

**Les premiers stades de vie des poissons de Nouvelle-Calédonie :
identification des habitats lagonaires pour les stades pré- et post installation**

**Volet thématique 1
Stades pré-installation**

Laure Carassou & Dominique Ponton

IRD Nouméa

Mars 2007

1. INTRODUCTION GÉNÉRALE	5
2. SIX TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE POUR ESTIMER LA DIVERSITÉ ET L'ABONDANCE DES LARVES ET JUVÉNILES DE POISSONS CORALLIENS	7
2.1 CADRE DE L'ÉTUDE	7
2.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	9
2.2.1 Définitions.....	9
2.2.2 Engins d'échantillonnage	9
2.2.3 Périodes d'échantillonnage.....	13
2.2.4 Identifications et mesures des poissons.....	13
2.2.5 Analyses des données	17
2.3 RÉSULTATS.....	17
2.3.1 Efficacité de chaque technique.....	17
2.3.2 Familles échantillonnées par chaque engin.....	17
2.3.3 Distributions de tailles des individus capturés à l'aide des six techniques.....	19
2.4 DISCUSSION	21
3. IDENTIFICATION ET CLASSEMENT HIÉRARCHIQUE DES FACTEURS DE L'ENVIRONNEMENT QUI INFLUENCENT LA STRUCTURE SPATIALE ET TEMPORELLE DES ASSEMBLAGES DE LARVES DANS LE LAGON.	27
3.1 INTRODUCTION	27
3.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	29
3.2.1 Sites d'étude	29
3.2.2 Échantillonnage	29
3.2.3 Travail de laboratoire	31
3.2.4 Acquisition des données environnementales abiotiques.....	31
3.2.5 Analyse des données.....	33
3.3 RÉSULTATS.....	37
3.3.1 Description des assemblages et de leur environnement.....	37
3.3.2 Variabilité spatiale et temporelle des conditions de la colonne d'eau pour chaque site	37
3.3.3 Typologie des assemblages de larves en relation avec les conditions météorologiques.....	41
3.3.4 Typologie des assemblages de larves en relation avec les conditions de la colonne d'eau.....	41
3.4 DISCUSSION	43
4. DESCRIPTION ET ANALYSE DU RÉGIME ALIMENTAIRE DES LARVES DE POISSONS DANS LA COLONNE D'EAU	53
4.1 INTRODUCTION	53
4.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	53
4.2.1 Sous échantillonnage des larves.....	53
4.2.2 Dissection des contenus digestifs	55
4.2.3 Identification et évaluation de la taille des proies	55
4.2.4 Analyse des données.....	57
4.3 RÉSULTATS.....	59
4.3.1 Contenu des systèmes digestifs pour chaque taxon	59
4.3.2 Variabilité des abondances relatives des catégories de proies en fonction des taxons.....	59
4.3.3 Relation entre la diversité des proies et la taille des larves	61
4.3.4 Relation entre la taille des proies et la taille des larves.....	61
4.4 DISCUSSION	61
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	65
6. RÉFÉRENCES CITÉES	69
7. RÉSUMÉ	73

1. Introduction générale

La plupart des espèces de poissons récifo-lagonaires présentent un cycle de vie complexe en deux phases : une phase pélagique où les individus évoluent dans la colonne d'eau au stade larvaire, et une phase benthique où les individus sont associés à un substrat benthique aux stades juvénile et adulte. Pendant la phase pélagique, les individus sont soumis à une forte prédation, au manque de nourriture, et à des conditions environnementales plus ou moins favorables à leur croissance, responsables d'une mortalité supérieure à 90 % et atteignant 25 à 40 % par jour pour certaines espèces (Boehlert, 1996). Les individus qui survivent pendant cette phase sont ceux qui s'installent sur des substrats benthiques favorables, où ils vont à nouveau subir une mortalité supérieure à 66 % au moment de l'installation, et variant de 9 à 20 % pendant les premiers mois suivants (Doherty et al., 2004). Les processus qui interviennent pendant les phases larvaires et juvéniles sont donc d'une importance capitale pour le renouvellement des populations de poissons, et leur compréhension fournit des outils uniques à l'élaboration de plans de gestion adaptés des populations de poissons commerciaux et des habitats qui leur sont favorables (Fuiman & Werner, 2002).

L'étude des facteurs qui influencent la survie des phases larvaires pélagiques doit s'appuyer sur l'analyse des paramètres environnementaux, abiotiques et biotiques, qui agissent d'une part sur les abondances et la diversité des assemblages, et d'autre part sur l'alimentation et la croissance des individus dans la colonne d'eau. L'identification de ces facteurs permettra d'établir une typologie des conditions, habitats, zones ou périodes qui optimisent la survie des larves dans le lagon, et qui sont donc potentiellement favorables au succès du recrutement des poissons commerciaux en Nouvelle-Calédonie.

Cette étude, qui s'inscrit dans le cadre d'une thèse de doctorat en cours, répond donc aux objectifs suivants :

- 1) Quels sont les facteurs de l'environnement, abiotiques et biotiques, qui agissent sur les abondances des différentes familles de larves, et est-il possible d'établir une hiérarchie de ces facteurs à différentes échelles spatiales et temporelles ?
- 2) Quelles sont les principales proies consommées par les larves dans la colonne d'eau ?

De plus, une analyse méthodologique, intégrant à la fois des résultats obtenus sur les phases larvaires et juvéniles, sera présentée, fournissant une synthèse de six techniques d'échantillonnage disponibles pour l'évaluation des abondances et de la diversité en jeunes poissons dans le lagon, et permettant aux scientifiques et aux gestionnaires de cibler la technique la mieux adaptée à la capture de certaines familles, classes de taille ou stage ontogéniques.

2. Six techniques d'échantillonnage pour estimer la diversité et l'abondance des larves et juvéniles de poissons coralliens¹

2.1 Cadre de l'étude

Les écosystèmes coralliens, souvent cités comme l'équivalent de la forêt tropicale humide en termes de diversité d'espèces (Connell, 1974), subissent l'influence négative de facteurs anthropiques et climatiques qui ont augmenté ces dix dernières années. Ainsi 30% des écosystèmes coralliens du monde sont maintenant considérés comme sévèrement endommagés et 60% pourraient être perdus d'ici 2030 (Hughes et al., 2003). La perte des habitats récifaux aura des conséquences négatives sur les personnes qui dépendent directement des ressources que ces écosystèmes accueillent, en particulier les poissons. Les poissons sont de plus capturés pour la consommation locale aussi bien que pour l'exportation sur le marché du poisson vivant destiné à la consommation ou à l'aquariophilie, un domaine en pleine expansion (Wood, 2001a; Hughes et al., 2003). Les risques qu'encourent les écosystèmes coralliens soulignent le besoin urgent d'outils efficaces pour la surveillance et la gestion de leurs ressources.

La démographie et l'abondance des poissons coralliens adultes dépendent du succès du recrutement (Sale, 2002) qui est caractérisé par d'importantes variations temporelles (Doherty & Williams, 1998). Il est maintenant clair que le succès du recrutement dépend en grande partie du taux de survie des larves pélagiques (Boehlert, 1996) et de l'intensité de la prédation dès que les juvéniles s'installent dans les habitats benthiques (Doherty et al., 2004). Dans ce contexte, comprendre les processus qui influencent la taille et la dynamique des populations des poissons adultes nécessite de s'intéresser aux premiers stades de vie (Booth & Brosnan, 1995). Par exemple, une meilleure connaissance des facteurs environnementaux qui favorisent la survie des larves et des juvéniles pourra aider à identifier, et donc à protéger, les habitats qui leur sont essentiels (Beck et al., 2001), ce qui contribuera à une gestion plus efficace et plus durable de la pêche (Fuiman & Werner, 2002).

Étudier les premiers stades de vie des poissons est un défi du fait que leur taille, morphologie et comportement varient fortement durant l'ontogénie (Moser, 1981; Leis & McCormick, 2002) et aussi entre espèces (Leis, 1991). Il est donc problématique d'obtenir des estimations précises des abondances de larves et juvéniles de poissons (Suthers & Frank, 1989), en particulier dans les eaux tropicales où la diversité taxonomique est élevée. Ces estimations précises d'abondances nécessitent l'utilisation de différents engins, chacun ciblant un stade de développement précis ou une gamme de tailles particulière dans un habitat donné (Leis, 1991). Bien que plusieurs synthèses sur les techniques

¹ Cette partie correspond au manuscrit Carassou L., Mellin C. et Ponton D. How to assess the diversity and abundance of coral-reef fish larvae and juveniles? A review of six sampling techniques. Soumis pour publication dans Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems en mars 2007.

d'échantillonnage des larves et juvéniles des espèces tempérées aient été publiées (par ex. Murphy & Willis, 1996), l'équivalent pour les écosystèmes coralliens manque encore.

Les opérations Zonéco successives sur les larves et juvéniles de poissons ont nécessité l'emploi de différentes techniques d'échantillonnage dans différents habitats. Le but du travail présenté ici était donc 1) de décrire les six techniques utilisées pour capturer les larves et juvéniles de poissons dans des habitats variant de la colonne d'eau dans différentes baies, autour d'îlots et près de passes, à des habitats benthiques tels que zones coralliennes ou sableuses, algueraies ou herbiers ; 2) de présenter la diversité taxonomique et la gamme de taille des individus capturés avec chaque engin ; 3) de discuter l'efficacité de chaque technique pour conduire à des estimations robustes de densités de larves ou de juvéniles. Les efficacités des différentes techniques ne seront pas comparées directement en termes statistiques, du fait que les contextes dans lesquels elles ont été utilisées ainsi que les stratégies d'échantillonnages ont été trop différents. Néanmoins, les informations que nous avons acquises offrent une occasion unique de présenter une vue générale des caractéristiques de ces différentes techniques d'échantillonnage, de leurs avantages, et de leurs inconvénients s'il en existe. Le but ultime de cette synthèse est de fournir aux écologistes qui étudient les milieux récifaux ainsi qu'aux gestionnaires les informations qui les aideront pour sélectionner l'engin le plus adapté à leurs objectifs et leurs moyens.

2.2 Matériel et méthodes

2.2.1 Définitions

La fin de la période larvaire des poissons coralliens est habituellement définie comme le moment où elles s'installent dans les habitats benthiques (Leis & McCormick, 2002). Bien que la transition entre périodes larvaire et juvénile ne semble pas toujours correspondre au moment de l'installation, le terme « larve » fera ici référence aux jeunes poissons dans la colonne d'eau, et le terme « juvénile » fera référence aux individus installés. Cette terminologie reste donc en accord avec ce qui a toujours été indiqué dans les rapports Zonéco et ce quelque soit le stade de développement réel des jeunes poissons dans la colonne d'eau ou installés.

2.2.2 Engins d'échantillonnage

Trois engins différents ont été utilisés pour échantillonner les larves : un filet à ichtyoplancton et deux modèles de pièges lumineux. Le filet à ichtyoplancton consiste en un anneau en acier inoxydable de 0,60 m de diamètre sur lequel est fixé un filet de maille 335 μm de 3,60 m de long. Il a été utilisé de nuit, tiré à environ 0,5 m sous la surface par un bateau effectuant une trajectoire circulaire pendant 2 minutes à approximativement 2 nœuds. Un débitmètre General Oceanic fixé au centre de l'ouverture a permis de mesurer la distance parcourue et donc le volume filtré (en m^3) en supposant une efficacité de filtration de 100%.

a) piège Aquafish

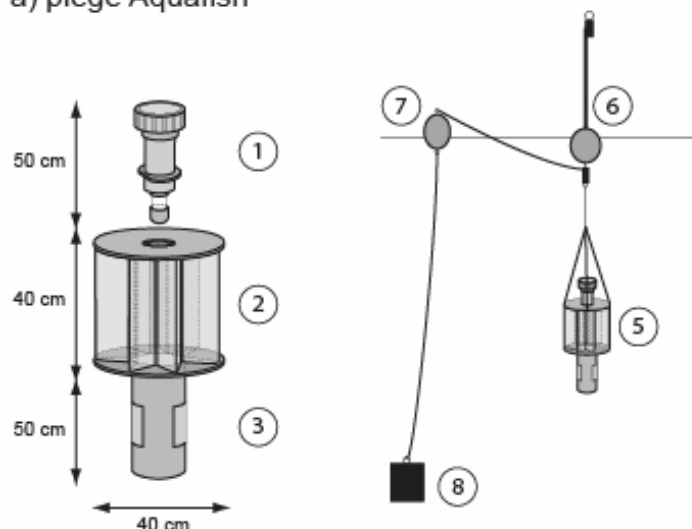
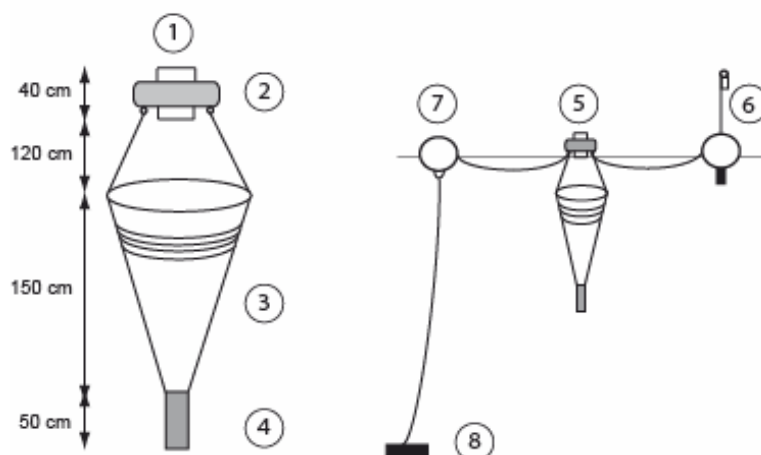


Figure 1. Schémas de trois des engins :

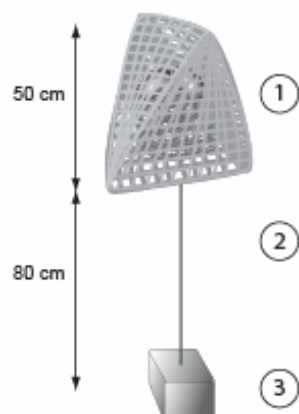
a) piège Aquafish avec 1 : bloc étanche contenant la batterie 12V et la lampe néon 7W ; 2 : pièces de plexiglas transparentes séparées par une fente verticale de 10mm ; 3) collecteur avec fenêtres de maille 2mm ; 5 : mouillage du piège ; 6 : bouée équipée d'une lampe stroboscopique ; 7 : bouée ; 8 : poids de 10kg.

b) piège Ecocean



b) piège Ecocean avec 1 : bloc étanche contenant une batterie 6V et une lampe néon de 7W ; 2 : système de flottabilité ; 3 : filet conique de maille 2mm ; 4 : collecteur ; 5 : mouillage du piège ; 6 : bouée équipée d'une lampe stroboscopique ; 7 : bouée ; 8 : poids de 10kg.

c) Attracteur



c) attracteur avec 1 : structure tridimensionnelle en grillage plastique de maille de 1cm renfermant une spirale en grillage plastique de 5mm de maille et des bouées en polystyrène ; 2 : câble acier de 80cm ; 3 : poids de 7kg.

Le premier modèle de piège lumineux a été développé initialement par la société Aquafish Technologies (Lattes, France) et sera dénommé « pièges Aquafish » dans la suite du document. Chaque piège Aquafish est constitué d'un bloc étanche, contenant une batterie de 12V, une lampe néon de 7W et une minuterie, qui est installé au sommet d'un système cylindrique constitué de 7 plaques de plexiglas pliées en V et séparées par des fentes d'environ 10mm (Figure 1.a). La base du piège est constituée d'un godet amovible avec 2 fenêtres équipé de maille 2mm. Quand la lumière est allumée, les larves sont attirées et entrent dans le piège en passant par les fentes verticales ; elles sont ensuite théoriquement incapables de s'échapper. Ces engins ont toujours été placés à 2,5 m de profondeur, la lampe s'allumant automatiquement à 01h00 pour s'éteindre à 05h00.

Le second type de piège lumineux a été développé par la société Ecocean (Saint-Clément-de-Rivière, France) et sera appelé « pièges Ecocean » par la suite. Chaque piège Ecocean consiste en un bloc étanche flottant à la surface, contenant une batterie de 6V et une lampe néon de 7W, sous lequel est attaché un filet conique (Figure 1.b). Cet engin a été imaginé de manière à éviter de capturer de grandes quantités de petits pélagiques (brevet INPI n°0208582). Le principe est que les jeunes poissons se concentrent autour de la lumière lorsqu'elle est allumée mais quand elle s'éteint le matin, les Engraulididae et Clupeidae ont tendance à se disperser en surface alors que les espèces coralliennes cherchent à se cacher dans le filet. Les poissons sont ensuite récupérés dans le godet amovible avec des fenêtres équipées de maille 330 µm. Par construction, ces pièges ont toujours été placés à la surface, la lampe s'allumant automatiquement à 22h00 pour s'éteindre à 05h00.

Trois techniques différentes ont été utilisées pour échantillonner les juvéniles : des attracteurs artificiels destinés à capturer les juvéniles récemment installés, une senne déployée sous l'eau par des plongeurs pour capturer les juvéniles plus âgés dans les herbiers et algueraies, et des micro-empoisonnements à la roténone pour capturer ceux des zones coralliennes. Chaque attracteur consiste en une structure tridimensionnelle faite de grillage plastique de 1 cm d'ouverture renfermant une spirale faite de grillage plastique de 5 mm d'ouverture destinée à augmenter la complexité structurale, et trois bouées en polystyrène pour la flottabilité (Figure 1.c). Chaque structure artificielle a été attachée à un corps mort en béton de 7 kg par un câble en acier de 0,8 m et mouillée entre 2 et 8 m de profondeur. Les juvéniles sont récupérés 2 jours après que les pièges aient été nettoyés. Des plongeurs autonomes enveloppent chaque structure avec un filet de maille 1 mm et le ramènent à la surface. La structure est soigneusement nettoyée et tous les juvéniles sont récupérés dans le filet.

La senne était à l'origine une senne de plage de 10 m de long, 1,20 m de haut, et de maille 4 mm équipée d'un collecteur circulaire de 50 cm de diamètre, 1 m de long en maille 2 mm. Elle a été modifiée en attachant des bouées de polystyrène à la ralingue du haut et des poids à celle du bas afin qu'elle se tienne verticale sur le fond. Après déploiement, cette senne est tirée par deux plongeurs sur environ 10 m. Le collecteur est ensuite soigneusement fermé et ramené la surface où tous les jeunes poissons sont soigneusement récupérés.

Les empoisonnements à la roténone ont été effectués sur des colonies coralliennes de 0,8 à 1,0 m³.

Une fois sélectionnée, la colonie est soigneusement recouverte d'un filet de maille 1 mm, son périmètre étant équipé d'une chaîne afin de le maintenir sur le fond et son sommet étant maintenu au dessus de la colonie par de petites bouées. Ensuite environ 200 g de roténone en poudre, mélangée à 1 litre d'eau de mer et 20 ml de détergent, sont injectés dans la zone enclose par le filet. Après approximativement 10 minutes, les deux plongeurs récupèrent tous les individus retenus par le filet, utilisant si besoin des pinces pour récupérer ceux se trouvant dans les trous du corail.

A l'exception des larves capturées par le filet à ichthyoplancton et des juvéniles capturés à la roténone, tous les individus ont été anesthésiés dans une solution concentrée de benzocaïne après capture. Tous les individus ont été immédiatement préservés dans de l'alcool à 95 %.

2.2.3 Périodes d'échantillonnage

Les données présentées ici proviennent de différents endroits du lagon SO de Nouvelle-Calédonie.

Les larves de poissons ont été échantillonnées quatre nuits par mois entre septembre 2004 et janvier 2005 et six nuits par mois entre septembre 2005 et février 2006 (pièges Ecocean seulement). Chaque période d'échantillonnage était centrée sur la nouvelle lune dans le but d'optimiser l'efficacité des pièges lumineux. Les juvéniles ont été capturés de septembre 2005 à février 2006.

2.2.4 Identifications et mesures des poissons

Les larves ont été identifiées jusqu'au plus bas niveau taxonomique possible en utilisant Leis & Trnski (1989), Leis & Carson-Ewart (2000a) ainsi que la base de données électronique Fishpaste développée par P.J. Doherty (AIMS, Townsville, données non publiées). Les juvéniles ont été identifiés à partir des informations trouvées dans Randall (2005) pour la plupart des espèces, Wilson (1998) pour les Lethrinidae et Bellwood & Choat (1989) pour les Scaridae. Comme la plupart des larves n'ont pas pu être identifiées jusqu'au niveau de l'espèce ni même celui du genre, tous les poissons ont été regroupés au niveau de la famille dans les analyses.

Tous les poissons ont été mesurés (longueur standard en mm) à l'aide d'un pied à coulisse électronique à l'exception des Clupéiformes chez qui seulement 20 individus choisis au hasard ont été mesurés et des juvéniles de Siganidae et Apogonidae chez qui au moins 15 individus ont été mesurés lorsqu'ils étaient abondants.

Tableau 1. Nombres d'échantillons, nombres d'échantillons sans poisson, nombre de poissons par échantillon (moyenne, minimum, maximum) et nombre de poissons par unité d'effort (moyenne, minimum, maximum) pour chaque technique d'échantillonnage. Les unités d'effort sont aussi indiquées.

Technique d'échantillonnage	Nombre d'échantillons	Nombre d'échantillons sans poisson	Nombre de poissons par échantillon			Effort	Nombre de poissons par unité d'effort			Unités
			moy	min	max		moy	min	max	
filet ichtyoplancton	60	0	214	24	2 305	2 min	107	12	1152	min ⁻¹
						ou 14 to 75 m ³	7	0	61	m ⁻³
piège lumineux Aquafish	44	4	29	1	185	3 h	10	0	61	h ⁻¹
piège lumineux Ecocean	156	7	148	1	5 371	7 h	21	0	767	h ⁻¹
Attracteur	192	89	5	1	133	2 jours	5	2	132	par 2 jours
senne	48	4	44	4	578	3 min	15	1	133	min ⁻¹
						ou ~ 100 m ²	1	0	6	m ⁻²
Micro-empoisonnements à la roténone	24	1	39	15	134	~ 1 m ³ de récif	39	15	134	m ⁻³

Tableau 2. Occurrences (O) et abondances relatives (A) des familles de poissons capturées comme larves avec le filet à ichtyoplancton, les pièges Aquafish, et les pièges Ecocean, et comme juvéniles avec les attracteurs, la senne et les micro-empoisonnements. Les occurrences sont exprimées en pourcentage du nombre total d'échantillons pour chaque technique. Les abondances relatives sont exprimées en pourcentages du nombre total d'individus capturés avec chaque technique. Avec "1": O ou A < 1 %; "2": $1 \leq O$ ou A < 10 %; "3": $10 \leq O$ ou A < 50 %; "4": O ou A ≥ 50 %; *: les individus de cette famille ont été capturés comme larves et juvéniles ; - : cette famille n'a pas été capturée avec cette technique. Le nombre total d'individus capturés et le nombre total d'échantillons par technique sont aussi présentés.

Ordre Familles	Larves						Juvéniles					
	Filet ichtyo- plancton		piège Aquafish		piège Ecocean		Attracteur		senne		roténone	
	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A
Anguilliformes												
Anguillidae	-		-		2	1	-		-		-	
Congridae	-		-		2	1	-		-		-	
Muraenidae*	-		-		2	1	-		-		2	1
Nettastomatidae	-		-		2	1	-		-		-	
Ophichthidae	-		-		2	1	-		-		-	
Atheriniformes												
Atherinidae	2	1	3	1	3	2	-		-		-	
Notocheiridae	3	2	-		2	1	-		-		-	
Aulopiformes												
Synodontidae*	-		-		2	1	-		2	1	2	1
Beloniformes												
Belonidae	2	1	-		-		-		-		-	
Hemiramphidae	2	1	-		1	1	-		-		-	
Beryciformes												
Holocentridae	-		-		-		-		-		3	1
Clupeiformes												
Clupeidae	3	2	4	2	3	3	-		-		-	
Engraulididae	4	2	4	4	3	3	-		-		-	
Elopiformes												
Elopidae	-		-		2	1	-		-		-	
Gadiformes												
Bregmacerotidae	2	1	-		1	1	-		-		-	
Gasterosteiformes												
Aulostomidae	-		-		1	1	-		-		-	
Fistulariidae*	-		2	1	2	1	-		2	1	-	
Pegasidae	2	1	-		-		-		-		-	
Syngnathidae*	4	2	2	1	3	1	-		2	1	2	1
Lophiiformes												
Antennariidae*	-		-		2	1	2	1	-		2	1
Mugiliformes												
Mugilidae	2	1	-		-		-		-		-	
Ophidiiformes												
Bythiidae	2	1	-		-		-		-		-	
Ophidiidae*	-		-		1	1	-		-		2	1
Perciformes												
Acanthuridae*	-		-		2	1	-		-		2	1
Ambassidae	2	1	-		2	1	-		-		-	
Ammodytidae	3	2	-		1	1	-		-		-	
Apogonidae*	3	2	3	3	4	2	3	2	3	2	4	2
Blenniidae*	3	2	3	2	3	2	3	3	3	2	3	2

Tableau 2 : 2 de 2.

Ordre Familles	Larves						Juvéniles					
	Filet ichtyo- plancton		piège Aquafish		piège Ecocean		Attracteur		senne		roténone	
	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A
Perciformes												
Caesionidae	-		-		2	1	-		-		-	
Callionymidae*	2	1	-		-		-		2	1	2	1
Carangidae	3	1	3	1	3	1	-		-		-	
Chaetodontidae*	-		2	1	2	1	1	1	2	1	3	2
Eleotridae*	3	1	-		-		2	2	-		-	
Gerreidae	3	2	-		2	1	-		-		-	
Gobiesocidae*	3	1	-		2	1	1	1	-		2	1
Gobiidae*	4	3	-		3	1	2	1	3	2	3	2
Haemulidae	3	2	-		2	1	-		-		-	
Kuhliidae	-		-		1	1	-		-		-	
Kyphosidae	-		-		1	1	-		-		-	
Labridae*	2	1	-		2	1	2	2	4	3	3	2
Leiognathidae	4	2	-		2	4	-		-		-	
Lethrinidae*	-		3	2	3	2	2	2	4	3	-	
Lutjanidae	3	2	3	2	3	2	-		-		-	
Monodactylidae	2	1	-		-		-		-		-	
Mullidae*	2	1	-		3	1	-		3	2	2	1
Nemipteridae*	3	2	2	1	2	1	-		-		2	1
Pinguipedidae	-		-		-		-		2	3	1	3
Plesiopidae*	-		2	1	2	1	-		-		3	2
Pomacanthidae*	3	2	-		-		-		-		2	1
Pomacentridae*	3	2	3	3	3	4	3	2	3	2	4	4
Priacanthidae	2	1	-		-		-		-		-	
Pseudochromidae*	-		-		2	1	-		-		3	1
Ptereleotridae	-		-		-		-		2	2	-	
Scaridae*	2	1	-		2	1	2	2	3	2	2	1
Scombridae	2	1	2	1	-		-		-		-	
Serranidae*	-		2	1	2	1	-		-		3	1
Siganidae*	2	1	3	2	3	2	2	2	3	3	-	
Sillaginidae	2	1	-		-		-		-		-	
Sphyraenidae	3	1	2	1	1	1	-		-		-	
Toxotidae	2	1	-		-		-		-		-	
Tripterygiidae*	2	1	2	1	3	1	2	2	2	1	3	1
Xenisthmidae	2	1	-		-		-		-		-	
Pleuronectiformes												
Bothidae	2	1	-		2	1	-		-		-	
Cynoglossidae	-		-		2	1	-		-		-	
Poecilopsettidae	-		-		2	1	-		-		-	
Soleidae	2	1	-		1	1	-		-		-	
Scorpaeniformes												
Platycephalidae*	2	1	-		-		-		2	1	-	
Scorpaenidae*	-		2	1	3	1	-		-		3	2
Triglidae	2	1	-		-		-		-		-	
Siluriformes												
Plotosidae	-		-		-		-		2	1	-	
Tetraodontiformes												
Monacanthidae*	3	1	-		2	1	2	2	2	1	-	
Tetraodontidae*	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1
Nb total d'individus	1 606		1 059		21 915		391		1 232		747	
Nb total d'échantillons	60		44		156		192		48		24	

2.2.5 Analyses des données

Le but de ce travail est de présenter une vue générale des taxons et des gammes de tailles obtenus avec chacune des six techniques, et pas de comparer statistiquement leur efficacité. L'analyse des données consiste donc en une description des assemblages de jeunes poissons capturés par chaque technique en termes : 1) de probabilité de n'avoir aucun poisson dans un échantillon, ce qui est un proxy de l'efficacité de la technique, 2) de nombre de poissons capturés par unité d'effort, 3) de taille des individus capturés, et 4) d'occurrence et d'abondance relative des individus de chaque famille.

L'occurrence de chaque famille pour chaque technique a été calculée en divisant le nombre d'échantillons dans lesquels cette famille était présente par le nombre total d'échantillons effectués.

L'abondance relative de chaque famille pour chaque technique a été calculée en divisant le nombre d'individus de cette famille par le nombre total d'individus capturés.

2.3 Résultats

2.3.1 Efficacité de chaque technique

Tous les échantillons obtenus avec le filet à ichtyoplancton contiennent des larves alors que seulement 46 % des échantillons obtenus avec les attracteurs ne contiennent aucun poisson (Tableau 1). Pour toutes les autres techniques d'échantillonnage, la proportion d'échantillons sans poisson varie entre 4,2 et 9,0 %. Les nombres moyens d'individus les plus élevés ont été obtenus avec le filet à ichtyoplancton pour les larves et avec la senne pour les juvéniles (Tableau 1). Les pièges Ecocean apparaissent plus efficaces que les pièges Aquafish : la proportion d'échantillons sans poisson est de 4,5 % avec les premiers, 9,0 % avec les seconds, le nombre moyen d'individus capturés avec les premiers est le double et le nombre maximum d'individus est d'un ordre de grandeur supérieur, à ce qu'ils sont respectivement avec les seconds (Tableau 1).

2.3.2 Familles échantillonnées par chaque engin

Un total de 26 950 jeunes poissons de 72 familles a été capturé (Tableau 2). Au total, 260 échantillons ont été obtenus avec les trois techniques destinées à capturer des larves, rassemblant 68 familles. Les pièges « Ecocean » ont permis de capturer 53 familles contre 45 avec le filet à ichtyoplancton et 21 avec les pièges Aquafish. Pour les juvéniles, 264 échantillons ont été obtenus avec les trois techniques, rassemblant 34 familles. Les micro-empoisonnements à la roténone ont permis de capturer 26 familles, la senne 21 et les attracteurs 15. Pour une technique donnée, les occurrences et abondances relatives suivent généralement le même patron : les familles les plus fréquentes sont les plus abondantes (Tableau 2). Il est intéressant de noter que plus de la moitié des familles (30 sur 72) ont été obtenues aussi bien comme larves que comme juvéniles par au moins deux techniques et que 5 d'entre-elles (Apogonidae, Blenniidae, Pomacentridae, Tetraodontidae and Tripterygiidae) ont été obtenues par les 6 techniques.

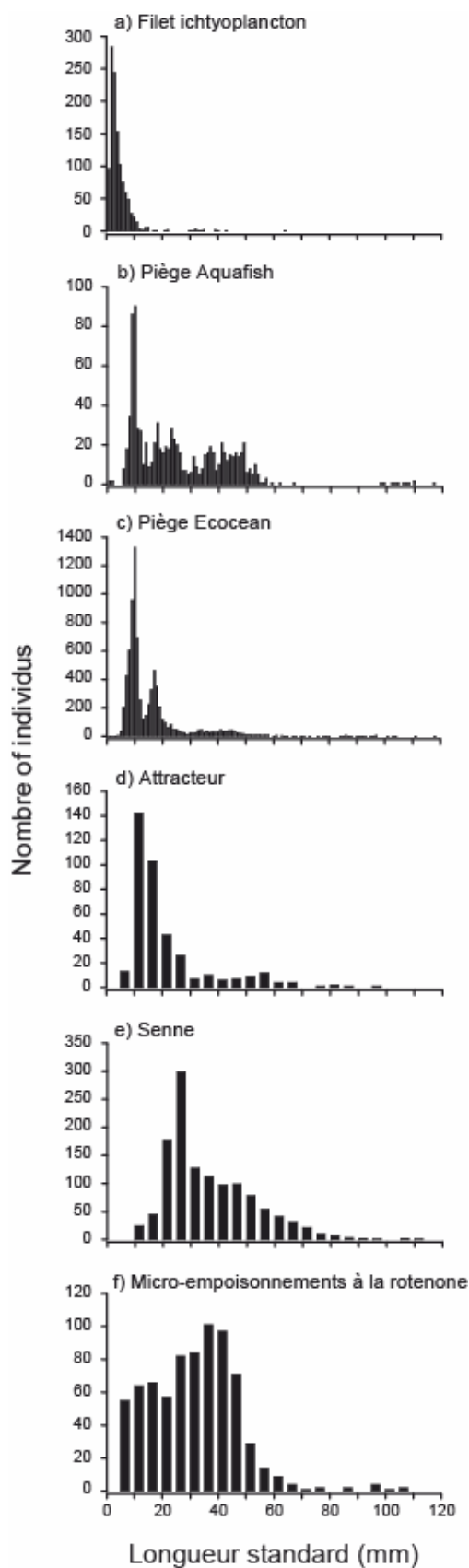


Figure 2. Distributions de tailles (longueur standard en mm) des larves et juvéniles de poissons capturés à l'aide des différentes techniques : a) filet à ichtyoplancton, 2) piège lumineux type « Aquafish », 3) piège lumineux type « Ecocean », d) attracteur, e) senne, et f) micro-empoisonnements à la rotenone.

Voir partie « Matériel et méthodes » pour une description des différentes techniques.

Une majorité des individus capturés appartiennent à des familles présentes dans moins de 10 % des échantillons et représentant moins de 1% des abondances totales (Tableau 2). Néanmoins, chaque technique semble cibler de manière plus efficace certaines familles. Par exemple, plus de 50 % des échantillons obtenus avec le filet à ichtyoplancton contient des Engraulidae, Syngnathidae, Leiognathidae et Gobiidae, les individus de cette dernière famille étant aussi les plus abondants. Dans les échantillons obtenus avec les deux types de pièges lumineux, les Pomacentridae et Engraulidae dominent, suivis par les Lethrinidae, Lutjanidae et Siganidae (Tableau 2). Les Apogonidae sont très fréquents dans les échantillons des pièges Aquafish mais leur abondance relative est plus élevée dans les échantillons des pièges Ecocean. Les attracteurs permettent de capturer une proportion plus importante d'Apogonidae et Blenniidae, cette dernière étant aussi la plus fréquente dans les échantillons. Les échantillons obtenus avec la senne sont dominés par 3 familles qui sont très fréquentes et abondantes : Labridae, Lethrinidae et Siganidae. Les micro-empoisonnements à la roténone ont permis d'obtenir des quantités élevées de Pomacentridae dans 23 des 24 échantillons et des Apogonidae, bien que moins abondants, dans plus de 50 % des échantillons.

Certaines familles ont été capturées par une seule technique. Dix familles ont été capturées exclusivement par le filet à ichtyoplancton : Belonidae, Pegasidae, Mugilidae, Bythidae, Monodactylidae, Priacanthidae, Sillaginidae, Toxotidae, Xenisthmidae, et Triglidae (Tableau 2). De la même manière, les pièges Ecocean ont été les seuls à attirer des larves leptocéphales d'Anguilliformes et d'Elopiformes ainsi que des larves d'Aulostomidae, Kuhliidae, Kyphosidae, Cynoglossidae et Poecilopsettidae. Les juvéniles de Plotosidae ont été capturés seulement avec la senne, ceux d'Holocentridae seulement par les micro-empoisonnements à la roténone.

2.3.3 Distributions de tailles des individus capturés à l'aide des six techniques

Les six techniques d'échantillonnage permettent d'échantillonner des gammes de tailles complémentaires et successives. Les larves capturées par le filet à ichtyoplancton ont une taille moyenne de 4,2 mm LS pour une gamme allant de 0,8 à 64,8 mm LS, les individus entre 2 et 4 mm LS étant les abondants (Figure 2.a). Les larves capturées par les deux types de pièges lumineux ont des tailles similaires : la gamme de tailles des larves capturées par les pièges Aquafish s'étend de 1,3 à 117,4 mm LS, avec une moyenne de 17,9 mm LS, alors que la gamme de tailles de celles capturées par les pièges Ecocean va de 1,8 à 233,2 mm LS, avec une taille moyenne de 16,1 mm LS (Figure 2.b et c). Dans chacun des pièges lumineux, les larves les plus abondantes sont celles entre 9 et 11 mm LS. Les juvéniles capturés à l'aide des attracteurs ont une taille moyenne de 22 mm LS et présentent une gamme allant de 8 à 97 mm LS, les individus entre 10 et 20 mm LS étant les plus abondants (Figure 2.d). Le senne et les micro-empoisonnements ont permis de capturer des juvéniles de plus grandes tailles (moyenne 38 et 33 mm LS respectivement). La gamme de tailles des juvéniles capturés par la senne est plus étroite (10 à 113 mm LS) que celle des juvéniles capturés par micro-

empoisonnements (5 à 160 mm LS). De la même manière, les individus les plus représentés sont légèrement plus petits dans la senne, entre 20 et 30 mm LS, que dans les micro-empoisonnements, entre 35 et 45 mm LS (Figure 2.e et f).

2.4 Discussion

Avant de sélectionner une technique d'échantillonnage de jeunes poissons, plusieurs facteurs doivent être pris en compte, les plus importants étant les taxons ciblés, leur comportement et leur taille (Murphy & Willis, 1996). Pour les larves, cette étude a démontré qu'un grand nombre de familles peuvent être capturées en associant un filet à ichtyoplancton à des pièges lumineux. Le filet à ichtyoplancton et les pièges Ecocean présentent un recouvrement important dans la composition taxonomique des assemblages qu'ils capturent (29 familles en commun) alors que les échantillons des pièges Aquafish n'ont que 15 familles en commun avec ceux provenant du filet à ichtyoplancton. Un filet à ichtyoplancton et des pièges lumineux fonctionnent sur des principes très différents. Le filet capture de manière active les larves présentes (Brogan, 1994), mais ses caractéristiques (diamètre de l'ouverture, vitesse de traction et taille de la maille) peuvent influencer la composition taxonomique ainsi que la structure en tailles des captures (Barkley, 1972; Morse, 1989). Les pièges lumineux attirent sélectivement les larves et leur efficacité dépend principalement du comportement et du stade de développement des larves, c'est-à-dire de leur capacité à voir une lumière et à s'orienter dans sa direction (Milicich et al., 1992). Les caractéristiques du piège (taille des ouvertures, intensité et qualité de la lumière) peuvent aussi influencer la composition taxonomique et la structure en tailles des captures. Par exemple les Antennariidae qui présentent un corps large n'ont jamais été observés dans les pièges Aquafish alors qu'ils étaient présents dans les pièges Ecocean (Tableau 2). Le filet à ichtyoplancton et les piège lumineux sont donc des engins complémentaires car ils permettent de capturer des larves de différentes tailles et donc à des stades de développement différents. Les larves petites, et donc jeunes, sont plus facilement capturées par le filet car elles sont à un stade de développement peu avancé (Leis & Carson-Ewart, 2000a) et dérivent certainement passivement au gré des courants (Leis & McCormick, 2002). Au contraire, les larves plus âgées ont des capacités natatoires importantes et présentent des capacités sensorielles très développées (Leis & Carson-Ewart, 2000b; Fisher & Bellwood, 2002). Elles sont donc capables d'éviter un filet tiré par un bateau. Ces différences entre filet à ichtyoplancton et pièges lumineux ont déjà été soulignées par Brogan (1994), qui concluait que la taille des larves doit être le facteur le plus important lorsqu'il s'agit de choisir entre différents engins d'échantillonnage.

Des différences de diversité taxonomique et de tailles ont été observées pour les techniques destinées à capturer les juvéniles. Les attracteurs apparaissent moins efficaces en terme de nombres d'échantillons sans poisson et de nombre de familles capturées. Les résultats présentés ici proviennent d'attracteurs mouillés pour seulement deux jours mais il a été montré par ailleurs que le nombre de

juvéniles, ainsi que le nombre de groupes taxonomiques auxquels ils appartiennent, augmentent fortement avec le nombre de jours sous l'eau (Mellin et al., données non publiées). Bien qu'étant moins efficaces, les attrapeurs présentent l'avantage de pouvoir être utilisés de manière synoptique en différents endroits. De la même manière que les pièges lumineux pour les larves, ces engins attirent des individus dont l'abondance peut varier de manière importante dans le temps en fonction des patrons d'installation des différentes espèces (Leis et al., 2002). A l'opposé, les captures à la senne sont surtout influencées par le comportement des poissons, particulièrement leur position dans la colonne d'eau (Murphy & Willis, 1996) et leurs capacités natatoires (Allen et al., 1992). Dans la présente étude, la senne est apparue plus efficace pour capturer des juvéniles se trouvant dans le premier mètre au dessus du fond et ne cherchant pas à éviter l'engin. Ainsi les Lethrinidae et Siganidae, bien qu'abondants dans les échantillons, se sont avérés plus difficiles à capturer que les Labridae et Scaridae dont presque tous les individus présents ont été capturés à chaque trait.

La capture des larves et juvéniles de poissons coralliens n'est pas seulement un déficit pour les scientifiques ; elle peut être une source substantielle d'approvisionnement pour la filière du poisson d'ornement ou pour repeupler des zones qui ont été sur-pêchées. Les méthodes classiquement utilisées pour capturer les poissons d'aquarium ont souvent un très fort impact sur l'environnement (Randall, 1987). Ces techniques se focalisent sur les jeunes adultes, c'est-à-dire ceux qui ont survécu à la période larvaire et au moment de l'installation (Bell et al., 2000) alors que collecter des poissons au stade larvaire, ou juste au moment où ils s'installent dans les habitats benthiques, est probablement moins dommageable pour les populations de poissons (Bell et al., 2000; Hair et al., 2000; Hair & Doherty, 2003). Comme le marché du poisson d'ornement présente un revenu majeur et en constante augmentation pour un nombre important de personnes dans de nombreux pays (Zieman, 2001; Monteiro-Neto, 2003; Wood, 2001b), des techniques de captures moins dommageables sont nécessaires. La présente étude contribue à cet effort, en mettant à disposition des informations sur au moins trois techniques non-destructrices de capture des jeunes poissons : les pièges lumineux, les attrapeurs et la senne.

L'objectif principal de cette étude était de fournir de l'information aux gestionnaires et aux scientifiques qui doivent choisir la technique d'échantillonnage la plus adaptée à leurs objectifs et leurs moyens. Peu de travaux ont comparés différentes techniques pour échantillonner les larves et les juvéniles de poissons. Choat et al. (1993) ont comparé des filets tirés, des sennes à poche et des pièges lumineux pour capturer les larves pélagiques de poissons coralliens. Ils ont conclu que les filets et les pièges lumineux devaient être utilisés seuls ou en association. Thorrold (1992) a suggéré que les pièges lumineux avaient un potentiel important pour capturer les organismes du necton qui sont capables d'éviter les filets tirés conventionnels. D'autres études ont examiné la sélectivité des filets tirés (Barkley, 1972), les problèmes d'échantillonnage associé à la distribution agrégative du zooplancton (Omori & Hamner, 1982), ou l'utilisation d'engins spécifiques pour échantillonner des

groupes particuliers de poissons (Murphy & Clutter, 1972). Tous ces travaux ont conclu que les représentations des assemblages de jeunes poissons obtenues à un endroit donné dépendent fortement des techniques utilisées (Choat et al., 1993). Nos conclusions à la fin de cette étude sont similaires mais elles sont basées sur une gamme plus large de stades ontogénétiques, des larves pélagiques aux juvéniles qui viennent de s'installer ou aux juvéniles plus âgés, et pour une large gamme d'habitats échantillonnés durant la même période.

3. Identification et classement hiérarchique des facteurs de l'environnement qui influencent la structure spatiale et temporelle des assemblages de larves dans le lagon.

3.1 Introduction

La compréhension des processus susceptibles d'influencer la survie des larves dans la colonne d'eau nécessite l'utilisation d'un jeu de variables environnementales complexe. En effet, les assemblages larvaires sont caractérisés par une grande variabilité dans leur composition, leur diversité et leurs abondances d'une année à l'autre, et entre zones géographiques (Leis, 1991 ; Leis & McCormick, 2002). De plus, les facteurs environnementaux décrivant le milieu de vie des larves, la colonne d'eau, sont eux-mêmes très variables dans le temps et l'espace, rendant difficile l'établissement de relations prédictives simples entre environnement et distribution larvaire (Leis & McCormick, 2002 ; James et al., 2003). Cependant, de nombreuses études ont mis en évidence des variations saisonnières dans les abondances et la composition des assemblages de larves, en fonction des conditions météorologiques rencontrées sur les sites d'étude (Milicich, 1994 ; Kingsford & Finn, 1997 ; Bergenius et al., 2005), et des cycles lunaires et de marée (Thorrold et al., 1994 ; Sponaugle & Cowen, 1996 ; Kingsford & Finn, 1997). La variabilité spatiale des assemblages larvaires a pu être associée aux patrons de courantologie locaux (Kingsford et al., 1991 ; Shenker et al., 1993 ; Milicich & Doherty, 1994), aux conditions de température ou à la quantité de proies rencontrées par les larves dans la colonne d'eau (Sponaugle et al., 2006 ; Meekan et al., 2006). Par rapport à la plupart des sites ayant fait l'objet de ce type d'étude, le lagon de la Grande-Terre de la Nouvelle-Calédonie se distingue par sa superficie (> 23 000 km²), l'existence d'une diversité unique d'habitats (Andrefouet & Torres-Pulliza, 2004), une grande diversité en poissons avec plus de 2 400 espèces recensées (Fricke & Kulbicki, 2006) et de fortes variations saisonnières des facteurs météorologiques (ORSTOM, 1981). Des travaux préliminaires ont démontrés que les abondances et la diversité maximale en larves de poissons dans le lagon y sont observées de septembre à février. Un grand nombre de facteurs météorologiques, tels que la force du vent ou la pluviométrie, et physiques, tels que la température et la turbidité de surface, participent à l'établissement de la structure spatiale et temporelle des assemblages dans les habitats côtiers (Carassou & Ponton, 2007). A la suite de ces travaux, cette étude a pour objectifs de tester l'influence d'un jeu de variables environnementales à la fois biotiques et abiotiques sur les abondances des différentes familles de larves dans le lagon, et d'établir une hiérarchie entre ces différents facteurs à différentes échelles spatiales et temporelles.

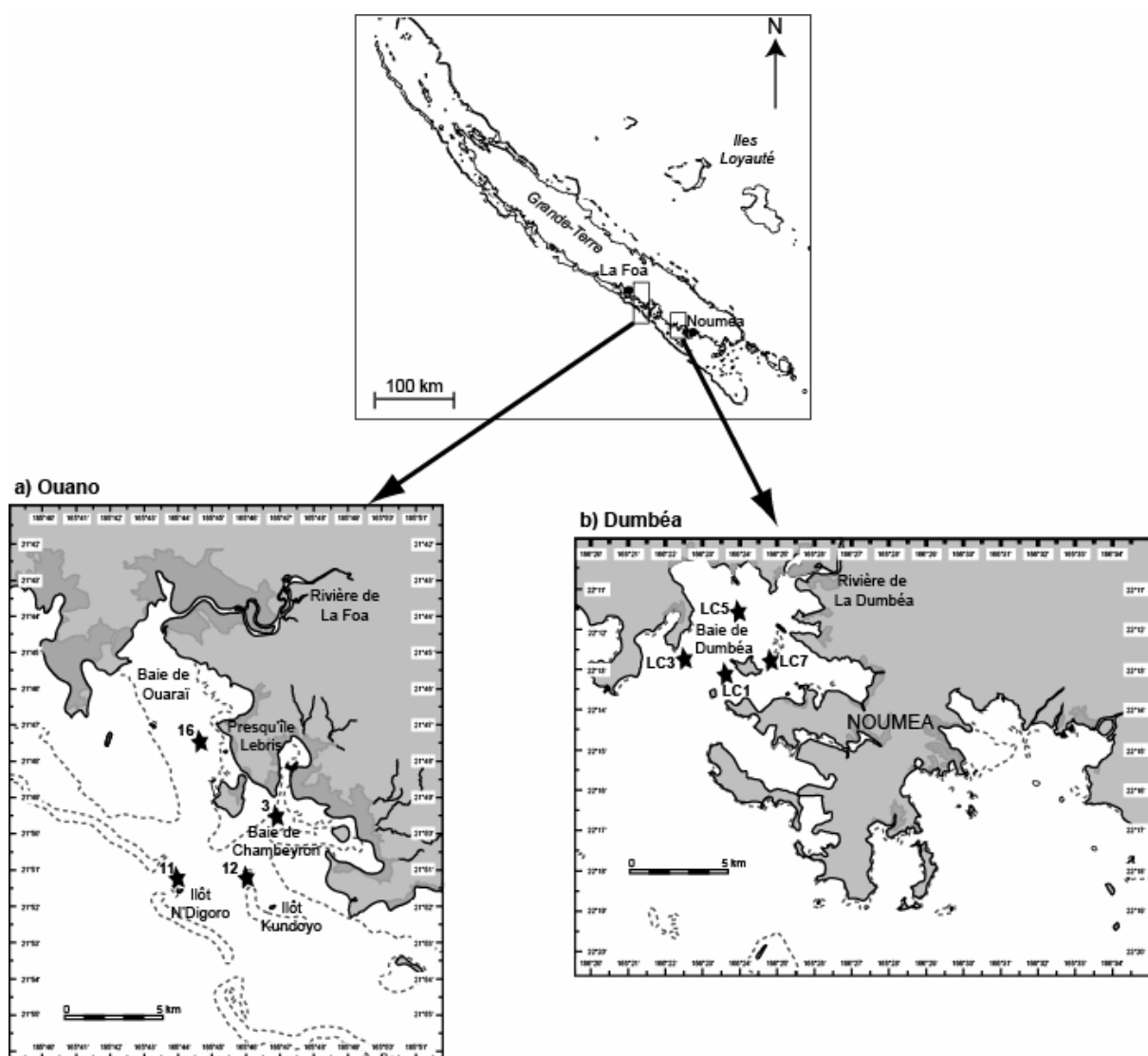


Figure 3. Sites d'étude de Ouano - La Foa (a) et de la baie de Dumbéa (b). Les étoiles indiquent la position des stations d'échantillonnage, les traits en pointillés représentent les récifs, les zones grises foncées sur la terre représentent les zones de mangrove.

Tableau 3. Types de fond et recouvrement benthique des stations d'échantillonnage dans les deux sites d'étude, avec MA : macroalgues, phanér. : Phanérogames, CM : corail massif, CB : corail branchu, "-" : fond nu.

Site	Station	Description	Type de fond	Recouvrement benthique
Ouano	2	baie de Chambeyron	vase	-
	16	baie de Ouarai	vase	-
	12	platier îlot Kundoyo	sable vaseux	MA et phanér.
	11	bord passe îlot N'Digoro	dalle corallienne	CM, débris
Dumbéa	LC1	entrée de baie	vase sableuse	CB, MA, débris
	LC3	entrée de baie	vase sableuse	CB, MA, débris
	LC5	fond de baie	vase	CB, MA, débris
	LC7	fond de baie	vase	CB, MA, débris

3.2 Matériel et méthodes

3.2.1 Sites d'étude

L'échantillonnage a eu lieu sur deux sites de la côte sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie: les zones côtières et le lagon de Ouano - La Foa, à environ 100 km au nord de Nouméa, où la barrière est située à environ 7 km de la côte, et la baie de Dumbéa, où la barrière se situe à plus de 20 km de la côte (Figure 3). Les types de fond représentés dans chaque site varient entre des fonds homogènes et nus à dominance vaseuse, et des substrats durs coralliens parsemés de colonies coralliennes vivantes (Tableau 3).

3.2.2 Échantillonnage

Les larves de poissons ont été capturées grâce à des pièges lumineux développés par la société Ecocean, Saint-Clément-de-Rivière, France. Ces pièges ont été décrits de manière détaillée dans la partie I du présent rapport. Sur chaque site, quatre pièges ont été posés en surface chaque nuit de campagne, et des minuteries ont permis leur allumage à 22h et leur extinction à 5h simultanément sur les quatre stations. Au moment de la relève des pièges, les larves de poissons ont d'abord été anesthésiées dans une solution de benzocaïne à 0,75 g.l⁻¹ avant leur préservation dans l'alcool à 95 %.

A chaque station, les proies potentielles des larves de poissons, représentées par les assemblages micro- et méso-zooplanktoniques dans la colonne d'eau, ont été capturées grâce à un filet à plancton de maille 60 µm, de 1,60 m de long et de 20 cm de diamètre. Des traits de filets horizontaux ont été réalisés à environ 0,5 m sous la surface, en décrivant une trajectoire circulaire autour de la position de la station d'échantillonnage, pendant 2 min à une vitesse approximative de 2 nœuds. Un débitmètre General Oceanic, placé au centre de l'ouverture du filet, a permis de mesurer la distance parcourue de chaque trait de filet, ce qui a permis de calculer le volume filtré en m³ en supposant une efficacité de filtration de 100 %. Les échantillons de proies obtenus ont été immédiatement conservés dans une solution de formol à 10 %.

Des prélèvements d'eau ont été réalisés chaque matin sur chacune des stations à l'aide d'une bouteille Niskin. L'objectif étant d'obtenir une valeur de productivité moyenne de la colonne d'eau à chaque station, l'eau de la couche de fond, de mi-hauteur et de surface ont été mélangées à chaque prélèvement, de manière à obtenir un volume constant d'environ un gallon, soit 3,78 litres. Les échantillons d'eau ont été filtrés à terre pour les mesures futures des concentrations en chlorophylle *a*, phéopigments, carbone, azote et phosphore organiques particuliers, suivant le protocole de préparation des filtres et de filtration décrit dans le rapport Zonéco de mars 2006 (Carassou & Ponton, 2006). Des mesures de température, salinité et turbidité ont été effectuées sur chaque station à la pose et à la relève des pièges lumineux grâce à une bathysonde CTD Seabird SBE19.

Six campagnes d'échantillonnage mensuelles ont réalisées dans chaque site, de septembre 2005 à février 2006. Chaque campagne a consisté en quatre nuits d'échantillonnage à Ouano, et deux nuits à Dumbéa, centrées sur la nouvelle lune pour optimiser l'efficacité des pièges lumineux.

3.2.3 Travail de laboratoire

Les larves de poissons ont été identifiées sous loupe binoculaire en se basant sur les critères morphologiques, méristiques et de pigmentation décrits dans Leis & Trnski (1989), Leis & Carson-Ewart (2000a), dans la base de données expérimentale « FishPaste » d'aide à l'identification des jeunes poissons de l'Indo-Pacifique développée par P. Doherty (AIMS Townsville), et à partir des premiers outils d'identification mis en place au laboratoire au cours du présent projet (cf volet 3). Toutes les larves capturées ont été mesurées à 0,1 mm près grâce à un pied à coulisse électronique, sauf pour les Clupéiformes pour qui un nombre maximal de 20 individus a été sélectionné au hasard pour les mesures.

Les proies potentielles des larves de poissons ont été comptabilisées sous microscope (x 125) dans une cellule de comptage circulaire de 18 mm de diamètre et 0,4 mm de hauteur, correspondant à un volume constant d'environ 101,8 mm³ (cellule n° 9948, Arthur H. Thomas Company, Philadelphia, USA). Trois lames ont été observées pour chaque échantillon, les abondances obtenues étant additionnées pour obtenir une valeur d'abondance globale pour chaque échantillon. Les densités d'organismes micro- et méso-zooplanctoniques dans la colonne d'eau ont été obtenus grâce à la formule suivante :

$$D = [n \times V_s] / V_o \times V_f,$$

où D : densité des proies (nb.m⁻³), n : abondance des organismes sur trois lames ou sous-échantillons, V_s : volume de l'échantillon = 500 mL, V_o : volume observé = 3 x 101,8 = 305,4 mm³, V_f : volume filtré (m³). Des photographies des 30 premiers organismes rencontrés sur chaque lame de comptage, soit 90 organismes par échantillon, ont été acquises grâce à une caméra numérique Scion Corporation Grayscale (modèle CFW-1308M). Ces images ont été utilisées pour déterminer la largeur et la longueur des organismes en µm grâce au logiciel ImageJ, de manière à disposer d'une valeur de longueur moyenne des proies pour chaque échantillon.

3.2.4 Acquisition des données environnementales abiotiques

Pour chaque échantillon, les mesures de la sonde CTD ont permis de calculer : 1) la température (°C), la salinité (psu) et la turbidité (FTU) moyennes de la couche de surface (0-5 m) ; 2) la profondeur de chaque station d'échantillonnage (m). Les stations Météo-France ont fourni les mesures de : 1) la vitesse du vent maximal horaire, en km.h⁻¹ ; 2) la direction du vent maximal horaire, en ° ; 3) la pluviométrie, en mm.j⁻¹ ; 4) l'ensoleillement, en min, collectées pendant la période d'échantillonnage, à Faubourg Blanchot, Nouméa, pour la baie de Dumbéa, et à La Tontouta, pour le site de Ouano - La Foa.

3.2.5 Analyse des données

La plupart des larves de poissons ayant été identifiées au niveau de la famille, tous les individus ont été regroupés par famille dans les analyses, les Engraulididae et les Clupeidae étant exclues. Les familles ont été classées dans l'ordre décroissant de leurs abondances et occurrences totales. Seules les familles dominantes, c'est-à-dire celles qui ont été observées au moins huit fois dans les échantillons et présentant une abondance ≥ 10 individus, soit $\geq 0,07$ % de l'abondance totale, ont été retenues pour les analyses.

Les valeurs de direction de vent ont été codées en quatre secteurs : Est & Nord-Est ; Sud & Sud-Est ; Ouest & Sud-Ouest ; Nord & Nord-Ouest, et l'occurrence de chaque secteur a été calculée en heures pour chaque jour. Seul le secteur de vent dominant, c'est-à-dire présentant l'occurrence maximale le jour de l'échantillonnage, a été retenu dans les analyses statistiques, permettant de simplifier la variable de direction de vent en une colonne avec quatre modalités. De plus, de manière à tenir compte du décalage éventuel entre l'action des facteurs météorologiques dans le lagon et leurs conséquences en termes de variabilité des conditions physico-chimiques dans la colonne d'eau, des moyennes mobiles ont été calculées pour chaque facteur sur les données des trois jours précédents l'échantillonnage (moyenne de x_j ; x_{j-1} ; x_{j-2} et x_{j-3}). Le seuil de trois jours a été déterminé à partir des résultats des modèles hydrologiques développés à l'IRD pour le lagon Sud (Ouillon et al., 2005 ; Jouon et al., 2006).

La variabilité spatiale et temporelle des conditions abiotiques et biotiques dans la colonne d'eau a été étudiée grâce à des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis (Scherrer, 1984), testant l'effet de la station d'échantillonnage à chaque date dans chaque site, et l'effet de la date à chaque station dans chaque site, pour détecter d'éventuelles différences en termes de variabilité environnementale entre les deux sites d'étude.

Des arbres de régression multivariés (MRT) ont été utilisés pour décrire les relations entre les abondances des familles dominantes de poissons (descripteurs) et les facteurs de l'environnement (variables). A la différence des techniques d'analyses multivariées classiques telles que l'analyse canonique ou de redondance, ce type d'analyse ne s'appuie sur aucune hypothèse quand à la forme de la relation entre les descripteurs et les variables (De'Ath, 2002). La MRT fournit des arbres hiérarchiques simples, les branches de ces arbres regroupant des échantillons entre eux. Ces groupes d'échantillons sont définis en raison de leur relation aux valeurs d'une variable environnementale qui définit le nœud de l'arbre (De'Ath, 2002). Cette analyse a donc permis de hiérarchiser l'influence des différents facteurs environnementaux testés. Les arbres multivariés obtenus peuvent être évalués d'une part par leur taille (le nombre de branches ou de nœuds), et d'autre part par la part de variabilité des descripteurs expliquée par les variables qu'ils permettent de représenter (De'Ath, 2002).

La taille des arbres est définie par l'erreur relative à validation croisée ou « cross-validated relative error » (CVRE), qui diminue jusqu'à un minimum pour un arbre optimal, c'est-à-dire pour un arbre pour lequel la variabilité entre les groupes est maximale et la variabilité à l'intérieur des groupes est minimale (Breiman et al., 1984). La part de la variation des descripteurs expliquée par les variables est définie par l'erreur relative ou « relative error » (RE, De'Ath, 2002). En conséquence, l'arbre multivarié le plus pertinent en termes statistiques est caractérisé par des valeurs de CVRE et RE les plus faibles possibles.

La relation entre les facteurs météorologiques et les abondances des familles dominantes de larves a été testée à plusieurs échelles spatiales et temporelles : en considérant soit les moyennes mobiles des variables météorologiques intégrées sur trois jours, soit les valeurs du jour de l'échantillonnage, soit en combinant les données issues des deux sites, soit enfin en séparant les sites. De la même manière, la relation entre les facteurs abiotiques et biotiques de la colonne d'eau et les abondances des familles dominantes de larves a été testée à plusieurs échelles spatiales en associant ou non les données issues des deux sites d'étude. Pour chaque jeu de facteurs environnementaux, l'analyse retenue est celle qui a permis d'obtenir à la fois un ou des arbre(s) simple(s), c'est-à-dire avec peu de nœuds et branches, et des valeurs de CVRE et RE les plus faibles possibles. Dans chaque cas, les données d'abondance des familles de larves ont été transformées en $\text{Log}(x+1)$ de manière à compenser les différences entre les familles très abondantes et les familles plus rares (Legendre & Legendre, 1998).

Enfin, pour chaque MRT, l'indice de Dufrêne-Legendre a été calculé pour identifier les familles de larves caractéristiques de chacun des groupes obtenus. Cet indice est calculé en multipliant l'abondance relative et la fréquence relative d'une famille donnée dans un groupe d'échantillon (Dufrêne & Legendre, 1997). Si une famille est absente d'un groupe, l'indice prend la valeur de zéro, tandis qu'il est proche de 1 si cette famille est présente dans tous les échantillons du groupe et absente dans tous les autres groupes (De'Ath, 2002).

Les tests de Kruskal-Wallis ont été réalisés à l'aide du logiciel Systat version 10.2, les MRT et les calculs des indices de Dufrêne-Legendre avec le logiciel R version 2.2.1 (Ihaka & Gentleman, 1996).

Tableau 4. Abondance, pourcentage de l'abondance totale et occurrence des différentes familles de larves rencontrées à Ouano et dans la baie de Dumbéa au cours des 34 nuits de pêche réalisées entre septembre 2005 et février 2006. Les familles sont classées par ordre décroissant de leurs abondances. Les familles retenues pour les analyses sont présentées en gras.

Familles	Abondance	% de l'abondance totale	Occurrence
Pomacentridae	11 211	78,86	63
Apogonidae	754	5,30	81
Lethrinidae	501	3,52	42
Lutjanidae	314	2,21	20
Blenniidae	302	2,12	47
Atherinidae	241	1,70	30
Carangidae	176	1,24	29
Siganidae	118	0,83	23
Syngnathidae	65	0,46	25
Tripterygiidae	59	0,41	26
Gobiidae	58	0,41	25
Plesiopidae	35	0,25	10
Mullidae	34	0,24	16
Scorpaenidae	34	0,24	24
Scaridae	30	0,21	8
Muraenidae	22	0,15	10
Nettastomatidae	21	0,15	5
Haemulidae	20	0,14	6
Serranidae	19	0,13	8
Congridae	18	0,13	9
Labridae	18	0,13	7
Bothidae	17	0,12	10
Notocheiridae	15	0,11	2
Caesionidae	14	0,10	4
Gobiesocidae	14	0,10	6
Pseudochromidae	10	0,07	8
Antennariidae	10	0,07	7
Tetraodontidae	9	0,06	7
Gerreidae	8	0,06	4
Monacanthidae	8	0,06	7
Ambassidae	7	0,05	4
Nemipteridae	7	0,05	4
Elopidae	6	0,04	4
Synodontidae	6	0,04	5
Ophichthidae	5	0,04	2
Fistularidae	4	0,03	3
Acanthuridae	3	0,02	3
Anguillidae	3	0,02	3
Chaetodontidae	3	0,02	2
Cynoglossidae	3	0,02	2
Leiognathidae	3	0,02	2
Poecilopsettidae	3	0,02	3
Aulostomidae	2	0,01	1
Ammodytidae	1	0,01	1
Bregmacerotidae	1	0,01	1
Hemiramphidae	1	0,01	1
Kuhliidae	1	0,01	1
Kyphosidae	1	0,01	1
Ophidiidae	1	0,01	1
Sphyracidae	1	0,01	1

3.3 Résultats

3.3.1 Description des assemblages et de leur environnement

Sur les 144 échantillons prévus (quatre échantillons par nuit x six nuits x six campagnes), huit n'ont pas pu être collectés en raison de mauvaises conditions météorologiques lors de la dernière campagne à Ouano en février 2006. Néanmoins, pendant les 34 nuits de pêche réalisées, 21 557 larves ont été capturées, dont 7 712 à Ouano et 13 845 dans la baie de Dumbéa. Un total de 306 groupes morphologiques a pu être identifié, répartis en 14 ordres, 51 familles récifales et 2 familles de Clupéiformes (Engraulididae et Clupeidae). Seuls 66 groupes morphologiques ont été identifiés au niveau du genre et 27 au niveau de l'espèce. Parmi les 51 familles de larves de poissons récifaux, celle des Pomacentridae a été la plus abondante et celle des Apogonidae la plus fréquemment collectée, et seulement 23 d'entre elles étaient représentées par au moins 10 individus ou 0,07 % de l'abondance totale, dans au moins huit échantillons (Tableau 4).

Toutes les variables météorologiques ont fortement varié pendant la période d'échantillonnage, comme indiqué par les forts écart-types observés pour chaque facteur, en particulier pour l'ensoleillement (Tableau 5). Les vents ont été largement dominés par le régime dominant d'Alizés de secteur Sud & Sud-Est, bien que les vents d'Est & Nord-Est aient également été souvent observés. La densité totale en proies potentielles et la concentration en COP apparaissent comme les facteurs de la colonne d'eau les plus variables d'un échantillon à l'autre (Tableau 5).

3.3.2 Variabilité spatiale et temporelle des conditions de la colonne d'eau pour chaque site

Les 10 facteurs de la colonne d'eau testés ne montrent aucune variation significative entre les stations et entre les campagnes en baie de Dumbéa ($p > 0,05$ pour tous les tests, Tableau 6). Au contraire, à l'exception du rapport C/N et de la longueur moyenne des proies potentielles, des variations spatiales significatives ont été observées pour tous les facteurs pendant au moins quatre des six campagnes d'échantillonnage réalisées à Ouano, et des variations temporelles ont été observées sur chaque station pour la température, la salinité et la turbidité de surface (Tableau 6). En résumé, le site de Ouano s'est caractérisé par des conditions environnementales dans la colonne d'eau beaucoup plus variables dans le temps et l'espace que celles rencontrées en baie de Dumbéa pendant la période d'échantillonnage.

Tableau 5. Moyennes (Moy.), écart-types (e.t.), minima (min) et maxima (max) des variables environnementales observées au cours des six campagnes mensuelles réalisées à Ouano et en baie de Dumbéa, de septembre 2005 à février 2006, avec les unités et abréviations correspondantes.

Échelle	Variable	Unité	Abréviation	Moy.	e.t.	min	max
Site	Ensoleillement le jour de l'échantillonnage	min	ENS	438,2	231,1	0,0	774,0
	Pluviométrie le jour de l'échantillonnage	mm	PLU	1,4	3,2	0,0	11,5
	Vitesse moyenne du vent le jour de l'échantillonnage	km.h ⁻¹	VIT	14,5	6,2	5,8	30,2
	Occurrence du vent	h					
	- de secteur Est & Nord-Est		ENE	8,0	6,5	0,0	24,0
	- de secteur Nord & Nord-Ouest		NNO	2,1	2,3	0,0	8,0
	- de secteur Sud & Sud-Est		SSE	10,4	5,2	0,0	23,0
Station	- de secteur Ouest & Sud-Ouest le jour de l'échantillonnage		OSO	3,4	4,5	0,0	19,0
	Température (0 – 5m)	°C	TEMP	25,0	2,2	21,1	29,8
	Salinité (0 – 5m)	psu	SAL	35,6	0,6	33,4	36,8
	Turbidité (0 – 5m)	FTU	TURB	1,7	1,3	0,1	6,7
	Chlorophylle a	µg.l ⁻¹	CHL A	0,5	0,3	0,1	1,6
	Proportion de chl a dégradée et vivante	%	%PHEO	30,2	6,8	19,0	53,9
	Carbone Organique Particulaire	µM.l ⁻¹	COP	15,5	10,1	5,2	79,4
	Azote Organique Particulaire	µM.l ⁻¹	NOP	1,9	1,8	0,5	18,0
	Rapport C/N		C/N	8,8	2,0	1,7	14,2
	Densité totale en proies potentielles x 10 ⁴	nb.m ⁻³	DENS	16,4	14,8	0,2	72,6
	Longueur moyenne des proies potentielles	mm	LONG	0,2	0,1	0,1	0,5

Tableau 6. Différences des variables de la colonne d'eau a) entre stations pour chaque période et b) entre périodes pour chaque station pour chacune. Avec p : probabilité associée au test de Kruskal-Wallis ; - : $p \geq 0,05$; * : $p < 0,05$; ** : $0,05 \leq p < 0,01$; *** : $p < 0,001$. Voir Tableau 5 pour le sens des abréviations, et Figure 3 pour la localisation des stations d'échantillonnage.

a) Différences entre stations

		TEMP	SAL	TURB	CHL A	%PHEO	POC	PON	C/N	DENS	LONG
Sites Ouano	Périodes										
	Sept05	**	**	***	*	*	***	**	-	*	**
	Oct05	*	**	**	**	*	**	-	-	*	-
	Nov05	**	**	***	**	**	**	**	-	*	-
	Dec05	**	-	-	***	*	**	**	-	**	-
	Jan06	**	***	*	***	-	*	*	-	**	-
	Feb06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Baie de Dumbéa	Sept05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Oct05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nov05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Dec05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jan06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Feb06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

b) Différences entre périodes

		TEMP	SAL	TURB	CHL A	%PHEO	POC	PON	C/N	DENS	LONG
Sites Ouano	Stations										
	3	***	***	*	**	*	-	-	-	*	-
	11	***	***	*	-	-	-	-	-	-	*
	12	***	***	*	-	-	-	-	-	*	-
	16	***	***	***	*	-	*	-	-	*	-
Baie de Dumbéa	LC1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LC3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LC5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LC7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

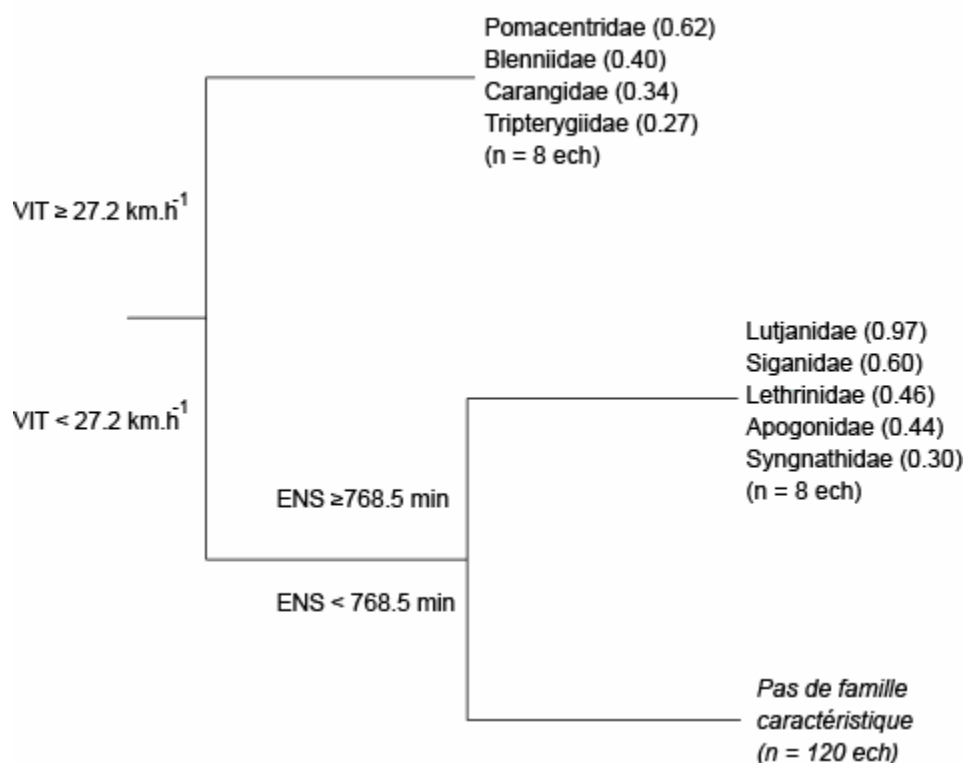


Figure 4. Arbre de régression multivarié couplant le jeu de données météorologiques et les abondances des 23 familles dominantes de larves collectées à Ouano et en baie de Dumbéa entre septembre 2005 et février 2006. Pour chaque branche le nombre d'échantillons inclus dans le groupe est indiqué, ainsi que les familles caractéristiques des groupes, avec les valeurs des indices de Dufrêne-Legendre qui leur sont associées (entre parenthèses). Voir Tableau 5 pour le sens des abréviations.

3.3.3 Typologie des assemblages de larves en relation avec les conditions météorologiques

Les diverses analyses exploratoires réalisées ont mis en évidence de meilleurs scores statistiques (CVRE et RE) pour les mesures météorologiques du jour de l'échantillonnage que pour les moyennes mobiles sur trois jours. D'autre part, l'analyse réalisée en associant les données des deux sites a fourni des arbres plus simples et moins redondants que celles réalisées sur les données des deux sites séparément, malgré une valeur de RE relativement élevée ($RE = 0,76$; $CVRE = 0,81$). C'est donc l'arbre issu de l'analyse basée sur les données du jour de l'échantillonnage provenant des deux sites d'étude qui a été retenue, permettant d'expliquer 24 % de la variabilité dans les abondances larvaires (Figure 4). Parmi les quatre facteurs météorologiques testés, la vitesse moyenne du vent et l'ensoleillement ont permis de distinguer trois groupes d'échantillons caractérisés par différentes familles de larves et collectés à différentes dates d'échantillonnage. Le premier groupe, défini par une vitesse moyenne du vent $< 27,2 \text{ km.h}^{-1}$ et un ensoleillement $< 768,5 \text{ min}$, a inclus la majorité des échantillons ($n = 120$) collectés à des dates diverses et a pu être associé aux conditions météorologiques les plus couramment observées pendant l'échantillonnage (Figure 4). En conséquence, aucune famille caractéristique n'a pu être identifiée par les calculs des indices de Dufrêne-Legendre dans ce groupe d'échantillons. Un second groupe a réuni les échantillons collectés en décembre ($n = 8$), c'est-à-dire pendant la période d'échantillonnage où la durée d'ensoleillement journalier a été supérieure à 768,5 min, soit 12,8 heures. Les familles des Lutjanidae et Siganidae ont été identifiées comme caractéristiques de ce groupe, les Lutjanidae y étant presque exclusivement observés, comme l'indique un indice de Dufrêne-Legendre proche de 1. Le dernier groupe a réuni les échantillons collectés au mois de novembre, c'est-à-dire pendant la période où le régime d'Alizés était établi à son maximum, se traduisant par des vents $> 27,2 \text{ km.h}^{-1}$. Les Pomacentridae et Blenniidae, entres autres, ont été identifiés comme caractéristiques de ce groupe (Figure 4).

3.3.4 Typologie des assemblages de larves en relation avec les conditions de la colonne d'eau

Les diverses analyses exploratoires réalisées ont montré que les scores statistiques (CVRE et RE) et les arbres les plus simples et les plus pertinents étaient obtenus en séparant les deux sites d'étude. L'analyse de la relation entre les facteurs de la colonne d'eau et les abondances de larves collectées en baie de Dumbéa a permis d'obtenir des CVRE et RE plus faibles que celles obtenues avec les données provenant de Ouano ($RE = 0,38$; $CVRE = 0,85$ et $RE = 0,78$; $CVRE = 0,87$ respectivement). Cependant, l'arbre issu de l'analyse des données de Ouano a abouti à une typologie plus simple, définie par les variations de la température de surface et la concentration en chl *a* dans la colonne d'eau, qui permettent d'expliquer 22 % de la variabilité spatiale et temporelle des assemblages. Un premier groupe a réuni les échantillons collectés pendant la période la plus fraîche de la saison d'échantillonnage, soit de septembre à décembre, lorsque la température de surface de l'eau est restée inférieure à 24,1 °C (Figure 5.a). Aucune famille caractéristique n'a pu être identifiée pour ce groupe.

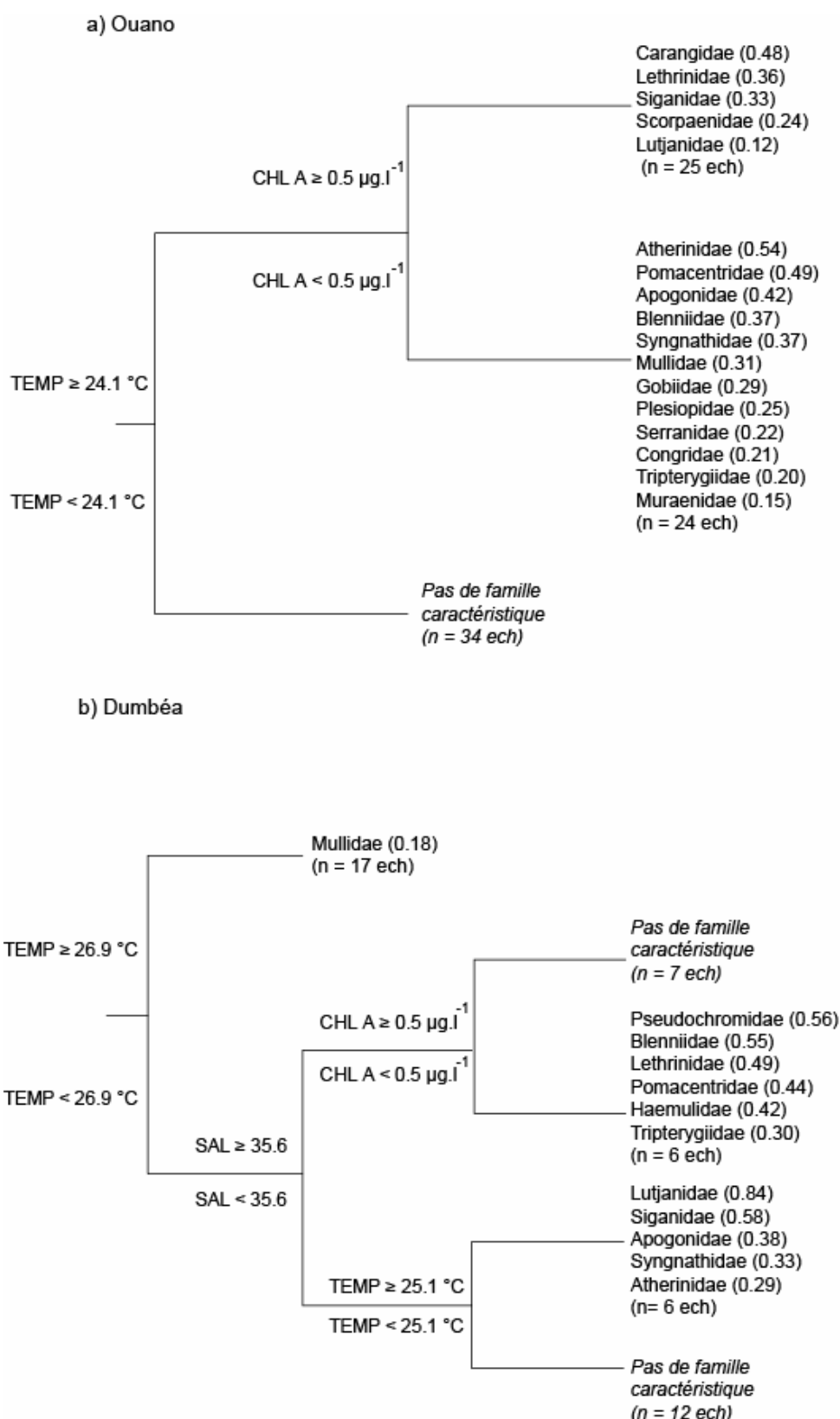


Figure 5. Arbre de régression multivarié couplant le jeu de données environnementales de la colonne d'eau et les abondances des 23 familles dominantes de larves collectées à Ouano (a) et en baie de Dumbéa (b) entre septembre 2005 et février 2006. Pour chaque branche le nombre d'échantillons inclus dans le groupe est indiqué, ainsi que les familles caractéristiques des groupes, avec entre parenthèses les valeurs des indices de Dufrêne-Legendre qui leur sont associées. Voir Tableau 5 pour les abréviations.

Pendant la période la plus chaude de la saison d'échantillonnage, soit de novembre à février, lorsque la température de surface a dépassé les 24,1 °C de moyenne, la concentration en chl *a* a permis de distinguer deux groupes d'échantillons en fonction d'un gradient côte barrière. Le premier groupe a réuni les échantillons collectés sur les stations dites lagonaires, c'est-à-dire les plus éloignées de la côte (stations 11 et 12, Figure 3) et où la concentration en chl *a* est restée inférieure à 0,5 µg.l⁻¹. Parmi les 12 familles de larves associées à ces conditions, les Atherinidae et Pomacentridae sont les plus caractéristiques (Figure 5.a). Le second groupe a réuni les échantillons collectés sur les stations dites côtières, c'est-à-dire les plus proches de la côte (stations 3 et 16, Figure 3), où la concentration en chl *a* est restée supérieure à 0,5 µg.l⁻¹. Les Carangidae, Lethrinidae et Siganidae ont été identifiées comme les plus caractéristiques de ce groupe (Figure 5.a).

La température de surface et la concentration en chl *a* ont également été identifiées comme facteurs structurants majeurs dans la typologie obtenue à partir des données de la baie de Dumbéa (Figure 5.b), où ils ont permis d'expliquer 62 % de la variabilité dans les assemblages. Parmi les cinq groupes obtenus, seuls trois ont pu être associés à certaines familles de larves (Figure 5.b). Les Lutjanidae et Siganidae ont pu être identifiés comme caractéristiques des échantillons collectés au début de la saison d'échantillonnage lorsque la température de surface de l'eau était comprise entre 25,1 et 26,9 °C et que la salinité de surface était inférieure à 35,6, soit en septembre 2005. Les Lutjanidae ont été observés presque exclusivement dans ce groupe, comme indiqué par la forte valeur de l'indice de Dufrêne-Legendre pour cette famille. Parmi les six échantillons inclus, quatre ont été collectés sur les stations d'entrée de baie (stations LC₁ et LC₃, Figure 3). Les Pseudochromidae, Blenniidae et Lethrinidae ont été identifiés comme caractéristiques des échantillons collectés exclusivement à l'entrée de la baie mais plus tard dans la saison d'échantillonnage, en octobre et novembre 2005, lorsque la température de surface de l'eau était inférieure à 26,9 °C, que la salinité dépassait 35,6 et que les concentrations en chl *a* étaient inférieures à 0,5 µg.l⁻¹. Enfin, seule la famille des Mullidae a pu être associée aux échantillons collectés en fin de saison d'échantillonnage, soit en janvier et février 2006, lorsque la température de surface dépassait 26,9 °C (Figure 5b).

3.4 Discussion

Cette étude a permis d'établir des relations entre la structure spatiale et temporelle des assemblages de larves dans le lagon et quelques paramètres simples décrivant l'environnement de la colonne d'eau et les conditions météorologiques. Le rôle de la vitesse moyenne du vent et de l'ensoleillement a été démontré à une échelle spatiale large (deux sites), tandis que la température de surface et la concentration en chl *a* ont été mis en relation avec la distribution des assemblages à une échelle spatiale plus fine. Ces résultats démontrent que les variables à prendre en compte pour l'analyse de la relation entre les assemblages larvaires et leur environnement sont largement dépendantes de l'échelle d'étude considérée, les processus qui agissent à grande échelle ayant une action différente de ceux qui

agissent à petite échelle (Levin, 1992). A la différence des processus agissant pendant les phases juvénile et adulte benthiques qui dépendent largement de facteurs déterministes (Chittaro, 2004), les modèles décrivant les associations entre environnement et assemblages pour les stades pélagiques, qui évoluent dans un milieu ouvert, sont dépendants de paramètres stochastiques, en raison de la plus forte variabilité spatiale et temporelle de la colonne d'eau par rapport aux habitats benthiques coralliens (Almany, 2003). La prise en compte des échelles d'étude est donc d'une grande importance dans l'étude des relations entre les assemblages larvaires et leur environnement (Leis & McCormick, 2002) et les facteurs à petite échelle doivent être pris en considération. En effet, les modèles s'appliquant à expliquer la variabilité interannuelle du recrutement d'une espèce et basés seulement sur des données météorologiques ou hydrologiques à grande échelle ignorent la plupart des processus potentiellement impliqués à des échelles plus petites (Brander et al., 2001).

Dans une étude préalable, réalisée dans la Grande rade, et les baies de Sainte-Marie et de Dumbéa en 2001-2002, les abondances de Pomacentridae, Blenniidae et Tripterygiidae avaient pu être associées à des conditions de vents forts et celles de Pomacentridae, Lethrinidae, Siganidae et Apogonidae avec des températures de surface élevées (Carassou & Ponton, 2007). Ainsi, les relations établies entre vitesse du vent et température de surface et les abondances des familles dominantes de larves pendant leur saison d'occurrence maximale dans le lagon peuvent être considérées comme indépendantes du site ou de la date d'échantillonnage en Nouvelle-Calédonie.

Le rôle de la vitesse du vent sur la distribution des familles dominantes dans les assemblages larvaires a été observé dans différents endroits du monde. Sur la Grande Barrière de Corail en Australie, ce facteur a pu être mis en relation avec les abondances des Pomacentridae, Apogonidae et Blenniidae à Lizard Island (Milicich, 1994) et celles des Scaridae, Mullidae et Lutjanidae dans le lagon de One Tree Island (Kingsford & Finn, 1997). Dans les Caraïbes, Thorrold et al (1994) ont mis en évidence que les abondances de larves leptocephales, de Labridae, Tetraodontidae et Bothidae sont corrélées à la force et à la direction des vents locaux à Lee Stocking Island (Bahamas). Dans cette même région, Bergenius et al (2005) ont montré une corrélation entre les conditions de vent et les paramètres de croissance, durée de vie larvaire et intensité du recrutement dans l'archipel des San Blas (Panama). Dans l'Océan Indien, Munk et al (2004) ont observé une relation entre la structure des assemblages de larves et la vitesse des vents du régime dominant local sur la côte Ouest de la Thaïlande. En conséquence, la relation entre la vitesse et les régimes de vents dominants locaux et la distribution des familles dominantes de larves apparaissent comme une caractéristique commune à un grand nombre de sites coralliens.

L'influence de l'ensoleillement sur la distribution des assemblages larvaire a par contre été beaucoup moins observée. Cette relation est probablement expliquée par la variation temporelle de la durée des jours au cours de l'année, de fortes abondances de larves de Lutjanidae, Siganidae et Lethrinidae ayant

été collectées en quand la durée d'ensoleillement quotidien est à son maximum de l'année, soit au-delà de 12 h par jour, en décembre. La coïncidence entre les périodes d'abondance maximale de ces familles et les durées d'ensoleillement maximales est probablement un effet indirect des traits reproductifs des adultes de ces familles. En effet, la plupart des ces espèces sont des pondeurs pélagiques dont les périodes de ponte sont souvent courtes, généralement de quelques semaines, et très ciblées dans le temps, souvent liée à une augmentation saisonnière de la température de l'eau (Johanes, 1978 ; Nelson, 2006). Le moment où les adultes se reproduisent peut donc influencer le moment où les larves terminent leur phase pélagique et apparaissent en forte abondance dans les pièges lumineux. L'effet de la durée d'ensoleillement sur la distribution des abondances de larves pourrait également s'expliquer par une variation de l'intensité lumineuse dans la colonne d'eau. En effet, des relations entre ces deux paramètres et le comportement alimentaire et la croissance, influençant directement la survie des larves, ont pu être mises en évidence pour de nombreuses espèces d'élevage en milieu tempéré (Cobcroft et al., 2001 ; Ylonen et al., 2004 ; Utne-Palm & Bowmaker, 2006). Certains auteurs suggèrent même que la variabilité en termes de comportement alimentaire générée par les variations du niveau d'intensité lumineuse dans la colonne d'eau pourrait être à l'origine des patrons de distribution spatiaux observés pour les assemblages larvaires tempérés en milieu naturel (Job & Bellwood, 2000 ; Sabatès et al., 2003). Pour les espèces tropicales, Bergenius et al. (2005) ont suggéré que le niveau d'irradiance dans la colonne d'eau serait à l'origine d'une importante variabilité des performances de croissance, de la durée de vie larvaire et de l'intensité du recrutement chez le poisson chirurgien *Acanthurus chirurgus*, mais cette relation semble variable selon le stade ontogénique examiné et selon l'espèce.

La distribution temporelle des assemblages de larves dans le lagon a pu être mieux expliquée par les valeurs météorologiques du jour de l'échantillonnage que par celles calculées sur les trois jours précédents l'échantillonnage. Ce résultat concorde avec celui de Kingsford & Finn (1997) qui avaient observé un découplage de zéro jour entre l'effet de la force du vent et la distribution des larves de la plupart des espèces examinées, un découplage supérieur à deux jours semblant plus approprié pour d'autres espèces. Doherty et al. (1996) suggèrent que ces différences entre espèces seraient dues au fait que le décalage temporel entre l'action du vent et son effet sur la colonne d'eau est fonction de la direction du vent. Cependant, la direction du vent n'apparaît que peu structurante dans notre étude. En effet, la durée limitée de l'échantillonnage, concentrée sur six mois de l'année, n'a pas permis pas de représenter la variabilité annuelle complète de ce paramètre, ce qui pourrait expliquer sa faible influence dans les analyses.

A une échelle spatiale plus fine, cette étude a permis de mettre en évidence une relation entre température de surface de l'eau et concentration en chl *a* et la structure temporelle et spatiale des assemblages. Ces relations ont été observées dans les deux sites d'étude malgré des conditions environnementales différentes, notamment en termes de variabilité des paramètres de la colonne d'eau. L'influence de la température sur le métabolisme est reconnu pour un grand nombre d'organismes aquatiques, dont les poissons (Clarke & Fraser, 2004). Par le biais de son effet sur le métabolisme, la température de l'eau est en effet susceptible d'influencer les processus ayant lieu à l'échelle des populations, des espèces et des communautés (O'Connor et al., 2007). De nombreuses études ont mis en évidence son influence sur les paramètres biologiques de nombreuses espèces de poissons récifal-lagonaires, tels que la durée de vie larvaire, la croissance, les capacités natatoires et le développement (Green & Fisher, 2004 ; Sponaugle et al., 2006 ; O'Connor et al., 2007). L'effet direct de la température sur la distribution des assemblages a également été démontré dans les estuaires tropicaux ou les écosystèmes coralliens, comme dans le sud du Golfe du Mexique (Franco-Gordo et al., 2003), dans des estuaires d'Afrique du Sud (Harris et al., 1999 & 2001), dans l'Est de la Mer de Chine et dans la baie de Suruga au Japon (Minagawa et al., 2007) ou aux îles Canaries (Rodríguez et al., 2004). Comme pour l'ensoleillement à plus grande échelle, l'effet de la température de l'eau sur la structure temporelle des assemblages larvaires dans le lagon peut aussi s'expliquer par son influence sur la reproduction des adultes de nombreuses espèces de poissons (Johanes, 1978).

La concentration en chl *a* a par contre permis d'expliquer la distribution spatiale des abondances des familles dominantes de larves le long d'un gradient côte-large à Ouano, et, de manière moins évidente, le long d'un gradient entrée-fond de baie à Dumbéa. A la différence de la température, peu d'études se sont intéressées aux effets de la concentration en chl *a* sur les paramètres biologiques influençant la survie et la distribution des larves en milieu corallien. Pourtant, l'influence de ce facteur sur l'alimentation et la distribution spatiale des larves a été souvent reportée pour les poissons de zones tempérées (Maes et al., 2004 ; Faria et al., 2006), les estuaires tropicaux (Grimes & Finucane, 1991) et les espèces pélagiques en zone sub-tropicale (Dimmlich et al., 2004). Néanmoins John et al. (2001), dans une étude réalisée au niveau du front océanique de l'Angola-Benguela, ont observé un recouvrement significatif entre les zones de concentration maximale en chl *a* et les pics d'abondances larvaires. En milieu corallien, la température de l'eau et la concentration en chl *a* ont permis d'expliquer environ 30 % et 4,1 % respectivement des variations dans les performances de croissance de *Pomacentrus coelestis* dans le Golfe d'Exmouth, sur la côte Ouest de l'Australie (Meekan et al., 2003). Enfin, Meekan et al. (2006) ont démontré, en utilisant des arbres de régression multivariée, que température et chl *a* étaient les paramètres les plus importants dans l'établissement des distributions des larves en fin de phase pélagique sur la côte Nord-Ouest de l'Australie, ces résultats concordant avec ceux de la présente étude. L'influence de la chl *a* sur la distribution des assemblages larvaires à petite échelle spatiale est donc un résultat original en milieu corallien, qui a permis de distinguer des assemblage typiquement côtiers et dominés par les Lethrinidae et les Siganidae par exemple, et des

assemblages typiquement lagunaires et dominés par d'autres familles tels que les Atherinidae, les Serranidae ou les larves leptocéphales de Muraenidae et Congridae. Les habitats côtiers, définis ici par des teneurs en chl *a* supérieures à 0,5 µg.l⁻¹, doivent donc être considérés comme des habitats particulièrement favorables à de fortes abondances de larves de nombreuses espèces de poissons en Nouvelle-Calédonie.

4. Description et analyse du régime alimentaire des larves de poissons dans la colonne d'eau

4.5 Introduction

Parmi les divers facteurs qui influencent la survie des larves de poissons récifo-lagonaires dans la colonne d'eau, la disponibilité en proies est d'une importance capitale (Hartmann, 1983). En effet, la quantité de ressources alimentaires disponibles dans un milieu, et la capacité des larves à utiliser ces ressources, déterminent les conditions de croissance que les larves y rencontrent (Jones, 1986 ; McCormick & Molony, 1992). Le succès de la croissance larvaire influence la capacité des individus à s'installer dans des habitats benthiques favorables, et influence donc le succès du recrutement futur des individus dans la population d'adultes (Leis & McCormick, 2002). Cependant, alors que de nombreuses études se sont intéressées à décrire le régime alimentaire des stades larvaires pour un grand nombre d'espèces dans des milieux d'eau douce tropicaux (Mérigoux & Ponton, 1998 ; Sreeraj et al., 2006), d'eau douce tempérés (Persson et al., 2000), estuariens tempérés (Islam et al., 2006), estuariens tropicaux (Mullaney, 1990), marins tempérés (Sánchez-Velasco, 1998) ou marins froids (Voss et al., 2006), le régime alimentaire des larves de poissons en milieu corallien n'a jamais été décrit en milieu naturel. Cette étude a donc pour objectif de décrire de manière simple le régime alimentaire des larves de plusieurs taxons capturés dans le lagon de Nouvelle-Calédonie et de tester les relations entre la diversité de proies et la taille des larves, ainsi qu'entre la taille moyenne des proies et celles des larves. Ceci devrait permettre d'identifier d'éventuels sauts ontogéniques dans l'alimentation des larves au cours de leur développement. Cette étude fournira donc des données essentielles pour l'identification des milieux les plus favorables à l'alimentation des larves dans le lagon en s'appuyant dans un second temps sur une comparaison entre les structures spatiales et temporelles des abondances larvaires et des densités des proies identifiées.

4.6 Matériel et méthodes

4.6.1 Sous échantillonnage des larves

Les larves ont été capturées grâce à des pièges lumineux de type Ecocean, et identifiées et mesurées suivant le protocole décrit dans la partie précédente du présent rapport. Neuf taxons présentant des formes de corps les plus contrastées possibles a été sélectionné pour l'analyse des contenus digestifs. Pour chaque taxon, un sous échantillon d'au moins cinq individus par classes de taille de 1 mm a été sélectionné au hasard, les classes de taille étant choisies de manière à représenter l'ensemble de la gamme de taille collectée pour chaque taxon.

Tableau 7. Longueur et largeur moyennes, minimales et maximales (en μm) des différentes catégories de proies observées dans les systèmes digestifs des larves de poissons et abréviations associées. Les catégories ont été définies à partir de l'analyse exploratoire des assemblages micro- et méso-zooplanctoniques dans le lagon (Carassou & Ponton, 2006) et sont rangées par ordre croissant de leurs longueurs moyennes.

Catégories de proies	Longueur (μm) moy (min-max)		Largeur (μm) moy (min-max)		Abréviation
Œufs de poissons et de Copépodes, et amas d'œufs	9	(5 – 16)	8	(4 – 11)	oe
Larves de mollusques Gastéropodes	11	(7 – 18)	9	(6 – 12)	lGa
<i>Nauplii</i> non identifiées	11	(8 – 18)	7	(5 – 10)	Nau
Larves de mollusques Bivalves	12	(6 – 21)	11	(5 – 23)	lBi
Autres (Radiolaires, Tintinnides, Siphonophores, Cladocères)	22	(8 – 84)	8	(4 – 11)	Aut
Petits Copépodes	28	(9 – 47)	15	(3 – 84)	pCo
Appendiculaires	29	(10 – 76)	13	(3 – 31)	App
Gros Copépodes (taille = $\frac{1}{2}$ à un champ d'observation microscopique, x 125)	44	(28 – 111)	19	(11 – 46)	gCo
Crustacés non identifiés	47	(11 – 136)	17	(6 – 34)	Cru
Larves de poissons, larves Zoé de Crustacés non identifiés, larves Cirripèdes, larves de mollusques non identifiés, larves trocophores d'Annélides	92	(12 – 187)	35	(9 – 90)	lar
Chaetognathes	95	(31 – 180)	28	(9 – 75)	Cha
Gros Crustacés (taille > à un champ d'observation microscopique, x 125)	111	(32 – 150)	35	(18 – 69)	CRU

4.6.2 Dissection des contenus digestifs

Chaque individu a été disséqué sous loupe binoculaire, en réalisant une incision depuis l'anus jusqu'aux nageoires pelviennes à l'aide d'un scalpel. Le système digestif, incluant à la fois l'estomac et l'intestin, a ensuite été délicatement prélevé avec des pinces plates, ouverts avec un ciseau et vidés sur une lame à l'aide d'une pissette. Chaque lame a ensuite été observée sous microscope (x 125), en balayant la lame de manière ordonnée. Des indices d'abondance semi-qualitatifs ont été relevés pour chaque catégorie de proies observées. Les indices d'abondance varient de 0 lorsque une catégorie de proie est absente du système digestif à 5 lorsqu'une catégorie de proie est présente en très forte abondance (plus de 80 % des organismes observés). Un indice qualitatif de remplissage du système digestif a été appliqué à chaque taxon. Cet indice varie de 1 quand les systèmes digestifs de la plupart des individus observés pour un taxon étaient vides ou peu remplis à 3 quand les systèmes digestifs de la plupart des individus observés étaient pleins.

4.6.3 Identification et évaluation de la taille des proies

Les catégories de proies identifiées correspondent à des niveaux taxonomiques simples, préalablement définis lors d'études exploratoires réalisées sur les assemblages micro- et méso-zooplanctoniques dans le lagon (Tableau 7 ; Carassou & Ponton, 2006). La taille des proies potentiellement consommées par les larves de poissons a été évaluée à partir de photos des organismes enregistrées au cours de cette étude exploratoire. Le traitement de ces images sous ImageJ a permis d'évaluer la longueur et la largeur des organismes en μm (cf partie précédente du présent rapport). Pour cette étude, ces images ont donc été classées par catégorie d'organismes, et 20 images ont été sélectionnées au hasard pour chaque catégorie. Les mesures associées aux images sélectionnées ont fourni des valeurs de longueur et de largeur moyennes, en μm , pour chaque catégorie de proie (Tableau 7).

Tableau 8. Nombre de larves de poissons disséquées pour chaque taxon, avec les gammes de taille correspondantes (longueur standard: LS, en mm). Un indice qualitatif global du niveau de remplissage des systèmes digestifs est indiqué, variant de 1 quand la plupart des systèmes digestifs observés pour un taxon étaient vides ou peu remplis, à 3 quand la plupart des systèmes digestifs observés pour un taxon étaient pleins. La diversité de proies globale observée pour chaque taxon est indiquée, ainsi que les types de proies dominants, c'est-à-dire qui ont été observé dans au moins 50 % des systèmes digestifs examinés, dans l'ordre décroissant de leurs occurrences. Voir Tableau V pour le sens des abréviations.

Taxon	LS (mm)	Nombre d'individus	Indice de remplissage du système digestif	Diversité des catégories de proies	Catégories de proies majeures
Apogonidae sp 6	[8 – 12[	24	2	8	cru, pCo, gCo
Apogonidae sp 17	[9 – 16[	21	2	6	pCo, cru, oe
Blenniidae sp 8	[14 – 18[	24	2	7	cru, oe, Aut
Carangidae sp 2	[11 – 43[	22	3	12	pCo, cru, oe
<i>Lethrinus genivittatus</i>	[14 – 20[	21	1	9	cru, pCo
<i>Lutjanus</i> sp 1	[13 – 18[	5	2	7	pCo, cru
<i>Lutjanus</i> sp 2	[15 – 20[	10	2	9	Au, pCo, oe
Pomacentridae sp 2	[8 – 13[	27	2	9	cru, pCo, oe
<i>Siganus fuscenscens</i>	[16 – 28[	22	1	5	Aut
Total	[8 – 43[	176		12	pCo, cru, oe

4.6.4 Analyse des données

La variabilité des indices d'abondance relative de chaque catégorie de proies pour chaque taxon a été représentée à l'aide d'une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) afin de mettre en évidence d'éventuelles différences ou similitudes dans le régime alimentaire des différents taxons observés.

L'AFC est en effet une technique d'analyse multivariée adaptée au traitement de données de type semi-qualitatives, comme les indices d'abondance des proies (Dervin, 1992). Cette analyse s'appuie sur le principe du calcul des distances du chi carré entre les points projetés dans un espace factoriel à deux dimensions (Legendre & Legendre, 1998). Ces points représentent chacun des individus disséqués (les lignes du tableau) dont les coordonnées dans l'espace factoriel sont déterminées par les abondances relatives de chaque catégorie de proies observées dans leurs systèmes digestifs (les colonnes). Les individus peuvent ainsi être regroupés autour de pôle d'attraction ou barycentres, ces groupes réunissant les individus qui présentent des similitudes de composition en proies. A l'inverse, les points les plus éloignés représentent les individus qui sont caractérisés par des régimes alimentaires distincts.

Les relations entre la diversité des proies (le nombre de catégories différentes observées) et la taille des larves (longueur standard, en mm), et entre la taille des proies (longueur moyenne par catégorie, en μm) et la taille des larves, ont été étudiées grâce à des modèles de régressions linéaires du type :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

avec y : variable dépendante (la diversité ou la taille des proies), et x : variable indépendante (la taille des larves).

Le principe de la régression linéaire est celui des moindres carrés, qui consiste à choisir le modèle pour lequel la pente (β_1) et l'ordonnée à l'origine (β_0) minimisent la somme des carrés des erreurs, l'erreur étant définie comme l'écart entre la valeur observée y_i et la valeur prédite par le modèle y_j . L'écart ($y_i - y_j$) est aussi appelé résidu, et la projection des résidus une fois standardisés permet d'évaluer la pertinence du modèle de régression obtenu en observant la dispersion des valeurs prédites par rapport aux valeurs observées (Scherrer, 1984). Dans chaque cas, pour chaque classe de taille de larves (LS, mm), le nombre total de catégories de proies différentes, ou la longueur moyenne globale des proies ingérées ont été calculées, sans faire de distinction entre les taxons ou les différents individus d'une même classe de taille, de manière à tester une relation générale potentielle entre les deux variables. Pour chaque régression linéaire, un test t a permis de vérifier si la relation entre la variable dépendante y et la variable indépendante x est significative (pour $p < 0,05$). Enfin, une analyse de variance à un facteur (ANOVA) a été utilisée pour tester l'hypothèse H_0 selon laquelle la pente de la droite de régression est nulle, en analysant la variance dans les résidus de la régression. Le ratio F associé à l'ANOVA a permis d'estimer la part de variabilité de y expliquée par x : la valeur de F est élevée si la variable indépendante x aide à expliquer la variable dépendante y (Scherrer, 1984).

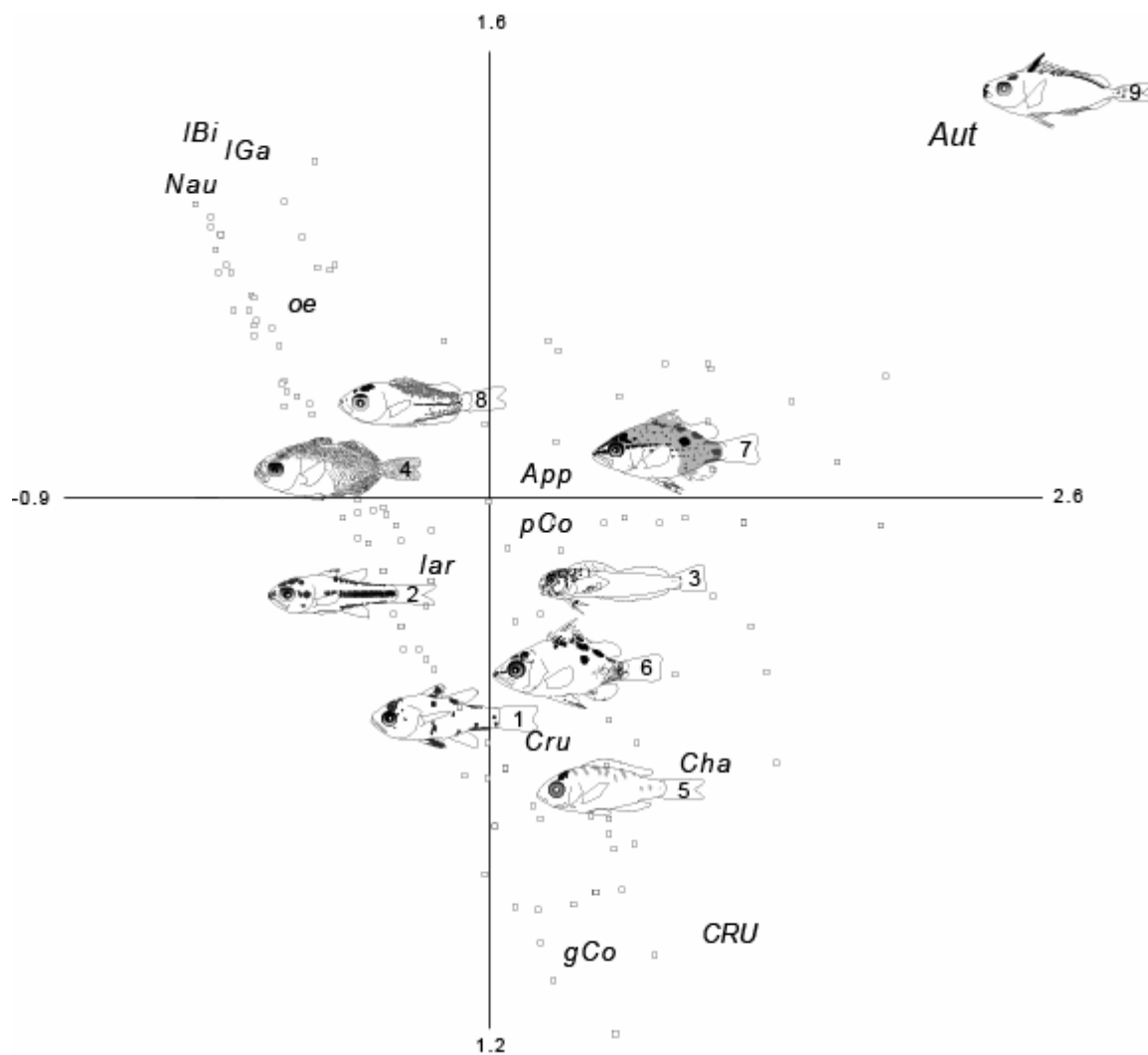


Figure 6. Analyse Factorielle des Correspondances sur les données semi-qualitatives d'abondance de proies dans les systèmes digestifs de neuf groupes de larves de poissons. Chaque petit carré représente un individu disséqué. Les codes en italiques représentent la position des barycentres de chaque catégorie de proie (voir Tableau 7 pour leur signification). Les silhouettes de poissons représentent la position des barycentres de chaque taxon de larves, avec 1 : Apogonidae sp6 ; 2 : Apogonidae sp17 ; 3 : Blenniidae sp8 ; 4 : Carangidae sp2 ; 5 : *Lethrinus genivittatus* ; 6 : *Lutjanus* sp1 ; 7 : *Lutjanus* sp2 ; 8 : Pomacentridae sp2 ; 9 : *Siganus fuscus*.

4.7 Résultats

4.7.1 Contenu des systèmes digestifs pour chaque taxon

Un nombre total de 176 individus a été disséqué, appartenant à neuf taxons de sept familles, et variant de 8 à 42 mm de longueur standard, réparties en 19 classes de 1 mm. Pour la plupart des individus, une grande quantité de proies a pu être observée dans le système digestif (indice de remplissage de 2). Les Carangidae sp2 apparaissent comme le groupe le plus vorace, à l'inverse de *Lethrinus genivittatus* et *Siganus fuscescens*, pour qui la plupart des individus n'avaient consommé que peu de proies (Tableau 8). La diversité de proies observée a varié entre 5 et 12 catégories par taxon, les Carangidae sp2 présentant le régime alimentaire le plus diversifié et *Siganus fuscescens* le plus homogène. Les catégories de proies majeures ont peu varié d'un taxon à l'autre, et ont été majoritairement représentées par les petits Copépodes, les Crustacés non identifiés, et les œufs et amas d'œufs. Ceci suggère que les larves de huit des neuf taxons disséqués sont des zooplanctonophages. Cependant, les contenus digestifs des larves de *Siganus fuscescens* ont été caractérisés par un très faible nombre d'organismes entiers identifiés, la présence d'appendices de crustacés difficiles à relier à une quelconque catégorie de proie définie, et surtout l'occurrence de baguettes allongées et striées, vraisemblablement des débris végétaux (Le Borgne, IRD Nouméa, communication personnelle).

4.7.2 Variabilité des abondances relatives des catégories de proies en fonction des taxons

L'analyse factorielle des correspondances a permis d'expliquer 39,1 % de la variance dans la composition des contenus digestifs des 175 larves disséquées (22,6 % sur le premier axe ; 16,5 % sur le second, Figure 6). Les catégories de proies se sont réparties selon quatre groupes dans l'espace factoriel de l'AFC. Les barycentres des proies les plus petites (larves de Bivalves et de Gastéropodes, œufs et amas d'œufs) sont placées dans l'espace factoriel 1-2 à l'opposé des proies les plus grosses (gros Copépodes, gros Crustacés et Chaetognathes) tandis que les barycentres des proies de taille intermédiaire (Appendiculaires, petits Copépodes, Crustacés et larves) sont en position intermédiaire. La catégorie « Autre » est isolée en raison de la diversité d'organismes de tailles variables qu'elle inclue. Quatre groupes de taxons de larves ont pu être associés aux groupes de proies ainsi définis. Les Pomacentridae sp2 et les Carangidae sp2 sont associés à des indices d'abondance élevés de larves de Bivalves, Gastéropodes et d'œufs, tandis que les *Lethrinus genivittatus* sont associés aux Chaetognathes et Crustacés. La majorité des taxons, *Lutjanus* sp1 et sp2, Blenniidae sp8, Apogonidae sp3 et sp17 sont associés au groupe de proies de taille intermédiaire. Enfin, les larves de *Siganus fuscescens* sont nettement séparées des autres taxons et associées aux proies de la catégorie « Autres » (Figure 6).

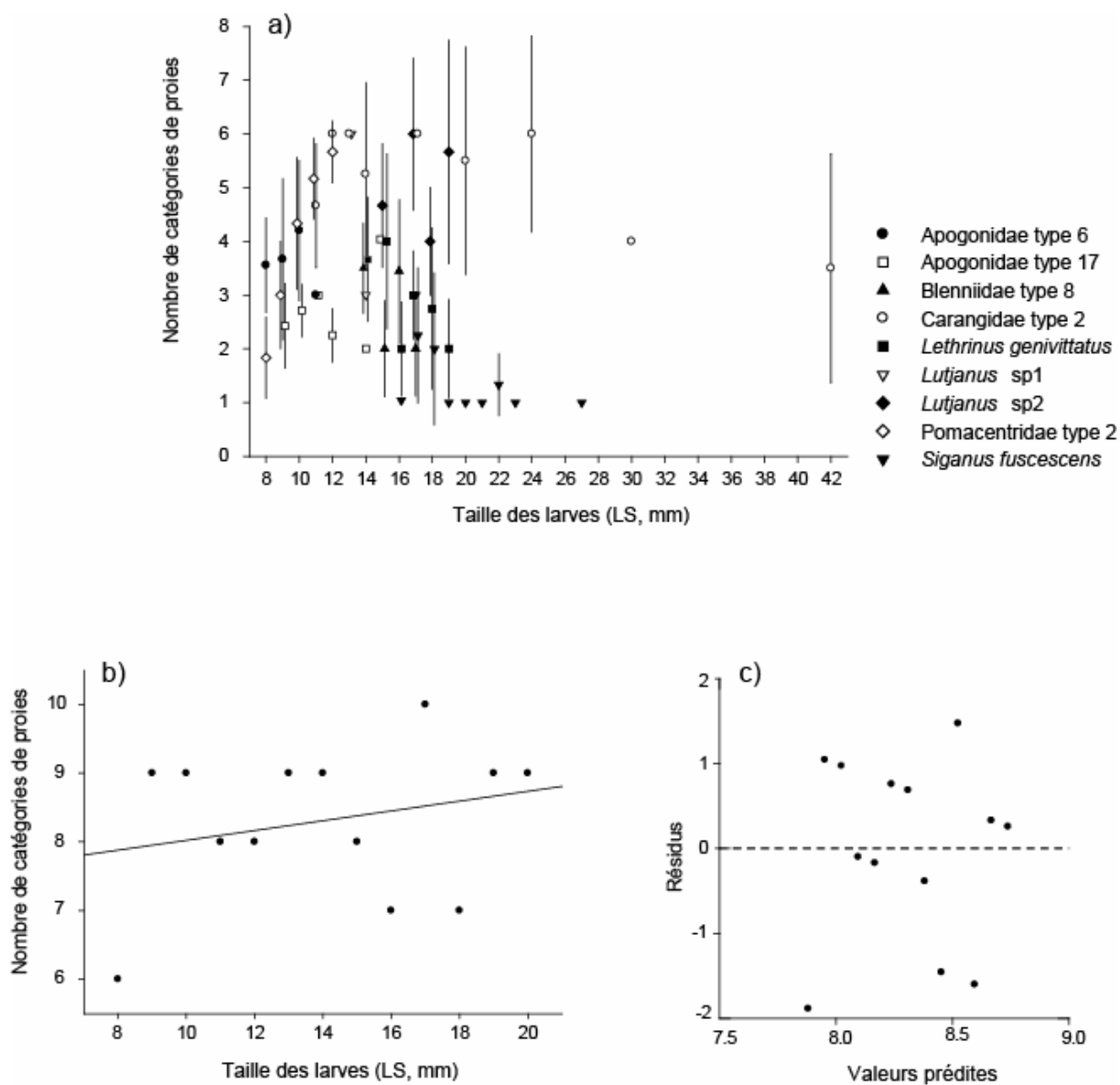


Figure 7. a) Diversité des proies ingérées en fonction de la taille des larves (longueur standard, en mm), pour chaque taxon. Les symboles indiquent le nombre moyen de catégories de proies observées, les barres verticales représentent l'écart-type. b) Régression linéaire entre la diversité totale des proies et la taille des larves, tous taxons confondus ; c) Dispersion des résidus de la régression linéaire par rapport au modèle (écarts entre les valeurs observées et les valeurs prédites par le modèle).

4.7.3 Relation entre la diversité des proies et la taille des larves

La diversité des proies ingérées par individu varie beaucoup au sein d'une même classe de taille pour chaque taxon (Figure 7.a). Cependant, les larves de *Siganus fuscescens* sont caractérisées par une faible diversité de proies, 1 à 2 catégories seulement, à l'inverse des larves de Carangidae sp2 pour qui la moyenne de la diversité en proies ingérées est toujours élevée (entre 3 et 8 catégories).

La régression linéaire entre la taille des larves et la diversité des proies, tous taxons confondus, et en éliminant les individus de *Siganus fuscescens*, et ceux de Carangidae sp2 de taille supérieure à 20 mm LS, est significative (Figure 7.b & c ; $t = 0,859$; $p < 0,05$) mais la part de variabilité totale de la diversité des proies expliquée par la taille des larves est faible (R^2 de la régression = 0,063, soit 6,3%).

4.7.4 Relation entre la taille des proies et la taille des larves

Comme pour la diversité, la longueur moyenne des proies varie beaucoup au sein d'une même classe de taille pour chaque taxon (Figure 8.a). Les larves de toutes les classes de taille de *Siganus fuscescens* sont caractérisées par une longueur moyenne des proies globalement plus faible que celle des autres taxons, avec une moyenne globale d'environ 250 μm contre 330 μm pour les autres taxons (Figure 8.a). La relation entre la longueur des proies et la taille des larves, tous taxons confondus et en excluant les individus de *Siganus fuscescens* et de Carangidae sp2 de longueur standard > 20 mm, est significative (Figure 8.b & c ; $t = 2,607$; $p < 0,05$). La taille des larves permet d'expliquer 38,2 % de la variabilité totale dans la longueur des proies.

4.8 Discussion

Parmi les neuf taxons étudiés, huit d'entre eux sont caractérisés par un régime alimentaire zooplanctonophage, dominés principalement par des petits Copépodes, des Crustacés non identifiés et des œufs. Ces catégories de proies sont celles qui dominent également les assemblages micro- et méso-zooplanktoniques dans la colonne d'eau à l'endroit où les larves ont été capturées (Carassou & Ponton, 2006 ; Carassou et al., en préparation). Les faibles différences dans la diversité et la composition en taille des proies des différents taxons suggèrent que les larves pélagiques consomment les proies disponibles dans le milieu de manière opportuniste. Seul *Siganus fuscescens* se distingue des autres taxons par la présence de proies peu abondantes, et dominées par des appendices de crustacés non identifiés et des débris végétaux. L'origine de ces débris est difficile à déterminer, mais il est probable qu'ils proviennent de végétaux terrestres, ou de débris remis en suspension depuis le fond après des événements de vent forts ou des fortes pluies (Le Borgne, IRD Nouméa, communication personnelle).

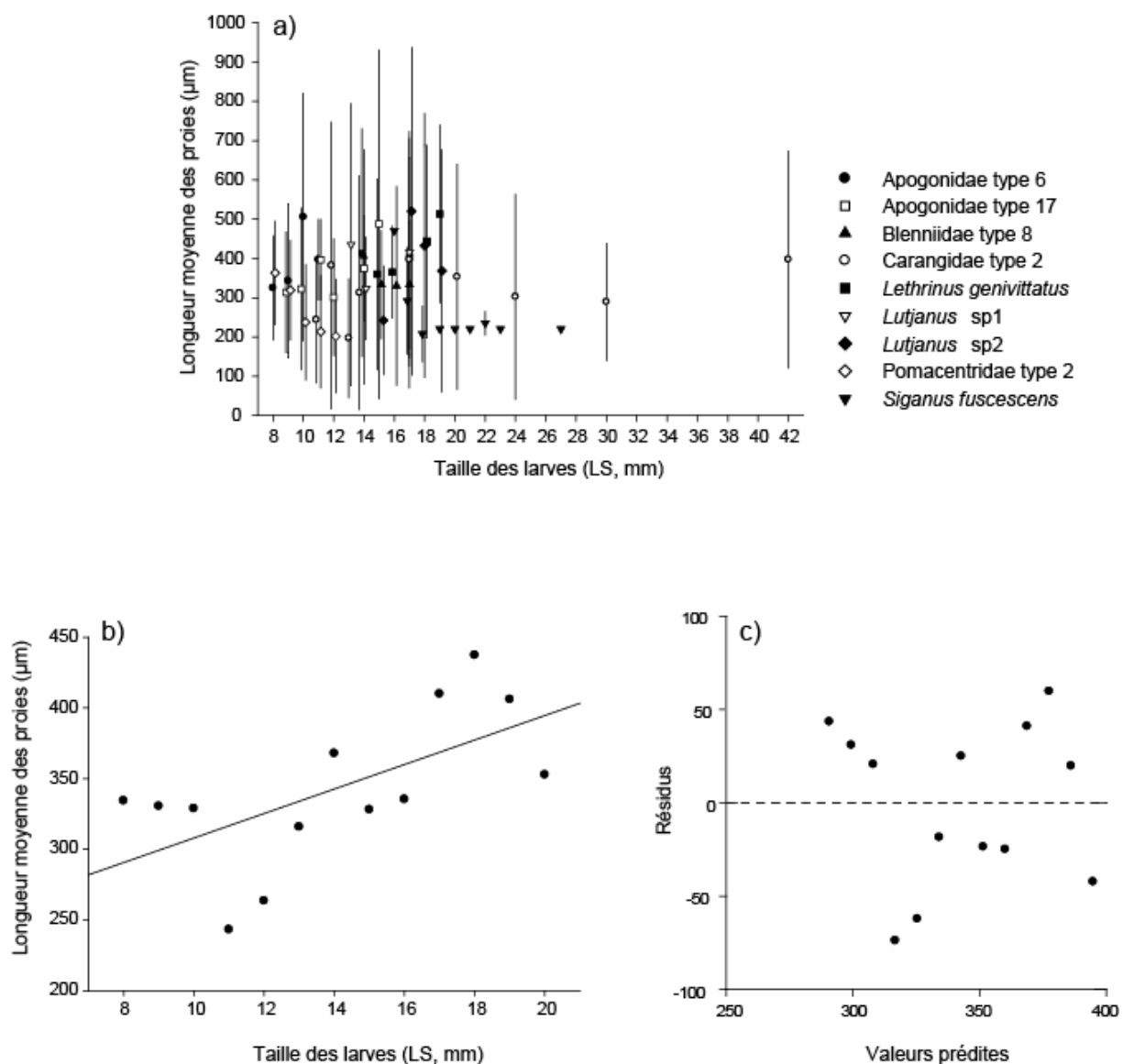


Figure 8. a) Longueur moyenne des proies ingérées (μm) en fonction de la taille des larves (longueur standard, en mm), pour chaque taxon. Les symboles indiquent la longueur moyenne des proies observées et les barres verticales représentent l'écart-type. b) relation entre la longueur moyenne des proies et la taille des larves, tous taxons confondus ; c) Dispersion des résidus de la régression linéaire par rapport au modèle (écarts entre les valeurs observées et les valeurs prédites par le modèle).

Cette espèce présente un régime alimentaire herbivore au stade adulte (Nelson, 2006) et il est possible que les larves de *Siganus fuscescens* aient déjà développé un régime alimentaire proche de celui des adultes juste avant leur installation, soit qu'ils soient déjà capables de brouter des végétaux d'origine diverse sur le fond, soit qu'ils sélectionnent activement dans la colonne d'eau les matériaux d'origine végétale détritique. De la même manière, la plupart des espèces de Pomacentridae sont zooplanctonophages au stade adulte (Nelson, 2006), comme les larves de Pomacentridae sp2 disséquées dans cette étude. A l'inverse, les familles de Lutjanidae, Lethrinidae et Carangidae, dont tous les taxons ont été décrits comme zooplanctonophages au stade larvaire dans cette étude, deviennent carnivores et prédateurs de poissons et d'invertébrés pour la plupart des espèces au stade adulte (Nelson, 2006). Enfin, les Blenniidae, dont les larves disséquées dans cette étude présentaient un régime zooplanctonophage, sont souvent décrits comme se nourrissant d'un mélange d'algues et d'invertébrés prélevés sur le fond au stade adulte, mais certaines espèces sont également planctonophages (Nelson, 2006).

Malgré de fortes similitudes dans le régime alimentaire des larves des différents taxons étudiés, des particularités permettent de les distinguer les uns des autres. Les larves des Carangidae sp2 par exemple montrent des systèmes digestifs particulièrement remplis, indiquant une forte activité alimentaire. Ces larves montrent également une préférence pour les proies zooplanctoniques de petite taille, telles que les larves de Bivalves, de Gastéropodes ou les Nauplii. A l'inverse les larves de *Lethrinus genivittatus* présentent des systèmes digestifs généralement peu remplis et dominés par des proies planctoniques de plus grande taille, comme des Crustacés non identifiés. Ces différences indiquent que malgré une composition en proies globalement similaire, les différentes espèces de larves sont susceptibles de développer certaines spécialisations notamment en termes de taille de proies. Enfin, alors que la relation entre diversité des proies et taille des larves n'est pas très forte, la longueur moyenne des proies augmente significativement avec la taille des larves. Des résultats similaires ont également été observés en Méditerranée pour une espèce de Callionymidae et une espèce de Bothidae (Sánchez-Velasco, 1998), pour plusieurs espèces d'eau douce de Guyane (Mérigoux & Ponton, 1998), ou sur une espèce de Serranidae dans un estuaire de Caroline du Sud (Mullaney, 1990). Ce résultat suggère qu'au fur et à mesure de leur développement, grâce à l'acquisition d'un système sensoriel et natatoire de plus en plus performant et à l'acquisition progressive d'enzymes digestives de plus en plus efficaces (Kolkovski, 2001), les larves pélagiques acquièrent la capacité de consommer des proies de plus grande taille, vraisemblablement plus actives, et d'une valeur nutritionnelle plus élevée (Wankowski, 1979 in Mullaney, 1990).

Les études décrivant le régime alimentaire des larves pélagiques des poissons récifo-lagonaires en milieu naturel sont inexistantes dans la littérature. La présente étude est donc la première à faire état du contenu digestif des larves pélagiques de plusieurs taxons. Elle confirme l'hypothèse souvent admise à partir de travaux réalisés en milieu tempéré ou d'eau douce mais non vérifiée en milieu corallien, que les larves de la plupart des espèces de poissons sont consommatrices de zooplancton (Brander et al., 2001; James et al., 2003 ; Voss et al., 2006). Les résultats de cette étude sont cependant limités par le faible niveau taxonomique des identifications réalisées sur les communautés de proies, rendant impossible de détecter d'éventuelles différences entre les espèces de Copépodes consommées par telle ou telle famille de larves par exemple.

Dans un contexte de gestion des ressources lagonaires, si les larves de poissons exploitent les ressources zooplanctoniques de la colonne d'eau pour se nourrir, les facteurs qui influencent les communautés planctoniques dans le lagon seront susceptibles d'affecter la qualité de la nutrition des larves de nombreuses espèces de poissons pendant la phase critique précédant leur installation sur des substrats benthiques. Les études exploratoires menées dans le lagon de La Foa ont montré que les densités en organismes micro- et méso-zooplanctoniques consommées par les larves sont supérieures dans les zones côtières soumises à l'influence des apports terrigènes des rivières que dans les zones du lagon plus éloignées de la côte (Carassou & Ponton, 2006). En conséquence, ces zones côtières sont des zones privilégiées pour l'alimentation des larves juste avant leur installation, et constituent des milieux favorables à leur croissance, leur survie et au succès du recrutement futur des individus dans la population d'adultes (Jones, 1986 ; McCormick & Molony, 1992). La gestion raisonnée de la qualité des milieux côtiers, et notamment de la qualité physico-chimique de la colonne d'eau et de l'intégrité des habitats qui y sont associés, comme les herbiers et mangroves, en favorisant le maintien et le développement de la diversité des communautés zooplanctoniques, est donc un appui indispensable à la protection des zones favorables à la survie des larves pélagiques de nombreuses espèces en Nouvelle-Calédonie.

5. Conclusions et perspectives

Cette étude a permis de mettre en évidence que la vitesse moyenne du vent et l'ensoleillement sont responsables des patrons temporels de distribution des abondances des familles dominantes de larves dans le lagon d'une part, et que la température de surface et la concentration en chl *a* dans la colonne d'eau permettent d'expliquer leurs patrons de distribution spatiale. De plus, cette étude a fourni les premières informations concernant le régime alimentaire des larves pélagiques de plusieurs familles. Les Copépodes, Crustacés, œufs et larves de mollusques semblent être les proies privilégiées des larves dans le lagon. Ainsi, pour répondre à des objectifs de gestion raisonnée des ressources marines du lagon, les zones côtières enrichies en chl *a* et où les communautés de proies des larves de poissons

présentent des densités maximales doivent être considérées comme des zones essentielles pour les larves de nombreuses espèces commerciales en Nouvelle-Calédonie. La conservation de la qualité de ces habitats, c'est-à-dire de la qualité physico-chimique de la colonne d'eau, et de leur intégrité physique, c'est-à-dire des écosystèmes côtiers qui participent à leur forte productivité, comme les mangroves, les herbiers ou les fonds de baie à caractère estuarien, est une étape indispensable pour le maintien de leur rôle de nourricerie et des conditions favorables au recrutement des jeunes poissons dans les populations adultes du lagon.

Cette étude sera complétée prochainement par des analyses de croissance détaillées sur une espèce commerciale en Nouvelle-Calédonie, qui pourront être mises en relation avec les résultats déjà apportés par les études d'alimentation et d'abondance dans les assemblages. L'interprétation des microstructures des otolithes de *Lethrinus genivittatus*, une espèce fréquente et abondante à la fois dans les stations côtières et lagonaires échantillonnées, devrait permettre de comparer les croissance des larves quelques jours avant leur capture dans les différentes zones du lagon, et de quantifier l'influence des facteurs de l'environnement et des conditions alimentaires sur la croissance des larves dans ces différents habitats.

Enfin, la présente étude ne s'appuie que sur une partie de l'échantillonnage réalisé dans le cadre de la thèse en cours. D'autres échantillons, capturés avec d'autres techniques d'échantillonnage, vont permettre de préciser les relations entre les larves et leur environnement dans les baies côtières, et de tester l'influence des communautés d'adultes sur les patrons de distribution spatiaux et temporels des larves dans le lagon. L'ensemble de ces résultats sera préparé sous la forme d'articles scientifiques et soumis dans des revues de catégorie A, pour être ensuite intégrés au manuscrit de thèse final.

6. Références citées

- Allen, D.M., Service, S.K., & Ogburn-Matthews, M.V., (1992). Factors influencing the collection efficiency of estuarine fishes. *Transactions of the American Fisheries Society* **121**, 234-244.
- Almany, G.R., (2003). Priority effects in coral reef fish communities. *Ecology* **84**(7), 1920-1935.
- Andrefouet, S., & Torres-Pulliza, D., (2004). *Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie*. IFRECOR Nouvelle-Calédonie, IRD, Nouméa, 26 pp + ill.
- Barkley, R.A., (1972). Selectivity of towed-net samplers. *Fishery Bulletin* **70**, 799-820.
- Beck, M.W., Heck, K.L., Able, K.W., Childers, D.L., Eggleston, D.B., Gillanders, B.M., Halpern, B., Hays, C., Hoskino, K., Minello, T.J., Orth, R.J., Sheridan, P., & Weinstein, M.P., (2001). The identification, conservation and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience* **51**(8), 633-641.
- Bell, J.D., Doherty, P.J., & Hair, C.A., (2000). Capture et élevage du poisson de récif corallien au stade post-larvaire: des débouchés pour les nouvelles entreprises artisanales. *SPC Bulletin* **6**.
- Bellwood, D.R., & Choat, J.H., (1989). A description of the juvenile phase colour patterns of 24 parrotfish species (family Scaridae) from the Great Barrier Reef, Australia. *Records of the Australian Museum* **41**, 1-41.
- Bergenius, M.A.J., McCormick, M.I., Meekan, M.G., & Robertson, D.R., (2005). Environmental influences on larval duration, growth and magnitude of settlement of a coral reef fish. *Marine Biology* **147**, 291-300.
- Boehlert, G.W., (1996). *Larval dispersal and survival in tropical reef fishes*. In: Polunin, N.V.C., Roberts, C.M. (eds.), Reef Fisheries, Chapman & Hall, London, 61-84.
- Booth, D.J., & Brosnan, D.M., (1995). The role of recruitment dynamics in rocky shore and coral reef fish communities. *Advances in Ecological Research* **26**, 309-385.
- Brander, K.M., Dickson, R.R., & Shepherd, J.G., (2001). Modelling the timing of plankton production and its effect on recruitment of cod (*Gadus morhua*). *ICES Journal of Marine Science* **58**, 962-966.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., & Stone, C.G., (1984). *Classification and regression trees*. Wadsworth International Group, Chapman and Hall editions, Belmont, USA, 358 pp.
- Brogan, M.W., (1994). Two methods for sampling fish larvae over reefs: a comparison from the Gulf of California. *Marine Biology* **118**, 33-44.
- Carassou, L., & Ponton, D., (2006). *Les premiers stades de vie des poissons en Nouvelle-Calédonie: identification des habitats lagonaires pour les stades pré- et post-installation. Volet thématique 1 : stades pré-installation*. Rapport Zonéco 2005, 56 pp.
- Carassou, L., & Ponton, D., (2007). Spatio-temporal structure of pelagic larval and juvenile fish assemblages in coastal areas of New Caledonia, southwest Pacific. *Marine Biology* **150**, 697-711.
- Chittaro, P.M., (2004). Fish-habitat associations across multiple spatial scales. *Coral Reefs* **23**, 235-244.
- Choat, J.H., & Doherty, P.J., Kerrigan, B.A., & Leis, J.M., (1993). A comparison of towed nets, purse seine, and light-aggregation devices for sampling larvae and pelagic juveniles of coral reef fishes. *Fishery Bulletin* **91**, 195-209.
- Clarke, A., & Fraser, K.P.P., (2004). Why does metabolism scale with temperature? *Functional Ecology* **18**, 243-251.
- Cobcroft, J.M., Pankhurst, P.M., Hart, P.R., & Battaglene, S.C., (2001). The effects of light intensity and algae-induced turbidity on feeding behaviour of larval striped trumpeter. *Journal of Fish Biology* **59**, 1181-1197.
- Connell, J.H., (1974). Ecology: field experiments in marine ecology. In Experimental Marine Biology, Mariscal RN (eds.). Academic Press: New York, 21-54.
- De'Ath, G., (2002). Multivariate regression trees: a new technique for modeling species-environment relationships. *Ecology* **83**(4), 1105-1117.
- Dervin, C., (1992). *Comment interpréter les résultats d'une Analyse Factorielle des Correspondances?* Manuel ITCF, édition 1992, 72 pp.
- Dimmlich, W.F., Breed, W.G., Geddes, M., & Ward, T.M., (2004). Relative importance of gulf and shelf waters for spawning and recruitment of Australian anchovy, *Engraulis australis*, in South Australia. *Fisheries Oceanography* **13**(5), 310-323.
- Doherty, P.J., & Williams, D.Mc.B., (1998). The replenishment of coral reef fish populations. *Oceanography and Marine Biology* **26**, 487-551.
- Doherty, P.J., Dufour, V., Galzin, R., Hixon, M.A., Meekan, M.G., & Planes, S., (2004). High mortality during settlement is a population bottleneck for a tropical surgeonfish. *Ecology* **85**(9), 2422-2428.
- Doherty, P.J., Kingsford, M.J., Booth, D., & Carleton, J., (1996). Habitat selection before settlement by *Pomacentrus coelestis*. *Marine and Freshwater Research* **47**, 391-400.
- Dufrêne, M., & Legendre, P., (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* **67**, 345-366.
- Faria, A., Morais, P., & Chicharo, M.A., (2006). Ichthyoplankton dynamics in the Guadiana estuary and adjacent coastal area, South-East Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **70**, 85-97.

- Fisher, R., & Bellwood, D.R., (2002). The influence of swimming speed on sustained swimming performance of late-stage reef fish larvae. *Marine Biology* **140**, 801-807.
- Franco-Gordo, C., Godínez-Domínguez, E., Suárez-Morales, E., & Vásquez-Yeomans, L., (2003). Diversity of ichthyoplankton in the central Mexican Pacific: a seasonal survey. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **57**, 111-121.
- Fricke, R., & Kulbicki, M., (2006). Checklist of the shore fishes of New Caledonia. In Payri, C., Richer de Forges, B. (Eds), *Compendium of marine species from New Caledonia*. Documents Scientifiques et Techniques IRD II(7), 313-357.
- Fuiman, L.A., & Werner, R.G. (eds.), (2002). *Fishery Science : the unique contribution of early life stages*, Blackwell Publishing, Oxford, 326 pp.
- Green, B.S., & Fisher, R., (2004). Temperature influences swimming speed, growth and larval duration in coral reef fish larvae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **299**, 115-132.
- Grimes, C.B., & Finucane, J.H., (1991). Spatial distribution and abundance of larval and juvenile fish, chlorophyll and macrozooplankton around the Mississippi River discharge plume, and the role of the plume in fish recruitment. *Marine Ecology Progress Series* **75**, 109-119.
- Hair, C.A., Doherty, P.J., Bell, J.D., & Lam, M., (2000). Capture and culture of presettlement coral reef fishes in Solomon Islands. *Proceedings of the 9th International Coral Reef Symposium*, Bali, 819-827.
- Hair, C.A., & Doherty, P.J., (2003). Progression report on the capture and culture of presettlement fish from Solomon Island. *SPC Live Reef Fish Information Bulletin* **11**, 13-18.
- Harris, S.A., Cyrus, D.P., & Beckley, L.E., (1999). The larval fish assemblage in nearshore coastal waters off the St Lucia Estuary, South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **49**, 789-811.
- Harris, S.A., Cyrus, D.P., & Beckley, L.E., (2001). Horizontal trends in larval fish density and abundance along an ocean-estuarine gradient on the Northern KwaZulu-Natal coast, South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **53**, 221-235.
- Hartmann, J., (1983). Two feeding strategies of young fishes. *Archiv für Hydrobiologie* **96**, 496-509.
- Hughes, T.P., Baird, A.H., Bellwood, D.R., Card, M., Connolly, S.R., Folke, C., Grosberg, R., Hoegh-Guldberg, O., Jackson, J.B.C., Kleypas, J., Lough, J.M., Marshall, P., Nyström, M., Palumbi, S.R., Pandolfi, J.M., Rosen, B., & Roughgarden, J., (2003). Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science* **301**, 929-933.
- Ikaha R, & Gentleman R, 1996. R : a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics* **5**, 299-314.
- Islam, M.D., Hibino, M., & Tanaka, M., (2006). Distribution and diets of larval and juvenile fishes: influence of salinity gradient and turbidity maximum in a temperate estuary in upper Ariake Bay, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **68**, 62-74.
- James, A., Pitchford, J.W., & Brindley J., (2003). The relationship between plankton blooms, the hatching of fish larvae, and recruitment. *Ecological Modelling* **160**, 77-90.
- Job, S.D., & Bellwood, D.R., (2000). Light intensity in larval fishes: implications for vertical zonation in the pelagic zone. *Limnology and Oceanography* **45**, 362-371.
- Johanes, R.E., (1978). Reproductive strategies of coastal marine fishes in the tropics. *Environmental Biology of Fishes* **3**(1), 65-84.
- John, H.C., Mohrholz, V., & Lutjeharms, J.R.E., (2001). Cross-front hydrography and fish larval distribution at the Angola-Benguela Frontal Zone. *Journal of Marine Systems* **28**, 91-111.
- Jones, G.P., (1986). Food availability affects growth in a coral reef fish. *Oecologia* **70**, 136-139.
- Jouon, A., Douillet, P., Ouillon, S., & Fraunié, P., (2006). Calculations of hydrodynamic time parameters in a semi-opened coastal zone using a 3D hydrodynamic model. *Continental and Shelf Research* **26**, 1395-1415.
- Kingsford, M.J., Wolanski, E., & Choat, J.H., (1991). Influence of tidally induced fronts and Langmuir circulations on the distribution and movements of presettlement fishes around a coral reef. *Marine Biology* **109**, 167-180.
- Kingsford, M., & Finn, M., (1997). The influence of phase of the moon and physical processes on the input of presettlement fishes to coral reefs. *Journal of Fish Biology* **51** (supplement A), 176-205.
- Kolkovski, S., (2001). Digestive enzymes in fish larvae and juveniles – implications and applications to formulated diets. *Aquaculture* **200**, 181-201.
- Legendre, P., & Legendre, L., (1998). *Numerical ecology*, Elsevier Science ed., Amsterdam, 853 pp.
- Leis, J.M., & Trnski, T., (1989). *The larvae of Indo-Pacific shorefishes*. New South Wales University Press, Kensington, 371 pp.
- Leis, J.M., (1991). The pelagic stage of reef fishes: the larval biology of coral reef fishes. In: Sale, P.F. (ed.) *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*. Academic Press, San Diego, 183-230.
- Leis, J.M., & Carson-Ewart, B.M. (eds.), (2000a). *The larvae of Indo-Pacific Coastal Fishes, an identification guide to marine fish larvae*. Fauna Melanesia Handbooks vol2, Australian Museum, Sydney, 850 pp.
- Leis, J.M., & Carson-Ewart, B.M., (2000b). Behavior of pelagic larvae of four coral-reef fish species in the ocean and an atoll lagoon. *Coral Reefs* **19**, 247-257.

- Leis, J.M., Carson-Ewart, B.M., & Webley, J., (2002). Settlement behaviour of coral-reef fish larvae at subsurface artificial-reef moorings. *Marine and Freshwater Research* **53**, 319-327.
- Leis, J.M., & McCormick, M.I., (2002). The biology, behaviour and ecology of the pelagic larval stage of coral reef fishes. In: Sale, P.F. (ed.), *Coral Reef Fishes, Dynamics and Diversity in a Complex Ecosystem*. Academic Press, London, 171-199.
- Levin, S.A., (1992). The problem of scale in ecology. *Ecology* **73**, 1943-1967.
- Maes, J., Van Damme, S., Meire, P., & Ollevier, F., (2004). Statistical modeling of seasonal and environmental influences on the population dynamics of an estuarine fish community. *Marine Biology* **145**, 1033-1042.
- McCormick, M.I., & Molony, B.W., (1992). Effects of feeding history on the growth characteristics of a reef fish at settlement. *Marine Biology* **114**, 165-173.
- Meekan, M.G., Carleton, J.H., McKinnon, A.D., Flynn, K., & Furnas, M., (2003). What determines the growth of tropical reef fish larvae in the plankton: food or temperature? *Marine Ecology Progress Series* **256**, 193-204.
- Meekan, M.G., Carleton, J.H., Steinberg, C.R., McKinnon, A.D., Brinkman, R., Doherty, P.J., Halford, A., Duggan, S., & Mason, L., (2006). Turbulent mixing and mesoscale distributions of late-stage fish larvae on the NW Shelf of Western Australia. *Fisheries Oceanography* **15** (1), 44-59.
- Mérigoux, S., & Ponton, D., (1998). Body shape, diet and ontogenetic shifts in young fish of the Sinnamary River, French Guiana, South America. *Journal of Fish Biology* **52**, 556-569.
- Milicich, M.J., Meekan, M.G., & Doherty, P.J., (1992). Larval supply: a good predictor of recruitment of three species of reef fishes (Pomacentridae). *Marine Ecology Progress Series* **86**, 153-166.
- Milicich, M.J., (1994). Dynamic coupling of reef fish replenishment and oceanographic processes. *Marine Ecology Progress Series* **110**, 135-144.
- Milicich, M.J., & Doherty, P.J., (1994). Larval supply of coral reef fish populations: magnitude and synchrony of replenishment to Lizard Island, Great Barrier Reef. *Marine Ecology Progress Series* **110**, 121-134.
- Minagawa, G., Miller, M.J., Kimura, Y., Watanabe, S., Shinoda, A., Aoyama, J., & Tsukamoto, K., (2007). Seasonal differences in catches of leptocephali in the East China Sea and Suruga Bay, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **71**, 730-740.
- Monteiro-Neto, C., Andrade-Cunha, F.E., Nottingham, M.C., Araújo, M.E., Rosa, I.L., & Leite Barros, G.M., (2003). Analysis of the marine ornamental fish trade at Ceará State, northeast Brazil. *Biodiversity and Conservation* **12**, 1287-1295.
- Morse, W.W., (1989). Catchability, growth, and mortality of larval fishes. *Fishery Bulletin* **87**, 417-446.
- Moser, H.G., (1981). Morphological and functional aspects of marine fish larvae. In Marine fish larvae: morphology, ecology and relation to fisheries, Lasker R (ed.). University of Washington Press, Seattle; 89-131.
- Mullaney, M.D.Jr., (1990). Ontogenetic shifts in the diet of gag *Mycteroperca microlepis*, (Goode and Bean), (Pisces: Serranidae). *Proceedings of the 43rd Gulf and Caribbean Fisheries Institute* (eds.), 432-445.
- Munk, P., Bjørnsen, P.K., Boonruang, P., Fryd, M., Hansen, P.J., Janekarn, V., Limtrakulvong, V., Nielsen, T.G., Hansen, O.S., Satapoomin, S., Sawangrerruks, S., Thomsen, H.A., & Østergaard, J.B., (2004). Assemblages of fish larvae and mesozooplankton across the continental shelf and shelf slope of the Andaman Sea (NE Indian Ocean). *Marine Ecology Progress Series* **274**, 87-97.
- Murphy, B.R., & Willis, D.W. (eds.), (1996). *Fisheries Techniques*. 2nd edition, American Fisheries Society, Bethesda, 732 pp.
- Murphy, G.I., & Clutter, R.I., (1972). Sampling anchovy larvae with a plankton purse seine. *Fishery Bulletin* **70**, 789-798.
- Nelson, J.S., (2006). *Fishes of the world*. 4th edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, 601 pp.
- O'Connor, M.I., Bruno, J.F., Gaines, S.D., Halpern, B.S., Lester, S.E., Kinlan, B.P., & Weiss, J.M., (2007). Temperature control of larval dispersal and the implications for marine ecology, evolution, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Science* **104**(4), 1266-1271.
- Omori, M., & Hamner, W.M., (1982). Patchy distribution of zooplankton: behavior, population assessment and sampling problems. *Marine Biology* **72**, 193-200.
- ORSTOM, (1981). *Atlas de la Nouvelle-Calédonie et dépendances*, éditions Orstom, Paris, 57 ill.
- Ouillon, S., Douillet, P., Fichez, R., & Panché, J.Y., (2005). Enhancement of regional variations in salinity and temperature in a coral reef lagoon, New Caledonia. *Cahiers de la Recherche Géosciences* **337**, 1509-1517.
- Persson, L., Byström, P., Wahlström, E., Nijlunsing, A., & Rosema, S., (2000). Resource limitation during early ontogeny: constraints induced by growth capacity in larval and juvenile fish. *Oecologia* **122**, 459-469.
- Randall, J.E., (1987). Collecting reef fishes for aquaria. In Salvat B (ed.). Human impacts on coral reefs: facts and recommendations. MNHN-EPHE, French Polynesia, 29-39.
- Randall, J.E., (2005). Reef and shore fishes of the South Pacific, New Caledonia to Tahiti and the Pitcairns Islands. University of Hawai'i Press, Honolulu, 707 pp.
- Rodríguez, J.M., Barton, E.D., Hernández-León, S., & Arístegui, J., (2004). The influence of mesoscale physical processes on the larval fish community in the Canaries CTZ, in summer. *Progress in Oceanography* **62**, 171-188.

- Sabatés, A., Bozzano, A., & Vallvey, I., (2003). Feeding patterns and the visual light environment in myctophid fish larvae. *Journal of Fish Biology* **63**, 1476-1490.
- Sale PF (eds.). 2002. *Coral Reef Fishes, Dynamics and Diversity in a Complex Ecosystem*. Academic Press, San Diego, 549 pp.
- Sánchez-Velasco, L., (1998). Diet composition and feeding habits of fish larvae of two co-occurring species (Pisces: Callionymidae and Bothidae) in the North Western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science* **55**, 299-308.
- Scherrer, B., (1984). *Biostatistique*. Gaëtan Morin ed., Boucherville, 850 pp.
- Shenker, J.M., Maddox, E.D., Wishinski, E., Pearl, S., Thorrold, S.R., & Smith, N., (1993). Onshore transport of settlement-stage Nassau grouper (*Epinephelus striatus*) and other fishes in Exuma Sound, Bahamas. *Marine Ecology Progress Series* **98**, 31-43.
- Sponaugle, S., & Cowen, R.K., (1996). Nearshore patterns of coral reef fish larval supply to Barbados, West Indies. *Marine Ecology Progress Series* **133**, 13-28.
- Sponaugle, S., Grorud-Colvert, K., & Pinkard, D., (2006). Temperature-mediated variation in early life history traits and recruitment success of the coral reef fish *Thalassoma bifasciatum* in the Florida Keys. *Marine Ecology Progress Series* **308**, 1-15.
- Sreeraj, N., Raghavan, R., & Prasad, G., (2006). The diet of *Horabagrus brachysoma* (Gunther), an endangered bagrid catfish from Lake Vembanad (South India). *Journal of Fish Biology* **69**, 637-642.
- Suthers, I.M., & Frank, K.T., (1989). Inter-annual distribution of larval and pelagic juvenile cod (*Gadus morhua*) in southwestern Nova Scotia determined with two different gear types. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **46**, 591-602.
- Thorrold, S.R., (1992). Evaluating the performance of light-traps for sampling small fish and squid in open waters of the Central Great Barrier Reef lagoon. *Marine Ecology Progress Series* **89**, 277-285.
- Thorrold, S.R., Shenker, J.M., Maddox, E.D., Mojica, R., & Wishinski, E., (1994). Larval supply of shorefishes to nursery habitats around Lee Stocking Island, Bahamas. II. Lunar and oceanographic influences. *Marine Biology* **118**, 567-578.
- Utne-Palm, A.C., & Bowmaker, J.K., (2006). Spectral intensity of the two-spotted goby *Gobiusculus flavescens* (Fabricius): a physiological and behavioural study. *Journal of Experimental Biology and Ecology* **209(11)**, 2034-2041.
- Voss, R., Clemmensen, C., Baumann, H., & Hinrichsen, H.H., (2006). Baltic sprat larvae: coupling food availability, larval condition and survival. *Marine Ecology Progress Series* **308**, 243-254.
- Wankowski, J.W.J., (1979). Morphological limitations, prey size selectivity, and growth response of juvenile atlantic salmon, *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology* **14**, 89-100.
- Wilson, G.G., (1998). A description of the early juvenile colour patterns of 11 *Lethrinus* species (Pisces: Lethrinidae) from the Great Barrier Reef, Australia. *Records of the Australian Museum* **50**, 55-83.
- Wood, E., (2001a). *Collection of coral reef fish for aquaria: global trade, conservation issues and management strategies*. Marine Conservation Society (ed.): Ross-on-Wye.
- Wood, E., (2001b). Global Advances in Conservation and Management of Marine Ornamental Resources. *Aquarium Sciences and Conservation* **3**, 65-77.
- Ylonen, O., & Karjalainen, J., (2004). Growth and survival of European whitefish larvae under enhanced UV-B irradiance. *Journal of Fish Biology* **65(3)**, 869-875.
- Zieman, D.A., (2001). The potential for the restoration of marine ornamental fish populations through hatchery releases. *Aquarium Sciences and Conservation* **3**, 107-117.

7. Résumé

La compréhension des processus biotiques et abiotiques susceptibles d'influencer la survie des larves et des juvéniles de poissons est d'une importance capitale pour prévoir les fluctuations des abondances en poissons commerciaux. Étudier les premiers stades de vie des poissons est un défi du fait que leur taille, morphologie et comportement varient fortement durant l'ontogénie, et leur échantillonnage nécessite l'association de multiples engins. Un filet à ichthyoplancton et des pièges lumineux ont été utilisés pour capturer les larves dans la colonne d'eau dans différentes baies, autour d'îlots et près de passes, et des attracteurs artificiels, une senne sous-marine et des micro-empoisonnements à la rotenone ont été utilisés pour capturer les juvéniles installés sur des substrats benthiques variés tels que zones coralliennes ou sableuses, algues et herbiers. La composition taxonomique et en taille des assemblages capturés par ces six engins ont été comparées, et leur efficacité, en termes de nombre d'échantillons sans poissons et de nombre d'individus moyens capturés par unité d'effort ont été calculés, de manière à fournir aux scientifiques et gestionnaires une méthode simple de sélection des techniques les plus appropriées pour la capture de telle ou telle famille, stade ontogénique ou classe de taille de jeunes poissons dans le lagon.

Une analyse de l'influence des facteurs environnementaux sur la variabilité spatiale et temporelle des abondances de 23 familles dominantes de larves a été réalisée à l'aide d'arbres hiérarchiques de régression multivariés (MRT), à partir d'un échantillonnage réalisé dans les baies côtières et le lagon de Ouano, et dans la baie de Dumbéa, entre septembre 2005 et février 2006. A grande échelle, la vitesse moyenne du vent et la durée d'ensoleillement ont permis d'expliquer 24 % de la variabilité dans les assemblages, et d'identifier des patrons temporels de distribution larvaires dans le lagon, tandis qu'à petite échelle, la température de surface et la concentration en chl *a* dans la colonne d'eau ont permis d'expliquer 22 et 68 % de la variabilité des abondances larvaires à Ouano et dans la baie de Dumbéa respectivement. Des assemblages typiquement côtiers, dominés par les Carangidae, Lethrinidae et Siganidae, ont été identifiés à Ouano, et associés à des teneurs en chl *a* $\geq 0,5 \mu\text{g.l}^{-1}$, tandis que les Atherinidae, Pomacentridae et Apogonidae ont été identifiées comme caractéristiques des stations lagunaires, pour lesquelles la teneur en chl *a* reste $< 0,5 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Pour pouvoir identifier les zones ou habitats potentiellement favorables à l'alimentation des larves dans le lagon, leur régime alimentaire doit d'abord être décrit car les proies utilisées par les larves en milieu naturel dans les écosystèmes coralliens n'ont jamais été décrites. Un nombre de 175 larves appartenant à neuf taxons de 7 familles a été disséqué, et leur contenu digestif a été examiné de manière simple, en utilisant des indices semi-qualitatifs d'abondance pour les différentes catégories de proies identifiées. Huit des neuf taxons examinés ont pu être caractérisés comme zooplanctonophages au stade larvaire, les proies majoritaires étant représentés par des Copépodes, des Crustacés non identifiés et des œufs de Copépodes ou de poissons. *Siganus fuscescens* a été caractérisé par un régime alimentaire plutôt herbivore, représenté surtout par des débris végétaux d'origine terrestre ou remis en suspension du fond. La taille des larves (LS, en mm), tous taxons confondus, n'a permis d'expliquer que 6,3 % de la variabilité dans la diversité des proies consommées, tandis qu'elle a permis d'expliquer presque 40 % de la variabilité dans la taille des proies, suggérant que, au fur et à mesure de leur développement, les larves deviennent capables d'assimiler des proies de plus grande taille.