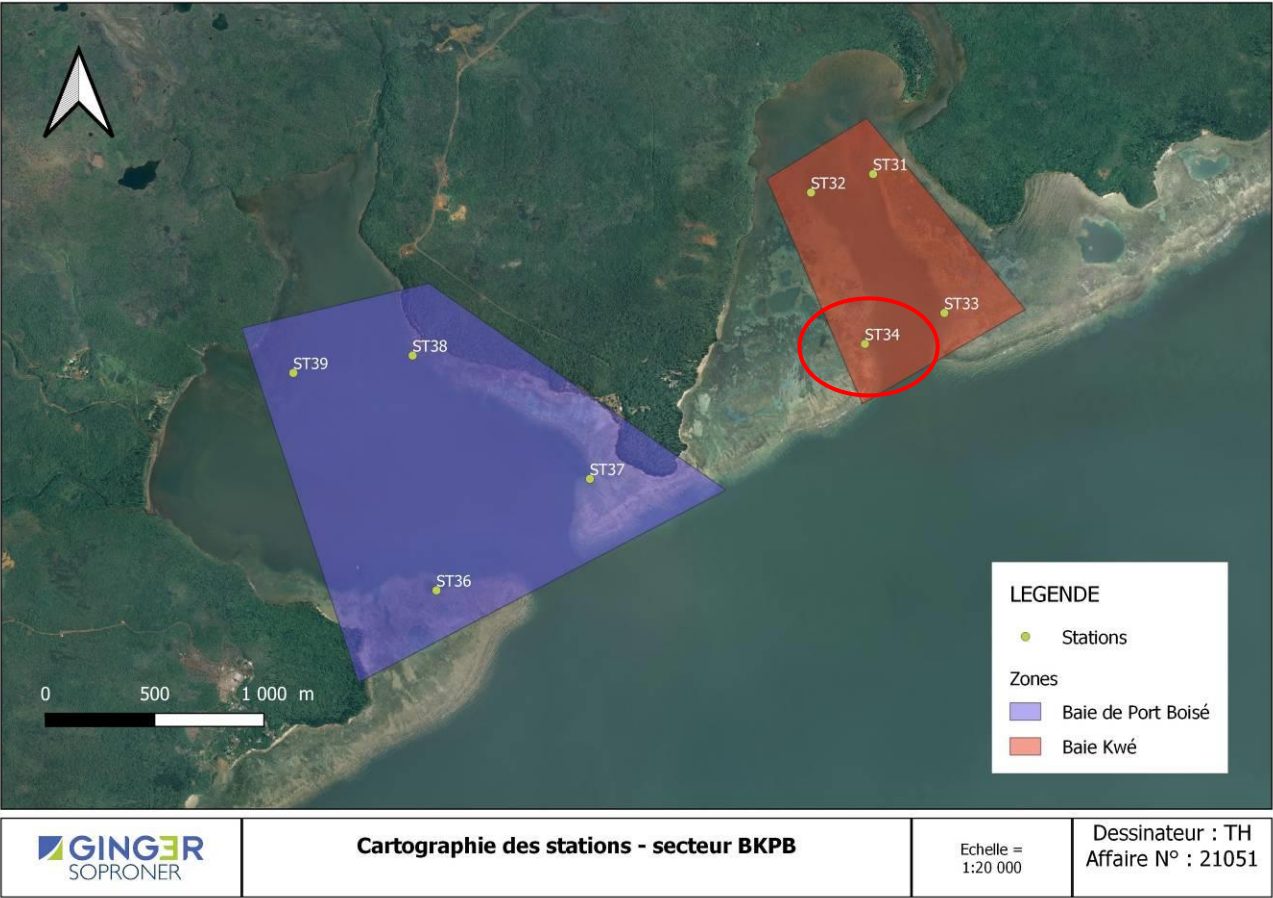
ST33



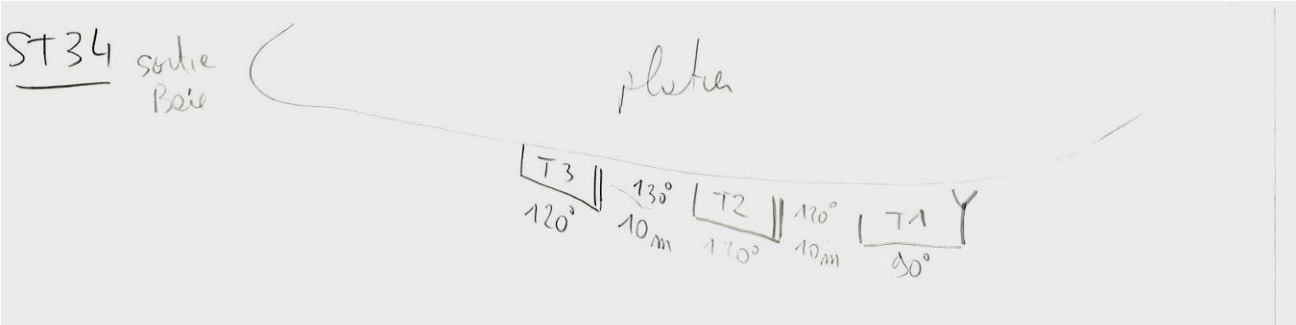
Profondeur au départ de la station : 2m



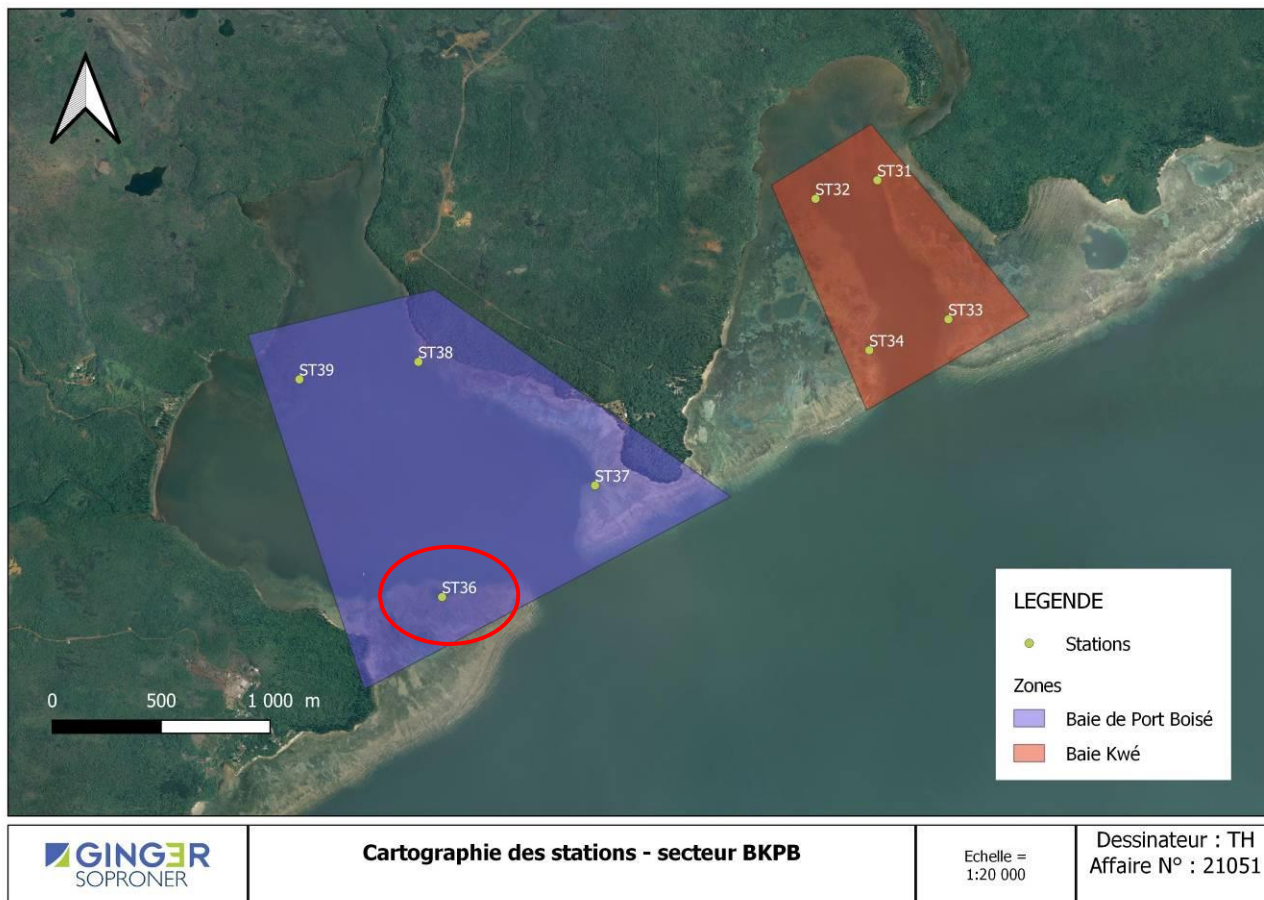
ST34



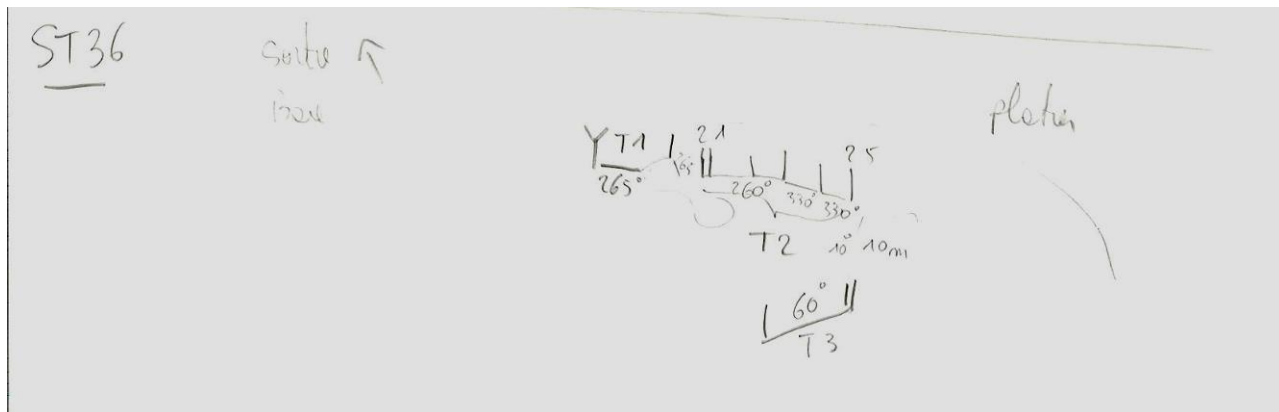
Profondeur au départ de la station : 2m



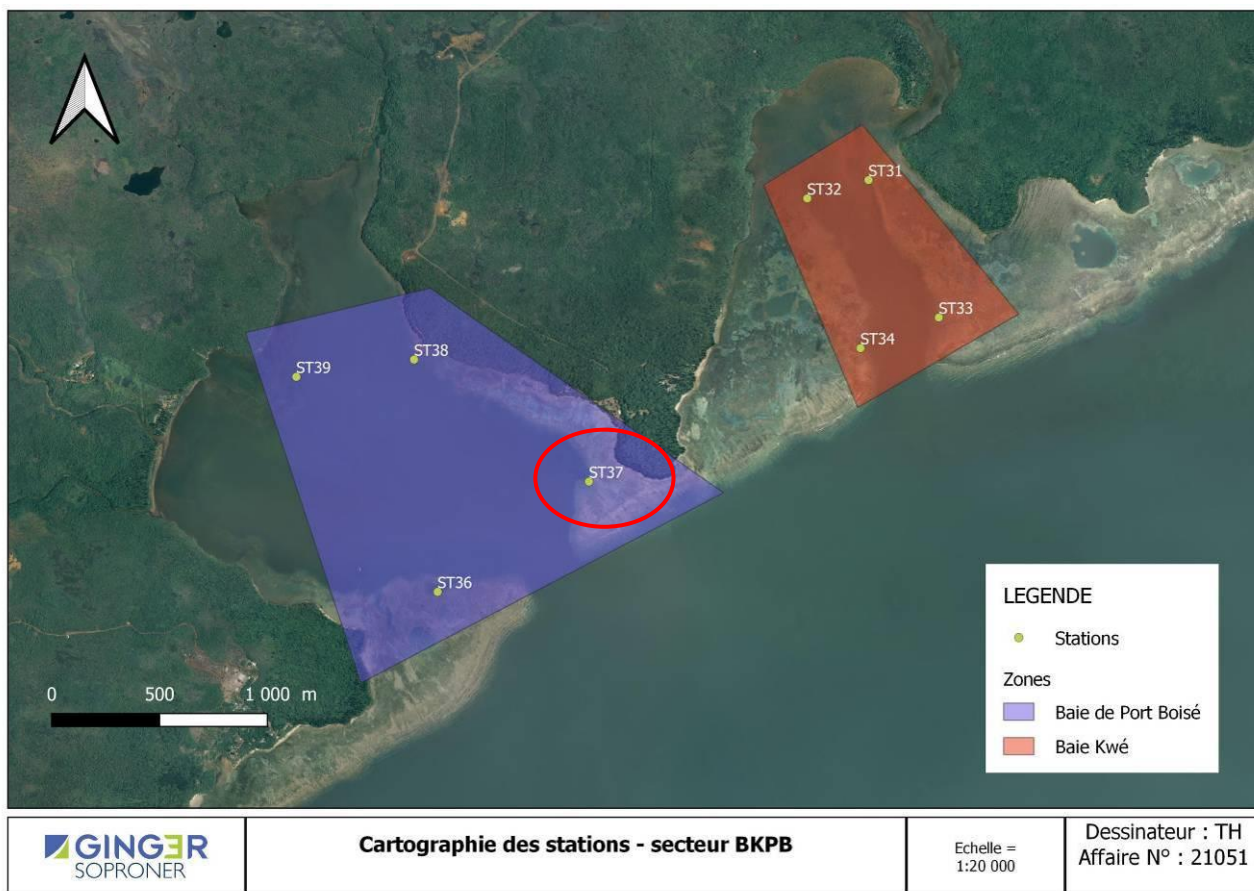
ST36



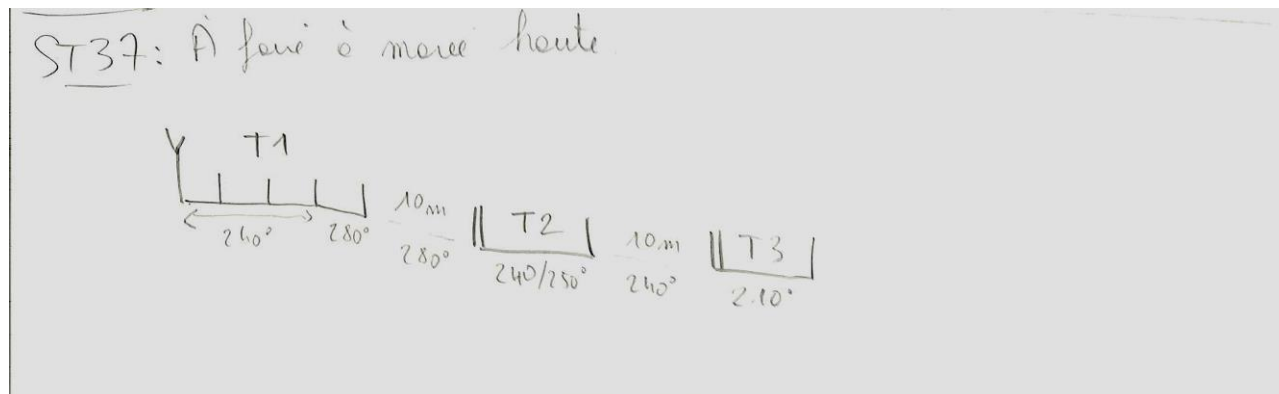
Profondeur au départ de la station : 2m



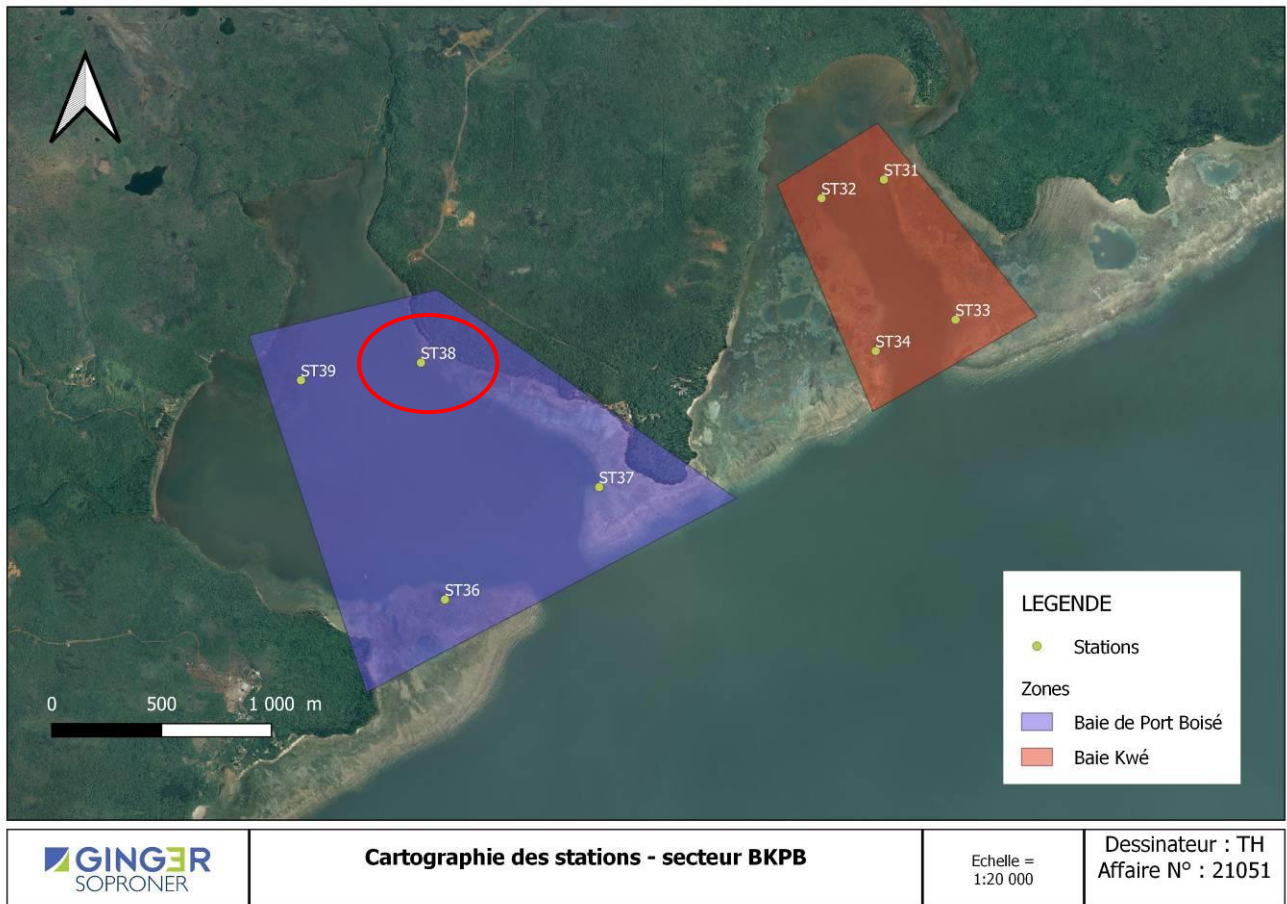
ST37



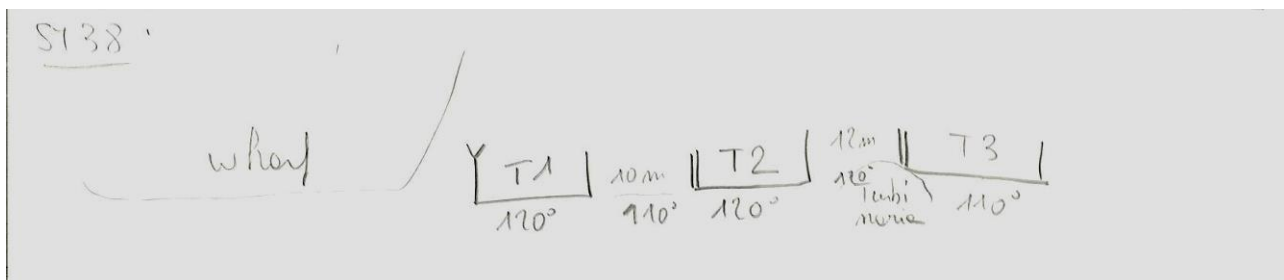
Profondeur au départ de la station : 2m



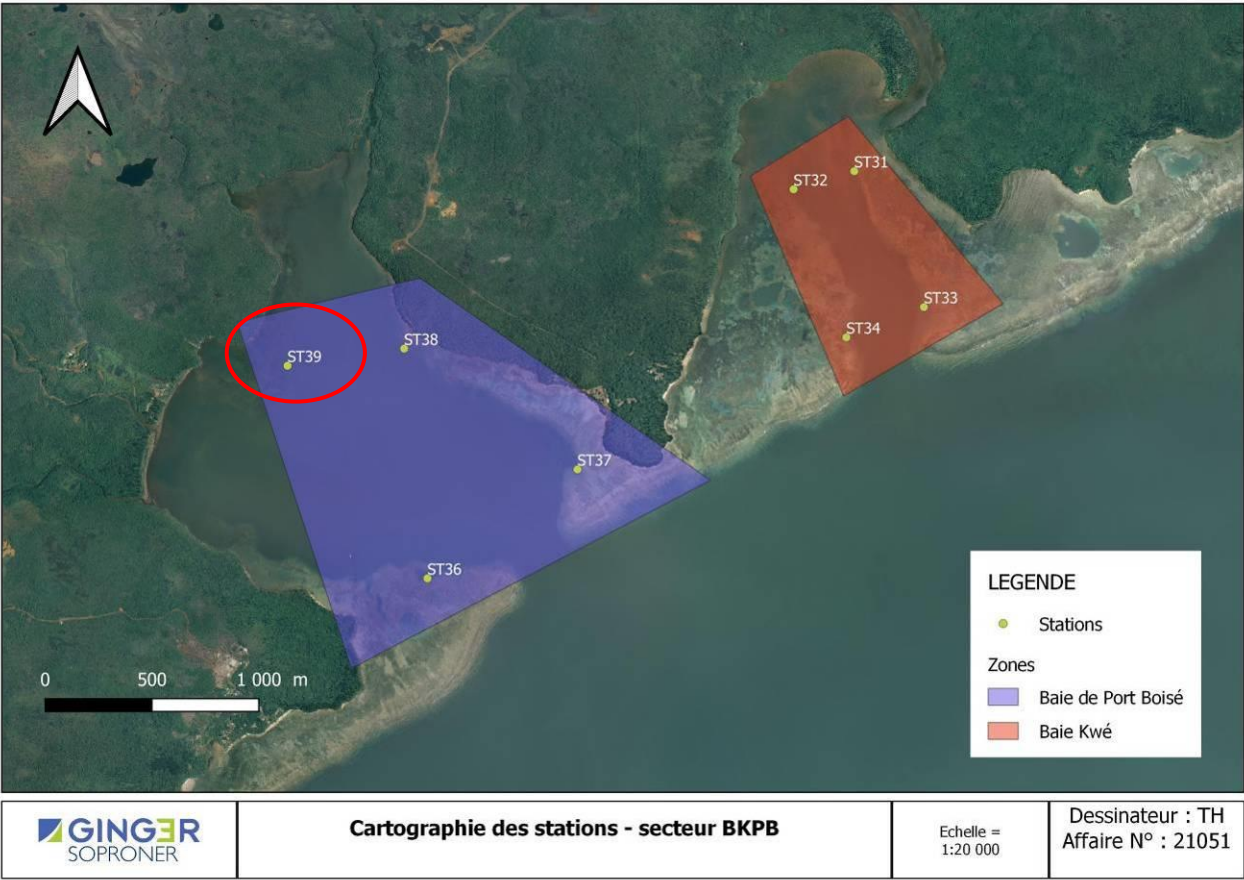
ST38



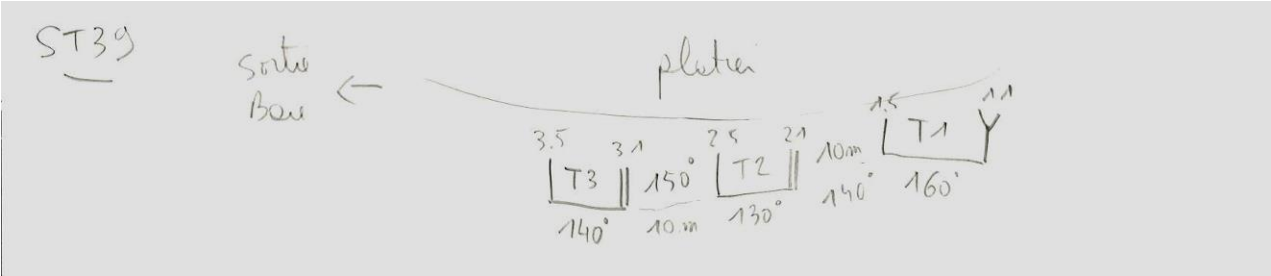
Profondeur au départ de la station : 3,5m



ST39

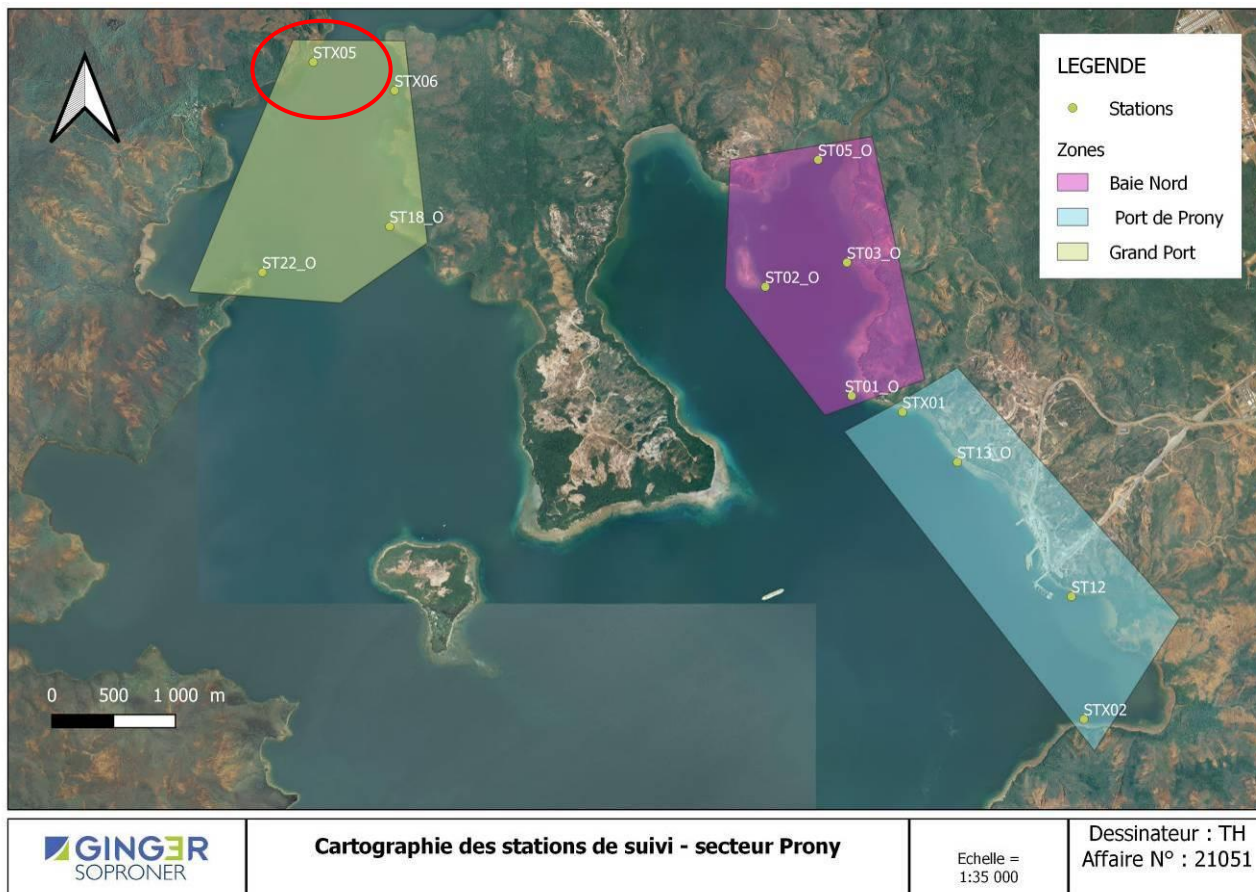


Profondeur au départ de la station : 3m



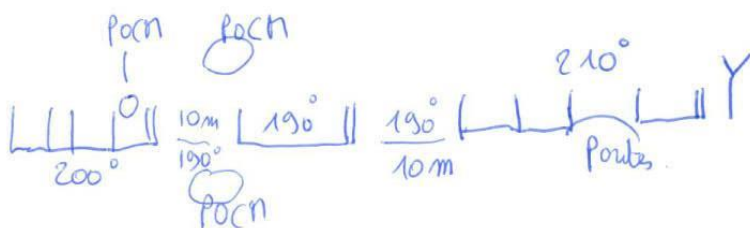
SECTEUR PRONY

STX05



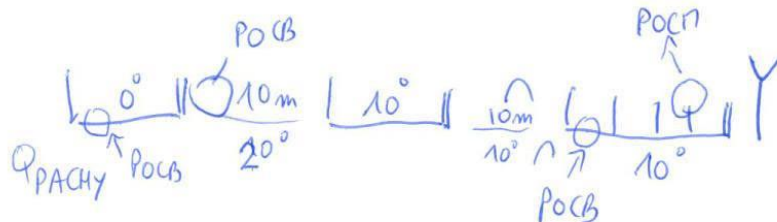
Profondeur de la station : 3,5m

STX05 3/4 m Prof
Plage

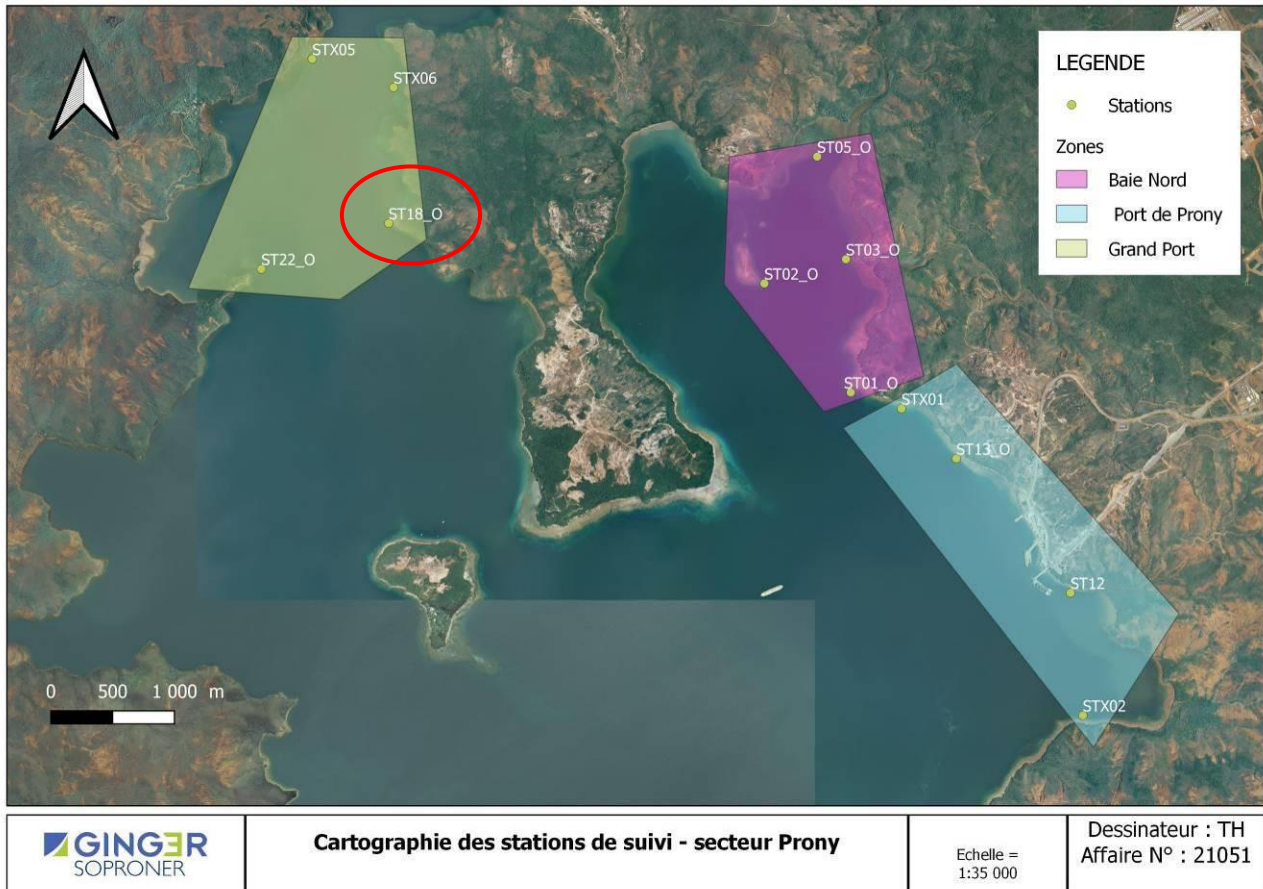


STX06

Li Horal Prof 3,5m

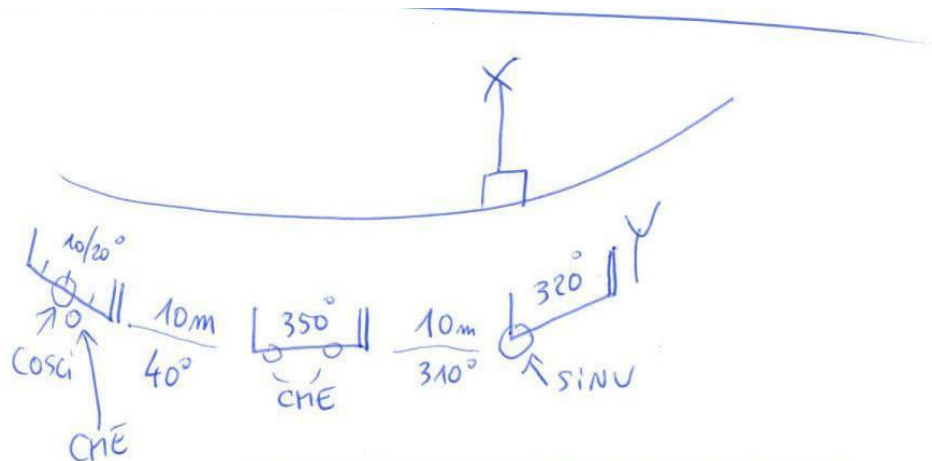


ST18_O

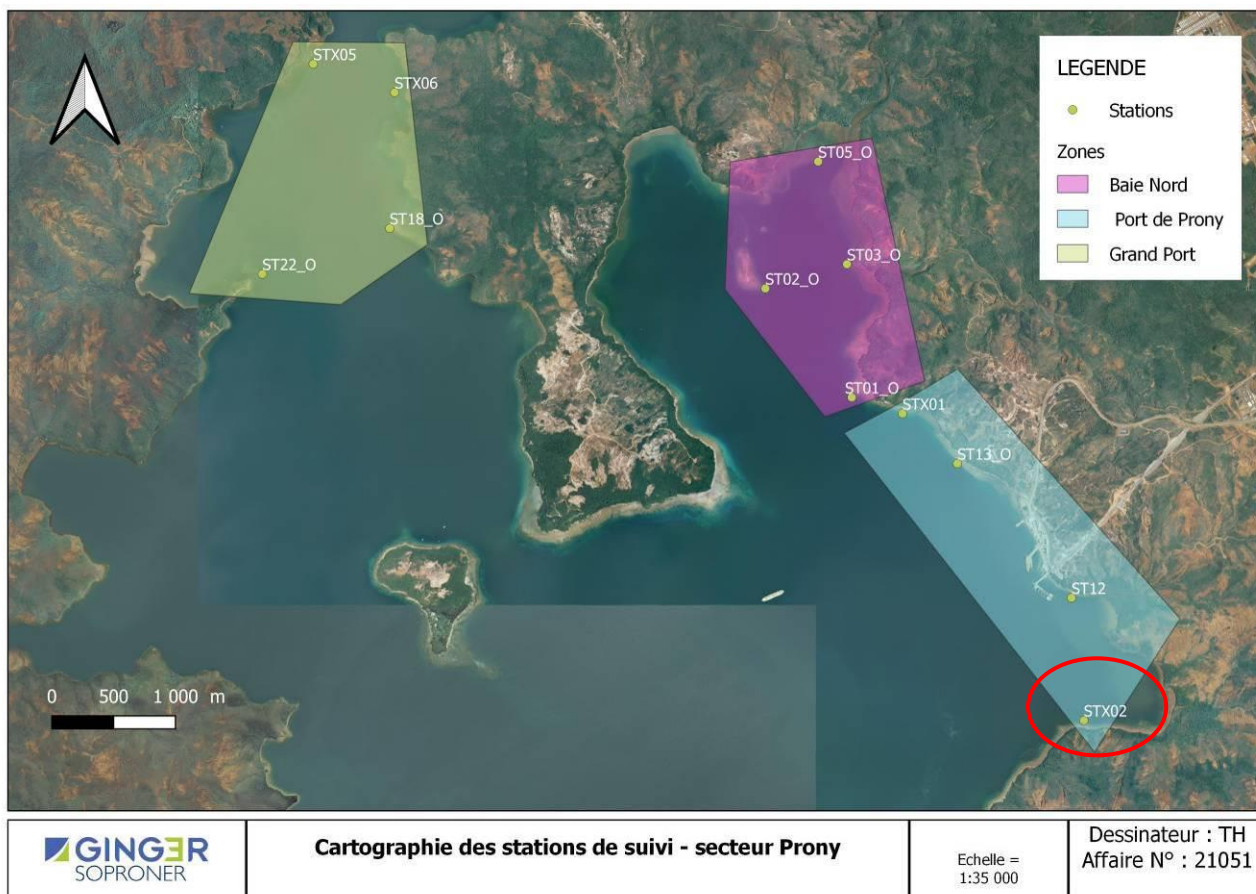


Profondeur de la station : 3/4m

ST18_O

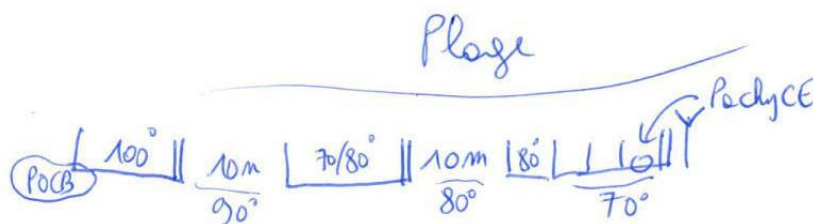


STX02

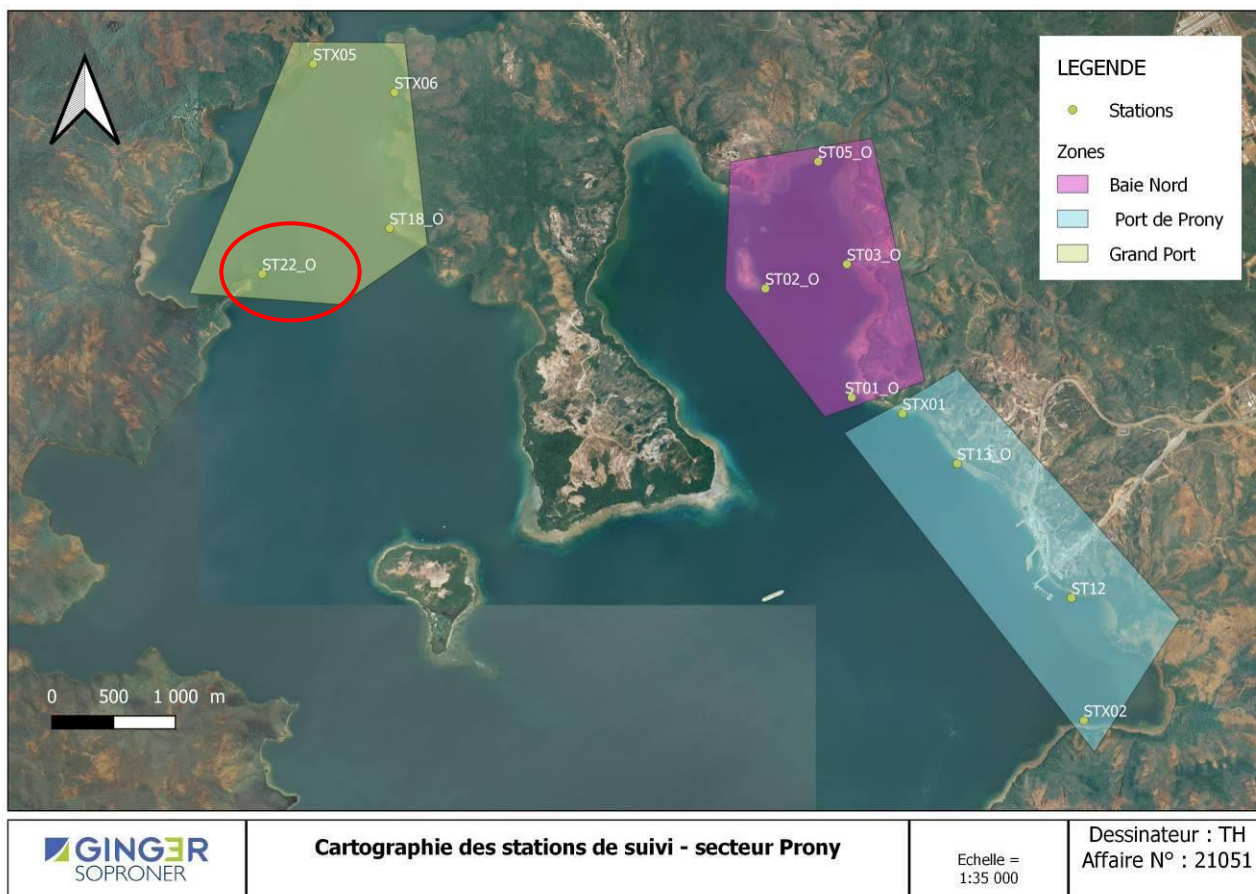


Profondeur de la station : 3m

STX02

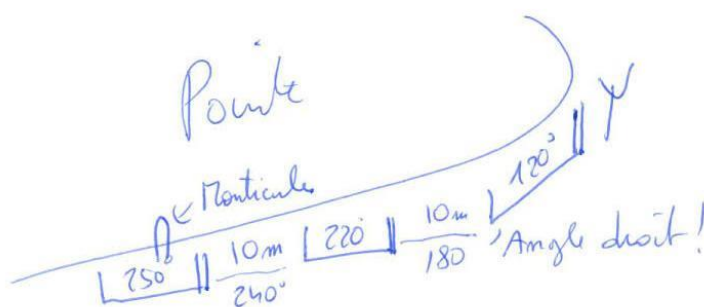


ST22_O

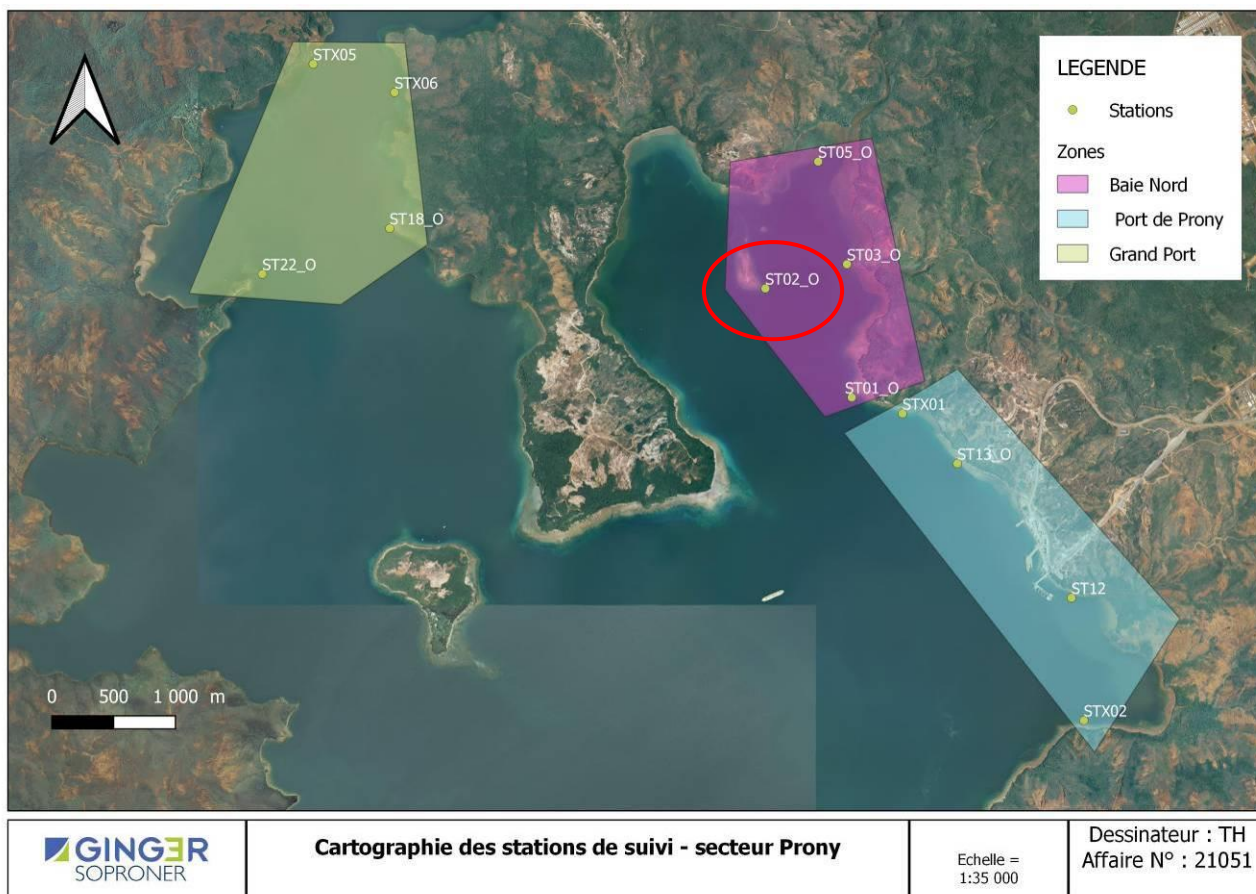


Profondeur de la station : 3m

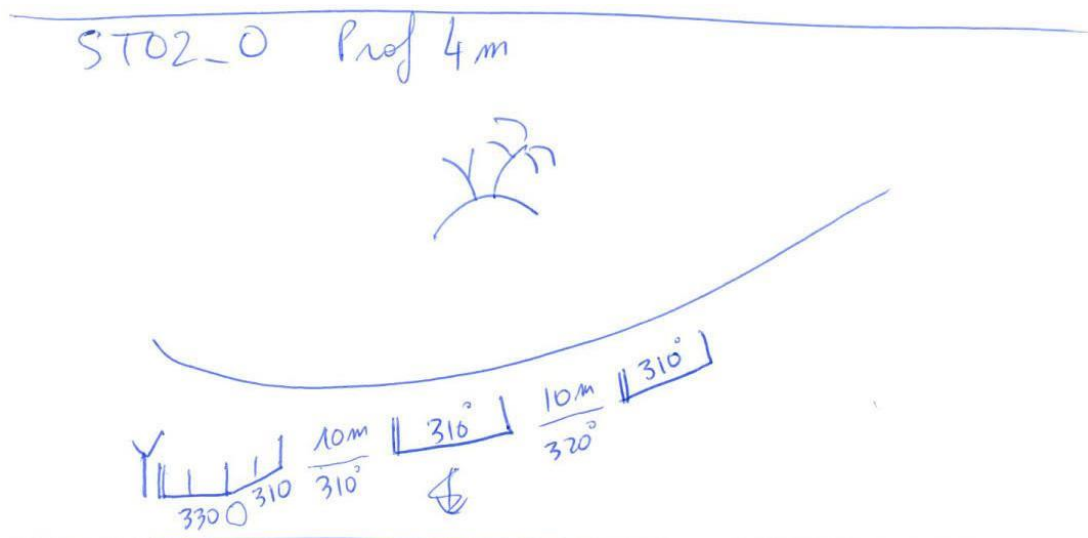
ST22_O Prof 4m



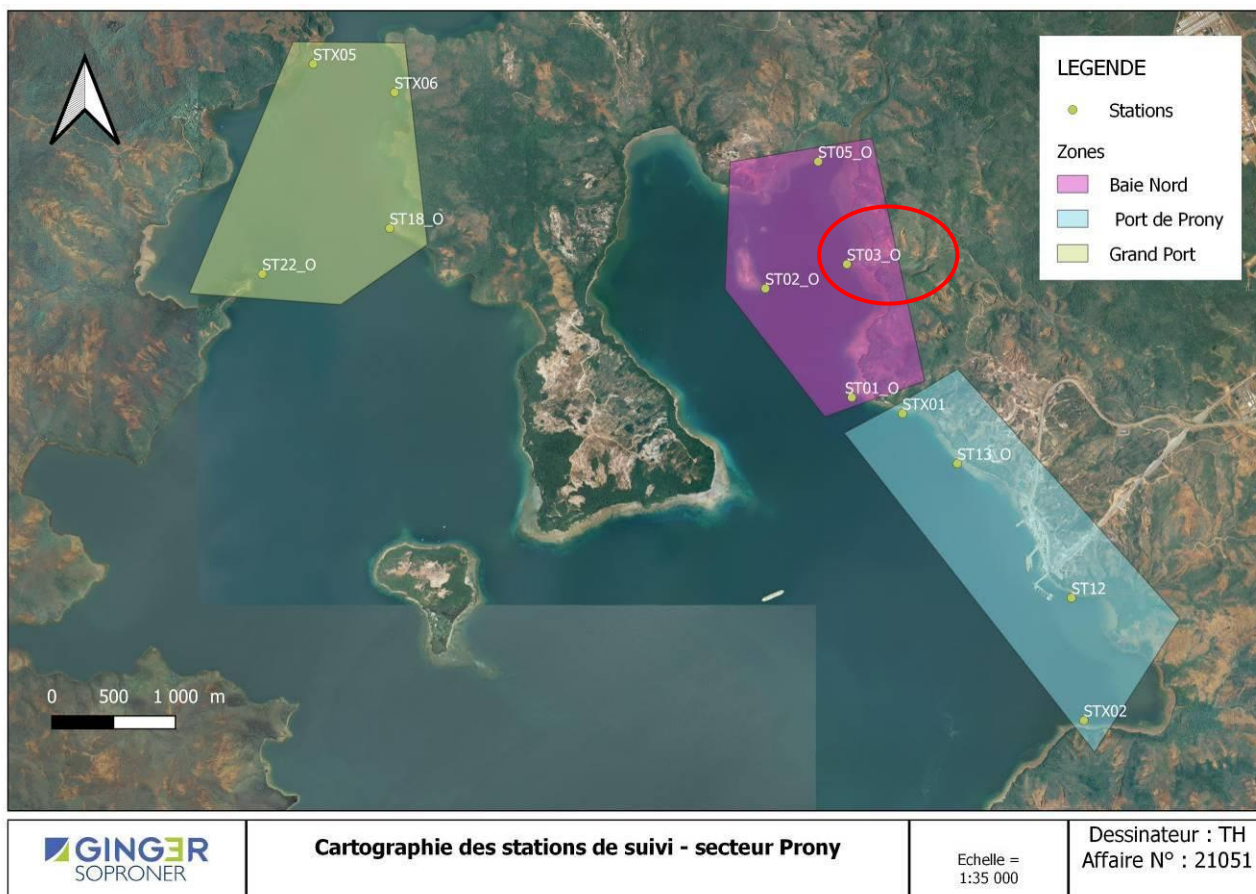
ST02_O



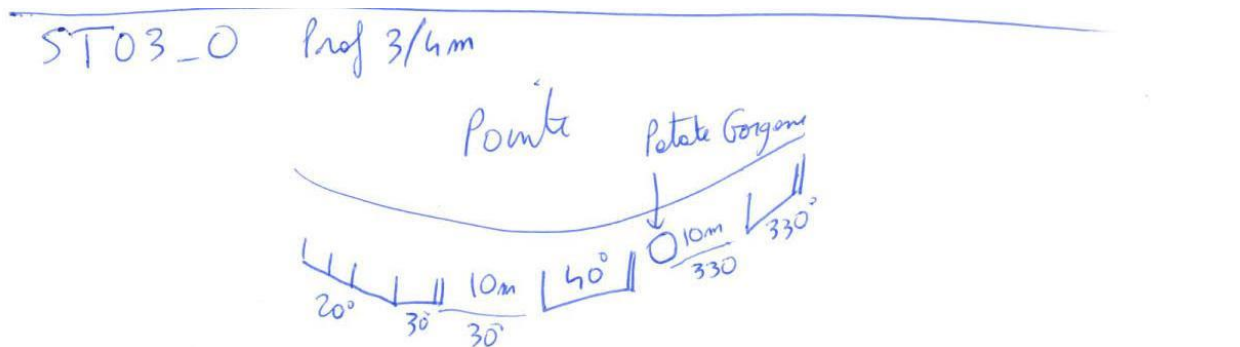
Profondeur de la station : 4m



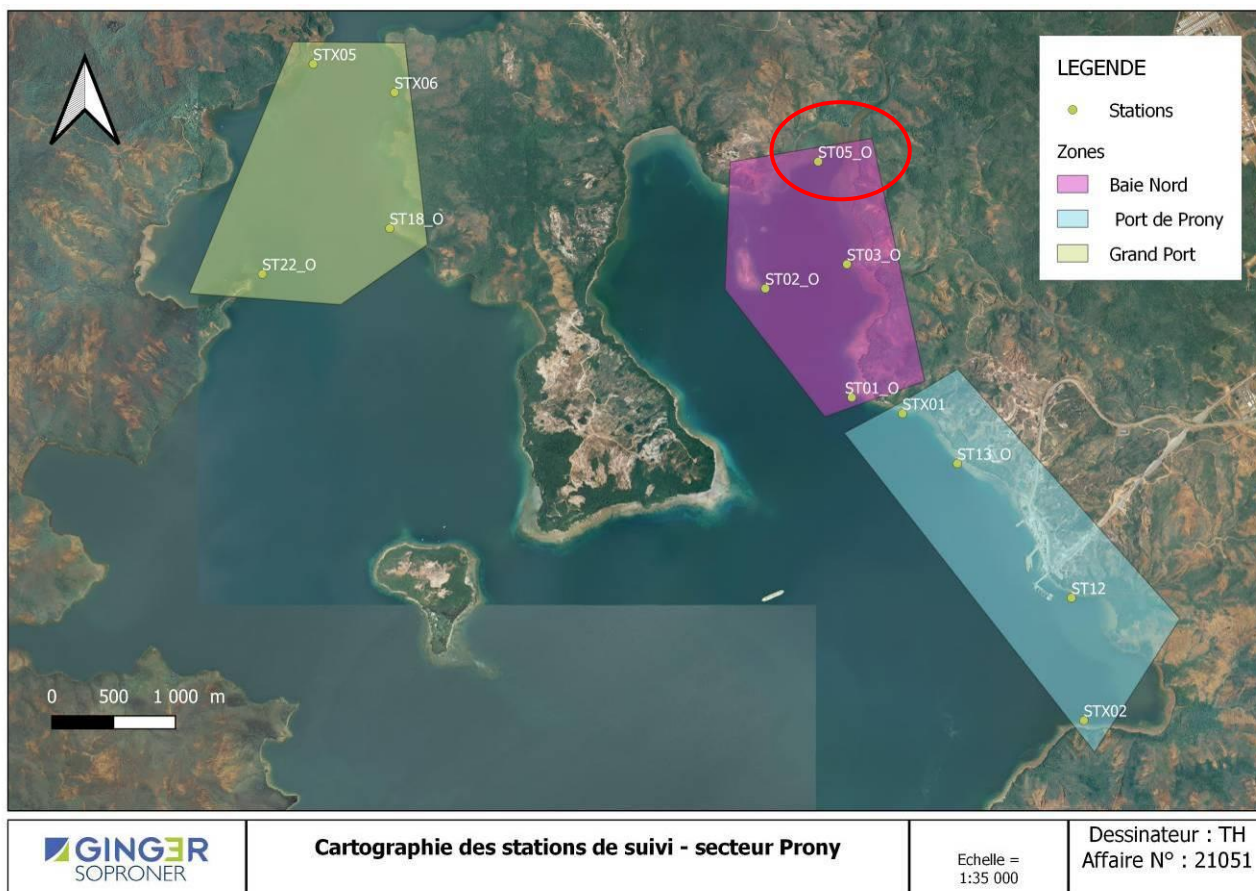
ST03_O



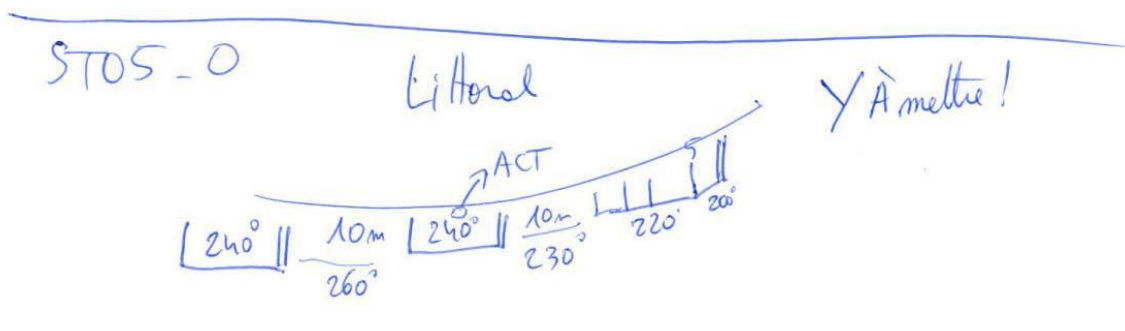
Profondeur de la station : 3/4m



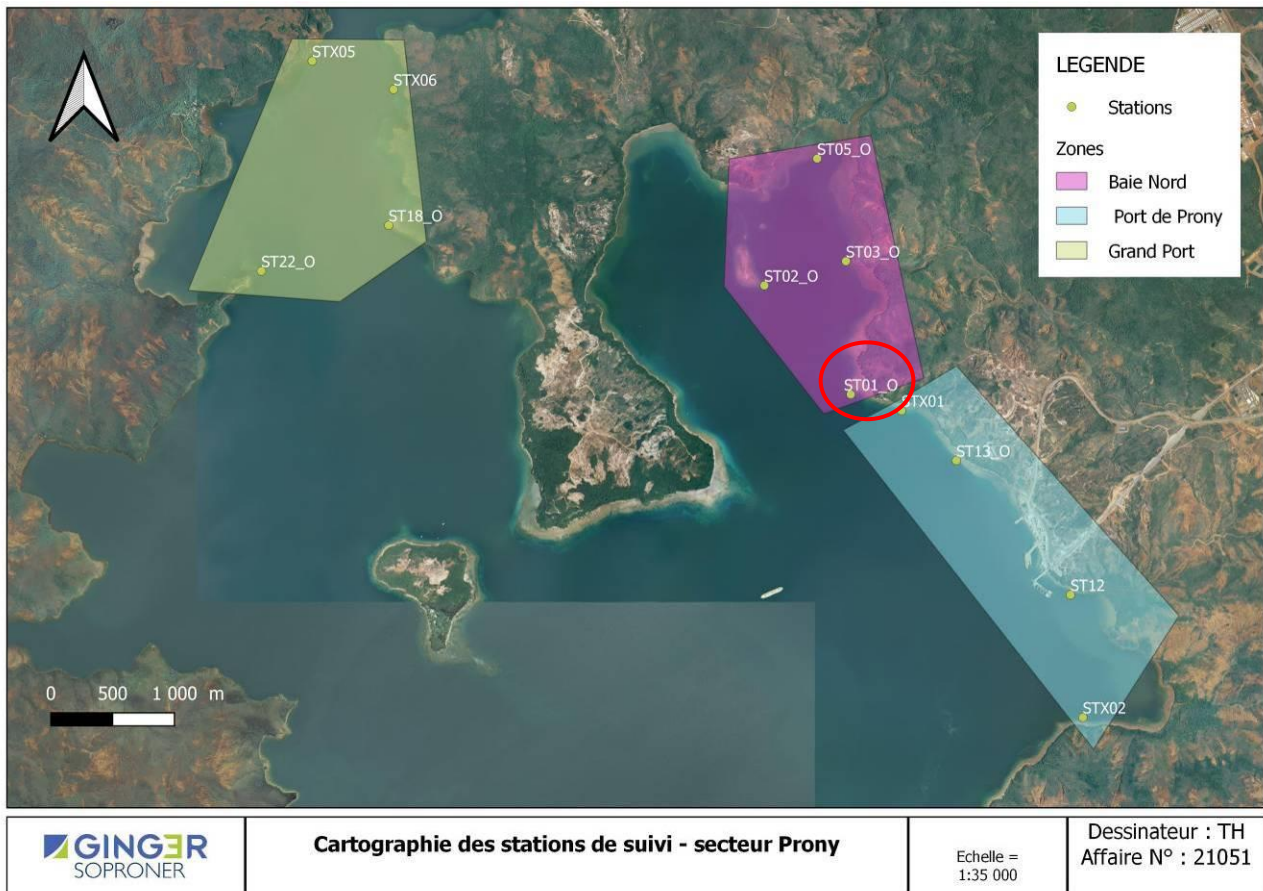
ST05_O



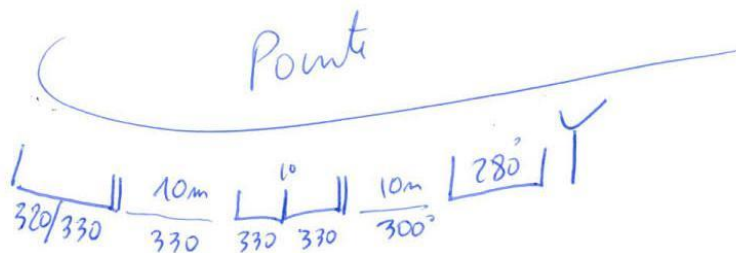
Profondeur de la station : 3/4m



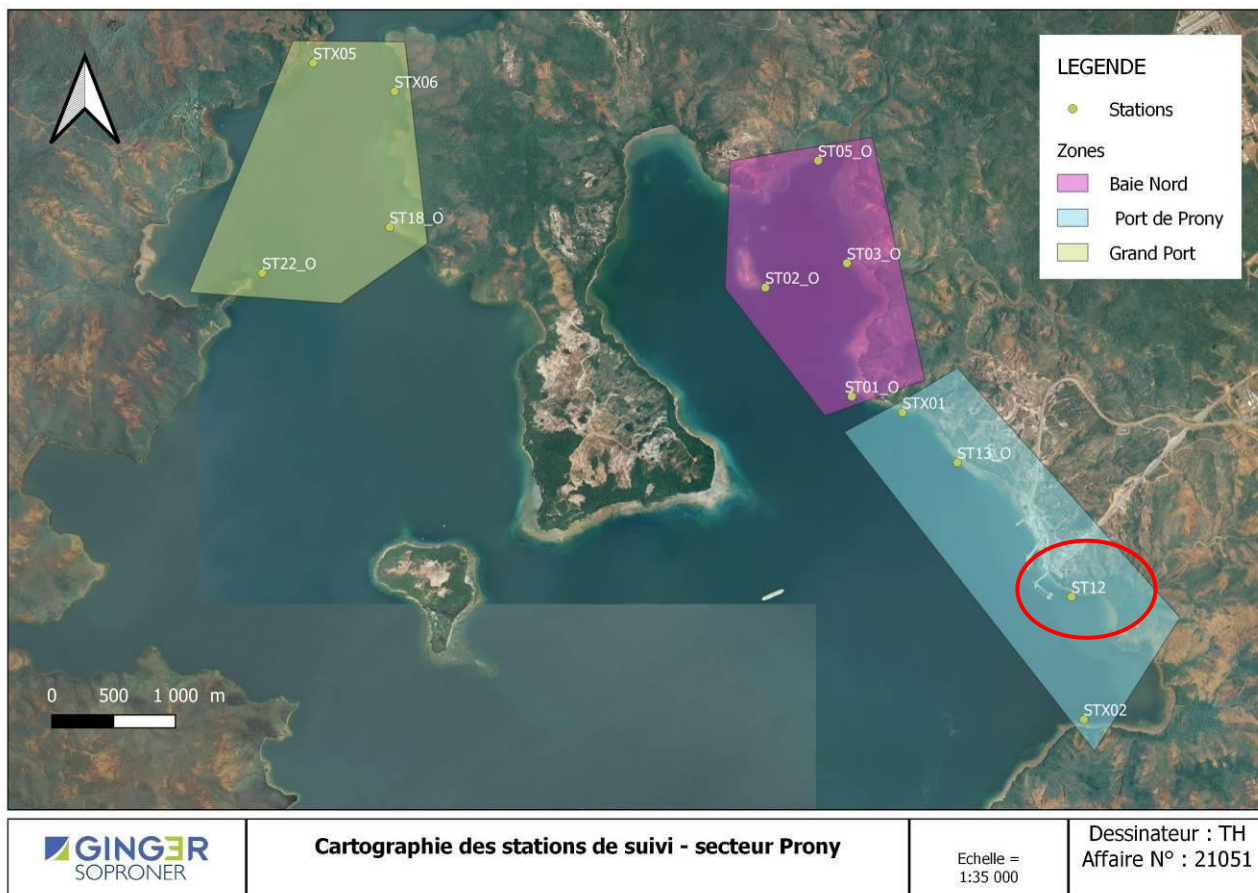
ST01_O



Profondeur de la station : 4/5m



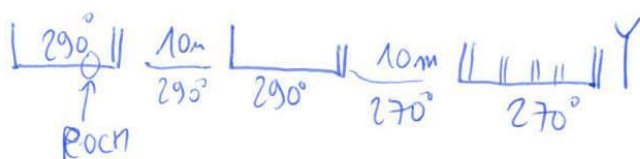
ST12



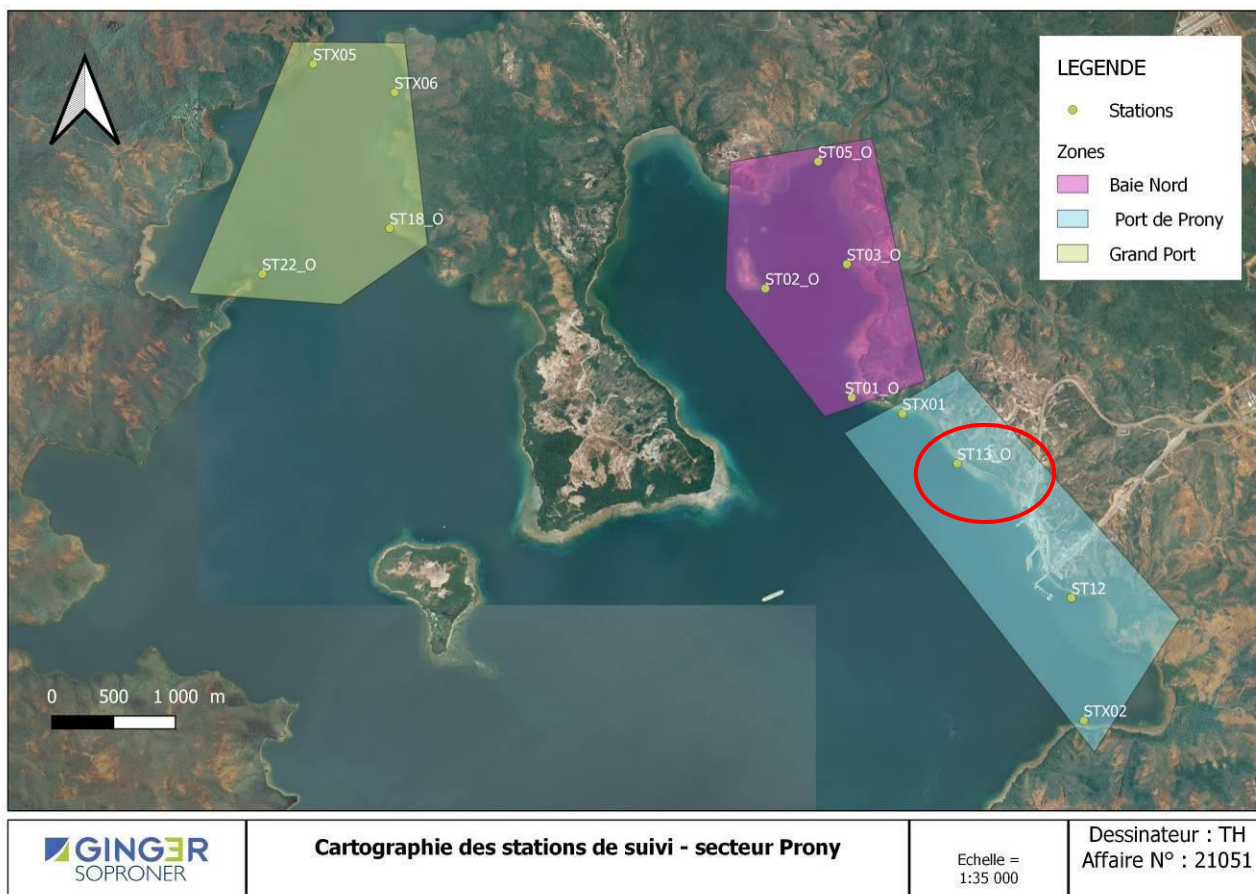
Profondeur de la station : 5m

ST12 (5m)

Littoral



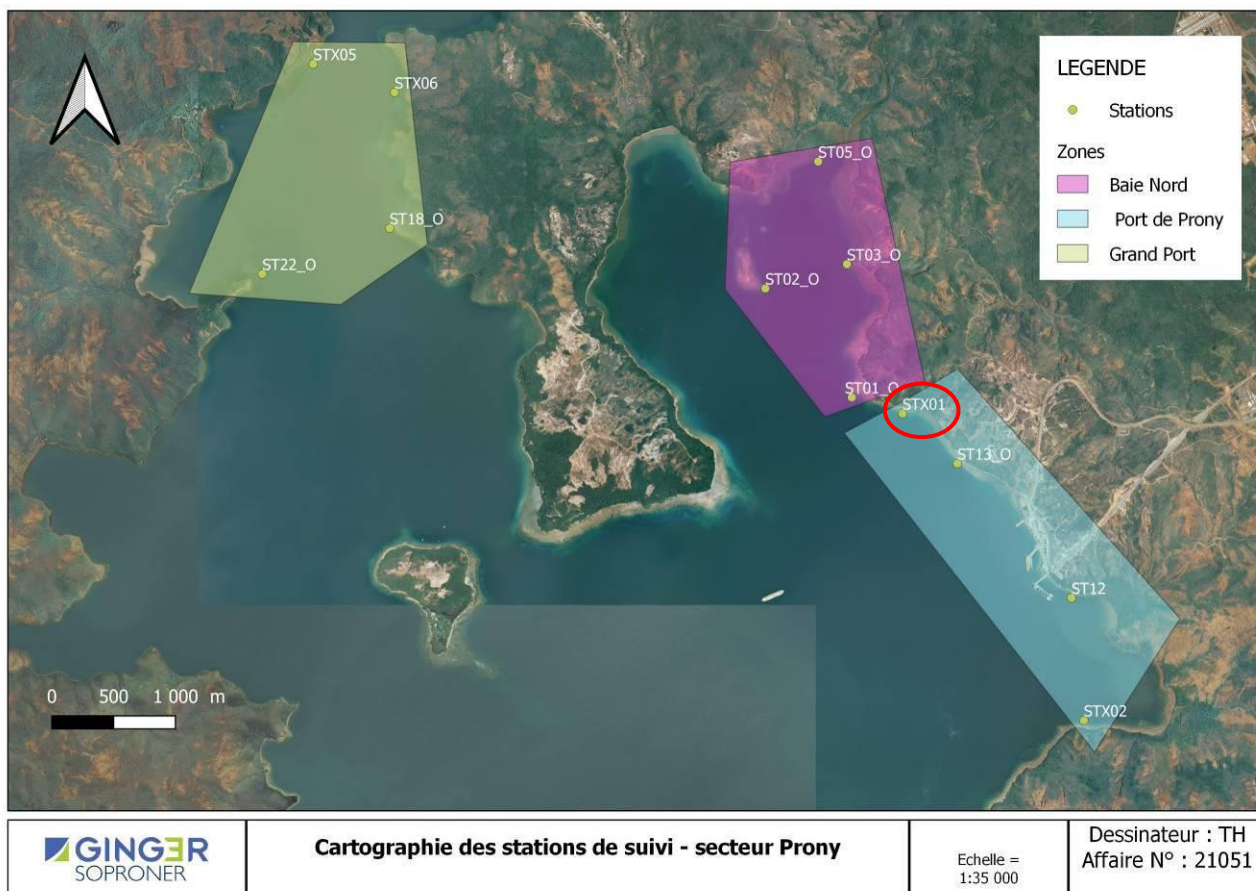
ST13_O



Profondeur de la station : 3m



STX01



Profondeur de la station : 3m

STX01

Plage

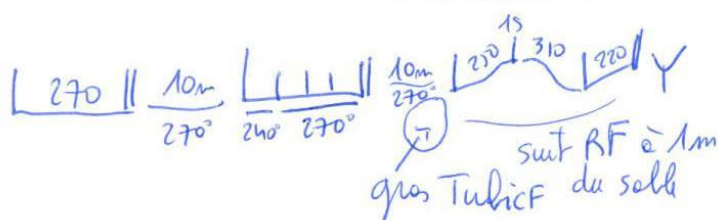


PLANCHE PHOTO REPRÉSENTATIVE DES STATIONS



ST03_O



ST05_O



ST22_O



ST31



ST36



ST37



ST02_O



STX01



ST12



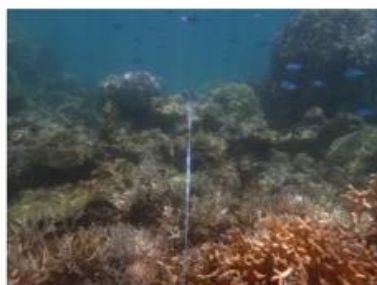
ST13_O



ST18_O



ST32



ST33



ST34



ST38



ST39



ST01_O



STX02



STX05

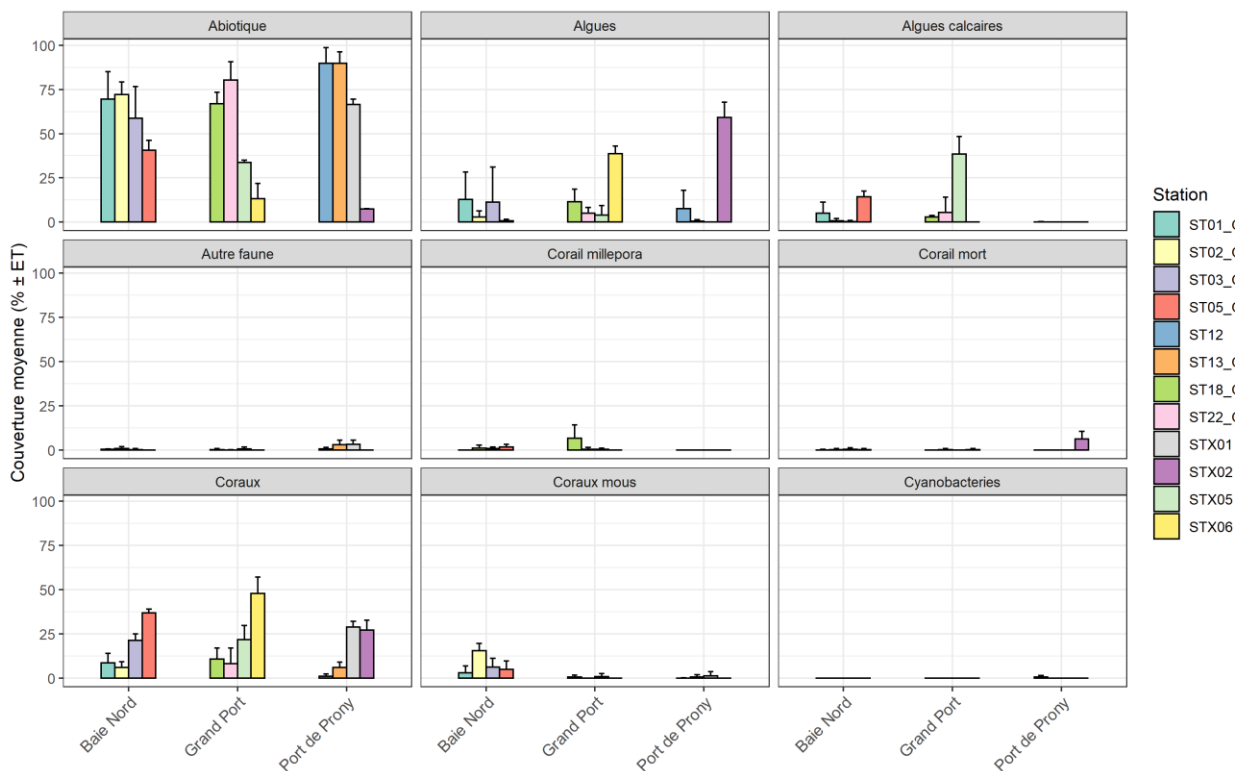


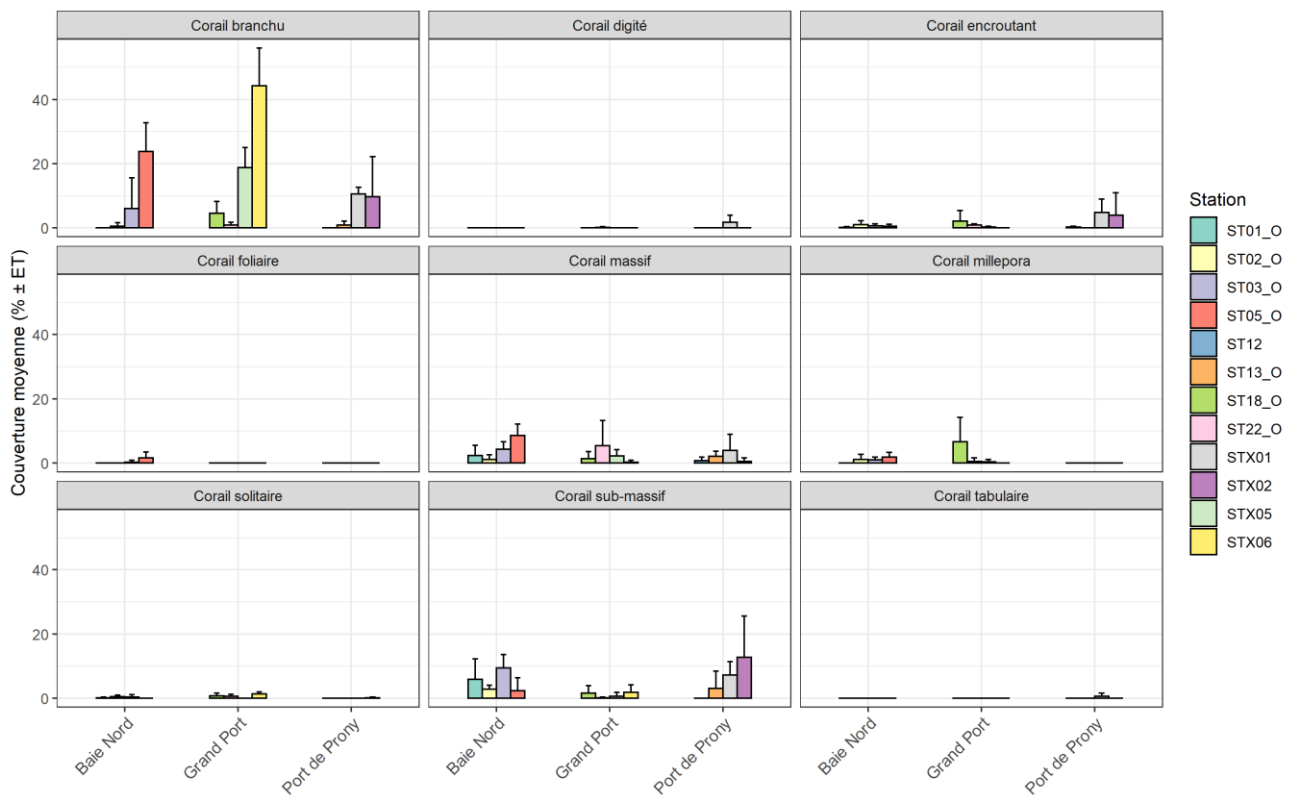
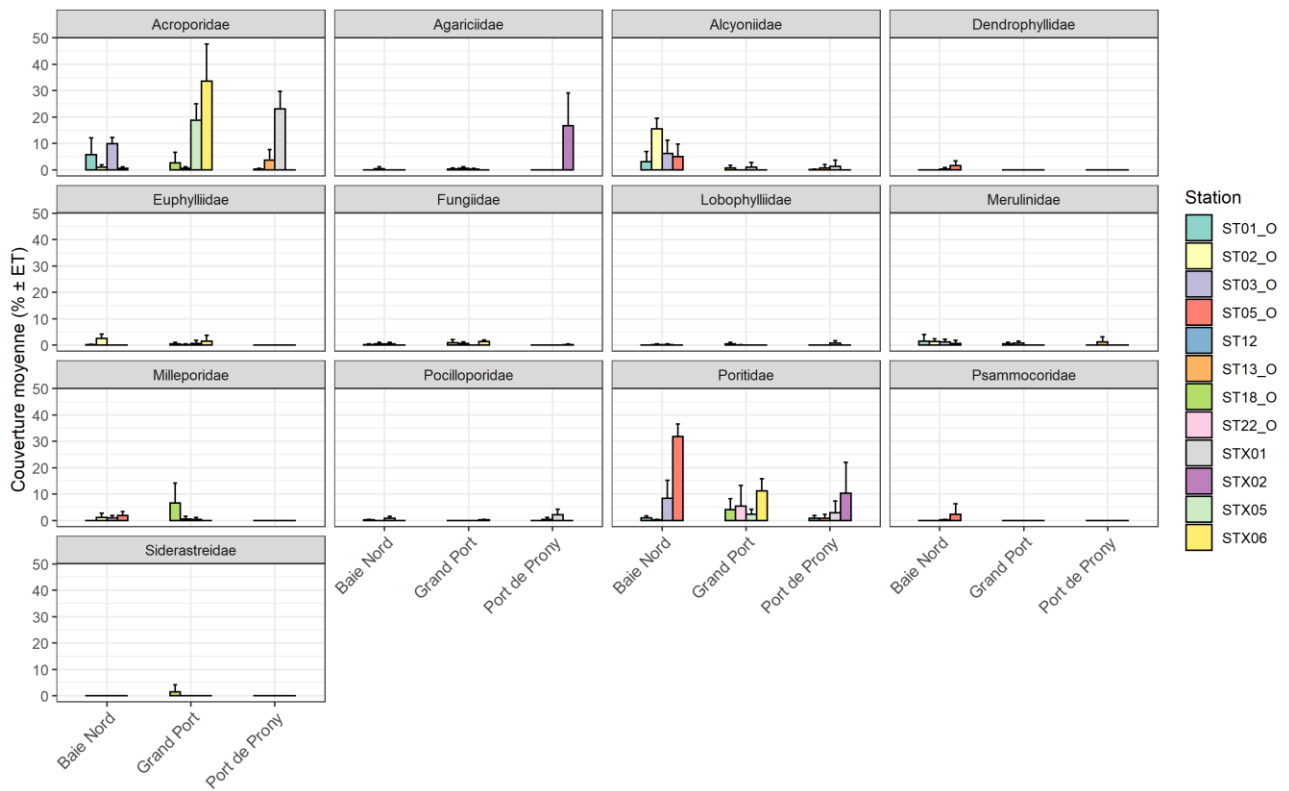
STX06

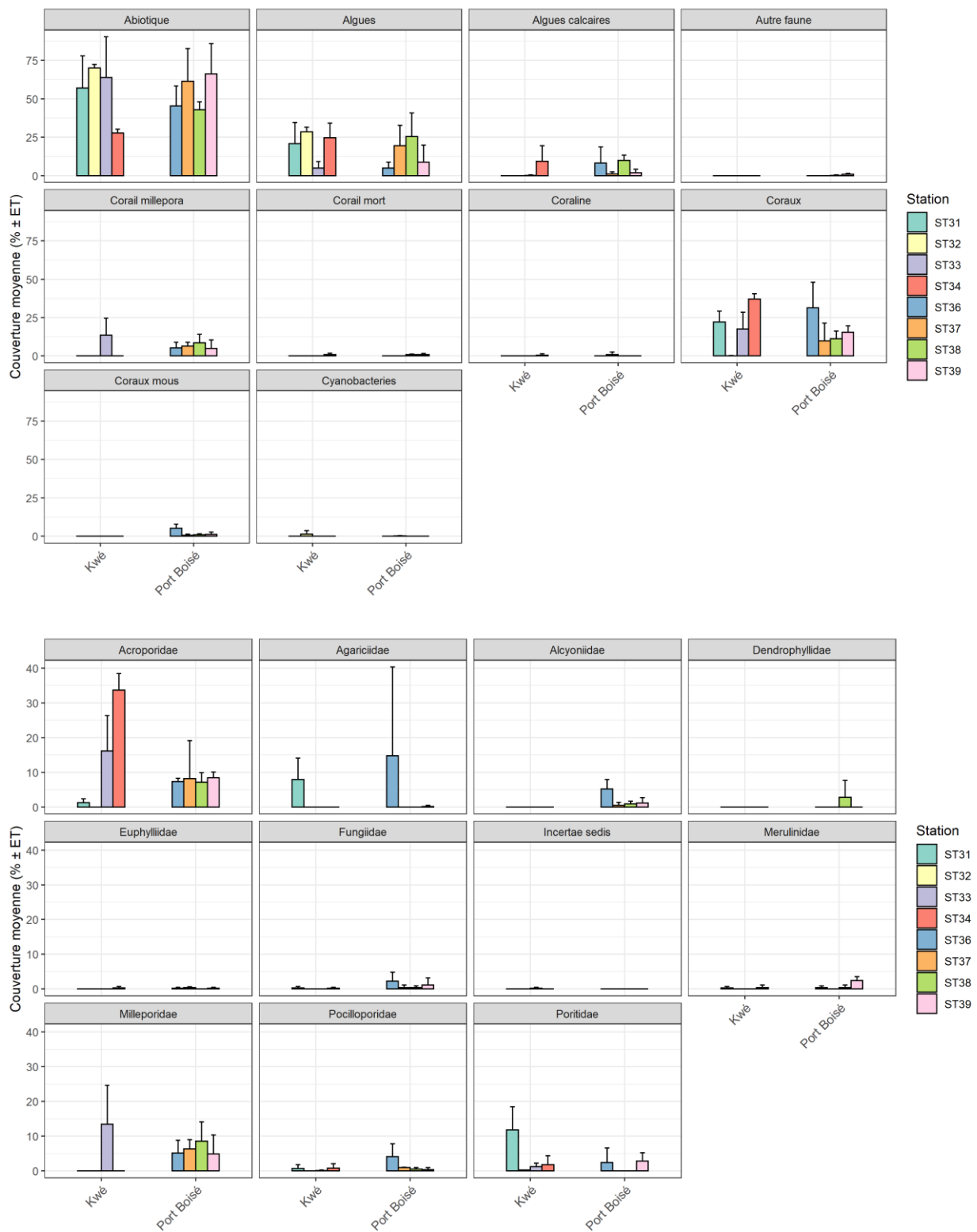
ANNEXE II : CARACTÉRISTIQUES DU SUBSTRAT PAR STATION

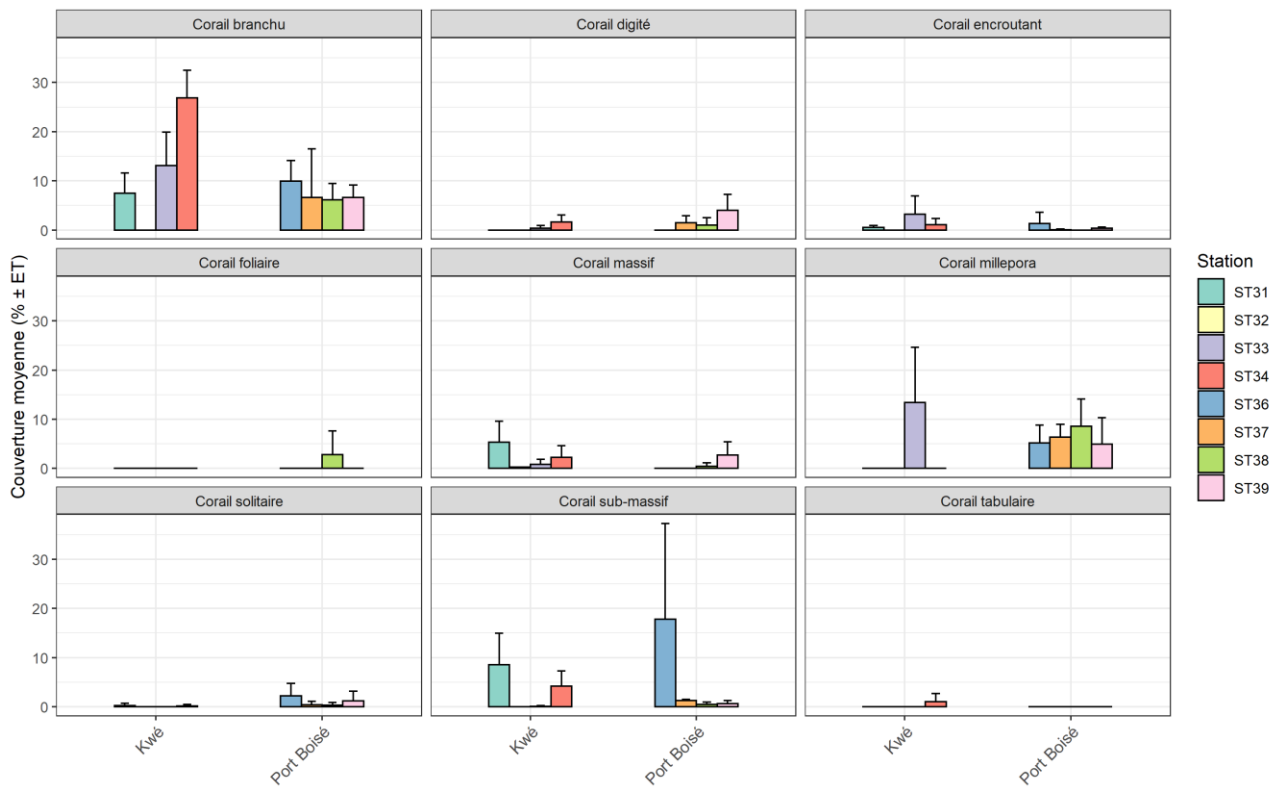
ETAT DES LIEUX EN 2021

Secteur de prony

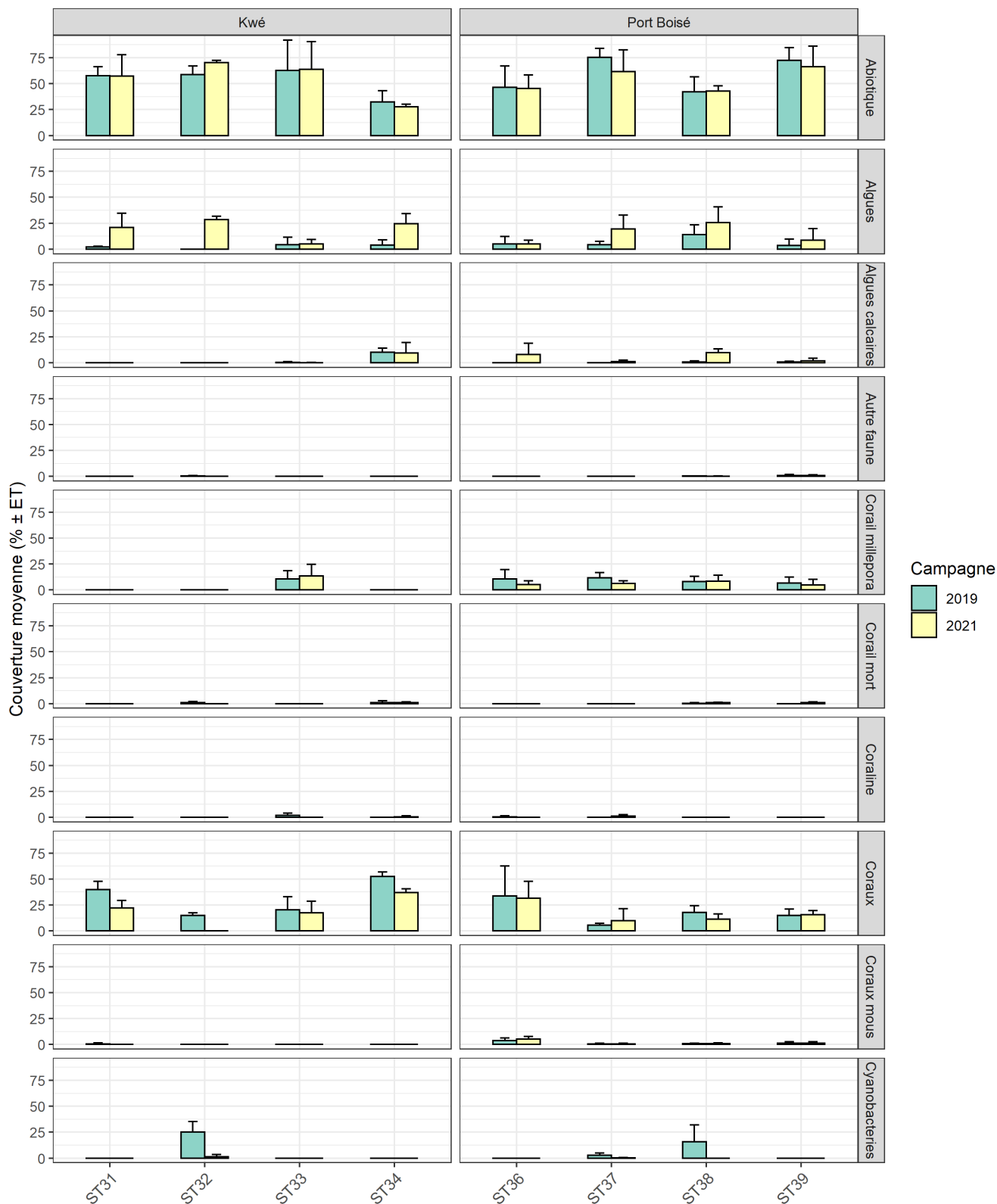


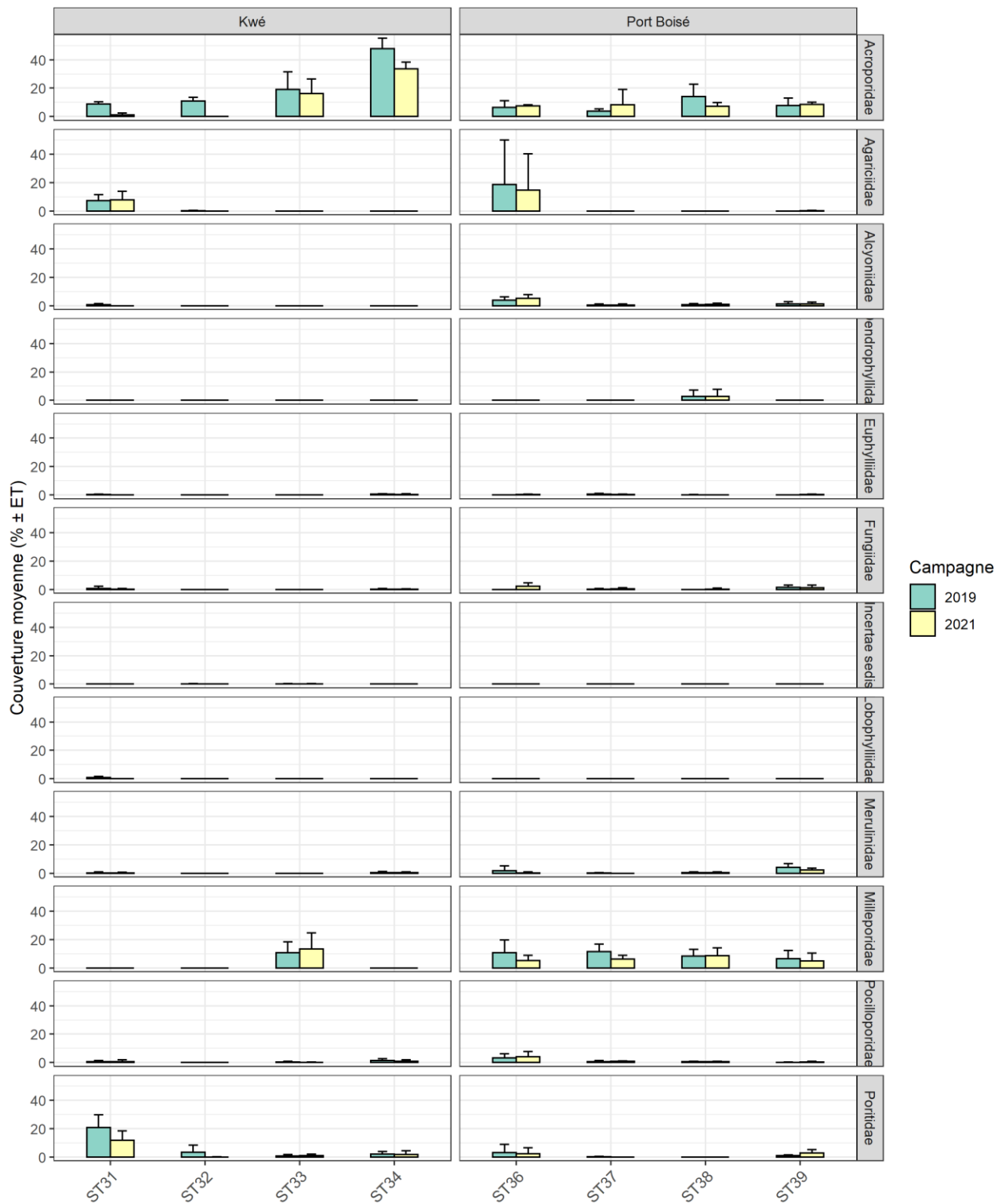


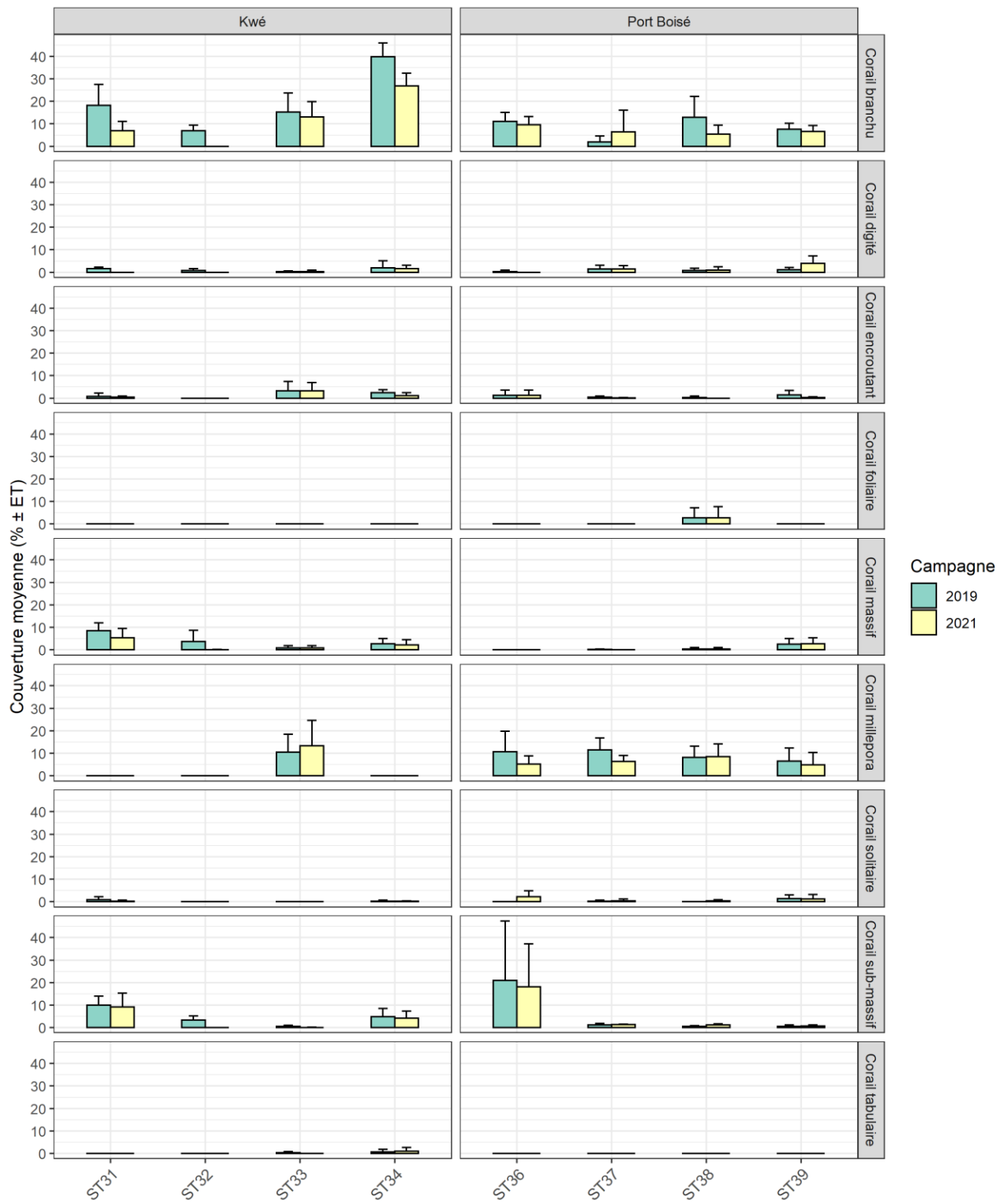
Secteur BKPB



EVOLUTION TEMPORELLE ENTRE 2019 ET 2021 – SECTEUR BKPB







ANNEXE III : ÉTAT DE SANTÉ DES COMMUNAUTÉS CORALLIENNES

PRÉVALENCE DE LÉSIONS CORALLIENNES TOTALES ET PAR FAMILLE ET PAR STATION EN 2021 – SECTEUR DE PRONY

Blanchi: Blanchissement partiel ou total

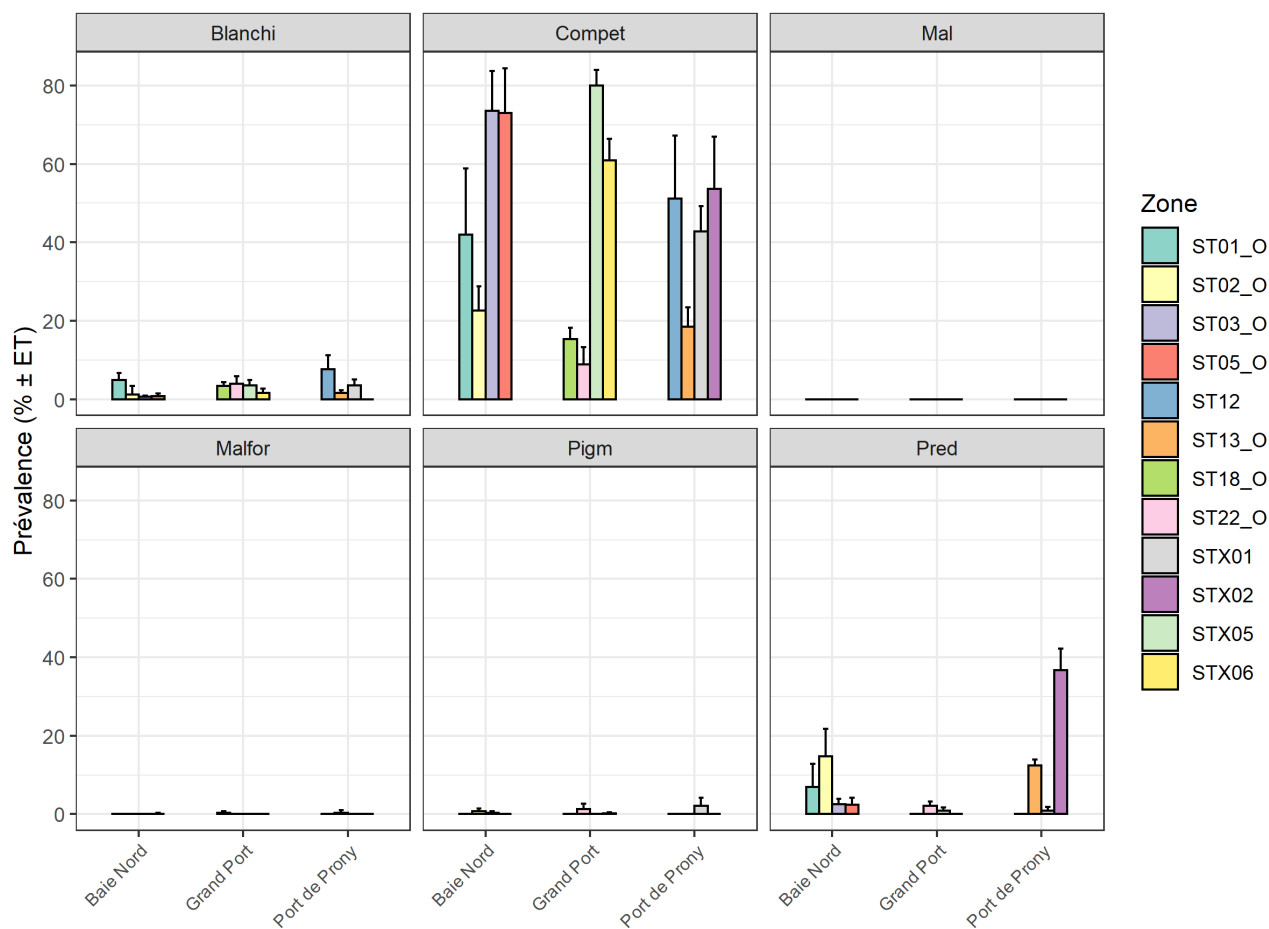
Malfor : Malformation

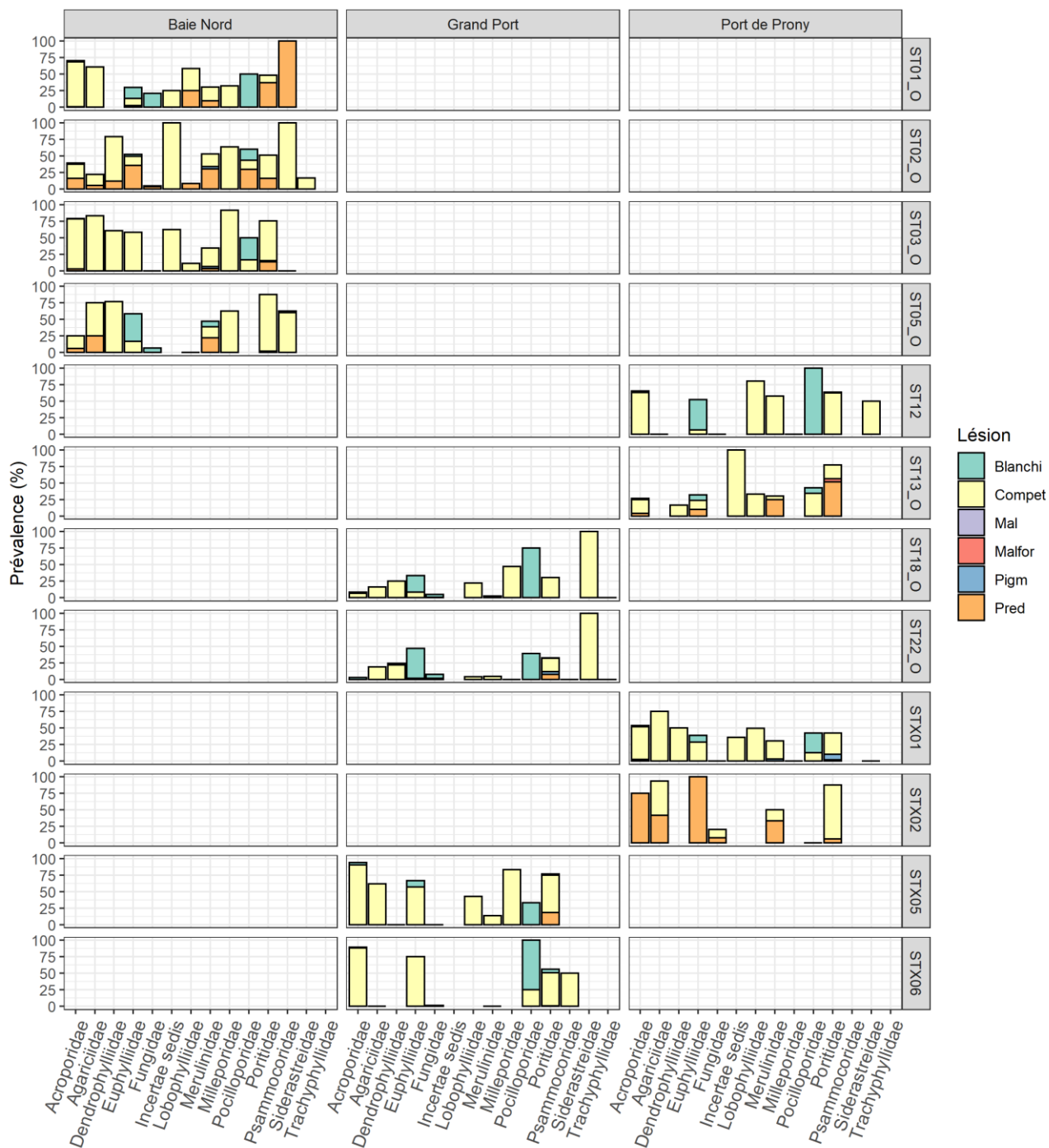
Pigm : Pigmentation

Pred : Prédation

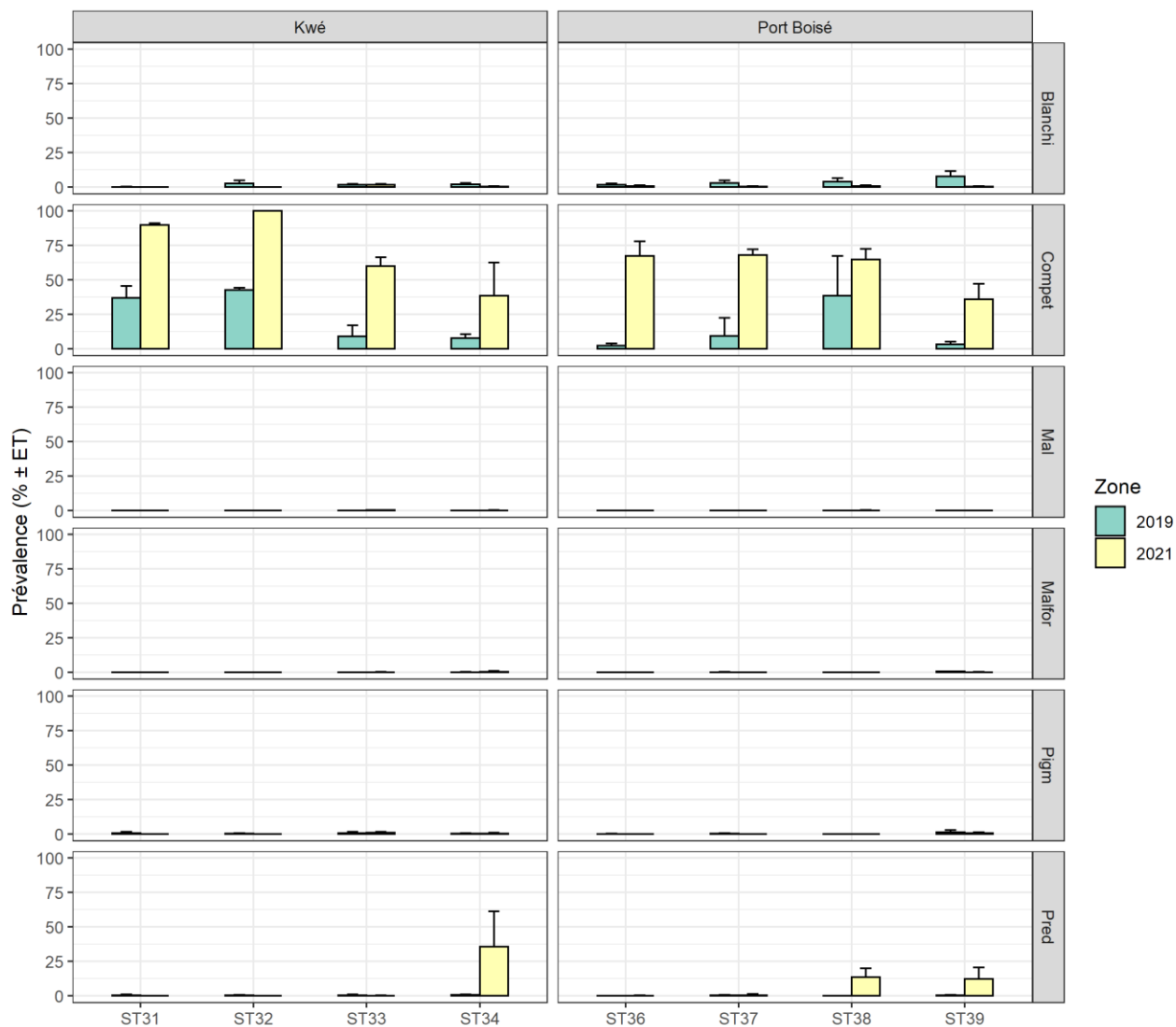
Compet : Sédimentation et/ou compétition avec algues

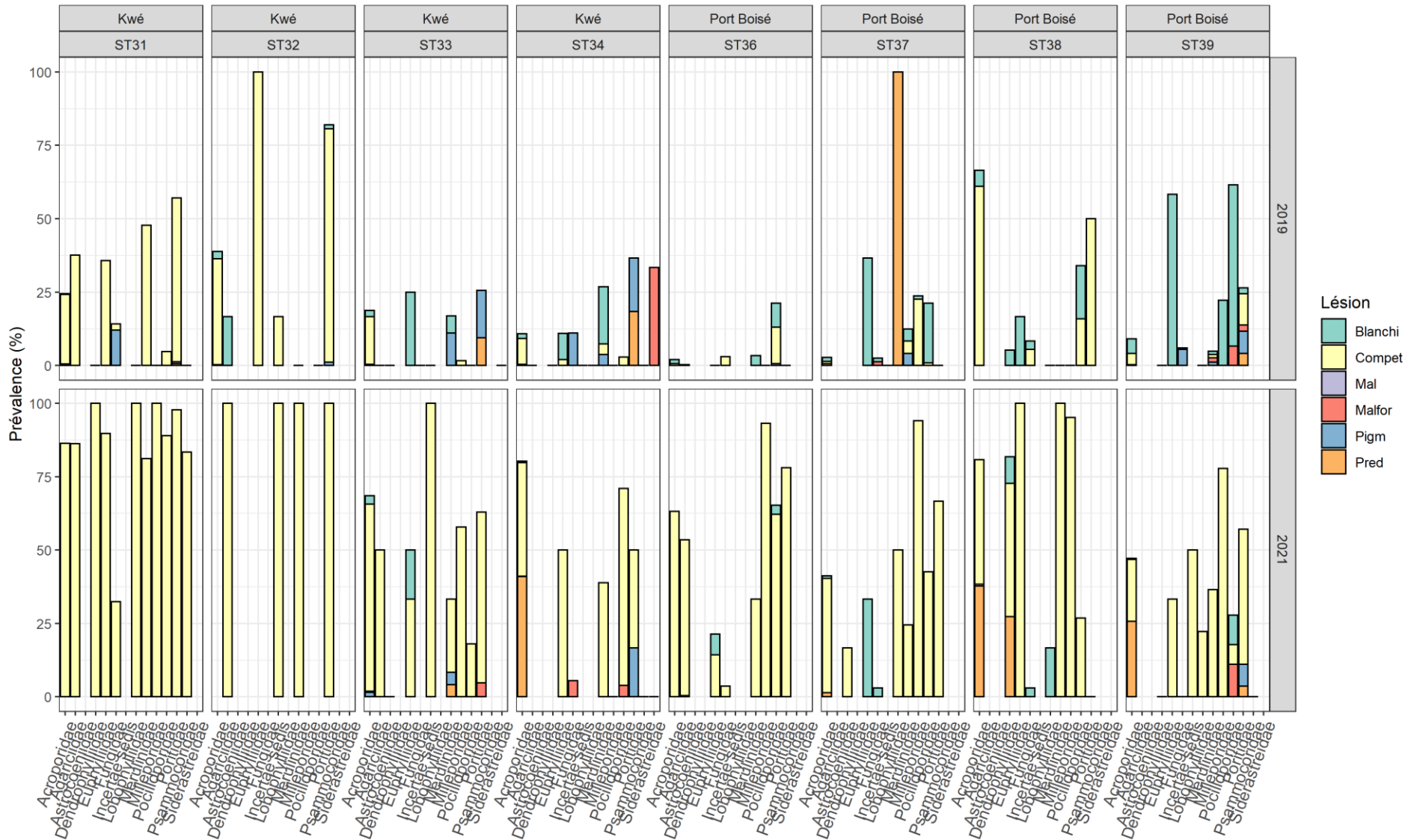
Mal : Maladie corallienne commune de l'Indo-Pacifique





PRÉVALENCE DE LÉSIONS CORALLIENNES TOTALES ET PAR FAMILLE ET PAR STATION EN 2019 ET 2021 – SECTEUR DE BKPB





ANNEXE IV : ESPÈCES DE POISSONS OBSERVÉES LORS DE LA CAMPAGNE DE 2021 ET CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES

Annotations - C : carnivore / H : herbivore / P : piscivore / Z : planctonophage / nc : non-commercial / c : commercial

Famille	Genre	Espèce	Groupe trophique	Potentiel commercial	Coefficients morphométriques	
					a	b
ACANTHURIDAE	Acanthurus	blochii	H	c	0,025055962	3,031929247
ACANTHURIDAE	Acanthurus	mata	Z	c	0,022241884	3,007953028
ACANTHURIDAE	Acanthurus	nigricauda	H	c	0,016784756	3,167724687
ACANTHURIDAE	Acanthurus	nigrofusus	H	c	0,026370479	3,028366711
ACANTHURIDAE	Ctenochaetus	binotatus	H	c	0,039156835	2,874628814
ACANTHURIDAE	Ctenochaetus	striatus	H	c	0,02313218	3,063472078
ACANTHURIDAE	Naso	brevirostris	H	c	0,010649453	3,242973288
ACANTHURIDAE	Naso	unicornis	H	c	0,017880286	3,035454104
ACANTHURIDAE	Naso	vlamingi	Z	c	0,008480656	3,249644164
ACANTHURIDAE	Zebrasoma	scopas	H	nc	0,029053025	2,992739614
ACANTHURIDAE	Zebrasoma	veliferum	H	nc	0,03425216	2,865805779
APOGONIDAE	Archamia	fucata	Z	nc	0,008914977	3,322777975
APOGONIDAE	Cheilodipterus	quiquelineatus	P	nc	0,016071637	2,999229198
APOGONIDAE	Ostorhinchus	aureus	Z	nc	0,018548308	2,984148205
APOGONIDAE	Ostorhinchus	compressus	Z	nc	0,018548308	2,984148205
APOGONIDAE	Ostorhinchus	cyanosoma	Z	nc	0,018548308	2,984148205
APOGONIDAE	Ostorhinchus	norfolcensis	Z	nc	0,018548308	2,984148205
APOGONIDAE	Zoramia	fragilis	Z	nc	0,01544933	3,121264237
BALISTIDAE	Balistapus	undulatus	C	nc	0,005696442	3,393028006
BALISTIDAE	Sufflamen	chrysopterus	C	nc	0,032440877	2,929115407
BLENNIIDAE	Aspidontus	dussumieri	C	nc	0,002176338	3,900642826
BLENNIIDAE	Atrosalarias	fusus	H	nc	0,014905494	3,017856658
BLENNIIDAE	Cirripectes	sp	H	nc	0,013041119	3,1496559
BLENNIIDAE	Meiacanthus	atrodorsalis	C	nc	0,000865315	4,470212737
BLENNIIDAE	Plagiotremus	rhinorhynchus	P	nc	0,001197926	3,79208743
BLENNIIDAE	Plagiotremus	tapeinosoma	P	nc	0,005657362	2,908320997
CAESIONIDAE	Caesio	caerulea	Z	c	0,019962387	2,991405691
CAESIONIDAE	Caesio	cuning	Z	c	0,014872569	3,121332434
CAESIONIDAE	Pterocaesio	trilineata	Z	c	0,010653989	3,177841546
CARANGIDAE	Caranx	papuensis	P	c	0,023539796	2,922788691
CENTRISCIDAE	Aeoliscus	strigatus	C	nc	0,0063	2,982
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	auriga	C	nc	0,040397085	2,829430605
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	baronessa	C	nc	0,045008109	2,814158595
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	bennetti	C	nc	0,038394963	2,885078662
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	citrinellus	C	nc	0,035298745	2,834137756
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	ephippium	C	nc	0,022485473	3,060921521
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	flavivittatus	C	nc	0,02509663	3,113247491
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	kleinii	Z	nc	0,045008109	2,814158595
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	lineolatus	C	nc	0,069264822	2,621506842
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	lunulatus	C	nc	0,031101049	2,975659108
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	melanotus	C	nc	0,026693396	3,0486
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	mertensii	C	nc	0,004296796	3,793382066
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	plebeius	C	nc	0,060610606	2,62781702
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	trifascialis	C	nc	0,025776994	2,969077062
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	ulietensis	C	nc	0,031141577	2,874116568
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	vagabundus	C	nc	0,027755325	2,9734648
CHAETODONTIDAE	Heniochus	acuminatus	C	nc	0,02469887	3,10580226

CHAETODONTIDAE	Heniochus	chrysostomus	C	nc	0,016134039	3,262174435
CIRRHITIDAE	Paracirrhites	arcatus	C	nc	0,009273273	3,268401098
FISTULARIIDAE	Fistularia	commersonii	P	nc	0,000459584	3,048269345
GOBIESOCIDAE	Diademichthys	lineatus	C	nc	0,0009	3,895
GOBIIDAE	Amblyeleotris	sp	C	nc	0,026387532	2,622565603
GOBIIDAE	Amblygobius	decussatus	C	nc	0,018375962	2,833567575
GOBIIDAE	Amblygobius	nocturnus	C	nc	0,018375962	2,833567575
GOBIIDAE	Amblygobius	phalaena	C	nc	0,018375962	2,833567575
GOBIIDAE	Asterropteryx	semipunctata	H	nc	0,026387532	2,622565603
GOBIIDAE	Asterropteryx	semipunctatus	H	nc	0,026387532	2,622565603
GOBIIDAE	Ctenogobiops	feroculus	C	nc	0,026387532	2,622565603
GOBIIDAE	Ctenogobiops	pomastictus	C	nc	0,026387532	2,622565603
GOBIIDAE	Exyrias	bellissimus	C	nc	0,012956458	2,88207694
GOBIIDAE	Gobiodon	okinawae	C	nc	0,057695691	2,43917312
GOBIIDAE	Istigobius	decoratus	C	nc	0,018000559	2,777484599
GOBIIDAE	Istigobius	sp	C	nc	0,018307037	2,782198382
GOBIIDAE	Koumansetta	rainfordi	C	nc	0,018375962	2,833567575
GRAMMISTIDAE	Diploprion	bifasciatum	C	nc	0,008862367	3,277495731
HOLOCENTRIDAE	Neoniphon	sammara	C	c	0,027615397	2,888353581
KYPHOSIDAE	Kyphosus	sp	H	c	0,012852897	3,150588687
LABRIDAE	Anampses	neoguinicus	C	nc	0,022609401	2,792711024
LABRIDAE	Bodianus	perditio	C	c	0,011849045	3,148753409
LABRIDAE	Cheilinus	chlorourus	C	c	0,019724558	2,993151669
LABRIDAE	Cheilinus	fasciatus	C	c	0,015508278	3,057916947
LABRIDAE	Choerodon	graphicus	C	c	0,01512008	3,121975586
LABRIDAE	Coris	aygula	C	c	0,002659732	3,488574917
LABRIDAE	Coris	batuensis	C	nc	0,006500842	3,254413799
LABRIDAE	Coris	gaimard	C	c	0,006500842	3,254413799
LABRIDAE	Epibulus	insidiator	C	c	0,016138369	3,081018461
LABRIDAE	Gomphosus	varius	C	nc	0,024366779	2,702688094
LABRIDAE	Halichoeres	melanurus	C	nc	0,009309689	3,26150414
LABRIDAE	Hemigymnus	fasciatus	C	nc	0,024790041	2,912844772
LABRIDAE	Hemigymnus	melapterus	C	nc	0,024234431	2,922617847
LABRIDAE	Labrichthys	unilineatus	C	nc	0,010669345	3,177649683
LABRIDAE	Labroides	bicolor	C	nc	0,006365786	3,201577738
LABRIDAE	Labroides	dimidiatus	C	nc	0,005854909	3,230934257
LABRIDAE	Labropsis	australis	C	nc	0,010669345	3,177649683
LABRIDAE	Novaculichthys	taeniourus	C	nc	0,010669345	3,177649683
LABRIDAE	Oxycheilinus	digramma	C	nc	0,010669345	3,177649683
LABRIDAE	Oxycheilinus	unifasciatus	C	nc	0,015508278	3,057916947
LABRIDAE	Pseudocheilinus	hexataenia	C	nc	0,010669345	3,177649683
LABRIDAE	Pseudocheilinus	octotaenia	C	nc	0,010669345	3,177649683
LABRIDAE	Stethojulis	bandanensis	C	nc	0,030347902	2,581
LABRIDAE	Stethojulis	notialis	C	nc	0,029218173	2,608078785
LABRIDAE	Stethojulis	strigiventer	C	nc	0,019083913	2,876257644
LABRIDAE	Thalassoma	hardwicke	C	nc	0,017830241	2,977652716
LABRIDAE	Thalassoma	lunare	C	nc	0,021100959	2,831738121
LABRIDAE	Thalassoma	lutescens	C	nc	0,012995696	3,041862106
LETHRINIDAE	Lethrinus	harak	C	c	0,017005573	3,042260034
LUTJANIDAE	Lutjanus	argentimaculatus	C	c	0,028000856	2,844262412
LUTJANIDAE	Lutjanus	bohar	C	nc	0,015628466	3,058646488
LUTJANIDAE	Lutjanus	fulviflamma	C	c	0,020478805	2,95984964
LUTJANIDAE	Lutjanus	fulvus	C	c	0,021061453	2,974331519
LUTJANIDAE	Lutjanus	monostigma	P	nc	0,022184666	2,91252239
MICRODESMIDAE	Ptereleotris	evides	Z	nc	0,026387532	2,622565603
MICRODESMIDAE	Ptereleotris	heteroptera	Z	nc	0,026387532	2,622565603
MICRODESMIDAE	Ptereleotris	microlepis	Z	nc	0,026387532	2,622565603
MICRODESMIDAE	Ptereleotris	sp	Z	nc	0,026387532	2,622565603
MONACANTHIDAE	Oxymonacanthus	longirostris	C	nc	0,012224814	3,032756806

MUGILOIDIDAE	Parapercis	australis	C	nc	0,013311784	2,942682432
MUGILOIDIDAE	Parapercis	clathrata	C	nc	0,013311784	2,942682432
MUGILOIDIDAE	Parapercis	hexophtalma	C	nc	0,006820633	3,157263284
MULLIDAE	Parupeneus	barberinoides	C	c	0,014446061	3,129919843
MULLIDAE	Parupeneus	barberinus	C	c	0,01306709	3,122492248
MULLIDAE	Parupeneus	ciliatus	C	c	0,011633172	3,219917119
MULLIDAE	Parupeneus	multifasciatus	C	nc	0,01135854	3,210819176
NEMIPTERIDAE	Pentapodus	aureofasciatus	Z	nc	0,017121133	3,003868983
NEMIPTERIDAE	Scolopsis	bilineata	C	nc	0,013827538	3,173776985
OSTRACIIDAE	Ostracion	cubicus	C	nc	0,128822163	2,519494589
PLESIOPIDAE	Assessor	macneili	C	nc	0,018112087	2,7907
POMACANTHIDAE	Centropyge	bicolor	H	nc	0,074481017	2,576934376
POMACANTHIDAE	Centropyge	bispinosus	H	nc	0,091949687	2,45798686
POMACANTHIDAE	Centropyge	flavissimus	H	nc	0,074481017	2,576934376
POMACANTHIDAE	Centropyge	heraldi	H	nc	0,074481017	2,576934376
POMACANTHIDAE	Centropyge	tibicen	H	nc	0,049230696	2,79451381
POMACANTHIDAE	Pomacanthus	semicirculatus	H	nc	0,066943483	2,72233293
POMACANTHIDAE	Pomacanthus	sexstriatus	C	nc	0,066858	2,723778862
POMACENTRIDAE	Abudefduf	sexfasciatus	Z	nc	0,021276044	3,151969035
POMACENTRIDAE	Abudefduf	whitleyi	Z	nc	0,025435258	3,092681479
POMACENTRIDAE	Amblyglyphidodon	curacao	Z	nc	0,012595182	3,435080415
POMACENTRIDAE	Amblyglyphidodon	orbicularis	Z	nc	0,014347695	3,330369305
POMACENTRIDAE	Amphiprion	akindynos	Z	nc	0,031616572	2,929801945
POMACENTRIDAE	Amphiprion	melanopus	Z	nc	0,015454066	3,297978998
POMACENTRIDAE	Cheiloprion	labiatus	C	nc	0,020908767	3,190800285
POMACENTRIDAE	Chromis	atripectoralis	Z	nc	0,017909534	3,290729357
POMACENTRIDAE	Chromis	lepidolepis	Z	nc	0,194983801	1,9385
POMACENTRIDAE	Chromis	retrofasciata	Z	nc	0,022859092	3,17522814
POMACENTRIDAE	Chrysiptera	caesifrons	H	nc	0,025946838	2,926389596
POMACENTRIDAE	Chrysiptera	rollandi	Z	nc	0,025946838	2,926389596
POMACENTRIDAE	Chrysiptera	taupou	Z	nc	0,021988607	3,001146438
POMACENTRIDAE	Dascyllus	aruanus	Z	nc	0,04150671	2,988875406
POMACENTRIDAE	Hemiglyphidodon	plagiometopon	H	nc	0,017526417	3,212386964
POMACENTRIDAE	Neoglyphidodon	melas	C	nc	0,017526417	3,212386964
POMACENTRIDAE	Neoglyphidodon	nigroris	H	nc	0,017822007	3,182200046
POMACENTRIDAE	Neoglyphidodon	polyacanthus	H	nc	0,020578	3,146207404
POMACENTRIDAE	Neopomacentrus	azysron	Z	nc	0,025827231	2,943306039
POMACENTRIDAE	Neopomacentrus	nemurus	Z	nc	0,025903786	2,913150252
POMACENTRIDAE	Plectroglyphidodon	lacrymatus	H	nc	0,020908767	3,190800285
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	adelus	H	nc	0,017611574	3,291498389
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	amboinensis	H	nc	0,043944844	2,82375797
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	aurifrons	Z	nc	0,02800791	3,023852146
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	bankanensis	H	nc	0,02800791	3,023852146
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	brachialis	Z	nc	0,02800791	3,023852146
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	grammorhynchus	H	nc	0,02800791	3,023852146
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	lepidogenys	Z	nc	0,021497812	3,210056465
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	moluccensis	Z	nc	0,030454215	3,012111701
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	nagasakiensis	Z	nc	0,02800791	3,023852146
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	pavo	Z	nc	0,025178248	2,971529773
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	sp	H	nc	0,02800791	3,023852146
POMACENTRIDAE	Stegastes	nigricans	H	nc	0,038408298	3,009999217
POMACENTRIDAE	Stegastes	punctatus	H	nc	0,039542536	2,989098757
PRIACANTHIDAE	Priacanthus	hammur	Z	c	0,02996599	2,800845855
SCARIDAE	Chlorurus	microrhinos	H	c	0,024694091	2,955475758
SCARIDAE	Chlorurus	sordidus	H	c	0,024311416	2,969306281
SCARIDAE	Scarus	bleekeri	H	c	0,023373877	2,956463124
SCARIDAE	Scarus	chameleon	H	c	0,023373877	2,956463124
SCARIDAE	Scarus	flavipectoralis	H	c	0,023373877	2,956463124
SCARIDAE	Scarus	ghobban	H	c	0,016504504	3,041159047

SCARIDAE	Scarus	niger	H	c	0,013346043	3,159957025
SCARIDAE	Scarus	oviceps	H	c	0,023373877	2,956463124
SCARIDAE	Scarus	rivulatus	H	c	0,017447575	3,07404766
SCARIDAE	Scarus	schlegeli	H	c	0,023058664	2,969191667
SCORPAENIDAE	Scorpaenidae	sp	C	nc	0,024587436	2,907526131
SERRANIDAE	Anyperodon	leucogrammicus	P	c	0,001417552	3,548062049
SERRANIDAE	Cephalopholis	boenak	P	c	0,014620408	3,019150471
SERRANIDAE	Cephalopholis	miniata	P	c	0,010655775	3,114100648
SERRANIDAE	Epinephelus	cyanopodus	P	c	0,011051215	3,113732182
SERRANIDAE	Epinephelus	howlandi	P	c	0,015254289	2,999094274
SERRANIDAE	Epinephelus	merra	C	c	0,015835139	2,966364394
SERRANIDAE	Epinephelus	ongus	C	c	0,018994656	2,927803298
SERRANIDAE	Plectropomus	laevis	P	c	0,005908347	3,237744328
SERRANIDAE	Plectropomus	leopardus	P	c	0,011753401	3,059544862
SERRANIDAE	Pseudanthias	hypselosoma	Z	nc	0,013685462	3,148743494
SIGANIDAE	Siganus	argenteus	H	c	0,010902526	3,154186078
SIGANIDAE	Siganus	corallinus	H	c	0,002340224	3,820789681
SIGANIDAE	Siganus	doliatus	H	c	0,010359871	3,272079996
SIGANIDAE	Siganus	lineatus	H	c	0,021903736	2,99832094
SIGANIDAE	Siganus	puellus	H	c	0,017612346	3,028394224
SIGANIDAE	Siganus	vulpinus	H	c	0,01447752	3,121692957
SYNODONTIDAE	Saurida	gracilis	P	nc	0,0065743	3,164927539
SYNODONTIDAE	Synodus	variegatus	P	nc	0,003142821	3,483798595
TETRAODONTIDAE	Canthigaster	bennetti	C	nc	0,042376622	2,822020793
TETRAODONTIDAE	Canthigaster	sp	C	nc	0,042376622	2,822020793
ZANCLIDAE	Zanclus	cornutus	C	nc	0,014703742	3,369908069

ANNEXE V: DENSITÉ, BIOMASSE ET RICHESSE SPÉCIFIQUE DE POISSONS PAR STATION EN 2021

SECTEUR DE PRONY

	Baie Nord				Port de Prony				Grand Port			
	ST01	ST02	ST03	ST05	ST12	ST13	STX01	STX02	ST18	ST22	STX05	STX06
Toutes espèces	1,88	2,93	4,21	2,48	0,79	1,64	3,94	9,32	1,86	1,88	1,99	2,97
Espèces non-commerciales	1,68	2,42	3,86	2,01	0,67	1,52	3,67	9,27	0,90	1,54	1,91	2,89
Espèces commerciales	0,20	0,51	0,35	0,47	0,13	0,12	0,28	0,05	0,96	0,34	0,08	0,08
Herbivores	0,39	0,76	0,29	0,27	0,38	0,21	0,53	0,06	0,41	0,36	0,20	0,09
Carnivores	0,11	0,36	0,22	0,07	0,13	0,27	0,43	0,20	0,17	0,13	0,18	0,07
Planctonophages	1,39	1,81	3,70	2,11	0,28	1,16	2,47	9,06	1,26	1,37	1,61	2,79
Piscivores	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,51	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01
ACANTHURIDAE	0,01	0,07	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,04	0,04	0,01	0,00
APOGONIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
BALISTIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BLENNIIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01
CAESIONIDAE	0,00	0,16	0,17	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	0,00
CENTRISCIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CHAETODONTIDAE	0,01	0,07	0,06	0,01	0,01	0,04	0,12	0,16	0,03	0,01	0,00	0,03
FISTULARIIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GOBIIDAE	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,04	0,02
GRAMMISTIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
KYPHOSIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
LABRIDAE	0,09	0,25	0,10	0,03	0,04	0,11	0,18	0,04	0,09	0,09	0,10	0,01
LETHRINIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LUTJANIDAE	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
MICRODESMIDAE	0,00	0,00	0,12	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MONACANTHIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MUGILOIDIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MULLIDAE	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NEMIPTERIDAE	0,00	0,03	0,03	0,00	0,04	0,05	0,04	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00
OSTRACIIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLESIOPIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
POMACANTHIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
POMACENTRIDAE	1,57	2,06	3,55	1,94	0,53	1,26	2,67	9,06	0,72	1,39	1,72	2,81
SCARIDAE	0,16	0,24	0,11	0,11	0,07	0,09	0,16	0,01	0,23	0,12	0,02	0,05
SERRANIDAE	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
SIGANIDAE	0,03	0,03	0,03	0,11	0,03	0,01	0,09	0,03	0,06	0,15	0,05	0,01
SYNODONTIDAE	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TETRAODONTIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZANCLIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Densité
(ind./m²)

	Baie Kwé					Port-Boisé		
	ST31	ST32	ST33	ST34	ST36	ST37	ST38	ST39
Toutes espèces	104,2	127,6	103,0	282,9	43,9	118,6	49,0	40,1
Espèces non-commerciales	30,4	8,8	43,7	41,8	27,1	25,6	28,9	22,1
Espèces commerciales	73,8	118,8	59,3	241,1	16,8	93,0	20,1	18,0
Herbivores	12,8	118,8	50,3	201,9	18,3	90,5	28,5	12,5
Carnivores	21,1	5,2	34,1	22,5	7,0	17,9	9,2	14,6
Planctonophages	37,0	3,4	7,3	7,5	8,8	3,0	8,5	11,4
Piscivores	33,3	0,1	11,3	51,0	9,9	7,3	2,8	1,6
ACANTHURIDAE	4,5	2,0	27,6	37,5	3,7	11,4	2,3	1,7
APOGONIDAE	6,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BALISTIDAE	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
BLENNIIDAE	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0
CAESIONIDAE	22,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	3,1
CARANGIDAE	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CENTRISCIDAE	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CHAETODONTIDAE	1,9	0,8	1,3	1,1	0,6	1,3	0,1	3,0
CIRRHITIDAE	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GOBIESOCIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GOBIIDAE	0,3	0,6	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
HOLOCENTRIDAE	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
LABRIDAE	3,2	2,8	24,3	18,5	3,7	12,6	8,3	8,7
LETHRINIDAE	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LUTJANIDAE	10,3	0,0	1,8	0,3	0,8	0,0	0,0	0,0
MICRODESMIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
MONACANTHIDAE	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1
MUGILOIDIDAE	0,0	0,3	0,4	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
MULLIDAE	0,8	0,0	0,7	0,0	0,5	1,3	0,0	0,5
NEMIPTERIDAE	0,3	0,0	0,6	0,5	0,0	1,0	0,4	1,5
PLESIOPIDAE	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
POMACANTHIDAE	0,7	0,0	1,2	0,5	0,0	0,7	0,4	0,1
POMACENTRIDAE	13,1	4,3	10,9	16,5	21,5	7,9	18,5	10,9
PRIACANTHIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
SCARIDAE	1,8	115,8	16,9	153,4	1,4	66,2	8,6	6,5
SCORPAENIDAE	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SERRANIDAE	10,0	0,2	13,4	51,2	10,7	8,3	2,8	2,1
SIGANIDAE	0,6	0,0	1,4	2,1	0,3	7,5	1,2	0,4
SYNODONTIDAE	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
TETRAODONTIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZANCLIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0

Biomasse
(g/m²)

	Baie Nord				Port de Prony				Grand Port			
	ST01	ST02	ST03	ST05	ST12	ST13	STX01	STX02	ST18	ST22	STX05	STX06
Toutes espèces	26	40	36	33	32	37	53	19	36	40	21	28
Espèces non-commerciales	17	26	26	19	23	26	41	14	23	24	16	19
Espèces commerciales	9	14	10	14	9	11	12	5	13	16	5	9
Herbivores	9	12	7	11	4	10	15	4	13	16	8	9
Carnivores	10	19	18	8	16	15	22	10	15	13	8	10
Planctonophages	6	8	10	9	10	11	14	4	6	8	5	7
Piscivores	1	1	1	5	2	1	2	1	2	3	0	2
ACANTHURIDAE	2	3	2	1	0	4	3	1	2	4	1	1
APOGONIDAE	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	0
BALISTIDAE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
BLENNIIDAE	0	1	1	1	0	2	3	0	1	2	1	2
CAESIONIDAE	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
CENTRISCIDAE	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
CHAETODONTIDAE	2	8	6	1	2	2	5	5	3	2	0	3
FISTULARIIDAE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
GOBIIDAE	0	1	2	1	1	2	1	0	1	0	2	1
GRAMMISTIDAE	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
KYPHOSIDAE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
LABRIDAE	7	7	5	4	2	4	9	4	9	7	4	4
LETHRINIDAE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
LUTJANIDAE	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
MICRODESMIDAE	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
MONACANTHIDAE	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
MUGILOIDIDAE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
MULLIDAE	1	1	1	0	3	1	1	0	0	0	0	0
NEMIPTERIDAE	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1	0	1
OSTRACIIDAE	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
PLESIOPIDAE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
POMACANTHIDAE	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0
POMACENTRIDAE	8	10	10	10	10	12	13	4	8	10	8	9
SCARIDAE	3	3	3	2	1	3	4	1	5	6	2	3
SERRANIDAE	1	1	1	4	2	0	0	1	1	2	0	2
SIGANIDAE	2	3	1	4	1	2	5	2	2	2	2	2
SYNODONTIDAE	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
TETRAODONTIDAE	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
ZANCLIDAE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

SECTEUR DE BKPB

	Baie Kwé				Port-Boisé			
	ST31	ST32	ST33	ST34	ST36	ST37	ST38	ST39
Toutes espèces	5,79	2,80	4,57	5,52	2,29	3,84	2,12	4,39
Espèces non-commerciales	5,01	2,30	4,30	4,53	2,20	3,39	1,87	4,18
Espèces commerciales	0,78	0,50	0,28	0,98	0,09	0,45	0,25	0,21
Herbivores	0,64	0,68	1,01	2,56	0,56	1,45	0,81	0,77
Carnivores	0,64	0,52	1,29	1,19	0,50	0,85	0,46	0,82
Planctonophages	4,48	1,58	2,27	1,76	1,22	1,54	0,84	2,78
Piscivores	0,04	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
ACANTHURIDAE	0,11	0,01	0,19	0,70	0,05	0,16	0,12	0,11
APOGONIDAE	0,63	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BALISTIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BLENNIIDAE	0,00	0,01	0,02	0,05	0,04	0,02	0,01	0,02
CAESIONIDAE	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,06
CARANGIDAE	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CENTRISCIDAE	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CHAETODONTIDAE	0,15	0,02	0,13	0,14	0,09	0,08	0,01	0,38
CIRRHITIDAE	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GOBIESOCIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
GOBIIDAE	0,10	0,14	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
HOLOCENTRIDAE	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
LABRIDAE	0,30	0,30	0,88	0,69	0,27	0,59	0,41	0,23
LETHRINIDAE	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LUTJANIDAE	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MICRODESMIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
MONACANTHIDAE	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	0,05	0,01	0,04
MUGILOIDIDAE	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
MULLIDAE	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02
NEMIPTERIDAE	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,03	0,02	0,04
PLESIOPIDAE	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
POMACANTHIDAE	0,04	0,00	0,12	0,04	0,00	0,09	0,03	0,01
POMACENTRIDAE	3,69	1,72	2,95	3,41	1,68	2,45	1,35	3,31
PRIACANTHIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SCARIDAE	0,02	0,48	0,12	0,36	0,04	0,24	0,06	0,05
SCORPAENIDAE	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SERRANIDAE	0,03	0,00	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
SIGANIDAE	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,09	0,02	0,01
SYNODONTIDAE	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TETRAODONTIDAE	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
ZANCLIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Densité
(ind./m²)

	Baie Kwé					Port-Boisé		
	ST31	ST32	ST33	ST34	ST36	ST37	ST38	ST39
Toutes espèces	104,2	127,6	103,0	282,9	43,9	118,6	49,0	40,1
Espèces non-commerciales	30,4	8,8	43,7	41,8	27,1	25,6	28,9	22,1
Espèces commerciales	73,8	118,8	59,3	241,1	16,8	93,0	20,1	18,0
Herbivores	12,8	118,8	50,3	201,9	18,3	90,5	28,5	12,5
Carnivores	21,1	5,2	34,1	22,5	7,0	17,9	9,2	14,6
Planctonophages	37,0	3,4	7,3	7,5	8,8	3,0	8,5	11,4
Piscivores	33,3	0,1	11,3	51,0	9,9	7,3	2,8	1,6
ACANTHURIDAE	4,5	2,0	27,6	37,5	3,7	11,4	2,3	1,7
APOGONIDAE	6,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BALISTIDAE	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
BLENNIIDAE	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0
CAESIONIDAE	22,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	3,1
CARANGIDAE	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CENTRISCIDAE	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CHAETODONTIDAE	1,9	0,8	1,3	1,1	0,6	1,3	0,1	3,0
CIRRHITIDAE	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GOBIESOCIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GOBIIDAE	0,3	0,6	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
HOLOCENTRIDAE	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
LABRIDAE	3,2	2,8	24,3	18,5	3,7	12,6	8,3	8,7
LETHRINIDAE	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LUTJANIDAE	10,3	0,0	1,8	0,3	0,8	0,0	0,0	0,0
MICRODESMIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
MONACANTHIDAE	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1
MUGILOIDIDAE	0,0	0,3	0,4	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
MULLIDAE	0,8	0,0	0,7	0,0	0,5	1,3	0,0	0,5
NEMIPTERIDAE	0,3	0,0	0,6	0,5	0,0	1,0	0,4	1,5
PLESIOPIDAE	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
POMACANTHIDAE	0,7	0,0	1,2	0,5	0,0	0,7	0,4	0,1
POMACENTRIDAE	13,1	4,3	10,9	16,5	21,5	7,9	18,5	10,9
PRIACANTHIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
SCARIDAE	1,8	115,8	16,9	153,4	1,4	66,2	8,6	6,5
SCORPAENIDAE	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SERRANIDAE	10,0	0,2	13,4	51,2	10,7	8,3	2,8	2,1
SIGANIDAE	0,6	0,0	1,4	2,1	0,3	7,5	1,2	0,4
SYNODONTIDAE	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
TETRAODONTIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZANCLIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0

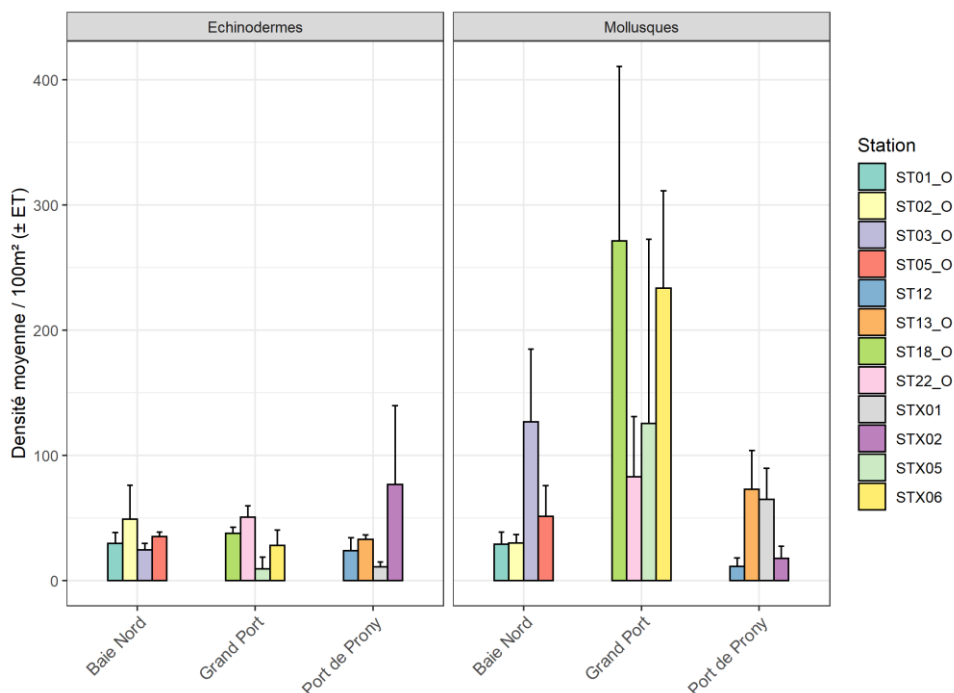
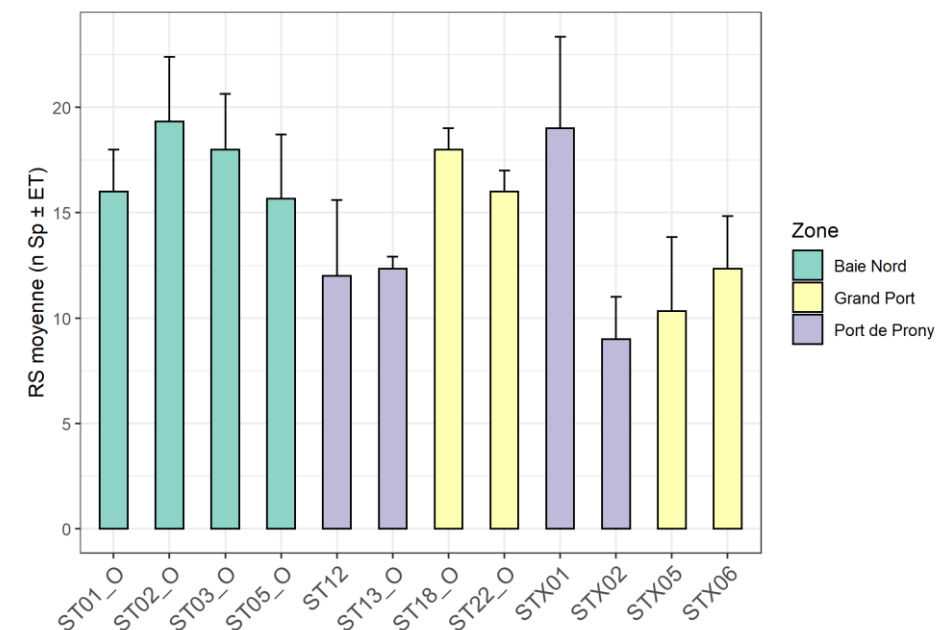
Biomasse
(g/m²)

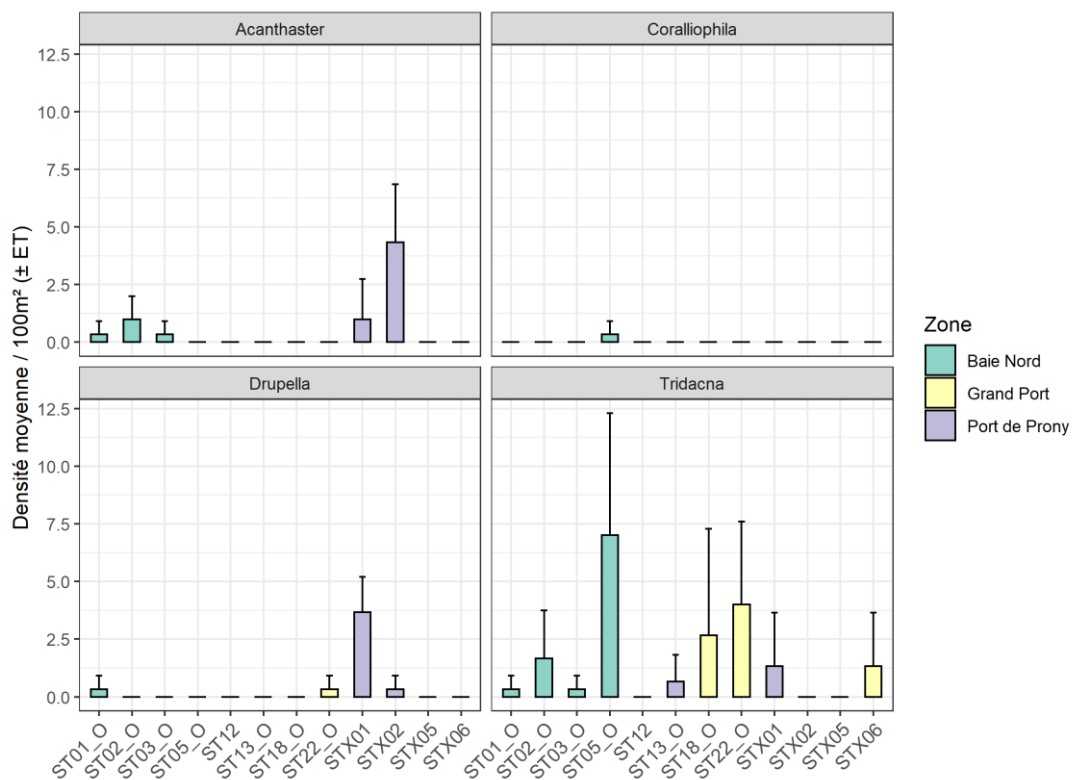
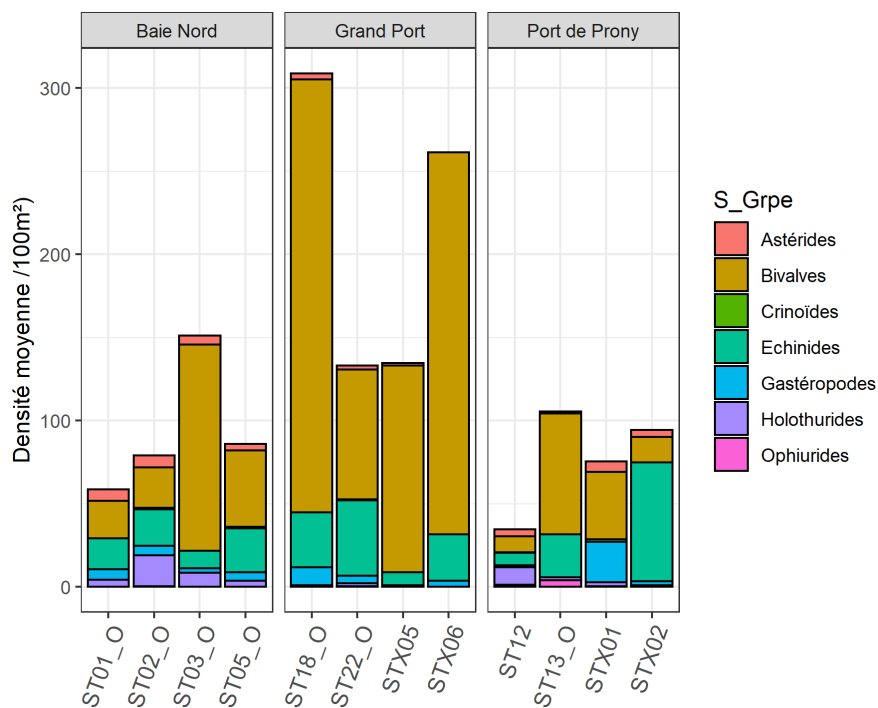
	Baie Kwé				Port-Boisé			
	ST31	ST32	ST33	ST34	ST36	ST37	ST38	ST39
Toutes espèces	52	36	62	66	51	59	40	45
Espèces non-commerciales	37	32	45	49	43	45	31	36
Espèces commerciales	15	4	17	17	8	14	9	9
Herbivores	11	4	19	24	12	23	15	11
Carnivores	20	19	34	31	27	31	16	23
Planctonophages	16	10	8	9	10	4	8	10
Piscivores	5	3	1	2	2	1	1	1
ACANTHURIDAE	3	1	5	6	2	6	4	3
APOGONIDAE	3	1	0	0	0	0	0	0
BALISTIDAE	0	0	0	1	0	0	0	0
BLENNIIDAE	1	2	2	3	3	2	1	1
CAESIONIDAE	3	0	0	0	0	0	1	1
CARANGIDAE	1	0	0	0	0	0	0	0
CENTRISCIDAE	0	1	0	0	0	0	0	0
CHAETODONTIDAE	4	3	3	4	5	6	2	9
CIRRHITIDAE	0	0	1	0	0	0	0	0
GOBIESOCIDAE	0	0	0	0	0	0	0	1
GOBIIDAE	5	6	2	0	3	0	0	0
HOLOCENTRIDAE	0	0	0	1	0	0	0	0
LABRIDAE	4	7	17	18	9	18	9	6
LETHRINIDAE	1	0	0	0	0	0	0	0
LUTJANIDAE	4	0	1	1	2	0	0	0
MICRODESMIDAE	0	1	0	0	1	0	0	1
MONACANTHIDAE	0	0	1	1	0	1	1	1
MUGILOIDIDAE	0	1	2	0	1	0	0	0
MULLIDAE	1	0	2	0	2	1	0	2
NEMIPTERIDAE	1	0	1	1	0	1	1	1
PLESIOPIDAE	1	0	0	0	1	0	0	0
POMACANTHIDAE	2	0	3	3	0	3	2	1
POMACENTRIDAE	12	10	14	17	16	13	11	12
PRIACANTHIDAE	0	0	0	0	0	0	1	0
SCARIDAE	1	1	4	4	1	4	3	2
SCORPAENIDAE	0	0	1	0	0	0	0	0
SERRANIDAE	4	1	2	3	2	2	1	2
SIGANIDAE	1	0	1	2	1	2	1	1
SYNODONTIDAE	0	1	0	0	1	0	0	0
TETRAODONTIDAE	0	0	0	1	1	0	1	1
ZANCLIDAE	0	0	0	0	0	0	1	0

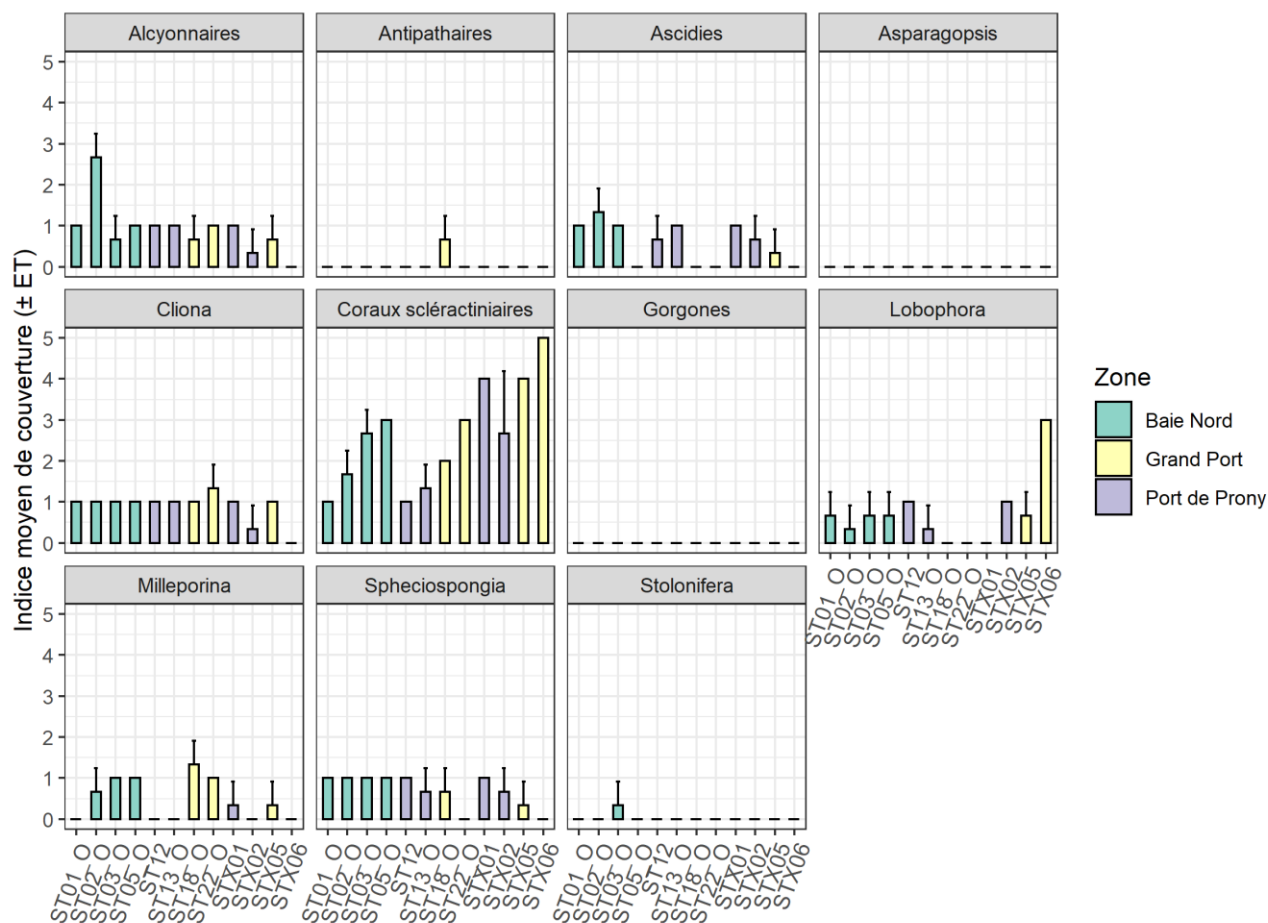
Richesse
spécifique

ANNEXE VI : CARACTÉRISTIQUES DES PEUPELEMENTS MACROBENTHIQUES PAR STATION

DENSITÉ PAR GROUPE, SOUS GROUPE ET RICHESSE SPÉCIFIQUES MOYENNES PAR STATION EN 2021 – SECTEUR DE PRONY







Classes : 0 : absence, 1 : 1-5%, 2 : 6-25%, 3 : 26-50%, 4 : 51-75%, 5 : > 75%

DENSITÉ PAR GROUPE, SOUS GROUPE ET RICHESSE SPÉCIFIQUES MOYENNES EN 2019 & 2021 – SECTEUR DE BKPB

