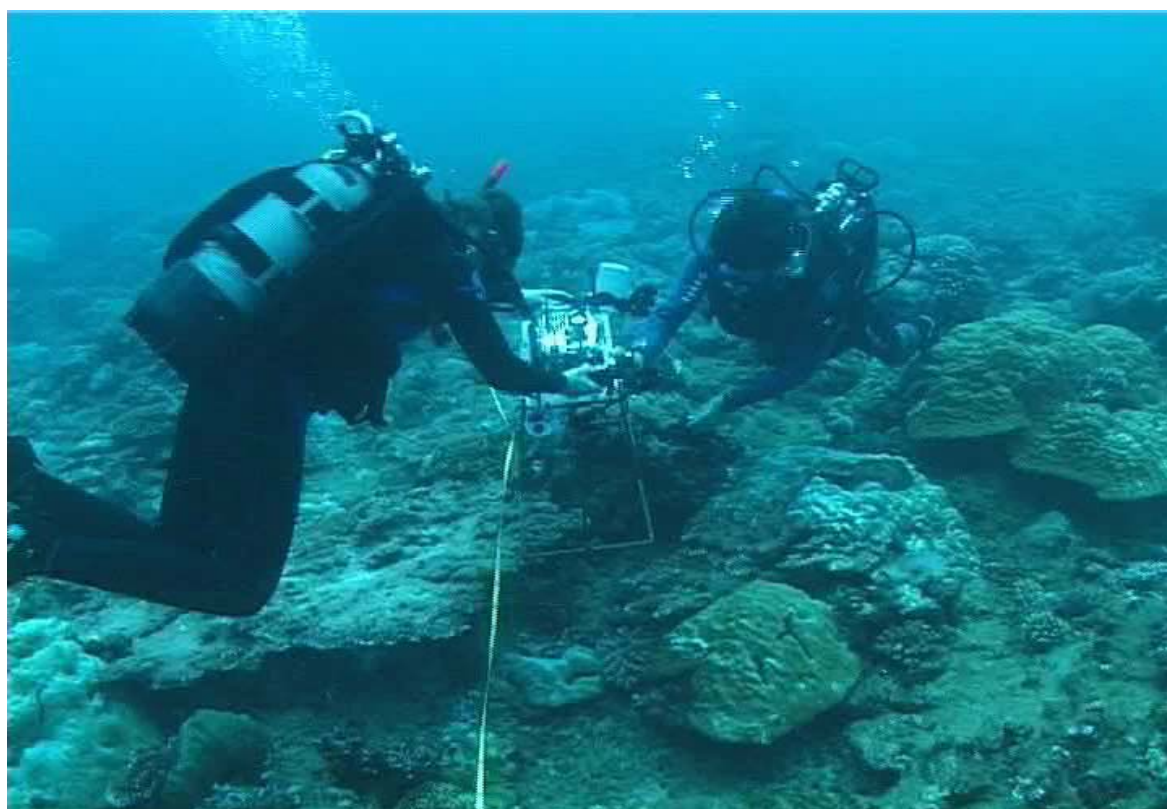


**Mise en œuvre du suivi de l'effet réserve :
Développement des protocoles et établissement de l'état initial de la
Réserve naturelle nationale marine de la Réunion
(secteurs de la Saline - Souris Blanche et de Saint-Leu)**



Auteurs :

Henrich BRUGGEMANN – Laboratoire d'Ecologie marine, Université de la Réunion
Mireille GUILLAUME – Muséum national d'Histoire naturelle et *ibidem*

Autres intervenants principaux :

Lionel BIGOT, Pascale CHABANET, Vianney DENIS, Odile NAIM
Laboratoire d'Ecologie marine, Université de la Réunion
Patrick DURVILLE et Thierry MULOCHAU – Aquarium de la Réunion
Emmanuel TESSIER – Association Parc Marin de la Réunion

Appui technique des écogardes de l'Association Parc Marin de la Réunion :

Bruce CAUVIN, Christophe CADET, Yanick CLAIN, Willy DOMITIN, Dominique HIBON,
Bertrand LAURET, Mikhaël LEGRAS, Bertrand LUCAS

Rapport final de l'Université de la Réunion, le Muséum National d'Histoire Naturelle, l'Aquarium de la Réunion, l'Association Parc Marin de la Réunion, pour la Direction Régionale de l'Environnement Réunion, dans le cadre de la convention FEDER N° 2 09 050104 2005 197.

Ce rapport doit être cité comme suit :

BRUGGEMANN H., GUILLAUME M., BIGOT L., CHABANET P., DENIS V., DURVILLE P., MULOCHAU T., NAIM O. & TESSIER E. (2008). Mise en œuvre du suivi de l'effet réserve : Développement des protocoles et établissement de l'état initial de la Réserve naturelle nationale marine de la Réunion (secteurs de la Saline - Souris Blanche et de Saint-Leu). Rapport UR/MNHN/AR/APMR, 74 pp, Annexes 42 pp.

SOMMAIRE

I. CONTEXTE GENERAL.....	5
II. STRATEGIE ET METHODES D'ECHANTILLONNAGE.....	
II.1 Choix des sites et des stations de suivi.....	
II.2 Matérialisation et restitution cartographique des stations.....	
II.3 Echantillonnage des peuplements benthiques.....	
II.4 Analyse des clichés photographiques benthiques.....	
II.5 Echantillonnage des peuplements ichtyologiques.....	
III. ANALYSES STATISTIQUES.....	
Boîte 1 Puissance des tests statistiques.....	
IV. EVALUATION DES PROTOCOLES ET PUISSANCE STATISTIQUE.....	
IV.1 Analyse de l'effort d'échantillonnage des peuplements benthiques.....	
IV.2 Analyse des méthodes de l'échantillonnage ichtyologique.....	
IV.3 Conclusions.....	
V. ETAT INITIAL DES PEUPEMENTS BENTHIQUES.....	
V.1 Effort d'échantillonnage.....	
V.2 Taux de recouvrement par catégorie benthique majeure.....	
V.3 Richesse taxonomique du benthos.....	
Boîte 2 Relations macroalgues et diversité corallienne – sonnette d'alarme d'une dégradation	
V.4 Analyse des communautés coralliennes.....	
VI. ETAT INITIAL DES PEUPEMENTS ICTHYOLOGIQUES.....	
VI.1 Effort d'échantillonnage.....	
VI.2 Richesse taxonomique ichtyologique.....	
VI.3 Caractérisation des communautés ichtyologiques par leur abondance.....	
VI.4 Biomasse des peuplements ichtyologiques.....	
VII. CONCLUSIONS GENERALES.....	
VII.1 La mise en œuvre du suivi de l'effet réserve : un projet scientifique fédérateur.....	
VII.2 Les récifs de la Saline – Souris Blanche et de Saint-Leu.....	
VII.3 Comparaison des niveaux de protection.....	
VII.4 Comparaison à l'échelle régionale.....	
VII.5 Pour une évolution des mentalités.....	
VIII. VALORISATION DE L'ETUDE.....	
IX. REMERCIEMENTS.....	
X. BIBLIOGRAPHIE.....	

I. CONTEXTE GENERAL

Le projet de création d'une Réserve naturelle des milieux récifaux de la Réunion résulte d'une prise de conscience collective de la nécessité de préserver efficacement ces écosystèmes fragiles. La première étude, financée par le Conseil régional de la Réunion, visant à sa mise en place remonte à 1989. Après plus de 10 années de maturation, les projets de zonage et de réglementation ont été transmis aux ministères concernés pour signature du Décret de création. Ainsi, le 23 février 2007 est paru au journal officiel le décret n° 2007-236 portant création de la réserve naturelle nationale marine de la Réunion.

De nos jours, la création d'aires marines protégées est vitale pour mettre à l'abri de la pression anthropique directe les écosystèmes marins et leurs peuplements afin d'assurer leur survie pour les générations futures. Pour faire face à la dégradation des récifs coralliens la mise en réserve a plusieurs objectifs majeurs :

- Protéger les habitats et la biodiversité ;
- Augmenter les facultés de résilience aux perturbations ;
- Réalimenter les stocks surexploités et améliorer les pêcheries par recolonisation des poissons à partir des zones interdites à la pêche ;
- Promouvoir et diversifier les opportunités économiques non-extractives ;
- Améliorer les connaissances et la compréhension du fonctionnement de l'écosystème corallien.

L'efficacité de la mise en réserve est estimée au travers de la mise en évidence d'un « effet réserve ». D'un point de vue écologique, l'effet réserve est l'ensemble des impacts d'une réserve marine sur les écosystèmes bénéficiant de la protection, mais aussi alentours. Le suivi de l'effet réserve s'inscrit dans un contexte de gestion du milieu récifal à la Réunion, il doit débuter par un point zéro avant la création de la Réserve naturelle marine. Ce point zéro décrit l'état initial des peuplements benthiques et ichtyologiques. Il doit être comparé à l'état des peuplements défini à posteriori, en utilisant les mêmes protocoles, à des pas de temps qui restent à définir (par exemple de 5 ans). Il s'agit donc d'un suivi avant /après (design *BACIP before / after control impact protocol*) à travers duquel l'efficacité des mesures de gestion seront évaluées.

Cependant, la mise en évidence d'un effet réserve n'est pas systématique. Des facteurs naturels (blanchissement, cyclones, fortes pluies ou houles, mortalités, etc.) parfois amplifiés par des actions humaines, ou purement anthropiques (pêcheries, braconnage, pollutions chimiques, sur fréquentation, etc.) peuvent parfois réduire à néant toutes les mesures de protection décrétées dans le cadre réglementaire de la Réserve naturelle. Si les facteurs naturels restent hors de l'influence de l'action de gestion entreprise, les efforts réalisés sur les bassins versants et sur le milieu marin sont essentiels. Ainsi, la lutte contre le braconnage constitue un des facteurs clé pour la mise en évidence de l'effet réserve puisqu'il a été démontré qu'une pression très faible de ce type peut suffire à l'annihiler totalement.

A la demande de la DIREN, s'est tenue fin 2004 une concertation entre l'APMR et les experts scientifiques en écologie marine récifale présents à la Réunion, appartenant à ECOMAR, CRPMEM et MNHN, dans l'objectif d'établir un protocole de suivi biologique de l'effet réserve. Le souhait de tous les experts consultés était de retenir un protocole scientifique d'une grande robustesse statistique, capable de déceler de faibles variations spatiales et temporelles et dont la fiabilité ne puisse être remise en cause.

Le premier objectif de cette étude est d'établir une description détaillée de l'état initial des peuplements benthiques et ichtyologiques de la Réserve naturelle marine de la Réunion. Cela implique un nombre de sites, stations et répliquats élevé et qui a mobilisé l'ensemble des équipes engagées, tant scientifiques que techniques, sur de nombreuses plongées. L'effort de terrain a donc été soutenu durant une longue période ; jamais une opération d'une telle ampleur n'a été entreprise à la Réunion en une seule campagne.

Outre l'établissement de l'état initial des peuplements récifaux, le deuxième objectif de cette étude est de développer des méthodes performantes adaptées au suivi de l'effet réserve à long terme. Une évaluation des méthodes utilisées et de leurs puissances statistiques est nécessaire afin d'adapter les protocoles aux spécificités des récifs coralliens de la Réunion. Une réflexion sur l'effort d'échantillonnage permettant de déceler fiablement des variations dans l'évolution des peuplements est incontournable car l'enjeu même de la mise en réserve est de préserver, voire d'améliorer l'état des peuplements récifaux. Il s'agit aussi de fournir des éléments scientifiques pour convaincre les réticences à l'acceptation de la réserve.

II. STRATEGIE ET METHODES D'ECHANTILLONNAGE

La stratégie d'échantillonnage adoptée est de type aléatoire stratifié. Les strates correspondent aux zones géomorphologiques du récif (pente externe, platier interne) et aux trois niveaux de protection future (pêché, non-pêché et sanctuaire). Le protocole statistique exige un minimum de deux stations pour chaque strate. Ainsi, si toutes les strates sont représentées, douze stations doivent être décrites. Suite à une reconnaissance de terrain effectuée par la technique du « Manta Tow », derrière un bateau de l'APMR pour la pente externe et à l'aide d'un canoë sur le platier interne, les stations ont été définies par une équipe de scientifiques composée de deux benthologues et deux ichtyologues. Le choix des stations a fait l'objet d'une discussion à partir des observations de terrain reportées sur les photographies aériennes du récif. Les critères retenus étaient de minimiser la variabilité entre les stations tout en veillant à une bonne représentativité des peuplements au sein des zones géomorphologiques.

II.1 Choix des sites et des stations de suivi

Dans un premier temps, le complexe récifal de Saint-Leu a été choisi comme secteur pilote car les trois niveaux de protection y sont définis :

- niveau 1 : activités autorisées mais réglementées (en vert),
- niveau 2 : protection renforcée, interdiction des activités de prélèvement ou destructrices (en bleu),
- niveau 3 : protection intégrale « sanctuaire »: interdiction totale de fréquentation, sauf surveillance et suivi (en rouge).

Dans un deuxième temps, un autre secteur de suivi a été défini sur le complexe récifal de Saint-Gilles/la Saline/Souris Blanche. La stratégie d'échantillonnage reste la même, dix stations de suivi ont été définies, six sur la pente externe et seulement quatre sur le platier interne car le niveau de protection générale ne se rencontre pas sur les platiers de ce complexe récifal.

II.2 Matérialisation et restitution cartographique des stations

Le point central de chaque station de suivi est identifié sur le terrain. Les coordonnées géographiques sont relevées au GPS. Les stations ainsi identifiées sont positionnées sur la carte par Bruce CAUVIN à l'aide du logiciel MapInfo (Figure 1).

C'est à partir de ce point central que seront défini, puis matérialisé les repères des transects, différents pour l'étude benthique et pour l'étude ichtyologique. Cinq repères espacés de dix mètres sont positionnés sur l'isobathe et parallèlement au rivage, au Nord et au Sud du point central (Figure 2).

Tableau 1. Nom des stations de suivi et leur abréviation utilisée dans le codage des photographies du benthos et les fichiers des données brutes.

Secteur	Zone géomorpho.	Station	Abréviation
La Saline – Souris Blanche	Platier interne (F=flat)	Villas du Lagon	VILF
		Sanctuaire Nord	SANF
		Sanctuaire Sud	SASF
		Le Kabanon (Trou d'Eau)	KABF
La Saline – Souris Blanche	Pente externe (S=slope)	Copacabana	COPS
		Sanctuaire Nord	SANS
		Sanctuaire Sud	SASS
		Camp des Armées IGESA	IGES
		Souris Blanche Nord	SBNS
		Souris Blanche Sud	SBSS
Saint-Leu	Platier interne (F=flat)	La Corne	CORF
		Varangue Nord	VANF
		Varangue Sud	VASF
		Kiosques	KIOF
		Cimetière	CIMF
		Marine	MARF
Saint-Leu	Pente externe (S=slope)	Apollonia	APOS
		Varangue Nord	VANS
		Varangue Sud	VASS
		Kiosques	KIOS
		Cimetière	CIMS
		Marine	MARS

Afin d'éviter la terminologie juridique lourde du décret de création de la réserve, dans la présentation des résultats dans ce rapport, nous référons aux zones :

- Hors réserve = zones de protection de réglementation générale,
- Réserve = zones de protection renforcée,
- Sanctuaire = zones de protection intégrale.

Ainsi, 10 transects de 10 m sont photographiés par station. Ils représentent $10 \times (0,5 \times 0,33) \times 20 = 33 \text{ m}^2$ de peuplements benthiques échantillonnés et archivés. Chaque cliché est ensuite identifié par le codage suivant, composé de 4 lettres suivies de 4 chiffres. Le nom de la station est indiqué par ses trois premières lettres, le quatrième lettre identifie la zone récifale géomorphologique (*f*: platier ; *s*: pente externe). Les deux premiers chiffres identifient le transect et les deux derniers le numéro du cliché, théoriquement de 1 à 20. Par exemple, le cliché « apos0219 » est la 19^{ème} prise de vue sur le deuxième transect de la station Apollonia sur la pente externe. L'ensemble de ces photographies numérotées (environ 2400 clichés sur Saint-Leu et 2000 sur la Saline - Souris Blanche) a été gravé sur des DVDs, rendus en annexe de ce rapport.



Figure 3. Appareil photo numérique à haute résolution, équipé d'un caisson sous-marin, monté sur un cadre à 4 pieds.

Sur certaines stations, un parcours aléatoire a été effectué pour compléter l'inventaire des peuplements coralliens et pour échantillonner quelques spécimens afin de confirmer ultérieurement leur identification à l'aide d'une loupe binoculaire. Ces identifications sont nécessaires pour l'interprétation des clichés numériques.

II.4 Analyse des clichés photographiques benthiques

Chaque cliché est analysé avec le Logiciel Coral Point Count® développé par Kevin KOHLER, du "National Coral Reef Institute" en Floride. Ce logiciel est en libre accès sur la toile. Il correspond aux spécificités des peuplements benthiques des Caraïbes. En conséquence, il a fallu commencer par adapter ce logiciel aux spécificités de ceux de l'océan Indien occidental, voire de la Réunion. Ainsi, suite à une réflexion conduite par l'équipe des benthologues (Lionel BIGOT, Henrich BRUGGEMANN, Mireille GUILLAUME et Odile NAIM), une liste hiérarchisant les catégories benthiques a été établie puis testée et validée (Tableau 2). Elle comporte au niveau supérieur les coraux durs, coraux mous, algues endolithes, algues corallinacées, gazons algaux, macro-algues, cyanobactéries, éponges, autres organismes sessiles, autres organismes mobiles et catégories inconnues. Chaque catégorie regroupe les genres voire les espèces identifiables. Cette liste peut être aisément complétée avec des taxa nouvellement rencontrés. L'ensemble des fichiers nécessaires pour l'installation de ce logiciel et son utilisation dans le cadre réunionnais est fourni avec ce rapport. Le logiciel se réfère à la liste des catégories benthiques, nommée « *Reunion benthos codes 161106* ».

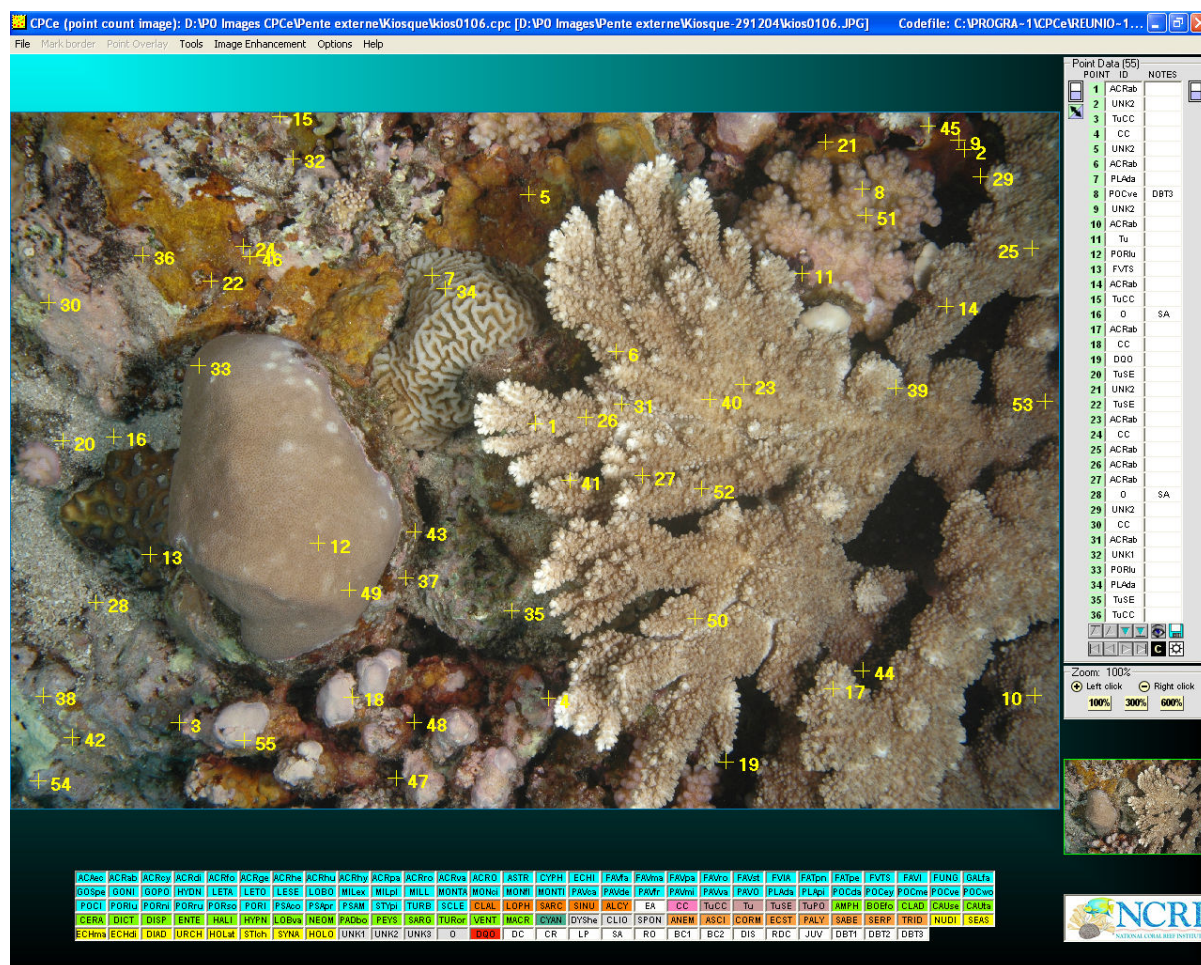
Tableau 2. Liste hiérarchisant les 13 catégories benthiques du récif de la Saline - Souris Blanche et de Saint-Leu (fichier « *Reunion benthos codes 161106* »).

13	"GALfa", "Galaxea fascicularis", "C"
"C", "Coral"	"GAL", "Galaxea sp.", "C"
"SC", "Soft coral"	"GARpl", "Gardineroseris planulata", "C"
"EA", "Endolithic algae"	"GOSpe", "Goniastrea pectinata", "C"
"CC", "Crustose corallines"	"GONI", "Goniastrea sp.", "C"
"TU", "Algal turfs"	"GOPOs", "Goniopora savignyi", "C"
"MA", "Macroalgae"	"GOPO", "Goniopora sp.", "C"
"CB", "Cyanobacteria"	"HYDNe", "Hydnophora exesa", "C"
"SP", "Sponge"	"HYDNm", "Hydnophora microconos", "C"
"OLS", "Other live sessile"	"HYDN", "Hydnophora sp.", "C"
"OLM", "Other live mobile"	"LETAp", "Leptastrea pruinosa", "C"
"BS", "Bare substrate"	"LETAt", "Leptastrea transversa", "C"
"UN", "Unknown"	"LETA", "Leptastrea sp.", "C"
"TWS", "Tape, wand, shadow"	"LETOp", "Leptoria phrygia", "C"
"ACAec", "Acanthastrea echinata", "C"	"LETO", "Leptoria sp.", "C"
"ACA", "Acanthastrea sp.", "C"	"LESEmy", "Leptoseris mycetoseroides", "C"
"ACRab", "Acropora abrotanoides", "C"	"LESE", "Leptoseris sp.", "C"
"ACRar", "Acropora cf arabensis", "C"	"LOBOc", "Lobophyllia corymbosa", "C"
"ACRau", "Acropora austera", "C"	"LOBO", "Lobophyllia sp.", "C"
"ACRbo", "Acropora botryodes", "C"	"MILdi", "Millepora dichotoma", "C"
"ACRdi", "Acropora digitifera (fin)", "C"	"MILex", "Millepora exaesa", "C"
"ACRdi2", "Acropora digitifera (obèse)", "C"	"MILpl", "Millepora platyphylla", "C"
"ACRfl", "Acropora florida", "C"	"MILL", "Millepora sp.", "C"
"ACRge", "Acropora gemmifera", "C"	"MONTA", "Montastrea sp.", "C"
"ACRhu", "Acropora humilis", "C"	"MONTAc", "Montastrea curta", "C"
"ACRmu", "Acropora muricata", "C"	"MONci", "Montipora circumvallata", "C"
"ACRte", "Acropora tenuis", "C"	"MONef", "Montipora efflorescens", "C"
"ACRva", "Acropora cf. valida", "C"	"MONgr", "Montipora grisea", "C"
"ACRO8", "Acropora sp8.", "C"	"MONmi", "Montipora cf millepora", "C"
"ACRO", "Acropora sp.", "C"	"MONml", "Montipora mollis", "C"
"ALVE", "Alveopora sp.", "C"	"MONmo", "Montipora monasteriata", "C"
"ASTRm", "Astreopora myriophthalma", "C"	"MONtu", "Montipora tuberculosa", "C"
"ASTR", "Astreopora sp.", "C"	"MONtg", "Montipora turgescens", "C"
"COSCM", "Coscinaeaea monile", "C"	"MONun", "Montipora undata", "C"
"COSC", "Coscinaeaea sp.", "C"	"MONve", "Montipora venosa", "C"
"CYPHe", "Cyphastrea chalcidicum", "C"	"MONTI", "Montipora sp.", "C"
"CYPH", "Cyphastrea sp.", "C"	"OULOc", "Oulophyllia crispa", "C"
"ECHPa", "Echinophyllia aspera", "C"	"PAVca", "Pavona cactus", "C"
"ECHPe", "Echinophyllia echinata", "C"	"PAVdu", "Pavona duerdeni", "C"
"ECHP", "Echinophyllia sp.", "C"	"PAVex", "Pavona explanulata", "C"
"ECHIg", "Echinopora gemmacea", "C"	"PAVfr", "Pavona frondifera", "C"
"ECHI", "Echinopora sp.", "C"	"PAVva", "Pavona varians", "C"
"FAVfa", "Favia favus", "C"	"PAVve", "Pavona venosa", "C"
"FAVma", "Favia matthaii", "C"	"PAVO", "Pavona sp.", "C"
"FAVpa", "Favia pallida", "C"	"PLAda", "Platygyra daedalea", "C"
"FAVro", "Favia rotumana", "C"	"PLApi", "Platygyra pini", "C"
"FAVsp", "Favia speciosa", "C"	"PLA", "Platygyra sp.", "C"
"FAVst", "Favia stelligera", "C"	"PLEve", "Plesiastrea versipora", "C"
"FVIA", "Favia sp.", "C"	"POCda", "Pocillopora damicornis", "C"
"FATab", "Favites abdita", "C"	"POCey", "Pocillopora eydouxi", "C"
"FATco", "Favites complanata", "C"	"POCme", "Pocillopora meandrina", "C"
"FATfl", "Favites flexuosa", "C"	"POCve", "Pocillopora verrucosa", "C"
"FATpn", "Favites pentagona", "C"	"POCI", "Pocillopora sp.", "C"
"FATpe", "Favites peresi", "C"	"PORau", "Porites australiensis", "C"
"FATva", "Favites vasta", "C"	"PORlu", "Porites lutea", "C"
"FVTS", "Favites sp.", "C"	"PORni", "Porites nigrescens", "C"
"FAVI", "Faviidae sp.", "C"	"PORru", "Porites rus", "C"
"FUNGsc", "Fungia scutaria", "C"	"PORso", "Porites solida", "C"
"FUNG", "Fungia sp.", "C"	"PORI", "Porites sp.", "C"

"PSAco", "Psammocora contigua", "C"
 "PSApr", "Psammocora profundacella", "C"
 "PSAM", "Psammocora sp.", "C"
 "STYar", "Stylocoeniella armata", "C"
 "STYgu", "Stylocoeniella guentheri", "C"
 "STYL", "Stylocoeniella sp.", "C"
 "TURB", "Turbinaria sp.", "C"
 "SCLE", "Scleractinian", "C"
 "CLAL", "Cladiella sp.", "SC"
 "DEND", "Dendronephthya sp.", "SC"
 "LOPH", "Lobophytum sp.", "SC"
 "SARC", "Sarcophyton sp.", "SC"
 "SINU", "Sinularia sp.", "SC"
 "ALCY", "Alcyonarian", "SC"
 "EA", "Endolithic algae", "EA"
 "CC1", "Crustose corallines sp1", "CC"
 "CC", "Crustose corallines", "CC"
 "LIT", "Lithophyllum sp./Lithothamnion sp.", "CC"
 "TuCC", "Turfs/CC", "TU"
 "Tu", "Algal turfs", "TU"
 "TuSE", "Sedimented turfs", "TU"
 "TuPO", "Turfs/Pomacentrid territory", "TU"
 "AMPH", "Amphiroa sp.", "MA"
 "BOEfo", "Boergesenia forbesii", "MA"
 "BRYO", "Bryopsis sp.", "MA"
 "CAUse", "Caulerpa serratula", "MA"
 "CAUL", "Caulerpa sp.", "MA"
 "CERA", "Ceramiales sp.", "MA"
 "CODI", "Codium sp.", "MA"
 "DICTp", "Dictyota pffaffii", "MA"
 "DICT", "Dictyota sp.", "MA"
 "DISPc", "Dictyosphaeria cavernosa/versluysii", "MA"
 "DISPi", "Dictyosphaeria intermedia", "MA"
 "DISP", "Dictyosphaeria sp.", "MA"
 "ENTE", "Enteromorpha sp.", "MA"
 "HALI", "Halimeda sp.", "MA"
 "LOBva", "Lobophora variegata", "MA"
 "NEOM", "Neomeris sp.", "MA"
 "PADbo", "Padina boryana", "MA"
 "PEYS", "Peysonnelia sp.", "MA"
 "TURor", "Turbinaria ornata", "MA"
 "MACR", "Macroalga", "MA"
 "CYAN", "Cyanobacteria", "CB"
 "CLIO", "Cliona sp.", "SP"
 "SPON", "Sponge", "SP"
 "ANEM", "Sea anemone", "OLS"

"ASCI", "Ascidian", "OLS"
 "CORM", "Corallimorpharian", "OLS"
 "ECST", "Echinostrephus cf. aciculatus", "OLS"
 "GORG", "Gorgonid sp.", "OLS"
 "PALY", "Palythoa", "OLS"
 "ZOAN", "Zoanthidae sp.", "OLS"
 "SABE", "Sabellidae", "OLS"
 "SERP", "Serpulidae", "OLS"
 "TRID", "Tridacna", "OLS"
 "CYPR", "Cypraeidae sp.", "OLM"
 "NUDI", "Nudibranch", "OLM"
 "OPHI", "Ophiur", "OLM"
 "SEAS", "Sea star", "OLM"
 "DIAD", "Diadema sp.", "OLM"
 "ECHma", "Echinometrea mathaei", "OLM"
 "ECHdi", "Echinotrix diadema", "OLM"
 "HETma", "Heterocentrotus mammilatus", "OLM"
 "STOva", "Stomopneustes variolaris", "OLM"
 "TOXOp", "Toxopneustes pileolus", "OLM"
 "TRIPg", "Tripneustes gratilla", "OLM"
 "URCH", "Urchin", "OLM"
 "ACTec", "Actinopyga echinites", "OLM"
 "ACTma", "Actinopyga mauritiana", "OLM"
 "HOLat", "Holothuria atra/leucospilota", "OLM"
 "HOLpe", "Holothuria pervicax", "OLM"
 "STIch", "Stichopus chloronotus", "OLM"
 "SYNA", "Synapta sp.", "OLM"
 "HOLO", "Holothurian", "OLM"
 "UNK1", "Unknown1", "UN"
 "UNK2", "Unknown2", "UN"
 "UNK3", "Unknown3", "UN"
 "O", "Bare substrate", "BS"
 "DQO", "Décamètre, quadrat, ombre", "TWS"
 NOTES, NOTES, NOTES
 "DC", "In situ dead coral", "NA"
 "CR", "Coral rubble", "NA"
 "LP", "Limestone pavement", "NA"
 "SA", "Sand", "NA"
 "RO", "Rock", "NA"
 "BC1", "Bleached coral-pale/glints", "NA"
 "BC2", "Bleached coral", "NA"
 "DIS", "Coral disease", "NA"
 "RDC", "Recent dead coral", "NA"
 "JUV", "Recruit or young coral (<3 cm)", "NA"
 "DBT1", "Doubtful identification - category", "NA"
 "DBT2", "Doubtful identification - Genus", "NA"
 "DBT3", "Doubtful identification - species", "NA"

D'un point de vue fondamental et appliqué, cette méthode apporte une connaissance détaillée des peuplements coralliens et benthiques ; le traitement des données automatisé fournit des statistiques descriptives et permet théoriquement de détecter des changements de ~10% dans les taux de recouvrement corallien et benthique, ce qui sera vérifié au cours de cette étude.



Pour l'analyse des clichés des peuplements benthiques sur le site pilote du récif de Saint-Leu, 55 points ont été échantillonnés, en l'absence de la connaissance de la variabilité spatiale des peuplements benthiques. Ce nombre correspond à celui généralement utilisé avec le Logiciel Coral Point Count®. Cependant, le traitement de ces données a montré qu'il n'est pas nécessaire d'analyser 55 points par cliché, 25 points par cliché suffisent pour révéler les caractéristiques essentielles des communautés benthiques (cf. chapitre IV), valeur élevée à 30 pour parer au positionnement de points sur des parties ininterprétables (ruban, zone obscure,

zone cachée par des bulles générées par un fort hydrodynamisme) ; en conséquence, c'est la procédure qui a été appliquée pour l'analyse des clichés de la Saline/Souris Blanche.

L'analyse des clichés photographiques a été un travail de longue haleine pour lequel le Laboratoire ECOMAR a recruté Vianney DENIS, sur un contrat à temps complet pendant plusieurs mois, encadré de près par Henrich BRUGGEMANN et Mireille GUILLAUME.

Les déterminations ont été effectuées au niveau le plus avancé possible. Les coraux Scléractiniaires ont été déterminés à partir de plusieurs faunes (Moothien Pillay *et al.* 2002, Veron 2000, Veron *et al.* 1976, 1977, Veron & Pichon 1979, 1982, Wallace 1999, Scheer & Pillai 1983, Sheppard & Sheppard 1991, Faure 1982), les Octocoralliaires (Fabricius & Alderslade 2001), les Echinodermes (Guille *et al.* 1986, Conand *in prep.*) et de flores pour les macroalgues (Littler & Littler 2000, 2003, Payri *et al.* 2000). La description de l'espèce de Scléractinaire *Acropora botryodes*, avec comme localité type l'île Rodrigue, a été vérifiée à la source dans Brook (1893). La validité de cette espèce est mise en doute par Wallace (1999).

II.5 Echantillonnage des peuplements ichthyologiques

Deux méthodes d'échantillonnage des peuplements ichthyologiques ont été retenues.

- La méthode de **transects à dimension fixe** fournit des indicateurs quantitatifs sur les densités des peuplements en termes d'abondance et de biomasse.
- La méthode des **parcours aléatoires chronométrés** vise à déterminer la diversité spécifique des peuplements ichthyologiques et à fournir des indices qualitatifs sur l'abondance relative des espèces.

L'évolution démographique d'une espèce (augmentation de la taille moyenne de certaines espèces) ainsi que l'augmentation de biomasse totale (calculée par la relation $W=aL^b$, pour chaque espèce) sont des effets attendus de la mise en réserve. Il faut donc prendre en compte la taille des individus de façon assez précise.

Les transects à dimension fixe

L'objectif principal de cette méthode est d'obtenir des densités et biomasses des espèces de poisson pour une surface préalablement définie.

Le plan d'échantillonnage est inspiré par le suivi effectué dans l'archipel des îles Hawaii (programme CRAMP ; Brown *et al.* 1999, 2004). Dans cette étude, un pré-échantillonnage a permis de fixer à 4 le nombre de transects par station. Compte tenu d'une diversité des peuplements ichthyologiques plus élevée à la Réunion, un effort d'échantillonnage de 8 transects est proposé dans un premier temps.

Pour un effort d'échantillonnage constant, certaines études préconisent un nombre d'échantillons élevé aux dépens de la taille des échantillons, en raison du traitement statistique. Dans l'étude présente un compromis est proposé entre le nombre d'échantillons et leur taille pour un effort d'échantillonnage gérable en moyens financier et humain. Ainsi, 8 transects de 25 x 5 mètres (T1 à T8) sont positionnés en deux rangées au nord et au sud de l'arête centrale qui matérialise chaque station (Figure 5).

Deux équipes (E1 et E2) de deux ichthyologues (compteur A et B) parcourent simultanément les deux rangées de transects d'une extrémité à l'autre et effectuent les comptages sur la bande de 5 m de large centrée sur la ligne des transects. Dans chaque équipe,

les familles de poissons à compter sont réparties entre deux compteurs en fonction de leur spécialité. La répartition était la suivante :

- Compteur A : Henrich BRUGGEMANN, Pascale CHABANET, Patrick DURVILLE - Pomacentridae, Pomacanthidae, Acanthuridae, Chaetodontidae,
- Compteur B : Christophe CADET, Thierry MULOCHAU, Emmanuel TESSIER - toutes les autres espèces (162 espèces mais de fréquence plus faible) y compris les Labridae.

Deux passages de chaque équipe sur les transects permettent de répertorier toutes les espèces des différentes familles.

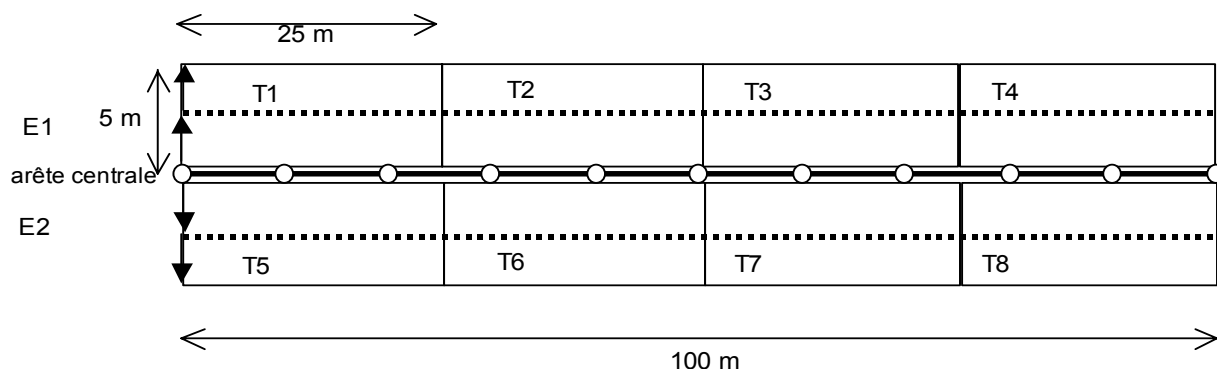


Figure 5. Représentation schématique d'une station de comptage où sont matérialisés l'arête centrale et les 11 piquets, ainsi que le positionnement des 8 transects (indiqués en pointillé). Le transect 1 est toujours le plus au nord vers la côte, en opposition au transect 8 situé le plus au sud et vers le large.

Les comptages d'espèces sont à l'unité pour des abondances inférieures à 50 individus et à la dizaine la plus proche pour les abondances supérieures à 50 individus. La longueur totale (LT) du bout du museau à l'extrémité de la queue est estimée puis notée. La faible densité des peuplements a permis d'évaluer la taille des individus à 2 cm près. Les observations ainsi récoltées permettent de calculer la biomasse de chaque espèce, grâce à la relation :

$$W = a LT^b,$$

où W est le poids vif humide, LT la longueur totale du poisson, enfin a et b, des coefficients propres à chaque espèce. Les coefficients utilisés proviennent soit d'études locales non publiées (LETOURNEUR, POTHIN, TESSIER), soit de données publiées dans Fishbase (fishbase.org), soit à partir des coefficients définis pour une espèce aux caractéristiques morphologiques proches à l'espèce observée.

L'analyse des données du site pilote de Saint-Leu a montré que la puissance à détecter des variations n'est pas différente pour des données obtenues sur 8 transects de 25 m de long ou sur 4 transects de 50 m de long (cf. chapitre III). Ainsi, dans l'analyse de l'état initial des peuplements ichthyologiques, les premiers résultats du site pilote ont été regroupés sur 50 m

Les parcours aléatoires chronométrés

L'objectif principal est de déterminer la diversité spécifique des peuplements ichthyologiques et de fournir des indications sur l'abondance relative des espèces. Elle permet d'observer les espèces fuyantes, souvent de grande taille, qui sont rarement observées par la méthode des transects. Cette méthode, par laquelle une aire récifale étendue est couverte, permet aussi de rencontrer des espèces aujourd'hui rares, qui sont potentiellement

intéressantes pour l'évaluation de l'effet réserve. Les parcours aléatoires chronométrés sont utilisés pour la première fois à l'île de la Réunion.

L'observateur effectue ses relevés en nageant à vitesse constante pendant 50 minutes, au hasard, dans un rayon de ~100 m autour du point central d'une station de suivi, en restant à profondeur constante et dans le même habitat. Toutes les espèces nouvellement rencontrées, ainsi que leur taille maximale, sont notées par période de 10 min. Les espèces de poissons apparaissant dans le premier intervalle de 10 minutes reçoivent un score de 5, celles dans le deuxième intervalle, un score de 4, et ainsi de suite jusqu'au 5^{ème} intervalle ayant un score de 1. Selon le postulat pour lequel les espèces communes ont une probabilité d'être rencontrées plus rapidement, les scores des espèces sont sensés indiquer leur abondance relative. Huit parcours de 50 minutes ont été effectués par strate (zone géomorphologique récifale et niveau de protection). Un total de 48 parcours aléatoires a donc été effectué. Par strate, le score global de l'espèce, représentant l'abondance relative, est la somme des scores obtenus sur les 8 parcours.

III. ANALYSES STATISTIQUES

Les méthodes d'échantillonnage ont été testées et validées, leur puissance statistique évaluée. L'analyse statistique des variations spatiales ou temporelles, par exemple liées à la gestion de la future réserve marine, consiste à comparer des paramètres descriptifs des peuplements récifaux entre l'état initial et celui après mise en réserve.

Dans une approche d'analyse univariée, type ANOVA (analyse de variance), il importe d'avoir des estimations précises de la variance des effectifs des populations. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à sa variabilité, telle la variation spatiale, souvent associée à des agrégations sociales ou liées à l'habitat, les variations temporelles, ou les biais liés à la détectabilité des espèces ou à l'observateur. Les variations temporelles s'expriment à long ou moyen terme, liées aux processus démographiques (recrutement, mortalité) en fonction des perturbations naturelles et anthropiques et la gestion, ou encore à court terme chez les espèces mobiles (mouvements déterminés diurnes ou liés aux marées).

Une caractéristique des populations des espèces mobiles, tels les poissons récifaux, est une très forte variance. Cette variance est essentiellement instantanée, en fonction des mouvements aléatoires des poissons, et à un moindre degré liée aux variations spatiales, aux biais de la détectabilité des espèces ou de l'observateur (McClanahan *et al.* 2007c). Cette variation instantanée rend difficile la détection des changements temporels par ANOVA. Néanmoins, l'élaboration d'un protocole de suivi doit, dans la mesure possible, minimiser les sources de variation.

La puissance à détecter les changements temporels des effectifs des populations benthiques et ichtyologiques a été estimée pour les différents protocoles effectués sur le site pilote. Pour ce faire, nous avons calculé la variance spécifique à chaque station pour chaque espèce, catégorie benthique ou famille des poissons. Une estimation de la variance sur le site pilote est obtenue en calculant la moyenne des variances par station et par zone géomorphologique. A partir de ces variances et utilisant un modèle d'ANOVA à 1 facteur, nous avons calculé le pourcentage de changement minimum d'effectif de population détectable (PCMD) avec une probabilité $\alpha < 5\%$ et une probabilité $\beta < 20\%$ (puissance de 80%). Les analyses de puissance ont été effectuées à l'aide du logiciel statistique MiniTab version 14.

Boîte 1. Puissance des tests statistiques

L'hypothèse d'absence de changement est appelée hypothèse nulle (H_0). Deux types d'erreur peuvent survenir dans les tests d'hypothèse. La première est appelée erreur de type I, c'est-à-dire on rejette H_0 alors qu'elle est vraie. Il est d'usage d'accepter un résultat quand la probabilité d'erreur de type I appelée α est inférieure à 5%. La seconde est appelée erreur de type II, c'est-à-dire qu'on accepte H_0 alors qu'elle est fausse. La probabilité de ce type d'erreur est appelée β . La puissance d'un test statistique est inversement proportionnelle à β . Un test statistique est considéré comme puissant quand β ne dépasse pas les 20%. On parle alors d'une puissance de 80%.

L'ANOVA est soumise aux contraintes classiques de normalité des données et d'homogénéité des variances. Ces deux conditions ont été vérifiées avant les tests d'ANOVA. Si nécessaire, les données ont subi une transformation par racine carrée. Cependant, une certaine robustesse de l'ANOVA est acquise pour cette étude, en raison d'un plan d'échantillonnage équilibré (même nombre de répliquats à toutes les strates) et du nombre de répliquats relativement élevé (Underwood 1997). Néanmoins, les estimations de PCMD

doivent être appréhendées avec prudence, car elles sont basées sur des données actuelles ; la mise en évidence de futurs changements des peuplements dépendra de données futures dont la distribution est aujourd'hui inconnue.

L'ANOVA a été appliquée sur les taux de recouvrement des catégories benthiques (pourcentage du nombre total de points analysés), la richesse spécifique des taxons de coraux recensés par transects et les biomasses des poissons (pour toute l'ichtyofaune ou par famille, calculées en kg.ha^{-1}).

En raison de la diversité des peuplements récifaux, une représentation multivariée permet de mettre en évidence des patrons spatiaux des communautés, en intégrant leur complexité. Les analyses multivariées des relevés sont effectuées à l'aide du logiciel PRIMER-E v6 (Clarke et Gorley, 2006). Le coefficient de similarité Bray-Curtis est calculé pour chaque paire d'observation, intégré dans une matrice de similarité. On utilise directement le pourcentage des taux de recouvrement comme valeur d'abondance ; les données ne sont pas standardisées car l'effort d'échantillonnage est identique à toutes les stations. Les différences relatives entre les relevés sont visualisées par ordination *non-metric multidimensional scaling* ou MDS dans un plan. Il n'y a pas d'échelle ou de direction, seule la différence relative entre les relevés est projetée sur ce plan (Clarke & Warwick 2001). Néanmoins, dans le cas où les distances relatives ne peuvent pas être représentées fidèlement sur un plan, alors une troisième dimension s'ajoute, indiquée par la distorsion nommée « stress ». L'analyse des clusters à partir des moyennes par groupe a été effectuée sur la matrice de similarité.

Le test d'ANOSIM ou *analysis of similarities* (Clarke & Warwick 2001) est utilisé pour tester des différences entre des groupes d'échantillon. Il est basé sur le calcul du coefficient R, dont la valeur est théoriquement comprise entre -1 et 1. R est égal à 1 si tous les relevés intrasites sont plus similaires entre eux par rapport aux comparaisons intersites. R est proche de 0 quand l'hypothèse nulle H_0 est valide, c'est-à-dire quand les similarités entre sites sont en moyenne égales aux similarités des relevés intrasites. Si R calculé est significativement différent de la distribution des valeurs de R simulées, on rejette alors l'hypothèse nulle à un niveau de significativité calculé par randomisation.

L'analyse multivariée s'avère beaucoup plus puissante que l'analyse univariée pour détecter de faibles différences d'effectif, tels que les changements temporels dans les communautés benthiques et ichtyologiques qui nous intéressent.

IV. EVALUATION DES PROTOCOLES ET PUISSANCE STATISTIQUE

Les protocoles et leurs puissances statistiques ont été évalués sur les données obtenues sur le site pilote de Saint-Leu à la fin de la première phase de l'étude, tant sur les peuplements benthiques qu'ichtyologiques.

IV.1 Analyse de l'effort d'échantillonnage des peuplements benthiques

L'effet de l'augmentation de l'effort d'échantillonnage varie en fonction de l'abondance de la catégorie benthique. Pour les catégories dominantes (Scléactiniaires, algues endolithes, corallinacés encroûtants et gazons algaux) diminuer le nombre de points analysés par image affecte très peu la précision de l'estimation de leurs taux de recouvrement (Tableau 3). En revanche, pour les catégories rares, une diminution de l'effort d'échantillonnage sur photo peut affecter cette précision, en manquant des catégories présentes sur la photo mais pas sous les points échantillonnés.

Tableau 3. Comparaison des moyennes, écart types et coefficients de variation des taux de recouvrement des catégories benthiques en fonction de nombre de points analysés par image. L'amélioration de la précision est calculée comme le pourcentage d'écart de la moyenne obtenu par l'échantillonnage à 55 points par image.

Apollonia - pente externe							Amélioration	
Catégorie majeure	25 points			55 points			Précision (%)	CV (%)
	MOY	ECT	CV	MOY	ECT	CV		
Scléactiniaire	28,51	9,47	33,22	29,46	9,24	31,38	3,2	-1,8
Alcyonaire	4,83	2,76	57,10	4,75	2,64	55,72	1,7	-1,4
Algue endolithe	1,83	0,82	44,56	1,60	0,71	44,66	14,6	0,1
Corallinacé encroût.	11,59	3,90	33,64	11,65	3,51	30,10	0,5	-3,5
Gazon algal	49,77	7,36	14,79	48,71	7,25	14,88	2,2	0,1
Macroalgue	0,53	0,27	50,59	0,67	0,33	50,18	20,2	-0,4
Cyanobactérie	0,15	0,22	151,81	0,21	0,21	102,41	28,2	-49,4
Eponge	0,10	0,30	316,23	0,07	0,21	316,23	45,6	0,0
Autres org. sessiles vivants	0,10	0,15	143,67	0,09	0,10	109,83	17,9	-33,8
Autres org. mobiles	0,00	0,00		0,00	0,00			
Substrat nu (sables & débris)	2,58	1,75	67,82	2,80	1,99	71,00	7,9	3,2

Kiosque - platier interne

Catégorie majeure	25 points			55 points			Précision (%)	CV (%)
	MOY	ECT	CV	MOY	ECT	CV		
Scléactiniaire	20,77	9,54	45,94	20,25	9,70	47,90	2,6	2,0
Alcyonaire	0,00	0,00		0,00	0,00			
Algue endolithe	8,31	3,86	46,46	7,97	3,37	42,25	4,3	-4,2
Corallinacé encroût.	7,83	4,56	58,23	7,66	4,34	56,63	2,2	-1,6
Gazon algal	54,89	6,74	12,27	55,41	6,91	12,47	0,9	0,2
Macroalgue	0,02	0,06	316,23	0,11	0,19	174,92	81,2	-141,3
Cyanobactérie	0,18	0,58	316,23	0,22	0,52	234,79	17,5	-81,4
Eponge	0,00	0,00		0,03	0,09	316,23	100,0	
Autres org. sessiles vivants	0,04	0,08	210,92	0,02	0,04	210,91	120,3	0,0
Autres org. mobiles	3,30	2,19	66,24	3,31	2,21	66,78	0,3	0,5
Substrat nu (sables & débris)	4,65	2,23	47,97	5,00	2,37	0,75	6,9	-47,2

Le pourcentage de changement minimum détectable (PCMD) des taux de recouvrement des catégories benthiques majeures est généralement peu affecté par une diminution (de plus de 50%) de l'effort d'échantillonnage sur photo (Tableau 4). En revanche, diviser par deux le nombre de transects par station augmente significativement le PCMD. En d'autres termes, le pouvoir de détection des changements dans les peuplements benthiques est considérablement affaibli si on diminue le nombre de transects.

Tableau 4. Pourcentage de changement minimum détectable (PCMD) dans les taux de recouvrements des catégories benthiques en fonction de l'effort d'échantillonnage. Comparaison de l'effet du nombre de transects par station et du nombre de points par photo échantillonnés.

Kiosque - platier interne

Catégorie majeure	10 transects		5 transects	
	55 points PCMD	25 points PCMD	55 points PCMD	25 points PCMD
Scléractiniaire	53,7	51,7	80,2	77,1
Alcyonaire				
Algue endolithe	49,0	54,5	73,1	81,3
Corallinacé encroût.	68,3	69,9	101,8	104,2
Gazon algal	16,9	16,3	25,2	24,4
Macroalgue	207,2	370,0	309,0	551,9
Cyanobactérie	268,8	366,2	401,0	546,1
Eponge	366,0	-	546,0	
Autres org. sessiles	243,0	242,8	362,0	362,2

Apollonia - pente externe

Catégorie majeure	10 transects		5 transects	
	55 points PCMD	25 points PCMD	55 points PCMD	25 points PCMD
Scléractiniaire	38,9	42,5	58,0	63,4
Alcyonaire	65,3	66,8	97,5	99,7
Algue endolithe	51,0	50,8	76,0	75,8
Corallinacé encroût.	32,6	35,3	48,6	52,6
Gazon algal	15,8	15,0	23,5	22,3
Macroalgue	56,6	58,7	84,4	87,6
Cyanobactérie	120,0	175,1	179,0	261,1
Eponge	365,0	364,2	545,0	543,3
Autres org. sessiles	127,7	164,2	190,4	244,9

Forts de ces deux résultats, lors de la concertation suite à la réunion d'évaluation à mi-parcours, il a été décidé collectivement de ne pas modifier le nombre de transects par station, mais de diminuer l'effort d'échantillonnage sur photo à 30 points par image, permettant un gain de temps considérable d'analyse des clichés.

IV.2 Analyse des méthodes de l'échantillonnage ichtyologique

Une première comparaison des deux méthodes utilisées pour décrire les peuplements ichtyologiques est effectuée au niveau du nombre d'espèces répertoriées. Pour toutes les familles de poissons, la diversité spécifique obtenue avec la méthode des parcours aléatoires chronométrés est supérieure ou égale à celle des transects de dimension fixe, car la surface balayée et le temps consacré sont largement supérieurs pour la première méthode et l'observateur est aussi focalisé sur le repérage de nouvelles espèces. Certaines familles (Lutjanidae, Gobidae, Ophichthidae, Carangidae, Fistulariidae, Plotosidae, Sphyrnidae) sont

uniquement recensées par la méthode des parcours aléatoires (Figure 6). Les Lutjanidae, Carangidae et Sphyraenidae regroupent des espèces ciblées par les pêcheries et dont les effectifs sont susceptibles d'être accrus par la mise en réserve.

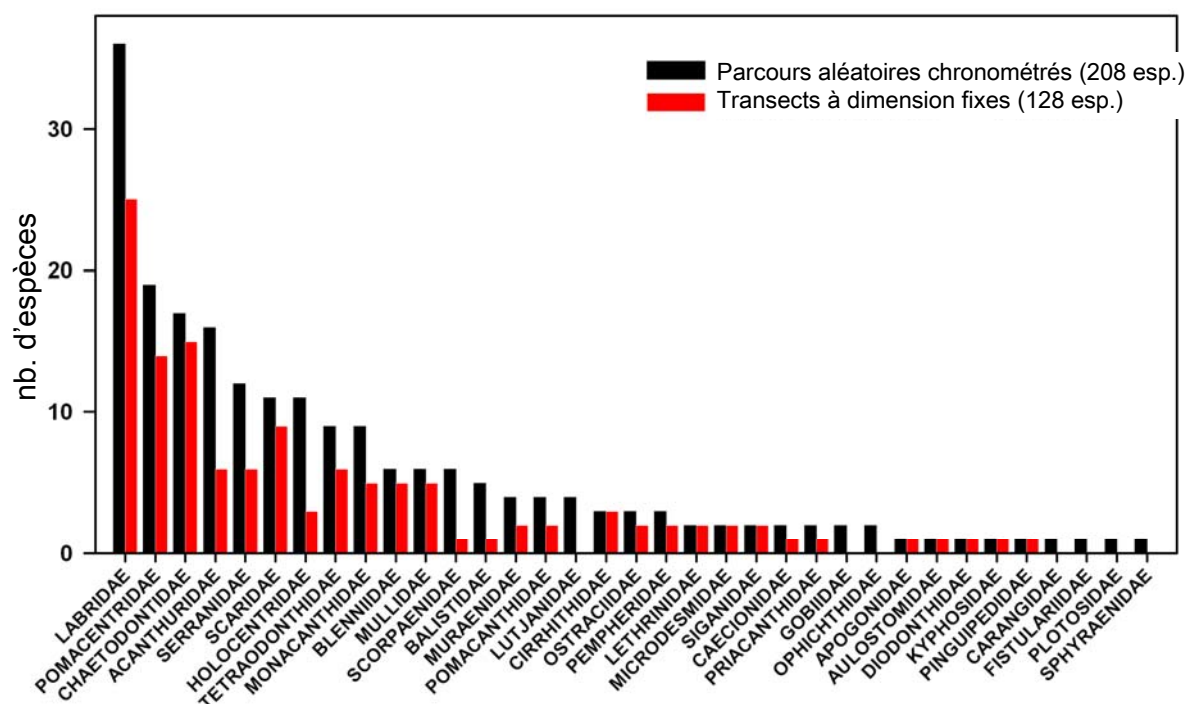


Figure 6. Comparaison du nombre d'espèces repertoriées par famille avec les deux méthodes utilisées (transects à dimension fixe et parcours aléatoires chronométrés).

Les pourcentages de changement minimum détectable (PCMD) varient entre familles et espèces de poissons (Annexe I, Figure 7 et Tableau 5). Le PCMD étant une fonction de la variance de l'effectif d'une population (cf. Chapitre III), les populations à fort effectif et de distribution homogène auront un PCMD faible. En conséquence, il sera plus difficile de mettre en évidence des changements dans l'effectif des populations d'espèces rares (Tableau 3).

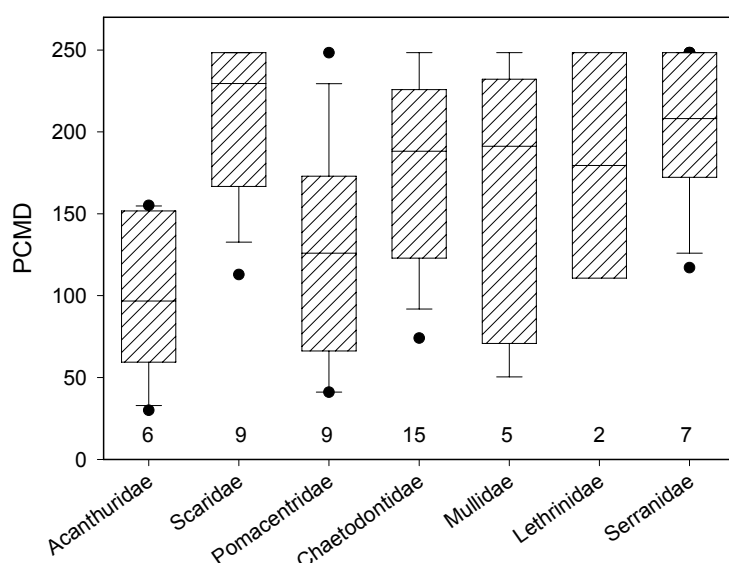


Figure 7. Représentation « box-whisker » des variations en PCMD chez 7 familles de poissons à régime alimentaire différent, sur les 6 stations de la pente externe de Saint-Leu.

Tableau 5. Influence de l'effectif des populations de 6 espèces d'Acanthuridae sur l'écart type, le coefficient de variation (CV) et le pourcentage de changement minimum détectable (PCMD) sur les 6 stations de la pente externe de Saint-Leu.

Espèce	Effectif moyen	Ecart type	CV (%)	PCMD (%)
<i>Acanthurus nigrofuscus</i>	14.21	4.86	34	30
<i>Ctenochaetus striatus</i>	11.29	8.73	77	59
<i>Zebrasoma scopas</i>	6.42	3.74	58	64
<i>Ctenochaetus strigosus</i>	4.31	5.03	117	152
<i>Naso lituratus</i>	0.73	0.93	128	129
<i>Acanthurus nigricauda</i>	0.44	0.77	175	155

Le pourcentage de changement minimum d'effectif de population détectable est une fonction de l'effort d'échantillonnage et de la répartition spatiale des peuplements (Figure 8). Ainsi, quand on évalue le nombre de transects nécessaires pour atteindre un pouvoir de détection élevé (PCMD faible), on peut arriver à un effort d'échantillonnage irréaliste, dépassant les 200 transects ! Certaines espèces se prêtent mieux que d'autres à la détection de faibles variations de leur effectif. Dans la figure 10 ci-dessous, c'est le cas de *Acanthurus nigrofuscus*, *Plectroglyphidodon johnstonianus* et *Parapuneus trifasciatus*, espèces communes sur les pentes externes à Saint-Leu.

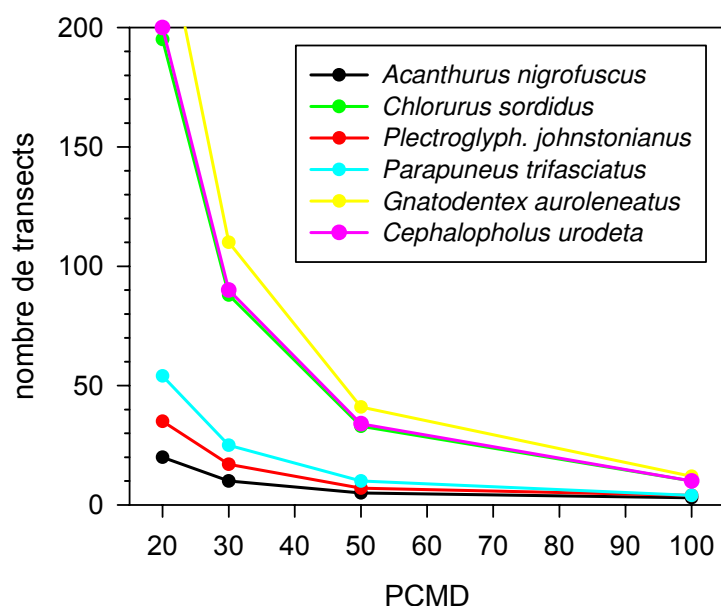


Figure 8. Relation entre effort d'échantillonnage (transects de 25 m de long) et PCMD calculé pour 6 espèces de poissons à écologie diverse recensés sur la pente externe de Saint-Leu.

Les deux méthodes de comptage visuel des populations ichthyologiques ont été comparées au niveau de leur capacité à détecter des changements. Pour 7 familles de poissons à écologie différente, le PCMD est systématiquement inférieur pour la méthode des transects aléatoires chronométrés comparé aux transects à dimension fixe (Figure 9). Cette première méthode ne permet pas d'estimer la biomasse des peuplements ichthyologiques, elle semble cependant être un outil performant pour mettre en évidence des changements futurs, d'autant plus qu'elle permet de recenser des espèces rares et fuyantes, souvent ciblées par les pêcheries.

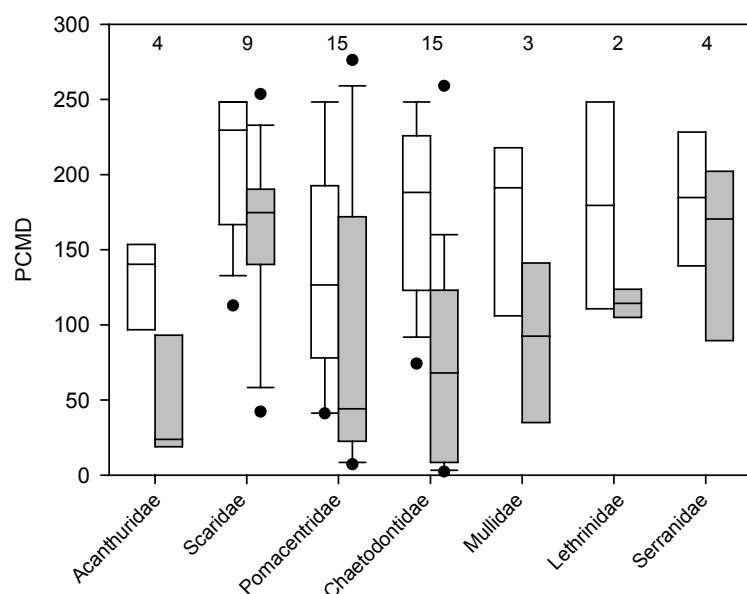


Figure 9. Comparaison des pourcentages de changement minimum détectable (PCMD) obtenus par les deux méthodes d'échantillonnage visuel. Représentation « box-whisker » des variations en PCMD chez 7 familles de poissons à régime alimentaire différent, sur les 6 stations de la pente externe de Saint-Leu.

Pour vérifier s'il y aurait avantage à augmenter le nombre de répliquats aux dépens de la longueur des transects (à effort égal, puisqu'il est déjà très important), les données récoltées sur 8 transects de 25 m sont regroupées deux à deux sur 4 transects de 50 m. Les deux jeux de données ont été analysés pour leur pourcentage de changement minimum détectable (Figure 10).

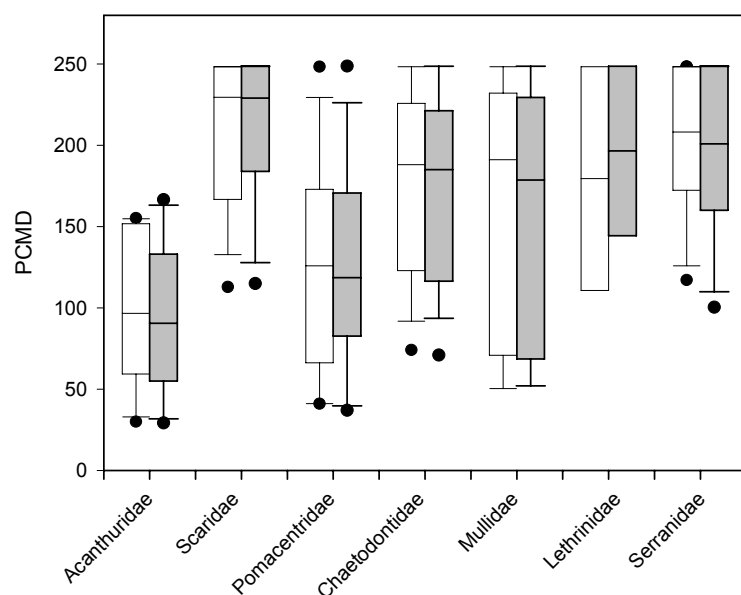


Figure 10. Comparaison des pourcentages de changement minimum détectable (PCMD) entre 8 transects de 25 m et 4 transects de 50 m pour 7 familles de poissons à régime alimentaire différent (données des 6 stations de la pente externe à Saint-Leu).

Il n'y a pas de différence dans le pouvoir à détecter des changements d'effectif dans les populations de poissons entre les deux plans d'échantillonnage (Figure 10). L'avantage statistique d'avoir plus de répliquats est annulé par une variance plus élevée en raison de transects plus courts et une distribution des poissons hétérogènes. En absence d'avantage statistique, une longueur de 50 m de transect a été retenue après concertation, d'autant plus que cette longueur est plus aisée à mettre en œuvre et qu'elle est fréquemment utilisée par la communauté scientifique des écologistes ichthyologues, facilitant la comparaison de nos résultats avec d'autres études.

IV.3 Conclusions

L'analyse de l'effort d'échantillonnage des peuplements benthiques a montré que

- On peut diviser par deux le nombre de points identifiés par photo sans perdre beaucoup de précisions pour les catégories abondantes, mais les catégories les plus rares seront détectées moins fiablement,
- Le nombre de transects ne doit en aucun cas être diminué,
- Une fois les paramètres de prise de vue mis au point, la méthode des photos transects s'est révélé être rapide et précise, fournissant un précieux archivage des fonds récifaux.

L'analyse des méthodes d'échantillonnage des peuplements ichtyologiques montre que :

- Les comptages sur transects et sur parcours aléatoires donnent des résultats complémentaires,
- A effort d'échantillonnage égal, augmenter le nombre de transects aux dépens de leur taille n'induit pas une meilleure puissance statistique,
- La variabilité inhérente des peuplements de poissons requiert un effort d'échantillonnage élevé.

Avec le protocole d'échantillonnage défini, nous avons obtenu des estimations de la densité des différentes espèces sur deux zones géomorphologiques récifales et de leur variance. Ces propriétés des peuplements nous permettent d'estimer la quantité de variation décelable statistiquement avec une puissance acceptable (Annexe I). Cette analyse montre que, pour la plupart des espèces, seules de grandes variations de la densité peuvent être identifiées avec certitude. Pour détecter des changements plus faibles, il faut augmenter considérablement l'effort d'échantillonnage. Ceci n'est pas envisageable, en raison de limites de moyens financiers et humains. Ce constat n'est pas lié à la méthode utilisée, il s'explique par les très faibles densités pour la plupart des espèces et par leurs répartitions spatiales non homogènes.

Cependant, une remarque s'impose. Les relevés par transect ne sont pas strictement indépendants car les transects sont jointifs. Il s'agit ici d'une situation de pseudo-réplication. La méthode de comptage sur des points stationnaires ou « stationary point counts » (Jennings *et al.* 1995, Graham *et al.* 2006) évite le problème de pseudoréplication et présente l'avantage d'être plus légère d'un point de vue logistique (pas de décamètre à placer) ; les espèces fuyantes sont aussi plus facilement comptées. Le choix de la méthode des transects a fait l'objet d'un débat entre les ichtyologues, cette méthode a été retenue en raison de l'expérience acquise par le passé.

V. ETAT INITIAL DES PEUPELEMENTS BENTHIQUES

V.1 Effort d'échantillonnage

Les courbes cumulatives des taxons répertoriés sur les photographies en fonction du nombre de transects montrent que l'asymptote n'est pas tout à fait atteinte avec l'effort d'échantillonnage adopté (Figure 11). En fournissant un effort plus important, d'autres espèces auraient été répertoriées. Cependant, ce n'était pas possible en raison de contraintes humaines et financières.

L'analyse comparative de ces courbes suscite trois observations principales (Figure 11) :

- 1) les pentes externes sont plus riches en espèces benthiques que les platiers récifaux ;
- 2) pour chaque zone géomorphologique, le nombre d'espèces benthiques répertorié est inférieur à la Saline qu'à Saint-Leu. Cette différence est très marquée au niveau des platiers récifaux car, malgré le plus faible nombre d'échantillons à la Saline (40 au lieu de 60), la courbe s'approche de l'horizontale ;
- 3) sur la pente externe, on échantillonne en une station (10 transects) environ les 2/3 de la richesse spécifique du secteur, témoignant d'une plus grande homogénéité dans la répartition des espèces benthiques sur les pentes,

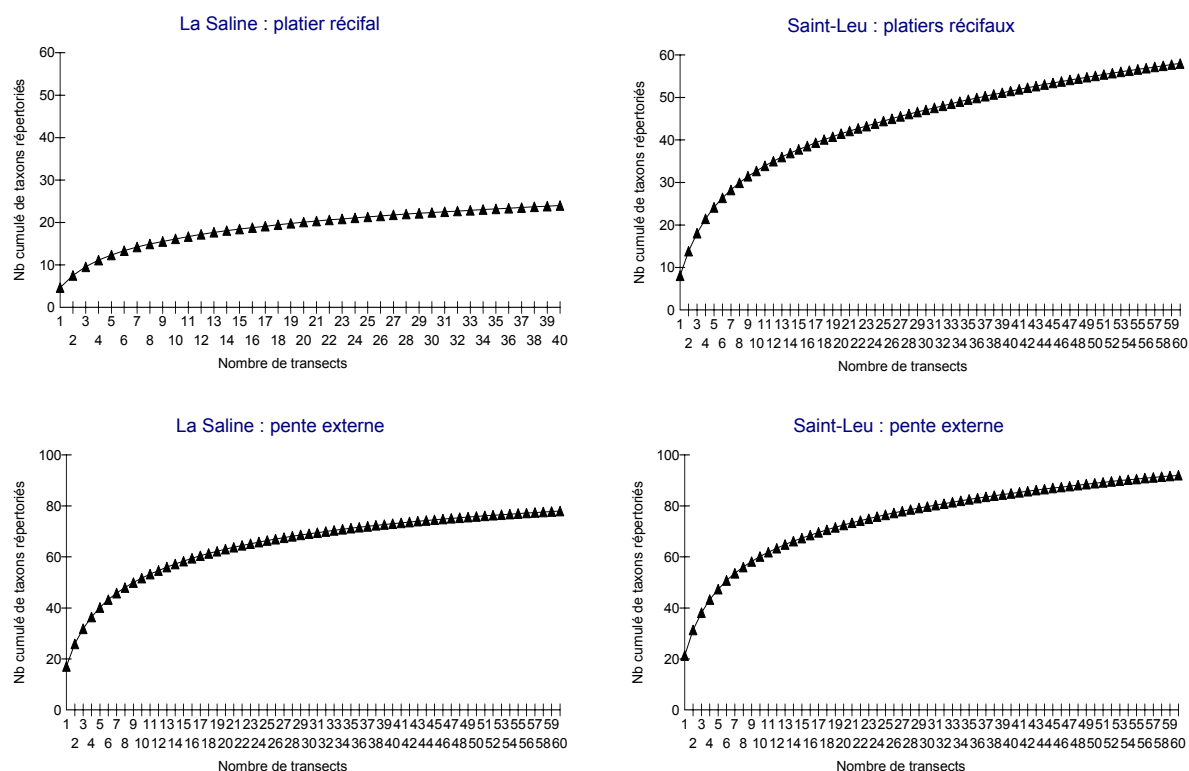


Figure 11. Courbes aire-espèce : nombre cumulé de taxons répertoriés en fonction du nombre de transects effectués par zone géomorphologique et par secteur. Noter que les échelles des ordonnées sont différentes entre les courbes du haut et celles du bas.

Sur le platier du récif de la Saline, la richesse en espèces benthiques est extrêmement basse (moins de 25 espèces répertoriées sur photos). Ce résultat est pour partie lié au positionnement des stations au niveau des bancs monospécifiques à *Acropora muricata*. Néanmoins, même sur les stations où *A. muricata* a été décimé et remplacé par une communauté caractéristique de dégradations (*Montipora circumvallata*, *Porites* (*Synarea*) *rus*, divers macroalgues ; Naim 2006), la diversité taxonomique reste très faible.

V.2 Taux de recouvrement par catégorie benthique majeure

Pour faciliter la présentation et l'interprétation de l'état initial des peuplements benthiques, nous avons regroupés les différentes catégories benthiques peu abondantes pour ne retenir que les majeures. Elles sont définies comme suit : coraux durs (Scleractinia et Millepora), coraux mous (Alcyonacea), substrats durs (comprenant gazons algaux, macroalgues, algues endolithes, corallinacés, dalle corallienne), autres catégories benthiques (éponges, cyanobactéries, autres sessiles, autres mobiles), et sables (incluant débris fins de taille <5 cm). Leurs taux de recouvrement sur les différentes stations et secteurs et zones géomorphologiques sont présentés Figure 12.

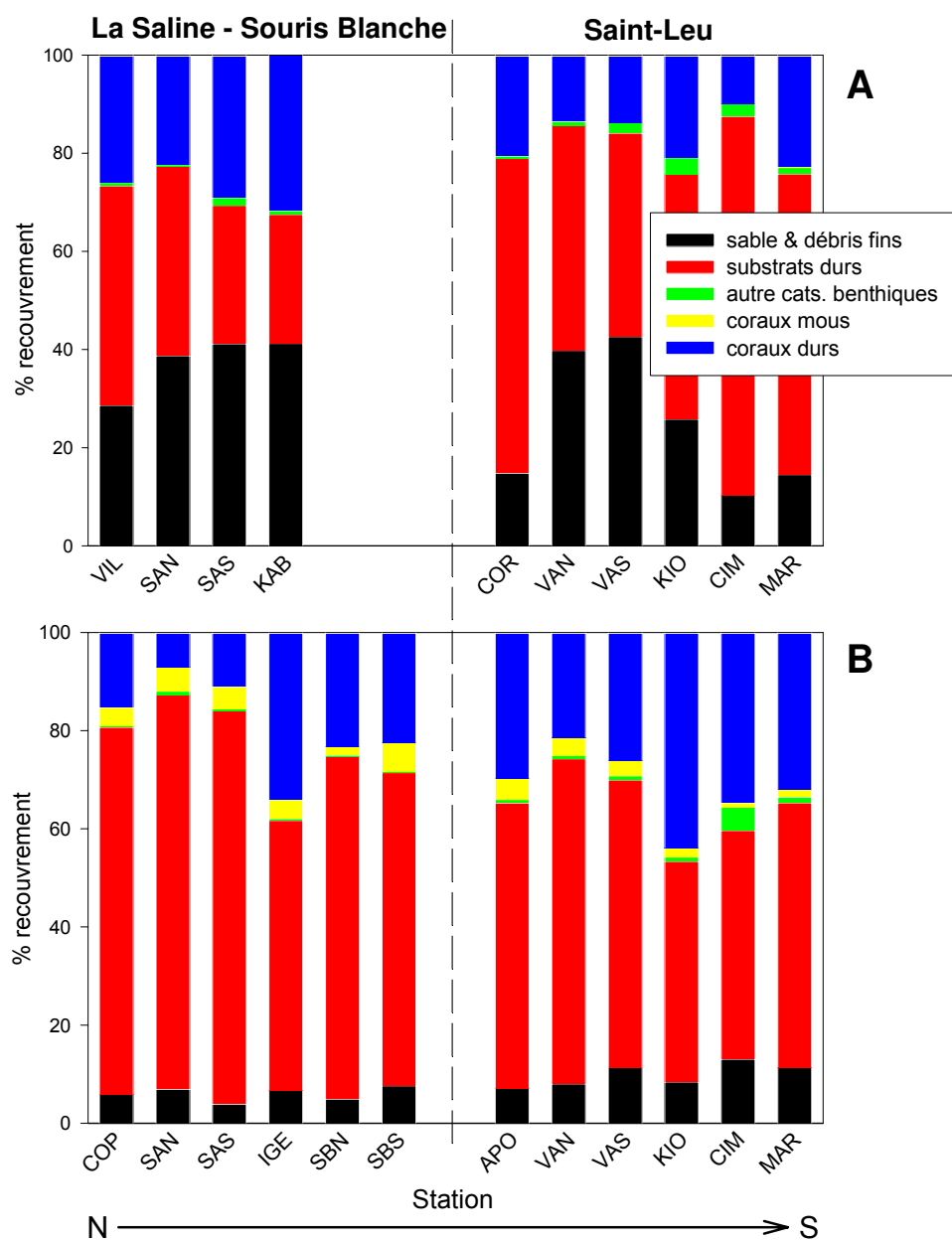


Figure 12. Catégories benthiques majeures par station sur le platier interne (A) et la pente externe (B) des deux secteurs de la Saline et de Saint-Leu. Les stations sont présentées du Nord au Sud ; cf. Tableau 1 pour les abréviations.

La présentation de l'état initial est basée sur plusieurs analyses, multivariées et univariées, en zoomant à partir de la plus grande échelle, l'ensemble des stations, en passant par les zones géomorphologiques, les secteurs jusqu'aux niveaux de protection. C'est à ce dernier niveau que porte la réflexion sur la mise en réserve et son effet sur les peuplements.

Les catégories benthiques majeures sont nettement contrastées entre les platiers et les pentes externes (Figure 13 ; ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,5$; $P = 0,001$; Annexe II.1). Cette différence vient principalement (36 %) des taux de recouvrement des sables et débris fins, beaucoup plus élevés sur les platiers que sur les pentes externes. Les coraux, gazons algaux et substrats durs dépourvus d'algues dressées sont légèrement plus abondants sur les pentes externes et contribuent aussi, mais à un moindre degré, à cette différence. Une analyse univariée confirme que le taux de recouvrement des coraux durs est plus élevé sur la pente externe que sur les platiers, tous secteurs et niveaux de protection confondus (ANOVA, $F_{1,218} = 6,147$; $P = 0,014$).

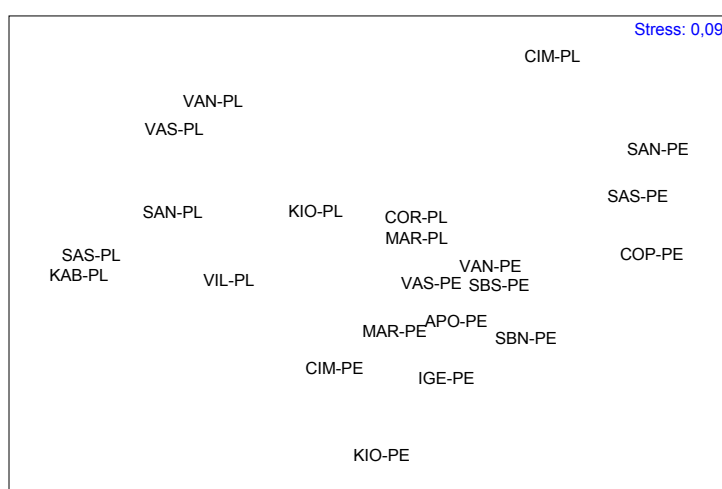


Figure 13. Platiers et pente externe. Ordination MDS des catégories benthiques majeures basée sur les valeurs moyennes par station. Platiers : PL, Pentes externes : PE.

L'ordination des relevés de platiers montre une ségrégation entre les secteurs de Saint-Leu et de la Saline. Le test ANOSIM confirme cette observation visuelle (Figure 14 ; ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,281$; $P = 0,001$; Annexe II.2). A nouveau, le recouvrement en sable et débris fins est le facteur qui contribue le plus à la discrimination entre les deux secteurs, étant plus élevé à La Saline qu'à Saint-Leu.

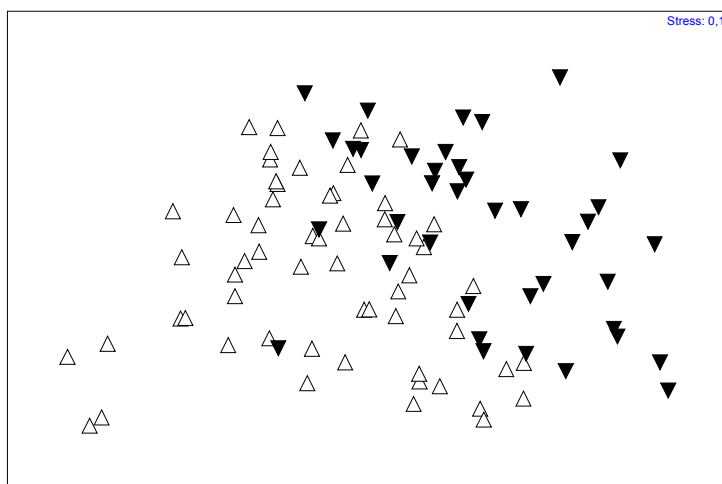


Figure 14. Platiers récifaux. Ordination MDS des catégories benthiques majeures basée sur tous les transects. Saint-Leu : Δ ; La Saline : ∇ .

Egalement, le taux de recouvrement corallien est plus élevé sur le platier de la Saline que ceux de Saint-Leu, confirmé par une analyse univariée ($TR_{\text{moy}} - \text{La Saline} = 27,2$; $TR_{\text{moy}} - \text{St-Leu} = 16,9$; ANOVA, $F_{1,98} = 25,27$; $P = 0,000$). A l'inverse, les gazons algaux et substrats durs dépourvus d'algues dressées sont plus abondants à Saint-Leu.

En regroupant les stations du platier de la Saline par niveau de protection, il n'y a pas de différence en taux de recouvrement entre le sanctuaire et la réserve (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,004$; $P = 0,335$; Annexe II.3). Une analyse univariée au niveau des coraux durs le confirme ($TR_{\text{moy}} - \text{sanctuaire} = 25,7$; $TR_{\text{moy}} - \text{réserve} = 28,8$; ANOVA, $F_{1,38} = 0,914$; $P = 0,345$). Néanmoins, les catégories benthiques majeures des platiers de la Saline ne sont pas homogènes entre les stations (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,246$; $P = 0,001$; Annexe II.4) ; les deux stations du Nord, Villas du lagon et Sanctuaire nord, se distinguent des deux stations du Sud (Sanctuaire sud et Kabanon) par des taux de recouvrement en coraux inférieur et en gazons algaux supérieurs (Annexe II.4). Ces différences avec changement dans la composition des communautés coralliennes ont été plusieurs fois rapportées (Naim 2006).

A Saint-Leu, la comparaison entre les trois niveaux de protection des platiers montre que ces trois zones diffèrent fortement par leurs catégories benthiques (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,438$; $P = 0,001$; Annexe II.5). Ainsi, la distribution des « sables et débris fins » entre les trois niveaux de protection est fort intéressante à analyser. Il apparaît que les zones sanctuaires, telles qu'elles ont été définies, sont les plus riches en sables (Figure 15). De quoi rassurer les pêcheurs de Saint-Leu sur l'emprise des zones sanctuaires en dehors du domaine accessible !

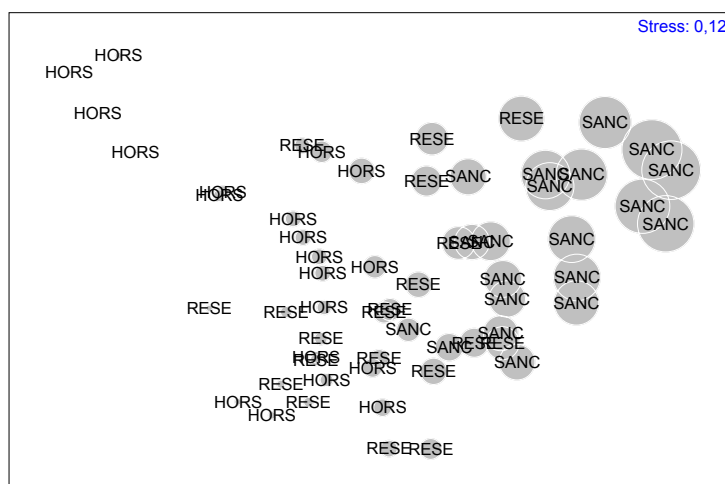


Figure 15. Platier de Saint-Leu. Ordination MDS des catégories benthiques majeures. La taille des bulles représente la contribution relative de la catégorie « sable et débris fins » dans l'ordination des relevés.

Le platier de la zone de réserve de Saint-Leu a le taux de recouvrement corallien le plus élevé, tandis que le sanctuaire a le taux le plus faible ($TR_{\text{moy}} - \text{sanctuaire} = 13,6$; $TR_{\text{moy}} - \text{réserve} = 20,7$; $TR_{\text{moy}} - \text{hors réserve} = 16,4$). Néanmoins, ces différences ne sont pas tout à fait significatives (ANOVA, $F_{2,57} = 2,833$, $P = 0,067$). Cependant, les stations des platiers de Saint-Leu diffèrent significativement entre elles en termes de taux de recouvrement de leurs catégories benthiques majeures, sauf les stations Marine et la Corne (ANOSIM $R_{\text{global}} = 0,563$; $P = 0,001$; Annexe II.6).

Pour les pentes externes également, l'ordination des relevés et les tests ANOSIM montrent des différences entre les secteurs de Saint-Leu et de la Saline (Figure 16 ; ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,309$; $P = 0,001$; Annexe II.7). Les coraux sont presque deux fois plus abondants à Saint-Leu qu'à la Saline et contribuent le plus à la cette différence, confirmé par un test univarié ($TR_{\text{moy}} - \text{St-Leu} = 31,3$; $TR_{\text{moy}} - \text{La Saline} = 18,9$; ANOVA, $F_{1,118} = 38,03$, $P = 0,000$).

Les gazons, substrats durs et macroalgues sont plus représentés à la Saline qu'à Saint-Leu et contribuent aussi à cette différence.

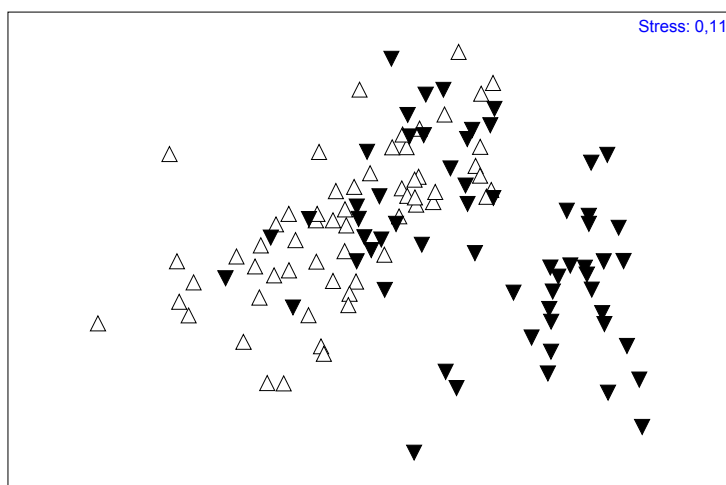


Figure 16. Ordination MDS des catégories benthiques majeures basées sur tous les relevés sur les pentes externes.
Saint-Leu : Δ ; La Saline : $\blacktriangledown$.

A la Saline, les trois niveaux de protection sont tous différents (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,521$; $P = 0,001$; Annexe II.8). Les gazons algaux constituent la catégorie benthique la plus représentée mais présente des taux de recouvrement différents entre les trois niveaux de protection, plus élevé hors réserve (48 %) et dans le sanctuaire (41 %). Les coraux sont ensuite les mieux représentés, avec le taux le plus élevé dans la réserve et hors réserve et, paradoxalement le plus faible dans le sanctuaire (Figure 17A), le complément y étant occupé par les substrats durs sans algues dressées (Figure 17B) et les substrats couverts de macroalgues (*cf.* Boîte 2). En d'autres termes, la zone sanctuaire sur la pente externe de la Saline se démarque des autres zones avec un taux de recouvrement de coraux durs très faible ($TR_{\text{moy} - \text{réserve}} = 24,7$; $TR_{\text{moy} - \text{hors réserve}} = 22,8$; $TR_{\text{moy} - \text{sanctuaire}} = 9,1$; ANOVA, $F_{2,57} = 19,76$; $P = 0,000$).

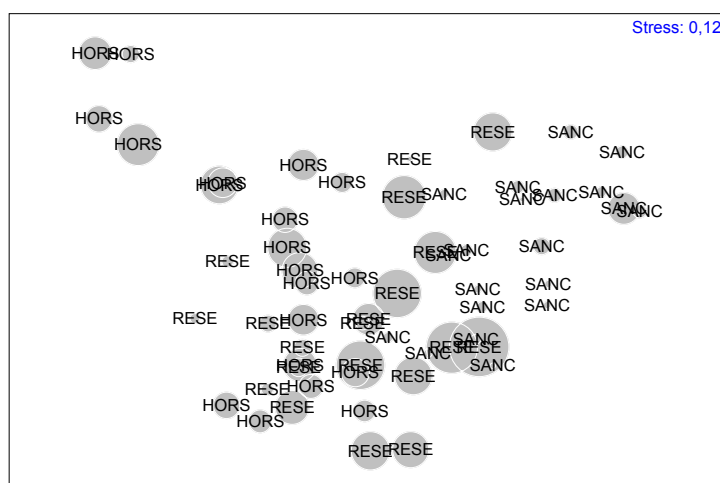


Figure 17A. Pente externe de la Saline. Ordination MDS des catégories benthiques majeures. La taille des bulles représente la contribution relative de la catégorie « coraux » dans l'ordination des relevés. Noter sur la droite la faible représentation des coraux dans la zone sanctuaire.

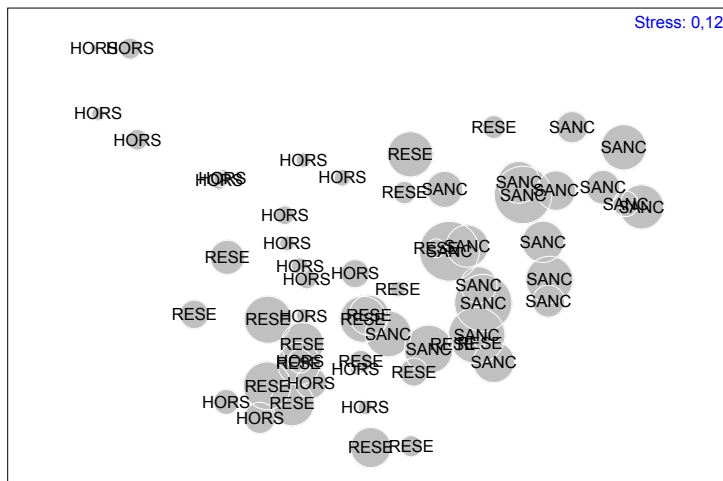


Figure 17B. Pentes externes de la Saline – Souris Blanche. Ordination MDS des catégories benthiques majeures. La taille des bulles représente la contribution relative de la catégorie « substrats durs sans algues dressés » dans l'ordination des relevés. Noter que cette catégorie est bien représentée dans le sanctuaire et les zones de réserve.

A Saint-Leu, les gazons algaux représentent la catégorie benthique la plus abondante dans le sanctuaire (46 %) tandis qu'ils occupent plus ou moins les mêmes superficies que les coraux dans les autres zones (33 – 37 %). Les coraux y sont les moins abondants dans le sanctuaire (Figure 18) mais la différence est moins marquée qu'à la Saline ($TR_{\text{moy}} - \text{sanctuaire} = 23,7$; $TR_{\text{moy}} - \text{réserve} = 36,8$; $TR_{\text{moy}} - \text{hors réserve} = 33,4$; ANOVA, $F_{2,57} = 9,71$; $P = 0,000$). Par ce fait, le sanctuaire se distingue des deux autres zones, qui sont plus homogènes entre elles (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,265$; $P = 0,001$; Annexe II.9).

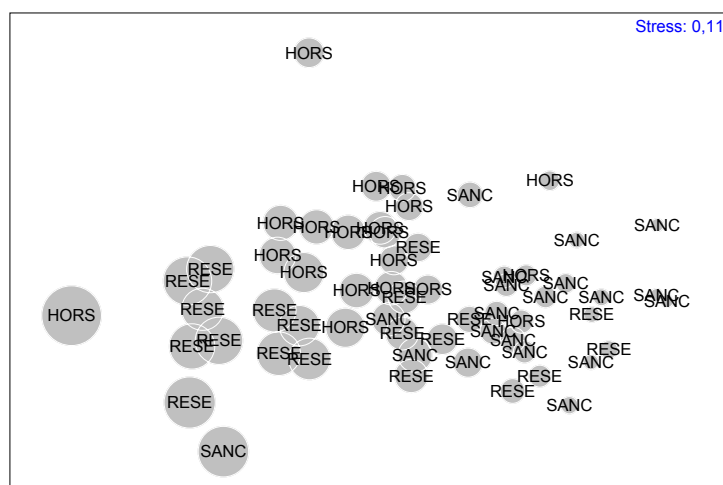


Figure 18. Pente externe de Saint-Leu. Ordination MDS des catégories benthiques majeures. La taille des bulles représente la contribution relative de la catégorie « coraux » dans l'ordination des relevés. Noter leur faible contribution dans le sanctuaire, à droite de ce diagramme.

V.3 Richesse taxonomique du benthos

La répartition des espèces (Scleractinia, Milleporidae, Octocorallia, autres organismes sessiles et macroalgues) et la richesse taxonomique organisées par zone géomorphologique, secteur et station sont précisées en tableau 6 (tableau de base de présence). Les mêmes paramètres, organisés par zone géomorphologique, secteur et niveau de protection, sont également précisés en annexe III. Les richesses taxonomiques totales sont synthétisées par niveau de protection dans le tableau 7.

Tableau 6. Répartition des espèces benthiques sessiles et richesse taxonomique par zone géomorphologique, secteur et station (tableau de base de présence).

Zone géomorphologique Secteur Station	PLATIER											PENTE EXTERNE														
	La Saline				Saint-Leu							La Saline					Saint-Leu									
	VIL	SAN	SAS	KAB	COR	VAN	VAS	KIO	CIM	MAR	COP	SAN	SAS	IGE	SBN	SBS	APO	VAN	VAS	KIO	CIM	MAR				
ESPECE																										
SCLERACTINIA																										
Acropora abrotanoides					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
Acropora cf. arabensis *						1	1	1		1																
Acropora austera ¹					1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1				
Acropora botryodes												1														
Acropora digitifera fin	1				1	1	1	1																		
Acropora digitifera obèse								1																		
Acropora florida												1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Acropora gemmifera	1	1	1	1	1	1	1	1																		
Acropora humilis												1														
Acropora muricata	1	1	1	1	1	1	1		1	1																
Acropora tenuis	1	1	1	1																						
Acropora cf. valida												1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1		
Acropora sp.1 *						1																				
Acropora sp.	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1				
Astreopora myriophthalma					1																					
Astreopora sp.												1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Montipora circumvallata	1	1	1	1	1																					
Montipora efflorescens *												1														
Montipora grisea *								1																		
Montipora cf. millepora *												1	1	1	1	1										
Montipora mollis*												1														
Montipora monasteriata *	1				1							1	1													
Montipora tuberculosa								1	1																	
Montipora turgescens *								1	1		1	1			1											
Montipora undata *								1																		
Montipora venosa	1			1							1	1	1	1	1	1										
Montipora sp.	1				1							1	1	1	1	1	1									
Gardineroseris planulata												1	1			1										
Leptoseris mycetoseroides	1			1	1	1																				
Pavona cactus	1	1	1																							
Pavona duerdeni *	1					1							1			1										
Pavona explanulata												1														
Pavona frondifera	1	1	1	1		1	1	1																		
Pavona varians	1				1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1				
Pavona venosa *	1							1	1	1																
Pavona sp.	1							1																		
Turbinaria sp.												1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1		
Cyphastrea chalcidicum												1														
Cyphastrea sp.	1												1			1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Echinopora gemmacea								1		1																
Echinopora sp.												1														
Favia favius								1			1	1	1	1	1											
Favia matthaii	1							1			1			1	1	1										
Favia pallida	1				1								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Favia rotumana	1				1											1										
Favia speciosa	1											1	1	1	1	1	1	1	1		1	1				
Favia stelligera	1											1	1		1											
Favia sp.	1											1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Faviidae sp.	1				1							1			1			1	1	1	1	1	1			
Favites abdita	1				1											1	1	1								
Favites complanata	1				1											1	1	1	1	1						
Favites flexuosa	1											1			1		1									
Favites pentagona	1											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Favites peresi	1							1											1	1		1	1			
Favites vasta *	1											1			1		1									
Favites sp.	1											1			1		1									
Goniastrea pectinata	1											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Goniastrea sp.	1											1			1											
Leptastrea pruinosa *	1											1			1	1	1	1								
Leptastrea transversa	1											1			1		1									
Leptastrea sp.	1											1			1		1									

<i>Leptoria phrygia</i>					1	1					1	1	1		1		1	1	1	1		
<i>Montastrea curta</i>											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
<i>Montastrea</i> sp.													1				1					
<i>Oulophyllia crispa</i>																	1					
<i>Platygyra daedalea</i>					1			1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
<i>Platygyra pini</i>						1					1		1	1			1	1	1	1		
<i>Platygyra</i> sp.													1				1			1		
<i>Plesiastrea versipora</i>											1						1					
<i>Fungia scutaria</i>														1	1							
<i>Fungia</i> sp.				1	1																	
<i>Hydnophora exesa</i>											1			1	1	1	1					
<i>Hydnophora microconos</i>												1			1		1					
<i>Hydnophora</i> sp.																	1					
<i>Acanthastrea echinata</i>								1				1			1	1	1	1	1	1		
<i>Acanthastrea</i> sp.								1			1	1					1	1				
<i>Lobophyllia corymbosa</i>																				1		
<i>Galaxea fascicularis</i>											1	1	1	1	1	1	1	1		1		
<i>Echinophyllia aspera</i>												1	1		1				1			
<i>Echinophyllia echinata</i> *															1		1	1		1		
<i>Echinophyllia</i> sp.												1				1		1		1		
<i>Pocillopora damicornis</i>	1	1	1	1		1	1	1								1		1	1	1		
<i>Pocillopora eydouxi</i>								1		1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
<i>Pocillopora meandrina</i>								1										1				
<i>Pocillopora verrucosa</i>				1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
<i>Pocillopora</i> sp.							1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		
<i>Stylocoeniella guenterii</i>															1							
<i>Stylocoeniella</i> sp.	1	1																				
<i>Goniopora savignyi</i> *																				1		
<i>Goniopora</i> sp.	1													1	1	1			1	1		
<i>Porites australiensis</i> * 2																	1					
<i>Porites lutea</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
<i>Porites nigrescens</i>	1	1	1				1	1	1	1												
<i>Porites rus</i>	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		
<i>Porites solida</i>					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
<i>Porites</i> sp.			1		1	1	1		1			1		1		1	1			1		
<i>Coscinaraea monile</i>							1					1	1	1		1	1	1		1		
<i>Psammocora contigua</i>				1	1			1	1													
<i>Psammocora profundacella</i>						1	1				1	1	1	1	1	1	1	1		1		
<i>Psammocora</i> sp.							1			1								1	1			
<i>Scleractinia</i> sp.				1		1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Richesse taxonomique	10	14	14	16	18	21	27	30	22	20	36	39	39	47	49	47	56	49	52	54	37	56
MILLEPORIDAE																						
<i>Millepora dichotoma</i>							1	1	1													
<i>Millepora exaesa</i>	1			1	1		1	1	1								1	1	1	1		
<i>Millepora platyphylla</i>								1	1	1	1						1	1	1		1	
<i>Millepora</i> sp.				1					1	1									1	1		
Richesse taxonomique	1	0	2	1	0	2	3	4	1	2	1	0	0	0	0	0	2	2	2	3	1	1
OCTOCORALLIA																						
<i>Cladiella</i> sp.																					1	
<i>Dendronephthya</i> sp.						1					1			1		1		1	1		1	
Gorgonid sp.												1										
<i>Lobophytum</i> sp.						1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Sarcophyton</i> sp.						1					1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	
<i>Sinularia</i> sp.					1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Alcyonaceae																					1	
Richesse taxonomique	0	0	0	0	1	4	0	0	0	1	4	4	4	3	2	4	3	4	4	4	4	5
AUTRES ORG. SESSILES																						
Ascidian	1				1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Corallimorpharian																				1		
<i>Echinostrephus</i> cf. <i>aciculatus</i>					1		1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Palythoa</i>								1	1		1	1	1			1					1	
Sabellidae																			1			
Serpulidae																		1			1	
Tridacna														1							1	
Zoanthidae sp.				1	1						1											
Richesse taxonomique	1	0	1	1	2	1	1	2	2	2	4	3	3	3	2	3	2	2	3	3	3	13

La comparaison des stations les plus diversifiées en Scléractiniaires des deux secteurs, « Kabanon » à la Saline et « Kiosques » à Saint-Leu, montre que cette dernière station abrite presque deux fois plus d'espèces que la première (Tableau 6). En effet, les stations Varangue Sud et Kiosque abritent une diversité exceptionnelle pour les platiers de la Réunion (27 et 30 espèces respectivement) et y augmentent la diversité recensée dans le sanctuaire et dans la réserve. Inversement, la partie hors réserve de la pente externe de la Saline (Souris Blanche) est beaucoup plus diversifiée en Scléractiniaires que la partie des deux niveaux de protection en réserve.

Ces résultats sont confirmés par une analyse de la richesse taxonomique des Scléractiniaires par transect (Figure 19). Une ANOVA montre des différences statistiquement significatives. La diversité des Scléractiniaires dans les transects sur les platiers de Saint-Leu est plus élevée qu'à la Saline (ANOVA, $F_{1,98} = 27,12$; $P = 0,00$). Sur les pentes externes, les transects dans le sanctuaire du secteur de la Saline-Souris Blanche se démarquent par une richesse taxonomique plus faible que la moyenne. En revanche, la diversité des Scléractiniaires est plus élevée dans les transects des zones sanctuaire et réserve à Saint-Leu (ANOVA, secteur : $F_{1,114} = 30,18$; $P = 0,000$; niveau de protection : $F_{2,114} = 2,2$; $P = 0,085$; interaction secteur x niveau de protection : $F_{2,114} = 7,90$; $P = 0,001$; Figure 19).

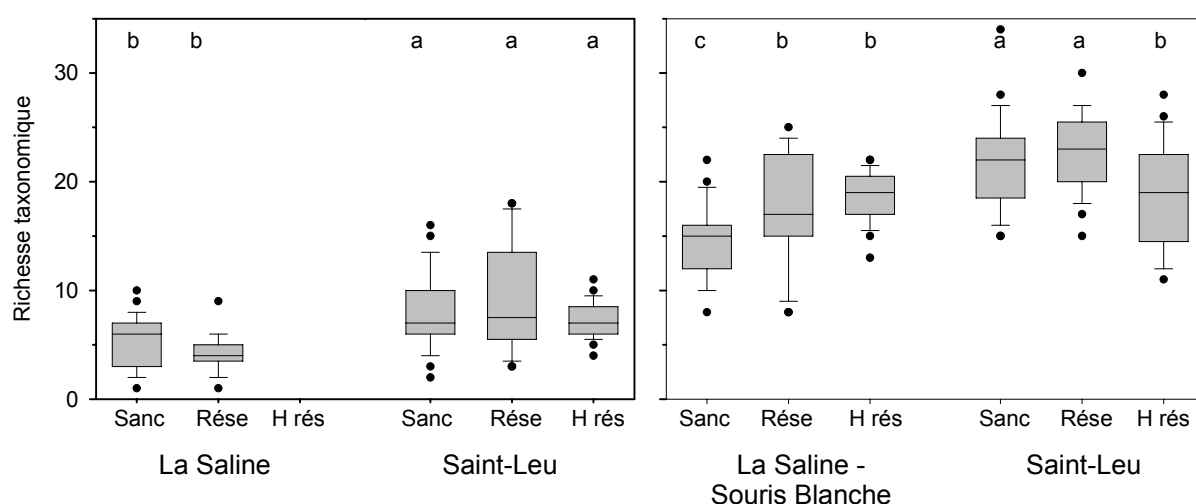


Figure 19. Richesse taxonomique des coraux durs par transect de 10 m. Différentes lettres indiquent des différences significatives. A gauche, les platiers internes ; à droite, les pentes externes.

Boîte 2. Relation macroalgues et diversité corallienne : sonnette d'alarme d'une dégradation ?

Une relation inverse entre la diversité corallienne et l'abondance des macroalgues dressées est observée sur les pentes externes récifales des deux secteurs de la Saline-Souris Blanche et de Saint-Leu ($r^2 = 0,242$, $P = 0,000$; Figure 20A). L'agencement des données du Nord au Sud montre que le taux de recouvrement des macroalgues est plus élevé sur le secteur de la Saline-Souris Blanche qu'à Saint-Leu et que ces taux sont les plus élevés à proximité de la passe de l'Hermitage (station Copacabana). Inversement, la diversité corallienne par transect augmente à la Saline-Souris Blanche selon un gradient allant du Nord au Sud. A Saint-Leu, sur toutes les stations, le taux de recouvrement en macroalgues est faible et la diversité corallienne élevée (Figure 20B).

Ces caractéristiques des peuplements sur le récif de la Saline - Souris Blanche reflètent-elles un changement ou « shift » dans les communautés benthiques en réponse à des modifications du milieu favorisant le développement des macroalgues au détriment des coraux ? Des zones localisées de résurgence naturelle de la nappe phréatique (natural groundwater discharge) ont été mises en évidence aux alentours de la passe de l'Hermitage (Join *et al.* 1988 ; Chabanet *et al.* 1996). Ces résurgences apportent-elles des éléments nutritifs favorisant le développement des macroalgues, leur effet s'estompant par dilution dans la masse d'eau avec l'éloignement de ces points sources ? S'agit-il d'une empreinte des effets de l'urbanisation sur les pentes externes du récif de la Saline-Souris Blanche ? Des analyses complémentaires sont aujourd'hui conduites pour répondre à ce questionnement.

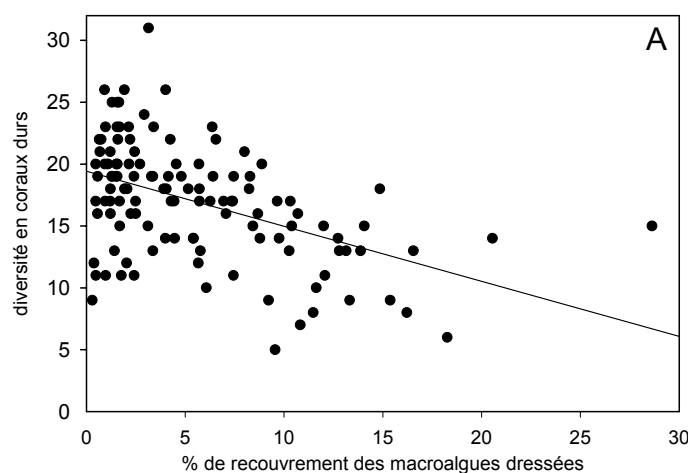


Figure 20A. Relation inverse entre la diversité corallienne et l'abondance des macroalgues sur les pentes externes des récifs de la Saline - Souris Blanche et de Saint-Leu ($R^2 = 0,242$, $P = 0,000$).

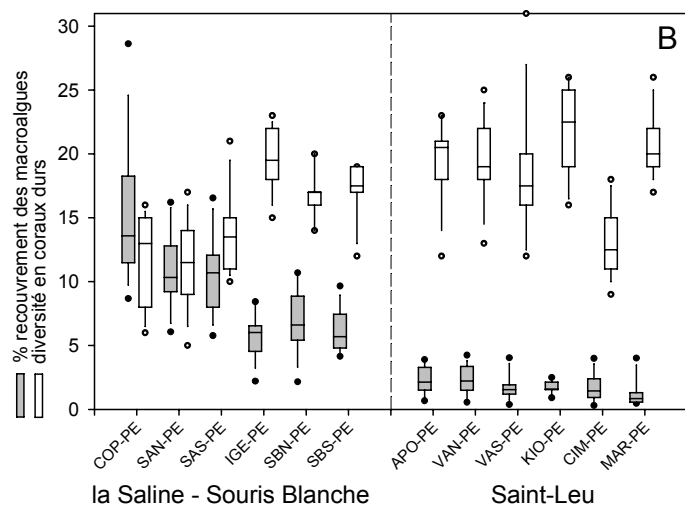


Figure 20B. Détail par récif, la Saline-Souris Blanche à gauche, Saint-Leu à droite, avec une présentation des stations du Nord au Sud.

V.4 Analyse des communautés coralliennes

Les communautés coralliennes concernent ici les Scleractinia et les Milleporidae, sans les Alcyonacea. Il s'agit en fait des « coraux durs » des anglosaxons. L'analyse multivariée des communautés coralliennes, après transformation des taux de recouvrement par racine carrée, basée sur les moyennes des stations, révèle un regroupement en trois grandes unités : 1) les sites des platiers de la Saline qui, très homogènes entre eux (52 % en moyenne), montrent une très forte dissimilarité (87 %) avec les autres sites ; 2) les sites des platiers de Saint-Leu, qui sont dissimilaires (73 %) à tous les sites de pentes externes et relativement peu similaires entre eux (31 % en moyenne), et finalement 3) tous les sites de pente externe, qui ont une similarité de 47 % entre eux (Figures 21, 22).

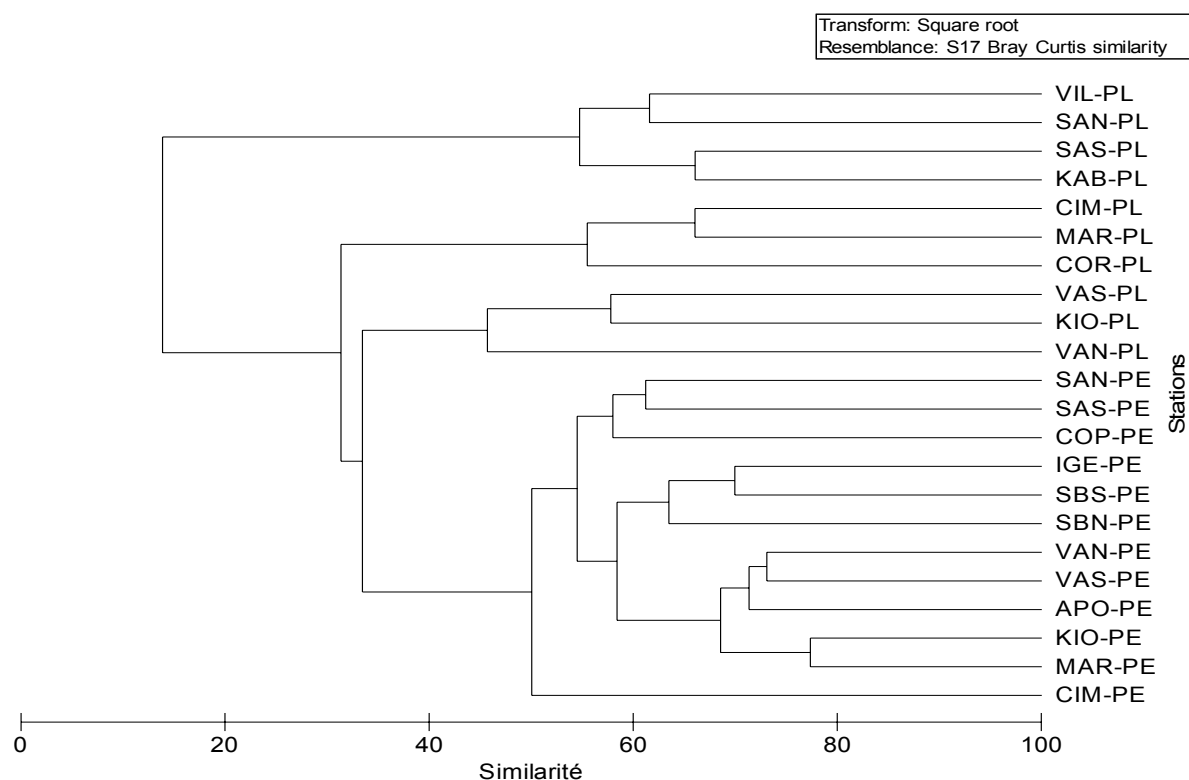


Figure 21. Dendrogramme des groupes « clusters » de communautés coralliennes en fonction de leurs similarités, basées sur la moyenne des relevés répliqués par station (PE : pente externe ; PL : platier).

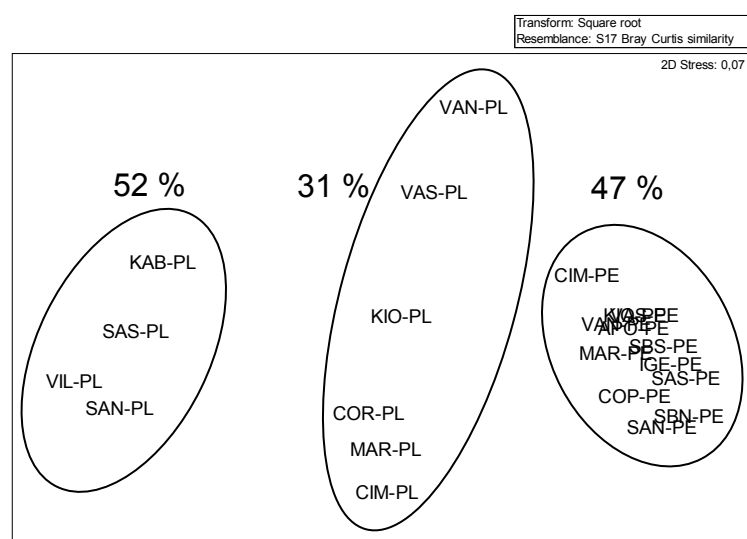


Figure 22. Ordination MDS des communautés coralliennes sur toutes les stations. Chaque point représente les valeurs moyennes par station. Le nombre précise la similarité moyenne entre les stations au sein de chaque groupe.

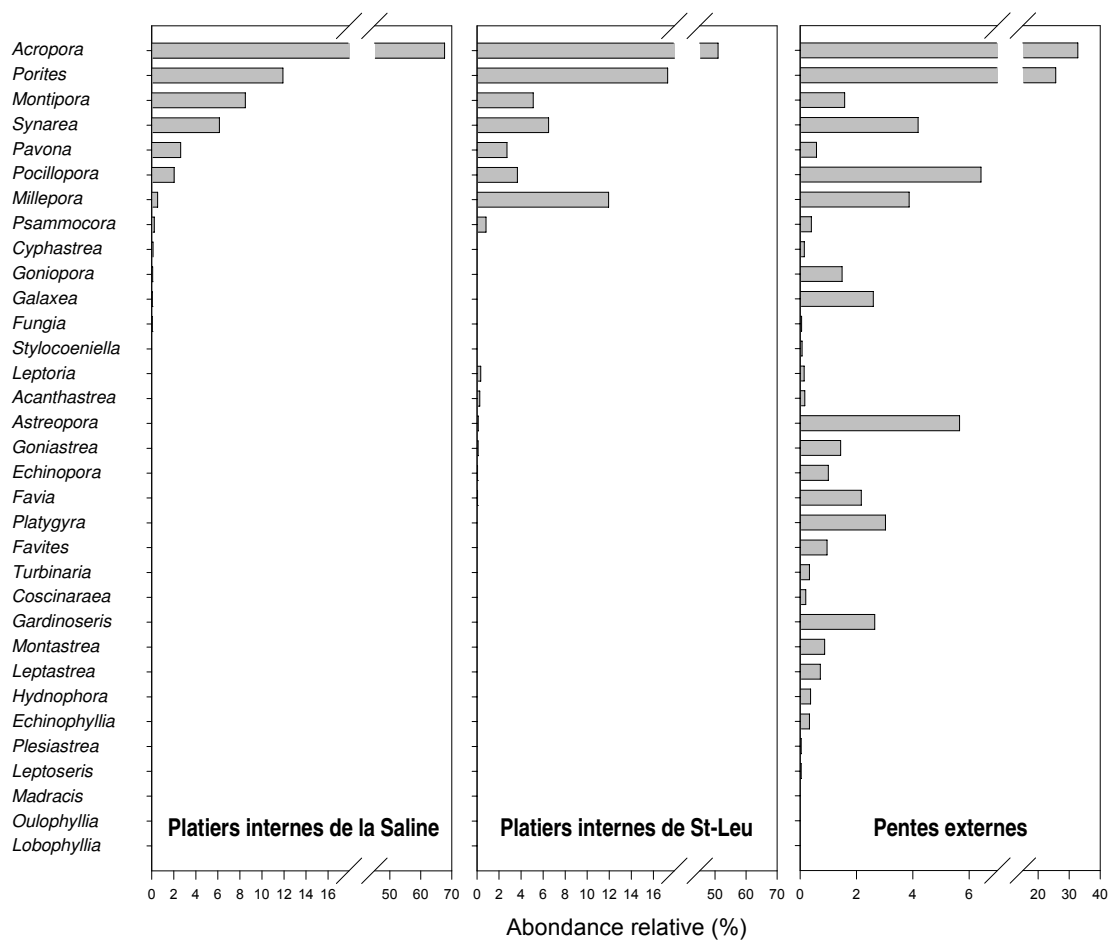


Figure 23. Abondance relative des genres de coraux Scléractiniaires dans les 3 unités majeures.

Le test ANOSIM montre que ces trois groupes sont fortement différenciés (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,939$; $P = 0,001$; Annexe IV.1). Les platiers de la Saline sont caractérisés par *Acropora muricata* (Figures 23, 24, 25), ceux de Saint-Leu par *Acropora abrotanoides* (Figures 23, 26, 27) et les pentes externes, à un moindre degré, par *Porites lutea* (Figure 27). Les taux de recouvrement des différentes espèces dans ces peuplements et leur contribution à la dissimilarité entre ces trois groupes sont détaillés en annexe IV.1).

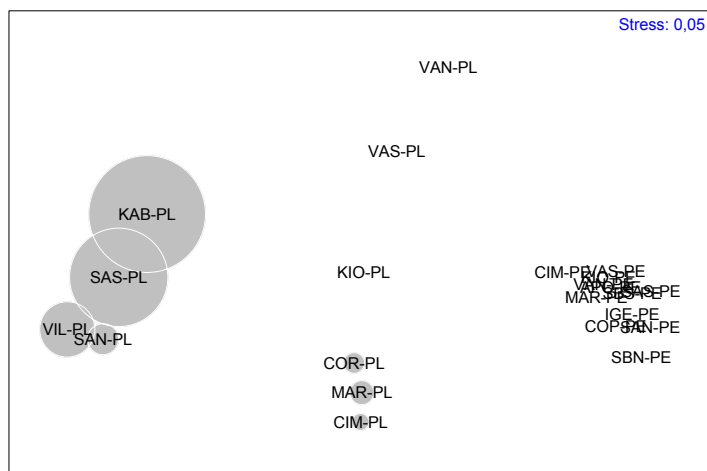


Figure 24. Ordination MDS des communautés coralliennes sur toutes les stations. Chaque point représente les valeurs moyennes par station ; la taille des bulles représente les taux de recouvrement relatifs en *Acropora muricata*.



Figure 25. Communauté corallienne à *Acropora muricata* sur le platier de la Saline au Petit trou d'eau (cliché du 7/11/2005). Notez les *Dascyllus aruanus*, poissons demoiselle associés à ce peuplement (crédit photo : H. Bruggemann).

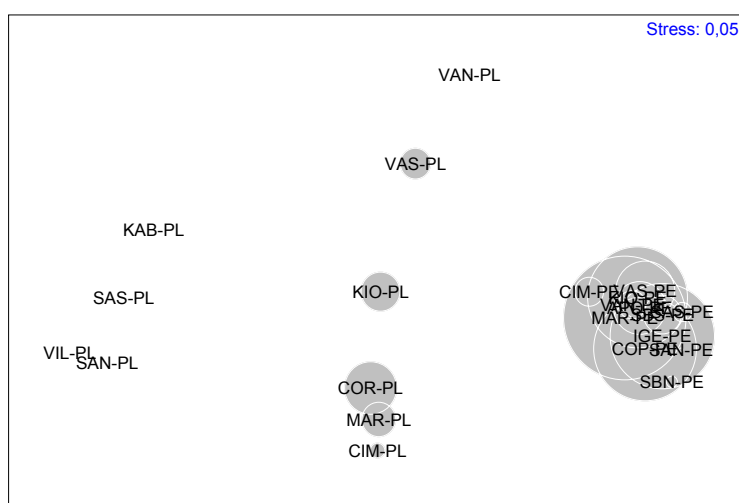


Figure 26. Ordination MDS des communautés coralliennes sur toutes les stations. Chaque point représente les valeurs moyennes par station ; la taille des bulles représente les taux de recouvrement relatifs en *Acropora abrotanoides*.



Figure 27. Communauté corallienne mixte à *Acropora abrotanoides* (arrière-plan gauche) et *Porites lutea* (premier plan) sur le platier de Saint-Leu à la station Kiosques (crédit photo : M. Guillaume).

Les communautés coralliennes sont détaillées grâce à une analyse au niveau des tansects. Les relevés sur le platier de la Saline sont plus similaires entre eux (32 %) que ceux des platiers de Saint-Leu entre eux (15 %). Les platiers des deux secteurs ont des communautés coralliennes très dissimilaires (91 %) (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,408$; $P = 0,001$; Annexe IV.2 ; Figure 28). Cette différence est principalement due à la différence en taux de recouvrement en

Acropora muricata (contribution de 35 %) et à un moindre niveau en *Porites nigrescens* (9 %), tous deux plus abondants à la Saline.

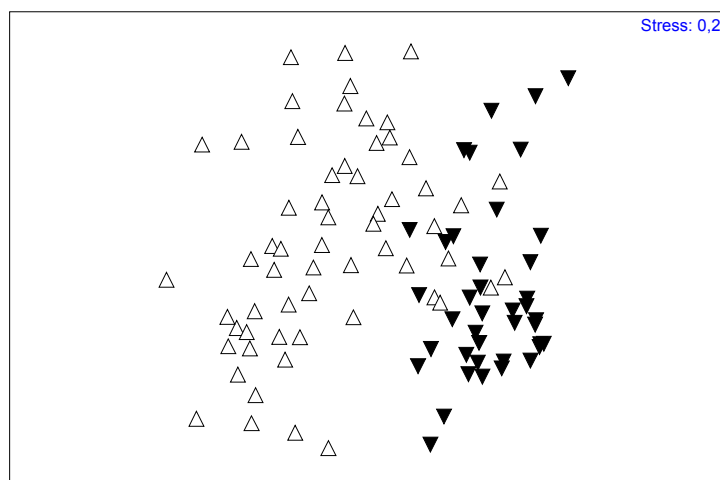


Figure 28. Ordination MDS des communautés coralliennes des platiers. Chaque point représente un transect.
Saint-Leu : Δ ; la Saline : ∇ .

Les comparaisons des communautés coralliennes par niveau de protection donnent des résultats différents sur les platiers de la Saline et sur ceux de Saint-Leu. Les communautés coralliennes des platiers sont peu différentes, mais significatives, entre les deux niveaux de protection à la Saline (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,095$; $P = 0,02$; Annexe IV.3). Au niveau des espèces, le sanctuaire abrite des peuplements moins abondants en *Acropora muricata* (13 contre 18% en zone de réserve) et *Porites nigrescens* (2 contre 4% en réserve), mais plus abondants en *Montipora circumvallata* (3 contre 2%) et *Porites (Synarea) rus* (3% contre < 1%) qu'en zone de réserve. *M. circumvallata* et *P. (S.) rus* sont caractéristiques de communautés de platier dégradé à la Réunion (Naim 2006).

En revanche, sur les platiers de Saint-Leu, les trois niveaux de protection présentent des communautés coralliennes remarquablement différentes (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,563$; $P = 0,001$; Annexe IV.4 ; Figure 29). Ce résultat est en accord avec les résultats présentés précédemment montrant la forte diversité corallienne (Figure 19, Tableau 6) et une forte hétérogénéité spatiale existant sur les platiers de Saint-Leu (Figure 15). Les zones sanctuaires présentent des taux de recouvrement plus élevés en *Porites lutea* (~6%, Figure 25) que les autres niveaux de protection ; les taux de recouvrement en sables et débris fins y sont les plus élevés (Figure 15). Les zones de réserve ont des taux plus élevés en *Acropora valida* (5%) et en *A. abrotanoides* (4%) alors que les taux de recouvrement en *A. muricata* (4%) et *Millepora platyphylla* (4%) sont plus élevés en dehors de la réserve (Annexe IV.4).

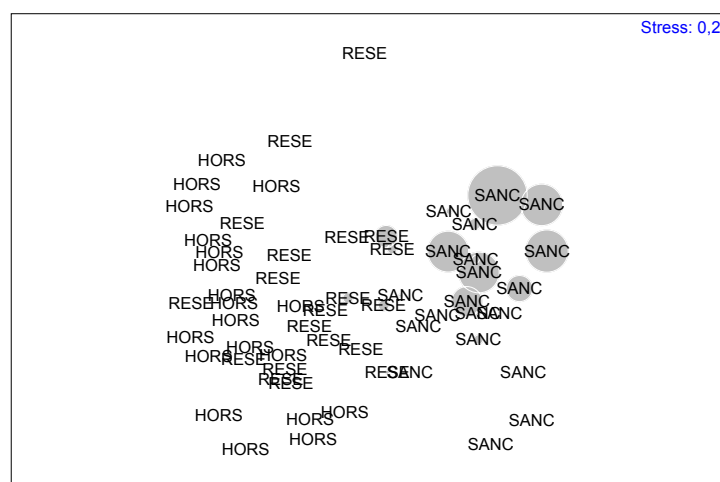


Figure 29. Platiers de Saint-Leu. La taille des bulles reflète l'importance relative de *Porites lutea*.

Sur les pentes externes, les relevés à la Saline sont légèrement

moins similaires entre eux (28 %) que ceux de Saint-Leu (36 %) (Figure 30). Ces résultats sont à l'inverse des observations sur les platiers. Globalement, dans l'ensemble des comparaisons entre zones géomorphologiques et secteurs, ce sont les relevés sur les platiers de Saint-Leu qui se démarquent par leur faible similarité entre eux (15 %).

Les communautés coralliennes sur les pentes externe de la Saline - Souris Blanche sont aussi significativement différentes de celles de Saint-Leu (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,313$; $P = 0,001$; Annexe IV.5 ; Figure 30). Les espèces contribuant principalement à cette différences sont *Porites lutea* et *Acropora abrotanoides* qui toutes deux ont un taux de recouvrement supérieur à Saint-Leu (10 et 5% respectivement).

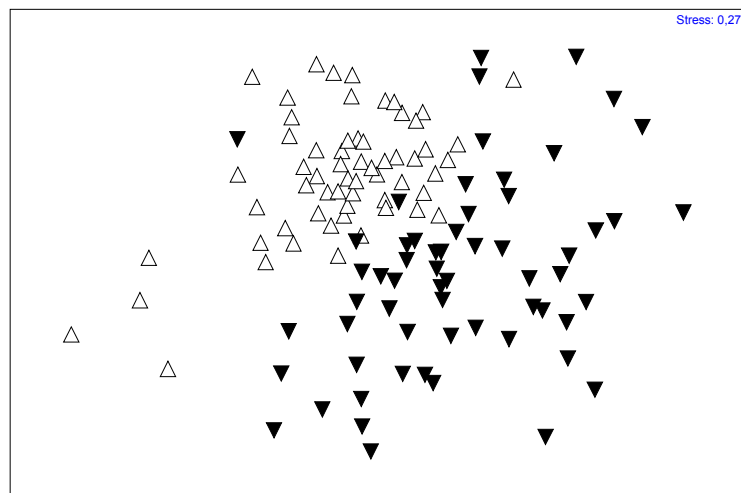


Figure 30. Ordination MDS des communautés coralliennes des pentes externe.
Saint-Leu : Δ ; La Saline : ▼.

Sur les pentes externes de la Saline – Souris Blanche, des différences significatives existent entre les différents niveaux de protection, mais restent faibles (ANOSIM $R_{\text{global}} = 0,238$; $P = 0,001$; Annexe IV.6 ; Figure 31). Ce résultat semble être dû principalement à la présence d'espèces ubiquistes et au faible taux de recouvrement de toutes les espèces de coraux, surtout dans le sanctuaire (~9 %) en comparaison avec les autres niveaux de protection.

Dans le sanctuaire, les espèces qui contribuent le plus à l'assemblage corallien sont *Porites lutea*, *Pocillopora verrucosa* et *Acropora abrotanoides* et, ensemble, représentent moins de 4 % du recouvrement benthique. En zone de réserve, *Acropora abrotanoides* et *Porites lutea* dominent et occupent ensemble 11 % des substrats. Hors réserve, *Astreopora myriophthalma*, *Porites lutea*, *Pocillopora verrucosa* et *Galaxea fascicularis* caractérisent la communauté corallienne de cette zone, occupant ~8 % du fond récifal (Annexe 4.6).

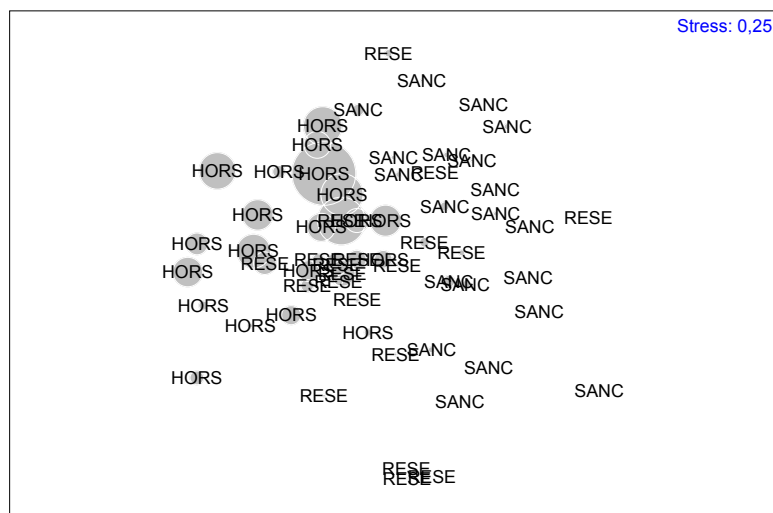


Figure 31. Pente externe de la Saline - Souris Blanche. La taille

des bulles reflète l'importance relative d'*Astreopora myrioph-thalma*.

Comme à la Saline - Souris Blanche, sur les pentes externes à Saint-Leu, il existe des différences faibles mais significatives entre les trois niveaux de protection (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,211$; $P = 0,001$; Annexe IV.7). Ce résultat repose essentiellement sur trois espèces ubiquistes dont l'abondance diffère entre les différentes zones. Ainsi, les communautés coralliennes des trois niveaux de protection sont caractérisées par une dominance d'*Acropora abrotanoides* (4 à 6 % de taux de recouvrement, Figure 32A) et de *Porites lutea* (6 à 13 %, Figure 32B), tandis que certains transects de la zone hors réserve sont dominés par *Porites (Synarea) rus* (Figure 32C), notamment à la station Cimetière.

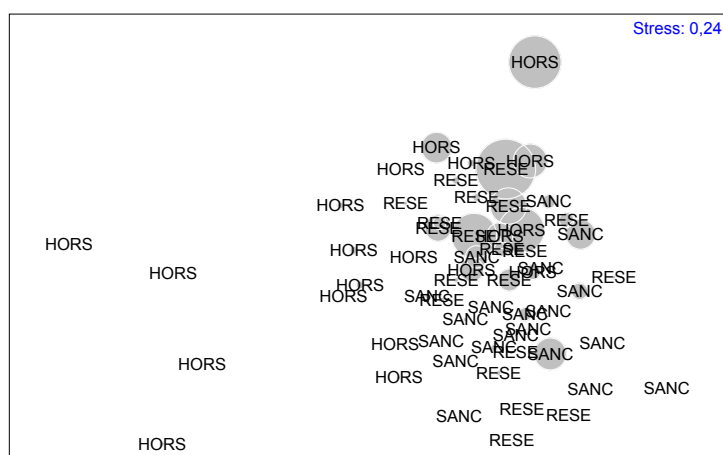


Figure 32A. Pentes externes de Saint-Leu. La taille des bulles reflète l'importance relative d'*Acropora abrotanoides*.

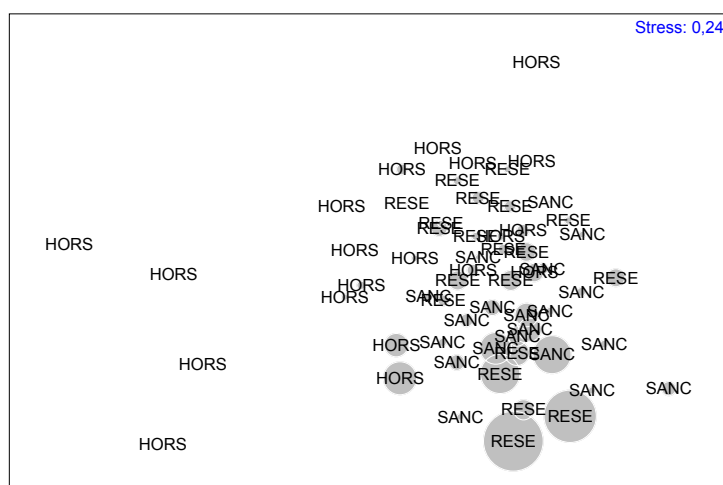


Figure 32B. Pentes externes de Saint-Leu. La taille des bulles reflète l'importance relative de *Porites lutea*.

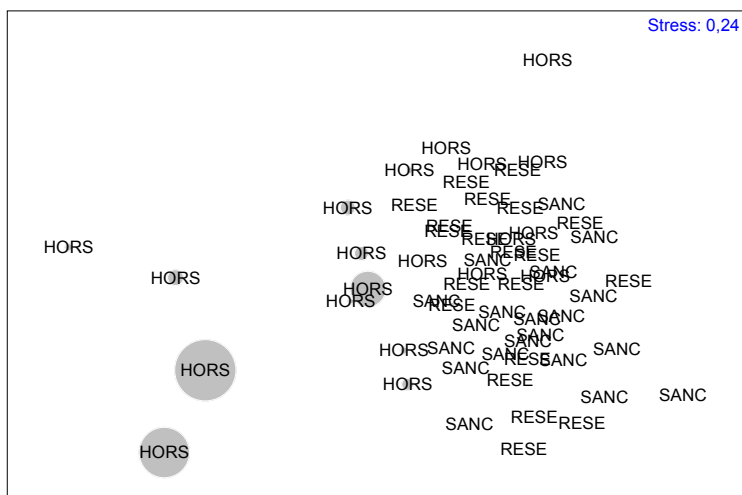


Figure 32C. Pentes externes de Saint-Leu. La taille des bulles reflète l'importance relative de *Porites (Synarea) rus*.

VI. ETAT INITIAL DES PEUPELEMENTS ICTHYOLOGIQUES

VI.1 Effort d'échantillonnage

Les courbes cumulatives des espèces répertoriées en fonction du nombre de transects montrent que l'asymptote n'est nulle part atteinte avec l'effort d'échantillonnage adopté (Figure 33). Comme pour les peuplements benthiques, l'effort d'échantillonnage, déjà très élevé et au caractère exceptionnel, n'a pas permis de dresser un inventaire exhaustif de la diversité spécifique en poissons.

L'analyse comparative de ces courbes suscite trois observations principales (Figure 33) :

- 1) le platier interne de la Saline se démarque par sa faible richesse spécifique. Malgré un échantillonnage plus faible (4 stations au lieu de 6, en raison de l'absence de platier à la Souris Blanche), la courbe présente le profil le plus proche de l'asymptote ;
- 2) les platiers internes de Saint-Leu présentent une richesse spécifique voisine de celle des pentes externes des deux secteurs, contrastant avec les résultats des peuplements benthiques pour lesquels la richesse spécifique est beaucoup plus élevée sur les pentes externes ;
- 3) les pentes externes à Saint-Leu sont légèrement plus riches en espèces de poissons que celles de la Saline – Souris Blanche.

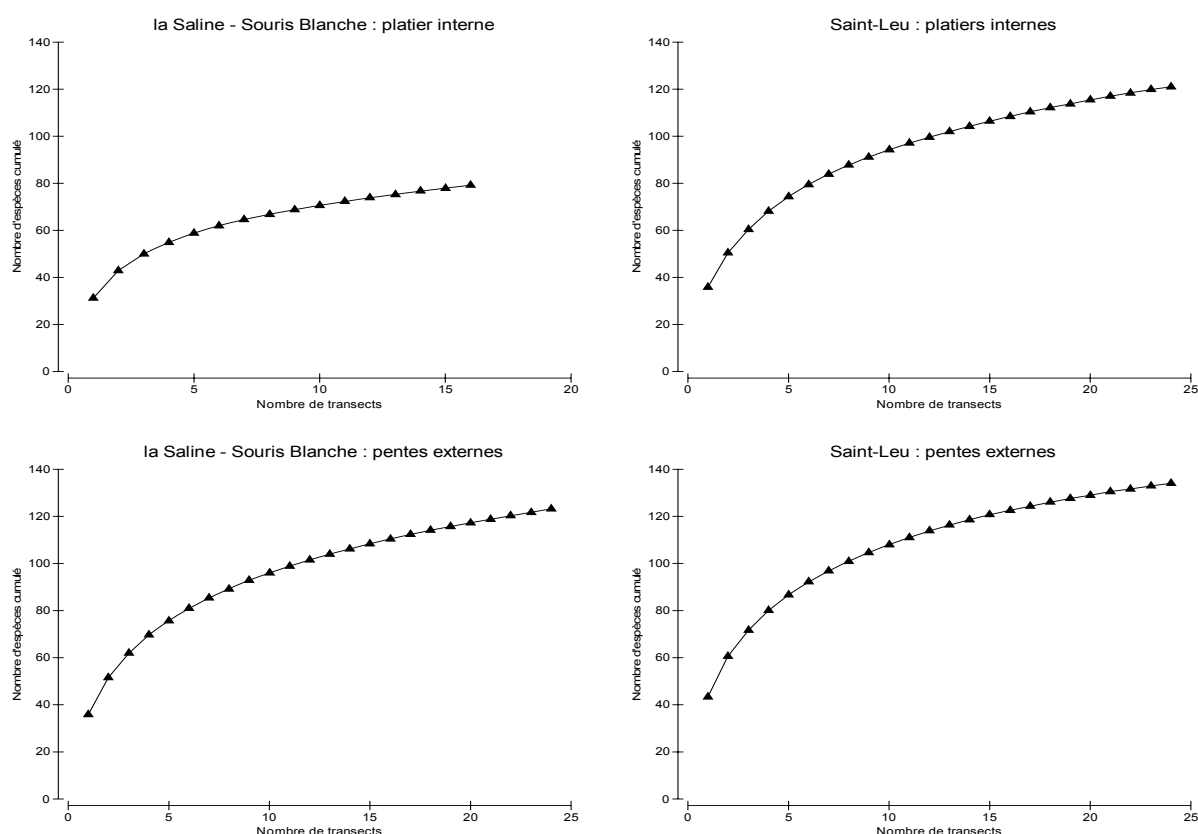


Figure 33. Courbes aire-espèce : nombre d'espèces cumulé en fonction du nombre de transects à dimension fixe effectués par zone géomorphologique et par secteur. Les échelles des ordonnées sont identiques.

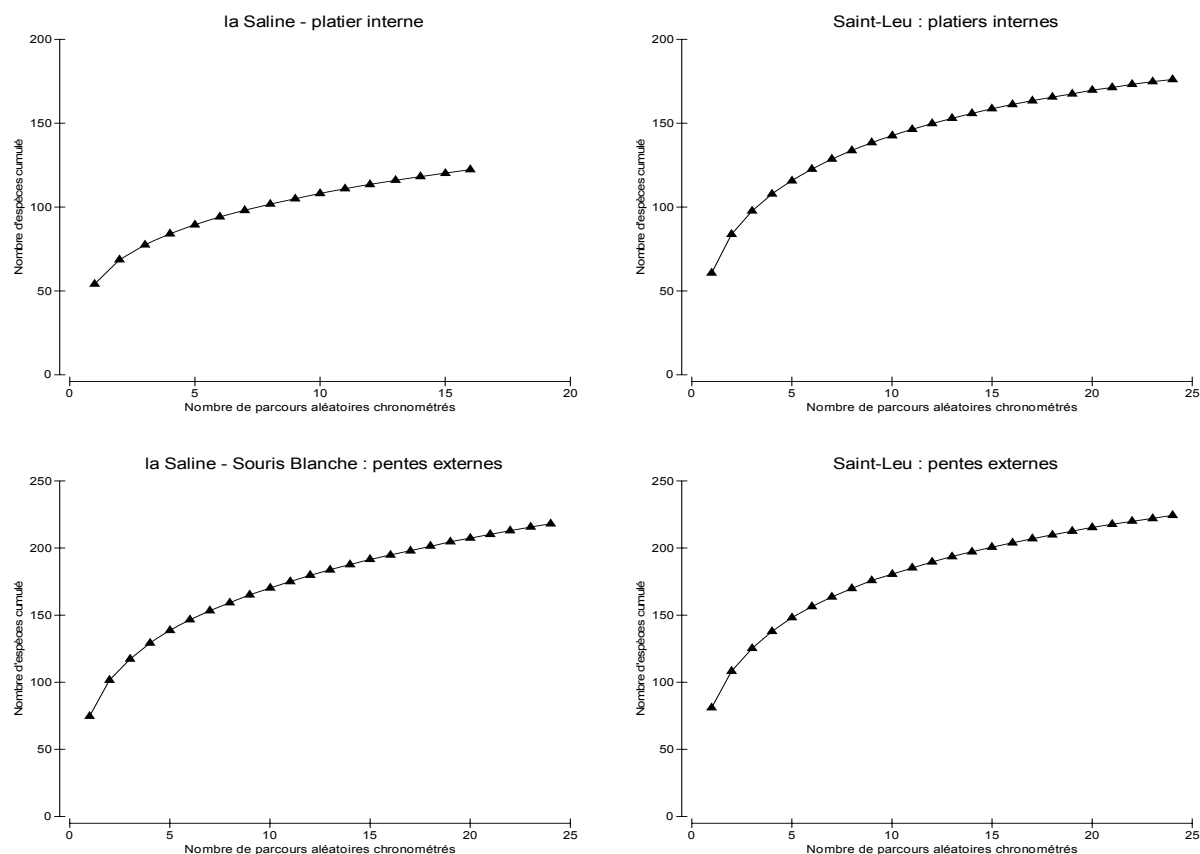


Figure 34. Courbes aire-espèce : nombre d'espèces cumulé en fonction du nombre de parcours aléatoires chronométrés effectués par zone géomorphologique et par secteur. Les échelles des ordonnées des courbes du haut sont différentes de celles du bas.

Les courbes aire-espèces dressées à partir des parcours aléatoires chronométrés sont présentées dans la figure 34. Avec cette méthode, *in fine*, le nombre d'espèces est supérieur à celui obtenu avec les transects de dimension fixe. Les pentes externes des deux secteurs sont plus diversifiées que les platiers. En accord avec les autres résultats, le platier de la Saline reste comparativement pauvre en espèces.

VI.2 Richesse taxonomique ichtyologique

La répartition des espèces de poissons est précisée dans le tableau 8. Ce tableau de base de présence rassemble 327 espèces de poissons, identifiées spécifiquement pour plus de 300 d'entre elles, appartenant à 40 familles. Les données y sont organisées afin de permettre une comparaison entre les deux méthodes de comptage, pour chaque niveau de protection, secteur et zone géomorphologique. Les richesses taxonomiques totales sont synthétisées au bas de ce tableau. La richesse spécifique est globalement comparable entre les trois niveaux de protection, tant sur les platiers que les pentes externes.

Tableau 8. Répartition des espèces de poissons par zone géomorphologique, secteur, niveau de protection et méthode de comptage (tableau de base de présence).
Sanc : sanctuaire ; Rés : réserve ; H Rés : Hors réserve ; TR : transect à dimension fixe ; PA : parcours aléatoire chronométré.

Zone géomorphologique : Secteur : Niveau de protection : Méthode de comptage :		Platiers internes										Pentes externes													
		La Saline					Saint-Leu					La Saline - Souris Blanche						Saint-Leu							
		Sanc		Rés			Sanc		Rés			H Rés		Sanc		Rés		H Rés		Sanc		Rés		H Rés	
		TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA
Famille	Espèce																								
Acanthuridae	<i>Acanthurus</i> cf. <i>bariene</i>																								
Acanthuridae	<i>Acanthurus blochii</i>																								
Acanthuridae	<i>Acanthurus dussumieri</i>																								
Acanthuridae	<i>Acanthurus leucosternon</i>																								
Acanthuridae	<i>Acanthurus nigricauda</i>																								
Acanthuridae	<i>Acanthurus nigrofuscus</i>																								
Acanthuridae	<i>Acanthurus polyzona</i>																								
Acanthuridae	<i>Acanthurus tennentii</i>																								
Acanthuridae	<i>Acanthurus thompsoni</i>																								
Acanthuridae	<i>Acanthurus triostegus</i>																								
Acanthuridae	<i>Acanthurus</i> sp.																								
Acanthuridae	<i>Ctenochaetus striatus</i>																								
Acanthuridae	<i>Ctenochaetus strigosus</i>																								
Acanthuridae	<i>Naso brachycentron</i>																								
Acanthuridae	<i>Naso brevirostris</i>																								
Acanthuridae	<i>Naso elegans</i> (ex <i>N. lituratus</i>)																								
Acanthuridae	<i>Naso hexacanthus</i>																								
Acanthuridae	<i>Naso lituratus</i>																								
Acanthuridae	<i>Naso minor</i>																								
Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>																								
Acanthuridae	<i>Naso</i> sp.																								
Acanthuridae	<i>Zebrasoma gemmatum</i>																								
Acanthuridae	<i>Zebrasoma scopas</i>																								
Acanthuridae	<i>Zebrasoma veliferum</i>																								
Apogonidae	<i>Apogon cookii</i>																								
Apogonidae	<i>Apogon</i> cf. <i>cyanosoma</i>																								
Apogonidae	<i>Apogon fraenatus</i>																								

Apogonidae	<i>Apogon kallopterus</i>	1	1		1		1			1				1						1
Apogonidae	<i>Apogon</i> sp.		1	1							1									1
Apogonidae	<i>Cheilodipterus</i> sp.											1								
Aulostomidae	<i>Aulostomus chinensis</i>		1	1	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1
Balistidae	<i>Balistapus undulatus</i>				1		1					1	1							1
Balistidae	<i>Balistoides conspicillum</i>											1	1							
Balistidae	<i>Balistoides viridescens</i>						1					1	1							1
Balistidae	<i>Rhinecanthus aculeatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1					1						
Balistidae	<i>Rhinecanthus rectangulus</i>					1	1	1	1	1	1		1	1	1	1				
Balistidae	<i>Sufflamen bursa</i>											1	1	1	1	1	1	1	1	1
Balistidae	<i>Sufflamen chrysopterus</i>											1	1	1	1	1			1	
Balistidae	<i>Sufflamen xanthopterus</i>																1			
Belonidae	<i>Belonidae</i> sp.						1				1									
Belonidae	<i>Stongylura</i> sp.									1										
Belonidae	<i>Thylosorus crocodilus crocodilus</i>									1										
Belonidae	<i>Tylosorus</i> sp.						1													
Blenniidae	<i>Aspidontus dussumieri</i>														1					
Blenniidae	<i>Aspidontus taeniatus</i>																	1	1	1
Blenniidae	<i>Cirripectes castaneus</i>					1				1	1	1	1	1	1					1
Blenniidae	<i>Cirripectes polyzona</i>									1				1						
Blenniidae	<i>Cirripectes</i> sp.				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1		1
Blenniidae	<i>Ecsenius lineatus</i>											1								
Blenniidae	<i>Ecsenius</i> sp.																	1		1
Blenniidae	<i>Exallias brevis</i>				1	1	1	1	1	1	1			1			1		1	1
Blenniidae	<i>Istiblennius</i> cf. <i>periophthalmus</i>									1										
Blenniidae	<i>Istiblennius</i> sp.		1				1			1										
Blenniidae	<i>Plagiotremus rhinorhynchus</i>											1								
Blenniidae	<i>Plagiotremus tapeinosoma</i>										1	1	1	1	1	1		1	1	
Caesionidae	<i>Caesio lunaris</i>											1	1	1			1			
Caesionidae	<i>Caesio teres</i>											1					1			
Caesionidae	<i>Pterocaesio tile</i>											1	1	1		1	1		1	1
Carangidae	<i>Caranx melampygus</i>						1						1						1	
Carangidae	<i>Decapterus macarellus</i>											1			1					
Chaetodontidae	<i>Chaetodon auriga</i>	1	1	1	1	1	1	1	1			1			1		1		1	
Chaetodontidae	<i>Chaetodon blackburni</i>														1					

Chaetodontidae	<i>Chaetodon guttatissimus</i>	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon kleinii</i>						1		1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon lineolatus</i>		1									1		1			1			1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon lunula</i>	1	1		1	1	1	1	1		1		1	1		1	1	1		1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon madagaskariensis</i>		1				1		1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon melannotus</i>	1	1		1				1			1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon meyeri</i>						1				1		1		1	1	1	1	1	1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon trifascialis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon trifasciatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon unimaculatus</i>						1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon vagabundus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon xanthocephalus</i>			1	1									1						
Chaetodontidae	<i>Chaetodon zanzibariensis</i>		1									1	1	1		1				1
Chaetodontidae	<i>Forcipiger flavissimus</i>															1	1	1	1	1
Chaetodontidae	<i>Forcipiger longirostris</i>											1		1	1	1	1	1		1
Chaetodontidae	<i>Hemitaurichthys zoster</i>														1	1		1	1	1
Chaetodontidae	<i>Heniochus monoceros</i>	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cirrhitidae	<i>Amblycirrhitus bimacula</i>											1		1						
Cirrhitidae	<i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>												1							
Cirrhitidae	<i>Cirrhitops fasciatus</i>											1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cirrhitidae	<i>Cirrhitus pinnulatus</i>						1			1	1	1								
Cirrhitidae	<i>Paracirrhites arcatus</i>					1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
Cirrhitidae	<i>Paracirrhites forsteri</i>					1	1		1			1	1	1		1	1	1	1	1
Clupeidae	<i>Clupeidae</i> sp.			1					1											
Diodontidae	<i>Chilomycterus reticulatus</i>																		1	
Fistulariidae	<i>Fistularia commersonii</i>		1		1	1	1	1	1	1	1			1		1		1		1
Fistulariidae	<i>Fistularia</i> sp.						1		1											
Gobiidae	<i>Cryptocentrus fasciatus</i>											1								
Gobiidae	<i>Fusigobius</i> sp.		1																	
Gobiidae	<i>Gnatholepis scapulostigma</i>		1	1																
Gobiidae	<i>Gnatholepis</i> sp.		1																	1
Gobiidae	<i>Gobiidae</i>				1															
Gobiidae	<i>Istigobius decoratus</i>	1			1								1							
Gobiidae	<i>Istigobius</i> sp.		1																	
Gobiidae	<i>Valencienna strigata</i>											1	1		1	1		1		1

Holocentridae	<i>Myripristis berndti</i>					1			1		1				1	1	1	1	1	1
Holocentridae	<i>Myripristis chryseres</i>								1							1				
Holocentridae	<i>Myripristis kuntze</i>	1	1	1	1															
Holocentridae	<i>Myripristis murdjan</i>					1			1	1	1		1					1		
Holocentridae	<i>Myripristis violacea</i>															1				
Holocentridae	<i>Myripristis sp.</i>					1	1	1	1	1	1	1	1		1		1		1	
Holocentridae	<i>Neoniphon sammara</i>	1	1	1	1			1					1		1		1	1	1	
Holocentridae	<i>Neoniphon sp.</i>															1				
Holocentridae	<i>Sargocentron caudimaculatum</i>												1							1
Holocentridae	<i>Sargocentron diadema</i>	1	1		1		1			1		1	1	1	1		1		1	1
Holocentridae	<i>Sargocentron punctatissimum</i>	1	1	1	1	1			1	1						1		1	1	1
Holocentridae	<i>Sargocentron spiniferum</i>		1														1			
Holocentridae	<i>Sargocentron tiere</i>											1	1	1		1				1
Holocentridae	<i>Sargocentron sp.</i>							1												
Kyphosidae	<i>Kyphosus cinerascens</i>									1							1			1
Kyphosidae	<i>Kyphosus sp.</i>							1	1			1		1						
Labridae	<i>Anampses caeruleopunctatus</i>		1		1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1
Labridae	<i>Anampses lineatus</i>						1		1		1	1	1	1	1			1		1
Labridae	<i>Anampses melanurus</i>					1		1												
Labridae	<i>Anampses meleagrides</i>							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1
Labridae	<i>Anampses twistii</i>	1	1															1	1	1
Labridae	<i>Anampses sp.</i>							1		1										
Labridae	<i>Bodianus anthioides</i>																			1
Labridae	<i>Bodianus axillaris</i>										1	1	1	1		1	1		1	1
Labridae	<i>Bodianus diana</i>											1					1			
Labridae	<i>Bodianus macrourus</i>											1		1	1	1				
Labridae	<i>Cheilinus chlorourus</i>	1					1				1	1	1	1	1			1		
Labridae	<i>Cheilinus oxycephalus</i>		1				1						1		1	1	1		1	1
Labridae	<i>Cheilinus trilobatus</i>	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1		1
Labridae	<i>Cheilio inermis</i>		1		1										1			1		
Labridae	<i>Coris africana</i>						1		1	1	1						1		1	1
Labridae	<i>Coris aygula</i>		1		1	1	1	1	1		1	1	1		1		1	1	1	1
Labridae	<i>Coris caudimacula</i>			1																
Labridae	<i>Coris cuvieri (ex C. gaimard)</i>		1		1							1	1	1	1					
Labridae	<i>Epibulus insidiator</i>	1			1							1	1		1		1	1		

Labridae	<i>Gomphosus caeruleus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Labridae	<i>Halichoeres</i> cf. <i>biocellatus</i>									1		1								
Labridae	<i>Halichoeres cosmetus</i>												1	1	1	1	1	1	1	1
Labridae	<i>Halichoeres hortulanus</i>			1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Labridae	<i>Halichoeres lamarii</i> (ex. <i>H. marginatus</i>) ¹	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Labridae	<i>Halichoeres nebulosus</i>						1	1	1	1	1			1				1		
Labridae	<i>Halichoeres scapularis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1						
Labridae	<i>Halichoeres</i> sp.	1						1								1				
Labridae	<i>Hemigymnus fasciatus</i>				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
Labridae	<i>Hologymnosus annulatus</i>																1		1	1
Labridae	<i>Hologymnosus doliatus</i>												1							
Labridae	<i>Labroides bicolor</i>									1	1							1	1	1
Labridae	<i>Labroides dimidiatus</i>			1		1					1							1	1	1
Labridae	<i>Labropsis xanthonota</i>														1	1	1		1	1
Labridae	<i>Macropharyngodon bipartitus</i>												1	1	1				1	
Labridae	<i>Novaculichthys taeniourus</i>			1			1	1			1			1	1					
Labridae	<i>Oxycheilinus digrammus</i>																1	1		1
Labridae	<i>Pseudocheilinus evanidus</i>													1	1	1	1	1	1	1
Labridae	<i>Pseudocheilinus hexataenia</i>													1	1	1	1	1	1	1
Labridae	<i>Pseudocheilinus octotaenia</i>															1			1	1
Labridae	<i>Pseudocheilinus</i> sp.																	1		
Labridae	Cf. <i>Pteragogus</i> sp.					1														
Labridae	<i>Stethojulis albovittata</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Labridae	<i>Stethojulis strigiventer</i>										1									
Labridae	<i>Thalassoma amblycephalum</i>																			
Labridae	<i>Thalassoma genivittatum</i>																	1		1
Labridae	<i>Thalassoma hardwicke</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1			1	1	
Labridae	<i>Thalassoma hebraicum</i>							1		1	1	1				1		1	1	
Labridae	<i>Thalassoma mascarenum</i> ²	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Labridae	<i>Thalassoma purpureum</i>							1	1	1	1	1							1	
Labridae	<i>Thalassoma trilobatum</i>					1				1	1	1			1					
Lethrinidae	<i>Gnathodentex aurolineatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1
Lethrinidae	<i>Lethrinus</i> cf. <i>mahsena</i>																	1		
Lethrinidae	<i>Monotaxis grandoculis</i>			1				1							1			1	1	1
Lutjanidae	<i>Aphareus furca</i>																	1	1	

50

51

Pomacentridae	<i>Chromis nigrura</i>									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pomacentridae	<i>Chromis opercularis</i>												1			1	1		1		1	
Pomacentridae	<i>Chromis ternaensis</i>															1		1				
Pomacentridae	<i>Chromis viridis</i>	1	1	1	1		1		1						1							
Pomacentridae	<i>Chromis weberi</i>									1	1	1	1				1		1		1	
Pomacentridae	<i>Chrysiptera glauca</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pomacentridae	<i>Chrysiptera leucopoma</i>			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pomacentridae	<i>Chrysiptera unimaculata</i>	1		1											1							
Pomacentridae	<i>Chrysiptera unimaculata</i> (cf. <i>S. fasciolatus</i>)		1		1		1		1		1											
Pomacentridae	<i>Dascyllus aruanus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1							1						
Pomacentridae	<i>Dascyllus trimaculatus</i>												1		1	1	1		1	1	1	
Pomacentridae	<i>Neoglyphidodon melas</i>						1		1													
Pomacentridae	<i>Plectroglyphidodon dickii</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pomacentridae	<i>Plectroglyphidodon imparipennis</i>					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pomacentridae	<i>Plectroglyphidodon johnstonianus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pomacentridae	<i>Plectroglyphidodon lacrymatus</i>					1	1		1				1		1	1	1	1	1	1	1	1
Pomacentridae	<i>Plectroglyphidodon phoenixensis</i>						1			1	1											
Pomacentridae	<i>Plectroglyphidodon randalli</i>					1	1	1	1	1	1	1										
Pomacentridae	<i>Plectroglyphidodon</i> sp.						1		1				1									
Pomacentridae	<i>Pomacentrus caeruleus</i>												1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pomacentridae	<i>Pomacentrus</i> cf. <i>pavo</i>																1					
Pomacentridae	<i>Pomacentrus</i> sp.					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pomacentridae	<i>Pomachromis richardsoni</i>												1	1	1	1	1		1	1		
Pomacentridae	<i>Stegastes limbatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1							
Pomacentridae	<i>Stegastes lividus</i>	1	1	1	1		1								1							
Pomacentridae	<i>Stegastes nigricans</i>	1	1	1	1		1	1	1				1		1							
Pomacentridae	<i>Stegastes peliciery</i>		1	1	1	1	1		1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pomacentridae	<i>Stegastes</i> sp.						1															
Priacanthidae	<i>Heteropriacanthus cruentatus</i>												1				1		1	1	1	1
Priacanthidae	<i>Priacanthus hamrur</i>																1		1		1	
Priacanthidae	<i>Priacanthus</i> sp. (queue tronquée)																					1
Scaridae	<i>Calotomus carolinus</i>						1		1		1		1	1	1			1				
Scaridae	<i>Chlorurus enneacanthus</i>																		1	1	1	
Scaridae	<i>Chlorurus sordidus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Scaridae	<i>Chlorurus strongylocephalus</i>												1				1			1	1	

53

Serranidae	<i>Pseudanthias evansi</i>											1	1		1		1		1		1	1	1							
Serranidae	<i>Variola louti</i>											1	1		1		1		1		1		1							
Siganidae	<i>Siganus argenteus</i>	1										1		1	1	1		1	1		1	1	1							
Siganidae	<i>Siganus sutor</i>	1										1		1	1	1		1	1	1		1	1							
Siganidae	<i>Siganus</i> sp.	1		1		1		1		1				1		1		1		1		1								
Sphyraenidae	<i>Sphyraena cf. acutipinnis</i>																					1								
Sygnathidae	<i>Corythoichthys schultzi</i>	1	1	1	1																									
Sygnathidae	<i>Corythoichthys</i> sp.											1																		
Sygnathidae	<i>Doryrhamphus excisus</i>											1																		
Synodontidae	<i>Saurida gracilis</i>	1	1	1			1	1	1												1		1							
Synodontidae	<i>Synodus variegatus</i>											1		1			1			1		1		1						
Synodontidae	<i>Synodus</i> sp.											1		1											1					
Tetraodontidae	<i>Arothron hispidus</i>											1																		
Tetraodontidae	<i>Arothron immaculatus</i>											1					1													
Tetraodontidae	<i>Arothron meleagris</i>											1	1			1		1		1	1	1		1						
Tetraodontidae	<i>Arothron nigropunctatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1		1	1	1	1	1	1								
Tetraodontidae	<i>Diodon hystrix</i>																					1		1						
Zanclidae	<i>Zanclus cornutus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
Grand Total		63	93	62	98	80	130	81	133	77	123	79	140	84	155	77	158	93	150	71	163	101	161							
Méthode de comptage :		TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA	TR	PA							
Niveau de protection :		Sanc		Rés		Sanc		Rés		H Rés		Sanc		Rés		H Rés		Sanc		Rés		H Rés								
Secteur :		La Saline					Saint-Leu					La Saline - Souris Blanche										Saint-Leu								
Zone géomorphologique :		Platiers internes										Pentes externes																		

¹ *Halichoeres lamarii* n'est pas référencée dans FishBase. Pourtant, Kuitert (2002) considère cette espèce, décrite par Valenciennes, en 1839 valide. La localité type est l'île Maurice.

² *Thalassoma mascarenum* est proche de *T. genivittatum*, mais proposé par Hans Fricke comme une espèce différente.

VI.3 Caractérisation des communautés ichthyologiques par leur abondance

L'analyse multivariée des communautés ichthyologiques révèle un regroupement en trois grandes unités distinctes : 1) les communautés des stations du platier de la Saline, similaires entre elles à 64 %, dissimilaires avec les autres unités à 75 % ; 2) les communautés des platiers de Saint-Leu, similaires à 55 % et dissimilaires avec celles des pentes externes à 60 % ; 3) les communautés des pentes externes, les moins similaires (51 %) entre elles (Figures 35, 36). Le test ANOSIM montre que ces trois groupes sont fortement différenciés (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,981$; $P = 0,001$; Annexe V.1).

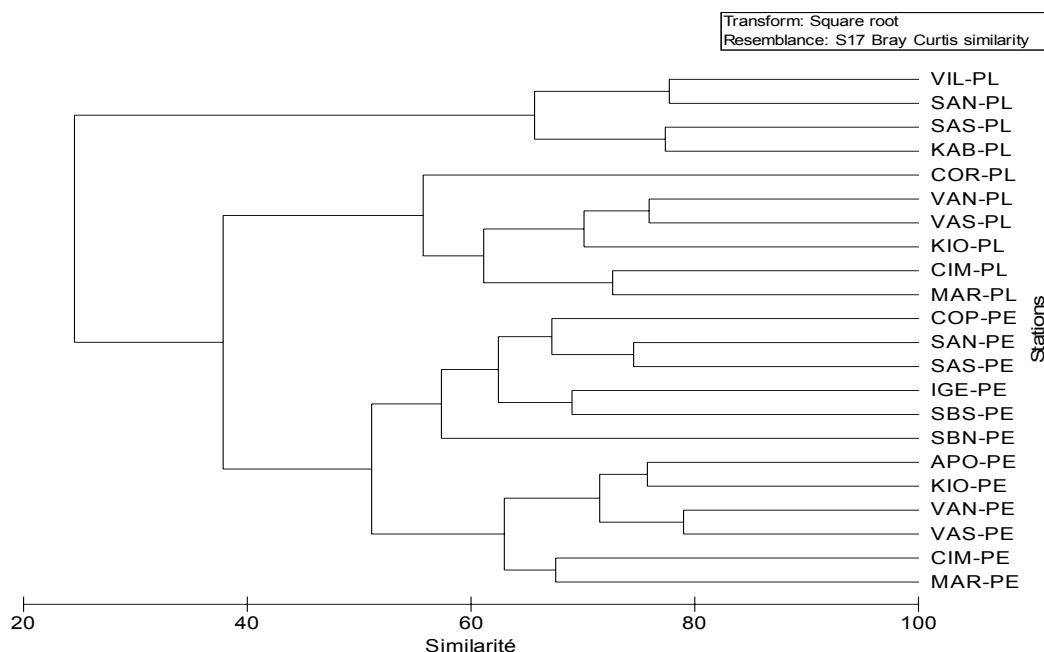


Figure 35. Dendrogramme des groupes «clusters» de communautés ichthyologiques en fonction de leurs similarités, basées sur la moyenne des relevés répliqués par station, transformée par racine carrée (PE : pente externe ; PL : platier).

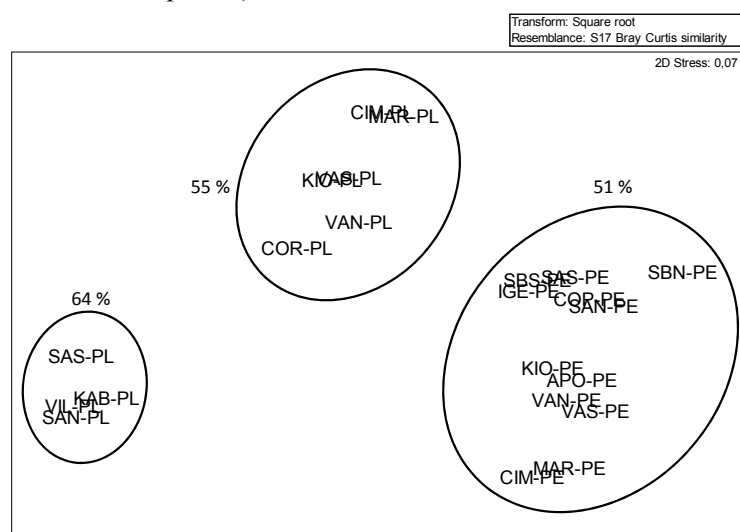


Figure 36. Ordination MDS des communautés ichthyologiques sur toutes les stations. Chaque point représente les valeurs moyennes par station. Le nombre précise la similarité moyenne entre les stations au sein de chaque groupe.

Si l'on utilise les valeurs des transects au lieu des moyennes par station, le patron reste inchangé, la significativité des différences entre les unités également (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,957$; $P = 0,001$; Annexe V.2). Même la similarité moyenne au sein de chaque groupe diminue très peu (comparer Figures 36 et 37). Ceci signifie que les valeurs entre transects sont peu variables, chaque transect est une bonne représentation de la communauté ichthyologique. Cette observation diffère de celle chez les peuplements

benthiques où une grande variabilité entre les transects est souvent constatée. L'échelle spatiale des relevés est vraisemblablement convenable pour caractériser les peuplements ichthyologiques.

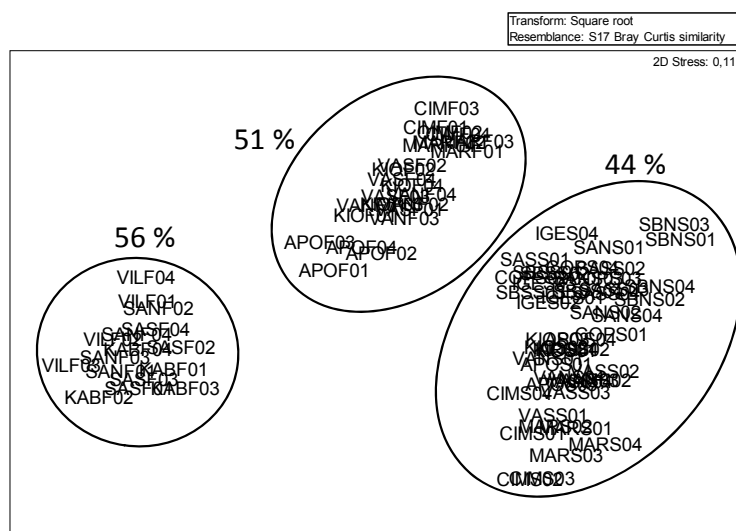


Figure 37. Ordination MDS des communautés ichthyologiques sur toutes les stations. Chaque point représente les valeurs un transect. Le nombre précise la similarité moyenne entre les stations au sein de chaque groupe.

Les trois unités majeures se différencient par la contribution des différentes familles ichthyologiques (Figure 38). La famille des Pomacentridae domine fortement par le nombre de ses individus la communauté du platier de la Saline et, en moindre proportion, celles des deux autres unités, chez lesquelles d'autres familles sous-dominantes contribuent aussi amplement à l'assemblage.

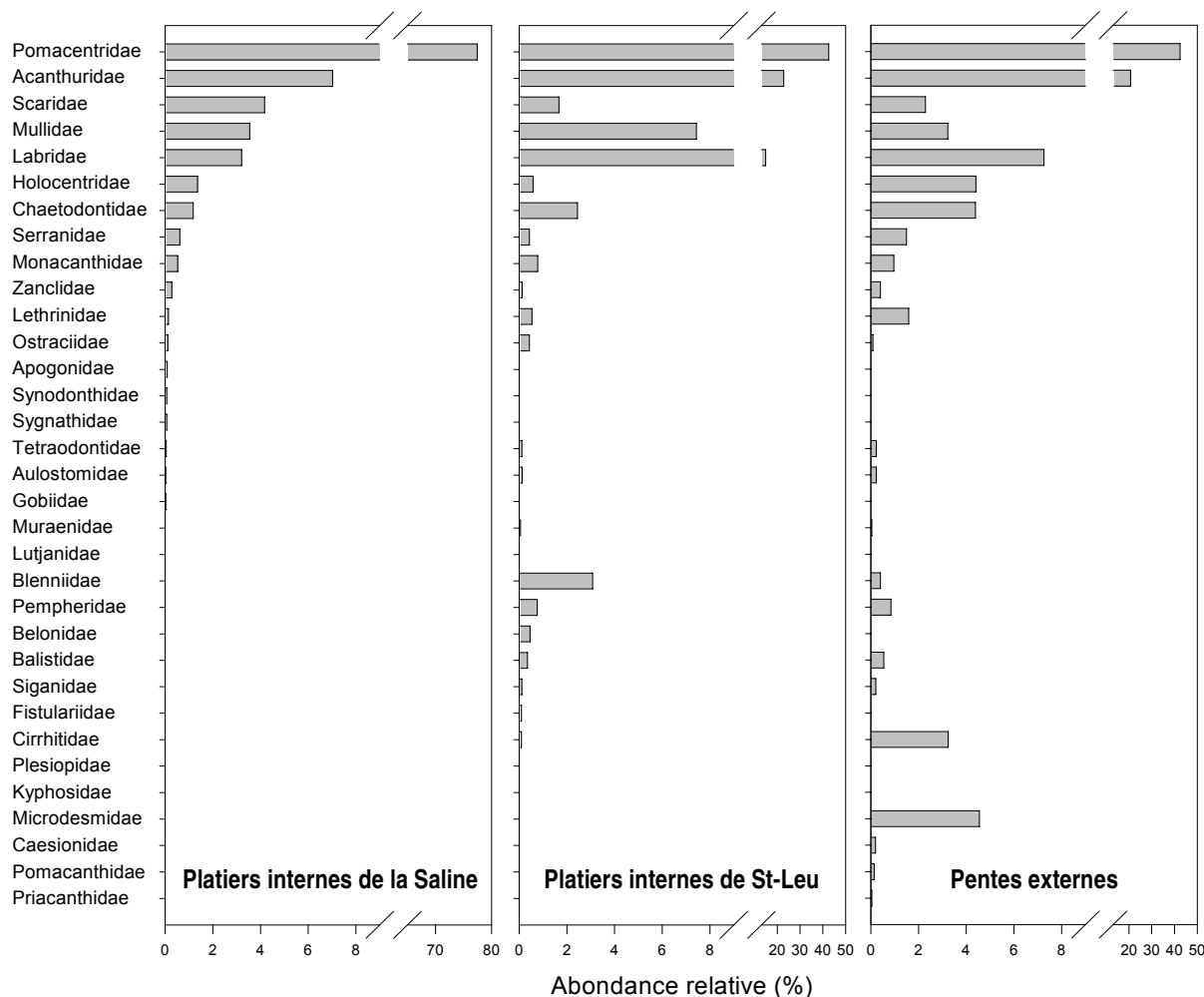


Figure 38. Abondance relative des 33 familles de poissons les plus abondantes dans les 3 unités majeures. Noter les différences dans l'échelle des abscisses, après la coupure.

Les espèces de poissons dominantes et caractérisant le platier de la Saline (unité 1) sont *Dascyllus aruanus* (Figure 25), *Stegastes nigricans* et *S. lividus* (Figure 39). Ces trois espèces contribuent ensemble de 43 à 46 % à la dissimilarité avec les autres groupes.



Figure 39. A gauche : *Stegastes lividus* et à droite : *Stegastes nigricans*, deux espèces caractéristiques du platier interne de la Saline (crédit photo : H. Bruggemann).

Les espèces qui distinguent les stations et transects sur les platiers de Saint-Leu (unité 2) des autres sites sont plus variées. Les espèces ayant une densité plus élevée en comparaison avec les autres sites sont *Pomacentrus* sp. (probablement *Stegastes fasciatus*), *Plectroglyphidodon randalli* et *Acanthurus triostegus*. Finalement, les pentes externes de la Saline-Souris Blanche et de Saint-Leu (unité 3) sont caractérisées par des abondances plus élevées en *Chromis nigrura*, *C. dimidiata* et *Acanthurus nigrofuscus*. Ainsi, ce sont les Pomacentridae, souvent présents en grands nombres, qui caractérisent les communautés ichthyologiques.

Sur les platiers internes, les comparaisons des communautés ichthyologiques, comme celles des communautés benthiques, par niveau de protection donnent des résultats différents entre les deux secteurs. Les communautés coralliennes des platiers à la Saline sont identiques pour les deux niveaux de protection (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,072$; $P = 0,176$; Annexe V.3). En revanche, les trois niveaux de protection montrent des communautés distinctes sur les platiers de Saint-Leu (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,719$; $P = 0,001$; Annexe V.4 ; Figure 40). Les stations sur les platiers hors réserve, situés au Sud de Saint-Leu, sont différentes par leur forte abondance en *Plectroglyphidodon randalli* et *P. imparipennis*. Les autres zones sont caractérisées par *Stegastes limbatus* et *S. nigricans*, notamment la station Apollonia, et à un moindre degré par *Zebrasoma scopas*. Les relevés effectués dans le sanctuaire se distinguent des ceux en zone de réserve par leur abondance plus élevée en *Chrysiptera glauca* et *Stethojulis albobittata*.

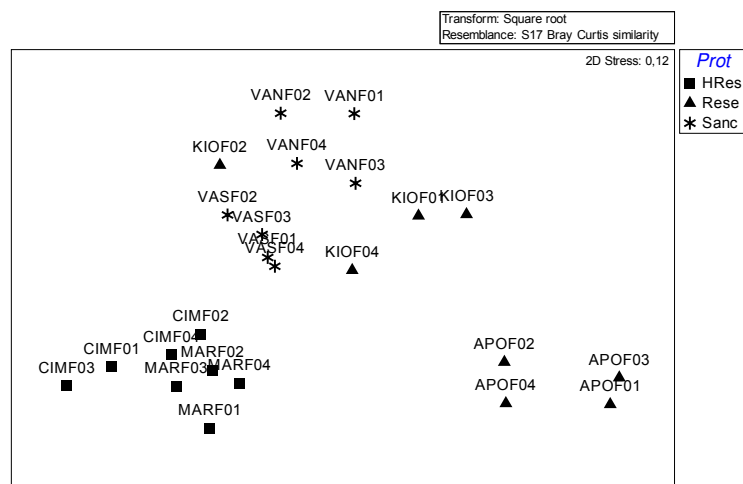


Figure 40. Ordination MDS des communautés ichthyologiques sur les platiers de Saint-Leu. Chaque point représente un transect. Les trois niveaux de protection sont indiqués par des symboles différents.

Sur les pentes externes, les communautés ichthyologiques sont différentes entre les deux secteurs (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,738$; $P = 0,001$; Annexe V.5 ; Figure 41). Cette différence est caractérisée par un cortège d'espèces dont l'effectif est plus élevé sur les pentes de Saint-Leu, tels *Chromis nigrura*, *Stegastes pelicieri*, *Nemateleotris magnifica*, *Myripristis berndti*, *Plectroglyphidodon johnstonianus* et *Zebrasoma scopas* pour ne citer que les principales. En revanche, les *Pomacentrus* sp. sont plus abondants sur les pentes de la Saline – Souris Blanche.

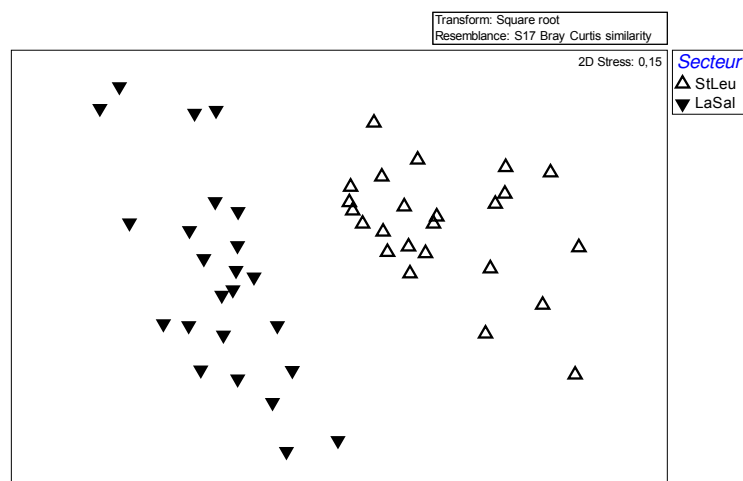


Figure 41. Ordination MDS des communautés ichthyologiques des pentes externes. Chaque point représente un transect.
La Saline : ▼ ; Saint-Leu : Δ.

Les trois niveaux de protection sur les pentes externes des récifs de la Saline – Souris Blanche montrent des différences entre eux (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,373$; $P = 0,001$; Annexe V.6 ; Figure 42). Notamment les relevés dans le sanctuaire sont très homogènes et se distinguent de ceux effectués dans les deux autres niveaux de protection par l'effectif inférieur de la plupart des espèces de poissons. Seule exception *Acanthurus nigrofuscus*, qui est plus abondant dans le sanctuaire. C'est un poisson herbivore qui s'alimente sur les substrats durs recouverts de gazons algaux, catégorie benthique dont les taux de recouvrement sont élevés dans le sanctuaire de la Saline – Souris Blanche (Figures 12, 17B).

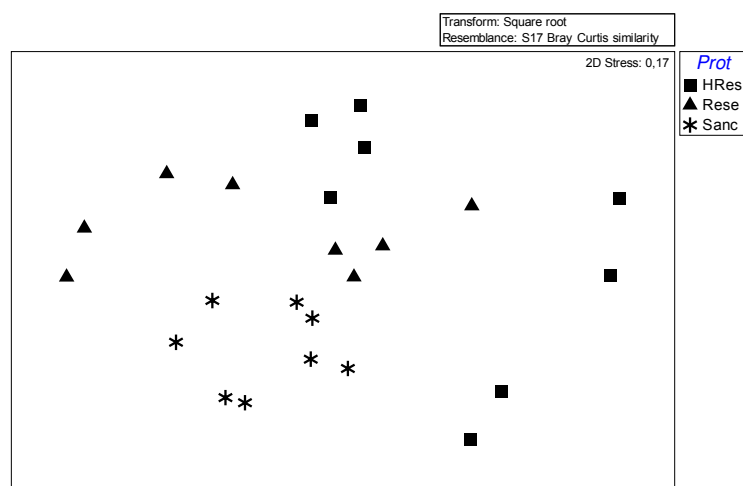


Figure 42. Ordination MDS des communautés ichthyologiques des pentes externes de la Saline – Souris Blanche. Chaque point représente un transect. Les trois niveaux de protection sont indiqués par des symboles différents.

Les trois niveaux de protection sur les pentes externes montrent aussi des différences à Saint-Leu (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,597$; $P = 0,001$; Annexe V.7 ; Figure 43), et ces différences y sont plus marquées (comparer les valeurs de R_{global} entre les deux secteurs). Les relevés hors réserve se distinguent des autres par une abondance plus élevée de nombreuses espèces, avec, par ordre de contribution, *Chromis nigrura*, *Myripristis berndti*, *Chromis dimidiata*, *Zebrasoma scopas*, *Pseudanthias evansi* et *Chromis chrysura*. Certaines de ces espèces, notamment les *Chromis*, sont fortement associées aux coraux vivants.

Dans le sanctuaire et la réserve, seules les deux espèces *Ctenochaetus striatus* et *Acanthurus nigrofuscus* sont plus abondantes. *C. striatus* est un détritivore inféodé aux gazons algaux et *A. nigrofuscus* est un herbivore brouteur de ces gazons (cf. ci-dessus). Leur densité élevée pourrait être liée à la disponibilité importante des substrats propices au développement de ces gazons (Figure 12).

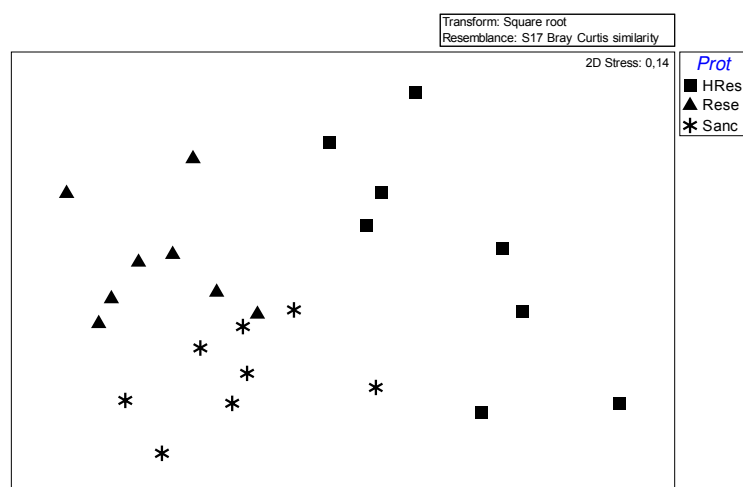


Figure 43. Ordination MDS des communautés ichthyologiques des pentes externes de Saint-Leu. Chaque point représente un transect. Niveau de protection indiqué par différents symboles.

VI.4 Biomasse des peuplements ichthyologiques

Biomasse totale de l'ichtyofaune

La biomasse des poissons est plus élevée sur les pentes externes que sur les platiers internes (ANOVA, $F_{1, 86} = 9,31$; $P = 0,003$; Figure 44).

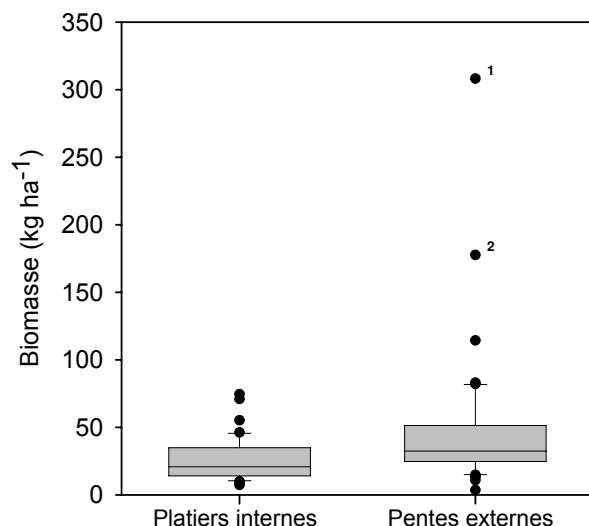


Figure 44. Comparaison des biomasses totales de poissons entre les pentes externes et les platiers.

¹ cette valeur, très élevée, correspond au passage d'un banc de poissons perroquet (Scaridae) de grande taille, recensé sur la station de Cimetière à Saint-Leu.

² valeur élevée comprenant une biomasse importante des Holocentridae sur cette même station Cimetière.

Sur les platiers internes, la biomasse des poissons est plus élevée à la Saline qu'à Saint-Leu (ANOVA à deux facteurs, $F_{1, 28} = 11,49$; $P = 0,002$; Figure 45A). La biomasse ne varie pas entre les niveaux de protection (ANOVA à deux facteurs, $F_{1, 28} = 0,02$; $P = 0,882$) ; il n'y a pas d'interaction entre les secteurs et les niveaux de protection (ANOVA à deux facteurs, $F_{1, 28} = 1,46$; $P = 0,236$).

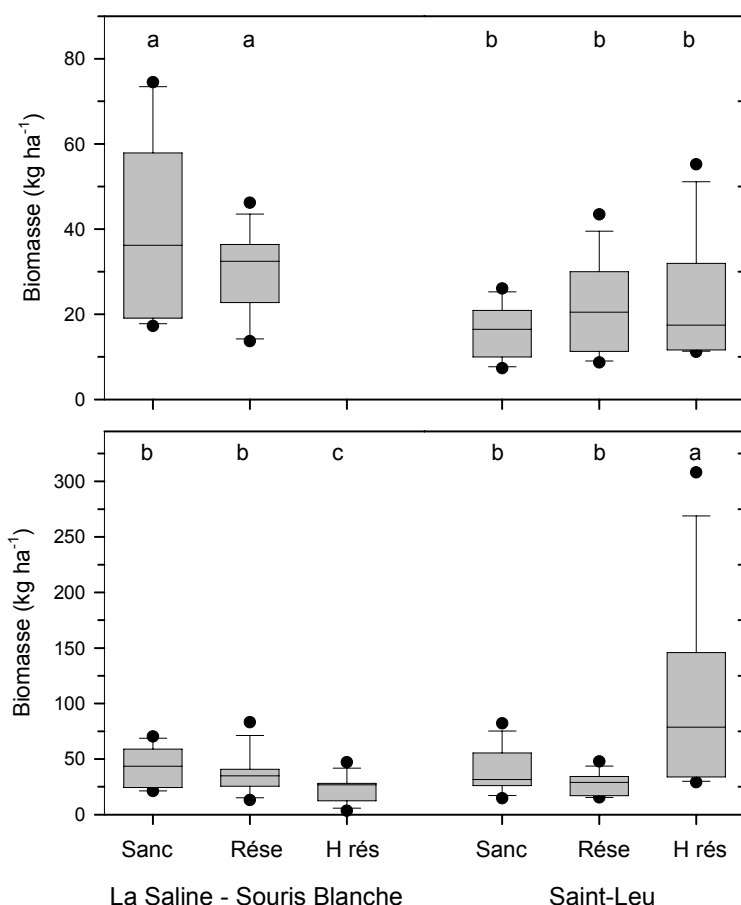


Figure 45A. Platiers internes : comparaison des biomasses totales de poissons entre les secteurs et niveaux de protection.

Figure 45B. Pentes externes : comparaison des biomasses totales de poissons entre les secteurs et niveaux de protection.

Sur les pentes externes, on peut considérer que la biomasse des poissons à Saint-Leu est plus élevée qu'à la Saline-Souris Blanche, la probabilité de rejeter H_0 étant très proche de 5% (ANOVA à 2 facteurs, $F_{1, 42} = 3,99$; $P = 0,052$). La biomasse des poissons ne varie pas de façon significative entre les niveaux de protection (ANOVA à 2 facteurs, $F_{2, 42} = 0,85$; $P = 0,437$). Il existe cependant une interaction significative entre secteurs et niveaux de protection (ANOVA à 2 facteurs, $F_{2, 42} = 8,51$; $P = 0,001$). L'analyse post-hoc montre que la biomasse des poissons hors réserve à la Souris Blanche est inférieure à la moyenne et celle dans la zone hors réserve à Saint-Leu Sud est largement supérieure (Figure 45B).

Biomasse par famille de poisson

Une analyse multivariée basée sur les biomasses par famille montre une différence marquée (dissimilaires à 67%) entre les platiers et les pentes externes (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,412$; $P = 0,001$; Annexe VI.1). Trois familles de poissons, Pomacentridae, Acanthuridae et Scaridae, contribuent chacun à plus de 20% de cette différence. La biomasse des Pomacentridae est plus élevée sur les platiers, tandis que celle des Acanthuridae et les Scaridae l'est sur la pente externe. Les Holocentridae ont une biomasse plus élevée sur les pentes externes et contribuent à un moindre degré (7%) à cette différence.

Sur les platiers internes, les deux secteurs sont fortement contrastés (ANOSIM $R_{\text{global}} = 0,725$; $P = 0,001$; Annexe VI.2 ; Figure 46). La biomasse élevée des Pomacentridae caractérise les platiers internes de la Saline. En revanche, ceux de Saint-Leu ont une biomasse en Acanthuridae et des Scaridae plus élevée que ceux de la Saline.

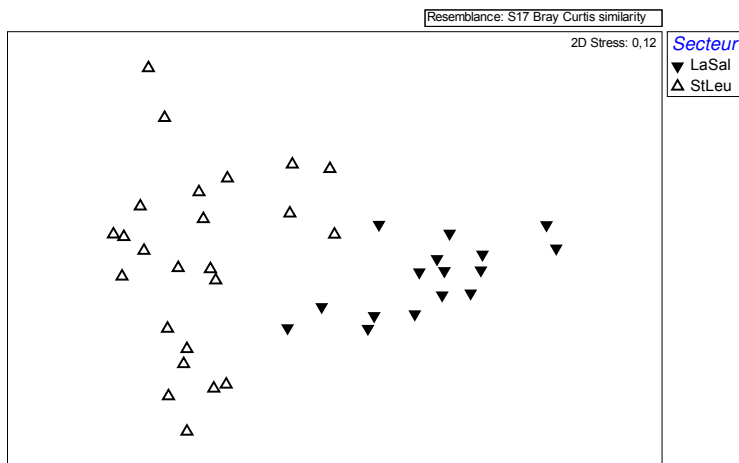


Figure 46. Ordination MDS des biomasses par famille de poissons sur les platiers internes. Chaque point représente un transect.

Sur les platiers de la Saline, les biomasses par famille de poissons sont homogènes dans les deux zones de protection (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,009$; $P = 0,427$; Annexe VI.3).

Cependant, à Saint-Leu, les biomasses par famille de poissons diffèrent entre les trois niveaux de protection (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,386$; $P = 0,001$; Annexe VI.4 ; Figure 47). Les Acanthuridae et les Scaridae ont les biomasses les plus élevées hors réserve. Les Acanthuridae ont une biomasse intermédiaire dans la réserve et la plus faible dans le sanctuaire. Les Scaridae, quant à eux, ont une biomasse intermédiaire dans le sanctuaire et faible dans la réserve. Enfin, les Pomacentridae et les Mullidae ont une biomasse plus élevée dans la réserve que dans les deux autres niveaux de protection (Annexe VI.3).

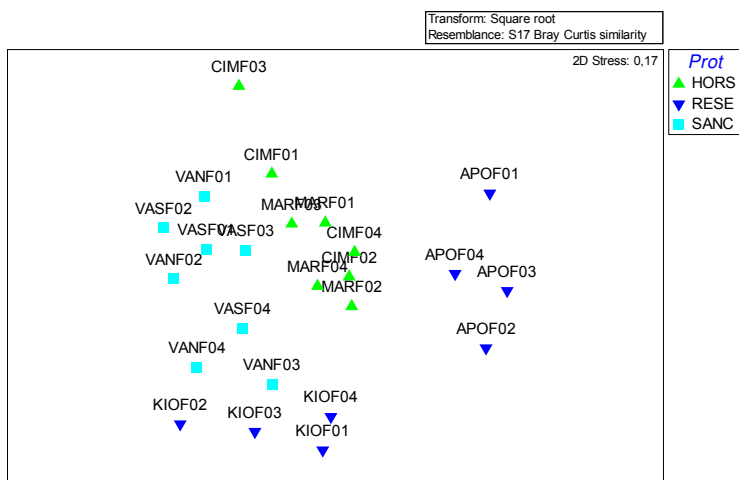


Figure 47. Ordination MDS des biomasses par famille de poissons sur les platiers internes de Saint-Leu. Chaque point représente un transect. Les trois niveaux de protection sont indiqués par des symboles différents.

Sur les pentes externes, les biomasses par famille de poissons diffèrent entre les deux secteurs (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,249$; $P = 0,001$; Annexe VI.5). Les Scaridae, Holocentridae et Acanthuridae ont une biomasse plus élevée à Saint-Leu qu'à la Saline-Souris Blanche.

Dans le secteur de la Saline-Souris Blanche, il n'y a pas de différence dans les biomasses des familles de poissons entre la réserve et le sanctuaire. Cependant, la zone hors réserve diffère des deux autres car les familles des Acanthuridae et Scaridae y ont des biomasses plus faibles qu'ailleurs (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,186$; $P = 0,002$; Annexe VI.6 ; Figure 48A, B).

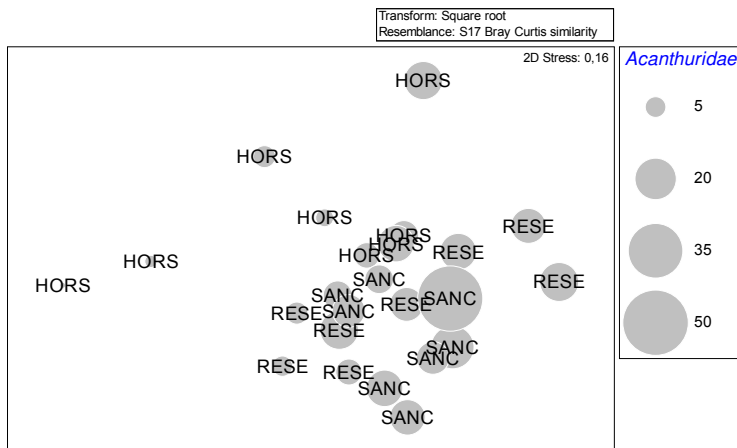


Figure 48A. Pentes externes de la Saline-Souris Blanche. La taille des bulles reflète l'importance relative de la biomasse des Acanthuridae.

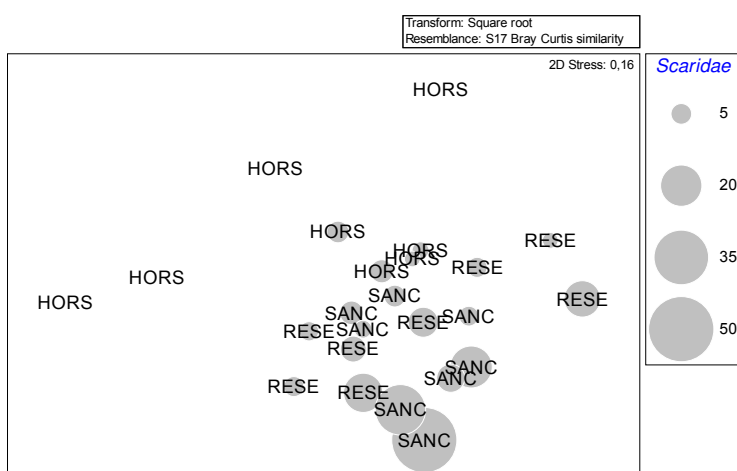


Figure 48B. Pentes externes de la Saline-Souris Blanche. La taille des bulles reflète l'importance relative de la biomasse des Scaridae.

Sur les pentes externes du secteur de Saint-Leu, les trois niveaux de protection hébergent des biomasses de familles de poissons différentes (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,443$; $P = 0,001$; Annexe VI.7), les différences étant moins marquées entre les zones en réserve et en sanctuaire qu'avec la zone hors réserve (Figure 49A, B). Les Scaridae et Holocentridae contribuent le plus aux différences car leur biomasse est plus élevée en zone hors réserve (il s'agit des valeurs exceptionnelles signalées à la station Cimetière, Figure 44).

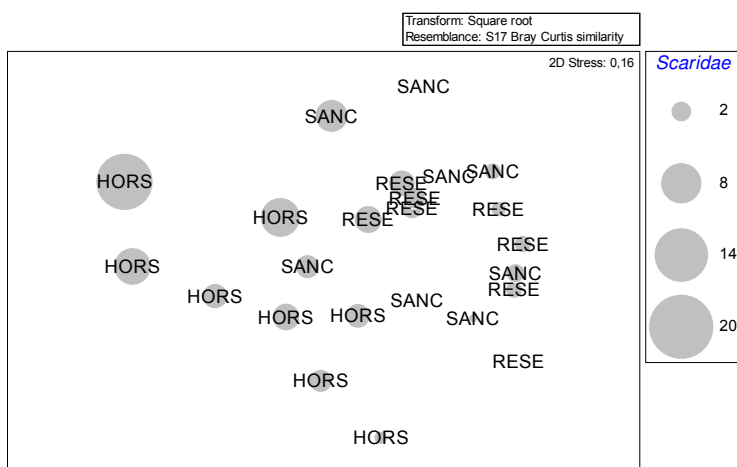


Figure 49A. Pentes externes de Saint-Leu. La taille des bulles reflète l'importance relative de la biomasse des Scaridae.

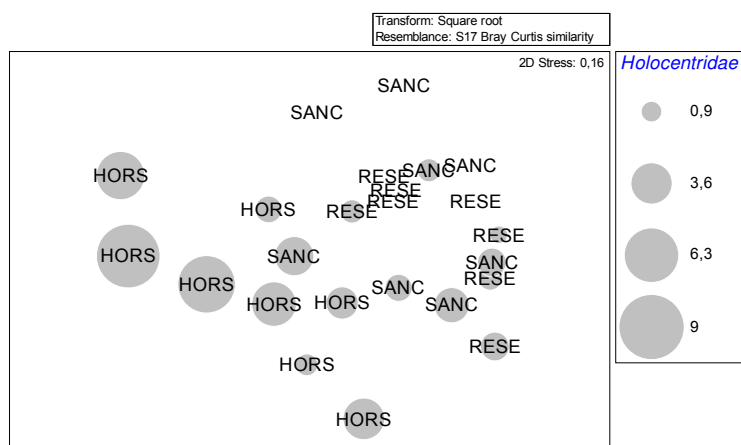


Figure 49B. Pentes externes de Saint-Leu. La taille des bulles reflète l'importance relative de la biomasse des Holocentridae.

VII. CONCLUSIONS GENERALES

VII.1 La mise en œuvre du suivi de l'effet réserve : un projet scientifique fédérateur

Pour la première fois à la Réunion, est investi un effort aussi important d'acquisition de données sur les récifs coralliens, ciblé à Saint-Leu puis à la Saline - Souris Blanche. Six ichtyologues et 4 benthologues, avec l'appui de 8 écogardes se sont associés dans une action commune.

Lors des discussions méthodologiques préparatoires conduites dans une réflexion associée ont été adoptés des protocoles de terrain relativement lourds, comprenant notamment une réplification par strate d'analyse et permettant à la fois de comparer les résultats obtenus par différentes méthodes d'échantillonnage (ex. transects à dimension fixe et parcours aléatoires chronométrés) et d'analyser l'effort d'échantillonnage minimal à fournir pour avoir une précision convenable (ex. nombre de points échantillonnés par photographie du benthos) de la définition de l'état actuel des peuplements benthiques et ichtyologiques de la Réserve marine de la Réunion. Finalement, les résultats obtenus sur le site pilote permettent de déterminer la variabilité (variances) des populations à partir de laquelle la puissance à détecter d'éventuels changements futures, en réponse à la mise en réserve des récifs coralliens, a été déterminée. Cette connaissance permet alors d'adapter l'effort d'échantillonnage *ad minima*. Pour ne pas courir le risque d'être contesté, un minimum de deux stations répliquées par strate d'analyse est incompressible et obligatoire. Finalement, les résultats montrent que l'effort d'échantillonnage sur chaque station, même s'il a été considéré comme élevé, correspond en fait au minimum acceptable pour une description quantitative globale des communautés.

Les photographies du benthos sont d'excellente qualité. Elles permettent une interprétation et une analyse généralement au niveau spécifique. Leur présentation à des collègues lors de congrès internationaux a confirmé la pertinence du choix de la méthode et de l'appareillage. Ainsi, l'archivage de l'état contemporain du benthos récifal est excellent. La Réunion peut s'ennorgueillir de cette photothèque de référence.

Montaggioni (1978) et Faure (1982) ont été les pionniers dans la description des récifs coralliens de la Réunion. L'étude de Faure est focalisée sur les peuplements de coraux Scléractinaires et à l'époque la quantification est une estimation visuelle semi-quantitative. Plusieurs études de peuplements récifaux quantitatives ont suivi mais elles restent limitées dans leur couverture spatiale et/ou dans les groupes étudiés (ex. Bouchon 1978, Chabanet 1994, Letourneur *et al.* sous presse). Seule, l'étude détaillée de Naim (1989) a fourni une description qualitative de l'ensemble du benthos couvrant la totalité des platiers récifaux de l'île de la Réunion. Aujourd'hui, pour la première fois, une étude quantitative de deux complexes récifaux est effectuée, à la fois sur les platiers et sur les pentes externes, apportant une connaissance approfondie de la richesse taxonomique et de l'abondance des peuplements benthiques et ichtyologiques de ces récifs, jamais acquise.

En prime, et à nouveau pour la première fois à la Réunion, les biomasses des peuplements ichtyologiques récifaux ont été estimées, aussi bien globales que détaillées par famille de poissons. Les résultats sont parlants et montrent de façon implacable la surpêche sur les récifs de la Réunion.

VII.2 Les récifs de la Saline – Souris Blanche et de Saint-Leu

Des différences importantes existent entre les récifs de la Saline – Souris Blanche et Saint-Leu. Les peuplements benthiques à Saint-Leu sont plus riches en taxons qu'à la Saline – Souris Blanche, sur les platiers internes et sur les pentes externes. Les peuplements ichtyologiques des platiers internes sont plus diversifiés à Saint-Leu qu'à la Saline – Souris Blanche, mais il n'y a pas de différence dans la richesse taxonomique des poissons des pentes externes entre les deux secteurs. **Ces résultats attirent l'attention**

sur la forte valeur patrimoniale du récif de Saint-Leu en tant que dépositaire de la biodiversité récifale.

Cependant, le 11 mai 2007, une houle australe dépassant les 8 m de haut a détruit une grande partie des peuplements coralliens diversifiés et florissants à la station Kiosques à Saint-Leu. Pour permettre de s'affranchir ultérieurement de ce biais, pouvant fausser les interprétations d'un éventuel effet réserve, lors de la comparaison future de ces peuplements à l'état initial de référence, nous avons recommencé les phototransects le 14 juin 2007. Ces photographies ont été stockées, mais n'ont pas été analysées.

L'analyse de l'ensemble de relevés a permis d'identifier trois unités majeures distinctes (platiers de la Saline, platiers de Saint-Leu et les pentes externes) où les communautés coralliennes et ichtyologiques coïncident. L'analyse des liens entre ces deux communautés au sein de ces unités mérite d'être approfondie. Une étude préliminaire a été menée sur les poissons demoiselles (Pomacentridae) du platier du site pilote de Saint-Leu, dans le cadre d'un stage de DEA de l'Université de la Rochelle (Jimenez 2006).

VII.3 Comparaison des niveaux de protection

Le bilan de l'état initial des peuplements benthiques et ichtyologiques entre les trois niveaux de protection de la Réserve naturelle marine de la Réunion, résumé ci-après, montre que la diversité et l'abondance des peuplements coralliens et ichtyologiques ne sont pas plus élevées dans les zones à protection renforcée qu'en dehors.

Les taux de recouvrement corallien ne montrent pas de différence entre les niveaux de protection sur le platier interne de la Saline. En revanche, à Saint-Leu, le platier interne du sanctuaire a moins de surface construite par les coraux vivants, au bénéfice des débris et sables fins. Également sur les pentes externes, les taux de recouvrement en coraux durs sont très faibles dans les sanctuaires à la Saline – Souris Blanche et à Saint-Leu.

La diversité corallienne sur les platiers internes n'est pas différente entre les niveaux de protection des deux secteurs. Les pentes externes du sanctuaire de la Saline se démarquent par une diversité corallienne faible. À Saint-Leu, les zones sanctuaire et réserve des pentes externes sont plus riches en coraux qu'en dehors de la réserve.

La richesse en poissons, estimée par la méthode des transects, ne montre pas de différence entre les 3 niveaux de protection. Avec la méthode des parcours aléatoires, méthode permettant d'inventorier plus de diversité, il existe une tendance à repérer une diversité inférieure dans les sanctuaires en comparaison avec les autres niveaux de protection, aussi bien à la Saline qu'à Saint-Leu.

L'abondance des poissons dans le sanctuaire de la pente externe à la Saline – Souris Blanche se distingue de celle des autres niveaux de protection par un effectif inférieur de la plupart des espèces, sauf une brouteuse d'algues. À Saint-Leu, les zones en réserve et sanctuaire de la pente externe sont caractérisées par l'abondance plus élevée de deux espèces algivores et détritivores. En revanche, la zone hors réserve abrite un effectif plus élevé pour la plupart des espèces, dont notamment des espèces fortement inféodées aux coraux vivants.

La biomasse de l'ichtyofaune sur les platiers ne montre pas de différence entre les niveaux de protection dans les deux secteurs. La zone hors réserve sur la pente externe à Saint-Leu Sud a une forte biomasse en poissons, remarquable pour les récifs étudiés, voire pour l'ensemble des récifs de la Réunion.

En conclusion, de façon évidente, la richesse des peuplements coralliens et ichtyologiques n'a pas été un critère prioritaire dans le choix des zones à protection renforcée. Le zonage de la réserve adopté par la DIREN semble avoir été le fruit d'un consensus entre les différents usagers des récifs. En effet, plusieurs événements passés ou contemporains attestent de la difficulté d'acceptation par une petite partie de la population réunionnaise des contraintes imposées avec une mise en réserve. La présente étude

souligne l'importance relative des différentes zones, éléments qu'il faudrait intégrer dans la définition de pratiques d'usage dans la réserve de la Réunion.

Dans l'objectif prioritaire de conservation de la biodiversité marine et du patrimoine réunionnais, il faut rester ouvert à une évolution future du zonage actuel de la réserve, afin de mieux le modeler aux atouts naturels, tenant compte de la distribution hétérogène des peuplements marins.

VII.4 Comparaison des peuplements coralliens à l'échelle régionale

Une comparaison de la richesse spécifique corallienne à la Réunion avec celle mesurée la même année, en 2005, dans 7 autres pays de la région occidentale de l'océan Indien (Afrique du Sud, Kenya, Tanzanie, Madagascar, Maldives, Maurice et Seychelles), montre que les platiers réunionnais sont les moins diversifiés en coraux Scléractiniaires de la région, et de très loin (McClanahan *et al.* 2007a ; Figure 50). Cette comparaison révèle aussi que le genre *Acropora* est toujours bien présent et dominant sur les récifs de la Réunion, alors que ce genre semble avoir disparu dans d'autres sites (Kenya, Seychelles, Maldives) depuis l'ENSO (El Niño – Oscillation australe) de 1997-1998.

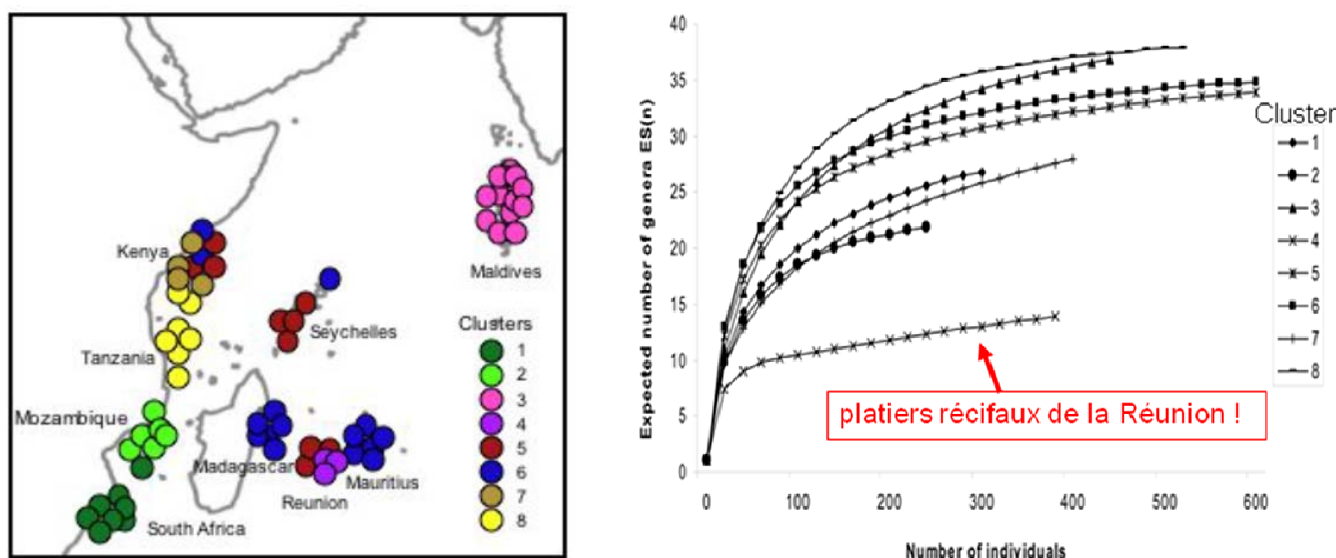


Figure 50. Analyse des communautés coralliennes dans la région occidentale de l'océan Indien. A gauche, les 8 groupes (« clusters ») distingués par leur composition générique en Scléractiniaires. A droite, les courbes de rarefaction permettant de comparer entre ces 8 groupes le nombre de genres de coraux prévu en fonction de l'effort d'échantillonnage (d'après McClanahan *et al.* 2007a). Les communautés coralliennes des platiers internes de la Réunion se démarquent des autres groupes par leur faible diversité générique, en raison de la dominance des Acropores comprenant une dizaine d'espèces.

Cette faible diversité générique en coraux des platiers internes de la Réunion, probablement liée à la jeunesse de l'île, limitant l'extension du plateau continental et le développement des récifs coralliens, conduisant à une faible diversité des habitats récifaux. A cet aspect historique, ce surajoute une diminution, voire une perte de diversité, liées à l'action anthropique directe et liée au réchauffement climatique global.

De plus, la forte dominance des Acropores sur les platiers récifaux à la Réunion nous interpelle quant aux capacités de résilience des récifs réunionnais à l'élévation de la température de l'eau de mer. Les Acropores sont particulièrement sensibles au blanchissement. Ainsi, ont-ils été décimés sur certains récifs de l'océan Indien occidental, suite à l'évènement ENSO majeur de 1997-98, alors que les récifs de la Réunion étaient peu affectés par cette nappe d'eau chaude. **Ainsi, les communautés coralliennes de la Réunion constituent une priorité de conservation parce qu'ils reflètent une composition «originelle».** Cependant, il suffirait qu'une anomalie thermique de la même ampleur affecte les récifs

réunionnais pour provoquer l'effondrement des peuplements de coraux branchus. Dans ce contexte, les faciès quasi-monospécifiques des stations de Kabanon et du Sanctuaire Sud à la Saline sont particulièrement vulnérables.

VII.5 Comparaison des peuplements ichtyologiques à l'échelle régionale

La diversité spécifique des poissons est élevée, avec plus de 300 espèces identifiées. Cette valeur est forte, eu égard au temps limité de la campagne d'échantillonnage, par comparaison aux 885 espèces inventoriées à la Réunion au cours de plusieurs travaux portant sur l'écologie des poissons et sur les pêcheries artisanales, en plus de 15 ans (Letourneur *et al.* 2004).

En revanche, la taille des poissons, et en conséquence la biomasse de leurs populations, sont extrêmement faibles. Une étude récente permet de comparer la biomasse de dix familles de poissons récifaux à la Réunion à celles rencontrés sur les récifs coralliens dans les réserves nationales marines du Kenya (McClanahan *et al.* 2007d, Figure 51). Les valeurs trouvées dans les différents niveaux de protection de la réserve naturelle marine de la Réunion sont largement inférieures, souvent de quelques ordres de grandeur, à celles rencontrés au Kenya, même dans les zones sans protection (Tableau 9). Seule exception, la famille de Scaridae pour laquelle une biomasse locale de $\sim 150 \text{ kg ha}^{-1}$ a été recensée sur la pente externe de la station Cimetière à Saint-Leu Sud, grâce à un banc de poissons perroquet qui semble avoir été pêché mi-mars 2008 (Brigade Nautique de l'Océan Indien, comm. pers.).

McClanahan *et al.* (2007d) estiment une biomasse « naturelle », c'est-à-dire qui peut être atteinte dans le contexte actuel après 30 années d'interdiction de pêche, à $1100 - 1200 \text{ kg ha}^{-1}$. Pour toute l'ichtyofaune recensée lors de la présente étude, les biomasses plafonnent à 50 kg ha^{-1} (Figures 44, 45), moins de 5 % d'une biomasse ichtyologique naturelle. Cette comparaison, à elle seule, est une indication forte d'une surexploitation des poissons sur ces deux récifs de la Réunion. De plus, les individus de la plupart des espèces sont généralement de petites tailles, largement inférieures aux tailles maximales qu'elles peuvent atteindre. Cet élément fournit une deuxième indication d'une surpêche des récifs réunionnais.

Face à ce constat de pression de pêche élevée, le besoin d'assurer des zones de protection pour que les peuplements de poissons se reconstituent est vital. Il relève de la responsabilité collective de se donner les moyens pour que la réserve marine joue ce rôle. Il faut aussi se donner le temps et évaluer pleinement la dimension temporelle, en tablant sur plusieurs décennies de réelle protection. D'autres nations ont déjà engagé des démarches en ce sens (Australie, Kenya...).

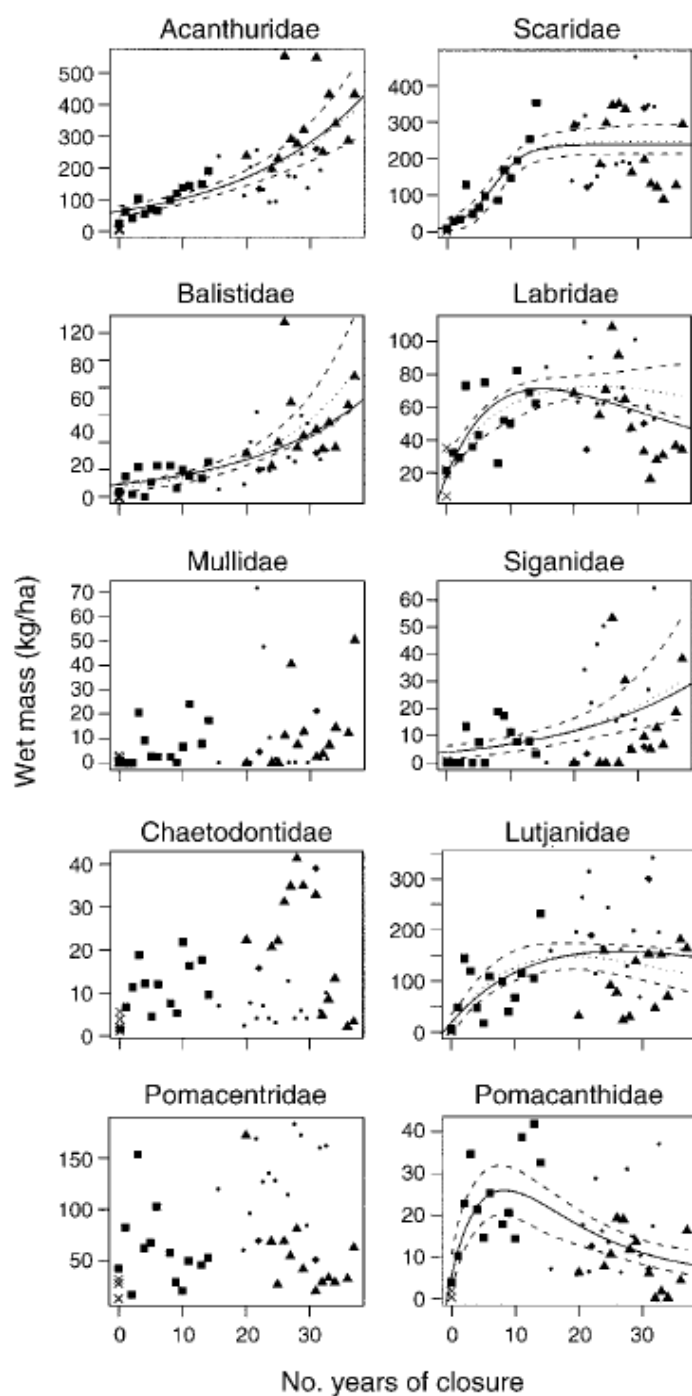


Figure 51. Courbes de récupération de la biomasse de dix familles de poisson à écologie trophique différente dans les réserves nationales marines du Kenya, en fonction du nombre d'années de protection. Les symboles représentent les réserves à Mombasa (■), Kisete (◆), Watumu (●), Malindi (▲) et sans protection (x). (Source : MaClanahan *et al.* 2007d.)

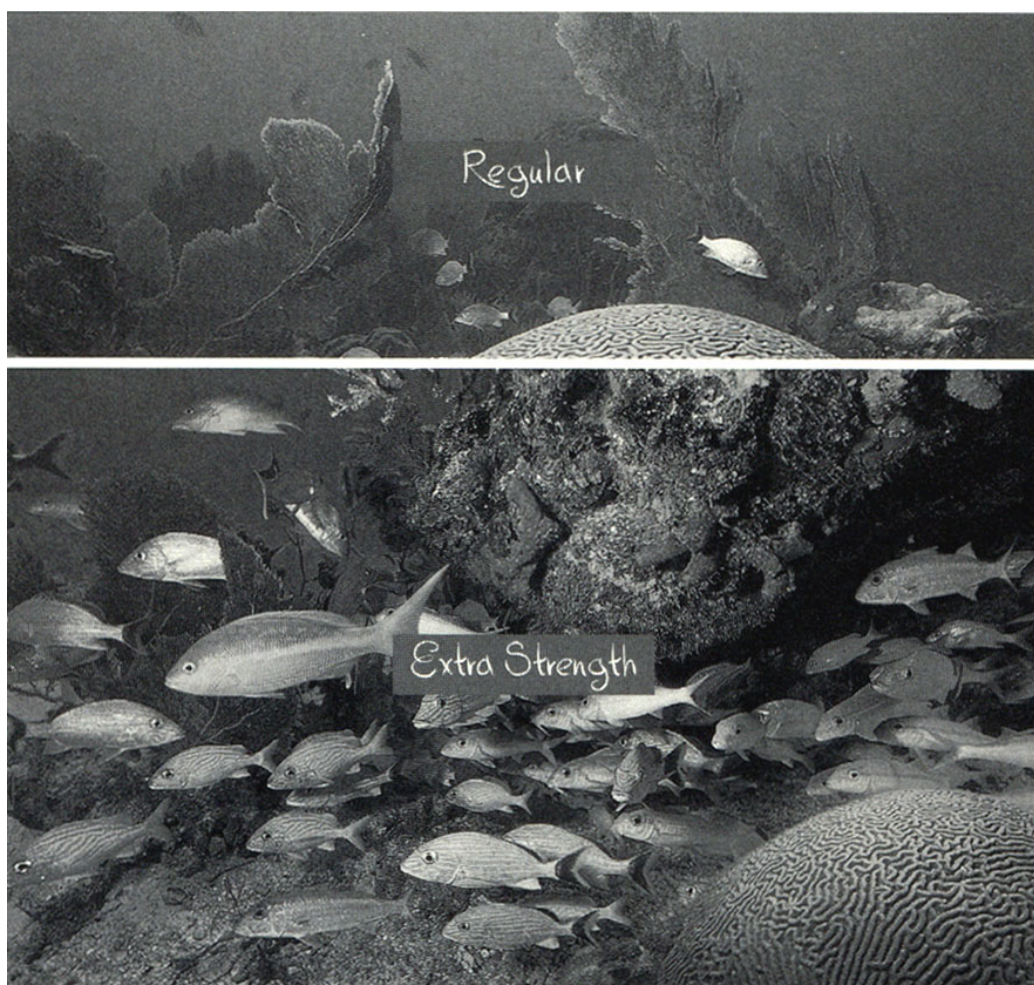
Tableau 9. A titre de comparaison, la moyenne des biomasses de ces dix familles sur les récifs de la réserve marine de la Réunion (platiers internes et pentes externes) sont présentés.

FAMILLE	Biomasse (kg ha ⁻¹)	
	Platiers internes	Pentes externes
Acanthuridae	3,74	18,42
Scaridae	5,65	148,31
Balistidae	0,07	0,77
Labridae	1,76	4,60
Mullidae	5,43	3,34
Siganidae	1,02	1,54
Chaetodontidae	1,53	5,92
Lutjanidae	0,71	4,06
Pomacentridae	13,17	8,52
Pomacanthidae	0,00	0,71

Si aujourd'hui, avant la mise en réserve, les densités des peuplements ichthyologiques sont trop faibles pour pouvoir déceler facilement des changements, d'ici quelques années, avec des densités augmentées grâce à la mise en réserve, ces méthodes d'évaluation devraient être alors suffisamment robustes pour montrer l'effet de la mise en réserve. Cela sous-entend toutefois de se donner les moyens humains pour renforcer la réglementation mise en place.

VII.6 Pour une évolution des mentalités

La valorisation du concept de réserve naturelle dans les mentalités françaises pourrait contribuer à améliorer son acceptation générale. En figure 52, l'exemple d'un document publicitaire conçu aux Florida Keys (Etats-Unis) et qui pourrait être adapté à la réserve naturelle marine de la Réunion. Elle oppose des fonds « ordinaires », dont l'ichtyofaune est très appauvrie, aux fonds luxuriants des aires marines protégées et met en valeur la biodiversité de ces sites.



Our New Sanctuary Preservation Areas. A cure for the common dive.

It took a strong dose of protection to create some of the best dive sites in the world. Take the Florida Keys new Sanctuary Preservation Areas. While regular dive sites allow anchoring, fishing, spearfishing, shell collecting and the removal of any marine life, that's all prohibited here. Which means you'll see more species of fish, more spectacular corals and a greater variety of sea life than ever before. For information, call 1-800-FLA-KEYS.

And you'll feel even better about diving in the Keys.

THE FLORIDA KEYS & KEY WEST
Come as you are®

Figure 52. Traduction du texte du poster : « Nos nouveaux sanctuaires marins. Un remède pour la plongée « ordinaire ». Ceci a requis une forte dose de protection pour créer quelques uns des meilleurs sites de plongée au monde. Prenons l'exemple de nouveaux sanctuaires marins aux *Florida Keys*. Tandis que les sites de plongée ordinaire permettent le mouillage, la pêche, la chasse sous-marine, la collecte des coquillages et le prélèvement d'autres organismes marins, ce comportement est banni chez nous. En conséquence, vous verrez plus d'espèces de poissons, des coraux plus spectaculaires et une diversité plus importante de vie marine que jamais ».

VIII. VALORISATION DE L'ETUDE

L'information médiatique a commencé avec quelques articles dans la presse locale, dont le Journal de l'île du 29 décembre 2004, et une intervention télévisée.

La valorisation scientifique de l'analyse des données benthiques et ichthyologiques du point zéro a été commencée par une présentation aux deux derniers symposia de la *Western Indian Ocean Marine Sciences Association* (WIOMSA), qui se sont tenus respectivement à l'île Maurice fin août 2005 et en Afrique du Sud en octobre 2007 :

Bruggemann H., Guillaume M., Bigot L., Chabanet P., Durville P., Mulochau T. & Tessier E. (2005). Effects of the future marine reserve at Reunion Island: Monitoring methods and power to detect temporal change in coral reef communities related to management. 4th WIOMSA Symposium, 30 août - 1^{er} septembre, Maurice (communication), book of abstracts: 38.

Bruggemann J.H., Guillaume M.M.M., Denis V., Bigot L., Naim O., Tessier E., Durville P. & Mulochau T. (2007). The recent marine reserve at Reunion Island: Initial state of the benthic communities of the coral reefs of Saint-Leu and la Saline. 5th scientific meetings of the Western Indian Ocean Marine Science Association, Durban, Afrique du Sud, 22-26 octobre (communication orale), book of abstracts.

Par ailleurs, le sujet de stage de recherche de deux étudiantes en 5^e année a été ciblé sur l'analyse des données de l'état initial.

Jimenez H. (2006). Détermination des facteurs biologiques et physiques contrôlant la distribution des Pomacentridae sur les platiers d'un récif corallien. Rapport de DEA de l'Université de la Rochelle (1^{er} de la promotion).

Parent M. (en prep.). Analyse éco-morphologique de 10 espèces sympatriques de Pomacentridae. Rapport de stage M2 Biodiversité et Ecosystèmes tropicaux (BEST).

Une diffusion de l'information sur le point zéro a été effectuée auprès du public par l'affichage d'un poster réalisé pour la fête de la Science en 2005, tiré de nouveau en 2007 :

Guillaume M., Naim O., Bigot L., Bruggemann H. (2005). Inventaire et archivage des peuplements coralliens par photographie numérique à haute résolution : établissement de l'état initial de la future réserve marine. Poster pour la fête de la Science 15-16 octobre au Muséum national d'Histoire naturelle, puis 19-20 novembre au Village de la Science, dans le stand d'ECOMAR.

IX. REMERCIEMENTS

Nous remercions James CARATINI pour ses précieux conseils dans le réglage initial de l'appareil photographique et le Pr. Michel PICHON pour son aide dans la détermination de quelques espèces de Scléractiniaires.

X. BIBLIOGRAPHIE

- Bouchon C. (1978). Etude quantitative des peuplements à base de Scléractiniaires d'un récif frangeant de l'île de la Réunion (océan Indien). Thèse Océanographie Université Aix-Marseille 2, 125 pp.
- Brook G. (1893). Catalogue of the Madreporarian corals in the British Museum. The genus *Madrepora*. London, 212 pp., 35 pl.
- Brown E., Cox E., Tissot B., Rodgers K.S. & Smith W.R. (1999). Evaluation of Benthic Sampling Methods Considered for the Coral Reef Assessment and Monitoring Program (CRAMP) in Hawai'i. International Conference on Scientific Aspects of Coral Reef Assessment, Monitoring, and Restoration. April 14-16, 1999. Ft. Lauderdale, Florida.
- Brown E., Cox E., Jokiel P., Rodgers K., Smith W., Tissot B., Coles S. & Hultquist J. (2004). Development of Benthic Sampling Methods for the Coral Reef Assessment and Monitoring Program (CRAMP) in Hawai'i. *Pacific Science* 58 (2): 145-158.
- Chabanet P. (1994). Etude des relations entre les peuplements benthiques et les peuplements ichtyologiques sur le complexe récifal de Saint-Gilles/la Saline (île de la Réunion). Thèse de Doctorat, Université d'Aix –Marseille III, 263 pp.
- Chabanet P., Join J.-L., Cuet P. & Naim O. (1996). Spatial variability in submarine groundwater discharge (SGD) occurrence and benthic and fish communities pattern on St-Gilles / la Saline reef: a tentative interpretation through an hydrogeological model (Reunion Island). Livre des résumés, Annual Meeting International Society for Reef Studies, Newcastle.
- Clarke K.R. & Gorley R.N. (2006). PRIMER 6. Logiciel et User manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, Angleterre, 190pp.
- Clarke K.R. & Warwick R.M. (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition. PRIMER-E, Plymouth, Angleterre.
- Conand C. (in prep.). Les Echinodermes de la Réunion.
- Fabricius K. & Alderslade P. (2001). Soft corals and sea fans. A comprehensive guide to the tropical shallow-water genera of the central-west Pacific, the Indian Ocean and the Red Sea. Australian Institute of Marine Science, and the Museum and Art Gallery of the Northern Territory, 264 pp.
- Faure G. (1982). Recherche sur les peuplements de Scléractiniaires des récifs coralliens de l'archipel des Mascareignes (océan Indien occidental). Thèse doctorat es Sciences, Université d'Aix-Marseille II, 206 pp. + bibliographie + planches (vol. 1) ; annexe, 246 pp. + bibliographie (vol. 2).
- Graham N.A.J., Wilson S.K., Jennings S., Polunin N.V.C., Bijoux J.P. & Robinson J. (2006). Dynamic fragility of oceanic coral reef ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103 (22) : 8425-8429.
- Guille A., Laboute P. & Menou J.L. (1986). Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle-Calédonie. Editions de l'O.R.S.T.O.M., Paris, 238 pp.

- Jennings S., Grandcourt E.M. & Polunin N.V.C. (1995). The effects of fishing on the diversity, biomass and trophic structure of Seychelles' reef fish communities. *Coral reefs* 14: 225-235.
- Join J.-L., Pomme J.-B., Coudray J. & Daessle M. (1988). Caractérisation des aquifères basaltiques en domaine littoral. Impact d'un récif corallien. *Hydrogéologie* 2: 107-115.
- Kuiter R.H. (2002). Fairy & rainbow wrasses and their relatives. A comprehensive guide to selected labroids. TMC publishing, Chorleywood, Royaume-Uni, 208 pp.
- Letourneur Y., Chabanet P., Durville P., Taquet M., Tessier E., Parmantier M., Quéro J.-C. & Pothin K. (2004). An updated checklist of the marine fish fauna of Reunion Island, South-Western Indian Ocean. *Cybium* 28(3): 199-216.
- Letourneur Y., Gaertner J.-C., Durbec J.-P. & Jessu M.E. (sous presse). Effects of geomorphological zones, reefs and seasons on coral reef fish communities of Réunion Island, Mascarene Archipelago, SW Indian Ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*
- Littler D.S. & Littler M.M. (2000). Caribbean reef plants. An identification guide to the reef plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of Mexico. OffShore Graphics, Inc., Washington D.C., 542 pp.
- Littler D.S. & Littler M.M. (2003). South Pacific reef plants. A divers' guide to the plant life of South Pacific coral reefs. OffShore Graphics, Inc., Washington D.C., 332 pp.
- McClanahan T.R., Ateweberhan M., Graham N.A.J., Wilson S.K., Sebastián C.R., Guillaume M.M.M. & Bruggemann J.H. (2007a). Western Indian Ocean coral communities : bleaching responses, and susceptibility to extinction. *Marine Ecology Progress Series*, 337 : 1-13.
- McClanahan T.R., Ateweberhan M., Ruiz Sebastian C., Graham N.A.J, Wilson S.K., Bruggemann J.H. & Guillaume M.M.M. (2007b). Predictability of coral bleaching from synoptic satellite and in situ temperature observations. *Coral Reefs*, 26 : 695-701.
- McClanahan T.R., Graham N.A.J., Maina J., Chabanet P., Bruggemann J.H. & Polunin N.V.C. (2007c). Influence of instantaneous variation on estimates of coral reef fish populations and communities *Marine Ecology Progress Series*, 340: 221-234.
- McClanahan T.R., Graham N.A.J., Calnan J.M., MacNeil M.A. (2007d). Toward pristine biomass: reef fish recovery in coral reef protected areas. *Ecological Applications* 17 (4) : 1055-1067.
- Montaggioni L. (1978). Recherches géologiques sur les complexes récifaux de l'archipel des Mascareignes (océan Indien occidental). Thèse doctorat es Sciences, Université d'Aix-Marseille, 217 pp. + bibliographie 47 pp. (vol. 1) ; annexes, 113 pl. (vol. 2).
- Moothien Pillay R., Terashima H., Venkatasami A. & Uchida H. (2002). Field guide to corals of Mauritius, Albion Fisheries Research Centre, Mauritius, 334 pp.
- Naim O. (1989) Platiers récifaux de l'île de la Réunion. Géomorphologie, contexte hydrodynamique et peuplements benthiques. Rapport de l'Université de la Réunion, Laboratoire de Biologie marine, pour l'AUR, 303 pp.
- Naim O. (2006). The structure of coral reef benthic communities at Saint-Gilles la Saline in 1987 (Reunion, Mascarene Archipelago, SW Indian Ocean). *Le Journal de la Nature* 18 (1) : 13-31.

- Payri C.E., N'Yeurt A.R. & Orempüller J. (2000). Algae of French Polynesia - Algues de Polynésie Française. Edition Au Vent des îles, Tahiti, 320 pp.
- Pichon M., Faure G., Geynet Y. & Caron D. (2007). Liste des espèces de Scléactiniaires des Mascareignes d'après Faure (1982), mise à jour le 7 septembre 2007 {14 familles, 52 genres, 188 espèces}. <http://coraux.univ-reunion.fr>
- Scheer G. & Pillai C.S.G. (1983). Report on the stony corals from the Red Sea. *Zoologica* 133, 198 pp.
- Sheppard C.R.C. & Sheppard A.L.S. (1991). Corals and coral communities of Arabia. *Fauna of Saudi Arabia* 12, 170 pp.
- Sobel J. & Dahlgren C. (2004). Marine reserves. A guide to Science, design, and use. Island Press, USA. 383 pp.
- Underwood A.J. (1997). Experiments in ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge University Press, 504 pp.
- Veron J.E.N. (2000). Corals of the world. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia. 3 Vols., 1382 pp.
- Veron J.E.N., Pichon M. & Wijsman-Best M. (1976). Scleractinia of eastern Australia. Part 1. Families Thamnasteriidae, Astrocoeniidae, Pocilloporidae. Australian Institute of Marine Science, Monograph series, vol. 1, 86 pp.
- Veron J.E.N., Pichon M. & Wijsman-Best M. (1977). Scleractinia of eastern Australia. Part 2. Families Faviidae, Trachyphylliidae. Australian Institute of Marine Science, Monograph series, vol. 3, 233 pp.
- Veron J.E.N. & Pichon M. (1979). Scleractinia of eastern Australia. Part 3. Families Agariciidae, Siderastreidae, Fungiidae, Oculinidae, Merulinidae, Mussidae, Pectiniidae, Caryophylliidae, Dendrophylliidae. Australian Institute of Marine Science, Monograph series, vol. 4, 459 pp.
- Veron J.E.N. & Pichon M. (1982). Scleractinia of eastern Australia. Part 4. Family Poritidae. Australian Institute of Marine Science, Monograph series, vol. 5, 159 pp.
- Veron J.E.N. & Wallace C.C. (1984). Scleractinia of eastern Australia. Part 5. Family Acroporidae. Australian Institute of Marine Science, Monograph series, vol. 6, 485 pp.
- Wallace C. (1999). Staghorn corals of the world. A revision of the genus *Acropora* (Scleractinia; Astrocoeniina; Acroporidae) worldwide, with emphasis on morphology, phylogeny and biogeography. CSIRO publishing, Australia, 421 pp.