



DEPARTEMENT
ENVIRONNEMENT

Dossier n° A001.16003



Suivi du milieu marin autour du site minier de Thio

Volet 1 : Résultats campagne annuelle 2016

Réalisé avec la participation logistique et technique



Le système qualité de GINGER SOPRONER est certifié ISO 9001-2008 par



ISO9001 : FDT1_V3/02-15

ÉVOLUTION DU DOCUMENT

Ind.	Date	Chef de projet	Ingénieur d'études	Description des mises à jour
1	26/08/2016	Antoine GILBERT	Tom HEINTZ	Création du document
2	12/09/2016	Antoine GILBERT	Tom HEINTZ	Intégration des commentaires de Claire Gueunier

SOMMAIRE

RESUME.....	6
I. RESUME NON TECHNIQUE.....	7
II. GRILLE DE LECTURE	9
EQUIPE D'INTERVENTION	12
INTRODUCTION	14
MATERIEL ET METHODES.....	16
I. ZONE D'ETUDE ET STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE	17
I.1. Situation générale.....	17
I.2. Zone d'échantillonnage.....	17
II. SUIVI BIOLOGIQUE	20
II.1. Caractérisation du substrat.....	20
II.2. Caractérisation des peuplements ichtyologiques.....	23
II.3. Caractérisation de la faune macrobenthique de fonds durs	28
II.4. Caractérisation de la faune macrobenthique de fonds meubles.....	30
III. SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE	31
III.1. qualité des eaux.....	31
III.2. Qualité des sédiments.....	32
III.3. flux sédimentaires.....	36
III.4. bioaccumulation dans organismes vivants	37
RESULTATS	39
I. CARACTERISATION DU SUBSTRAT.....	40
I.1. Description générale du substrat en Mai 2016	40
I.2. Description par zone d'influence.....	41
I.3. Evolution temporelle.....	44
II. CARACTERISATION DES LESIONS CORALLIENNES.....	47
II.1. Description des assemblages de lésions en Mai 2016 :.....	47
II.2. Evolution temporelle des lésions coralliennes sur la zone de Thio_W	51
III. CARACTERISATION DES PEUPELEMENTS ICTHYOLOGIQUES.....	52
III.1. Caractérisation de l'ichtyofaune par zone en 2016.....	52
III.2. Structuration spatio-temporelle de l'ichtyofaune.....	59
IV. CARACTERISATION DE LA FAUNE MACROBENTHIQUE DE FONDS MEUBLES	64
V. CARACTERISATION DE LA FAUNE MACROBENTHIQUE DE FONDS DURS.....	65
V.1. Généralités.....	65
V.2. Description par zone d'influence.....	66

V.3.	<i>Espèces remarquables</i>	70
V.4.	<i>Evolution temporelle</i>	71
VI.	QUALITE DES EAUX.....	76
VII.	QUALITE DES SEDIMENTS.....	80
VII.1.	<i>caractérisation des sédiments</i>	80
VII.2.	<i>Teneurs en métaux dans les sédiments</i>	81
VII.3.	<i>Teneur en hydrocarbure dans les sédiments</i>	83
VIII.	FLUX SEDIMENTAIRES	84
IX.	BIACCUMULATION DANS LES ORGANISMES.....	85
SYNTHESE ET DISCUSSION		87
I.	CONTEXTE DE LA MISE EN PLACE DU SUIVI	88
II.	SUIVI BIOLOGIQUE DU MILIEU.....	89
II.1.	<i>Substrat et lésions coralliennes</i>	89
II.2.	<i>Macrobenthos de fonds meubles</i>	89
II.3.	<i>Macrobenthos de fond dur</i>	90
II.4.	<i>Ichtyologie</i>	91
III.	SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE	93
III.1.	<i>Contrôle qualité</i>	93
III.2.	<i>Qualité des eaux</i>	93
III.3.	<i>Qualité des sédiments</i>	93
III.4.	<i>Flux de particules</i>	94
III.5.	<i>bioaccumulation</i>	94
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		95
ANNEXES		99
ANNEXE I: DESCRIPTIF DES STATIONS		100
I.1.	<i>THIO – ST01</i>	100
I.2.	<i>THIO – ST02</i>	102
I.3.	<i>THIO – ST06</i>	104
I.4.	<i>THIO – ST07</i>	106
I.5.	<i>THIO – ST08</i>	108
I.6.	<i>THIO – ST09</i>	110
I.7.	<i>THIO – ST10</i>	112
I.8.	<i>THIO – ST11</i>	114
ANNEXE II: CARACTERISTIQUES DU SUBSTRAT DETAILLEES PAR STATION.....		116
I.9.	<i>Substrat par station en 2016</i>	117
I.10.	<i>Evolution temporelle du substrat par station pour la zone Thio_W</i>	119
ANNEXE III : PREVALENCE DE LESIONS CORALLIENNES PAR STATION		120
I.11.	<i>Lésions coralliennes par station en 2016</i>	120
I.12.	<i>Evolution temporelle des lésions coralliennes par station pour la zone Thio_W</i>	120
ANNEXE IV : REPRESENTATION GRAPHIQUE DES MOYENNES PAR ZONE (ET ECART-TYPES) POUR LES PARAMETRES D'ICHTYOFAUNE EN 2016		121
ANNEXE V : CARACTERISTIQUES DU MACROBENTHOS DE FONDS DURS PAR STATION		126
<i>Campagne 2016 & Richesse Taxonomique</i>		126
<i>Campagne 2016 & Densité : Groupe</i>		127
<i>Campagne 2016 & Densité : Sous groupe</i>		128
<i>Campagne 2013-2016 & Richesse spécifique</i>		129
<i>Campagne 2013-2016 & Densité : Groupe</i>		130
<i>Tableau 2013-2016 & Densité : Groupe</i>		131
<i>Campagne 2013-2016 & Densité : Sous groupe</i>		132
<i>Tableau 2013-2016 & Densité : Sous groupe</i>		133
ANNEXE VI : RESULTATS D'ANALYSES DANS LES SEDIMENTS		134

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Plan de situation – mines de Thio.....	17
Figure 2 : Plan des stations de suivi – mine de Thio. (HC : Habitats coralliens, ICH : Ichtyofaune, MFD : Macrobenthos fonds durs, FS : Flux sédimentaires, PE : Profil Eau, QS : Qualité sédiments, MFM : Macrobenthos fonds meubles, Bioacc : Bioaccumulation dans les organismes vivants)	19
Figure 3 : Plongeur effectuant des relevés LIT et maladies	20
Figure 4 : Déroulement schématique d'un comptage en plongée selon la méthode des transects à largeur variable (Source : Clua et al. 2004).	24
Figure 5 : Système de carottier utilisé pour le prélèvement de fonds meubles (source : EMR)	30
Figure 6 : Couverture moyenne (% +/- ET) des différents substrats sur la zone de Thio	40
Figure 7 : Résultats de l'ACP sur les 9 catégories générales de substrat moyennées par station. Pourcentage de l'inertie du jeu de données retenu par les deux premiers axes : 60,5%	41
Figure 8 : Couverture de substrats (% +/- ET) par zone d'influence en 2016.....	42
Figure 9 : Couverture corallienne par famille (%) par zone d'influence en 2016	43
Figure 10: Exemples de photographies des différentes familles coralliennes observées sur Kouaoua (source : SOPRONER, google, AIMS). A :Acroporidae, B :Agariciidae, C : Alcyonidae, D : Dendrophyllidae, E :Fungiidae, F : Lobophyllidae, G : Merulinidae, H : Oculinidae, I : Pocilloporidae, J : Poritidae.	44
Figure 11 : Evolution de la couverture des substrats entre 2013 et 2016 sur la zone de Thio_W.....	46
Figure 12 : Prévalence de lésions coralliennes (en % $\pm$ ET) par zone d'influence. Blanchi : blanchissement ; Pigm : pigmentation ; Malfor: malformation corallienne ; Sed : lésions de sédimentation ; Compet algu: Compétition avec algues ; White syndr : maladie corallienne.....	48
Figure 13 : Prévalence de lésions coralliennes (en % $\pm$ ET) par zone d'influence et par famille corallienne. Blanchi : blanchissement ; Pigm : pigmentation ; Malfor: malformation corallienne ; Sed : lésions de sédimentation ; Compet algu: Compétition avec algues ; White syndr : maladie corallienne.....	49
Figure 14 : illustration des lésions coralliennes fréquemment rencontrées : A : Porites sp. blanchi, B : Pigmentation sur Porites sp., C : Malformation sur Porites sp., D : Compétition entre Porites sp. et des algues, E : sédimentation sur Pachyseris sp., F : Prédation d'Acanthaster sur Acropora sp., G : White syndrome sur Acropora sp.	50
Figure 15 : Evolution de la prévalence des différents types de lésion sur la zone de Thio_W entre 2013 et 2016. Blanchi : blanchissement ; Pigm : pigmentation ; Malfor: malformation corallienne ; Sed : lésions de sédimentation ; Compet algu: Compétition avec algues ; White syndr : maladie corallienne.....	51
Figure 16 : Représentation graphique des niveaux de densité et richesse spécifique par groupe trophique, ainsi que pour les Chaetodontidae, Pomacentridae (espèces indicatrices), et les Labridae (famille particulièrement contributive aux niveaux de densité et de richesse dans ces biotopes) sur la zone Thio_m.	54
Figure 17 : Représentation graphique des niveaux de densité et richesse spécifique par groupe trophique, ainsi que pour les Chaetodontidae, Pomacentridae (espèces indicatrices), et les Labridae (famille particulièrement contributive aux niveaux de densité et de richesse dans ces biotopes) sur la zone Thio_w.....	56
Figure 18 : Représentation graphique des niveaux de densité et richesse spécifique par groupe trophique, ainsi que pour les Chaetodontidae, Pomacentridae (espèces indicatrices), et les Labridae (famille particulièrement contributive aux niveaux de densité et de richesse dans ces biotopes) sur la zone Thio_c.	59
Figure 19 : Représentation graphique des variables ayant présenté une différence statistiquement significative entre zones sur le site de Thio. Les barres d'erreur illustrent les écart-types des moyennes par zone.....	61
Figure 20 : Représentation graphique de la seule variable ayant présenté une différence statistiquement significative entre 2013 et 2016 sur Thio_w. Les barres d'erreur illustrent les écart-types des moyennes par zone.	63
Figure 21 : Courbe de K-dominance sur les données de la campagne 2016.....	65
Figure 22 : Densité moyenne en ind/ha des 8 stations de Thio par groupe taxonomique de la campagne 2016.	65
Figure 23 : PCO de la matrice des densités par station et par sous groupe expliquées par les variables de sous groupe taxonomique	66
Figure 24 : Richesse spécifique par zone d'influence	67
Figure 25 : Densité (moyenne +/- ET) par groupe et par zone d'influence des stations échantillonnées à Thio en 2016. Attention les échelles sont différentes en fonction des groupes pour assurer une bonne lisibilité.	68

Figure 26 : Densité (moyenne +/- ET) par sous groupe et par zone d'influence des stations échantillonnées à Thio en 2016. Attention les échelles sont différentes en fonction des sous groupes pour assurer une bonne lisibilité.....	69
Figure 27 : Illustration d'espèces caractéristiques par sous groupe pour les quatre groupes échantillonnés quantitativement à Thio. Les groupes d'appartenance de chacun des sous groupe est rappelé à travers un code couleur.....	70
Figure 28 : PCO de la matrice des densités par station et par genre illustrée par leur campagne.....	71
Figure 29 : Richesse spécifique par entre les campagnes de 2013 et de 2016.....	72
Figure 30 : Evolution des densités (moyenne +/- ET) par groupe taxonomique entre 2013 et 2016. Attention les échelles sont différentes en fonction des groupes pour assurer une bonne lisibilité.....	73
Figure 31 : Evolution des densités (moyenne +/- ET) des principaux sous-groupe taxonomique entre 2013 et 2016. Attention les échelles sont différentes en fonction des sous groupes pour assurer une bonne lisibilité.....	75
Figure 32 : Profils de température et de salinité pour les stations de Thio.....	76
Figure 33 : Profils de turbidité et de fluorescence pour les stations de Thio.....	78
Figure 34 : Profils de saturation en oxygène dissous pour les stations de Thio.....	79
Figure 35 : Comparaison des pourcentages massiques (%) des différentes classes granulométriques pour les sédiments prélevés dans les stations du site de Thio.....	80
Figure 36 : Teneurs en carbonates dans les sédiments prélevés dans la zone d'étude de Thio.....	80
Figure 37 : Teneurs en métaux (mg/Kg de matière sèche) mesurées dans les sédiments échantillonnés sur le site de Thio.....	82
Figure 38 : Flux de particules terrigènes et carbonatées mesurés aux stations de Thio.....	84

RESUME

I. RESUME NON TECHNIQUE

En 2016, la Société Le Nickel (SLN) a mis en place un suivi environnemental du milieu marin de l'ensemble des sites du bord de mer sous l'influence de ses activités. Dans ce contexte, la zone de Thio, commune de la côte Est où la SLN exploite les mines de Plateau, Do-Thio et du camp des sapins depuis 1880, a fait l'objet d'une campagne d'échantillonnage (2 au 6 mai 2016) comprenant deux zones sous l'influence de ses activités et une zone de référence. Les zones de Thio_w et Thio_m respectivement sous l'influence des activités du wharf et de la mine sont comparés à la zone de contrôle Thio_c. L'expertise des données collectées en 2016 a permis d'examiner les caractéristiques de l'écosystème récifal (habitat corallien, lésions coralliennes, ichtyofaune et macrobenthos) et de certaines caractéristiques physico-chimiques du milieu lagunaire (profils CTD, sédiments, flux sédimentaires et bioaccumulation).

Les récifs échantillonnés dans les zones sous l'influence des activités de la SLN (Thio_w et Thio_m) présentent un recouvrement corallien élevé (58% et 47% respectivement) et significativement supérieur à celui de la zone de contrôle prise en référence (Thio_c : 11%). Ces différences pourraient résulter d'une invasion sur la zone de Thio_c par les étoiles de mer *Acanthaster* constatée sur cette zone géographique ces dernières années (Adjeroud., 2012). La couverture de coraux blanchis est inférieure à 2 % sur chaque zone exception faite de la zone Thio_w où elle atteint une couverture de 9%, soit une proportion relative à la couverture totale comprise entre 5% (Thio_m) et 15-18% (Thio_w et Thio_c). Ce constat est cohérent avec l'analyse des lésions coralliennes qui de plus montre que certaines familles comme les Pocilloporidae, Poritidae et Acroporidae sont les plus sensibles au blanchissement. L'impact final de ce blanchissement lié au réchauffement des masses d'eau et indépendant de l'activité minière, sera apprécié lors de la prochaine campagne en fonction du taux de récupération/mortalité des coraux. L'étude des lésions coralliennes a également montré une plus forte prévalence des lésions liées à la sédimentation et à la compétition avec les algues sur les récifs frangeants sur la zone d'influence de la SLN (Thio_w et Thio_m) que ceux en zone de contrôle (Thio_c). Enfin les maladies coralliennes typiques de l'Indo-Pacifique sont quasi-absentes avec seulement quelques malformations et des cas de White syndrome qui ont été constatés à de faibles prévalences sur l'ensemble des zones.

Vis-à-vis des communautés ichtyologiques, les zones de Thio_m et Thio_w ont montré des caractéristiques écologiques et des profils fonctionnels similaires et typiques des peuplements ichtyologiques de récifs frangeants exposés. Il en va de même concernant les niveaux généraux de densité, de biomasse et de richesse spécifique, qui sont cohérents avec les niveaux classiquement observés sur ce type de récifs en Nouvelle-Calédonie. La zone Thio_c a montré quelques différences dans la structuration écologique de l'ichtyofaune, notamment concernant les Chaetodontidae et les herbivores. Ces caractéristiques peuvent être reliées aux caractéristiques des habitats coralliens plus riches en végétaux (recouvrement algal) et plus pauvres en coraux vivants. Il peut aussi être conclu qu'il n'existe pas à l'heure actuel de signal d'impact majeur (au sens de la comparaison spatiale entre zones contrôle/impact), et qu'aucune des deux zones sous influence ne présente d'anomalie écologique notable.

La faune macrobenthique montre aussi certaines similarités entre zones avec une contribution forte à l'abondance totale des peuplements par quelques espèces. Aussi, de nombreuses espèces sont peu abondantes et peuvent être considérées comme rares. Le niveau de richesse spécifique est équivalent entre les zones avec toutefois une dominance plus marquée de la communauté macrobenthique échantillonnée à Thio_c. En termes de densité moyenne, des différences significatives sont constatées pour les crustacés, échinodermes et mollusques. Elles sont liées à la zone de Thio_c qui présente des niveaux plus élevés en échinodermes ou plus faibles en crustacés et mollusques. Notons d'ailleurs qu'aucune différence entre les zones Thio_w et Thio_m n'est mise en évidence. Enfin l'analyse des densités d'espèces remarquables montrent que la population macrobenthique au potentiel commercial (bénitiers et holothuries) est peu abondante et que les espèces corallivores ne présentent aujourd'hui aucun signe de pullulation.

Vis-à-vis de l'analyse du macrobenthos de fonds meubles, les résultats obtenus lors de cette campagne montrent que le couple méthode/stratégie d'échantillonnage n'est pas adapté. En effet, les prélèvements sont pour la plupart exempt de faune benthique et lorsque des organismes sont prélevés, la diversité par carotte apparaît comme limitée avec au maximum une seule espèce. En l'état, la stratégie d'échantillonnage du cahier des charges n'apporte pas d'éléments quantitatifs pertinents sur les zones de récifs frangeant échantillonnés. Une réflexion méthodologique apparaît plus que nécessaire afin de maintenir ce suivi.

Au niveau physico-chimique, les mesures ponctuelles par temps sec de qualité d'eau (température, salinité, pH, turbidité, fluorescence et oxygène dissous) correspondent à un état « normal » pour un milieu lagunaire côtier. L'analyse des sédiments a mis en évidence des niveaux en contaminants métalliques différents selon la zone d'influence. Les teneurs moyennes observées à Thio_c correspondent à des niveaux inférieurs (Co, Cr, Mn et Ni) aux concentrations habituellement rencontrées dans des zones sous influences modérées, tandis que Thio_w et Thio_m se révèlent à des niveaux caractéristiques de zones sous influences terrigènes plus ou moins modérées. Les observations faites à travers une analyse des flux sédimentaires montrent que les flux enregistrés sont principalement d'origine terrigène. Les flux mesurés présentent également une certaine cohérence puisqu'ils sont les plus faibles sur Thio_c, intermédiaires sur Thio_w et maximum sur Thio_m. Enfin l'analyse des métaux dans les chairs d'organismes consommés du fait des contraintes coutumières, d'accessibilité et de disponibilité des ressources n'ont pas permis de réaliser les prélèvements en abondance tout en respectant une stratégie contrôle/Impact, limitant de ce fait la représentativité des échantillons et la portée des conclusions. Vis-à-vis des métaux dits prioritaires (Cd, Pb et Hg) les concentrations mesurées dans les chairs de poissons sont très inférieures aux seuils sanitaires réglementaires européens pour la consommation humaine.

II. GRILLE DE LECTURE

Afin de qualifier les résultats obtenus dans le cadre de cette campagne 2016, une première grille de lecture est proposée (Tableau 1). Elle s'appuie lorsque cela est possible sur l'existence de seuils. Ainsi les données relatives à la physico-chimie sur les flux de particules, de qualité d'eau (fluorescence, turbidité et oxygène dissous), de qualité des sédiments (Co, Cr, Mn et Ni) sont comparées aux valeurs de références proposées dans le guide CNRT (Beliaff *et al*, 2011). Concernant la bioaccumulation, les quelques échantillons analysés sont comparés aux seuils sanitaires réglementaires européens (CE 1881/2006) pour trois métaux prioritaires (Cd, Pb et Hg).

En l'absence de seuils ou de valeurs de référence formelles disponibles, cette évaluation d'état pour l'ichtyofaune et la couverture corallienne est essentiellement réalisée à dire d'expert et s'appuie sur les niveaux habituellement observés sur des récifs aux caractéristiques équivalentes de Nouvelle Calédonie.

Pour le recouvrement corallien trois classes ont été définies afin de qualifier la couverture en coraux de chaque zone : < 10% Faible (rouge); 10% < x < 40% : Moyen (orange); et > 40% : Fort (vert).

Pour les invertébrés, une qualification d'état vis-à-vis du niveau de densité de populations d'espèces corallivores (Acanthasters et Drupella) est réalisée.

Le code couleur suivant est proposé pour chaque variable étudiée (hors blanchissement corallien) :



Bon état, bonne qualité



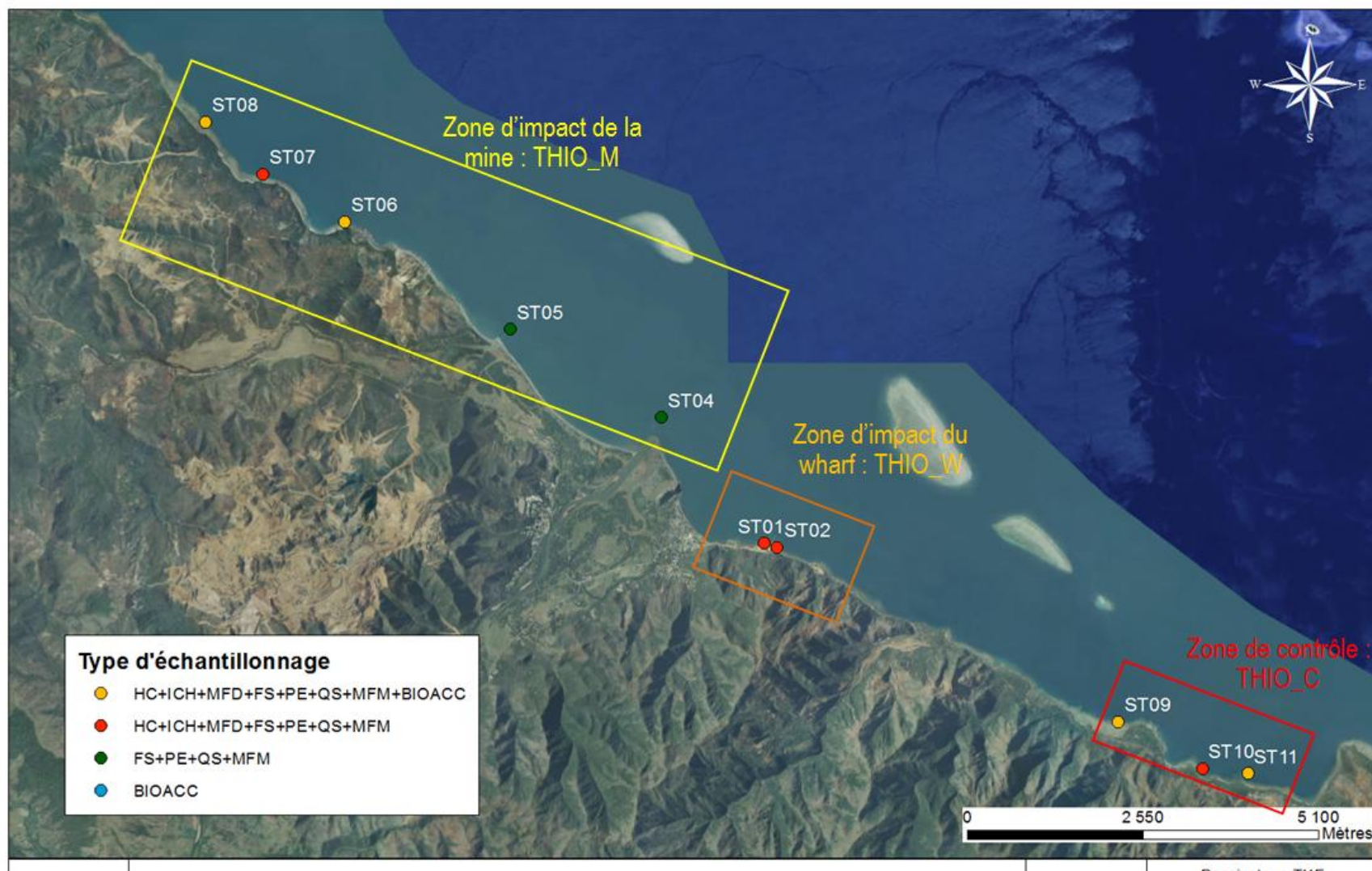
Etat moyennement perturbé, moyenne qualité



Etat perturbé, mauvaise qualité

Tableau 1 : Grille de lecture – site de Thio

			Thio_W	Thio_M	Thio_C	Valeur guide CNRT (Beliaff et al. 2011)	Norme CE 1881/2006)	Dire d'expert
		Date d'échantillonnage	Mai 2016	Mai 2016	Mai 2016			
Physico-chimie	Qualité de l'eau	Fluorescence	Bon	Bon	Bon	< 1mg/m3		
		Turbidité	Etat non perturbé	Etat non perturbé	Etat non perturbé	< 4 NTU		
		Oxygène dissous	Bon	Bon	Bon	> 5 mg/l		
	Qualité des sédiments	Co	244 µg/g	300 µg/g	144 µg/g	176,3 µg/g		
		Cr	2869 µg/g	3776 µg/g	1902 µg/g	7820 µg/g		
		Mn	1616 µg/g	1954 µg/g	1287 µg/g	1668 µg/g		
		Ni	4318 µg/g	4403 µg/g	2183 µg/g	2300 µg/g		
	Flux de particules	Flux	6,55 mg/cm²/j	16,54 mg/cm²/j	3,9 mg/cm²/j	35,9 mg/cm²/j		
	Bioaccumulation (toutes espèces)	Cd	< valeur de référence	< valeur de référence	< valeur de référence		poisson: <0,25 µg/g; Crustacé: <2,5 µg/g; Mollusques: <5,0 µg/g	
		Pb	< valeur de référence	< valeur de référence	< valeur de référence		poisson: <1,5 µg/g; Crustacé: <2,5µg/g; Mollusques: <7,5µg/g	
		Hg	< valeur de référence	< valeur de référence	< valeur de référence		poisson: <2,5 µg/g; Crustacé: <2,5µg/g; Mollusques: <2,5µg/g	
Biologie	Substrat	Couverture corallienne	58%	47%	11%			Faible: <10%; 10%<Moyen<40%, Fort>40%
		Proportion de blanchissement au sein de la couverture corallienne	15%	5%	18%			
	Ichtyofaune	Densité, biomasse et richesse spécifique	Etat de santé satisfaisant	Etat de santé satisfaisant	Etat de santé satisfaisant			
	Macrobenthos espèces corallivores	Densité	Absence de pullulation	Absence de pullulation	Absence de pullulation			
	Biodiversité	n genres coralliens	23	22	24			
		n espèces macrobenthos	85	52	67			
		n espèces ichtyofaune	92	113	123			



Plan des zones d'influence – mine de Kouaoua. (HC : Habitats coralliens, ICH : Ichtyofaune, MFD : Macrobenthos fonds durs, FS : Flux sédimentaires, PE : Profil Eau, QS : Qualité sédiments, MFM : Macrobenthos fonds meubles, Bioacc : Bioaccumulation dans les organismes vivants)

EQUIPE D'INTERVENTION

Mission biologique

Antoine GILBERT Ingénieur Halieute de l'ENSAR spécialisé en gestion des ressources récifales et Chef de projet en environnement marin au sein de la société SOPRONER. Il a collecté et analysé les données sur la faune macrobenthique.

Tom HEINTZ Ingénieur en écologie marine tropicale diplômé de l'Université James Cook (Townsville - Australie), chargé d'études au sein de la société SOPRONER. Il a collecté et analysé les données sur le substrat et les lésions coralliennes.

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 et la détermination de la faune macrobenthique de fonds meubles.

Nicolas GUILLEMOT Consultant, Ingénieur Halieute de l'ENSAR et docteur en halieutique. Il a réalisé l'analyse des données ichtyologiques.

Mission physico-chimique

Jean-Michel Fernandez Docteur en Géochimie, Gérant-Directeur du laboratoire AEL, superviseur scientifique

Stéphanie PLUCHINO Ingénieur en analyses et métrologie, responsable de la section Analyse du laboratoire AEL, chef de projet, a réalisé l'analyse des données en physico-chimie et la rédaction du rapport.

Laurent Haddad Technicien supérieur de Laboratoire chez AEL, a réalisé la préparation et l'analyse des échantillons de sédiments et flux.

Morgane Hubert Technicien supérieur de Laboratoire chez AEL, a réalisé la préparation et l'analyse des échantillons de sédiments et tissus biologiques

Hélène Kaplan Technicien supérieur de Laboratoire chez AEL, a réalisé l'extraction et le traitement des données CTD

L'ensemble des opérations de terrain ont été conduites sous la supervision de SOPRONER et avec l'aide logistique et technique de la société EGLE pour la réalisation de l'ensemble des missions physico-chimiques.

INTRODUCTION

Pour faire suite à la loi de pays du 16 Avril 2009 relative au code minier ¹ et les états initiaux réalisés consécutivement entre fin 2012 et début 2013, La Société Le Nickel (SLN) a souhaité mettre en place un suivi environnemental du milieu marin de l'ensemble de sites du bord de mer sous l'influence de ses activités.

Les zones à proximité des wharfs de chargement et celles en aval des bassins versants exploités ont été identifiées afin de faire l'objet d'un suivi environnemental. Ce suivi a pour objectif d'évaluer d'une part l'état écologique et physico-chimique des zones identifiées et d'autre part d'étudier leurs évolutions en différenciant autant que possible celles liées à des phénomènes naturels de celles liées aux activités de l'industriel.

Le suivi est donc focalisé sur l'analyse de données complémentaires avec :

- pour le volet biologique : une caractérisation du substrat corallien, des lésions coralliennes, des peuplements ichtyologiques et macrobenthiques;
- pour le volet physico-chimique : une caractérisation des flux sédimentaires, de la bioaccumulation dans certains organismes consommés, de la qualité des eaux et des sédiments.

Le présent rapport technique fait suite à la mise en place du réseau opérationnel de 10 stations sur la zone de THIO (du 2 au 6 mai 2016), commune de la côte Est, où la SLN exploite les mines de Plateau, Do-Thio et du camp des sapins depuis 1880.

Dans une première partie du document, les méthodes et protocoles mis en œuvre lors de la collecte des données et les méthodes de traitements et d'analyses statistiques sont présentées. Une seconde partie détaille les résultats biologiques et physico-chimiques du réseau mis en place et échantillonné. Une troisième partie synthétise et discute les résultats obtenus. Enfin une première grille de lecture synthétique relative à la qualité des matrices suivies est proposée.

¹ <https://dimenc.gouv.nc/sites/default/files/download/13076455.pdf>

MATERIEL ET METHODES

I. ZONE D'ETUDE ET STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

I.1. SITUATION GENERALE

La zone d'étude concerne l'activité des mines de Thio Plateau, Do-Thio et du camp des sapins, ainsi que le wharf de chargement de minerai (Figure 1).



Figure 1 : Plan de situation – mines de Thio

I.2. ZONE D'ECHANTILLONNAGE

I.2.1. Relevés écologiques et physico-chimiques

La zone échantillonnée est présentée sur la Figure 2.

Elle comporte 10 stations de suivi réparties en 3 zones d'influence et décrites dans le Tableau 2:

- Zone de contrôle (Thio_C) : ST09, ST10 et ST11
- Zone d'influence du wharf de chargement (Thio_W) : ST01 et ST02
- Zone d'influence des mines de Thio-plateau et Do-Thio (Thio_M) : ST04, ST05, ST06, ST07, ST08

Tableau 2 : Liste des stations de suivi – mine de Thio

Station	Zone	Echantillonnage biologique	Echantillonnage physico-chimique
ST01	Impact du wharf (THIO_W)	HC; MFD; ICH	FS; PE; QS
ST02	Impact du wharf (THIO_W)	HC; MFD; ICH	FS; PE; QS
ST04	Impact de la mine (THIO_M)	MFM	FS; PE; QS
ST05	Impact de la mine (THIO_M)	MFM	FS; PE; QS
ST06	Impact de la mine (THIO_M)	HC; MFD; ICH	FS; PE; QS
ST07	Impact de la mine (THIO_M)	HC; MFD; ICH	FS; PE; QS
ST08	Impact de la mine (THIO_M)	HC; MFD; ICH	FS; PE; QS
ST09	Contrôle (THIO_C)	HC; MFD; ICH	FS; PE; QS
ST10	Contrôle (THIO_C)	HC; MFD; ICH	FS; PE; QS
ST11	Contrôle (THIO_C)	HC; MFD; ICH	FS; PE; QS

Biologique: HC: Habitat corallien+maladies; MFM: macrofaune de fond meuble; MFD: macrofaune de fond dur; ICH: ichtyofaune

Physico-chimique: FS: Flux sédimentaires; PE: Profil colonne d'eau; QS: qualité des sédiments

I.2.2. Bioaccumulation dans des organismes vivants

Les prélèvements biologiques ont été échantillonnés aux abords des stations de façon opportuniste en fonction de la présence et de l'abondance d'organismes consommés tels que la loche saumonée. L'absence de participation des populations locales n'a pas permis de compléter l'échantillonnage avec des prélèvements réalisés sur les zones et espèces ciblées dans le cadre de leur alimentation (crabes de palétuviers dans l'embouchure de la Thio notamment).

En fonction de la disponibilité des organismes sur le terrain, 4 stations ont pu être échantillonnées en loche saumonée (Tableau 3).

Tableau 3 : Liste des stations de bioaccumulation – mine de Thio

Station	Zone	Espèce	Nombre	Tailles cm
ST06	THIO_M	Loche saumonée (<i>Plectropomus leopardus</i>)	1	40
ST08	THIO_M	Loche saumonée (<i>Plectropomus leopardus</i>)	2	23 et 30
ST09	THIO_C	Loche saumonée (<i>Plectropomus leopardus</i>)	1	23
ST11	THIO_C	Loche saumonée (<i>Plectropomus leopardus</i>)	1	25

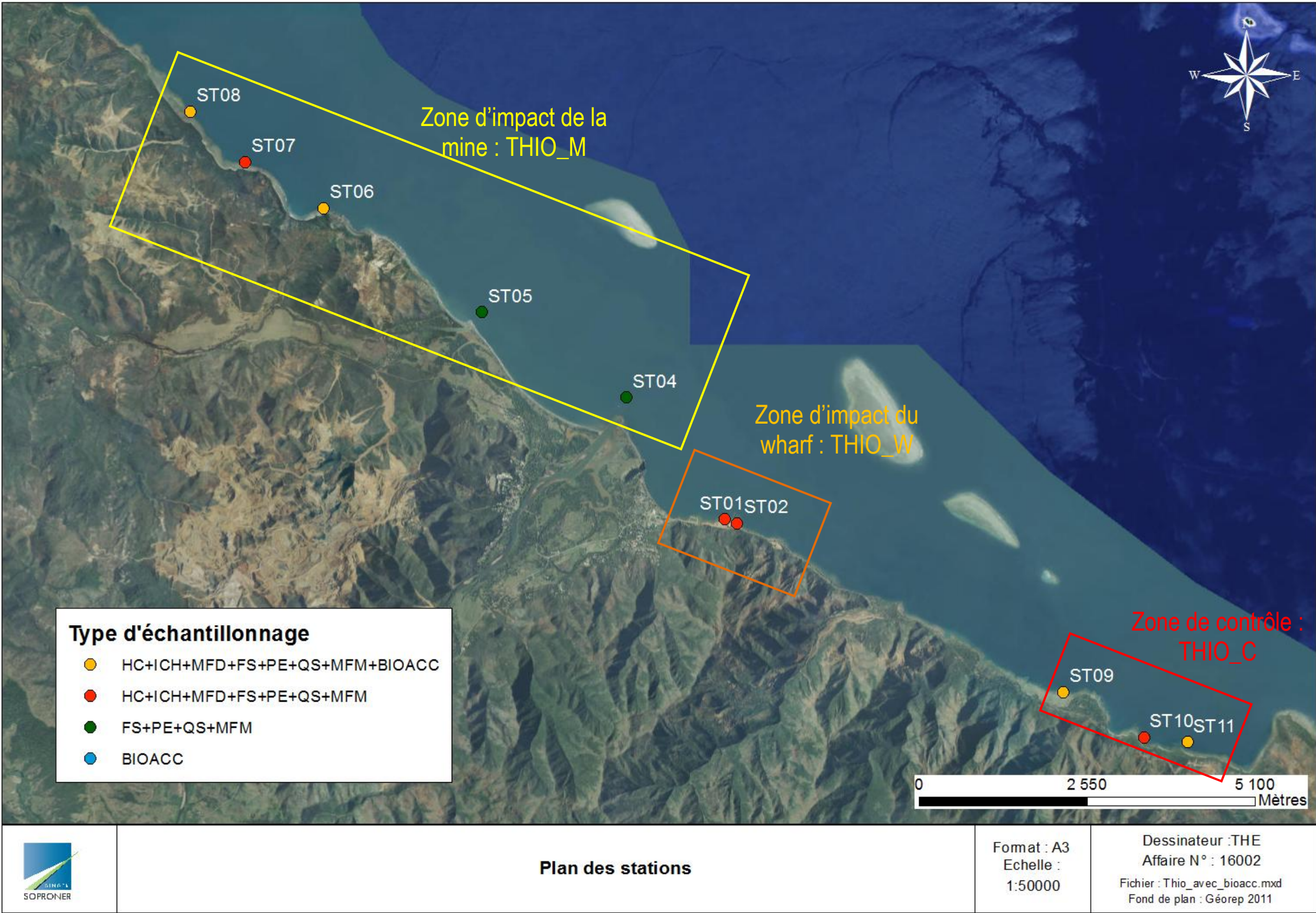


Figure 2 : Plan des stations de suivi – mine de Thio. (HC : Habitats coralliens, ICH : Ichtyofaune, MFD : Macrobenthos fonds durs, FS : Flux sédimentaires, PE : Profil Eau, QS : Qualité sédiments, MFM : Macrobenthos fonds meubles, Bioacc : Bioaccumulation dans les organismes vivants)

II. SUIVI BIOLOGIQUE

II.1. CARACTERISATION DU SUBSTRAT

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 lésions coralliennes donnant des informations sur le type de stress corallien présent sur la zone

II.1.1. Echantillonnage

II.1.1.1. 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 chacune des stations échantillonnées, 3 transects fixes de 20m sont numérotés de T01 à T03.

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 a été mesurée afin d'obtenir un pourcentage de substrat sur une distance de 20m (Figure 3). Les catégories définies par English et al. (1997) ont été retenues pour caractériser le substrat sous le ruban (Tableau 4).



Figure 3 : Plongeur effectuant des relevés LIT et maladies

Afin d'affiner la qualité des données et d'apprécier la diversité et la sensibilité corallienne des stations, chaque colonie corallienne a été relevée au niveau du genre. La totalité des transects a été relevée par photographie numérique et vidéo afin de garder une archive illustrative en cas de changement notable.

Chaque station est illustrée par une série de photographies présentée en ANNEXE I.

Tableau 4 : Catégories de substrat retenues pour l'échantillonnage en LIT (English et al. 1997)

Codes	Signification	Description
dc	Corail mort récemment	Couleur blanche
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	
act	Acropora tabulaire	
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	
ha	Halimeda spp.	
s	Sable	Particules < 2 cm
r	Débris	2 cm = particules < 10 cm
si	Vase	
wa	Crevasses	Crevasse de plus de 50 cm
rck	Roches et dalle corallienne	

II.1.1.2. Lésions coralliennes

Pour déterminer la prévalence de maladies et lésions coralliennes, les transects utilisés pour le LIT ont été utilisés en échantillonnant une zone de 1m de large, le long du ruban, côté océan. Dans cette zone de 20m², chaque colonie corallienne a été recensée au niveau du genre et classifiée soit en bonne santé, soit comportant un type de lésion.

Les types de lésions observées ont été classés comme suit :

- Blanchissement
- Pigmentation (décoloration, spots)
- Malformations coralliennes
- Prédation (Etoile de mer Acanthaster, Drupella/Corallophyllia, poissons, autre)
- Lésion liée à la sédimentation
- Compétition avec des algues
- Maladie corallienne (White syndrome, Brown Band disease)

II.1.2. Analyse des données

II.1.2.1. LIT

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

- Coraux scléractiniaires
- Coraux Acroporidae
- Coraux Non-Acroporidae
- Coraux morts
- Coraux blanchis
- Coraux mous
- Autres organismes
- Algues calcaires
- Algues
- Coraline
- Substrat abiotique

• Les coraux blanchis, étant encore vivants, sont également inclus dans les catégories coraux scléractiniaires, Acroporidae et non-Acroporidae.

II.1.2.1.1. Etat des lieux en 2016

Une description des substrats par zone d'influence (THIO_C, THIO_W et THIO_M) a été réalisée dans un premier temps. Afin d'apprécier la significativité des différences observées entre zones, une analyse de variance à un facteur

(Zone d'influence) 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 de déceler quelles zones sont à l'origine des différences observées.

Les différences écologiques entre les 8 stations sont explorées via une analyse exploratoire de type ACP (Analyse en Composantes Principales) basée sur la couverture de 9 types de substrats identifiés comme indicateurs (logiciel : PRIMER).

Les caractéristiques du substrat détaillées par stations sont présentées en ANNEXE II.

II.1.2.1.2. Evolution temporelle entre 2013 et 2016

Les stations ST01 et ST02 ont été échantillonnées en 2013 par la même équipe que 2016. La stratégie d'échantillonnage (3 transects sur le tombant) était identique et les piquets ont été retrouvés.

Ainsi, l'évolution temporelle pour la zone du wharf (THIO_W) a été décrite et une analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées à un facteur (Campagne) sur la couverture des différents substrats a été réalisée afin d'évaluer la significativité des différences observées. Une transformation des données (racine carrée) a été réalisée avant ce test statistique afin de répondre aux exigences de normalité des données et d'homogénéité des variances nécessaires à ce type de test (Zar 1999).

II.1.2.2. Caractérisation des lésions coralliennes

II.1.2.2.1. Etat des lieux en 2016

La prévalence de chaque type de lésion a été décrite par zone d'influence ; tous taxa confondus, puis par famille corallienne. Les prévalences sont fournies par station en ANNEXE III.

II.1.2.2.2. Evolution temporelle entre 2013 et 2016

L'évolution temporelle pour la zone du wharf (THIO_W) a été décrite et une analyse de variance (ANOVA) à un facteur (Campagne) à mesures répétées sur la prévalence de chaque type de lésions a été réalisée afin d'évaluer la significativité des différences observées. Une transformation des données (racine carrée) a été réalisée avant ce test statistique afin de répondre aux exigences de normalité des données et d'homogénéité des variances nécessaires à ce type de test (Zar 1999).

II.2. CARACTERISATION DES PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES

II.2.1. Protocole d'échantillonnage et observations visuelles en plongée

Sur chaque transect de comptage de 20m, les peuplements ichtyologiques ont été évalués par observation visuelle en plongée (*Underwater Visual Census* : UVC). La méthode de comptage utilisée est l'échantillonnage par transect à largeur variable (*Distance Sampling*, Buckland et al. 1993).

Lors de l'échantillonnage, un plongeur ichtyologue 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 4) :

- 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 (d1) et du poisson le plus éloigné (d2).

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.

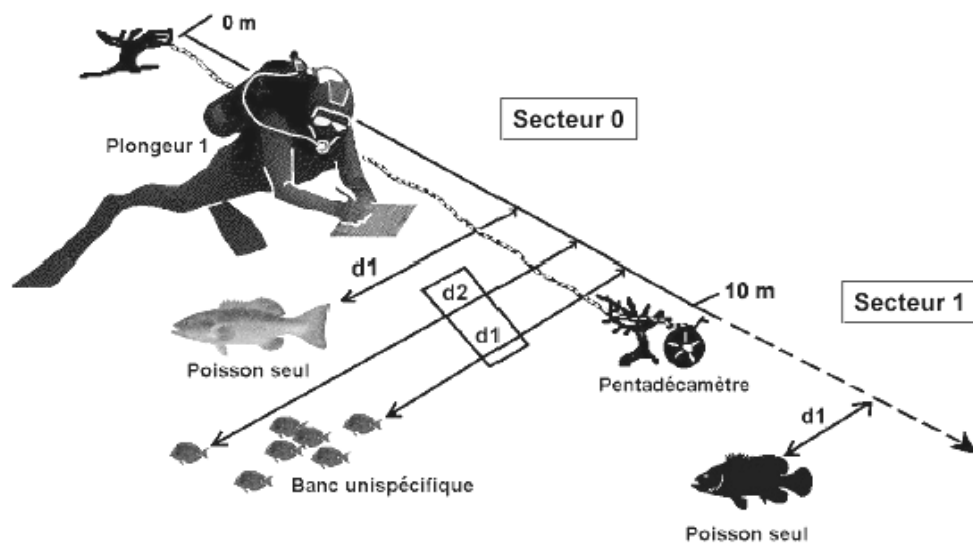


Figure 4 : Déroulement schématisé d'un comptage en plongée selon la méthode des transects à largeur variable (Source : Clua et al. 2004).

II.2.2. Caractérisation et description des peuplements ichthyologiques

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.

II.2.2.1. Calcul des niveaux de densité, biomasse, et richesse spécifique

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

Les densités (notées D , en nombre de poissons/m²) et les biomasses (notées B , en g de poissons/m²) caractérisant chaque espèce ont été calculées selon les algorithmes propres à la méthode des distances moyennes pondérées (Kulbicki & Sarraire 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, 20m)
- 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, 20m)
- P_i est le poids des individus de l'observation i . Ce poids peut être obtenu à partir de la taille observée T_i des individus, selon la formule longueur-poids suivante :

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

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

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

II.2.2.2. Description détaillée des peuplements ichthyologiques

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

Taxonomie - La décomposition des paramètres décrivant les peuplements selon les familles, genres et espèces qui les composent fournit des informations sur leur structure écologique et son évolution. La nature des taxons présents sur une station donnée est en effet reliée à la nature des habitats et aux conditions environnementales propres à cette station, et donc à leur éventuelle perturbation. Lors des analyses, un focus particulier sera notamment réalisé sur les Chaetodontidae et les Pomacentridae, qui constituent des indicateurs reconnus du niveau de perturbation des habitats coralliens et des peuplements biologiques qui y sont liés (Pomacentridae : Roberts & Ormond 1987, Jones 1991, Graham et al. 2006, Wilson et al. 2008 ; Chaetodontidae : Reese 1981, Bouchon-Navaro et al. 1985, Hourigan et al. 1988, Roberts et al. 1992, Jones et al. 2004).

Groupes trophiques - Décrire et analyser les peuplements ichthyologiques selon une approche fonctionnelle, en parallèle d'une approche taxonomique classique, fournit des informations complémentaires et directement reliées au fonctionnement et à la dynamique de l'écosystème observé (Hooper et al. 2002, McGill et al. 2006, Petchey & Gaston 2006). Ce type d'approche permet en effet d'aborder la structure des peuplements sous l'angle des fonctions que remplissent les différentes espèces au sein de l'écosystème (Steele 1991, Schwartz et al. 2000, Petchey & Gaston 2002a et 2002b, Guillemot et al. 2011). Parmi les différentes fonctions possibles, la fonction trophique des peuplements ichthyologiques permet en particulier d'apporter des informations précieuses pour expliquer d'éventuelles variations anormales de richesse spécifique, de densité ou de biomasse. Afin de permettre ce type d'analyse, les espèces

observées ont été classées selon quatre grands groupes trophiques : carnivores, herbivores, piscivores et planctonophages, sur la base d'informations tirées de FishBase® (Froese & Pauly 1997), FISHEYE (Labrosse et al. 1999), Kulbicki et al. (2005b), et Kulbicki (comm. pers. 2016).

Potentiel commercial - Tel que suggéré dans le cahier des charges du suivi environnemental marin, une liste restreinte d'espèce dite « commerciales » a été utilisée lors des comptages (cf. protocole ci-dessus). Cette liste, historiquement utilisée lors 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® et R software®.

Le Tableau 5 présente de manière synthétique les grands types de variables qui constitueront la base des analyses descriptives et statistiques utilisées par la suite.

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 notamment des requins et raies occasionnellement observés et dont l'occurrence sur un transect reste très aléatoire au moment du comptage.

Tableau 5 : Types de variables utilisés pour la caractérisation, l'analyse et la modélisation des peuplements ichtyologiques et de leurs variations spatio-temporelles.

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

II.2.3. Démarche analytique pour l'étude des peuplements ichthyologiques et de leurs variations

II.2.3.1. Approche analytique générale

La présente expertise intervient au moment d'une phase de transition entre un premier état initial réalisé en 2013 et le lancement en 2016 d'un suivi temporel opérationnel, plus élaboré, et mettant en œuvre un plan d'échantillonnage différent. En conséquence, l'essentiel de la démarche analytique pour l'ichtyofaune consistera pour cette première campagne de suivi à caractériser les peuplements et leur structuration spatiale selon les principales zones identifiées pour le suivi marin de long terme (Thio_m, Thio_w, et Thio_c). Lorsque cela a été possible, l'évolution temporelle de l'ichtyofaune a été abordée, toutefois de façon partielle en raison de changements dans le plan général d'échantillonnage (cf. ci-dessous)². La collecte d'un second jeu de données lors de la prochaine campagne de suivi permettra d'enclencher définitivement les comparaisons temporelles formelles sur la base d'un échantillonnage stable.

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

II.2.3.2. Analyses descriptives et statistiques pour la caractérisation et la comparaison des stations d'observation de l'ichtyofaune

II.2.3.2.1. Analyses descriptives par zone

Pour chaque paramètre d'ichtyofaune, la description d'une zone (ici, Thio_m, Thio_w, et Thio_c) est fondée sur la valeur moyenne des stations qu'elle contient (prenant en compte l'ensemble des répliquats constituant chaque station). Ceci permet de fournir une image pertinente des peuplements présents dans chaque zone, incluant notamment une mesure de la variabilité spatiale à petite échelle existant sur chaque zone. L'utilisation de cette réplification est de plus indispensable à la réalisation d'analyses statistiques étudiant la structure spatiale et temporelle des peuplements locaux.

Les compilations et traitements de données nécessaires au calcul des paramètres, moyennes, et écart-types associés, ainsi que la création des matrices utilisées pour les tableaux synthétiques et les graphiques caractérisant l'ichtyofaune de chaque zone ont été réalisés avec les logiciels Microsoft Excel® et R software®.

II.2.3.2.2. Comparaisons statistiques entre zones

Afin d'examiner la structuration spatiale des peuplements ichthyologiques sur le site de Thio et en perspective de l'implémentation bisannuelle du suivi du milieu marin sur ce site, il est nécessaire d'étudier les différences existant entre les peuplements de chaque zone. Ces différences initiales, selon le plan d'échantillonnage opéré en 2016, serviront en effet de base d'analyse et de réflexion dans le cadre de l'implémentation du suivi et des diagnostics d'impact qui seront réalisés année après année.

Afin de comparer les caractéristiques écologiques détaillées des peuplements ichthyologiques entre les zones, et afin de tester la significativité des différences éventuellement observées, des tests statistiques à un facteur (facteur « zone ») ont été réalisés pour chacun des paramètres d'intérêt.

Dans cette optique, il a tout d'abord été déterminé si les données propres à chaque variable répondaient aux exigences de mise en œuvre des analyses de variance (i.e. distribution gaussienne et homoscedasticité des données) (Scherrer 1984, Zar 1999). Lorsque les conditions nécessaires étaient remplies, des analyses de variance (ANOVA) ont donc été utilisées afin de comparer les paramètres d'intérêt entre zones. Dans le cas contraire, des tests non-paramétriques de type Kruskal-Wallis ont remplacé les ANOVA (Zar 1999, Rosner 2000).

² Les valeurs, paramètres, et résultats relatifs aux données 2013 qui sont fournis dans la présente étude ont été intégralement recalculés simultanément aux résultats 2016 afin d'assurer une parfaite cohérence dans les modes de traitements, filtres, et formules de calculs utilisées pour ces deux jeux de données. Les résultats 2013 correspondent donc strictement au plan analytique et calculs présentés ci-dessus dans le Matériels & Méthodes, sans considération des éventuels traitements réalisés et choix analytiques faits dans le cadre des rendus des états initiaux de 2013.

A l'issue des différentes analyses conduites, le plan d'échantillonnage comprenant trois zones sur ce site, 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 zones sont à l'origine des variations significatives éventuellement mises en évidence (Scherrer 1984). Les résultats de ces tests *post hoc*, associés à des représentations graphiques, ont permis de préciser l'amplitude et le profil de la variation considérée.

II.2.3.2.3. Comparaisons temporelles

Les données ichtyofaunistiques disponibles pour les différentes zones diffèrent entre le premier état initial effectué en 2013 et le lancement du présent suivi en 2016 : seules les deux stations de la zone Thio_w avaient été échantillonnées en 2013.

En conséquence, l'évolution temporelle de l'ichtyofaune ne peut à ce stade être abordée que dans la zone Thio_w. Contrairement aux deux autres sites réalisés en 2016 (Kouaoua et Poro), les plans d'échantillonnage appliqués à ces deux stations ainsi que les observateurs pour l'ichtyofaune ont été maintenus constants entre 2013 et 2016, permettant ainsi des comparaisons temporelles rigoureuses. Afin d'examiner l'évolution temporelle de l'ichtyofaune sur la zone Thio_w, le processus analytique mis en œuvre a été similaire à celui décrit précédemment pour étudier la structuration spatiale, l'effet « zone » dans les tests statistiques étant désormais un effet « année ». La comparaison s'effectuant entre deux années uniquement (2013 et 2016), l'emploi de test *post hoc* n'a pas été nécessaire, l'amplitude et le profil des variations significatives éventuellement mises en évidence ont été caractérisés graphiquement.

II.3. CARACTERISATION DE LA FAUNE MACROBENTHIQUE DE FONDS DURS

II.3.1. Protocole in situ

La faune macrobenthique a été inventoriée par la méthode du *Belt Transect* (Hill *et al.* 2004). Les recensements par comptage visuel sont faits sur les 3 transects de 20m sur une largeur totale de 2m (1m de chaque côté du ruban soit 40m² par transect).

Le plongeur note, pour chaque observation, l'espèce et le nombre d'individus observés. La détermination des organismes n'est pas toujours possible jusqu'au niveau spécifique. Dans ce cas la meilleure résolution taxonomique est estimée. L'échantillonnage du benthos s'est focalisé sur 4 groupes taxonomiques : vers, crustacés, mollusques et échinodermes.

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.

II.3.2. Calcul des niveaux d'abondance, de densité et de richesse taxonomique

L'ensemble des données historiques et échantillonnées en 2016 a fait l'objet d'une compilation dans une base de données commune et spécifique aux analyses de données.

Cette base de données est utilisée par différentes routines d'analyse et de représentations graphiques développées sous le logiciel R.

L'ensemble des observations *in situ* présent dans les bases est dans un premier temps filtré sur les groupes retenus pour les analyses et puis les métriques de densité et de biodiversité sont calculées pour différentes échelles d'agrégation spatiales (zones, regroupement de zones ou station).

Les densités sont calculées en prenant comme unité de base le transect et sont exprimées en ind/ha. Les données de richesse spécifique sont exprimées en prenant comme unité de base le transect et sont donc exprimées en nombre d'espèce par transect.

II.3.3. Analyses descriptives et statistiques

II.3.3.1. Description du macrobenthos

Qu'il s'agisse de la description globale ou de leur caractérisation détaillée, le traitement des données a été réalisé avec les logiciels R®, Statistica®, Microsoft Excel®. Il s'agit essentiellement de remaniements et de synthèses effectués à partir des données brutes en vue de calculer l'ensemble des moyennes, écart-types, et intervalles de confiance ($\alpha=0,05$) nécessaires à l'interprétation des résultats, et afin de produire des représentations graphiques.

II.3.3.2. Statistiques

II.3.3.2.1. Analyses exploratoire : PCO

L'Ordination en Coordonnées Principales (OCP ou PCO) est une généralisation de l'Analyse en Composantes Principales (ACP), où les calculs sont basés sur une matrice d'association de choix. La dissimilarité est calculée entre chaque paire d'objets et les objets sont projetés de telle sorte que la distance entre chaque paire soit aussi proche que possible de la distance dans la matrice de dissimilarité. Cette méthode est recommandée à la place de l'ACP pour des données non quantitatives ou ayant un grand nombre de 0 comme c'est le cas pour les densités d'invertébrés.

Cette représentation factorielle est faite sur la matrice des espèces par station ou sur un regroupement de données à un niveau de précision taxonomique (genre, famille, sous-groupe ou groupe) et spatiale (zone) différent. Ces analyses sont réalisées à l'aide du logiciel Primer®.

II.3.3.2.2. Analyses de Variance

Afin de comparer les caractéristiques des peuplements entre zones mais également entre campagnes d'échantillonnage, il est nécessaire de réaliser, au-delà d'une première comparaison visuelle des tendances, des analyses statistiques testant la significativité des différences observées.

La démarche générale vise à transformer les données de sorte à permettre la mise en œuvre d'analyses de variance paramétriques de type ANOVA qui nécessitent certaines conditions d'application notamment une distribution normale des variables et une homogénéité des variances entre groupes (Scherrer 1984, Zar 1999).

Des analyses à 1 facteur permettent typiquement d'évaluer la significativité de tendances spatiales (différences entre zones ou stations) ou de la significativité d'évolutions temporelles (différence entre campagnes).

Dans le cadre d'analyses à plusieurs facteurs on peut combiner différents facteurs spatiaux et temporels de sorte à tester la significativité de chacun des facteurs pris isolément mais également de leurs combinaisons.

Dans le cadre de l'étude d'un impact minier avec une stratégie spatiale *Contrôle/Impact* (qui vise à suivre dans le temps à la fois des zones sous l'influence des activités de la mine et des zones en dehors de leurs influences) des analyses de variances à deux facteurs sont à minima réalisées. L'absence de zone de contrôle sur le site de Poro ne permet pas ce type d'analyse mais permet toutefois de comparer les évolutions entre zones d'influence (Poro_rf, Poro_ri). Ces analyses croisent :

- un facteur spatial avec à minima deux modalités : Ici facteur ZONE
- un facteur temporel avec à minima deux modalités (Année 1 et Année 2) : Ici facteur CAMPAGNE

L'analyse de variance permet ainsi de déceler l'existence :

- de différences spatiales (toutes années confondues) si le facteur ZONE est significatif,
- d'évolutions temporelles si le facteur CAMPAGNE (toutes zones confondues) est significatif
- la survenue d'une évolution temporelle différentielle synonyme d'un impact potentiel si l'interaction entre les deux facteurs ZONE*CAMPAGNE est significative.

La réalisation d'analyse à *posteriori* ou post-hoc s'avère nécessaire pour réaliser le diagnostic. Celui-ci permet d'analyser l'origine des différences significatives mises en évidence à travers un test statistique qui compare deux à deux toutes les modalités des facteurs étudiés. Un impact potentiel sera mis en évidence lors de la survenue d'une

évolution significative entre les années de la zone d'impact. Cette analyse est réalisée par un test HSD de Tukey. Aussi cette significativité reste le focus de nos analyses. La survenue d'un impact potentiel est systématiquement suivie d'une analyse au niveau spatial le plus fin : la station.

De la même façon que pour les ANOVA, des PERMANOVA ont parfois été réalisées. La PERMANOVA (Analyse de la variance par permutation) (Anderson 2001) est un type d'analyse statistique non paramétrique qui permet d'éviter la transformation des données où lorsque les transformations ne fonctionnent pas pour répondre aux postulats de réalisation d'une ANOVA classique (Chapman 2008). Elles permettent également de travailler sur les évolutions de matrices complexes représentant la structure de communautés benthiques.

L'ensemble des analyses afférentes ont été réalisées à l'aide des logiciels R, Statistica et Primer Software®. Le risque de première espèce α a été fixé à 0,05.

II.4. CARACTERISATION DE LA FAUNE MACROBENTHIQUE DE FONDS MEUBLES

II.4.1. Prélèvement

Sur chaque station de fonds meubles, 3 prélèvements ont été réalisés au pied du piquet à ailette à l'aide d'un carottier en PVC de diamètre 9cm (Figure 5). Le prélèvement a été réalisé sur une profondeur de 10cm puis tamisé à 2 mm. Le matériel récupéré a été stocké en pilulier dans une solution de formaldéhyde (5%) tamponnée au borate de sodium. De retour au laboratoire, les organismes prélevés ont été identifiés à la loupe binoculaire ou à l'œil nu puis classés selon leur groupe, sous groupe ou famille dans le meilleur des cas.

Le travail d'identification des organismes a été réalisé par Pierre Laboute.

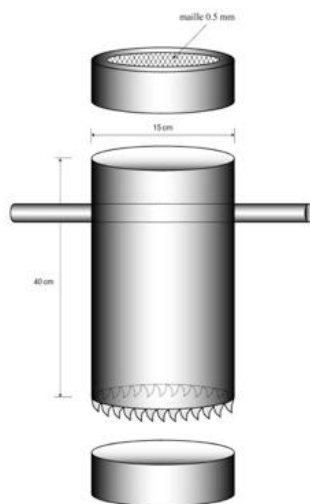


Figure 5 : Système de carottier utilisé pour le prélèvement de fonds meubles (source : EMR)

II.4.2. Analyse des données

Les données obtenues permettent théoriquement de calculer une densité d'organismes par transect en divisant le nombre d'individus par la surface du prélèvement soit : $\pi \times (0,045)^2 \text{ m}^2$.

La présence d'un individu au sein d'une carotte lui apporte une densité de 157,3 indiv/m² sur une profondeur de 10cm.

Compte tenu du très faible nombre d'individus récoltés sur les stations, les densités n'ont pas été calculées puisqu'elles n'apportent pas d'information pertinente pour cette étude.

III. SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE

III.1. QUALITE DES EAUX

III.1.1. Méthode d'analyse

La structuration verticale des masses d'eau sur chacune des stations échantillonnées a été obtenue par des profils verticaux réalisés à l'aide d'une sonde CTD SBE19-plus équipée de capteurs additionnels ; la fréquence d'acquisition des données étant de 0,25 secondes et la vitesse de descente située entre 0,25 et 0,5 m/s.

Les paramètres mesurés par la sonde CTD sont les suivants :

- La pression permettant de calculer la profondeur (m) ;
- la salinité exprimée en PSU (*practical salinity unit*) déduite de la mesure de la conductivité ;
- la température (°C) ;
- la turbidité par mesure de la néphélométrie exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ;
- la fluorescence *in-situ* exprimée en unité mg/m³ de chlorophylle totale ;
- la concentration en oxygène dissous exprimée en pourcentage de saturation de l'eau de mer.

La spécification de chaque paramètre enregistré par la sonde CTD est présentée dans le Tableau 6 .

Tableau 6 : Spécification de chaque paramètre de la sonde CTD 19 plus V2.

Paramètre	Gamme	Précision initiale	Résolution
Conductivité (S/m)	0 - 9	0,0005	0,0007
Température (°C)	-5 à +35	0,005	0,0001
Pression (db)	0 – 350	0,35	0,007
Turbidité (NTU)	0 - 25	NA	0,01
Fluorescence (mg/m ³)	0 - 50	NA	0,025

NA= Donnée non disponible, les capteurs sont calibrés en usine.

Sur les 10 stations échantillonnées, suite à un problème technique, les données physico-chimiques des CTD des stations St04 et St05 n'ont malheureusement pas été enregistrées.

III.1.2. Contrôle Qualité

La vérification et la calibration des sondes sont effectuées par le fabricant (La fréquence de calibration dépendra de plusieurs facteurs incluant la fréquence d'utilisation, la qualité de la maintenance, le nettoyage, etc...)

III.2. QUALITE DES SEDIMENTS

III.2.1. Méthode d'échantillonnage

La collecte des sédiments de surface a été effectuée avec une benne de type Van-Veen en acier inoxydable. Pour chaque échantillon, la couche centimétrique de surface a été prélevée et conditionnée dans des sachets en vinyle référencés (Whirl-Pack®) à usage unique pour l'ensemble des analyses et dans des flacons en verre calcinés pour le dosage des HCT.

III.2.2. Granulométrie des sédiments

Les sédiments sont tamisés par voie humide sur une colonne de tamisage vibrante. Les fractions sont récupérées entre chaque tamis, puis séchées à 105 °C et ensuite pesées. Les pourcentages massiques sont alors exprimés pour chaque classe de taille. Les classes de taille sont les suivantes :

- $\varnothing > 2000 \mu\text{m}$: sable grossier ;
- $63 \mu\text{m} < \varnothing < 2000 \mu\text{m}$: sable grossiers, silts grossiers à moyens.
- $\varnothing < 63 \mu\text{m}$: silts moyens à fins et argile

III.2.3. Teneur en carbonates de calcium

III.2.3.1. Méthode d'analyse

La fraction $< 63 \mu\text{m}$ des sédiments, séchée, est mise en solution par fusion alcaline, selon ISO 14869-2 et analysée par ICP-OES selon NF 11 885 afin de déterminer les concentrations en Calcium. Ces dernières sont ramenées par calcul à des concentrations équivalentes de carbonates de calcium.

III.2.3.2. Contrôle qualité

III.2.3.2.1. Répétabilité des méthodes d'échantillonnage, de préparation et d'analyse

Trois aliquotes des sédiments prélevés à la station ST09 (mis dans des contenants différents), constituant un **duplicata** et un « **fantôme** » (i.e. dont la provenance est inconnue du laboratoire jusqu'à la fin de l'analyse), ont été préparés et analysés afin de déterminer la **répétabilité** des méthodes d'échantillonnage, de préparation et d'analyse, et donc s'assurer de l'homogénéité de l'échantillon.

Le coefficient de variation (CV%) calculé, à partir des concentrations mesurées sur les trois échantillons (duplicata + « fantôme »), est estimé à 14%. L'écart relatif calculé entre la moyenne du duplicata et l'échantillon « fantôme » est évalué à 23% (**Tableau 7**).

Les résultats du contrôle qualité, obtenus à partir du duplicata et de l'échantillon « fantôme » de terrain, permettent de considérer que des méthodes d'échantillonnage de préparation et d'analyse **sont répétables**.

Tableau 7: Résultats du « Contrôle Qualité » de répétabilité pour l'analyse des carbonates dans les sédiments(a) à partir du duplicata et (b) de l'échantillon « fantôme » de terrain

(a)

PARAMETRES (%)	CaCO3%
ST09-réplikat 1	52,1
ST09-réplikat 2	56,0
ST09-fantôme	68,1
Moyenne	58,7
Ecart Type	8,4
CV%	14%

(b)

PARAMETRES (%)	CaCO3%
ST09-(n=2)	54,0
ST09-fantôme	68,1
Ecart relatif %	23%

III.2.3.2.2. Comparaison inter-laboratoire

Un échantillon « **contrôle inter-laboratoire** » prélevé à la station ST09 a été envoyé à un laboratoire d'analyse différent (IRD) de celui réalisant les analyses de la série d'échantillons (AEL). De ce fait, ce « contrôle » renseigne, sur la qualité des analyses dans des conditions de reproductibilité (système de mesure différent, opérateurs différents, lieu différent), seulement en admettant que les échantillons mesurés par les deux laboratoires soient homogènes.

L'écart relatif estimé, entre les deux laboratoires, à 11% permet de valider une bonne reproductibilité des méthodes d'analyses (Tableau 8).

Tableau 8: Résultats de la comparaison inter-laboratoire pour l'analyse des carbonates dans les sédiments

PARAMETRES (%)	CaCO3%
ST09-AEL (n=3)	58,7
ST09-IRD	65,3
Ecart relatif (%)	11%

III.2.4. Métaux totaux

III.2.4.1. Méthode d'analyse

La détermination des métaux sur les fractions brutes n'est pas directement interprétable car les concentrations dépendent fortement de la granulométrie et des propriétés physico-chimiques du sédiment. Afin de normaliser les résultats ; l'analyse porte sur une fraction granulométrique fine (<63 µm), plus homogène permettant d'obtenir un reflet plus exact de la contamination. Un aliquote de cette fraction <63µm est, séché est mis en solution par **fusion alcaline**, selon ISO 14869-2. Brièvement, il s'agit de faire réagir une quantité de tétraborate de lithium avec le sédiment à haute température (1000 °C) puis, après refroidissement partiel, de dissoudre les billes d'amalgame formées dans une solution d'eau régale (HCl/HNO₃). Le dosage des métaux (Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn), ainsi dissous, s'effectue par **ICP-OES** (Marque Varian®, modèle Vista) selon la norme NF 11 885. Un aliquote de la fraction <63 µm est minéralisé et analysé par AFS pour la détermination du Hg selon NF ISO 16 772.

III.2.4.2. Contrôle Qualité

III.2.4.2.1. Justesse de la méthode de préparation et d'analyse

Un contrôle qualité des méthodes de préparation et d'analyse a été effectué en insérant dans la série analytique, un matériau de référence certifié, d'origine marine (MESS 3) afin de déterminer la justesse du processus analytique. Les biais de justesse estimés sont tous inférieurs aux tolérances fixées par le laboratoire (Tableau 9).

Tableau 9: Résultats du « Contrôle Qualité » de la justesse des méthodes de préparation et d'analyse pour la détermination des métaux dans les sédiments sur l'échantillon de référence certifié **MESS 3**

PARAMETRES	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Valeurs obtenues (mg/kg MS)	<5	16,7	100	25,4	303	37,8	<25	136
Ecart-type (n=1)	*	1,5	4	0,9	5	1,2	*	5
Valeurs certifiées (mg/kg MS)	0,24	14,4	105	33,9	324	46,9	21,1	159
Ecart-type (mg/kg/MS)	0,01	2,0	4	1,6	12	2,2	0,7	8
Biais (%)	*	16%	5%	25%	7%	19%	*	15%
Tolérance de justesse(%)	NA	25%	20%	30%	15%	20%	NA	20%
Limite de quantification (mg/kg MS)	5	10	10	10	10	10	25	50

III.2.4.2.2. Répétabilité des méthodes d'échantillonnage, de préparation et d'analyse

Trois aliquotes des sédiments prélevés à la station ST09 (mis dans des contenants différents), constituant un **duplicata** et un « **fantôme** » (i.e. dont la provenance est inconnue du laboratoire jusqu'à la fin de l'analyse), ont été préparés et analysés afin de déterminer la **répétabilité** des méthodes d'échantillonnage, de préparation et d'analyse, et donc s'assurer de l'homogénéité de l'échantillon.

Les coefficients de variation (CV%), pour les éléments quantifiés supérieurs aux limites de quantification, varient entre 14% et 23%. Les écarts relatifs, évalués entre l'échantillon fantôme et le duplicata, sont, inférieurs ou proches de 20%.

Les résultats du contrôle qualité, obtenus à partir du duplicata et de l'échantillon « fantôme » de terrain, permettent de mettre en évidence une **bonne répétabilité** des méthodes d'échantillonnage, de préparation et d'analyse (Tableau 10).

Tableau 10 : Résultats du « Contrôle Qualité » de répétabilité, pour la détermination des métaux dans les sédiments, (a) à partir du duplicata et (b) de l'échantillon « fantôme » de terrain

(a)

PARAMETRES	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Hg
ST09-réplicat 1 (mg/Kg MS)	<5	85	665	<10	1428	996	<25	<100	<0,02
ST09- réplicat 2 (mg/Kg MS)	<5	98	908	<10	1748	1233	<25	<100	<0,02
Moyenne (mg/Kg) MS	<5	92	787	<10	1588	1115	<25	<100	<0,02
Ecart Type (mg/Kg) MS	*	9	172	*	226	168	*	*	*
CV%	*	10%	23%	*	14%	16%	*	*	*

(b)

PARAMETRES	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Hg
ST09 (n=2) (mg/Kg MS)	<5	92	787	<10	1588	1115	<25	<100	<0,02
ST09- fantôme (mg/Kg MS)	<5	80	653	<10	1578	906	<25	<100	<0,02
Ecart relatif %	*	13%	19%	*	1%	21%	*	*	*

III.2.4.2.3. Comparaison inter-laboratoire

Un échantillon « **contrôle inter-laboratoire** » a été prélevé à ST09 et envoyé à un laboratoire d'analyse différent (IRD et Inovalys pour Hg) de celui réalisant les analyses de la série d'échantillons (AEL et Alpa-chimies pour Hg). De ce fait, ce « contrôle » renseigne, sur la qualité des analyses dans des conditions de reproductibilité (système de mesure différent, opérateurs différents, lieu différent), en admettant que les échantillons mesurés par les deux laboratoires soient homogènes.

Les écarts relatifs, enregistrés pour les éléments mesurés supérieurs aux limites de quantification et la cohérence des résultats obtenus entre les deux laboratoires, pour les éléments inférieurs aux limites de quantification, permettent de mettre en évidence une reproductibilité des méthodes d'analyses, des métaux dans les sédiments, très satisfaisante (à noter que l'analyse de Mn présente un écart relatif plus important et supérieur à 20% mais ce dernier reste tout de acceptable si l'on considère l'erreur sur l'hétérogénéité due à l'échantillonnage) (Tableau 11).

Tableau 11: Résultats de la comparaison inter-laboratoire pour la détermination des métaux dans les sédiments

PARAMETRES	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Hg
ST09-Labo 1 (mg/Kg MS)	<5	92	787	<10	1588	1115	<25	<100	<0,02
ST09-Labo 2 (mg/Kg MS)	<5	82	824	9	1121	942	14	44	<0,05
Ecart relatif (%)	*	11%	5%	*	34%	17%	*	*	*

A titre de comparaison les biais évalués lors d'un exercice inter-laboratoire international (organisé par Quasimeme) pour lequel AEL a participé en Octobre 2015 sont réunis dans le Tableau 12 (en rappelant que ceux –ci n'intègrent pas les biais dus à l'échantillonnage).

Tableau 12: Performance de justesse du laboratoire AEL, évalué lors de l'exercice inter-laboratoire Quasimeme (Octobre 2015), pour la détermination des métaux dans les sédiments

PARAMETRES	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Valeur de référence (mg/Kg MS)	1944	5,45	58,0	9,45	530	53,8	25,2	665
Valeur obtenue par AEL (mg/Kg MS)	2416	6,00	66,0	11,0	457	53,0	23,0	653
Biais (%)	24%	10%	14%	16%	-14%	-1%	-9%	-2%

III.2.5. Hydrocarbures totaux

III.2.5.1. Méthode d'analyse

Les HCT sont extraits du sédiment et analysés par chromatographie en phase gazeuse selon la norme ISO 16703, les analyses ont été réalisées par le laboratoire Alpa chimies et l'exercice inter-laboratoire a été confié à Inovalys.

III.2.5.2. Contrôle qualité

III.2.5.2.1. Répétabilité des méthodes d'échantillonnage, de préparation et d'analyse

Trois aliquotes des sédiments prélevés à la station ST09 (mis dans des contenants différents), constituant un **duplicata** et un « **fantôme** » (i.e. dont la provenance est inconnue du laboratoire jusqu'à la fin de l'analyse), ont été préparés et analysés afin de déterminer la **répétabilité** des méthodes d'échantillonnage, de préparation et d'analyse, et donc s'assurer de l'homogénéité de l'échantillon.

Les teneurs en HCT sont mesurées, pour les trois échantillons, inférieures à la limite de quantification (calculée en fonction du % de matière sèche) (**Tableau 13**).

Tableau 13: Résultats du « Contrôle Qualité » de fidélité pour la détermination des hydrocarbures totaux dans les sédiments

PARAMETRES	HCT
ST09-réplikat 1 (mg/Kg MS)	<26
ST09- réplikat 2 (mg/Kg MS)	<16
ST09- fantôme (mg/Kg MS)	<22

III.2.5.2.2. Comparaison inter-laboratoire

Un échantillon « contrôle inter-laboratoire », prélevé à ST09, a été envoyé à un laboratoire d'analyse différent (Inovalys) de celui réalisant les analyses de la série d'échantillons (Alpa-chimies). De ce fait, ce « contrôle » renseigne, sur la qualité des analyses dans **des conditions de reproductibilité** (système de mesure différent, opérateurs différents, lieu différent), seulement en admettant que les échantillons mesurés par les deux laboratoires soient homogènes.

Les résultats obtenus par les deux laboratoires sont cohérents (**Tableau 14**).

Tableau 14: Résultats de la comparaison inter-laboratoire pour la détermination des hydrocarbures totaux dans les sédiments

PARAMETRES	HCT
ST09-Labo 1 (mg/Kg MS)	<21
ST09-Labo 2 (mg/Kg MS)	9,60

III.3. FLUX SEDIMENTAIRES

III.3.1. Méthode d'échantillonnage

Les « tubes à sédiments » collectent les particules présentes dans la colonne d'eau, qui se déposent naturellement par gravité. Chaque station « tubes à sédiments » est constituée d'un dispositif comportant 4 tubes en PVC fixés sur un piquet métallique implanté sur le substrat. Les tubes à sédiments se situent à 1,5 m au-dessus du fond et présentent les dimensions suivantes : L = 33,5 cm et Ø = 4,5 cm, soit une surface de 63,59 cm² (pour les 4 tubes).

A chaque station, le contenu des quatre tubes est regroupé dans un flacon de 1L afin de disposer d'un échantillon composite pour les analyses.

Deux types de détermination ont été conduits sur les matières en suspension (MES) collectées : le calcul des densités de flux verticaux de matière sédimentaire totale ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{j}$) et leurs teneurs en carbonates (%).

III.3.2. Méthode d'analyse

III.3.2.1. Teneurs en carbonates

La méthode utilisée pour le dosage des carbonates dans les MES suit la norme **NF ISO 10693** (méthode volumétrique utilisant un « calcimètre Bernard »). Celle-ci consiste à solubiliser totalement les carbonates présents dans l'échantillon sédimentaire par ajout d'acide chlorhydrique concentré. Le volume du dioxyde de carbone dégagé est alors mesuré à l'aide du calcimètre et est comparé au volume de gaz produit par la solubilisation d'un échantillon standard de carbonate de calcium pur. Les teneurs en carbonates sont exprimées en pourcentage massique par rapport à la masse totale de MES collectée.

III.3.2.2. Flux de particules

Pour chaque station, de retour à terre et après décantation des MES dans les flacons de 1L, l'eau de mer surnageante est soustraite et l'échantillon est rincé à l'eau douce afin d'éliminer la matrice saline. Après agitation, remise en suspension puis décantation à nouveau, l'eau de rinçage surnageante est éliminée : cette opération est renouvelée deux fois.

Après un séchage à 40 °C, les masses de MES collectées sont pesées pour chaque station.

Les flux de particules sont exprimés en tant que masse totale sèche par unité de surface et par unité de temps ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{j}$), selon l'expression suivante :

$$\text{Flux} = m / (n \times S \times j)$$

Avec **m** : masse sèche du matériel sédimentaire (mg) ;
n : nombre de tubes ;
S : section des tubes (cm^2) ;
j : nombre de jours entre 2 collectes successives.

III.4. BIOACCUMULATION DANS ORGANISMES VIVANTS

III.4.1. Méthode d'analyse

Rappel : certaines espèces ont la capacité d'accumuler les contaminants dans leurs tissus mous ; l'exploitation de ces propriétés d'incorporation permet d'évaluer l'évolution des concentrations en métaux présents dans la colonne d'eau, sous formes dissoutes et/ou particulaires. En effet, via le réseau trophique, les métaux sont bio-accumulés dans les organismes marins qui constituent ainsi des bio-intégrateurs pertinents pour évaluer les niveaux de contamination du milieu environnant.

Pour chaque station, les chairs de tissus biologiques, réceptionnées congelées au laboratoire, sont lyophilisées. Ces échantillons séchés sont :

- minéralisés à haute température en conditions hyperbares (four micro-ondes) avec une solution d'acide nitrique concentré et de peroxyde d'hydrogène (qualité supra-pur) afin de solubiliser les métaux accumulés dans 0,5 g de tissus selon la méthode décrite dans Breau (2003), puis analysés par ICP-OES selon ISO 11885 afin de déterminer les concentrations en As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn.

- minéralisés et analysés par AFS selon la norme NF EN ISO 17852 pour la détermination du mercure (Hg).

III.4.2. Contrôle qualité de la méthode de préparation et d'analyse

Un contrôle qualité des méthodes de minéralisation et d'analyse a été effectué en insérant dans la série analytique, des matériaux de référence certifiés, d'origine marine (TORT-3 et DORM 4) afin de déterminer la justesse du processus analytique. Les résultats du contrôle qualité sont présentés, pour chaque élément, dans le Tableau 15 et le Tableau 16.

Tableau 15: Résultats du « Contrôle Qualité » des méthodes de minéralisation et d'analyses des métaux dans les tissus biologiques pour DORM 4

PARAMETRES	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Valeurs obtenues (µg/g ps)	7,24	0,303	0,30	1,86	14,1	292	2,83	1,29	<0,40	47,4
Ecart-type (n=2)	0,09	0,013	0,00	0,00	0,1	1	0,04	0,00	*	0,5
Valeurs certifiées (µg/g ps)	6,87	0,299	*	1,87	15,7	343	3,17	1,34	0,416	51,6
Ecart-type	0,44	0,018	*	0,18	0,5	20	0,26	0,14	0,053	2,8
Biais (%)	5%	1%	*	1%	10%	15%	11%	4%	*	8%
Limite de quantification (µg/g ps)	1,0	0,10	0,20	0,10	0,20	2,0	0,10	0,40	0,40	10

Tableau 16: Résultats du « Contrôle Qualité » des méthodes de minéralisation et d'analyses des métaux dans les tissus biologiques pour TORT 3

PARAMETRES	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Valeurs obtenues (µg/g ps)	63,9	39,4	1,10	1,86	413	147	13,7	4,67	<0,40	126
Ecart-type (n=2)	0,4	0,5	0,02	0,02	2	2	0,1	0,07	*	3
Valeurs certifiées (µg/g ps)	59,5	42,3	1,06	1,95	497	179	15,6	5,30	0,225	136
Ecart-type	3,8	1,8	*	0,24	22	8	1,0	0,24	0,018	6
Biais (%)	7%	7%	3%	5%	17%	18%	12%	12%	*	8%
Limite de quantification (µg/g ps)	1,0	0,10	0,20	0,10	0,20	2,0	0,10	0,40	0,40	10

Les biais de justesse estimés sont tous inférieurs aux limites de tolérances fixées par le laboratoire à 20%,

RESULTATS

I. CARACTERISATION DU SUBSTRAT

I.1. DESCRIPTION GENERALE DU SUBSTRAT EN MAI 2016

En mai 2016, les stations de Thio sont majoritairement représentées par les coraux scléactiniaires (36%) et les algues calcaires (31%) (Figure 6). Les algues et le substrat abiotique ont une couverture moyenne proche de 10% et les autres types de substrat ne dépassent pas 5% de couverture en moyenne.

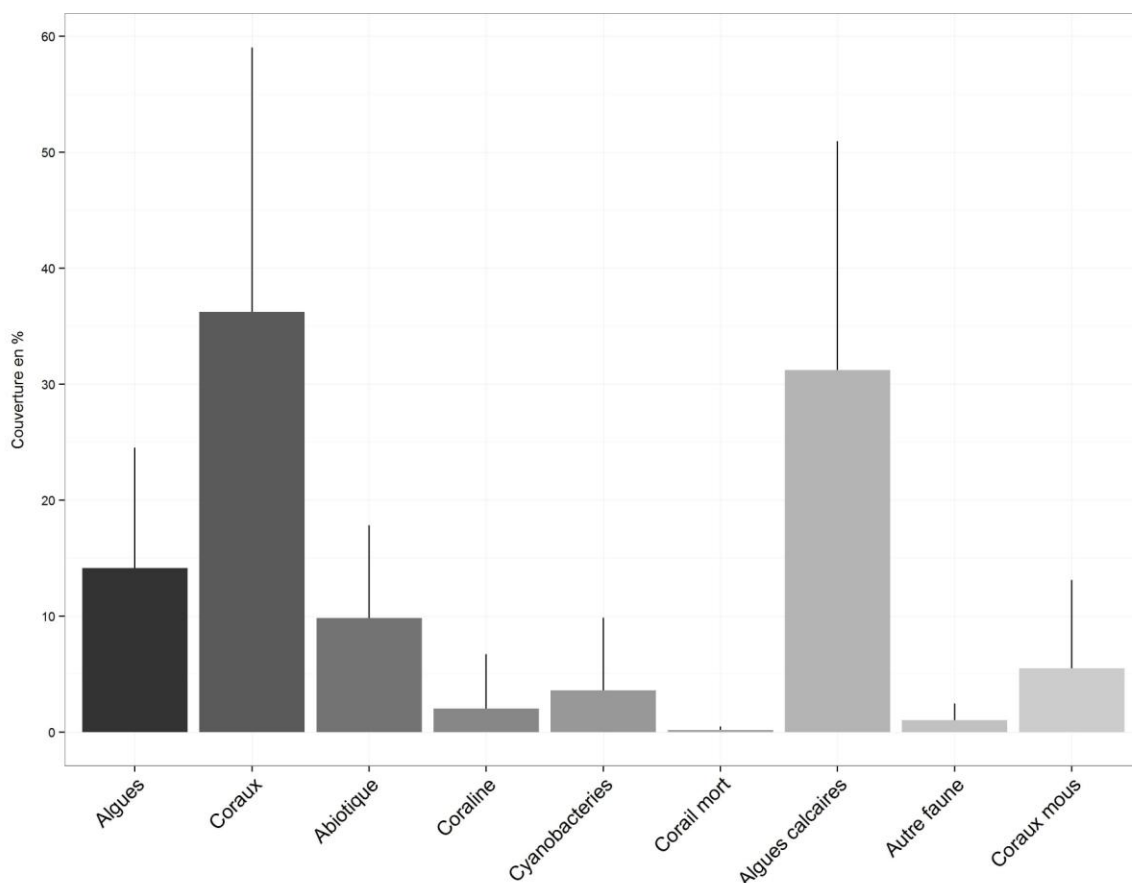


Figure 6 : Couverture moyenne (% +/- ET) des différents substrats sur la zone de Thio

L'analyse des résultats de l'ACP (Figure 7) montre les tendances suivantes :

- Les stations ST09 et ST11 sont positivement corrélées à la couverture d'algues calcaires
- La station ST01 se démarque des autres stations avec une couverture élevée d'Acroporidae et de coraux blanchis
- ST02, ST06 et ST10 ont une couverture de coraux Non-Acroporidae, de coraux mous et de coralline élevée
- Les stations ST07 et ST08, proches du centre de l'ellipse ne montrent pas de forte dominance d'un des substrats

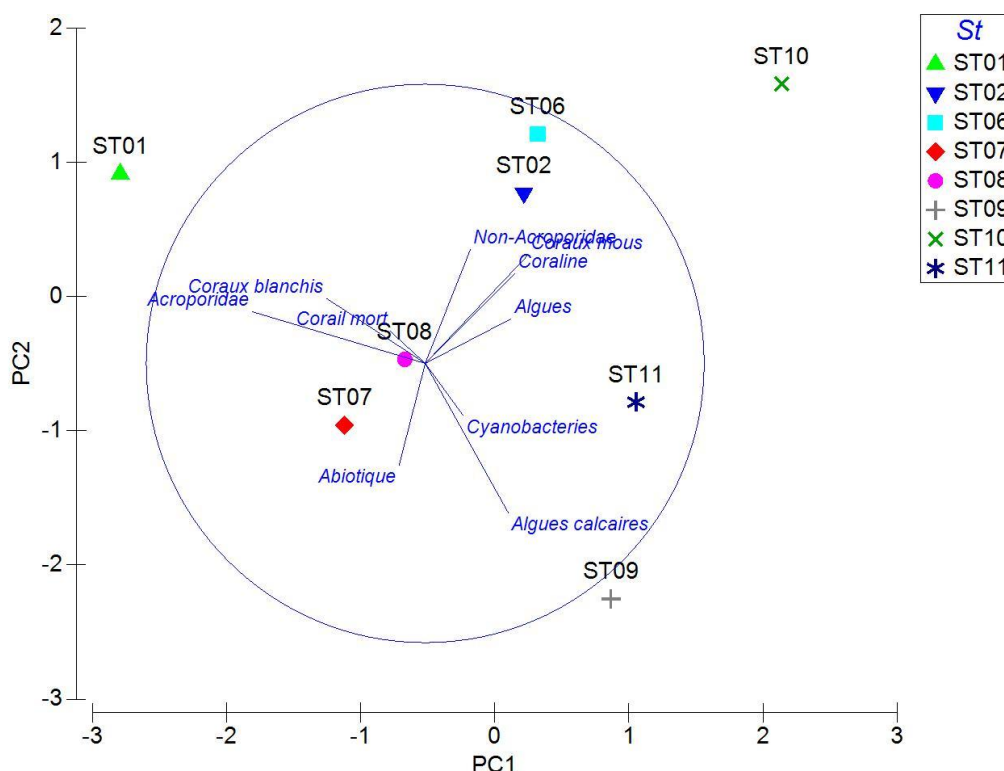


Figure 7 : Résultats de l'ACP sur les 9 catégories générales de substrat moyennées par station. Pourcentage de l'inertie du jeu de données retenu par les deux premiers axes : 60,5%

I.2. DESCRIPTION PAR ZONE D'INFLUENCE

La zone de contrôle (Thio_C) obtient une couverture corallienne significativement plus faible (11,3%) comparée aux deux zones d'impact : du wharf (58,1%) et de la mine (46,5%). Les Acroporidae dominent largement ces deux zones (40% à 50% de couverture environ) tout comme la zone de contrôle dans une moindre mesure (5,4%).

Les couvertures de coraux morts récemment et de coraux blanchis sont respectivement inférieures à 2% sur chaque zone hormis sur Thio_W où le corail blanchi atteint une couverture proche 9%. Nous rappelons que la mission de terrain a été réalisée pendant un épisode massif de blanchissement corallien (<https://nouvelle-caledonie.ird.fr/toute-l-actualite/actualites/les-recifs-de-nouvelle-caledonie-menaces-par-un-episode-de-blanchissement-massif>).

La couverture de coraux mous est inférieure à 10% sur chaque zone avec un maximum à 8,2% en zone de contrôle (Thio_C). La couverture de substrat abiotique (sable/vase essentiellement) est proche de 10% sur chaque zone d'influence.

Enfin, les algues présentent une couverture d'environ 20% sur Thio_C et Thio_W alors qu'elle est deux fois moins élevée face à la mine (Thio_M).

Tableau 17 : Résultats des tests statistiques testant l'existence de différences entre zones pour les couvertures de substrats coralliens sur le site de Poro. ns : non-significatif ; significatif avec * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$.

	Coraux scléractiniaires		Coraux Acroporidae		Coraux Non-Acroporidae		Corail mort		Coraux blanchis		Coraux mous	
	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc
Zone	*** ($p=0,000$)	Thio_c < Thio_m et Thio_w	*** ($p=0,000$)	Thio_c < Thio_m et Thio_w	NS		NS		** ($p=0,006$)	Thio_w > Thio_m et Thio_c	NS	

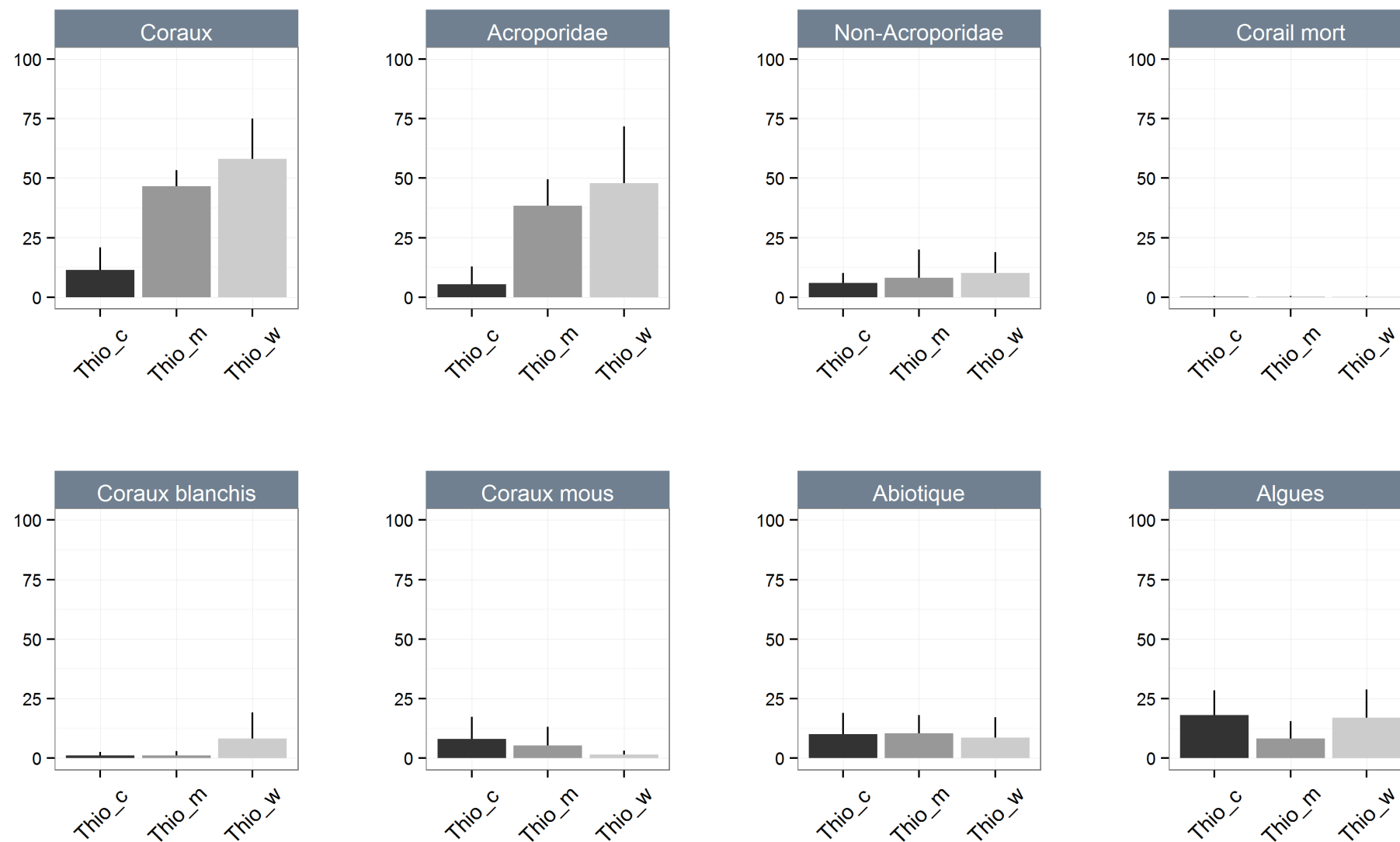


Figure 8 : Couverture de substrats (% +/- ET) par zone d'influence en 2016

:

En termes de familles coralliennes, les tendances suivantes sont observées sur les 3 zones d'influence (Figure 9):

- Les deux zones d'impact (Thio_m et Thio_w) sont largement dominées par la famille Acroporidae (40% de couverture environ). Hors coraux mous sur Thio_w, les autres familles ont chacune des couvertures inférieures à 5%.
- Les Acroporidae dominent également la zone de contrôle (5,3% de couverture) et les autres familles, hors coraux mous, sont très peu présentes (couverture < 3% chacune).

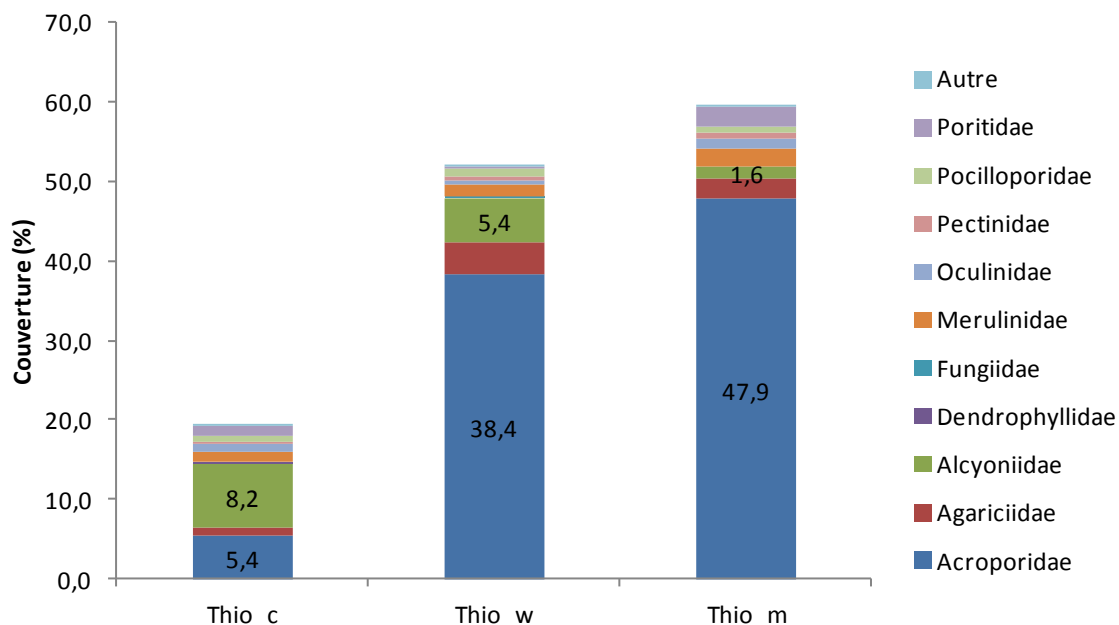


Figure 9 : Couverture corallienne par famille (%) par zone d'influence en 2016

Les différentes familles coralliennes observées sur la zone de Thio sont illustrées sur la Figure 10.

Les graphiques qui détaillent les résultats par station sont fournis en ANNEXE III.

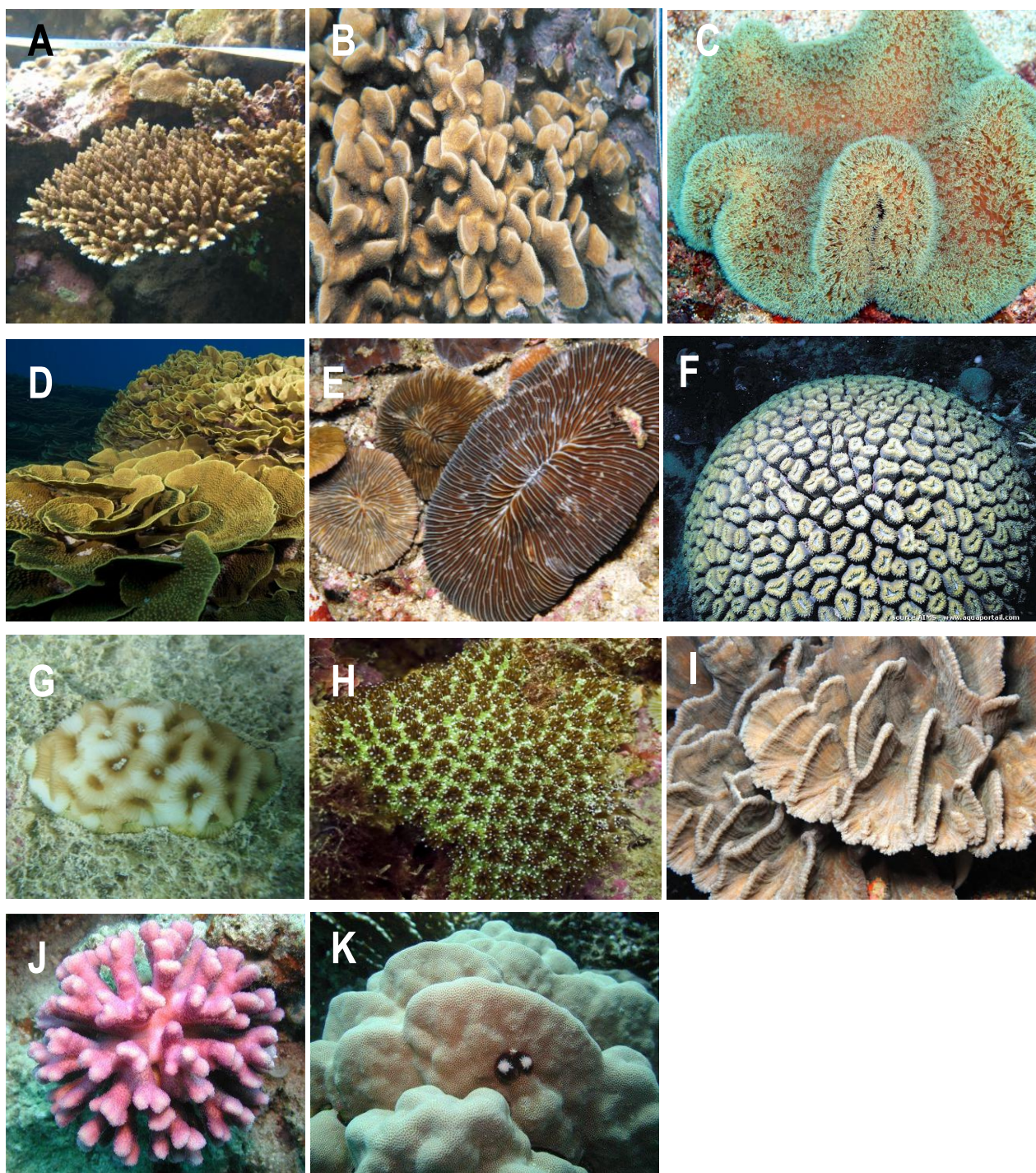


Figure 10: Exemples de photographies des différentes familles coralliennes observées sur Kouaoua (source : SOPRONER, google, AIMS). A :Acroporidae, B :Agariciidae, C : Alcyonidae, D : Dendrophyllidae, E :Fungiidae, F : Lobophyllidae, G : Merulinidae, H : Oculinidae, I : Pocilloporidae, J : Poritidae.

I.3. EVOLUTION TEMPORELLE

Les résultats de l'ANOVA à mesures répétées à un facteur (Campagne) sur la couverture des différents substrats sont présentés dans le Tableau 18 et les évolutions de couvertures sont représentées sur la Figure 11.

Tableau 18 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Campagne) sur les différents substrats. ns : non-significatif ; * : significatif avec * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; * : $P < 0,001$.**

	Coraux scléactiniaires		Coraux Acroporidae		Coraux Non-Acroporidae		Corail mort		Coraux blanchis		Coraux mous	
	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc
Campagne	NS		NS		NS		** (p=0,009)	2013<2016	* (p=0,01)	2016>2013	NS	

Sur la zone de Thio_w, la couverture de coraux scléactiniaires a diminué entre 2013 et 2016 d'environ 5% mais cette diminution n'est pas significative (Figure 11, ANOVA, $p > 0,05$). Cette diminution est principalement liée aux Acroporidae (-4%) comparée à celle des non-Acroporidae (-1,1%) mais aucune est significative (ANOVA, $p > 0,05$).

La couverture de coraux morts récemment est restée inférieure à 3% en 2013 et 2016. Celle de coraux blanchis, nulle en 2013 a significativement augmenté (ANOVA, $p < 0,05$) en 2016 pour atteindre 8,3% environ. L'étude des évolutions par stations (ANNEXE II) montre que cette augmentation est quasiment totalement liée à la station ST01 (+15% environ).

Les couvertures de coraux mous, d'algues et de substrat abiotique ne montrent pas d'évolutions particulières (ANOVA, $p < 0,05$).

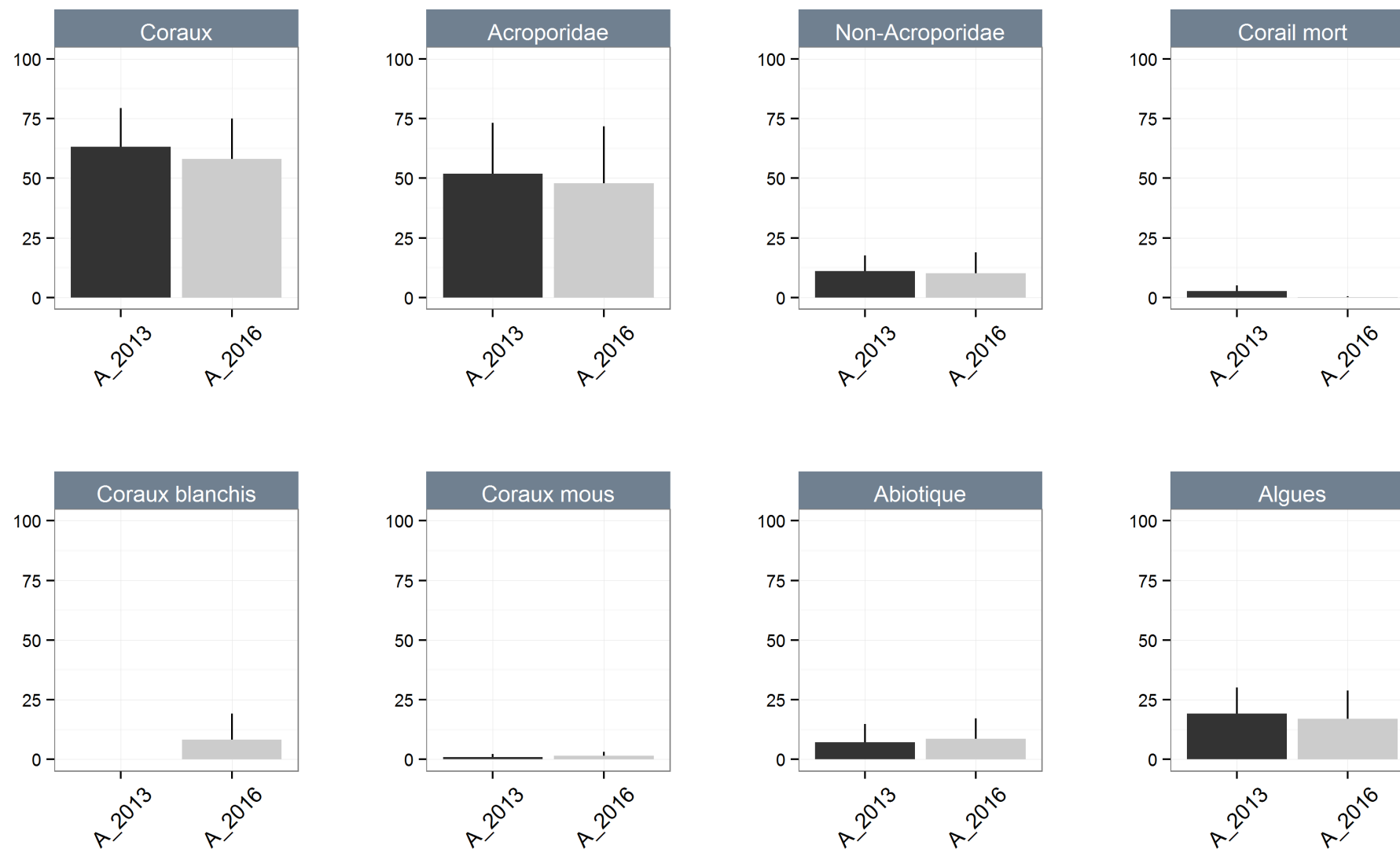


Figure 11 : Evolution de la couverture des substrats entre 2013 et 2016 sur la zone de Thio_W

II. CARACTERISATION DES LESIONS CORALLIENNES

II.1. DESCRIPTION DES ASSEMBLAGES DE LESIONS EN MAI 2016 :

L'analyse de la prévalence de lésions coralliennes par zone d'influence montre les tendances suivantes :

1. Tous taxa confondus (Figure 12):

Les lésions de sédimentation et de compétition avec les algues sont plus fréquentes sur les zones de Thio_m (36,2% combinées) et Thio_W (21,2% combinées) comparées à la zone de contrôle (Thio_C, 8,5% combinées).

Le blanchissement est le plus important sur la zone du convoyeur (Thio_W, environ 20%) mais reste tout de même bien présent sur Thio_M et Thio_C (8,5% et 14% respectivement).

Les autres types de lésions sont peu présents sur chacune des zones (prévalence inférieure à 3% respectivement). Concernant les maladies communes de l'Indo-Pacifique, on observe la présence d'un cas isolé de white syndrome sur chacune des zones (prévalence de 0,1% environ).

2. Par famille corallienne (Figure 13):

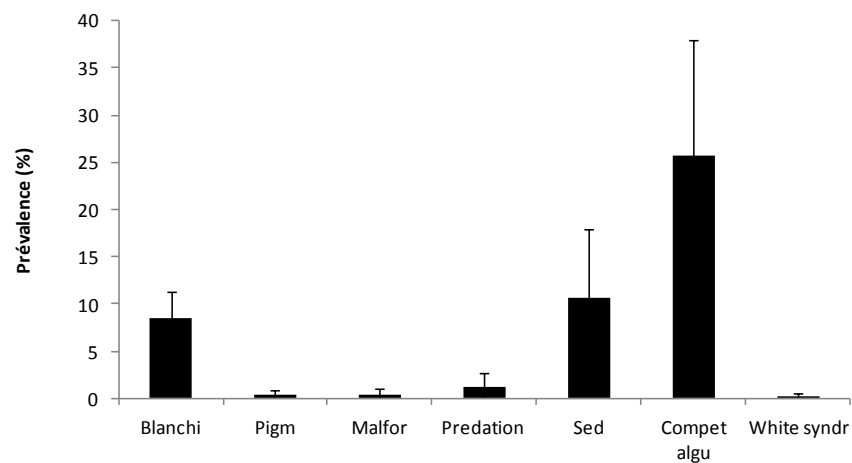
Les familles coralliennes présentent des sensibilités aux lésions variables selon les zones. Globalement, les tendances suivantes sont observées :

- La famille Pocilloporidae est la plus touchée par le blanchissement sur chaque zone (prévalence > 30%), suivie généralement des Acroporidae et des Poritidae dans une moindre mesure.
- Si des différences de prévalence subsistent entre les zones, les lésions de sédimentations et de compétition avec les algues atteignent la majorité des familles sur chaque zone
- Les autres types de lésions sont ponctuellement présents sur certaines familles notamment la pigmentation (Merulinidae et Poritidae essentiellement), les malformations (Poritidae, Coscinaraeidae) ou la maladie White Syndrome (Acroporidae uniquement)

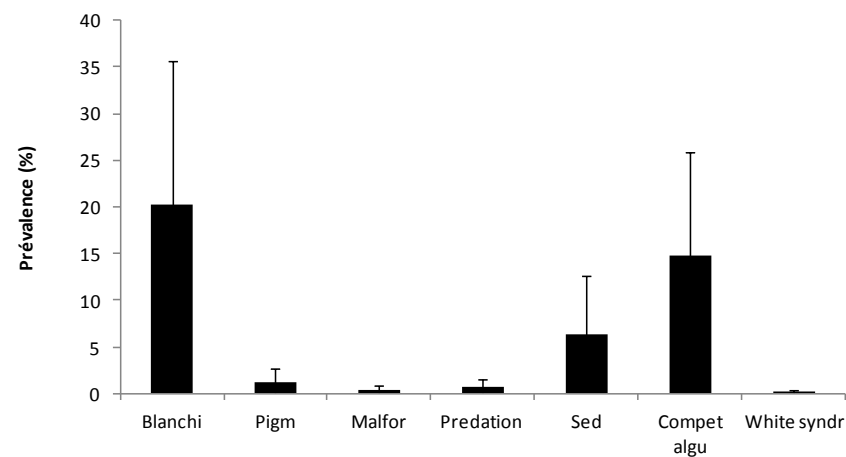
Le graphique des lésions coralliennes par station est fourni en ANNEXE III.

Des photographies des différentes lésions coralliennes fréquemment rencontrées sont présentées sur la Figure 14.

Zone face à la mine (Thio_M)



Zone face au wharf (Thio_W)



Zone de contrôle (Thio_C)

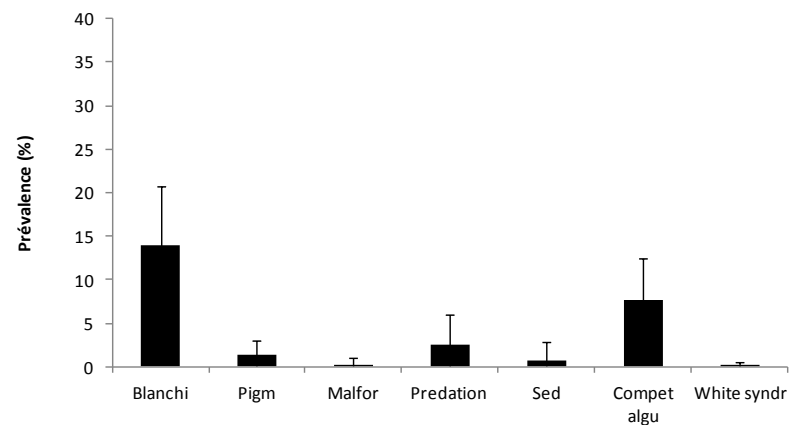


Figure 12 : Prévalence de lésions coralliennes (en % $\pm$ ET) par zone d'influence. Blanchi : blanchissement ; Pigm : pigmentation ; Malfor: malformation corallienne ; Sed : lésions de sédimentation ; Compet algu: Compétition avec algues ; White syndr : maladie corallienne.

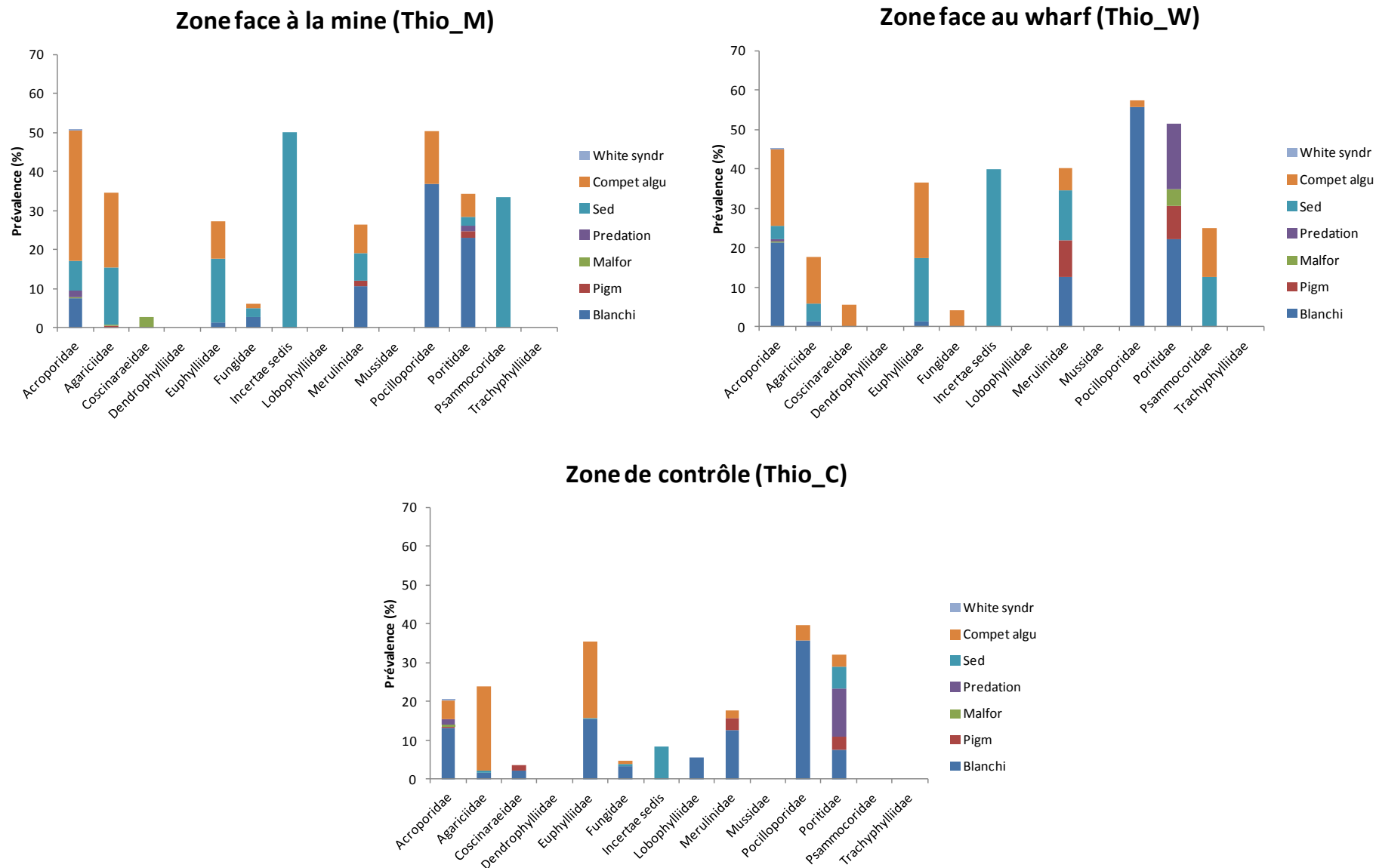


Figure 13 : Prévalence de lésions coralliennes (en % $\pm$ ET) par zone d'influence et par famille corallienne. Blanchi : blanchissement ; Pigm : pigmentation ; Malfor: malformation corallienne ; Sed : lésions de sédimentation ; Compet algu: Compétition avec algues ; White syndr : maladie corallienne.

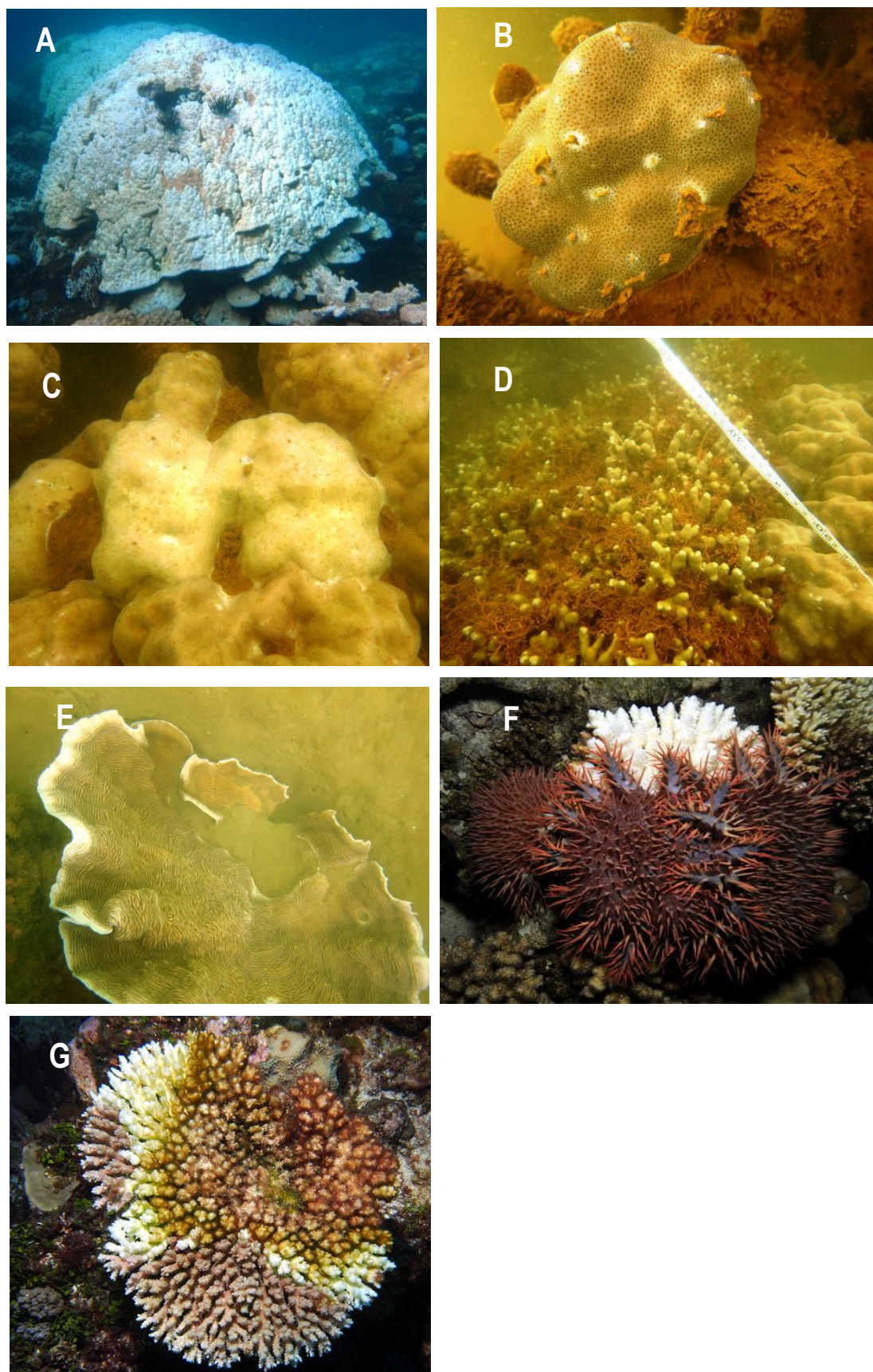


Figure 14 : illustration des lésions coralliennes fréquemment rencontrées : A : *Porites* sp. blanchi, B : Pigmentation sur *Porites* sp., C : Malformation sur *Porites* sp., D : Compétition entre *Porites* sp. et des algues, E : sédimentation sur *Pachyseris* sp., F : Prédation d'*Acanthaster* sur *Acropora* sp., G : White syndrome sur *Acropora* sp.

II.2. EVOLUTION TEMPORELLE DES LESIONS CORALLIENNES SUR LA ZONE DE THIO_W

Sur la zone de Thio_W, certaines lésions montrent des évolutions significatives dans le temps (Tableau 19 et Figure 15).

Le blanchissement corallien qui était peu présent en 2013 (<1%) a augmenté significativement en 2016 pour atteindre 20,1% de prévalence (ANOVA : $p < 0,001$). Cette augmentation est d'avantage observée sur la station ST01 comparée à la station ST02, d'où un écart-type élevé (cf ANNEXE III). Les lésions de sédimentation et de compétition avec les algues ont toutes deux évoluées significativement mais combinées ensemble, ces types de lésions liées à la turbidité de l'eau restent proches de 20% en prévalence.

Les lésions de pigmentation, prédation et malformation montrent une diminution de prévalence entre 2013 et 2016, significative pour les malformations coralliennes uniquement (-2% environ) Aucune évolution n'est observée concernant la maladie du white syndrome (Disease) dont la prévalence est proche de 0,1% en 2013 et 2016.

Tableau 19 : Résultats de l'ANOVA à un facteur (Campagne) sur les différents types de lésions coralliennes. ns : non-significatif ; * : significatif avec * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; * : $P < 0,001$.**

	Blanchi		Pigm		Malfor		Predation		Sed		Compet algu		White synd	
	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc	Significativité	post-hoc
Campagne	*** ($p=0,000$)	2016>2013	NS		* ($p=0,019$)	2016<2013			* ($p=0,041$)	2016<2013	** ($p=0,001$)	2016>2013	NS	

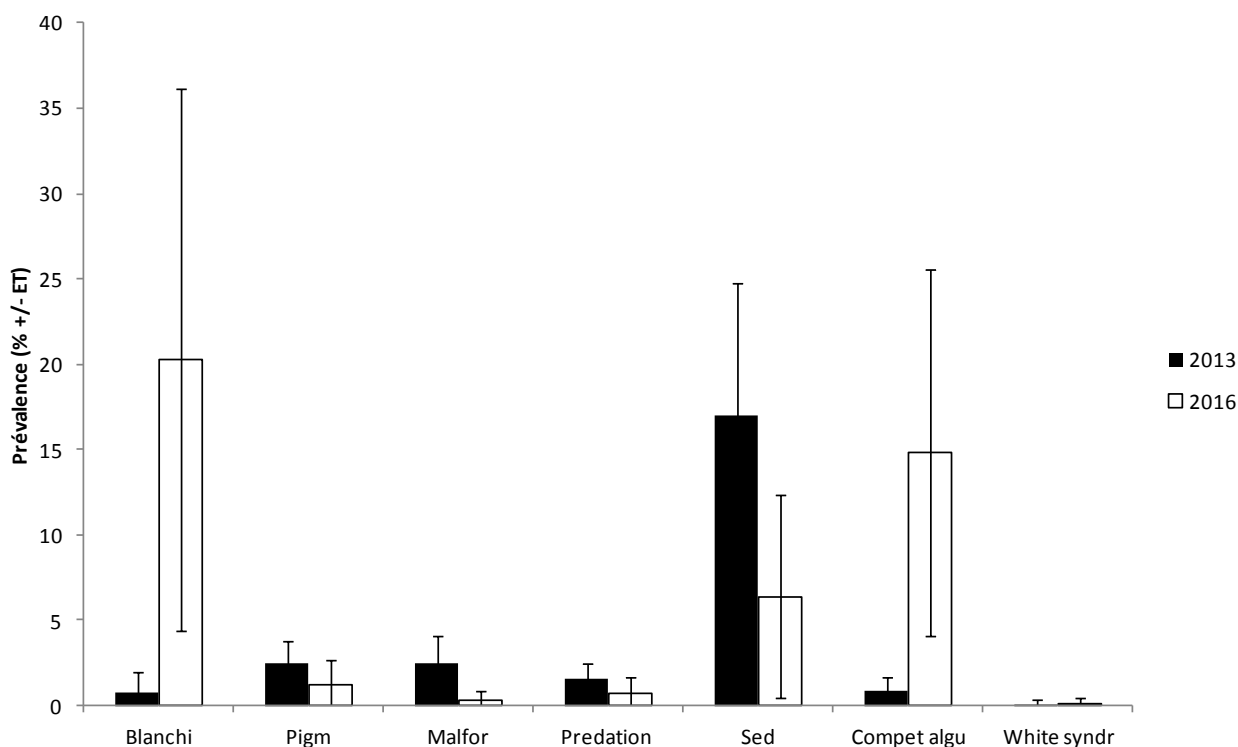


Figure 15 : Evolution de la prévalence des différents types de lésion sur la zone de Thio_W entre 2013 et 2016.
 Blanchi : blanchissement ; Pigm : pigmentation ; Malfor: malformation corallienne ; Sed : lésions de sédimentation ;
 Compet algu: Compétition avec algues ; White syndr : maladie corallienne.

III. CARACTERISATION DES PEUPELEMENTS ICHTYOLOGIQUES

III.1. CARACTERISATION DE L'ICHTYOFAUNE PAR ZONE EN 2016

Sur l'ensemble du site de Thio, un total de 176 espèces correspondant à 81 genres et 32 familles de poissons a été recensé en 2016.

Sur l'ensemble de la zone d'étude, la densité moyenne observée est de 4,2 individus/m², avec une densité maximum de 8,4 individus/m² atteinte sur le transect 3 de la station 11. La biomasse moyenne observée est de 142,9 g/m², avec une biomasse maximum de 544,7 g/m² sur le transect 1 de la station 6. La richesse spécifique moyenne observée est de 37,8 espèces, avec une richesse maximum de 51 espèces sur le transect 3 de la station 11.

Enfin, l'atlas de planches cartographiques fournit des planches cartographiques permettant de visualiser la structuration spatiale des valeurs moyennes de densité, biomasse, et richesse spécifique par station et par zone.

III.1.1. Zone Thio_m

Le tableau et la figure ci-dessous présentent les niveaux des paramètres d'intérêt permettant de décrire les peuplements ichtyologiques sur Thio_m : densité, biomasse, et richesse spécifique, déclinés selon le potentiel commercial, le groupe trophique et la famille taxonomique.

La densité moyenne sur la zone Thio_m (4,3 ind./m²) correspond à un niveau dans la normale des densités observées sur les récifs frangeants exposés de ce type en Nouvelle-Calédonie (Kulbicki 2006, Wantiez 2006). Les espèces non-commerciales contribuent fortement à la densité (3,8 ind./m²), et les planctonophages en représentent environ la moitié. Carnivores et herbivores représentent respectivement environ un quart de l'abondance restante, tandis que les piscivores apparaissent peu contributif, comme c'est classiquement le cas sur ce type de récifs. La famille des Pomacentridae concentrent la majorité de l'abondance locale (en lien avec une densité particulièrement importante de *Neopomacentrus nemurus*), aucune des 21 autres familles ne présentant une densité supérieure à 0,2 ind./m².

En termes de biomasse, le niveau moyen observé sur la zone apparaît relativement élevé (220 g/m²) pour ce type de biotope. Ceci s'explique en particulier par un nombre important et une taille moyenne importante des Scaridae (notamment l'espèce *Scarus rivulatus*, à la fois abondante et correspondant à des individus de taille 20 à 40 cm). Consécutivement, les espèces commerciales ainsi que les herbivores apparaissent très fortement contributifs à la biomasse totale.

Concernant la richesse spécifique (40 espèces en moyenne), on constate qu'elle est dominée, par ordre décroissant, par les Pomacentridae, les Labridae, les Chaetodontidae, et les Acanthuridae. Les espèces non-commerciales sont à l'origine de l'essentiel de la diversité locale, qui se concentre sur les groupes trophiques des carnivores et, dans une moindre mesure, des herbivores. Plus généralement, les niveaux de richesse spécifique observés se situent, pour des récifs de ce type, dans la moyenne des niveaux habituellement observés en Nouvelle-Calédonie (Kulbicki 2006, Wantiez 2006).

Tableau 20 : Niveaux moyens de densité, biomasse, et richesse spécifique observés sur la zone Thio_m, décomposés selon le potentiel commercial, le groupe trophique et la famille. ET : écart-types associés aux moyennes.

Groupe	Catégorie	Zone Thio_m
--------	-----------	-------------

		Densité (ind./m ²)		Biomasse (g/m ²)		Richesse spécifique	
		Moy.	ET	Moy.	ET	Moy.	ET
Toutes espèces		4,3	1,5	220	214	40	5
Potentiel commercial	Espèces commerciales	0,5	0,5	199	210	9	4
	Espèces non-commerciales	3,8	1,3	21	11	31	6
Groupe trophique	Herbivores	0,8	0,4	182	194	10	4
	Carnivores	1,1	0,3	25	17	22	4
	Planctonophages	2,3	1,2	3	1	6	3
	Piscivores	0,1	0,1	11	17	2	1
Famille	ACANTHURIDAE	0,2	0,1	17	25	4	2
	APOGONIDAE	0,1	0,2	< 1	< 1	1	1
	BLENNIIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	1	1
	CAESIONIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	CARANGIDAE	< 0,1	< 0,1	1	2	< 1	< 1
	CHAETODONTIDAE	0,2	0,1	4	3	5	2
	GOBIIDAE	0,1	0,1	< 1	< 1	2	2
	GRAMMISTIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	KYPHOSIDAE	< 0,1	< 0,1	6	16	< 1	< 1
	LABRIDAE	0,5	0,2	9	4	8	2
	LUTJANIDAE	< 0,1	< 0,1	5	8	1	1
	MICRODESMIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	MONACANTHIDAE	0,1	0,1	< 1	< 1	1	< 1
	MULLIDAE	0,1	0,1	3	3	2	1
	NEMIPTERIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	1
	POMACANTHIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	POMACENTRIDAE	2,6	1,1	7	8	9	3
	SCARIDAE	0,2	0,3	149	168	1	1
	SERRANIDAE	< 0,1	< 0,1	8	17	< 1	1
	SIGANIDAE	< 0,1	< 0,1	8	8	2	1
	SPHYRAENIDAE	< 0,1	0,1	3	9	< 1	< 1
	ZANCLIDAE	< 0,1	< 0,1	1	1	1	1

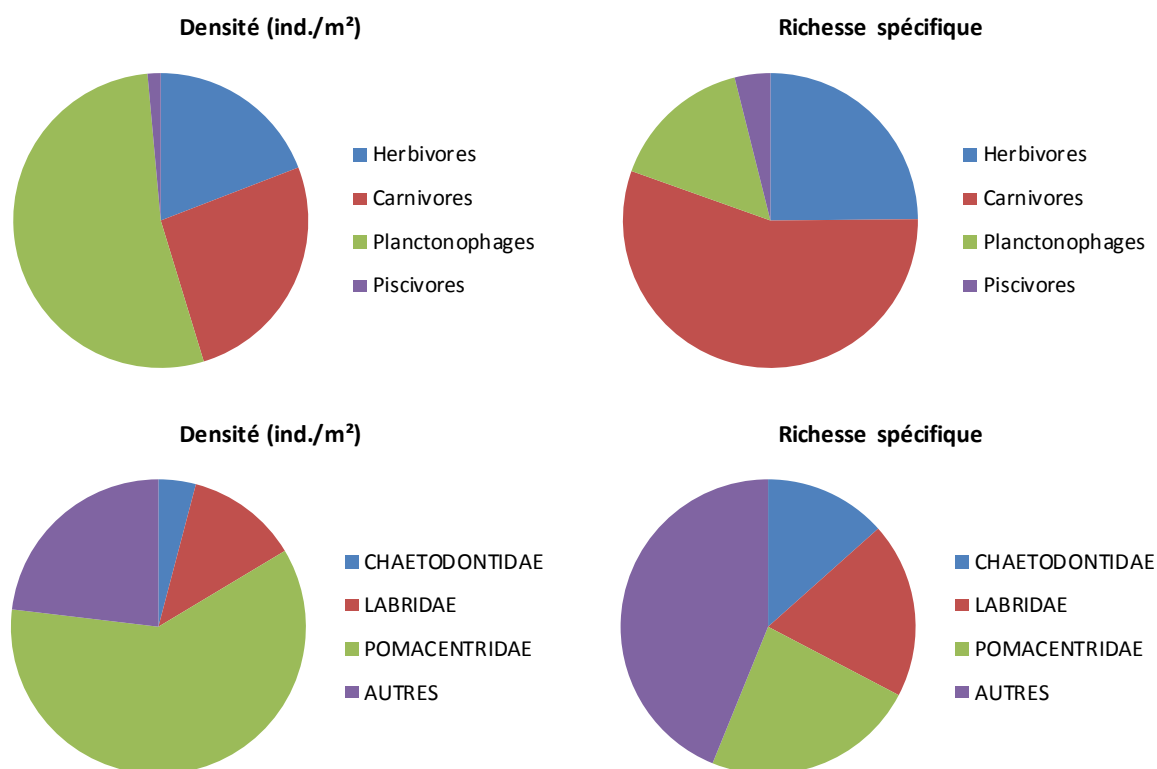


Figure 16 : Représentation graphique des niveaux de densité et richesse spécifique par groupe trophique, ainsi que pour les Chaetodontidae, Pomacentridae (espèces indicatrices), et les Labridae (famille particulièrement contributive aux niveaux de densité et de richesse dans ces biotopes) sur la zone Thio_m.

En définitive, la zone Thio_m présente des niveaux intermédiaires de densité et de richesse spécifique, et des niveaux de biomasse relativement élevés en lien, entre autres, avec une abondance et une taille moyenne significative des populations de Scaridae. La structuration écologique et fonctionnelle de cette zone apparaît cohérente avec les peuplements ichthyologiques habituellement observés au niveau des récifs frangeants équivalents, et dénote de peuplements dans un état écologique *a priori* satisfaisant. Ceci peut être mis en relation avec les caractéristiques des habitats coralliens observés par ailleurs, comportant un recouvrement significatif en coraux vivants et des caractéristiques globalement non dégradées, l'ensemble suggérant un bon fonctionnement écologique des communautés récifo-lagonaires locales.

III.1.2. Zone Thio_w

Le tableau et la figure ci-dessous présentent les niveaux des paramètres d'intérêt permettant de décrire les peuplements ichthyologiques sur Thio_w : densité, biomasse, et richesse spécifique, déclinés selon le potentiel commercial, le groupe trophique et la famille taxonomique.

La densité moyenne observée sur la zone Thio_w (4,3 ind./m²) apparaît dans la normale des niveaux habituellement observés sur les récifs frangeants côtiers tels que ceux échantillonnés ici (Kulbicki 2006, Wantiez 2006). Elle est très largement conditionnée par les planctonophages (2,4 ind./m²), et en particulier les Pomacentridae (2,6 ind./m²) en lien notamment avec une abondance marquée des espèces *Chromis viridis* et *Neopomacentrus nemurus*. Excepté pour les Labridae (0,4 ind./m²), le reste de la densité se répartit entre un grand nombre de familles peu abondantes (moins de 0,2 ind./m²). Les carnivores représentent le second contributeur de densité après les planctonophages, toutefois à travers l'abondance cumulée d'un grand nombre de taxons différent.

Tableau 21 : Niveaux moyens de densité, biomasse, et richesse spécifique observés sur la zone Thio_w, décomposés selon le potentiel commercial, le groupe trophique et la famille. Les écart-types pour les moyennes sont données entre parenthèses.

Groupe	Catégorie	Zone Thio_w					
		Densité (ind./m ²)		Biomasse (g/m ²)		Richesse spécifique	
		Moy.	ET	Moy.	ET	Moy.	ET
	Toutes espèces	4,3	1,3	58	40	35	6
Potentiel commercial	Espèces commerciales	0,3	0,3	34	37	5	3
	Espèces non-commerciales	3,9	1,4	24	16	31	7
Groupe trophique	Herbivores	0,6	0,2	26	30	8	2
	Carnivores	1,1	0,3	15	8	19	5
	Planctonophages	2,4	1,3	8	13	7	2
	Piscivores	0,2	0,3	8	15	1	1
Famille	ACANTHURIDAE	0,2	0,1	12	12	3	1
	APOGONIDAE	0,2	0,5	1	1	1	2
	BLENNIIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	1	1
	CARANGIDAE	< 0,1	< 0,1	1	3	< 1	< 1
	CHAETODONTIDAE	0,2	0,1	5	3	6	1
	GOBIIDAE	0,1	0,1	< 1	< 1	2	2
	LABRIDAE	0,4	0,2	5	2	6	2
	LUTJANIDAE	< 0,1	< 0,1	3	7	< 1	< 1
	MONACANTHIDAE	0,2	0,1	< 1	< 1	1	< 1
	MUGILOIDIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	MULLIDAE	< 0,1	0,1	1	2	1	1
	NEMIPTERIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	1	1	1
	PLESIOPIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	POMACENTRIDAE	2,6	1,4	11	11	10	2
	SCARIDAE	< 0,1	< 0,1	7	17	< 1	1
	SERRANIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	1	1	1
	SIGANIDAE	< 0,1	0,1	4	5	1	1
	SPHYRAENIDAE	0,1	0,3	6	15	< 1	< 1
	SYNODONTIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	TETRAODONTIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	1	1
	ZANCLIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	1	1	1

Concernant la biomasse, le niveau moyen observé sur la zone (58 g/m²) apparaît relativement bas en regard des niveaux classiquement observés sur les récifs frangeants côtiers de ce type (Kulbicki 2006, Wantiez 2006). La biomasse locale n'est que peu dominée par les espèces commerciales, contrairement à ce qui peut être observé habituellement, soulignant la faible abondance d'individus de grandes tailles et plus généralement une taille moyenne faible de l'ichtyofaune. La biomasse est donc constituée d'un cumul équilibré des biomasses faibles d'un grand nombre de familles, parmi lesquelles les Acanthuridae et les Pomacentridae représentent les plus importantes (dans une mesure toutefois limitée). L'essentiel de la biomasse est par ailleurs déterminée par les herbivores et les carnivores.

En termes de richesse spécifique (35 espèces en moyenne), on constate une contribution particulièrement importante des carnivores (plus de la moitié des espèces observées), dont les familles dominantes sont les Labridae et les Chaetodontidae, ainsi que les Gobiidae dans une moindre mesure. Les herbivores et planctonophages complètent l'essentiel de la diversité locale de l'ichtyofaune en proportions similaires, en lien avec une diversité importante en Pomacentridae et, dans une moindre mesure, en Acanthuridae.

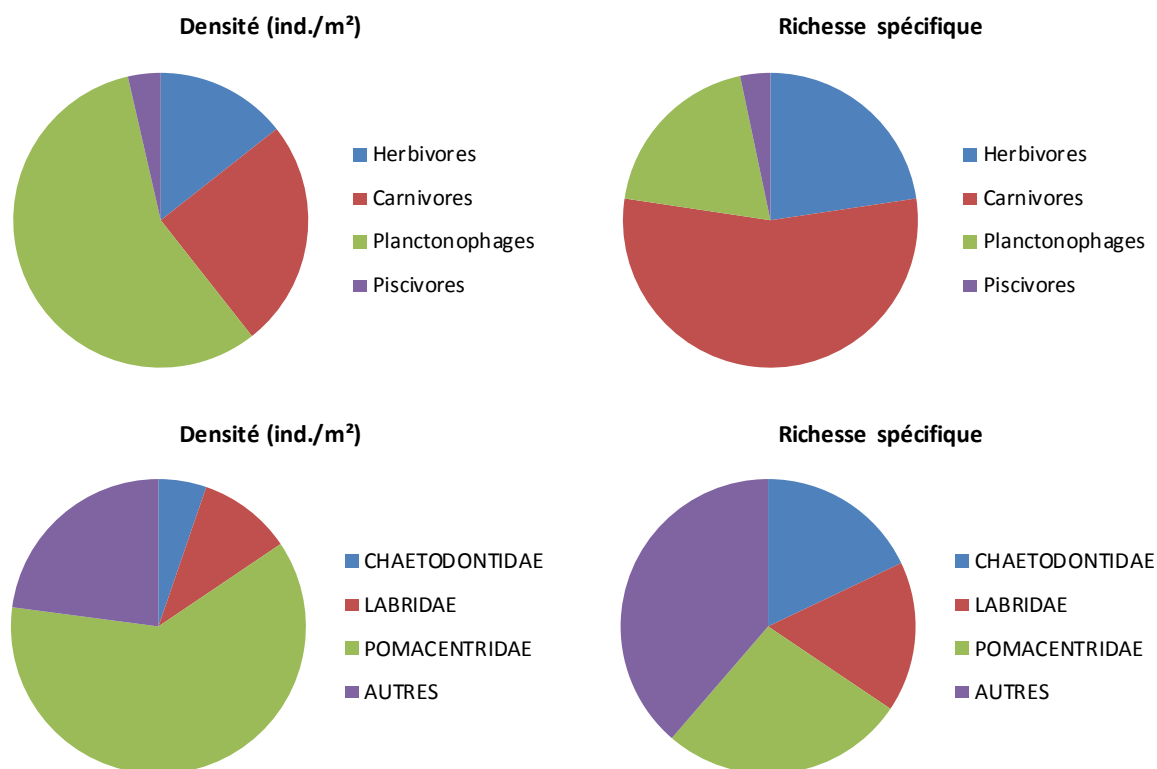


Figure 17 : Représentation graphique des niveaux de densité et richesse spécifique par groupe trophique, ainsi que pour les Chaetodontidae, Pomacentridae (espèces indicatrices), et les Labridae (famille particulièrement contributive aux niveaux de densité et de richesse dans ces biotopes) sur la zone Thio_w.

En définitive, la zone Thio_w présente des niveaux de densité et de richesse spécifique dans la moyenne des niveaux habituellement observés sur les récifs frangeants de ce type, associés à une biomasse relativement basse. En l'absence de données quantitatives concernant la pression de pêche sur les zones échantillonnées, il apparaît difficile de dissocier les causes possibles de cette faible biomasse, ce paramètre restant plus fluctuant et moins adapté à la recherche d'impacts de type minier que la densité ou la richesse spécifique. Les caractéristiques de l'ichtyofaune observées par ailleurs (richesse des espèces indicatrices telles que Chaetodontidae et Pomacentridae, structures taxonomiques et fonctionnelles saines) suggèrent toutefois une absence de signaux de perturbation majeure et signifient que la faible biomasse locale ne peut être considérée comme un signe de dégradation notable des peuplements locaux. L'obtention d'une seconde année d'observation et la constitution d'une série temporelle permettant de prendre la mesure de la variabilité locale de ce paramètre pourra préciser le présent diagnostic.

III.1.3. Zone Thio_c

Le tableau et la figure ci-dessous présentent les niveaux des paramètres d'intérêt permettant de décrire les peuplements ichthyologiques sur Thio_c : densité, biomasse, et richesse spécifique, déclinés selon le potentiel commercial, le groupe trophique et la famille taxonomique.

La densité moyenne observée sur la zone Thio_c (3,9 ind./m²) se situe dans la moyenne des niveaux habituellement observés sur les récifs frangeants côtiers de Nouvelle-Calédonie (Kulbicki 2006, Wantiez 2006). On retrouve une structure fonctionnelle et taxonomique de l'abondance similaire aux deux autres zones étudiées sur Thio, avec une dominance des planctonophages, suivis des herbivores et des carnivores, et une contribution

très importante des Pomacentridae à la densité totale (en l'occurrence essentiellement à travers l'espèce *Neopomacentrus azyrson*).

En termes de biomasse, le niveau observé correspond à un niveau dans la normale des biomasses observées sur les récifs frangeants côtiers de ce type en Nouvelle-Calédonie (Kulbicki 2006, Wantiez 2006). Les herbivores sont les plus contributifs à ce paramètre, notamment à travers les Scaridae (observation de plusieurs groupes de grands individus de *Scarus rivulatus* et *Chlorurus microrhinos*), et dans une moindre mesure les Acanthuridae et les Siganidae. Les carnivores sont l'autre principal groupe contributeur de la biomasse, se répartissant entre une large gamme de taxons (légèrement dominés toutefois par les Serranidae).

Concernant la richesse spécifique (37 espèces en moyenne), celle-ci correspond aux niveaux habituellement observés sur des récifs équivalents et elle est également comparable aux niveaux observés sur les deux autres zones du site de Thio, dont Thio_c constitue la zone de référence. Similairement, les carnivores et les herbivores représentent les groupes trophiques les plus diversifiés, parmi lesquels les familles dominantes sont, respectivement, les Labridae d'une part et les Pomacentridae et Acanthuridae d'autre part.

En définitive, l'ichtyofaune de la zone Thio_c présente des caractéristiques de récifs frangeants exposés sans signe de dégradation évidente, ainsi qu'une structure écologique globalement satisfaisante, malgré des recouvrement en coraux vivants relativement limités. La structure ichtyologique apparaît globalement similaire et cohérente avec l'ichtyofaune observée sur les autres zones échantillonnées sur le site de Thio (Thio_m et Thio_w, avec toutefois quelques nuances, cf. analyses ci-après) suggérant *a priori* que son utilisation en tant que zone de référence pour ce site dans le cadre du suivi initié en 2016 est valide d'un point de vue ichtyologique. La composition de l'habitat sur cette zone étant toutefois différente des deux autres zones, il conviendra de le prendre en compte pour interpréter toute évolution différentielle de l'ichtyofaune au cours du temps.

Tableau 22 : Niveaux moyens de densité, biomasse, et richesse spécifique observés sur la zone Thio_c, décomposés selon le potentiel commercial, le groupe trophique et la famille. Les écart-types pour les moyennes sont données entre parenthèses.

Groupe	Catégorie	Zone Thio_c					
		Densité (ind./m ²)		Biomasse (g/m ²)		Richesse spécifique	
		Moy.	ET	Moy.	ET	Moy.	ET
	Toutes espèces	3,9	2,4	122	76	37	7
Potentiel commercial	Espèces commerciales	0,5	0,2	105	75	11	5
	Espèces non-commerciales	3,5	2,4	17	8	27	5
Groupe trophique	Herbivores	0,9	0,4	92	64	12	5
	Carnivores	0,7	0,3	17	16	17	4
	Planctonophages	2,2	2,2	4	4	6	2
	Piscivores	0,1	0,1	8	10	2	1
Famille	ACANTHURIDAE	0,2	0,1	14	16	4	2
	APOGONIDAE	0,1	0,1	< 1	< 1	1	1
	BALISTIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	1	1
	BLENNIIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	1	1
	CAESIONIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	1	< 1	< 1
	CHAETODONTIDAE	0,1	< 0,1	1	1	2	2
	CIRRHITIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	GOBIIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	1	1
	GRAMMISTIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	HAEMULIDAE	< 0,1	< 0,1	2	5	< 1	< 1
	HOLOCENTRIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	1	< 1	< 1
	LABRIDAE	0,5	0,2	5	2	8	3
	LETHRINIDAE	< 0,1	< 0,1	3	8	< 1	< 1
	LUTJANIDAE	< 0,1	< 0,1	3	6	< 1	1
	MONACANTHIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	1	< 1
	MULLIDAE	0,1	0,1	2	3	2	1
	NEMIPTERIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	1	< 1	< 1
	PLESIOPIIDAE	< 0,1	0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	POMACANTHIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	1	< 1	1
	POMACENTRIDAE	2,7	2,2	8	5	10	2
	SCARIDAE	0,2	0,2	59	59	2	1
	SCORPAENIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	SERRANIDAE	< 0,1	< 0,1	8	10	1	1
	SIGANIDAE	0,1	< 0,1	14	10	2	1
	SYNODONTIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	TETRAODONTIDAE	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	< 1
	ZANCLIDAE	< 0,1	< 0,1	1	1	< 1	1

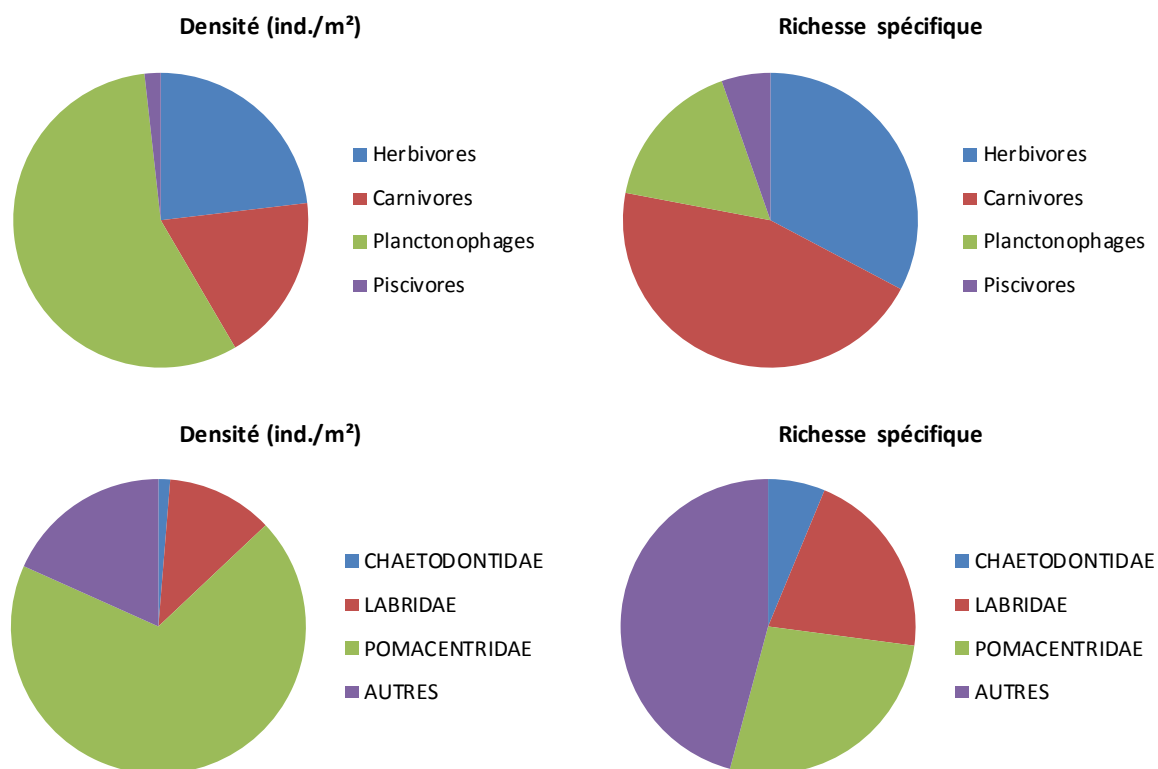


Figure 18 : Représentation graphique des niveaux de densité et richesse spécifique par groupe trophique, ainsi que pour les Chaetodontidae, Pomacentridae (espèces indicatrices), et les Labridae (famille particulièrement contributive aux niveaux de densité et de richesse dans ces biotopes) sur la zone Thio_c.

III.2. STRUCTURATION SPATIO-TEMPORELLE DE L'ICHTYOFAUNE

III.2.1. Différences entre zones

Afin de compléter la caractérisation détaillée de chacune des zones Thio_m, Thio_w, et Thio_c, les différences entre zones pour chacun des paramètres d'ichtyofaune ont été testées statistiquement. Le tableau ci-dessous présente les résultats des tests statistiques réalisés (cf. Matériel & Méthode), et la figure associée fournit les graphiques correspondant aux variations significatives éventuellement détectées à l'issue des tests. A titre indicatif, l'ensemble des graphiques illustrant les différences entre zones pour chaque paramètre ichthyologique (que la différence soit significative statistiquement ou non) sont présentés en ANNEXE IV.

Tableau 23 : Résultats des tests statistiques testant l'existence de différences entre zones pour chacun des paramètres d'intérêt décrivant les peuplements ichthyologiques sur le site de Thio. ns : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; * : $P < 0,001$.**

Groupe	Catégorie	Densité (ind./m ²)		Biomasse (g/m ²)		Richesse spécifique	
		Significativité	Détail tests post-hoc	Significativité	Détail tests post-hoc	Significativité	Détail tests post-hoc
	Toutes espèces	ns	-	ns	-	ns	-
Potentiel commercial	Espèces commerciales	ns	-	ns	-	* ($p=0,05$)	Thio_c > Thio_w
	Espèces non-commerciales	ns	-	ns	-	ns	-
Groupe trophique	Herbivores	ns	-	ns	-	ns	-
	Carnivores	* ($p=0,028$)	Thio_c < Thio_m	ns	-	* ($p=0,047$)	Thio_c < Thio_m
	Planctonophages	ns	-	ns	-	ns	-
	Piscivores	ns	-	ns	-	ns	-
Familles indicatrices	Chaetodontidae	*** ($p < 0,001$)	Thio_c < Thio_m & Thio_w	** ($p=0,008$)	Thio_c < Thio_m, Thio_w	*** ($p < 0,001$)	Thio_c < Thio_m & Thio_w
	Pomacentridae	ns	-	ns	-	ns	-

Sur les 27 tests statistiques réalisés (9 catégories x 3 paramètres), six analyses mettent en évidence une différence significative entre zones. Il s'agit de la densité, biomasse et richesse spécifique des Chaetodontidae, de la densité et richesse spécifique des carnivores, et de la richesse spécifique des espèces commerciales. Les détails fournis par les tests *post hoc* et la visualisation graphique des niveaux par zone (et mesure de la dispersion des observations) permettent de préciser le profil des différences significatives.

Excepté pour la variable concernant les espèces commerciales, il s'agit dans tous les cas de valeurs inférieures en zone Thio_c vis-à-vis de la zone Thio_m (et concernant les Chaetodontidae également de la zone Thio_w). S'agissant des Chaetodontidae, le profil des différences entre zones est identique pour les trois paramètres (densité, biomasse, richesse spécifique), avec des valeurs maximales sur Thio_w et minimales sur Thio_c. Concernant la densité et la biomasse, l'amplitude des différences reste toutefois très réduite et ne saurait constituer une source de divergence majeure entre zones. Concernant la richesse spécifique, l'amplitude est plus notable (de l'ordre de 3-4 espèces), dénotant une plus faible diversité de cette famille indicatrice, qu'il convient de relier aux recouvrements coralliens beaucoup plus faibles sur Thio_c (plus de 30% de différence en moyenne). Les différences significatives détectées statistiquement pour les carnivores apparaissent comme la conséquence directe des variations observées sur les Chaetodontidae et n'apportent donc pas d'information supplémentaire.

S'agissant de la richesse spécifique des espèces commerciales, la différence provient d'une valeur significativement plus haute sur Thio_c que sur Thio_w. Elle reste toutefois d'amplitude modérée (5 à 6 espèces sur des totaux allant de 35 à 40 espèces selon les zones) et peut être reliée entre autre à l'observation d'une diversité légèrement plus importante des herbivores sur Thio_c. Ceci est cohérent avec les caractéristiques d'habitat observées par ailleurs (recouvrement algal supérieur et recouvrement corallien inférieur) et ne saurait constituer un signal de perturbation particulier sur Thio_m et Thio_w.

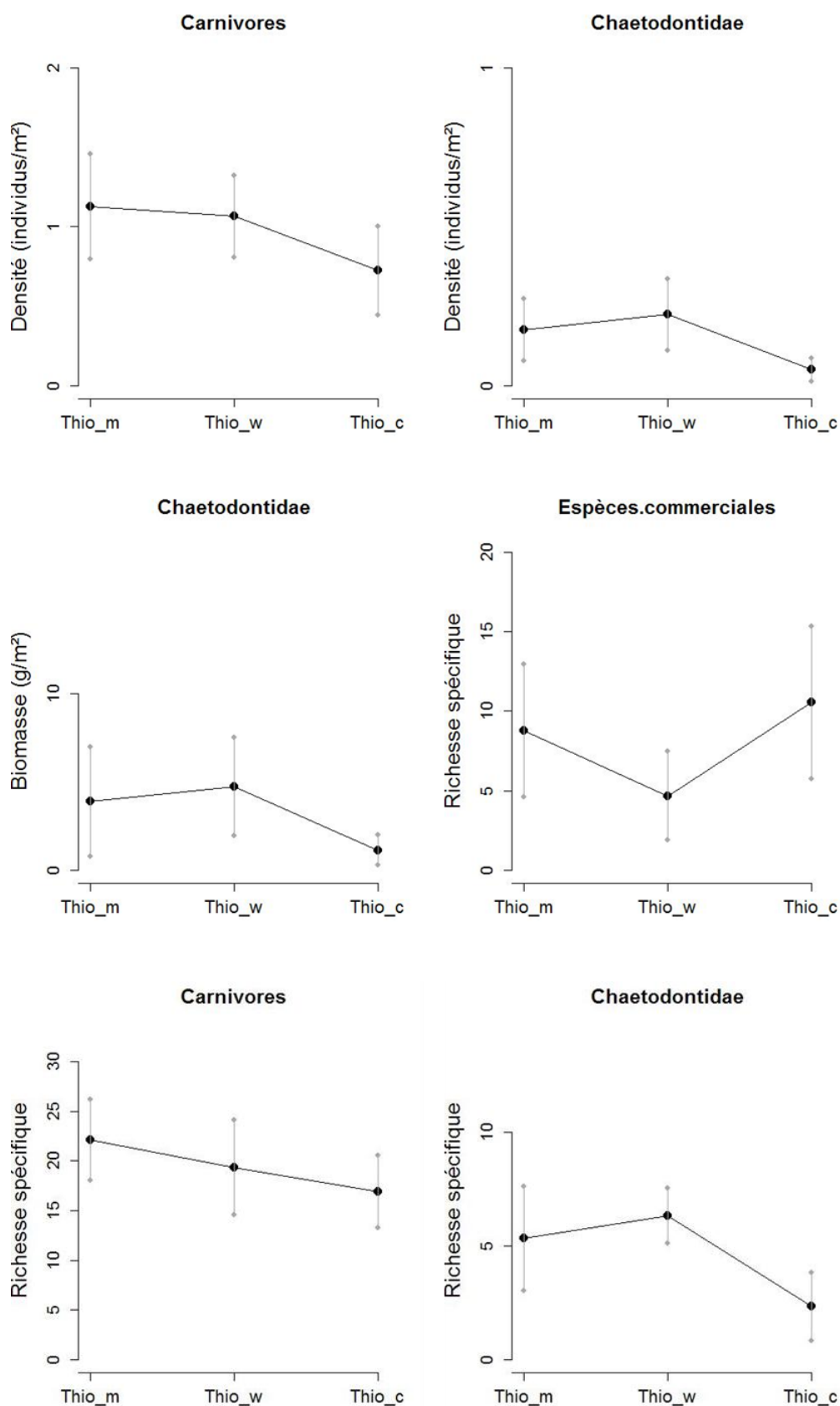


Figure 19 : Représentation graphique des variables ayant présenté une différence statistiquement significative entre zones sur le site de Thio. Les barres d'erreur illustrent les écart-types des moyennes par zone.

III.2.2. Evolutions temporelles 2013-2016

Tel qu'explicité dans le Matériel & Méthode des analyses ichtyologiques, la présente expertise se positionne à la transition entre les états initiaux réalisés en 2013 et le suivi opérationnel de long terme débuté ici par une première campagne en 2016. Dans le cas de Thio, seule la zone Thio_w permet une première comparaison temporelle puisque les deux autres zones ont été mise en place en 2016. Contrairement aux sites de Kouaoua et Poro, l'examen des évolutions temporelles sur Thio_w a pu se faire de façon rigoureuse et formelle (analyses statistiques) grâce à la constance des plans et protocoles d'échantillonnage de l'ichtyofaune sur cette zone.

Le tableau ci-dessous présente les résultats des tests statistiques réalisés (cf. Matériel & Méthode), et la figure associée fournit les graphiques correspondant aux variations significatives éventuellement détectées à l'issue des tests. A titre indicatif, l'ensemble des graphiques illustrant les différences entre années pour la zone Thio_w pour chaque paramètre ichtyologique (que la différence soit significative statistiquement ou non) sont présentés en ANNEXE IV.

Tableau 24 : Résultats des tests statistiques testant l'existence de différences significatives entre 2013 et 2016 pour chacun des paramètres d'intérêt décrivant les peuplements ichtyologiques sur la zone de Thio_w. ns : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; * : $P < 0,001$.**

Groupe	Catégorie	Significativité des différences entre 2013 et 2016		
		Densité (ind./m ²)	Biomasse (g/m ²)	Richesse spécifique
	Toutes espèces	ns	ns	ns
Potentiel commercial	Espèces commerciales	ns	ns	ns
	Espèces non-commerciales	ns	ns	ns
Groupe trophique	Herbivores	ns	ns	ns
	Carnivores	ns	ns	ns
	Planctonophages	ns	ns	ns
	Piscivores	ns	ns	ns
Familles indicatrices	Chaetodontidae	* ($p=0,025$)	ns	ns
	Pomacentridae	ns	ns	ns

Parmi les 27 tests statistiques réalisés, seule une analyse renvoie une variation significative entre 2013 et 2016, il s'agit de la densité des Chaetodontidae. L'examen graphique de cette variation ainsi que les valeurs correspondantes montrent qu'il s'agit d'une amplitude modérée mais correspondant toutefois à une diminution d'environ 50% de la densité en Chaetodontidae. En l'absence de données temporelles 2013-2016 sur une zone de référence parallèle (mise en place en 2016 sur Thio_c), il est impossible de savoir si cette diminution constitue un signal d'impact du Thio_w ou si elle relève de fluctuations naturelles sans lien avec les activités minières locales. Etant donnée l'absence d'autres signaux de variations sur les autres paramètres, qui apparaissent par ailleurs stables de 2013 à 2016 (et notamment la structure en richesse spécifique qui restent remarquablement constante), cet unique résultat statistiquement significatif ne saurait constituer un signal d'alerte à ce stade sans le recul temporel nécessaire. Il conviendra toutefois de le prendre en compte et d'en surveiller l'évolution dès la prochaine campagne d'observation sur le site de Thio.

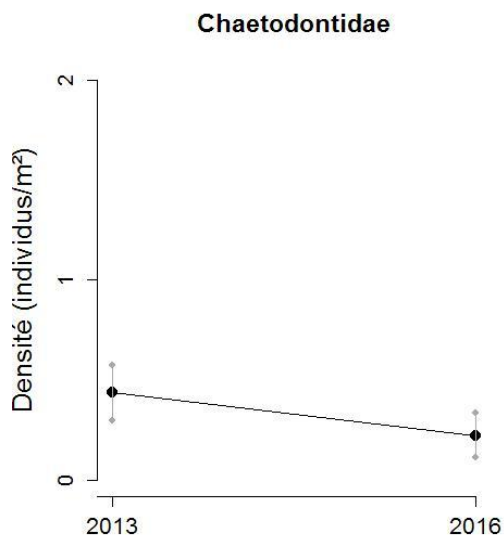


Figure 20 : Représentation graphique de la seule variable ayant présenté une différence statistiquement significative entre 2013 et 2016 sur Thio_w. Les barres d'erreur illustrent les écart-types des moyennes par zone.

Tableau 25 : Niveaux moyens de densité et richesse spécifique observés sur la zone Thio_w (seule zone échantillonnée à la fois en 2013 et 2016), décomposés selon le potentiel commercial, le groupe trophique et deux familles indicatrices. ET : écart-types associés aux moyennes.

		Zone Thio_w			
		2013		2016	
		Moy.	ET	Moy.	ET
Densité (ind./m²)	Toutes espèces	3,5	0,9	4,3	1,3
	Espèces commerciales	0,1	0,1	0,3	0,3
	Espèces non-commerciales	3,4	0,9	3,9	1,4
	Herbivores	0,7	0,2	0,6	0,2
	Carnivores	1,0	0,3	1,1	0,3
	Planctonophages	1,8	0,6	2,4	1,3
	Piscivores	< 0,1	< 0,1	0,2	0,3
	CHAETODONTIDAE	0,4	0,1	0,2	0,1
	POMACENTRIDAE	2,2	0,6	2,6	1,4
Richesse spécifique	Toutes espèces	35	6	35	6
	Espèces commerciales	5	2	5	3
	Espèces non-commerciales	31	7	31	7
	Herbivores	10	2	8	2
	Carnivores	18	5	19	5
	Planctonophages	6	2	7	2
	Piscivores	2	1	1	1
	CHAETODONTIDAE	7	1	6	1
	POMACENTRIDAE	10	2	10	2

IV. CARACTERISATION DE LA FAUNE MACROBENTHIQUE DE FONDS MEUBLES

Sur la zone de Thio, le nombre d'organismes prélevés dans les carottes est très faible. 77% (7/30) des prélèvements sont exempts de tout organisme vivant et pour les 23% restants (23/30), un seul organisme d'une seule espèce a été observé, hormis sur une carotte où 5 individus ont été observés. La richesse spécifique ne dépasse pas 1 espèce par carotte (Tableau 26).

Tableau 26 : Résultats sur les prélèvements de carottes dans les fonds meubles

Station	Carotte	Zone	Groupe	Sous-groupe	Famille	Genre	Espèce	Nombre
ST02	B	Thio_W	Mollusques	Bivalve	Tellinidae	Tellina	sp.	1
ST04	B	Thio_M	Mollusques	Gastéropodes	Conidae	Conus	quercinus	1
ST07	B	Thio_M	Echinodermes	Ophiure	Ophiotrichidae	Ophiothela	sp.	1
ST09	A	Thio_C	Mollusques	Bivalve	Tellinidae	indét.	sp.	5
ST09	B	Thio_C	Mollusques	Gastéropodes	Naticidae	Natica	sp.	1
ST10	C	Thio_C	Vers	Indéterminé	indéterminé	Indéterminé	indéterminé	1
ST11	C	Thio_C	Mollusques	Bivalve	indéterminé	indéterminé	sp.	1

Ainsi, ces résultats montrent que les fonds meubles de la zone de Poro ne semblent pas présenter une importante densité d'organismes benthiques. La méthode de prélèvement et la stratégie d'échantillonnage utilisées pour cette étude avec 3 carottes semble peu appropriée pour caractériser les fonds meubles des récifs frangeants et fait l'objet de recommandations dans le rapport préconisations.

V. CARACTERISATION DE LA FAUNE MACROBENTHIQUE DE FONDS DURS

V.1. GENERALITES

En 2016 un total de 1 692 individus a été recensé sur les huit stations échantillonnées à Thio. En termes de biodiversité, un total moyen de 16,2 +/- 3,1 espèce par station est observé. Comme c'est le cas généralement, l'abondance des peuplements est dominée par quelques espèces comme le montre la courbe de k-dominance faite par zone d'influence (Figure 21). On notera la particularité de la courbe pour la zone Thio_c où la dominance est encore plus marquée

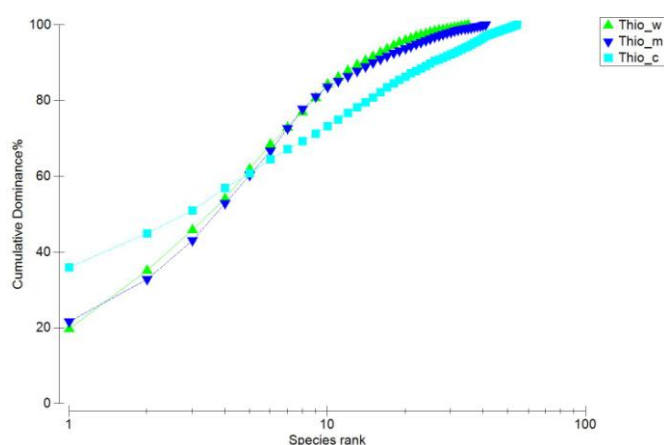


Figure 21 : Courbe de K-dominance sur les données de la campagne 2016

A l'échelle de l'ensemble des stations, trois espèces contribuent à plus de 40% de la densité totale cumulée : deux décapodes *Nobia sp.* (20%) et *Trapezia cymodoce* (15%) ainsi qu'un bivalve Pectenidae non déterminé (7%). Aussi, de nombreuses espèces sont peu abondantes et peuvent être considérées comme rares.

La densité moyenne par groupe, toutes stations confondues, montre que la densité est dominée par les crustacés (11208 +/- 6320 ind/ha), suivis des mollusques (4031 +/- 2192 ind/ha), des échinodermes (1479 +/- 1233 ind/ha) et des vers (906 +/- 850 ind/ha) (Figure 22).

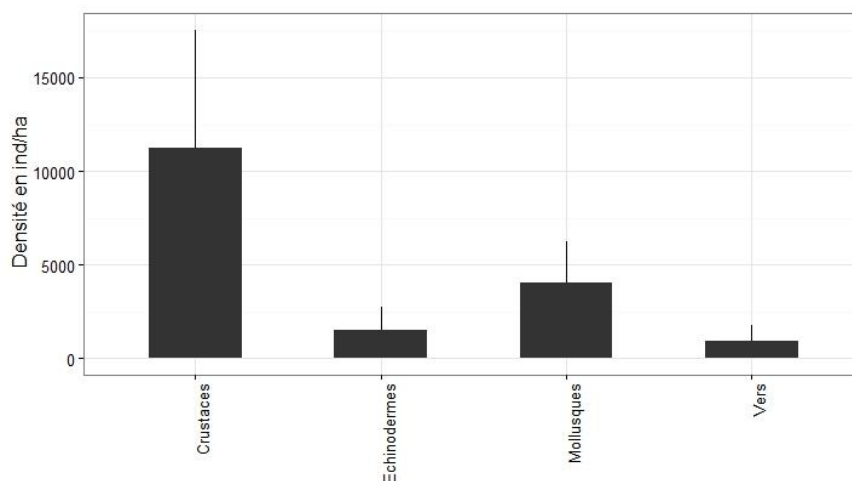


Figure 22 : Densité moyenne en ind/ha des 8 stations de Thio par groupe taxonomique de la campagne 2016.

L'ANNEXE V reprend le détail par station de la richesse spécifique mais également des densités par groupe et par sous-groupe. L'analyse exploratoire conduite (Principal Coordinate Ordination) montre que certaines spécificités apparaissent avec une certaine ségrégation entre les stations de la zone de contrôle Thio_c (ST09-ST10-ST11) et les autres stations des zones sous l'influence des activités (Thio_w et Thio_m) :

- Les stations de Thio_c s'opposent globalement aux autres zones vis-à-vis de trois sous groupes d'échinodermes aux densités plus élevées : crinoïdes, holothurides et astérides.
- A l'inverse les stations des zones de Thio_w et Thio_m s'opposent globalement aux autres zones vis-à-vis de deux sous groupes aux densités plus élevées : décapodes et bivalves

En terme de richesse spécifique (RS) aucunes différences significatives n'apparaissent malgré quelques petites variations entre moyenne constatées. Les RS moyennes présentent avec une ordination suivante :

ST02~ST07~ST09>ST06~ST08>ST01~ST01~ST10>ST11.

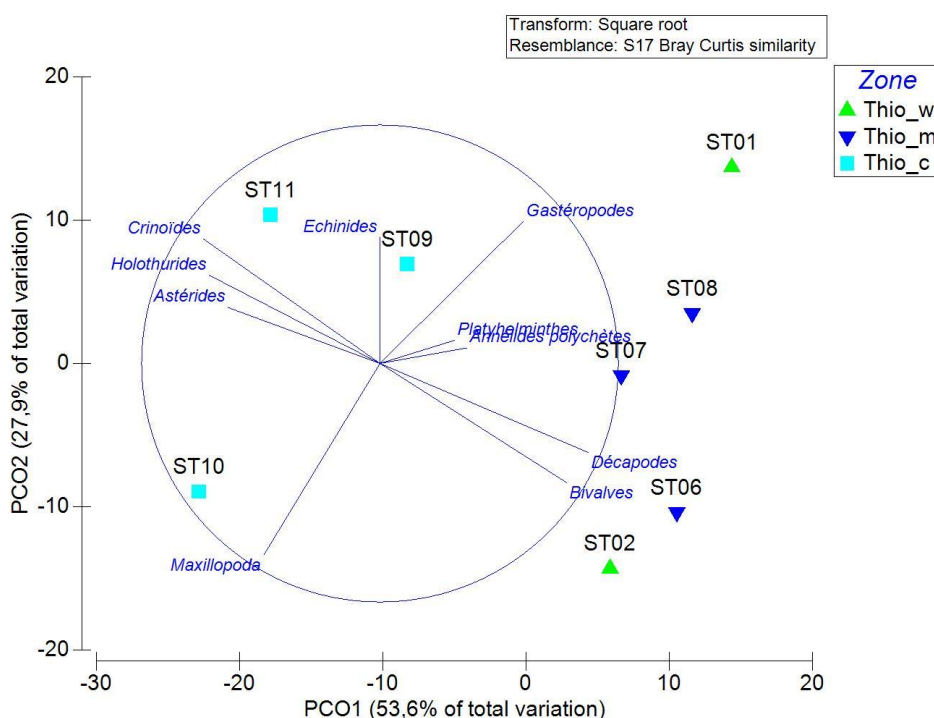


Figure 23 : PCO de la matrice des densités par station et par sous groupe expliquées par les variables de sous groupe taxonomique

V.2. DESCRIPTION PAR ZONE D'INFLUENCE

Un atlas des planches cartographiques annexé au présent rapport présente de façon synthétique les principales variables (densité et richesse spécifique) par zone échantillonnée.

La richesse spécifique entre les trois zones (Figure 24) présente quelques variations non significatives (Tableau 27). La richesse spécifique s'élève à

- 15,8+/-4,2, pour la zone des récifs frangeants Thio_c
- 16,9+/-2,0 pour la zone des récifs intermédiaires de la baie de Thio_m
- 15,8+/-3.1 pour la zone des récifs de la baie de Koua, de Thio_w.

Tableau 27 : Résultats des tests statistiques testant l'existence de différences entre Zones pour chacun des paramètres d'intérêt décrivant les peuplements macrobenthiques sur le site de Poro. ns : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; * : $P < 0,001$.**

	Richesse spécifique	Densité (ind/ha)	Post hoc
Totale	ns		
Groupe			
Crustacés		*	Thio_c < Thio_w
Echinodermes		**	Thio_c > Thio_w & Thio_m
Mollusques		**	Thio_c < Thio_w & Thio_m
Vers		ns	
Sous groupe			
Annelides polychètes		ns	
Asterides		**	Thio_c > Thio_w
Bivalves		*	Thio_c < Thio_m
Crinoides		***	Thio_c > Thio_w & Thio_m
Decapodes		***	Thio_c < Thio_w & Thio_m
Echinides		*	Thio_w > Thio_m
Gasteropodes		*	Thio_c < Thio_w
Holothurides		**	Thio_c > Thio_w & Thio_m
Maxillopoda		ns	
Platyhelminthes		ns	
Plakobranchidae		ns	

En termes de densité moyenne des différences significatives sont constatées pour les crustacés, échinodermes et mollusques (Figure 25 et Tableau 27). Elles sont liées à la zone de Thio_c qui présente des niveaux plus élevés en échinodermes ou plus faibles en crustacés et mollusques. Le niveau de variabilité élevé fait que les différences de densité en vers entre Thio_c et les autres zones ne sont pas statistiquement significatives.

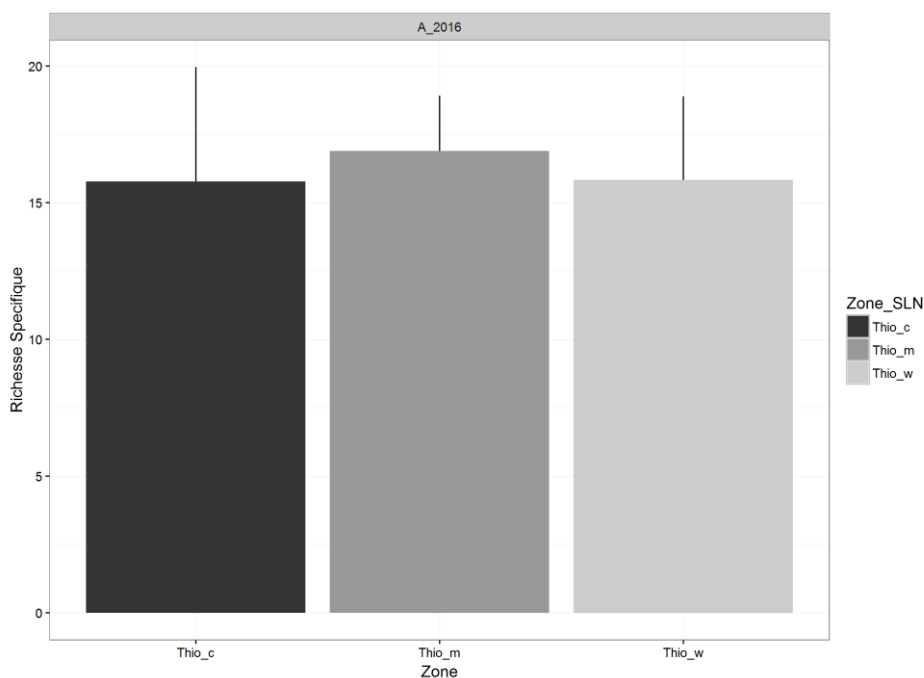
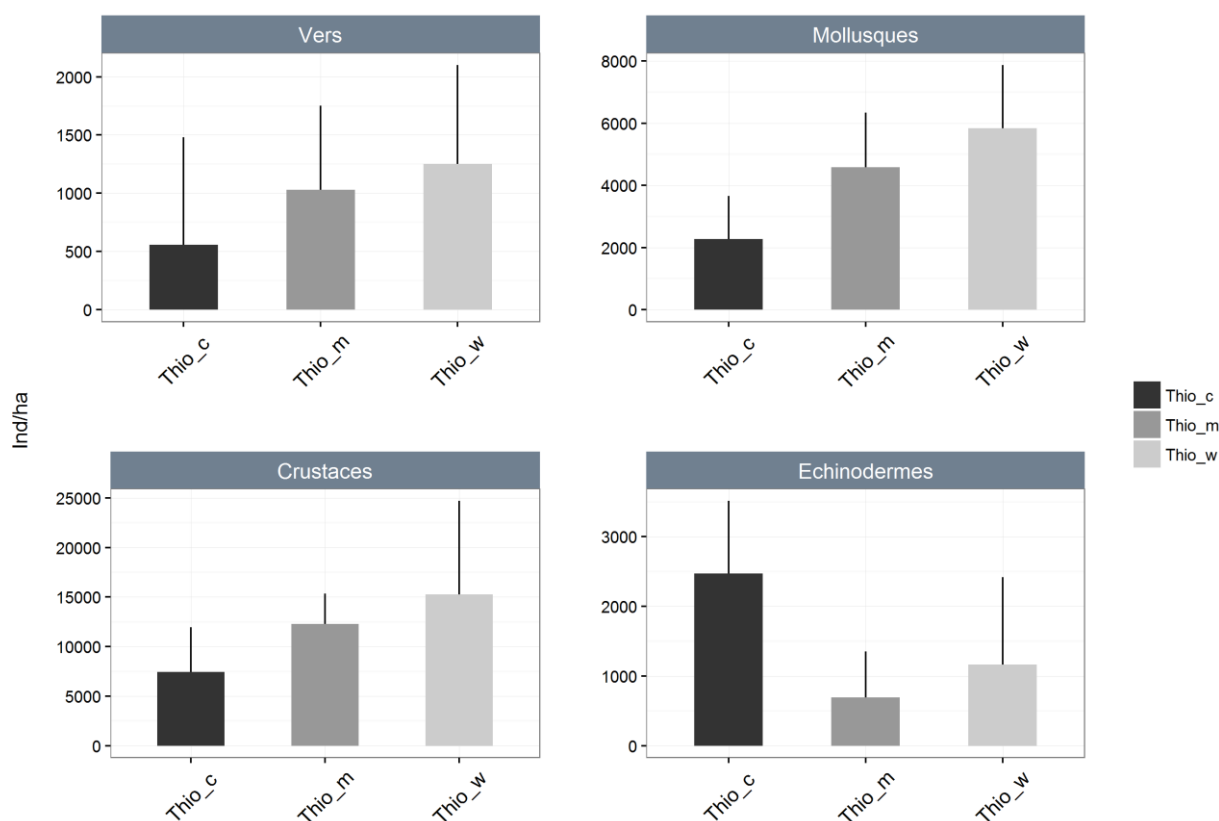


Figure 24 : Richesse spécifique par zone d'influence



Densité (ind/ha)	Crustacés		Echinodermes		Mollusques		Vers	
Thio_c	7 444	± 4 496	2 472	± 1 042	2 278	± 1 383	556	± 925
Thio_m	12 278	± 3 053	694	± 659	4 583	± 1 750	1 028	± 723
Thio_w	15 250	± 9 450	1 167	± 1 252	5 833	± 2 041	1 250	± 851

Figure 25 : Densité (moyenne +/- ET) par groupe et par zone d'influence des stations échantillonnées à Thio en 2016. Attention les échelles sont différentes en fonction des groupes pour assurer une bonne lisibilité.

L'inspection des données par sous-groupe (Figure 26 et Tableau 27) explique naturellement les tendances dans les densités moyennes entre zones au niveau du groupe. L'ensemble des sous-groupes montrent des différences significatives entre zones exception faite des 3 sous groupes des vers (annélides polychètes, platyhelminthes et plakobranchidae) et un sous-groupe des crustacés (maxillopoda). Les différences significatives proviennent de la zone de Thio_c qui présente des niveaux supérieures où inférieures avec au moins une des deux autres zones étudiés. Notons d'ailleurs qu'aucunes différences entre les zones Thio_w et Thio_m ne sont constatées.

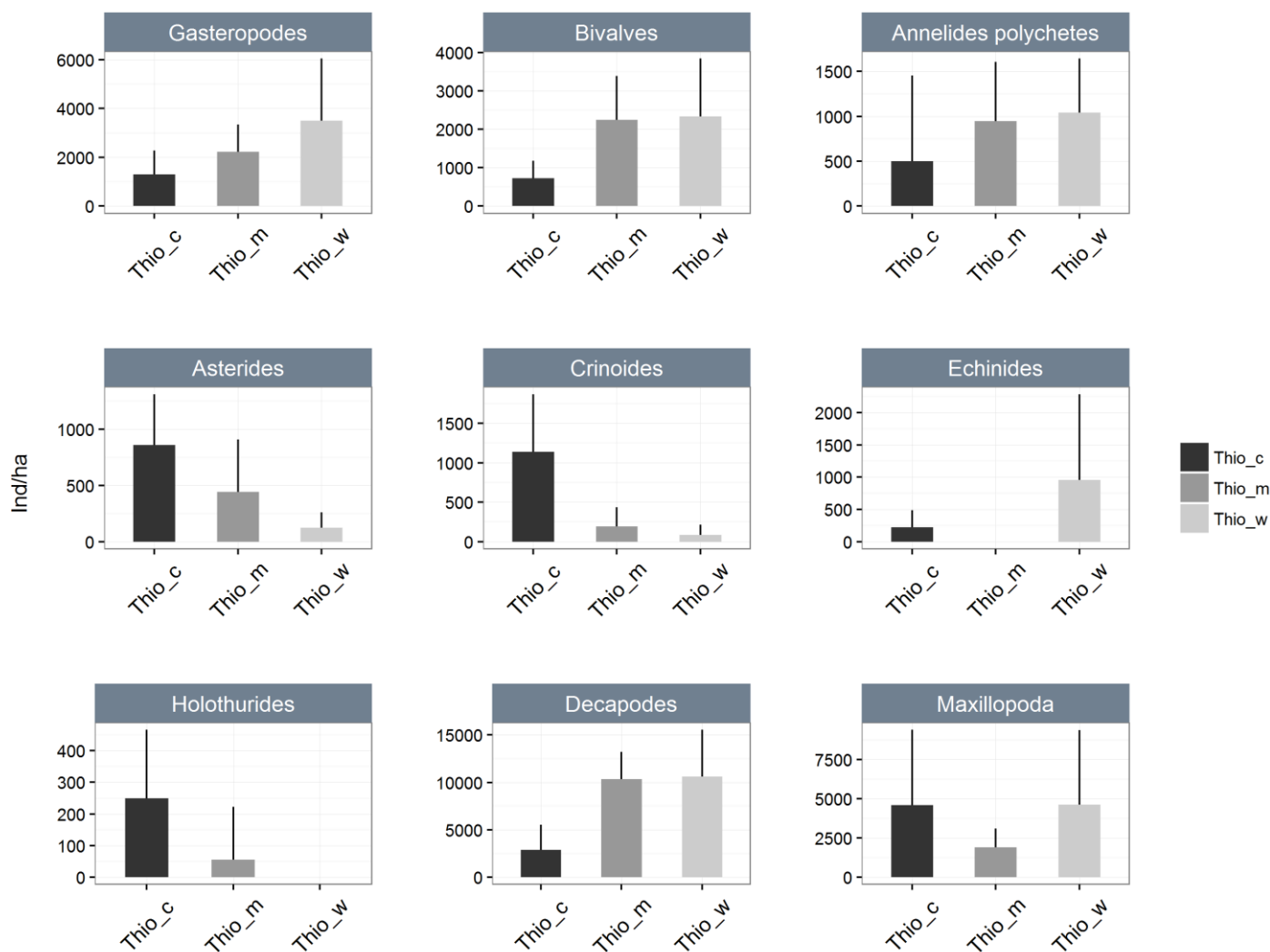


Figure 26 : Densité (moyenne +/- ET) par sous groupe et par zone d'influence des stations échantillonnées à Thio en 2016. *Attention les échelles sont différentes en fonction des sous groupes pour assurer une bonne lisibilité.*

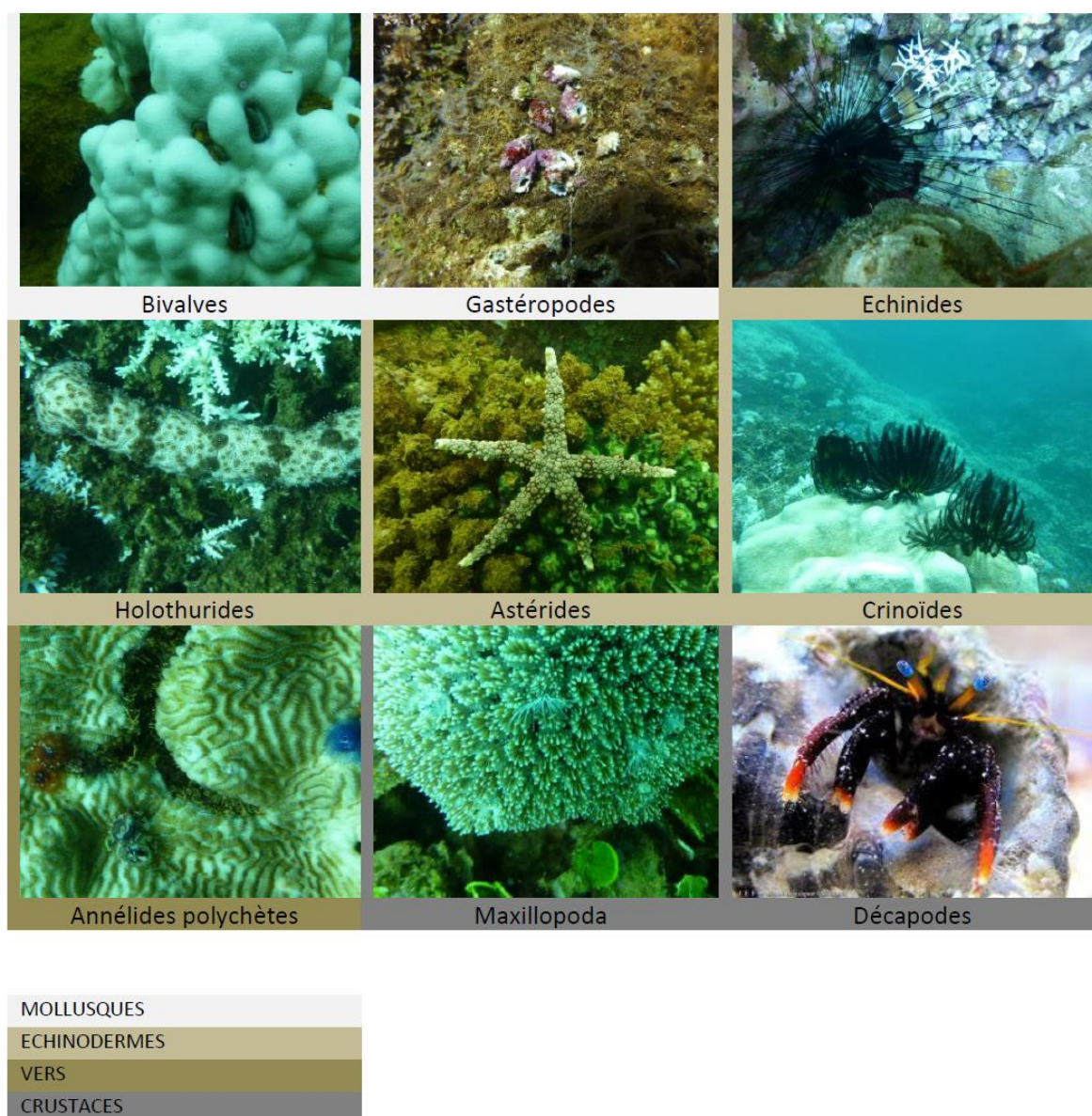


Figure 27 : Illustration d'espèces caractéristiques par sous groupe pour les quatre groupes échantillonnés quantitativement à Thio. Les groupes d'appartenance de chacun des sous groupe est rappelé à travers un code couleur.

V.3. ESPECES REMARQUABLES

Certaines espèces remarquables de par leur statut et/ou leur rôle fonctionnel sont à noter (Tableau 28).

Les crabes du genre *Trapezia*, connus pour leur rôle fonctionnel bénéfique pour les coraux du genre *Pocillopora* (McKeon and Moore 2014), sont présents sur l'ensemble des zones échantillonnées (Thio_c, Thio_m et Thio_w). Les densités moyennes sont comprises entre un minimum de 1 028 +/-914 ind/ha à Thio_c et un maximum de 6 028 +/-1 805 ind/ha à Thio_m. Les densités sont intermédiaires à Thio_w.

Les bédouilles, espèces IUCN sensibles aux changements de qualité d'eau, sont eux peu abondants (3 observations) et représentés par deux espèces (*Tridacna maxima* et *Tridacna squamosa*).

Tableau 28 : Densité moyenne (+/- écart-type) pour certains genres remarquables par zone d'influence.

		2016		
Acanthaster	Thio_c	56	±	110
	Thio_m	28	±	83
	Thio_w	-	±	-
Drupella	Thio_c	167	±	217
	Thio_m	1 500	±	1 237
	Thio_w	2 125	±	3 109
Trapezia	Thio_c	1 028	±	914
	Thio_m	6 028	±	1 805
	Thio_w	3 917	±	2 796
Tridacna	Thio_c	56	±	110
	Thio_m	-	±	-
	Thio_w	42	±	102

Certains gastéropodes corallivores de la famille des Muricidae et du genre *Drupella* ont également été échantillonnés. Ils sont observés sur l'ensemble des zones avec une densité moyenne de 1 030 +/- 600 ind/ha. Les densités les plus faibles sont observées sur les récifs fangeants de Thio_c (167 +/- 217 ind/ha) alors qu'elles sont plus élevées sur les récifs Thio_m et Thio_w.

Enfin, l'étoile de mer corallivore *Acanthaster planci* n'a que très rarement été observée (3 observations). Cette espèce corallivore n'a pas été observée sur les récifs de la zone Thio_w. Les densités moyennes sur Thio sont faibles et inférieures à 60/ha.

Ces éléments montrent que la population macrobenthique échantillonnée ne présente aujourd'hui aucun signe de pullulation d'organismes corallivores.

V.4. EVOLUTION TEMPORELLE

Le présent document se positionne à la transition entre les états initiaux réalisés en 2013 et le suivi opérationnel de long terme débuté ici par une première campagne en 2016. Seule la zone Thio_w permet une première comparaison temporelle puisque les deux autres zones ont été mise en place en 2016. Contrairement aux sites de Kouaoua et Poro, l'examen des évolutions temporelles sur Thio_w a pu se faire de façon plus rigoureuse et formelle grâce à la constance des plans et protocoles d'échantillonnage des invertébrés sur les deux stations de la zone de Thio_w.

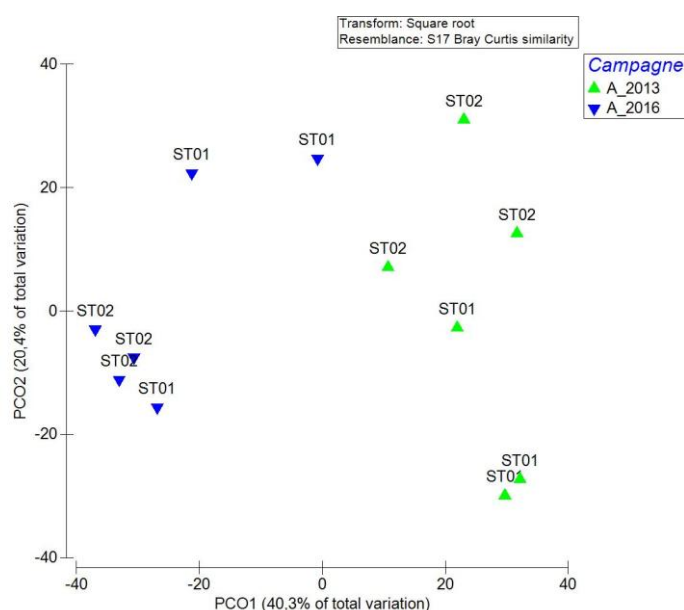


Figure 28 : PCO de la matrice des densités par station et par genre illustrée par leur campagne

L'analyse exploratoire montre qu'une évolution temporelle apparaît (Figure 28). Celle-ci est confirmée statistiquement à l'aide d'une analyse de variance non paramétrique (PERMANOVA). Ces différences sont expliquées par une évolution à la hausse des densités entre 2013 et 2016 de certains genres du groupe des crustacés et des mollusques (Afin de permettre un suivi efficace des ces populations, il conviendra de prendre en compte avec attention ces espèces cryptiques afin de permettre une analyse efficace de leurs évolutions dans le cadre du réseau de suivi.

Tableau 30 et Figure 30). Les échinodermes et vers ne présentent eux qu'une modeste évolution en densité non significatives à ce niveau de résolution taxonomique.

Tableau 29 : Evolution par groupe des densités moyennes entre 2012 et 2016 sur la zone de Thio_w

Densité (ind/ha)	Crustacés	Echinodermes	Mollusques	Vers
Thio_w A_2013	1 625 ± 1 022	1 000 ± 758	2 417 ± 645	2 417 ± 1 201
A_2016	15 250 ± 9 450	1 167 ± 1 252	5 833 ± 2 041	1 250 ± 851

Ces évolutions de densité se font parallèlement à une augmentation de diversité qui passe de 11,0+/-1,8 en 2013 à 15,8+/-3,1 en 2016 (Figure 29).

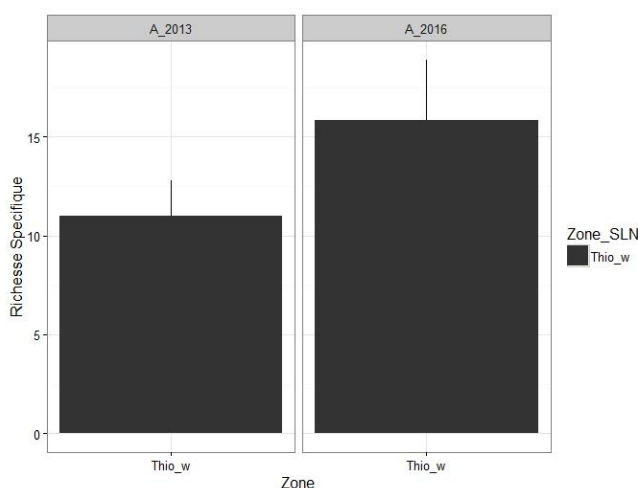


Figure 29 : Richesse spécifique par entre les campagnes de 2013 et de 2016

L'inspection des évolutions par sous-groupe montre une baisse significative des densités des annélides polychètes (notamment les espèces du genre *spirobranchus*) et des astérides. Il convient toutefois de relativiser les évolutions pour le sous groupe des astérides qui reste des organismes peu abondants (7 occurrences en 2013 et 3 en 2016). De plus ces espèces, pour la plupart nocturnes, restent souvent dissimulées dans les anfractuosités des récifs et sont ainsi difficiles à échantillonner.

Concernant la baisse significative des annélides polychètes et en l'absence de données temporelles 2013-2016 sur une zone de référence faite en parallèle, il est impossible de conclure sur l'origine de cette évolution négative. Toutefois compte tenu de l'absence d'autres signaux de variations notables sur les caractéristiques de l'habitat et des peuplements ichtyologiques de la zone, ces évolutions ne sauraient constituer un signal d'alerte à ce stade.

Les évolutions significatives à la hausse constatées pour les bivalves (notamment un *Pectinidae* ind.), les décapodes (notamment les espèces du genre *calcinus*, *trapezia*, *cymo* et *tetralia*) et les maxillopoda (une seule espèce *Nobia*. Sp) sont principalement liées à des espèces cryptiques, souvent endogées et de petites tailles inféodées aux coraux. Ainsi ces changements relèvent probablement plus d'un biais lié à l'échantillonnage qu'à une augmentation effective des densités. Dans tous les cas, ces évolutions positives ne sauraient être interprétées comme un impact négatif. Afin de permettre un suivi efficace des ces populations, il conviendra de prendre en compte avec attention ces espèces cryptiques afin de permettre une analyse efficace de leurs évolutions dans le cadre du réseau de suivi.

Tableau 30 : Résultats des tests statistiques testant l'existence de différences entre zones, campagne et leur interaction pour chacun des paramètres d'intérêt décrivant les peuplements macrobenthiques sur le site de Thio. ns : non-significatif ; * : significatif avec $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; * : $P < 0,001$.**

	Effet	Post hoc
	Campagne	
Richesse spécifique	**	
Groupe		
Crustacés	**	2016>2013
Echinodermes	ns	
Mollusques	**	2016>2013
Vers	ns	
Sous groupe		
Annelides polychètes	*	2016<2013
Asterides	*	2016<2013
Bivalves	*	2016>2013
Crinoides	ns	
Decapodes	***	2016>2013
Echinides	ns	
Gasteropodes	ns	
Holothurides	ns	
Maxillopoda	*	2016>2013
Platyhelminthes	ns	
Plakobranchidae	ns	

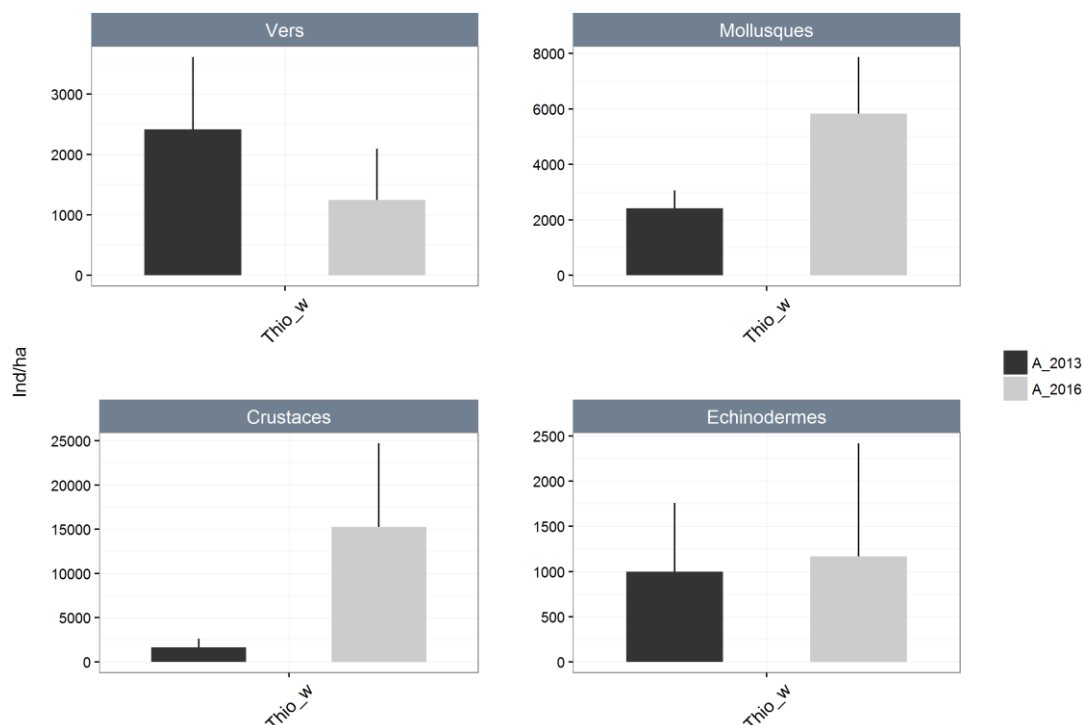


Figure 30 : Evolution des densités (moyenne +/- ET) par groupe taxonomique entre 2013 et 2016. Attention les échelles sont différentes en fonction des groupes pour assurer une bonne lisibilité.

L'inspection des données sur l'évolution des espèces et genres remarquables (Tableau 31) montre qu'il n'y a pas d'évolution en densité sur les bédouilles qui restent rares et sur les populations d'*Acanthaster planci* qui restent absentes. Des légères augmentations en densité sont constatées au niveau des gastéropodes corallivores du genre *drupella* sans pour autant révéler de risque particulier de pullulation vu les niveaux atteints. Enfin les évolutions importantes liées aux crabes du genre *Trapezia* sont à relier à l'attention qu'il a été porté à leur échantillonnage en 2016 plutôt qu'à une réelle évolution de leurs densités.

Tableau 31 : Densité moyenne (+/- écart type) pour certains genre remarquables pour la zone Thio_w en 2013 et 2016

		2016			2013		
Acanthaster	Thio_w	-	±	-	-	±	-
Drupella	Thio_w	2 125	±	3 109	875	±	802
Trapezia	Thio_w	3 917	±	2 796	125	±	209
Tridacna	Thio_w	42	±	102	83	±	204

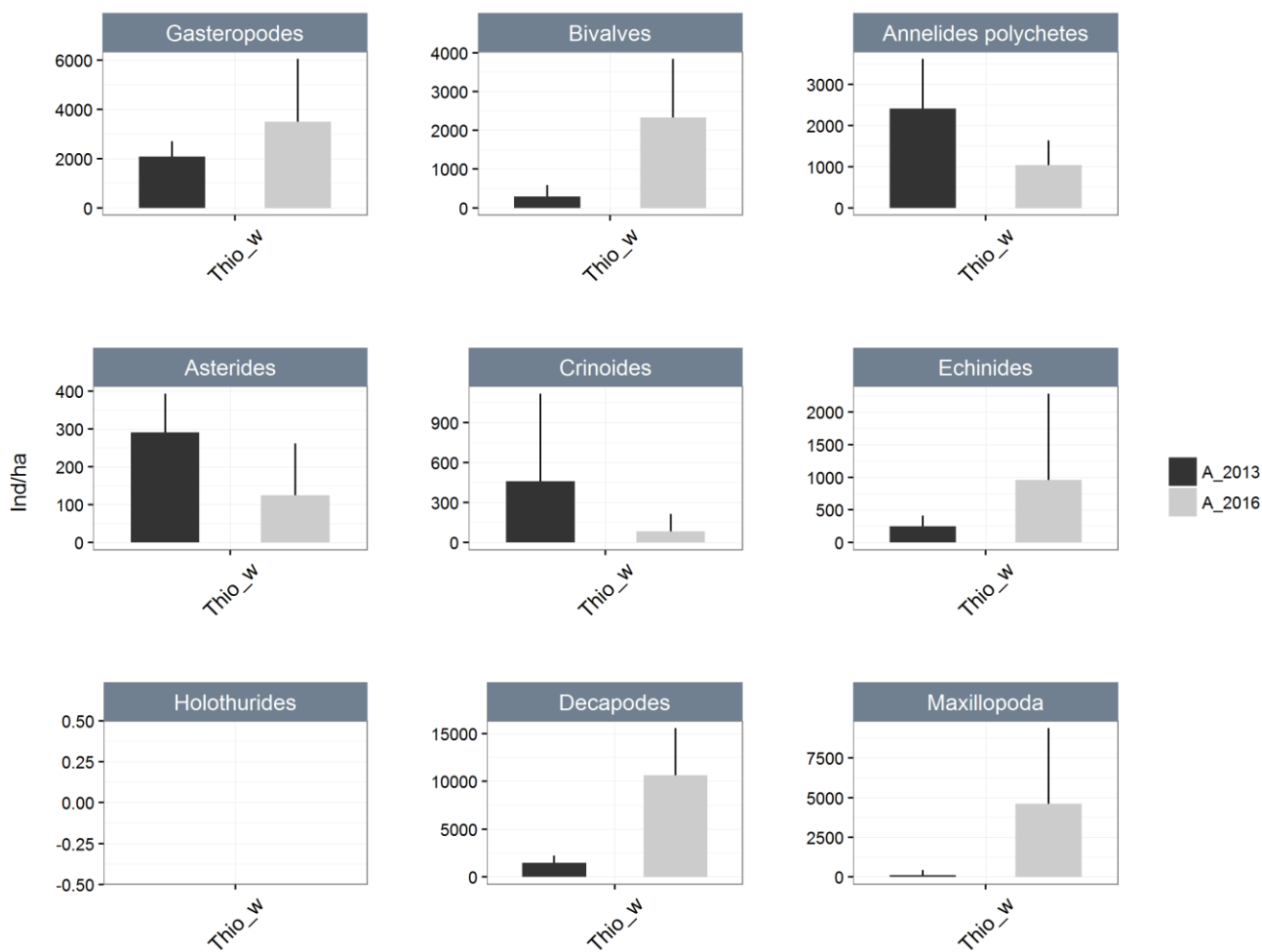


Figure 31 : Evolution des densités (moyenne $\pm$ ET) des principaux sous-groupes taxonomiques entre 2013 et 2016. *Attention les échelles sont différentes en fonction des sous groupes pour assurer une bonne lisibilité.*

VI. QUALITE DES EAUX

Les grandeurs physico-chimiques de la colonne d'eau sont rassemblées dans le Tableau 32.

Dans les conditions de prélèvements rencontrées, les mesures physico-chimiques de la colonne d'eau, pour toutes les stations de Thio, correspondent à un état « normal » pour un milieu lagonaire côtier.

Température (Figure 32): Elle est relativement constante sur toute la colonne d'eau (CV% entre 0,04% et 0,4%) et quasiment identique pour toutes les stations de Thio avec un CV% moyen entre les stations de 0,4%.

Salinité (Figure 32) : Marqueur de la salinité des apports d'eau douce en mer, elle est quasiment toujours proche de 35 g/L, dans les zones qui ne sont pas influencées directement par les creeks. Ainsi, les stations de Thio enregistrent des moyennes quasiment identiques, entre 35,2 et 35,4 g/L, valeurs qui correspondent à la salinité de référence du milieu marin. Elle peut- être temporairement plus faible en surface dans les zones proches d'embouchures ; une légère dessalure dans la couche de surface (0-3 m), est observée pour ST09.

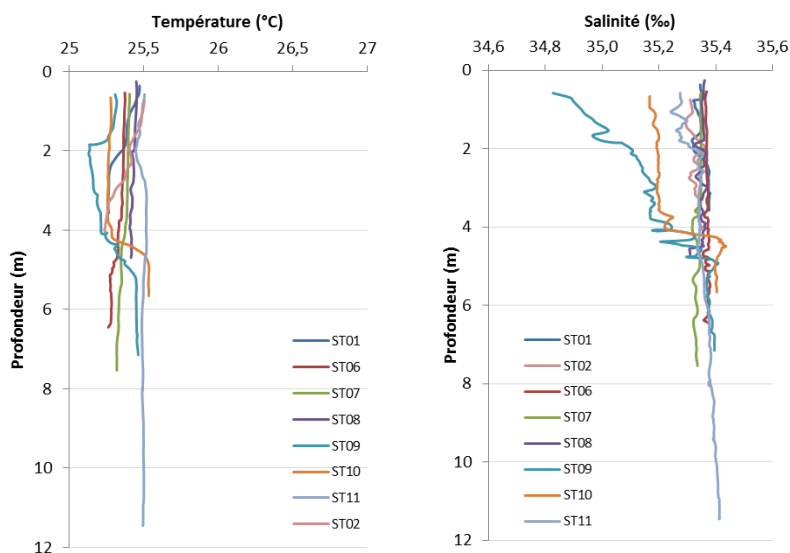


Figure 32 : Profils de température et de salinité pour les stations de Thio

pH : Il est constant sur toute la colonne d'eau et pour toutes les stations. Les moyennes enregistrées varient de 8,20 à 8,27.

Tableau 32 : Synthèse des paramètres physico-chimiques mesurés in situ par sonde multiparamétrique in situ pour les stations du site de Thio

Température (°C)									Salinité (‰)								
	ST01	ST02	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10	ST11		ST01	ST02	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10	ST11
Minimum	25,3	25,2	25,3	25,3	25,4	25,1	25,3	25,4	Minimum	35,3	35,3	35,4	35,3	35,3	34,8	35,2	35,2
Maximum	25,5	25,5	25,4	25,4	25,5	25,5	25,5	25,5	Maximum	35,4	35,4	35,4	35,3	35,4	35,4	35,4	35,4
Moyenne	25,3	25,3	25,3	25,4	25,4	25,3	25,3	25,5	Moyenne	35,4	35,3	35,4	35,3	35,4	35,2	35,3	35,4
Ecart-type	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	Ecart-type	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0
CV%	0,3%	0,4%	0,1%	0,1%	0,04%	0,5%	0,4%	0,1%	CV%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,3%	0,1%

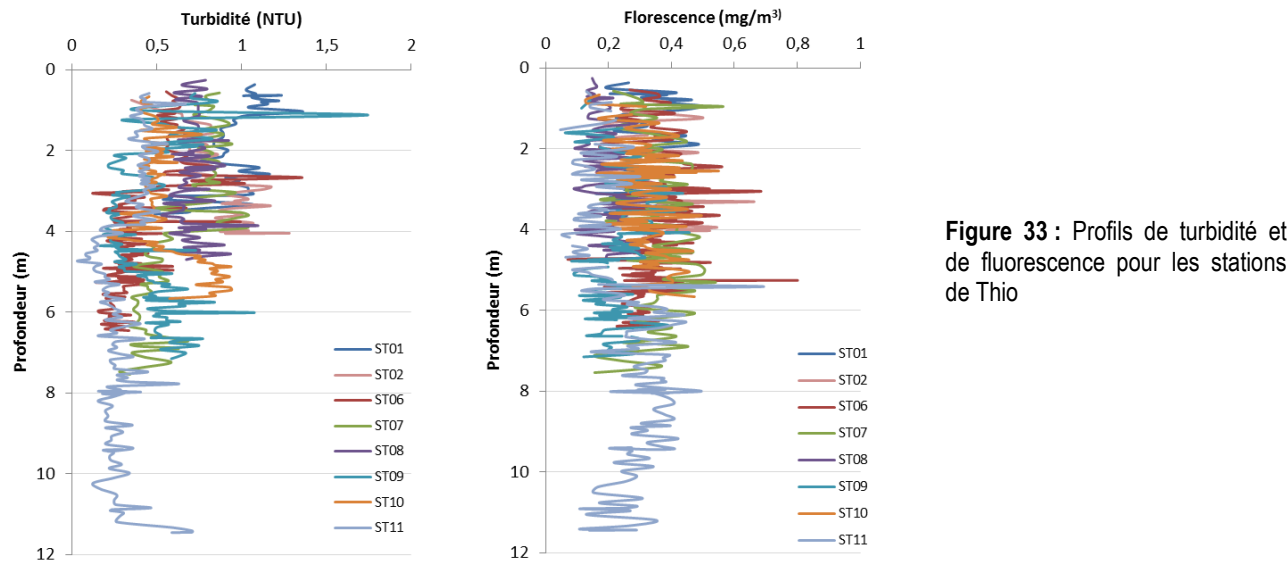
Fluorescence (mg/m3)									Turbidité (NTU)								
	ST01	ST02	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10	ST11		ST01	ST02	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10	ST11
Minimum	0,20	0,12	0,10	0,20	0,09	0,06	0,13	0,05	Minimum	0,50	0,40	0,10	0,30	0,50	0,20	0,20	0,10
Maximum	0,50	0,66	0,80	0,60	0,33	0,45	0,55	0,69	Maximum	1,40	1,30	1,40	1,00	1,10	1,70	0,90	0,71
Moyenne	0,30	0,36	0,40	0,40	0,19	0,24	0,32	0,24	Moyenne	0,90	0,90	0,40	0,60	0,70	0,40	0,50	0,30
Ecart-type	0,08	0,12	0,09	0,09	0,06	0,09	0,08	0,11	Ecart-type	0,20	0,17	0,18	0,21	0,09	0,22	0,17	0,13
CV%	26,7%	32,7%	22,5%	22,5%	31,6%	37,5%	25,0%	45,8%	CV%	22%	19%	45%	35%	13%	55%	34%	43%

Oxygène dissous (mg/l)								
	ST01	ST02	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10	ST11
Minimum	87,2	86,9	86,7	85,2	82,9	82,5	83,9	86,0
Maximum	93,8	99,3	90,3	89,8	91,3	93,0	92,2	98,2
Moyenne	91,0	89,9	87,8	86,5	88,3	86,3	86,7	89,2
Ecart-type	2,6	3,9	0,7	1,2	1,9	1,8	1,9	2,9
CV%	2,8%	4,3%	0,8%	1,4%	2,1%	2,1%	2,1%	3,2%

pH										
	ST01	ST02	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10	ST11
Minimum	8,21	8,26	8,01	8,12	8,20	8,20	8,20	8,21	8,20	8,25
Maximum	8,22	8,27	8,28	8,28	8,21	8,21	8,23	8,22	8,21	8,25
Moyenne	8,21	8,27	8,25	8,27	8,20	8,21	8,22	8,22	8,21	8,25
Ecart-type	0,00	0,00	0,07	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
CV%	0,0%	0,0%	0,8%	0,5%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%

Turbidité (Figure 33): Les mesures de turbidité moyennes varient entre 0,30 (ST11) et 0,9 NTU (ST01 et ST02).

Fluorescence (Figure 33): Les profils de fluorescence montrent des concentrations moyennes comprises, $0,19 \pm 0,06$ mg/m³ (ST08) et $0,40 \pm 0,09$ mg/m³ (ST06 et ST09).



Dans les présentes conditions de prélèvements, les valeurs de turbidité et de fluorescence (chlorophylle A) enregistrées permettent de considérer que les eaux des stations de Thio sont dans les gammes habituellement attribuables à des lagons en milieu côtier non perturbés (Tableau 33 ;Tableau 34).

	Milieu considéré comme non perturbé
Fond de baie, littoral	1,5 – 8*
Lagon en milieu côtier	0,5 – 1,5
Proche récif barrière	< 0.5

* valeur pouvant être atteinte seulement durant quelques heures après plus de 100 mm de pluie/j.

Tableau 33: Valeurs de référence pour la turbidité habituellement mesurées dans les trois différents types de milieux du lagon de Nouvelle-Calédonie (Bélieeff et al, 2011).

CHLOROPHYLLE A (µg/L)	Bon	Moyen	mauvais
Fond de baie, littoral	[0.2 – 1.5]	[1.5 – 5.0]	≥ 5.0
Lagon en milieu côtier	[0.1 – 1.0]	[1.0 – 2.0]	≥ 2.0
Proche récif barrière	< 0.3	Upwelling, bloom [0.3 – 0.5]	≥ 0.5

Tableau 34: Valeurs de référence pour la chlorophylle A dans les trois différents types de milieux du lagon de Nouvelle-Calédonie (Bélieeff et al, 2011).

Oxygène dissous (Figure 34): Les valeurs en O₂ dissous se distribuent entre 83 % (ST08) et la quasi-saturation (ST02).

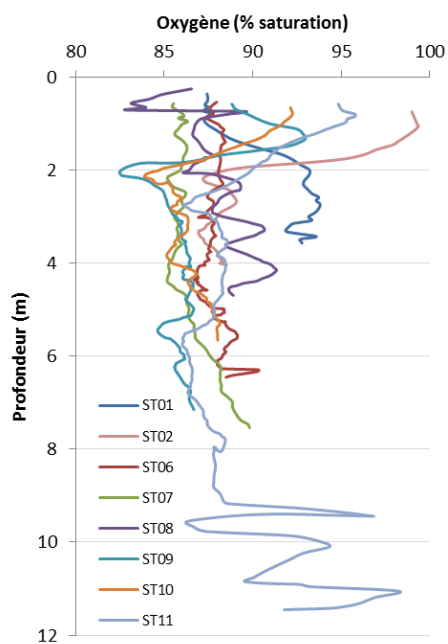


Figure 34 : Profils de saturation en oxygène dissous pour les stations de Thio

VII. QUALITE DES SEDIMENTS

VII.1. CARACTERISATION DES SEDIMENTS

Dans les sédiments, les concentrations en contaminant dépendent de la nature des particules et de leur granulométrie ; les contaminants ont de grandes capacités d'adsorption sur les particules fines qui montrent les surfaces spécifiques les plus importantes.

Les sédiments sont caractérisés par une analyse granulométrique, permettant de différencier les classes de grains qui les composent (Figure 35) et, par une analyse des carbonates de calcium (Figure 36) qui permet de déterminer leur origine (terrestre et/ou marine). (Les résultats sont détaillés en ANNEXE VI)

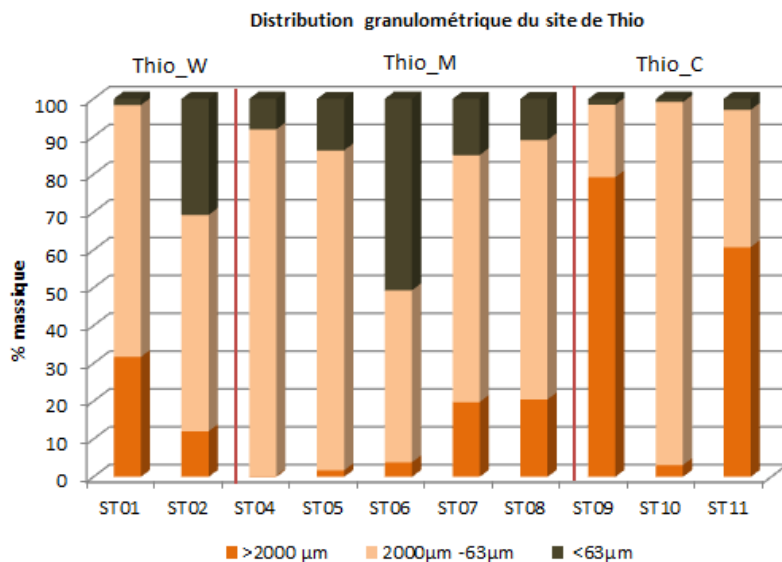


Figure 35 : Comparaison des pourcentages massiques (%) des différentes classes granulométriques pour les sédiments prélevés dans les stations du site de Thio

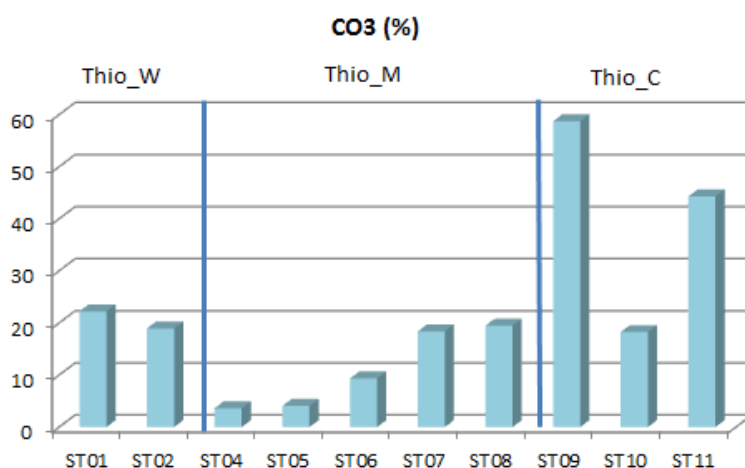


Figure 36 : Teneurs en carbonates dans les sédiments prélevés dans la zone d'étude de Thio

Thio_W : La distribution des classes granulométriques de ST01 et ST02, caractérisant la zone du wharf, met en évidence des différences de composition. Ces deux stations sont dominées par les fractions 2000-63 µm (environ 60%),

mais sont relativement différentes au niveau de leurs compositions en fraction fine qui enregistrent respectivement 1,7% (ST01) et 30,7%(ST02). La composition en carbonates (environ 20%) montre que ces deux stations sont soumises principalement à des apports terrigènes.

Thio M : La distribution des classes granulométriques de ST04, ST05, ST06, ST07 et ST08, caractérisant l'impact de la mine, met en évidence trois groupes distincts. Les différences observées pour ces stations étant certainement liées à l'environnement hydrodynamique et aux différents contextes de creeks et bassins versants.

Toutes ces stations, dans la zone des bassins versants miniers, sont principalement soumises à des apports terrigènes, avec des teneurs en carbonates inférieures à 20%.

- 1) **ST04-ST05** sont des sédiments dominés, à 90% environ, par des grains de 2000-63 µm. Les particules fines représentant, quasiment, le reste de la distribution avec 8,1% (ST04) et 13,6% (ST05), les particules grossières >2000 µm étant quasiment absentes (0,3 et 1,8%).
- 2) **ST06** est le sédiment, qui se démarque par la plus forte proportion de fractions fines, en effet elle représente quasiment 50 % de la composition, l'autre moitié étant représenté par les fractions 2000-63 µm (46%), les particules grossières étant largement minoritaires (4%).
- 3) **ST07 et ST08** ont des compositions quasiment similaires, avec une dominance pour la classe 2000-63 µm représentant respectivement **65,3%** (ST07) et **68,6%** (ST08). Les fractions de débris grossiers >2000 µm et de particules fines <63 µm se partagent équitablement, avec les pourcentages massiques respectifs de **19,8%** (ST07) et **20,5%** (ST08) puis **14,9%** (ST07) et **10,9%** (ST08).

Thio C : La distribution des classes granulométriques de ST09, ST10 et ST11, caractérisant la zone de contrôle, met en évidence, une différence de composition de ST10 par rapport aux deux autres (ST09 et ST11), de compositions très similaires. En effet ST09 et ST11 sont des sédiments dominés par des grains grossiers > 2000µm, représentant respectivement, 79% et 61%, tandis que ST10 est dominé à 96% par des grains entre 2000 et 63 µm. Les compositions en particules fines sont, en revanche, pour ces trois stations, globalement équivalentes, variant de 0,9 % (ST10) à 2,9 % (ST11). ST10 se démarque également par une composition moins carbonatée, que ses « voisines » ST10 et ST11, ces dernières sont globalement soumises à des influences marines (59 et 44%) et terrestres (41 et 56 %) de même ampleur, tandis que ST10 serait sous influence, majoritairement, terrigène (82%).

VII.2. TENEURS EN METAUX DANS LES SEDIMENTS

Un atlas des planches cartographiques annexé au présent rapport présente de façon synthétique les concentrations de métaux dans les sédiments par station échantillonnée.

Pour les trois zones étudiées, les niveaux de concentrations mesurés (pour les éléments quantifiés au-dessus des limites de quantification) permettent de classer, globalement, les métaux selon l'ordre **Ni > Cr > Mn > Co > Cu** et les stations selon **Thio_M > Thio_W > Thio_C**.

Il est à noter que les éléments **Cd, Pb, Zn et Hg** (excepté pour les stations ST02, ST04 et ST05) sont mesurés, pour les trois zones, **inférieurs aux limites de quantification**.

Pour les autres éléments, comme attendu, les sédiments prélevés dans la zone de contrôle (**Thio C**) montrent des concentrations moyennes plus faibles (excepté pour Cu) que les sédiments prélevés dans les zones d'impact (**Thio M et Thio W**), bien que les teneurs de ST10, en corrélation avec les observations précédentes (cf. § II.1), se démarquent des deux autres stations de référence (ST09 et ST11).

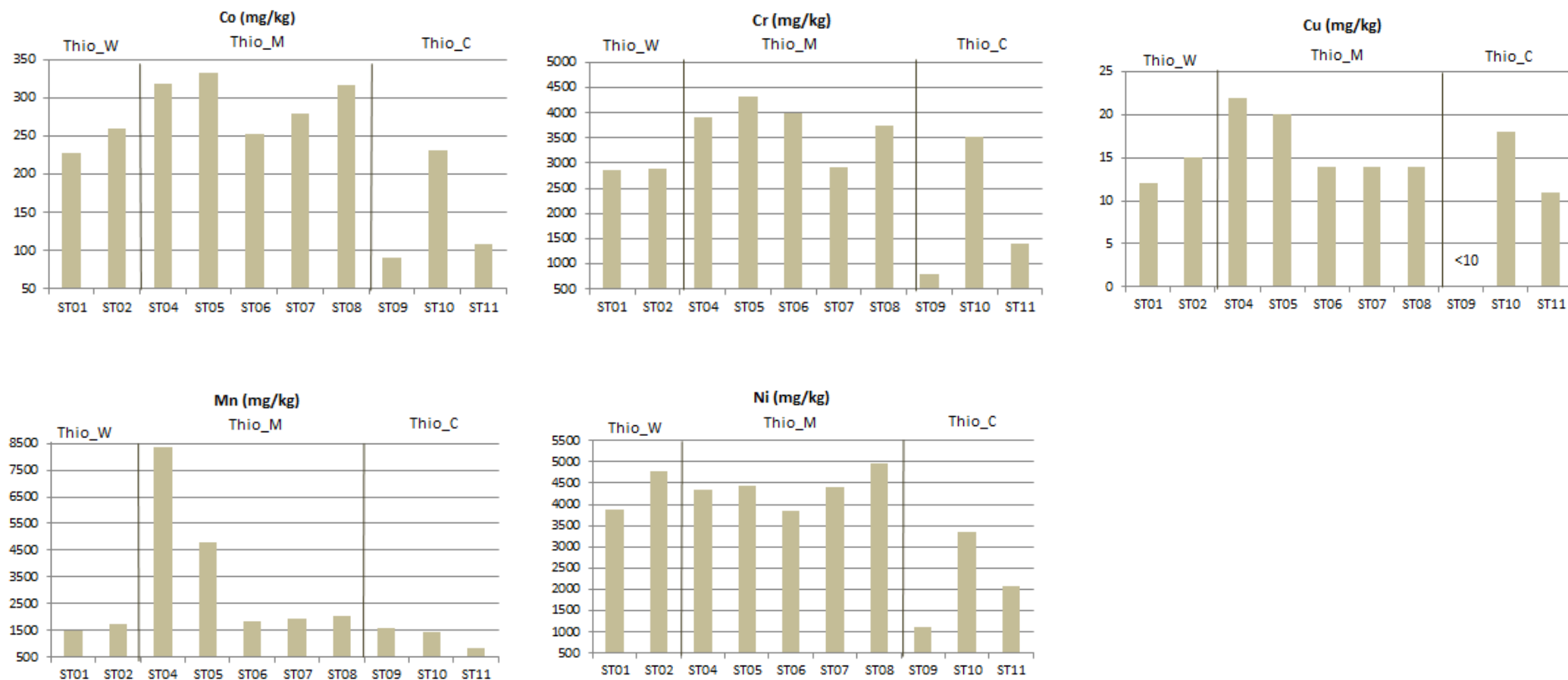


Figure 37 : Teneurs en métaux (mg/Kg de matière sèche) mesurées dans les sédiments échantillonnés sur le site de Thio

Cobalt : Les concentrations en Co mesurées à Thio_W et Thio_M enregistrent les moyennes respectives de 244 ± 23 mg/Kg MS et 300 ± 33 mg/Kg MS et sont environ 2 fois plus élevées que celle enregistrée à Thio_C (144 ± 77 mg/Kg MS). A noter que ST10, appartenant à la zone de contrôle, montre une teneur environ 2 fois plus élevée que ST09 et ST11.

Chrome : Les concentrations en Cr mesurées à Thio_W et Thio_M enregistrent les moyennes respectives de 2869 ± 30 mg/Kg MS et 3776 ± 523 mg/Kg MS et sont respectivement 1,5 et 2 fois plus élevées que celle enregistrée à Thio_C (1902 ± 1434 mg/Kg MS). A noter que ST10 montre une teneur environ 4,5 (ST09) et 2,5 (ST11) fois plus élevée que les deux autres stations de contrôle.

Cuivre : Les concentrations en Cu mesurées à Thio_W (14 ± 2 mg/Kg MS), Thio_M (17 ± 4 mg/Kg MS) et Thio C (15 ± 5 mg/Kg MS) sont relativement équivalentes. Les concentrations les plus élevées étant enregistrées pour ST04, ST05 et ST10 avec des valeurs équivalentes autour de 20 mg/Kg MS. A noter que pour ST09, ce métal est mesuré inférieur à la limite de quantification (<10 mg/Kg MS).

Nickel : Les concentrations en Ni mesurées à Thio_W et Thio_M sont relativement équivalentes avec des moyennes respectives de 4318 ± 639 mg/Kg MS et 4403 ± 407 mg/Kg MS et sont 2 fois plus élevées que celle enregistrée à Thio_C (2183 ± 1120 mg/Kg MS). A noter que ST10 montre une teneur environ 3 (ST09) et 1,6 (ST11) fois plus élevée que les deux autres stations de contrôle.

Manganèse : Les concentrations en Mn, contrairement aux métaux Co, Cr et Ni ne montrent pas des niveaux permettant de classer par zone d'impact. En effet les moyennes enregistrées sont relativement proches pour les stations de Thio_W (1616 ± 162 mg/Kg MS), de Thio_C (1287 ± 381 mg/Kg MS) et ST06, ST07 et ST08 de Thio_M (1954 ± 105 mg/Kg MS). En revanche ST04 et ST05 se distinguent avec des teneurs respectives de 8373 et 4809 mg/Kg MS.

Etant donné la nature géologique particulière de la Nouvelle-Calédonie, les teneurs en métaux dans les sédiments ne peuvent être comparées à des seuils de toxicité fixés dans d'autres pays. A titre de comparaison, les teneurs moyennes observées à Thio_C, correspondent, dans les présentes conditions de prélèvements, à des niveaux inférieurs (Co, Cr, Mn et Ni) aux concentrations habituellement rencontrées dans des zones sous influences modérées, tandis que Thio_W et Thio_M se révèlent à des niveaux caractéristiques de zones sous influences terrigènes plus ou moins modérées (Beliaff et al, 2011).

VII.3. TENEUR EN HYDROCARBURE DANS LES SEDIMENTS

Les teneurs en HCT sont pour la majorité des stations (excepté ST02, ST04 et ST05) inférieures aux limites de quantification (recalculées en fonction de la matière sèche). ST05 enregistrant une teneur plus élevée avec 39,9 mg/Kg MS (Tableau 35).

Tableau 35: Teneurs en HCT (mg/Kg) de matière sèche sur le site de Thio

STATIONS	HCT (mg/Kg) MS
Thio-ST01	<19
Thio-ST02	27,6
Thio-ST04	18,7
Thio-ST05	39,9
Thio-ST06	<26
Thio-ST07	<18
Thio-ST08	<17
Thio-ST09	<20
Thio-ST10	<14
Thio-ST11	<19

VIII. FLUX SEDIMENTAIRES

Les flux totaux particulaires et les teneurs en carbonates associées sont présentés dans le Tableau 23. La répartition des flux d'origine terrigène et marine, est représentée dans la Figure 38.

Tableau 36 : Flux de particules et teneurs en carbonates dans les particules sédimentaires

STATIONS	Flux totaux (mg/cm ² /jour)	Taux CaCO ₃ (%)
Thio-ST01	6,2	26,3
Thio-ST02	6,9	21,9
Thio-ST04	16,4	8,7
Thio-ST05	15,5	12,0
Thio-ST06	28,7	6,5
Thio-ST07	8,9	17,5
Thio-ST08	13,2	28,4
Thio-ST09	1,3	50,3
Thio-ST10	8,6	52,2
Thio-ST11	1,9	36,0

Les particules collectées, dans les présentes conditions de prélèvement, montrent que ces dernières sont, pour la majorité des stations, principalement d'origine terrigène, tandis que ST09 et ST10 montrent des apports soumis à des apports terrigènes et marins de même ampleur (avec des teneurs en carbonates enregistrées autour de 50%).

Thio_C enregistre les plus faibles densités de flux totaux avec $3,9 \pm 4,0$ mg/cm²/j, bien que ST10 se démarque, à nouveau, avec des apports entre 4 et 7 fois plus importants qu'en ST09 et ST11.

Thio_M enregistre en moyenne $16,5 \pm 7,4$ mg/cm²/j, en notant que pour cette zone ST06 montre les flux totaux les plus élevés avec 28,7 mg/cm²/j dont 26,9 mg/cm²/j sont de nature terrigène.

ST01 (6,2 mg/cm²/j) et ST02 (6,9 mg/cm²/j), caractérisant la zone Thio_W, révèlent des flux totaux quasiment identiques dont environ 75 % sont d'origine terrigène.

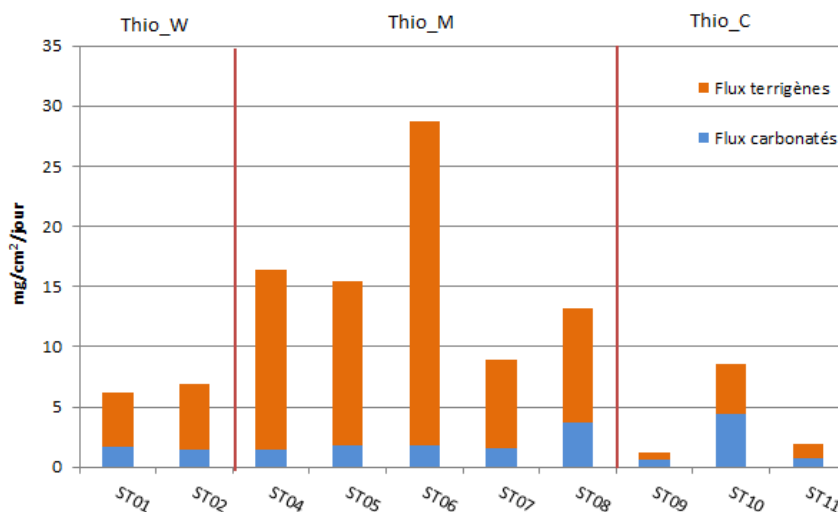


Figure 38 : Flux de particules terrigènes et carbonatées mesurés aux stations de Thio

IX. BIACCUMULATION DANS LES ORGANISMES

Les premières observations à mettre en évidence sont d'une part, que l'échantillonnage est relativement restreint ; un seul individu d'une seule espèce pour chaque station et d'autre part, que l'espèce collectée (*Plectropomus leopardus*) n'a pas fait l'objet d'études antérieures, permettant de définir un niveau de concentration de référence spécifique à la zone de Thio.

De ce fait, l'analyse des données est, à ce stade, limitée (les éventuelles variations ne pouvant être directement liées à la zone de collecte ou aux variations inter-individuelles) et conduit aux observations suivantes :

- Les éléments **Cd, Co, Pb et Ni** (pour ST06 et ST11) sont mesurés inférieurs aux limites de quantification pour toutes les stations et/ou individus.
- Les moyennes enregistrées, toutes stations confondues, permettent de classer les éléments suivants **Zn** ($16,7 \pm 3,3 \mu\text{g/g MS}$) = **Fe** ($14,1 \pm 8,9 \mu\text{g/g MS}$) > **As** ($9,3 \pm 7,5 \mu\text{g/g MS}$) > **Ni** ($0,68 \pm 0,19 \mu\text{g/g MS}$) > **Cu** ($0,49 \pm 0,05 \mu\text{g/g MS}$) = **Mn** ($0,44 \pm 0,09 \mu\text{g/g MS}$) = **Cr** ($0,32 \pm 0,13 \mu\text{g/g MS}$).
- Les niveaux de concentrations en **As** se classent selon ST06 > ST09 > ST08 = ST11 et montrent la plus grande variation entre les individus et /ou stations, avec un coefficient de variation enregistré à 80%. En effet la concentration mesurée pour l'individu prélevé à ST06 de $19,8 \mu\text{g/g MS}$ est environ 2 fois plus élevée que celui collecté à ST09 ($9,5 \mu\text{g/g MS}$), ce dernier étant respectivement 2 et 3 fois plus élevé que pour le poisson ST08 ($4,5 \mu\text{g/g MS}$) et ST11 ($3,40 \mu\text{g/g MS}$).
- Les concentrations en **Fe**, révèlent également une certaine variation, entre les stations et/ou individus avec un coefficient de variation de 63 %, et se classent selon ST08 ($26,8 \mu\text{g/g MS}$) > ST09 ($13,5 \mu\text{g/g MS}$) > ST06 ($9,71 \mu\text{g/g MS}$) > ST11 ($6,49 \mu\text{g/g MS}$).
- En revanche les concentrations en **Zn, Cu, Mn** sont à des niveaux relativement équivalents, pour toutes les stations et/ou individus, avec des coefficients de variation respectifs de 20% (Zn et Mn) et 9% (Cu).
- Les concentrations en **Cr** sont à des niveaux équivalents pour les individus échantillonnés à ST06 ($0,29 \mu\text{g/g MS}$), ST09 ($0,24 \mu\text{g/g MS}$) et ST11 ($0,23 \mu\text{g/g MS}$) qui sont quant à elles 2 fois plus faibles que celle enregistrée pour l'individu prélevé à ST08 ($0,52 \mu\text{g/g MS}$).
- Les concentrations en **Hg** sont à des niveaux équivalents pour les stations ST08, ST09 et ST11 ($0,23 \pm 0,02 \mu\text{g/g ps}$), la concentration enregistrée à ST06 ($0,70 \mu\text{g/g ps}$) étant environ 3 fois plus élevée.
- Les métaux dits prioritaires (**Cd, Pb et Hg**), d'un point de vue sanitaire, pour lesquels des seuils de toxicité ont été fixés, par la directive cadre européenne, sont pour toutes les espèces et/ou zones confondues, inférieurs aux limites de quantification (Cd et Pb) ou **très inférieurs (Hg) aux seuils sanitaires** réglementaires pour la consommation humaine.

Tableau 37 : Teneurs maximales, des contaminants métalliques prioritaires, fixées pour les denrées alimentaires (CE 1881/2006)

Seuil de toxicité	Chair de poisson
Cd ($\mu\text{g/g MS}$)	0,25
Pb ($\mu\text{g/g MS}$)	1,5
Hg ($\mu\text{g/g MS}$)	2,5

Tableau 38 : Tableau de synthèse des teneurs métalliques dans les organismes bio-accumulateurs prélevés dans la zone d'étude de Thio

STATIONS	Espèce	As (µg/g) MS	Cd (µg/g) MS	Co (µg/g) MS	Cr (µg/g) MS	Cu (µg/g) MS	Fe (µg/g) MS	Mn (µg/g) MS	Ni (µg/g) MS	Pb (µg/g) MS	Zn (µg/g) MS	Hg (µg/g) MS
ST06	Plectropomus leopardus (Loche saumonée)	19,8	<0,10	<0,20	0,29	0,44	9,71	0,38	<0,40	<0,40	18,2	0,70
ST08	Plectropomus leopardus (Loche saumonée)	4,50	<0,10	<0,20	0,52	0,54	26,8	0,56	0,55	<0,40	20,2	0,22
ST09	Plectropomus leopardus (Loche saumonée)	9,50	<0,10	<0,20	0,24	0,46	13,5	0,45	0,81	<0,40	15,7	0,21
ST11	Plectropomus leopardus (Loche saumonée)	3,40	<0,10	<0,20	0,23	0,50	6,49	0,36	<0,40	<0,40	12,5	0,25
Moyenne (µg/g MS)		9,3	<0,10	<0,20	0,32	0,49	14,1	0,44	0,68	<0,40	16,7	0,25
Ecart type (µg/g MS)		7,5	*	*	0,13	0,05	8,9	0,09	0,19	*	3,3	0,20

SYNTHESE ET DISCUSSION

I. CONTEXTE DE LA MISE EN PLACE DU SUIVI

Dans le cadre de la régularisation des ses sites miniers vis-à-vis de la loi de pays du 16 Avril 2009, la SLN a fait réaliser un état initial du milieu marin face à ses installations du bord de mer à Thio en 2013. En 2016, la SLN a mandaté SOPRONER afin de mettre en place un réseau de suivi à long terme sur la base d'un cahier des charges détaillé (SLN, 2015). Le réseau de suivi comporte 10 stations réparties en 3 zones définies selon leur influence minière : une zone face aux installations de bord de mer (Thio_w), une zone face aux mines (Thio_m) et une zone de contrôle (Thio_c).

L'étude de l'évolution temporelle de la qualité du milieu marin sur la zone, entre 2013 et 2016, est limitée à la zone de Thio_w pour le suivi biologique dont les deux stations sont les seules à avoir été échantillonnées en 2013.

II. SUIVI BIOLOGIQUE DU MILIEU

Concernant le suivi biologique, la zone d'étude a été classée en 3 zones d'influence en fonction leur situation géographique vis-à-vis des différents bassins versants miniers de la zone :

- La zone influencée par la mine (Thio_m)
- La zone influencée par le wharf de chargement (Thio_w)
- La zone de contrôle (Thio_c)

II.1. SUBSTRAT ET LESIONS CORALLIENNES

En 2016, des différences sont observées sur la qualité du substrat en fonction des zones d'influence. En effet, les deux zones d'impact (Thio_w et Thio_m) bénéficient d'une couverture corallienne significativement plus élevée (entre 45% et 60%) que celle de la zone de contrôle (environ 10%). Cette différence est principalement due aux coraux Acroporidae dont la couverture est également largement supérieure en zone d'impact qu'en zone de contrôle. La zone de contrôle se situe au sud de la commune de Thio, vers la plage de la Moara, qui a subi une invasion par les étoiles de mer *Acanthaster* ces dernières années (Adjeroud 2012). Cette pullulation pourrait expliquer la présence de coraux en place recouverts d'algues et une faible couverture de coraux vivants dans la zone de contrôle.

Les coraux blanchis ont principalement été observés sur la zone de Thio_w dont la couverture est proche de 9%, significativement supérieure aux deux autres zones dont la couverture ne dépasse pas 2%. La couverture plus élevée observée sur Thio_w est principalement due à la station ST01 située à faible profondeur (2m maximum) et donc plus sensible au réchauffement de l'eau en surface. L'impact final de cet épisode de blanchissement, lié au réchauffement des masses d'eau et indépendant de l'activité minière, sera apprécié lors de la prochaine campagne en fonction du taux de récupération/mortalité des coraux.

L'étude des lésions coralliennes a montré une plus forte prévalence des lésions liées à la sédimentation et à la compétition avec les algues sur les deux zones d'impact (Thio_w et Thio_m), comparées à la zone de contrôle (Poro_ri). Ces résultats montrent que les deux zones concernées sont plus directement soumises à l'influence des embouchures de la Thio et de la Do-Thio. La prévalence de coraux blanchis est élevée sur la zone de Thio_w (environ 20%) et notable sur les autres zones (proche de 10%). Ce constat est cohérent avec les données du LIT. Certaines familles comme les Pocilloporidae, Poritidae et Acroporidae sont les plus sensibles au blanchissement. Les autres types de lésions restent peu importants et concernant les maladies coralliennes typiques de l'Indo-Pacifique, seules les malformations coralliennes et le White Syndrome ont été observées à de faibles prévalences.

La comparaison des données entre 2013 et 2016 montre l'absence d'évolution significative de la couverture de coraux sur la zone de Thio_w, seule zone échantillonnée en 2013. Si une diminution significative de la couverture de coraux morts récemment est observée entre les deux années, celle de coraux blanchis qui était nulle en 2013 a fortement augmenté pour atteindre environ 9% en 2016. Concernant les lésions coralliennes, l'augmentation significative de prévalence du blanchissement sur Thio_w confirme les données sur le substrat. Les lésions liées à la sédimentation et à la compétition avec les algues, toutes deux liées à aux conditions de turbidité de l'eau, n'ont globalement pas évoluées. Il en est de même pour les autres types de lésions/maladies dont la prévalence n'a pas évolué significativement.

II.2. MACROBENTHOS DE FONDS MEUBLES

Les prélèvements de carottes de sédiments dans le champ proche des stations ne permettent pas la réalisation d'une expertise pertinente dans le cadre du suivi. En effet 77% (23/30) des prélèvements sont exempts de tout organisme vivant et les 23% restants (7/30) ne sont constitués que d'un seul organisme rarement identifié à l'espèce.

Si ces résultats montrent une certaine pauvreté de la faune benthique dans les carottes, ils montrent d'avantage que la stratégie d'échantillonnage pour ce type d'étude n'est pas adaptée. En effet, ces prélèvements ont été réalisés à proximité du point de départ de chacune de nos stations, qui pour la grande majorité d'entre elles, sont installées dans des zones coralliennes où les cuvettes sédimentaires sont souvent rares et difficilement pénétrables avec le carottier du fait des nombreux débris coralliens.

De plus, les récifs frangeants de Thio abritent de grandes quantités d'algues du genre *Halimeda* qui sont connues pour terminer leur vie en déposant leurs feuilles calcaires qui se mélangent aux sédiments. Ce mélange est curieusement très stérile et ne favorise pas du tout la présence d'une grande diversité, que l'on peut trouver sans la présence de ces algues.

Par ailleurs, il se trouve que la majorité des petits organismes que nous avons récoltés sont de petites tailles (entre 2 ou 6 mm et très exceptionnellement plus de 2 cm). Plus de 98% d'entre eux sont représentés par de très petits coquillages dont 99% sont morts. Les très rares organismes récoltés vivants sont le plus souvent indéterminables aux delà du Groupe par des experts locaux (Laboute comm. pers.) et probablement même par des experts internationaux.

Ces nombreuses contraintes sur l'étude du macrobenthos de fonds meuble remettent en question sa pertinence pour ce type de suivi sur la côte Est et induisent des recommandations étayées dans le rapport préconisations.

II.3. MACROBENTHOS DE FOND DUR

La campagne 2016 a permis d'identifier une moyenne de 16,2 $\pm$ 3,1 espèces sur les 8 stations échantillonnées. Comme c'est le cas généralement, l'abondance des peuplements est dominée par quelques espèces. A l'échelle de l'ensemble des stations, trois espèces contribuent pour plus de 40% à la densité totale cumulée : deux décapodes *Nobia sp.* (20%) et *Trapezia cymodoce* (15%) ainsi qu'un bivalve Pectenidae non déterminé (7%). Aussi, de nombreuses espèces sont peu abondantes et peuvent être considérées comme rares.

Les espèces recensées sont réparties au sein de quatre groupes dont la densité a été estimée à l'échelle de chaque transect moyennée par station et puis par zone d'influence (ici Thio_w, Thio_m et Thio_c) de sorte à permettre une analyse stratifiée par niveau de pression.

Sur l'ensemble des zones étudiées, les densités sont dominées par les crustacés (11208 $\pm$ 6320 ind/ha), suivis des mollusques (4031 $\pm$ 2192 ind/ha), des échinodermes (1479 $\pm$ 1233 ind/ha) et des vers (906 $\pm$ 850 ind/ha).

Les niveaux de richesse spécifique sont équivalents entre les zones avec une dominance plus marquée de la communauté macrobenthique échantillonnée à Thio_c. En termes de densité moyenne des différences significatives sont constatées pour les crustacés, échinodermes et mollusques. Elles sont liées à la zone de Thio_c qui présente des niveaux plus élevés en échinodermes ou plus faibles en crustacés et mollusques. Notons d'ailleurs qu'aucunes différences entre les zones Thio_w et Thio_m ne sont mises en évidence.

L'analyse des densités d'espèces remarquables montre que la population macrobenthique échantillonnée en 2016 ne présente aujourd'hui aucun signe de pullulation d'organismes corallivores.

Des évolutions temporelles entre la campagne de 2013 et celle de 2016 apparaissent sur la seule zone échantillonnée en 2013 : Thio_w. On constate une évolution à la hausse des densités de certains genres du groupe des crustacés et des mollusques. Ces évolutions de densité se font parallèlement à une augmentation de diversité qui passe de 11,0 $\pm$ 1,8 en 2013 à 15,8 $\pm$ 3,1 en 2016.

L'inspection des évolutions par sous-groupe montre une baisse significative des densités des annélides polychètes (notamment les espèces du genre *spirobranchus*) et des astérides. Il convient toutefois de relativiser les évolutions pour le sous-groupe des astérides qui reste des organismes peu abondants (7 occurrences en 2013 et 3 en 2016). De plus ces espèces, pour la plupart nocturnes, restent souvent dissimulées dans les anfractuosités des récifs et sont ainsi difficiles à échantillonner. Concernant la baisse significative des annélides polychètes et en l'absence de données temporelles 2013-2016 sur une zone de référence faite en parallèle, il est impossible de conclure sur l'origine de cette évolution négative. Toutefois compte tenu de l'absence d'autres signaux de variations notables sur les caractéristiques de l'habitat et des peuplements ichthyologiques de la zone, ces évolutions ne sauraient constituer un signal d'alerte à ce stade.

Les évolutions significatives à la hausse constatées pour les bivalves (notamment un Pectinidae ind.), les décapodes (notamment les espèces du genre *Calcinus*, *Trapezia*, *Cymo* et *Tetralia*) et les maxillopoda (une seule espèce *Nobia*. sp) sont principalement liées à des espèces cryptiques, souvent endogées et de petites tailles inféodées aux coraux. Ainsi ces changements relèvent probablement plus d'un biais lié à l'échantillonnage qu'à une augmentation effective des densités. Dans tous les cas, ces évolutions positives ne sauraient être interprétées comme un impact négatif. Afin de permettre un suivi efficace des ces populations, il conviendra de prendre en compte avec attention ces espèces cryptiques afin de permettre une analyse efficace de leurs évolutions dans le cadre du réseau de suivi mis en place.

II.4. ICTHYOLOGIE

L'expertise des données 2016 a permis d'examiner de manière détaillée les caractéristiques de l'ichtyofaune présente sur les différentes zones du site de Thio.

Les zones de Thio_m et Thio_w (zones sous influence) ont montré des caractéristiques écologiques et des profils fonctionnels similaires et typiques des peuplements ichtyologiques de récifs frangeants exposés tels que ceux échantillonnés ici. Il en va de même concernant les niveaux généraux de densité, de biomasse et de richesse spécifique, qui sont cohérents avec les niveaux classiquement observés sur ce type de récifs en Nouvelle-Calédonie (Kulbicki 2006, Wantiez 2006). Il convient toutefois de mentionner une valeur basse de biomasse sur Thio_w. Bien que la cause ne puisse être déterminée précisément à ce stade (en l'absence de recul concernant la variabilité temporelle locale des peuplements et les fluctuations associées qui sont susceptibles de survenir dans les données, cf. détail dans la partie Résultats), cette caractéristique ne constitue pas un signal anormal étant donnée la bonne structuration et la richesse de l'ichtyofaune observée par ailleurs sur cette zone. Plus généralement, les caractéristiques ichtyologiques constatées sur Thio_m et Thio_w suggèrent donc *a priori* un état écologique satisfaisant.

La zone Thio_c (zone de référence) a montré quelques différences dans la structuration écologique de l'ichtyofaune, notamment concernant les Chaetodontidae (densité, biomasse et richesse spécifique inférieures) et les herbivores (richesse spécifique supérieure, se rebasculant sur les niveaux en espèces commerciales). Ces caractéristiques peuvent toutefois être reliées aux caractéristiques des habitats coralliens, auxquels l'ichtyofaune est étroitement inféodée (Öhman & Rajasuriya 1998, Syms & Jones 2000). Elles sont notamment en cohérence avec des habitats plus riches en végétaux (recouvrement algal) et plus pauvres en coraux vivants sur Thio_c. Ces différences devront être prises en compte dans l'étude des évolutions temporelles pour les campagnes à venir, mais elles restent toutefois insuffisamment marquées pour remettre en cause la validité du suivi et les comparaisons spatio-temporelles qui seront nécessaires en routine.

Par ailleurs, il est apparu que la zone de Thio_c était susceptible de constituer une zone de référence valide pour le suivi du site de Thio. Il convient toutefois de noter la présence de zones touristiques non loin des stations d'observations, représentant un potentiel impact annexe qu'il conviendra de prendre en compte pour la future détection de signaux d'impact miniers. Concernant spécifiquement l'ichtyofaune, les caractéristiques observées en 2016 ne montrent toutefois pas de signaux de dégradation majeurs en lien avec la fréquentation touristique ou la pêche de plaisance (notamment présence de Scaridae et Serranidae de grande taille alors qu'ils sont usuellement ciblés par la plaisance). Là encore, ce diagnostic devra être confirmé avec l'obtention d'années de données supplémentaires permettant de prendre la mesure de la variabilité temporelle locale et donc de caractériser plus pleinement l'ichtyofaune suivie. Présentement, ceci suggère quoiqu'il en soit une influence anthropique (hors-mine) d'un même ordre de grandeur que sur d'autres zones du site de Thio, et ne justifie donc pas d'invalidiser la zone de Thio_c en tant que référence pour le suivi ichtyologique.

En l'existence d'une zone de référence (Thio_c), il peut enfin être conclu à l'issue de cette première expertise qu'il n'existe pas à l'heure actuel de signal d'impact majeur au sens de la comparaison spatiale entre Thio_m et Thio_c d'une part, et Thio_w et Thio_c d'autre part, et donc qu'aucune des deux zones sous influence ne présente d'anomalie écologique notable. Comme mentionné ci-après, la détection fiable et rigoureuse de signaux d'impact ne pourra toutefois intervenir qu'une fois une série temporelle obtenue et la mise en place d'approche BACI (*Before-After-Control-Impact*) devenue possible.

Il n'a été possible de mettre en œuvre à l'heure actuelle des comparaisons temporelles que pour la zone de Thio_w, les deux autres zones n'ayant pas été échantillonnées avant 2016.

Il est apparu que l'ichtyofaune sur Thio_w est restée remarquablement constante en termes de richesse spécifique et de structuration de la diversité ichtyologique (qui sont les paramètres les plus robustes pour analyser d'éventuels signaux

de perturbations des peuplements). Elle est apparue également stable concernant les paramètres de biomasse (aucune différence significative) et de densité (une unique différence significative portant sur la densité des Chaetodontidae). Bien que cette dernière soit à prendre en compte et à surveiller dès la prochaine campagne d'échantillonnage, elle ne constitue pas seule un signal de changement majeur à ce stade (notamment étant donnée l'absence de variation significative pour tous les autres paramètres), et permet donc de conclure à une absence d'évolution anormale de l'ichtyofaune sur cette zone.

Si cette première comparaison permet de fournir un diagnostic restreint à la zone du wharf, la seconde campagne de suivi opérationnel sur le site de Thio permettra à la fois d'approfondir les évolutions temporelles de cette zone avec un jeu de données supplémentaire, mais surtout d'étendre l'étude des évolutions temporelles à l'ensemble des zones du site, et de mettre ainsi en place une réelle démarche de recherche de signaux d'impact (type BACI).

III. SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE

III.1. CONTROLE QUALITE

La justesse et la fidélité (dans les conditions de répétabilité et de reproductibilité) des méthodes d'échantillonnage, de préparation et d'analyse ont été vérifiées. Ainsi l'interprétation des données, dans le cadre de cette étude, a pu se baser sur des données fiables.

III.2. QUALITE DES EAUX

Dans les conditions de prélèvements rencontrées, les mesures de la qualité des masses d'eau ont montré que pour les différents paramètres étudiés (température, salinité, pH, turbidité, fluorescence et oxygène dissous), les stations de Thio correspondent à un état « normal » pour un milieu lagunaire côtier.

III.3. QUALITE DES SEDIMENTS

L'analyse des sédiments a mis en évidence des compositions et, globalement, des niveaux en contaminants métalliques différents selon que ces derniers provenaient des stations sous influences des bassins versants miniers (« Thio_M »), ou du wharf (« Thio_W ») ou de la zone de contrôle (« Thio_C »).

A noter, toutefois, que pour toutes les stations, les concentrations en Cd, Pb et Zn ont été mesurées inférieures à la limite de quantification. Les concentrations en HCT ont été également mesurées pour la majorité des stations, excepté pour ST02 ; ST04 et ST05, inférieures aux limites de quantification.

Les sédiments de Thio_M, principalement d'origines terrigènes (avec des teneurs en carbonates proches ou inférieures à 20%), ont montré des distributions granulométriques variables entre les différentes stations.

En effet, ST06 s'est démarquée avec une composition en fraction fine, notablement, supérieure (51%) par rapport aux autres stations, de cette même zone d'étude, enregistrant un maximum de 14,9 % (ST07). Cette différence, de composition, n'a pas, pour autant, entraînée, des teneurs en métaux plus élevées pour cette station.

Les couples, respectifs, ST04 ; ST05 et ST07 ; ST08 ont montré, des compositions très similaires, avec des sédiments dominés par les fractions 2000-63 µm.

Ainsi, les sédiments des stations, caractérisant **Thio_M**, sous l'influence directe des bassins versants miniers, ont présenté des concentrations en contaminants, notamment, d'origine terrigène (Co, Cr, Ni et dans une moindre mesure Mn), mais aussi en Cu, plus élevées que les sédiments de Thio_W et Thio_C. Les niveaux mesurés correspondant aux concentrations habituellement rencontrées dans les zones soumises à des influences terrigènes modérées.

Les sédiments de Thio_W, sous influences, principalement, d'origines terrigènes (avec des teneurs en carbonates proches de 20%), et dominés par les fractions 2000-63, se sont distingués par leurs compositions en fractions fines, en effet ST02 ayant enregistré 18 fois plus que ST01. Les teneurs en contaminants métalliques (Co, Cr, Ni et Mn) ont révélé des niveaux équivalents pour Mn, des niveaux inférieurs pour Cr et supérieurs pour Co et Ni aux concentrations habituellement rencontrées dans les zones soumises à des influences terrigènes modérées. A noter que les concentrations en Cu ont été mesurées à des niveaux comparables de la zone de contrôle, Thio_C.

Les sédiments ST09 et ST11 de **Thio_C**, soumis à des influences terrigènes et marines globalement de même ampleur, et dominés par des fractions >2000, ont montré des compositions très similaires. En revanche les sédiments

de ST10 se sont révélés moins carbonatés et exclusivement dominés par des grains 2000-63 μm (96%). Cette différence de composition a d'ailleurs été corrélée avec des concentrations en métaux (Co, Cr, Ni) plus élevées que les deux autres stations, caractérisant la même zone, jusqu'à 4,5 fois plus pour Cr et 3 fois plus pour Ni. Toutefois, les teneurs enregistrées pour Thio_C sont (Co, Cr, Ni et Mn) **inférieures** à celles habituellement rencontrées dans les zones soumises à **des influences terrigènes modérées**.

III.4. FLUX DE PARTICULES

L'analyse des flux sédimentaires, faisant l'objet de la première et unique évaluation de ce suivi, ne permet pas de faire une réelle interprétation des résultats. Les observations mises en évidence, à ce stade du suivi, sont que les flux totaux enregistrés sont principalement d'origine terrigène et plus précisément que.

- **Thio_C** a enregistré les plus faibles densités de flux totaux avec $3,9 \pm 4,0 \text{ mg/cm}^2/\text{j}$, bien que ST10 s'est démarqué, avec des apports entre 4 et 7 fois plus importants qu'en ST09 et ST11.
- **Thio_M** a enregistré en moyenne $16,5 \pm 7,4 \text{ mg/cm}^2/\text{j}$, en notant que pour cette zone ST06 a montré les flux totaux les plus élevés avec $28,7 \text{ mg/cm}^2/\text{j}$ dont $26,9 \text{ mg/cm}^2/\text{j}$ sont de nature terrigène.
- ST01 ($6,2 \text{ mg/cm}^2/\text{j}$) et ST02 ($6,9 \text{ mg/cm}^2/\text{j}$), caractérisant la zone **Thio_W**, ont révélé des flux totaux quasiment identiques dont environ 75 % sont d'origine terrigène.

III.5. BIOACCUMULATION

Concernant l'étude de bioaccumulation sur des organismes comestibles, l'analyse des données a été limitée, par la pauvreté de l'échantillonnage (une loche saumonée -*Plectropomus leopardus*-par station). Les observations, mises en évidence, ont été les suivantes :

- **Cd, Co, Pb et Ni** (pour ST06 et ST11) ont été mesurés inférieurs aux limites de quantification.
- Les niveaux de concentrations (Cr, Cu, Mn, Ni, et Zn), relativement faibles, n'ont pas, globalement, mis en évidence de notables différences entre les stations et/ ou individus. Les concentrations maximales étant enregistrées pour Zn ($16,7 \pm 3,3 \mu\text{g/g MS}$).
- As et Fe ont montré les plus grandes variations entre les stations et/ou individus avec des coefficients de variation respectifs de 80% et 63%.
- Les métaux dits prioritaires (**Cd, Pb et Hg**), d'un point de vue sanitaire, pour lesquels des seuils de toxicité ont été fixés, par la directive cadre européenne, sont pour toutes les stations et/ou individus confondus, inférieurs aux limites de quantification (Cd et Pb) ou **très inférieurs (Hg) aux seuils sanitaires** réglementaires pour la consommation humaine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adjeroud M. (2012) Prolifération de l'étoile de mer corallivore *Acanthaster planci* dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie : état de lieux en juin 2012 et impacts sur les communautés coralliennes. Rapport IRD pour l'CEIL. 48pp.
- Beliaff *et al* (2011) Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle Calédonie. Zoneco, CNRT Nickel.
- Bouchon-Navaro Y, Bouchon C, Harmelin-Vivien M (1985) Impact of coral degradation on chaetodontid fish assemblage (Moorea, French Polynesia). *Proceedings of the 5th International Coral Reef Symposium* 5: 427-32.
- Breau. L. 2003. Etude de la bioaccumulation des métaux dans quelques espèces marines tropicales : Recherche de bioindicateurs de contamination et application à la surveillance de l'environnement côtier dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie. *Thèse de Doctorat de l'Université de la Rochelle, Spécialité « Océanologie Biologie et Environnement Marin »*, La Rochelle, France, 318 p.
- Buckland ST (1993) Distance sampling - Estimating abundance of biological populations. London: Chapman and Hall Editions.
- Chabanet P, Ralambondrainy H, Amanieu M, Faure G, Galzin R (1997) Relationships between coral reef substrata and fish. *Coral Reefs* 16:93-102.
- Chabanet P, Guillemot N, Kulbicki M, Sarramégna S, Vigliola L (2010) Baseline study of the spatio-temporal patterns of reef fish communities prior to a major mining project in New Caledonia (South Pacific). *Marine Pollution Bulletin* 61 : 598-611.
- Clua E (2004) Influence relative des facteurs écologiques et de la pêche sur la structuration des stocks de poissons récifaux dans six pêcheries du Royaume des Tonga (Pacifique Sud). *Thèse de Doctorat EPHE, Perpignan*, 201p.
- English S, Wilkinson C, Baker V (1997) Survey manual for tropical marine resources. 2nd Edition. Australian institute of marine science publ., Townsville, Australia : 390p.
- Galzin R (1987) Structure of fish communities of French Polynesian coral reefs. I: Spatial scales. *Mar Ecol Prog Ser* 41:129-136.
- Ginger-Soproner (2011) Suivi environnemental du milieu marin de la zone Voh-Koné-Pouembout - Surveillance biologique et physico-chimique, Rapport semestriel 2011, 180p.
- Ginger-Soproner (2013) Suivi environnemental du milieu marin de la zone Voh-Koné-Pouembout - Surveillance biologique et physico-chimique, Rapport annuel 2013.
- 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.
- Harmelin-Vivien ML, Harmelin JG, Chauvet C, Duval C, Galzin R, Lejeune P, Barnabé G, Blanc F, Chevalier R, Duclerc J, Lasserre G (1985). Evaluation visuelle des
- Hédoin. L. 2006. Caractérisation d'espèces bioindicatrices pour la surveillance des activités minières et la gestion de l'environnement en milieu récifal et lagonaires : application au lagon de Nouvelle-Calédonie. *Thèse de Doctorat de l'Université de la Rochelle, Spécialité « Océanologie Biologie et Environnement Marin »*, La Rochelle, France, 322 p.
- 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.

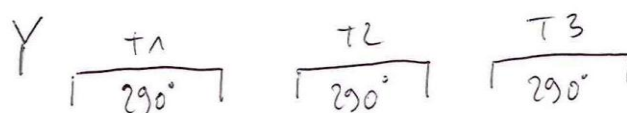
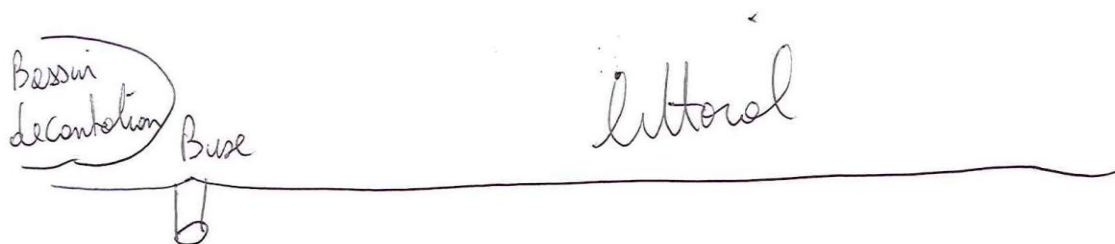
- Hourrigan T, Tricas T, Reese E (1988) Coral reef fishes as indicators of environmental stress in coral reefs. In: Soule D, Kleppel G (eds) *Marine organisms as indicators* 6:107-35.
- Jones GP (1991) Post-recruitment processes in the ecology of coral reef fish populations: a multi-factorial perspective. In: Sale PF (éd.) *The ecology of fishes on coral reefs*. Academic Press, San Diego.
- Jones GP, McCormick MI, Srinivasan M, Eagle JV (2004) Coral decline threatens fish biodiversity in marine reserves. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 101: 8251-8253.
- Kulbicki M (2006) *Ecologie des poissons lagunaires de Nouvelle Calédonie*. Thèse Doctorat EPHE, Université de Perpignan : 189 pages + annexes 500 pages
- Kulbicki M, Sarramégna S (1999) Comparison of density estimates derived from strip transect and distance sampling for underwater visual census: a case study of Chaetodontidae and Pomacanthidae. *Aquatic Living Resources* 12: 315-325.
- Kulbicki M, Chabanet P, Guillemot N, Sarramégna S, Vigliola L, Labrosse P (2004) Les poissons de récifs dans la région de Koné. Premiers résultats comparatifs des évaluations en plongée menées par l'IRD, la CPS et Falconbridge entre 1996 et 2002. Rapport technique IRD. 106p.
- Kulbicki M, Guillemot N, Amand M (2005a) A general approach to length-weight relationships for New Caledonian lagoon fishes. *Cybiurn* 29(3): 235-252.
- Kulbicki M, Bozec Y-M, Labrosse P, Letourneur Y, Mou Tham G, Wantiez L (2005b) Diet composition of carnivorous fishes from coral reef lagoons of New Caledonia. *Aquatic Living Ressources* 18(3): 231-250.
- Kulbicki M, Sarramégna S, Letourneur Y, Wantiez L, Galzin R, Mou-Tham G, Chauvet C, Thollot P (2007) Short-term temporal changes in the structure of a coral reef fish assemblage in a New Caledonian protected area: relative influence of opening to fishing. *Journal of Experimental Ecology and Biology* 353: 145-163.
- Labrosse P, Letourneur Y, Kulbicki M, Magron F (1999) Fisheye: A new database on the biology and ecology of lagoon and reef fishes of the South Pacific. Example of its use on the ecology of commercial herbivorous fishes. *Proceedings of the 5th Indo-Pacific Fish Conference* 1: 657-672.
- Letourneur Y, Galzin R, Harmelin-Vivien M (1996) Temporal variations in the diet of the damselfish *Stegastes nigricans* (Lacepède) on a Réunion fringing reef. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 217: 1-18.
- Li XiuBao, Huang Hui, Lian JianSheng et al. Coral community changes in response to a high sedimentation event: A case study in southern Hainan Island[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(9):1037
- McGill BJ, Enquist BJ, Weiher E, Westoby M (2006) Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 178-185.
- Öhman MC, Rajasuriya A, Svensson S (1998) The Use of Butterflyfishes (Chaetodontidae) as Bio-Indicators of Habitat Structure and Human Disturbance. *Ambio* 27(8): 708-716.
- Osenberg CW, Schmitt RJ, Holbrook SJ, Abu-Saba KE, Flegal AR (1994) Detection of Environmental Impacts: Natural Variability, Effect Size, and Power Analysis. *Ecological Applications* 4(1): 16-30.
- Petchey OL, Gaston KJ (2002a) Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology Letters* 5:402-411.
- Petchey OL, Gaston KJ (2002b) Extinction and the loss of functional diversity. *Proceedings of the Royal Society of London, Biological Sciences* 269:1721-1727.
- Petchey OL, Gaston KJ (2006) Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters* 9: 741-758.
- Pitcher JT, Hart PJB, Pauly D (1998) Reinventing fisheries management. *Fish Fish. Ser.* 23. Reese ES (1981) Predation on corals by fishes of the family Chaetodontidae: implications for conservation and management of coral reef ecosystems. *Bulletin of Marine Science* 31: 594-604.
- Roberts CM, Ormond RF (1987) Habitat complexity and coral reef diversity and abundance on Red Sea fringing reefs. *Marine Ecology Progress Series* 41: 1-8.
- Roberts CM, Dawson Shepherd AR, Ormond RF (1992) Large-scale variation in assemblage structure of Red Sea butterfly fishes and angel fishes. *Journal of Biogeography* 19: 239-50.

- Roset N, Grenouillet G, Goffaux D, Pont D, Kestemont P (2007) A review of existing fish assemblage indicators and methodologies. *Fisheries Management and Ecology* 14: 393–405.
- Sale PF, Doherty PJ, Eckert GJ, Douglas WA, Ferrell DJ (1984) Large scale spatial and temporal variation in recruitment to fish populations on coral reefs. *Oecologia* 64(2): 191-198.
- Scherrer B (1984) *Biostatistique*. Gaetan Morin Editions.
- Schwartz MW, Brigham CA, Hoeksema JD, Lyons KG, Mills MH, van Mantgem PJ (2000) Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation ecology. *Oecologia* 122(3):297-305.
- Steele JH (1991) Marine functional diversity. *Bioscience* 41:470-474.
- Syms C, Jones GP (2000) Disturbance, habitat structure, and the dynamics of a coral-reef fish community. *Ecology* 81: 2714-2729.
- Tittensor DP, Micheli F, Nyström M, Worm B (2007). Human impacts on the species–area relationship in reef fish assemblages. *Ecology Letters* 10 (9): 760-772.
- Underwood AJ (1992) Beyond *BACI* : The Detection of Environmental Impacts on Populations in the Real, but Variable, World. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 161(2): 145-178.
- Underwood AJ (1994) On beyond *BACI*: Sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. *Ecological Applications* 4(1): 3-15.
- Wantiez L (2006) Suivi temporal des récifs coralliens du Parc du Lagon Sud - Rapport 2006. Province Sud de la Nouvelle-Calédonie, Université de la Nouvelle-Calédonie, 93p.
- 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: DESCRIPTIF DES STATIONS

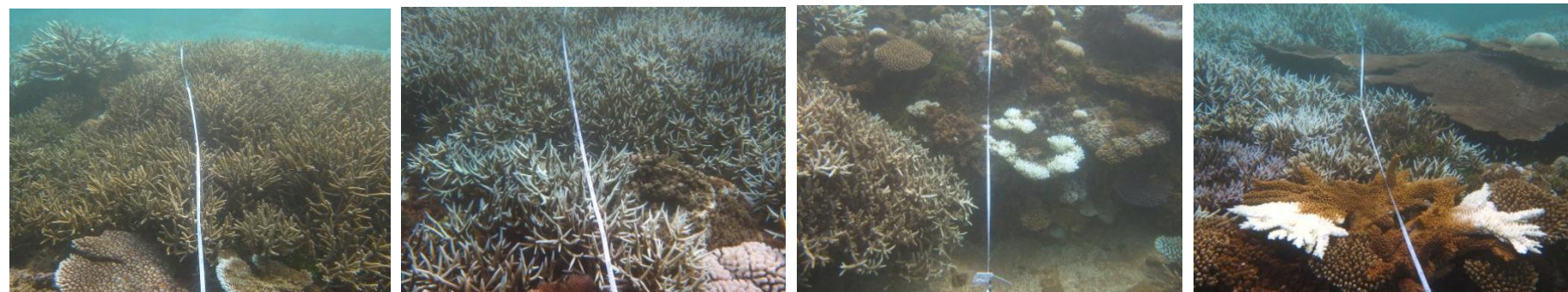
I.1. THIO – ST01



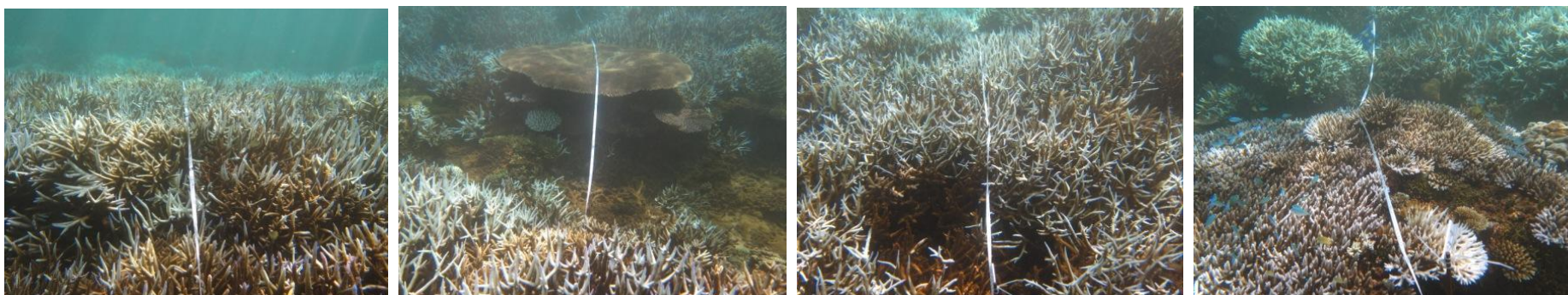
T1



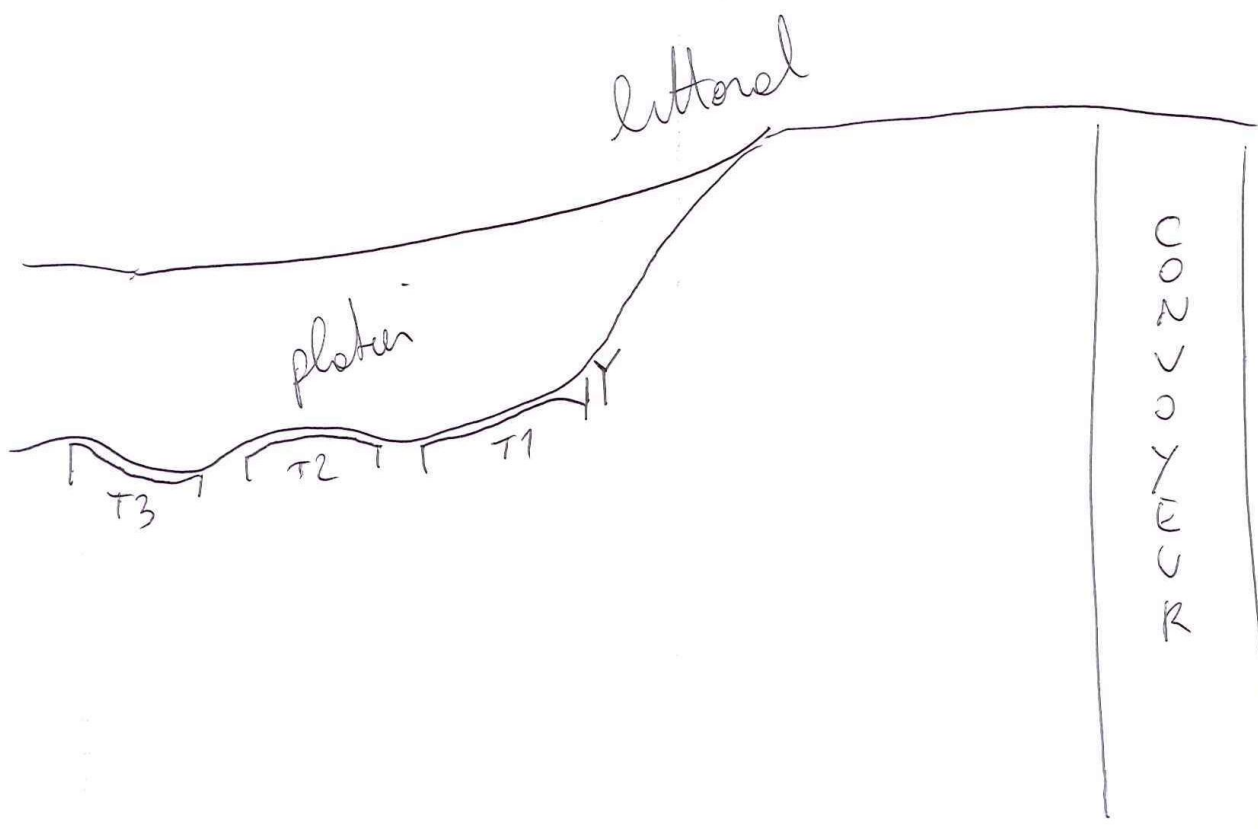
T2



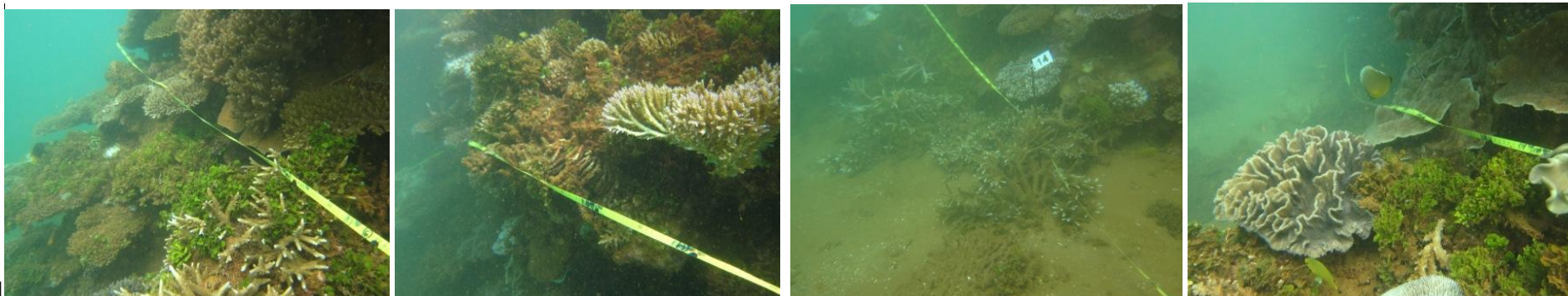
T3



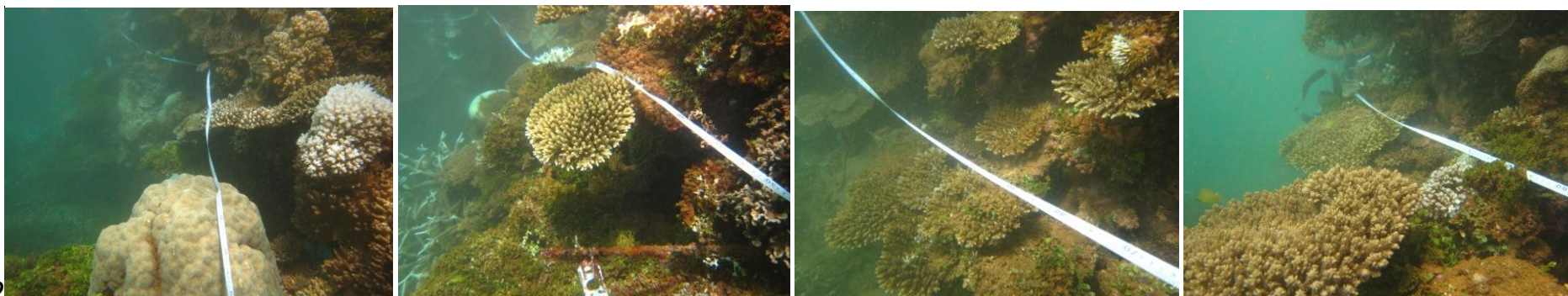
I.2. THIO – ST02



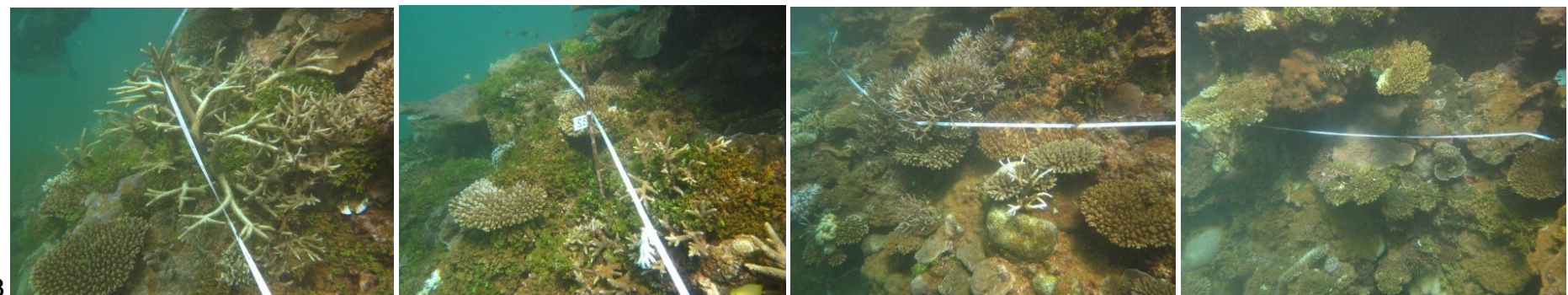
T1



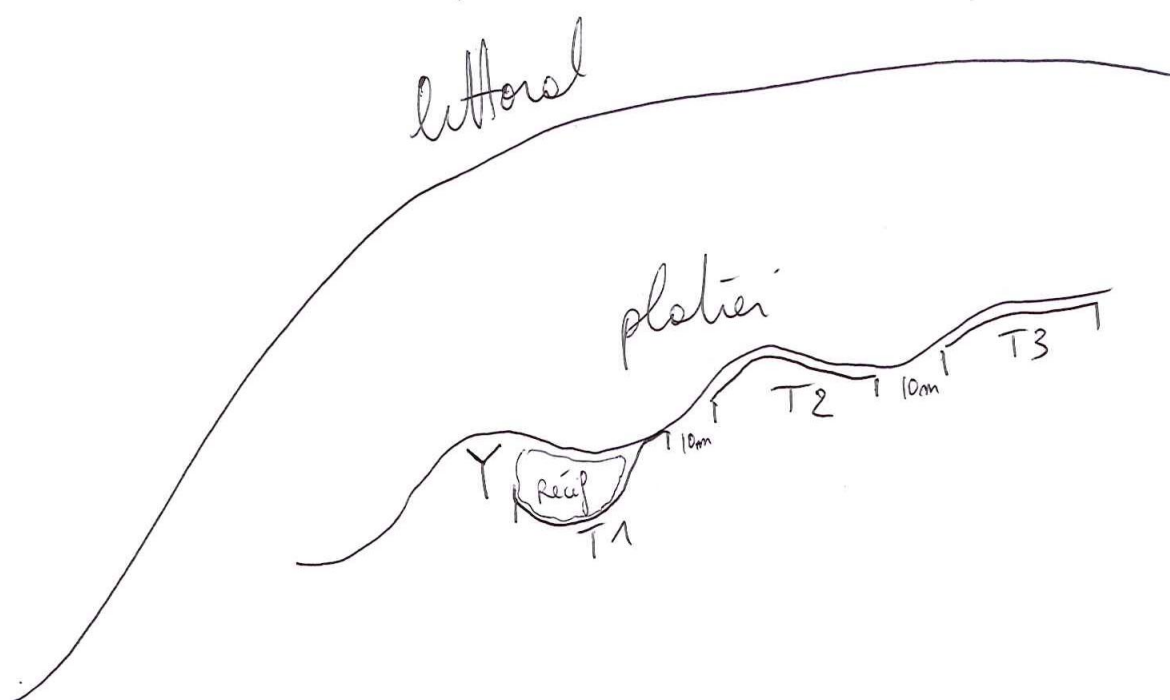
T2



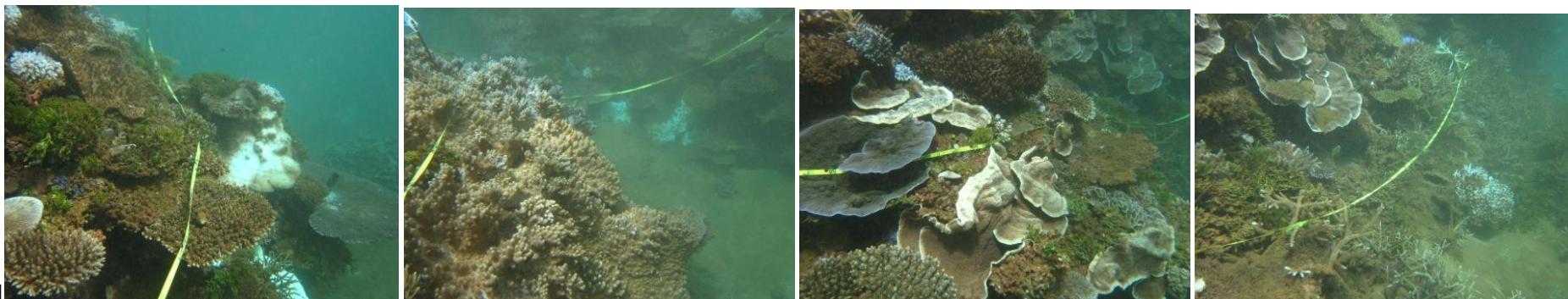
T3



I.3. THIO – ST06



T1



T2



T3



I.4. THIO – ST07



T1



T2



T3



I.5. THIO – ST08



littoral

Reef frangeant.

$$Y \quad \frac{310^\circ}{T1} \quad 10_m \quad \frac{310^\circ}{T2} \quad 10_m \quad \frac{310^\circ}{T3}$$

T1



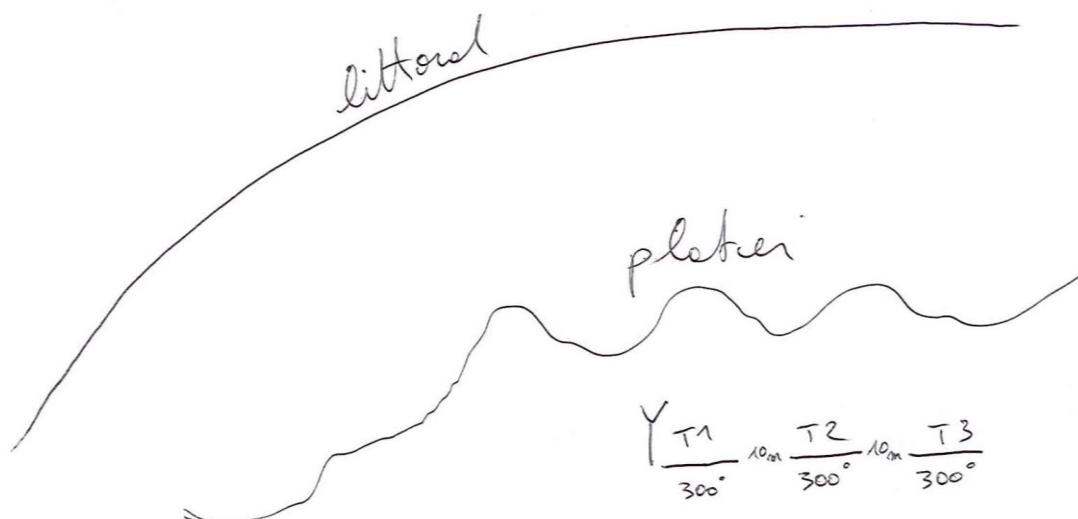
T2



T3



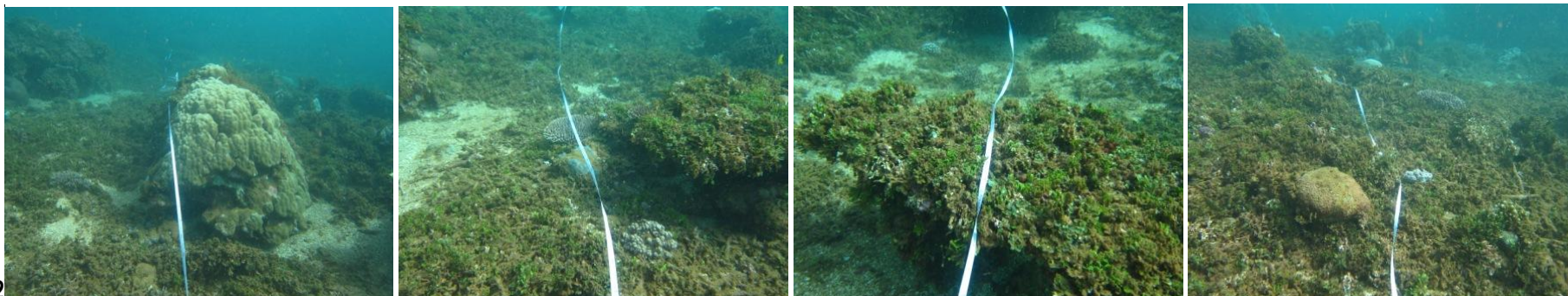
I.6. THIO – ST09



T1



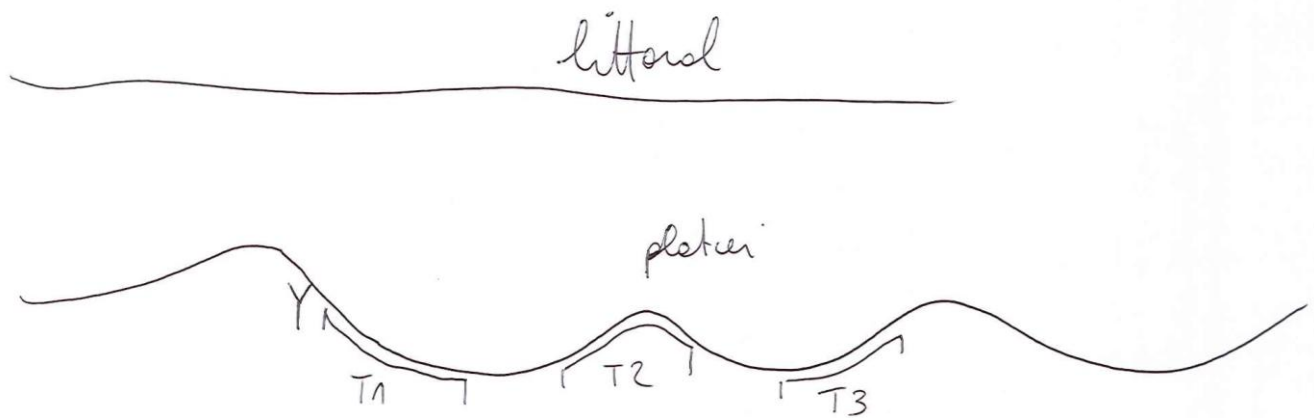
T2



T3



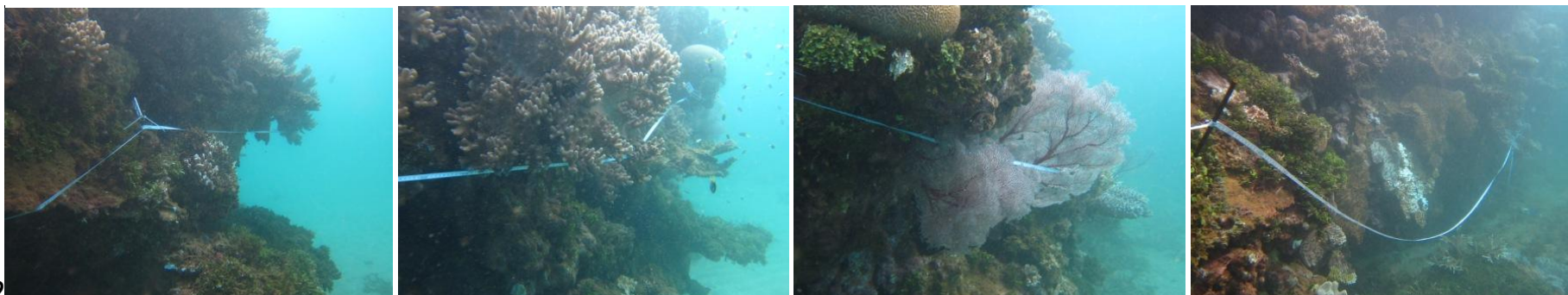
I.7. THIO – ST10



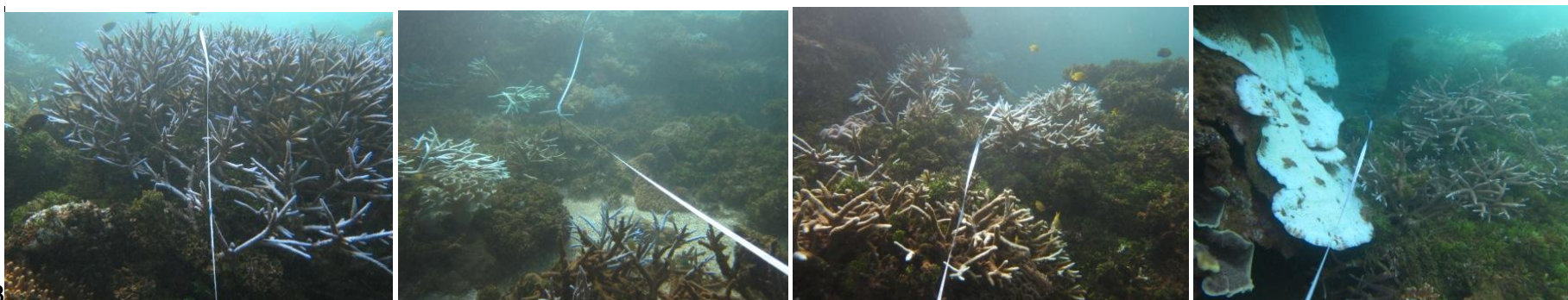
T1



T2



T3

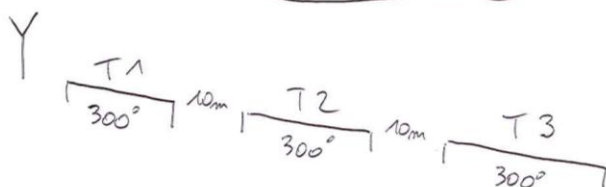


I.8. THIO – ST11



littoral

plateau



T1



T2

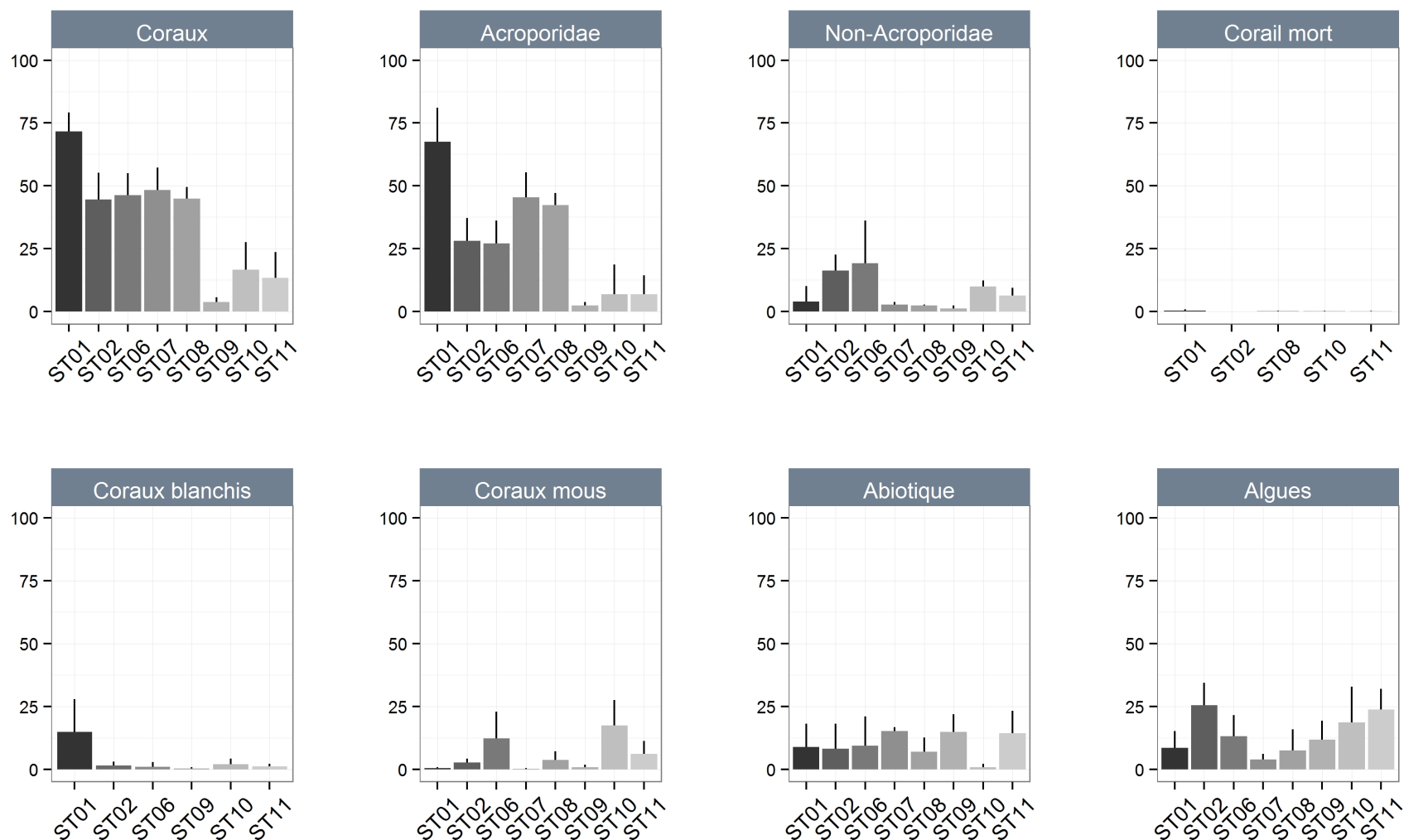


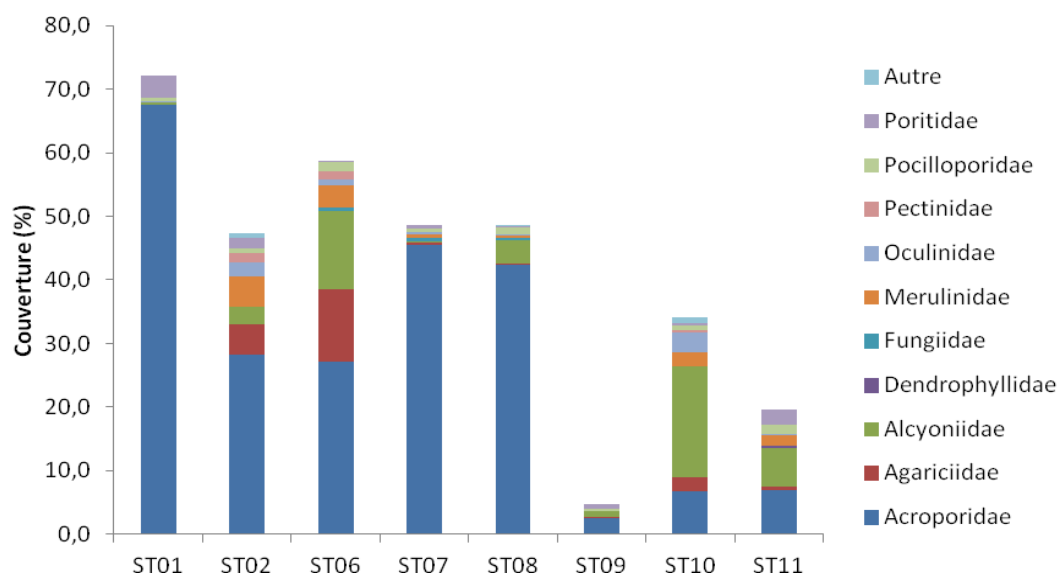
T2



ANNEXE II: CARACTERISTIQUES DU SUBSTRAT DETAILLEES PAR STATION

I.9. SUBSTRAT PAR STATION EN 2016



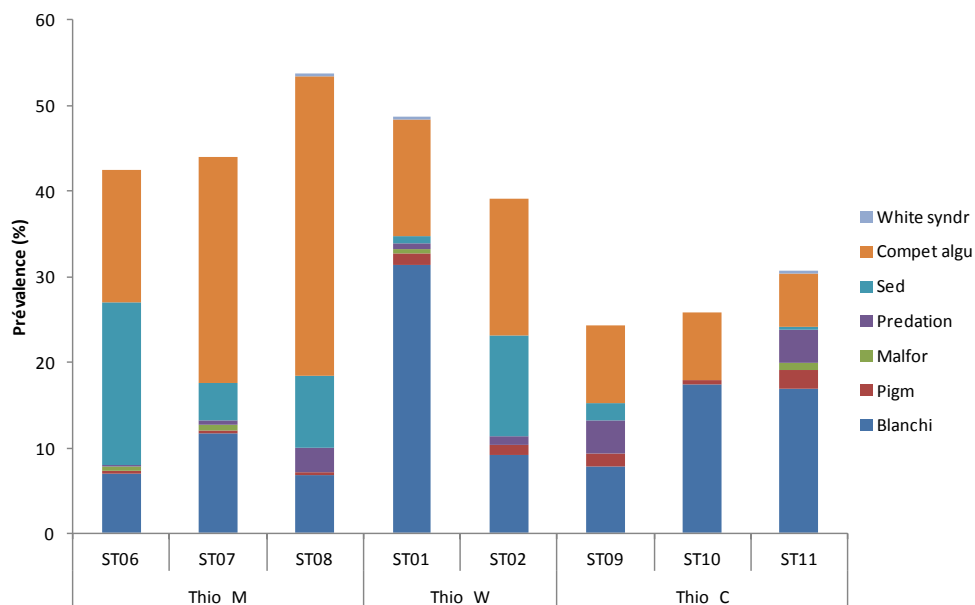


I.10. EVOLUTION TEMPORELLE DU SUBSTRAT PAR STATION POUR LA ZONE THIO_W

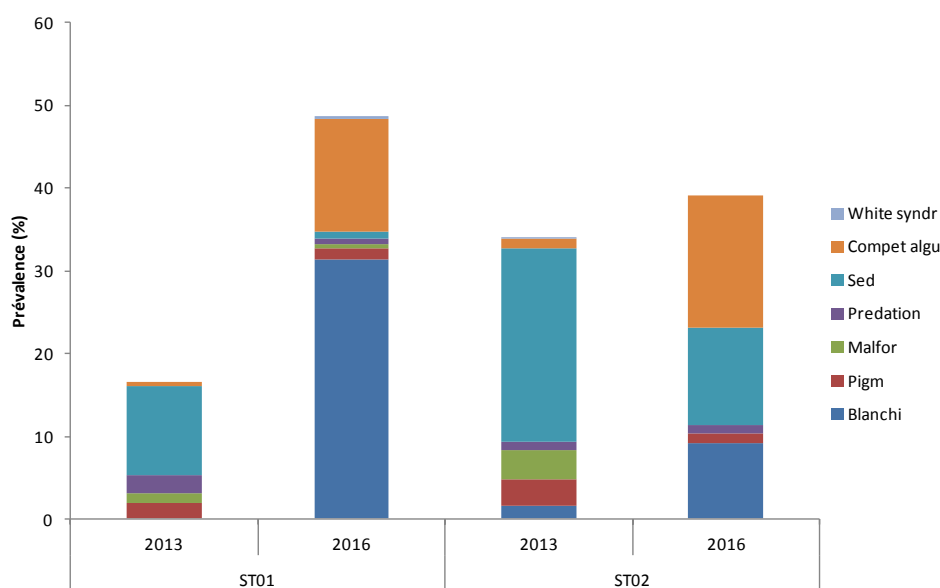


ANNEXE III : PREVALENCE DE LESIONS CORALLIENNES PAR STATION

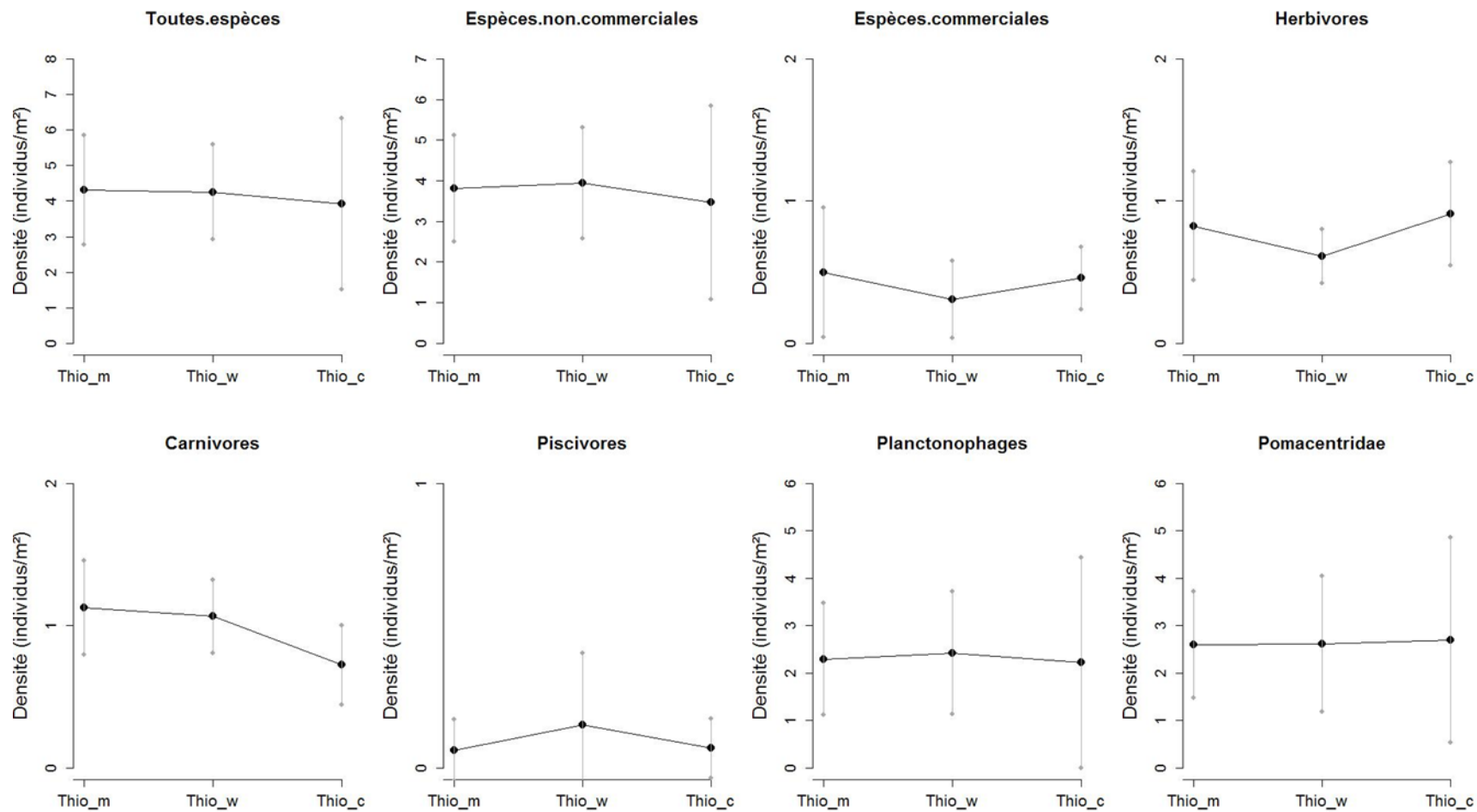
I.11. LESIONS CORALLIENNES PAR STATION EN 2016



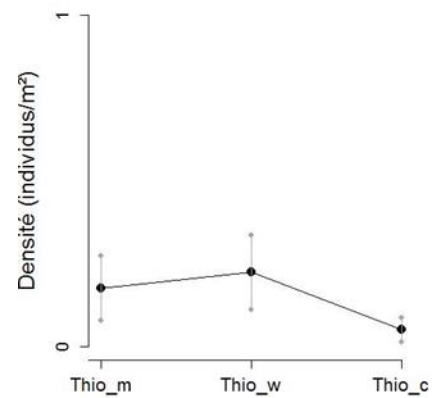
I.12. EVOLUTION TEMPORELLE DES LESIONS CORALLIENNES PAR STATION POUR LA ZONE THIO_W



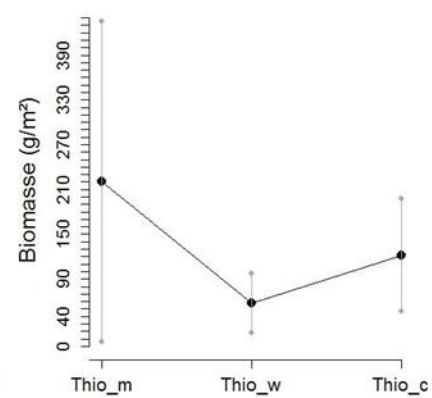
ANNEXE IV : REPRESENTATION GRAPHIQUE DES MOYENNES PAR ZONE (ET ECART-TYPES) POUR LES PARAMETRES D'ICHTYOFAUNE EN 2016



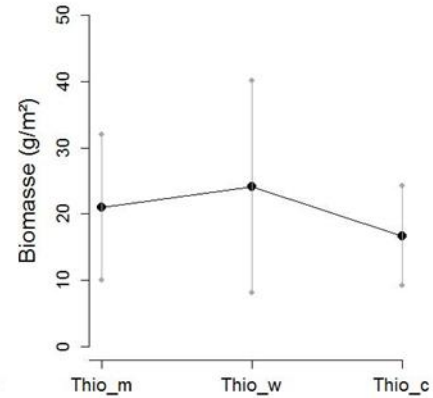
Chaetodontidae



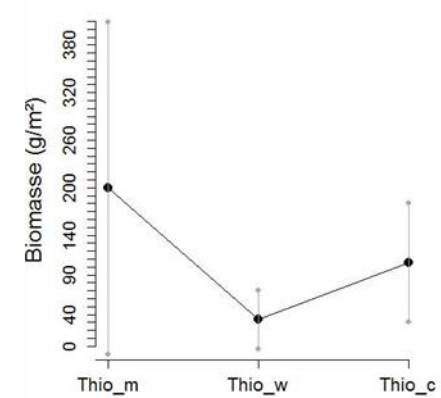
Toutes.espèces



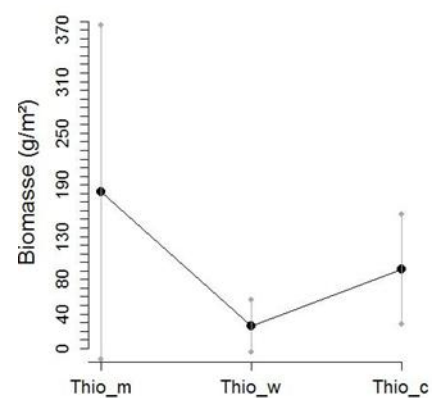
Espèces.non.commerciales



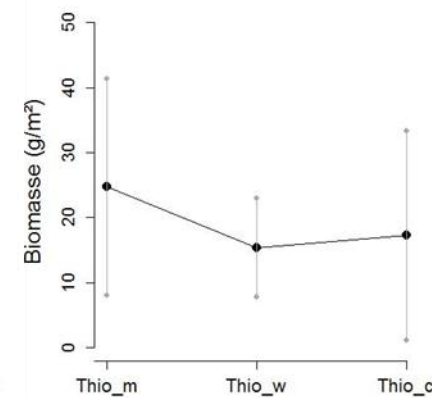
Espèces.commerciales



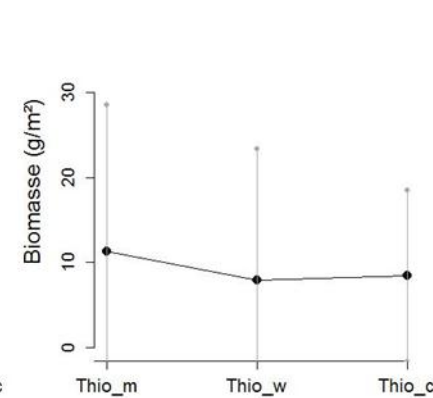
Herbivores



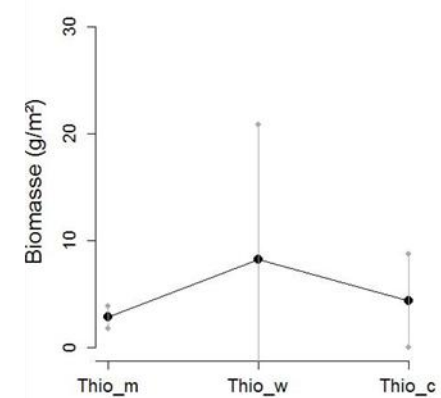
Carnivores

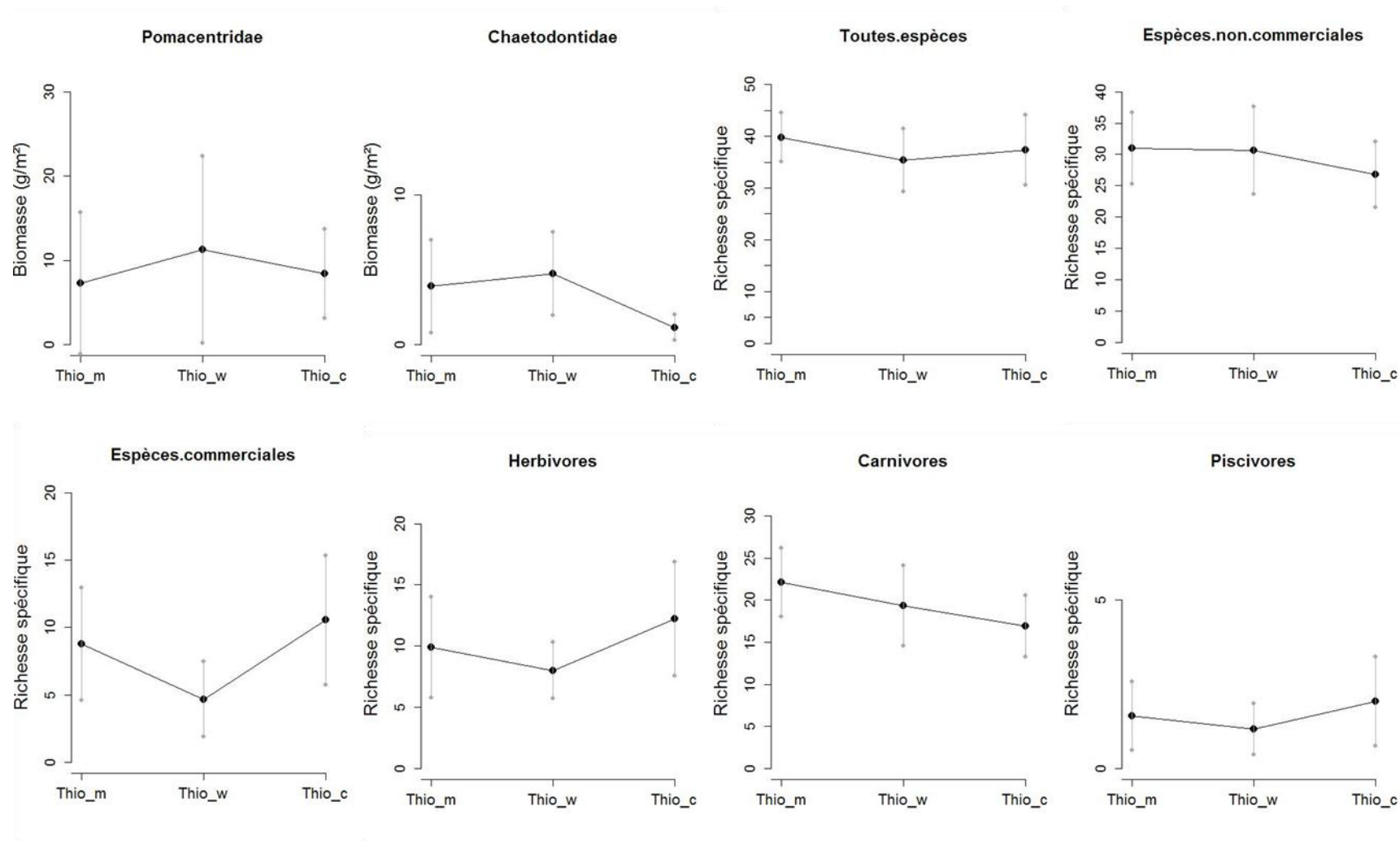


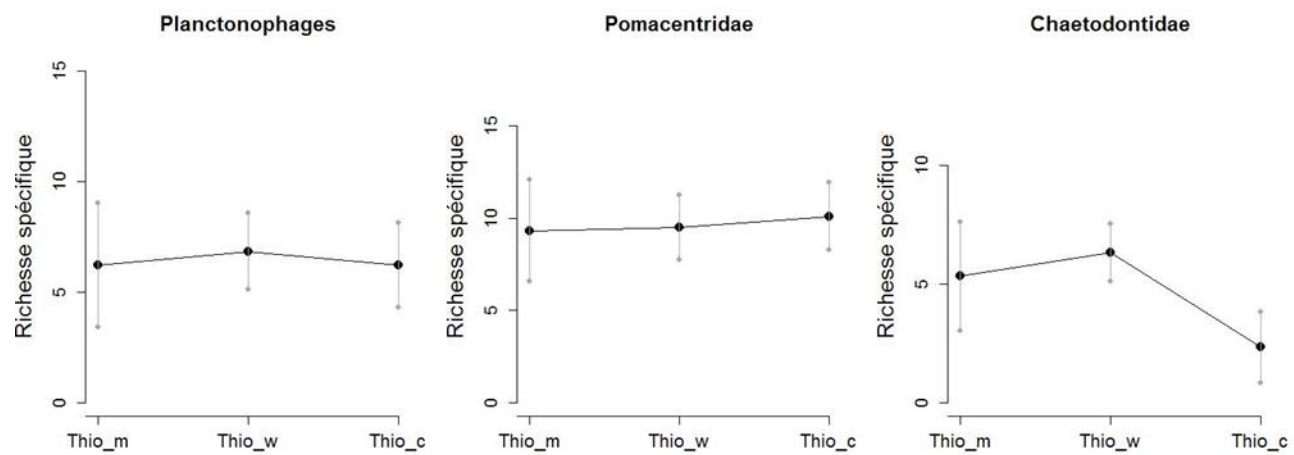
Piscivores



Planctonophages

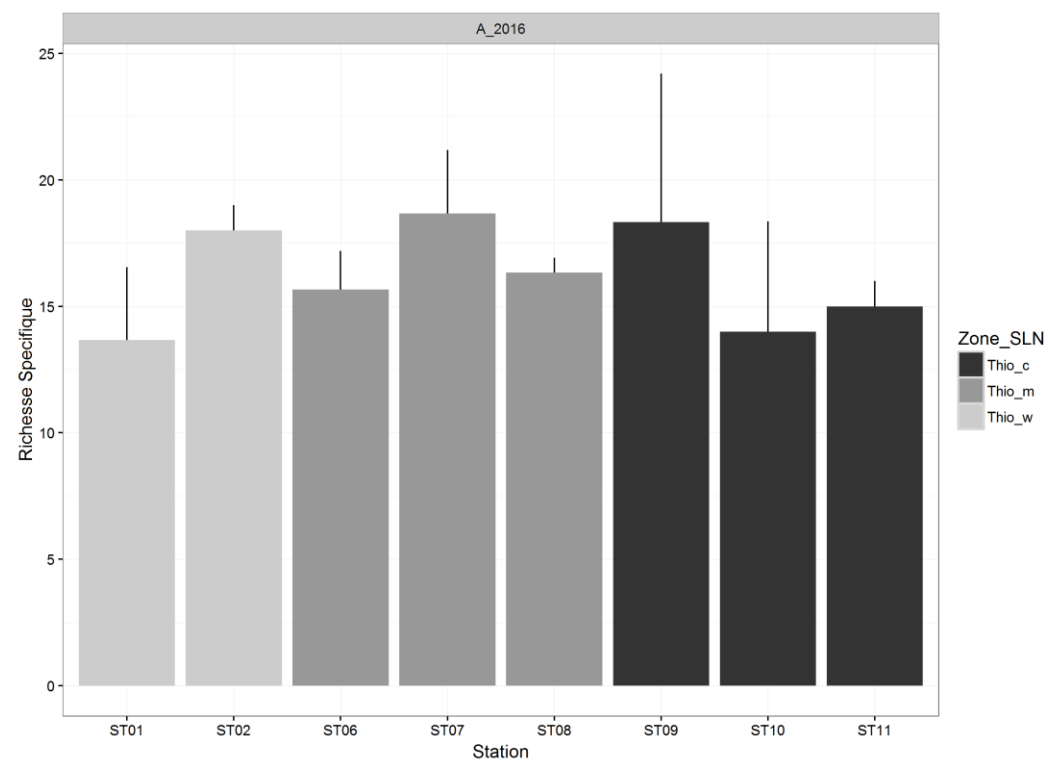




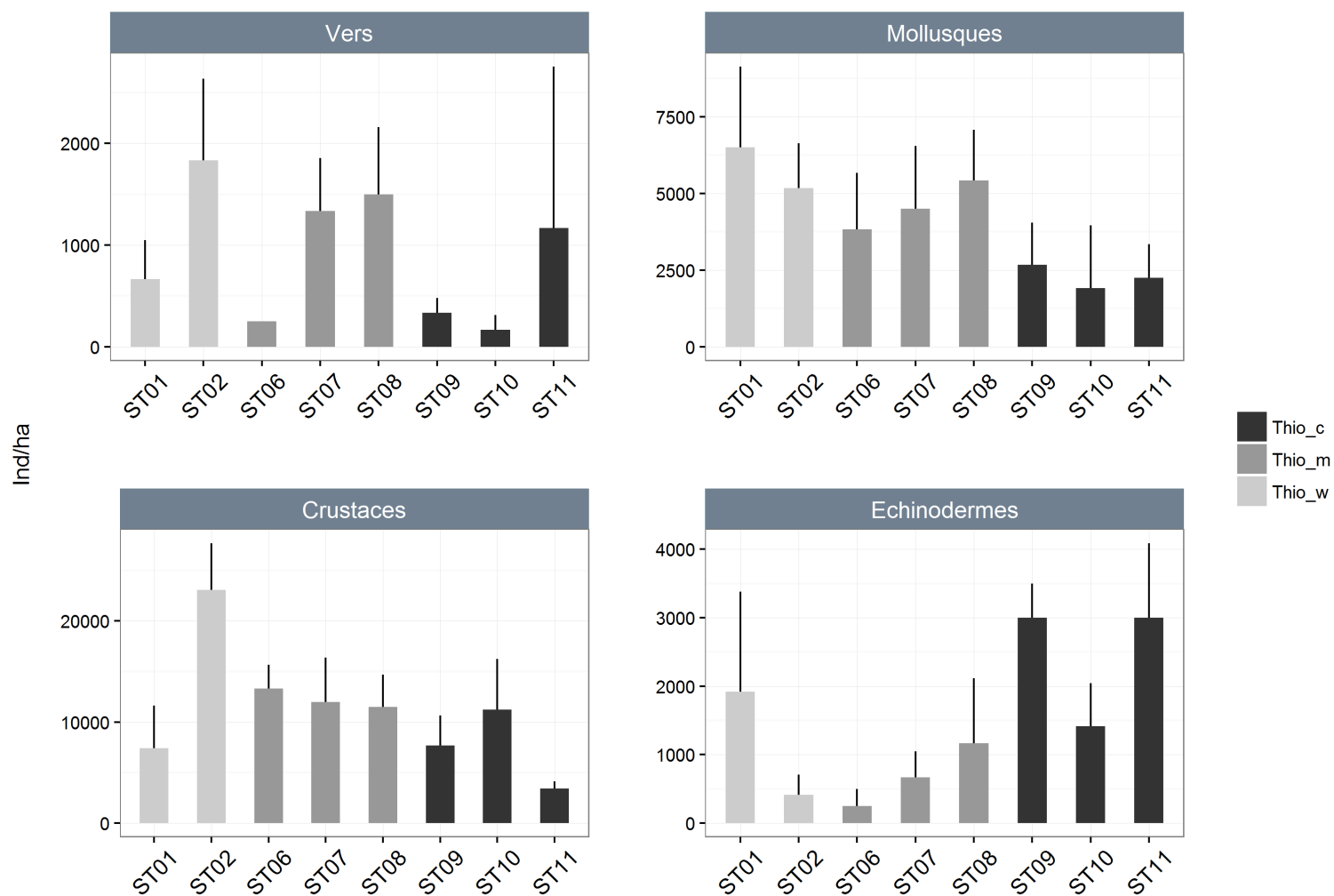


ANNEXE V : CARACTERISTIQUES DU MACROBENTHOS DE FONDS DURS PAR STATION

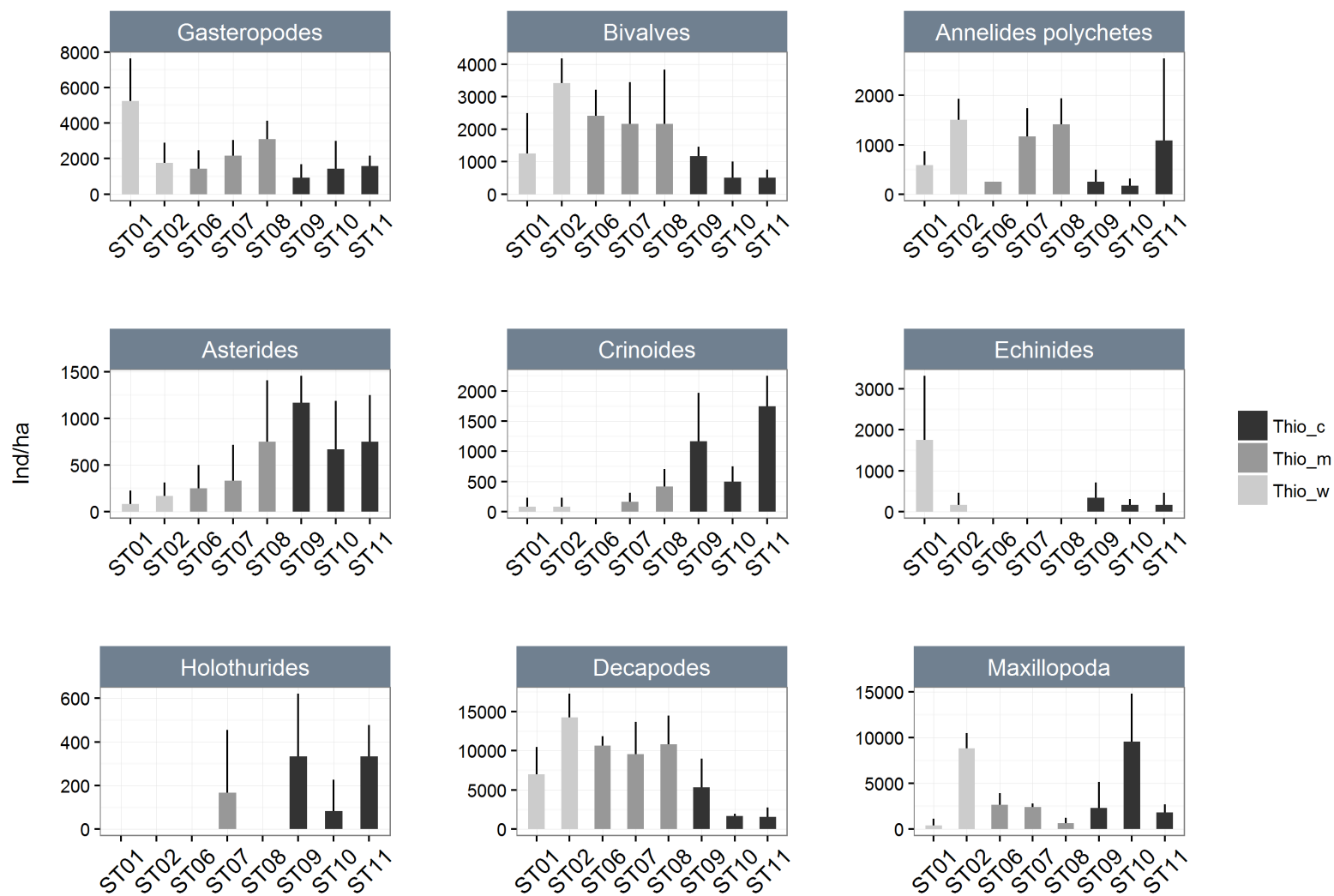
CAMPAGNE 2016 & RICHESSE TAXONOMIQUE



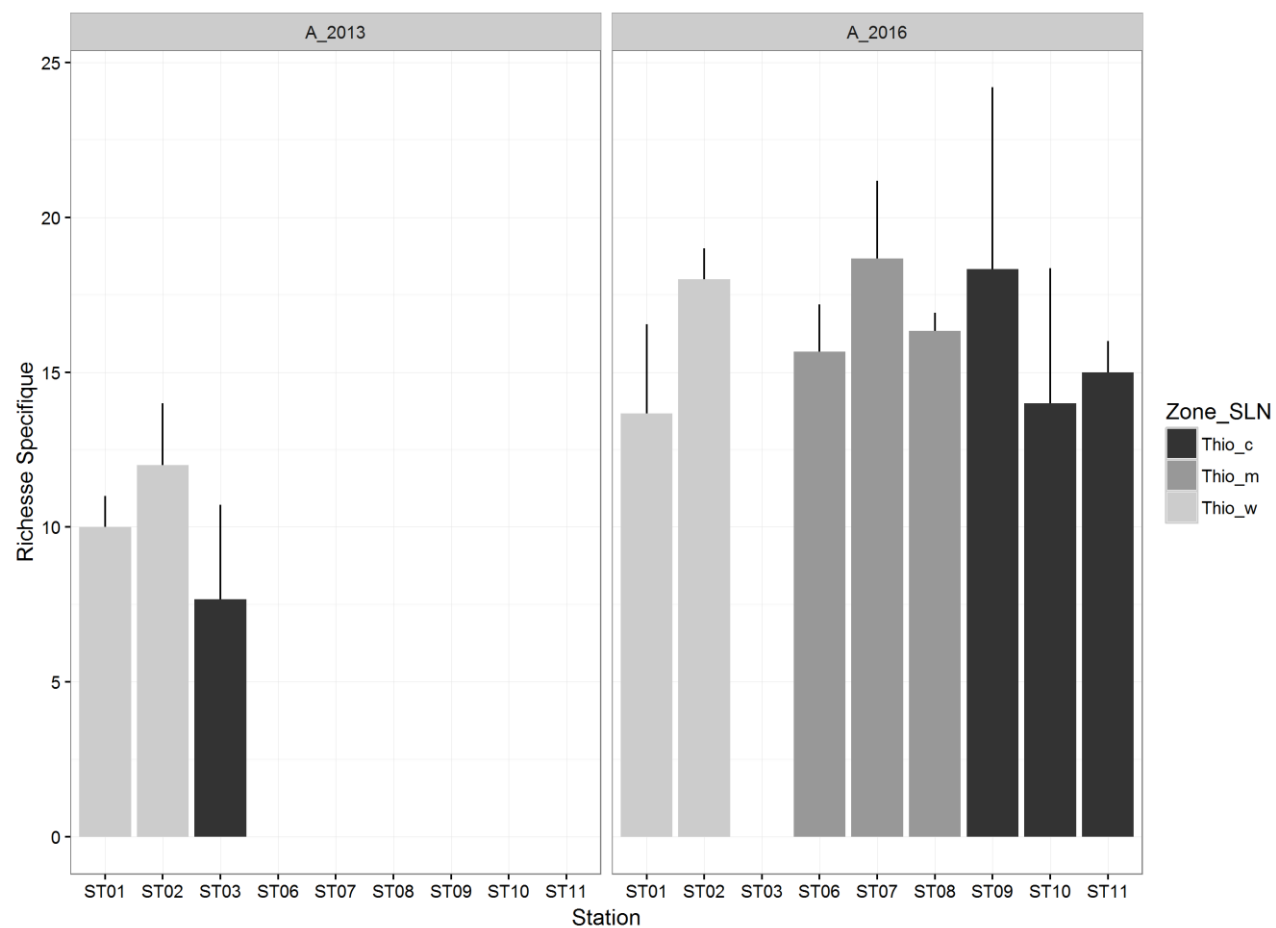
CAMPAGNE 2016 & DENSITE : GROUPE



CAMPAGNE 2016 & DENSITE : SOUS GROUPE



CAMPAGNE 2013-2016 & RICHESSE SPECIFIQUE



CAMPAGNE 2013-2016 & DENSITE : GROUPE

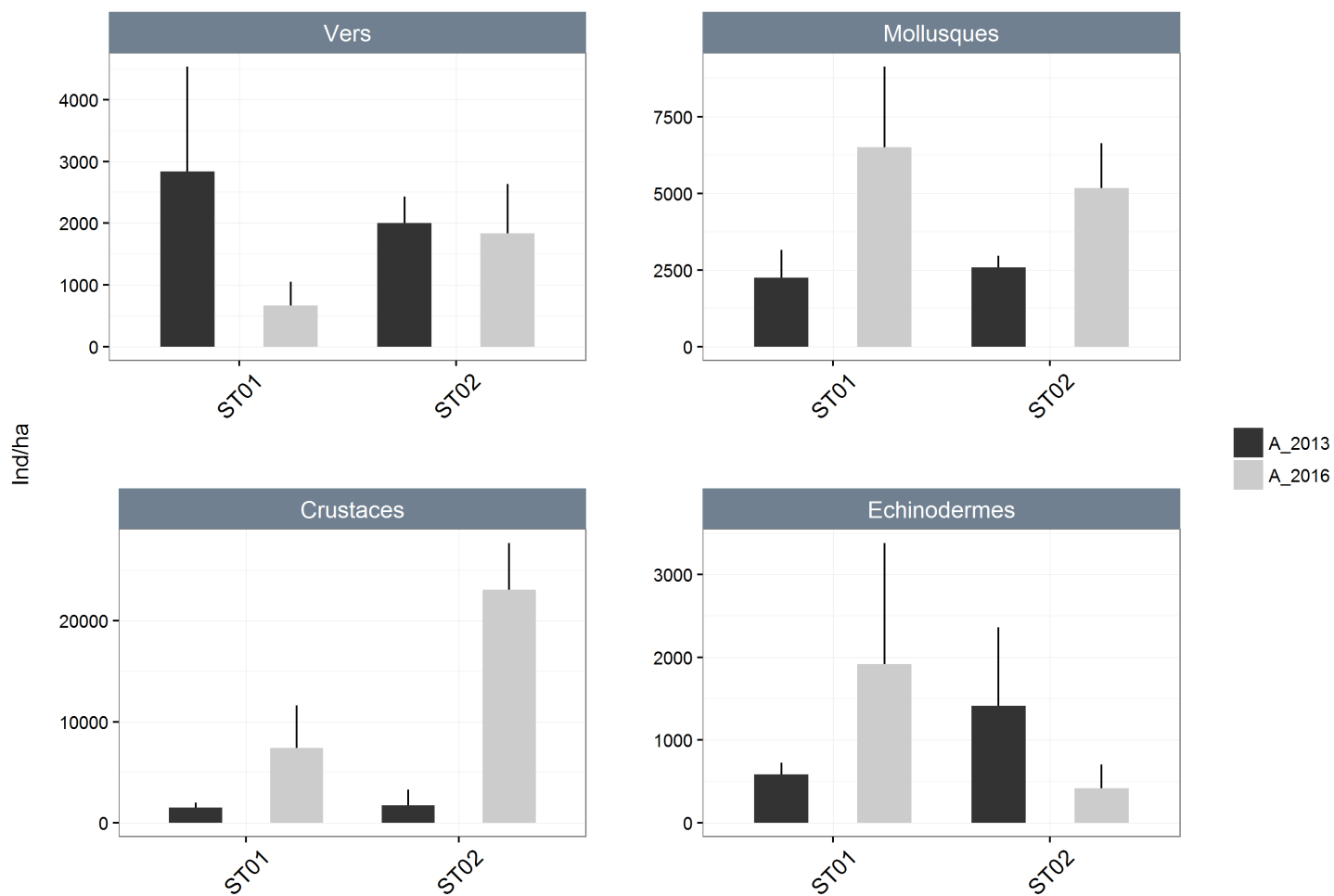


TABLEAU 2013-2016 & DENSITE : GROUPE

Campagne Densité (ind/ha)		Crustacés		Echinodermes		Mollusques		Vers	
A_2016	ST01	7 417	± 4 216	1 917	± 1 465	6 500	± 2 634	667	± 382
	ST02	23 083	± 4 626	417	± 289	5 167	± 1 465	1 833	± 804
	ST06	13 333	± 2 323	250	± 250	3 833	± 1 843	250	± -
	ST07	12 000	± 4 359	667	± 382	4 500	± 2 046	1 333	± 520
	ST08	11 500	± 3 192	1 167	± 946	5 417	± 1 665	1 500	± 661
	ST09	7 667	± 3 003	3 000	± 500	2 667	± 1 377	333	± 144
	ST10	11 250	± 5 019	1 417	± 629	1 917	± 2 036	167	± 144
	ST11	3 417	± 722	3 000	± 1 090	2 250	± 1 090	1 167	± 1 588
A_2013	ST01	1 500	± 500	583	± 144	2 250	± 901	2 833	± 1 702
	ST02	1 750	± 1 521	1 417	± 946	2 583	± 382	2 000	± 433

CAMPAGNE 2013-2016 & DENSITE : SOUS GROUPE

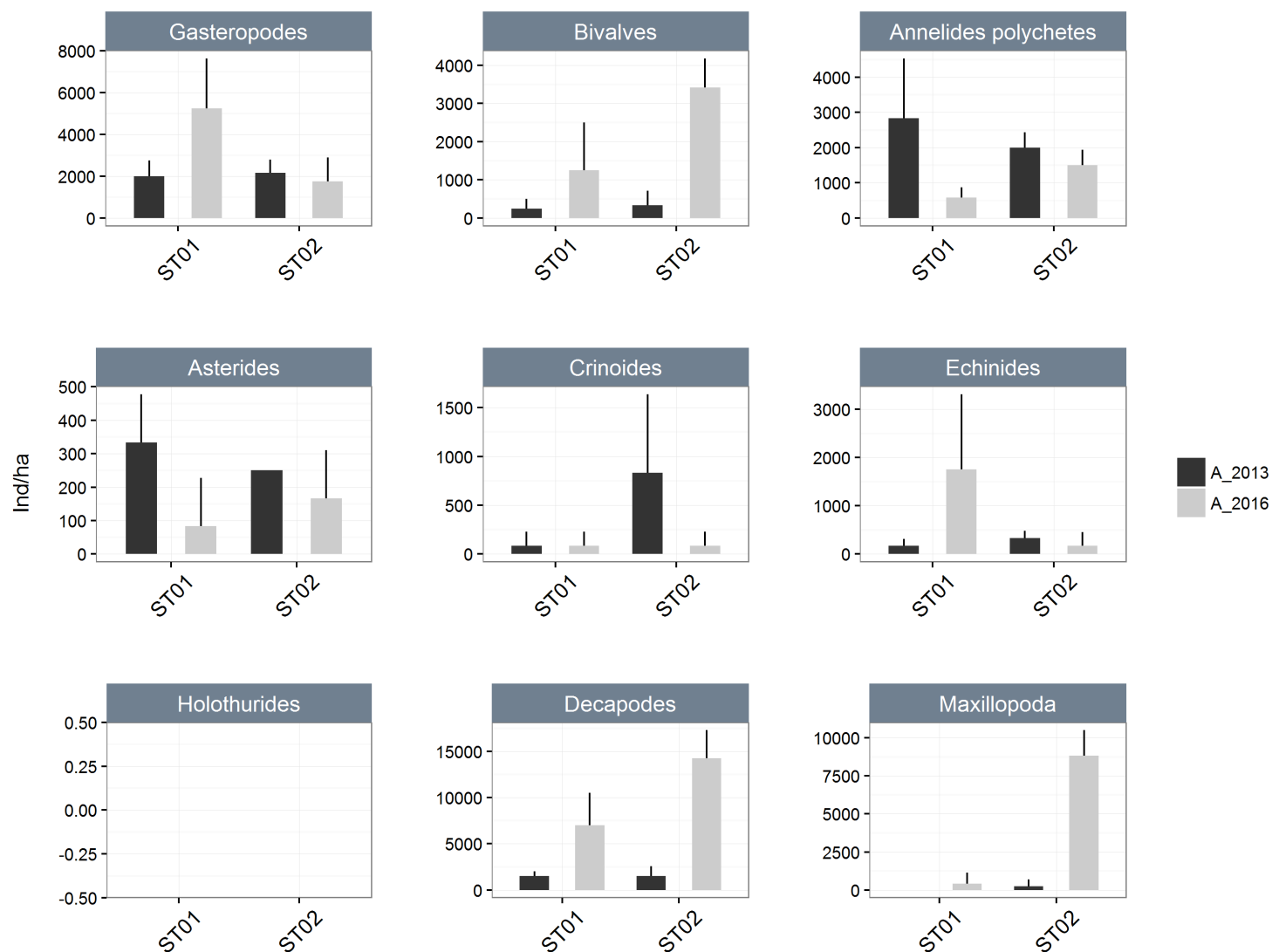


TABLEAU 2013-2016 & DENSITE : SOUS GROUPE

Campagne	Densité (ind/ha)	Annelides polychetes			Asterides			Bivalves			Crinoides			Decapodes					
A_2013	ST01	2 833	±	1 702	333	±	144	250	±	250	83	±	144	1 500	±	500			
A_2016	ST01	583	±	289	83	±	144	1 250	±	1 250	83	±	144	7 000	±	3 500			
A_2013	ST02	2 000	±	433	250	±	-	333	±	382	833	±	804	1 500	±	1 090			
A_2016	ST02	1 500	±	433	167	±	144	3 417	±	764	83	±	144	14 250	±	3 041			
A_2016	ST06	250	±	-	250	±	250	2 417	±	804	-	±	-	10 667	±	1 181			
A_2016	ST07	1 167	±	577	333	±	382	2 167	±	1 283	167	±	144	9 583	±	4 110			
A_2016	ST08	1 417	±	520	750	±	661	2 167	±	1 665	417	±	289	10 833	±	3 643			
A_2016	ST09	250	±	250	1 167	±	289	1 167	±	289	1 167	±	804	5 333	±	3 660			
A_2016	ST10	167	±	144	667	±	520	500	±	500	500	±	250	1 667	±	289			
A_2016	ST11	1 083	±	1 665	750	±	500	500	±	250	1 750	±	500	1 583	±	1 181			
		Echinides			Gasteropodes			Holothurides			Maxillopoda			Plakobranchidae			Platyhelminthes		
A_2013	ST01	167	±	144	2 000	±	750	-	±	-	-	±	-	-	±	-	-	±	-
A_2016	ST01	1 750	±	1 561	5 250	±	2 385	-	±	-	417	±	722	-	±	-	83	±	144
A_2013	ST02	333	±	144	2 167	±	629	-	±	-	250	±	433	83	±	144	-	±	-
A_2016	ST02	167	±	289	1 750	±	1 146	-	±	-	8 833	±	1 665	-	±	-	333	±	382
A_2016	ST06	-	±	-	1 417	±	1 041	-	±	-	2 667	±	1 258	-	±	-	-	±	-
A_2016	ST07	-	±	-	2 167	±	878	167	±	289	2 417	±	382	167	±	144	167	±	144
A_2016	ST08	-	±	-	3 083	±	1 041	-	±	-	667	±	577	167	±	289	83	±	144
A_2016	ST09	333	±	382	917	±	764	333	±	289	2 333	±	2 843	583	±	804	83	±	144
A_2016	ST10	167	±	144	1 417	±	1 588	83	±	144	9 583	±	5 258	-	±	-	-	±	-
A_2016	ST11	167	±	289	1 583	±	577	333	±	144	1 833	±	878	167	±	289	83	±	144

ANNEXE VI : RESULTATS D'ANALYSES DANS LES SEDIMENTS

Fractions granulométriques des sédiments de Thio

STATIONS	Fraction >2000 µm (%)	Fraction 2000µm -63µm (%)	Fraction <63µm (%)
ST01	32	67	1,7
ST02	12	57	31
ST04	0,3	92	8,1
ST05	1,8	85	14
ST06	3,8	46	51
ST07	20	65	15
ST08	20	69	11
ST09	79	19	1,5
ST10	3,1	96	0,9
ST11	61	36	2,9

Teneurs en carbonates dans les sédiments de Thio

STATIONS	CaCo3%
ST01	22
ST02	19
ST04	3,6
ST05	4,1
ST06	9,4
ST07	18
ST08	20
ST09	59
ST10	18
ST11	44

Teneurs en métaux dans les sédiments de Thio

STATIONS	Cd (mg/Kg) MS	Co (mg/Kg) MS	Cr (mg/Kg) MS	Cu (mg/Kg) MS	Mn (mg/Kg) MS	Ni (mg/Kg) MS	Pb (mg/Kg) MS	Zn (mg/Kg) MS	Hg (mg/Kg) MS
ST01	<5	227	2847	12,0	1501	3866	<25	<100	<0,02
ST02	<5	260	2890	15,0	1730	4769	<25	<100	<0,02
ST04	<5	318	3901	22,0	8373	4346	<25	<100	<0,02
ST05	<5	333	4324	20,0	4809	4446	<25	<100	<0,02
ST06	<5	252	3991	14,0	1846	3830	<25	<100	<0,02
ST07	<5	279	2921	14,0	1959	4416	<25	<100	<0,02
ST08	<5	317	3741	14,0	2056	4976	<25	<100	<0,02
ST09	<5	91,5	787	<10	1588	1115	<25	<100	<0,02
ST10	<5	232	3519	18,0	1414	3348	<25	<100	<0,02
ST11	<5	109	1399	11,0	859	2087	<25	<100	<0,02