



# Inventaire des communautés récifales de la baie Kwé et de la baie de Port Boisé – Etat des lieux 2019 et évolution temporelle

Janvier 2020

DEPARTEMENT: Environnement

Devis n°: J.0067



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

 **GINGER**  
SOPRONER

## ÉVOLUTION DU DOCUMENT

Ind.	Date	Chefs de projet	Autres contributeurs	Description des mises à jour
1	23/01/2020	Tom HEINTZ/Antoine GILBERT	Nicolas GUILLEMOT/Sandrine JOB	Création du document
2	27/02/2020	Tom HEINTZ/Antoine GILBERT	Nicolas GUILLEMOT/Sandrine JOB	Mise à jour selon les remarques d'Adrien BERTAUD

**Citation :** 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

# SOMMAIRE

<b>RESUME EXECUTIF .....</b>	<b>8</b>
<b>EQUIPE ET CONDITIONS D'INTERVENTION.....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>13</b>
<b>MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>15</b>
I. ZONE D'ETUDE ET STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE .....	16
I.1. Situation générale .....	16
I.2. Zone d'échantillonnage.....	18
I.3. Implantation des stations .....	18
I.4. Lien avec les études précédentes.....	21
II. SUIVI DU SUBSTRAT ET DES COMMUNAUTES CORALLIENNES.....	22
II.1. Echantillonnage .....	22
II.2. Analyse des données.....	24
III. SUIVI PHOTO/VIDEO.....	28
III.1. Photo-quadrats permanents.....	28
III.2. Vidéo-transects.....	28
III.3. Photo-transects et autres photos.....	29
IV. SUIVI DES PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES.....	30
IV.1. Echantillonnage .....	30
IV.2. Caractérisation et description des peuplements ichtyologiques.....	31
IV.3. Analyse des données.....	34
V. SUIVI DE LA FAUNE MACROBENTHIQUE DE FONDS DURS.....	37
V.1. Echantillonnage .....	37
V.2. Analyse des données.....	38
<b>RESULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>41</b>
I. SUBSTRAT ET COMMUNAUTES CORALLIENNES .....	42
I.1. Etat des lieux en 2019 .....	42
I.2. Pression sédimentaire .....	52
I.3. Comparaison à des récifs proches (RORC) .....	53
I.4. Evolution entre 2011, 2013, 2014 et 2019.....	55
II. PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES.....	60
II.1. Etat des lieux en 2019.....	60
II.2. Evolution temporelle entre 2011, 2013, 2014 et 2019.....	66
II.3. Modélisation CI pour la détection de signaux de perturbation de l'ichtyofaune en baie Kwé entre 2011 et 2019 .....	72
III. INVERTEBRES MACROBENTHIQUES.....	74
III.1. Etat des lieux en 2019 .....	74
III.2. Evolution temporelle entre 2011, 2013, 2014 et 2019.....	83
III.3. Comparaison à des récifs proches (RORC) .....	89
<b>SYNTHESE .....</b>	<b>93</b>
I. CONTEXTE ET HISTORIQUE .....	94
II. SUBSTRAT ET COMMUNAUTES CORALLIENNES .....	95
II.1. Etat des lieux en 2019 .....	95
II.2. Evolution temporelle entre 2011 et 2019 .....	96
II.3. Comparaison à d'autres récifs proches.....	96
III. PEUPELEMENT ICHTYOLOGIQUES .....	97
III.1. Etat des lieux en 2019 .....	97
III.2. Evolutions temporelles sur la période 2011-2019 et recherche de signaux d'impact.....	97
IV. INVERTEBRES MACROBENTHIQUES .....	99
IV.1. Etat des lieux en 2019 .....	99

IV.2.	<i>Evolution temporelle entre 2011 et 2019</i> .....	99
IV.3.	<i>Comparaison à d'autres récifs proches (RORC)</i> .....	100
<b>CONCLUSION</b> .....		<b>101</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....		<b>103</b>
<b>ANNEXES</b> .....		<b>108</b>
ANNEXE I : DESCRIPTION ET PLAN DES STATIONS.....		109
I.1.	ST31 .....	109
I.2.	ST32 .....	111
I.1.	ST33 .....	113
I.1.	ST34 .....	115
I.1.	ST36 .....	117
I.1.	ST37 .....	119
I.2.	ST38 .....	121
I.3.	ST39 .....	123
ANNEXE II : PLANS DE SITUATION DES PHOTO-QUADRATS.....		125
I.4.	ST31 .....	125
I.5.	ST32 .....	125
I.6.	ST33 .....	126
I.7.	ST34 .....	126
I.8.	ST36 .....	127
I.9.	ST37 .....	127
I.10.	ST38 .....	128
I.11.	ST39 .....	128
ANNEXE III : CARACTERISTIQUES DU SUBSTRAT PAR STATION.....		129
I.12.	<i>Etat des lieux en 2019</i> .....	129
I.13.	<i>Evolution temporelle entre 2011, 2013, 2014 et 2019</i> .....	132
ANNEXE IV : CARACTERISTIQUES ET ETAT DE SANTE DES COMMUNAUTES CORALLIENNES .....		135
I.14.	<i>Densité de colonies coralliennes par famille et par station</i> .....	135
I.15.	<i>Prévalence de lésions coralliennes par station</i> .....	137
ANNEXE V: DENSITE, BIOMASSE ET RICHESSE SPECIFIQUE DE POISSONS PAR STATION EN 2019 .....		139
ANNEXE VI : CARACTERISTIQUES DES PEUPELEMENTS MACROBENTHIQUES PAR STATION .....		142
I.16.	<i>Densité et richesse spécifiques (<math>\pm</math> écart-type) moyennes en 2019</i> .....	142
I.17.	<i>Richesse spécifique par sous-groupe</i> .....	143
I.18.	<i>Densité par sous-groupe</i> .....	143
I.19.	<i>Recouvrement des espèces cibles coloniales</i> .....	144

## Liste des illustrations

Figure 1 : Situation géographique des différents bassins versants bordant les baies Kwé et de Port Boisé, ainsi que des installations minières et industrielles de VALE NC (source : OEIL).....	17
Figure 2 : Piquet en Y marquant le départ de la station (gauche), numérotation des piquets. 13 : Transect T01, piquet 3 (droite).....	18
Figure 3 : Positionnement des stations de suivi .....	20
Figure 4 : Plongeur effectuant des relevés LIT et maladies .....	22
Figure 5 : Cartographie des stations utilisées pour la comparaison des données à celles des sites du RORC dans la région (source : Georep) .....	27
Figure 6 : Exemple d'implantation de quadrat (gauche) et de photo-quadrat associée (droite) .....	28
Figure 7 : Déroulement schématisé d'un comptage en plongée selon la méthode des transects à largeur variable (Source : Labrosse et al. 2001). .....	30
Figure 8 : Plongeur effectuant l'inventaire du macrobenthos .....	38
Figure 9 : Résultats de l'ACP sur 11 catégories de substrat par transect, identifié par station et illustré par baie. Pourcentage de l'inertie du jeu de données retenu par les deux premiers axes : 54% .....	42
Figure 10 : Couverture moyenne des différents substrats généraux (% $\pm$ ET) par baie en 2019.....	44
Figure 11 : Couverture moyenne des deux groupes de coraux scléactiniaires (% $\pm$ ET) par baie en 2019.....	45
Figure 12 : Couverture moyenne des différentes formes coralliennes (% $\pm$ ET) par baie en 2019.....	46
Figure 13 : Densité moyenne de colonies coralliennes par famille (indiv/m <sup>2</sup> $\pm$ ET) par baie en 2019 .....	47
Figure 14 : Prévalence moyenne de lésions (% $\pm$ ET) sur les coraux scléactiniaires et <i>Millepora</i> par baie en 2019. <i>Blanchi.part</i> : Blanchissement partiel de la colonie, <i>Blanchi.tot</i> : Blanchissement total de la colonie, <i>Malfor</i> : Malformation corallienne, <i>Pigm</i> : Pigmentation, <i>Pred</i> : Predation, <i>Sed.compet</i> : lésions de sédimentation/compétition avec algues, <i>Syndr.blanc</i> : Syndrome blanc.....	49
Figure 15 : Prévalence moyenne de lésions coralliennes (%) par famille et par baie en 2019. <i>Blanchi.part</i> : Blanchissement partiel de la colonie, <i>Blanchi.tot</i> : Blanchissement total de la colonie, <i>Malfor</i> : Malformation corallienne, <i>Pigm</i> : Pigmentation, <i>Pred</i> : Predation, <i>Sed.compet</i> : lésions de sédimentation/compétition avec algues, <i>Syndr.blanc</i> : Syndrome blanc.....	50
Figure 16 : illustration des lésions coralliennes fréquemment rencontrées : A : <i>Porites</i> sp. totalement blanchi, B : Blanchissement partiel sur <i>Porites</i> sp., C : Pigmentation rose sur <i>Porites</i> sp., D : Malformation sur <i>Porites</i> sp., E : Compétition entre <i>Porites</i> sp. et des algues, F : sédimentation sur <i>Turbinaria</i> sp., G : Prédation d' <i>Acanthaster</i> sur <i>Acropora</i> sp., H : Syndrome blanc sur <i>Acropora</i> sp. ....	51
Figure 17 : Couverture de vase (%) par station et typologie en 2019 .....	52
Figure 18 : Prévalence de lésions coralliennes liées à la sédimentation (% $\pm$ ET) par typologie en 2019 .....	52
Figure 19 : Photographies de colonies coralliennes ( <i>Porites</i> sp.) impactées par des lésions de sédimentation sur ST31 en fond de baie Kwé.....	53
Figure 20 : Couverture corallienne moyenne totale et par forme (en %), pour les stations du RORC (campagne 2018-2019) et en baies Kwé et de Port Boisé (2019).....	54
Figure 21 : Evolution du substrat entre 2014 (gauche) et 2019 (droite) sur le transect T01 de ST34 (sortie gauche de baie Kwé).....	55
Figure 22 : Présence de cyanobactéries en compétition avec les coraux sur ST38 en baie de Port Boisé (gauche) et sur ST32 (droite) en baie Kwé.....	56
Figure 23 : Evolution de la couverture moyenne des différents substrats (% $\pm$ ET) par baie (Kwé et Port Boisé) et par année. L'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'améliorer la visibilité .....	57
Figure 24 : Evolution de la couverture moyenne des coraux <i>Acroporidae</i> et <i>Non-Acroporidae</i> (% $\pm$ ET) par baie (Kwé et Port Boisé) et par année.....	58
Figure 25 : Evolution de la couverture moyenne par type de forme corallienne (% $\pm$ ET) par baie (Kwé et Port Boisé) et par année. L'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'améliorer la visibilité .....	59
Figure 26 : Densité détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux baies en 2019. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type. BK : Baie Kwé ; PB : Port Boisé.....	62
Figure 27 : Biomasse détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux baies en 2019. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type. BK : Baie Kwé ; PB : Port Boisé.....	63

Figure 28 : Richesse spécifique détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux baies en 2019. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type. BK : Baie Kwé ; PB : Port Boisé.....	64
Figure 29 : Variations temporelles des paramètres de densité sur la période historique disponible, pour chacune des deux baies (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). BK : Baie Kwé ; PB : Port Boisé ; ET : Ecart-Type.....	67
Figure 30 : Variations temporelles des paramètres de biomasse sur la période historique disponible, pour chacune des deux baies (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). BK : Baie Kwé ; PB : Port Boisé ; ET : Ecart-Type.....	69
Figure 31 : Variations temporelles des paramètres de richesse spécifique sur la période historique disponible, pour chacune des deux baies (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). BK : Baie Kwé ; PB : Port Boisé ; ET : Ecart-Type.....	70
Figure 32 : Densités moyennes totales ( $\pm$ écart type) et richesses spécifiques moyennes ( $\pm$ écart type) des invertébrés cibles inventoriés au cours de la campagne de suivi 2019 à l'échelle des baies Kwé et de Port Boisé.....	76
Figure 33 : Richesses spécifiques moyennes par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles inventoriés au cours de la campagne de suivi 2019 à l'échelle des baies Kwé et de Port Boisé.....	77
Figure 34 : Densités moyennes par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles inventoriés au cours de la campagne de suivi 2019 à l'échelle des baies Kwé et de Port Boisé.....	78
Figure 35 : Densités moyennes des bédouilles inventoriés au cours de la campagne de suivi 2019 à l'échelle des baies Kwé et de Port Boisé.....	80
Figure 36 : Photographies de quelques invertébrés recensés en baie Kwé et Port Boisé en novembre 2019 (source : CORTEX).....	82
Figure 37 : Évolution temporelle des richesses spécifiques et densités moyennes totales des invertébrés cibles au sein de la baie Kwé.....	83
Figure 38 : Évolution temporelle des richesses spécifiques et densités moyennes par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles au sein de la baie Kwé.....	84
Figure 39 : Évolution temporelle des richesses spécifiques et densités moyennes totales des invertébrés cibles au sein de la baie de Port Boisé.....	84
Figure 40 : Évolution temporelle des richesses spécifiques et densités moyennes par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles au sein de la baie de Port Boisé.....	85
Figure 41 : Evolution de la richesse spécifique moyenne totale et par sous-groupes taxonomiques ( $\pm$ ET) par baies (Kwé et Port Boisé) et par campagne. L'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité.....	87
Figure 42 : Evolution de la densité moyenne totale et par sous-groupes taxonomiques ( $\pm$ ET) par baies (Kwé et Port Boisé) et par campagne. L'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité.....	88
Figure 43 : Densités moyennes totales des invertébrés cibles pour les stations des baies Kwé et de Port Boisé et les stations RORC avoisinantes (campagne 2018-2019).....	90
Figure 44 : Densités moyennes des coquillages <i>Drupella</i> pour les stations des baies Kwé et de Port Boisé et les stations RORC avoisinantes (campagne 2018-2019).....	91

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Programme de l'étude .....	12
Tableau 2 : Liste des stations de suivi .....	18
Tableau 3 : Coordonnées GPS (lambert NC) du piquet de départ de chaque station (T01.1) .....	19
Tableau 4 : Catégories de substrat retenues pour l'échantillonnage en LIT (English et al. 1997) .....	23
Tableau 5 : Regroupement de catégories réalisé pour l'analyse des données du LIT .....	25
Tableau 6 : Types de variables utilisés pour la caractérisation, l'analyse et la modélisation des peuplements ichtyologiques et de leurs variations spatio-temporelles .....	33
Tableau 7 : Liste des espèces d'invertébrés cibles coloniales et classes de recouvrement .....	38
Tableau 8 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Baie) pour chaque type de substrat sur les données de couverture transformées (racine carrée) en 2019 .....	43
Tableau 9 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Baie) pour chaque famille de coraux sur les données de densité transformées (racine carrée) en 2019 (NS : Non significatif ; * : $p < 0,05$ ; ** : $p < 0,001$ ; *** : $p < 0,0001$ ) .....	48
Tableau 10 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Baie) sur la prévalence de lésions (données transformées : racine carrée) en 2019 (NS : Non significatif ; * : $p < 0,05$ ; ** : $p < 0,001$ ; *** : $p < 0,0001$ ) .....	48
Tableau 11 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne et Baie) sur les données de couvertures de substrat transformées (racine carrée) .....	56
Tableau 12 : Niveaux moyens de densité, de biomasse et de richesse spécifique observés en 2019 dans chacune des deux baies. Les écart-types pour les moyennes sont fournis entre parenthèses. ....	61
Tableau 13 : Résultats détaillés des analyses testant la significativité des différences des paramètres ichtyologiques entre les deux baies. NS : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$ ; ** : $P < 0,01$ ; *** : $P < 0,001$ .....	65
Tableau 14 : Résultats détaillés des analyses testant la significativité des variations temporelles des paramètres ichtyologiques entre 2011 et 2019. NS : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$ ; ** : $P < 0,01$ ; *** : $P < 0,001$ ..	71
Tableau 15 : Résultats des modélisations CI pour la détection de signaux de perturbation potentiels sur l'ichtyofaune (représentés par le facteur d'interaction « Campagne x Baie »). NS : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$ ; ** : $P < 0,01$ ; *** : $P < 0,001$ .....	73
Tableau 16 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Baie) pour les richesse et la densité moyennes totales et par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles inventoriés en 2019 au sein des deux baies (NS : non-significatif ; * : $p \leq 0,05$ ) .....	76
Tableau 17 : Données de recouvrement moyen des espèces d'invertébrés cibles coloniaux pour la campagne 2019. ...	79
Tableau 18 : Données relatives aux bédouilles pour la campagne 2019 : densité et taille moyennes des populations et espèces recensées au sein des deux baies. ....	80
Tableau 19 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Temps) pour les richesse et la densité moyennes totales et par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles inventoriés entre 2011 et 2019 au sein de la baie Kwé (NS : non-significatif) .....	83
Tableau 20 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Temps) pour les richesse et la densité moyennes totales et par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles inventoriés entre 2011 et 2019 au sein de la baie de Port Boisé (NS : non-significatif ; * : $p \leq 0,05$ ) .....	85
Tableau 21 : Résultats du modèle linéaire généralisé (GLM) (facteurs campagne et baie) sur les données de richesse spécifique et de densité des invertébrés cibles (NS : non-significatif) .....	86
Tableau 22 : Densités et richesses en espèces cibles pour les stations des baies Kwé et de Port Boisé et les stations RORC avoisinantes .....	89
Tableau 23 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Campagne) sur les données de densités moyennes des invertébrés cibles sur 7 stations RORC à proximité de la zone d'étude, pour la période 2011-2019 (Job, 2020) .....	92

## RESUME EXECUTIF



L'OEIL (Observatoire de l'Environnement en Nouvelle Calédonie) et le CCCE (Comité Consultatif Coutumier Environnemental) ont missionné SOPRONER et ses partenaires (DEXEN et CORTEX) pour la réalisation d'une campagne de suivi de l'état de santé des récifs des baies Kwé et de Port Boisé en novembre 2019. Cette campagne intervient à la suite de campagnes réalisées sur les mêmes stations dans une configuration différente en 2011, 2013 et 2014. Afin d'améliorer la probabilité de détection d'impact, l'étude a été ciblée sur le haut du tombant en 2019 avec une augmentation de la réplication des transects sur cet habitat. Les stations suivies complètent le réseau de suivi réglementaire de VALE NC, ce dernier ne disposant pas de stations biologiques 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 VALE NC alors que la baie de Port Boisé, dite de « contrôle », n'est pas sous influence d'une activité minière. Le substrat, les lésions coralliennes, les peuplements ichtyologiques et les peuplements macrobenthiques ont été échantillonnés lors de cette campagne 2019. Des quadrats photographiques permanents ont également été implantés.

Les relevés sur le substrat ont montré une couverture corallienne significativement plus élevée en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé sur les stations en 2019 (respectivement 32% et 18%). Des couvertures non négligeables de coraux de feu et de cyanobactéries ont été observées sur certaines stations dans les deux baies. Si la prolifération de cyanobactéries peut parfois être liée à un impact d'origine anthropique, leur présence très localisée dans les deux baies semble d'origine naturelle. Aucune maladie corallienne fréquente de l'Indo-Pacifique n'a été recensée hormis une maladie de la bande noire (hors transect) et des anomalies de croissance en faible prévalence (<0,2% en moyenne) dans chaque baie. Aucun épisode massif de blanchissement corallien d'origine thermique ou lié à un autre stress n'a été identifié. Les lésions coralliennes liées à la sédimentation sont deux fois plus fréquentes en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé et touchent principalement les stations de fond de baie. Cette tendance, confirmée par une couverture de vase plus élevée en fond de baie Kwé qu'en fond de baie de Port Boisé semble indiquer une pression sédimentaire d'origine terrigène plus importante en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé.

L'évolution temporelle des caractéristiques du substrat entre chaque baie entre 2011 et 2019, limitée à un transect par station afin de permettre une comparaison de l'ensemble des campagnes, ne montre pas de signal d'impact lié à l'activité de VALE NC sur les substrats coralliens. En effet, si la couverture corallienne a diminué dans chaque baie entre 2011 et 2013 à la suite de fortes pluies, celle-ci montre des signes de récupération, particulièrement prononcés depuis 2014, dans chaque baie. En 2019, les couvertures coralliennes observées en baie Kwé et Port Boisé restent toutefois inférieures à celles observées sur les stations de Yaté, de l'île Ouen et de Prony par le RORC (Réseau d'Observation des Récifs Coralliens). Ces stations ont vu leur couverture corallienne rester stable ou augmenter depuis 2011, confortant les tendances observées en baie Kwé et Port Boisé.

Une forte similitude des caractéristiques de l'ichtyofaune récifale a été constatée en 2019 entre la baie Kwé et la baie de Port Boisé, tant concernant les niveaux totaux de densité, biomasse, et richesse spécifique, que leur structuration selon différents critères (potentiel commercial, groupes trophiques, familles indicatrices). Ces caractéristiques sont cohérentes avec le type de récifs concerné (récifs frangeants abrités sous influence terrigène et sous influence d'une population rurale diffuse), ne montrent pas d'anomalie structurelle notable, et attestent de peuplements ichtyologiques sains pour ce type de biotope.

Les évolutions de l'ichtyofaune dans les deux baies et les analyses qui en ont été faites suggèrent une relative stabilité entre les quatre campagnes, à l'exception de quelques variations ponctuelles ne constituant *a priori* pas des signaux de perturbation. Ces dernières ont, selon les cas, pu être en partie reliées à des fluctuations naturelles des peuplements observables ou à la diminution du recouvrement en corail vivant constatée de 2011 à 2013. Par ailleurs, les modélisations CI (Contrôle-Impact) ont suggéré *a priori* une absence de signal d'impact significatif sur l'ichtyofaune en lien avec les activités de Vale NC.

L'inventaire des invertébrés a été mené sur une liste d'espèces restreinte aux échinodermes, mollusques et ascidies. Globalement, les peuplements d'invertébrés de la zone d'étude sont moyennement variés et peu abondants, au sein de chaque station de suivi. Les récifs de fond de baie abritent les peuplements les plus riches et les plus abondants. Les mollusques sont les

invertébrés les plus fréquents et abondants, particulièrement les bivalves associés aux massifs de Porites vivants. Les étoiles de mer sont bien représentées. Les peuplements sont conformes à ceux observés sur d'autres récifs côtiers de Nouvelle-Calédonie, avec toutefois des niveaux de densité et de diversité assez faibles. La densité totale moyenne des invertébrés cibles de la baie Kwé est supérieure à celle de la baie de Port Boisé (différence non significative). La richesse spécifique moyenne est légèrement supérieure au sein de la baie de Port Boisé (différence non significative). À l'échelle des sous-groupes taxonomiques, seule la richesse moyenne en holothuries est significativement supérieure en baie de Port Boisé.

L'analyse temporelle (2011-2019) des peuplements révèle la présence d'un peuplement d'invertébrés assez variable, et guidé par l'évolution de la densité des bivalves. Cette évolution pourrait être le reflet d'un biais d'échantillonnage et/ou d'une modification naturelle du peuplement, les profils d'évolution des densité et richesse des peuplements au sein des deux baies étant similaires à celui du taux de corail vivant, avec une baisse du taux de corail vivant entre 2011 et 2013 (fortes pluies) suivie d'une régénération depuis 2013. Aucun signal d'impact n'est détecté sur les peuplements d'invertébrés cibles en baie Kwé (zone d'impact potentiel) et en baie de Port Boisé (zone de contrôle) depuis 2011.

En conclusion, l'étude réalisée en 2019 ne montre pas de signal d'impact lié à l'activité de VALE NC sur le substrat, les peuplements ichtyologiques et les peuplements benthiques en baie Kwé. Toutefois, l'analyse de l'état de santé des coraux complété par la couverture de vase en fond de baie, semble indiquer une pression sédimentaire plus élevée en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé. Si l'origine précise de cette pression ne peut être déterminée, elle est liée au lessivage naturel des bassins versants renforcé potentiellement par les incendies et/ou l'activité minière. Globalement, les récifs coralliens de ces deux baies reflètent un état de santé général variable selon les stations mais toutefois similaire à ce qui est observé sur d'autres récifs frangeants sous influence terrigène en Nouvelle-Calédonie. Si l'évolution temporelle 2011-2019 reste limitée à l'étude d'un seul transect commun par station, le renforcement de la stratégie d'échantillonnage en 2019, améliorant la capacité de détection d'impact, permettra de reproduire une approche CI robuste dès les prochaines campagnes.

## **EQUIPE ET CONDITIONS D'INTERVENTION**

**Antoine GILBERT** : ingénieur halieute de l'ENSAR expert en gestion des ressources récifales et chef du département « pêches et sciences marines » au sein de la société SOPRONER. Il a supervisé l'étude dans sa globalité.

**Tom HEINTZ** : diplômé de l'Université James Cook (Townsville - Australie), ingénieur d'études 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 et les maladies coralliennes.

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

**Sandrine JOB** : ingénieur d'études en écologie marine diplômée de l'Université James Cook (Townsville - Australie) et gérante de la société CORTEX. Elle a réalisé les relevés et l'interprétation des données sur le macrobenthos.

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

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

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

**Tableau 1 : Programme de l'étude**

<b>Date</b>	<b>Conditions météo</b>	<b>Mission</b>
31/10/2019	Vent faible <10 nœuds	Installation des stations
01/11/2019	Vent faible <10 nœuds	Installation des stations
04/11/2019	Vent faible <10 nœuds	Echantillonnage ST36, ST37, ST39
05/11/2019	Vent moyen - 15 nœuds	Echantillonnage ST31, ST32, ST34
06/11/2019	Vent faible <10 nœuds	Echantillonnage ST33, ST38

# INTRODUCTION

L'Observatoire de l'Environnement en Nouvelle Calédonie (OEIL) et le Comité Consultatif Coutumier Environnemental (CCCE) ont missionné SOPRONER pour la réalisation d'un état des lieux des communautés récifales dans la baie Kwé et la baie de Port Boisé en 2019.

Cet inventaire fait suite à la réalisation de plusieurs inventaires successifs en 2011<sup>1</sup>, 2013<sup>2</sup> et 2014<sup>3</sup> dans les deux baies : la baie Kwé sous influence du bassin versant exploité par VALE NC 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 2015<sup>4</sup>.

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

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Mettre en place un réseau de 8 stations dans les deux baies sur la base d'une nouvelle stratégie d'échantillonnage ;
- Réaliser un état des lieux pour caractériser les communautés récifales des deux baies en 2019 ;
- Comparer le substrat des deux baies échantillonnées en 2019 à des sites proches suivis par le RORC (Réseau d'Observation des Récifs Coralliens) ;
- Evaluer quantitativement et statistiquement l'évolution de ces communautés au sein des deux baies entre 2011, 2013, 2014 et 2019 sur les transects fixes utilisés à chaque campagne ;
- Discuter l'évolution de l'état de santé des deux baies au regard de l'activité industrielle de VALE présente dans la zone et d'autres facteurs naturels influençant les caractéristiques écologiques des récifs.

---

<sup>1</sup> Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/2469>

<sup>2</sup> Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/5688>

<sup>3</sup> Lien vers le rapport : <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/10153>

<sup>4</sup> 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 VALE NC alors que la baie de Port Boisé est considérée comme une baie de contrôle puisqu'elle n'est à priori l'exutoire d'aucun bassin versant sous l'influence de l'industriel.



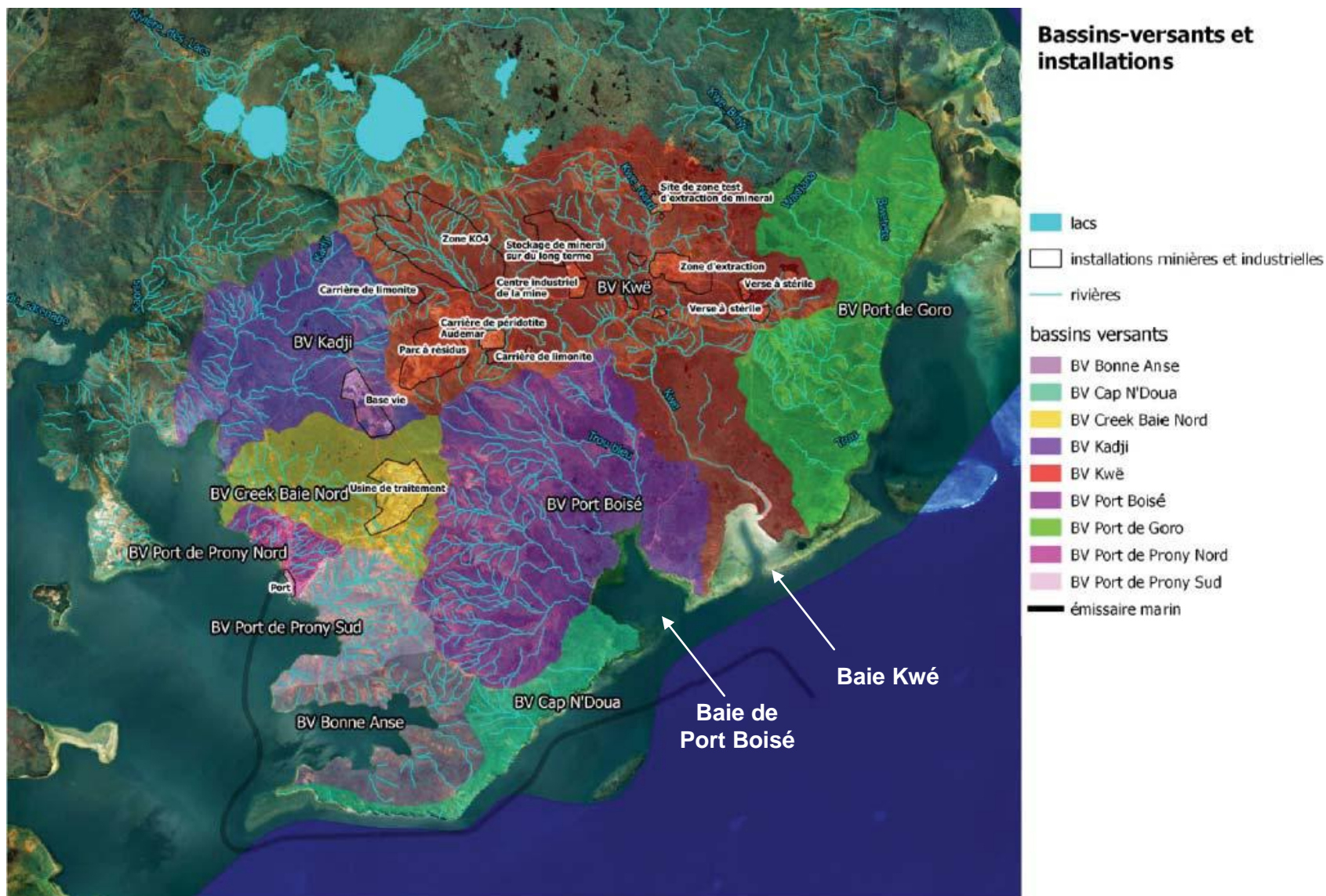


Figure 1 : Situation géographique des différents bassins versants bordant les baies Kwé et de Port Boisé, ainsi que des installations minières et industrielles de VALE NC (source : OEIL)

## I.2. ZONE D'ÉCHANTILLONNAGE

La zone échantillonnée est présentée sur la Figure 3.

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

Tableau 2 : Liste des stations de suivi

Baie	Zone	Station
Baie Kwé	Impact potentiel	ST31
		ST32
		ST33
		ST34
Baie Port Boisé	Contrôle	ST38
		ST39
		ST36
		ST37

Ce zonage a été défini en fonction de l'influence des bassins versants de mine.

## I.3. IMPLANTATION DES STATIONS

Sur chaque station, le point GPS fournit ci-dessous 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 stable.

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



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

Les coordonnées GPS (Lambert NC) du premier piquet de la station (T01-1) sont fournies ci-dessous.

**Tableau 3 : Coordonnées GPS (lambert NC) du piquet de départ de chaque station (T01.1)**

Station	X	Y
ST31	501370	206601
ST32	501086	206516
ST33	501696	205964
ST34	501333	205822
ST36	499372	204692
ST37	500074	205203
ST38	499263	205769
ST39	498717	205689



	<b>Planche 1: Positionnement des stations de suivi</b>	Format = A4 Echelle = 1:50 000	Dessinateur : TH Affaire N° : 19042 Fichier : Planche 1
---	--	--------------------------------------	---

Figure 3 : Positionnement des stations de suivi

---

## I.4. LIEN AVEC LES ÉTUDES PRÉCÉDENTES

---

La comparaison des données de 2019 aux campagnes précédentes s'est restreinte aux études réalisées sur les stations communes à cette présente étude : EMR (2011), EMR (2013), SQUALE (2014). En effet, bien que plusieurs études aient été réalisées en baie Kwé en 1994 (Thollot & Wantiez 1994), 2000 (Sarraména 2000) et 2007 (Melanopus 2007), celles-ci ont été réalisées sur des stations différentes en utilisant des méthodes différentes, rendant tout diagnostic d'évolution discutable et peu pertinent.

Concernant les études utilisées pour la comparaison temporelle (EMR 2011, EMR 2013, SQUALE 2014), les 8 stations ont été inventoriées sous une configuration différente dans un souci de comparabilité avec les opérations menées dans le cadre du suivi réglementaire de Vale Nouvelle-Calédonie. En effet, chaque station était composée d'un transect sur la platier (A), sur le haut du tombant (B) et sur le bas de tombant (C). Afin d'améliorer la stratégie d'échantillonnage et de fournir une meilleure puissance de détection d'évolution lors de prochaines campagnes, la disposition des transects a été modifiée pour en faire des répliqués placés à une même profondeur selon les recommandations émises dans le cadre dédiée à l'optimisation du plan de suivi du milieu marin (Bouvet G. & Guillemot N. 2015).

Ainsi, il a été décidé en concertation avec l'OEIL de se focaliser sur un unique habitat lors de cette étude : le haut de tombant. Cet habitat présente généralement la plus grande richesse et la plus grande couverture corallienne des 3 habitats cités précédemment.

Pour chaque station, le transect T01 correspond ainsi au transect B (haut de tombant) utilisé lors des études précédentes à l'exception de la station ST36 où le transect C a été utilisé. Pour cette unique station, il a été jugé que le transect C correspondait d'avantage à un habitat de type « haut de tombant » du fait de son emplacement.

Rappelons que ce transect commun à chacune des études a parfois fait l'objet de modifications de placement lors de certaines campagnes, les piquets n'étant pas systématiquement retrouvés (cf p.13, SQUALE 2014). Ces différences de placement peuvent être à l'origine d'écarts qui seront discutés dans les résultats.

Afin de faciliter la reconnaissance des stations lors de prochaines campagnes, un plan de station présentant les caps obtenus à la boussole de chaque tronçon de 5m est fourni en ANNEXE I.

## II. SUIVI DU SUBSTRAT ET DES COMMUNAUTÉS CORALLIENNES

---

---

### II.1. ECHANTILLONNAGE

---

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

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

#### II.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 4). Les catégories définies par English et al. (1997) ont été retenues pour caractériser la nature du substrat sous le ruban (Tableau 4).



**Figure 4 : 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 4 : 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	

### II.1.2. Densité de colonies coralliennes et prévalence de blanchissement et autres 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). Si le cahier des charges prévoyait une largeur de 5m initialement pour cet échantillonnage, il a été décidé en concertation avec l'OEIL de le réduire à 2m pour suivre les

préconisations proposées dans la littérature (Hill & Wilkinson 2004 : Disease belt transect). Au sein de cette zone de 40m<sup>2</sup>, chaque colonie corallienne a été recensée au niveau du genre et classifiée soit en bonne santé, soit perturbée selon un type de lésions particulier.

Les types de lésions observées ont été classés comme suit :

- Blanchissement (total et partiel)
- Pigmentation (décoloration, spots)
- Malformations coralliennes
- Prédation (étoiles de mer *Acanthaster*, coquillages *Drupella* ou *Coralliophila*, poissons, autre)
- Lésion liée à la sédimentation/compétition avec les algues
- Maladie corallienne (syndrome blanc, etc.)

---

## II.2. ANALYSE DES DONNÉES

---

D'un point de vue général, les données ont été principalement décrites et étudiées par baie. Les données par station sont illustrées en annexe et permettent d'affiner les tendances observées par baie.

### II.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 scléactiniaires
- Coraux Acroporidae
- Coraux Non-Acroporidae
- Coraux morts récemment
- Coraux mous
- Autres organismes
- Algues calcaires
- Algues
- Corallines
- Substrats abiotiques

Afin d'affiner le diagnostic, les données de couverture de coraux scléactiniaires ont été regroupées dans un second temps par formes (branchues, sub-massives, massives, digitées, tabulaires, encroûtantes, foliaires, solitaires).

L'analyse sur le substrat est réalisée selon trois types de regroupements (Tableau 5).



**Tableau 5 : Regroupement de catégories réalisé pour l'analyse des données du LIT**

<b>Général</b>	<b>Acroporidae/Non Acroporidae</b>	<b>Formes coralliennes</b>
Abiotique	Coraux Acroporidae	Corail branchu
Algues	Coraux Non-Acroporidae	Corail digité
Algues calcaires		Corail encroutant
Autre faune		Corail foliaire
Corail millepora		Corail massif
Corail mort récemment		Corail millepora
Coraline		Corail solitaire
Coraux		Corail sub-massif
Coraux mous		Corail tabulaire
Crevasse		
Cyanobacteries		
Phanérogames		

#### II.2.1.1. Etat des lieux 2019

Dans un premier temps, une analyse exploratoire à l'échelle de chaque transect à partir d'un jeu de données a permis de classer des observations sur la base de leurs similitudes et de leurs différences. Elles fournissent des représentations graphiques de la variabilité de ces données, sous la forme de plans factoriels, et permettent de grouper les observations sur la base de leurs caractéristiques intrinsèques. Dans le cas présent, une ACP (Analyse en Composantes Principales), a été réalisée sur la base de la couverture des différents substrats généraux par transect en 2019. La matrice utilisée pour cette analyse est donc une matrice de couverture « Substrat x Transect » transformée à la racine carrée. Le facteur « Baie » a pu être testé à l'aide d'une PERMANOVA (Anderson et al. (2008) à un facteur pour évaluer la significativité d'une différence entre baies, tous substrats confondus.

Cette analyse multivariée a été complétée par une description univariée des couvertures de substrats par baie en 2019. Afin d'apprécier la significativité des différences observées entre baies pour chaque type de substrat, une analyse de variance (ANOVA) à un facteur (Baie) 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 III.

#### II.2.1.2. Evolution temporelle entre 2011 et 2019

Pour chacune des zones, l'évolution de la couverture des différents substrats est décrite par baie entre 2014 et 2019 en utilisant l'unique transect commun de chaque station à chaque campagne depuis 2011.

Des analyses de variance (ANOVA) à deux facteurs (Campagne et Baie) ont été réalisées sur la couverture de chaque type de substrat afin d'évaluer la significativité de chacun des facteurs individuellement mais également de l'interaction entre ces deux facteurs. Les données ont été transformées (racine carrée) afin de remplir les conditions de normalité des données et d'homogénéité des variances exigées pour ce type de test (Zar 1999).

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

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

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

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

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

Les évolutions temporelles du substrat par station sont fournies en ANNEXE III.

### II.2.1.3. Comparaison à des sites de la région

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

Une comparaison des couvertures coralliennes relevées en 2019 en baies Kwé et de Port Boisé est réalisée avec une sélection de 7 récifs suivis dans le cadre du RORC situés à proximité de la zone d'étude. Le RORC utilise 4 transects de 20m par station et relève la couverture de coraux par la méthode du PIT (Point Intercept Transect) en utilisant 40 points par transects de 20m (1 point tous les 50cm).

Sept stations réparties sur 3 sites présentant une configuration proche (distance de la côte, exposition) de celles des baies Kwé et Port Boisé ont été choisies (Figure 5) :

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

Aucune comparaison avec les stations suivies dans le cadre du suivi réglementaire de VALE NC n'a été réalisée compte tenu de protocoles d'inventaire trop différents. En effet, les stations de VALE NC sont constituées de trois transects répartis sur trois habitats différents (platier, haut de tombant, bas de tombant) ne permettant pas une comparaison avec les présentes stations dont les trois transects sont répartis sur un unique habitat (haut de tombant).



Figure 5 : Cartographie des stations utilisées pour la comparaison des données à celles des sites du RORC dans la région (source : Georep)

## II.2.2. Caractéristiques des communautés coralliennes

### II.2.2.1. Densité et état de santé des colonies coralliennes par genre en 2019

Les données récoltées permettent de décrire la densité de colonies coralliennes par famille et par baie. L'état de santé de ces colonies est également décrit dans un second temps selon la prévalence des différentes lésions par famille et par baie.

Pour la densité de colonies puis la prévalence de chaque type de lésions, une analyse comparative entre baie 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 (Baie) a été réalisée afin d'évaluer la significativité des différences observées entre baies. Un test post hoc de Tukey a ensuite été réalisé afin d'identifier l'origine des différences observées.

Les densités de colonies par genres et par station en 2019 sont fournies en ANNEXE IV.

---

### III. SUIVI PHOTO/VIDÉO

---

Afin d'illustrer l'état écologique des stations et les données récoltées en 2019, deux approches ont été mises en œuvre :

- L'utilisation de 10 quadrats photographiques permanents de 50cm×50cm (0,25m<sup>2</sup>) 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.

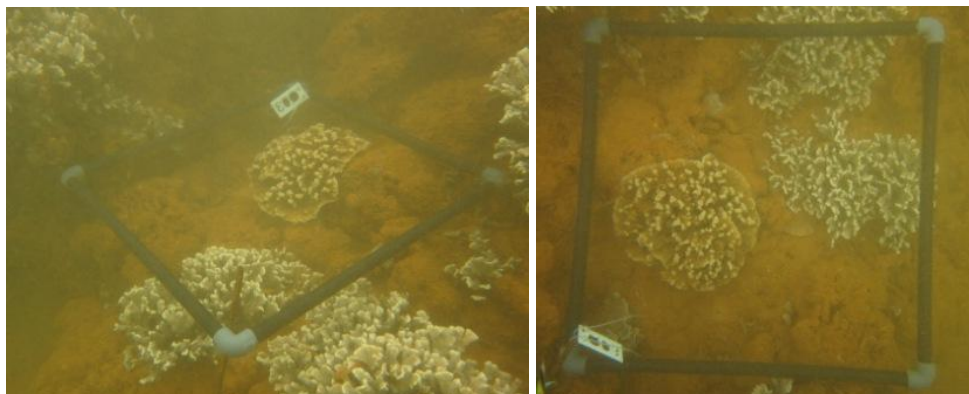
---

#### III.1. PHOTO-QUADRATS PERMANENTS

---

Sur chaque station, 10 quadrats permanents de 50cm×50cm (0,25m<sup>2</sup>) 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 ANNEXE II.

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 d'implantation de quadrat (gauche) et de photo-quadrat associée (droite)**

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

---

#### III.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.

---

### III.3. PHOTO-TRANSECTS ET AUTRES PHOTOS

---

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

## IV. 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 la zone d'étude, tels que réalisés lors de la campagne 2019 ;
- 2) les méthodes de traitements et d'analyses statistiques utilisées en vue d'étudier les caractéristiques et évolutions de l'ichtyofaune au cours des quatre campagnes disponibles.

### IV.1. ECHANTILLONNAGE

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). Sur la station, ce transect comprend le premier transect de 20m (T01), la séparation entre T01 et T02 (10m) et le deuxième transect de 20m (T02). 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 ( $d_2$ ).

Suite à 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.

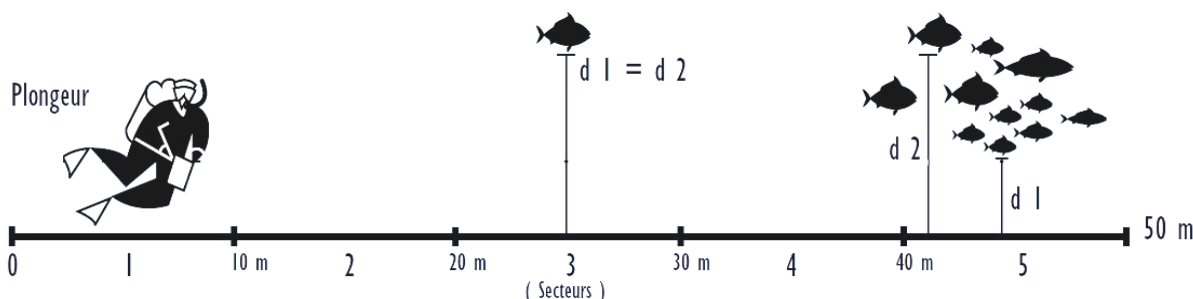


Figure 7 : Déroulement schématique d'un comptage en plongée selon la méthode des transects à largeur variable (Source : Labrosse et al. 2001).

## IV.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.

### IV.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/m<sup>2</sup>) et les biomasses (notées  $B$ , en g de poissons/m<sup>2</sup>) caractérisant chaque espèce ont été calculées selon les algorithmes propres à la méthode des distances moyennes pondérées (Kulbicki & Sarramegna 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, 50m ou 20m selon les campagnes)
- $dm$  est la distance moyenne pondérée de l'espèce sur la station, elle est donnée par la formule :

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

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

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

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

Où,

- $n_i$  est le nombre de poissons notés pour l'observation  $i$  (i.e. un ou plusieurs dans le cas d'un banc)
- $dm$  est la distance moyenne pondérée de l'espèce sur la station (même formule que précédemment)
- $L$  est la longueur du transect (ici, 50m ou 20m 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 FishBase<sup>®</sup> (Froese & Pauly 1997), Kulbicki et al. (2005b), et Kulbicki (comm. pers. 2016).

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

#### IV.2.2. Description détaillée des peuplements ichtyologiques

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 ichtyologiques 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 ichtyologiques 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<sup>®</sup> (Froese & Pauly 1997), FISHEYE (Labrosse et al. 1999), Kulbicki et al. (2005b), et Kulbicki (comm. pers. 2016).

*Potentiel commercial* - Afin de pouvoir décomposer les paramètres selon le potentiel commercial des espèces observées, une liste restreinte d'espèce dite « commerciales » a été considérée. 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 ichtyologiques, 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 recalculés 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<sup>®</sup> et R software<sup>®</sup>.

Le Tableau 6 présente de manière synthétique les grands types de variables qui constitueront la base des analyses descriptives et statistiques utilisées par la suite.

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

**Tableau 6 : Types de variables utilisés pour la caractérisation, l'analyse et la modélisation des peuplements ichtyologiques et de leurs variations spatio-temporelles.**

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

### IV.3. ANALYSE DES DONNEES

---

D'un point de vue général, les données ont été principalement décrites et étudiées par baie. Les données par station sont présentées en annexe et permettent d'affiner les tendances observées par baie.

#### IV.3.1. Approche analytique générale

La campagne réalisée en 2019 a marqué une transition entre le plan d'échantillonnage mis en œuvre en 2011, 2013, et 2014, et un nouveau plan d'échantillonnage qui sera désormais implémenté lors de futures campagnes dans la zone sous influence du complexe industriel et minier de Vale NC.

Dans ce contexte, l'approche analytique utilisée pour l'étude spatio-temporelle de l'ichtyofaune suite à la campagne 2019 est dissociée en trois étapes :

- 1) La caractérisation de l'ichtyofaune observée en 2019 et la comparaison des peuplements présents entre les deux baies ;
- 2) L'étude de l'évolution temporelle de l'ichtyofaune au cours des quatre campagnes historiques en ne considérant, pour les campagnes 2011, 2013 et 2014, que le transect situé à une profondeur équivalente à celui échantillonné en 2019 ;
- 3) La modélisation statistique selon un schéma *CI* (*Control-Impact*, cf. détails ci-dessous) pour la détection de signaux de perturbations sur l'ichtyofaune dans la baie sous influence (baie Kwé), à partir du même jeu de donnée que celui utilisé précédemment pour étudier les évolutions temporelles par baie.

Pour chaque paramètre d'ichtyofaune, la description d'une baie 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 baie. L'utilisation de cette réplification 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  $\alpha$  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 effectuées à l'aide des logiciels Microsoft Excel<sup>®</sup> et R Software<sup>®</sup>.

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

#### IV.3.1. Comparaison spatiale de l'ichtyofaune entre baies en 2019

Afin de comparer les caractéristiques de l'ichtyofaune entre les deux baies en 2019, et afin de tester la significativité des différences éventuellement observées, des tests statistiques univariés (un facteur « Baie ») 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 ont été utilisés afin d'étudier l'effet du facteur « baie » sur la variable en question. Dans le cas contraire, des tests non-paramétriques de type Mann-Whitney ont remplacé les tests de Student (Zar 1999, Rosner 2000).

A l'issue de ces analyses, l'amplitude et le profil des différences significatives éventuellement mises en évidence ont été caractérisés graphiquement, la comparaison statistique ne concernant que deux modalités (deux baies) et ne nécessitant donc pas de mener des analyses *post hoc*.

### IV.3.2. Evolutions temporelles par baie sur la période 2011-2019

Afin d'examiner l'évolution temporelle des peuplements ichtyologiques par baie au cours des quatre campagnes ayant eu lieu en 2011, 2013, 2014 et 2019, et afin de tester la significativité des variations éventuellement observées, des tests statistiques univariés (un facteur « Campagne ») ont été réalisés sur chacune des 27 variables décrivant l'ichtyofaune, pour chacune des deux baies, soit 54 séries d'analyses.

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 analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées afin d'étudier l'effet du facteur « année » sur la variable en question. Dans le cas contraire, des tests non-paramétriques (de type test de Kruskal-Wallis) ont remplacé les ANOVA (Zar 1999, Rosner 2000).

Lorsqu'une variation significative a été identifiée sur un paramètre, des tests complémentaires *post hoc* (test de Tukey-HSD dans le cas des ANOVA, et test de Steel-Dwass dans le cas des tests non-paramétriques) ont été réalisés afin de déterminer précisément quelles années et quelles variations étaient à l'origine de cette réponse significative (Scherrer 1984). Les résultats de ces tests *post hoc*, associés à des représentations graphiques de l'évolution des paramètres, permettent de préciser l'amplitude et le profil de la variation considérée.

### IV.3.3. Modélisations CI sur la période 2011-2019

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

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

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

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

Avec,

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

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

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

$\varepsilon$  : résidus du modèle statistique

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

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

Pour chacune des 27 variables ichtyologiques considérées (Tableau 6), des modèles de ce type ont été construits puis exécutés sur la base des données historiques 2011-2019. 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\*baie »), 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.

#### IV.3.4. Caractère indicatif des résultats impliquant des évolutions temporelles

La nouvelle approche d'échantillonnage mise en place en 2019 permettra d'offrir une meilleure puissance analytique pour étudier l'évolution des écosystèmes récifaux locaux (dont l'ichtyofaune) et rechercher avec rigueur d'éventuels signaux de perturbation de ces écosystèmes. Cette modification de l'échantillonnage entraîne toutefois momentanément des difficultés à réaliser des analyses temporelles rigoureuses impliquant les données historiques disponibles, en raison de plusieurs facteurs déjà mentionnés précédemment dans ce rapport car concernant l'ensemble des compartiments biologiques (ex. : insuffisance du balisage sous-marin lors de précédentes campagnes entraînant une incertitude sur la position du ruban sur les certains transects, obligation de ne retenir que les transects de même strate bathymétrique etc.). Dans le cas de l'ichtyofaune, s'ajoute également un biais lié à la longueur des transects de comptage : 20 m pour les données historiques, 50 m pour les données 2019. Bien que les formules de calcul tiennent compte de la longueur de comptage, l'évolution de celle-ci engendre une appréhension différente des peuplements ichtyologiques locaux et constituent donc encore un biais supplémentaire vis-à-vis des autres compartiments biologiques échantillonnés.

En conséquence, la démarche analytique complète qui sera utilisée en routine lors des prochaines campagnes a été construite et pleinement appliquée à l'historique de données disponibles, toutefois les résultats obtenus suite à cette campagne de transition ne pourront être qu'indicatifs et devront faire l'objet d'interprétations précautionneuses (car empreinte de biais importants). Ceci vaut pour toute analyse ichtyologique impliquant des données historiques antérieures à 2019, mais est sans effet sur la caractérisation et les comparaisons spatiales en 2019.

## V. SUIVI DE LA FAUNE MACROBENTHIQUE DE FONDS DURS

---

---

### V.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.

Il débute une fois que la personne en charge du recensement des poissons a commencé ses comptages, en laissant au minimum 5 mètres de distance entre les deux observateurs.

La technique utilisée est celle du couloir fixe, sur 5 mètres de large (2,5m de part et d'autre du ruban métré).

Pour répondre au cahier des charges, les espèces prises en compte dans cette évaluation ont été les échinodermes (astéries, holothuries, crinoïdes, ophiures et échinides), les mollusques (gastéropodes et bivalves), les ascidies et les éponges. Seuls les individus de taille supérieure à 1 cm ont été recensés. Cette évaluation doit être réalisée en cherchant dans les trous et interstices des substrats durs, de nombreuses espèces de macro-invertébrés s'y réfugiant. En revanche, les blocs et coraux morts ne doivent pas être retournés et la recherche ne doit pas être menée dans les substrats meubles (faune des sables et vases).

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*) sont mesurés.

Concernant les bénitiers, leur observation est informative sur la qualité des eaux et renseigne notamment sur les conditions environnementales propices au développement corallien. En effet, bénitiers et polypes coralliens abritent tous deux des zooxanthelles au sein de leurs tissus et possèdent les mêmes optima de croissance : besoin de substrats durs et peu enalgués pour se fixer et croître, besoin d'eaux claires, bien brassées, à une salinité adéquate et peu polluées pour vivre et se développer.

Certains invertébrés coloniaux ont été recensés en leur attribuant des classes de recouvrement au sein de chaque couloir de comptage (5 mètres de large). Les classes de recouvrement et la liste des espèces cibles sont fournies au Tableau 7.

Tableau 7 : Liste des espèces d'invertébrés cibles coloniales et classes de recouvrement.

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



Figure 8 : Plongeur effectuant l'inventaire du macrobenthos

## V.2. ANALYSE DES DONNÉES

D'un point de vue général, les données ont été principalement décrites et étudiées par baie. Les données par station sont également présentées et permettent d'affiner les tendances observées par baie.

### V.2.1. Calculs de densité et de richesse taxonomique

Les données brutes ont permis de calculer les densités d'invertébrés (en nombre d'individus) et la richesse spécifique (en nombre d'espèces) en prenant comme unité de base le transect (pour rappel : 20 mètres de long par 5 mètres de large, soit 100 m<sup>2</sup> de récif).

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

- Pour le peuplement total
- Par sous-groupes taxonomiques

### V.2.2. Comparaison spatiale entre baies en 2019

En vue de choisir le type d'analyse le plus adapté, il a tout d'abord été déterminé, pour chaque variable traitée, si les données à analyser répondaient aux exigences de mise en œuvre des analyses paramétriques (i.e. distribution gaussienne et homoscédasticité des données) (Scherrer 1984, Zar 1999). Lorsque les conditions nécessaires étaient remplies, des tests t de Student ont été utilisées afin de comparer les valeurs prises par la variable entre les deux baies. Dans le cas contraire, des tests non-paramétriques de type Mann-Whitney ont remplacé les tests de Student (Zar 1999).

A l'issue de ces analyses, et la comparaison statistique ne concernant que deux modalités (deux baies), les profils des différences significatives éventuellement mises en évidence ont été caractérisés graphiquement.

### V.2.3. Evolutions temporelles par baie

De même que pour les comparaisons spatiales sur les données 2019, il a tout d'abord été déterminé si les données propres à chaque variable répondaient aux exigences de mise en œuvre de tests paramétriques (Scherrer 1984, Zar 1999). Lorsque les conditions nécessaires étaient remplies, des analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées afin de comparer les valeurs prises par la variable au cours des différentes campagnes. Dans le cas contraire, des tests non-paramétriques (de type test de Kruskal-Wallis) ont remplacé les ANOVA (Zar 1999).

Lorsqu'une variation significative a été identifiée sur une variable, des tests complémentaires *post hoc* (test de Tukey-HSD dans le cas des ANOVA, et test de Steel-Dwass dans le cas des tests non-paramétriques) ont été réalisés afin de caractériser précisément les variations à l'origine de cette réponse significative (Scherrer 1984). Les résultats de ces tests *post hoc*, associés aux représentations graphiques de l'évolution des variables, permettent de caractériser le profil de la variation significative.

### V.2.4. Approche de type Contrôle-Impact (CI)

L'approche CI consiste à examiner le différentiel de variation temporelle entre une zone sous influence et une zone de référence (nommé ici interaction « Campagne x Baie »), afin de détecter de manière rigoureuse des signaux de perturbation (i.e. déterminer si les variations observées en zone sous influence sont attribuables 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. Pour chacune des variables décrivant la faune macrobenthique, des modèles statistiques à deux facteurs (« Campagne » et « Baie ») ont donc été construits puis exécutés sur la base des données historiques 2011-2019. Lorsqu'un signal

potentiel de perturbation a été détecté sur l'une des variables (i.e. réponse significative du facteur d'interaction « Campagne x Baie »), un examen approfondi des données est réalisé afin de préciser et d'interpréter le profil de cette variation.

### **V.2.1. Calcul du recouvrement moyen en invertébrés coloniaux**

Les données des classes de recouvrement obtenues par transect ont été moyennées par station puis par baie.



## RESULTATS ET DISCUSSION

## I. SUBSTRAT ET COMMUNAUTÉS CORALLIENNES

### I.1. ETAT DES LIEUX EN 2019

#### I.1.1. Analyse multi-variée

Le premier plan factoriel de l'ACP réalisée sur les données de substrat par transect pour chaque station montre une légère structuration du jeu de données par baie (Figure 9). La station ST34, située en sortie de baie Kwé se démarque fortement des autres stations avec une couverture corallienne d'Acropores plus élevée que les autres stations, et ce pour les 3 transects de la station. Plusieurs transects appartenant aux stations de Port Boisé (ST37, ST36 et ST39) se démarquent des stations de la baie Kwé par des couvertures de corail de feu et de substrat abiotique plus élevées. On remarque également la particularité de plusieurs transects des stations ST32 (baie Kwé) et ST38 (Port Boisé), comportant une couverture de cyanobactéries plus élevée que les autres stations.

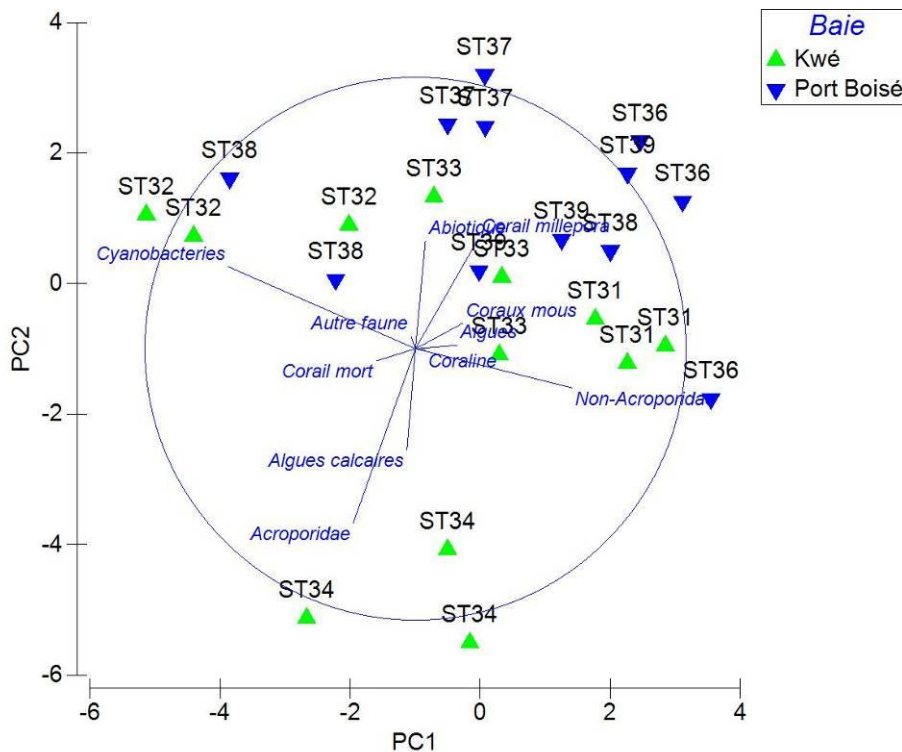


Figure 9 : Résultats de l'ACP sur 11 catégories de substrat par transect, identifié par station et illustré par baie. Pourcentage de l'inertie du jeu de données retenu par les deux premiers axes : 54%

L'analyse Permanova à deux facteurs imbriqués (Baie et Station) confirme une structuration du jeu de données par baie (facteur baie :  $p < 0,001$ ). Un effet significatif du facteur Station ( $p < 0,001$ ) montre également une certaine hétérogénéité des stations au sein de chaque baie.

L'analyse univariée sur les couvertures de substrats ci-dessous permet d'affiner et de détailler ces observations multivariées.

### I.1.2. Analyse univariée

La couverture de coraux sclérectiniens est environ deux fois plus élevée en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé ( $31,8 \pm 17\%$ <sup>5</sup> et  $17,8 \pm 17\%$  respectivement), et cette différence est significative ( $p < 0,05$ , Figure 10 et Tableau 8). La différenciation des coraux Acroporidae des autres familles montre que la différence de couverture observée entre les deux baies est principalement liée aux Acroporidae puisque les autres familles obtiennent une couverture totale d'environ 10% dans chaque baie. La couverture de coraux Acroporidae est en effet environ 2,5 fois plus élevée en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé et cette différence est significative (Figure 10 et Tableau 8). L'examen des données par station (ANNEXE III) confirme l'analyse multi-variée et montre que la station ST34 contribue fortement à cette différence avec une couverture de coraux particulièrement élevée (>50%), principalement composée d'Acroporidae (environ 48%). La station ST31, située en fond de baie Kwé, se démarque également des autres stations avec une couverture corallienne proche de 40% essentiellement composée de coraux Non-Acroporidae.

La couverture de coraux mous est significativement supérieure en baie de Port Boisé qu'en baie Kwé (1,5% et 0,1% respectivement), mais elle reste particulièrement faible dans les deux baies.

Le corail de feu (genre *Millepora*) est bien présent dans les deux baies avec une couverture significativement supérieure à Port Boisé qu'en baie Kwé ( $9,3 \pm 5,8\%$  et  $2,6 \pm 5,8\%$  respectivement (Figure 10 et Tableau 8)). L'examen des données par station (ANNEXE III) montre que chaque station de la baie de Port Boisé comporte du corail de feu alors qu'en baie Kwé, il est présent uniquement en station ST33.

Les autres types de substrats ne montrent pas de différence significative dans leurs couvertures entre les deux baies.

**Tableau 8 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Baie) pour chaque type de substrat sur les données de couverture transformées (racine carrée) en 2019**

	Baie	Post hoc
Abiotique	NS	
Algues	NS	
Algues calcaires	NS	
Autre faune	NS	
Corail millepora	**	Port Boisé > Kwé
Corail mort récemment	NS	
Coraline	NS	
Coraux mous	**	Port Boisé > Kwé
Cyanobactéries	NS	
Coraux totaux	*	Kwé > Port Boisé
Coraux Acroporidae	**	Kwé > Port Boisé
Coraux non-Acropsoridae	NS	
Corail branchu	*	Kwé > Port-Boisé
Corail digité	NS	
Corail encroûtant	NS	
Corail foliaire	NS	
Corail massif	*	Kwé > Port-Boisé
Corail solitaire	NS	
Corail sub-massif	NS	
Corail tabulaire	NS	

<sup>5</sup> ± Ecart-type

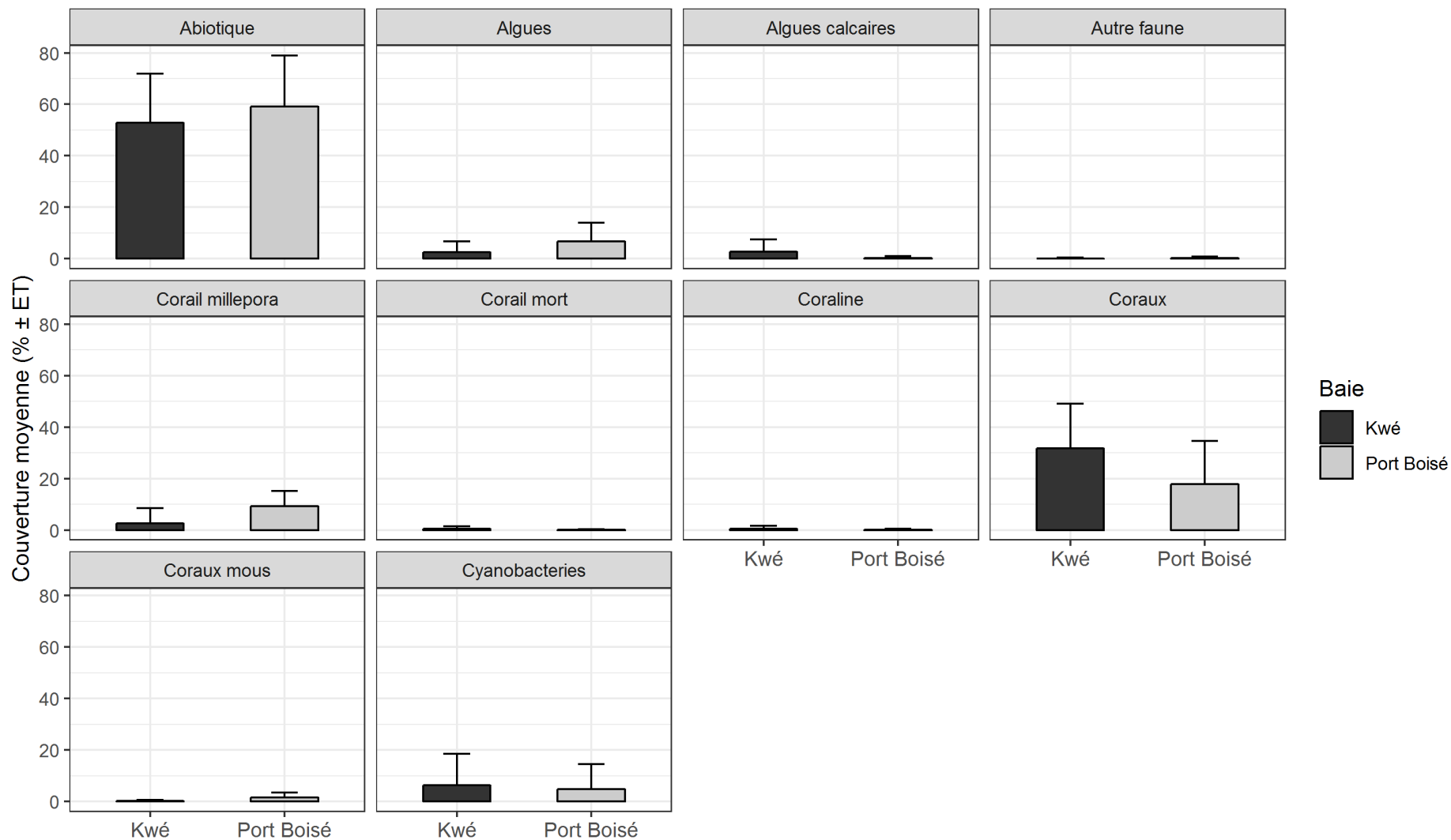
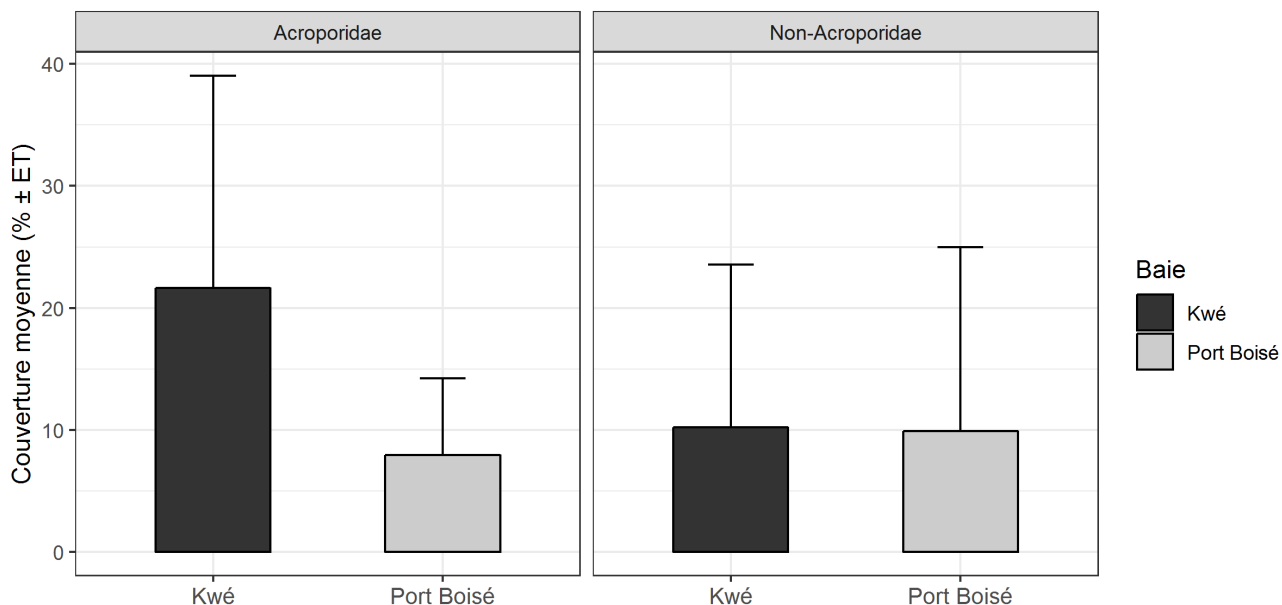


Figure 10 : Couverture moyenne des différents substrats généraux (% ± ET<sup>6</sup>) par baie en 2019

<sup>6</sup> : ET : Ecart-type



Lié

**Figure 11 : Couverture moyenne des deux groupes de coraux scléactiniaux (% ± ET) par baie en 2019**

L'examen des couvertures de coraux par formes coralliennes montrent que la baie Kwé est dominée par des coraux branchus ( $20 \pm 14\%$ , Figure 12) et que celle-ci est environ 2,5 plus élevée que celle de Port Boisé (différence significative :  $p \leq 0,05$ , Tableau 8 et Figure 12). Comme pour la couverture en coraux en général, les stations ST31 et ST34 contribuent fortement à cette dominance avec respectivement environ 18% et 40% de couverture de coraux branchus (ANNEXE III).

Les coraux massifs sont également mieux représentés en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé avec une couverture significativement supérieure ( $3,9 \pm 4,1\%$ , comparée à  $0,7 \pm 1,5\%$ ).

Les autres formes coralliennes sont peu représentées au sein de chaque baie et elles ne montrent pas de différences significatives entre les baies (Figure 12 et Tableau 8).

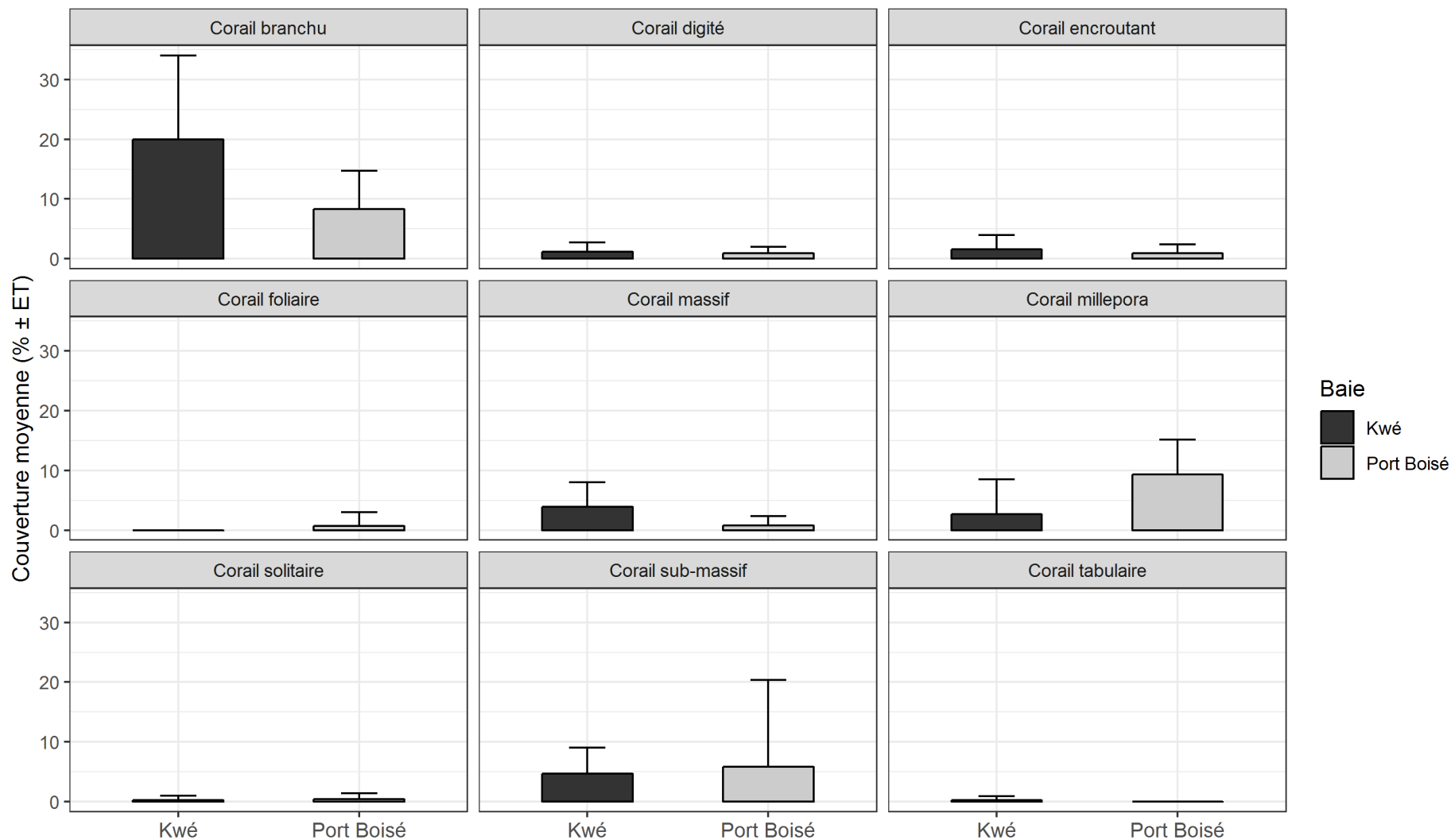


Figure 12 : Couverture moyenne des différentes formes coralliennes (% ± ET) par baie en 2019

### I.1.3. Caractéristiques et état de santé des communautés coralliennes

La densité de colonies coralliennes par famille et par baie confirme les données obtenues avec le LIT et montrent que les coraux Acroporidae sont environ deux fois plus abondants en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé ( $4,0 \pm 2,3$  individus/m<sup>2</sup> comparé à  $2,3 \pm 1,3$  individus/m<sup>2</sup>, différence significative :  $p < 0,05$ , Figure 13 et Tableau 9).

Les Poritidae sont également plus présents en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé mais dans une moindre mesure (densité  $< 0,8$  individus/m<sup>2</sup> dans chaque baie) et la différence observée entre les deux baies n'est pas significative.

A l'inverse, les colonies de corail de feu (*Millepora*) et celles de coraux solitaires (Fungidae) sont environ 4 fois plus fréquentes en baie de Port Boisé qu'en baie Kwé. Les Pocilloporidae suivent la même tendance dans une moindre mesure (différence significative pour les deux familles ( $p \leq 0,01$ )).

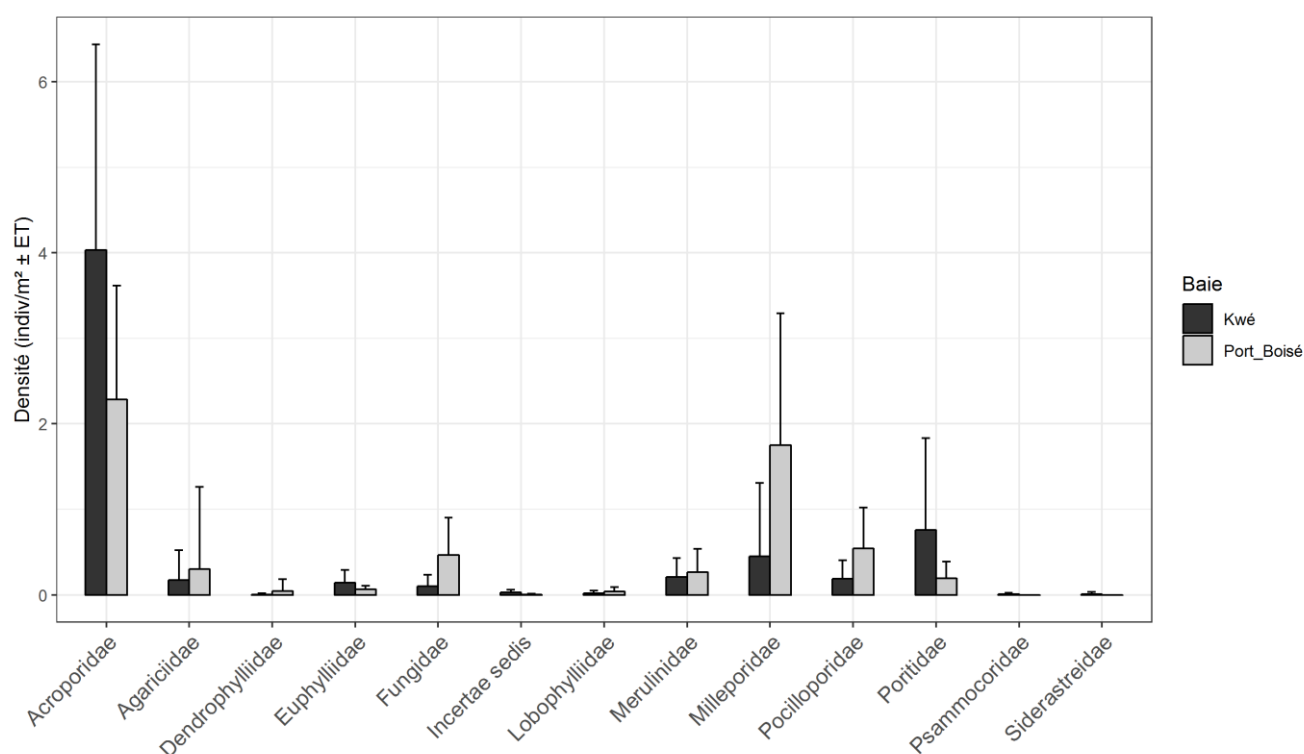


Figure 13 : Densité moyenne de colonies coralliennes par famille (indiv/m<sup>2</sup> ± ET) par baie en 2019

**Tableau 9 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Baie) pour chaque famille de coraux sur les données de densité transformées (racine carrée) en 2019 (NS : Non significatif ; \* :  $p < 0,05$  ; \*\* :  $p < 0,001$  ; \*\*\* :  $p < 0,0001$ )**

	Facteur Baie	Post hoc
Acroporidae	* $p < 0,05$	Kwé>Port-Boisé
Agariciidae	NS	
Dendrophylliidae	NS	
Euphylliidae	NS	
Fungidae	** $p < 0,001$	Port-Boisé>Kwé
Incertae sedis	* $p < 0,05$	Kwé>Port-Boisé
Lobophylliidae	NS	
Merulinidae	NS	
Milleporidae	** $p < 0,01$	Port-Boisé>Kwé
Pocilloporidae	* $p < 0,01$	Port-Boisé>Kwé
Poritidae	NS	
Psammocoridae	NS	
Siderastreidae	NS	

Ainsi, les deux baies présentent des caractéristiques différentes en termes de communautés coralliennes, avec certaines familles mieux représentées que d'autres dans une des baies.

En termes d'état de santé de ces colonies, aucune maladie corallienne observée communément dans l'Indo-Pacifique n'a été relevée dans les transects couloirs à l'exception de malformations coralliennes dont la prévalence reste faible dans chaque baie ( $< 0,2\%$  dans chaque baie) (Figure 14). Une maladie de la bande noire a toutefois été observée hors transect sur une colonie de *Montipora* sur ST34.

**Tableau 10 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Baie) sur la prévalence de lésions (données transformées : racine carrée) en 2019 (NS : Non significatif ; \* :  $p < 0,05$  ; \*\* :  $p < 0,001$  ; \*\*\* :  $p < 0,0001$ )**

	Facteur Baie	Post hoc
Blanchi.tot	*** $p < 0,001$	Port Boisé> Kwé
Blanchi.part	NS	
Pigm	NS	
Malfor	NS	
Pred	NS	
Sed.compet	NS	

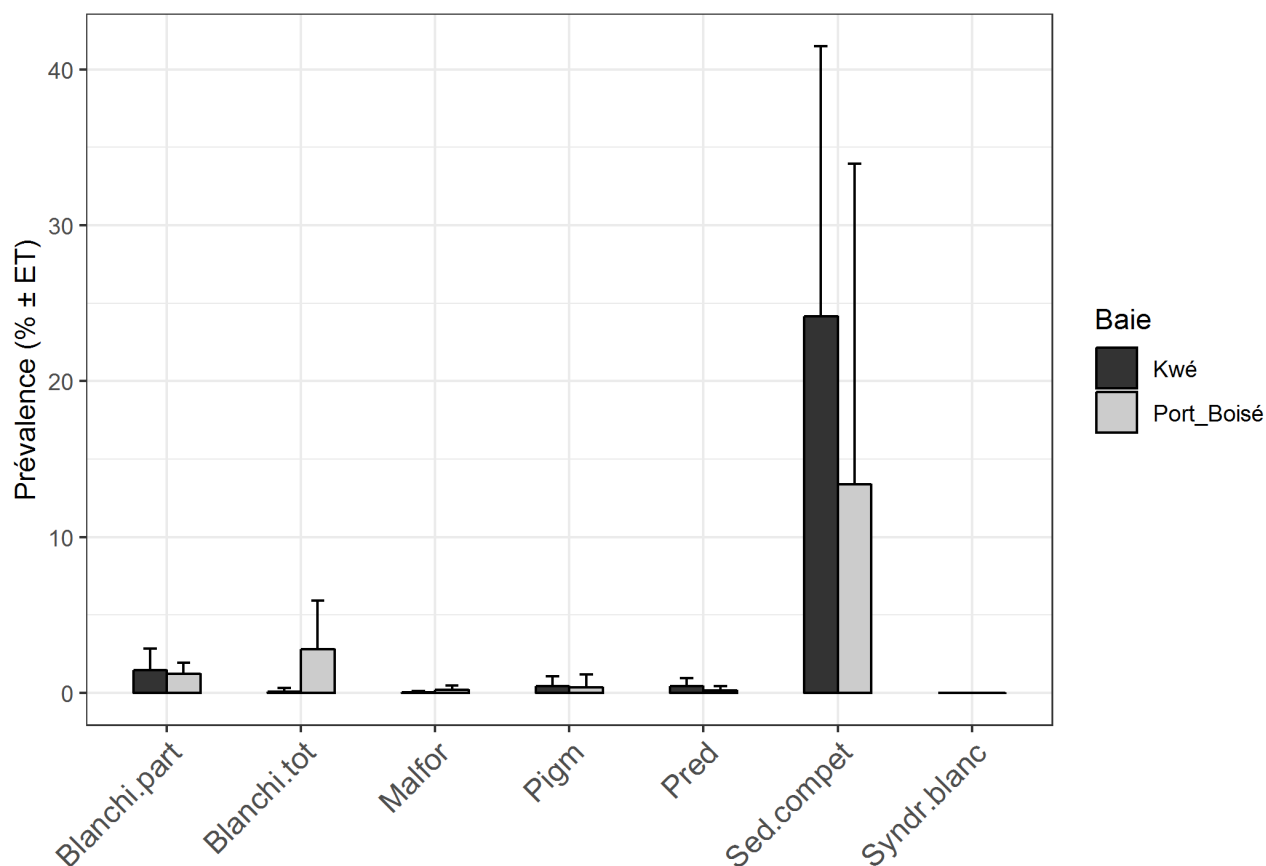
Les lésions de sédimentation sont les plus fréquentes dans chaque baie et elles sont presque 2 fois plus fréquentes en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé, bien que cet écart ne soit pas significatif (Figure 14 et Tableau 10). Ainsi, malgré une forte variabilité de la prévalence de ce type de lésions au sein d'une même baie (écart-types élevés), cette tendance semble indiquer une plus forte pression sédimentaire en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé.

Aucun phénomène de blanchissement massif d'origine thermique des coraux n'a été observé en 2019, l'échantillonnage étant été réalisé hors saison chaude. Bien qu'elle soit faible, la proportion de colonies totalement blanchies est supérieure en baie de Port Boisé qu'en baie Kwé ( $2,8 \pm 3,1\%$  et  $0,1 \pm 0,2\%$  respectivement) et cette différence est significative (Tableau 10). La prévalence de colonies



partiellement blanchies est également faible et similaire dans les deux baies ( $1,4 \pm 1,4\%$  en baie Kwé et  $1,2 \pm 0,7\%$  en baie de Port Boisé).

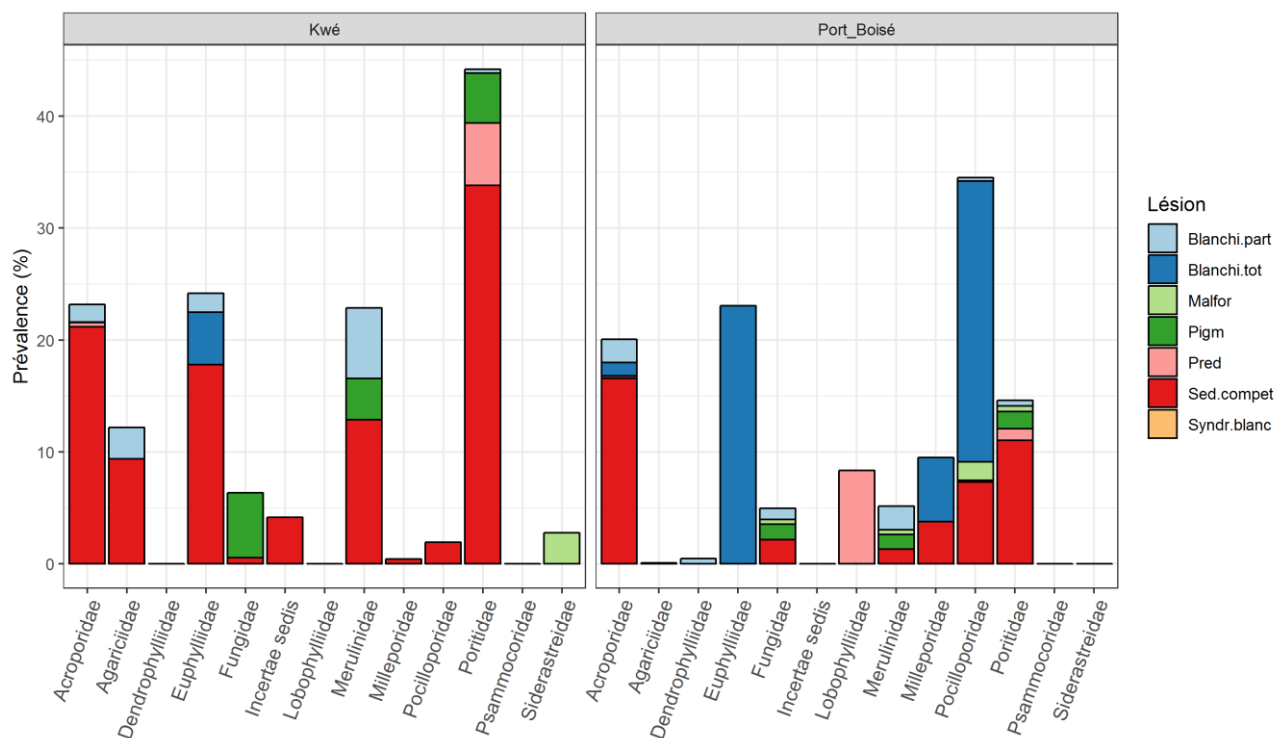
Les autres types de lésions (pigmentation, prédation) ont été peu observés dans les deux baies (Figure 14).



**Figure 14 : Prévalence moyenne de lésions (% ± ET) sur les coraux scléactiniaires et Millepora par baie en 2019. Blanchi.part : Blanchissement partiel de la colonie, Blanchi.tot : Blanchissement total de la colonie, Malfor : Malformation corallienne, Pigm : Pigmentation, Pred : Prédation, Sed.compet : lésions de sédimentation/compétition avec algues, Syndr.blanc : Syndrôme blanc**

L'examen des prévalences de lésions par famille corallienne et par baie (Figure 15) montre que :

- Le blanchissement total, plus fréquent en baie de Port Boisé, atteint majoritairement les Euphyllidae et Pocilloporidae (genres *Seriatopora* et *Stylophora*).
- Les lésions de sédimentation/compétition, plus fréquentes en baie Kwé, atteignent globalement chaque famille mais majoritairement les Poritidae et Acroporidae.



**Figure 15 : Prévalence moyenne de lésions coralliennes (%) par famille et par baie en 2019. Blanchi.part : Blanchissement partiel de la colonie, Blanchi.tot : Blanchissement total de la colonie, Malfor : Malformation corallienne, Pigm : Pigmentation, Pred : Predation, Sed.compet : lésions de sédimentation/compétition avec algues, Syndr.blanc : Syndrome blanc**

Des photographies des lésions fréquemment rencontrées en Nouvelle-Calédonie sont présentées sur la Figure 16.

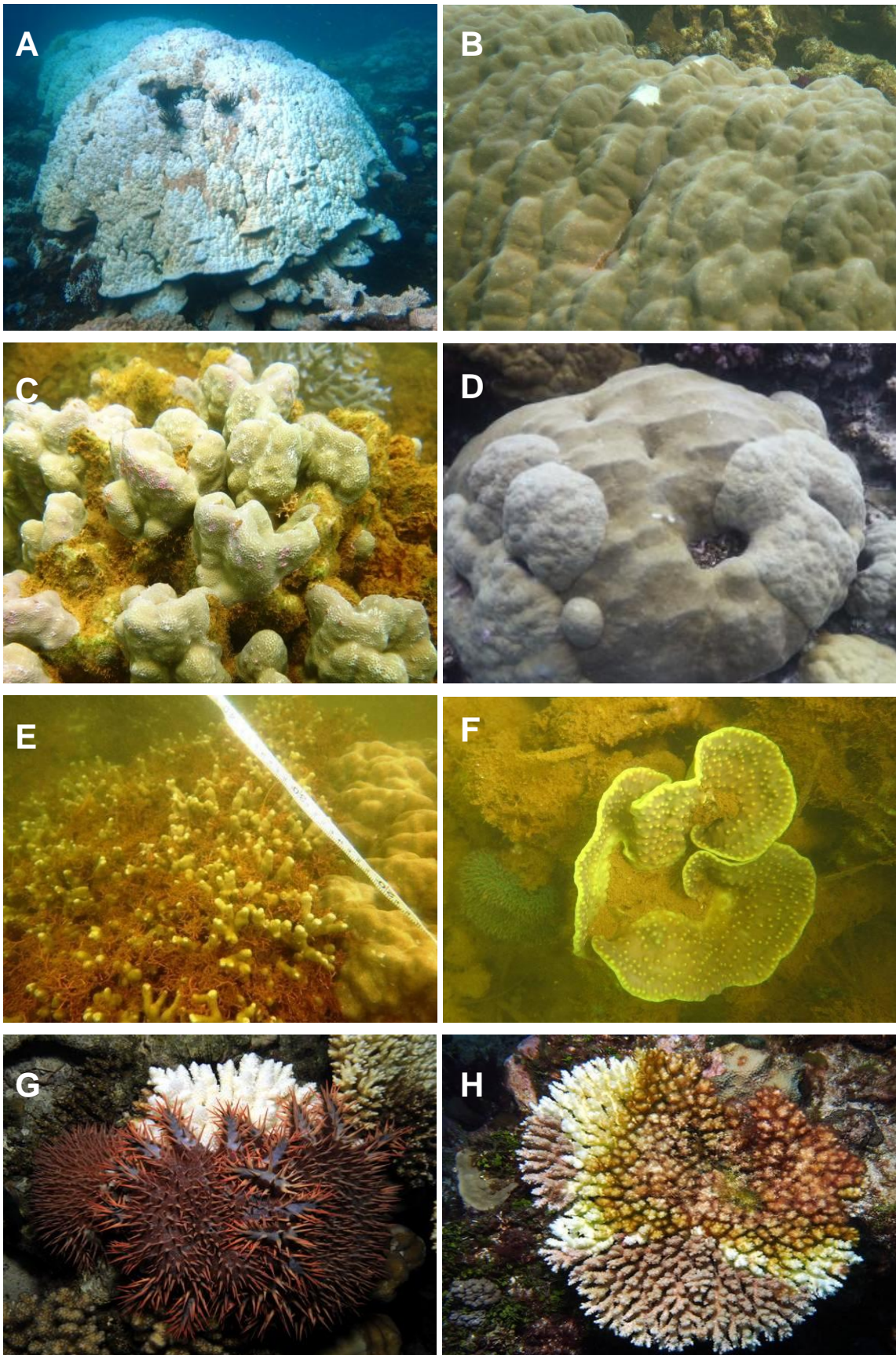


Figure 16 : illustration des lésions coralliennes fréquemment rencontrées : A : *Porites* sp. totalement blanchi, B : Blanchissement partiel sur *Porites* sp., C : Pigmentation rose sur *Porites* sp., D : Malformation sur *Porites* sp., E : Compétition entre *Porites* sp. et des algues, F : sédimentation sur *Turbinaria* sp., G : Prédation d'*Acanthaster* sur *Acropora* sp., H : Syndrome blanc sur *Acropora* sp.

## I.2. PRESSION SEDIMENTAIRE

Dans cette étude, la pression sédimentaire peut être indirectement évaluée à travers la couverture de vase obtenue par le LIT et la prévalence de lésions coralliennes liées à la sédimentation.

L'analyse de la couverture de vase en 2019 montre que ce type de substrat est uniquement observé en fond de baie, à une couverture supérieure en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé (9,4% comparé à 1% respectivement) (Figure 17).

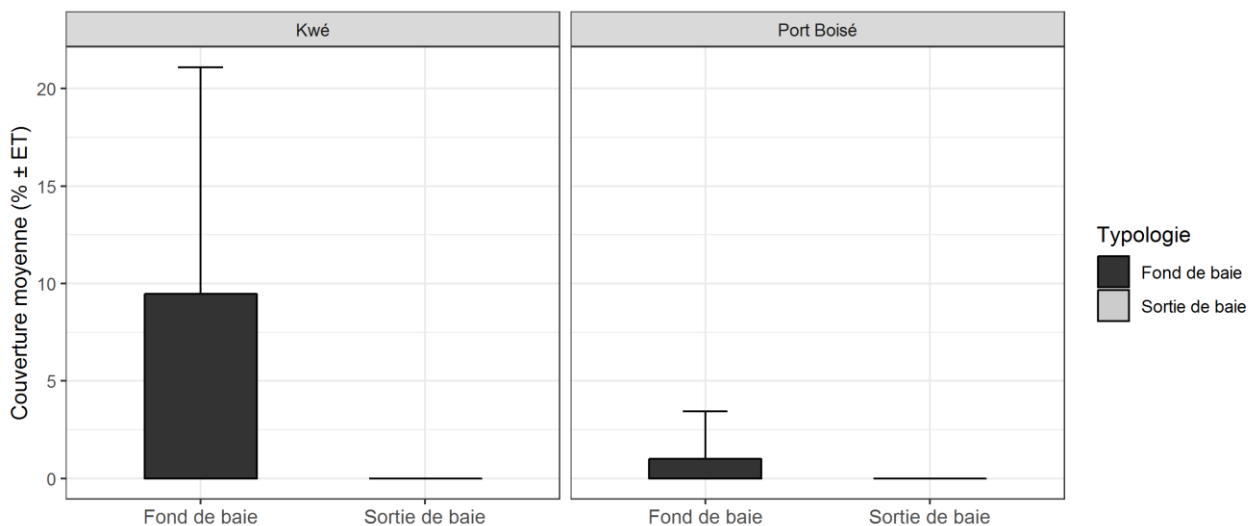


Figure 17 : Couverture de vase (%) par station et typologie en 2019

Concernant les lésions coralliennes liées à la sédimentation, elles sont deux fois plus fréquentes en fond de baie Kwé qu'en fond de baie de Port Boisé (prévalence moyenne de 39,8% et 20,8% respectivement)(Figure 18 et Figure 19). Ce constat est également observé en sortie de baie dans une moindre mesure avec une prévalence de lésions sédimentaires supérieure en baie Kwé que Port Boisé (8,4% comparé à 5,9% respectivement).

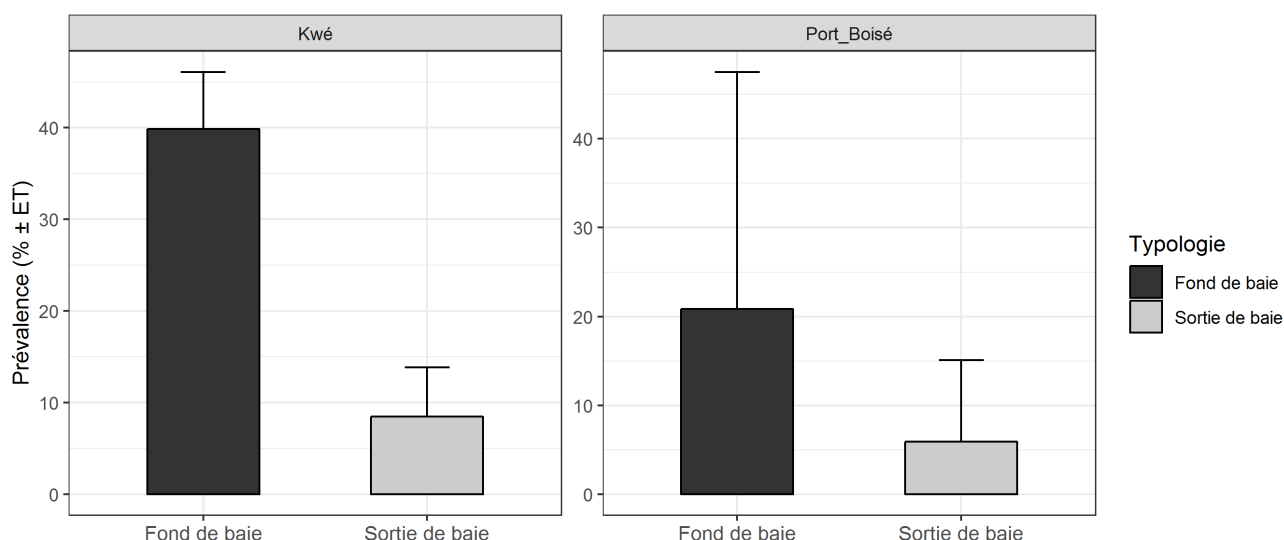
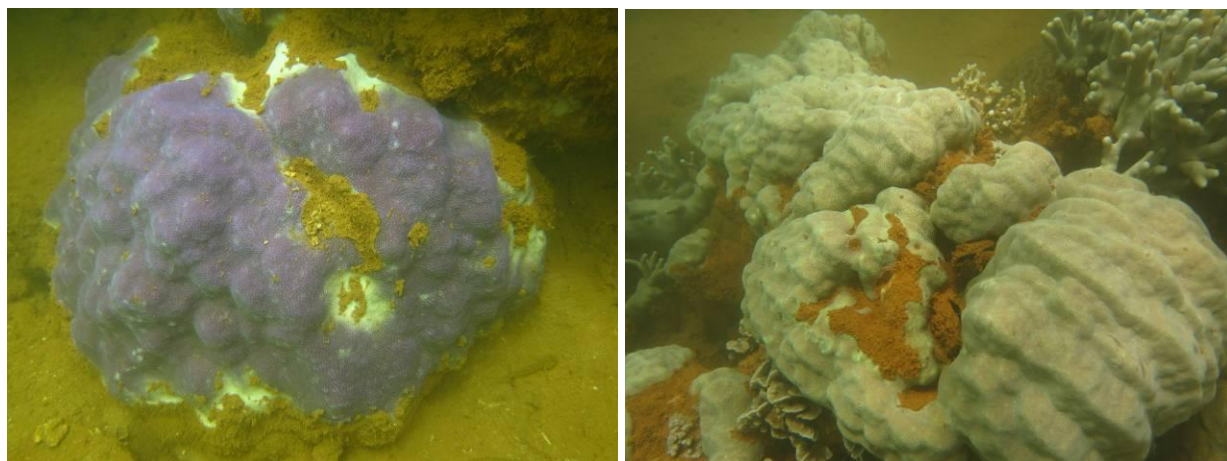


Figure 18 : Prévalence de lésions coralliennes liées à la sédimentation (% ± ET) par typologie en 2019



**Figure 19 : Photographies de colonies coralliennes (*Porites* sp.) impactées par des lésions de sédimentation sur ST31 en fond de baie Kwé**

L'analyse combinée de ces deux variables semble indiquer une pression sédimentaire d'origine terrigène plus importante en baie Kwé, principalement en fond de baie. Si l'origine précise de cette pression ne peut être déterminée, elle est liée au lessivage naturel des bassins versants renforcé potentiellement par les incendies et/ou l'activité minière. La pression sédimentaire peut également provenir de phénomènes de remise en suspension des particules liée aux conditions hydrodynamiques qui diffèrent entre les deux baies. En effet, si les deux baies présentent globalement la même taille, les forçages indiquent que l'hydrodynamisme en baie Kwé est principalement défini par les changements météorologiques (vent, fluctuations d'arrivées d'eau douce) alors qu'il est principalement défini par les courants de marée en baie de Port Boisé (Drouzy et al. 2019). Ces différences de conditions hydrodynamiques influencent donc le potentiel de dépôt sédimentaire et de remise en suspension de particules.

L'étude de la quantité de flux sédimentaires, par l'utilisation de pièges séquentiels dans chacune des baies, complétée par l'analyse de la composition des particules récoltées permettrait de préciser et compléter ces investigations.

---

### **1.3. COMPARAISON À DES RÉCIFS PROCHES (RORC)**

---

Afin de mener une analyse comparative avec d'autres récifs suivis à proximité de la zone d'étude, il a été fait appel aux données du RORC (Réseau d'Observation des Récifs Coralliens) de Nouvelle-Calédonie, pour la campagne de suivi 2018-2019, avec l'accord de leurs propriétaires (sites de Yaté et de l'île Ouen : Comité Consultatif Coutumier Environnemental CCCE et Observatoire de l'Environnement OEIL ; site de Prony : province Sud *via* le Conservatoire d'espaces naturels). Afin de permettre une comparaison entre les données de cette étude et celles des sites suivis par le RORC, le corail de feu (*Millepora*) a été inclus dans les coraux vivants.

Les couvertures coralliennes totales et par forme, sur chaque station du RORC et à Port Boisé et baie Kwé en 2019 sont présentées sur la Figure 20.

Les couvertures coralliennes, particulièrement variables selon les stations, oscillent entre 15% et 60% environ. Globalement, les stations de Port Boisé présentent les couvertures les plus faibles du jeu de stations mais celles-ci restent toutefois proches de 20% à minima. Les couvertures de coraux branchus et les autres formes dominent globalement chaque station. (Figure 20).

En termes d'évolution du substrat depuis 2011, le RORC (Job, 2019 ; 2020) a observé une certaine stabilité ou une augmentation de la couverture corallienne sur les 7 stations utilisées pour la comparaison. Ces résultats confirment la tendance observée en baie Kwé et Port Boisé avec une augmentation de la couverture corallienne entre 2014 et 2019 (cf 1.4).

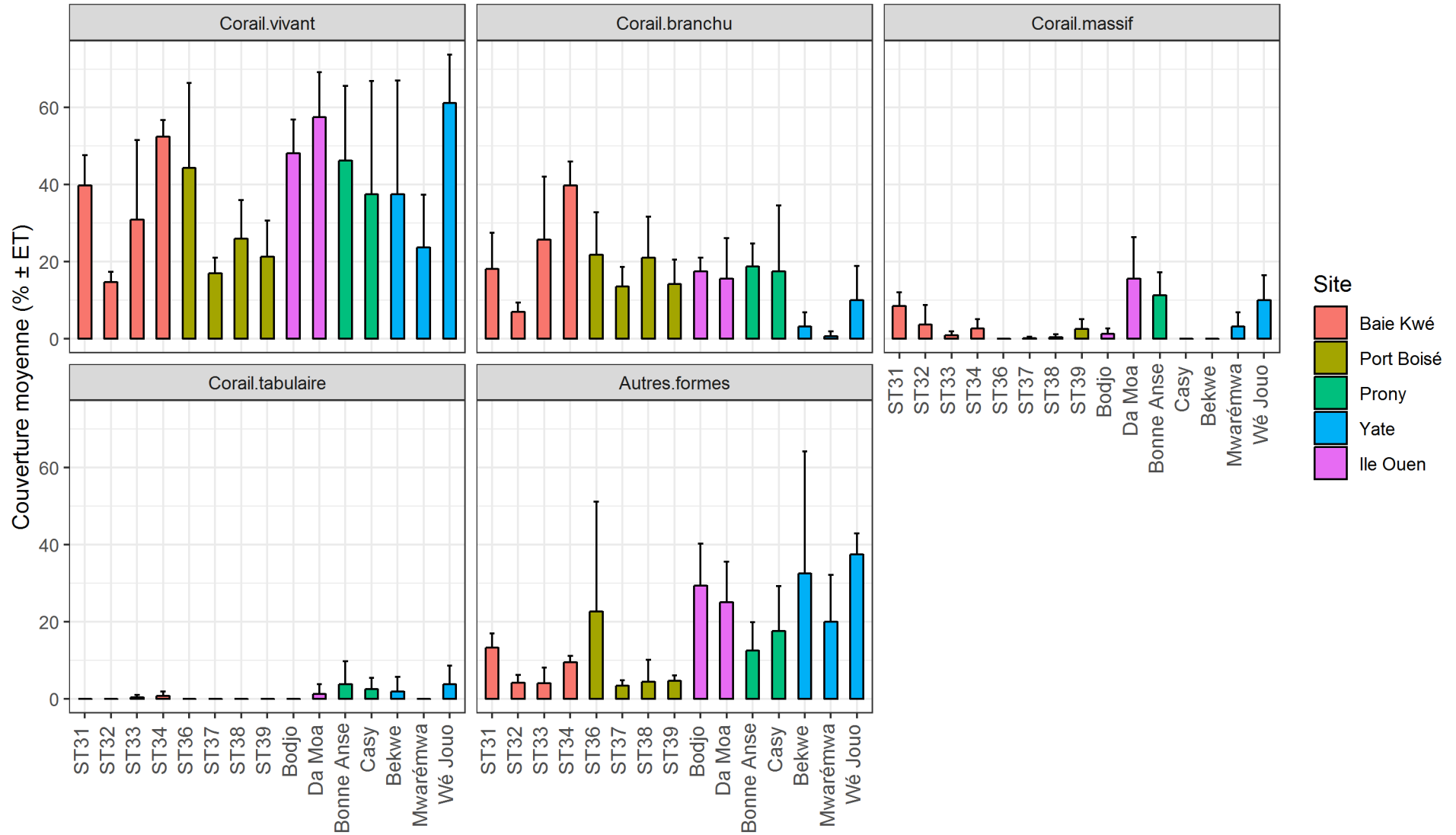


Figure 20 : Couverture corallienne moyenne totale et par forme (en %), pour les stations du RORC (campagne 2018-2019) et en baies Kwé et de Port Boisé (2019)

## I.4. EVOLUTION ENTRE 2011, 2013, 2014 ET 2019

### I.4.1. Substrats coralliens

Parmi les substrats coralliens, les résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne et Baie) entre 2011 et 2019 montrent l'absence de signal d'impact (interaction Campagne  $\times$  Baie non significative) pour chacun des substrats à l'exception des coraux digités (Tableau 11). Pour cette dernière catégorie, la couverture reste cependant faible chaque année dans chaque zone (<3%) et le signal observé correspond à une augmentation de couverture en 2019 en baie Kwé, comparée à une stagnation en baie de Port Boisé.

Les coraux totaux montrent une évolution similaire dans chaque baie chaque année avec notamment une forte croissance corallienne entre 2014 et 2019 (Figure 23). On observe toutefois une forte hétérogénéité (écart-type élevé) au sein de chaque baie et particulièrement en 2019, liée à une variabilité inter-station élevée (ANNEXE III).

La différenciation des coraux Acroporidae et Non-Acroporidae, montre l'absence de signal d'impact pour ces deux catégories (Tableau 11 et Figure 24). Une tendance à la hausse est observée sur la couverture de coraux Acroporidae et non-Acroporidae dans chaque baie entre 2014 et 2019 hormis en baie Kwé pour les Non-Acroporidae. Les écarts types élevés pour la couverture d'Acroporidae en baie Kwé et celle de non-Acroporidae en baie de Port Boisé en 2019, traduit une forte variabilité de ces couvertures entre les stations au sein de chaque baie (Figure 24). L'examen des évolutions de ces couvertures par station (ANNEXE III) montre en effet que l'augmentation de couverture d'Acroporidae observée en baie Kwé est liée aux deux stations de sortie de baie (ST33 et ST34, illustration en Figure 21). L'augmentation de couverture de non-Acroporidae en baie de Port Boisé est liée principalement à la station ST36 située en sortie de baie.



**Figure 21 : Evolution du substrat entre 2014 (gauche) et 2019 (droite) sur le transect T01 de ST34 (sortie gauche de baie Kwé)**

Parmi les différentes formes coralliennes observées, l'augmentation de couverture corallienne observée dans les deux baies montre que (Figure 25) :

- L'augmentation de couverture observée en baie Kwé est principalement liée aux coraux branchus, et aux digités et encroûtants dans une moindre mesure ;
- L'augmentation de couverture observée en baie de Port Boisé est principalement liée aux coraux sub-massifs.

Les coraux morts récemment montrent une évolution similaire dans chaque baie (facteur Campagne significatif) avec une forte diminution en 2019 pour être proche de 0% confirmant l'absence de perturbation récente dans la zone. La couverture de coraux mous est restée faible dans chaque baie et à chaque campagne depuis 2013 (couverture proche ou inférieure à 5%).

Parmi les autres types de substrats, la couverture de cyanobactéries qui était nulle en 2011, 2013 et 2014, a augmenté significativement dans les deux baies pour atteindre 4% environ respectivement. Cette augmentation est liée à la station ST32 en baie Kwé et à la station ST38 pour la baie de Port Boisé, dont les couvertures respectives sont d'environ 15% en 2019 (ANNEXE III, illustré en Figure 22).



**Figure 22 : Présence de cyanobactéries en compétition avec les coraux sur ST38 en baie de Port Boisé (gauche) et sur ST32 (droite) en baie Kwé**

Les autres substrats ne montrent pas d'évolution particulière ou leurs couvertures restent relativement faibles.

**Tableau 11 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs (Campagne et Baie) sur les données de couvertures de substrat transformées (racine carrée).**

	Campagne	post hoc	Baie	post hoc	Campagne×Baie	post hoc
Abiotique	NS		NS		NS	
Algues	NS		NS		NS	
Algues calcaires	NS		NS		NS	
Autre faune	NS		*	Port Boisé>Kwé	NS	
Corail millepora	NS		**	Port Boisé>Kwé	NS	
Corail mort récemment	***	2013>2011, 2019. 2014>2019	NS		NS	
Coraline	**	2013>2011, 2014, 2019	NS		NS	
Coraux mous	NS		**	Port Boisé>Kwé	NS	
Cyanobactéries	*	2019>2011,2013,2014	NS		NS	
Coraux totaux	NS		NS		NS	
Acroporidae	*	2019>2013	NS		NS	
Coraux non-Acroporidae	NS		NS		NS	
Corail branchu	NS		NS		NS	
Corail digité	NS		NS		*	stagnation à Port Boisé/Augmentation à Kwé
Corail encroûtant	NS		NS		NS	
Corail foliaire	NS		NS		NS	
Corail massif	NS		***	Kwé>Port Boisé	NS	
Corail solitaire	NS		*	Port Boisé>Kwé	NS	
Corail sub-massif	NS		NS		NS	
Corail tabulaire	NS		NS		NS	



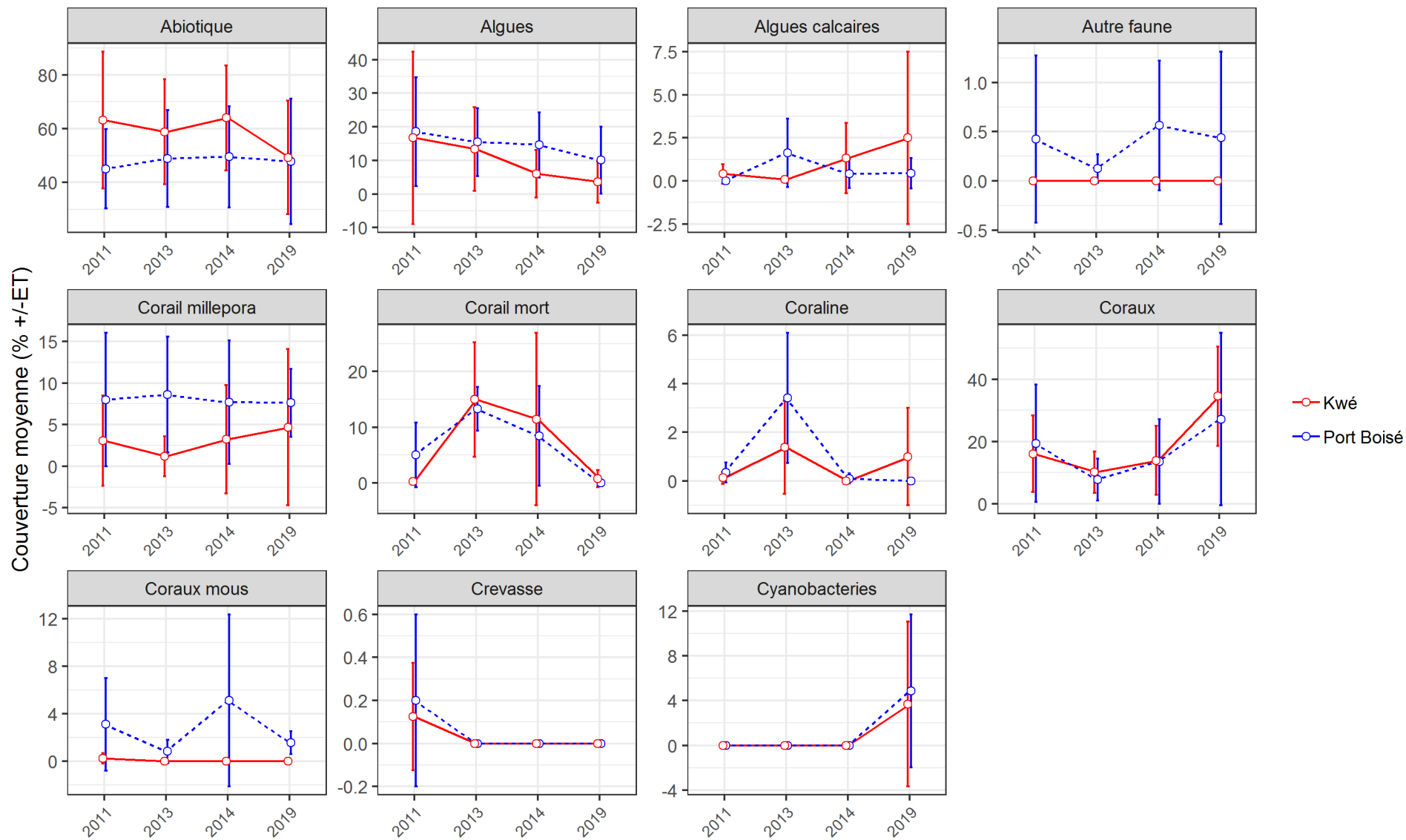
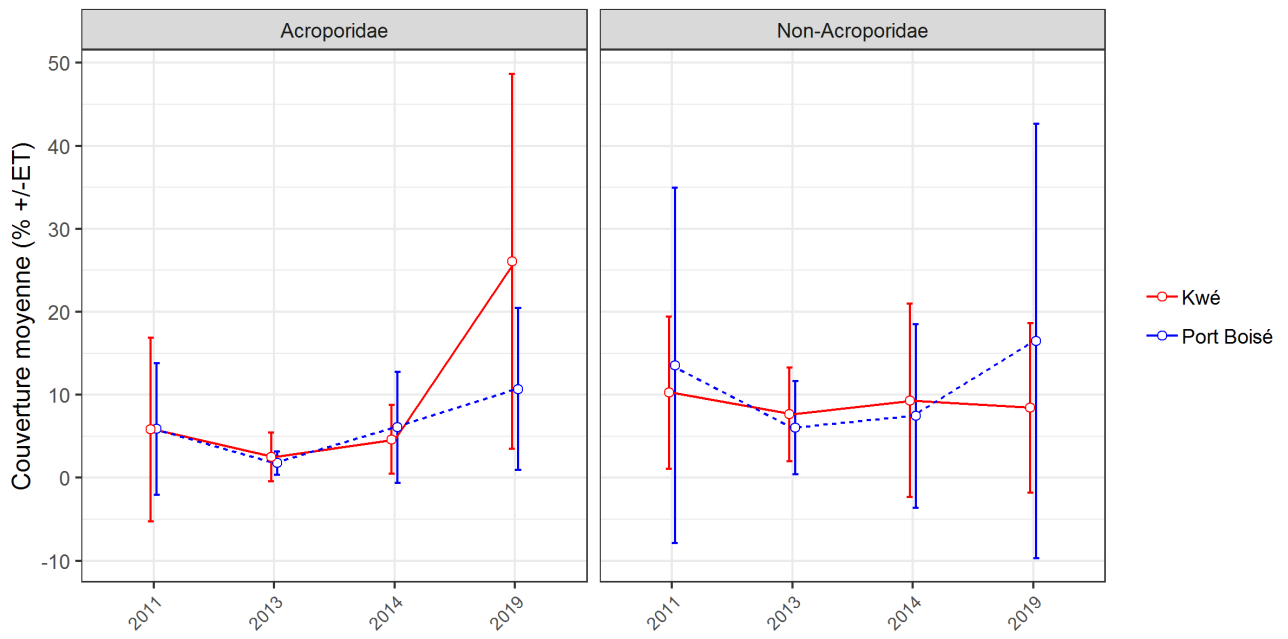


Figure 23 : Evolution de la couverture moyenne des différents substrats (% ± ET) par baie (Kwé et Port Boisé) et par année. L'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'améliorer la visibilité



**Figure 24 : Evolution de la couverture moyenne des coraux Acroporidae et Non-Acroporidae (% ± ET) par baie (Kwé et Port Boisé) et par année**

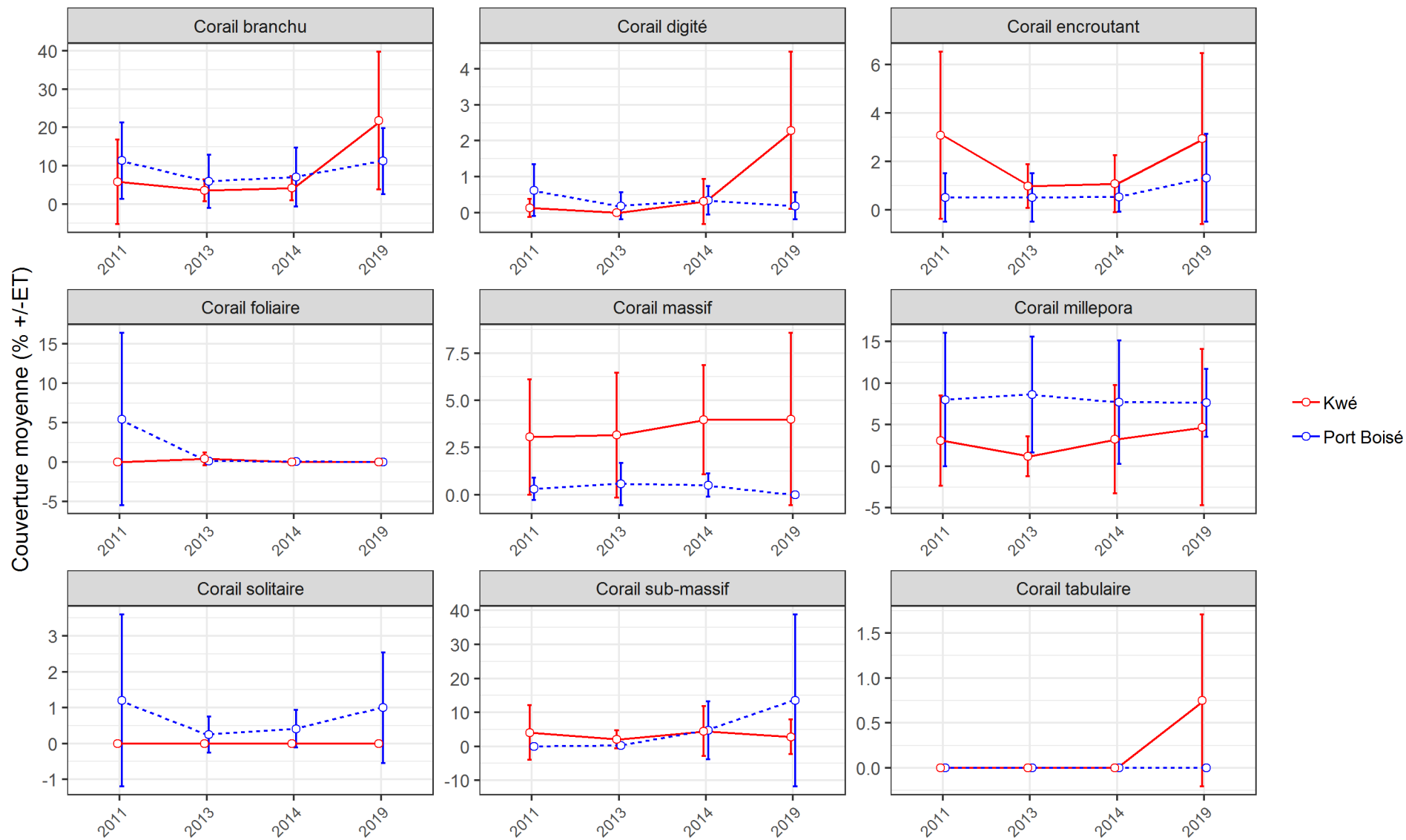


Figure 25 : Evolution de la couverture moyenne par type de forme corallienne (% ± ET) par baie (Kwé et Port Boisé) et par année. L'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'améliorer la visibilité

## II. PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES

---

---

### II.1. ETAT DES LIEUX EN 2019

---

#### II.1.1. Caractéristiques générales à l'échelle de la zone d'étude

Sur l'ensemble de la zone d'étude, un total de 141 espèces correspondant à 78 genres et 30 familles de poissons a été recensé lors de la campagne 2019.

La densité moyenne observée est de 3,52 individus/m<sup>2</sup>, avec une densité maximum de 6,85 individus/m<sup>2</sup> atteinte sur la station ST31. La biomasse moyenne observée est de 44 g/m<sup>2</sup>, avec une biomasse maximale de 125,1 g/m<sup>2</sup> sur la station ST37. La richesse spécifique moyenne observée est de 47,4 espèces, avec une richesse maximale de 56 espèces sur la station ST34.

L'intégralité des valeurs calculées pour chaque paramètre ichtyologique sur chaque station est fournie en ANNEXE V.

#### II.1.2. Caractéristiques des peuplements dans chaque baie et comparaisons spatiales

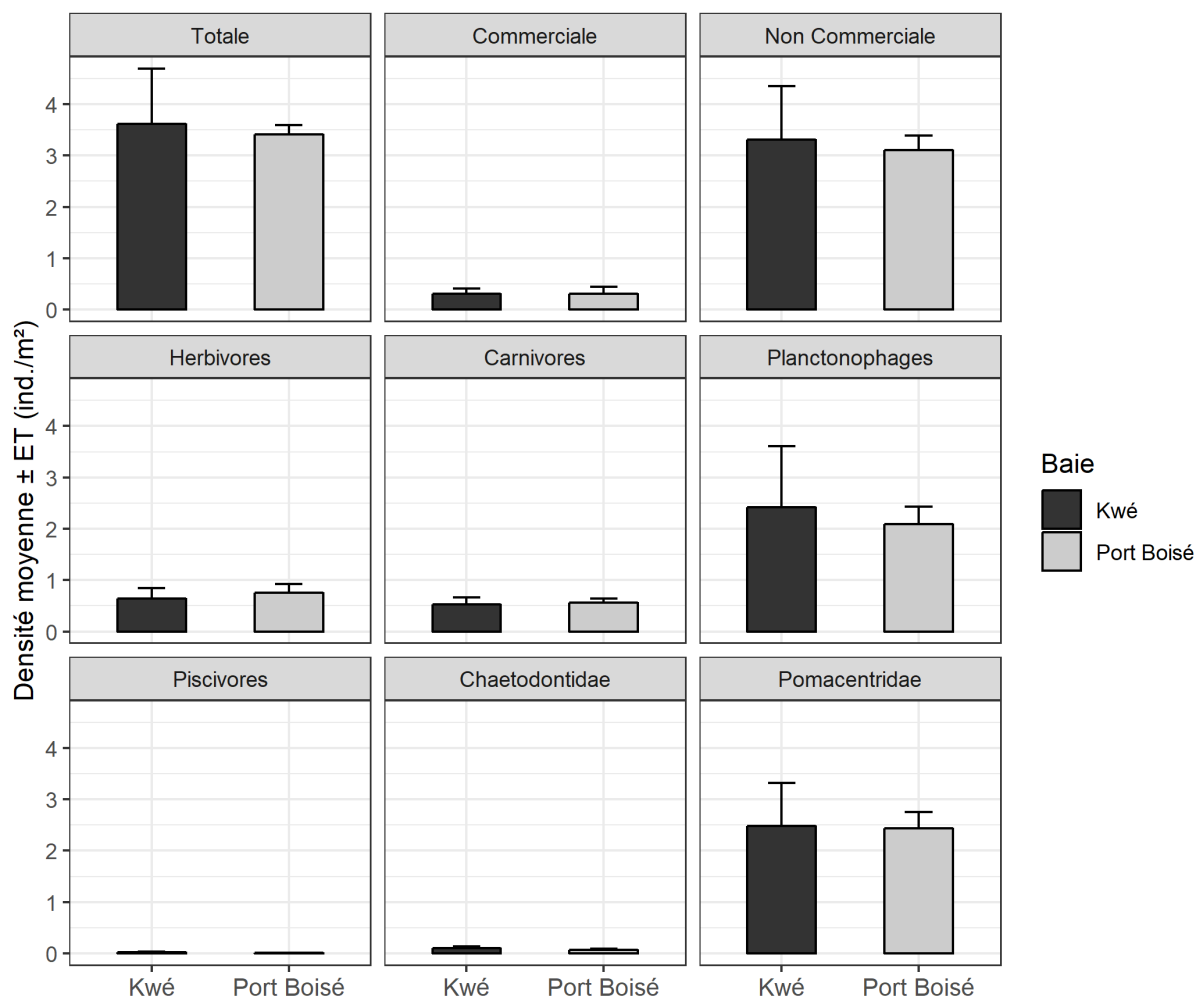
Le Tableau 12 présente les niveaux moyens de densité, biomasse et richesse spécifique au sein des deux baies.

La Figure 26, la Figure 27 et la Figure 28 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 baies et la dispersion associée (écart-types).

Le Tableau 13 présente les résultats statistiques de la comparaison des paramètres d'ichtyofaune entre les deux baies.

**Tableau 12 : Niveaux moyens de densité, de biomasse et de richesse spécifique observés en 2019 dans chacune des deux baies. Les écart-types pour les moyennes sont fournis entre parenthèses.**

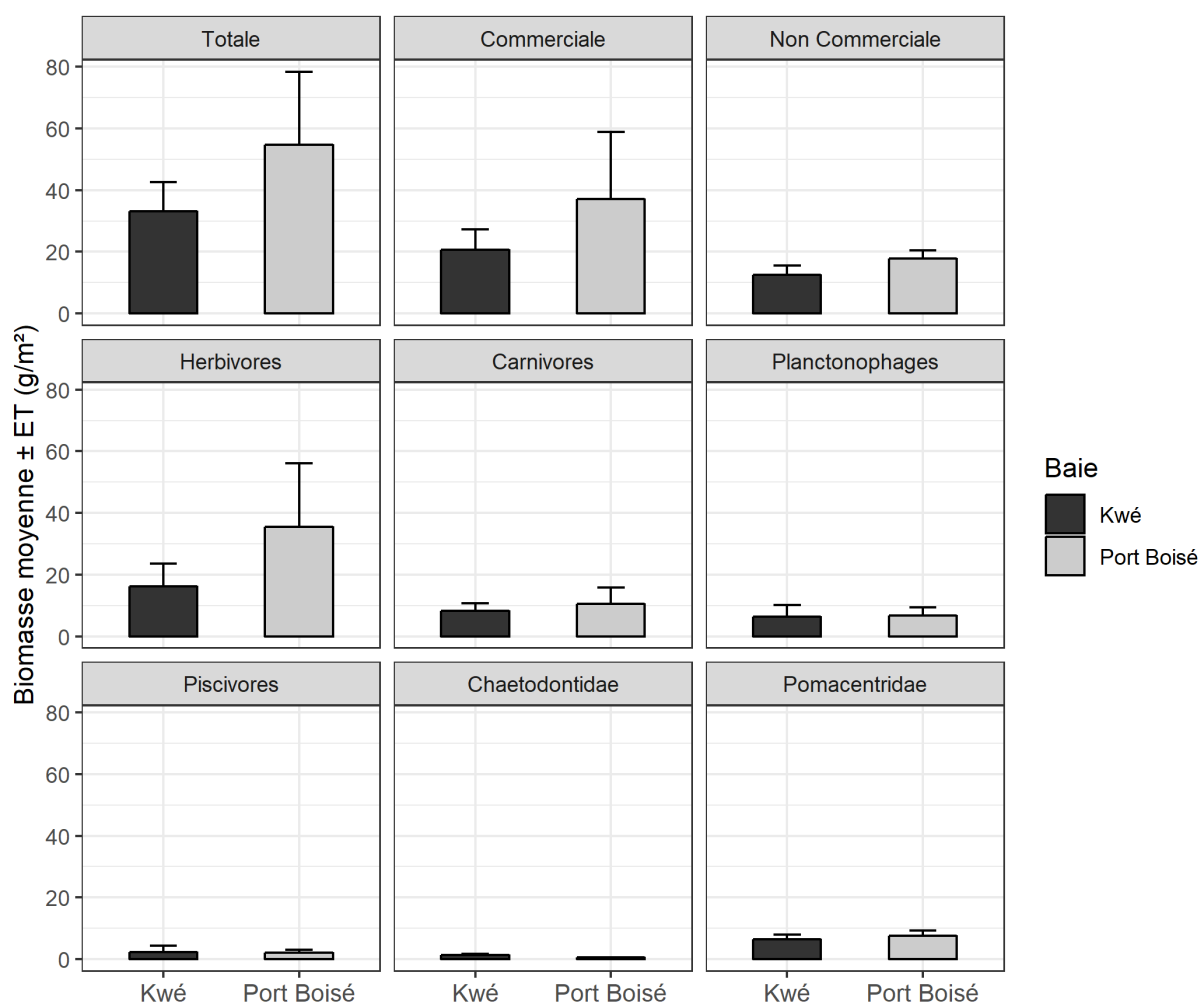
		Baie Kwé	Port Boisé
<b>Densité (ind./m<sup>2</sup>)</b>	Toutes espèces	3,6 (±1,1)	3,4 (±0,2)
	Commerciaux	0,3 (±0,1)	0,3 (±0,1)
	Non-commerciaux	3,3 (±1)	3,1 (±0,3)
	Herbivores	0,6 (±0,2)	0,8 (±0,2)
	Carnivores	0,5 (±0,1)	0,6 (±0,1)
	Planctonophages	2,4 (±1,2)	2,1 (±0,3)
	Piscivores	0 (±0)	0 (±0)
	Chaetodontidae	0,1 (±0)	0,1 (±0)
	Pomacentridae	2,5 (±0,8)	2,4 (±0,3)
	<b>Biomasse (g/m<sup>2</sup>)</b>	Toutes espèces	33,2 (±9,3)
Commerciaux		20,6 (±6,7)	37,1 (±21,9)
Non-commerciaux		12,6 (±7,4)	17,7 (±20,6)
Herbivores		16,1 (±2,3)	35,5 (±5,3)
Carnivores		8,3 (±3,8)	10,6 (±2,6)
Planctonophages		6,4 (±2)	6,7 (±1,1)
Piscivores		2,3 (±3)	2 (±2,7)
Chaetodontidae		1,2 (±0,4)	0,5 (±0,1)
Pomacentridae		6,4 (±1,6)	7,5 (±1,8)
<b>Richesse spécifique</b>		Toutes espèces	47,3 (±5,7)
	Commerciaux	9,5 (±2,2)	12,5 (±2,3)
	Non-commerciaux	37,8 (±3,6)	35 (±1,9)
	Herbivores	12,3 (±2,7)	16,5 (±1,7)
	Carnivores	22,5 (±4,6)	21,3 (±2,2)
	Planctonophages	9,8 (±1,8)	8,5 (±1,7)
	Piscivores	2,8 (±0,9)	1,3 (±0,5)
	Chaetodontidae	3,8 (±0,8)	3,3 (±0,8)
	Pomacentridae	11,3 (±0,8)	11,3 (±1,8)



**Figure 26 : Densité détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux baies en 2019. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type. BK : Baie Kwé ; PB : Port Boisé.**

La densité totale est d'un niveau très semblable entre les deux baies, malgré une variabilité inter-stations légèrement plus marquée en baie Kwé (plus forte dispersion des données autour de la moyenne). Par ailleurs, la structure en densité de l'ichtyofaune (déclinaison selon le potentiel commercial, les groupes trophiques, et les deux familles indicatrices) apparaît remarquablement similaire entre les deux baies. Ceci est visible graphiquement et confirmé par les résultats statistiques, pour lesquels aucun paramètre de densité ne présente de différence significative entre baies.

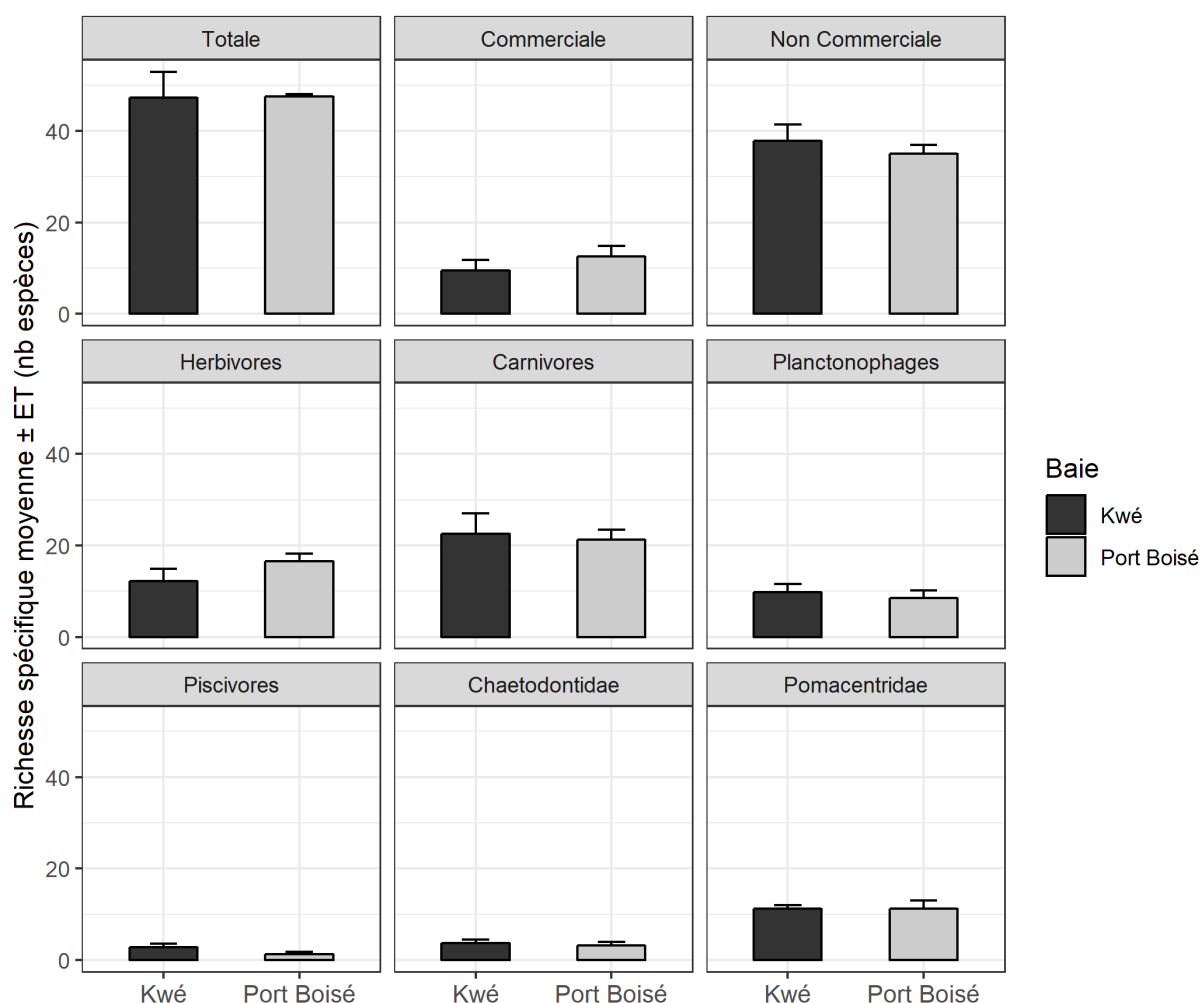
Cette structure en densité est caractérisée avec une très forte dominance des Pomacentridae, et consécutivement des planctonophages et des espèces non-commerciales, et une contribution quasi-nulle des espèces commerciales. Les piscivores sont quasi-absents, et les carnivores et herbivores présents en proportions similaires mais largement inférieurs aux planctonophages. Cette structuration de la densité de l'ichtyofaune est caractéristique de récifs frangeants abrités sous influence terrigène (Kulbicki 2006) et ne présente pas d'anomalie structurelle notable en 2019.



**Figure 27 : Biomasse détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux baies en 2019. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type. BK : Baie Kwé ; PB : Port Boisé.**

La biomasse totale apparaît légèrement supérieure en baie de Port Boisé, sans toutefois que cette différence ne soit significative statistiquement (notamment en lien avec une variabilité inter-station relativement importante dans cette baie). Ce niveau de biomasse totale est relativement faible dans l'absolu mais caractéristique de ce type de récif frangeant abrité et probablement soumis à une pression de pêche non-négligeable étant donné sa proximité à des zones habitées et sa facilité d'accès.

De même que pour la densité, la déclinaison détaillée de la biomasse suit une structure très proche entre les deux baies. Cette structure est caractérisée par une dominance des espèces commerciales, comme cela est classiquement le cas pour la biomasse (reliée à la taille des individus observés), et notamment des herbivores (en particulier en baie de Port Boisé). La biomasse accrue en herbivores dans cette baie explique quasi-exclusivement la légère différence de biomasse observée entre les deux baies, l'ensemble des autres paramètres de biomasse présentant des niveaux similaires entre baies. Ceci est confirmé par les résultats statistiques, qui ne font apparaître aucune différence significative de biomasse entre les deux baies.



**Figure 28 : Richesse spécifique détaillée de l'ichtyofaune dans chacune des deux baies en 2019. Les barres d'erreur correspondent aux écart-type. BK : Baie Kwé ; PB : Port Boisé.**

La richesse spécifique totale est d'un niveau très semblable entre les deux baies (malgré une variabilité spatiale légèrement plus marquée au sein de la baie Kwé) et correspond à un niveau de diversité relativement élevé pour ce type de biotope (Kulbicki 2006). La structure en richesse spécifique apparaît là encore très similaire entre les deux baies, avec toutefois une diversité légèrement plus marquée des herbivores et de la fraction commerciale des peuplements en baie de Port Boisé. En cohérence avec les niveaux observés, aucune différence significative entre baies n'a été détectée à l'issue des analyses statistiques.

Dans les deux baies, 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.



**Tableau 13 : Résultats détaillés des analyses testant la significativité des différences des paramètres ichtyologiques entre les deux baies. NS : non-significatif ; \* : significatif avec  $P < 0,05$  ; \*\* :  $P < 0,01$  ; \*\*\* :  $P < 0,001$ .**

		Significativité des variations entre baies	Détails (si différence significative)
<b>Densité (ind./m<sup>2</sup>)</b>	Toutes espèces	ns	-
	Commerciaux	ns	-
	Non-commerciaux	ns	-
	Herbivores	ns	-
	Carnivores	ns	-
	Planctonophages	ns	-
	Piscivores	ns	-
	Chaetodontidae Pomacentridae	ns ns	- -
<b>Biomasse (g/m<sup>2</sup>)</b>	Toutes espèces	ns	-
	Commerciaux	ns	-
	Non-commerciaux	ns	-
	Herbivores	ns	-
	Carnivores	ns	-
	Planctonophages	ns	-
	Piscivores	ns	-
	Chaetodontidae Pomacentridae	ns ns	- -
<b>Richesse spécifique</b>	Toutes espèces	ns	-
	Commerciaux	ns	-
	Non-commerciaux	ns	-
	Herbivores	ns	-
	Carnivores	ns	-
	Planctonophages	ns	-
	Piscivores	ns	-
	Chaetodontidae Pomacentridae	ns ns	- -

Les caractéristiques de l'ichtyofaune récifale observée dans les deux baies apparaissent remarquablement proches en 2019, tant en termes de niveaux absolus que de structuration selon les différents critères structurels considérés (potentiel commercial, groupes trophiques, deux familles indicatrices en milieu sous influence minière et/ou terrigène), et ce pour la quasi-totalité des paramètres considérés.

Les niveaux de densité, biomasse, et richesses spécifiques observés en 2019 et leur déclinaison fonctionnelle sont caractéristiques de ce type de récifs (frangeants abrités sous influence terrigène marquée et sous influence d'une population rurale diffuse) (Kulbicki 2006), ne montrent pas d'anomalie structurelle notable, et attestent de peuplements ichtyologiques sains dans ce contexte.

---

## II.2. EVOLUTION TEMPORELLE ENTRE 2011, 2013, 2014 ET 2019

---

La Figure 29, la Figure 30, et la Figure 31 présentent les variations temporelles historiques des paramètres de l'ichtyofaune (respectivement en densité, en biomasse, et en richesse spécifique) dans chacune des deux baies.

Le Tableau 14 présente les résultats des analyses statistiques sur les évolutions temporelles de l'ichtyofaune au sein de chacune des deux baies. Lorsqu'une variable présente une variation significative sur la période considérée, l'examen simultané du résultat statistique et de la représentation graphique de la variation permet d'en évaluer l'importance et de l'interpréter.

En raison de plusieurs facteurs détaillés dans la description des matériels et méthodes, les résultats portant spécifiquement sur les évolutions temporelles 2011-2019 doivent être considérés comme n'étant qu'indicatifs et sujets à des interprétations précautionneuses en raison de biais importants (reliés à la fois aux modalités de réalisation des précédentes campagnes et à l'amélioration de l'approche d'échantillonnage à partir de 2019).

### II.2.1. Densité

En baie Kwé, on constate une forte hétérogénéité des niveaux entre stations, résultant en une dispersion importante des données autour des moyennes (cette dispersion étant généralement minimale en 2019).

Deux variables présentent une évolution temporelle statistiquement significative sur les quatre campagnes disponibles : la densité des herbivores et la densité des carnivores. Ces deux variables présentent un profil de variation similaire, avec des valeurs hautes en 2011 diminuant sur la période 2013-2019. On retrouve ce même type de profil historique pour les Pomacentridae et, consécutivement, pour la densité totale et la densité non-commerciale (étant donné la très forte contribution de cette famille) sans toutefois que ces variations soient significatives statistiquement.

L'examen détaillé des données de comptage démontre que cette densité plus importante en 2011 est en partie due à l'observation de grands groupes des *Chromis viridis*, *Pomacentrus amboinensis*, et *Pomacentrus chrysurus* (ces deux dernières espèces étant notamment herbivores), possiblement reliée à des phénomènes de recrutement récent au moment des comptages. Ces observations ont essentiellement eu lieu sur la station ST33 (et dans une moindre mesure la station ST34) tirant donc vers le haut la moyenne à l'échelle de la baie Kwé et expliquant la forte dispersion des données de densité en 2011 dans cette baie.

Le profil observé sur ces différents paramètres de densité (Pomacentridae, et donc herbivores, non-commerciaux, et totaux) semble donc être partiellement dû à l'expression d'une fluctuation naturelle des peuplements locaux (recrutement). L'existence d'une diminution significative et similaire des carnivores pointe cependant vers une cause supplémentaire possiblement plus générale, qui pourrait être reliée à la légère baisse de recouvrement corallien vivant constatée par ailleurs entre 2011 et 2013.

En baie de Port Boisé, on retrouve un schéma très similaire, ressortant mieux statistiquement en raison d'une dispersion des données bien moindre qu'en baie Kwé. Quatre variables présentent une évolution temporelle statistiquement significative sur les quatre campagnes disponibles : la densité des Pomacentridae (présentant des niveaux supérieurs en 2011 par rapport aux années suivantes) et consécutivement, avec des profils identiques, la densité des herbivores, des non-commerciaux, et totale.

Là encore, l'examen des données de comptage montre que la diminution observée entre 2011 et 2013 peut être en partie attribuée à l'observation en 2011 de grands groupes de *Pomacentrus amboinensis*, et dans une moindre mesure de *Chromis viridis*, notamment sur les stations ST37 et ST36. La détermination des causes de cette diminution reste toutefois empreinte d'incertitude et il est probable que la diminution du recouvrement corallien vivant entre 2011 et 2013 ait pu également contribuer à la diminution de la densité des Pomacentridae en 2013 (cette famille étant fortement inféodée aux caractéristiques des habitats benthiques et en constituant un indicateur reconnu de perturbation). De même qu'en Baie Kwé, l'absence de diminution de la densité des Chaetodontidae, autre indicateur ichthyologique de perturbation des habitats, reste toutefois stable et suggère quoiqu'il en soit un impact modéré de l'évolution du recouvrement corallien sur l'ichtyofaune entre 2011 et 2013.

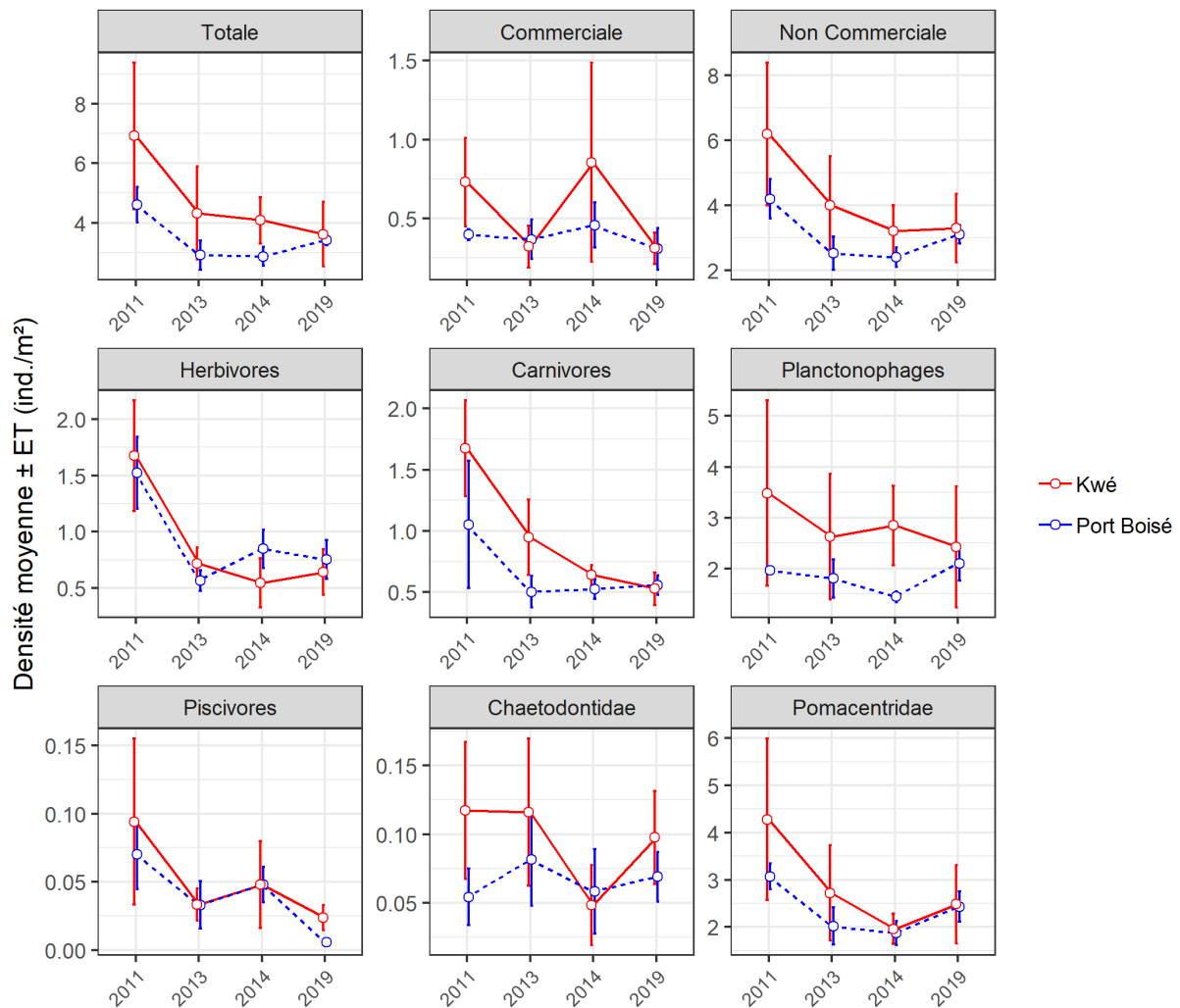


Figure 29 : Variations temporelles des paramètres de densité sur la période historique disponible, pour chacune des deux baies (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). BK : Baie Kwé ; PB : Port Boisé ; ET : Ecart-Type.

## II.2.2. Biomasse

En baie Kwé, la biomasse présente une importante variabilité tant intra- que inter-campagnes, comme c'est classiquement le cas pour ce paramètre, avec pour conséquence

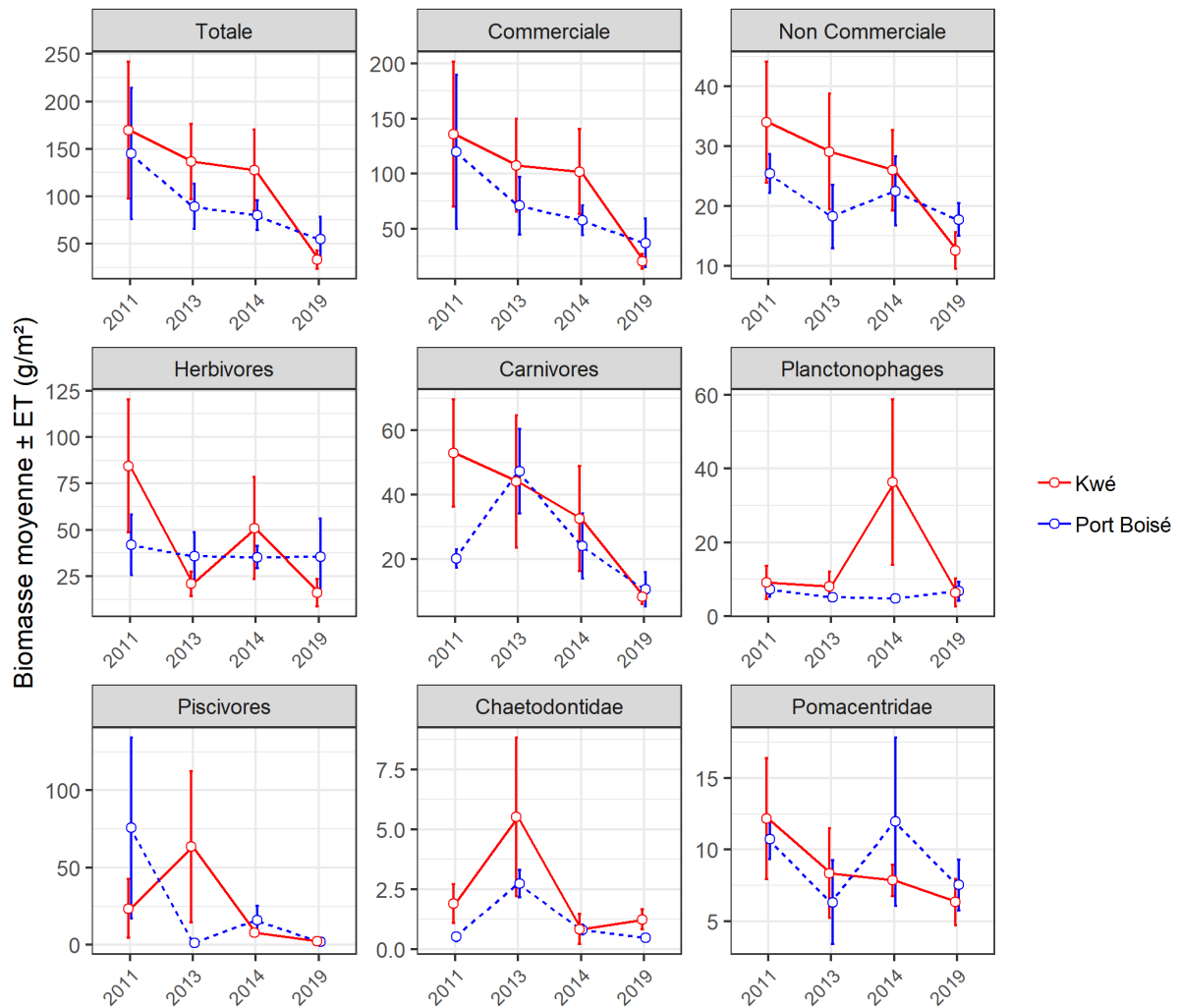
un faible pouvoir de détection des analyses statistiques (non-significatives pour l'ensemble des variables). Si certaines variables apparaissent effectivement assez stables sur la période (Pomacentridae, Chaetodontidae, piscivores, planctonophage, herbivores), on observe en revanche une diminution importante des niveaux moyens en 2019 concernant les carnivores et, consécutivement, les espèces commerciales, non-commerciales et la biomasse totale.

L'examen détaillé des données de comptage ne permet pas de pointer vers des variations précises ou reliées à un taxon ou groupe de taxons clairement identifiés. Ces variations temporelles concernent le peuplement dans son ensemble et sur plusieurs stations, rendant complexe la recherche d'une cause précise (notamment dans un contexte de biais historiques et de changement de l'échantillonnage en 2019).

Il convient de noter ici que la structure en biomasse est un descripteur dont l'utilisation reste plus indicative car moins informative que les structures en densité et surtout en richesse spécifique dans le cadre des suivis de type minier/industriel (ce paramètre étant davantage pertinent dans le cadre d'études examinant l'effet de la pression de pêche par exemple). À ce titre, la diminution constatée en 2019 pour certains paramètres de biomasse ne se retrouvant pas dans les paramètres de densité et de richesse spécifique, et intervenant suite à un changement d'échantillonnage, elle ne peut être considérée ici comme un signal de perturbation de l'ichtyofaune dans l'état actuel du suivi. Il conviendra d'examiner l'évolution de ce paramètre lors d'une prochaine campagne à échantillonnage constant afin de prendre du recul sur ces variations et de mieux en évaluer l'importance.

En baie de Port Boisé, on retrouve une forte variabilité des données de biomasse, bien que dans une moindre mesure qu'en baie Kwé. Les évolutions temporelles apparaissent relativement stables, à l'exception d'une valeur haute observée en 2011 pour les piscivores, se répercutant sur la biomasse des espèces commerciales et la biomasse totale. L'examen des données de comptage démontre que cette valeur haute correspond essentiellement à l'observation fortuite en 2011 de plusieurs très gros individus de *Plectropomus laevis* et *Plectropomus leopardus*, notamment sur la station ST39. Ceci relève davantage des aléas d'observation de ce type d'espèces mobiles et donc des fluctuations naturelles de l'ichtyofaune observable, plutôt que d'un signal d'évolution des peuplements ichtyologiques locaux.

Enfin, on notera une variation significative statistiquement concernant la biomasse des Chaetodontidae. Etant donné son aspect ponctuel, sa très faible amplitude, et son caractère isolé (pas de variation correspondante en termes de densité et de richesse spécifique de cette famille indicatrice), cette variation significative ne saurait correspondre à une anomalie ou à un signal de modification de l'ichtyofaune.



**Figure 30 : Variations temporelles des paramètres de biomasse sur la période historique disponible, pour chacune des deux baies (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'améliorer la visibilité). BK : Baie Kwé ; PB : Port Boisé ; ET : Ecart-Type.**

### II.2.3. Richesse spécifique

En baie Kwé, aucune variation significative n'a été détectée à l'issue des analyses statistiques, suggérant une stabilité de la structure en diversité de l'ichtyofaune dans cette baie. L'examen graphique des profils temporels suggère une diminution ponctuelle de la richesse spécifique en carnivores en 2013 (et dans une bien moindre mesure en piscivores), se répercutant sur les richesses spécifiques commerciale, non-commerciale, et totale, sans qu'aucune de ces diminutions ne soit significative statistiquement.

La richesse spécifique est un paramètre robuste et à évolution progressive : sauf impact majeur des diminutions de cette amplitude sont donc peu probables, tout autant qu'un retour aussi rapide à la normale dans le cas où une telle diminution ferait effectivement suite à une perturbation de grande ampleur. Portant sur une large gamme de familles et de genres, et présentant un profil ponctuel atypique, la cause de cette variation isolée en 2013 apparaît complexe à appréhender *a posteriori* et évoque davantage un biais d'échantillonnage qu'une évolution réelle de l'ichtyofaune locale. Si la légère diminution du recouvrement corallien constatée en 2013 pourrait expliquer une fraction de cette diminution de la richesse

spécifique, il semble très peu probable qu'elle en explique la totalité étant donné la disproportion de cette diminution vis-à-vis de la modification d'habitat. Si l'on fait abstraction de ces quelques diminutions ponctuelles en 2013, les niveaux de richesse spécifiques apparaissent par ailleurs stables sur la période suivie.

En baie de Port Boisé, trois paramètres présentent une variation temporelle significative : la richesse spécifique des carnivores, des espèces non-commerciales, et totale, pointant vers des valeurs 2019 significativement supérieures aux valeurs 2013. Graphiquement, un même profil est constaté pour les Pomacentridae, sans que la variation correspondante ne soit significative.

Le phénomène observé est d'un profil similaire aux variations constatées en baie Kwé, quoique d'une amplitude plus modérée et pouvant plus vraisemblablement être rapproché des évolutions de l'habitat constatées par ailleurs en 2013 (notamment une diminution du recouvrement en coraux vivants suite à de forts épisodes pluvieux). De même que pour la baie Kwé, le rapide retour à la normale dès 2014 écarte tout signe de perturbation majeure de l'ichtyofaune locale en 2013, et la concomitance de ce profil entre les deux baies pointent *a priori* vers des causes indépendantes de l'influence exercée par le complexe de Vale NC sur la baie Kwé.

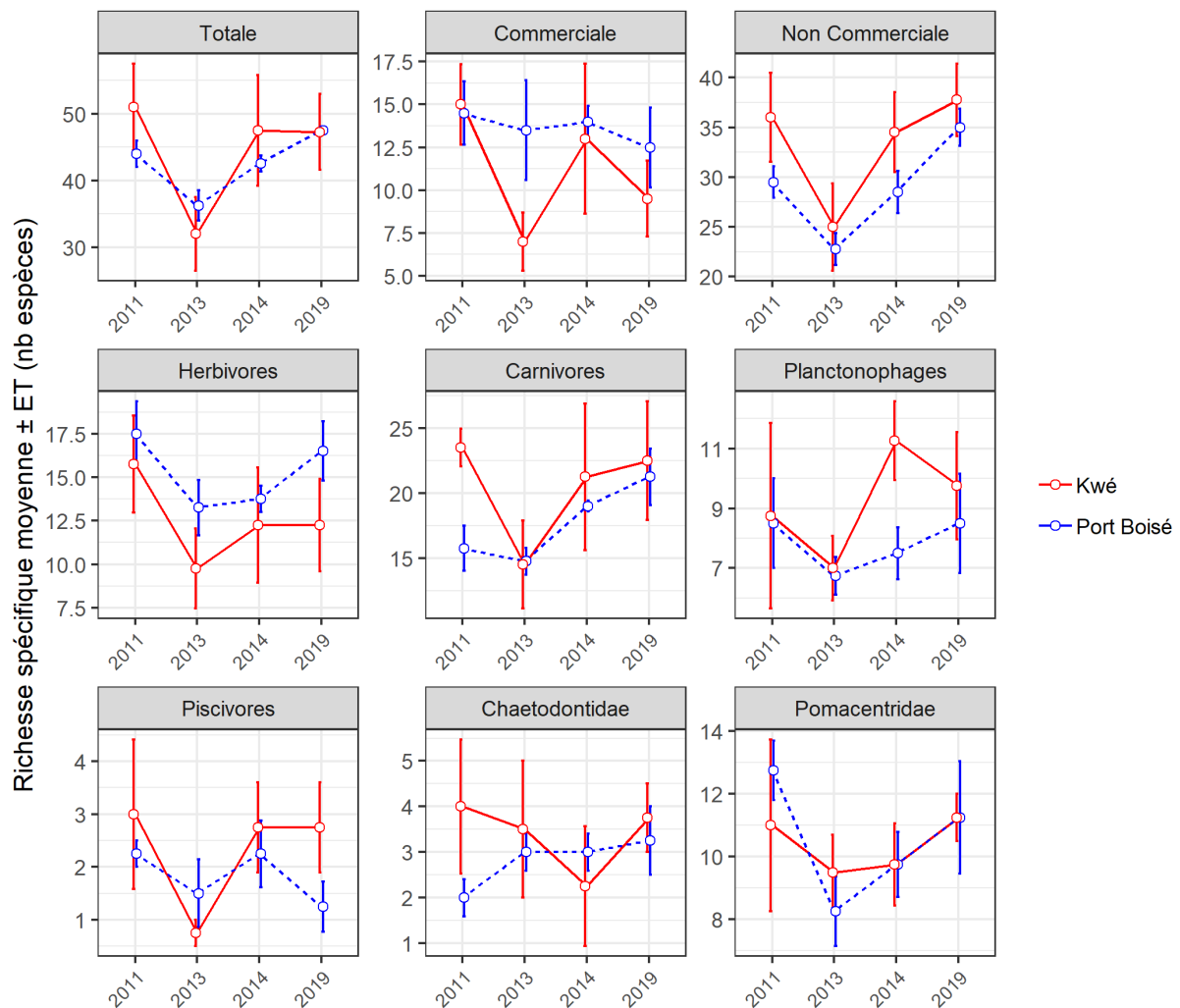


Figure 31 : Variations temporelles des paramètres de richesse spécifique sur la période historique disponible, pour chacune des deux baies (l'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité). BK : Baie Kwé ; PB : Port Boisé ; ET : Ecart-Type.

**Tableau 14 : Résultats détaillés des analyses testant la significativité des variations temporelles des paramètres ichthyologiques entre 2011 et 2019.**  
**NS : non-significatif ; \* : significatif avec  $P < 0,05$  ; \*\* :  $P < 0,01$  ; \*\*\* :  $P < 0,001$ .**

		Baie Kwé		Port Boisé		
		Significativité des variations temporelles	Détails (si variation significative)	Significativité des variations temporelles	Détails (si variation significative)	
Ichtyfaune	Densité (ind./m <sup>2</sup> )	Toutes espèces	ns	-	* (p=0,045)	2011 > 2013,2014,2019
		Commerciaux	ns	-	ns	-
		Non-commerciaux	ns	-	* (p=0,037)	2011 > 2013,2014,2019
		Herbivores	* (p=0,043)	2011 > 2013,2014,2019	* (p=0,033)	2011 > 2013,2014,2019
		Carnivores	* (p=0,037)	2011 > 2014,2019	ns	-
		Planctonophages	ns	-	ns	-
		Piscivores	ns	-	ns	-
		Chaetodontidae	ns	-	ns	-
		Pomacentridae	ns	-	* (p=0,043)	2011 > 2013,2014,2019
		Biomasse (g/m <sup>2</sup> )	Toutes espèces	ns	-	ns
	Commerciaux		ns	-	ns	-
	Non-commerciaux		ns	-	ns	-
	Herbivores		ns	-	ns	-
	Carnivores		ns	-	ns	-
Planctonophages	ns		-	ns	-	
Piscivores	ns		-	ns	-	
Chaetodontidae	ns		-	*** (p<0,001)	2013 > 2011,2014,2019	
Pomacentridae	ns	-	ns	-		
Richesse spécifique	Toutes espèces	ns	-	** (p=0,003)	2019 > 2013	
	Commerciaux	ns	-	ns	-	
	Non-commerciaux	ns	-	** (p=0,004)	2019 > 2013	
	Herbivores	ns	-	ns	-	
	Carnivores	ns	-	* (p=0,036)	2019 > 2013	
	Planctonophages	ns	-	ns	-	
	Piscivores	ns	-	ns	-	
	Chaetodontidae	ns	-	ns	-	
Pomacentridae	ns	-	ns	-		

---

### II.3. MODÉLISATION CI POUR LA DÉTECTION DE SIGNAUX DE PERTURBATION DE L'ICHTYOFAUNE EN BAIE KWÉ ENTRE 2011 ET 2019

---

Le Tableau 15 présente les résultats des modélisations CI, qui permet la recherche de signaux de perturbation de l'ichtyofaune dans la baie considérée comme étant sous influence du complexe industriel et minier de Vale NC (baie Kwé). La campagne 2019 marquant une transition dans l'approche d'échantillonnage, l'interprétation de ces résultats doit ici faire l'objet de la même précaution que pour l'étude des évolutions temporelles entre baies.

La colonne « Effet Baie » indique s'il existe une différence significative entre les deux baies (toutes années confondues). La colonne « Effet Campagne » indique s'il existe des variations temporelles significatives (toutes baies confondues). Enfin, la colonne « Interaction Campagne x Baie » indique s'il existe une évolution différentielle entre les deux baies, pouvant alors indiquer une variation spécifique à l'une des deux baies. Bien que les deux premières colonnes de résultats soient affichées à titre indicatif, elles n'ont pas d'intérêt d'interprétation étant donné les analyses spatio-temporelles déjà réalisées dans les parties précédentes (plus précises) et c'est bien uniquement sur la dernière colonne que se fonde la détection éventuelle de signaux de perturbation.

Deux paramètres présentent un effet significatif de l'interaction « Campagne x Baie » :

- La biomasse des planctonophages, correspondant à une augmentation ponctuelle en baie Kwé en 2014, tandis que le paramètre reste stable en baie de Port Boisé ;
- La richesse spécifique des carnivores, qui présente un écart ponctuel en 2011 (valeur supérieure en baie Kwé) se réduisant dès 2013.

Ces variations correspondant à des valeurs supérieures en zone sous influence, celles-ci ne peuvent par définition pas correspondre à un signal d'impact potentiel des activités minières. Par ailleurs, de par leur aspect isolé (par rapport aux autres paramètres testés) et ponctuel (par rapport à la série temporelle), ces variations significatives ne sauraient constituer un signal de perturbation.

Aucun autre paramètre ne présente de significativité du facteur d'interaction, et l'examen graphique conjoint des évolutions dans les deux baies montre de profils d'évolution parallèles (en regard des niveaux de variabilité représentés par les écart-types) pour l'ensemble de ces autres paramètres.



Tableau 15 : Résultats des modélisations CI pour la détection de signaux de perturbation potentiels sur l'ichtyofaune (représentés par le facteur d'interaction « Campagne x Baie »). NS : non-significatif ; \* : significatif avec  $P < 0,05$  ; \*\* :  $P < 0,01$  ; \*\*\* :  $P < 0,001$ .

		Effet Baie	Effet Campagne	Interaction Campagne x Baie	Détail
		Significativité	Significativité	Significativité	
Icthyfaune	Densité (ind./m <sup>2</sup> )				
	Toutes espèces	ns	ns	ns	
	Commerciaux	ns	ns	ns	
	Non-commerciaux	ns	ns	ns	
	Herbivores	ns	** (p=0,002)	ns	
	Carnivores	ns	* (p=0,018)	ns	
	Planctonophages	ns	ns	ns	
	Piscivores	ns	ns	ns	
	Chaetodontidae	ns	ns	ns	
	Pomacentridae	ns	ns	ns	
	Toutes espèces	ns	ns	ns	
	Commerciaux	ns	ns	ns	
	Non-commerciaux	ns	ns	ns	
	Biomasse (g/m <sup>2</sup> )				
Herbivores	ns	* (p=0,03)	ns		
Carnivores	ns	ns	ns		
Planctonophages	ns	ns	* (p=0,031)	Augmentation ponctuelle en baie Kwé en 2014	
Piscivores	ns	ns	ns		
Chaetodontidae	ns	* (p=0,041)	ns		
Pomacentridae	ns	ns	ns		
Toutes espèces	ns	** (p=0,01)	ns		
Commerciaux	ns	* (p=0,034)	ns		
Non-commerciaux	ns	* (p=0,022)	ns		
Richesse spécifique					
Herbivores	ns	ns	ns		
Carnivores	ns	* (p=0,049)	* (p=0,034)	Ecart ponctuel en 2011 (supérieur en baie Kwé)	
Planctonophages	ns	ns	ns		
Piscivores	ns	* (p=0,047)	ns		
Chaetodontidae	ns	ns	ns		
Pomacentridae	ns	ns	ns		

### III. INVERTEBRES MACROBENTHIQUES

---

---

#### III.1. ETAT DES LIEUX EN 2019

---

##### III.1.1. A l'échelle des baies

Avant d'aborder l'analyse des peuplements par baies, il est important de comprendre comment les invertébrés cibles se répartissent au sein même des stations, ce qui permettra notamment d'expliquer pourquoi certaines variations spatiales ou temporelles ne sont pas significatives malgré leur forte amplitude. Par ailleurs, la structuration des peuplements est intimement liée à la composition des habitats, et notamment sur ce type de récifs à la présence de coraux massifs du genre *Porites*.

Les graphes de densité et de richesse spécifique par station sont fournis en ANNEXE VI.

Globalement, les peuplements d'invertébrés de la zone d'étude sont moyennement variés et peu abondants.

Les peuplements d'invertébrés cibles sont très hétérogènes, au sein même des stations (entre les différents transects) et entre les stations, en termes de richesse des peuplements comme de leurs densités. Seule la station ST38 présente une faible variabilité intrinsèque (en richesse comme en densité), indiquant que son peuplement se répartit de manière uniforme le long des trois transects.

Cette constatation apporte trois conclusions :

- Elle souligne la variabilité spatiale naturelle des peuplements d'invertébrés, malgré l'inventaire de récifs situés à proximité les uns des autres.
- Elle conforte les données obtenues sur les habitats, qui indiquent la présence d'habitats hétérogènes sur la zone d'étude.
- Elle suggère qu'on peut ainsi s'attendre à rencontrer des difficultés dans la détection de variations temporelles de la composition et abondance des peuplements d'invertébrés cibles même en présence de ce nouveau protocole d'inventaire plus rigoureux, et particulièrement si on travaille à l'échelle des baies (l'hétérogénéité des peuplements induisant des écarts types élevés qui peuvent masquer la significativité de certains évolutions).

L'analyse du peuplement à l'échelle des stations indique également que la composition et la densité des peuplements ne semble pas liée à la localisation de la station en fond de baie ou à sa sortie (et donc à son exposition à des eaux plus claires et brassées), mais davantage à la composition de l'habitat récifal. En effet, les peuplements d'invertébrés les plus denses sont situés en fonds de baie (ST31 et ST39), ces deux stations sont celles présentant les plus forts recouvrements en coraux massifs et en coraux de feu, habitats pour bon nombre de bivalves (*Pteria*, *Tridacna*, *Arca*, *Pedum*, *Barbatia*...).

Des caractéristiques communes se retrouvent sur l'ensemble des stations inventoriées :

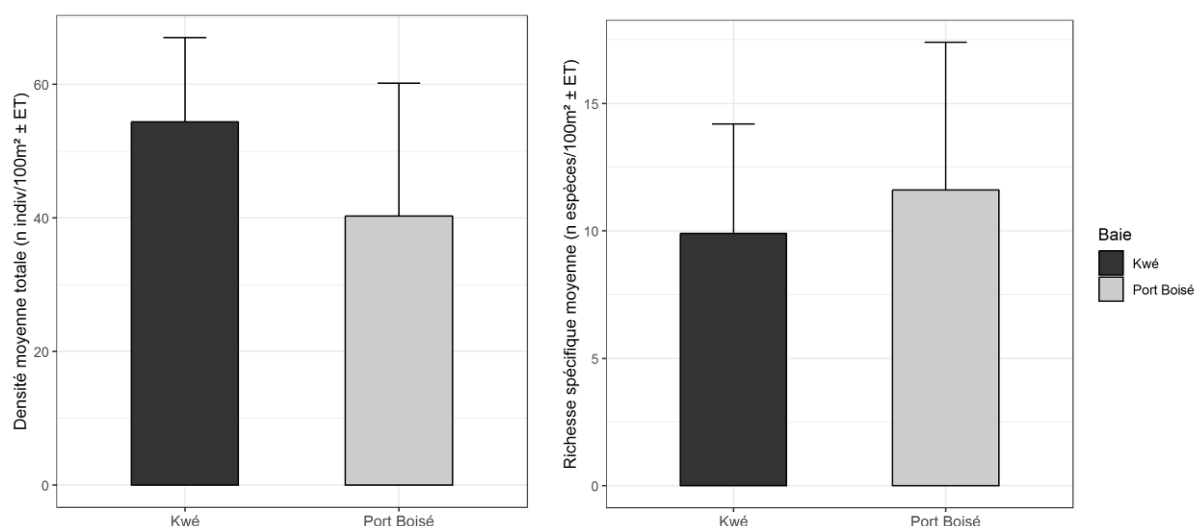
- Toutes sont dominées par le groupe des mollusques (sous-groupes des bivalves et/ou gastéropodes selon les stations) en richesse spécifique comme en densité. Comme indiqué plus haut, la prédominance des bivalves (en particulier des deux espèces *Pedum spondyloideum* et *Arca cf. ventricosa*) s'explique par la présence de

massifs de *Porites* cf. *lobata* vivants au sein du couloir de comptage des invertébrés cibles.

- Sur la plupart des stations, les étoiles de mer (astérides) présentent une bonne diversité d'espèces et sont abondantes.
- ⇒ Ces deux caractéristiques se retrouvent sur de nombreux récifs côtiers calédoniens sous influence sédimentaire (S. Job, observations personnelles).
- Les oursins (échinides) sont globalement peu variés et rares sur l'ensemble de la zone d'étude, avec toutefois des diversités et densité légèrement plus élevées sur ST33 et ST36 : ces deux stations sont situées en sortie de baie, où les eaux sont mieux brassées et donc moins chargées en particules, condition plus favorable à la présence des oursins (hormis pour les oursins diadèmes ; S. Job, observations personnelles). Les deux espèces les plus fréquentes sont *Echinometra mathaei* (oursin perforant herbivore) et *Parasalenia gratiosa* (également herbivore mais au régime alimentaire plus large, il broute également des polypes coralliens, des éponges, des animaux sessiles, etc.). La rareté des oursins indique un faible taux d'herbivorie au sein des récifs suivis. Étant donné la faible couverture en algues sur la zone d'étude, le contrôle du développement des algues semble donc davantage être exercé par les poissons.
- Les holothuries sont rares et peu variées sur l'ensemble de la zone d'étude, hormis sur ST38 (fond de baie de Port Boisé) où une dizaine d'holothuries rose (*Holothuria edulis*) ont été comptabilisées. On note par ailleurs leur présence au sein des quatre stations de Port Boisé alors que seules deux stations de Baie Kwé en abritent.
- Des crinoïdes sont présentes uniquement au sein des stations situées en sortie de baie, où les courants sont plus importants (condition favorable à la présence de ce groupe d'espèce).

Une station se démarque par sa densité en coquillages : ST34, située en sortie de la baie Kwé. Le peuplement de gastéropodes est dominé par l'espèce corallivore *Drupella cornus*, dont l'abondance est en lien avec la présence d'une couverture en Acroporidae branchus plus dense que sur les autres stations, qui constitue son habitat et sa source de nourriture de prédilection. La densité des *Drupella*, de 19 individus / 100 m<sup>2</sup> de récif, n'atteint toutefois pas un seuil inquiétant pour la survie des coraux. Naturellement présents au sein des récifs de l'Indopacifique à de faibles niveaux de densité (< 2 coquillages/m<sup>2</sup> - Bessey *et al.*, 2018 - ; densité moyenne sur l'ensemble du RORC Nouvelle-Calédonie pour la campagne 2018-2019 de 0,034 coquillages/m<sup>2</sup> – Job, 2019 ; 2020), ils consomment majoritairement des coraux à croissance rapide tels que les Acroporidae (des genres *Acropora* et *Montipora*) (Bessey *et al.*, 2018 et observations personnelles). Inhabituellement, ils s'agrègent par centaines à milliers d'individus causant des dommages sévères aux coraux. En Nouvelle-Calédonie, aucune pullulation de *Drupella* n'a à ce jour été documentée ni signalée par la communauté scientifique.

À l'échelle des baies, la Figure 32 montre que la densité totale moyenne des invertébrés cibles relevée au sein de la baie Kwé est supérieure à celle de la baie de Port Boisé, toutefois cette différence n'est pas significative (Mann-Whitney,  $p > 0,05$  ; Tableau 16). Comme indiqué plus haut, ce résultat est en lien avec une présence plus marquée des massifs de *Porites* au sein des stations de la baie Kwé. On note par ailleurs que les données de densité apparaissent moins variables sur la baie Kwé que sur celle de Port Boisé, attestant de la plus grande hétérogénéité spatiale dans l'abondance des invertébrés au sein des stations de cette deuxième baie.

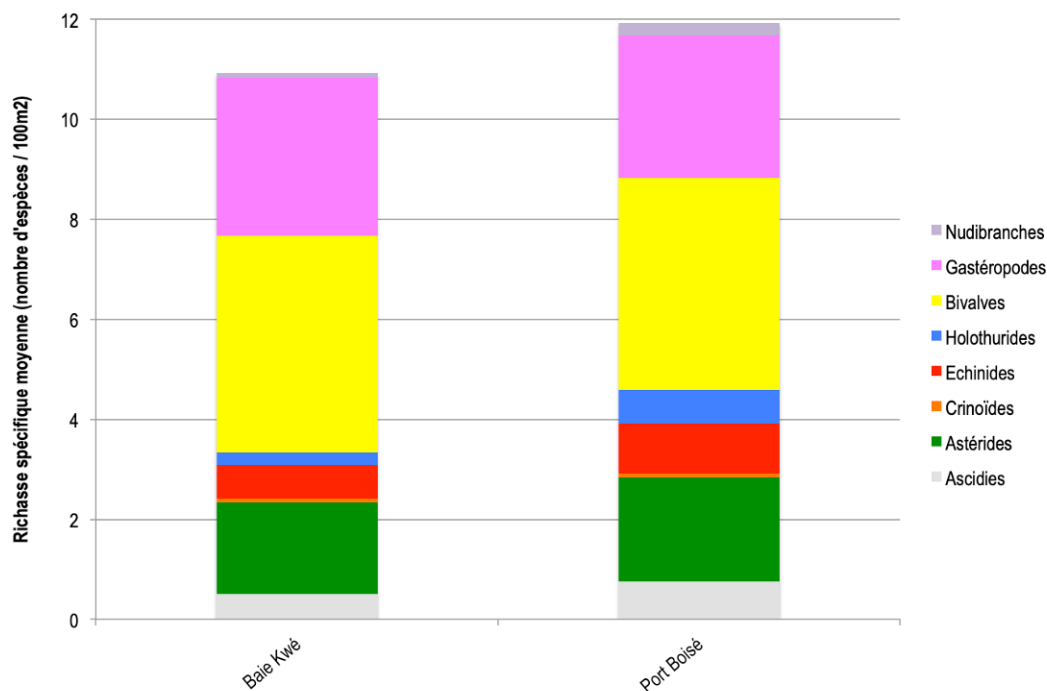


**Figure 32 : Densités moyennes totales ( $\pm$  écart type) et richesses spécifiques moyennes ( $\pm$  écart type) des invertébrés cibles inventoriés au cours de la campagne de suivi 2019 à l'échelle des baies Kwé et de Port Boisé.**

Concernant la composition des peuplements, la richesse spécifique moyenne est légèrement supérieure au sein de la baie de Port Boisé comparativement à celle de la baie Kwé (Figure 33), à nouveau cette différence n'est pas significative (Mann-Whitney,  $p > 0,05$  ; Tableau 16). Les données de richesse spécifique sont assez variables au sein des deux baies, traduisant la forte hétérogénéité spatiale dans la richesse des peuplements d'invertébrés au sein des stations des deux baies.

**Tableau 16 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Baie) pour les richesses et la densité moyennes totales et par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles inventoriés en 2019 au sein des deux baies (NS : non-significatif ; \* :  $p \leq 0,05$ ).**

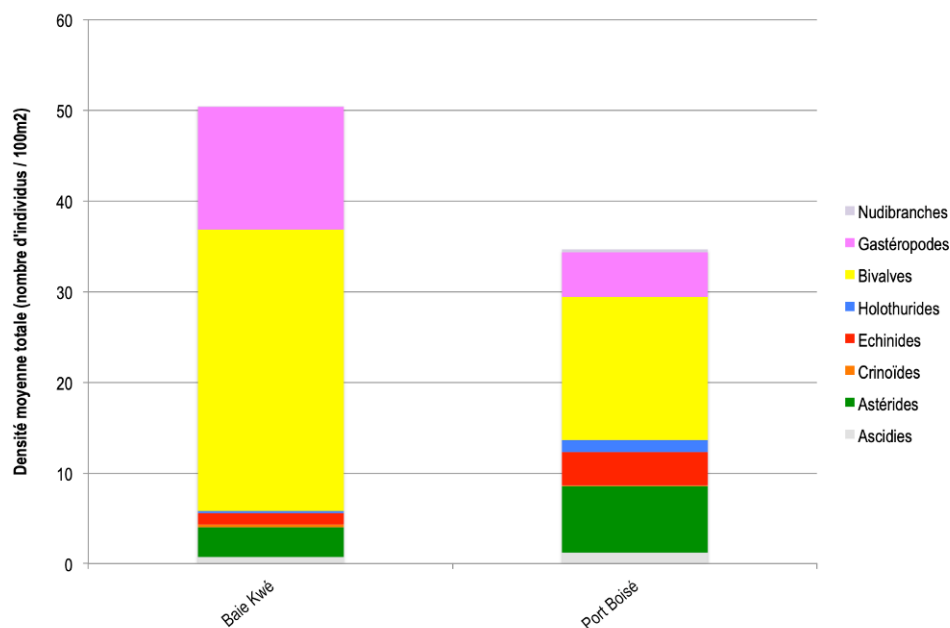
	Type d'analyse	Significativité des variations entre baies	Détails (si différence significative)	
<b>Densité</b>	Totale	Mann-Whitney	NS	
	Astérides	Student	* ( $p=0,042$ )	Port Boisé > Baie Kwé
	Bivalves	Mann-Whitney	NS	-
	Echinides	Mann-Whitney	NS	-
	Gastéropodes	Student	* ( $p=0,016$ )	Baie Kwé > Port Boisé
	Holothurides	Mann-Whitney	ns	-
<b>Richesse spécifique</b>	Totale	Mann-Whitney	NS	
	Astérides	Mann-Whitney	NS	-
	Bivalves	Student	NS	-
	Echinides	Mann-Whitney	NS	-
	Gastéropodes	Mann-Whitney	NS	-
	Holothurides	Mann-Whitney	* ( $p=0,042$ )	Port Boisé > Baie Kwé



**Figure 33 : Richesses spécifiques moyennes par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles inventoriés au cours de la campagne de suivi 2019 à l'échelle des baies Kwé et de Port Boisé.**

À l'échelle des sous-groupes taxonomiques, les deux baies abritent des peuplements globalement dominés par les espèces de mollusques, et les bivalves en particulier (Figure 34).

Les analyses statistiques révèlent une richesse moyenne en espèces d'holothuries significativement supérieure en baie de Port Boisé (Mann-Whitney,  $p \leq 0,05$ ), principalement liée au fait que deux stations de baie Kwé n'en comportaient aucune. Ces animaux étant mobiles et le nombre total d'espèces d'holothuries recensées au sein de la zone d'étude étant somme toute faible (quatre espèces : *Actinopyga lecanora*, *A. miliaris*, *Holothuria edulis* et *H. whitmaei*), cette différence significative entre les deux baies n'a que peu de poids écologiquement. Les autres sous-groupes taxonomiques sont similaires au sein des deux baies (aucune différence significative de leurs richesses spécifiques entre les baies).



**Figure 34 : Densités moyennes par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles inventoriés au cours de la campagne de suivi 2019 à l'échelle des baies Kwé et de Port Boisé.**

Les densités moyennes des sous-groupes taxonomiques apparaissent beaucoup plus variables d'une baie à l'autre, avec :

- Des densités en bivalves et gastéropodes supérieures au sein de la baie Kwé. Seule la densité moyenne des gastéropodes est significativement supérieure en baie Kwé par rapport à Port Boisé (Student,  $p \leq 0,05$  ; Tableau 2). Les principaux coquillages plus abondants sur baie Kwé par rapport à Port Boisé sont les espèces corallivores *Drupella cornus* et *Coralliophila violacea*, les sauteurs (*Conomurex luhuanus*) et les lambis (*Lambis lambis*). L'hétérogénéité spatiale (entre les stations et entre les transects d'une même station) des populations de bivalves induit des écarts types à la moyenne élevée qui ont masqué la significativité de la variation spatiale entre les deux baies. En effet, les principaux bivalves rencontrés sont inféodés aux massifs de Porites vivants (*Arca cf. ventricosa*, *Pedum spondyloideum*, *Pinctada* sp.), ceux-ci n'étant pas répartis de manière uniforme au sein des stations d'une part, et d'autre part ils sont rares au sein de certaines stations. L'abondance de ces espèces de bivalves est directement reliée à la présence de leur habitat.
- Une densité moyenne en étoiles de mer (astérides) significativement supérieure en baie de Port Boisé. Les stations ST38 et ST39 (fond de la baie de Pot Boisé) se caractérisent par d'abondantes populations d'étoiles de mer.
- Des oursins légèrement plus abondants en baie de Port Boisé comparativement à la baie Kwé. Cette différence n'est pas significative. Bien que rares sur l'ensemble de la zone d'étude, les oursins sont sensiblement plus denses au sein des stations en sortie des baies : ST33, ST36 et ST37, probablement en lien avec le meilleur brassage des eaux. Un ou deux individus sont notés au sein de chaque transect de chaque station, hormis sur ST36 (une vingtaine d'oursins de trois espèces différentes au transect A) et sur ST37 (une petite dizaine d'oursins perforants *Echinometra mathaei* aux transects A et C).

Les données de recouvrement en espèces d'invertébrés cibles coloniales indiquent que (Tableau 17):

- Les invertébrés coloniaux les plus étendus sont les coraux scléactiniaires. Les deux baies abritent des peuplements en coraux scléactiniaires aux recouvrements similaires. À l'échelle des stations, les deux stations de sortie de baie ST34 (baie Kwé) et ST36 (Port Boisé) sont celles présentant les plus forts taux de recouvrement. Ce résultat est en adéquation avec les données LIT de l'habitat (ST34 se démarque par son fort taux d'Acroporidae branchu, ST36 présente un peuplement corallien assez diversifié et dominé par les coraux submassifs).
- Des coraux mous (alcyonnaires) ont été observés au sein des deux baies et sur la quasi-totalité des stations. Deux genres ont été identifiés : *Sarcophyton* (dominant) et *Sinularia*. Leur taux de recouvrement est généralement faible (inférieur à 5% de la surface du couloir de comptage) et légèrement supérieur en baie de Port Boisé (du fait d'un recouvrement plus important sur ST36 par rapport aux autres stations).
- Une seule gorgone a été recensée, en baie de Port Boisé (ST39), il s'agissait d'une gorgone encroûtante *Briareum stechei* recouvrant un petit massif corallien mort.
- Les coraux de feu (*Milleporina*) sont présents au sein des deux baies. Leur recouvrement est sensiblement plus élevé en baie de Port Boisé. Il est généralement faible (inférieur à 5% de la surface du couloir de comptage), à l'exception de ST33, ST37 et ST38 où ils atteignent des taux de recouvrement compris entre 6 et 25%.
- Les éponges (des genres *Cliona* et *Sphēciospongia*) sont globalement peu étendues mais fréquemment rencontrées, leurs couvertures apparaissent similaires au sein des deux baies.
- Les algues cibles ont été rarement observées : un développement localisé (de quelques centimètres carrés) d'*Asparagopsis armata* en baie Kwé (ST33) et quelques thalles encroûtants de *Lobophora variegata* en baie de Port Boisé (ST39).
- Aucun antipathaires, stolonifères ni ascidies coloniales n'ont été recensés au sein des couloirs de comptage.

**Tableau 17 : Données de recouvrement moyen des espèces d'invertébrés cibles coloniaux pour la campagne 2019.**

		Baie Kwé	Port Boisé
Cnidaires	Coraux scléactiniaires	2,7	2,6
	Alcyonnaires	0,7	1,1
	Antipathaires	0	0
	Gorgones	0	0,1
	<i>Milleporina</i>	0,8	1,5
Eponges	<i>Stolonifera</i>	0	0
	Genre <i>Cliona</i>	0,3	0,7
	Genre <i>Sphēciospongia</i>	0,8	0,6
Ascidies coloniales	Toutes	0	0
Macroalgues	Genre <i>Asparagopsis</i>	0,1	0
	Genre <i>Lobophora</i>	0	0,1

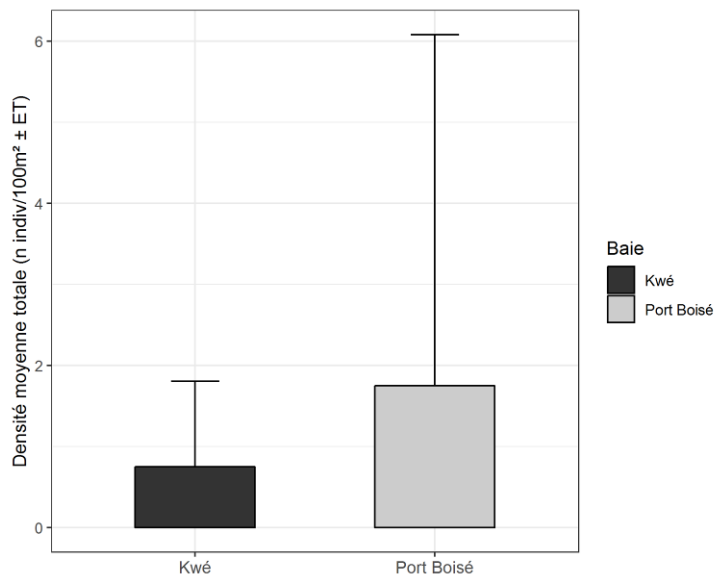
Les couvertures d'invertébrés cibles coloniaux par sous-groupe taxonomique et par station sont fournies en ANNEXE VI.

### III.1.2. Bénéitiers et trocas

**Tableau 18 : Données relatives aux bënëitiers pour la campagne 2019 : densité et taille moyennes des populations et espèces recensées au sein des deux baies.**

	Baie Kwé	Baie de Port Boisé
Densité moyenne (nombre d'individus/100 m <sup>2</sup> ) ± écart type	0,75 ± 1,06	1,75 ± 4,33
Taille moyenne de la population (en cm) ± écart type	11,9±5,6	8,2±2,4
Espèces	<i>Tridacna maxima</i> , <i>T. squamosa</i>	<i>Tridacna</i> sp., <i>T. maxima</i> , <i>T. squamosa</i> , <i>T. crocea</i>

Trois espèces de bënëitiers ont été recensées au sein de la zone d'étude : *Tridacna maxima*, *T. crocea* et *T. squamosa*, avec une prédominance des bënëitiers allongés (*T. maxima*). À l'échelle des stations, les densités sont nulles à faibles hormis sur ST39 où elle est considérée comme élevée (Purcell *et al.*, 2009). Cette station située en fond de baie de Port Boisé est celle présentant le peuplement d'invertébrés cibles le plus riche, le plus abondant et abritant la plus grosse population de bënëitiers. Grâce à cette population plus abondante, la densité moyenne des bënëitiers apparaît plus élevée (bien que faible à l'échelle de la baie) en baie de Port Boisé par rapport à celle de la baie Kwé (Tableau 18 et Figure 35). L'hétérogénéité dans la distribution des bënëitiers au sein des différents récifs inventoriés est attestée par des écarts types élevés à la moyenne (Figure 35).



**Figure 35 : Densités moyennes des bënëitiers inventoriés au cours de la campagne de suivi 2019 à l'échelle des baies Kwé et de Port Boisé.**

La majorité des individus, particulièrement en baie de Port Boisé, est de petite taille (comprise entre 6 et 10 cm), attestant d'un recrutement récent des bënëitiers sur ces récifs. En baie de Port Boisé, le plus gros bënëitier mesurait 12 cm (ST 39). En baie Kwé, les plus gros individus mesuraient 16 cm (sur ST33) et 24 cm (sur ST34).



Trois trocas communs (*Rochia nilotica*) ont été recensés, à raison d'un individu en baie Kwé (ST33 : 11 cm) et deux individus en baie de Port Boisé (ST36 : 9 cm et ST37 : 8 cm). Les récifs côtiers ne constituent pas l'habitat de prédilection de cette espèce, à affinité océanique (on la trouve plus généralement au sein des récifs barrière interne ou au niveau de la crête du récif barrière). Sa présence au sein des récifs de sortie de baie atteste, logiquement, du meilleur brassage des eaux au sein des stations de sortie de baie par rapport aux fonds de baie.

Une planche photographique des principales espèces d'invertébrés rencontrées au sein des baies Kwé et de Port Boisé en 2019 est présentée en Figure 36.

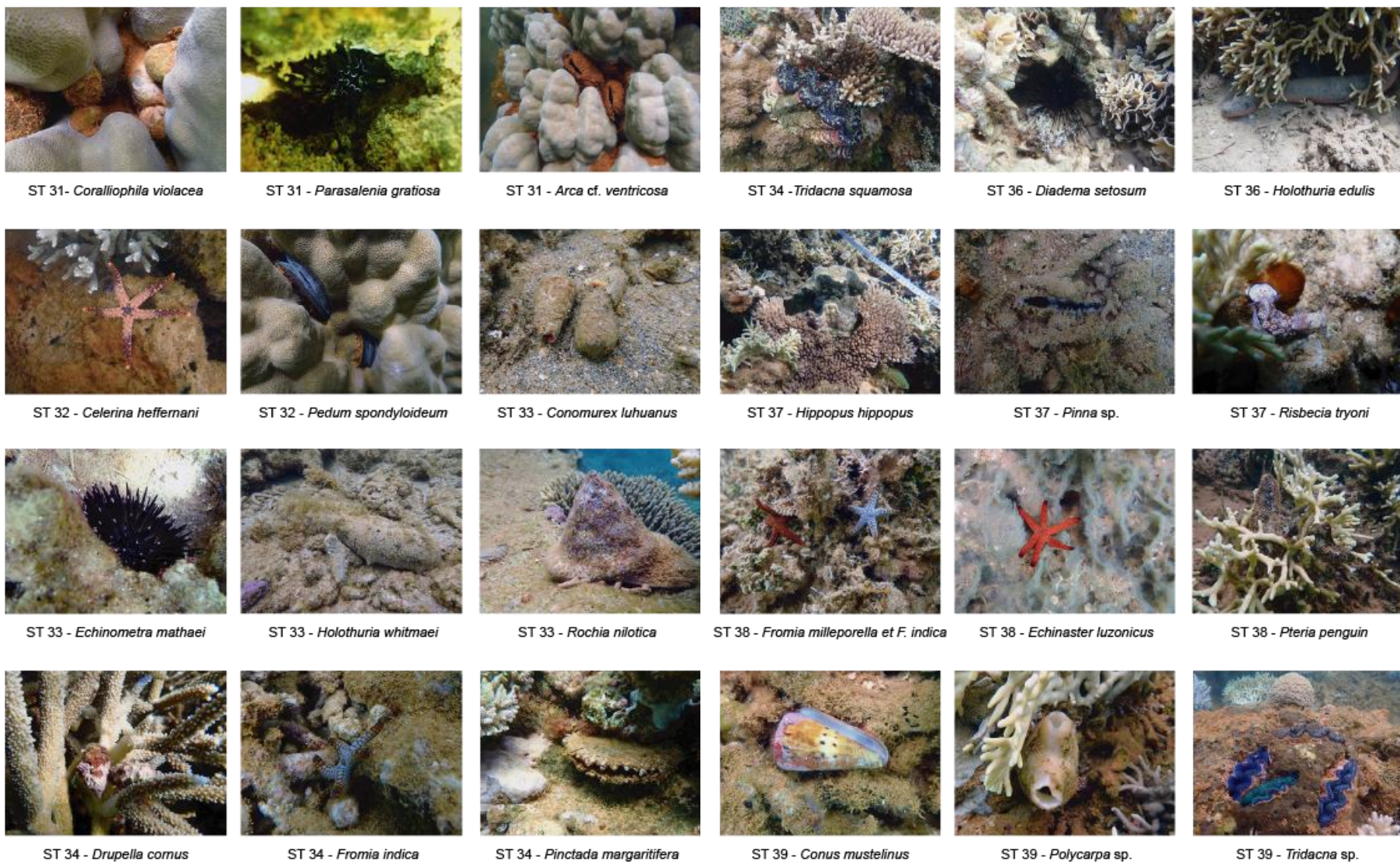


Figure 36 : Photographies de quelques invertébrés recensés en baie Kwé et Port Boisé en novembre 2019 (source : CORTEX)

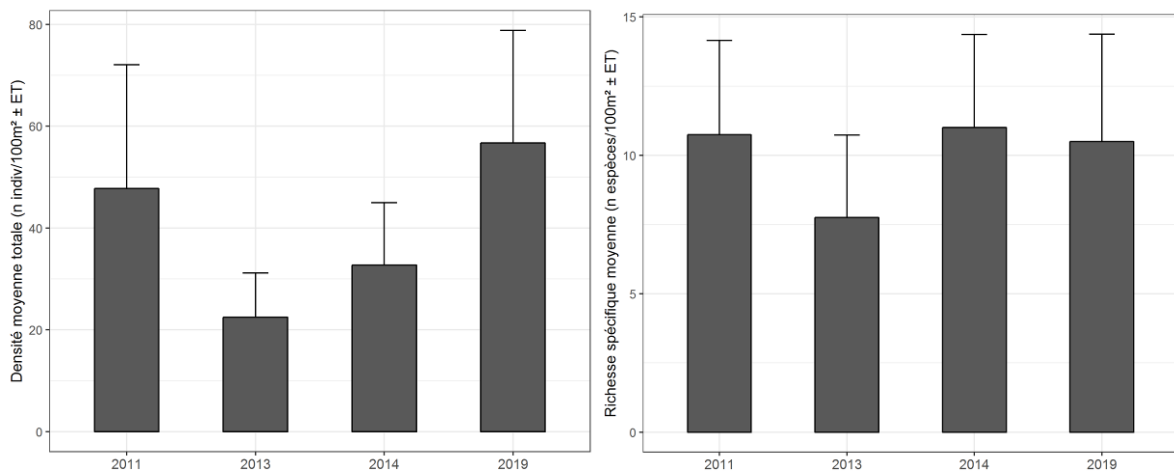
## III.2. EVOLUTION TEMPORELLE ENTRE 2011, 2013, 2014 ET 2019

### III.2.1. Baie Kwé

Sur la base de la série temporelle des données disponibles (un seul transect par station, quatre stations par baie et quatre campagnes de suivi), les analyses statistiques ne révèlent aucune évolution temporelle significative dans les densités et richesses moyennes des invertébrés cibles au sein de la baie Kwé entre 2011 et 2019, que ce soit au niveau du peuplement total ou des sous-groupes taxonomiques (Tableau 19).

**Tableau 19 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Temps) pour les richesse et la densité moyennes totales et par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles inventoriés entre 2011 et 2019 au sein de la baie Kwé (NS : non-significatif).**

		Type d'analyse	Significativité des variations temporelles
<b>Densité</b>	Totale	ANOVA	NS
	Astérides	ANOVA	NS
	Bivalves	Kruskal-Wallis	NS
	Echinides	Kruskal-Wallis	NS
	Gastéropodes	Kruskal-Wallis	NS
	Holothurides	Kruskal-Wallis	NS
<b>Richesse spécifique</b>	Totale	Kruskal-Wallis	NS
	Astérides	Kruskal-Wallis	NS
	Bivalves	Kruskal-Wallis	NS
	Echinides	Kruskal-Wallis	NS
	Gastéropodes	Kruskal-Wallis	NS
	Holothurides	Kruskal-Wallis	NS



**Figure 37 : Évolution temporelle des richesses spécifiques et densités moyennes totales des invertébrés cibles au sein de la baie Kwé.**

La Figure 38 indique toutefois une certaine variabilité dans les données de densité, dont le profil est guidé par celle des bivalves. Les bivalves les plus abondants étant inféodés aux massifs de Porites vivants, leur augmentation pourrait traduire une amélioration de l’habitat (et des conditions environnementales permettant le maintien, voire le développement des coraux) ou refléter un biais d’échantillonnage (inventaire d’une portion de récif différente). Les piquets matérialisant les stations n’étant pas systématiquement retrouvés d’une campagne de suivi à l’autre, et compte tenu de l’absence de suivi entre 2014 et 2019, la deuxième hypothèse est favorisée.

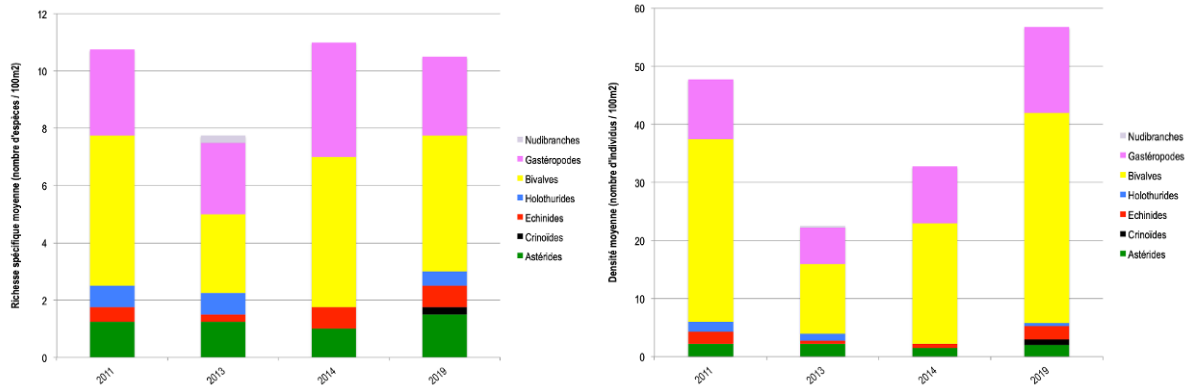


Figure 38 : Évolution temporelle des richesses spécifiques et densités moyennes par sous-groupes taxonomiques d’invertébrés cibles au sein de la baie Kwé.

### III.2.2. Baie de Port Boisé

Les analyses statistiques réalisées sur les peuplements de Port Boisé ne révèlent aucune évolution temporelle significative dans les densités et richesses moyennes totales des invertébrés cibles entre 2011 et 2019 (Tableau 20).

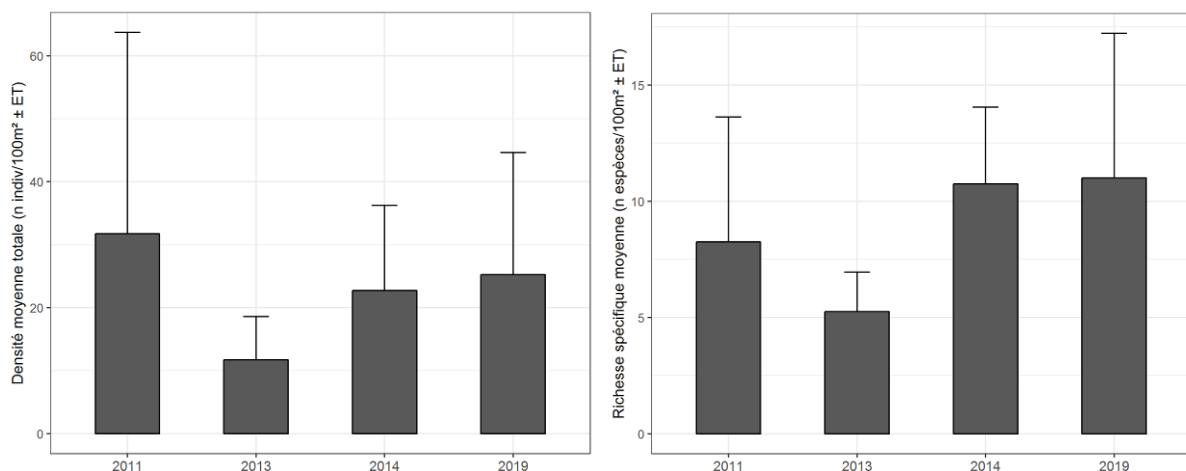
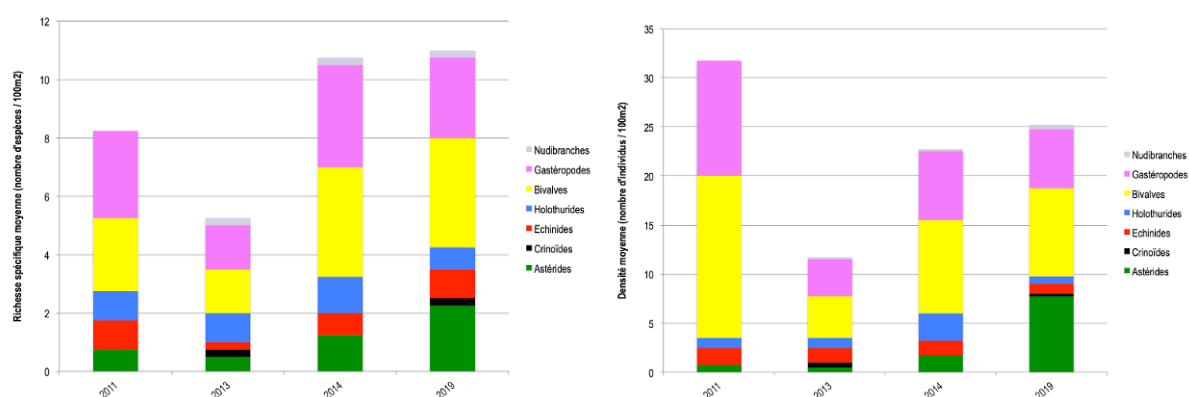


Figure 39 : Évolution temporelle des richesses spécifiques et densités moyennes totales des invertébrés cibles au sein de la baie de Port Boisé.

À l'échelle des sous-groupes taxonomiques, seule la densité des holothuries relevée en 2014 est significativement supérieure à celles des autres années de suivi (Kruskal-Wallis,  $p \leq 0,05$ ). Les richesses spécifiques moyennes des sous-groupes taxonomiques ne présentent pas d'évolutions temporelles significatives (Figure 40).

**Tableau 20 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Temps) pour les richesses et la densité moyennes totales et par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles inventoriés entre 2011 et 2019 au sein de la baie de Port Boisé (NS : non-significatif ; \* :  $p \leq 0,05$ ).**

		Type d'analyse	Significativité des variations temporelles	Post-hoc (si variation significative)
<b>Densité</b>	Totale	Kruskal-Wallis	NS	-
	Astérides	ANOVA	NS	-
	Bivalves	Kruskal-Wallis	NS	-
	Echinides	Kruskal-Wallis	NS	-
	Gastéropodes	Kruskal-Wallis	NS	-
	Holothurides	Kruskal-Wallis	* ( $p=0,047$ )	2014 > 2011,2013,2019
	<b>Richesse spécifique</b>	Totale	ANOVA	NS
Astérides		Kruskal-Wallis	NS	-
Bivalves		Kruskal-Wallis	NS	-
Echinides		Kruskal-Wallis	NS	-
Gastéropodes		Kruskal-Wallis	NS	-
Holothurides		Kruskal-Wallis	NS	-



**Figure 40 : Évolution temporelle des richesses spécifiques et densités moyennes par sous-groupes taxonomiques d'invertébrés cibles au sein de la baie de Port Boisé.**

### III.2.3. Évolution temporelle différentielle entre les deux baies

Les résultats du modèle linéaire généralisé réalisé sur les deux facteurs Campagne et Baie montrent l'absence de signal d'impact (interaction Campagne × Baie non significative) pour chacune des variables testées (Tableau 21).

On peut donc en conclure que les deux baies ont évolué de manière similaire au cours du temps.

**Tableau 21 : Résultats du modèle linéaire généralisé (GLM) (facteurs campagne et baie) sur les données de richesse spécifique et de densité des invertébrés cibles (NS : non-significatif).**

		Significativité			Significativité
<b>Densité</b>	Totale	NS	<b>Richesse spécifique</b>	Totale	NS
	Astérides	NS		Astérides	NS
	Bivalves	NS		Bivalves	NS
	Echinides	NS		Echinides	NS
	Gastéropodes	NS		Gastéropodes	NS
	Holothurides	NS		Holothurides	NS

Une analyse plus fine des peuplements révèle l'existence de variations, de faibles amplitudes ou dont la significativité est masquée par des écarts types élevés (pour rappel le plan d'échantillonnage est limité – 4 transects par baie - et les peuplements spatialement hétérogènes).

Les évolutions différentielles par baies et par sous-groupes taxonomiques sont présentées en Figure 41 et Figure 42.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Les densité et richesse spécifique moyennes totales suivent le même profil d'évolution temporelle au sein des deux baies. Les écarts-types sont très élevés, attestant de la grande disparité entre les stations. Les valeurs de richesse spécifique étaient sensiblement plus élevées en baie Kwé lors des deux premiers suivis et sont très similaires à celles de la baie de Port Boisé pour 2014 et 2019. Les valeurs de densité sont supérieures en baie Kwé par rapport à Port Boisé sur l'ensemble de la période de suivi.
- Le profil général d'évolution est logiquement guidé par ceux des bivalves et gastéropodes, tant en richesse qu'en densité, ces deux groupes d'animaux étant les plus variés et les plus abondants au sein de ces récifs côtiers.
- Des tendances à l'augmentation de certains sous-groupes d'invertébrés ont été mises en évidence et concernent :
  - o En baie de Port Boisé : la richesse des étoiles de mer et bivalves, la densité des étoiles de mer et nudibranches.
  - o En baie Kwé : la richesse des oursins et la densité des coquillages (majoritairement représentés par des corallivores).

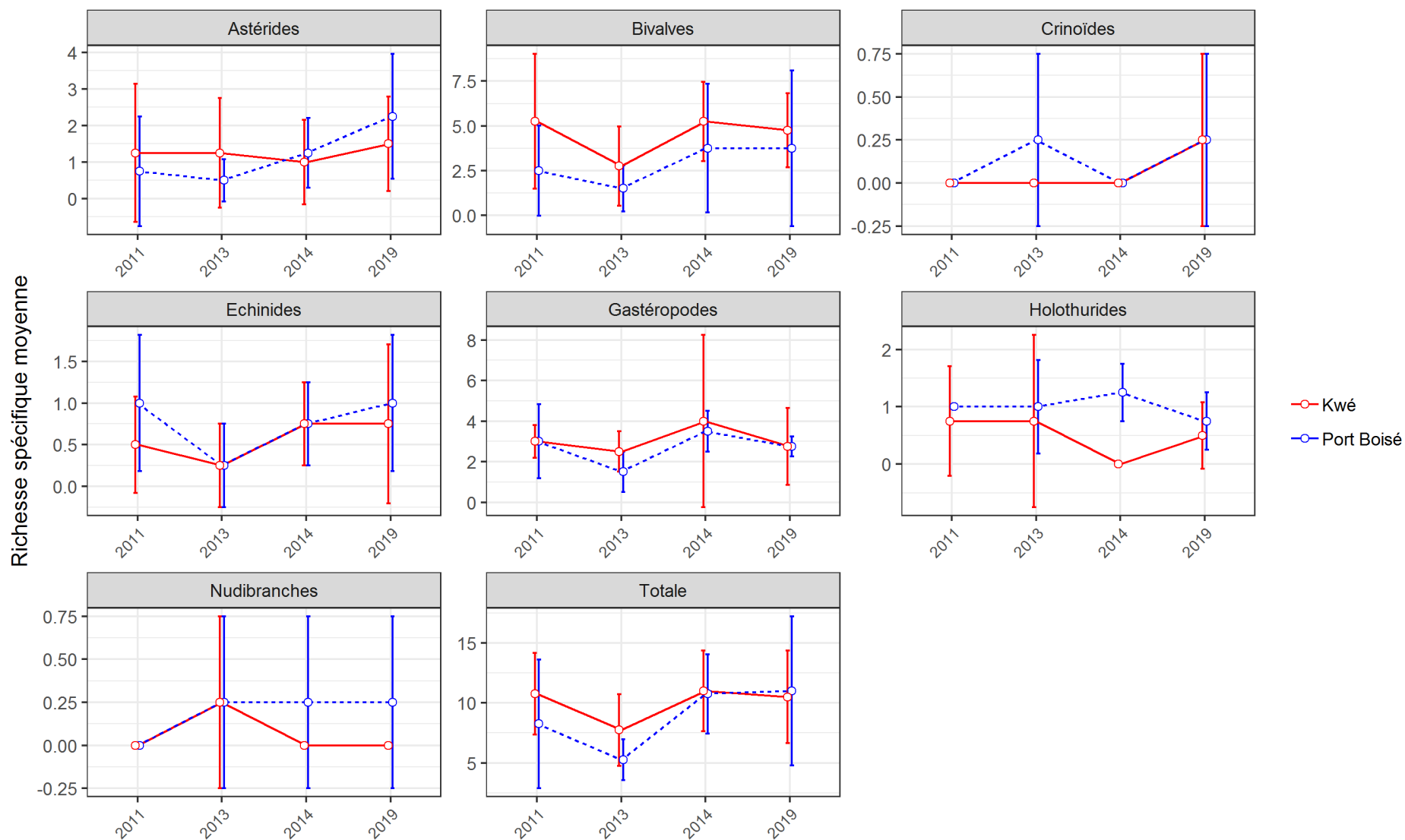


Figure 41 : Evolution de la richesse spécifique moyenne totale et par sous-groupes taxonomiques (± ET) par baies (Kwé et Port Boisé) et par campagne. L'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité.

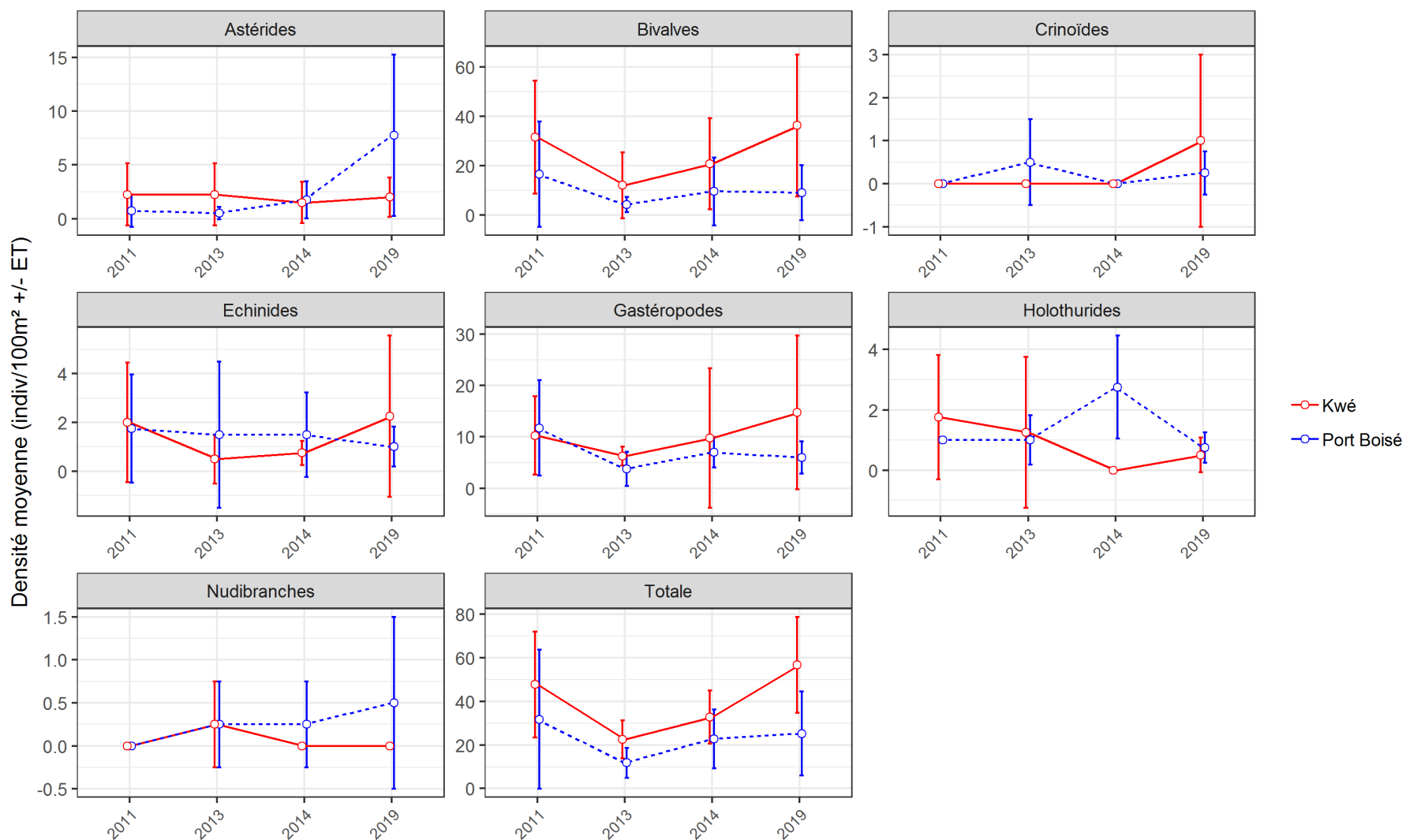


Figure 42 : Evolution de la densité moyenne totale et par sous-groupes taxonomiques (± ET) par baies (Kwé et Port Boisé) et par campagne. L'échelle de chaque graphique est adaptée afin d'en améliorer la visibilité.



### III.3. COMPARAISON À DES RÉCIFS PROCHES (RORC)

#### III.3.1. En 2019

Afin de mener une analyse comparative avec d'autres récifs suivis à proximité de la zone d'étude, il a été fait appel aux données du RORC (Réseau d'Observation des Récifs Coralliens) de Nouvelle-Calédonie, pour la campagne de suivi 2018-2019, avec l'accord de leurs propriétaires (sites de Yaté et de l'île Ouen : Comité Consultatif Coutumier Environnemental CCCE et Observatoire de l'Environnement OEIL ; site de Prony : province Sud *via* le Conservatoire d'espaces naturels).

Les protocoles et méthodes d'inventaire différent entre les deux suivis, ainsi il est important de souligner que :

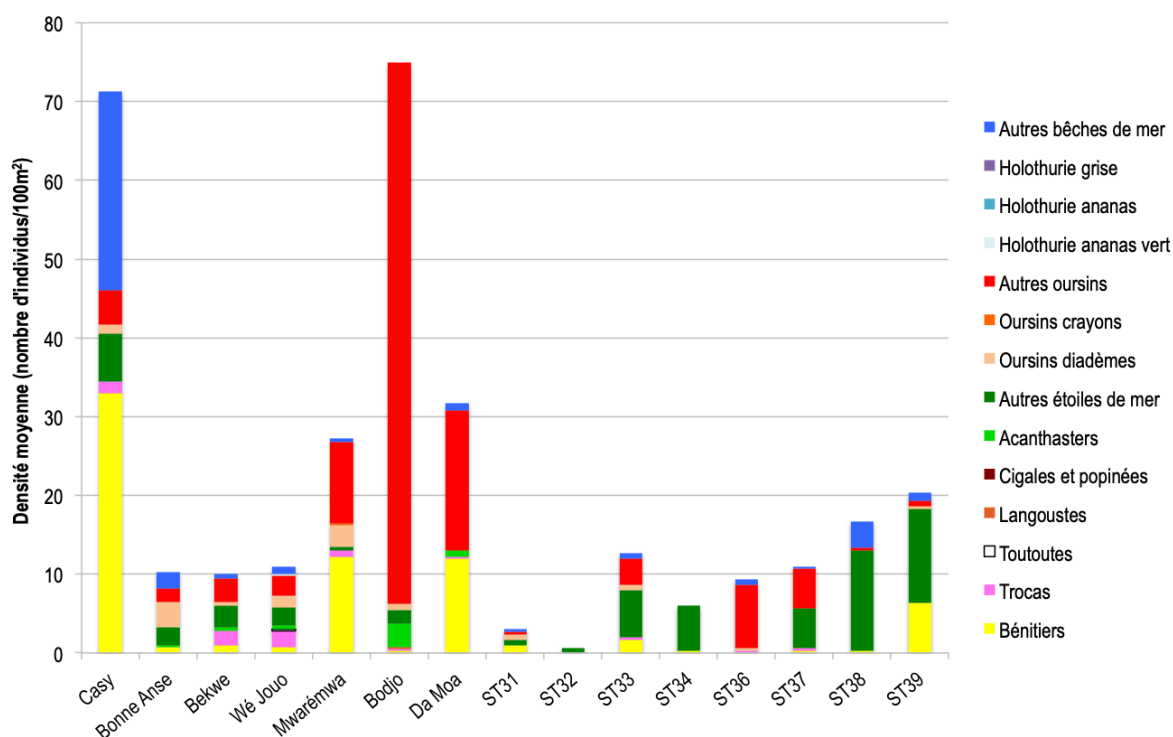
- Le suivi RORC est basé sur l'inventaire d'espèces cibles choisies pour leur rôle écologique ou indicatrices de l'exploitation des ressources marines par l'homme : les données du suivi des baies Kwé et de Port Boisé ont été restreintes aux espèces cibles du RORC afin d'en permettre la comparaison.
- Le suivi RORC est réalisé le long de quatre transects de 20 mètres de long espacés de 5 mètres. Pour les données de ce suivi, le nombre moyen d'individus a été calculé sur la base de ces quatre réplicats. Le suivi des baies Kwé et de Port Boisé a été réalisé le long de trois transects de 20 mètres de long espacés de 10 mètres. Pour les données de ce suivi, le nombre moyen d'individus a été calculé sur la base de ces trois réplicats.
- Les résultats du suivi RORC doivent être utilisés et interprétés à l'échelle des stations et non des sites, le nombre de stations de suivi par site étant trop faible et les stations trop différentes les unes des autres pour donner une indication fiable et réaliste à l'échelle d'un site.

Le Tableau 22 et la Figure 43 présentent les densités et richesses en espèces cibles moyennes par station de suivi et leurs niveaux atteints selon la classification utilisée pour les suivis RORC (Job, 2019 ; 2020). Afin de comparer les jeux de données, les données sur les baies Kwé et Port Boisé ont été filtrées et agrégées au niveau des espèces cibles du RORC (dont la liste est indiquée à la Figure 40).

**Tableau 22 : Densités et richesses en espèces cibles pour les stations des baies Kwé et de Port Boisé et les stations RORC avoisinantes.**

Station	Date de l'inventaire	Densité moyenne totale (nombre d'individus / 100m <sup>2</sup> )		Richesse spécifique totale (nombre d'espèces cibles sur la station)	
Casy	22/12/18	71,25	Élevée	6	Moyenne
Bonne Anse	22/12/18	10,25	Faible	6	Moyenne
Bekwé	30/01/19	10	Faible	7	Moyenne
Wé Jouo (passe de Toémo)	30/01/19	11	Faible	9	Élevée
Mwarémwa (Paradis)	29/01/19	27,25	Moyenne	7	Moyenne
Bodjo	18/10/19	75	Élevée	7	Moyenne
Da Moa	18/10/19	31,75	Élevée	5	Moyenne
ST31	05/11/19	3	Faible	5	Moyenne
ST32	05/11/19	0,67	Faible	1	Faible
ST33	06/11/19	12,67	Faible	6	Moyenne

Station	Date de l'inventaire	Densité moyenne totale (nombre d'individus / 100m <sup>2</sup> )		Richesse spécifique totale (nombre d'espèces cibles sur la station)	
ST34	05/11/19	6	Faible	2	Faible
ST36	04/11/19	9,33	Faible	4	Moyenne
ST37	04/11/19	11	Faible	5	Moyenne
ST38	06/11/19	16,67	Moyenne	4	Moyenne
ST39	04/11/19	20,33	Moyenne	5	Moyenne



**Figure 43 : Densités moyennes totales des invertébrés cibles pour les stations des baies Kwé et de Port Boisé et les stations RORC avoisinantes (campagne 2018-2019).**

Les densités moyennes totales et la composition des peuplements sont très variables d'une station à l'autre, avec des densités maximales pour Casy et Bodjo, dont les peuplements sont respectivement dominés par les bénéitiers et les oursins, et une diversité maximale recensée sur la station de Wé Jouo (haut de la passe de Toémo).

La majorité des récifs abritent des peuplements moyennement variés (entre 4 et 7 espèces cibles par station). On note que les stations suivies au sein des baies Kwé et de Port Boisé sont celles abritant les peuplements les moins variés et les moins abondants.

L'abondance des étoiles de mer est confirmée au sein de plusieurs récifs côtiers suivis par le RORC, notamment Casy (Figure 44) mais également les récifs de Ricaudy (Nouméa Sud), Cardinale Sud (Koumac), darse de Tibarama (Poindimié), Tiari (Ouégoa) et Charbon (Mont Dore) (base de données historique du RORC).

La rareté des oursins a été mise en évidence au sein des récifs de Casy, Bonne Anse, Bekwé et Wé Jouo. Les populations sont très variables et réagissent essentiellement à des cycles naturels (reproduction et recrutement). Parfois, comme c'est le cas sur le récif Bodjo, leur abondance semble augmenter avec la survenue d'une dégradation corallienne qui induit la présence plus marquée d'algues sous la forme d'un film fin recouvrant les coraux morts (S. Job, observations

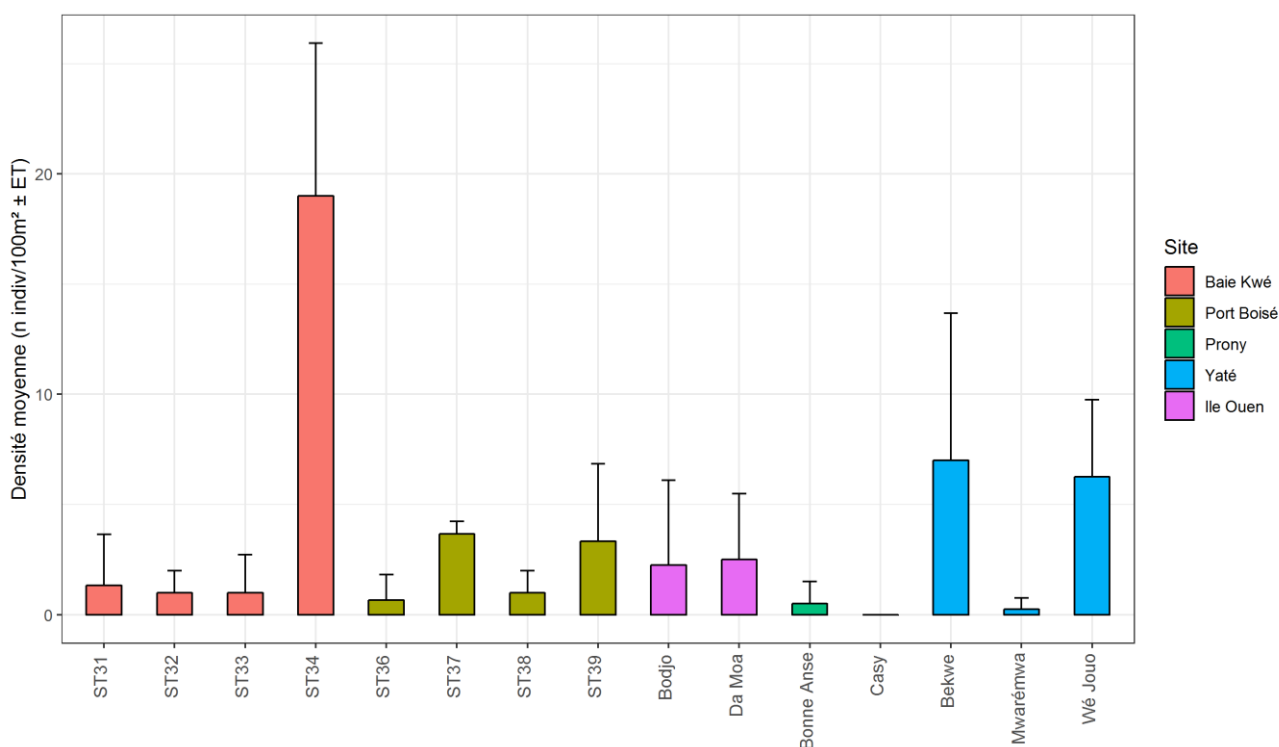
personnelles). Les causes d'apparition des oursins sur un récif sont complexes, une d'entre elle pouvant être la disponibilité de leur nourriture.

La rareté des bénitiers au sein des baies Kwé et de Port Boisé est confirmée sur les récifs de Bonne Anse et Wé Jouo (peu de substrats favorables disponibles liée à une densité corallienne très élevée et possiblement des zones où les apports en larves de bénitiers sont limités), Bekwé et Bodjo (possiblement en lien avec la qualité des eaux, chargées en terre et/ou en eau douce). Notons sur Casy une densité exceptionnelle en bénitiers *via* le recrutement continu de nouveaux individus depuis plusieurs années, particulièrement au sein de deux transects de comptage dont les fonds sont constitués d'une dalle corallienne plane exempte d'algues. Les récifs de Da Moa et Mwarémwa sont également des lieux favorables au recrutement et à la croissance des bénitiers. Ces trois récifs sont baignés dans des eaux claires et bien brassées.

Hormis sur Casy, les bêtes de mer sont assez rares sur l'ensemble des récifs considérés.

Des trocas communs ont également été recensés sur Casy (qui semble être une zone de nurserie pour cette espèce), Bekwé (cuvette sous la double influence des eaux côtières et des eaux claires du canal de la Havannah) et Wé Jouo (eaux claires et bien renouvelées).

Concernant les *Drupella*, comme indiqué plus haut, la densité moyenne globale sur l'ensemble du RORC pour la campagne 2018-2019 est faible, atteignant 3,4 coquillages/100m<sup>2</sup> (Job, 2019 ; 2020). Seuls six récifs (sur les 78 suivis au cours de la campagne 2018-2019) abritent des populations un peu plus abondantes (> 10 coquillages/100m<sup>2</sup>), majoritairement situés dans les Loyauté. Sur l'ensemble des récifs concernés par cette étude, seule la station ST34 se démarque par son abondance en *Drupella*, qui n'atteint toutefois pas une densité inquiétante pour la survie des coraux de cette station (Figure 44).



**Figure 44 : Densités moyennes des coquillages *Drupella* pour les stations des baies Kwé et de Port Boisé et les stations RORC avoisinantes (campagne 2018-2019)**

### III.3.2. Entre 2011 et 2019

Afin d'approcher une analyse comparative de nos résultats avec d'autres récifs suivis à proximité de la zone d'étude, les résultats statistiques d'évolution temporelle des densités moyennes totales des invertébrés cibles des sites de Yaté, île Ouen (sauf Menondja) et Prony ont été considérées sur la période 2011-2019 (Tableau 23).

**Tableau 23 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Campagne) sur les données de densités moyennes des invertébrés cibles sur 7 stations RORC à proximité de la zone d'étude, pour la période 2011-2019 (Job, 2020).**

Site	Station	Test	Significativité	Origine des variations	Espèces concernées
Prony	Casy	ANOVA	NS		Toutefois, une très nette augmentation des bénitiers (significativité masquée par des écarts types très élevés)
Prony	Bonne Anse	ANOVA	$p \leq 0,01$	2018 > 2013 à 2017	Acanthasters, autres étoiles de mer et oursins diadèmes
Yaté	Bekwé	Friedman	NS		
Yaté	Mwarémwa	Friedman	$p \leq 0,05$	2019 > 2013	Oursins et bénitiers
Yaté	Wé Jouo	Friedman	NS		
Ile Ouen	Bodjo	ANOVA	$p \leq 0,05$	2018 et 2019 > 2014 à 2016	Oursins
Ile Ouen	Da Moa	Friedman	$p \leq 0,05$	2018 > 2013 et 2017	Oursins

On remarque que, à l'exception des acanthasters sur Bonne Anse, toutes les variations mesurées vont globalement dans le sens d'une l'amélioration des conditions de vie des communautés coralliennes, avec davantage d'oursins et de bénitiers ces dernières années. Même si les causes d'apparition des oursins sur un récif donné sont complexes, il n'en reste pas moins qu'ils jouent un rôle essentiel dans le contrôle du développement des algues au profit de l'installation des larves coralliennes (et donc dans le potentiel de régénération des récifs après une perturbation). Les bénitiers sont quant à eux de bons indicateurs d'une qualité des eaux propice au développement corallien.

Nos résultats sur les baies Kwé et de Port Boisé ne sont pas en accord avec ces conclusions. Les peuplements d'invertébrés cibles de ces deux baies sont pauvres en oursins comme en bénitiers et aucune évolution de leurs densités n'a été mise en évidence.

# SYNTHESE

## I. CONTEXTE ET HISTORIQUE

---

---

Afin de compléter le suivi réglementaire du milieu marin réalisé par VALE NC, l'OEIL a fait réaliser plusieurs campagnes de suivi des récifs de la baie Kwé et de la baie de Port Boisé en 2011, 2013 et 2014. Ces campagnes, réalisées par des bureaux d'études locaux, ont permis d'évaluer l'état de santé des récifs sur 4 stations dans chaque baie avec trois transects par station : un transect sur le platier, un transect sur le haut de tombant et un transect sur le bas de tombant. 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 2015.

En 2019, l'OEIL et le CCCE ont mandaté SOPRONER pour la réalisation d'une campagne de suivi en adaptant la stratégie d'échantillonnage afin d'améliorer la puissance de détection d'évolutions dans le temps à l'échelle des stations. Ainsi, chaque station est composée de 3 transects au sein d'un habitat unique, afin de limiter la variance naturelle des données liées à la disposition des transects au sein de 3 habitats différents lors des campagnes précédentes. Pour ce nouveau protocole d'inventaire, il a été choisi de cibler le haut de tombant.

Cette campagne a également été l'occasion d'améliorer la matérialisation des stations *in situ* de sorte à permettre une meilleure interopérabilité. Le départ de chaque station a ainsi été matérialisé par un piquet à ailette complété par un fer à béton tous les 5 mètres. Les départs du transect 2 (T2) et du transect 3 (T3) ont été matérialisés par deux piquets juxtaposés. Le cap, pris avec une boussole sous-marine, entre chacun des piquets de la station a également été renseigné de sorte à faciliter les opérations de terrain.

La campagne de 2019 constitue un nouvel état des lieux de l'état de santé des récifs des baies Kwé et Port Boisé. L'utilisation d'un transect par station, commun à chacun des campagnes historiques, a également permis d'apprécier l'évolution du milieu par baie depuis 2011 dans ce rapport.

---

---

## II. SUBSTRAT ET COMMUNAUTES CORALLIENNES

---

---

---

### II.1. ETAT DES LIEUX EN 2019

---

L'état des lieux réalisé en novembre 2019 a permis de caractériser le substrat, les communautés coralliennes et leur état de santé en baie Kwé et baie de Port Boisé.

L'analyse multivariée sur les couvertures de substrats généraux complétée par une Permanova à un facteur (Baie) montre qu'une différence significative de substrat, toute catégories confondues, est observée entre les deux baies. L'examen des couvertures de chaque type de substrat par baie, et par station montre que :

La baie Kwé bénéficie d'une couverture de coraux scléactiniaires environ trois fois plus élevée que celle de Port Boisé et cette différence est significative (respectivement 32% et 18%). Les coraux de la famille Acroporidae contribuent totalement à cette différence et ce grâce à la station ST34, bénéficiant d'une couverture de coraux branchus Acroporidae particulièrement élevée (environ 48%). Cette différence est confirmée par la densité de coraux Acroporidae branchus qui suivent la même tendance dans chaque baie.

Le corail de feu (*Millepora*) est présent dans les deux baies mais sa couverture est trois fois plus élevée en baie de Port Boisé qu'en baie Kwé (environ 9% et 3% respectivement, différence significative). En baie de Port Boisé, cet hydrocoralliaire est présent sur chaque station alors qu'en baie Kwé, il est uniquement observé sur une station en sortie de baie. Il est probable que les conditions hydrodynamiques propres à chaque station et chaque baie soient à l'origine de cette différence.

Enfin, une couverture similaire de cyanobactéries est observée dans les deux baies (environ 5%) et celle-ci est liée à leur présence sur une station de fond baie à Port Boisé et à Kwé (ST32 et ST38) dans une proportion non négligeable (couverture de 15% à 25% selon la station). Si cette présence peut être d'origine naturelle et saisonnière (Abed *et al.* 2003, Charpy *et al.* 2012), elle peut également être liée à une perturbation sur le milieu favorisant leur colonisation (O'Neil *et al.* 2012, Paerl & Paul 2012). Dans cette étude, et en l'absence d'indicateurs permettant d'identifier leur origine, leur présence très localisée dans les deux baies tend à écarter l'implication de l'activité minière dans cette occurrence.

En termes de lésions coralliennes, les lésions liées à la sédimentation sont les plus fréquentes. Elles sont deux fois plus fréquentes en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé, et principalement présentes en fond de baie, zone constituant le premier réceptacle des bassins versants situés en amont. Cette tendance, cohérente avec la couverture de vase plus élevée en fond de baie Kwé qu'en fond de baie de Port Boisé semble indiquer l'existence d'une pression sédimentaire potentiellement plus importante en baie Kwé. Concernant les maladies coralliennes communes de l'Indo-Pacifique, un seul cas de maladie de la bande noire a été observé hors transect et la prévalence de malformations coralliennes reste relativement faible dans chaque baie (<0,2%). Aucun épisode de blanchissement massif n'a été détecté mais la prévalence de colonies blanchies reste significativement supérieure en baie de Port Boisé par rapport à la baie Kwé (respectivement 2,8% et 0,1%). Les colonies de la famille Pocilloporidae et Euphillidae sont les plus touchées en baie de Port Boisé. La famille Pocilloporidae étant parmi les familles les plus sensibles au blanchissement (Marshall & Baird 2000; Edwards *et al.* 2001; McClanahan *et al.* 2004), une prévalence de blanchissement plus élevée en baie de Port Boisé pourrait indiquer une dessalure ou un autre stress plus élevés qu'en baie Kwé lors de notre passage. Les deux baies peuvent en effet être sujettes à des apports d'eau douce conséquents lors d'épisodes pluvieux (EMR 2013).

## II.2. EVOLUTION TEMPORELLE ENTRE 2011 ET 2019

---

Selon la stratégie d'analyse basée sur un transect par station et par baie échantillonné depuis 2011, aucun signal d'impact n'est détecté sur les substrats coralliens en baie Kwé (zone d'impact potentiel) et baie de Port Boisé (zone de contrôle) depuis 2011. Globalement, la période 2011-2013 a été marquée par une baisse de couverture corallienne non significative dans chaque baie, liée aux fortes pluies de juillet 2013. Depuis 2013, on observe une récupération des récifs de chaque baie avec augmentation de couverture corallienne modérée entre 2013 et 2014 puis très prononcée entre 2014 et 2019 (+15 à 20% de couverture). Cette augmentation est principalement liée aux coraux Acroporidae en baie Kwé, et plus précisément aux deux stations de sortie de baie (ST34 et ST33). En baie de Port Boisé, cette augmentation est principalement liée aux Non-Acroporidae, et plus précisément la station ST36 située en sortie de baie. Cette augmentation sur ST36 reste toutefois à relativiser compte tenu de l'absence de piquet en fin de station rendant le placement du ruban incertain par rapport aux campagnes précédentes. Le ruban a en effet été déroulé sur une colonie imposante de *Pavona* sub-massive en suivant les caps fournis par l'OEIL mais il est probable qu'un décalage ait été réalisé, renforçant artificiellement la couverture corallienne sur cette station.

Concernant les autres substrats, la couverture de coraux morts récemment a fortement diminué pour devenir proche de 0% en 2019 dans chaque baie, confirmant l'absence de perturbation récente dans chaque baie. Enfin, si la couverture de coraux de feu (*Millepora*) est restée stable dans chaque baie depuis 2011, l'apparition de cyanobactéries pour la première fois en 2019 sur une station de chaque baie devra être surveillée lors des prochaines campagnes afin d'identifier leur caractère saisonnier et naturel.

Globalement, l'état des lieux réalisé sur le substrat en 2019, complété par l'analyse de l'évolution temporelle depuis 2011, ne montre pas de signal d'impact lié aux activités de VALE en baie Kwé. Les résultats montrent d'avantage une amélioration de l'état de santé des récifs en 2019 avec toutefois l'apparition localisée de cyanobactéries qui restera à surveiller.

## II.3. COMPARAISON À D'AUTRES RÉCIFS PROCHES

---

Une comparaison des couvertures de coraux vivants et par formes entre les stations par le RORC et les sites suivis par l'OEIL a été réalisée. Pour cette comparaison, la couverture de coraux de feu (*Millepora*) a été incluse dans la couverture de coraux.

Les couvertures coralliennes, particulièrement variables selon les stations, oscillent entre 15% et 60% environ. Globalement, les stations de Port Boisé présentent les couvertures les plus faibles du jeu de stations mais celles-ci restent toutefois proches de 20% à minima. En termes d'évolution du substrat depuis 2011, le RORC a observé une certaine stabilité ou une augmentation de la couverture corallienne sur les 7 stations utilisées pour la comparaison. Ces résultats confirment la tendance observée en baie Kwé et Port Boisé avec une augmentation de la couverture corallienne entre 2014 et 2019.



### III. PEUPLEMENT ICHTYOLOGIQUES

---

---

#### III.1. ETAT DES LIEUX EN 2019

---

L'analyse des données 2019 a permis de caractériser efficacement l'ichtyofaune dans les zones échantillonnées, d'en mesurer avec succès la variabilité intrinsèque dans une optique d'analyses statistiques, et de mettre en œuvre les démarches analytiques nécessaires à un diagnostic rigoureux concernant l'influence du complexe de Vale NC sur l'ichtyofaune de la baie Kwé.

Les données issues de la campagne 2019 et de son plan d'échantillonnage amélioré ont fait apparaître une forte similitude des caractéristiques de l'ichtyofaune récifale entre la baie Kwé et la baie de Port Boisé. Cette similitude se retrouve tant sur les paramètres quantitatifs (densité, biomasse) que sur la richesse spécifique, à la fois en termes de niveaux absolus que de structuration selon différents critères (potentiel commercial, groupes trophiques, familles indicatrices).

Ces caractéristiques détaillées, telles qu'observées en 2019 :

- sont cohérentes avec le type de récifs présent dans ces baies (récifs frangeants abrités sous influence terrigène et sous influence d'une population rurale diffuse) ;
- ne montrent pas d'anomalie structurelle notable, et attestent de peuplements ichtyologiques sains pour ce type de biotope.

#### III.2. EVOLUTIONS TEMPORELLES SUR LA PÉRIODE 2011-2019 ET RECHERCHE DE SIGNAUX D'IMPACT

---

Les évolutions de l'ichtyofaune dans les deux baies et les analyses qui en ont été faites suggèrent, dans l'état actuel des données temporelles disponibles, une relative stabilité entre les quatre campagnes, à l'exception de quelques variations ponctuelles ne constituant *a priori* pas des signaux de perturbation. Ces dernières ont, selon les cas, pu être en partie reliées à des fluctuations naturelles des peuplements observables ou à la diminution du recouvrement en corail vivant constatée en 2013. La stabilité de la richesse spécifique, qui présente un potentiel d'indicateur supérieur aux paramètres quantitatifs que sont la densité et surtout la biomasse, permet cependant de relativiser les fluctuations ponctuelles observées sur ces deux derniers paramètres et d'écarter tout signe de perturbation notable sur l'historique de données disponibles.

Par ailleurs, les modélisations CI n'ont présenté quasiment aucune significativité du facteur d'interaction « Campagne x Baie » (25 cas non-significatifs sur 27 cas testés<sup>7</sup>), suggérant *a priori* une absence de signal d'impact en baie Kwé sur l'ichtyofaune.

Il convient toutefois de prendre compte avec précaution les résultats et interprétations impliquant les données historiques de suivi, qui doivent dans le cadre de cette étude 2019 rester purement indicatifs. En effet, les intervenants et les modalités d'opération sur le terrain ont significativement

---

<sup>7</sup> 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 (illustré par les écart-types).

varié entre 2011 et 2014, et l'échantillonnage a évolué pour prendre une forme optimisée en 2019. Dans le cas de l'ichtyofaune, l'évolution est importante puisque la longueur de comptage a été améliorée (transects de 20 m sur 2011-2014 puis de 50 m en 2019), correspondant donc à une appréhension différente de l'ichtyofaune locale.

Dans ce contexte, il apparaît difficile de déterminer avec rigueur si les variations historiques observées correspondent à des phénomènes réels ou à des artéfacts liés à l'inconstance des conditions d'échantillonnage entre les années (ex. : difficultés de balisage et de continuité dans le positionnement *in situ* des transects sur la séquence 2013-2014, cf. conclusions de la partie sur les habitats qui discutent l'effet potentiel d'un décalage de transect sur les données) et/ou à l'évolution de l'échantillonnage en 2019 (notamment la longueur des transects de comptage de l'ichtyofaune).

On constate à ce titre une diminution globale de la variabilité des paramètres d'ichtyofaune en 2019, suggérant une meilleure représentativité du nouvel échantillonnage (qui dédie une plus grande longueur de comptage à profondeur constante). Ceci, s'ajoutant à des transects désormais pleinement matérialisés *in situ* et cartographiés, et à des méthodes analytiques désormais en place, permet d'envisager la poursuite d'un suivi rigoureux (meilleure puissance analytique et donc de détection de signaux d'impact). Notamment, l'obtention d'un second point temporel selon cette nouvelle approche permettra d'initier une série temporelle cohérente et pleinement exploitable pour étudier la trajectoire conjointe des habitats et de l'ichtyofaune.

## IV. INVERTEBRES MACROBENTHIQUES

---

---

### IV.1. ETAT DES LIEUX EN 2019

---

L'état des lieux réalisé en novembre 2019 a permis de caractériser les communautés d'invertébrés benthiques au sein des baies Kwé et de Port Boisé. Les inventaires ont été menés sur une liste d'espèces restreinte aux échinodermes, mollusques et ascidies.

Globalement, les peuplements d'invertébrés cibles de la zone d'étude sont moyennement variés et peu abondants, au sein de chaque station de suivi. On note par ailleurs que les peuplements sont très hétérogènes, à l'échelle des transects d'une même station comme à l'échelle des stations au sein de chaque baie, rendant la détection statistique de différences spatiales ou temporelles difficile.

À l'échelle des stations, les peuplements les plus riches et les plus abondants sont situés au sein des fonds de baie, et particulièrement en station ST39 (fond de baie de Port Boisé). Sur toutes les stations, ce sont les mollusques qui dominent en densité comme en richesse spécifique. Des espèces de bivalves inféodées aux massifs de Porites vivants sont les plus abondantes (*Pedum spondyloideum*, *Arca* cf. *ventricosa*). Une densité plus élevée en gastéropodes par rapport aux autres récifs est recensée en ST34, il s'agit majoritairement de coquillages corallivores (*Drupella cornus* et *Coralliophila violacea*) au sein des Acroporidae branchus (*Drupella*) et *Porites* cf. *lobata* (*Coralliophila*). On note une bonne représentation des étoiles de mer sur la quasi-totalité des stations. Ce type de peuplement se retrouve sur de nombreux récifs côtiers de Nouvelle-Calédonie. Enfin, on retiendra que l'ensemble de ces récifs abrite peu d'espèces indiquant le bon état écologique du milieu : oursins, bénitiers et holothuries sont rares et peu variés.

À l'échelle des baies, nous avons pu mesurer que la densité totale moyenne des invertébrés cibles relevée au sein de la baie Kwé est supérieure à celle de la baie de Port Boisé, toutefois cette différence n'est pas significative. La richesse spécifique moyenne est légèrement supérieure au sein de la baie de Port Boisé, à nouveau cette différence n'est pas significative. L'étude des peuplements de chaque baie au niveau des sous-groupes taxonomiques indique qu'elles abritent toutes deux des peuplements dominés par les bivalves.

En termes de composition spécifique, seule la richesse moyenne en holothuries est significativement supérieure en baie de Port Boisé (les quatre stations de Port Boisé en abritant contrairement à la baie Kwé où seules deux stations en comportaient ; ces animaux étant mobiles et le nombre total d'espèces d'holothuries recensées au sein de la zone d'étude étant limité à quatre espèces, cette différence significative entre les deux baies n'a que peu de poids écologiquement.), tous les autres taxa sont similaires.

En termes de densité, les données sont plus variables d'une baie à l'autre avec des gastéropodes (majoritairement corallivores) et bivalves (inféodés aux massifs de Porites) plus abondants en baie Kwé, des étoiles de mer et oursins plus abondants (bien que rares) en baie de Port Boisé.

### IV.2. EVOLUTION TEMPORELLE ENTRE 2011 ET 2019

---

Selon la stratégie d'analyse basée sur un transect par station et par baie échantillonné depuis 2011, aucun signal d'impact n'est détecté sur les peuplements d'invertébrés cibles en baie Kwé (zone d'impact potentiel) et en baie de Port Boisé (zone de contrôle) depuis 2011.

Les analyses statistiques sur l'évolution temporelle des densités et richesses spécifiques moyennes n'ont révélé aucune variation significative entre 2011 et 2019 des peuplements d'invertébrés des deux baies inventoriées.

Pour la baie Kwé, on retiendra toutefois des données de densité assez variables dans le temps, principalement guidées par l'évolution de la densité des bivalves. Cette évolution semble davantage être le reflet d'un biais d'échantillonnage (inventaire d'une portion différente de récif, les piquets matérialisant les stations n'étant pas systématiquement retrouvés lors des campagnes de suivi successives) que d'une modification naturelle du peuplement. La structuration des peuplements d'invertébrés cibles de la zone d'étude étant intimement liée à la composition des habitats, et notamment à la présence de coraux massifs du genre *Porites* (habitats de nombreux bivalves) dont la répartition est éparse et inégale au sein de la zone d'étude, le déplacement du ruban métré peut induire des variations importantes dans les peuplements d'invertébrés.

La modification de l'habitat entre 2011 et 2019 (baisse du taux de corail vivant entre 2011 et 2013 suivie d'une régénération depuis 2013, particulièrement des coraux branchus en baie Kwé et submassifs en baie de Port Boisé) n'est pas de nature et d'amplitude à avoir influencé le peuplement d'invertébrés cibles de la zone d'étude.

Globalement, l'état des lieux réalisé sur les invertébrés benthiques en 2019, complété par l'analyse de l'évolution temporelle depuis 2011, ne montre pas de signal d'impact lié aux activités de VALE NC en baie Kwé.

---

### IV.3. COMPARAISON À D'AUTRES RÉCIFS PROCHES (RORC)

---

Une comparaison des peuplements d'invertébrés cibles d'une sélection de stations de suivi RORC situées à proximité de la zone d'étude avec nos données a été réalisée, en prenant en compte les différences de protocole et de méthodes d'inventaire.

Cette analyse comparative permet de mettre en lumière la présence de peuplements spatialement très disparates (en termes d'abondance particulièrement). Par ailleurs, nos données sur les baies Kwé et Port Boisé font parties des moins variées et moins denses. La rareté de certains animaux (oursins, bêtes de mer, bénitiers) ou *a contrario* leur forte abondance (étoiles de mer) se retrouvent sur certains récifs du RORC.

Les conditions environnementales nécessaires au développement et au maintien des récifs coralliens permettent dans bien des cas d'expliquer ces faibles niveaux de population.

Concernant les coquillages corallivores *Drupella*, également recensés dans le cadre du RORC, la densité moyenne globale sur l'ensemble du réseau de surveillance calédonien pour la campagne 2018-2019 est faible (3,4 coquillages/100m<sup>2</sup>) et aucun des récifs du RORC ni des baies Kwé et Port Boisé n'atteint un seuil de densité inquiétant pour la survie des récifs.

L'analyse comparative de l'évolution temporelle de l'ensemble de ces récifs entre 2011 et 2019 indique que les récifs RORC abritent des peuplements d'invertébrés cibles stables ou en amélioration (davantage d'oursins et/ou de bénitiers ces dernières années) sur cette période, tandis que les peuplements des baies Kwé et de Port Boisé restent stables et à de faibles niveaux de densité et de diversité.

## CONCLUSION

L'analyse des données 2019 a permis de caractériser efficacement les communautés récifales dans les zones échantillonnées, d'en mesurer avec succès la variabilité intrinsèque dans une optique d'analyses statistiques, et de mettre en œuvre les démarches analytiques nécessaires à un diagnostic rigoureux concernant l'influence du complexe de Vale NC sur les récifs de la baie Kwé.

À des fins de comparaison temporelle et de recherche de signaux d'impacts, l'amélioration de la stratégie d'échantillonnage par l'implantation de 3 réplicats par station sur un unique habitat permet dorénavant de mener une approche Contrôle-Impact robuste qui devra impérativement être poursuivie lors de prochaines campagnes selon un schéma analytique identique. Afin d'affiner le diagnostic lors des prochaines campagnes, une analyse par typologie de station (fond de baie versus sortie de baie) permettrait d'augmenter la probabilité de détection d'un signal d'impact. En effet, ces types de récif accueillent généralement des communautés récifales différentes, liées aux conditions environnementales qui y règnent, pouvant être à l'origine d'une forte variabilité lors de la réalisation d'un diagnostic à l'échelle de la baie.

Enfin, les analyses de ce présent rapport ont montré l'importance de réaliser une campagne d'échantillonnage annuelle au regard des fortes évolutions qui ont pu être observées au cours des cinq dernières années. Cette fréquence permettrait de faciliter l'identification des causes étant à l'origine d'évolutions importantes en les corrélant aux différents événements de l'année écoulée (épisode de blanchissement thermique, invasion d'Acanthasters, cyclones, accident industriel). Cette fréquence permettrait également de garantir des inventaires sur les mêmes transects à chaque campagne, en réalisant un entretien annuel des stations.

En conclusion, l'étude réalisée en 2019 ne montre pas de signal d'impact lié à l'activité de VALE NC sur le substrat, les peuplements ichtyologiques et les peuplements benthiques en baie Kwé. Toutefois, l'analyse de l'état de santé des coraux complété par la couverture de vase en fond de baie, semble indiquer une pression sédimentaire plus élevée en baie Kwé qu'en baie de Port Boisé. Si l'origine précise de cette pression ne peut être déterminée, elle est liée au lessivage naturel des bassins versants renforcé potentiellement par les incendies et/ou l'activité minière. Globalement, les récifs coralliens de ces deux baies reflètent un état de santé général variable selon les stations mais toutefois similaire à ce qui est observé sur d'autres récifs frangeants sous influence terrigène en Nouvelle-Calédonie. Si l'évolution temporelle 2011-2019 reste limitée à l'étude d'un seul transect commun par station, le renforcement de la stratégie d'échantillonnage en 2019, améliorant la capacité de détection d'impact, permettra de reproduire une approche CI robuste dès les prochaines campagnes.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abed RM, Palinska KA, Camoin G & Golubic S (2006) Common evolutionary origin of planktonic and benthic nitrogen-fixing oscillatorian cyanobacteria from tropical oceans. *FEMS Microbiology Letters* 260: 171–177
- Anderson MJ, Gorley RN & Clarke KR (2008) PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E: Plymouth, UK
- 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.
- Charpy LK Palinska A, Casareto B, Langlade MJ, Suzuki Y, Abed RMM & Golubic S (2010) Dinitrogenfixing cyanobacteria in microbial mats of two shallow coral reef ecosystems. *Microbial Ecology* 59: 174–186
- 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.
- Drouzy M., Douillet Pascal, Fernandez J. M., Pinazo C. (2019). Hydrodynamic time parameters response to meteorological and physical forcings : toward a stagnation risk assessment device in coastal areas. *Ocean Dynamics*, 69 (8), 967-987. ISSN 1616-7341.
- Edwards AJ, Clark S, Zahir H, Rajasuriya A, Naseer A, Rubens J (2001). Coral bleaching and mortality on artificial and natural reefs in Maldives in 1998, sea surface temperature anomalies and initial recovery. *Mar Poll Bull* 42(1): 7–15
- 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.
- Hill J & Wilkinson C. (2004) *Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs*. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Version 1, 1-116.
- Hooper DU, Solan M, Symstad A, Diaz S, Gessner MO, Buchmann N, Degrange V, Grime P, Hulot F, Mermillod-Blondin F, Roy J, Spehn E, van Peer L (2002) Species diversity, functional diversity and ecosystem functioning. In: *Biodiversity and ecosystem functioning. Synthesis and perspectives*. Oxford University Press.
- Hourrigan T, Tricas T, Reese E (1988) Coral reef fishes as indicators of environmental stress in coral reefs. In: Soule D, Kleppel G (eds) *Marine organisms as indicators* 6:107-35.
- Job S (2019). Réseau d'observation des récifs coralliens (RORC) de Nouvelle-Calédonie. Campagne 2018-2019. Sites des îles Loyauté. Rapport CORTEX. Province des îles Loyauté. 76 p. + annexes 155 p.
- Job S (2020). Réseau d'observation des récifs coralliens (RORC) de Nouvelle-Calédonie. Campagne 2018-2019. Sites de Yaté, île Ouen et île des Pins. Rapport CORTEX. CCCE/OEIL. 59 p. + annexes 49 p.
- Jones GP (1991) Post-recruitment processes in the ecology of coral reef fish populations: a multifactorial perspective. In: Sale PF (éd.) *The ecology of fishes on coral reefs*. Academic Press, San Diego.
- Jones GP, McCormick MI, Srinivasan M, Eagle JV (2004) Coral decline threatens fish biodiversity in marine reserves. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 101: 8251-8253.
- Kulbicki M (2006) *Ecologie des poissons lagunaires de Nouvelle Calédonie*. Thèse Doctorat EPHE, Université de Perpignan : 189 pages + annexes 500 pages
- Kulbicki M, Sarramégnas S (1999) Comparison of density estimates derived from strip transect and distance sampling for underwater visual census: a case study of Chaetodontidae and Pomacanthidae. *Aquatic Living Resources* 12: 315-325.
- Kulbicki M, Guillemot N, Amand M (2005a) A general approach to length-weight relationships for New Caledonian lagoon fishes. *Cybium* 29(3): 235-252.
- Kulbicki M, Bozec Y-M, Labrosse P, Letourneur Y, Mou Tham G, Wantiez L (2005b) Diet composition of carnivorous fishes from coral reef lagoons of New Caledonia. *Aquatic Living Resources* 18(3): 231-250.
- Kulbicki M, Sarramégnas 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.
- Marshall PA, Baird AH (2000) Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral Reefs* 19: 155–163
- Melanopus (2007) *Etat de référence des habitats coralliens le long du nouveau tracé de l'émissaire marin en baie Kwé et canal de la Havannah*.

- 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
- 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.
- O'Neil JM, Davis TW, Burford MA & Gobler CJ (2012) The rise of harmful cyanobacteria blooms: the potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algae* 14: 313–334.
- 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.
- Paerl HW & Paul VJ (2012) Climate change: links to global expansion of harmful cyanobacteria. *Water Research* 46: 1349–1363
- 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.
- Purcell, S.W., Gossuin, H. and Agudo, N.N. 2009. Status and management of the sea cucumber fishery of la Grande Terre, New Caledonia. Programme ZoNéCo. WorldFish Center Studies and Reviews No. 1901. The WorldFish Center, Penang, Malaysia. 138 p.
- 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.
- Sarramégna S (2000) Caractérisation des communautés biologiques coralliennes dans le cadre du projet Goro Nickel. Association calédonienne de recherche en environnement marin. Rapport préliminaire.
- 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.

- Thollot & Wantiez consultants (1994) Etude de caractérisation biologique des milieux marins et dulçaquicoles sur la région de Prony. Projet Goro Nickel. A2EP, 78pp.
- 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.
- 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

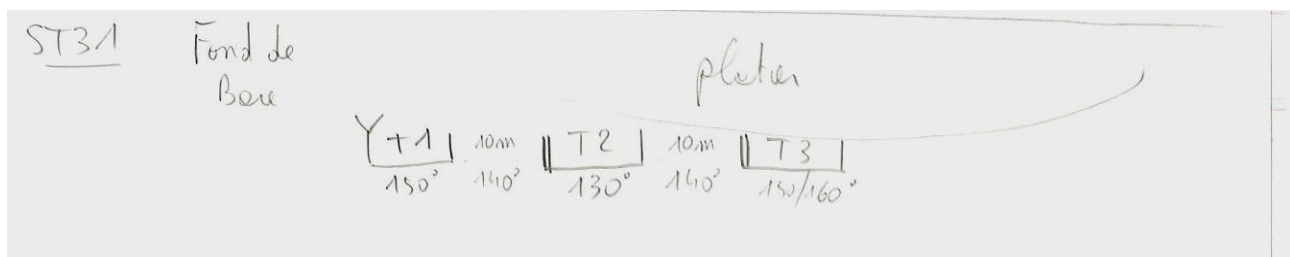
## ANNEXE I : DESCRIPTION ET PLAN DES STATIONS

### I.1. ST31

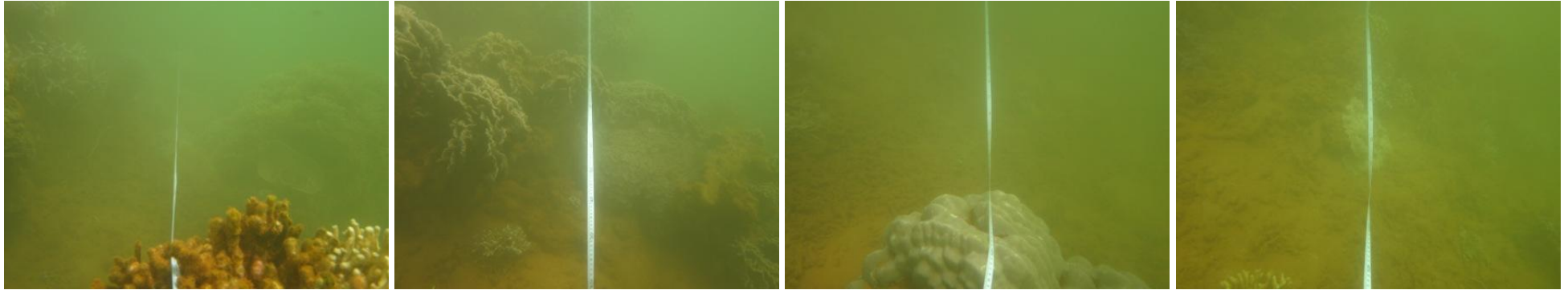


	<b>Planche 1: Positionnement des stations de suivi</b>	Format = A4 Echelle = 1:50 000	Dessinateur : TH Affaire N° : 19042 Fichier : Planche 1
--	--	--------------------------------------	---

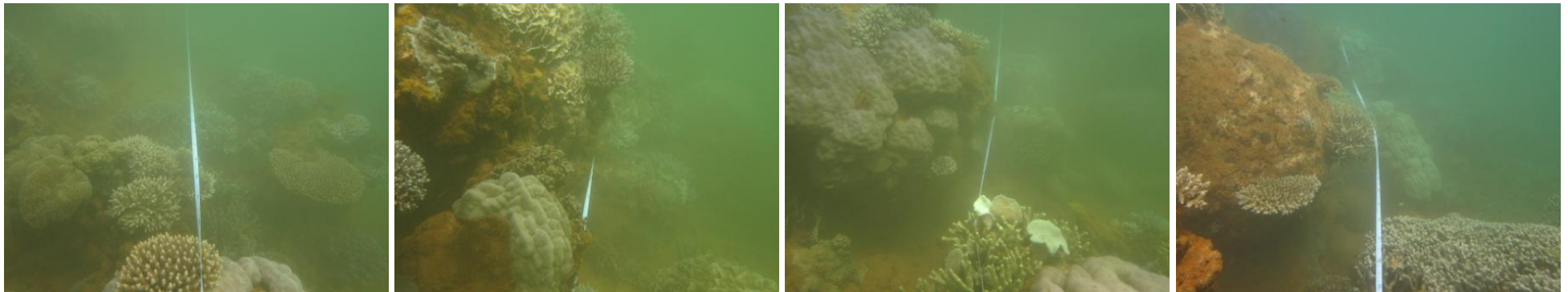
Profondeur au départ de la station : 2m



T1



T2



T3

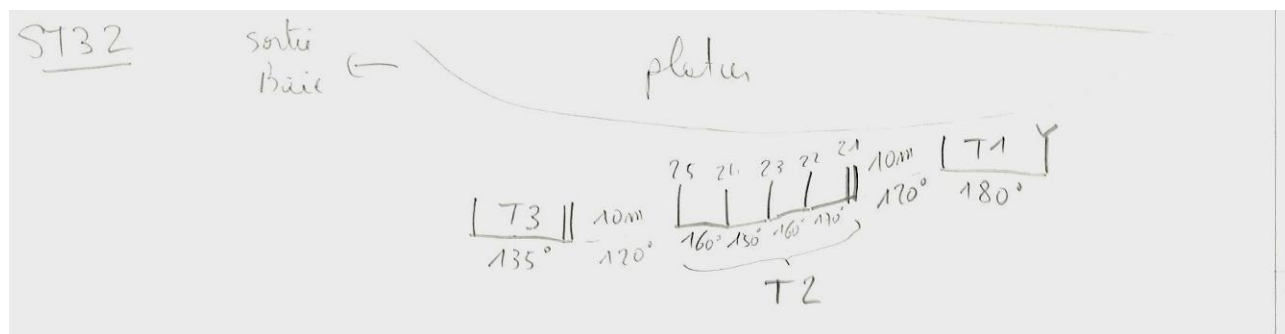


## I.2. ST32

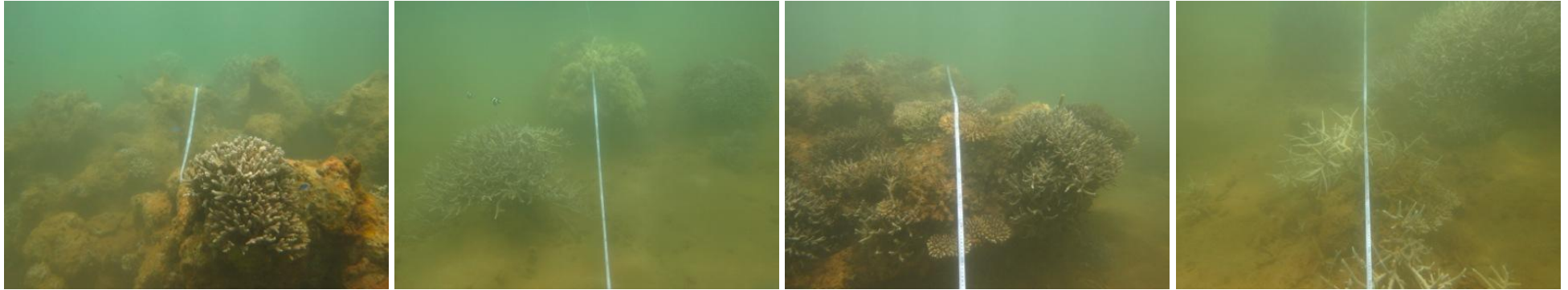


	<b>Planche 1: Positionnement des stations de suivi</b>	Format = A4 Echelle = 1:50 000	Dessinateur : TH Affaire N° : 19042 Fichier : Planche 1
--	--	-----------------------------------	---

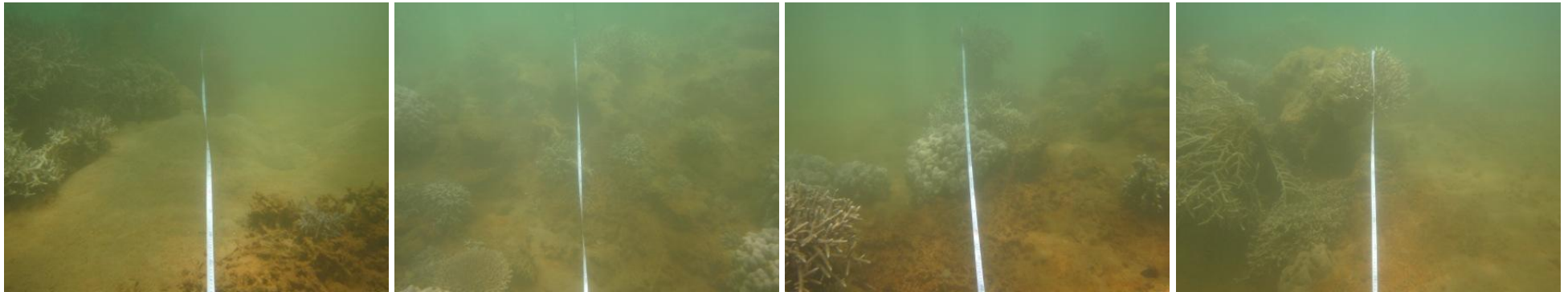
Profondeur au départ de la station : 2m



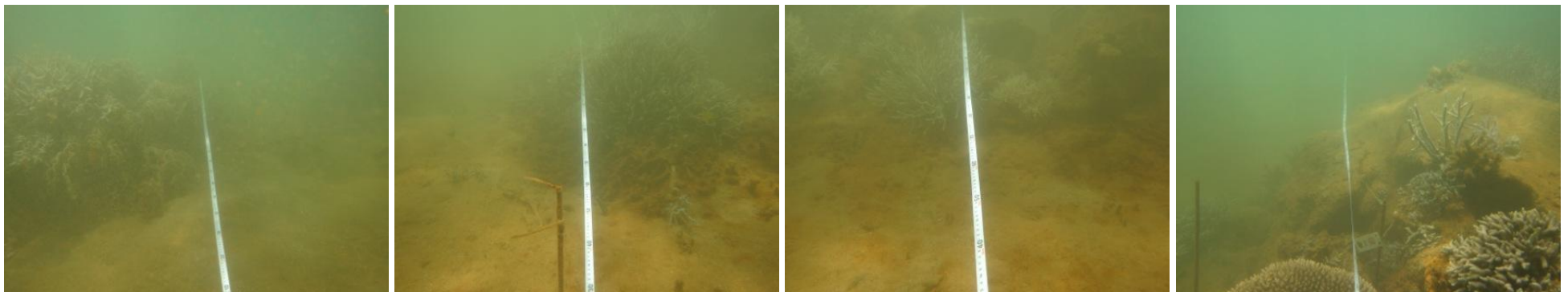
T1



T2



T3



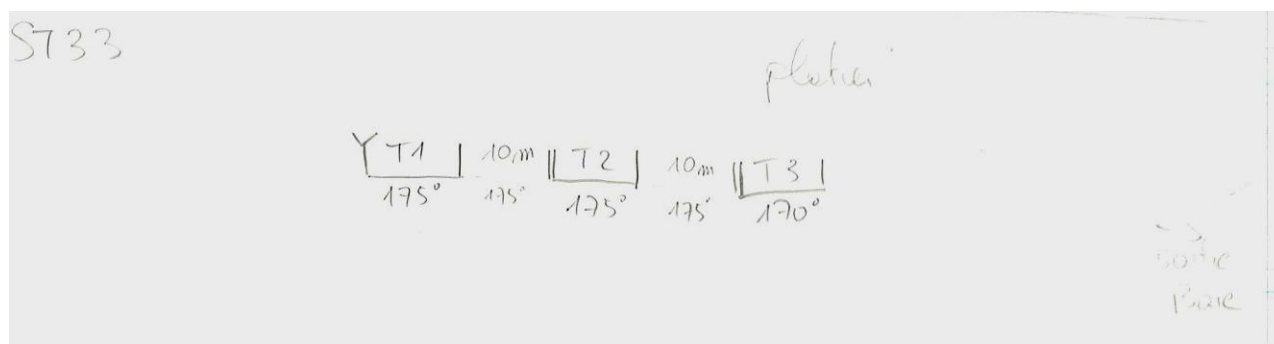


## I.1. ST33



	<b>Planche 1: Positionnement des stations de suivi</b>	Format = A4 Echelle = 1:50 000	Dessinateur : TH Affaire N° : 19042 Fichier : Planche 1
--	--	-----------------------------------	---

Profondeur au départ de la station : 2m



T1



T2



T3

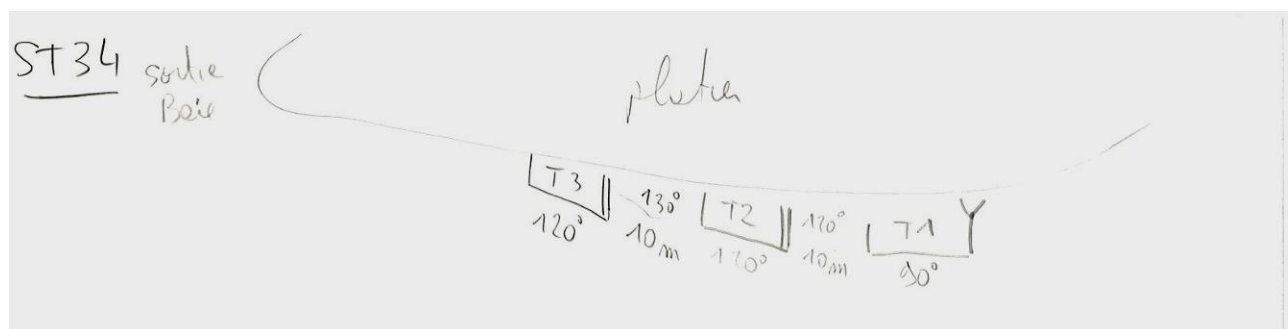


## I.1. ST34



	<b>Planche 1: Positionnement des stations de suivi</b>	Format = A4 Echelle = 1:50 000	Dessinateur : TH Affaire N° : 19042 Fichier : Planche 1
--	--	--------------------------------------	---

Profondeur au départ de la station : 2m



T1



T2



T3

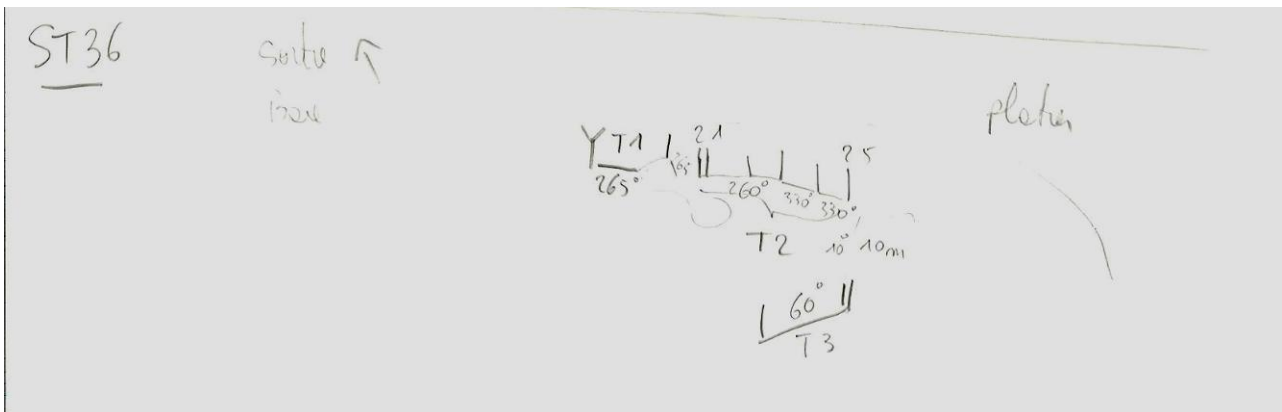


I.1. ST36

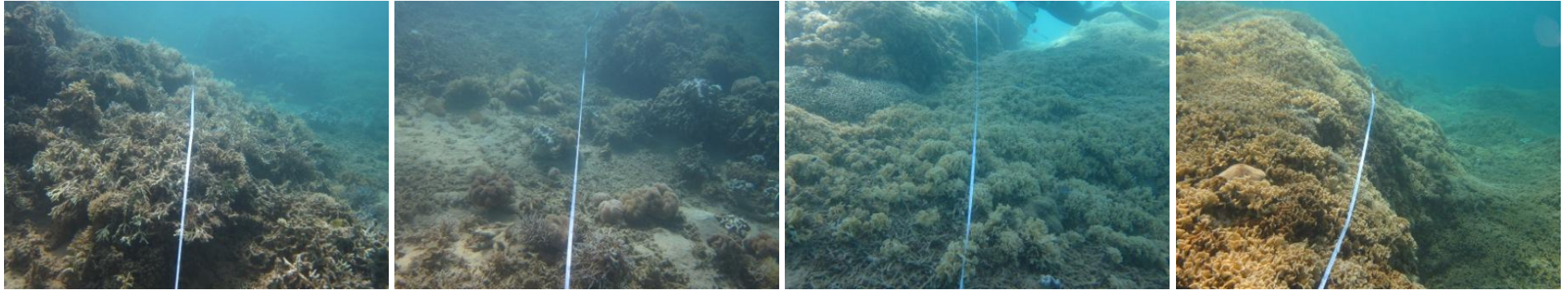


	<p><b>Planche 1: Positionnement des stations de suivi</b></p>	<p>Format = A4                  Echelle =                  1:50 000</p>	<p>Dessinateur : TH                  Affaire N° : 19042                  Fichier : Planche 1</p>
--	---	---	--

Profondeur au départ de la station : 2m



T1



T2



T3

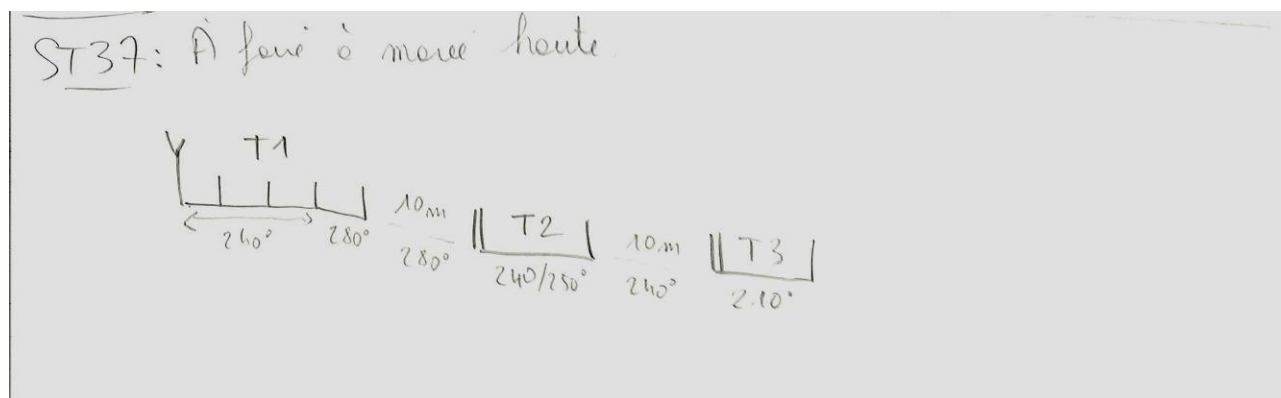


## I.1. ST37



	<b>Planche 1: Positionnement des stations de suivi</b>	Format = A4 Echelle = 1:50 000	Dessinateur : TH Affaire N° : 19042 Fichier : Planche 1
--	--	-----------------------------------	---

Profondeur au départ de la station : 2m



T1



T2



T3

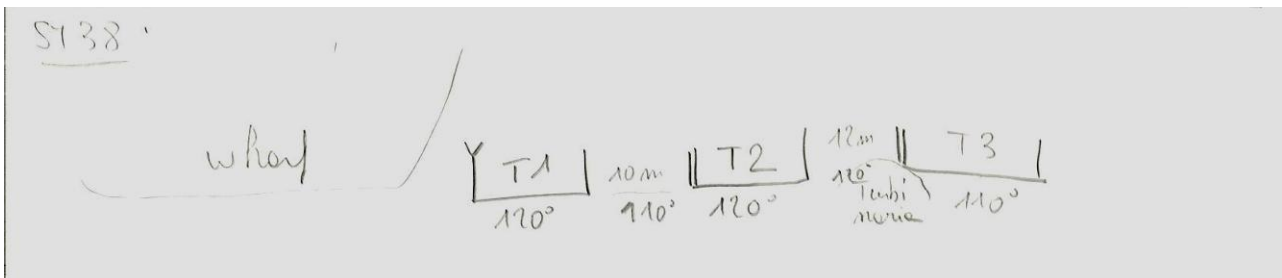




## I.2. ST38



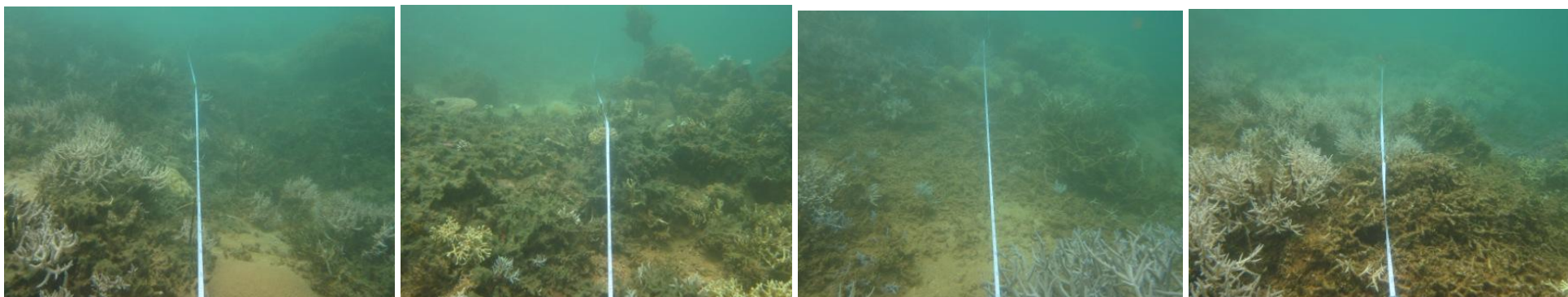
Profondeur au départ de la station : 3,5m



T1



T2



T3

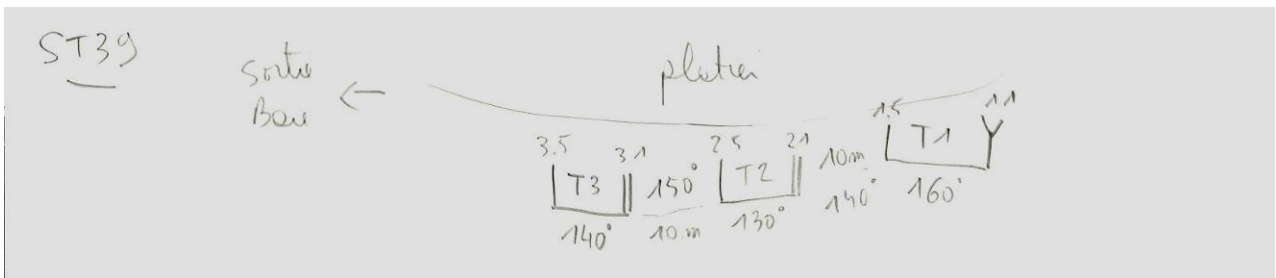


### I.3. ST39



	<b>Planche 1: Positionnement des stations de suivi</b>	Format = A4 Echelle = 1:50 000	Dessinateur : TH Affaire N° : 19042 Fichier : Planche 1
--	--	-----------------------------------	---

Profondeur au départ de la station : 3m



T1



T2

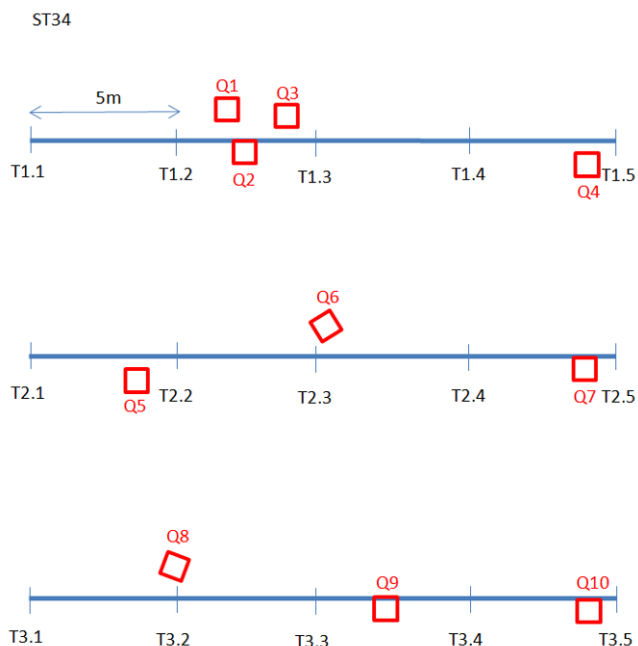


T3

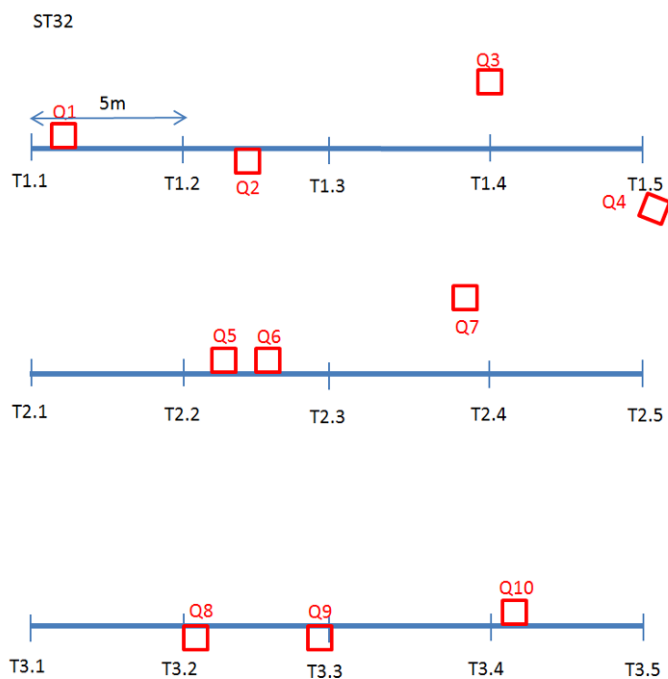


## ANNEXE II : PLANS DE SITUATION DES PHOTO-QUADRATS

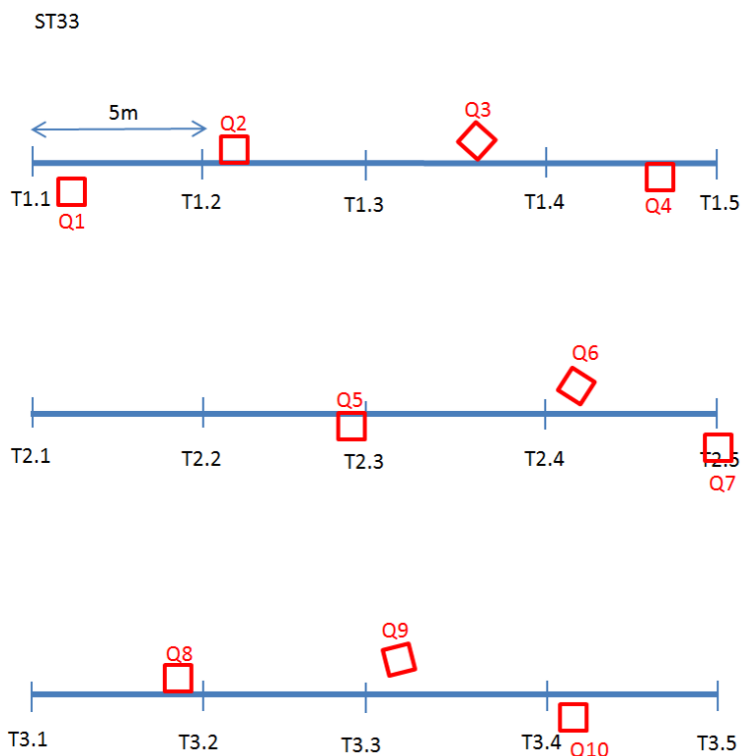
### I.4. ST31



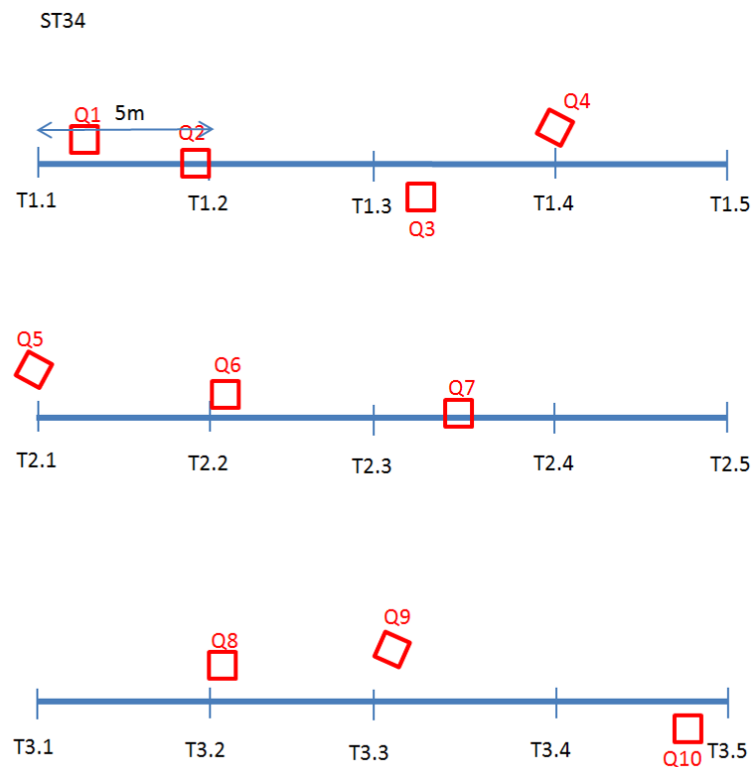
### I.5. ST32



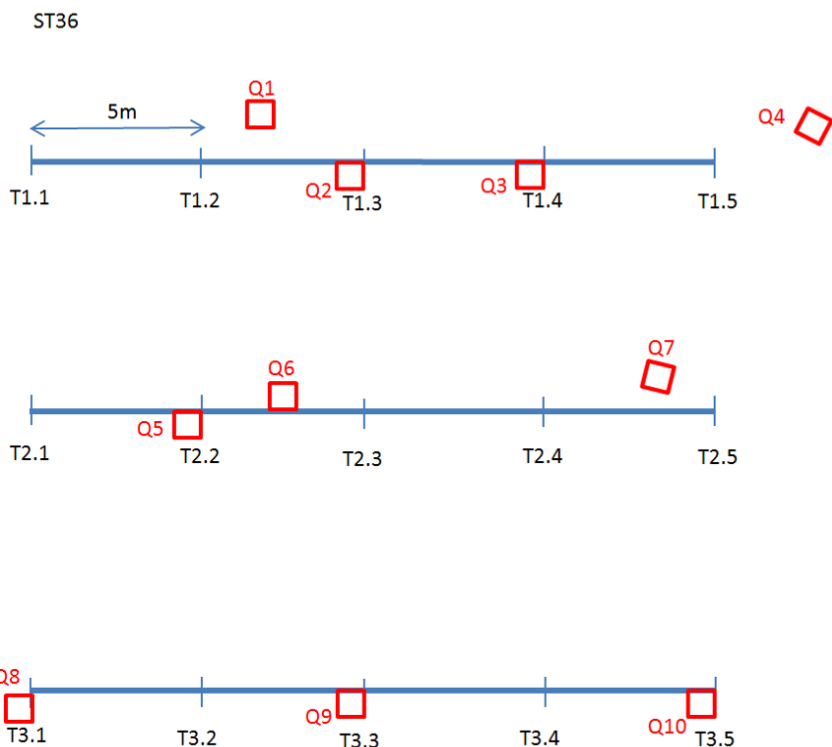
## I.6. ST33



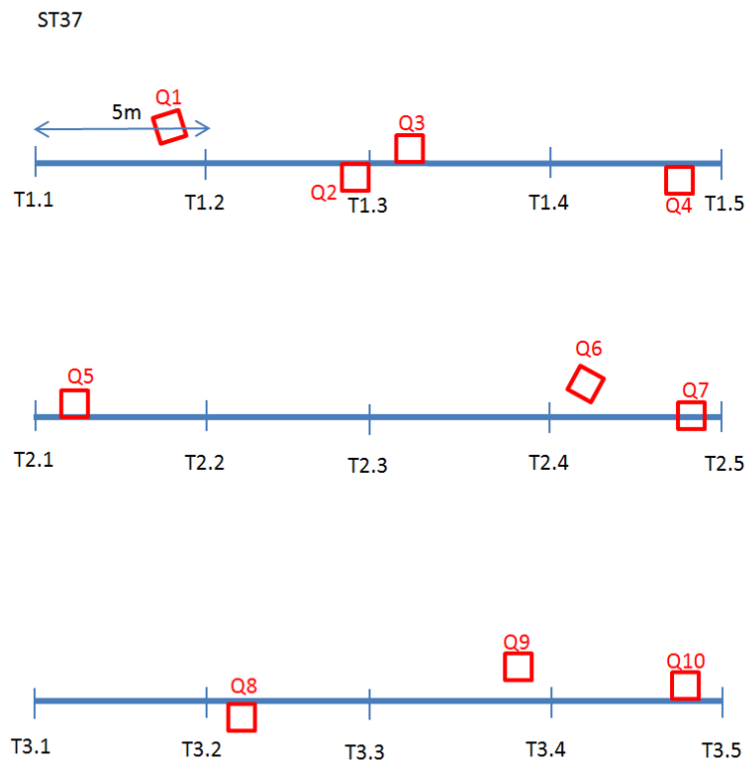
## I.7. ST34



## I.8. ST36

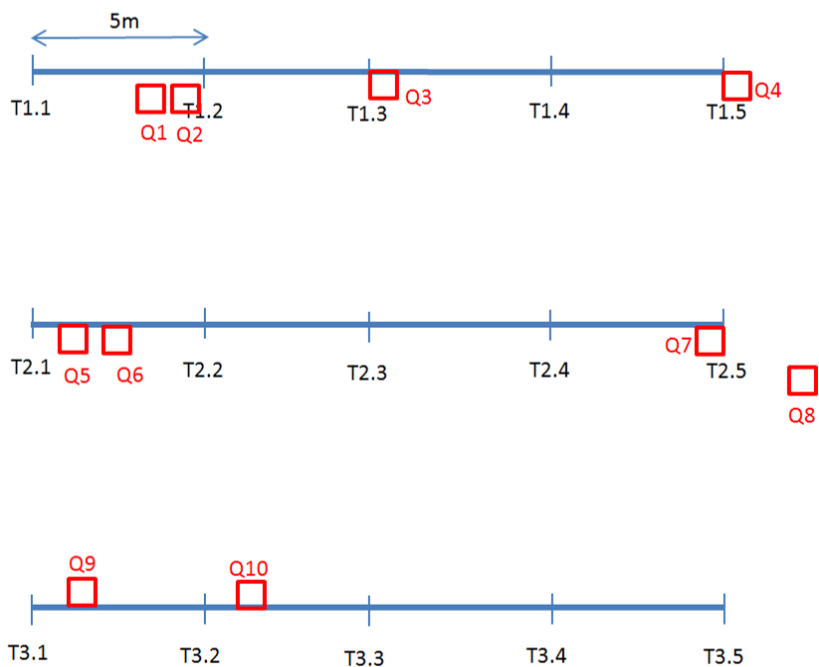


## I.9. ST37



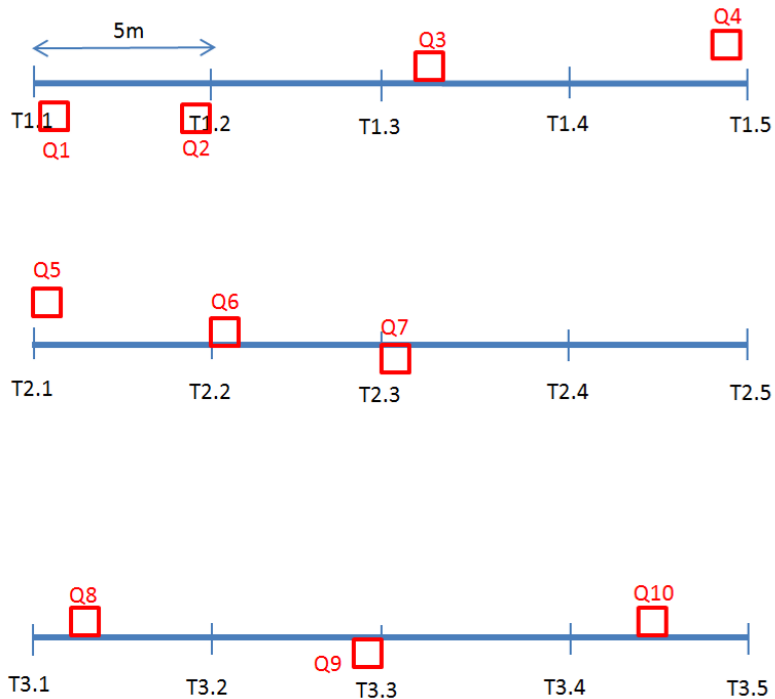
## I.10. ST38

ST38



## I.11. ST39

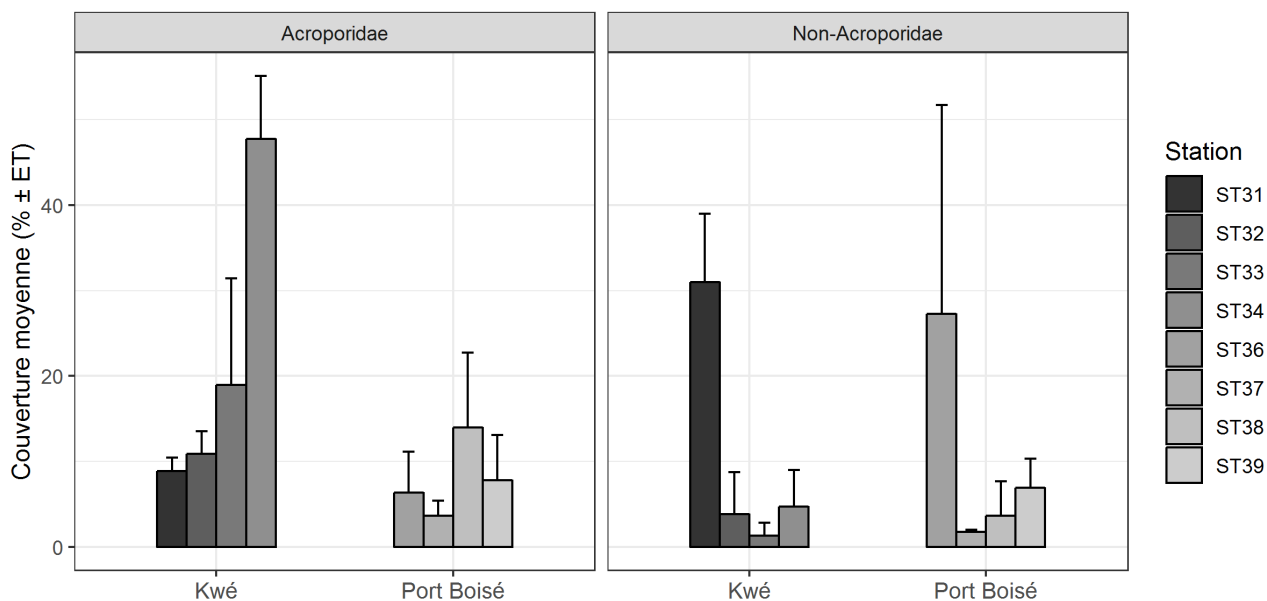
ST39

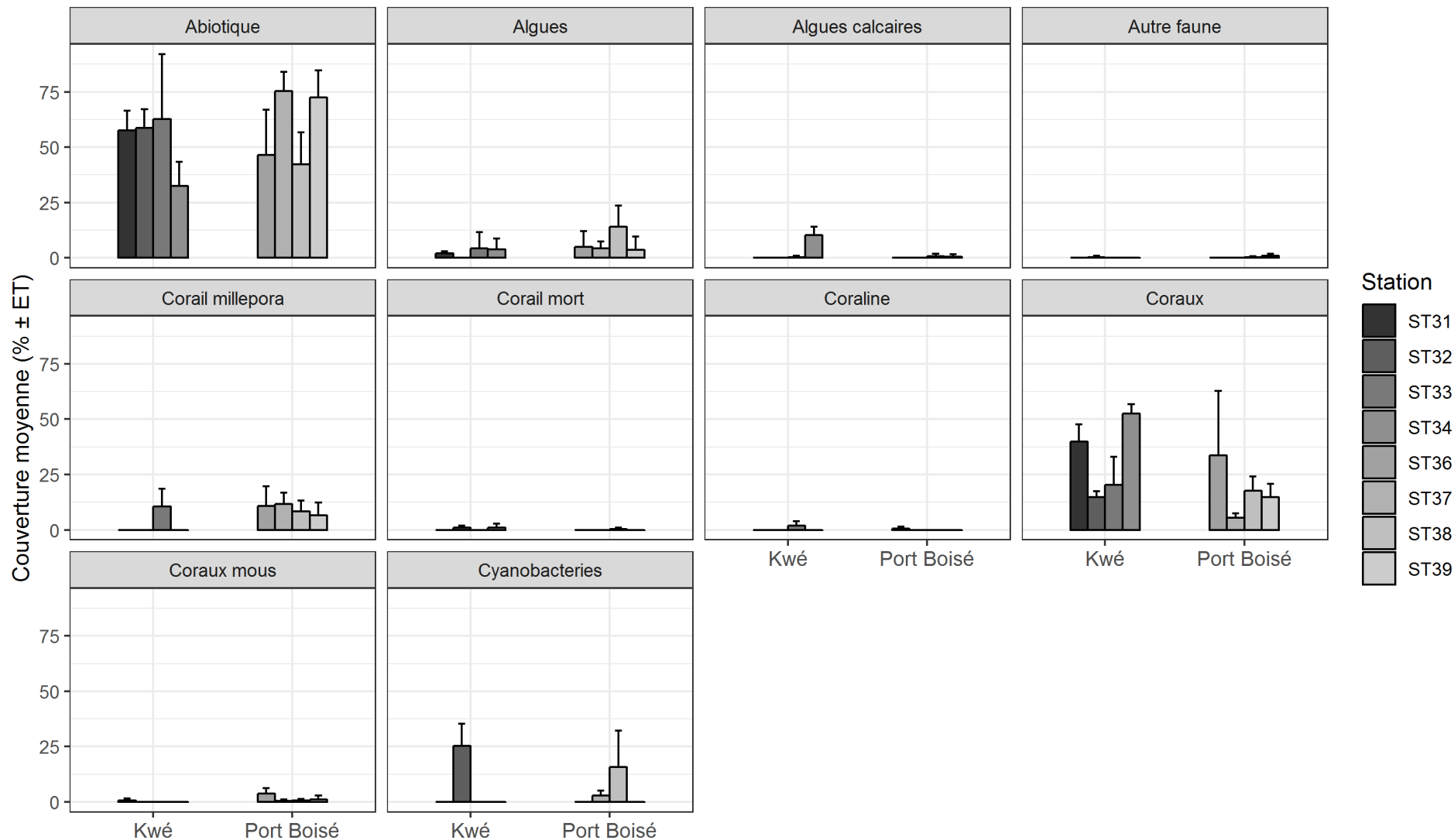


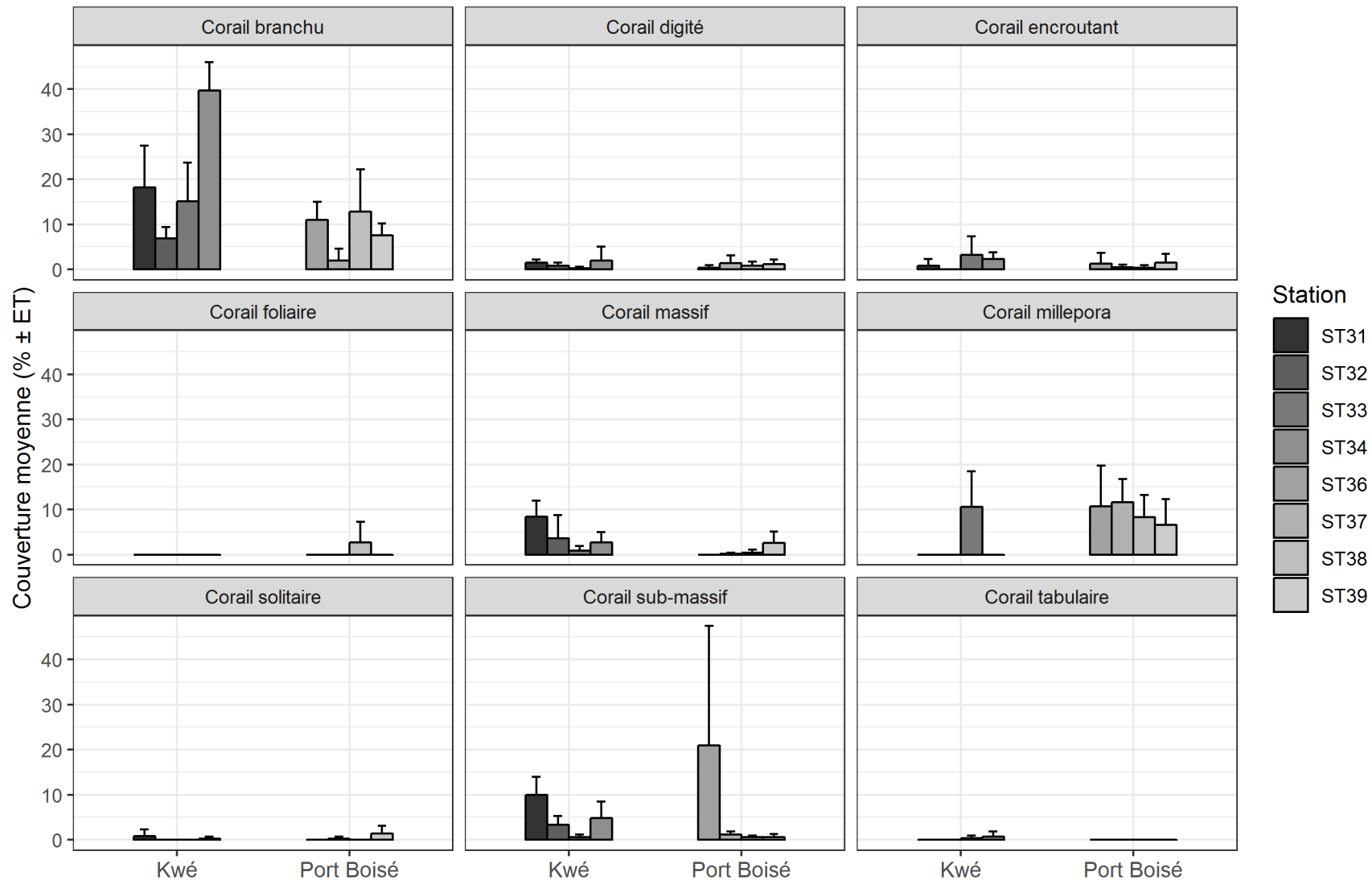


## ANNEXE III : CARACTÉRISTIQUES DU SUBSTRAT PAR STATION

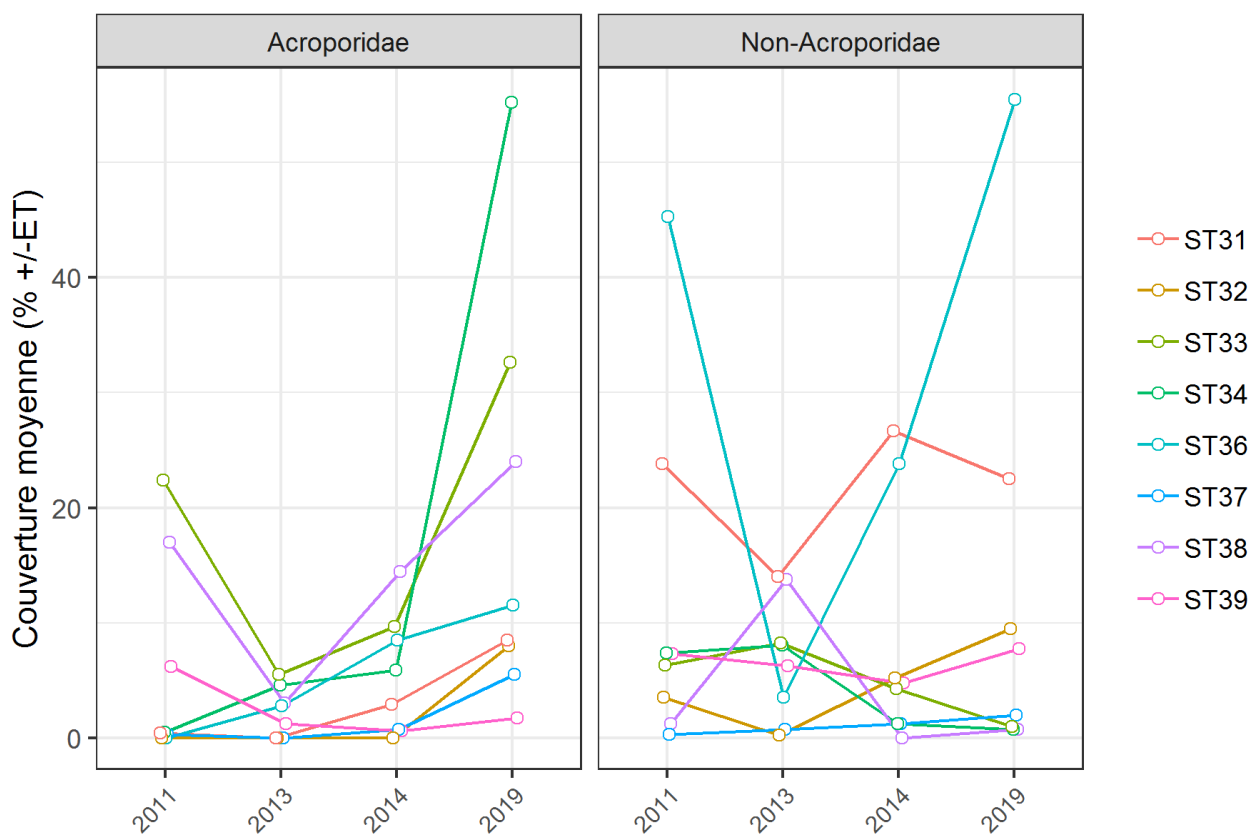
### I.12. ETAT DES LIEUX EN 2019

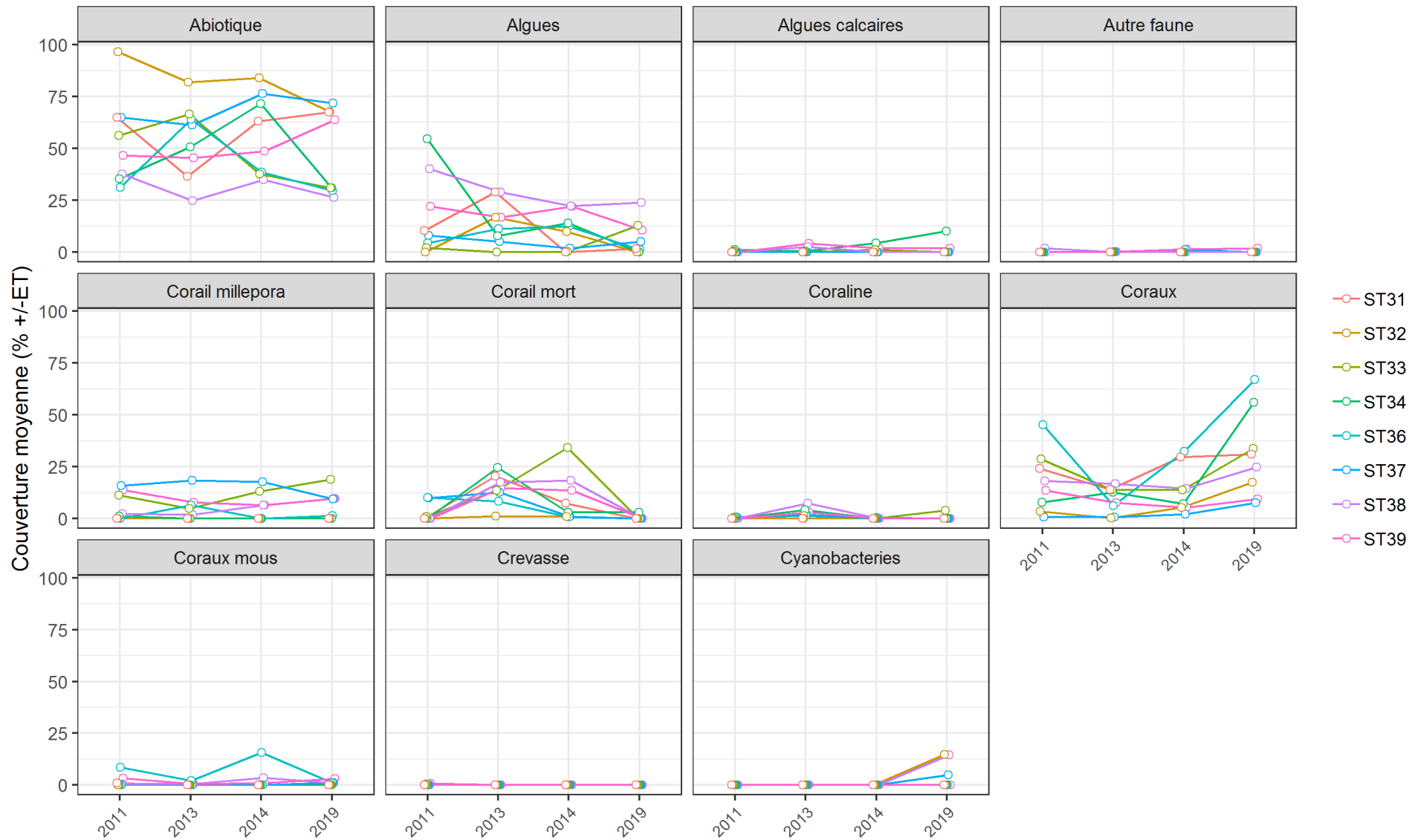


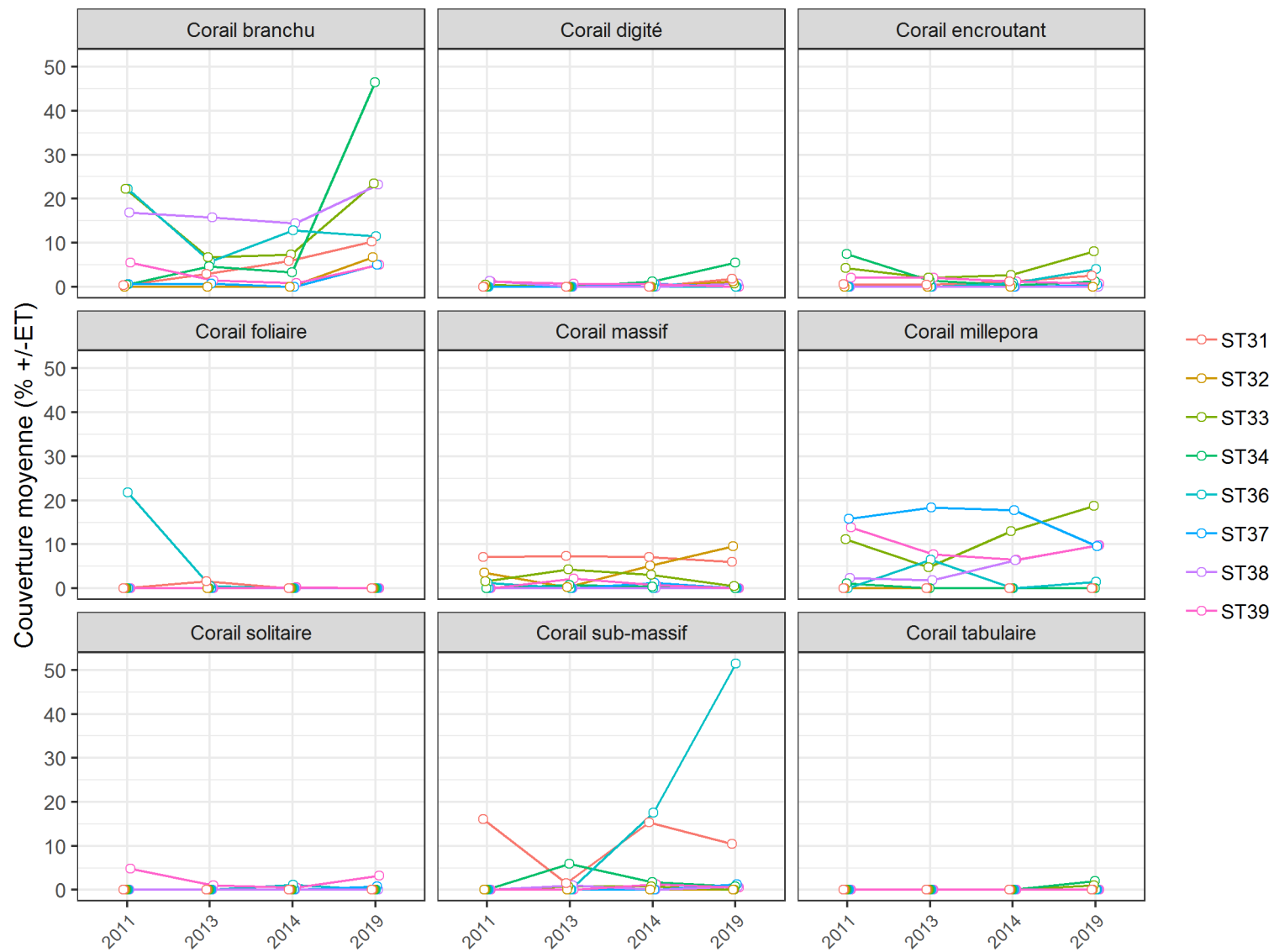




### I.13. EVOLUTION TEMPORELLE ENTRE 2011, 2013, 2014 ET 2019







---

---

## ANNEXE IV : CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT DE SANTÉ DES COMMUNAUTÉS CORALLIENNES

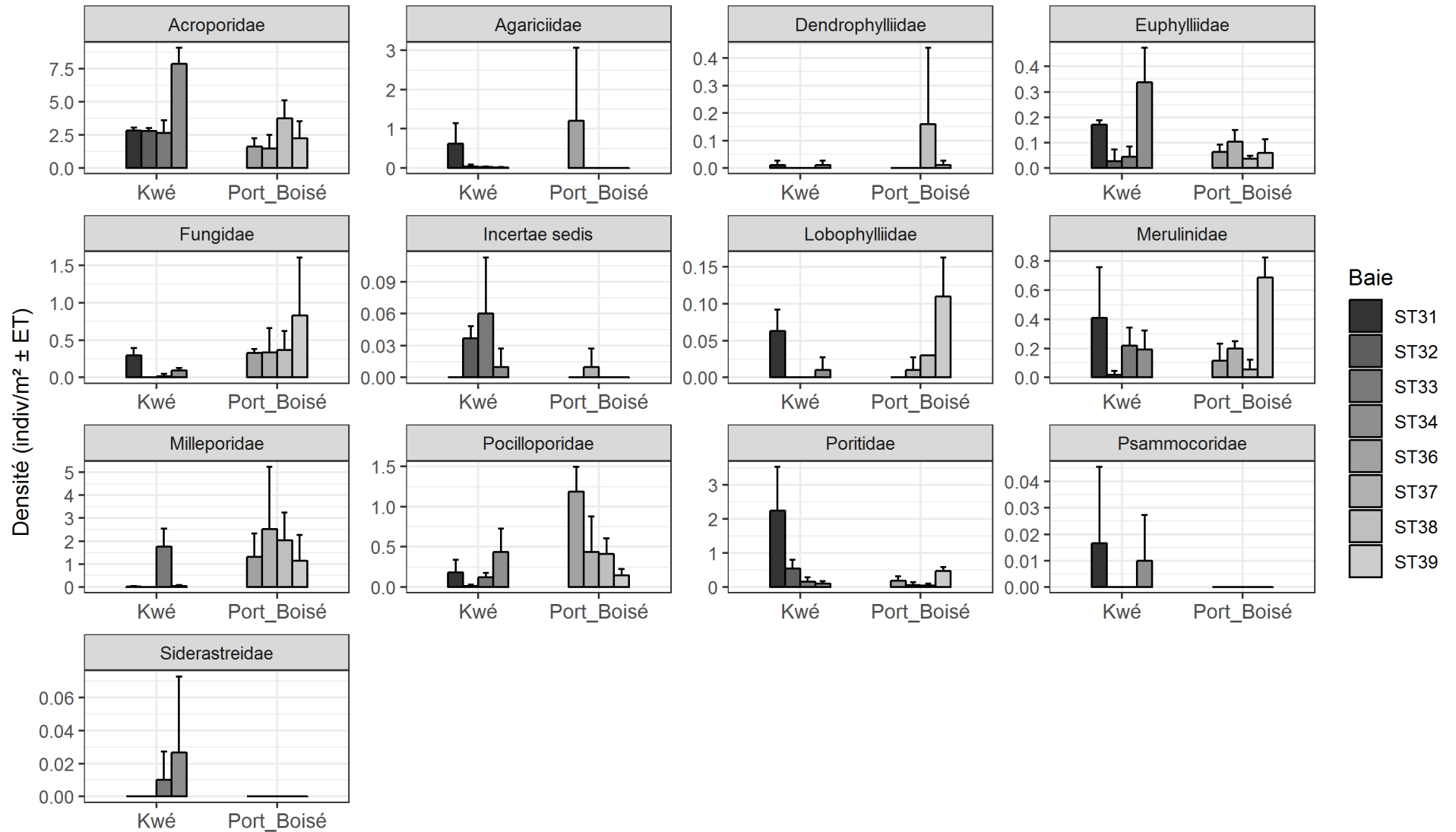
---

---

---

### I.14. DENSITÉ DE COLONIES CORALLIENNES PAR FAMILLE ET PAR STATION

---





---

## I.15. PRÉVALENCE DE LÉSIONS CORALLIENNES PAR STATION

---

Blanchi.part : Blanchissement partiel

Blanchi.tot : Blanchissement total

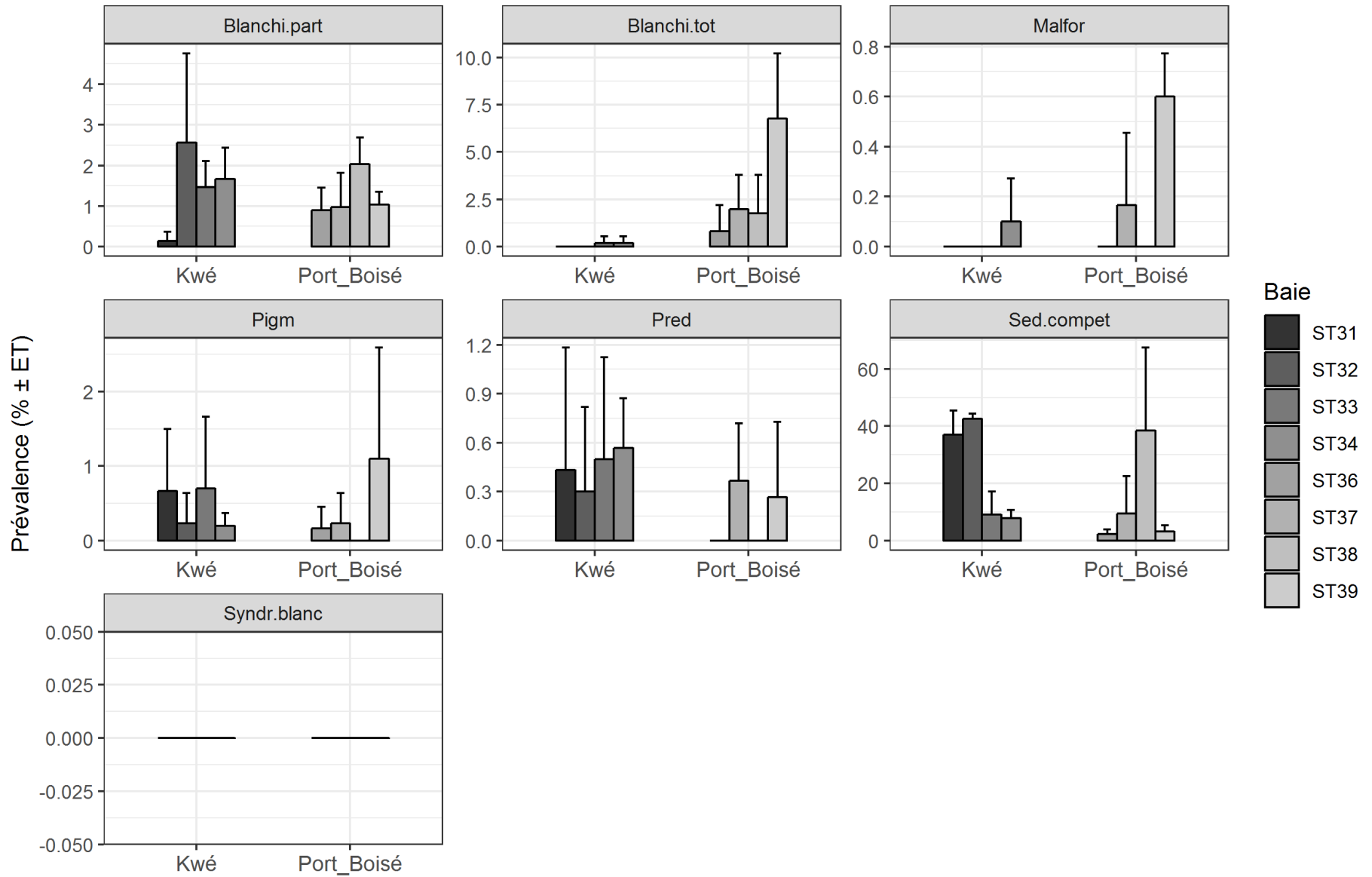
Malfor : Malformation

Pigm : Pigmentation

Pred : Prédation

Sed.compet : Sédimentation et/ou compétition avec algues

Syindr.blanc : Syndrôme blanc



## ANNEXE V: DENSITE, BIOMASSE ET RICHESSE SPECIFIQUE DE POISSONS PAR STATION EN 2019

	Baie Kwé				Port Boisé			
	ST31	ST32	ST33	ST34	ST36	ST37	ST38	ST39
Toutes espèces	6,85	2,53	2,58	2,49	3,54	2,94	3,44	3,74
Espèces non-commerciales	6,43	2,51	2,11	2,17	3,45	2,27	3,30	3,42
Espèces commerciales	0,42	0,02	0,47	0,32	0,08	0,67	0,14	0,33
Herbivores	0,35	0,24	0,97	1,02	0,43	1,11	0,49	0,99
Carnivores	0,59	0,14	0,75	0,62	0,67	0,72	0,39	0,46
Planctonophages	5,86	2,13	0,86	0,84	2,43	1,11	2,55	2,30
Piscivores	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
ACANTHURIDAE	0,05	0,03	0,09	0,15	0,06	0,22	0,03	0,19
APOGONIDAE	1,03	0,06	0,00	0,01	0,00	0,00	0,21	0,00
AULOSTOMIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
BLENNIIDAE	0,01	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
CAESIONIDAE	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CHAETODONTIDAE	0,11	0,04	0,05	0,19	0,10	0,04	0,03	0,10
CIRRHITIDAE	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GOBIESOCIDAE	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GOBIIDAE	0,07	0,02	0,01	0,03	0,03	0,00	0,02	0,02
GRAMMISTIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
HOLOCENTRIDAE	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LABRIDAE	0,24	0,06	0,47	0,25	0,49	0,61	0,29	0,32
LETHRINIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LUTJANIDAE	0,06	0,00	0,01	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	0,03
MONACANTHIDAE	0,00	0,00	0,03	0,11	0,00	0,02	0,01	0,00
MUGILOIDIDAE	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
MULLIDAE	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
NEMIPTERIDAE	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01
OSTRACIIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLESIOPIDAE	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
POMACANTHIDAE	0,01	0,01	0,05	0,05	0,00	0,05	0,04	0,11
POMACENTRIDAE	4,90	2,24	1,34	1,45	2,77	1,47	2,68	2,80
PRIACANTHIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
SCARIDAE	0,02	0,00	0,42	0,18	0,01	0,20	0,04	0,08
SERRANIDAE	0,02	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
SIGANIDAE	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,27	0,01	0,05
SYNODONTIDAE	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TETRAODONTIDAE	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
ZANCLIDAE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Densité  
(ind./m<sup>2</sup>)

	Baie Kwé				Port Boisé			
	ST31	ST32	ST33	ST34	ST36	ST37	ST38	ST39
Toutes espèces	48,3	7,2	32,0	45,2	24,5	125,1	29,4	40,2
Espèces non-commerciales	19,6	4,8	13,2	12,8	20,3	23,5	10,9	16,1
Espèces commerciales	28,6	2,5	18,8	32,5	4,2	101,6	18,5	24,1
Herbivores	9,2	1,1	18,9	35,4	9,7	96,6	11,3	24,4
Carnivores	13,2	2,5	10,7	7,0	5,5	26,3	3,6	6,8
Planctonophages	17,6	3,3	2,1	2,5	6,0	2,1	14,1	4,7
Piscivores	8,3	0,4	0,3	0,3	3,4	0,0	0,4	4,4
ACANTHURIDAE	2,8	0,5	1,1	12,8	2,4	15,7	1,0	5,1
APOGONIDAE	4,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,0
AULOSTOMIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0
BLENNIIDAE	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0
CAESIONIDAE	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CHAETODONTIDAE	1,5	0,2	1,0	2,3	0,6	0,4	0,2	0,7
CIRRHITIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GOBIESOCIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GOBIIDAE	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1
GRAMMISTIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
HOLOCENTRIDAE	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LABRIDAE	2,9	2,1	4,9	2,8	3,7	22,6	2,9	5,9
LETHRINIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0
LUTJANIDAE	7,2	0,0	2,3	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	0,2
MONACANTHIDAE	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0
MUGILOIDIDAE	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
MULLIDAE	0,9	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1
NEMIPTERIDAE	0,0	0,0	1,3	0,7	0,3	0,3	0,0	0,1
OSTRACIIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PLESIOPIDAE	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
POMACANTHIDAE	0,1	0,1	0,6	0,9	0,0	0,5	0,2	1,9
POMACENTRIDAE	11,0	3,6	5,4	5,5	12,0	3,4	7,6	7,1
PRIACANTHIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	0,0
SCARIDAE	0,8	0,0	14,1	18,3	0,3	60,9	7,7	10,8
SERRANIDAE	8,2	0,4	0,6	0,3	0,5	0,8	0,6	4,4
SIGANIDAE	0,0	0,0	0,0	0,8	1,0	18,2	0,9	3,8
SYNODONTIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TETRAODONTIDAE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZANCLIDAE	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0

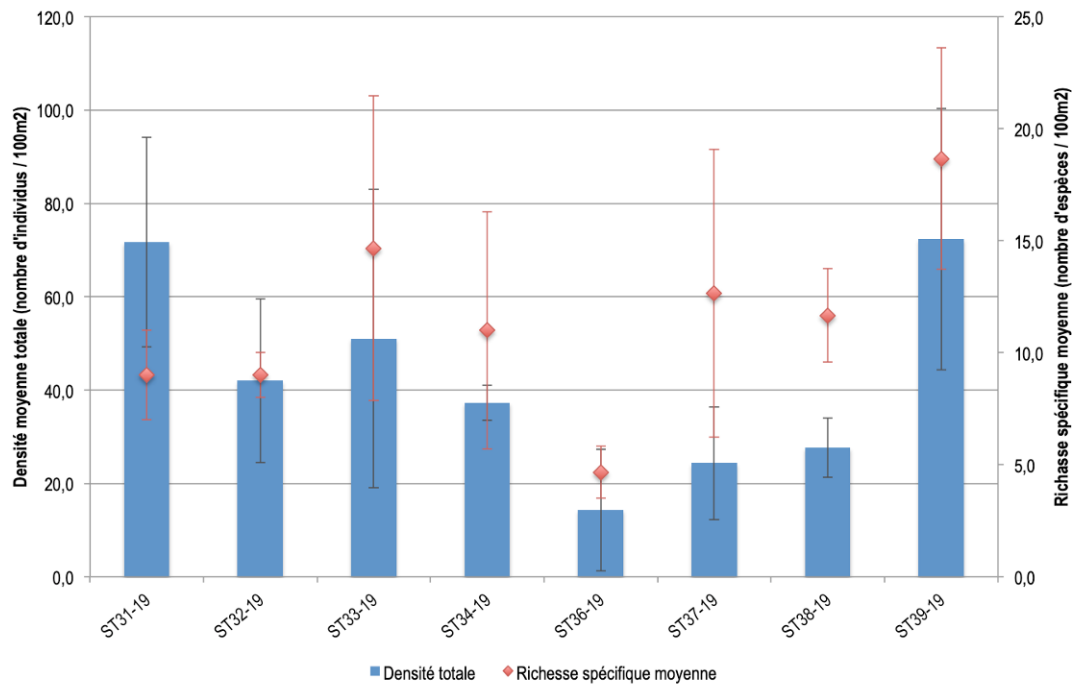
Biomasse  
(g/m<sup>2</sup>)

	Baie Kwé				Port Boisé			
	ST31	ST32	ST33	ST34	ST36	ST37	ST38	ST39
Toutes espèces	48	31	54	56	47	49	47	47
Espèces non-commerciales	37	28	41	45	39	30	35	36
Espèces commerciales	11	3	13	11	8	19	12	11
Herbivores	8	8	14	19	12	20	16	18
Carnivores	20	11	32	27	25	25	18	17
Planctonophages	15	9	7	8	8	4	11	11
Piscivores	5	3	1	2	2	0	2	1
ACANTHURIDAE	2	3	3	6	3	8	3	6
APOGONIDAE	6	1	0	1	0	0	2	0
AULOSTOMIDAE	0	0	0	0	1	0	0	0
BLENNIIDAE	3	4	1	3	4	2	2	1
CAESIONIDAE	1	0	0	0	0	0	0	0
CHAETODONTIDAE	3	3	3	6	4	2	2	5
CIRRHITIDAE	0	0	1	0	0	0	0	0
GOBIESOCIDAE	1	0	0	0	0	0	0	0
Gobiidae	3	2	2	1	4	0	2	2
GRAMMISTIDAE	0	0	0	0	0	0	1	0
Holocentridae	1	0	0	0	0	0	0	0
LABRIDAE	6	3	14	13	9	15	9	8
LETHRINIDAE	0	0	0	0	0	1	0	0
LUTJANIDAE	1	0	2	0	0	0	0	0
MICRODESMIDAE	0	0	0	0	0	0	0	3
MONACANTHIDAE	0	0	2	1	0	1	1	0
MUGILOIDIDAE	0	0	2	1	2	0	0	0
MULLIDAE	1	0	2	0	0	2	0	1
NEMIPTERIDAE	0	0	1	1	1	1	0	1
OSTRACIIDAE	0	1	0	0	0	0	0	0
Plesiopidae	1	0	0	0	0	0	0	0
POMACANTHIDAE	2	2	3	4	0	2	3	2
POMACENTRIDAE	12	9	12	12	13	6	14	12
PRIACANTHIDAE	0	0	0	0	0	0	1	0
SCARIDAE	1	0	4	2	1	4	3	3
SERRANIDAE	2	2	2	1	1	1	2	1
SIGANIDAE	0	0	0	2	3	3	2	2
SYNODONTIDAE	1	0	0	0	0	0	0	0
TETRAODONTIDAE	1	1	0	1	1	0	0	0
ZANCLIDAE	0	0	0	1	0	1	0	0

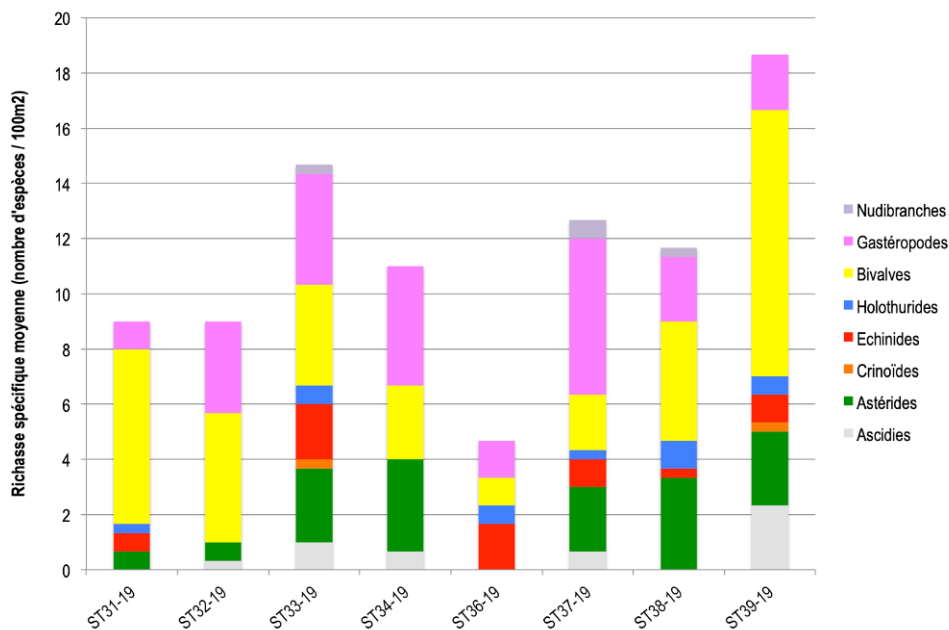
Richesse  
spécifique

## ANNEXE VI : CARACTÉRISTIQUES DES PEUPELEMENTS MACROBENTHIQUES PAR STATION

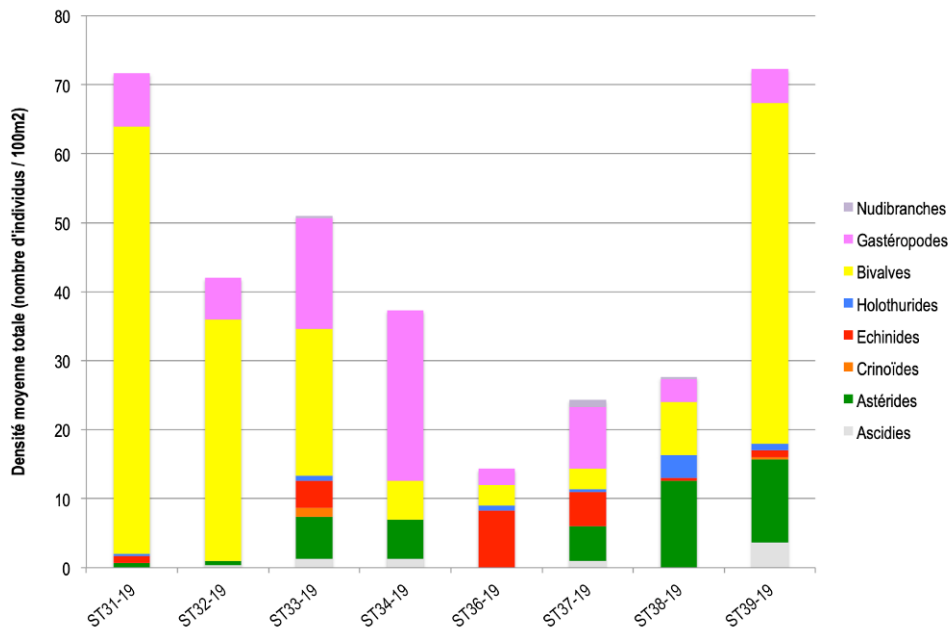
### I.16. DENSITÉ ET RICHESSE SPÉCIFIQUES ( $\pm$ ECART-TYPE) MOYENNES EN 2019



## I.17. RICHESSE SPÉCIFIQUE PAR SOUS-GROUPE

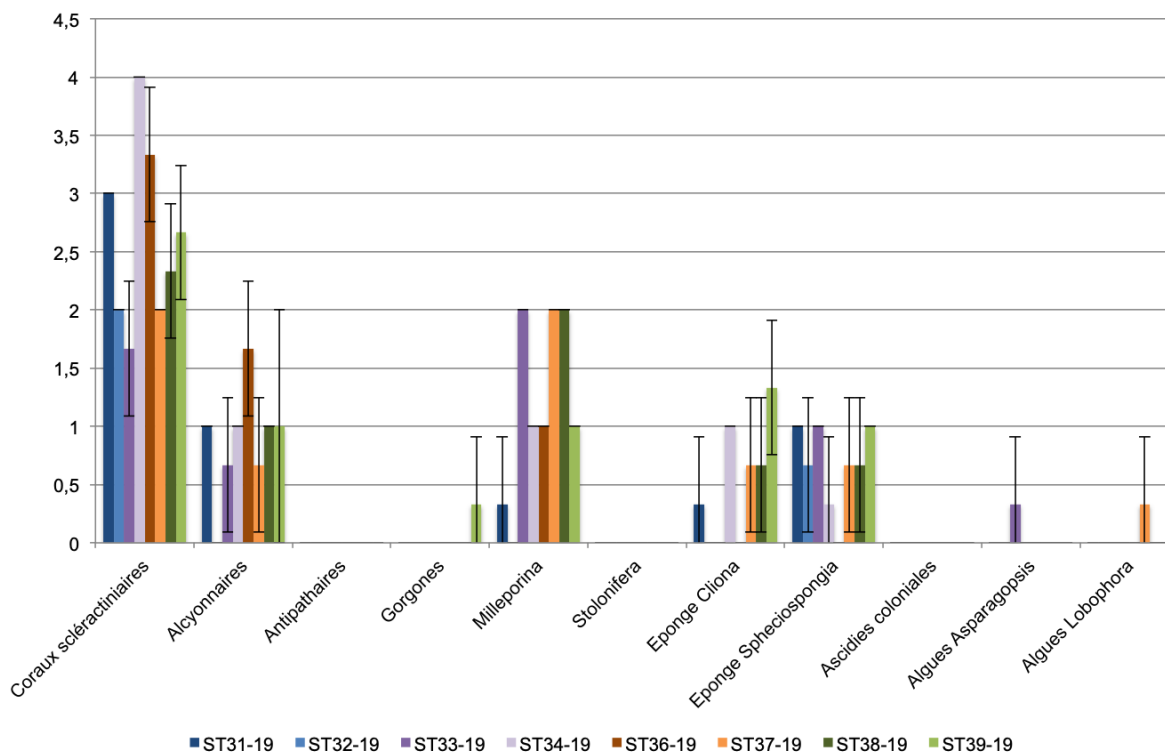


## I.18. DENSITÉ PAR SOUS-GROUPE



## I.19. RECOUVREMENT DES ESPÈCES CIBLES COLONIALES

		ST31	ST32	ST33	ST34	ST36	ST37	ST38	ST39
Cnidaires	Coraux scléactiniaires	3	2	1,7	4	3,3	2	2,3	2,7
	Alcyonaires	1	0	0,7	1	1,7	0,7	1	1
	Antipathaires	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gorgones	0	0	0	0	0	0	0	0,3
	<i>Milleporina</i>	0,3	0	2	1	1	2	2	1
	<i>Stolonifera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
Eponges	Genre Cliona	0,3	0	0	1	0	0,7	0,7	1,3
	Genre <i>Sphaciospongia</i>	1	0,7	1	0,3	0	0,7	0,7	1
Ascidies coloniales	Toutes	0	0	0	0	0	0	0	0
Macroalgues	Genre <i>Asparagopsis</i>	0	0	0,3	0	0	0	0	0
	Genre <i>Lobophora</i>	0	0	0	0	0	0,3	0	0



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