



OEIL

**Observatoire de
l'environnement**
Nouvelle-Calédonie

Inventaire des communautés récifales de la baie Kwé et baie de Port Boisé. Etat des lieux 2022 et évolution temporelle

Janvier 2023

DEPARTEMENT: Environnement

Dossier n°: 22048



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	30/01/2023	Tom HEINTZ	Nicolas GUILLEMOT	Création du document
2	22/05/2023	Tom HEINTZ	Nicolas GUILLEMOT	Modifications selon les commentaires de Adrien BERTAUD

Citation : Heintz T, Guillemot N (2022) Inventaire des communautés récifales de la baie Kwé et baie de Port Boisé – Etat des lieux 2022 et évolution temporelle. Rapport technique + Annexes : 81pp

SOMMAIRE

RESUME EXECUTIF	8
EQUIPE ET CONDITIONS D'INTERVENTION.....	13
INTRODUCTION	15
MATERIEL ET METHODES.....	17
I. ZONE D'ETUDE ET STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE	18
I.1. <i>Situation générale</i>	18
I.2. <i>Zone d'échantillonnage</i>	19
I.3. <i>Profil des stations</i>	21
II. LIEN AVEC LES ETUDES PRECEDENTES ET BILAN DES DONNEES DISPONIBLES	22
III. CONTEXTE CLIMATIQUE (SOURCE : METEO NC)	23
IV. SUIVI DU SUBSTRAT ET DES COMMUNAUTES CORALLIENNES	26
IV.2. <i>Analyse des données</i>	28
V. SUIVI PHOTO/VIDEO	32
V.1. <i>Photo-quadrats permanents</i>	32
V.2. <i>Vidéo-transects</i>	33
V.3. <i>Photo-transects et autres photos</i>	33
VI. SUIVI DES PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES	34
VI.1. <i>protocoles in situ mis en œuvre</i>	34
VI.2. <i>Caractérisation et description des peuplements ichtyologiques</i>	35
VI.3. <i>Démarche analytique pour l'étude des peuplements ichtyologiques et de leurs variations</i>	38
VII. SUIVI DE LA FAUNE MACROBENTHIQUE DE FONDS DURS.....	40
VII.1. <i>Echantillonnage</i>	40
VII.2. <i>Analyse des données</i>	41
RESULTATS ET DISCUSSION.....	43
I. SUBSTRAT.....	44
I.1. <i>Etat du substrat en 2022</i>	44
I.2. <i>Modélisation de type CI pour la détection de signal d'impact et évolution temporelle</i>	47
II. PHOTO-QUADRATS	52
III. ETAT DE SANTE DES COMMUNAUTES CORALLIENNES	54
III.1. <i>Prévalence de lésions coralliennes en 2022</i>	54
III.2. <i>Modélisation de type CI sur la prévalence de lésions coralliennes entre 2019 et 2022</i>	56
IV. PRESSION SEDIMENTAIRE	59
V. PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES.....	62
V.1. <i>État des lieux en 2022</i>	62
V.2. <i>Modélisation de type CI pour la détection de signal d'impact et évolutions temporelles</i>	67
VI. INVERTEBRES MACROBENTHIQUES	73
VI.1. <i>État des lieux en 2022</i>	73
VI.2. <i>Modélisation de type CI pour la détection de signal d'impact et évolution temporelle</i>	76
CONCLUSION	82
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	84
ANNEXES	89
ANNEXE I : DESCRIPTION ET PLAN DES STATIONS.....	90
<i>Planche photo représentative des stations</i>	106
ANNEXE II : CARACTERISTIQUES DU SUBSTRAT PAR STATION.....	107
<i>Etat des lieux en 2022</i>	107
<i>Evolution temporelle entre 2019 et 2022</i>	109
ANNEXE III : ETAT DE SANTE DES COMMUNAUTES CORALLIENNES	112
<i>Prévalence de lésions coralliennes totales et par famille et par station en 2019 et 2022</i>	112

ANNEXE IV : ESPECES DE POISSONS OBSERVEES LORS DE LA CAMPAGNE DE 2022 ET CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES.....	115
ANNEXE V: DENSITE, BIOMASSE ET RICHESSE SPECIFIQUE DE POISSONS PAR STATION EN 2022	118
ANNEXE VI : CARACTERISTIQUES DES PEUPEMENTS MACROBENTHIQUES PAR STATION	121
<i>Densité par groupe, sous groupe et richesse spécifiques moyennes en 2019, 2021 et 2022.....</i>	<i>121</i>

Liste des illustrations

Figure 1 : Positionnement des stations de suivi	20
Figure 2 : Piquet en Y marquant le départ de la station (gauche), numérotation des piquets. 13 : Transect T01, piquet 3 (droite).....	21
Figure 3 : Trajectoire des différents phénomènes climatiques survenus entre Décembre 2021 et Mai 2022 (source : météo NC).....	24
Figure 4 : Classement des années de 1970 à 2022, établi sur la base des cumuls annuels de précipitations de 9 stations météorologiques de référence réparties uniformément sur la Nouvelle-Calédonie (Source : Météo-France Nouvelle-Calédonie).....	25
Figure 5 : Plongeur effectuant des relevés LIT et maladies	26
Figure 6 : Exemple de quadrat photographique en 2019 (gauche) et 2020 (droite) sur ST31	32
Figure 7 : Déroulement schématisé d'un comptage en plongée selon la méthode des transects à largeur variable (Source : Labrosse et al. 2001).	34
Figure 8 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différents substrats généraux par zone en 2022	45
Figure 9 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes familles coralliennes par zone en 2022	46
Figure 10 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes formes coralliennes par zone 2022	47
Figure 11 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différents substrats généraux par zone du secteur BKPB en 2019 et 2022	48
Figure 12: Evolution du substrat entre 2019 (gauche) et 2021 (centre) et 2022 (droite) sur ST32, ST31 et ST34 en baie Kwé. Augmentation de couverture d'Halimeda sur ST34 entre 2021 (bas-gauche) et 2022 (bas-droite).....	50
Figure 13 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes familles coralliennes par zone 2019 et 2022	51
Figure 14 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes formes coralliennes par zone entre 2019 et 2022	51
Figure 15: Photo-quadrats en 2021 (gauche) et 2022 (droite) sur chaque station de baie Kwé (gauche) et Port Boisé (droite).....	53
Figure 16 : Prévalence de lésions coralliennes (% $\pm$ ET) en 2022. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/éponges, Sed : Sédimentation, Compet_sedi : Compétition/sédimentation indissociables, Compet_sed_tot : somme des lésions liées à sédimentation/prédation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation.....	54
Figure 17 : Prévalence de lésions coralliennes (% $\pm$ ET) par zone et par famille. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/éponges, Sed : Sédimentation, Compet_sedi : Compétition/sédimentation indissociables, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation.....	55
Figure 18 : Prévalence de lésions coralliennes (% $\pm$ ET) par zone en 2019, 2021 et 2022. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/éponges, Sed : Sédimentation, Compet_sedi : Compétition/Sédimentation indissociables, Compet_sed_tot : Somme de toutes les lésions de sédimentation et compétition, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation.....	56
Figure 19 : Prévalence de lésions coralliennes (%) par famille et par zone en 2019, 2021 et 2022. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/éponges, Sed : Sédimentation, Compet_sedi : Compétition/sédimentation indissociables, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation.....	57
Figure 20 : Illustration des lésions coralliennes fréquemment rencontrées : A : Porites totalement blanchi, B : Blanchissement partiel sur Porites, C : Pigmentation rose sur Porites, D : Malformation sur Ctenactis, E : Compétition entre Acropora et des Halimeda, F : sédimentation sur Porites, G : Prédation de poissons perroquet sur Porites, H : Prédation de Drupella sur Acropora.....	58
Figure 21 : Couverture de vase (% $\pm$ ET) par typologie entre 2019 et 2022	59
Figure 22 : Prévalence de lésions coralliennes liées à la sédimentation/compétition (% $\pm$ ET) par typologie entre 2019 et 2022	60
Figure 23 : Compétition entre Halimeda et coraux sur ST36 (gauche) et ST33 (bas droite) en 2022 reflétant globalement l'état général des colonies coralliennes sur les stations de sorties de baie	60
Figure 24 : Couche d'eau saumâtre chargée en surface de ST33 (baie Kwé) en Octobre 2022	61
Figure 25 : Densité détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux zones en 2022. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type.....	63

Figure 26 : Biomasse détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux zones en 2022. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type.....	65
Figure 27 : Richesse spécifique détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux zones en 2022. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type.....	66
Figure 28 : Variations temporelles des paramètres de densité entre 2019 et 2022, 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 : Écart-Type.....	70
Figure 29 : Variations temporelles des paramètres de biomasse entre 2019 et 2022, 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 : Écart-Type.....	71
Figure 30 : Variations temporelles des paramètres de richesse spécifique entre 2019 et 2022, 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 : Écart-Type.....	72
Figure 31 : Richesse spécifique ($\pm$ ET) par zone en 2022.....	73
Figure 32 : Densité moyenne ($/100\text{m}^2 \pm$ ET) d'échinodermes et de mollusques par zone.	74
Figure 33 : Densité moyenne ($/100\text{m}^2 \pm$ ET) de chaque sous groupe par zone.	74
Figure 34 : Densité moyenne ($/100\text{m}^2 \pm$ ET) de genres remarquables par zone 2022.....	75
Figure 35: Indice moyen de couverture ($\pm$ ET) pour les groupes taxonomiques coloniaux par zone.	76
Figure 36 : Richesse spécifique (n espèces $\pm$ ET) par zone entre 2019 et 2022	77
Figure 37 : Densité par groupe ($/100\text{m}^2 \pm$ ET) par zone entre 2019 et 2022.....	78
Figure 38 : Densité par sous-groupe ($/100\text{m}^2 \pm$ ET) par zone entre 2019 et 2022	79
Figure 39 : Densité de genres remarquables ($/100\text{m}^2 \pm$ ET) par zone entre 2019 et 2022	80
Figure 40 : Evolution de l'indice de couverture d'invertébrés coloniaux ($\pm$ ET) entre 2019 et 2022 par zone	81

Liste des tableaux

Tableau 1 : Planning et conditions d'échantillonnage	14
Tableau 2 : Liste des stations de suivi – Baie Kwé et Port Boisé, coordonnées GPS du piquet de départ de la station (Lambert NC) et caps des transects (°)	19
Tableau 3 : Catégories de substrat retenues pour l'échantillonnage en LIT (English et al. 1997)	27
Tableau 4 : Regroupement de catégories réalisé pour l'analyse des données du LIT	29
Tableau 5 : Types de variables utilisés pour la caractérisation, l'analyse et la modélisation des peuplements ichtyologiques et de leurs variations spatio-temporelles.....	37
Tableau 6 : Liste des espèces d'invertébrés coloniaux et classes de recouvrement. Un schéma issu de Clua et al. (2006) représente des classes de recouvrement semblables à celles utilisées ici	40
Tableau 7 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) pour chaque type de substrat sur les données de couverture transformées (racine carrée) en 2022. NS : Non significatif, * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$	46
Tableau 8 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne×Zone) pour chaque type de substrat sur les données de couverture transformées (racine carrée). NS : Non significatif, * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$	49
Tableau 9 : Evolution de l'état de santé des colonies coralliennes dans les quadrats des stations entre 2019-2021 et 2021-2022.	52
Tableau 10 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) sur les prévalences de lésions coralliennes transformées (racine carrée) en 2022	55
Tableau 11 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne et Zone) sur les prévalences de lésions coralliennes transformées (racine carrée) en 2022	57
Tableau 12 : Niveaux moyens de densité, de biomasse et de richesse spécifique observés en 2022 dans chacune des deux zones. Les écart-types pour les moyennes sont fournis entre parenthèses.	62
Tableau 13 : Résultats détaillés des analyses testant la significativité des différences des paramètres ichtyologiques entre les deux zones. NS : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$	67
Tableau 14 : 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 $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$	69
Tableau 15 : 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, ** : $p < 0,01$	73
Tableau 16 : 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 $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$	77

RESUME EXECUTIF

L'OEIL (Observatoire de l'Environnement en Nouvelle Calédonie) a missionné SOPRONER pour la réalisation d'une campagne de suivi des communautés récifales des Baies Kwé et de Port Boisé en Octobre 2022.

Contexte et historique

Cette campagne intervient à la suite de campagnes réalisées sur les mêmes 8 stations, dans une configuration différente en 2011, 2013 et 2014, et dans une configuration identique plus robuste en 2019 et 2021. En effet, afin d'améliorer la probabilité de détection d'impact, l'étude est dorénavant ciblée sur le haut du tombant depuis 2019 avec une réplique de 3 transects sur cet habitat au sein de chaque station. Les stations suivies complètent le réseau de suivi réglementaire de PRNC (Prony Ressources 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 2022. Des quadrats photographiques permanents ont également été échantillonnés une troisième fois en 2022.

Substrat

La campagne de 2022 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 proche de 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 2022, aucun signal d'impact n'est détecté statistiquement sur les substrats coralliens totaux, par famille et par formes. La diminution de couverture corallienne observée en baie Kwé entre 2019 et 2021 (-12%), principalement liée aux Acroporidae et aux deux stations de fond de baie, ne montre pas de signe franc de récupération bien qu'une légère croissance corallienne soit relevée entre 2021 et 2022. La pression sur le milieu marin, liée aux fortes pluies (désalure/sédimentation) générées/accrues par le phénomène la Ninã entre 2019 et 2021, a en effet été maintenue entre 2021 et 2022, n'apportant pas les meilleures conditions pour une récupération des récifs frangeants. En sortie de baie, une évolution neutre à positive de la couverture corallienne est observée sur les stations de baie Kwé, alors qu'une tendance plus positive est relevée en sortie de baie de Port Boisé. L'analyse des quadrats confirme globalement la tendance observée sur le LIT.

Concernant les autres substrats, la couverture d'algues (turf, macroalgues, assemblages) suit globalement l'évolution inverse de la couverture corallienne dans chaque baie, avec notamment une augmentation de couverture en baie Kwé entre 2019 et 2021, suivie d'une absence d'évolution entre 2021 et 2022. Une légère augmentation de la couverture d'Halimeda est observée en baie de Port Boisé, sur la totalité des stations, et sur une unique station en sortie de baie kwé (ST34).

Photo-quadrats

Le bilan réalisé sur les 10 photo-quadrats par station entre 2021-2022 illustre la tendance observée sur le substrat par LIT, avec une tendance neutre à légèrement positive sur les colonies impactées entre 2021 et 2022 en fond de baie Kwé, à la suite de la forte dégradation observée entre 2019 et 2021. En sortie de baie Kwé, les colonies coralliennes montrent d'avantage de croissance et d'évolution neutre entre 2021 et 2022. En baie de port Boisé, la croissance corallienne et l'absence d'évolution dominant, bien que de la dégradation partielle voir totale soit observée sur quelques quadrats, principalement en fond de baie.

Etat de santé des coraux scléractiniaires

La campagne de 2022 montre l'absence de maladies coralliennes communes de l'Indo-Pacifique dans chacune des zones et une très faible prévalence de malformations coralliennes. Les lésions de sédimentations dominent en baie Kwé (36%), sur les deux stations de fond de baie principalement, alors que celles liées à la compétition dominent en baie de Port Boisé (46%). Dans cette baie, la totalité des stations sont touchées par la compétition avec des algues ou des sédiments, à des proportions comprises entre 30% et 75%. Les autres types de lésions restent très faibles (<1,5%) avec toutefois des lésions de prédation localisées, liées principalement aux *Drupella*.

En termes d'évolution entre 2019 et 2022, aucun signal d'impact statistique n'est observé sur la prévalence de chaque type de lésions. La forte augmentation de la prévalence de lésions liées à la sédimentation/compétition dans les deux zones observée entre 2019 et 2021 est stabilisée en 2022 avec des prévalences proches de 50% (Port Boisé) et 70% (Kwé) en 2021/2022. L'étude des lésions par famille montre que la majorité des familles est touchée par les lésions de compétition/sédimentation chaque année. Les autres types de lésions ne montrent pas d'évolutions particulières à l'exception des lésions de prédation dont l'occurrence a diminué entre 2021 et 2022 sur les stations sujettes à invasions localisées de *Drupella* en 2021.

Pression sédimentaire

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 combinée de ces deux variables semble indiquer une pression sédimentaire d'origine terrigène toujours plus importante en baie Kwé qu'en baie de port Boisé, qui semble apporter des particules fines lors d'événements pluvieux influençant la couverture de vase et la mortalité (totale et/ou partielle) des coraux en fond de baie. Toutefois, entre 2021 et 2022 et bien que maintenue par les forts événements pluvieux liés à la *Ninã*, cette pression sédimentaire ne semble pas avoir impacté d'avantage l'état de santé des récifs du fond de baie Kwé, déjà fortement dégradés en 2021 notamment sur ST32 (couverture corallienne quasi nulle).

En baie de port Boisé, on observe davantage de compétition avec les algues/*Halimeda* que de lésions liées à la sédimentation. Une dégradation globale de la qualité de l'eau dans les deux baies avait été avancée en 2021, pouvant favoriser le développement de ce type d'algues rentrant potentiellement en compétition avec les coraux. Dans ce sens, on rappelle que la baie de Port Boisé n'est pas dénuée d'influence minière, malgré son statut de zone de contrôle, 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 Kwé¹. La distinction des lésions de sédimentations de celles de compétition quand réalisable, effectuée en 2022 sera poursuivie lors des prochaines campagnes et permettra ainsi d'affiner cette tendance sur une série de données plus longue.

Ichtyofaune

La stratégie d'échantillonnage mise en place en 2019 permet désormais de disposer d'une série de données de trois campagnes à protocole identique et complet, offrant 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 sur le secteur de Baie Kwé/Port Boisé. À ce titre, les modélisations CI n'ont présenté qu'une rare significativité du facteur d'interaction « Campagne x Zone » (24 cas non-significatifs sur 27 cas testés²) indiquant des profils de

¹ Moreton et al. (2020): <https://oeil.nc/cdm/index.php/resource/bibliographie/view/30473>

² 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,

variations majoritairement similaires 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 suggèrent pas de dégradation de l'ichtyofaune récifale dans la zone sous influence potentielle de PRNC sur la période suivie.

Ces résultats peuvent être mis en parallèle des résultats obtenus concernant les habitats coralliens, étant donné leurs liens forts avec l'ichtyofaune récifale. En cohérence avec le diagnostic ichtyofaunistique, les caractéristiques des habitats locaux et notamment le recouvrement corallien n'ont pas montré de signal d'impact significatif dans ce secteur entre 2019 et 2022.

Plus généralement, si trois campagnes constituent une série analysable, celle-ci reste courte au regard de la complexité des variations des écosystèmes récifaux et notamment de son ichtyofaune, la poursuite du suivi avec une quatrième campagne permettra de disposer d'un meilleur recul pour examiner la trajectoire de l'ichtyofaune récifale dans la sphère d'influence de PRNC.

Invertébrés

La campagne de 2022 montre une diversité totale d'invertébrés légèrement supérieure en baie de Port Boisé qu'en baie Kwé. Les densités de mollusques sont similaires dans les deux baies, avec une dominance des bivalves. Celle d'échinodermes est plus faible que celles de mollusques dans chaque baie, et elle est significativement supérieure en baie de Port Boisé qu'en baie Kwé, avec une contribution de 3 sous-groupes à cette tendance : les Astérides, Echinides, Holothurides. Parmi les genres remarquables, aucune invasion d'Acanthasters 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 et coraux de feu. Les indices de couverture de coraux mous (*Alcyonnaires*), de coraux de feu (*Milleporina*) et de *Lobophora* sont supérieurs en baie de Port Boisé qu'en baie Kwé.

En termes d'évolution entre 2019 et 2022, aucun signal d'impact statistique n'est détecté sur la diversité totale ou les densités d'échinodermes et de mollusques. La légère diminution de densité d'échinodermes observée entre 2019 et 2021 dans chaque zone, liée aux Astérides, s'est stabilisée en 2022. Les Mollusques montrent eux une évolution en dent de scie avec un maximum en 2021 et une contribution majeure des Gastéropodes dans la tendance observée. Les stations de sortie de chaque baie contribuent majoritairement à cette variation, ainsi que le genre *Drupella*. Concernant les genres remarquables, les densités de chaque genre restent très faibles chaque année depuis 2019, à l'exception des *Drupella* dont les invasions localisées enregistrées en 2021 (ST34, ST38 et ST39) sont toujours présentes en 2022, en densité moins importante.

Concernant les organismes coloniaux, les évolutions observées pour les coraux scléractiniaires et coraux de feu (*Milleporina*) restent à relativiser car elles ne suivent pas la tendance observée par le LIT, méthode restant à privilégier pour suivre les couvertures d'organismes coloniaux. La plupart de ces organismes montrent de faibles couvertures chaque année dans chaque baie (hors scléractiniaires et *Milleporina*). On notera une légère augmentation de couverture de *Lobophora* (macroalgues) depuis 2019 en baie de Port Boisé.

Conclusion

La modélisation de type Contrôle/Impact réalisée sur les différents compartiments entre 2019 et 2022 montre l'absence de signal d'impact significatif lié aux activités de PRNC sur cette période. Toutefois et après une dégradation des habitats coralliens observée sur les stations de fond de baie Kwé entre 2019 et 2021, aucun signe franc de récupération n'est observé en 2022, bien qu'une légère croissance corallienne soit relevée sur certaines stations. La pression sur le milieu

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.

marin, liée aux fortes pluies (désalure/sédimentation) générées par le phénomène la Ninã depuis 2020, n'apporte en effet pas les meilleures conditions pour une récupération des récifs frangeants. Cette pression sédimentaire ne semble toutefois pas avoir impacté d'avantage l'état de santé des récifs entre 2021 et 2022, la prévalence des lésions coralliennes liée à la sédimentation /compétition avec les algues confirmant cette tendance à la stabilité dans les deux baies entre 2021 et 2022. En parallèle, la distinction des lésions de sédimentation de celles liées à la compétition avec les algues, réalisée en 2022 lors de l'échantillonnage, montre que les premières dominant en baie Kwé alors que les secondes dominant en baie de port Boisé. Cette tendance semble confirmer une pression sédimentaire supérieure en baie Kwé, sans toutefois que le statut de contrôle de la baie de Port Boisé ne lui offre des conditions physico-chimiques parfaites. On rappelle dans ce sens 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.

Les résultats de ce rapport confirment 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, incident industriel).

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 ichthyologiques, et l'interprétation des données ichthyologiques.

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

Antoine TEITELBAUM : Gérant de la société Aquarium Fish et taxonomiste des poissons. 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	Profondeur (m)	Vent (nœuds/direction)	météo	Visibilité
19/10/2022	ST38	4	10/SE	beau	7m
19/10/2022	ST31	2,5	15/SE	beau	4m
20/10/2022	ST32	3	15/SE	beau	3m
20/10/2022	ST34	3	15/SE	beau	10m
20/10/2022	ST33	3	15/SE	gris/pluie	8m. 1,5m d'eau saumâtre rouge en surface
21/10/2022	ST36	3	15/SE	gris/pluie	10m
21/10/2022	ST37	2	15/SE	gris/pluie	10m
21/10/2022	ST39	3	15/SE	gris/pluie	6m

INTRODUCTION

L'Observatoire de l'Environnement en Nouvelle Calédonie (OEIL) a missionné SOPRONER pour la réalisation d'un état des lieux des communautés récifales dans la baie Kwé et la baie de Port Boisé en 2022.

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

En baie Kwé (BK) et baie de Port Boisé (BPB): en 2011³, 2013⁴, 2014⁵, 2019⁶, 2022⁷ 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 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 2015⁸. 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 :

- Entretenir le réseau de 8 stations implantées en baie de Port Boisé et baie Kwé en 2019 ;
- Réaliser un état des lieux pour caractériser les communautés récifales dans ces deux baies en 2022 ;
- Evaluer quantitativement et statistiquement l'évolution de ces communautés au sein des baies Kwé et de Port Boisé (BKPB) entre 2019 et 2022 ;
- Discuter l'évolution de l'état de santé des deux baies (Kwé et Port Boisé) au regard de facteurs naturels et anthropiques influençant les caractéristiques écologiques des récifs.

³ Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/2469>

⁴ Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/5688>

⁵ Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/10153>

⁶ Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/29881>

⁷ Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/30556>

⁸ 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.

MATERIEL ET METHODES

I. ZONE D'ÉTUDE ET STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

I.1. SITUATION GÉNÉRALE

La zone d'étude concerne la baie Kwé et la baie de Port Boisé, situées au sud de la Nouvelle-Calédonie (Figure 1).

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.2. ZONE D'ÉCHANTILLONNAGE

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, coordonnées GPS du piquet de départ de la station (Lambert NC) et caps des transects (°)

Baie	Zone	Station	Prof.	Cap T1	Cap intervalle	Cap T2	Cap intervalle	Cap T3
Baie Kwé	Impact potentiel	ST31	2m	150	140	130	140	150
		ST32	2m	135	120	160/150/160/170	120	180
		ST33	2m	175	175	175	175	170
		ST34	2m	90	120	120	130	120
Baie Port Boisé	Contrôle	ST38	3,5m	120	110	120	120	110
		ST39	3m	160	140	130	150	140
		ST36	2m	265	265	260/260/330/330	10	60
		ST37	2m	240/240/240/280	280	240/250	240	210

Les plans de stations sont disponibles en Annexe I.

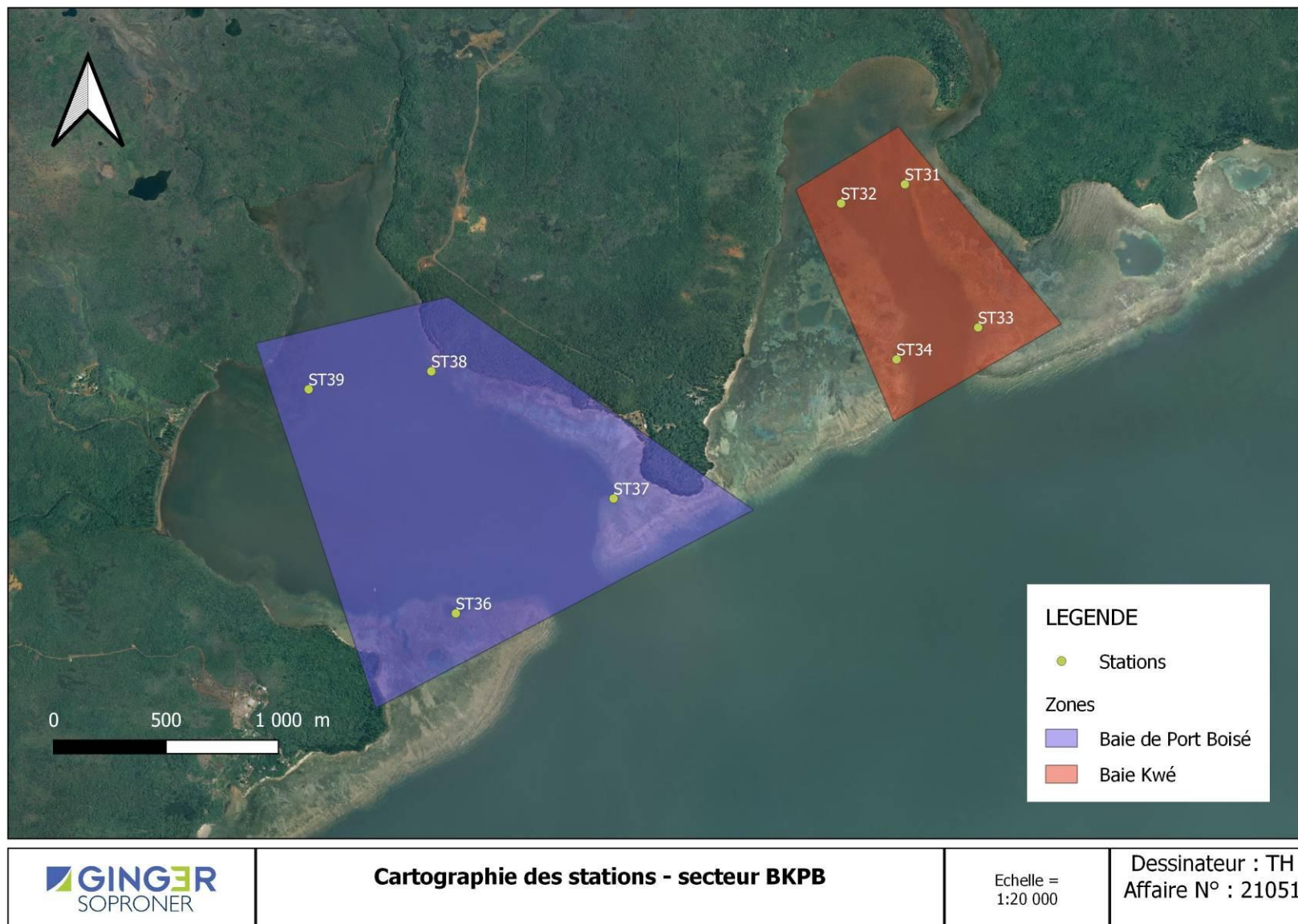


Figure 1 : Positionnement des stations de suivi

I.3. PROFIL DES STATIONS

Sur chaque station, le point GPS fournit (Tableau 2) 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.

En 2022, les stations étaient globalement en bon état avant leur reconstruction, car elles sont suivies et entretenues chaque année depuis 2021. Environ 30% des piquets et étiquettes ont été remplacés.



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

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 (Sarramégna 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.

En 2022, la même structure de diagnostic est réalisée, en se basant uniquement sur une comparaison temporelle robuste basée sur la stratégie d'échantillonnage mise en place en 2019 :

- Une comparaison temporelle, entre 2019 et 2022, 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.

III. CONTEXTE CLIMATIQUE (SOURCE : METEO NC)

La saison cyclonique 2021-2022 s'est déroulée durant un épisode La Niña, ce qui est synonyme pour le Pacifique sud-ouest de conditions plus chaudes et plus humides que la normale.

L'activité cyclonique sur l'ensemble du bassin Pacifique sud-ouest a été marquée par 8 phénomènes entre décembre 2021 et mai 2022, contre 9,8 habituellement en moyenne (Figure 3).

Décembre 2021 : RUBY effectue son déplacement sur les terres le long de la côte Est, ce qui est défavorable à son renforcement : elle restera ainsi au stade de dépression tropicale forte et sa faible étendue a limité les conséquences des vents les plus destructeurs. Toutefois, une vaste bande pluvieuse a apporté des pluies sur le pays avant même que le centre du système ne nous impacte.

Entre fin décembre et mi-janvier : Trois phénomènes (SETH, CODY et TIFFANY) sont passés à suffisamment de distance de la Nouvelle-Calédonie pour éviter des impacts notables.

Février 2022 : DOVI se structure et devient une dépression tropicale modérée entre les îles Loyauté et le Vanuatu puis sa trajectoire passe au sud de Mare puis sur l'Île des Pins, au sud immédiat de la Grande Terre. DOVI devient cyclone juste après son passage sur la Nouvelle-Calédonie.

Entre fin février et début mars 2022 : une dépression tropicale faible a circulé au voisinage de la Nouvelle-Calédonie, provoquant d'importants cumuls de pluies, notamment aux îles Loyauté et sur le sud de la Grande Terre. Cette dépression s'est renforcée brièvement après son passage dans nos eaux et a été nommée EVA. Le système d'alerte cyclonique n'a pas été déclenché pour ce phénomène.

Début avril : la perturbation tropicale FILI se forme à environ 500 km dans le nord-est de Poingam et suit une route vers le sud-ouest tout en se creusant. FILI atteint son maximum d'intensité en devenant dépression tropicale forte et passe au plus près de la Nouvelle-Calédonie à 85 km à l'ouest de Koumac avec des vents établis à 115 km/h près du centre. FILI poursuit sa route le long de la Côte Ouest de la Grande-Terre tout en s'en éloignant progressivement du pays et en perdant en intensité. Les pluies arrosent abondamment tout le pays durant cette période.

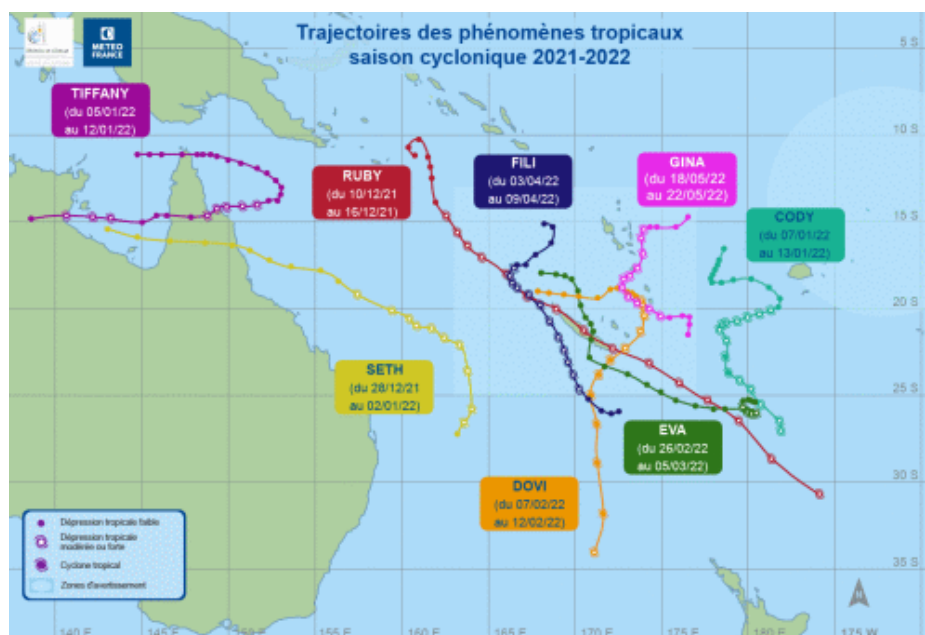


Figure 3 : Trajectoire des différents phénomènes climatiques survenus entre Décembre 2021 et Mai 2022 (source : météo NC)

Le bilan pluviométrique de la Nouvelle-Calédonie en 2022 est supérieur à la normale 1991-2020. Le cumul annuel moyen sur le pays s'établit à **2 570 mm** environ, soit environ **70 % de plus** que la valeur de référence. L'année 2022 devient ainsi l'année la plus pluvieuse jamais mesurée en Nouvelle-Calédonie (Figure 4).

En 2022, les cumuls annuels de pluie s'échelonnent entre 1 422 mm à la station Phare Amédée (Nouméa) et 5 022 mm à la station Goro Ancienne Pépinière (station PRNC située à Yaté).

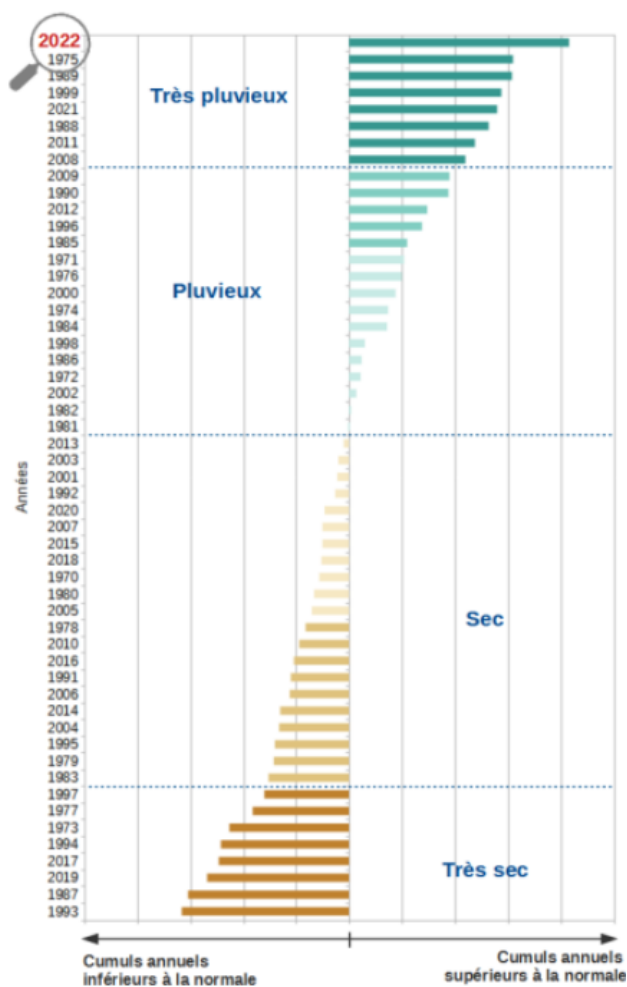


Figure 4 : Classement des années de 1970 à 2022, établi sur la base des cumuls annuels de précipitations de 9 stations météorologiques de référence réparties uniformément sur la Nouvelle-Calédonie (Source : Météo-France Nouvelle-Calédonie)

IV. SUIVI DU SUBSTRAT ET DES COMMUNAUTES CORALLIENNES

Les méthodologies d'échantillonnage des différents compartiments sont restées strictement identiques entre 2019 et 2022 à l'exception de l'échantillonnage des lésions coralliennes. Les lésions de sédimentation/compétition ont été dissociées quand cela était possible en 2022, afin de quantifier plus précisément la pression sédimentaire sur les coraux (cf IV.1.2) 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.

IV.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 5). Les catégories définies par English et al. (1997) ont été retenues pour caractériser la nature du substrat sous le ruban (Tableau 3).



Figure 5 : 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 3 : 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	

IV.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
- Lésion liée à compétition avec les algues ou autres organismes (éponges etc.)
- Lésion liée à la sédimentation/compétition avec les algues ne permettant pas une distinction précise entre ces deux perturbations
- Maladie corallienne (White syndrome, Black band disease, Skeletal eroding band, Brown band disease, Black death, Ulcerative white spots, cf Beeden et al. 2008)

IV.2. ANALYSE DES DONNÉES

D'un point de vue général, les données sont décrites par zone. 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.

IV.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 morts (absence de polypes vivants)
- Coraux blanchis (présence de polypes vivants)
- Coraux mous
- Autre faune
- Algues calcaires
- Corail de feu (millepora)
- Cyanobactéries
- Phanérogames
- Macro-algues/Assemblages (>5cm)
- Turf algaire
- Coraline
- Substrat abiotique

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) et par famille corallienne.

L'analyse sur le substrat est réalisée selon trois types de regroupements (Tableau 4).

Tableau 4 : 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
Macro-algues/assemblages	Corail digité		Non-Acroporidae
Algues calcaires Halimeda	Corail encroûtant		
Autre faune	Corail foliaire		
Corail millepora	Corail massif		
Corail mort récemment	Corail millepora		
Coraline	Corail solitaire		
Coraux scléractiniaires	Corail sub-massif		
Coraux mous	Corail tabulaire		
Cyanobactéries	Coraux mous		
Turf algaire			

IV.2.1.1. Etat des lieux 2022

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.

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.

IV.2.1.2. Comparaison à des sites de la région en 2022

En 2019 et 2021, certaines variables sur le substrat (couverture corallienne) et le macrobenthos (densité d'invertébrés cibles) obtenues sur les stations du présent suivi ont été comparées à celles des stations des suivis participatif RORC (Réseau d'Observation des Récifs Coralliens) et ACROPORA de la région pour une même campagne. Cette analyse permettait ainsi de comparer l'état écologique des stations de ce présent suivi aux stations environnantes, bien que les méthodologies de suivi soient quelque peu différentes.

En 2022, aucune nouvelle donnée n'ayant été récoltée sur les stations de ces deux réseaux participatifs, cette comparaison n'est pas réalisée.

IV.2.1.1. Evolution temporelle entre 2019 et 2022

La stratégie d'échantillonnage mise en place sur ce secteur en 2019 permet 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 Zone) 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 Zone » 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 Zone ».

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.

IV.2.2. Suivi des communautés coralliennes

IV.2.2.1. Etat de santé des colonies coralliennes en 2022

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

Pour la prévalence de chaque type de lésions, une analyse comparative entre zone a été réalisée. 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 (Zone) 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.

IV.2.2.2. Evolution des prévalences de lésions coralliennes entre 2019 et 2022

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 statistiques réalisées sont identiques à celles du LIT.

V. 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 et 2021.

V.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.

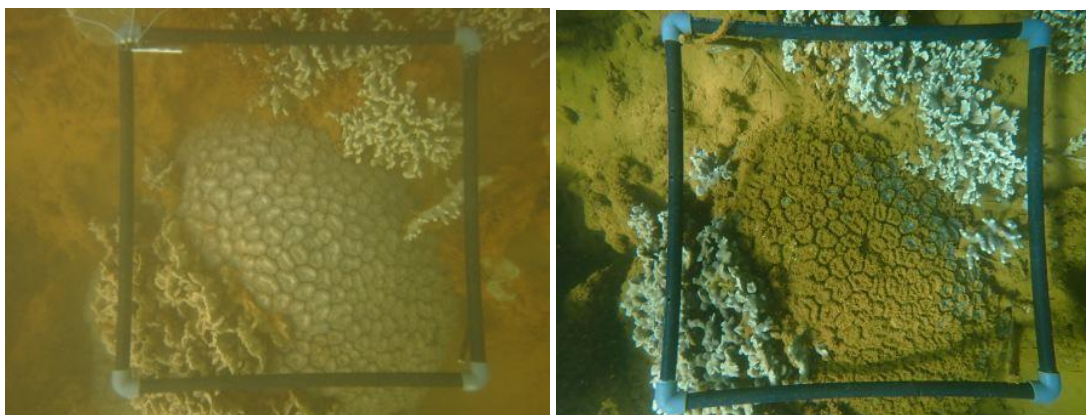


Figure 6 : Exemple de quadrat photographique en 2019 (gauche) et 2020 (droite) sur ST31

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

Une analyse de l'évolution de l'état de santé des colonies coralliennes présentes dans ces quadrats est proposée par station dans une partie dédiée (Résultats, partie II.) :

Pour chaque station et chaque couple d'année (2019-2021, 2021-2022), 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 6)
- Dégradation totale (colonies mortes)

Dans le cas de la présence de plusieurs colonies de taille variable au sein du quadrat, la tendance d'évolution globale évaluée par l'observateur est renseignée.

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.

V.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.

V.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.

VI. SUIVI DES PEUPELEMENTS ICTHYOLOGIQUES

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 2022 ;
- 2) Les méthodes de traitements et d'analyses statistiques utilisées en vue d'étudier les caractéristiques et les évolutions de l'ichtyofaune locale.

VI.1. PROTOCOLES *IN SITU* MIS EN ŒUVRE

VI.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 7) :

- 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.

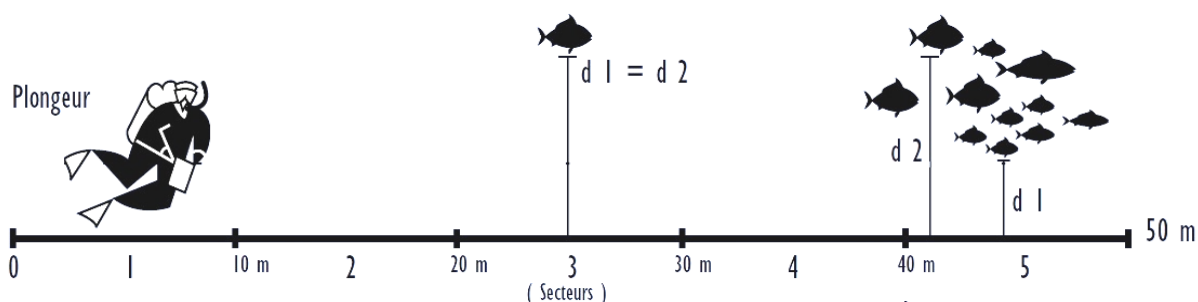


Figure 7 : Déroulement schématique d'un comptage en plongée selon la méthode des transects à largeur variable (Source : Labrosse *et al.* 2001).

VI.2. CARACTÉRISATION ET DESCRIPTION DES PEUPELEMENTS ICTHYOLOGIQUES

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.

VI.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 & Sarraemegna 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 :

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

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.

VI.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 5 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 2022, 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.

Il convient enfin de noter que lors des estimations de densité et de biomasse, certaines observations ponctuelles sont écartées des calculs en raison du très forts biais d'estimation qu'elles auraient induit, faussant la recherche de signaux de perturbation de l'ichtyofaune. Il s'agit généralement des requins et raies occasionnellement observés, dont l'occurrence sur un transect reste très aléatoire au moment du comptage et perturbe notamment les diagnostics en biomasse. Pour la campagne 2022, seules trois observations ont été écartées des calculs sur l'ensemble du réseau de suivi :

- Deux observations de *Triaenodon obesus* sur ST34 ;
- Une observation de *Triaenodon obesus* sur ST36.

Tableau 5 : Types de variables utilisés pour la caractérisation, l'analyse et la modélisation des peuplements ichthyologiques 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	

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

VI.3.1. Approche analytique générale

Le plan d'échantillonnage mis en place en 2019, puis reconduit à l'identique en 2021 et présentement en 2022 permet désormais d'aborder une série temporelle de trois ans 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 2022 a pu reposer sur les travaux suivants :

- 1) Caractérisation de l'ichtyofaune observée en 2022 et comparaison statistique des peuplements présents entre les deux zones ;
- 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) ;

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.

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[®].

VI.3.2. Comparaison spatiale de l'ichtyofaune entre zones en 2022

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.

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 utilisées (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).

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

VI.3.3. Modélisations CI pour une recherche de signaux d'impact sur la période 2019-2022

De même que pour les autres compartiments biologiques, la détection de signaux d'impact sur des peuplements ichthyologiques 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 Zone ») 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*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 :

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

Pour chacune des 27 variables ichtyologiques considérées (Tableau 5), des modèles de ce type ont été construits puis exécutés sur la base des données historiques 2019-2022. 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 x 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.

VII. SUIVI DE LA FAUNE MACROBENTHIQUE DE FONDS DURS

VII.1. ECHANTILLONNAGE

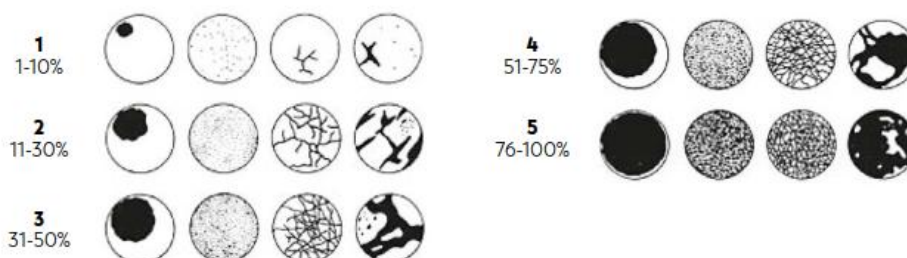
L'inventaire des macro-invertébrés benthiques a pour objectif de caractériser les communautés benthiques au sein de chaque station de suivi. Certains invertébrés coloniaux ont également été inventoriés via l'évaluation de leur taux de recouvrement des fonds.

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 6.

Tableau 6 : Liste des espèces d'invertébrés coloniaux et classes de recouvrement. Un schéma issu de Clua et al. (2006) représente des classes de recouvrement semblables à celles utilisées ici

Cnidaires	Coraux scléractiniaires	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>		



VII.2. ANALYSE DES DONNÉES

VII.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 (cf Annexe VI):

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

Acanthaster	Coralliophila	Drupella	Tridacna
Etoile de mer responsable de la destruction de nombreux récifs dans la région Indo-Pacifique	Gastéropode corallivore de la famille des Coralliophilidae	Gastéropode corallivore de la famille des Muricidae. Se regroupe en forte densité et peut impacter de larges surfaces de corail	Bénitier inscrit sur l'annexe II de la liste CITES
			

VII.2.1.1. Etat des lieux 2022

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.

Afin d'apprécier la significativité des différences observées entre zones 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.

VII.2.1.2. Evolution temporelle entre 2019 et 2022

La stratégie d'échantillonnage mise en place sur ce secteur en 2019 permet 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 VI.3.3.

RESULTATS ET DISCUSSION

I. SUBSTRAT

I.1. ETAT DU SUBSTRAT EN 2022

Les couvertures de substrat observées en 2022 montrent globalement une forte similarité entre baies dans le secteur BKPB.

La couverture corallienne est proche de 20% dans les deux baies. Parmi les familles et formes de coraux scléractiniaires présentes, aucune différence significative n'est observée entre les deux baies à l'exception des coraux solitaires (Fungidae) présents à très faible couverture mais plus représentés en baie de Port Boisé. 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). Parmi les familles et formes coralliennes, les coraux solitaires (famille Fungidae) sont significativement plus présents en baie de Port Boisé, alors que la couverture des coraux massifs est supérieure en baie Kwé.

Le corail de feu présente une couverture significativement supérieure en baie Kwé que Port Boisé, tout en restant relativement faible dans les deux baies (6,3% et 3,4% respectivement).

La couverture de coraux mous est significativement supérieure à Port Boisé (1,8%) qu'en baie Kwé, celle-ci étant nulle dans cette dernière baie. Les autres substrats ne montrent pas de différences significatives entre zones.

Si la couverture de macro-algues et d'assemblages d'algues est inférieure à 10% dans chaque zone, avec une légère supériorité en baie de Port Boisé, celle de turf est largement supérieure en baie Kwé (13%) que Port Boisé (<1%), et cette différence est significative.

Ainsi, les couvertures des différents substrats montrent un design d'échantillonnage équilibré entre les deux zones, avec peu de différences marquées.

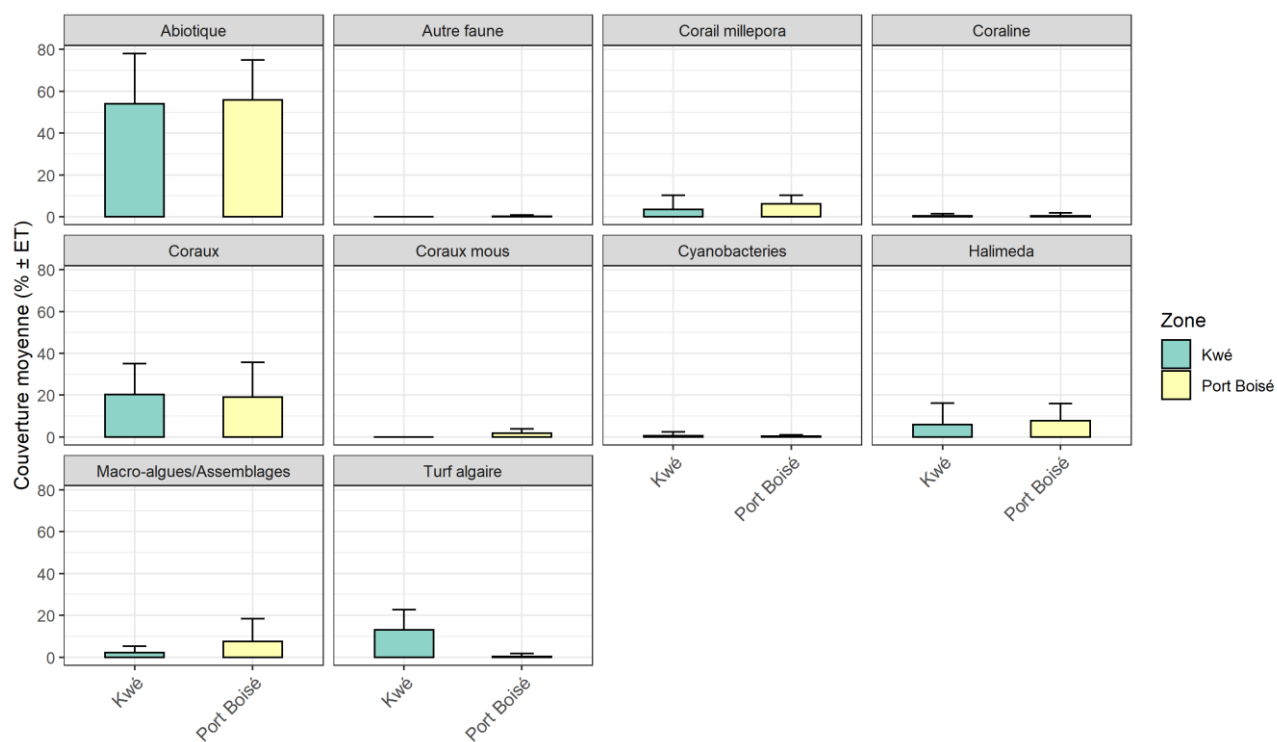


Figure 8 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET⁹) des différents substrats généraux par zone en 2022

⁹ ET : Ecart-type

Tableau 7 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) pour chaque type de substrat sur les données de couverture transformées (racine carrée) en 2022. NS : Non significatif, * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; * : $p < 0,001$**

Substrat	p value	Post hoc
Abiotique	NS	
Macro-algues/Assemblages	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
Turf algaire	***	Baie Kwé > Port Boisé
Cyanobactéries	NS	
Acroporidae	NS	
Agariciidae	NS	
Alcyoniidae	***	Port Boisé > Baie Kwé
Dendrophyllidae	NS	
Euphyllidae	NS	
Fungiidae	**	Port Boisé > Baie Kwé
Incertae sedis	NS	
Lobophyllidae	NS	
Merulinidae	NS	
Milleporidae	NS	
Pocilloporidae	NS	
Poritidae	NS	
Corail branchu	NS	
Corail digité	NS	
Corail encroûtant	NS	
Corail foliaire	NS	
Corail massif	*	Port Boisé < Baie Kwé
Corail millepora	NS	
Corail solitaire	**	Port Boisé > Baie Kwé
Corail sub-massif	NS	
Corail tabulaire	NS	

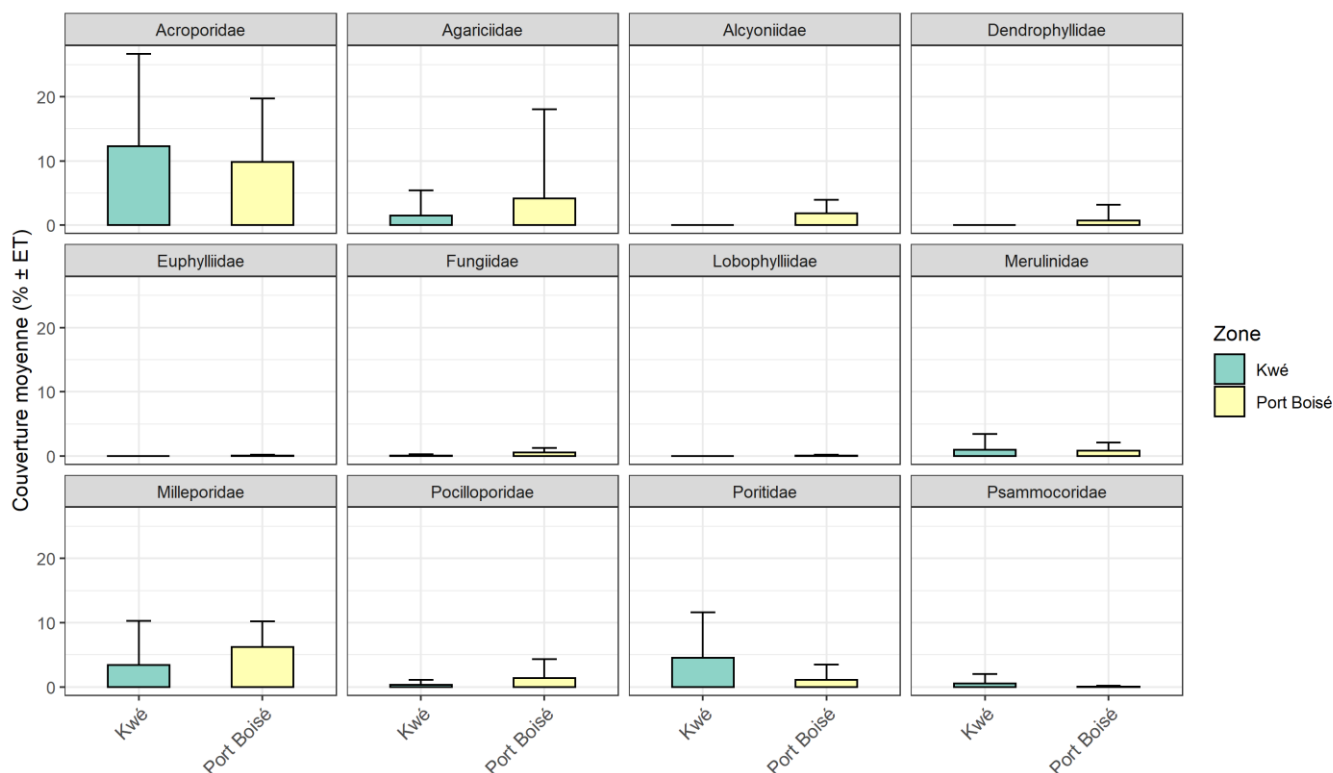


Figure 9 : Couverture moyenne (% ± ET) des différents familles coralliennes par en 2022

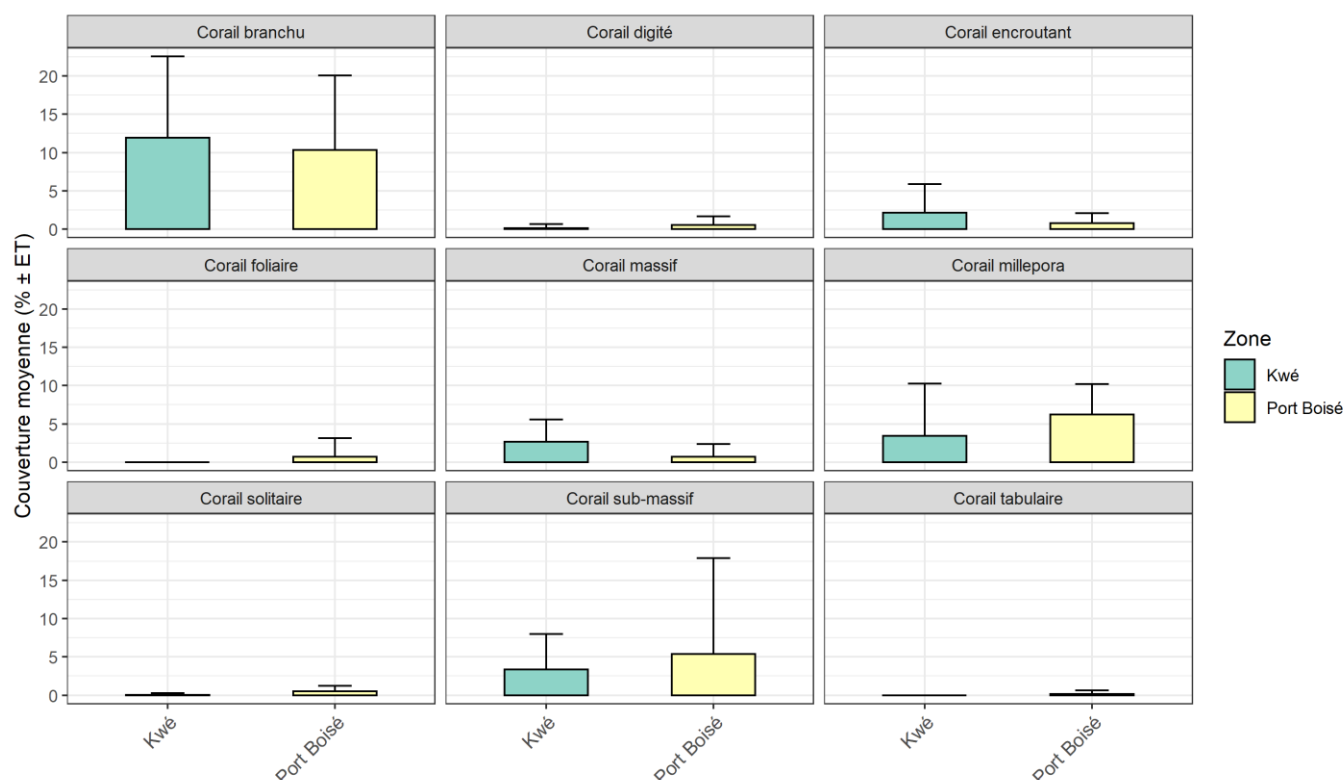


Figure 10 : Couverture moyenne (% ± ET) des différentes formes coralliennes par zone 2022

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 2022

L'analyse de l'évolution des différents substrats entre 2019 et 2022 par baie montre l'absence de signal d'impact (interaction Campagne×Zone significative, Tableau 8) sur les substrats coralliens totaux, par famille et par formes (Figure 11). Concernant les autres catégories de substrat, seules la turf algale montre un signal d'impact statistique, avec une augmentation de sa couverture en baie Kwé entre les 3 campagnes (0% à 13% en 3ans), alors qu'elle reste quasi-nulle en baie de Port Boisé.

On observe que la diminution de couverture corallienne enregistrée en baie Kwé entre 2019 et 2021 (31% à 19%), ne montre pas de signal de récupération ou de dégradation entre 2021 et 2022 avec une couverture toujours proche de 20% en 2022. On rappelle que la dégradation observée entre 2019 et 2021 est principalement liée à la famille Acroporidae, de forme branchue. En baie de Port Boisé, la couverture corallienne reste particulièrement stable entre 2019 et 2022, proche également de 20% (Figure 13 et Figure 14).

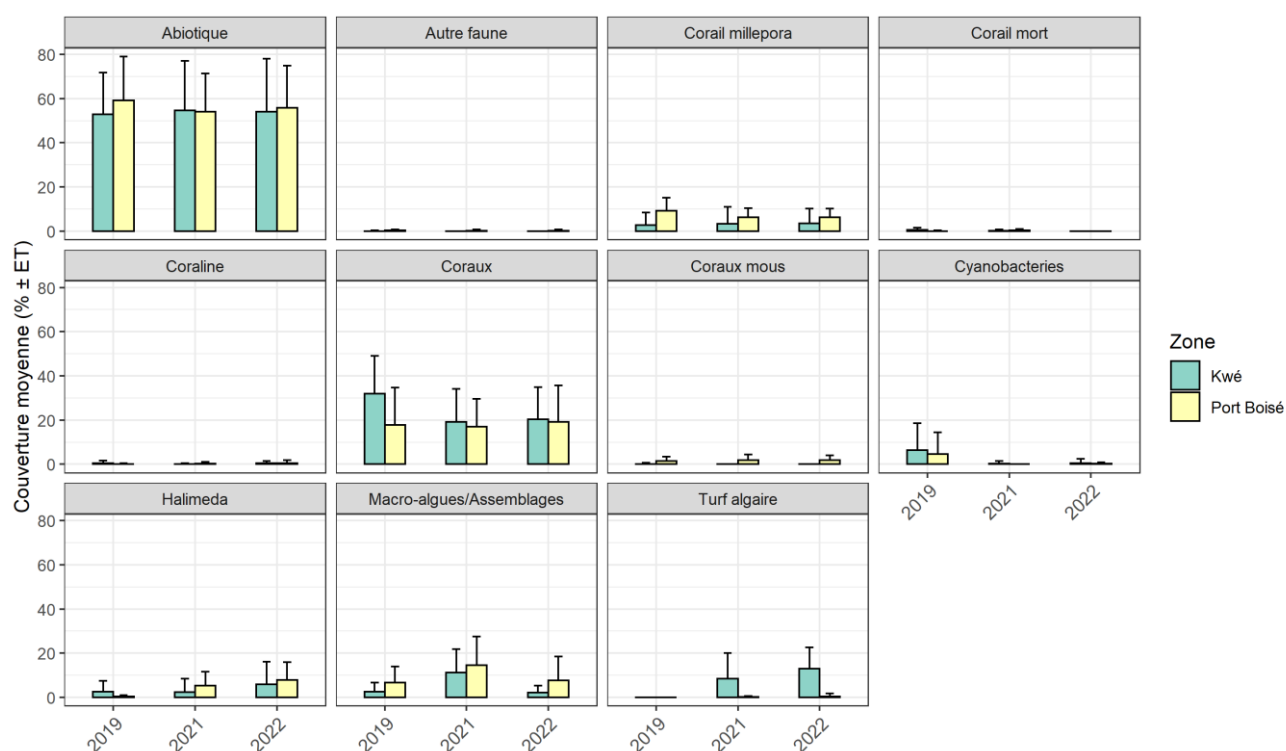


Figure 11 : Couverture moyenne (% ± ET) des différents substrats généraux par zone du secteur BKPB en 2019 et 2022

L'examen des données par station avait montré des diminutions en baie Kwé entre 2019 et 2021, liées principalement aux deux stations de fond de baie (ST31 et ST32) mais également à la station ST34 située en en sortie de baie (Annexe II) liées potentiellement à de fortes précipitations (désalure et/ou sédimentation) entre 2019 et 2021. Entre 2021 et 2022, peu d'évolutions sont observées sur ces deux stations de fond baie (couverture corallienne stable, mais quasiment nulle sur ST32), il en est de même sur les deux stations de sortie de baie.

La couverture de turf algaire sur les zones et stations évolue avec une tendance inverse à celle de la couverture corallienne. On observe ainsi une augmentation régulière de cette couverture en baie Kwé entre 2019 (0%) et 2022 (13%), liée à la mortalité corallienne observée en baie Kwé entre 2019 et 2021.

Concernant les macro-algues/assemblages, leur couverture reste inférieure à 10% sur chaque zone à l'exception de 2021 où elle était proche de 13%. Sur cette campagne, des tapis d'algues non fixées du genre *Padina* avaient été observés sur ST32 alors qu'elles n'étaient plus présentes en 2022 (cf quadrats en II). Globalement, les faibles évolutions observées sur cette catégorie pour chaque zone ne traduisent pas de changement brutal de l'état de santé des récifs d'un état corallien à un état algal (Hugues et al. 2003).

Cette tendance s'accompagne d'une augmentation de couverture d'algues calcaires (Halimeda) régulière entre 2019 et 2022 en baie de Port Boisé (+8%) et en baie Kwé dans une moindre mesure (+3%). L'examen des données par station montre une très légère augmentation régulière de couverture sur les 4 stations de la baie de Port Boisé alors que seule la station ST34 est concernée en baie Kwé, avec +13% entre 2021 et 2022 (Figure 12 et Annexe II). Cette dernière évolution sur ST34 est par ailleurs illustrée sur les photos-quadrats.

Tableau 8 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne×Zone) pour chaque type de substrat sur les données de couverture transformées (racine carrée). NS : Non significatif, * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; * : $p < 0,001$**

Substrat	Campagne	Zone	Campagne×Zone	Post hoc
Abiotique	NS	NS	NS	
Macro-algues/Assemblages	*	**	NS	Port Boisé > Baie Kwé; 2021>2019, 2022
Halimeda	*	NS	NS	2022>2019
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
Turf algair	***	***	***	Baie Kwé > Port Boisé; 2022>2019, 2021; 2021>2019; Augmentation en baie Kwé, Absence d'évolution à Port Boisé
Cyanobacteries	**	NS	NS	2019>2021
Acroporidae	NS	NS	NS	
Agariciidae	NS	NS	NS	
Alcyoniidae	NS	***	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Dendrophyllidae	NS	NS	NS	
Euphyllidae	NS	NS	NS	
Fungiidae	NS	*	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Incertae sedis	NS	NS	NS	
Lobophyllidae	NS	NS	NS	
Merulinidae	NS	NS	NS	
Milleporidae	NS	***	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Pocilloporidae	NS	**	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Poritidae	NS	**	NS	Baie Kwé > Port Boisé
Psammocoridae	NS	NS	NS	
Corail branchu	NS	NS	NS	
Corail digité	NS	NS	NS	
Corail encroutant	NS	NS	NS	
Corail foliaire	NS	NS	NS	
Corail massif	NS	***	NS	Baie Kwé > Port Boisé
Corail millepora	NS	***	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Corail solitaire	NS	*	NS	Port Boisé > Baie Kwé
Corail sub-massif	NS	NS	NS	
Corail tabulaire	NS	NS	NS	

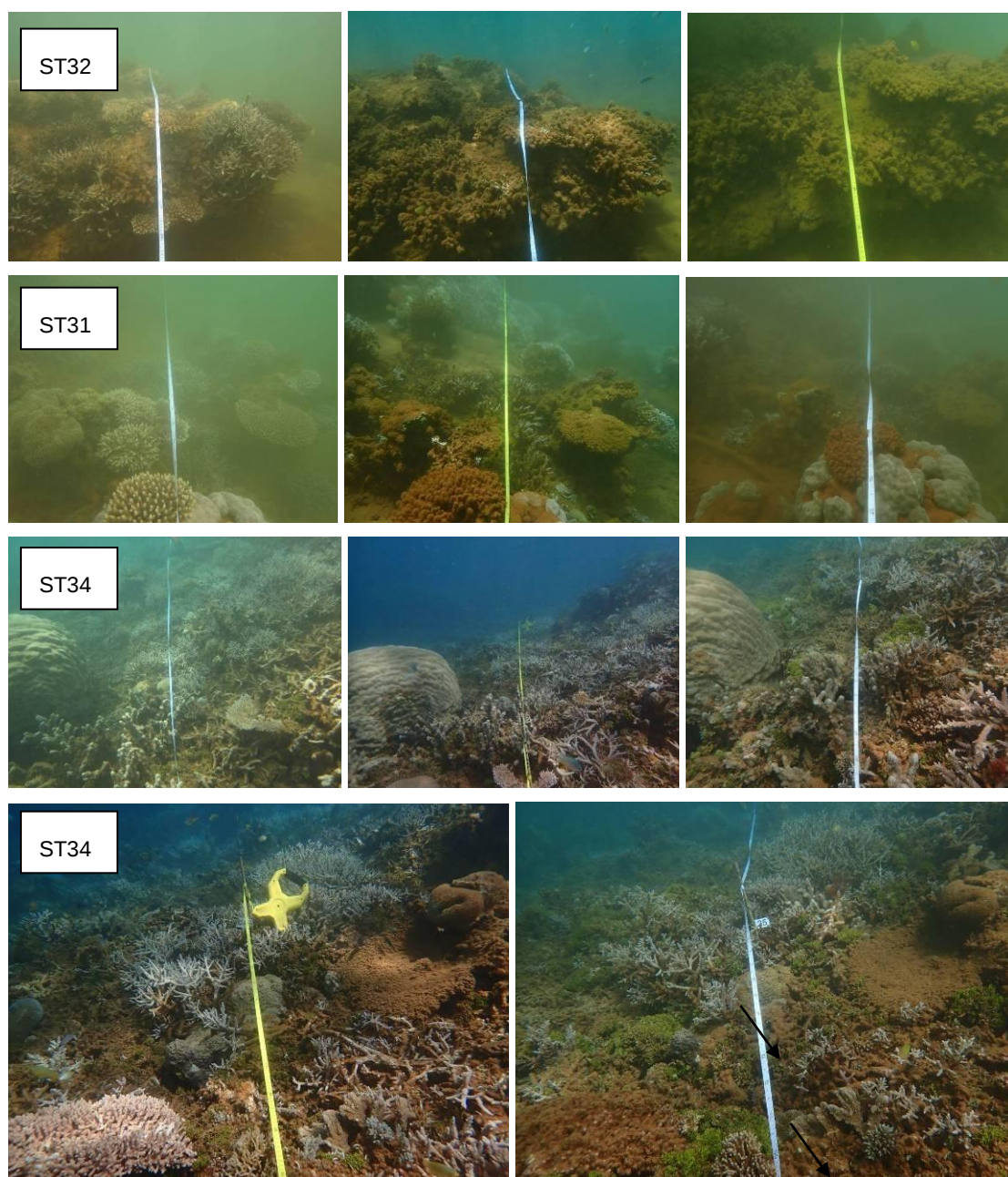


Figure 12: Evolution du substrat entre 2019 (gauche) et 2021 (centre) et 2022 (droite) sur ST32, ST31 et ST34 en baie Kwé. Augmentation de couverture d'Halimeda sur ST34 entre 2021 (bas-gauche) et 2022 (bas-droite)

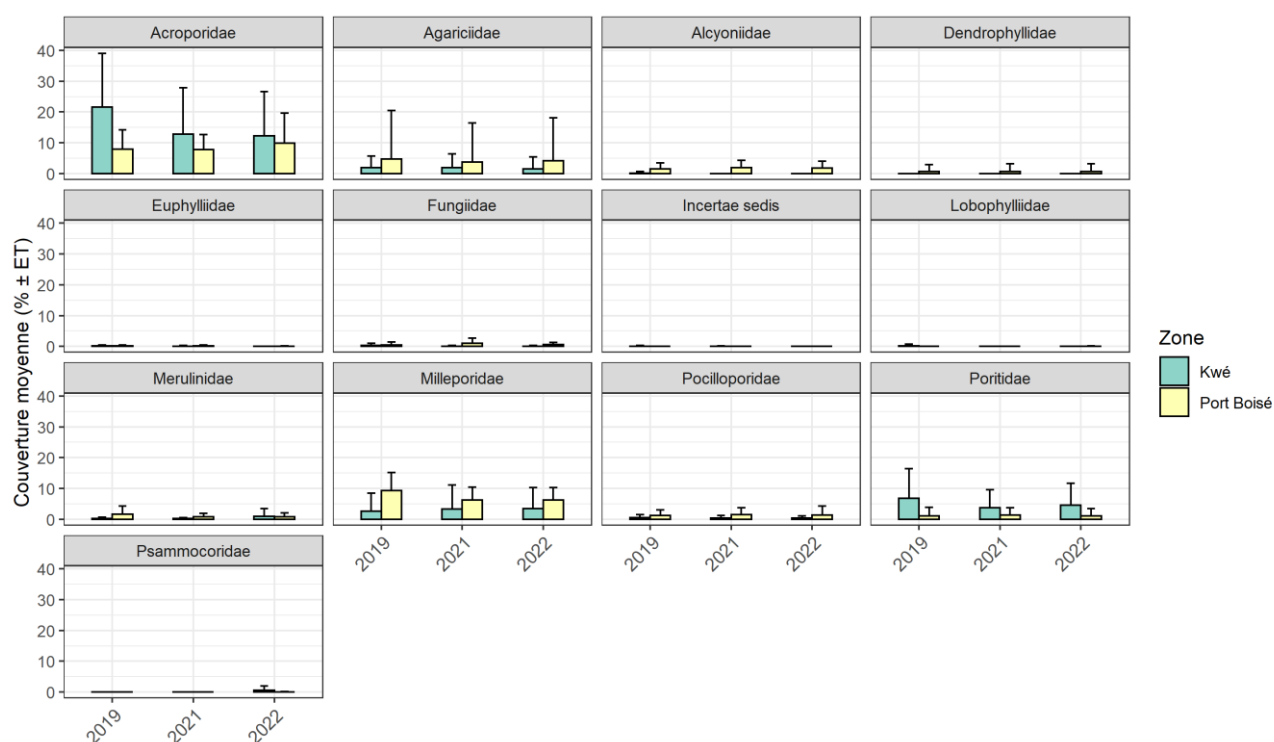


Figure 13 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes familles coralliennes par zone 2019 et 2022

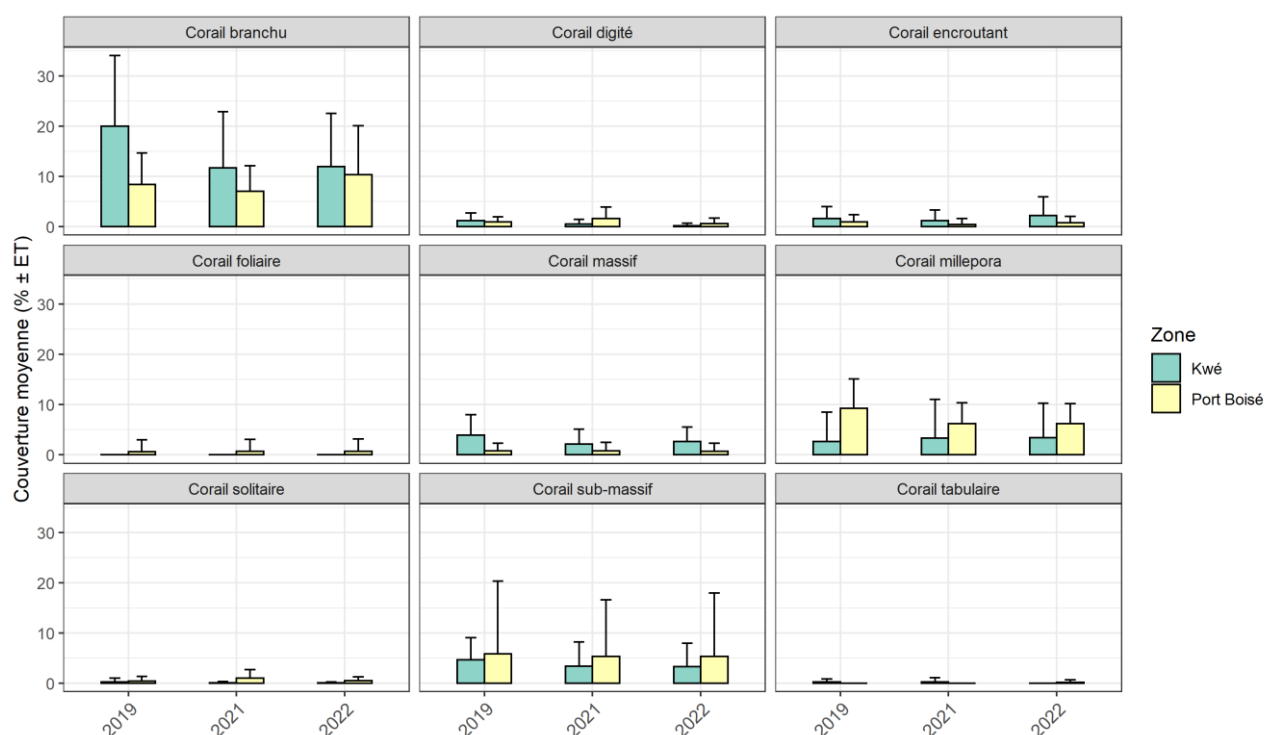


Figure 14 : Couverture moyenne (% $\pm$ ET) des différentes formes coralliennes par zone entre 2019 et 2022

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 puis 2022. Ces photos ont un pouvoir d'illustration de la croissance corallienne ou perturbation passées sur la période. Un bilan sur l'évolution de l'état de santé des colonies coralliennes est présenté dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Evolution de l'état de santé des colonies coralliennes dans les quadrats des stations entre 2019-2021 et 2021-2022.

Zone	Station	2019-2021				2021-2022			
		Croissance corallienne	Absence d'évolution	Dégradation partielle	Dégradation totale	Croissance corallienne	Absence d'évolution	Dégradation partielle	Dégradation totale
Port Boisé	ST36	80%	0%	20%	0%	70%	30%	0%	0%
	ST37	50%	10%	20%	20%	50%	20%	20%	10%
	ST38	50%	10%	40%	0%	20%	10%	30%	40%
	ST39	70%	0%	20%	10%	60%	20%	10%	10%
Moyenne		63%	5%	25%	8%	50%	20%	15%	15%
Kwé	ST31	0%	0%	100%	0%	40%	50%	0%	0%
	ST32	0%	0%	30%	70%	20%	80%	0%	0%
	ST33	60%	0%	30%	10%	90%	10%	0%	0%
	ST34	20%	0%	50%	30%	50%	20%	20%	10%
Moyenne		20%	0%	53%	28%	50%	40%	5%	3%

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 entre 2019 et 2021, suivie d'une absence d'évolution à tendance neutre à positive entre 2021 et 2022
- Une dégradation plus faible en sortie de baie Kwé (40 à 80%) entre 2019 et 2021, suivie d'une tendance majoritairement positive entre 2021 et 2022 (50% de croissance et 40% d'évolution neutre)
- Une évolution particulièrement variable de l'état de santé des colonies en baie de port Boisé entre 2019 et 2021, confirmée entre 2021 et 2022 avec 50% de croissance corallienne mais également 30% de dégradation (totale+partielle)

Des exemples d'évolutions entre 2021 et 2022 sont illustrés sur la Figure 15 pour chaque baie.

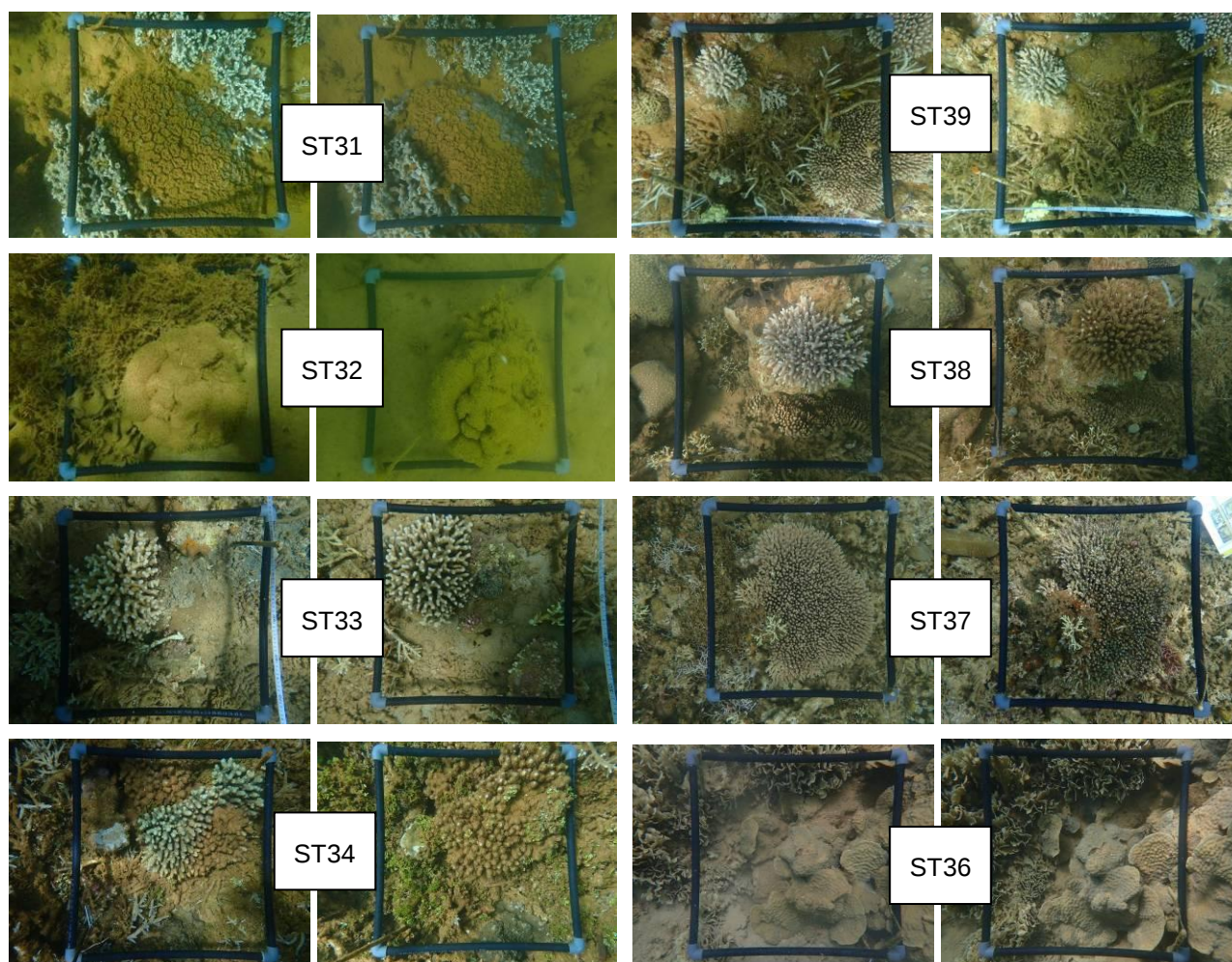


Figure 15: Photo-quadrats en 2021 (gauche) et 2022 (droite) sur chaque station de baie Kwé (gauche) et Port Boisé (droite)

III. ETAT DE SANTÉ DES COMMUNAUTÉS CORALLIENNES

III.1. PRÉVALENCE DE LÉSIONS CORALLIENNES EN 2022

En 2022, les tendances suivantes sont observées sur les prévalences de lésions coralliennes en baie Kwé et baie de Port Boisé (Figure 16 et Tableau 10).

- Aucune maladie corallienne de l'Indo-Pacifique n'a été observée dans les deux zones et la prévalence de malformations coralliennes reste très faible (baie Kwé) à nulle (Port Boisé)
- Les lésions de compétition et de sédimentation sont les plus fréquentes dans chaque zone. On note une dominance de lésions liées à la sédimentation en baie Kwé (36%), sur les deux stations de fond de baie principalement, alors que celles liées à la compétition dominent en baie de port Boisé (46%). Dans cette baie, la totalité des stations sont touchées par la compétition à des proportions comprises entre 30% et 70% (Annexe III). En regroupant la totalité des lésions liées à ce type de perturbation (compet_sed_tot), on note une prévalence significativement supérieure en baie Kwé (70%) comparé à Port Boisé (48%).
- Les autres types de lésions restent très faibles (<1,5%) avec toutefois des lésions de prédation localisées liées principalement aux Drupellas (station ST38 à Port Boisé et ST34 à Kwé).

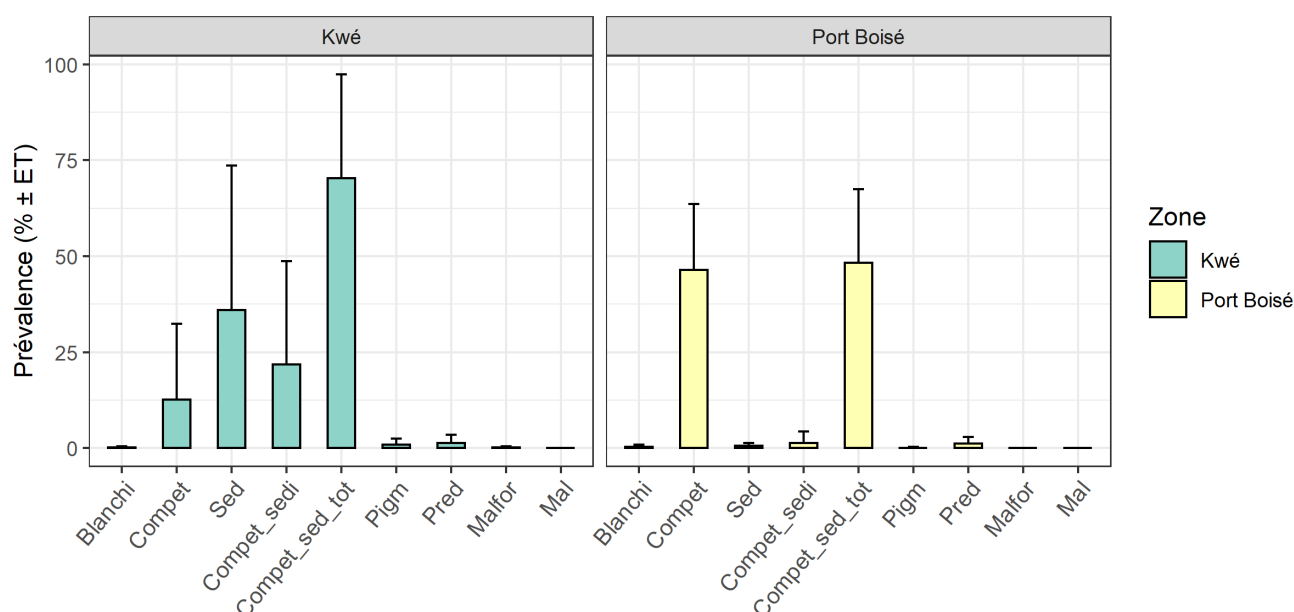


Figure 16 : Prévalence de lésions coralliennes (% ± ET) en 2022. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/éponges, Sed : Sédimentation, Compet_sedi : Compétition/sédimentation indissociables, Compet_sed_tot : somme des lésions liées à sédimentation/prédation, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation

Tableau 10 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Zone) sur les prévalences de lésions coralliennes transformées (racine carrée) en 2022

Prévalence	Zone	Post hoc
Blanchissement	NS	
Compétition	***	Port Boisé>Kwé
Sédimentation	**	Kwé>Port Boisé
Compéti/Sédi indissociables	*	Kwé>Port Boisé
Somme Compet/Sédi	*	Kwé>Port Boisé
Malformation	NS	
Pigmentation	*	Kwé>Port Boisé
Prédation	NS	
Maladie	-	

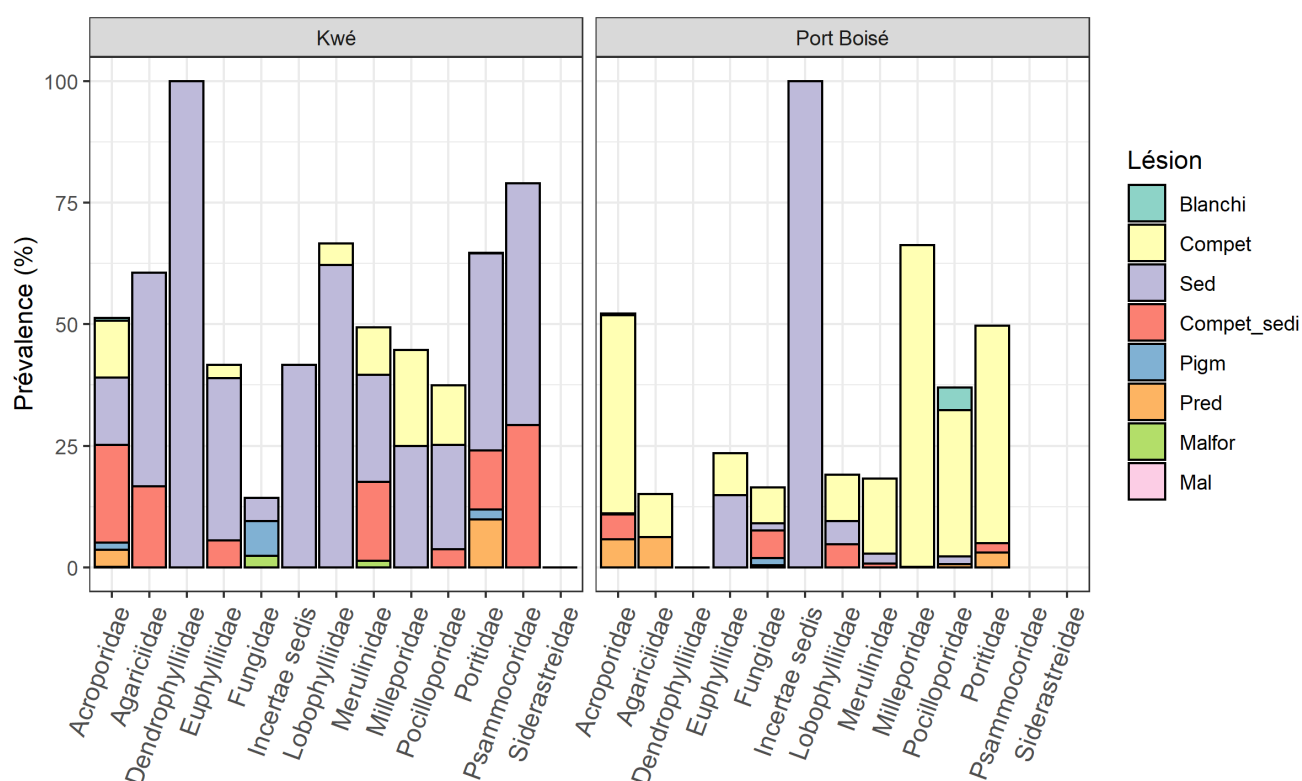


Figure 17 : Prévalence de lésions coralliennes (% ± ET) par zone et par famille. Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/éponges, Sed : Sédimentation, Compet_sedi : Compétition/sédimentation indissociables, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation

L'examen des prévalences de lésions par familles coralliennes montre que (Figure 17):

- La majorité des familles sont touchées par la sédimentation et la compétition dans les deux baies.
- Les lésions de prédation liées aux *Drupella* touchent principalement les familles *Acroporidae* (genres *Acropora*, *Montipora* et *Isopora* principalement) alors que les morsures de poissons touchent d'avantage les *Poritidae*.
- Les malformations coralliennes sont uniquement présentes en baie Kwé

III.2. MODELISATION DE TYPE CI SUR LA PREVALENCE DE LESIONS CORALLIENNES ENTRE 2019 ET 2022

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 coralliennes entre 2019 et 2022 (Figure 18 et Tableau 11). Concernant les lésions de sédimentation/compétition, ces deux types de lésions n'ont pas été différenciés en 2019 et 2021 donc seule la somme des prévalences (Compet_sed_tot) de ces types de lésions est étudiée de façon statistique.

La forte augmentation de la prévalence de lésions liées à la sédimentation/compétition dans les deux zones observée entre 2019 et 2021 est stabilisée en 2022 avec des prévalences proches de 50% (Port Boisé) et 70% (Kwé) en 2021/2022. Cette tendance fait l'objet d'une attention particulière dans la section IV.

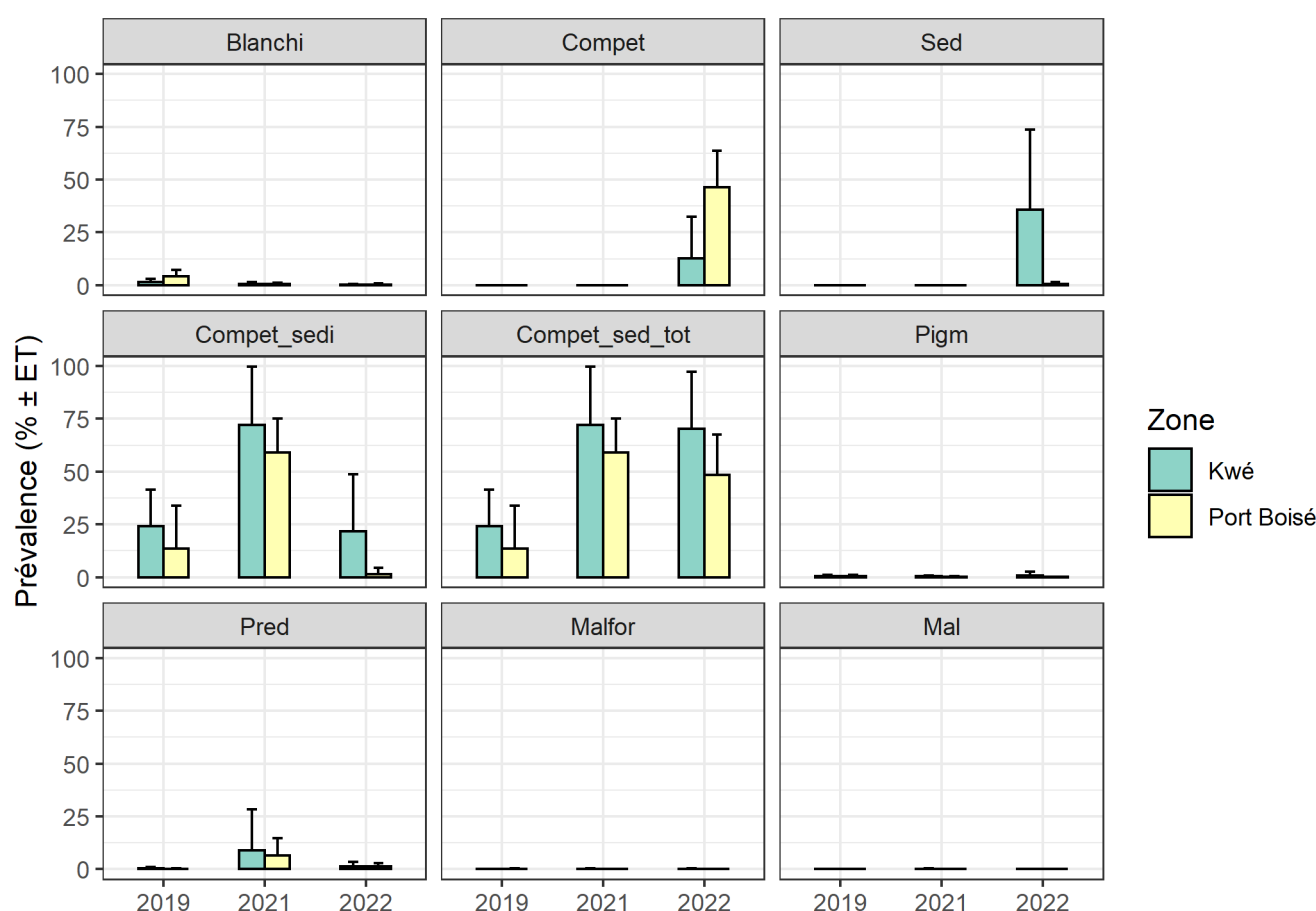


Figure 18 : Prévalence de lésions coralliennes (% ± ET) par zone en 2019, 2021 et 2022.
Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/éponges, Sed : Sédimentation, Compet_sedi : Compétition/Sédimentation indissociables, Compet_sed_tot : Somme de toutes les lésions de sédimentation et compétition, 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 et 2022 que 2019 avec de très faibles prévalences (<0,6%) ;

- Des lésions de prédation dont la prévalence était élevée en 2021, liée à des invasions localisées de *Drupella* sur ST34 (Kwé) et ST38, ST39 (Port Boisé). Si en 2022, quelques petites invasions ont été observées sur ces mêmes stations, le nombre de coraux impactés en est beaucoup plus faible.

Tableau 11 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne et Zone) sur les prévalences de lésions coralliennes transformées (racine carrée) en 2022

Prévalence	Campagne	Zone	Campagne×Zone	Post hoc
Blanchissement	***	**	NS	2019>2021,2022; Port Boisé> Kwé
Compétition/sédimentation	***	**	NS	2021,2022>2019; Kwé>Port Boisé
Malformation	NS	NS	NS	
Pigmentation	NS	NS	NS	
Prédation	**	NS	NS	2021>2019
Maladie	*	NS	NS	2021>2019,2022

L'examen des prévalences de lésions par familles (Figure 19) montre que les lésions liées à la sédimentation/compétition touchent la majorité des familles chaque année, indiquant un phénomène généralisé aux deux baies. Les lésions de prédation concernent chaque année les mêmes familles globalement, à savoir *Acroporidae* (*Drupella*) et *Poritidae* (poissons).

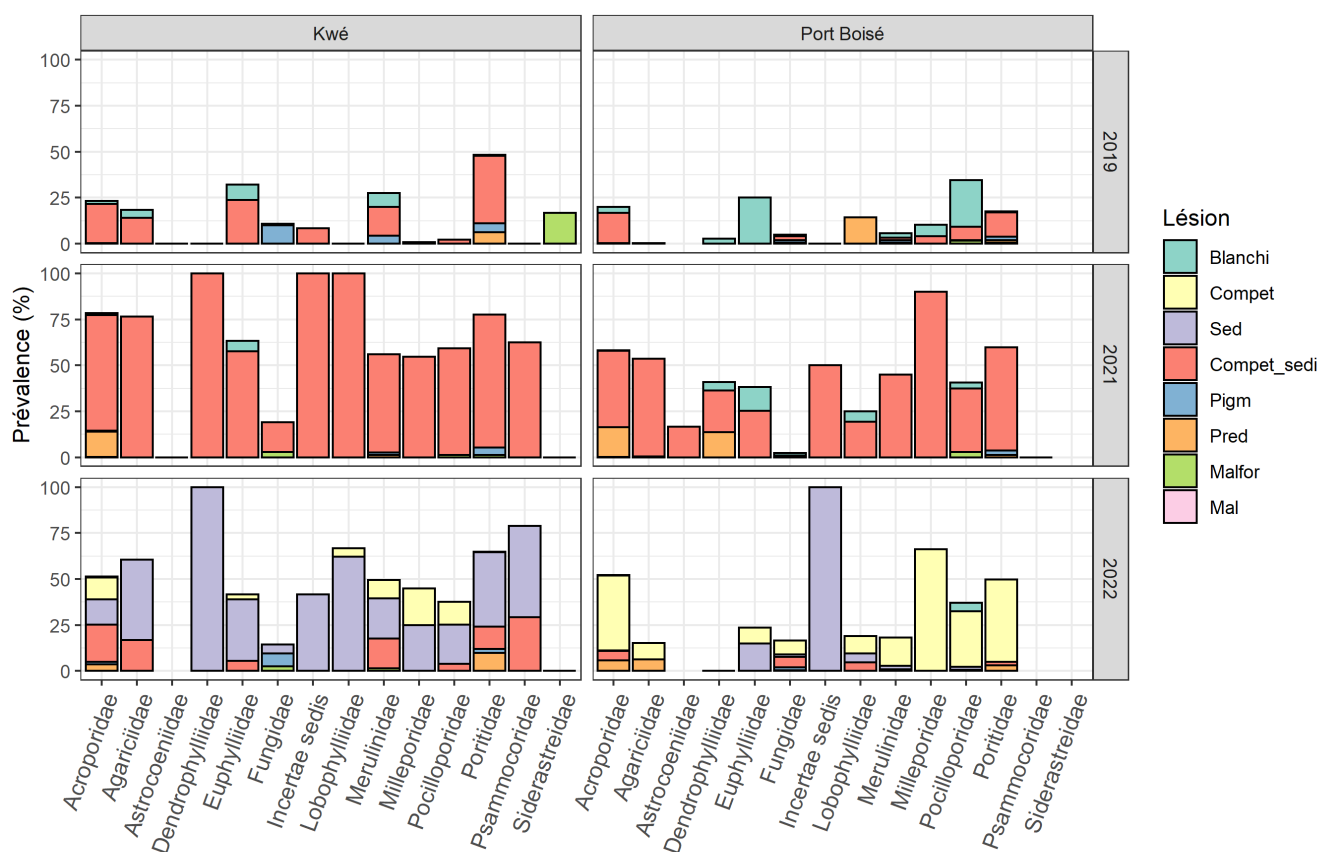


Figure 19 : Prévalence de lésions coralliennes (%) par famille et par zone en 2019, 2021 et 2022.
Blanchi : blanchissement, Compet : Compétition avec algues/éponges, Sed : Sédimentation,
Compet_sedi : Compétition/sédimentation indissociables, Mal : Maladie corallienne, Malfor : Malformations coralliennes, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation

Des photographies des lésions fréquemment rencontrées dans la zone sont présentées sur la Figure 20.

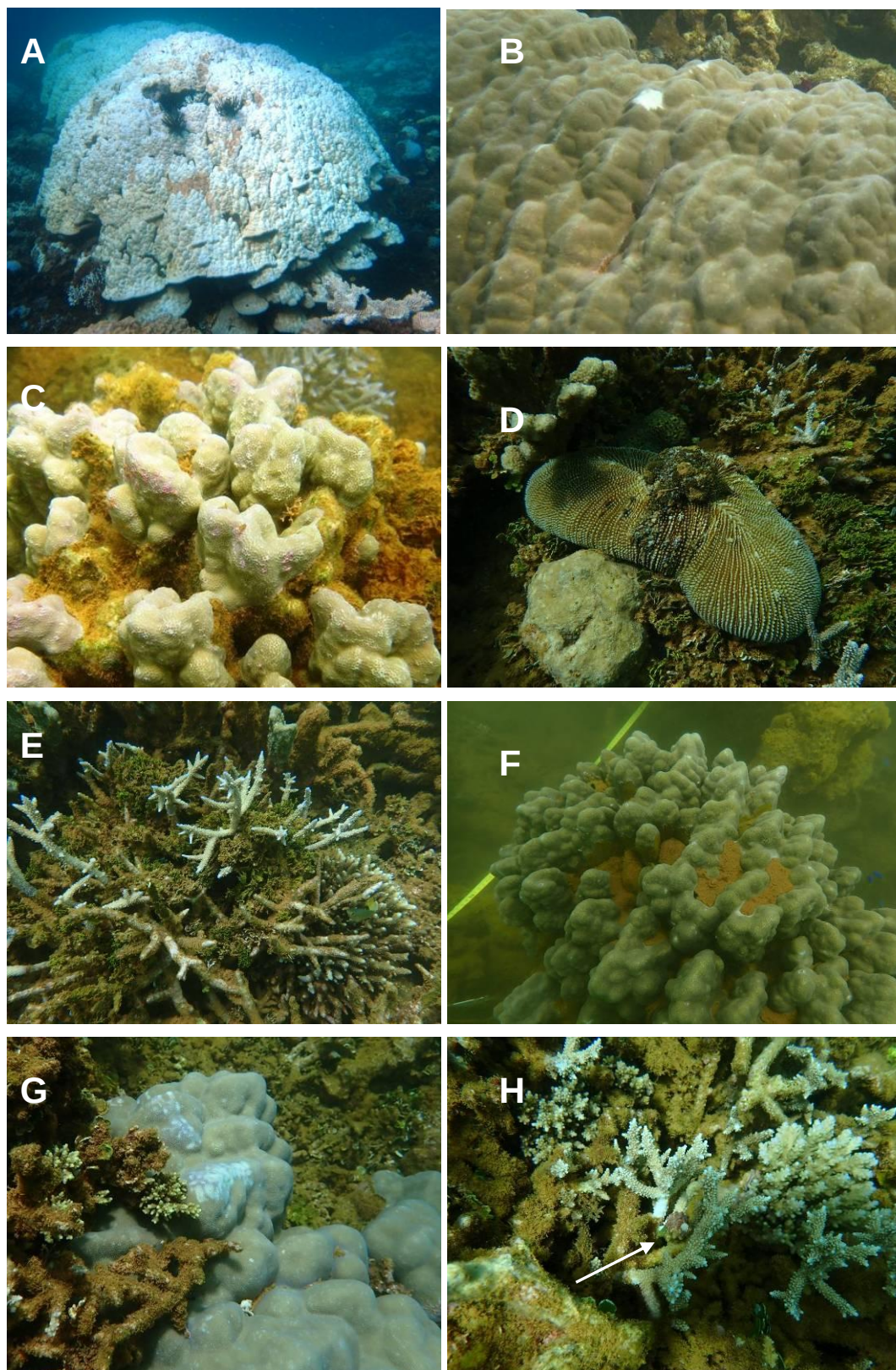


Figure 20 : Illustration des lésions coralliennes fréquemment rencontrées : A : *Porites* totalement blanchi, B : Blanchissement partiel sur *Porites*, C : Pigmentation rose sur *Porites*, D : Malformation sur *Ctenactis*, E : Compétition entre *Acropora* et des *Halimeda*, F : sédimentation sur *Porites*, G : Prédation de poissons perroquet sur *Porites*, H : Prédation de *Drupella* sur *Acropora*

IV. PRESSION SÉDIMENTAIRE

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 entre 2019 et 2022 montre une forte augmentation de sa couverture en fond de baie Kwé en 2021 (+ 25%, Figure 21), stabilisée en 2022. Les photos/vidéos transects ont confirmé cette tendance avec la présence de dépôts sédimentaires fins depuis 2021, ayant recouvert les zones sableuses situées entre les pinacles coralliens présents sur la station.

Ces dépôts semblent liés aux événements climatiques extrêmes survenus en Nouvelle Calédonie depuis 2020, renforcés par le phénomène La Niña. En baie de Port Boisé, la couverture de vase reste faible (<5%) même si elle augmente régulièrement et légèrement depuis 2019.

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

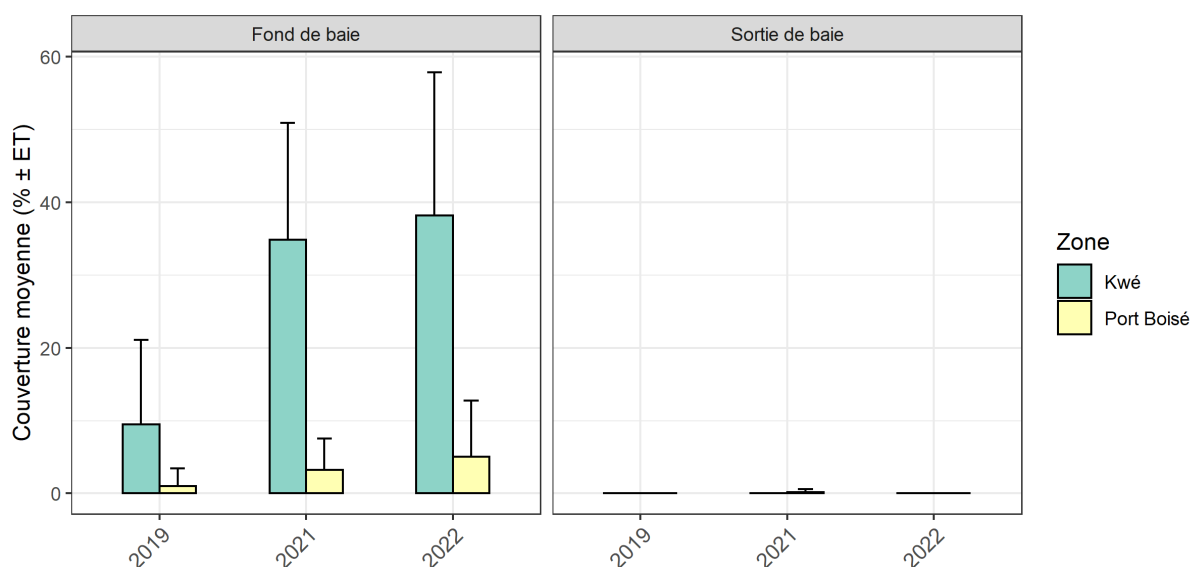


Figure 21 : Couverture de vase (% ± ET) par typologie entre 2019 et 2022

Les lésions coralliennes liées à la sédimentation/compétition montrent une certaine stabilité entre 2021 et 2022, à l'exception de la sortie de baie de Port Boisé, dont la prévalence a diminué d'un tiers entre ces dates (Figure 22). Cette tendance fait suite à une forte augmentation de prévalence entre 2019 et 2021.

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 est observé sur les photos/vidéos des différents suivis. Toutefois, la stabilisation de la couverture de vase, de la prévalence de lésions de sédimentation/compétition et de la couverture corallienne par LIT entre 2021 et 2022 indique l'absence de forte dégradation du substrat entre ces dates, bien que le phénomène La Niña, accompagné de fortes pluies récurrentes, ait été maintenu sur la période.

En sortie de baie, une stabilité de leur prévalence est également observée en baie Kwé en 2022, après une forte augmentation en 2021 alors qu'une diminution d'1/3 est observée en

baie de Port Boisé, après forte augmentation en 2021. En sortie de baie, ces lésions sont plus liées à la compétition avec macroalgues/Halimeda qu'à la sédimentation (Figure 23), d'avantage en baie de Port Boisé qui semble moins soumise à la sédimentation que la baie Kwé (Figure 16). Cette tendance est par ailleurs confirmée par la différenciation des lésions de sédimentation de celles de la compétition avec les algues en 2022 (cf Figure 16).

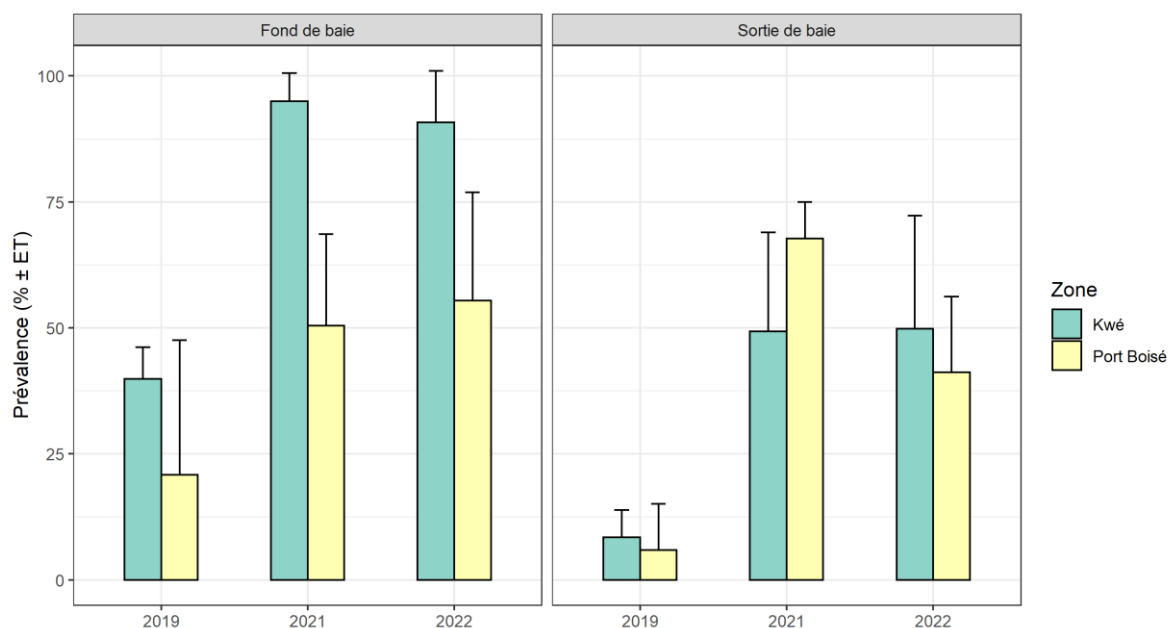


Figure 22 : Prévalence de lésions coralliennes liées à la sédimentation/compétition (% ± ET) par typologie entre 2019 et 2022

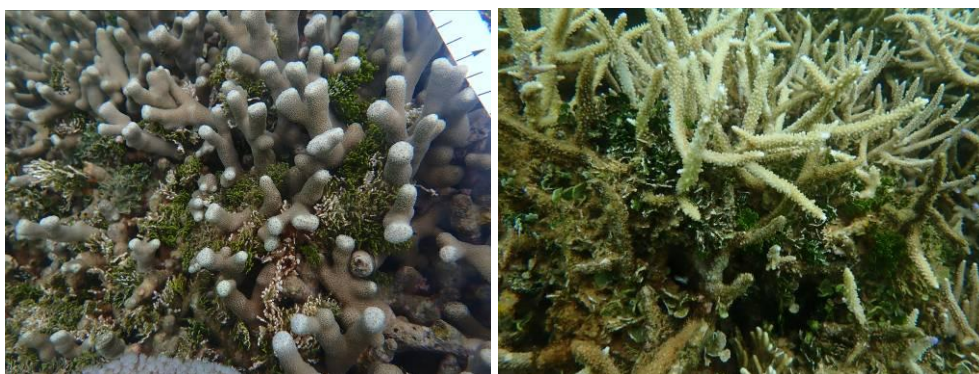


Figure 23 : Compétition entre Halimeda et coraux sur ST36 (gauche) et ST33 (bas droite) en 2022 reflétant globalement l'état général des colonies coralliennes sur les stations de sorties de baie

Ainsi, l'analyse combinée de ces deux variables semble indiquer une pression sédimentaire d'origine terrigène toujours plus importante en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé, qui semble apporter des particules fines lors d'événements pluvieux influençant la couverture de vase et la mortalité (totale et/ou partielle) des coraux en fond de baie. Cette tendance a par ailleurs été observée lors de nos opérations de terrain avec la présence d'une couche d'eau saumâtre chargée en surface sur ST33 (1,5m d'épaisseur environ) (Figure 24). Toutefois, entre 2021 et 2022 et bien que maintenue par les forts événements pluvieux liés à la Ninã, cette pression sédimentaire ne semble pas avoir impacté d'avantage l'état de santé des récifs du fond de baie Kwé, déjà fortement dégradés en 2021 notamment sur ST32 (couverture corallienne quasi nulle).



Figure 24 : Couche d'eau saumâtre chargée en surface de ST33 (baie Kwé) en Octobre 2022

Si l'activité minière de PRNC présente sur les bassins versants de la baie Kwé contribue potentiellement à ces différences entre les deux baies, on rappelle que le lessivage des sols est influencé par de nombreux facteurs (incendies, activités passées d'activité minière ou d'exploitation forestière, surface végétalisée, type de sols etc.) qui rendent l'identification des origines de nos observations particulièrement complexes.

V. PEUPLEMENTS ICHTYOLOGIQUES

V.1. ÉTAT DES LIEUX EN 2022

V.1.1. Caractéristiques générales à l'échelle du secteur BKP

Sur l'ensemble du secteur d'étude, un total de 129 espèces correspondant à 68 genres et 26 familles de poissons a été recensé lors de la campagne 2022.

La densité moyenne observée est de 5,1 individus/m², avec une densité maximum de 8,6 individus/m² atteinte sur la station ST37. La biomasse moyenne observée est de 114,8 g/m², avec une biomasse maximum de 298,1 g/m² sur la station ST34. La richesse spécifique moyenne observée est de 61,0 espèces, avec une richesse maximum de 46,9 espèces sur la station ST34.

L'intégralité des valeurs calculées pour chaque paramètre ichthyologique sur chaque station est fournie en Annexe.

V.1.2. Caractéristiques des peuplements dans chaque zone

Le Tableau 12 présente les niveaux moyens de densité, biomasse et richesse spécifique au sein des deux zones.

La Figure 25, la Figure 26 et la Figure 27 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 13 présente les résultats statistiques de la comparaison des paramètres d'ichtyofaune entre les deux zones.

Tableau 12 : Niveaux moyens de densité, de biomasse et de richesse spécifique observés en 2022 dans chacune des deux zones. Les écart-types pour les moyennes sont fournis entre parenthèses.

		Baie Kwé	Port Boisé
Densité (ind./m ²)	Toutes espèces	4,8 (± 0,6)	5,4 (± 1,3)
	Non-commerciaux	4,6 (± 0,5)	4,9 (± 1,2)
	Commerciaux	0,2 (± 0,1)	0,5 (± 0,3)
	Herbivores	0,8 (± 0,3)	1,2 (± 0,4)
	Carnivores	0,9 (± 0,1)	0,9 (± 0,3)
	Planctonophages	3,1 (± 0,3)	3,2 (± 0,8)
	Piscivores	0 (± 0)	0 (± 0)
	Chaetodontidae	0,1 (± 0)	0,1 (± 0)
	Pomacentridae	3,4 (± 0,5)	3,9 (± 1)
Biomasse (g/m ²)	Toutes espèces	76 (± 34,4)	153,6 (± 62,9)
	Non-commerciaux	36,9 (± 12,8)	49,2 (± 13,1)

Richesse spécifique	Commerciaux	39,1 (± 22,1)	104,5 (± 53,1)
	Herbivores	38,1 (± 25,3)	109,7 (± 56)
	Carnivores	15,7 (± 4,1)	27,9 (± 10,3)
	Planctonophages	19,4 (± 8,3)	13,2 (± 2,6)
	Piscivores	2,8 (± 2,6)	2,9 (± 2,5)
	Chaetodontidae	2,5 (± 1)	2,4 (± 0,6)
	Pomacentridae	22,2 (± 10,9)	23,9 (± 6,8)
	Toutes espèces	44,2 (± 7,8)	49,5 (± 3,5)
	Non-commerciaux	35,8 (± 4,9)	36,5 (± 2,6)
	Commerciaux	8,5 (± 3,3)	13 (± 2,5)
	Herbivores	11,8 (± 3,9)	16,2 (± 2,2)
	Carnivores	20,5 (± 4,5)	24,2 (± 1,5)
	Planctonophages	9,5 (± 1,6)	7,2 (± 1)
	Piscivores	2,5 (± 0,5)	1,8 (± 0,8)
	Chaetodontidae	2,8 (± 0,8)	5,2 (± 0,6)
	Pomacentridae	11,8 (± 1,8)	11,5 (± 1)

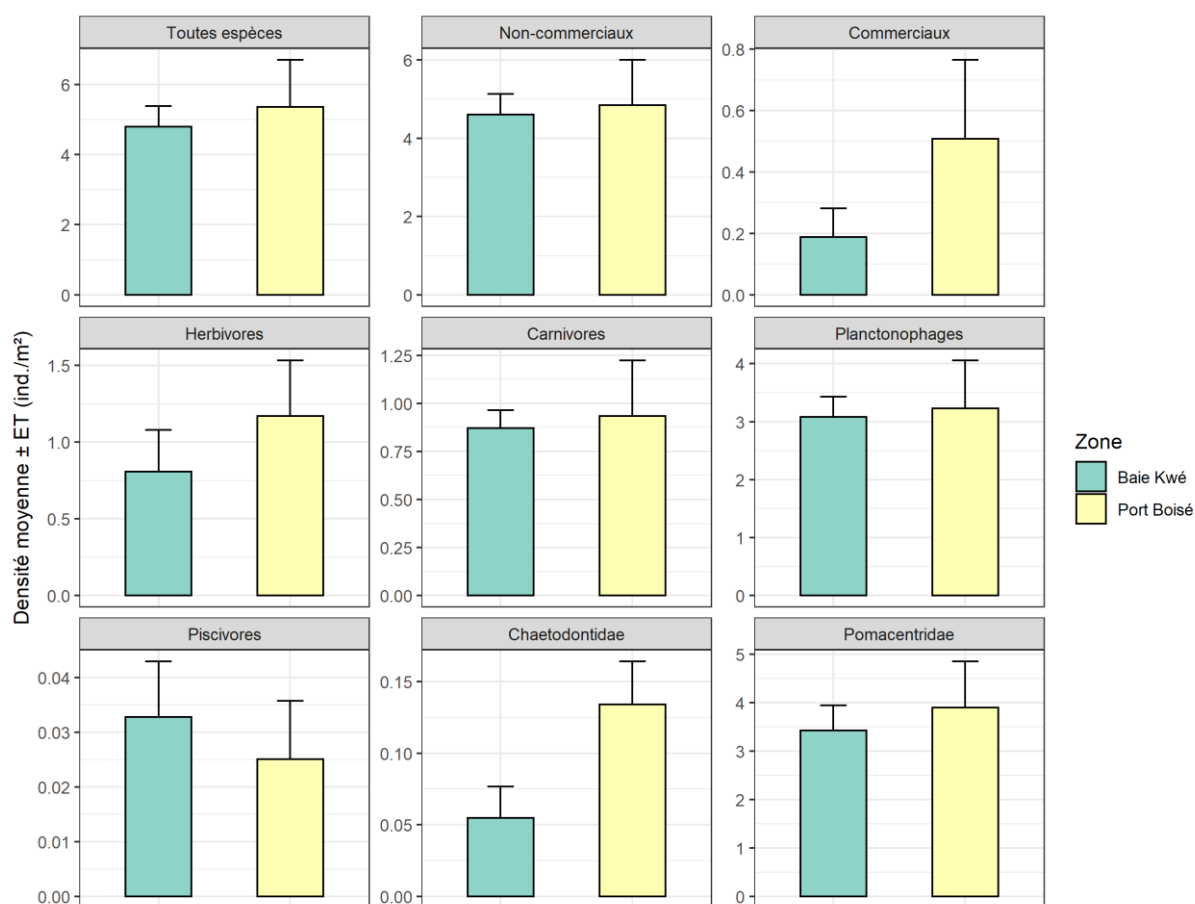


Figure 25 : Densité détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux zones en 2022. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type.

La **densité** totale apparaît légèrement supérieure à Port Boisé, sans que cette différence ne soit significative statistiquement (en lien avec sa faible amplitude et la dispersion des valeurs autour de la moyenne pour ce paramètre). Cette densité supérieure est majoritairement à relier à une densité légèrement accrue des herbivores (les autres groupes trophiques présentant des densités remarquablement proches), concernant tant la fraction commerciale que non-commerciale de ce groupe. La structure en densité de l'ichtyofaune apparaît donc 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 une forte dominance des Pomacentridae, la structure en densité observée dans les deux zones est globalement 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 (très contributifs par le biais des Pomacentridae). 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 2022.

La **biomasse** totale apparaît nettement supérieure à Port Boisé sans toutefois que cette différence ne soit significative statistiquement (notamment en lien avec une variabilité inter-station particulièrement importante dans les deux zones pour ce paramètre, comme illustré par les écart-types). Cette valeur haute à Port Boisé au regard des valeurs historiques (cf. partie suivante pour l'analyse des évolutions temporelles) est essentiellement due à l'observation de quelques bancs de gros herbivores au moment des comptages sur les stations ST36 et ST37 (deux bancs de *Scarus rivulatus* et de deux bancs de *Siganus argenteus*, cumulant une centaine d'individus de taille 25-30 cm). En dehors de ces deux occurrences, les niveaux de biomasse apparaissent stables et similaires à ceux retrouvés dans les autres stations de cette zone et dans la zone de la Baie Kwé. 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 2022.

On notera qu'une valeur haute similaire (même type d'amplitude et même cause) avait été constatée en 2021 en Baie Kwé. Au-delà de souligner les similitudes ichtyofaunistiques entre les deux zones (en termes de structuration des peuplements et d'état de santé général), ceci souligne également le caractère très fluctuant des paramètres de biomasse (particulièrement sensibles à ce type de variabilité naturelle). À ce titre, dans le cadre de suivis en contexte minier, la biomasse et ses déclinaisons par groupe doivent préférentiellement être considérés comme des compléments d'information que comme le point focal d'un diagnostic, ce dernier devant majoritairement reposer sur les paramètres de densité et de richesse spécifique.

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. Cette structure est caractérisée par une dominance des espèces commerciales et notamment des herbivores (en particulier à Port Boisé), suivis des carnivores et des planctonophages à importance égale. Les piscivores apparaissent particulièrement peu contributifs dans les deux zones, de même que les Chaetodontidae.

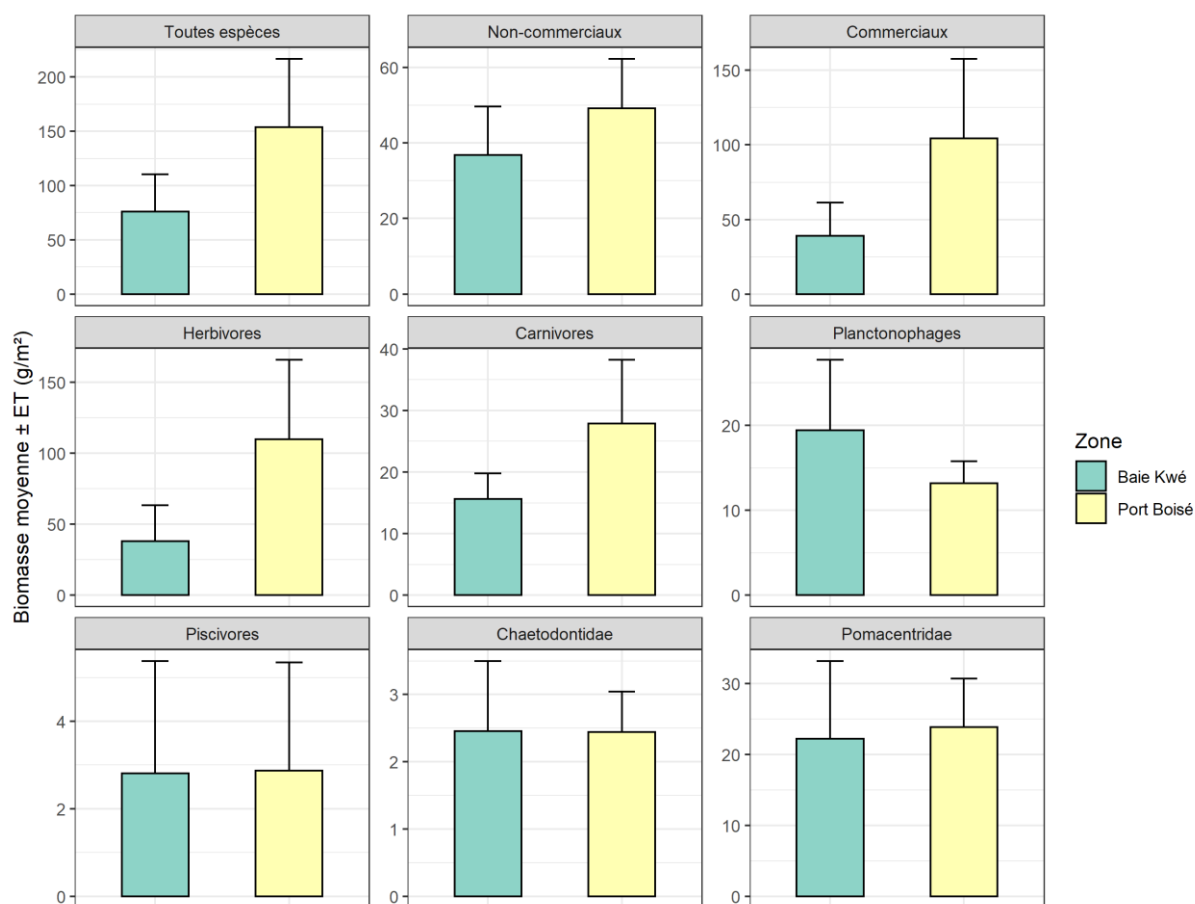


Figure 26 : Biomasse détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux zones en 2022. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type.

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 des herbivores et carnivores (dont les Chaetodontidae) à Port Boisé. En cohérence avec les niveaux observés, aucune différence significative entre zones 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.

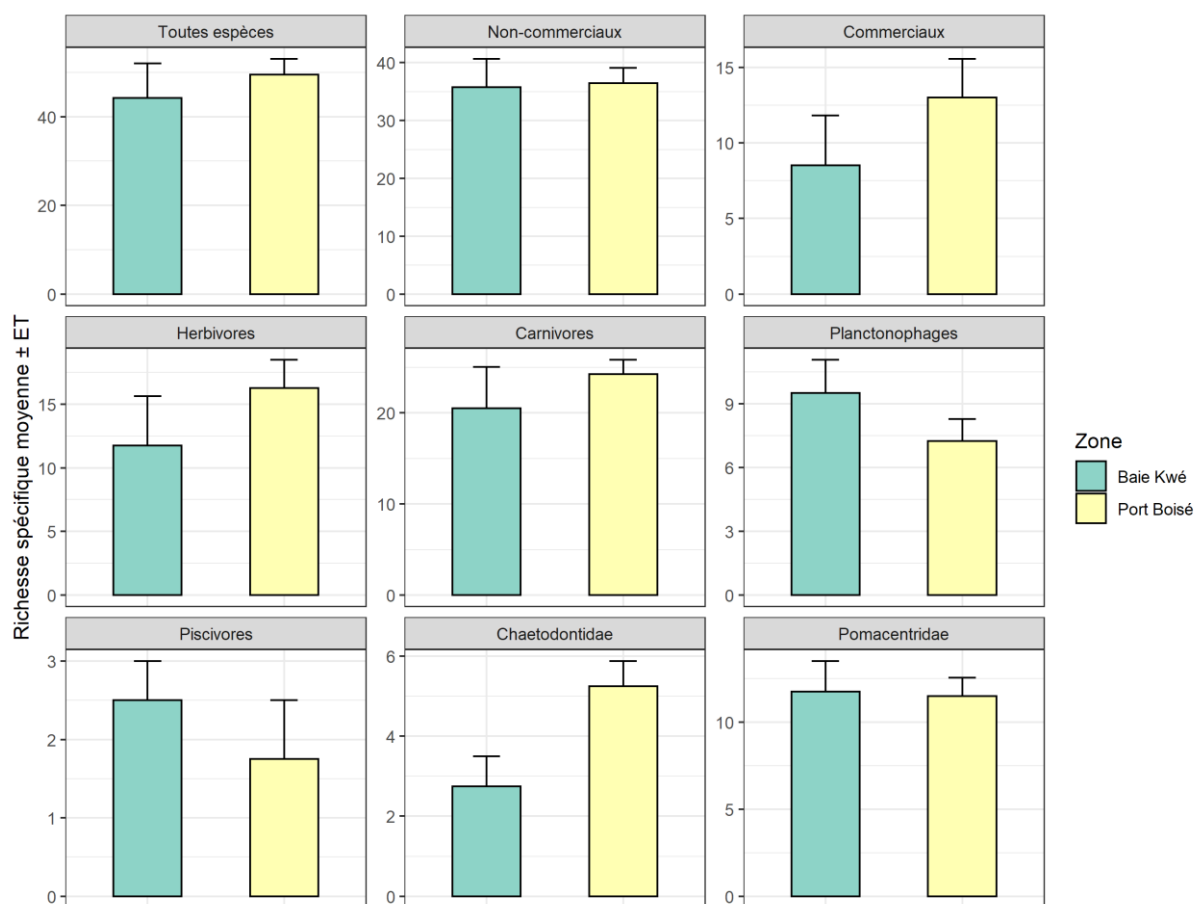


Figure 27 : Richesse spécifique détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux zones en 2022. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type.

Les caractéristiques de l'ichtyofaune récifale observée en 2022 dans les deux zones apparaissent proches en termes de structuration ichtyofaunistique (potentiel commercial, groupes trophiques, familles indicatrices), sans différence statistiquement significative, malgré des niveaux absolus globalement légèrement élevés à Port Boisé pour la densité et la richesse spécifique.

Les niveaux de densité, biomasse, et richesse spécifique observés en 2022 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 attestent de peuplements ichtyologiques sains dans ce contexte.

Tableau 13 : Résultats détaillés des analyses testant la significativité des différences des paramètres ichthyologiques 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	-

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

V.2.1. Modélisation de type CI entre 2019 et 2022

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 14 présente les résultats des modèles statistiques réalisés sur les variables décrivant les peuplements ichthyologiques 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 28, Figure 29, et Figure 30 fournissent à titre indicatif les graphiques d'évolution 2019-2022 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'un même profil d'évolution correspondant d'une part à une stabilité de 2019 à 2021 suivie d'une augmentation en 2022 en zone de référence (Port Boisé), et d'autre part d'une augmentation de 2019 à 2021 suivie d'une diminution en 2022 en zone sous influence (Baie Kwé). On retrouve par ailleurs cette même combinaison de profils pour la densité des herbivores, ainsi que pour les biomasses des herbivores et des carnivores dans une moindre mesure, sans toutefois que ces profils soient statistiquement significatifs (moindre amplitude au regard de la dispersion associée aux moyennes annuelles).

L'examen des données de comptage et des profils graphiques suggère que les valeurs de densité et de biomasse observées pour les herbivores en 2021 (se répercutant sur les valeurs relatives aux espèces commerciales voire à l'ensemble du peuplement) correspondaient à des valeurs particulièrement hautes et ponctuelles. En ce sens, le profil en diminution observée de 2021 à 2022 pour ces quelques paramètres en Baie Kwé correspondrait davantage à un retour aux valeurs observées en 2019 qu'à une dégradation des caractéristiques de l'ichtyofaune locale. De plus, deux de ces variations touchent la biomasse (paramètre particulièrement fluctuant et à ce titre d'importance secondaire en matière de diagnostic vis-à-vis de la densité et surtout de la richesse spécifique) et la fraction commerciale de l'ichtyofaune (qui regroupe une large part des espèces mobiles et donc est la fraction la plus sujette à une variabilité fortuite lors des comptages). Parallèlement, 8 des 9 paramètres de densité et tous les paramètres de richesse spécifique ne présentent aucun signal significatif susceptible de suggérer vers une dégradation de l'ichtyofaune en Baie Kwé en 2022.

L'ensemble de ces éléments pointent donc, malgré le profil en diminution observé pour trois paramètres en zone sous influence sans tendance équivalente en zone de référence, vers une absence de signal de dégradation de l'ichtyofaune récifale de 2019 à 2022 dans la zone de la Baie Kwé sous influence potentielle de PRNC. Étant donné ces variations récentes, il conviendra de porter une attention particulière à leur éventuelle poursuite lors de la prochaine campagne, qui permettra de confirmer l'interprétation avancée ici.

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 14 : 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=0,031)	Augmentation puis diminution en Baie Kwé / Stabilité puis augmentation 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=0,031)	* (p=0,023)	Augmentation puis diminution en Baie Kwé / Stabilité puis augmentation sur Port Boisé
Biomasse (g/m²)	Non-commerciaux	ns	* (p=0,013)	ns	-
	Commerciaux	ns	* (p=0,033)	* (p=0,037)	Augmentation puis diminution en Baie Kwé / Stabilité puis augmentation sur Port Boisé
	Herbivores	ns	ns	ns	-
	Carnivores	ns	ns	ns	-
	Planctonophages	ns	ns	ns	-
	Piscivores	ns	* (p=0,038)	ns	-
	Chaetodontidae	ns	ns	ns	-
	Pomacentridae	ns	* (p=0,032)	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	-

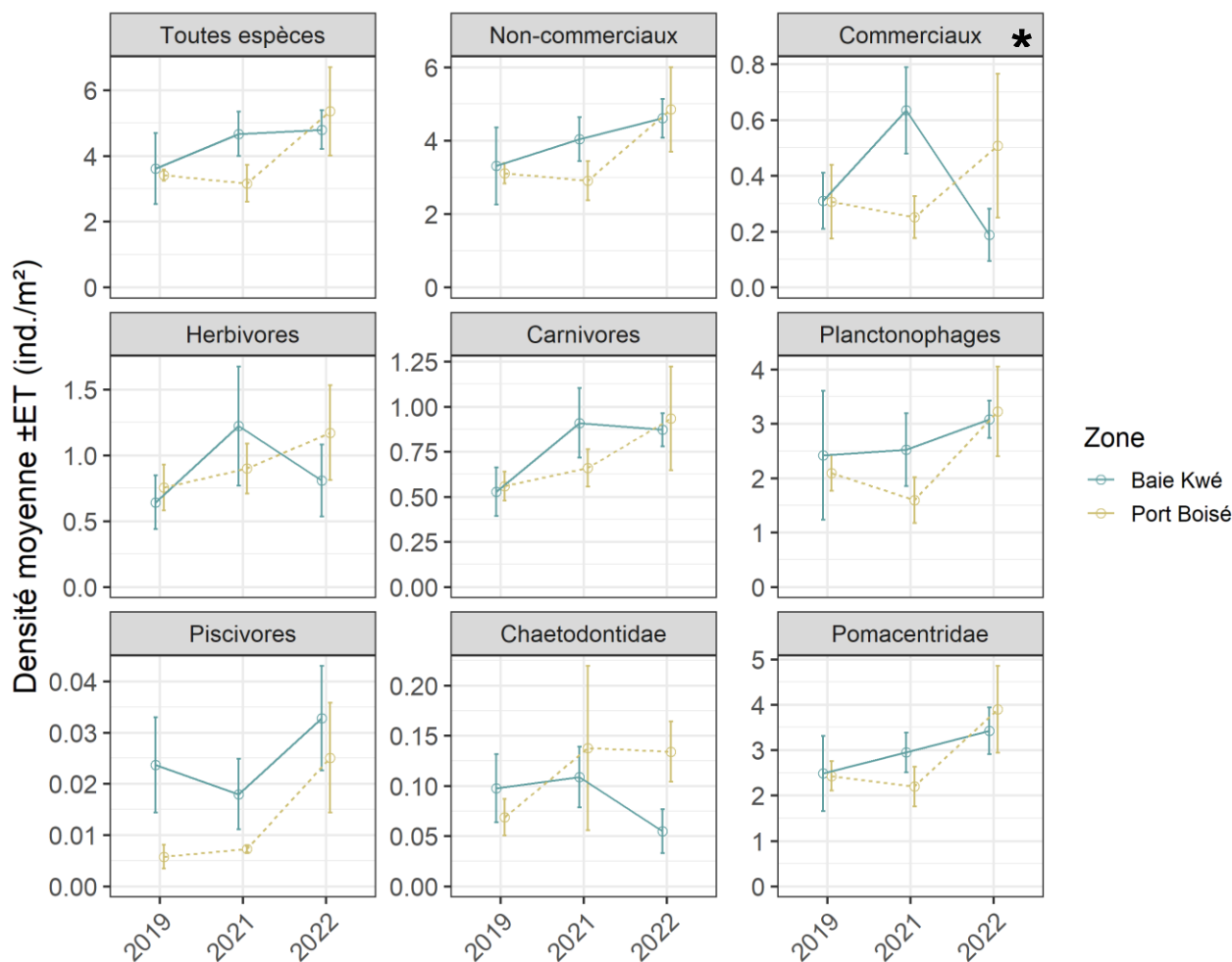


Figure 28 : Variations temporelles des paramètres de densité entre 2019 et 2022, pour chacune des deux zones (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). Les variables marquées d'un « * » sont celles présentant un effet significatif du facteur d'interaction « Campagne x Zone » à l'issue des modélisations *Control-Impact*. ET : Écart-Type.

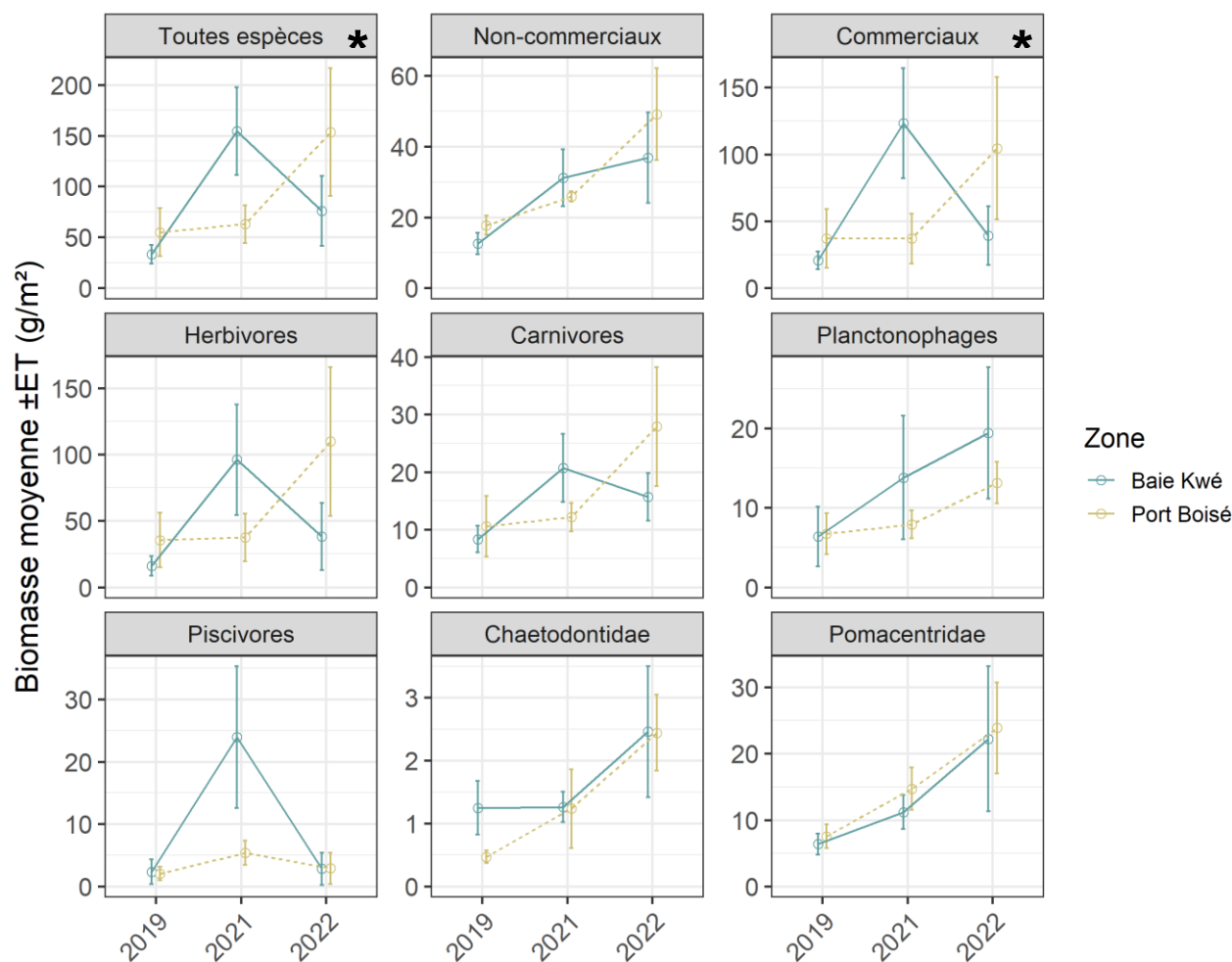


Figure 29 : Variations temporelles des paramètres de biomasse entre 2019 et 2022, pour chacune des deux zones (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). Les variables marquées d'un « * » sont celles présentant un effet significatif du facteur d'interaction « Campagne x Zone » à l'issue des modélisations *Control-Impact*. ET : Écart-Type.

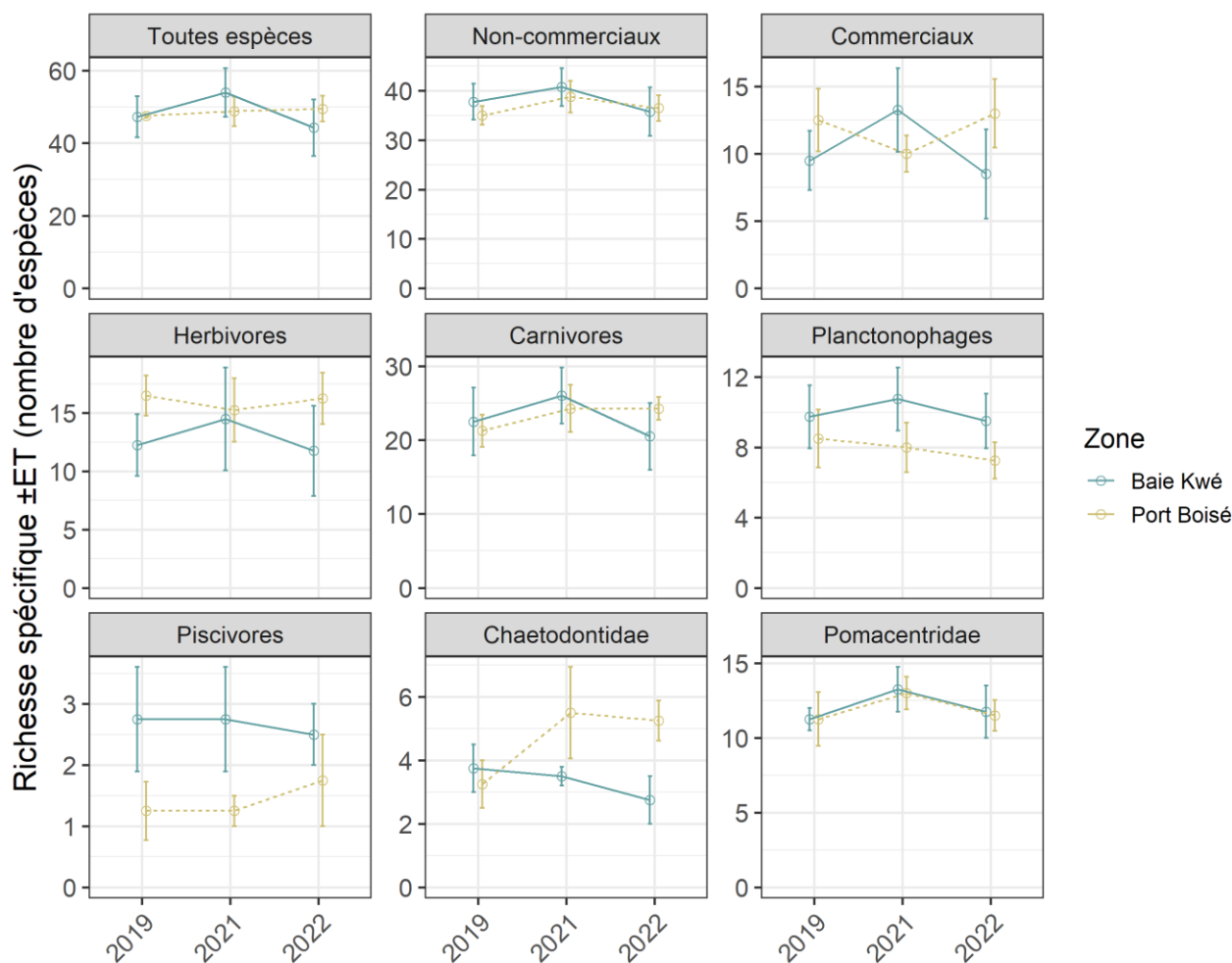


Figure 30 : Variations temporelles des paramètres de richesse spécifique entre 2019 et 2022, pour chacune des deux zones (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). Les variables marquées d'un « * » sont celles présentant un effet significatif du facteur d'interaction « Campagne x Zone » à l'issue des modélisations *Control-Impact*. ET : Écart-Type.

VI. INVERTEBRES MACROBENTHIQUES

VI.1. ETAT DES LIEUX EN 2022

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

La richesse spécifique d'invertébrés (mollusques et échinodermes) est légèrement supérieure en baie de Port Boisé qu'en baie Kwé en 2022 (10,1 et 8,8 espèces respectivement) sans que cette différence ne soit significative (Figure 31 et Tableau 15)

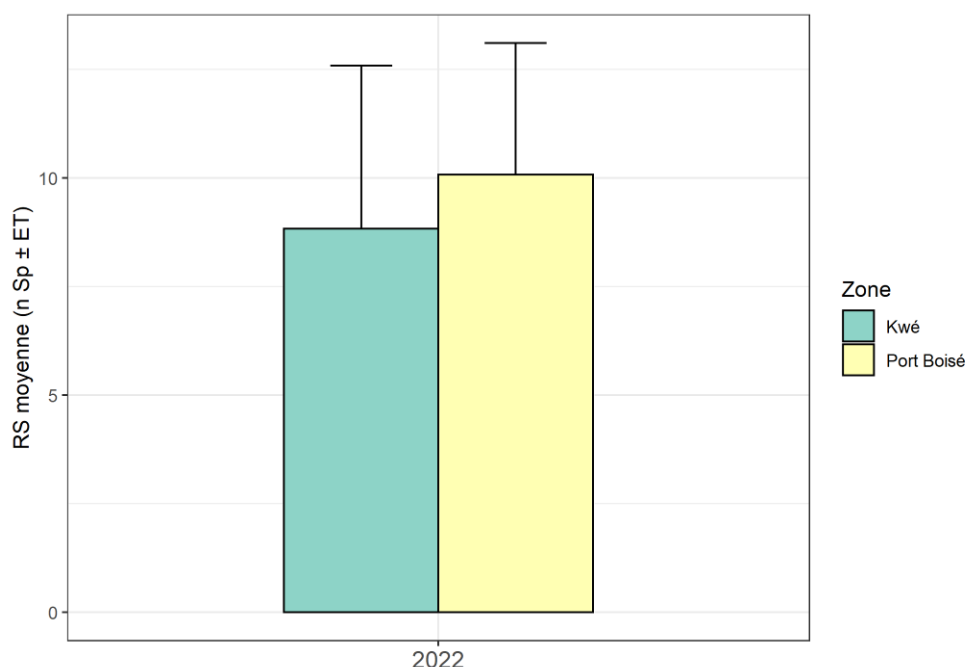


Figure 31 : Richesse spécifique (± ET) par zone en 2022.

Tableau 15 : 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 35 indiv/100m²) alors que les bivalves dominent légèrement cette densité parmi les deux sous-groupes (Figure 33).

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 31). Les Astérides, Echinides, Holothurides contribuent à cette différence.

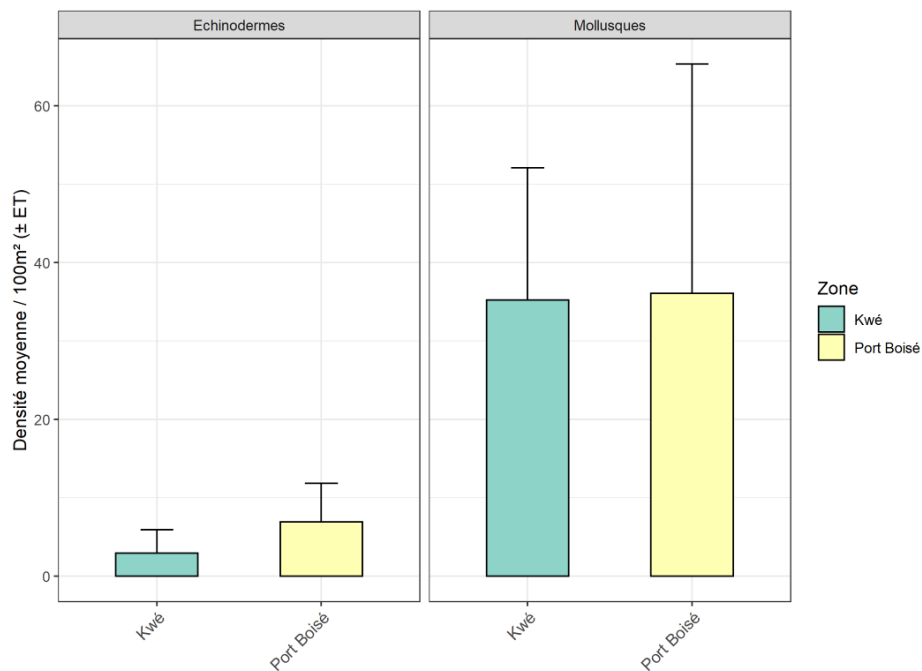


Figure 32 : Densité moyenne (/100m² ± ET) d'échinodermes et de mollusques par zone.

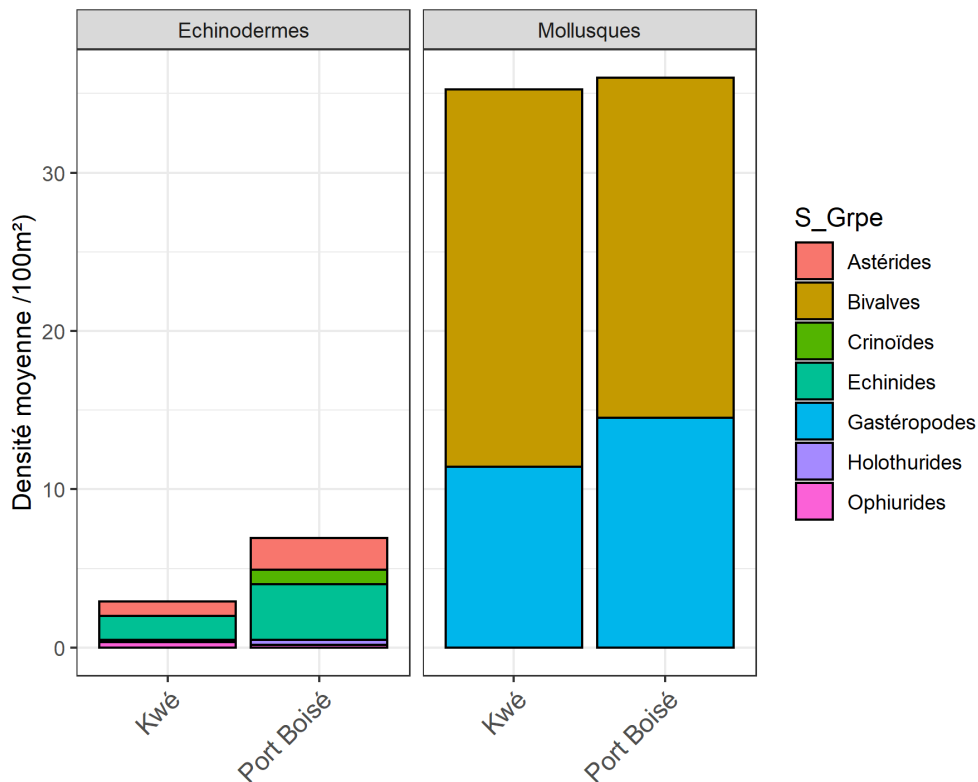


Figure 33 : Densité moyenne (/100m² ± ET) de chaque sous groupe par zone.

Parmi les genres remarquables, aucune invasion d'Acanthasters n'est actuellement identifiée dans chaque zone alors que des invasions localisées de Drupella sur ST34 (Baie Kwé) ou ST38 et ST39 (Port Boisé) (cf Annexe VI) sont reflétées par une densité comprise entre 5 et 12 indiv/100m² en moyenne dans les deux zones. La densité des autres genres remarquables est faible dans chaque zone.

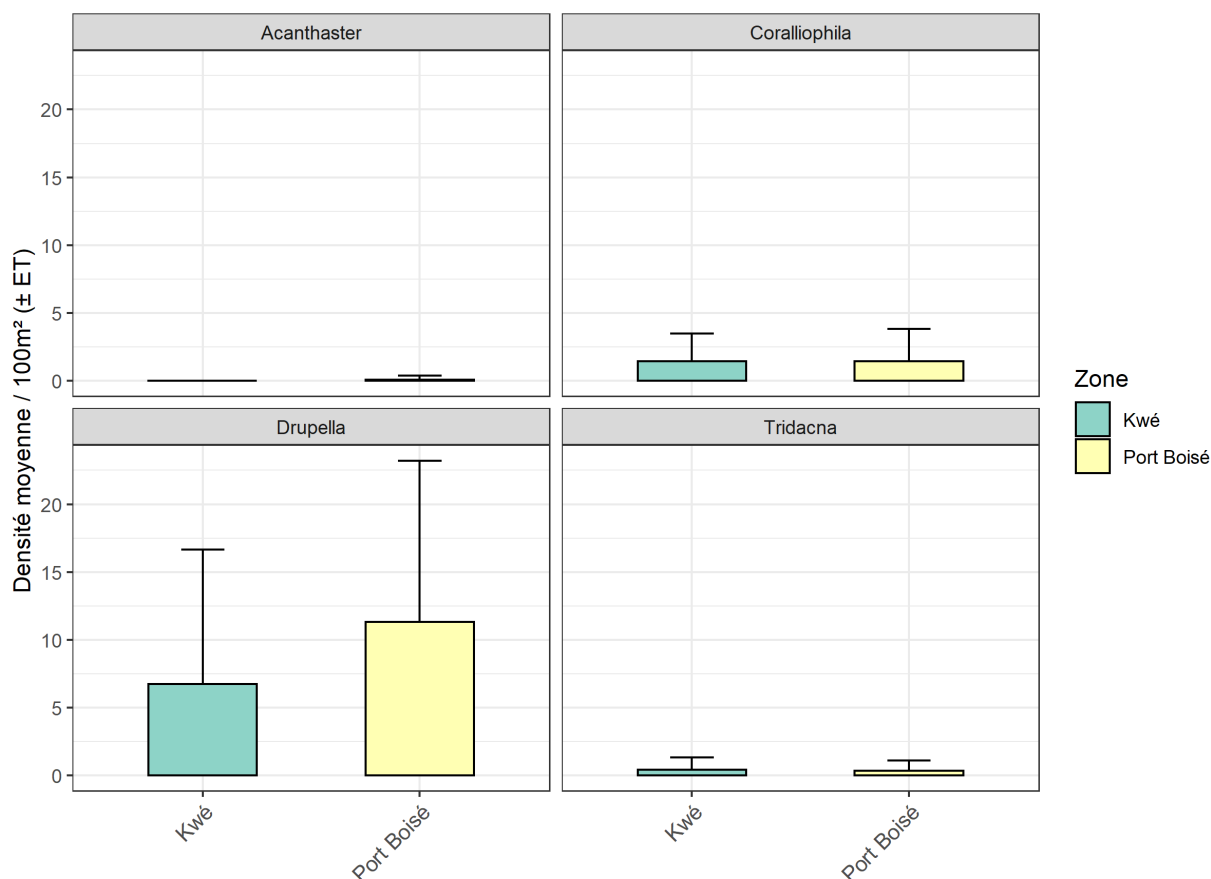


Figure 34 : Densité moyenne (/100m² ± ET) de genres remarquables par zone 2022.

Concernant les organismes coloniaux, les tendances suivantes sont observées (Figure 35) :

- 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, Asparagopsis) ;
- Les indices de couverture de coraux mous (Alcyonnaires), de coraux de feu (Milleporina), de clones (éponges) et de Lobophora (macro-algues) sont supérieurs en baie de Port Boisé ;

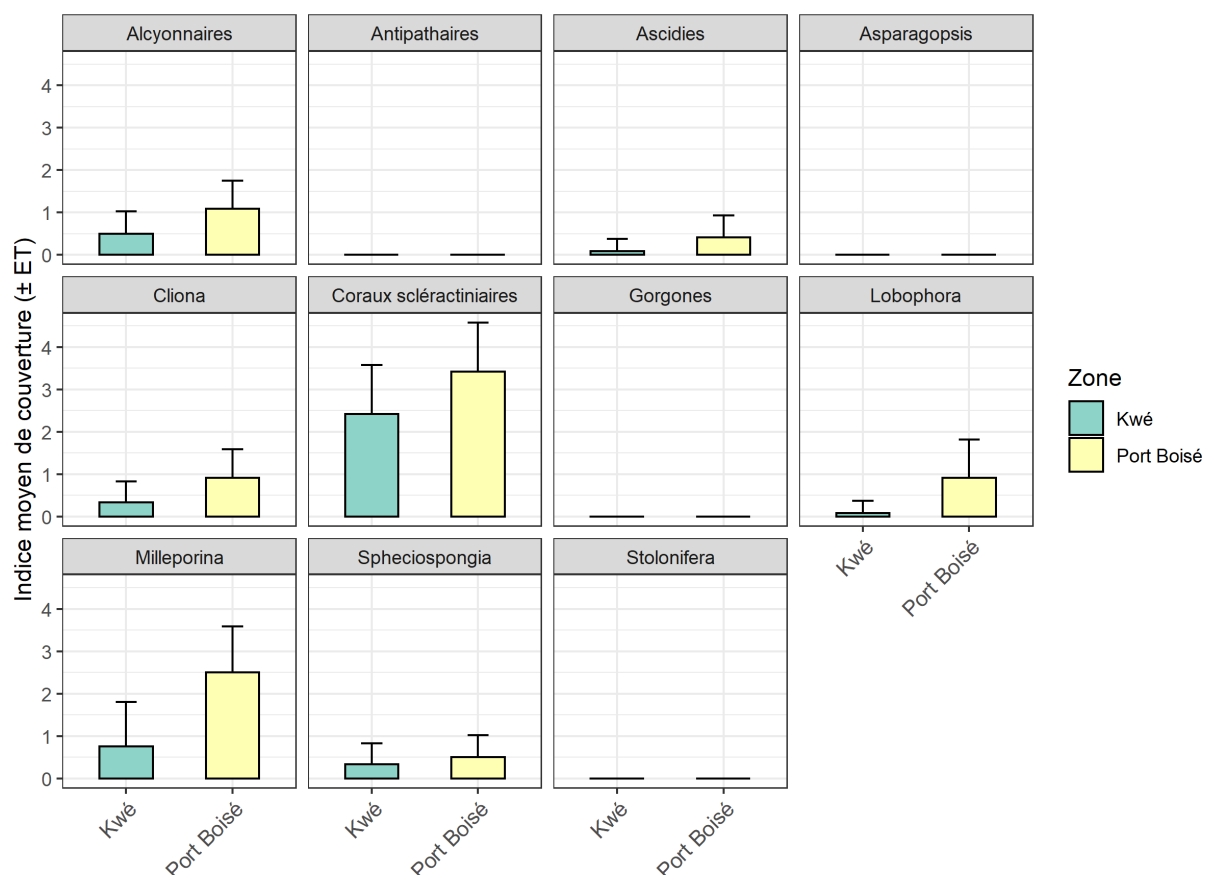


Figure 35: Indice moyen de couverture ($\pm$ ET) pour les groupes taxonomiques coloniaux par zone.

VI.2. MODELISATION DE TYPE CI POUR LA DETECTION DE SIGNAL D'IMPACT ET EVOLUTION TEMPORELLE

VI.2.1. Modélisation de type CI entre 2019 et 2022

Aucun signal d'impact n'est détecté sur la richesse spécifique entre 2019 et 2021 (Tableau 16 et Figure 36). On observe toutefois une légère baisse régulière de la diversité en baie Kwé depuis 2019 alors qu'aucune tendance claire ne se dessine en baie de Port Boisé. L'examen des données par station (Annexe VI) montre qu'en baie Kwé, les stations ST32 et ST34 contribuent le plus à la baisse observée en 2022 alors qu'en baie de port Boisé, la station ST39 montre une forte baisse entre 2021 et 2022.

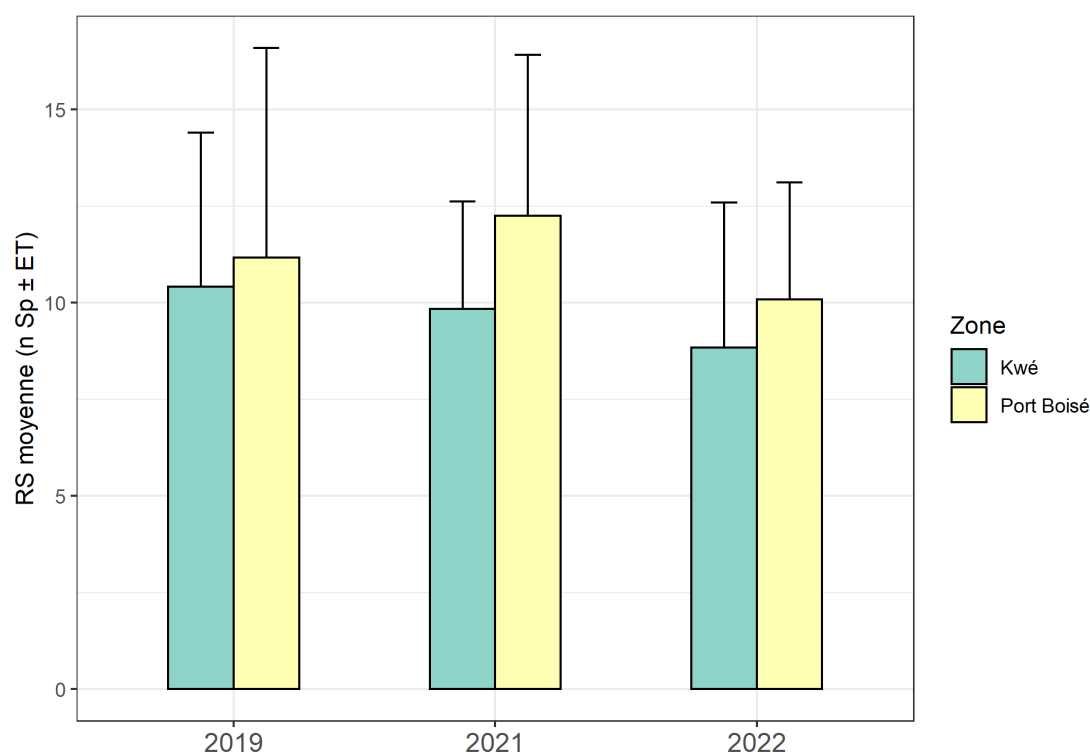


Figure 36 : Richesse spécifique (n espèces ± ET) par zone entre 2019 et 2022

Tableau 16 : 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, 2022

Les densités par groupe ne montrent pas de signal d'impact entre 2019 et 2022 (Tableau 16).

La densité d'échinodermes avait montré une diminution dans chaque zone entre 2019 et 2021 (Figure 37) principalement liée aux Astérides (Figure 38), qui s'est ensuite stabilisée entre 2021 et 2022. L'examen des données par station (Annexe VI) montre toutefois une tendance à la baisse sur la densité de ce sous-groupe entre 2021 et 2022, sur les stations de Port Boisé et en sortie de baie Kwé. On rappelle que 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).

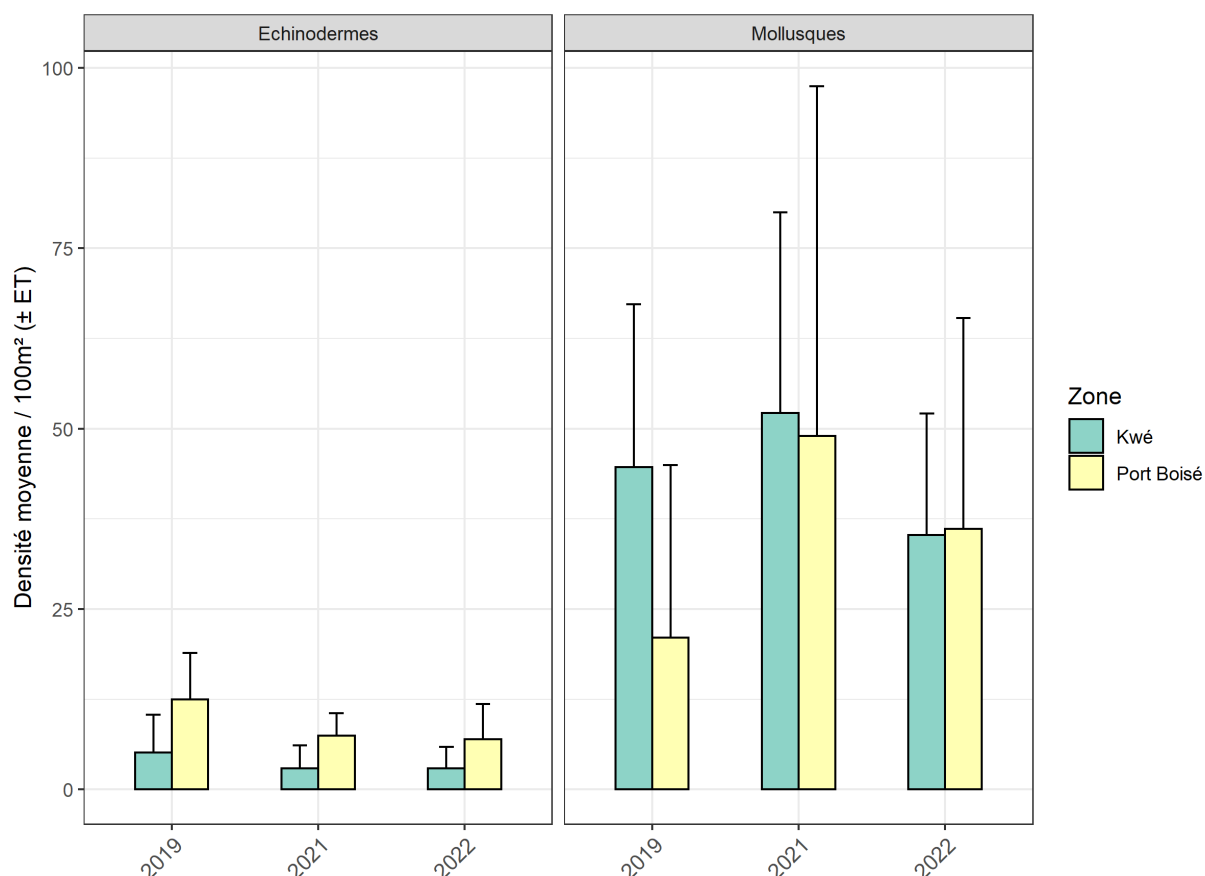


Figure 37 : Densité par groupe (/100m² ± ET) par zone entre 2019 et 2022

Concernant les mollusques et à l'inverse des échinodermes, une évolution de la densité en dents de scie est observée dans chaque zone avec un maximum en 2021 (Figure 37). Entre 2021 et 2022, une baisse de leur densité est observée dans chaque zone, liée davantage aux gastéropodes. L'examen en détail par station montre que les deux couples de stations de sortie de baie contribuent à cette variation (Annexe VI) et que le genre *Drupella* contribue fortement à ces variations (Figure 39).

Les autres sous-groupes d'invertébrés sont relativement peu présents dans chaque zone et ne montrent pas de fortes variations entre les campagnes.

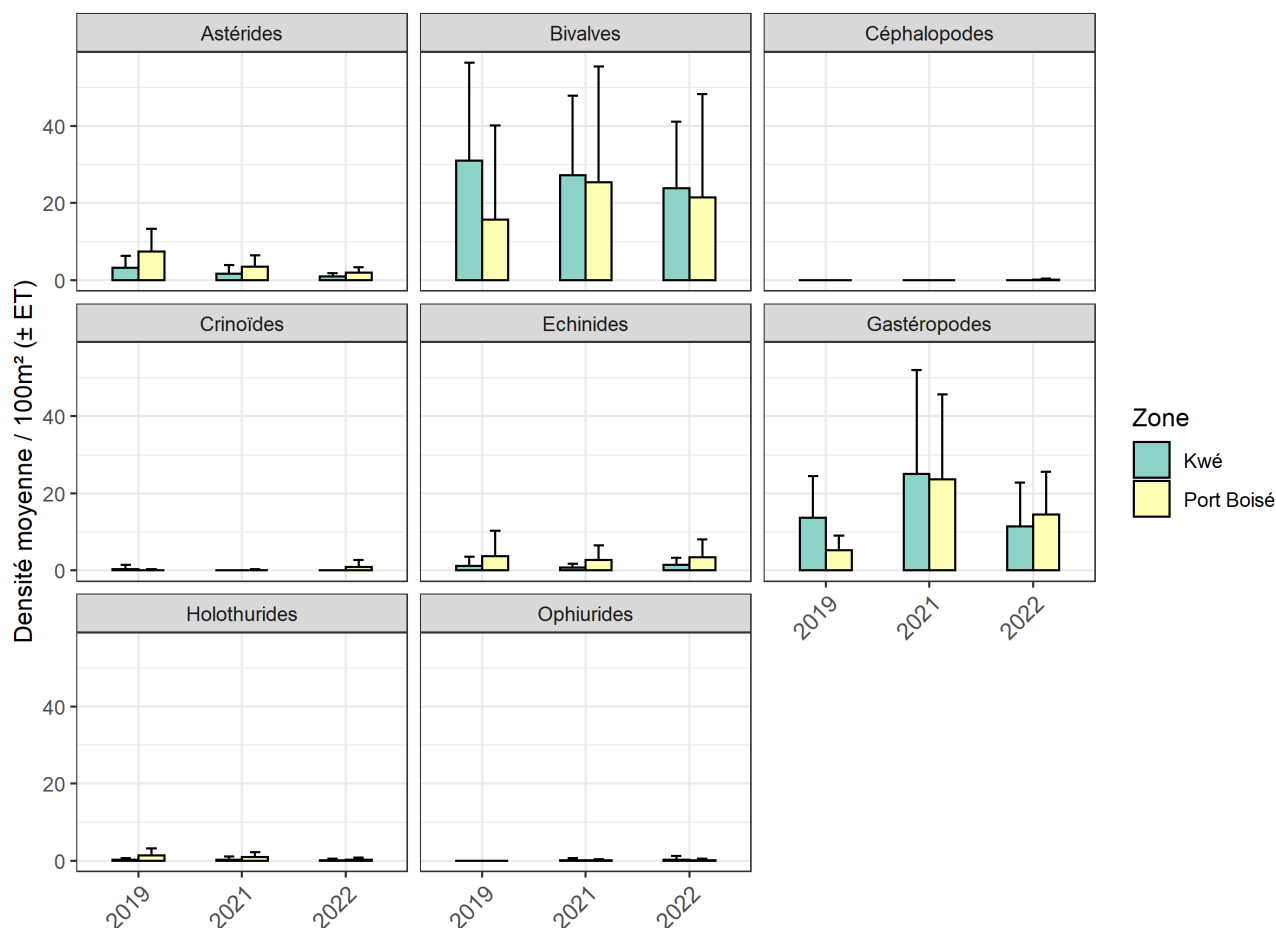


Figure 38 : Densité par sous-groupe (/100m² ± ET) par zone entre 2019 et 2022

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 39). Comme stipulé plus haut, seul le gastéropode corallivore *Drupella* montre des variations de densités avec des invasions localisées en 2021 (ST34 en baie Kwé et ST38/39 à Port Boisé), toujours présentes en 2022 mais en densité moins importante (Annexe VI).

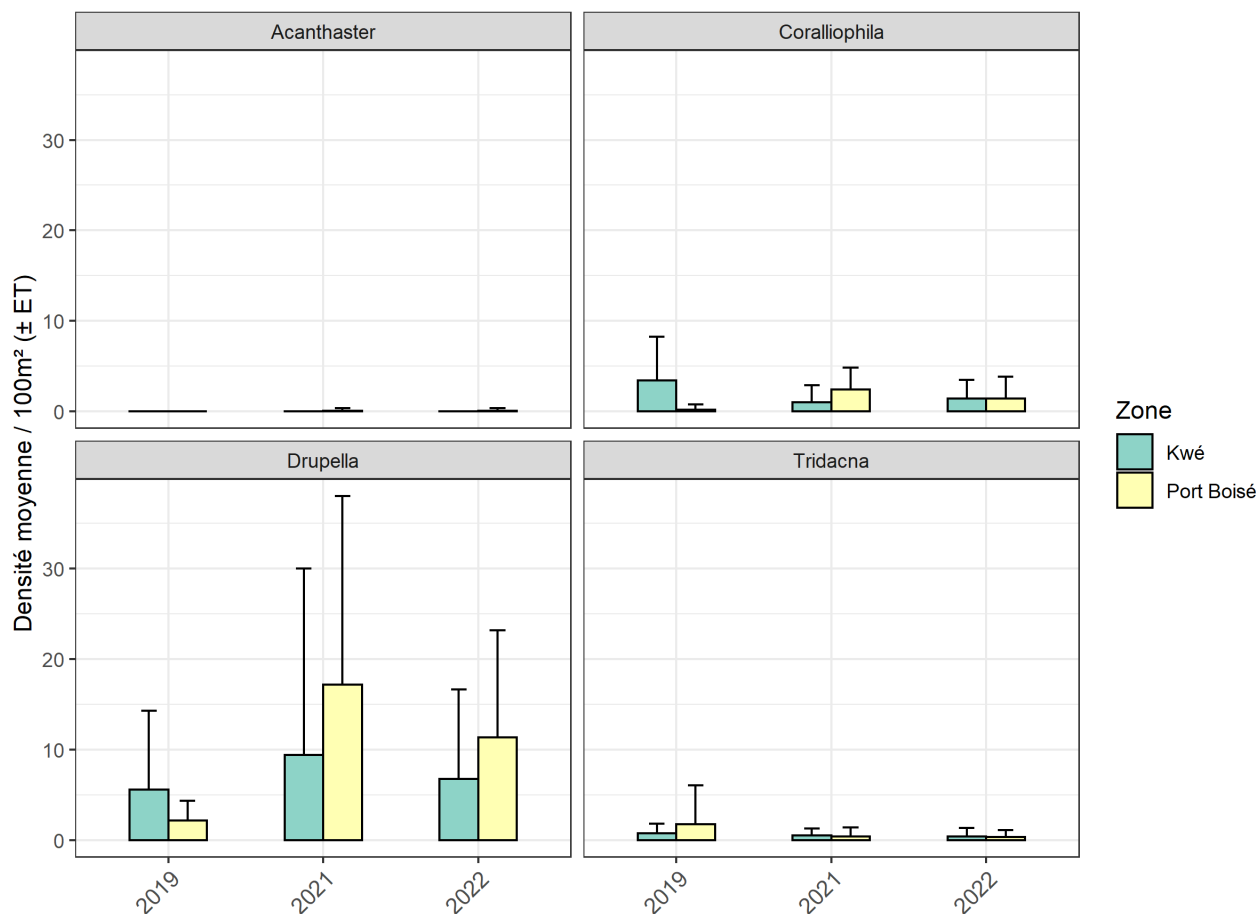


Figure 39 : Densité de genres remarquables (/100m² ± ET) par zone entre 2019 et 2022

Concernant les organismes coloniaux, les tendances suivantes sont observées (Figure 40) :

- Les coraux scléractiniaires montrent une augmentation de couverture régulière entre 2019 et 2022 en baie de port Boisé, comparée à une évolution en dents de scie en baie Kwé. 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 (Milleporina) ne montrent pas d'évolutions particulières dans chaque zone, à l'exception de la couverture de coraux de feu qui augmente régulièrement en baie de port Boisé depuis 2019. Comme pour les coraux scléractiniaires, cette tendance reste toutefois à relativiser en comparaison aux données LIT qui ne montrent pas d'évolutions particulières.
- 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 régulière de la couverture de macroalgues Lobophora en baie de Port Boisé, qui était quasi nulle en 2019. L'examen des données par station (Annexe VI) montre que cette augmentation est liée à 3 stations de la baie.

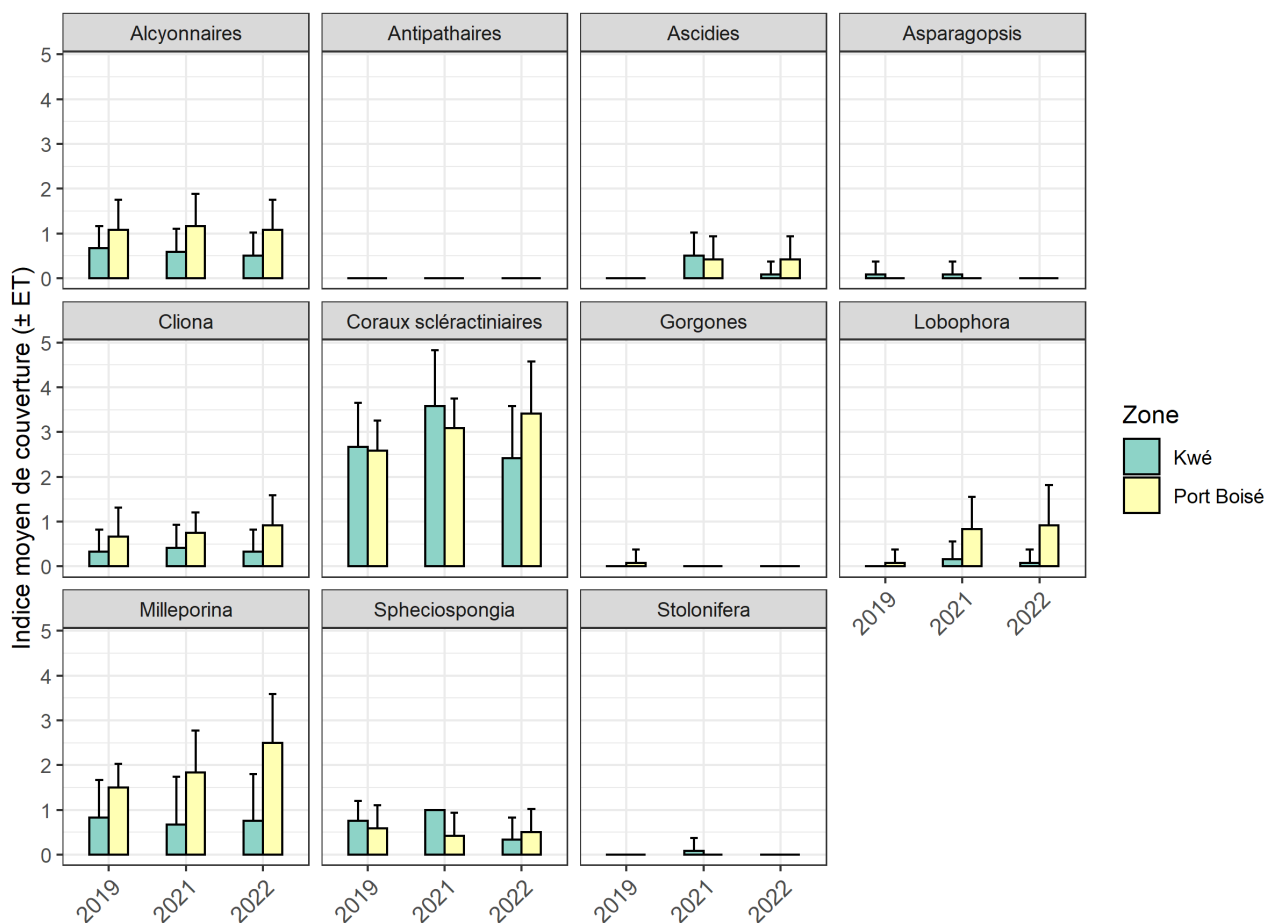


Figure 40 : Evolution de l'indice de couverture d'invertébrés coloniaux (± ET) entre 2019 et 2022 par zone

CONCLUSION

La modélisation de type Contrôle/Impact réalisée sur les différents compartiments entre 2019 et 2022 montre l'absence de signal d'impact significatif lié aux activités de PRNC sur cette période. On rappelle que ce signal statistique se traduirait par une dégradation de la zone d'impact potentiel (Baie Kwé) alors que la zone de contrôle (Baie de port Boisé) ne montre pas de dégradation.

Toutefois, une dégradation des habitats coralliens a été observée sur les stations de fond de baie Kwé entre 2019 et 2021 avec l'absence de signe franc de récupération en 2022, bien qu'une légère croissance corallienne soit relevée sur certaines stations. La pression sur le milieu marin, liée aux fortes pluies (désalure/sédimentation) générées par le phénomène La Ninã depuis 2020, n'apporte en effet pas les meilleures conditions pour une récupération des récifs frangeants. Cette pression sédimentaire ne semble toutefois pas avoir impacté d'avantage l'état de santé des récifs entre 2021 et 2022, la prévalence des lésions coralliennes liée à la sédimentation /compétition avec les algues confirmant cette tendance à la stabilité dans les deux baies entre 2021 et 2022. En parallèle, la distinction des lésions de sédimentation de celles liées à la compétition avec les algues, réalisée en 2022 lors de l'échantillonnage, montre que les premières dominent en baie Kwé alors que les secondes dominent en baie de port Boisé. Cette tendance semble confirmer une pression sédimentaire supérieure en baie Kwé, sans toutefois que le statut de contrôle (témoin) de la baie de Port Boisé ne lui offre des conditions physico-chimiques parfaites. On rappelle dans ce sens 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.

Les résultats de ce rapport confirment 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, incident industriel).

REFERENCES 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, Sarraména 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.
- Clua E, Legendre P, Vigliola L, Magron F, Kulbicki M, Sarraména S, Labrosse P, Galzin R (2006). Medium scale approach (MSA) for improved assessment of coral reef fish habitat. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 333 p. 219-230. ISSN 0022-0981.
- 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 perimeter 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, Merillod-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.
- Hughes TP, Baird AH, Bellwood DR, Card M, Connolly SR, Folke C, Grosberg R, Hoegh-Guldberg O, Jackson JBC, Kleypas J, Lough JM, Marshall P, Nyström M, Palumbi SR, Pandolfi JM, Rosen B, Roughgarden J. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*. 2003; 301: 929–33. pmid:12920289
- Jones GP (1991) Post-recruitment processes in the ecology of coral reef fish populations: a multi-factorial 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, Sarramégna 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 Ressources* 18(3): 231-250.
- Kulbicki M, Sarramégna 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

ST31

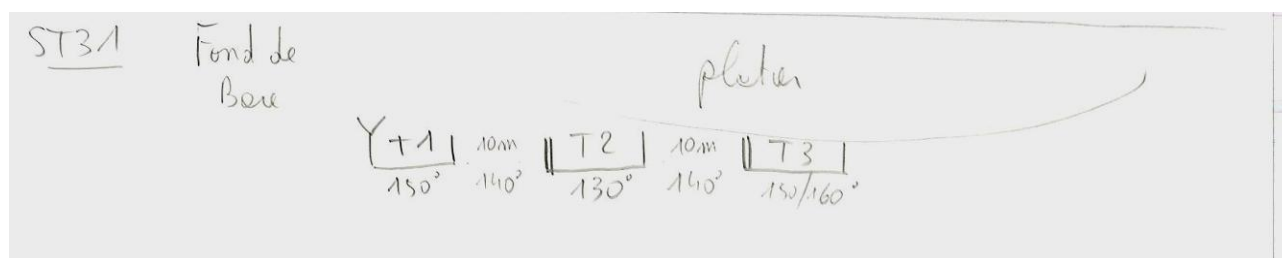


Cartographie des stations - secteur BKP

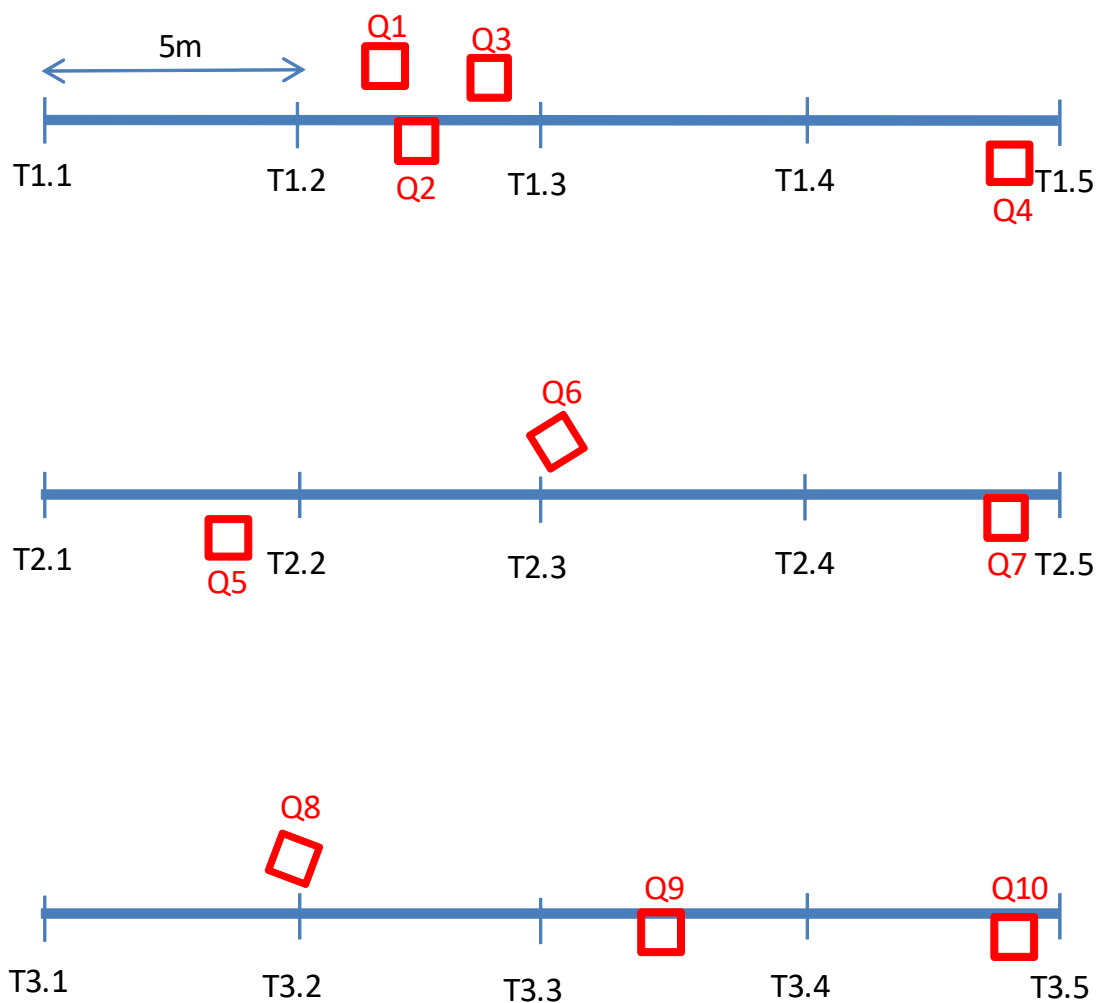
Echelle =
1:20 000

Dessinateur : TH
Affaire N° : 21051

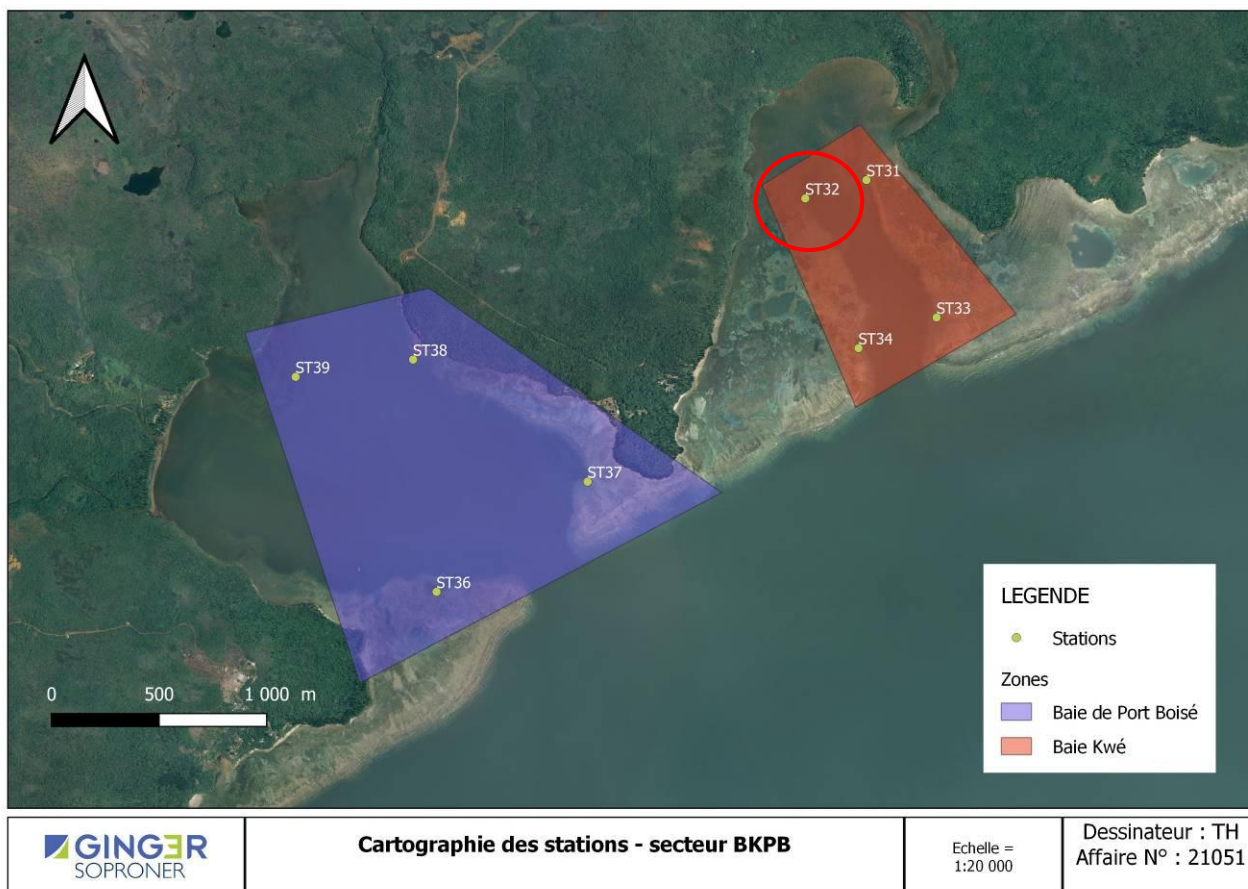
Profondeur au départ de la station : 2m



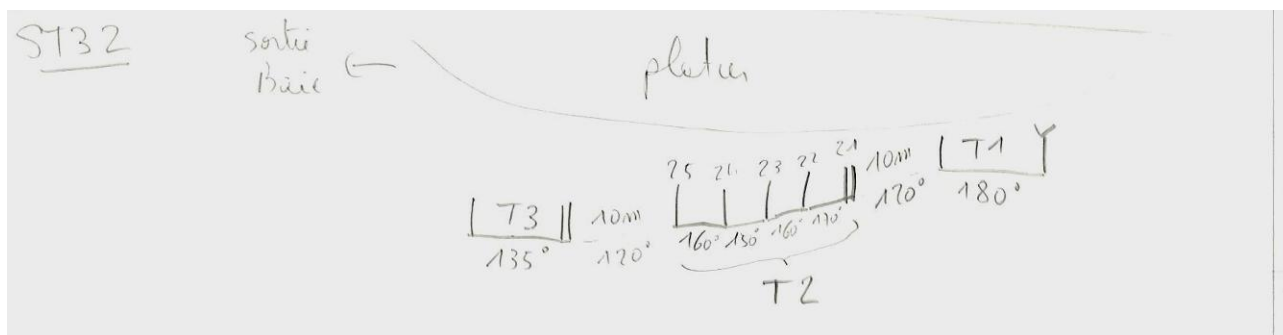
ST31



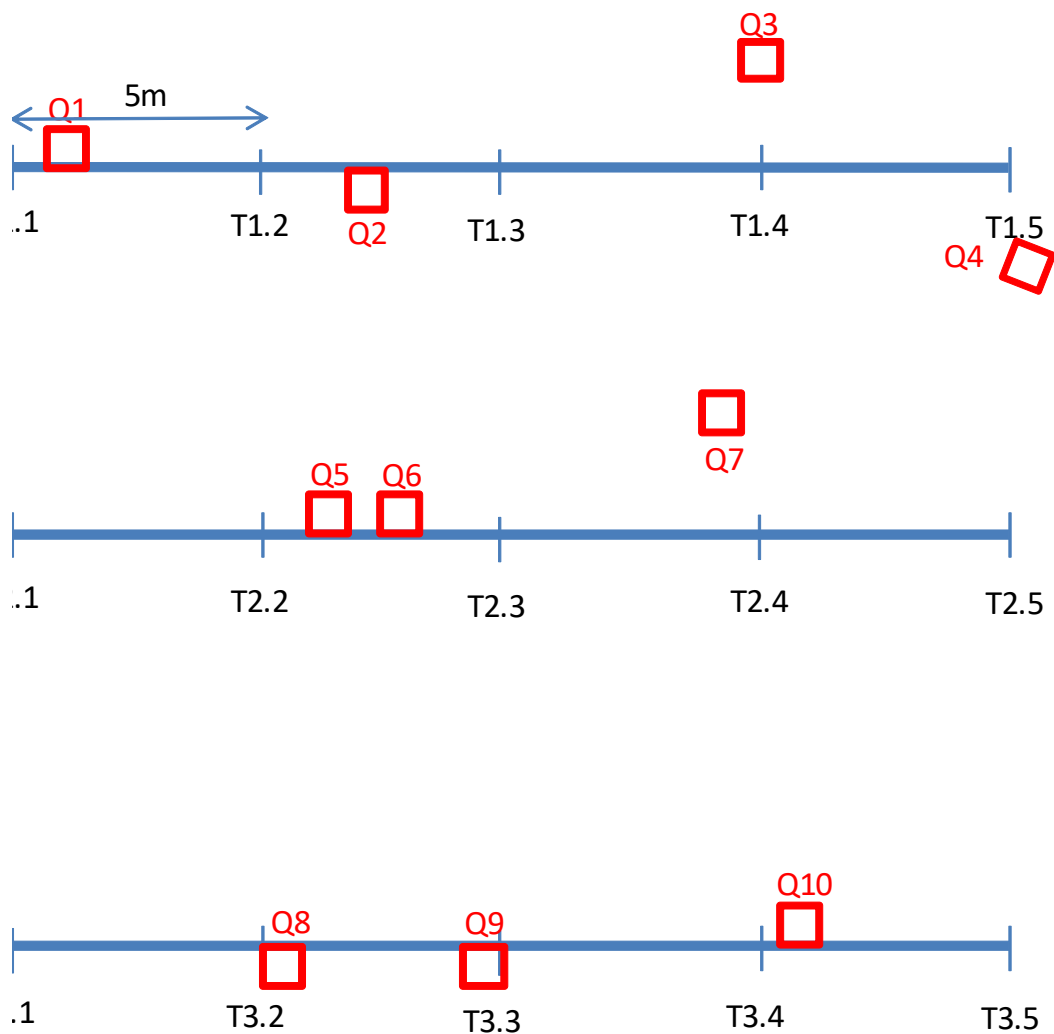
ST32



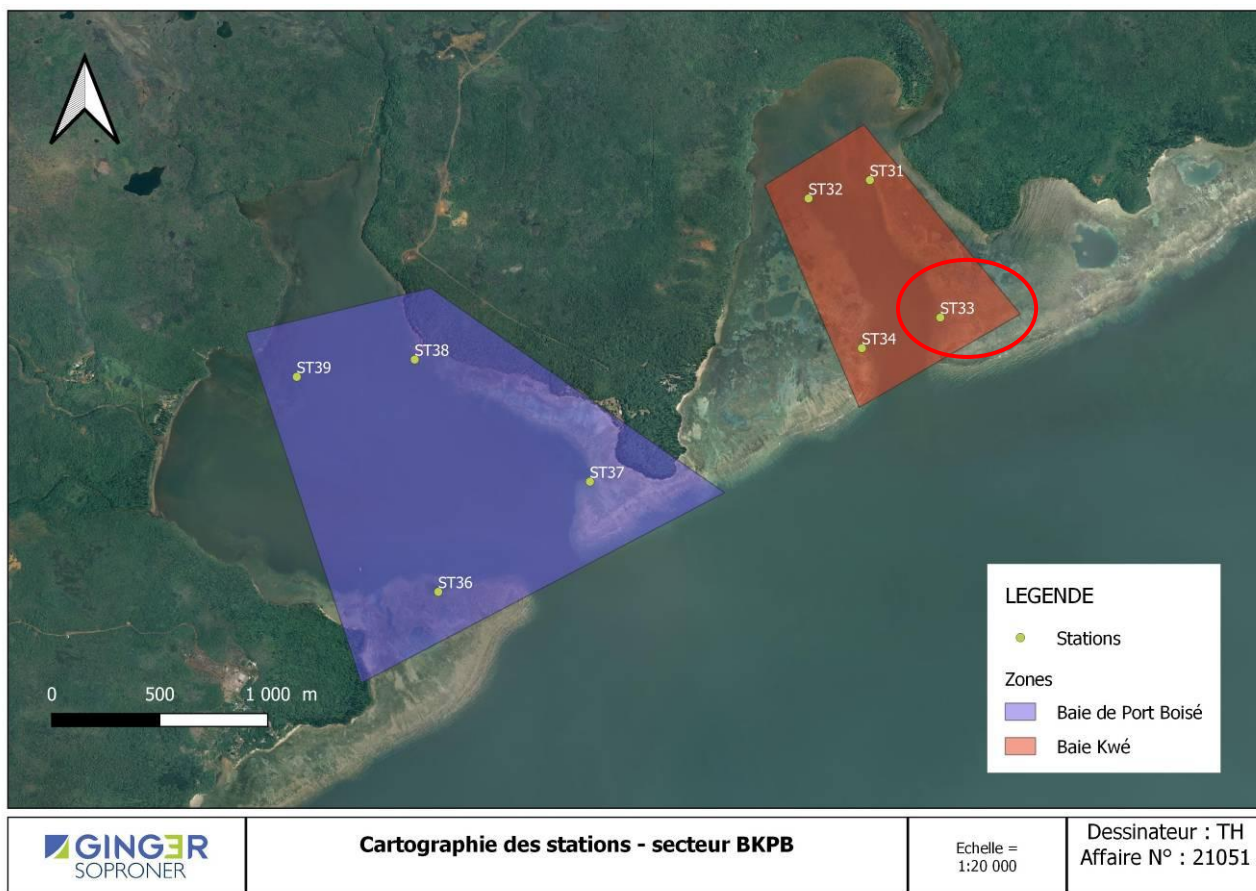
Profondeur au départ de la station : 2m



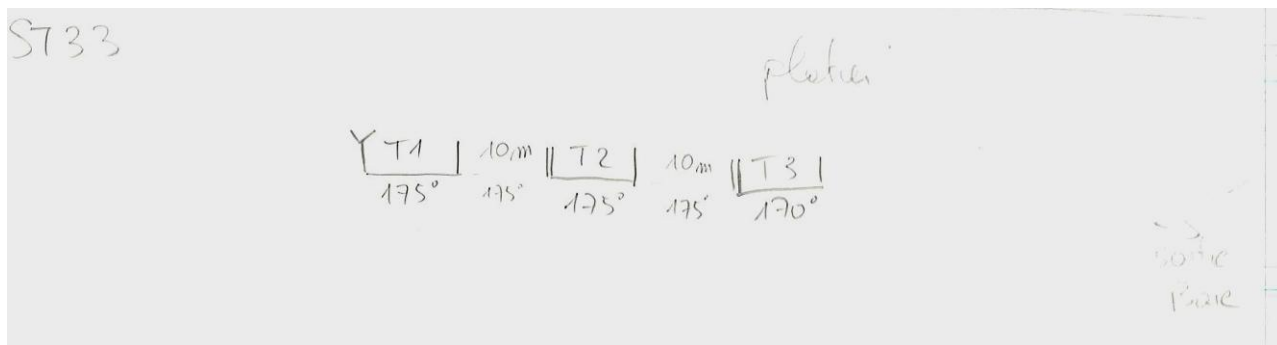
ST32



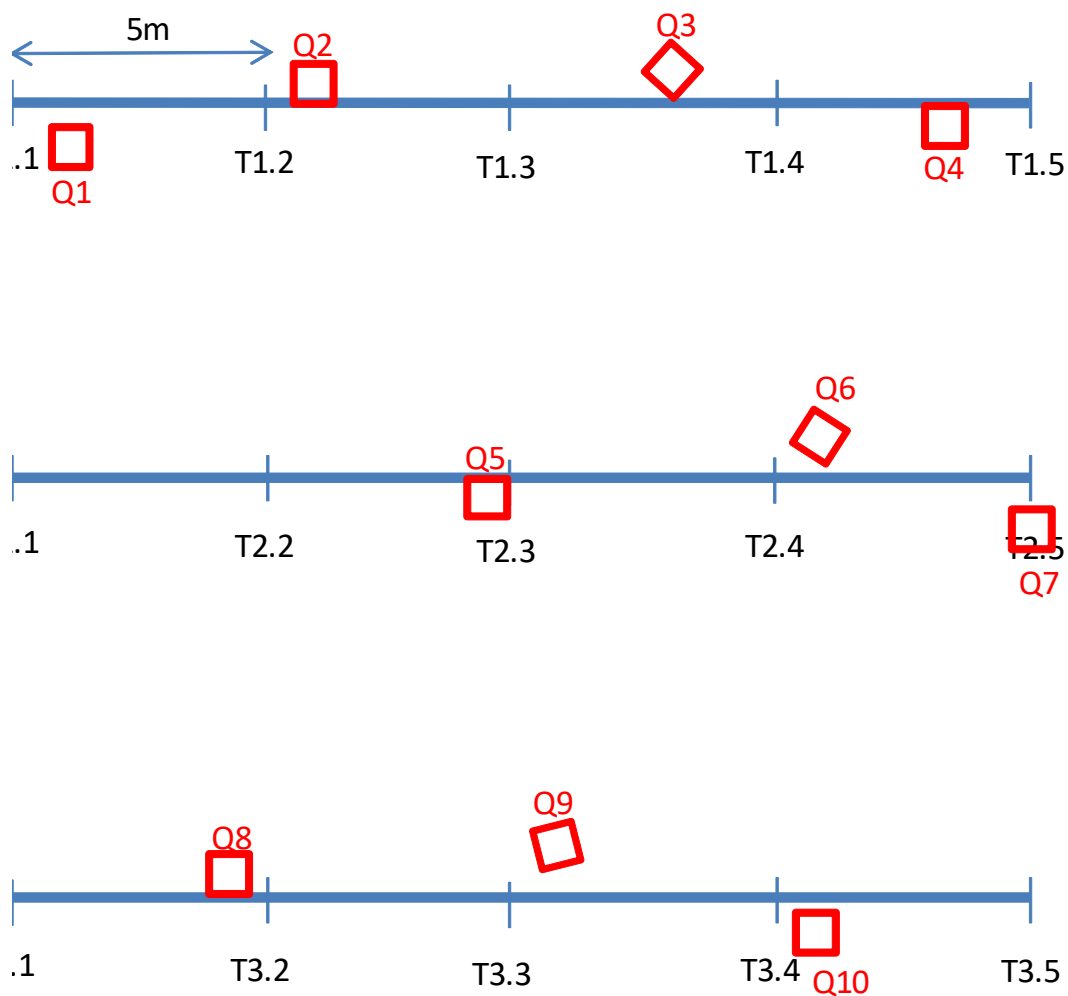
ST33



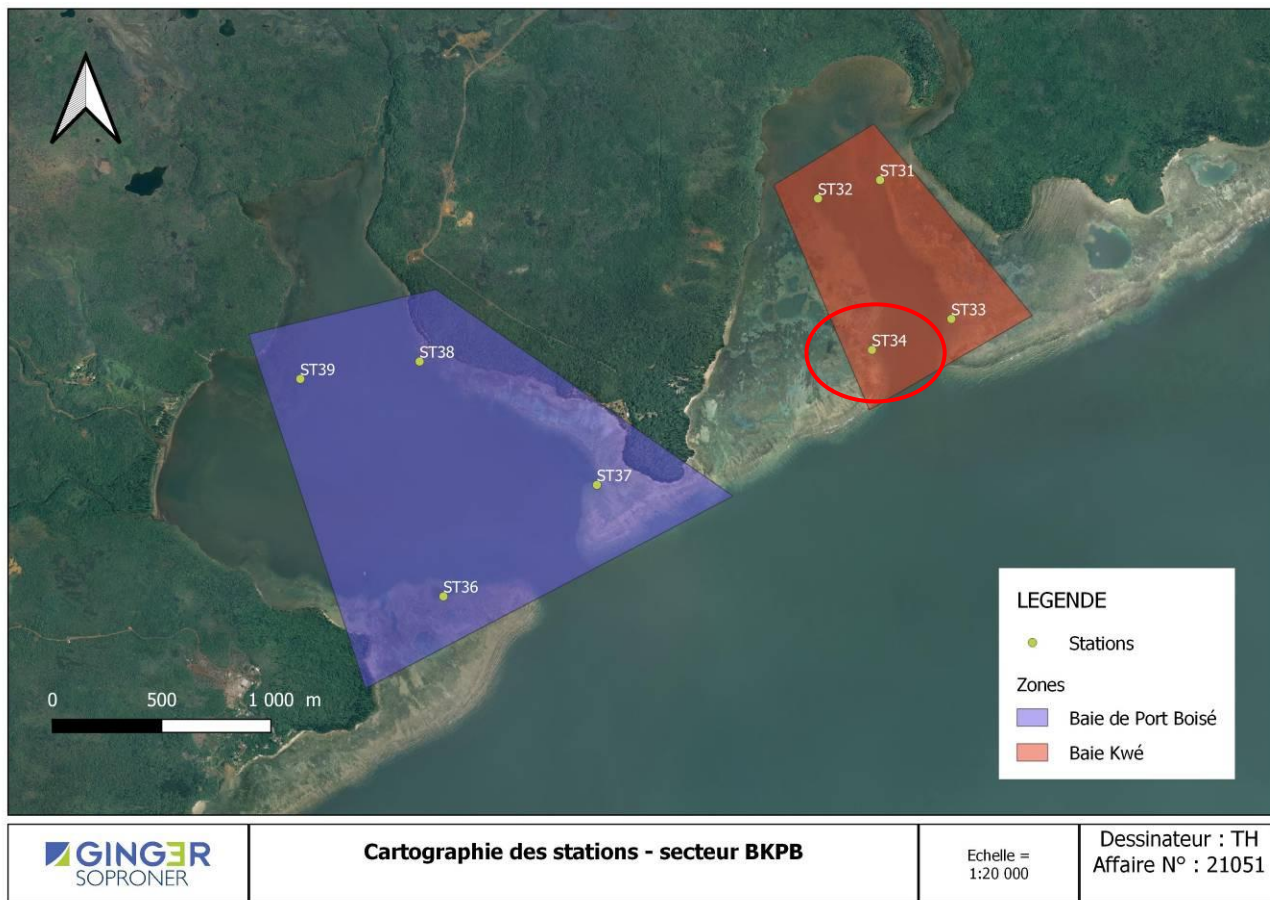
Profondeur au départ de la station : 2m



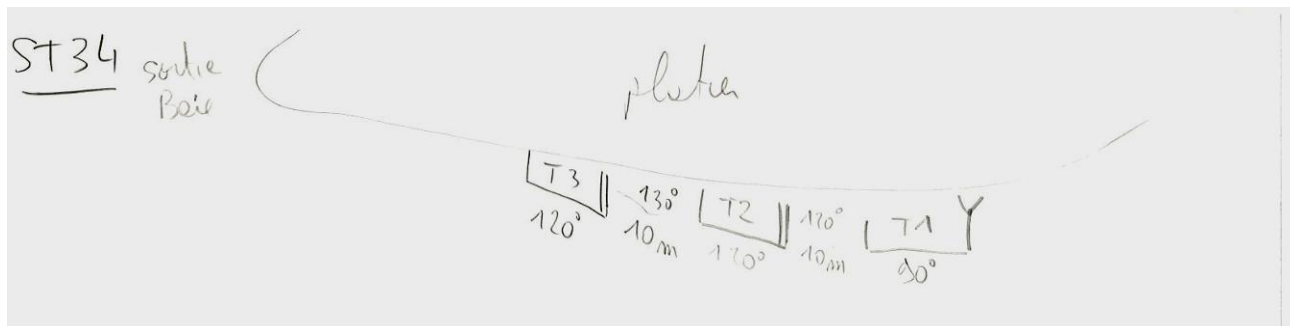
ST33



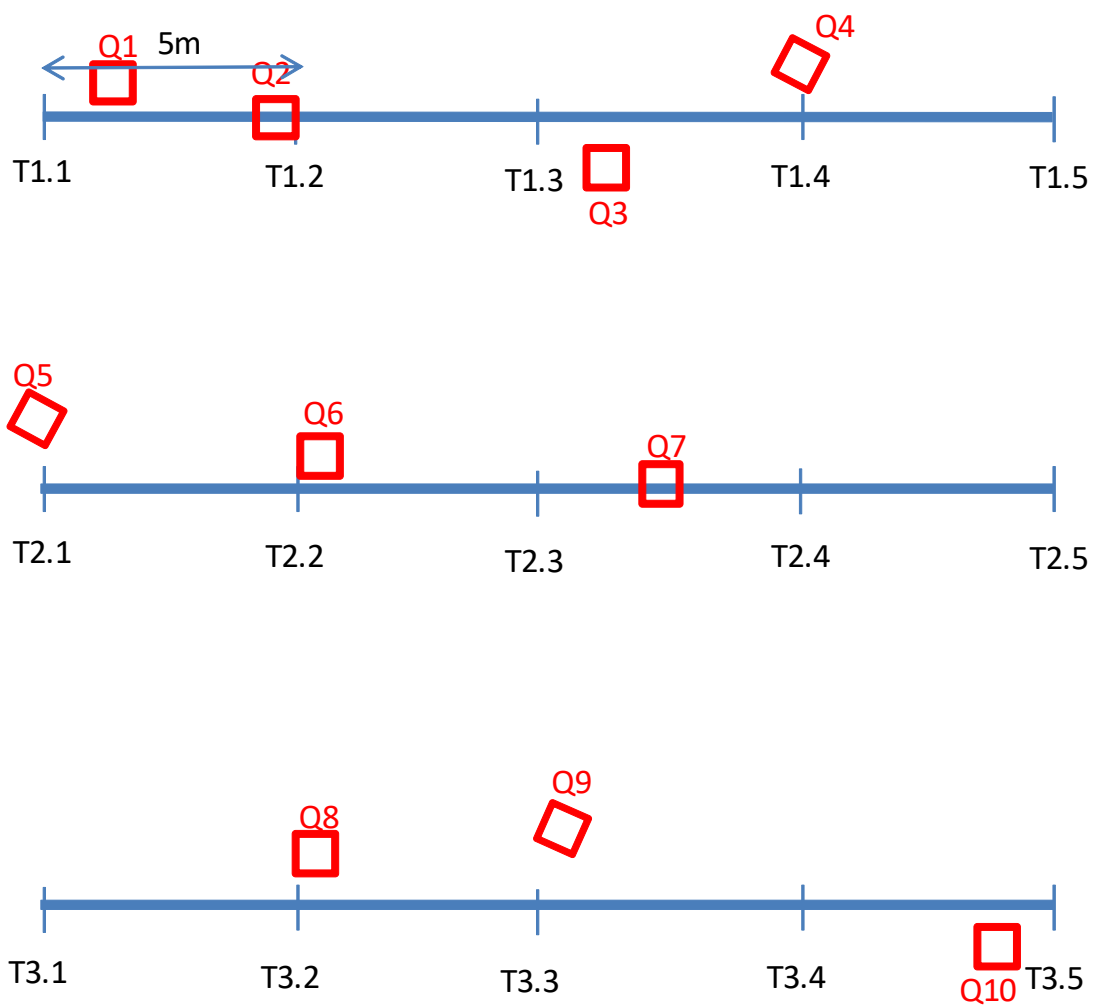
ST34



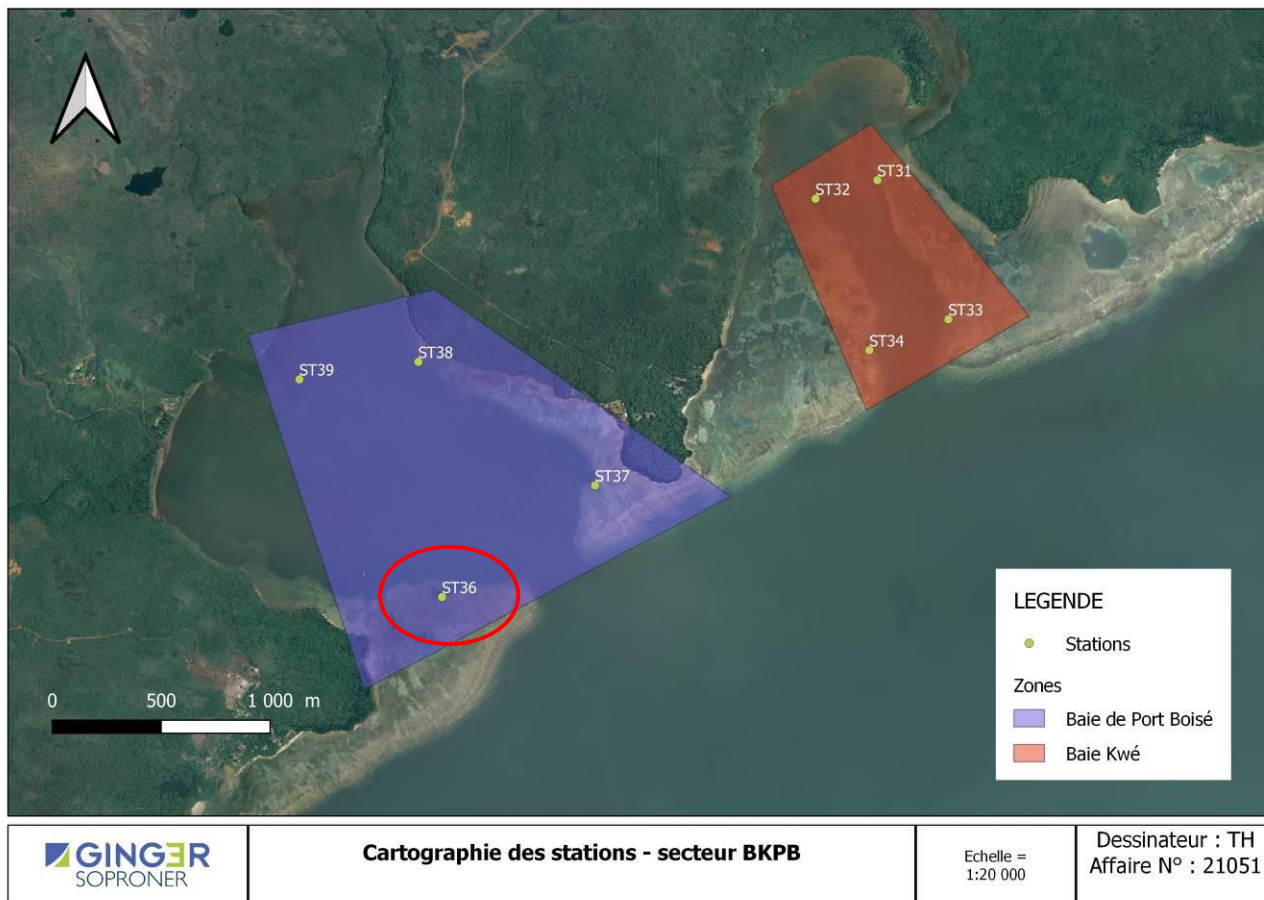
Profondeur au départ de la station : 2m



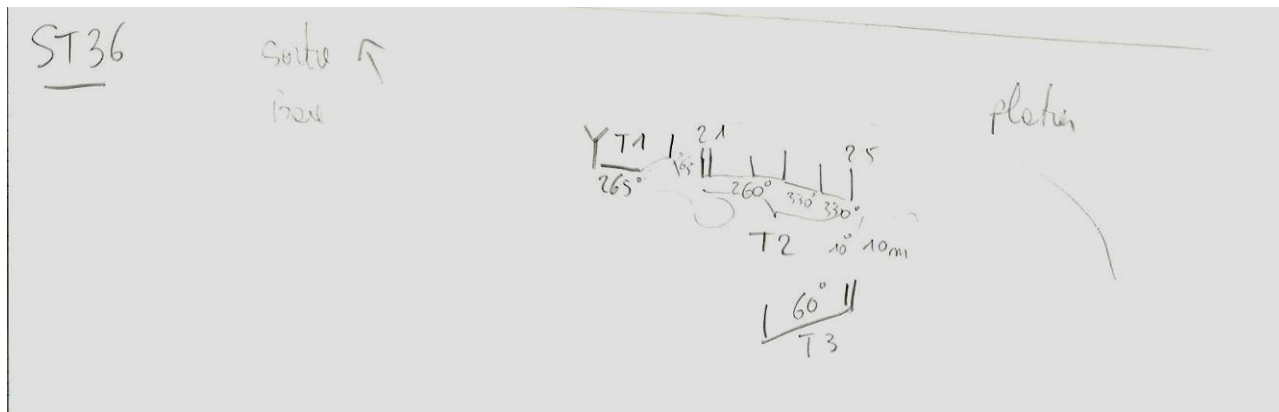
ST34



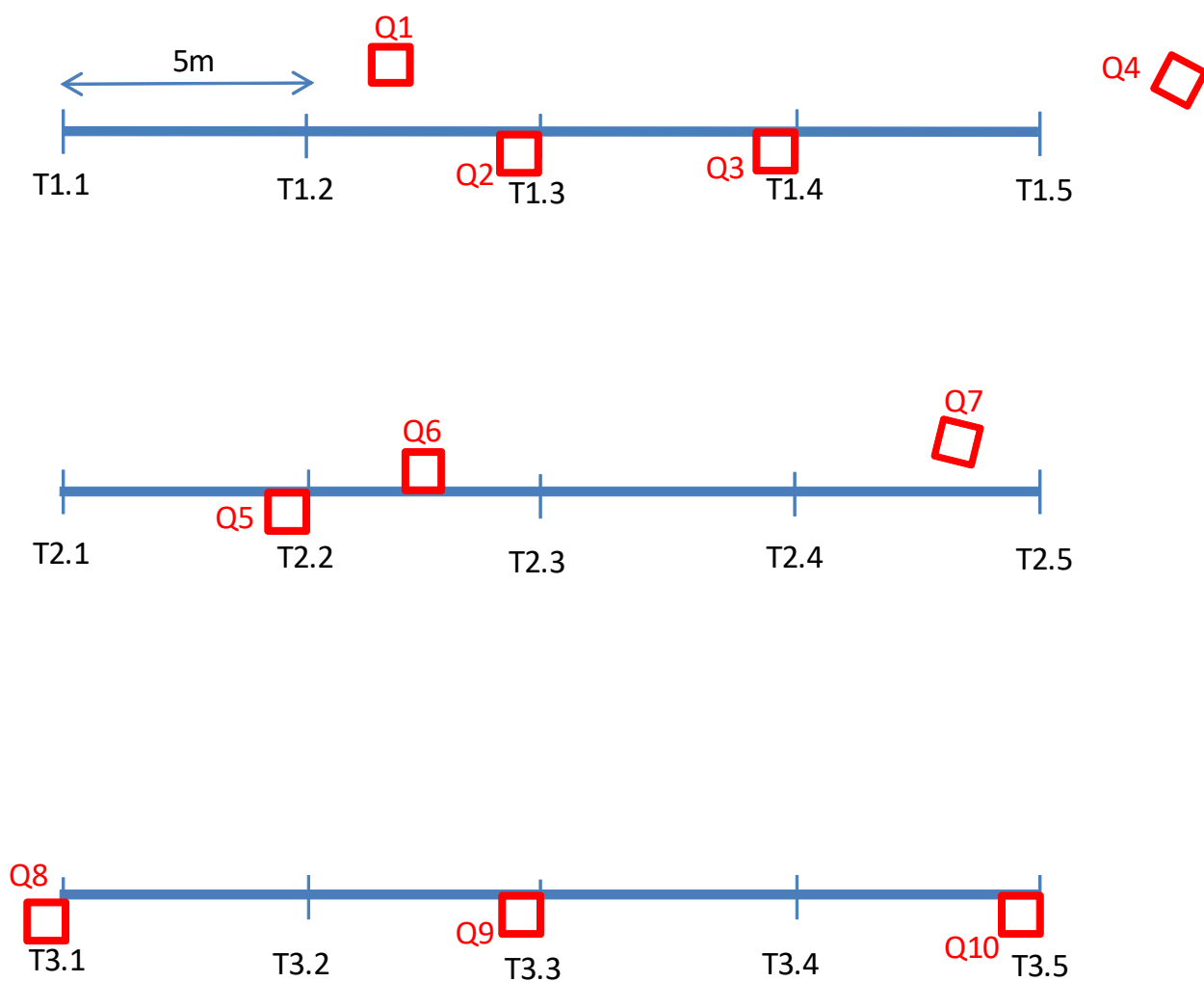
ST36



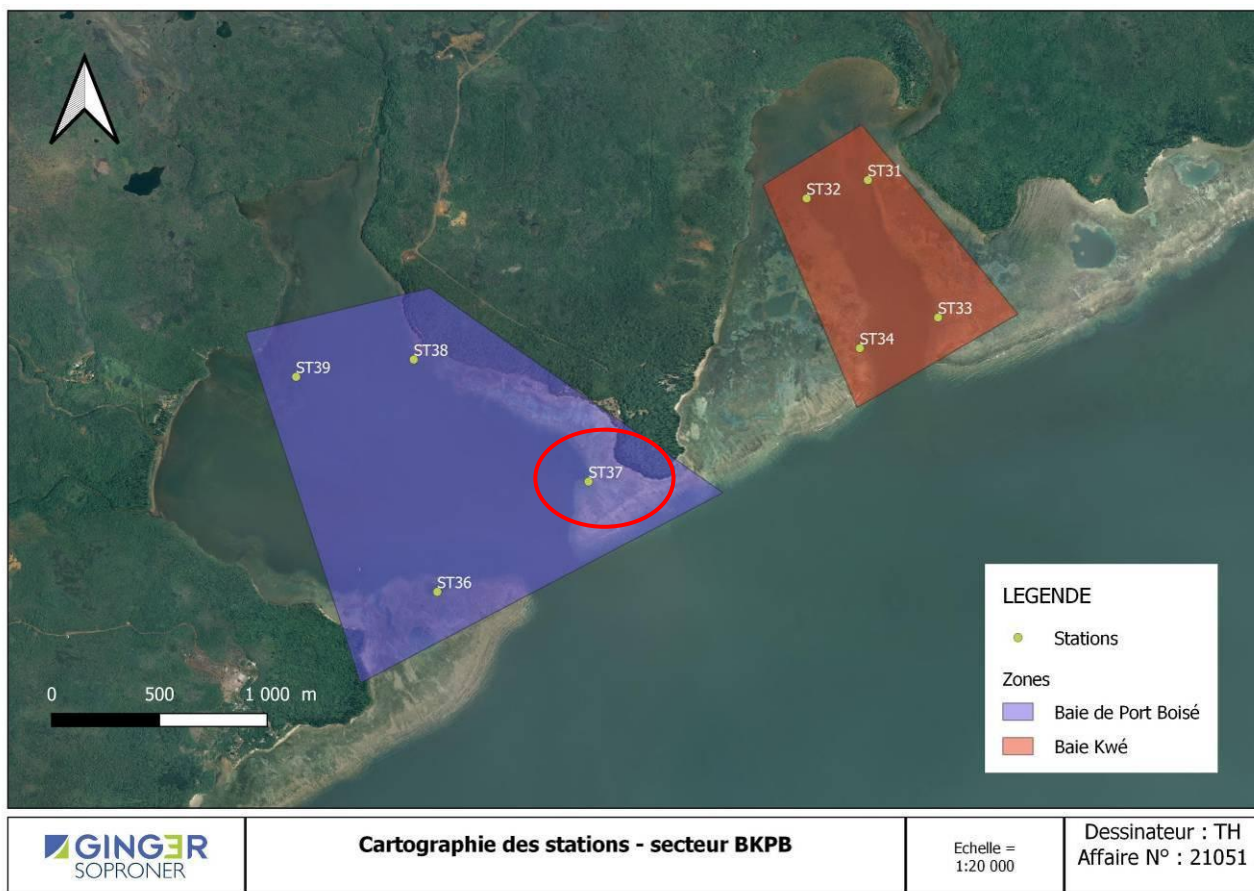
Profondeur au départ de la station : 2m



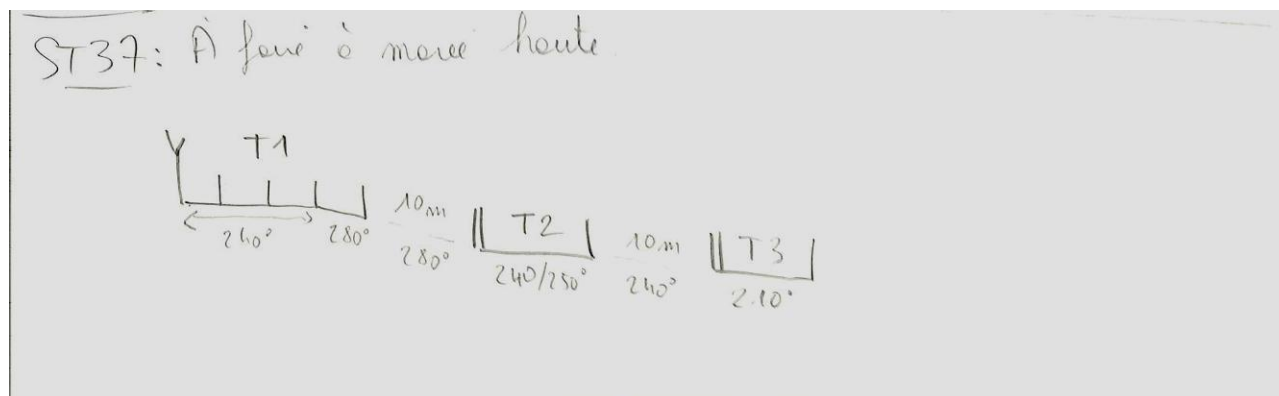
ST36



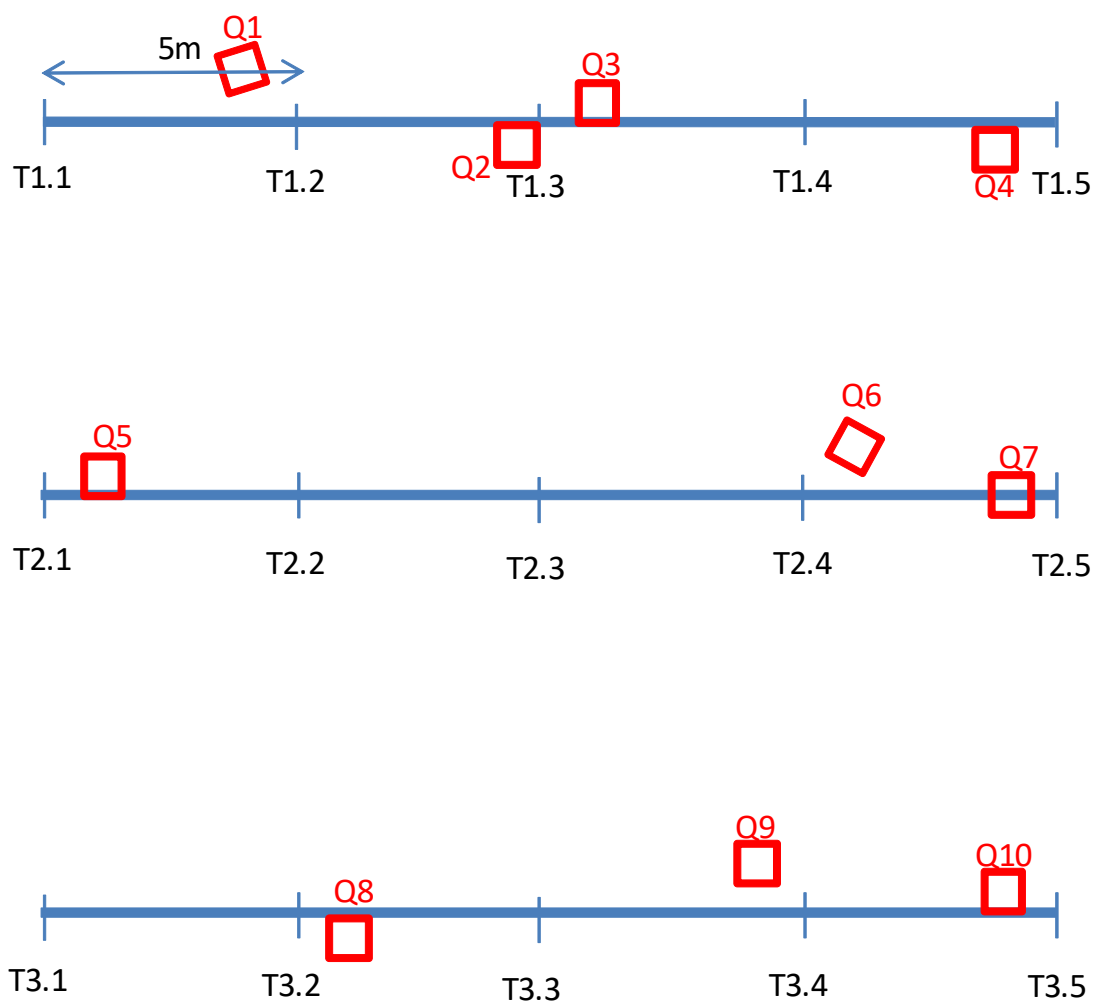
ST37



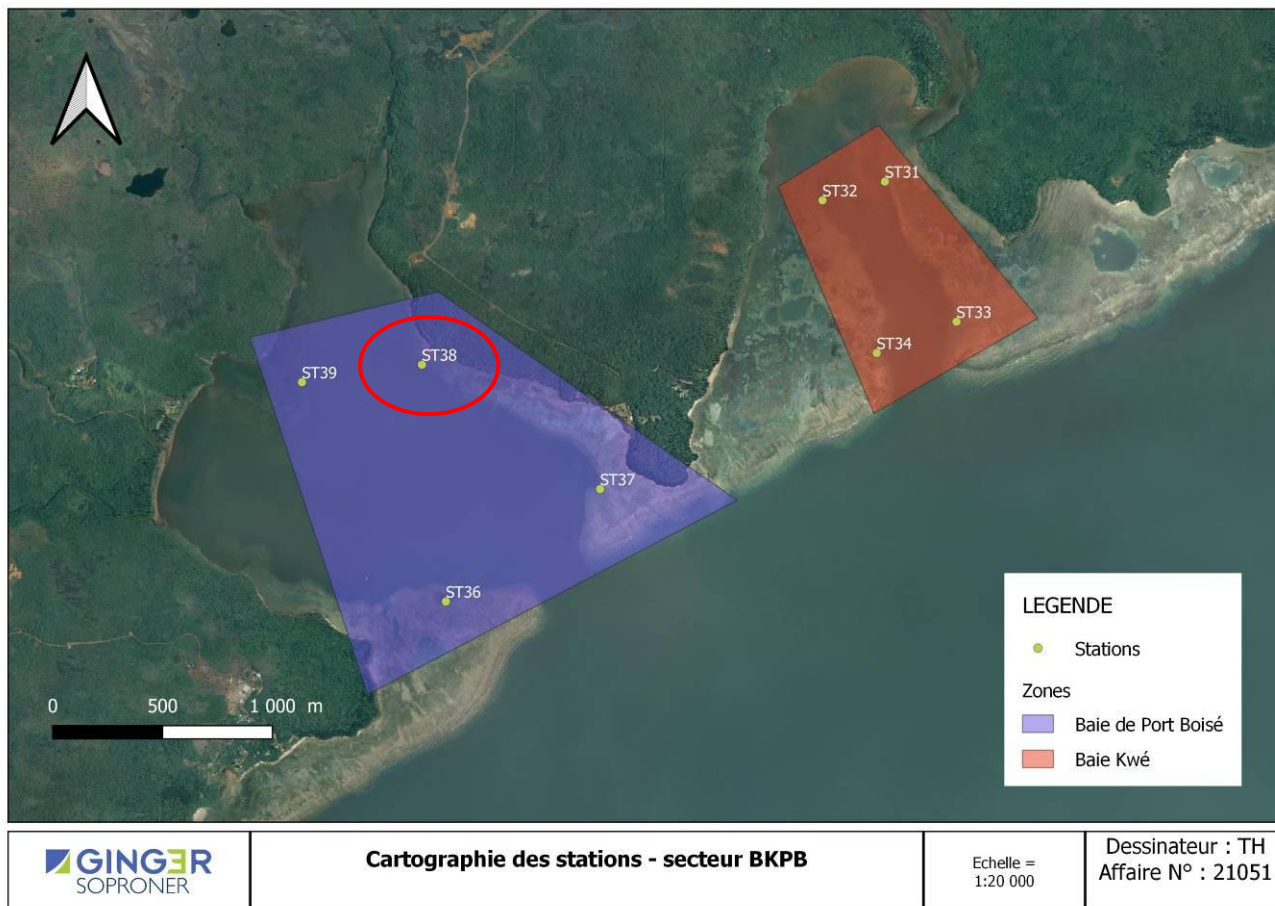
Profondeur au départ de la station : 2m



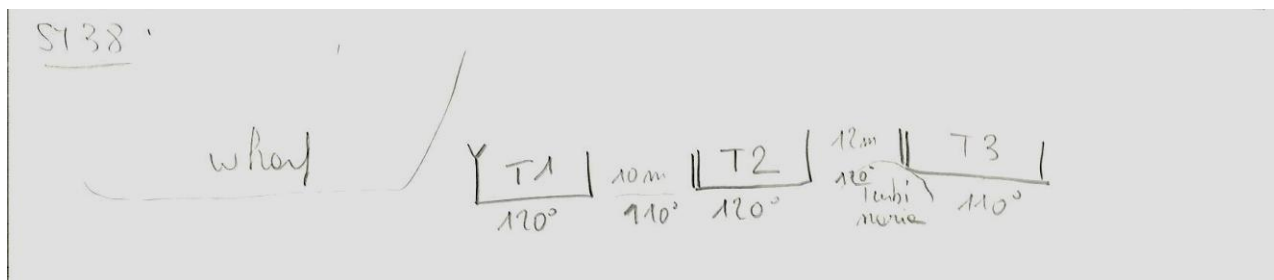
ST37



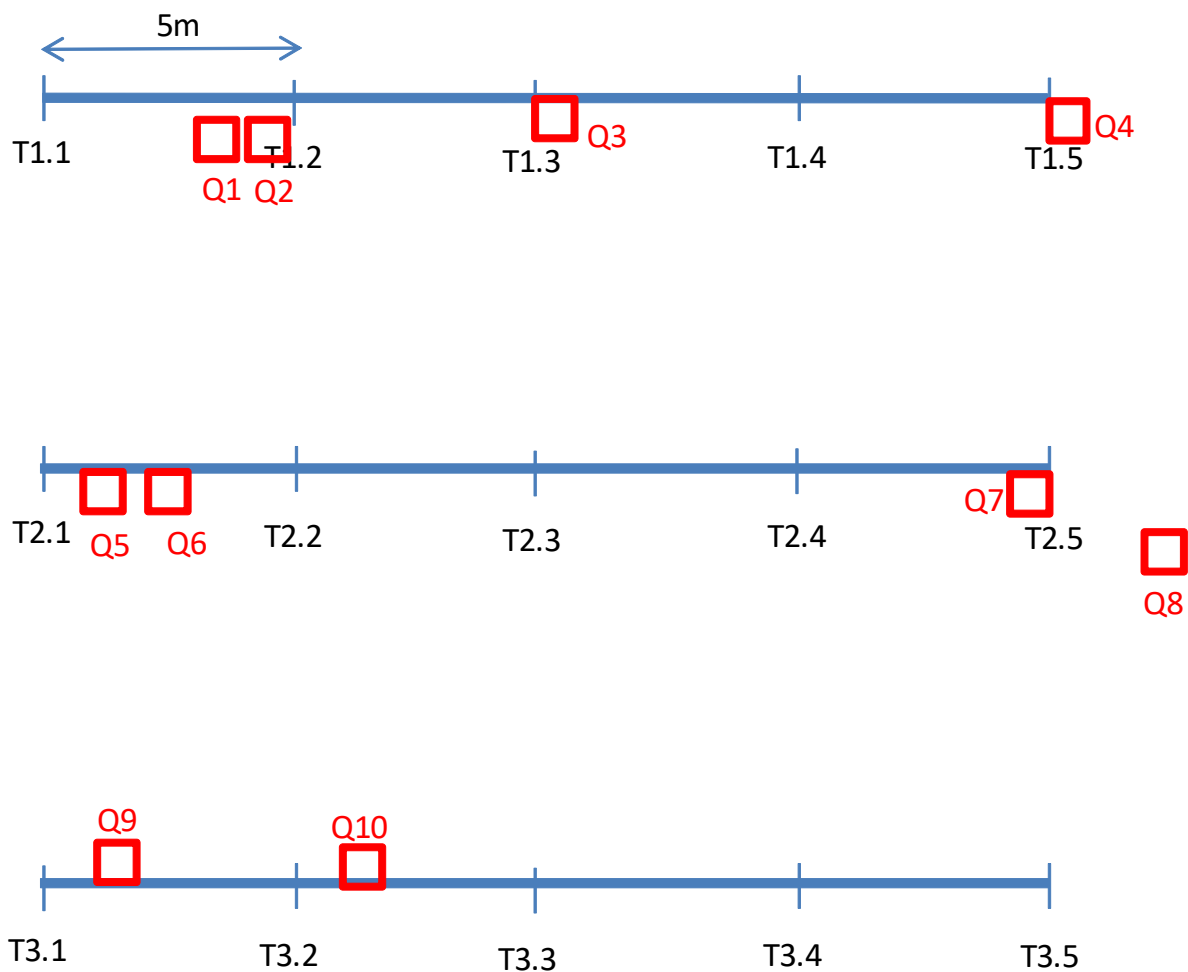
ST38



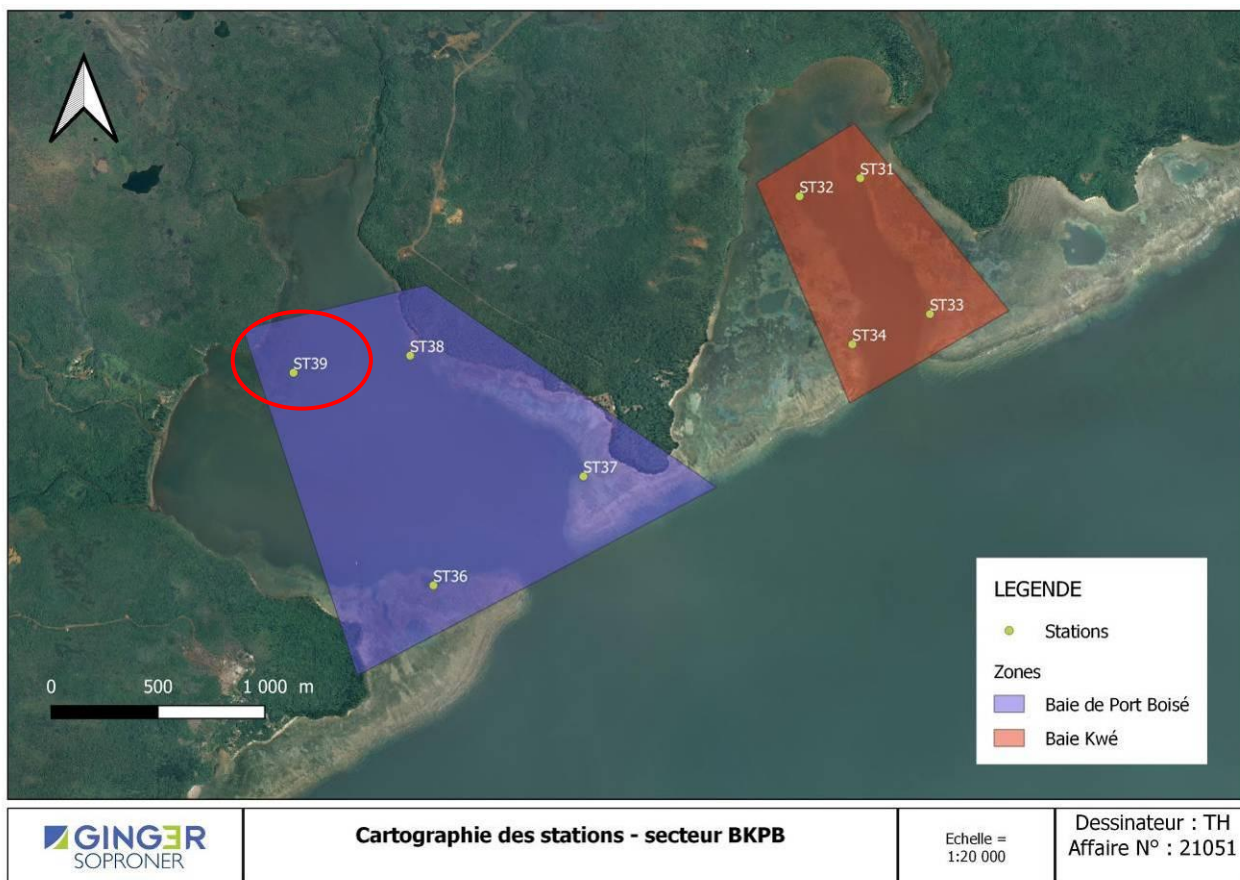
Profondeur au départ de la station : 3,5m



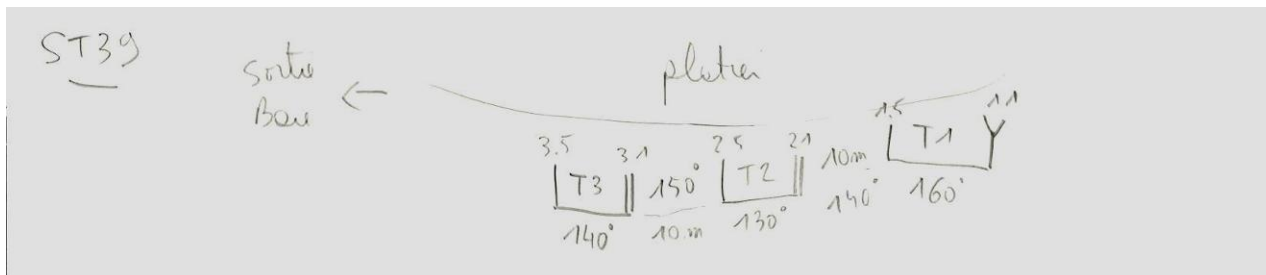
ST38



ST39



Profondeur au départ de la station : 3m



ST39

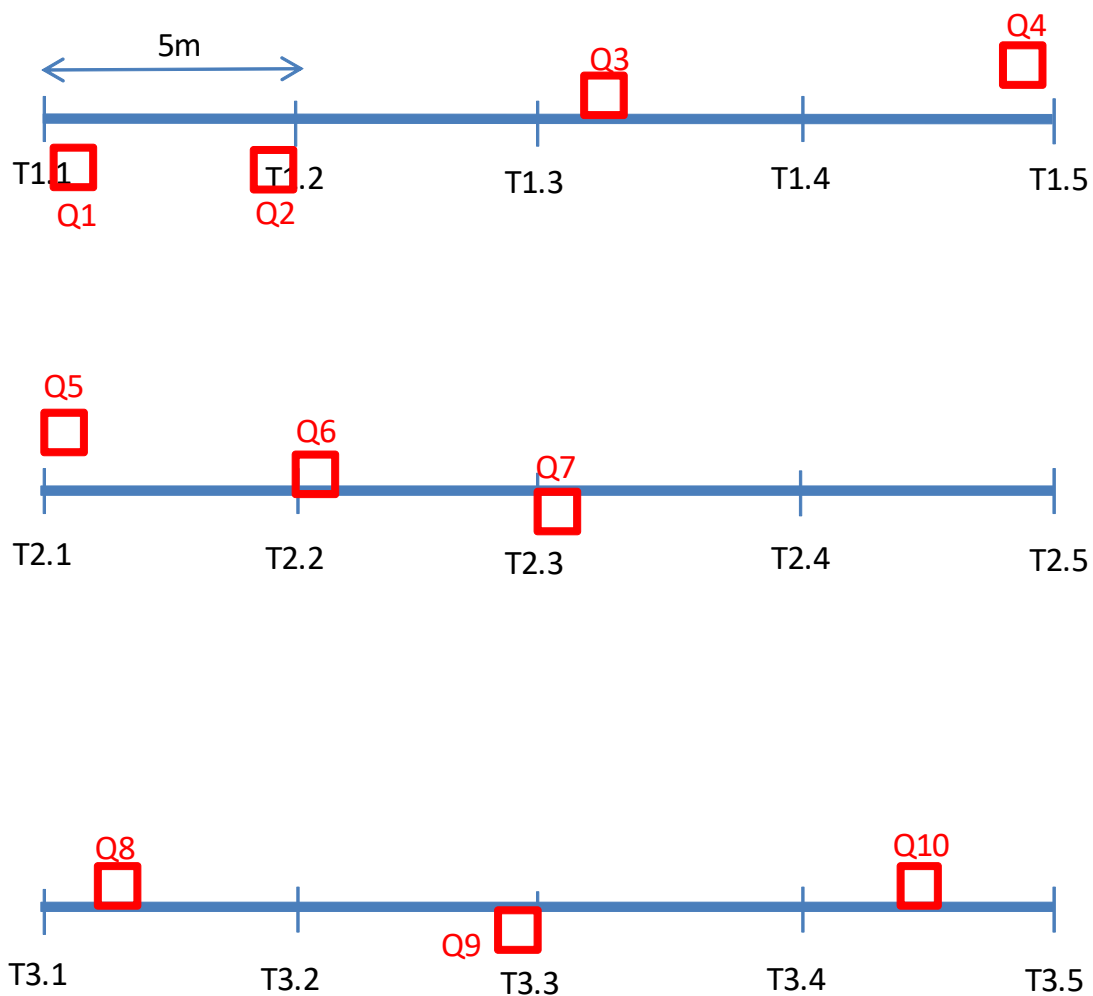


PLANCHE PHOTO REPRÉSENTATIVE DES STATIONS



ST31



ST32



ST33



ST34



ST36



ST37



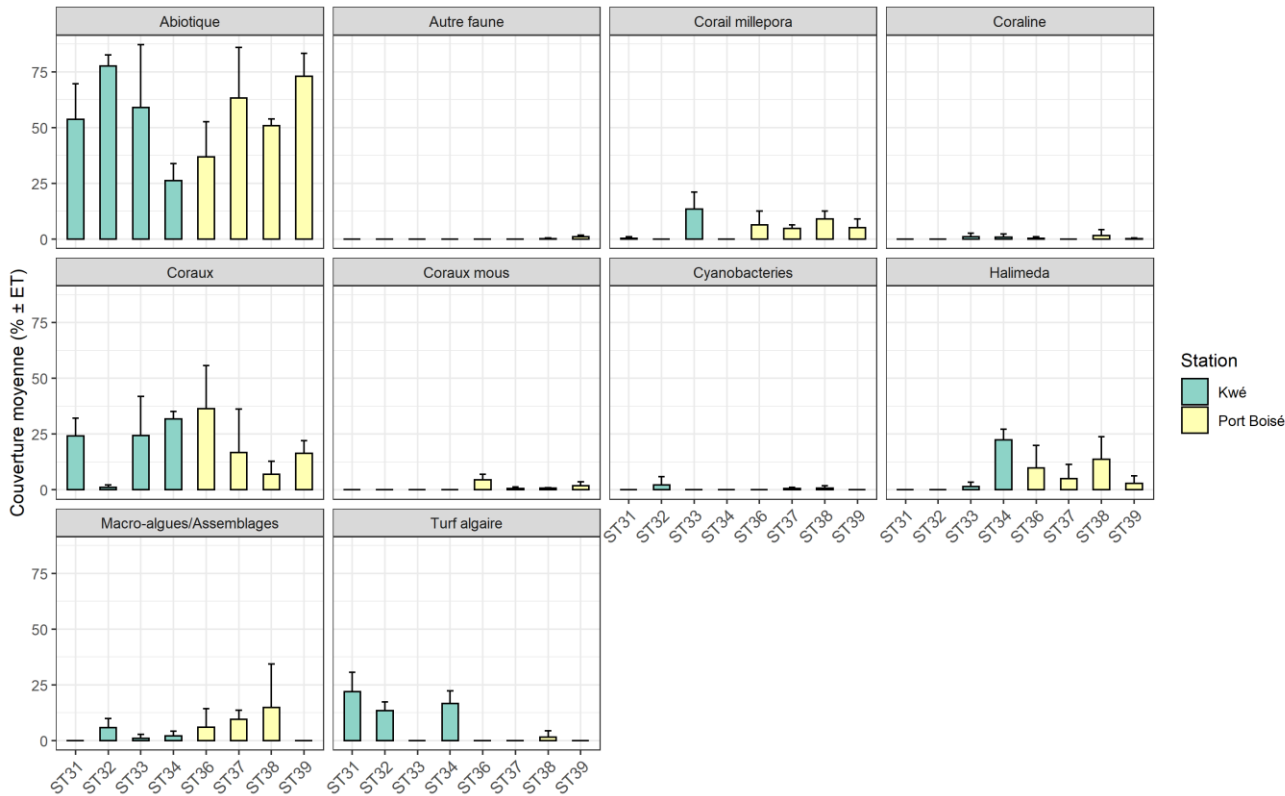
ST38

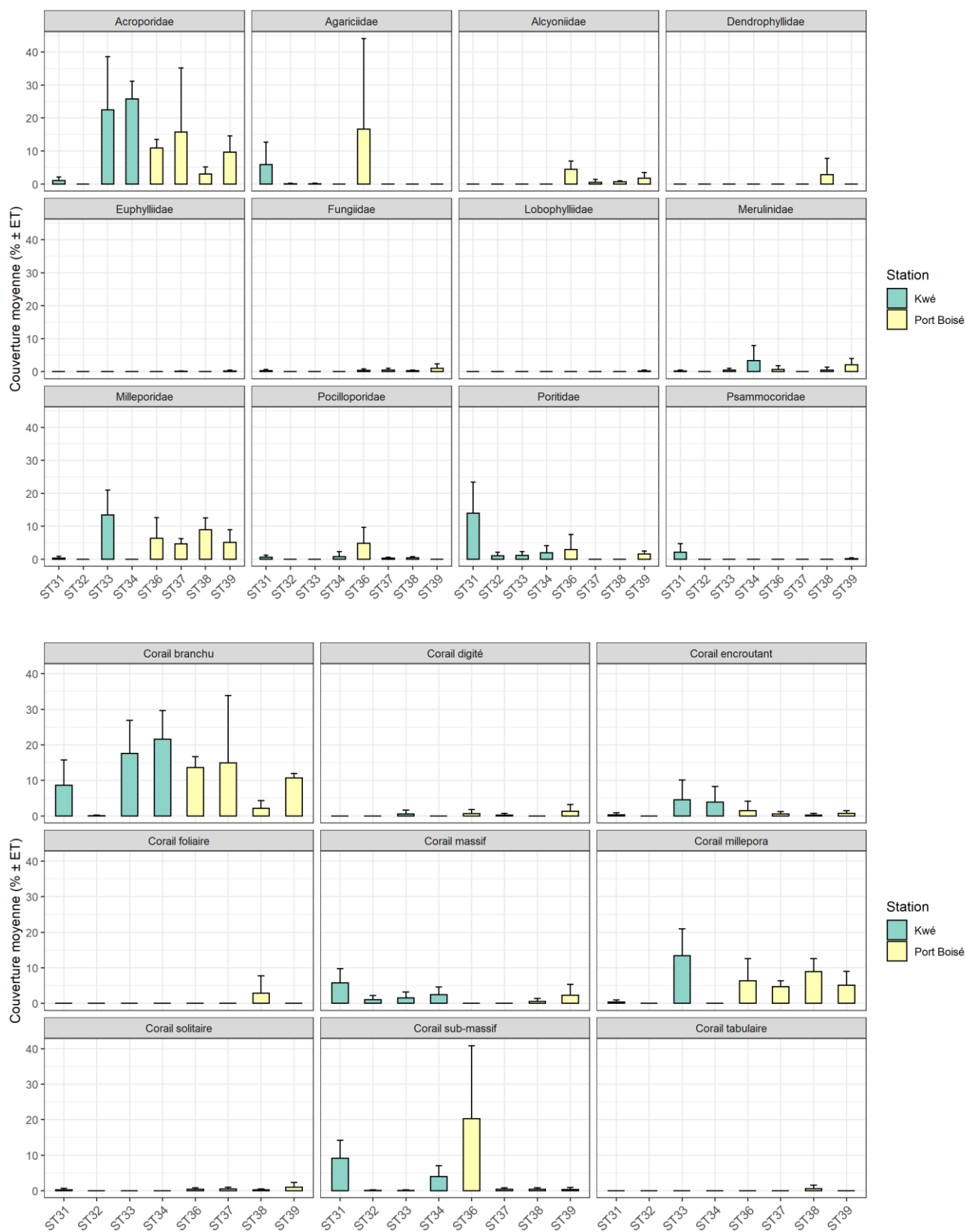


ST39

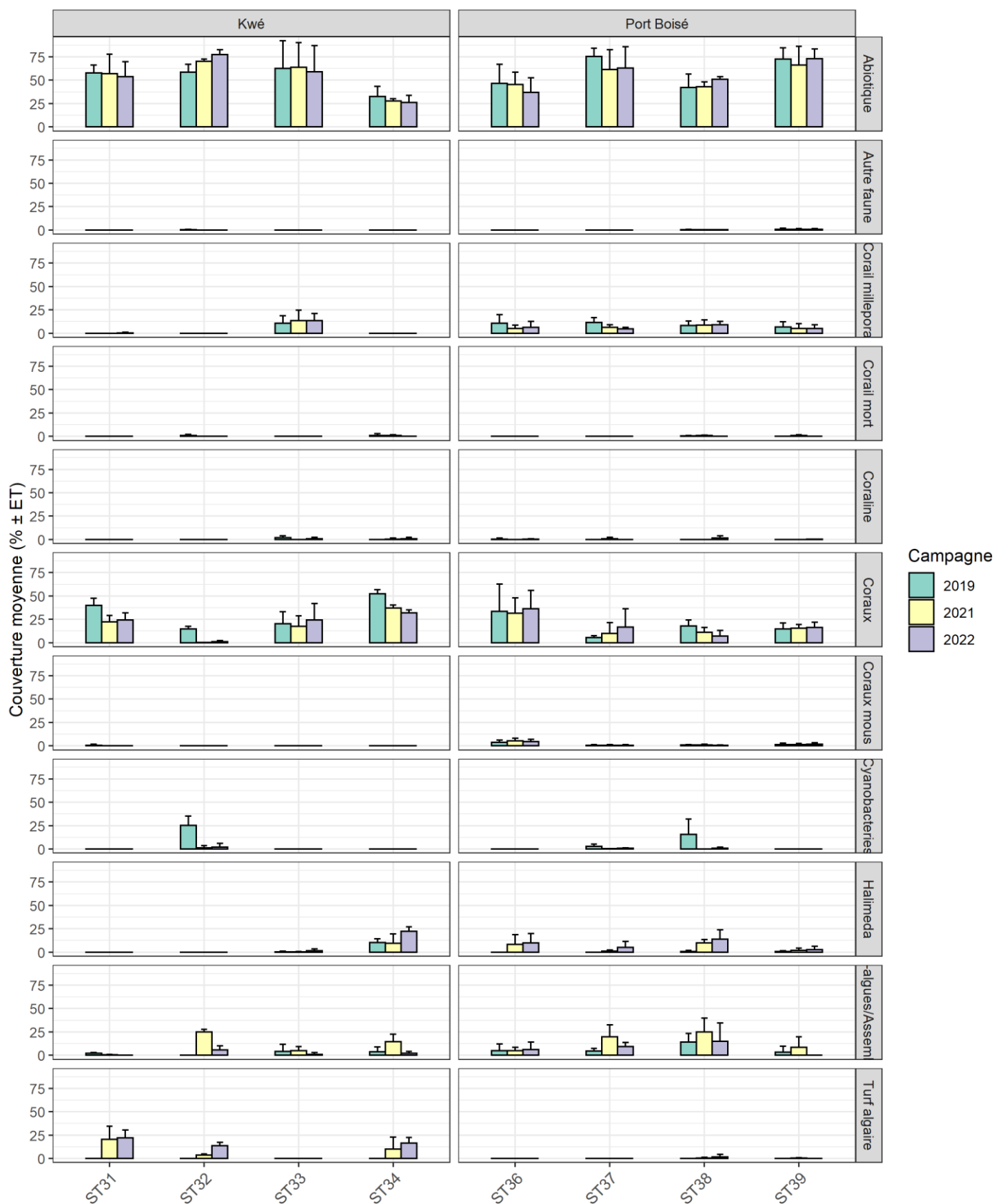
ANNEXE II : CARACTÉRISTIQUES DU SUBSTRAT PAR STATION

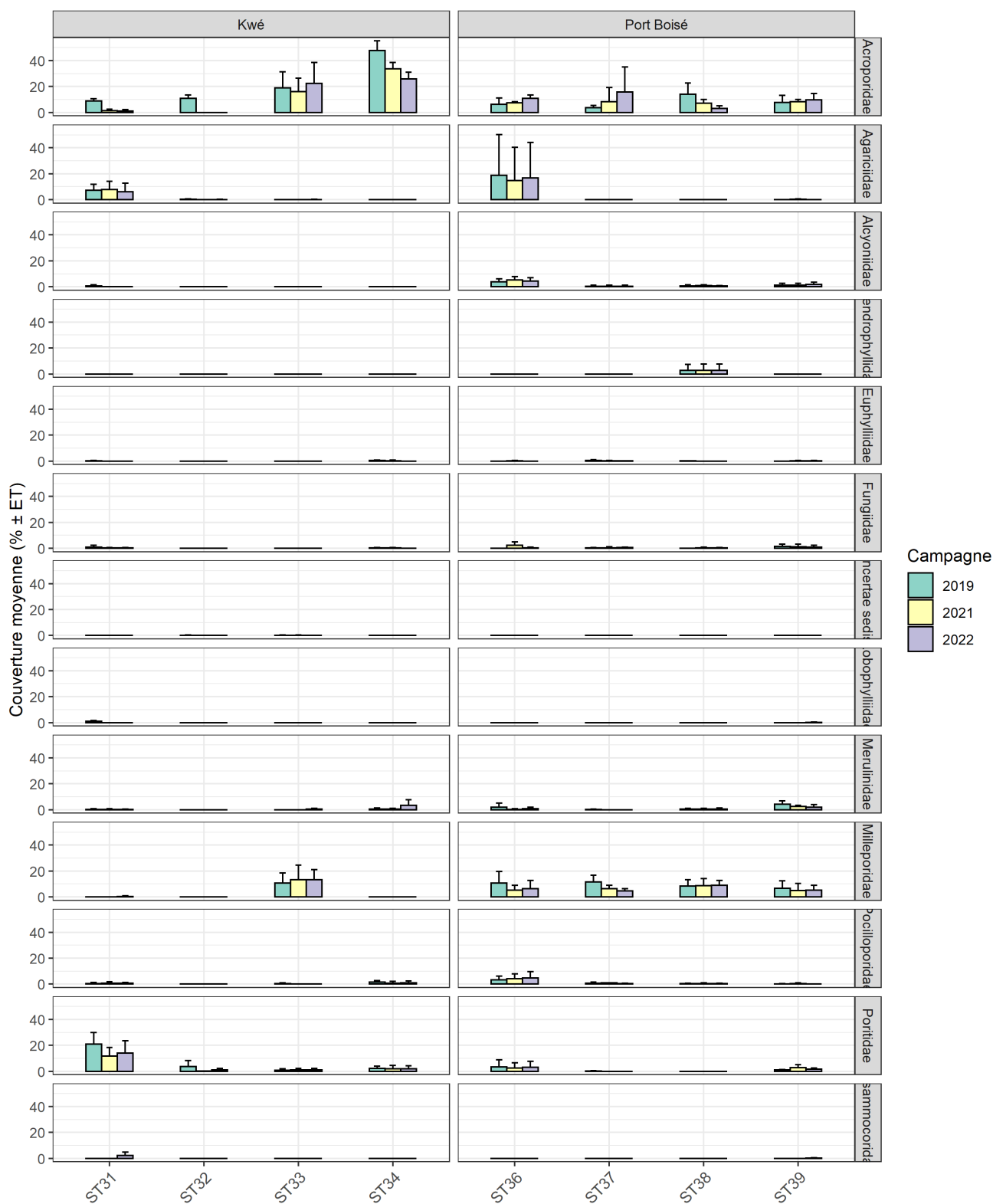
ETAT DES LIEUX EN 2022

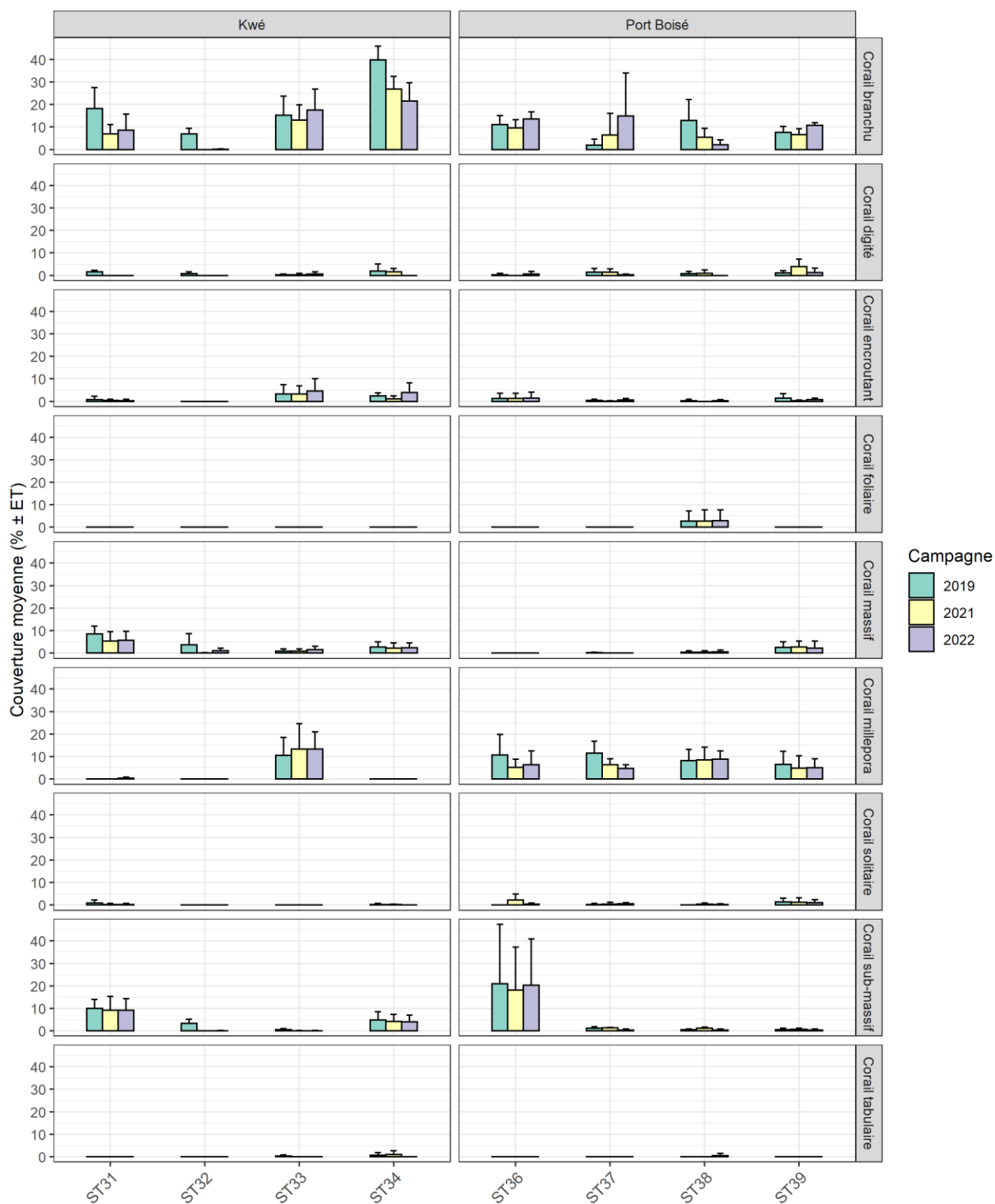




EVOLUTION TEMPORELLE ENTRE 2019 ET 2022







ANNEXE III : ÉTAT DE SANTÉ DES COMMUNAUTÉS CORALLIENNES

PREVALENCE DE LESIONS CORALLIENNES TOTALES ET PAR FAMILLE ET PAR STATION EN 2019 ET 2022

Blanchi: Blanchissement partiel ou total

Malfor : Malformation

Pigm : Pigmentation

Pred : Prédation

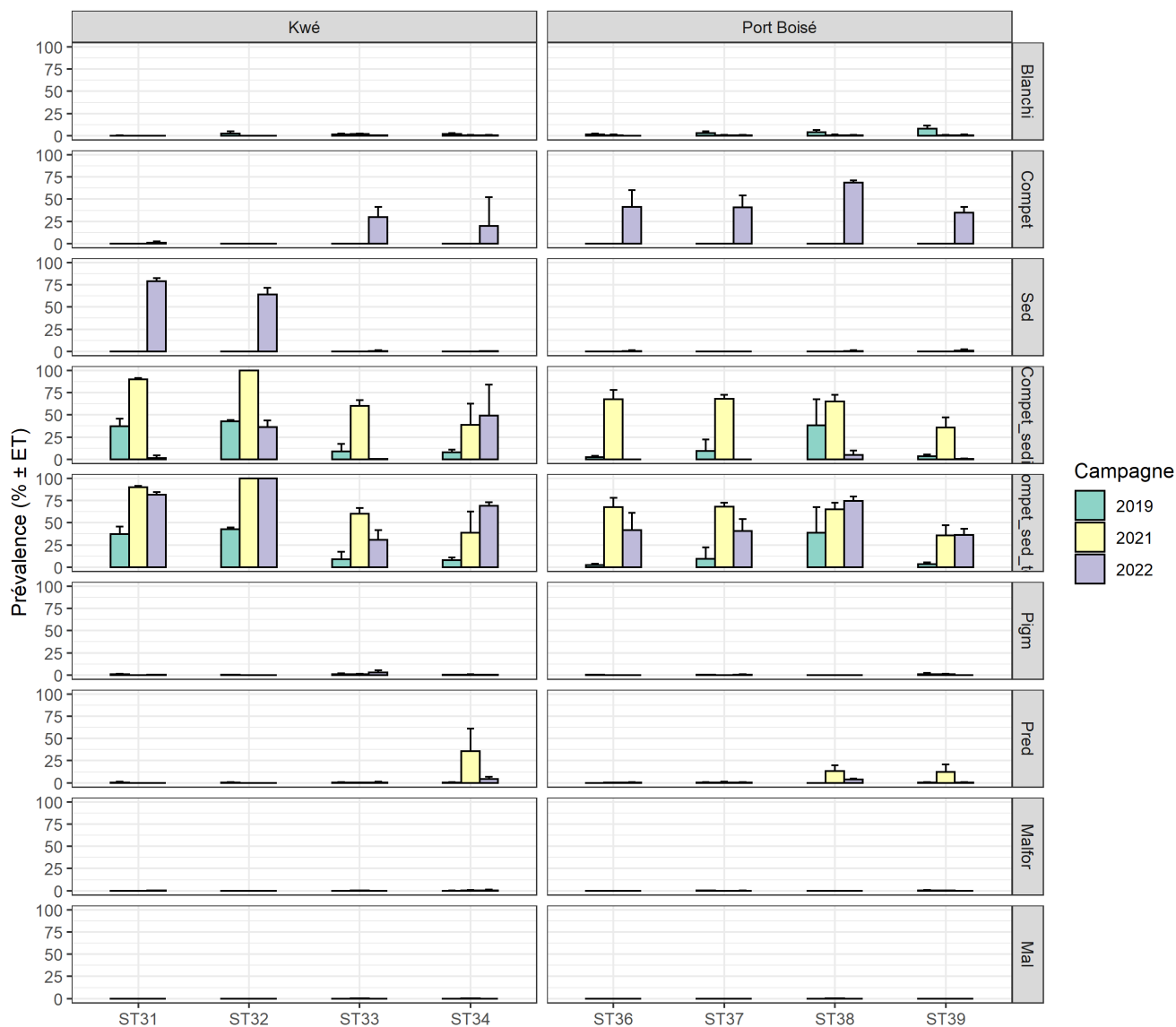
Compet : Compétition avec algues/éponges

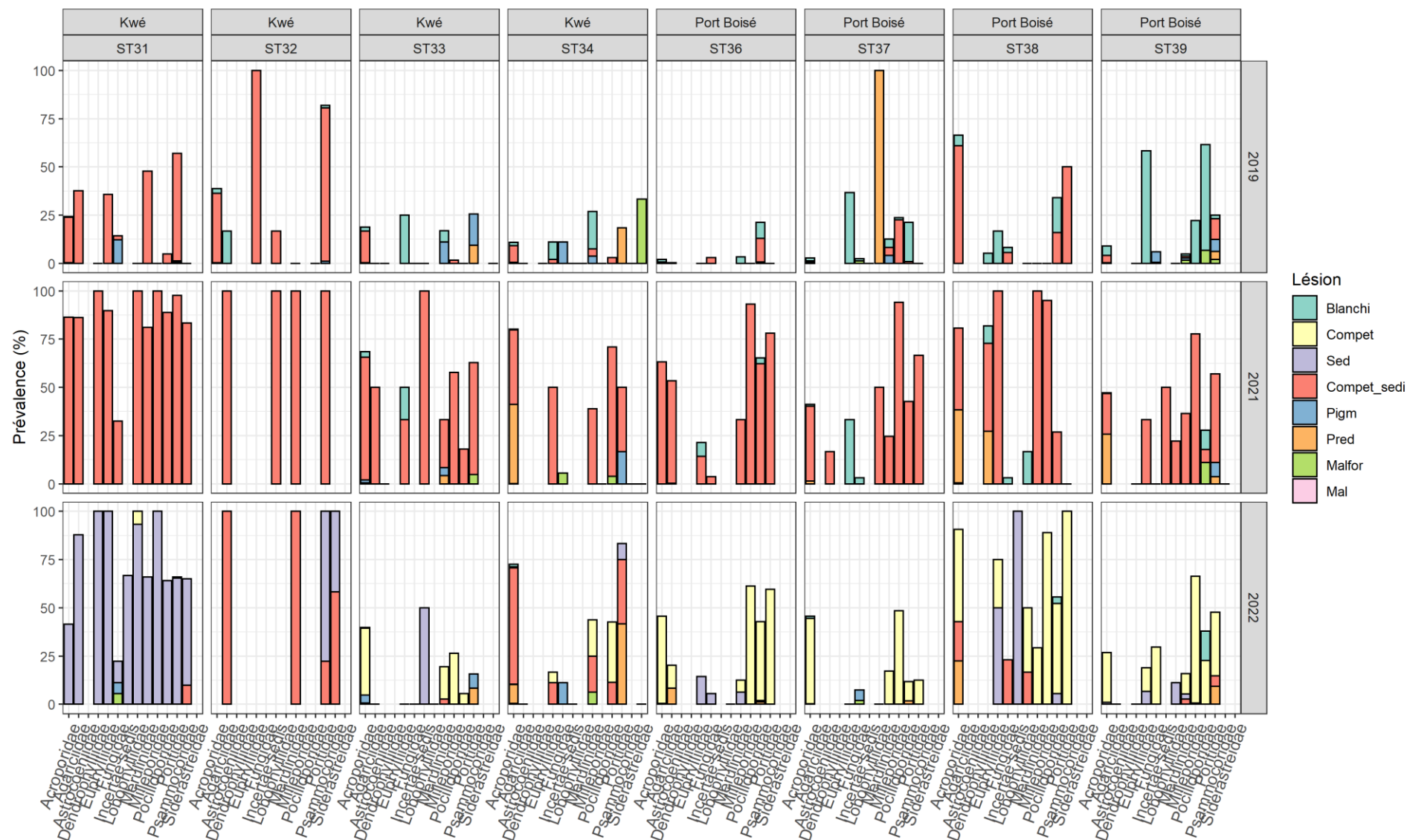
Sed : Sédimentation

Compet_sed : Compétition/sédimentation indissociables

Compet_sed_tot : Somme des prévalences de compétition et sédimentation

Mal : Maladie corallienne commune de l'Indo-Pacifique





ANNEXE IV : ESPECES DE POISSONS OBSERVEES LORS DE LA CAMPAGNE DE 2022 ET CARACTERISTIQUES 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	nigricauda	H	c	0,016784756	3,167724687
ACANTHURIDAE	Acanthurus	nigrofuscus	H	c	0,026370479	3,028366711
ACANTHURIDAE	Ctenochaetus	binotatus	H	c	0,039156835	2,874628814
ACANTHURIDAE	Ctenochaetus	cyanocheilus	H	c	0,023712333	3,055814451
ACANTHURIDAE	Naso	brevirostris	H	c	0,010649453	3,242973288
ACANTHURIDAE	Naso	unicornis	H	c	0,017880286	3,035454104
ACANTHURIDAE	Zebrasoma	scopas	H	nc	0,029053025	2,992739614
ACANTHURIDAE	Zebrasoma	veliferum	H	nc	0,03425216	2,865805779
APOGONIDAE	Apogon	aureus	C	nc	0,006371984	3,508710374
APOGONIDAE	Apogon	cyanosoma	Z	nc	0,007380934	3,563283922
APOGONIDAE	Archamia	fucata	Z	nc	0,008914977	3,322777975
APOGONIDAE	Archamia	sp	Z	nc	0,008349154	3,395343626
APOGONIDAE	Cheilodipterus	quinguelineatus	P	nc	0,016071637	2,999229198
BALISTIDAE	Pervagor	sp	C	nc	0,005696442	3,393028006
BLENNIIDAE	Cirripectes	stigmaticus	H	nc	0,018302039	2,968504171
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
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	auriga	C	nc	0,040397085	2,829430605
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	baronessa	C	nc	0,045008109	2,814158595
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	melannotus	C	nc	0,026693396	3,0486
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	ornatissimus	C	nc	0,045008109	2,814158595
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	pelewensis	C	nc	0,015326221	3,296587373
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	plebeius	C	nc	0,060610606	2,62781702
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	speculum	C	nc	0,066371091	2,693022379
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	trifascialis	C	nc	0,025776994	2,969077062
CHAETODONTIDAE	Chaetodon	ulietensis	C	nc	0,031141577	2,874116568
CHAETODONTIDAE	Heniochus	chrysostomus	C	nc	0,016134039	3,262174435
CIRRITIDAE	Paracirrhites	forsteri	P	nc	0,009273273	3,268401098
GOBIIDAE	Amblygobius	decussatus	C	nc	0,018375962	2,833567575
GOBIIDAE	Amblygobius	phalaena	C	nc	0,018375962	2,833567575
GOBIIDAE	Asterropteryx	semipunctatus	H	nc	0,026387532	2,622565603
GOBIIDAE	Cryptocentrus	sp	C	nc	0,026387532	2,622565603
GOBIIDAE	Eviota	nigriventris	C	nc	0,026387532	2,622565603
GOBIIDAE	Exyrias	bellissimus	C	nc	0,012956458	2,88207694
GOBIIDAE	Gobiodon	okinawae	C	nc	0,057695691	2,43917312
HAEMULIDAE	Plectorhinchus	lineatus	C	c	0,012553626	3,078590252
HEMIRAMPHIDAE	Hemiramphus	far	Z	c	0,329762721	1,831381081
HOLOCENTRIDAE	Neonippon	sammara	C	c	0,027615397	2,888353581
LABRIDAE	Anampses	neoguinaicus	C	nc	0,022609401	2,792711024
LABRIDAE	Bodianus	loxozonus	C	c	0,01081521	3,173051905
LABRIDAE	Cheilinus	chlorourus	C	c	0,019724558	2,993151669
LABRIDAE	Cheilinus	fasciatus	C	c	0,015508278	3,057916947
LABRIDAE	Cheilinus	sp	C	c	0,015508278	3,057916947
LABRIDAE	Cheilinus	trilobatus	C	c	0,016232685	3,059469977
LABRIDAE	Cheilinus	undulatus	C	c	0,011309574	3,136202122

LABRIDAE	Coris	aygula	C	c	0,002659732	3,488574917
LABRIDAE	Coris	batuensis	C	nc	0,006500842	3,254413799
LABRIDAE	Epibulus	insidiator	C	c	0,016138369	3,081018461
LABRIDAE	Gomphosus	varius	C	nc	0,024366779	2,702688094
LABRIDAE	Halichoeres	annularis	C	nc	0,016013316	2,987419974
LABRIDAE	Halichoeres	hortulanus	C	nc	0,016013316	2,987419974
LABRIDAE	Halichoeres	melanurus	C	nc	0,009309689	3,26150414
LABRIDAE	Halichoeres	richmondi	C	nc	0,016013316	2,987419974
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	dimidiatus	C	nc	0,005854909	3,230934257
LABRIDAE	Novaculichthys	taeniourus	C	nc	0,010669345	3,177649683
LABRIDAE	Oxycheilinus	bimaculatus	C	nc	0,06784618	2,317282291
LABRIDAE	Oxycheilinus	digramma	C	nc	0,010669345	3,177649683
LABRIDAE	Oxycheilinus	sp	C	nc	0,010669345	3,177649683
LABRIDAE	Pseudocheilinus	hexataenia	C	nc	0,010669345	3,177649683
LABRIDAE	Stethojulis	sp	C	nc	0,029218173	2,608078785
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	Monotaxis	grandoculis	C	c	0,022959421	3,02223458
LUTJANIDAE	Lutjanus	gibbus	C	c	0,013092867	3,137520668
MICRODESMIDAE	Ptereleotris	microlepis	Z	nc	0,026387532	2,622565603
MONACANTHIDAE	Oxymonacanthus	longirostris	C	nc	0,012224814	3,032756806
MUGILOIDIDAE	Parapercis	cylindrica	C	nc	0,012376914	3,000237019
MUGILOIDIDAE	Parapercis	hexophthalma	C	nc	0,006820633	3,157263284
MULLIDAE	Parupeneus	ciliatus	C	c	0,011633172	3,219917119
MULLIDAE	Parupeneus	indicus	C	c	0,014149783	3,114207325
MULLIDAE	Parupeneus	multifasciatus	C	nc	0,01135854	3,210819176
NEMIPTERIDAE	Scolopsis	bilineata	C	nc	0,013827538	3,173776985
NEMIPTERIDAE	Scolopsis	ciliata	C	nc	0,015738012	3,054293114
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	tibicen	H	nc	0,049230696	2,79451381
POMACENTRIDAE	Abudefduf	sexfasciatus	Z	nc	0,021276044	3,151969035
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	Cheiloprion	labiatus	C	nc	0,020908767	3,190800285
POMACENTRIDAE	Chromis	retrofasciata	Z	nc	0,022859092	3,17522814
POMACENTRIDAE	Chromis	ternatensis	Z	nc	0,015971468	3,408002672
POMACENTRIDAE	Chromis	viridis	Z	nc	0,035072347	2,899651752
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	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	coelestis	Z	nc	0,02800791	3,023852146
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	grammorhynchus	H	nc	0,02800791	3,023852146
POMACENTRIDAE	Pomacentrus	moluccensis	Z	nc	0,030454215	3,012111701

POMACENTRIDAE	Pomacentrus	pavo	Z	nc	0,025178248	2,971529773
POMACENTRIDAE	Stegastes	nigricans	H	nc	0,038408298	3,009999217
PSEUDOCROMIDAE	Cypho	purpurascens	C	nc	0,009939234	3,144832097
SCARIDAE	Chlorurus	microrhinos	H	c	0,024694091	2,955475758
SCARIDAE	Chlorurus	sordidus	H	c	0,024311416	2,969306281
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	rivulatus	H	c	0,017447575	3,07404766
SCARIDAE	Scarus	sp	H	c	0,023373877	2,956463124
SERRANIDAE	Cephalopholis	boenak	P	c	0,014620408	3,019150471
SERRANIDAE	Epinephelus	cyanopodus	P	c	0,011051215	3,113732182
SERRANIDAE	Epinephelus	hexagonatus	P	c	0,012236976	3,052670782
SERRANIDAE	Epinephelus	merra	C	c	0,015835139	2,966364394
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	fuscescens	H	c	0,013733094	3,068162294
SIGANIDAE	Siganus	puellus	H	c	0,017612346	3,028394224
SIGANIDAE	Siganus	vulpinus	H	c	0,01447752	3,121692957
TETRAODONTIDAE	Canthigaster	valentini	C	nc	0,036673123	2,943193424

ANNEXE V: DENSITE, BIOMASSE ET RICHESSE SPECIFIQUE DE POISSONS PAR STATION EN 2022

	Baie Kwé				Port-Boisé			
	ST31	ST32	ST33	ST34	ST36	ST37	ST38	ST39
Toutes espèces	4,92	3,09	5,73	5,44	5,13	8,59	2,04	5,67
Espèces non-commerciales	4,91	3,04	5,35	5,13	4,66	7,35	1,83	5,56
Espèces commerciales	0,01	0,05	0,39	0,31	0,48	1,24	0,21	0,10
Herbivores	0,37	0,34	1,08	1,44	1,05	2,19	0,52	0,92
Carnivores	0,92	0,61	1,05	0,91	0,79	1,79	0,58	0,57
Planctonophages	3,58	2,12	3,57	3,07	3,24	4,61	0,91	4,15
Piscivores	0,06	0,02	0,04	0,01	0,05	0,00	0,03	0,02
ACANTHURIDAE	0,00	0,01	0,10	0,18	0,11	0,09	0,05	0,06
APOGONIDAE	1,19	0,13	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00
BALISTIDAE	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BLENNIIDAE	0,04	0,02	0,04	0,05	0,07	0,02	0,01	0,04
CHAETODONTIDAE	0,09	0,01	0,10	0,03	0,20	0,16	0,07	0,10
CIRRHITIDAE	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GOBIIDAE	0,13	0,25	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
HAEMULIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HEMIRAMPHIDAE	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HOLOCENTRIDAE	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LABRIDAE	0,38	0,30	0,64	0,72	0,43	1,38	0,41	0,37
LETHRINIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LUTJANIDAE	0,00	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	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02
MUGILOIDIDAE	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
MULLIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
NEMIPTERIDAE	0,00	0,02	0,02	0,01	0,03	0,06	0,08	0,01
PLESIOPIDAE	0,18	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
POMACANTHIDAE	0,03	0,01	0,07	0,03	0,00	0,06	0,03	0,01
POMACENTRIDAE	2,88	2,25	4,32	4,26	3,84	5,65	1,25	4,84
PSEUDOCROMIDAE	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SCARIDAE	0,01	0,02	0,18	0,08	0,13	0,97	0,09	0,06
SERRANIDAE	0,01	0,01	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02	0,00
SIGANIDAE	0,00	0,00	0,00	0,02	0,22	0,15	0,01	0,00
TETRAODONTIDAE	0,00	0,02	0,02	0,02	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	20,4	16,1	113,4	154,0	298,1	220,2	48,7	47,6
Espèces non-commerciales	20,4	13,8	42,9	70,3	58,0	82,0	25,1	31,6
Espèces commerciales	0,0	2,2	70,5	83,8	240,1	138,2	23,6	16,0
Herbivores	1,5	1,6	40,3	109,0	254,4	142,2	23,4	19,0
Carnivores	9,9	7,7	19,9	25,1	24,6	58,0	14,9	14,1
Planctonophages	8,9	6,3	42,7	19,8	8,9	20,0	9,3	14,4
Piscivores	0,2	0,4	10,5	0,2	10,3	0,0	1,1	0,1
ACANTHURIDAE	0,0	0,1	7,3	39,4	12,8	7,8	2,0	1,7
APOGONIDAE	5,2	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
BALISTIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BLENNIIDAE	0,1	0,1	0,2	0,3	1,0	0,3	0,0	0,3
CHAETODONTIDAE	2,4	0,3	5,3	1,8	1,4	4,1	1,8	2,5
CIRRHITIDAE	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GOBIIDAE	1,9	1,4	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1
HAEMULIDAE	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HEMIRAMPHIDAE	0,0	0,0	27,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HOLOCENTRIDAE	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LABRIDAE	3,1	3,4	5,2	19,4	10,5	36,7	8,3	8,8
LETHRINIDAE	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
LUTJANIDAE	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MICRODESMIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
MONACANTHIDAE	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
MUGILOIDIDAE	0,0	0,0	0,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
MULLIDAE	0,0	0,0	0,1	0,7	9,3	0,0	0,1	1,1
NEMIPTERIDAE	0,0	0,7	1,8	0,9	2,0	12,8	4,5	1,1
PLESIOPIDAE	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
POMACANTHIDAE	0,4	0,0	1,5	0,4	0,1	1,3	0,2	0,1
POMACENTRIDAE	7,0	7,1	21,4	53,4	41,8	26,6	10,3	16,8
PSEUDOCROMIDAE	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SCARIDAE	0,0	0,3	25,7	30,3	95,9	83,1	19,6	13,6
SERRANIDAE	0,0	0,3	11,1	1,1	10,8	3,5	1,2	0,1
SIGANIDAE	0,0	0,0	0,0	5,6	112,0	43,8	0,7	0,0
TETRAODONTIDAE	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0

Biomasse
(g/m²)

		Baie Kwé				Port-Boisé			
		ST31	ST32	ST33	ST34	ST36	ST37	ST38	ST39
Richesse spécifique	Toutes espèces	31	31	61	54	58	52	42	46
	Espèces non-commerciales	30	26	48	39	40	37	29	40
	Espèces commerciales	1	5	13	15	18	15	13	6
	Herbivores	4	7	15	21	19	21	13	12
	Carnivores	12	14	31	25	27	26	20	24
	Planctonophages	13	8	11	6	9	5	6	9
	Piscivores	2	2	4	2	3	0	3	1
	ACANTHURIDAE	0	1	3	5	6	6	4	3
	APOGONIDAE	5	1	0	0	1	0	1	0
	BALISTIDAE	0	0	1	0	0	0	0	0
	BLENNIIDAE	1	2	2	2	2	2	1	3
	CHAETODONTIDAE	2	1	4	4	5	5	4	7
	CIRRHITIDAE	0	0	1	0	0	0	0	0
	GOBIIDAE	6	5	1	0	1	0	0	1
	HAEMULIDAE	0	0	1	0	0	0	0	0
	HEMIRAMPHIDAE	0	0	1	0	0	0	0	0
	HOLOCENTRIDAE	0	1	0	0	0	0	0	0
	LABRIDAE	3	3	13	14	15	15	12	9
	LETHRINIDAE	0	0	0	1	0	0	0	0
	LUTJANIDAE	0	0	1	0	0	0	0	0
	MICRODESMIDAE	0	1	0	0	0	0	0	1
	MONACANTHIDAE	0	0	1	1	0	1	0	1
	MUGILOIDIDAE	0	0	2	0	1	0	0	0
	MULLIDAE	0	0	1	1	1	0	1	2
	NEMIPTERIDAE	0	2	1	1	1	1	1	1
	Plesiopidae	1	1	0	0	0	0	0	1
	POMACANTHIDAE	1	1	3	3	1	2	2	2
	POMACENTRIDAE	10	8	16	13	14	11	9	12
	PSEUDOCROMIDAE	0	0	1	0	0	0	0	0
	SCARIDAE	1	2	4	4	3	4	3	2
	SERRANIDAE	1	1	3	2	3	1	3	1
	SIGANIDAE	0	0	0	2	4	3	1	0
	TETRAODONTIDAE	0	1	1	1	0	1	0	0

ANNEXE VI : CARACTÉRISTIQUES DES PEUPELEMENTS MACROBENTHIQUES PAR STATION

Taxons échantillonnés

Groupe	Sous-groupe
Echinodermes	Astérides
	Crinoïdes
	Echinides
	Holothurides
	Ophiurides
Mollusques	Bivalves
	Céphalopodes
	Gastéropodes

DENSITÉ PAR GROUPE, SOUS GROUPE ET RICHESSE SPÉCIFIQUES MOYENNES EN 2019, 2021 ET 2022

